



Guillaume Guérard

Intégration et gestion des prix
SMART GRIDS

Avril 2014

Smart Grid



Approche système complexe pour la modélisation des Smart Grids



Déroulement d'une itération

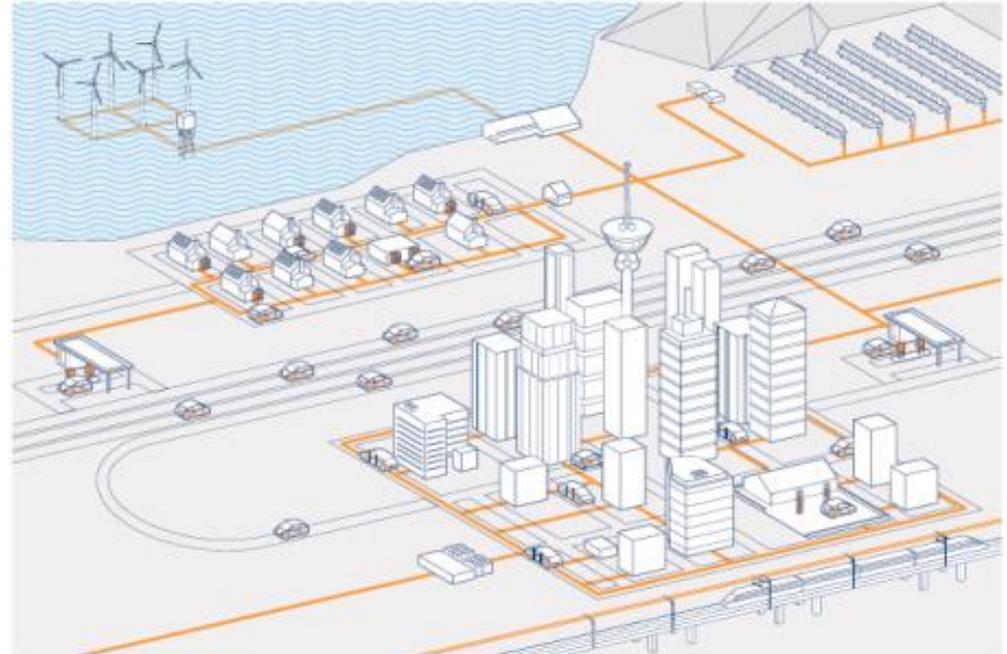
Objectifs industriels

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.

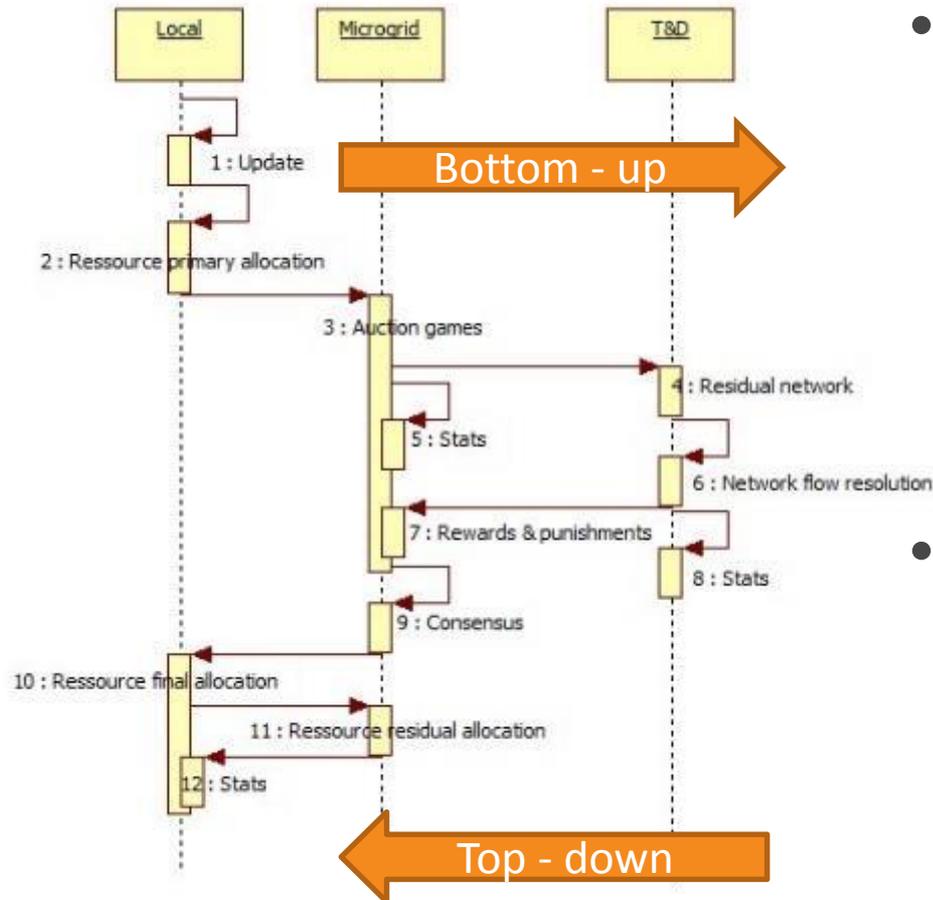


Nouveaux rôles et objectifs :

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

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

Schéma séquentiel d'une itération



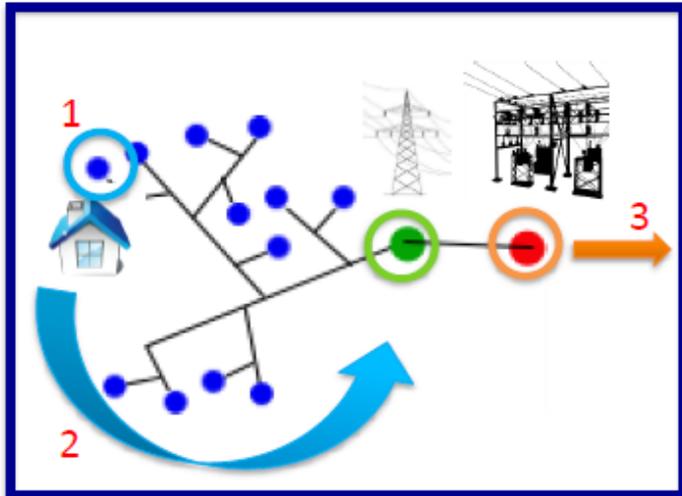
- **Action bottom-up**

- Mise en place d'une solution initiale.
- Si les pronostiques sont justes, la solution finale est déjà obtenue.

- **Action top-down**

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

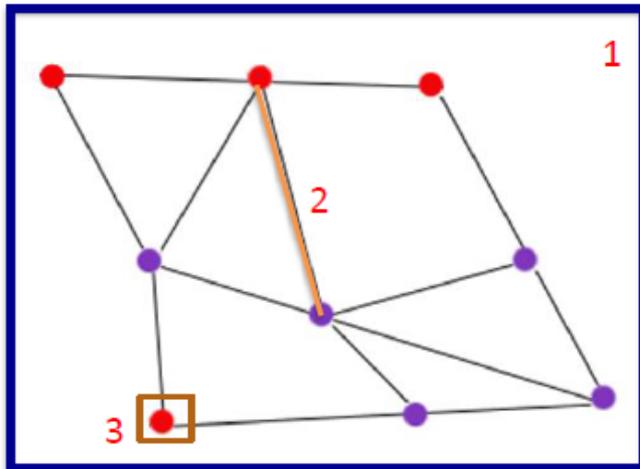
Résolution en aval



1. Pour chaque consommateur :
 - Mise-à-jour (capteurs).
 - Gestion de la domotique (priorité de fonctionnement).
2. *Jeux d'enchères* : Chaque sous-station reçoit les vecteurs de consommation des consommateurs sous sa responsabilité.
3. Envoie des données de consommation vers le réseau T&D pour la mise-à-jour des données.

Optimisation globale : pronostiques, gestion des priorités de fonctionnement.

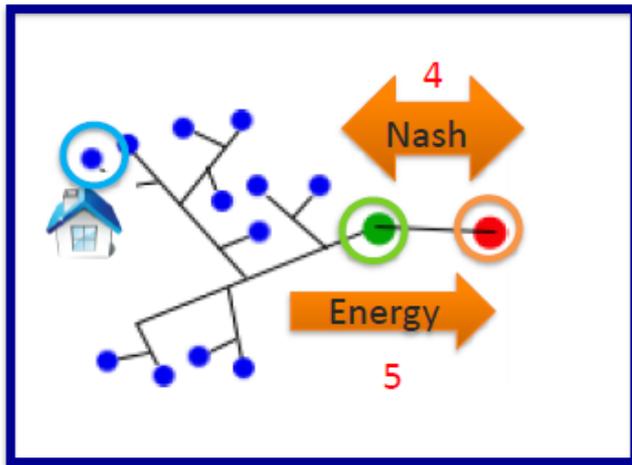
Résolution en amont



1. Mise-à-jour du réseau :
 - Production.
 - Mise en place du graphe résiduel.
2. Résolution du graphe résiduel et mise-à-jour du routage partiel. Mise-à-jour du routage et calcul du routage optimal.
3. Détection des goulots d'étranglement (production et consommation) et de la congestion.
4. *Consensus* : équilibre de l'offre et de la demande.
OU Rétroaction pour équilibrage des enchères.

Optimisation globale : Consensus, pronostiques à partir des données de routage.

Distribution de l'énergie



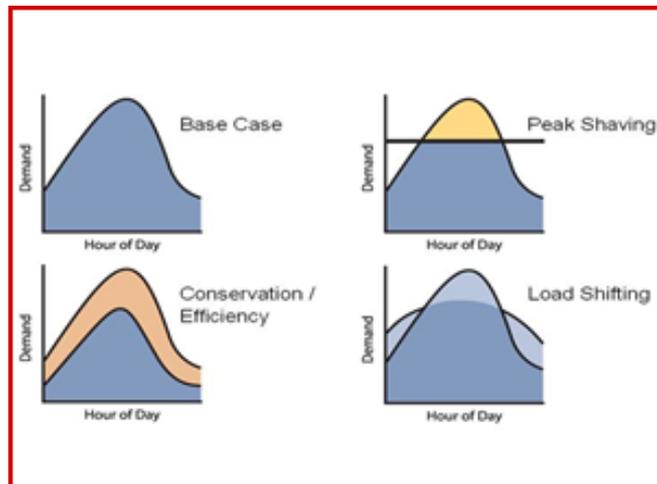
1. Pour chaque consommateur :
 - Mise-à-jour (capteur).
 - Gestion de la domotique (priorité de fonctionnement).
2. **Jeux d'enchères** : Chaque sous-station reçoit les vecteurs de consommation des consommateurs sous sa responsabilité.
3. Envoie des données de consommation vers le réseau T&D pour la mise-à-jour des données.
4. **Consensus** : équilibre de l'offre et de la demande.
OU Nouveaux jeux d'enchères après équilibrage.
5. La station délivre l'énergie aux consommateurs par résolution de sac-à-dos en bottom-up

Optimisation globale : rétroaction top-down et bottom-up, distribution finale.



Demand-Side Management & Energy Market

Régulation de la courbe de charge



La domotique permet de contrôler et de gérer la consommation locale.

- **Principe**

- Réguler la courbe de consommation.
- Déplacer, diminuer, augmenter, couper la consommation.

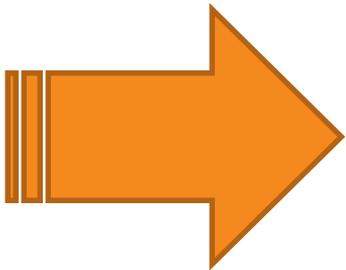
- **Prix**

- Participer au DSM permet une réduction temporaire du prix de consommation.

Au Niveau local

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.

Récompense ou pénalité en fonction de l'apport au DSM : modification de la priorité.

Ou à la Résolution final

Le microgrid connaît les **stratégies** des consommateurs et les prix/stratégies des producteurs. Récompenses ou punitions impactent la priorité et les coûts des itérations suivantes.

Recherche de la meilleure configuration :
équilibre de Nash, Pareto etc.

		PRISONER 2	
		Confess	Lie
PRISONER 1	Confess	<u>-8</u> , <u>-8</u>	0 , -10
	Lie	-10 , 0	<u>-1</u> , <u>-1</u>

Autonomous Demand-Side Management Based on Game-Theoretic Energy Consumption Scheduling for the Future Smart Grid

Amir-Hamed Mohsenian-Rad, Vincent W. S. Wong, Juri Jatskevich, Robert Schober, and Alberto Leon-Garcia

Gestion des prix de l'énergie.

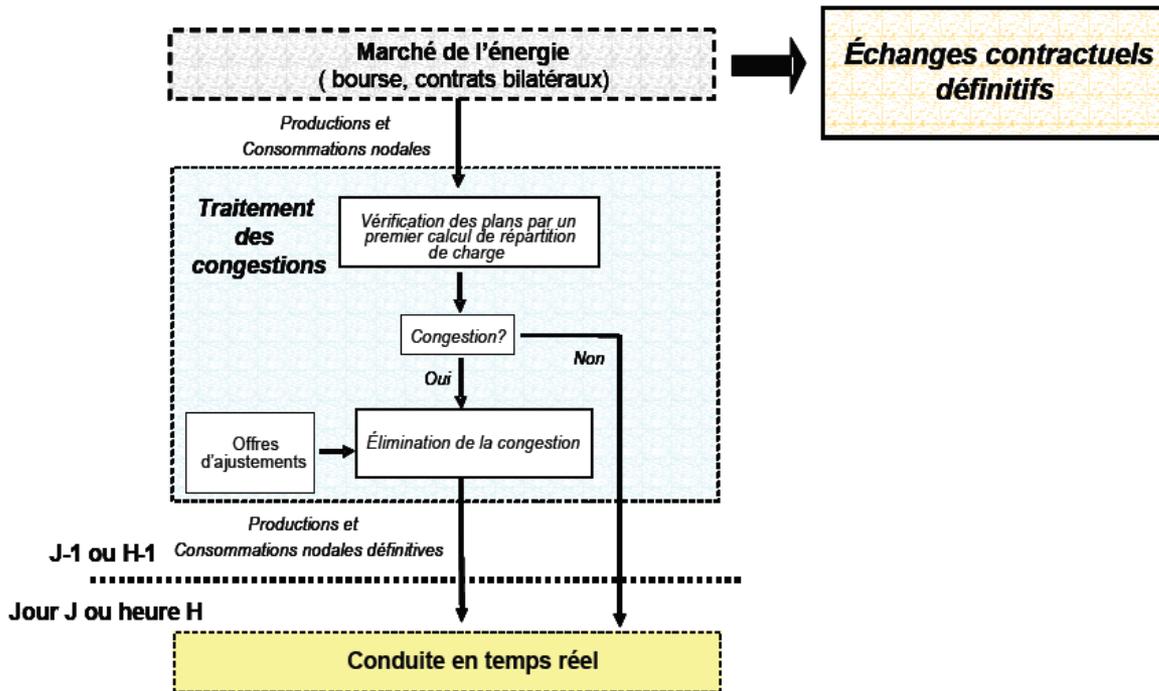
- Local
 - *Anonymat de la stratégie choisie.*
 - *Obtention d'un consensus.*
 - *Pas de garantie d'optimum local.*
- Microgrid
 - *Calcul de la consommation brute (consommation locale – production locale).*
 - *Garantie d'une distribution au prix min et utilité max.*
- **Le Smart Meter (Energy Consumption Controller)**
 - **Maximisation** de l'utilité des EnR et du V2G dans la régulation de l'énergie.
 - Interaction entre le Smart Meter et le fournisseur (microgrid).
 - Stratégie de **contrôle** de la domotique, impact sur la priorité de fonctionnement.
 - Système de **récompenses** ou de **punitions** en fonction de la stratégie.
 - *Calcul décentralisé et processus de décision distribué.*

Le consommateur est libre de participer au DSM, le producteur ne peut pas influencer les consommateurs.

Optimal Real-time Pricing Algorithm Based on Utility Maximization for Smart Grid

Pedram Samadi, Amir-Hamed Mohsenian-Rad, Robert Schober, Vincent W.S. Wong, and Juri Jatskevich

Marché de l'énergie



procédure générale du modèle du buy back en J-1

Modèle du Buy-Back pour éviter les congestions.

- **Principe**

- Les producteurs mettent de « l'énergie » sur le marché.
- Les microgrids achètent l'énergie pour les consommateurs.

- **Prix**

- Le prix dépend du producteur et des enchères (prix stables, prix dynamiques).

Gestion des prix de l'énergie.

- Prix stable
 - Prix en fonction de *l'horaire* (heures creuses, heures pleines).
 - Prix en fonction de la *taille de consommation* (petit, moyen, grand, industrie).
- Prix dynamique
 - Le prix est géré en *temps réel* par l'offre du marché.
 - Prix géré par l'agglomérateur (microgrid).

Le producteur est libre de choisir ses prix (obligation de concurrence) en fonction du consommateur.

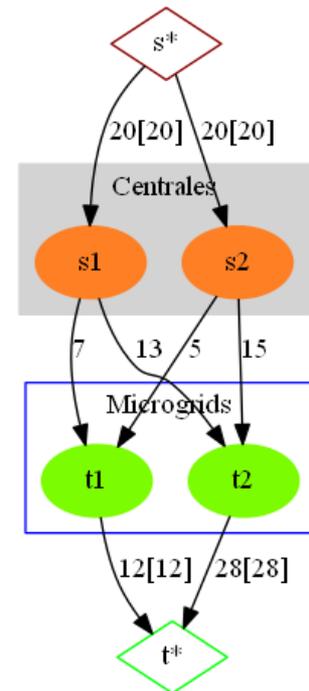
- Systeme dynamique

- *Enchères au niveau microgrid.*
- *Allocation de ressource (flot max au coût min) au niveau T&D.*
- *Calcul décentralisé et processus de décision distribué.*

- *Microgrid*

- *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.**



- Stratégies

- **Auto-organisation** : un prix trop haut entraine une augmentation de la production, un prix trop bas entraine une diminution de la production (inversement pour la consommation).
- **Auto-régulation** : un régulateur externe *stabilise* le prix pour éviter les abus.

- Système

- **Trois types d'agents** : acheteurs, vendeurs et priseurs.
- **Les priseurs** sont les médiateurs entre les deux autres types d'agents.
- **Intégration facile dans la résolution microgrid et T&D.**

Market-based Resource Allocation in Grids

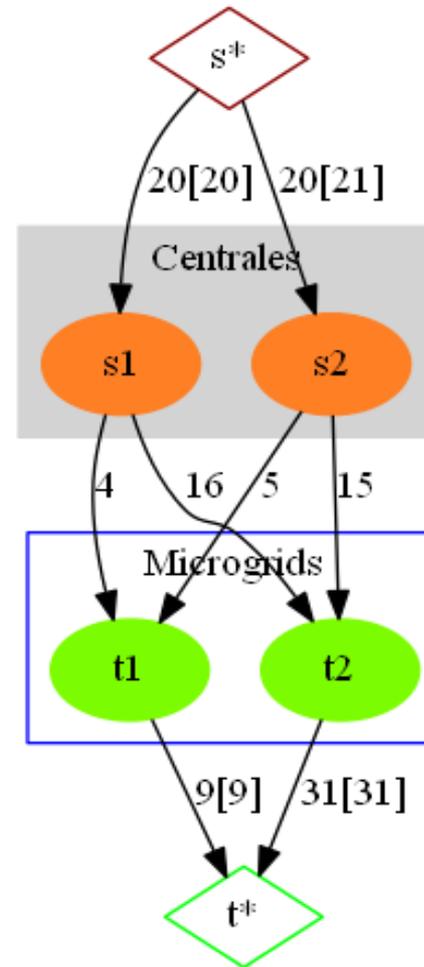
B. Pourebrahimi, K. Bertels, G. M. Kandru, S. Vassiliadis



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	

Consommation résiduelle : le niveau local ne demande que ce qu'il ne produit pas lui-même (de même pour le microgrid).

-> **Demande nette de consommation**

DSM : seul les appareils intelligents/domotique peuvent avoir une priorité supérieur à 0.

Type de jeux : utilité maximale

Stratégie local : somme des utilités*consommation/priorité (>1)

Stratégie T&D : somme des (utilité/priorité-v)*consommation

v (valeur unitaire) : moyenne de l'utilité par unité de consommation

Stratégie (Utilité)	Maison 1 v=34	Maison 2 V=10	Maison 3	Maison 4 V=22,5	Maison 5
0	330/194	77/27	Done	138/47	Done
1	410/240	107/37		298/56,5	
2	620/257,5			341,5/32,5	
3	none	125/-36			
4	720/-322,5			357,5/-131,5	
5	none				
Enchère (consommation)	10	7	12	12	4

Type de stratégie : Exemples



Stratégie	Priorité	Prix
Utilisation des appareils	Standard	Standard
Peak shaving	Augmentation	Diminution
Conservation	Augmentation	Diminution
Load shifting	Augmentation/Diminution	''
Congestion	Augmentation	Standard
Sous-consommation	Diminution	Standard
Sur-consommation	Standard	Augmentation

Les stratégies ne sont pas fixes; des simulations permettront d'étalonner les stratégies de base.

Mise-à-jour du routage

1. Mise-à-jour du réseau :

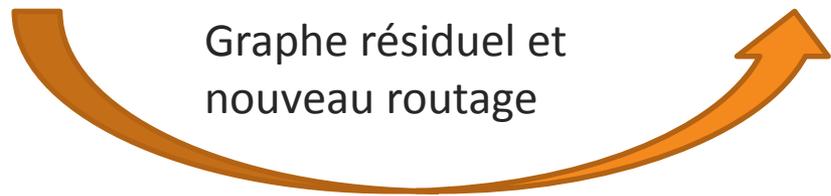
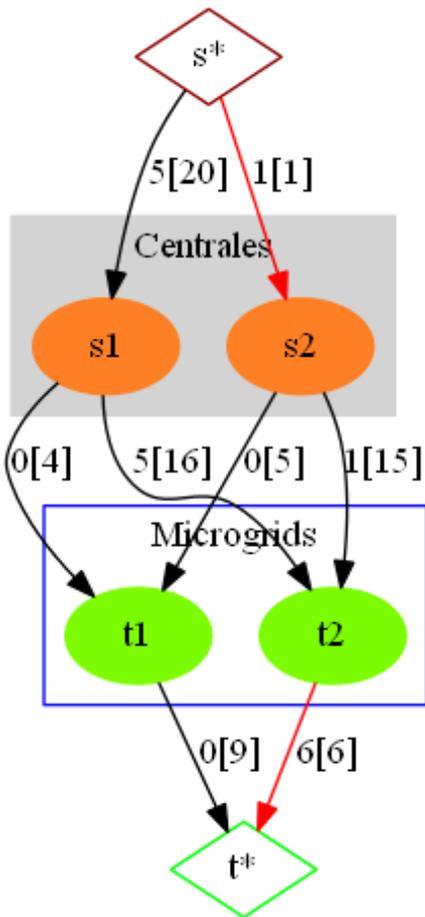
- Production
- Mise en place du graphe résiduel

2. Mise-à-jour du routage.

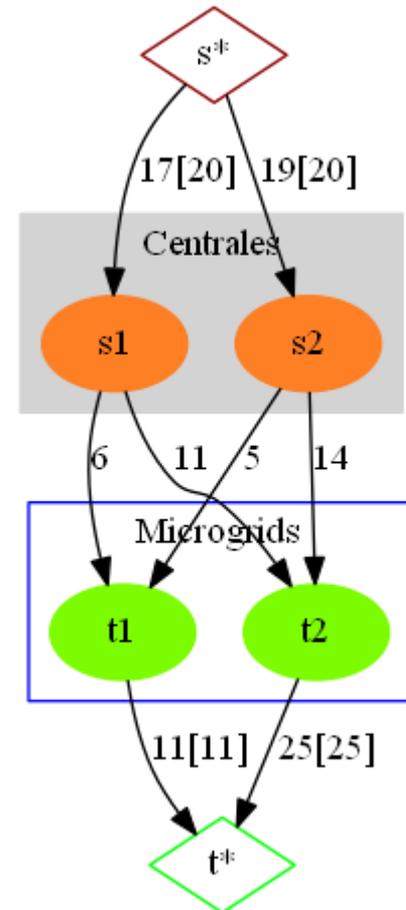
- 3. Flot max par Ford-Fulkerson.

Mise-à-jour

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

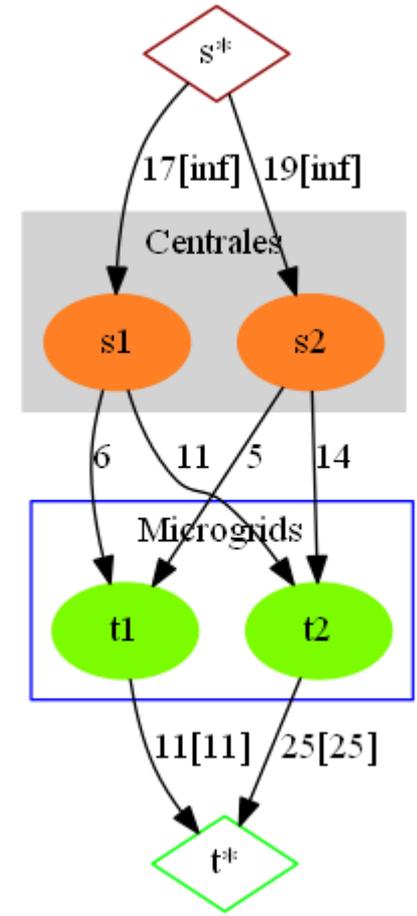
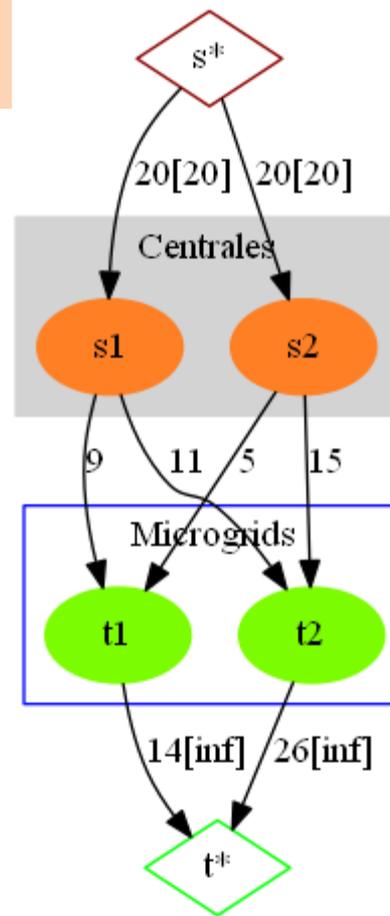
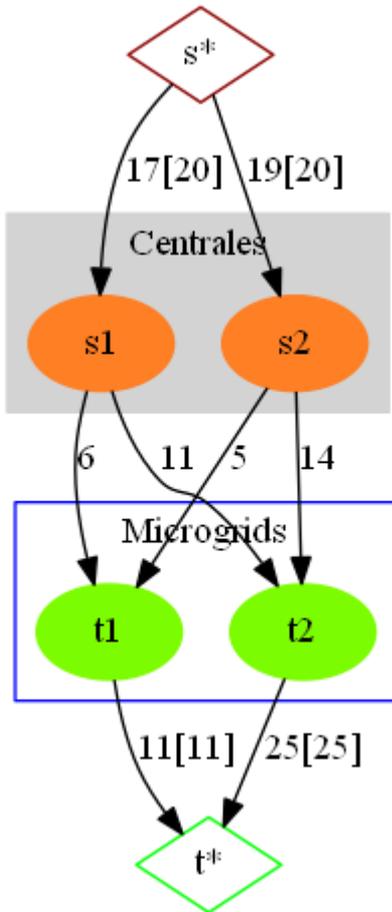


Graphe résiduel et nouveau routage



Nouveau routage et rétroaction

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



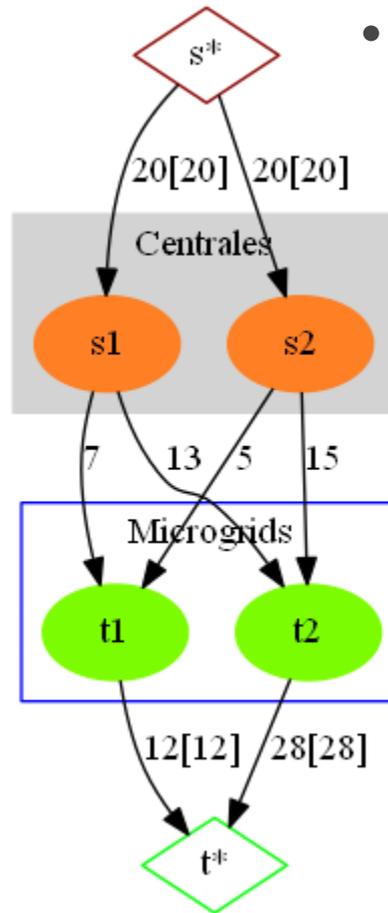
1. Nous récompensons les deux Microgrids.
2. Surproduction sur les deux centrales.

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.

Il est possible de faire un jeu final pour la distribution des ressources.

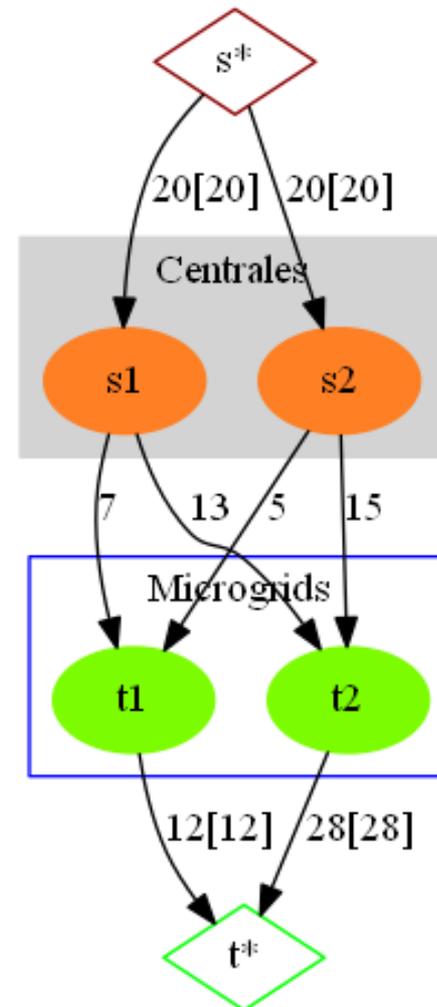
Résultats de l'itération

- 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+



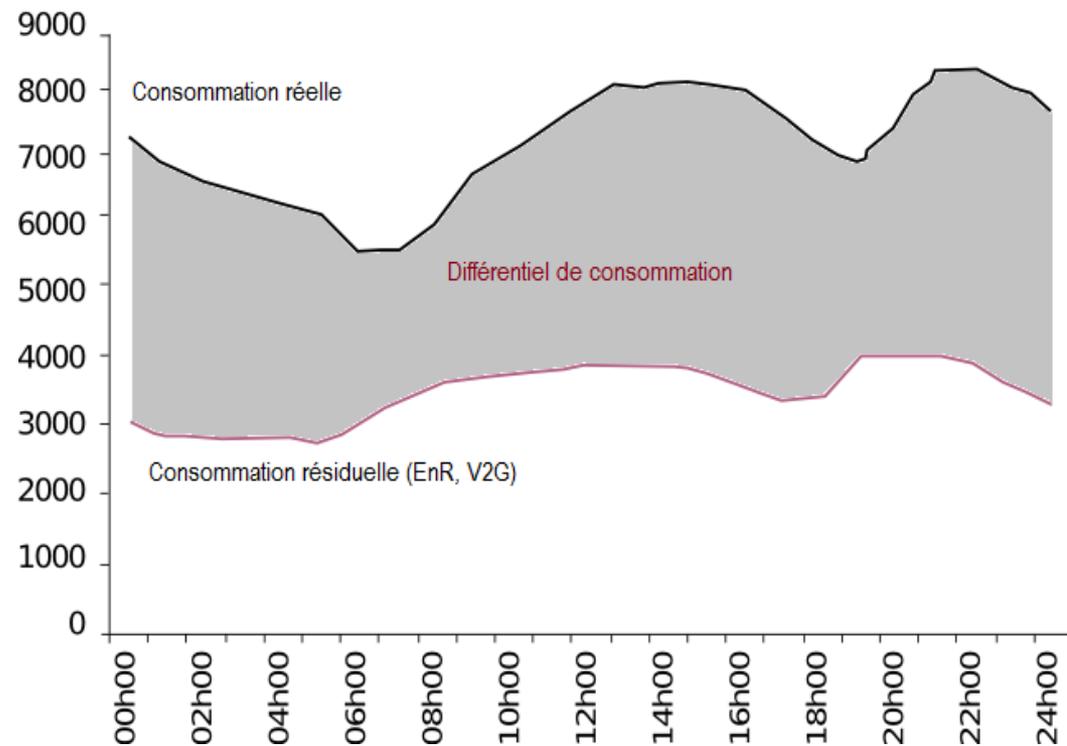
Gains locaux : gestion de la consommation

- Gain :

- Le niveau local réduit le recours à la distribution générale de l'électricité.
- Utilisation maximale des EnR et V2G dans une région locale (interne, microgrid, etc).

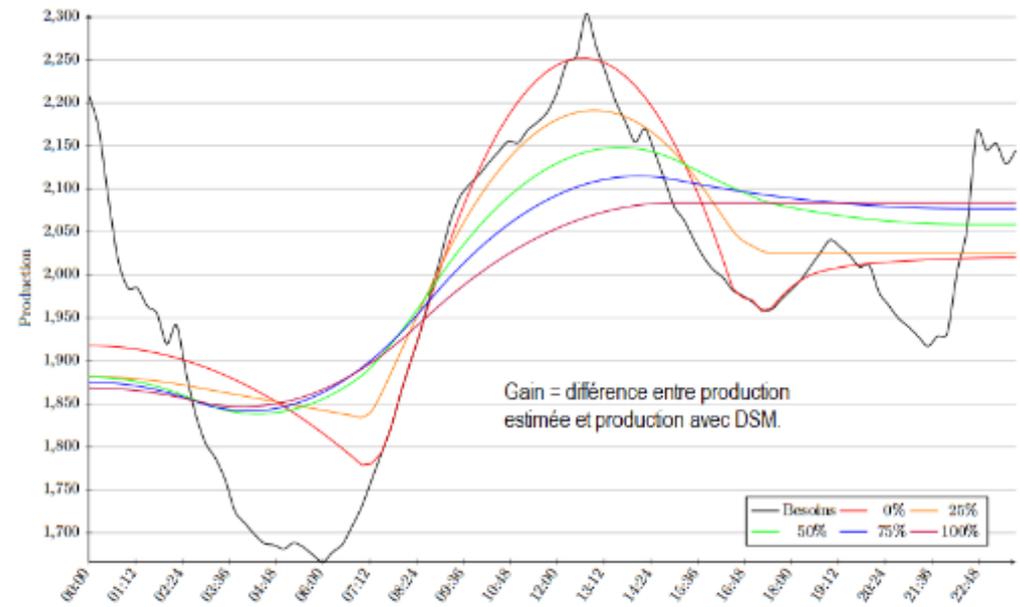
- Consommation résiduelle :

- Consommation réelle.
- Consommation avec apport de production des EnR, V2G.

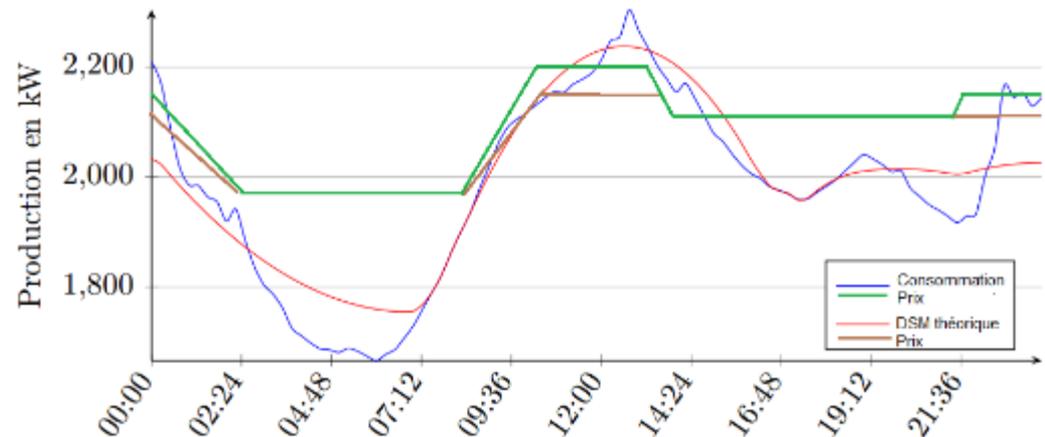


Gains globaux : lissage de la courbe

- Gain producteur :
 - Réduction de la courbe de production.
 - Réduction des pics.
 - Réduction de l'utilisation des énergies fossiles.
- Gain consommateur :
 - DSM: réduction du prix de l'énergie.
 - Maximisation de l'utilisation des énergies locales.

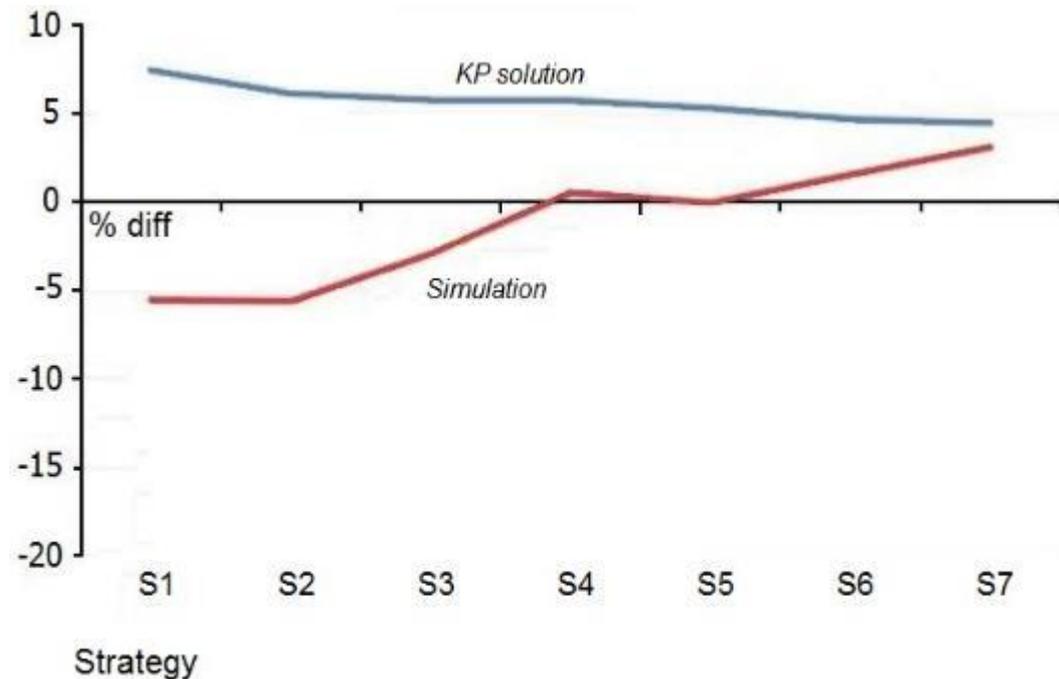


Gestion V2G par Yannis Hermans : impact de la disponibilité des véhicules sur la courbe de consommation.



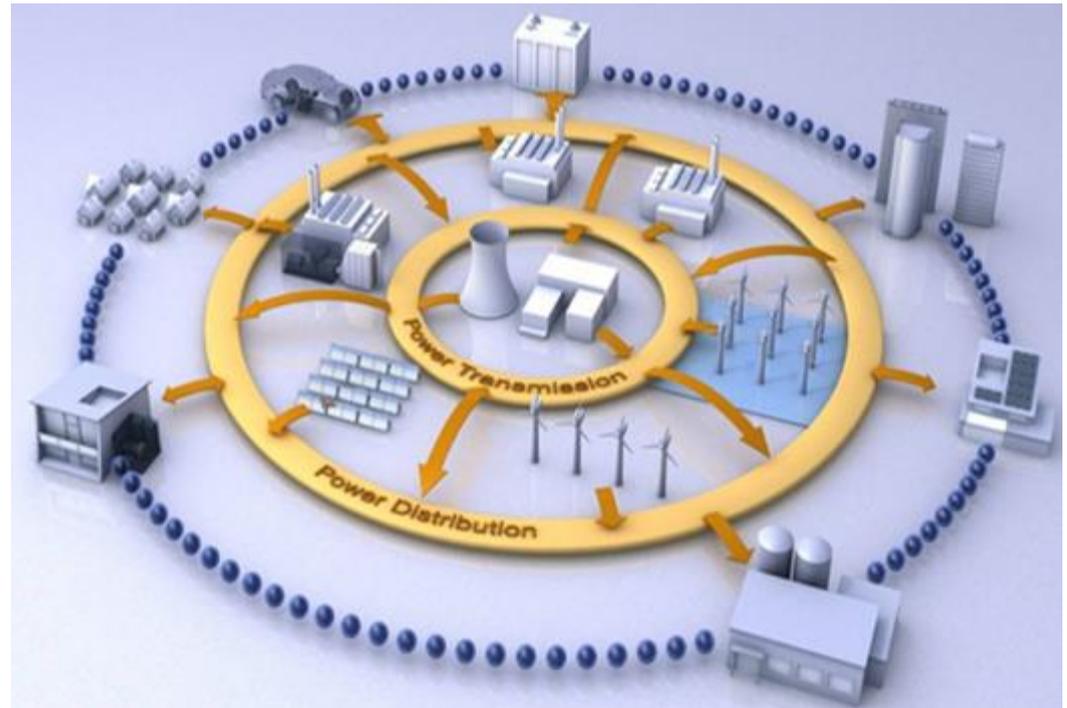
Gains globaux : résolution mathématique

- Maximisation convexe :
 - Problème de sac-à-dos similaire au problème de Portfolio Selection.
 - Outils de résolution pour la recherche de solution dans un polytope (<1min pour 300 objets).
- Comparaison :
 - Comparaison du résultat de l'équilibre de Pareto avec les résultats de la simulation.
 - Modification de la flexibilité et des valuations des stratégies pour minimiser les pertes .



Coûts additionnels

- Infrastructure :
 - Réseau de communication.
 - Smart meters et capteurs.
 - Hardware de DSM.
- Gestion :
 - Gestion des données.
 - Stockage des données.
 - Software de DSM.





Smart Grid

