

Les défis du système électrique

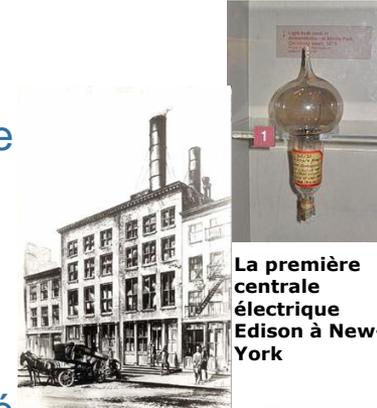


N. HADJSAID

Professeur Grenoble INP/G2ELAB
Président CS TSG

Systeme électrique: genèse d'une infrastructure « vitale »

- **1879:** **Thomas A. Edison** présente la première **lampe électrique** à incandescence développée avec l'anglais Joseph Swan
- **1882:** **Aristide Bergès** met en place une conduite forcée de 500 mètres de dénivelé et adjoint une dynamo Gramme à ses turbines pour produire de l'électricité
- **1882:** **Edison** lance une **première distribution** électrique à New-York en **courant continu**, dans le district de Wall-Street, alimente 12 000 lampes
- **1883:** **Marcel Deprez** réalise une autre expérience de transport d'électricité entre **Vizille et Grenoble** sur une distance de 14 km en **courant continu**, pour éclairer avec 108 lampes Edison la halle du centre-ville de Grenoble
- **1883:** **Lucien Gaulard** présente le concept du **transformateur**
 - Devant le scepticisme de ses compatriotes, il s'adresse à l'Anglais John Dixon Gibbs et démontre à Londres le bien-fondé de son invention.
- **Auto-consommation:** Quelques **installations privées**, de magasins ou de théâtres, assurent leur propre production dès 1880.
 - Les magasins du Louvre, l'hippodrome, sont éclairés par l'électricité, l'Hôtel de Ville en 1883, le Parc des Buttes Chaumont en 1884
- **1898:** **Paul Janet** donne la première **leçon de l'électricité industrielle** à Grenoble



La première centrale électrique Edison à New-York



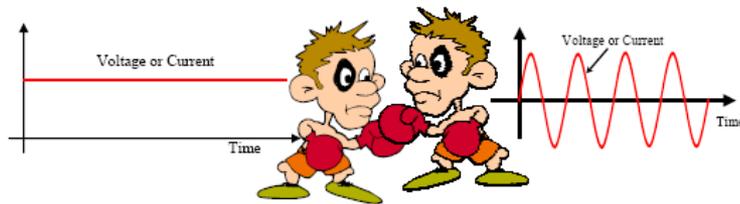
Aristide Bergès (1833-1904)



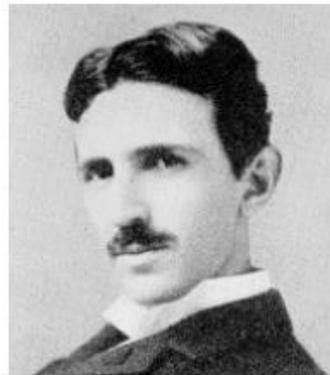
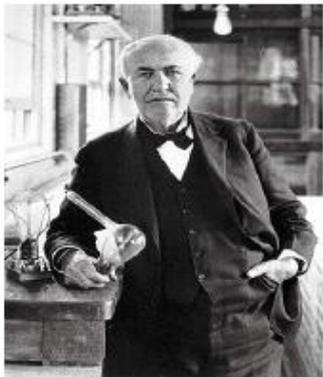
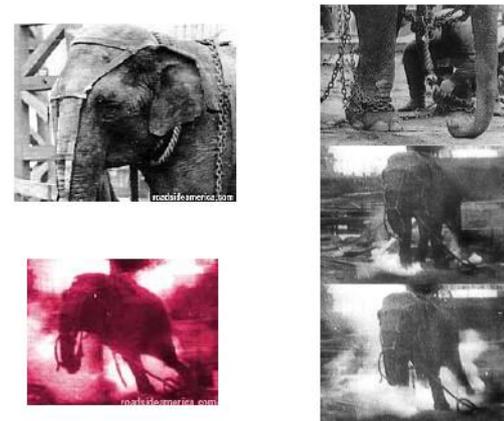
Développement des réseaux: Continu vs. Alternatif

- **Production et consommation** « sur place », puis distribution dans les rues, les théâtres, les grands magasins, les immeubles d'habitation...dès la fin des années 1870
- **Continu vs. Alternatif**: une bataille restée dans l'histoire

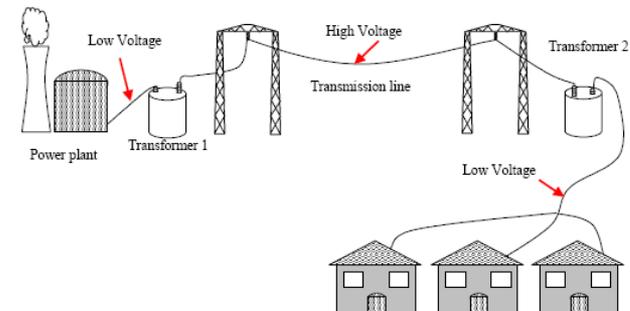
La bataille Continu vs. Alternatif



Edison AC high voltage test



Tesla's Solution (AC system)



De l'autoconsommation au développement des réseaux: microgrids vs interconnexion

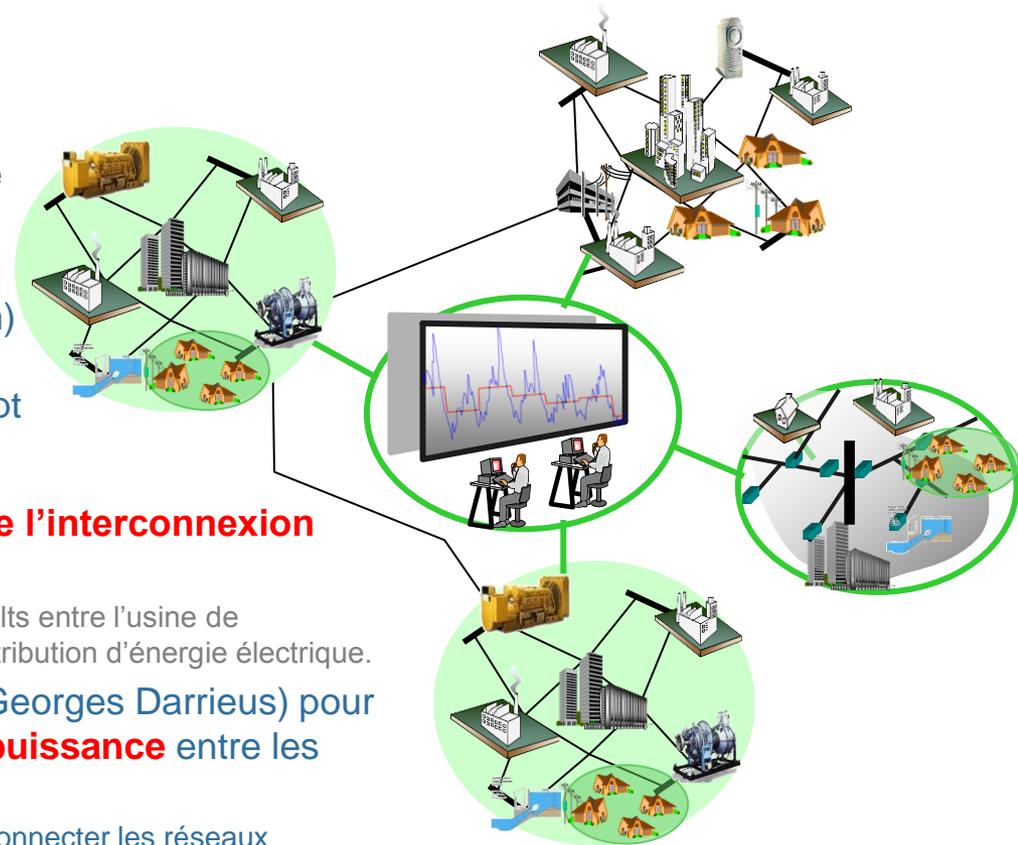
- Les premiers **réseaux** étaient **isolés** et se sont **agrégés** graduellement
- Le développement de l'**interconnexion** électrique en Europe s'est fait sur un mode **décentralisé**
- O. Von Miller et AEG réalisent en 1892 le premier transport en **triphase à grande distance** (177 km) entre Lauffen et Francfort. Il s'agit bien pour l'Europe de la première mise en oeuvre du concept d'interconnexion à grande échelle.

- La Suisse et le massif alpin ont été le **berceau de l'interconnexion** transnationale en Europe

- 1906: première **liaison transfrontalière** de 55 000 volts entre l'usine de Campocologno en Suisse et la Société lombarde de distribution d'énergie électrique.

- Il faut attendre les années 1930 (Jean Fallou et Georges Darrieus) pour comprendre le **principe du réglage fréquence/puissance** entre les centrales interconnectées:

- Base moderne qui permet de savoir correctement interconnecter les réseaux électriques européens jusqu'à aujourd'hui.



Les impératifs de la continuité de service et impact économique

■ Variabilité de la consommation

- Contraintes dynamiques et rendement

■ Développement des usages

- Dépendance de l'électricité

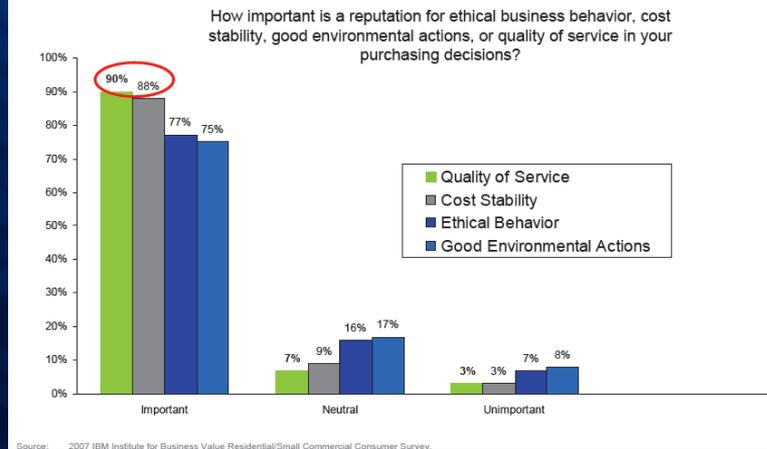
■ Continuité de service

- Nécessité et coût

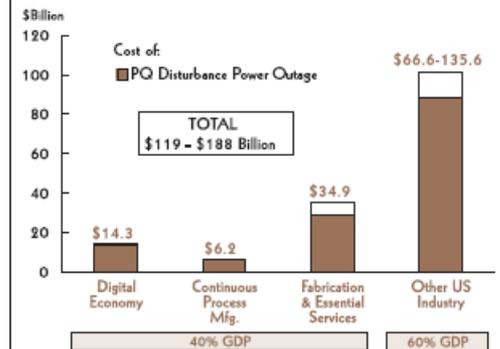
■ Coûts associés variables mais de plus en plus élevés

- Interruptions courtes pour les clients industriels : 1,000 €/kWh
 - → coûts très élevés
- Interruptions longues (plus de 24 heures) pour charges
 - → résidentielles: 5 €/kWh
- Interruptions de moins de 24 heures pour charges
 - → résidentielles: 1 €/kWh

Supplier reputation for cost stability and quality of service are the most important considerations in consumers purchasing decisions



ANNUAL COST OF POWER OUTAGES AND POWER QUALITY DISTURBANCES



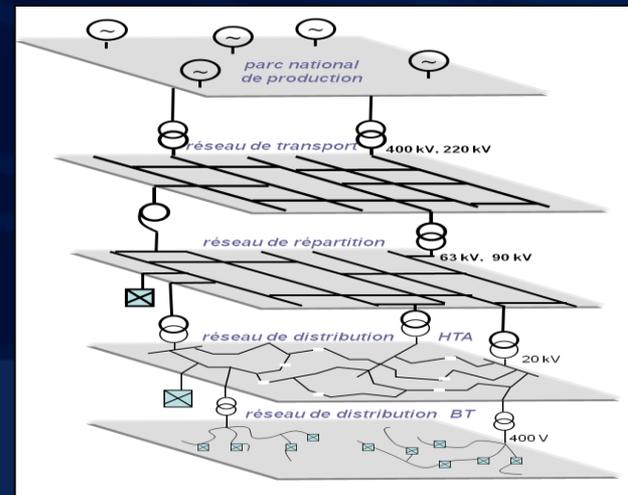
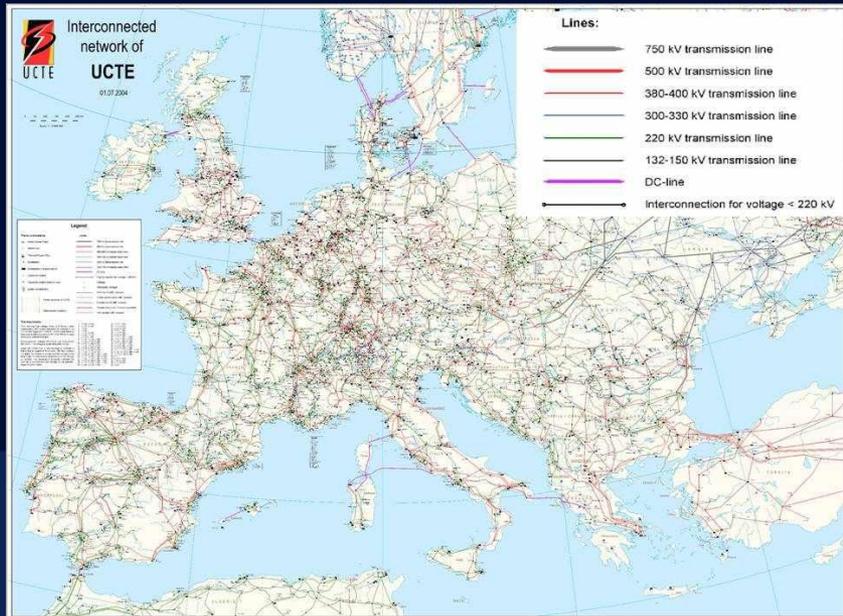
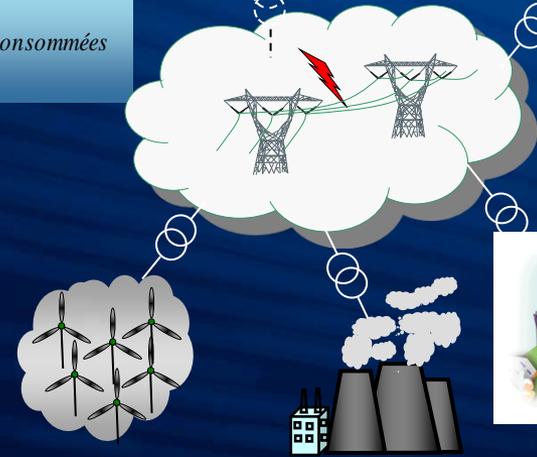
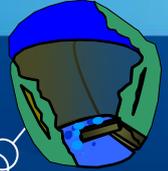
Source: Primen, "The Cost of Power Disturbances to Industrial & Digital Economy Companies"

Les systèmes électriques: mutualisation des sources et des charges

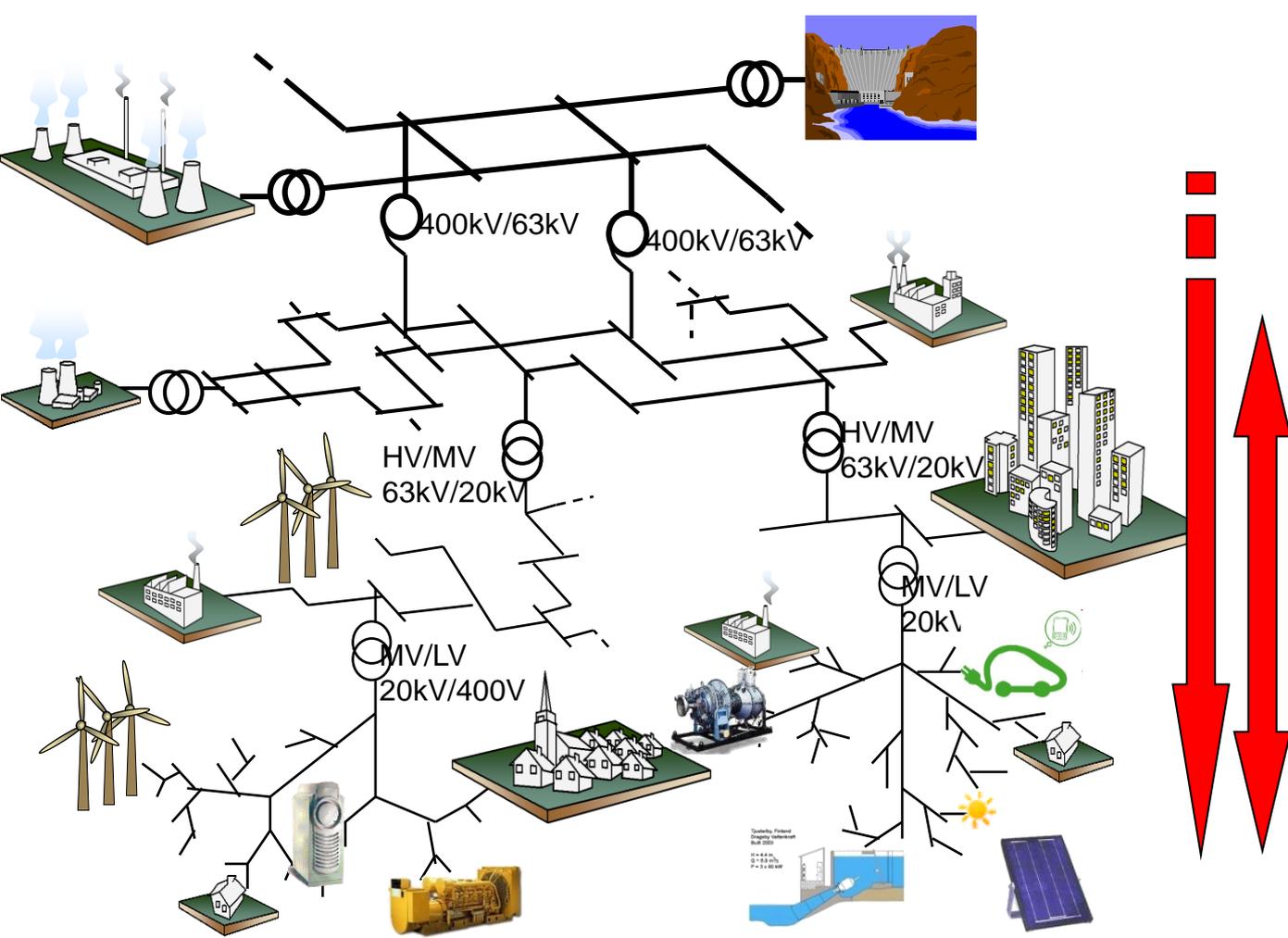
■ Réseaux: facteur d'économie globale

- **Economie** – sûreté - qualité
- **Mutualisation** = foisonnement
 - Donne de la valeur à l'ensemble de ses utilisateurs
 - Fiabilité/coûts optimisés
- **Grand système** = structuration hiérarchique
- Intérêt croissant des **interconnexions**

$$\sum_{i \text{ centrales}} P_{\text{installées}} \leq \sum_{i \text{ charges}} P_{\text{consommées}}$$



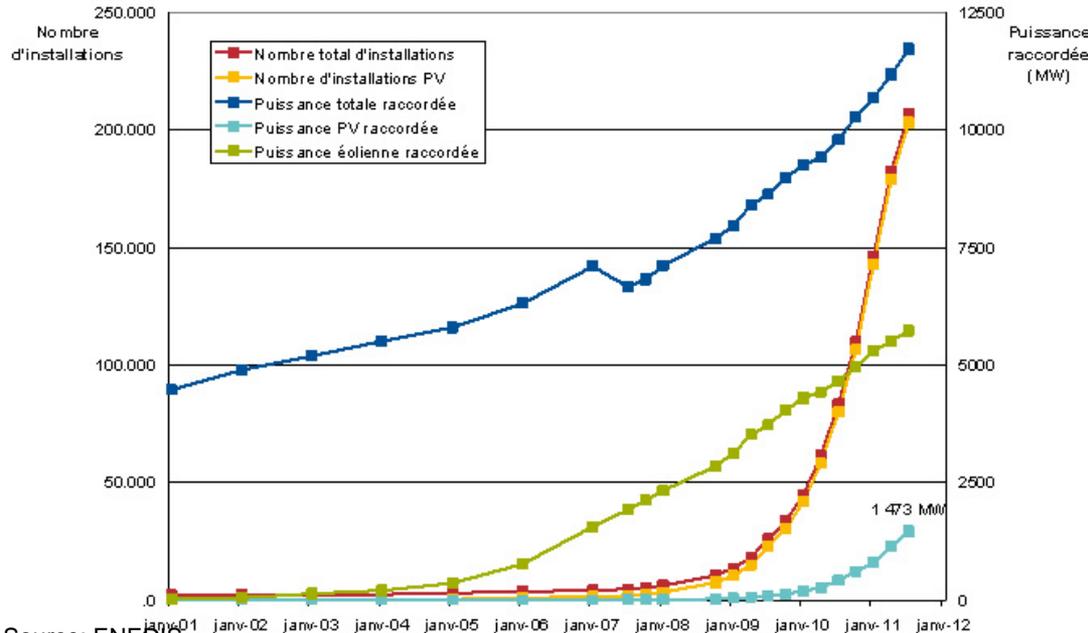
Changement de paradigme...



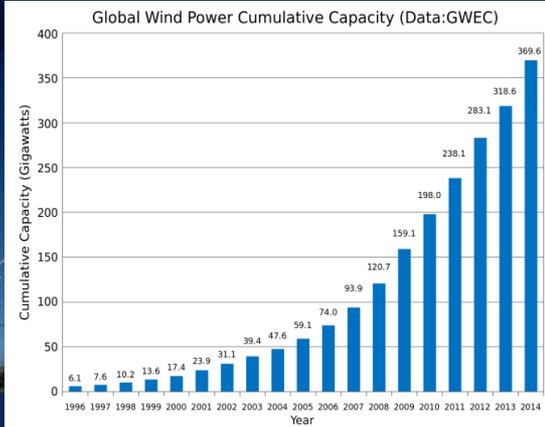
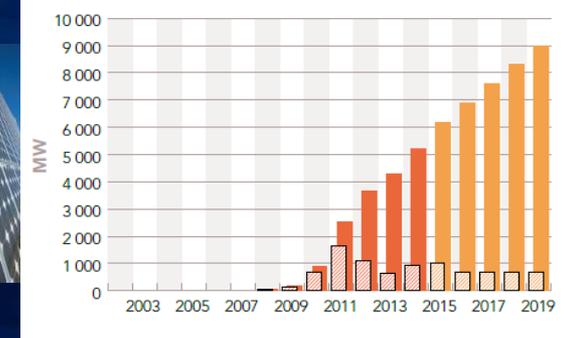
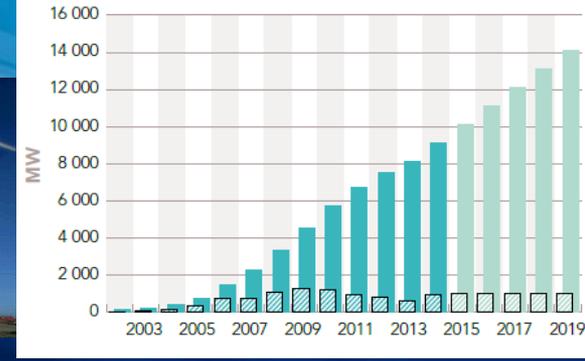
- Impacts positifs et négatifs
- Plupart ENR
- Gestion du patrimoine
- Risque de pannes
- Coût et acceptabilité
- Évolution des réseaux

Evolution Française et mondiale...

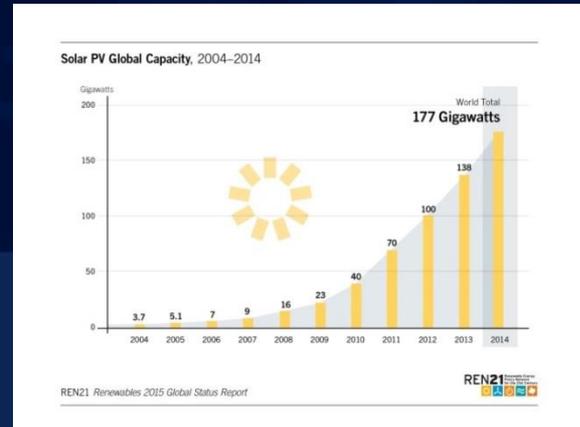
Nombre et puissance cumulée des installations de production raccordées au réseau d'ERDF (données ERDF)



2015: 342406 unités, 19343 MW



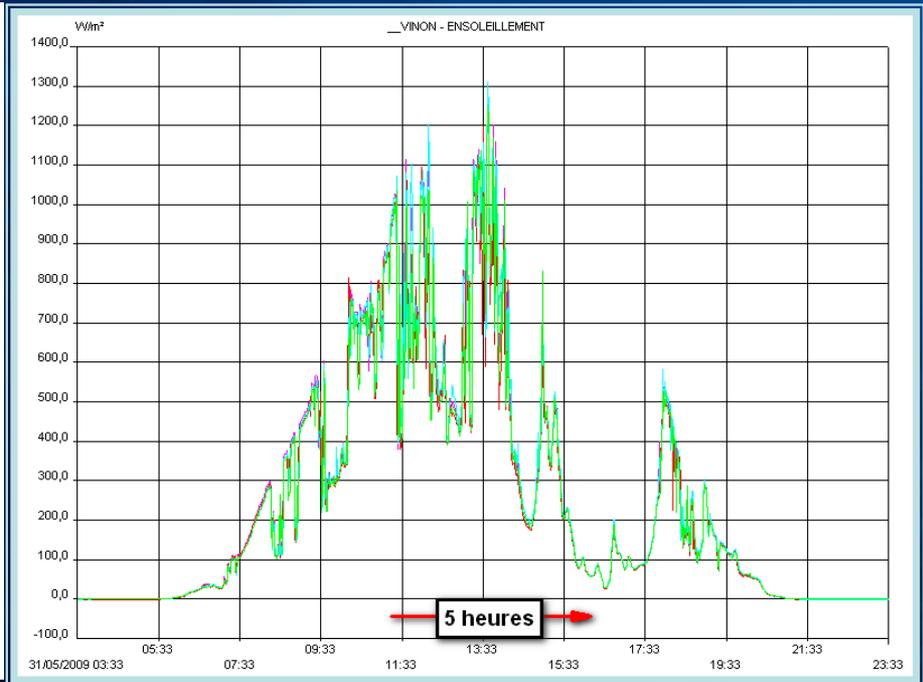
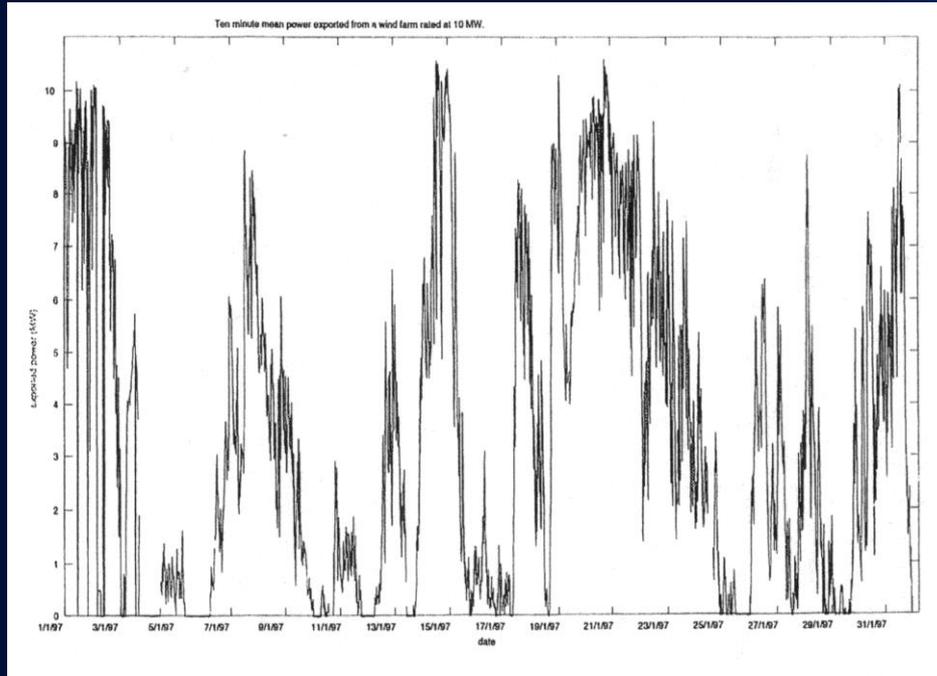
Monde



Intégration de l'énergie intermittente et VEHR

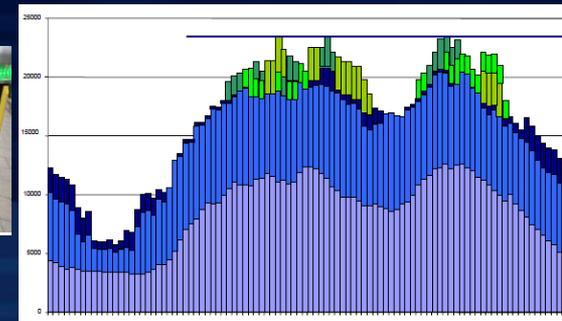
Puissance de sortie d'une ferme éolienne sur 1 mois, RU

Ex : Vinon sur Verdon (31 mai 2009)

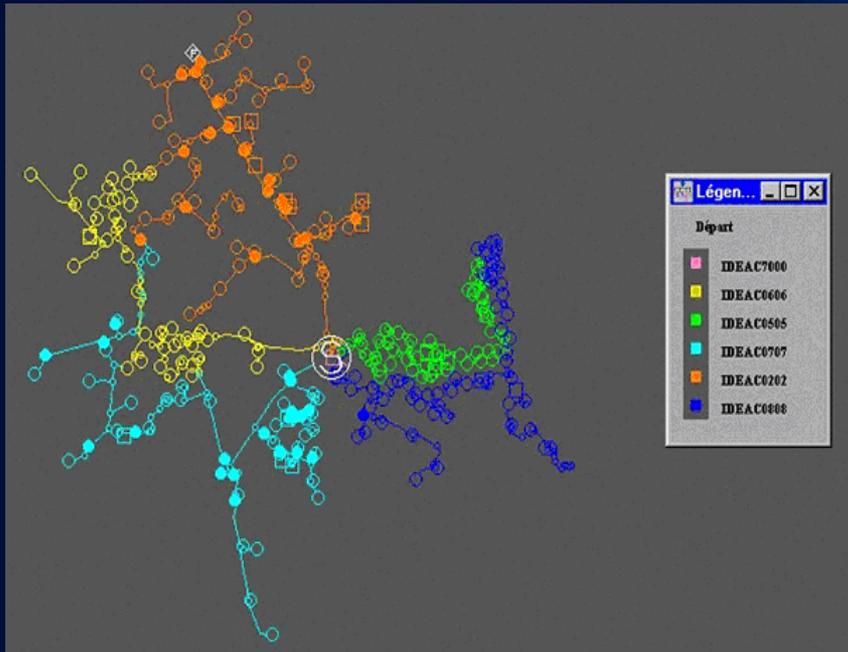


■ VEHR

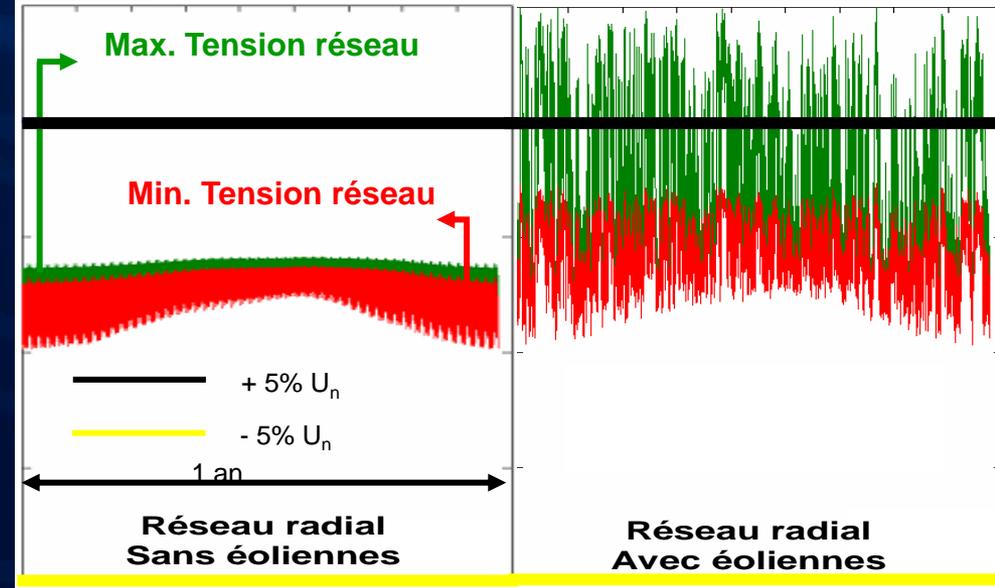
- 1 Mo Bornes de recharges rapides – 43 GW
- Effets stochastiques – géographiques et temporels



Impact sur le profil de tension dans les réseaux de distribution



Impact sur le profil de tension

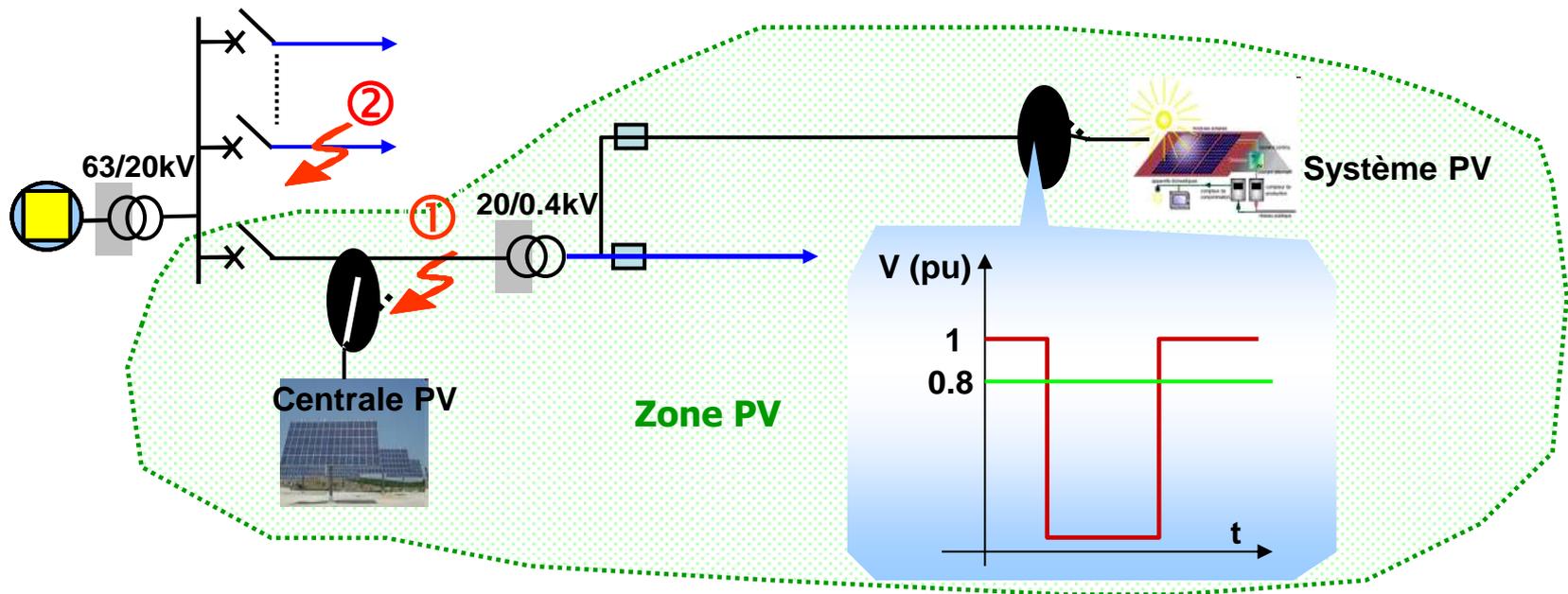


Caractéristiques

- Postes sources : 36 MVA, 63 kV/20 kV
- Deux départ ruraux en secours mutuel
- Etude d'impact de la production éolienne sur le profil de tension
- Test sur un réseau réel

Exemple d'un creux de tension et impact sur la protection de découplage

- Court-circuit réseau → creux de tension → découplage des systèmes PV:
 - Norme DIN VDE 0126-1-1 - PV raccordés en BT (ex: si $115\% V_n \leq V_{pv} \leq 80\% V_n \Rightarrow$ déconnexion en moins de 200ms)



- Déconnexions PV non justifiées pour un défaut sur le départ adjacent
- Risque de perdre une grande quantité de productions PV => Perturbation du réseau

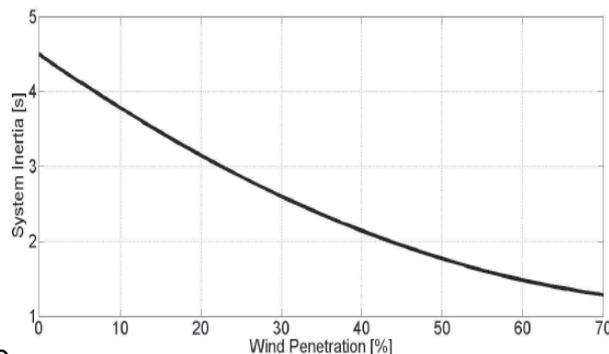
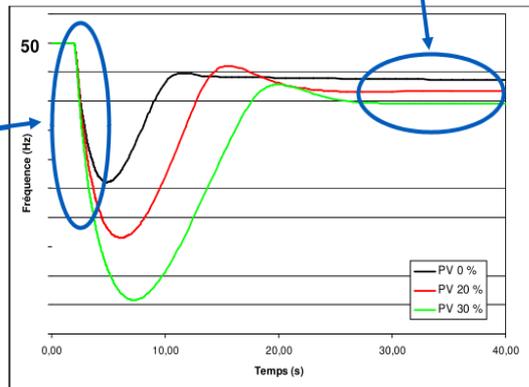
Impact de la production interfacée par des onduleurs sur la stabilité du réseau

Evolution de l'inertie en présence de Production avec interface EP

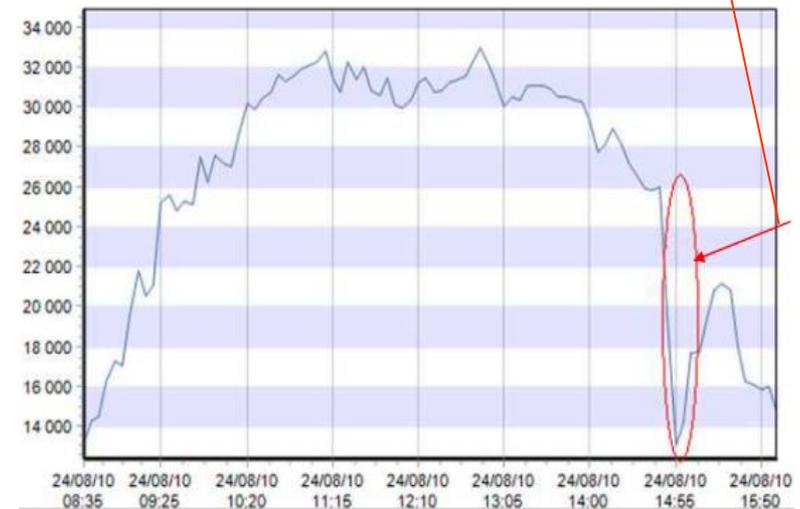
→ moins de groupes classiques

énergie réglante ↓
écart fréquence ↑

inertie du système ↓
gradient fréquence ↑



26 MW de PV avant incident
perte de 12 MW de PV (*)



Perte d'une unité de production: déconnexion anormal d'une partie du PV sur critère de fréquence à 48 Hz au lieu de 46 Hz → Δf plus fort

Référentiel tech: découplage PV lorsque la tension du réseau < 85% de la tension nominale.

(*) Ile de réunion 2010

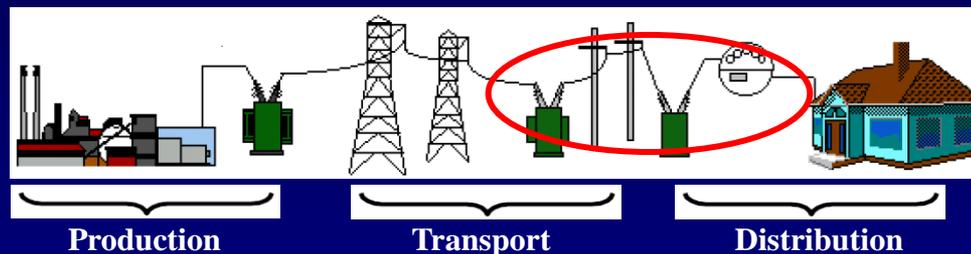
Source: EDF R&D

Baisse continue de l'inertie avec l'éolien (DN)

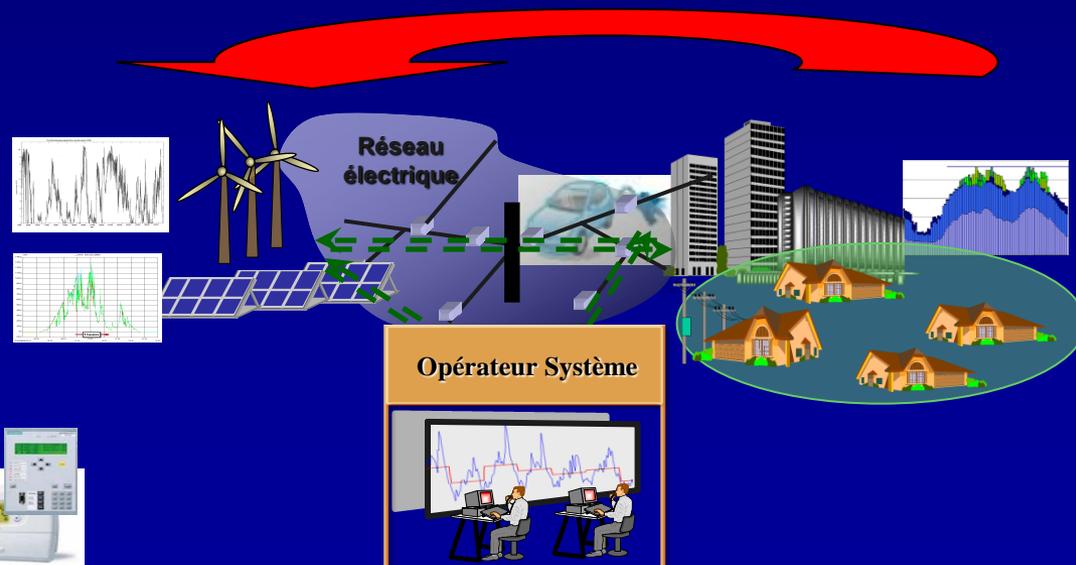
Evolution des réseaux électriques: « Smarter grids »: Définition et Implication

Il n'y a pas une **définition** unique des "SmartGrids!"
Fondamentaux vs. Priorités

- **Chaîne énergétique** des SmartGrids:



- **Concerne plusieurs technologies:**
 - Pilotage de la demande, AMM,
 - Production décentralisée,
 - Capteurs intelligents, intelligence distribuée...
 - SCADA, Observabilité, ...



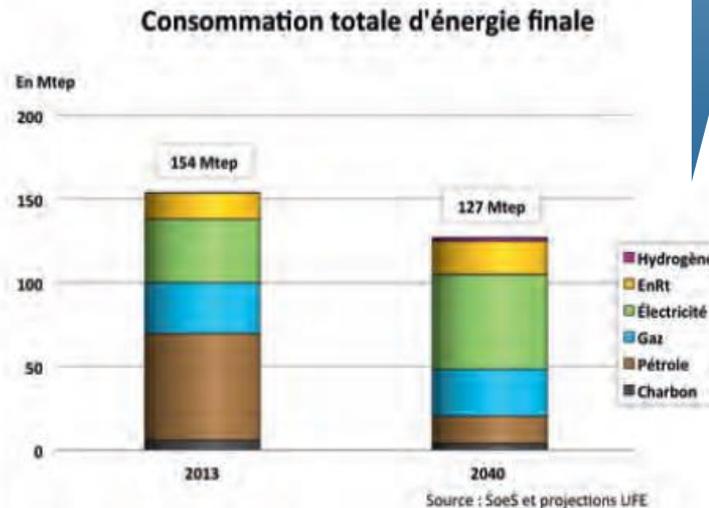
- **AMM** est un élément clé des SmartGrids mais pas le seul



Quelques faits marquants vs. prospectives

2015

- **L'année la plus chaude** jamais enregistrée (1909 la plus froide)
- **Loi transition** énergétique et COP 21
- **US\$ 286 Milliards** d'investissements dans les EnR (monde).
- **Véhicules électriques**: 50% de croissance
- **Plus de 300 millions** de consommateurs ont gagné l'accès à l'énergie (monde) .



2025 - 2050

- Part énergie **nucléaire**:
 - -50 % à h 2025:
- Part **EnR**
 - +23% à h 2020
 - +32% à h 2030
- Réduction **GES** (/1990)
 - 40 % à h 2030
 - Facteur 4 à h 2050
- Réduction part **fossile**
 - 30% à h 2030
- Réduction **consommation**
 - 20% à h 2030
 - 50% à h 2050
- Electricité liée au **numérique**
 - +50 TWh à h 2040

Les tendances...

Les systèmes énergétiques seront :

PLUS ELECTRIQUES

- Demande **d'électricité** tirée par la "décarbonation" et les reports et nouveaux d'usages, les dispositifs intelligents, ...
- **2X** croissance demande Elec/énergie à h 2040



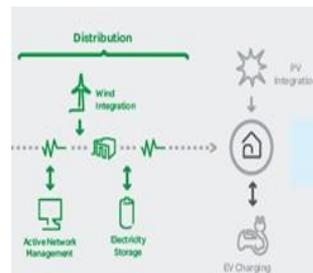
PLUS CONNECTES

- **Internet des objets** vont connecter au moins 50 Mrds d'objets dans les 5 prochaine années



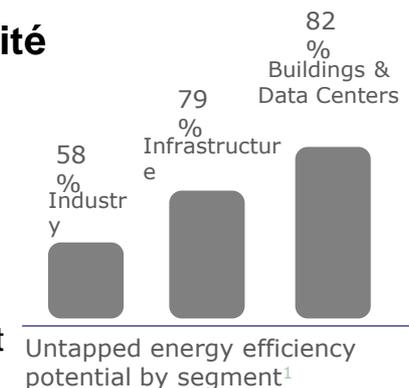
PLUS DISTRIBUTES

- Raccordement **énergies décentralisées** proches de l'utilisateur, dispersées, BEV/TEV, microgrids, gestion locale de l'énergie, consomm'acteur, ...
- **70%** des nouvelles productions seront des EnR à h 2040



PLUS EFFICACES

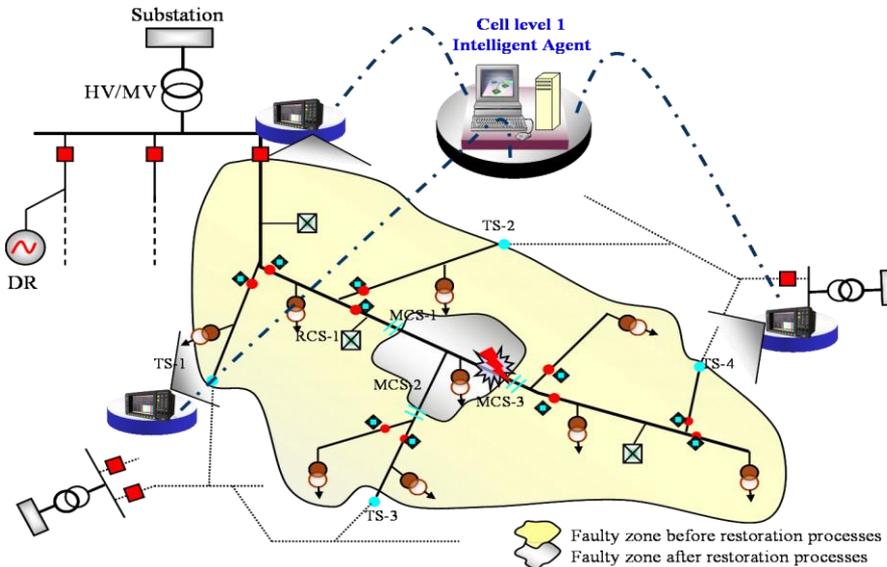
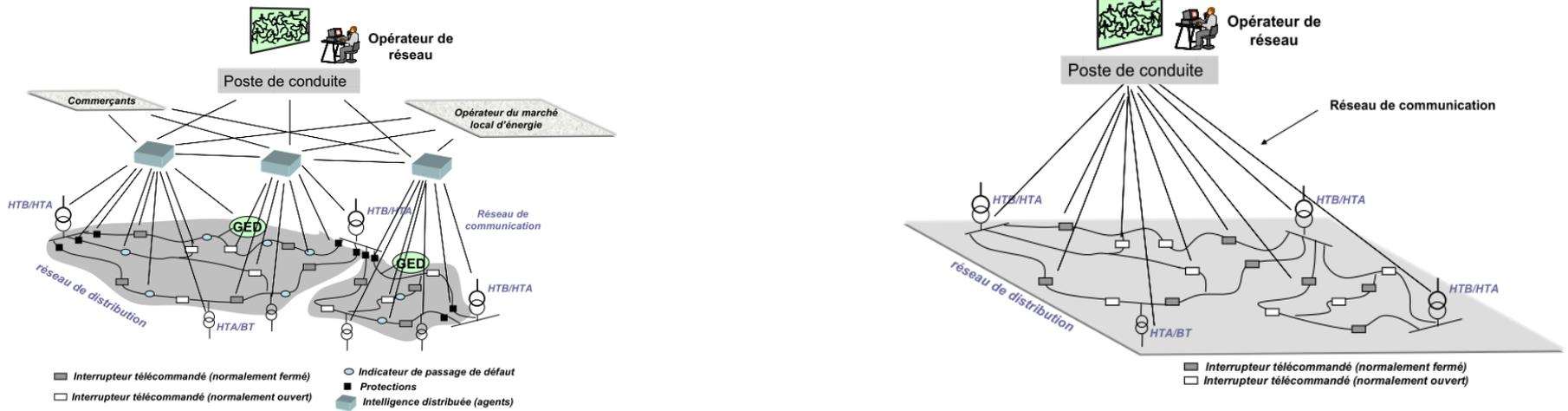
- **2/3** du potentiel **d'efficacité énergétique** encore inexploités
- Bâtiments, industrie & infrastructure, utilisateurs finaux et les *data centers* cherchent à améliorer les performances, l'efficacité et l'empreinte carbon



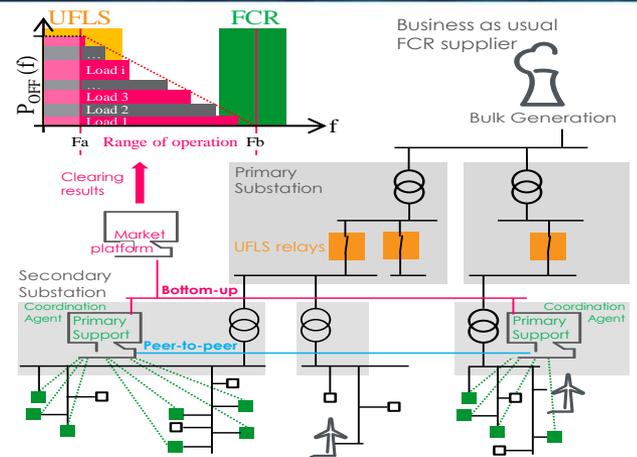
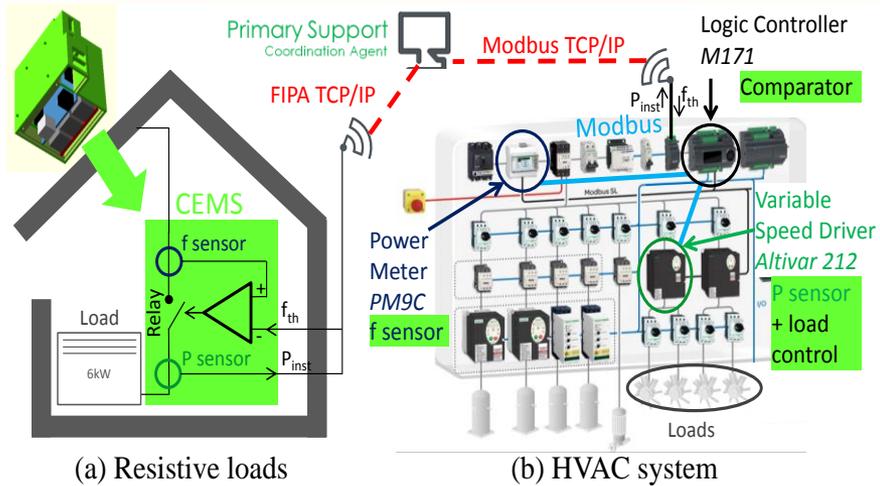
Les tendances dès à présent...

- **Vers une revanche** d'Edison (retour du continu)?...
 - EnR et rendement
- **Emergence d'acteurs locaux** et « communautés » autour de la production locale de l'énergie et des nouveaux usages
- **Changement du paradigme** économique et technique:
 - De la *vente de l'énergie* sur la base du *cout/prix marginal* au paradigme d' *offre de service*
 - De la consommation *passive* à la *synchronisation* de la consommation sur la disponibilité de l'énergie (variabilité)
 - Des *micros grids* à la mise à disposition de *blocs d'énergie* à l'échelle locale
- **Gestion des « poches/cellules »** réseau à l'échelle locale
- Les défis:
 - Quelle est la valeur de la **mutualisation** ? Vision d'un réseau jouant le rôle de « back up » ? Revoir les règles de partage – cout d'accès au réseau,
 - Liquidité d'un **marché** vs. Taille du marché?
 - Quels **besoins** pour la continuité de service?

Le réseau auto-cicatrisant: illustration d'une décentralisation de l'intelligence dans le réseau de distribution

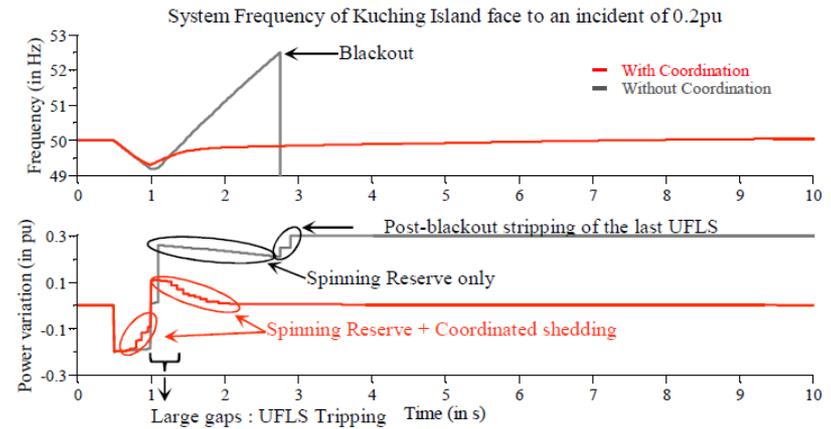
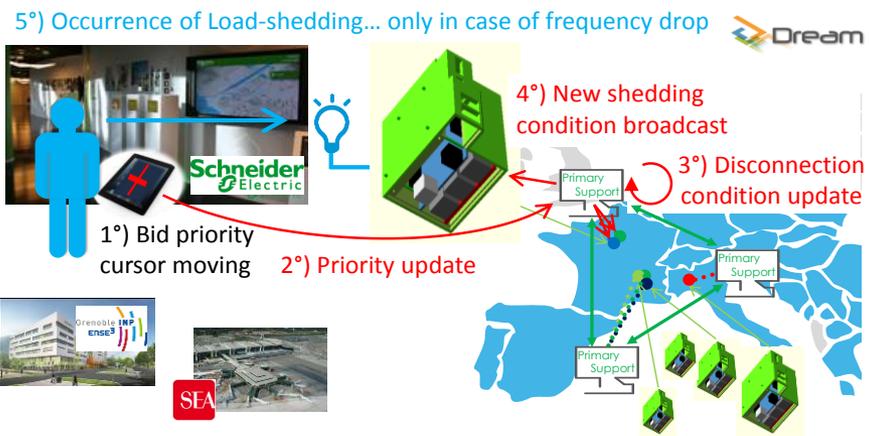


Innovative strategy for stability of microgrids



Large scale architecture

CEMS (customer energy management services architectures)

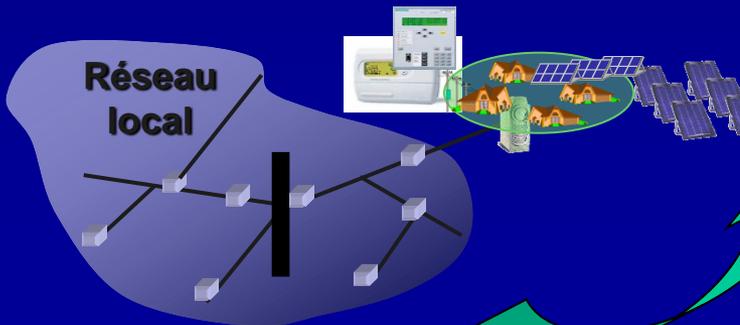
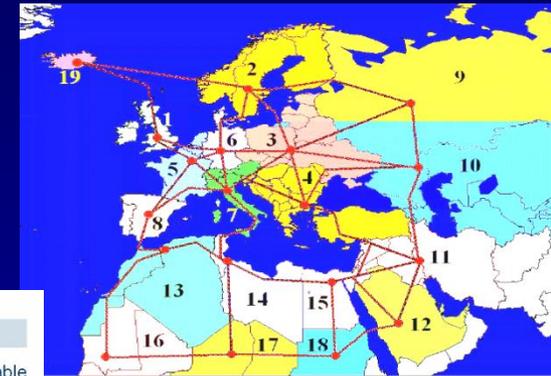
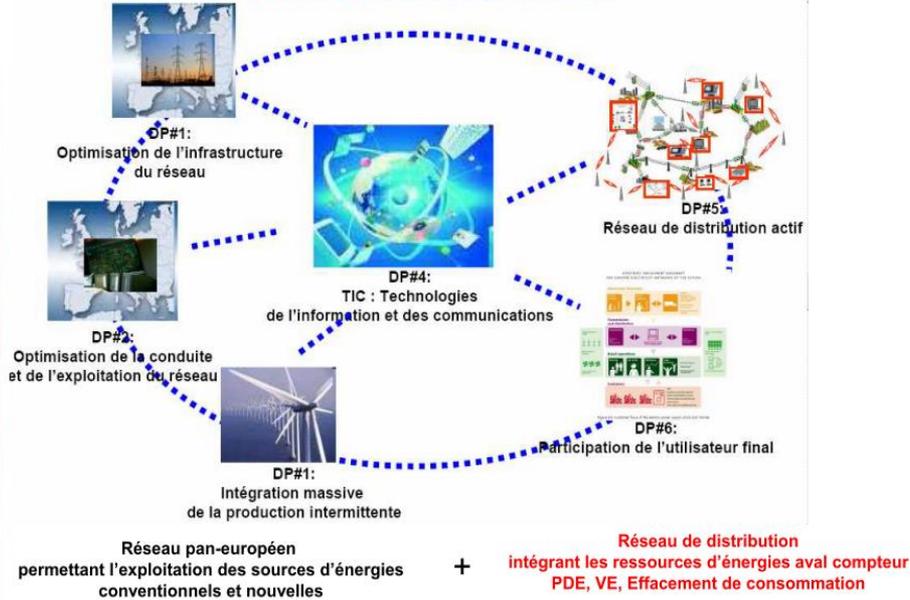


Targeted step-by-step droop curve

Source: PhD: G. Lebel
G2ELab et Schneider Elec.

Vision système coopérative: des microgrids aux supergrids

Sources: SDD from the Smart Grids ETP



Conclusion

- Système et réseau électrique
 - Un **bien commun**, un facteur d'économie globale
 - Système **complexe**, vulnérabilités inhérentes
 - Un système **vital** pour nos économies moderne
 - Nouveaux **défis**:
 - Montée rapide des EnR variables, VEHR, consomm'acteur, éclatement de la chaîne, résilience, ...
 - Nécessité d'une **vision système**: optimisation globale
 - Un **atout** dans la réflexion énergétique: **transition système** et non pas par « segment ou filère»
 - Champs de développement **scientifiques et technologiques**
 - Plus d'**intelligence**
 - Complémentarité des actions **locales** et **globales**
 - intelligence par la **coopération**
 - **Flexibilité, résilience** et modèle **économie**

