

# Innovations et nouveaux usages de l'électricité

**Yannick Perez**

CentraleSupélec

Chaire Armand Peugeot

[yannick.perez@centralesupelec.fr](mailto:yannick.perez@centralesupelec.fr)

# Innovations dans le secteur électrique

- 1ere vague : CCGT : 1980
- 2<sup>e</sup> vague : Eolien : 2000
- 3<sup>e</sup> vague : PV : 2010
- 4<sup>e</sup> vague : Voitures Electriques 2012
- 5<sup>e</sup> vague : Decarbonisation – Digitalisation –  
décentralisation - des usages... 2020?

Figure 4.18 : Parc charbon installé\* au 1<sup>er</sup> janvier 2016

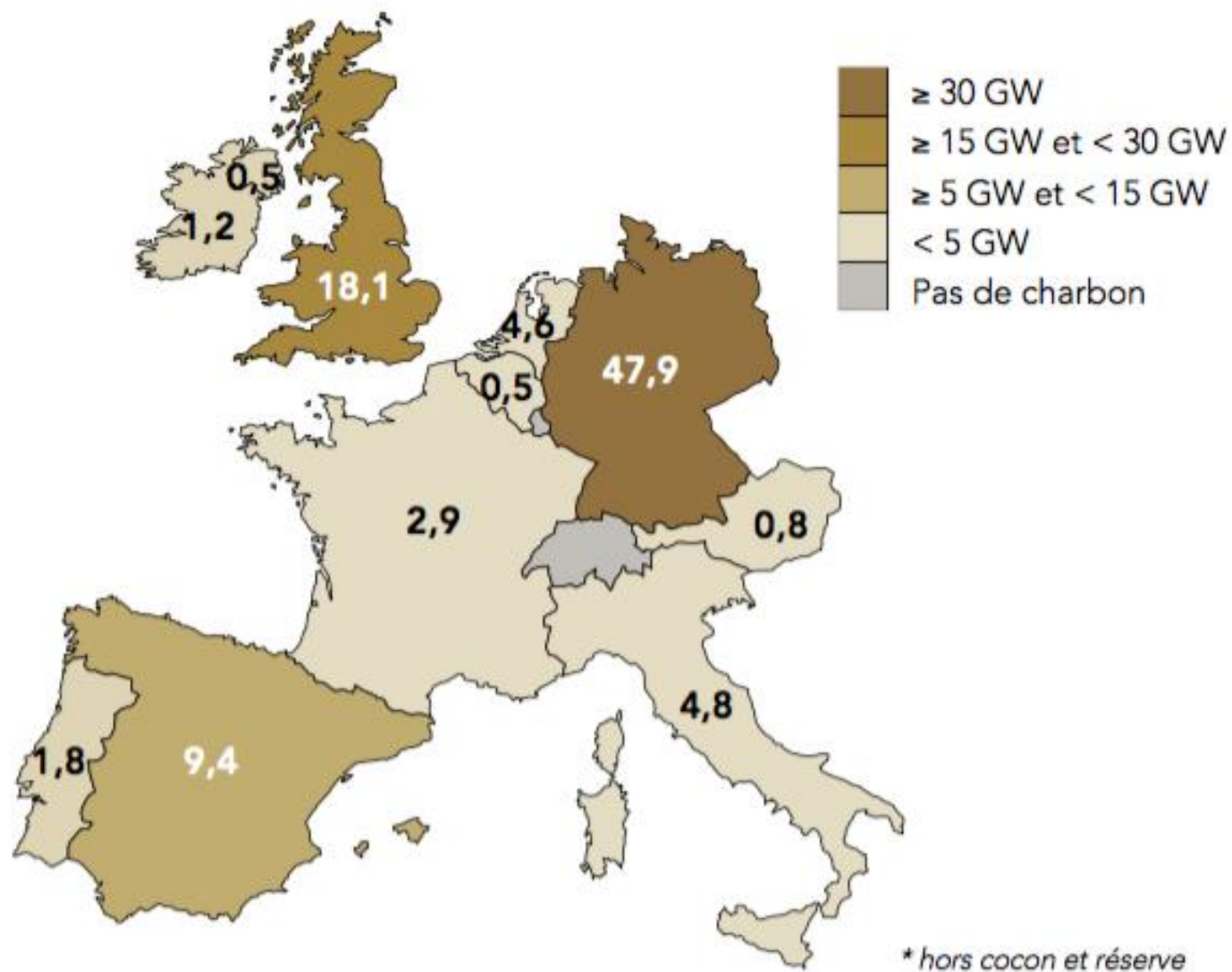


Figure 4.16 : Parc nucléaire installé au 1<sup>er</sup> janvier 2016

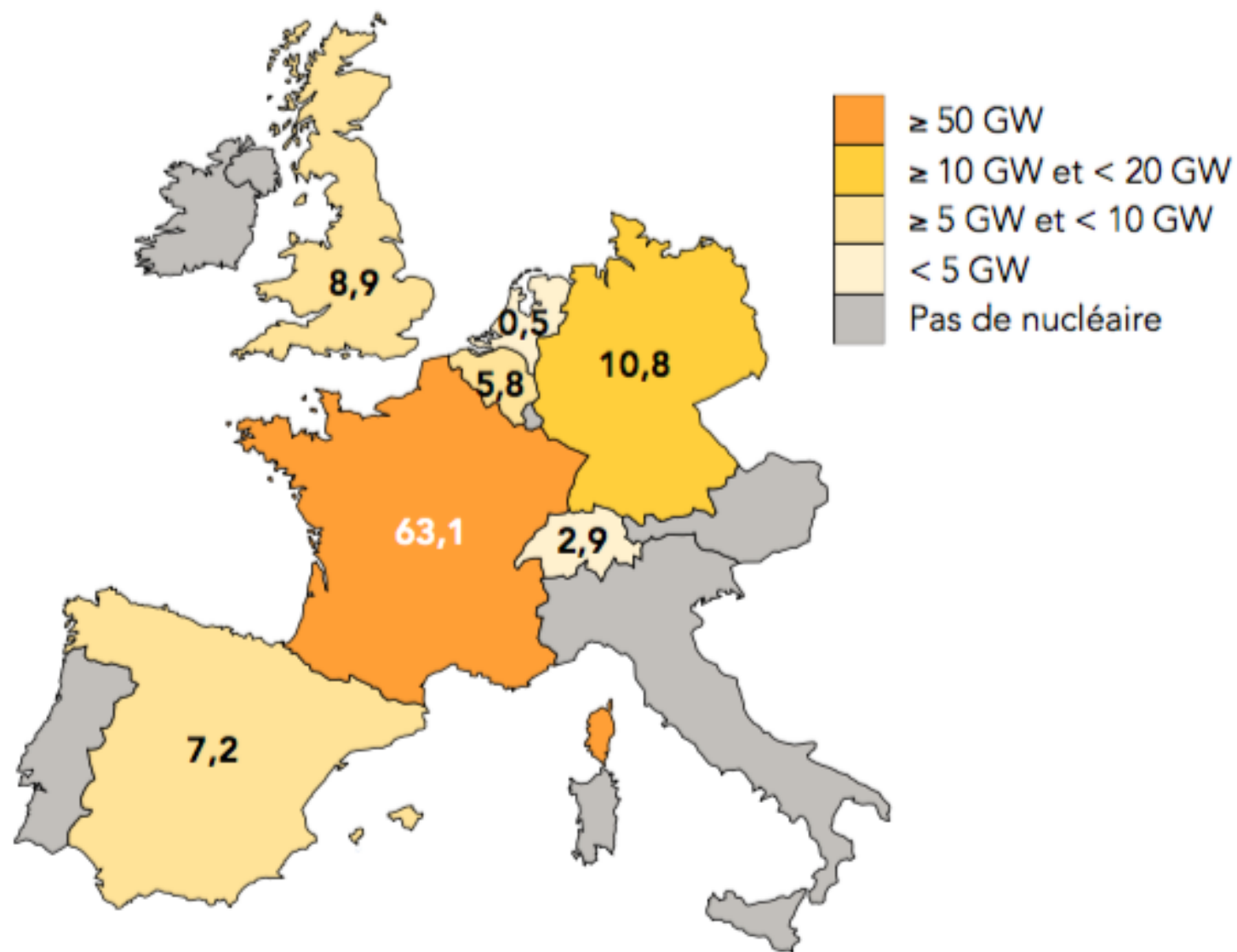


Figure 4.20 : Parc de cycles combinés au gaz installé\*  
au 1<sup>er</sup> janvier 2016

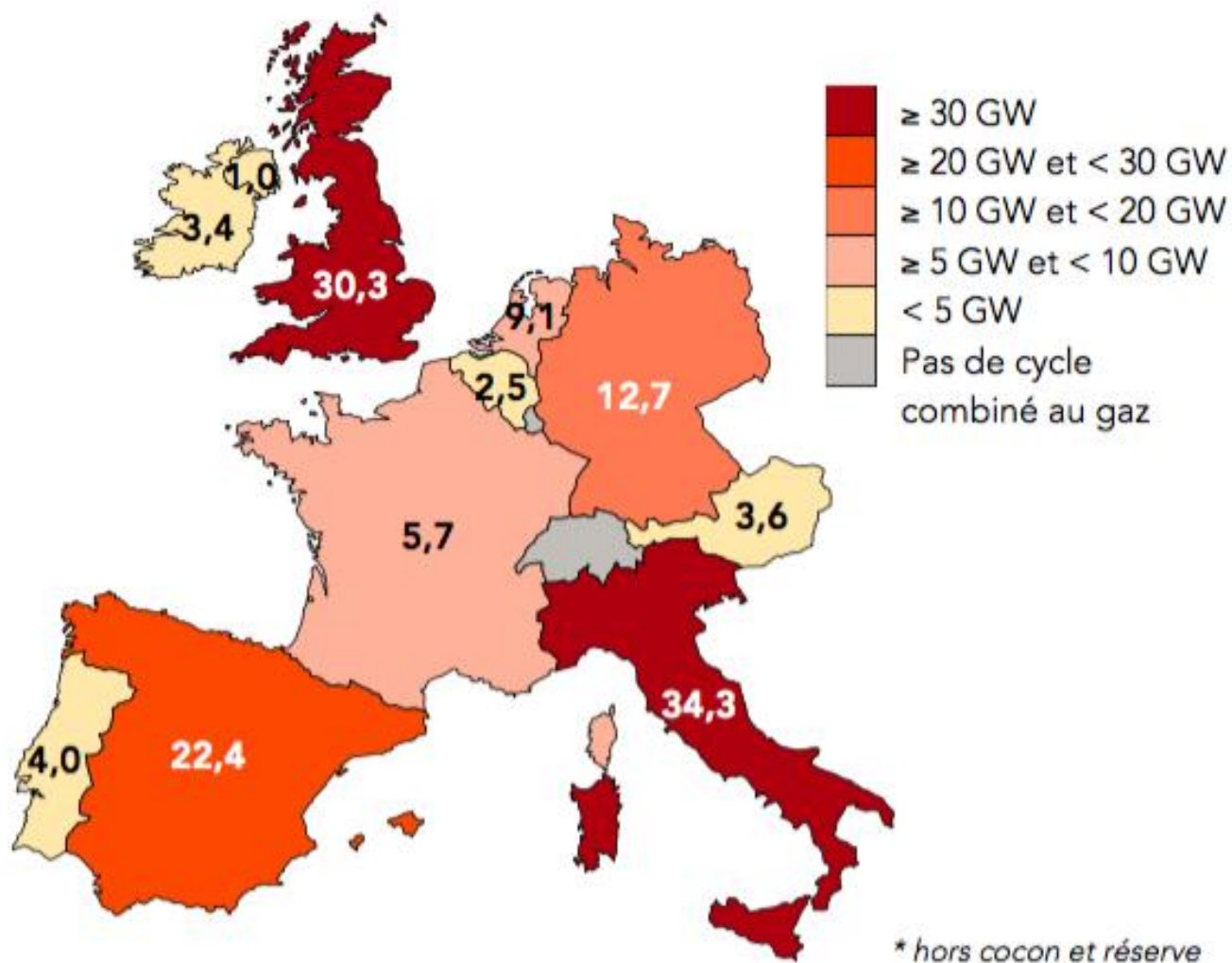


Figure 4.10 : Parcs éoliens installés au 1<sup>er</sup> janvier 2016

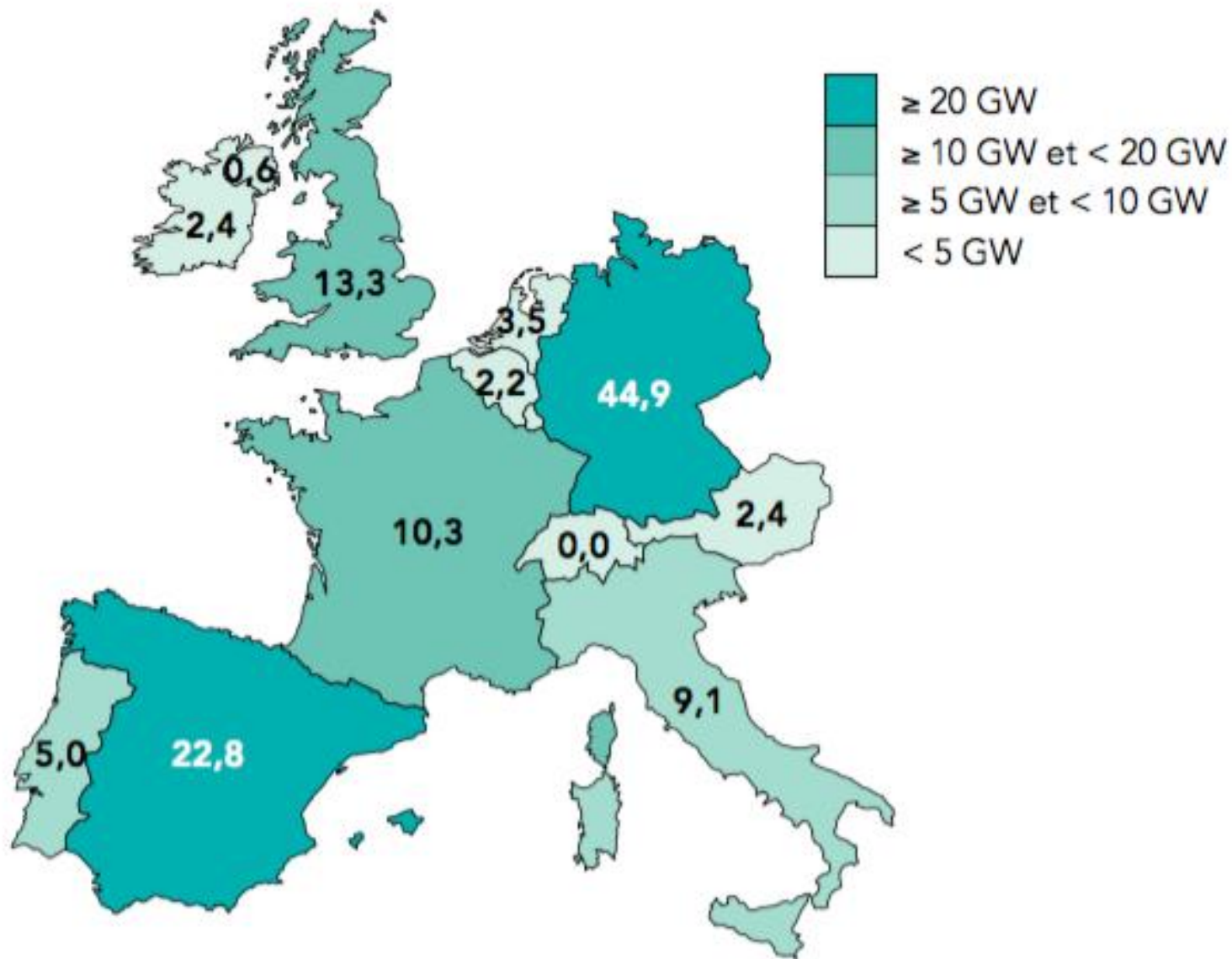
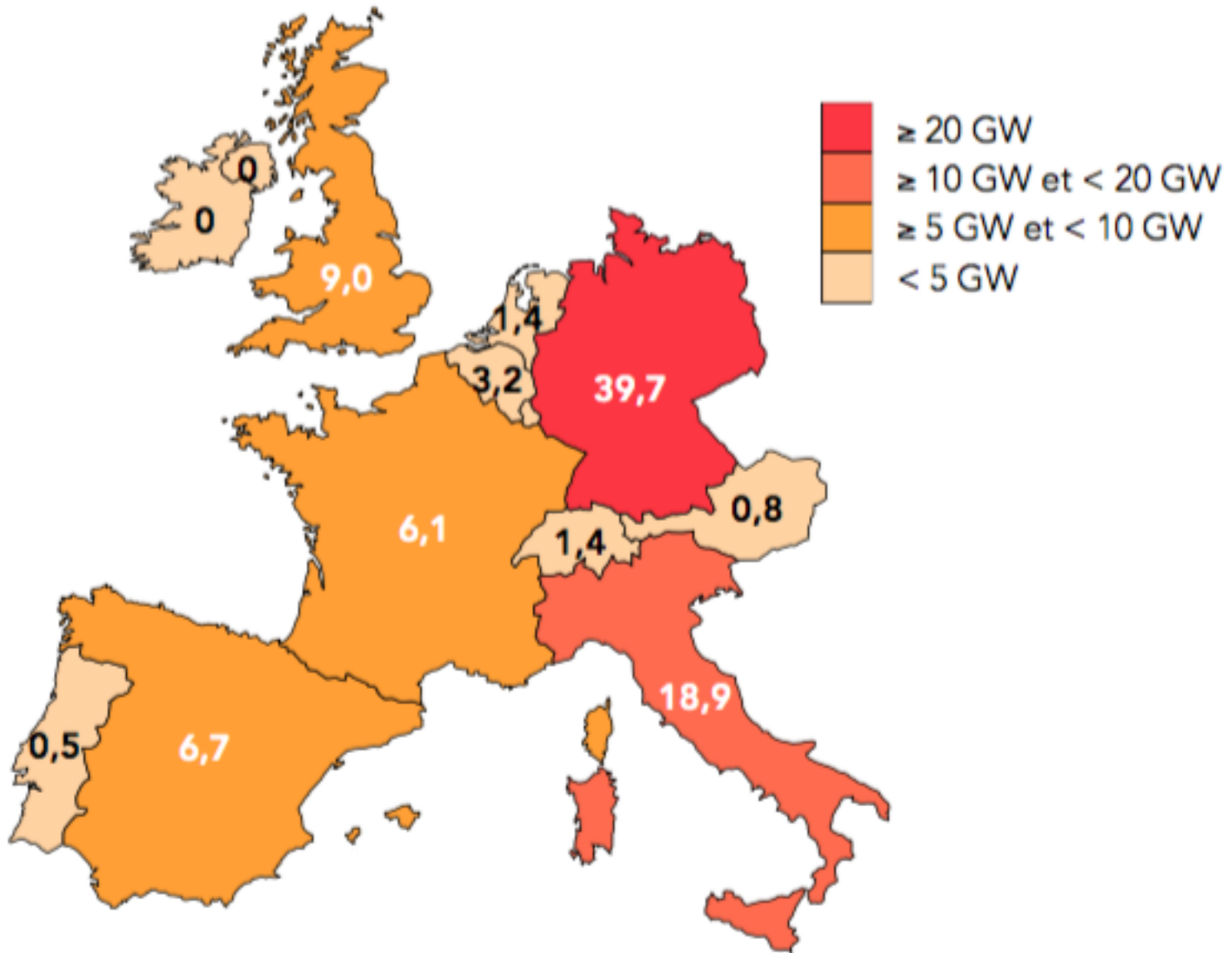
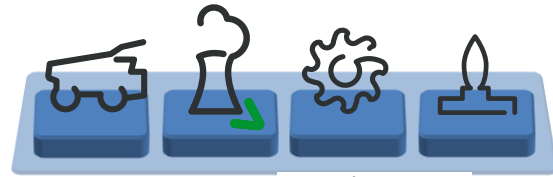


Figure 4.11 : Parcs solaires installés au 1<sup>er</sup> janvier 2016





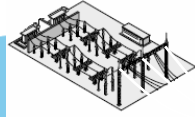
De l'ancien au nouveau monde  
pour le futur



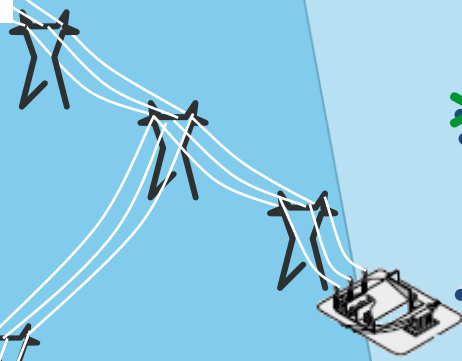
Production



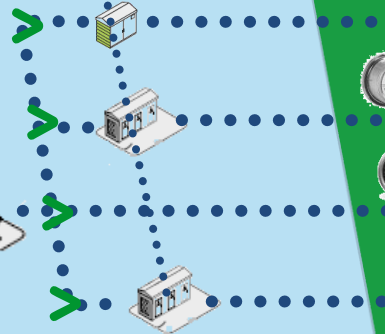
Productions decentralisees 95%



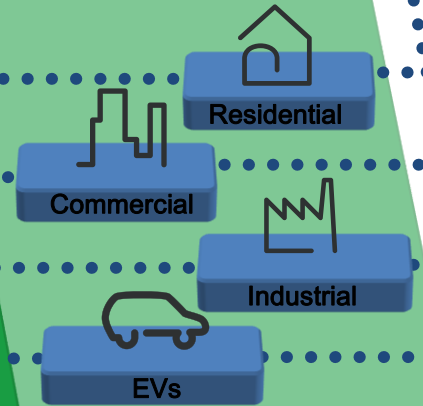
Frequency management opportunities



Transmission



Distribution



Massive RES (5%)



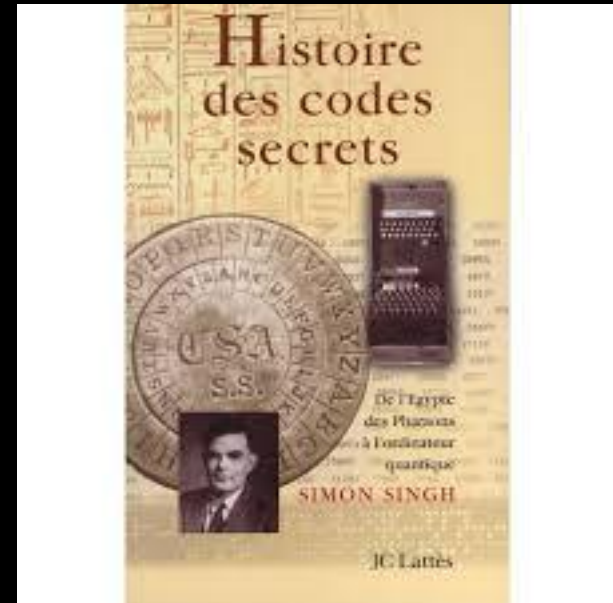
Tensions





# Focus sur la Blockchain

# Blockchain



= moyens +/- sécurisés, rapides et coûteux  
d'enregistrer et protéger une transaction

# Concepts

- Une manière «classique» de faire une transaction:



un fonctionnaire qui a l'autorité (légale) de dire que les transactions sont correctement signées, vraies et de faire un serment (= promesse) officiel

=> "L'homme au milieu" l'intermédiaire enregistre ces transactions dans un livre / un grand registre

Notaire - Banque - société de lecture de compteurs ...

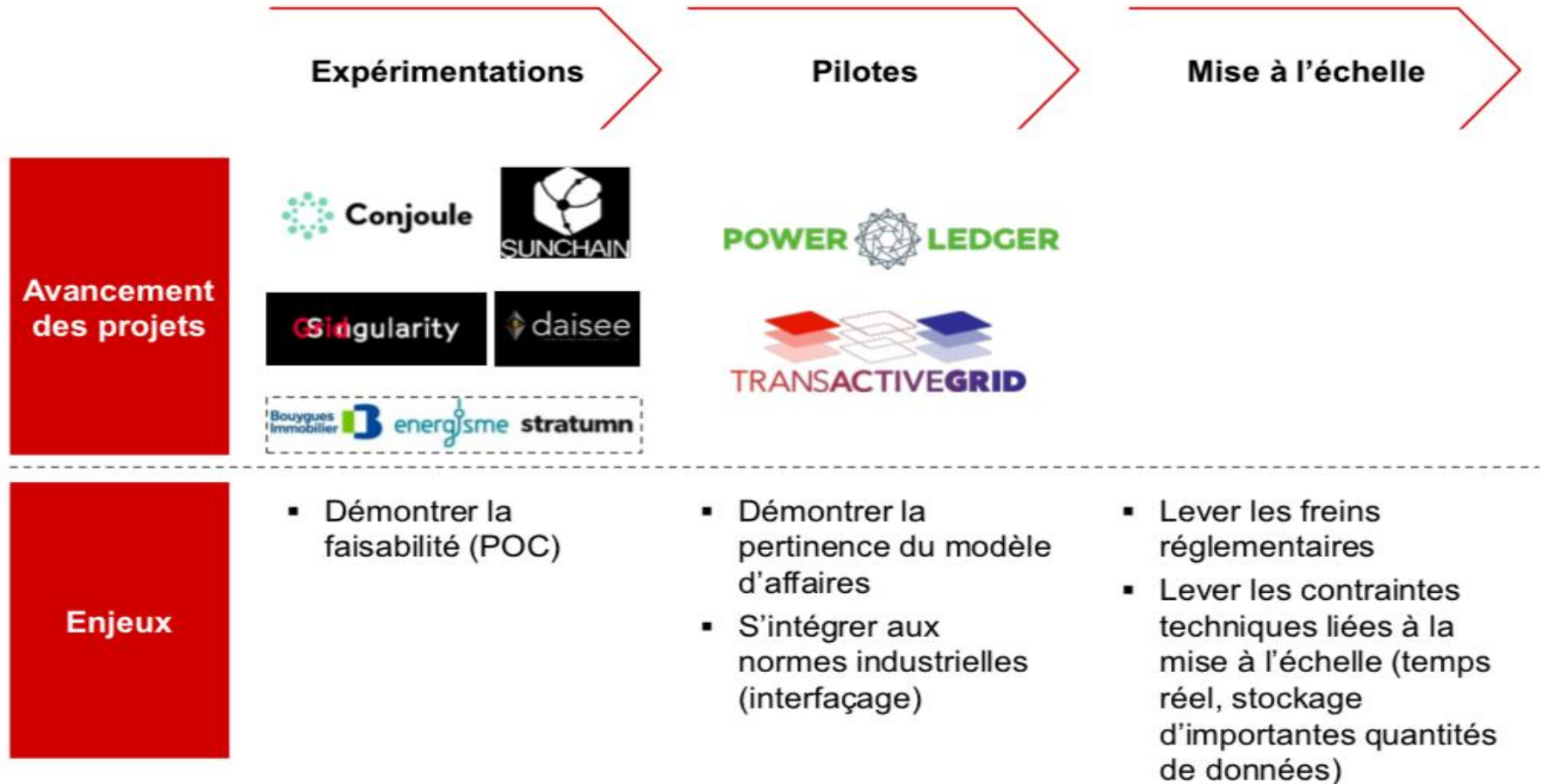
# Familles de solutions décentralisées

	Public No centralised management	Consortium Multiple Organisations	Private Single Organisation
Participants	Permissionless <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Anonymous</li> <li>▪ Could be malicious</li> </ul>	Permissioned <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Identified</li> <li>▪ Trusted</li> </ul>	Permissioned <ul style="list-style-type: none"> <li>- Identified</li> <li>- Trusted</li> </ul>
Consensus Mechanisms	Proof of Work, Proof of Stake, etc.. <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Large energy consumption</li> <li>▪ No finality</li> <li>▪ 51% attack</li> </ul>	Voting or multi-party consensus algorithm <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lighter</li> <li>▪ Faster</li> <li>▪ Low energy consumption</li> <li>▪ Enable finality</li> </ul>	Voting or multi-party consensus algorithm <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lighter</li> <li>▪ Faster</li> <li>▪ Low energy consumption</li> <li>▪ Enable finality</li> </ul>
Transaction Approval Freq.	Long Bitcoin: 10 min or more	Short 100x msec	Short 100x msec
USP	Disruptive Disruptive in the sense of disintermediation. No middle men needed. Unclear what the business models will be	Cost Cutting Can radically reduce transactions costs. Similar to SAP in the 1990s. Extreme cost cutting opportunities. Less data redundancy, higher transactions times, more transparency	Cost Cutting Can radically reduce transactions costs. Similar to SAP in the 1990s. Extreme cost cutting opportunities. Less data redundancy, higher transactions times, more transparency

# Applications potentielles?

- **Micro-réseaux, réseaux privés**
- **Peer to Peer**
- **Vente de certificat blancs / verts**
- **Certificat d'origine / de production / de consommation / de non consommation**
- **Solution de rooming pour les VE à travers l'Europe**
- **...**

# Revue par E-cube 2018



# Secteur de l'énergie

## Quelques exemples

### – Solarcoin

- Actif numérique (token appelé SLR) créé comme un moyen de récompenser la production d'électricité solaire mondiale
- Les propriétaires de PV reçoivent 1 SLR / MWH
- SLR peut être échangé avec d'autres devises crypto ou \$ - € (0,28 \$ / SLR en avril 2018)
- C'est une crypto monnaie



# Secteur de l'énergie

## Quelques exemples

- Conjoule
  - Leur premier service est un marché local de l'énergie qui permet à Providing Homes (maisons productrices d'énergie renouvelable) de vendre leur surplus d'énergie directement aux foyers et organisations locales.
  - 2 pilotes à Kettwig et à Mülheim (Allemagne)
  - Parmi les premiers consommateurs d'énergie pour le pilote, il y a une école et une compagnie d'eau
  - Les consommateurs peuvent choisir librement, quel consommateur ils veulent fournir avec leur surplus d'énergie générée.

# Architecture de la solution Sunchain

---



## Les choix technologiques de Sunchain

---



- Efficacité et sobriété énergétique
- Indépendance, pas de cryptomonnaie
- Convergence et pérennité des outils

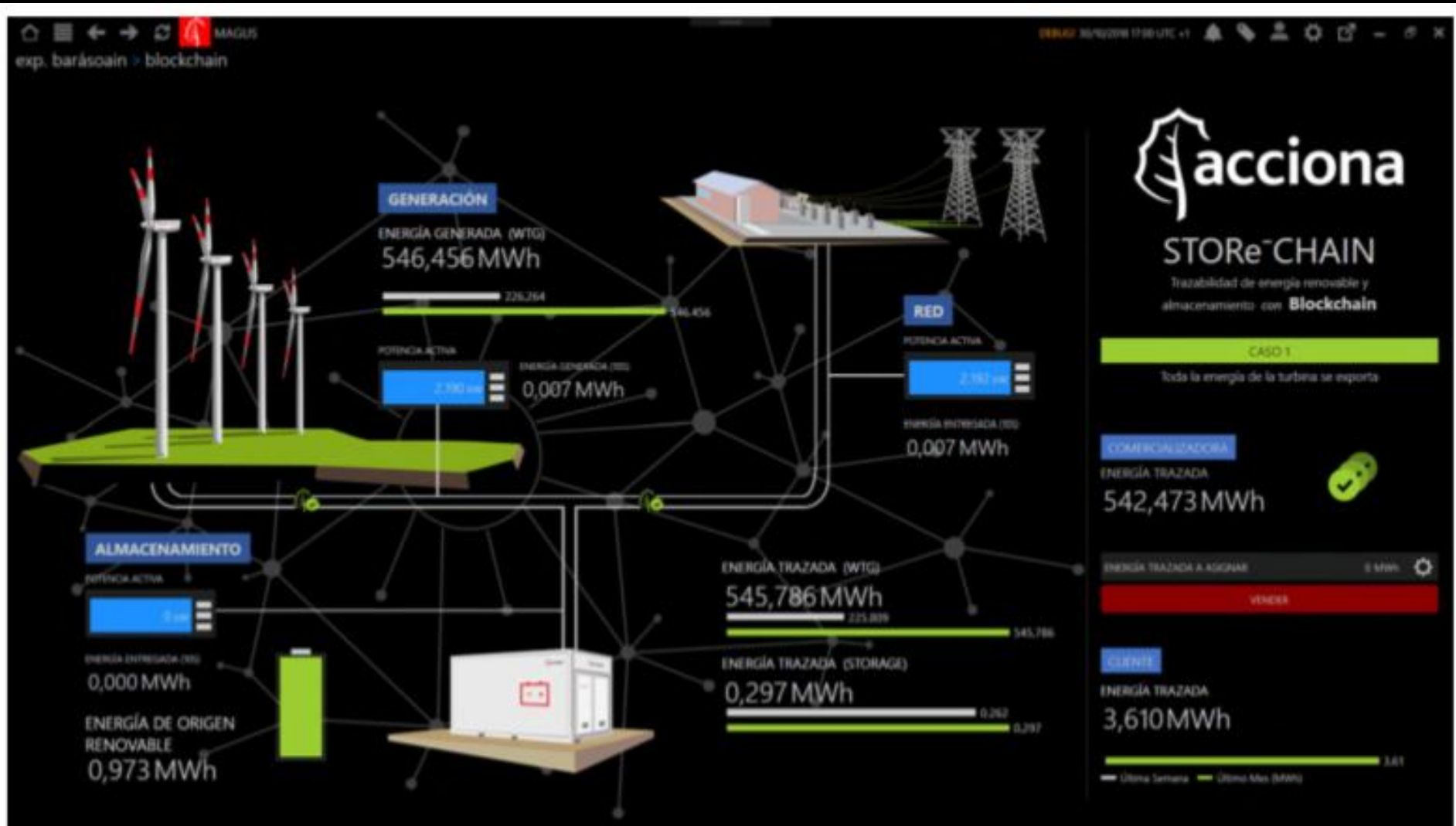


**HYPERLEDGER**



La « blockchain » est un concept pluriel. Elle peut avoir différentes caractéristiques techniques (blockchain publique ou consortium) et déployer différents types de consensus

# Acciona



# Oslo to Rome project



OSLO  ROME

ONE SINGLE E-CHARGING NETWORK  
ACROSS ALL OF EUROPE BASED ON  
BLOCKCHAIN TECHNOLOGY.



#OSLO2ROME

Additional

# Rôle du mineur

- Le mineur a un rôle clé:
  - Il / elle doit vérifier si la transaction est correcte
    - Garanti l'origine des «biens» en parcourant la chaîne des blocs
    - Pour cela il/elle conserve l'entièreté du registre
  - Il/elle collecte les transactions pour les mettre dans un bloc
  - Qui devrait être incité à jouer correctement au jeu
  - À qui nous ne faisons pas confiance (a priori)

Pour respecter ces exigences, il y a 3 murs de protection:

- Le mineur est choisi au hasard dans une communauté de mineurs
- D'autres mineurs approuvent le travail effectué en ajoutant le bloc nouvellement créé à leur propre blockchain
- Seule la blockchain la plus longue est valide



**Consensus**

# Choix d'une blockchain

1. Besoin de partager une base de données commune et toujours à jour
2. Impliquant plusieurs acteurs/parties
3. Les parties impliquées ont des intérêts divergents et/ou ne sont pas dignes de confiance et/ou risque d'être attaquées (cyber)
4. Les règles qui régissent les participants sont identiques et ne changent pas régulièrement
5. Besoin d'un archivage immuable

Alors une blockchain est la solution

Soit via une chaîne de bloc privée (Axa, Bosch, IBM ...) => proof of stake

soit via une chaîne de bloc public => proof of work

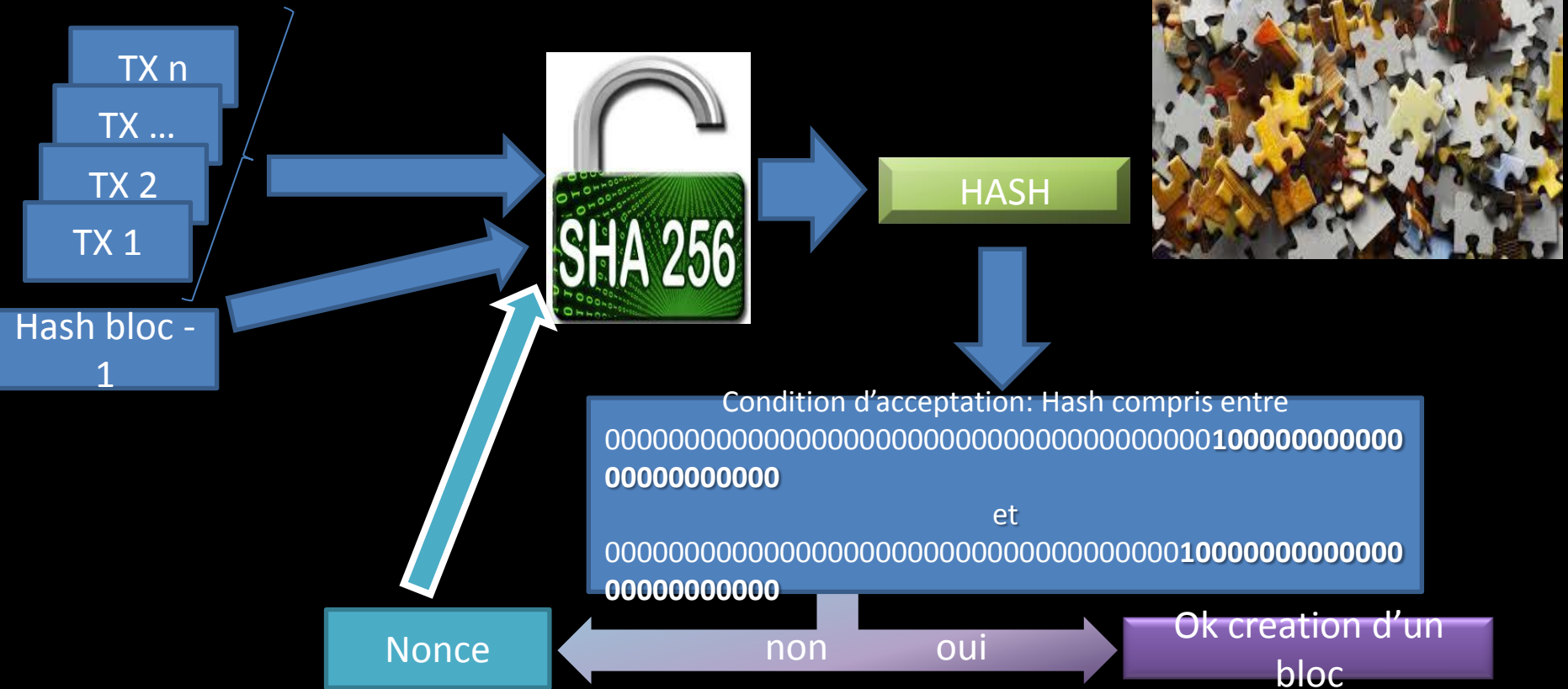


# Preuve de travail

- Principe
  - Résoudre un puzzle mathématique sans connaître l'image de départ
  - Lorsque le mineur réussit, il reçoit une incitation (par exemple 12,5 Bitcoin sont créés) en plus des frais de transaction
- Avantages
  - Simple à mettre en œuvre
  - Très efficace quand les mineurs sont de parfaits inconnus
- Désavantages
  - Enorme consommation d'énergie
  - Encourage la création d'équipements spécifiques (pas plus dans la philosophie d'utilisation des équipements existants)
  - La probabilité de succès (création d'un bloc) est une moyenne par ex. toutes les 10 minutes
  - La validation est créé sur base de la chaine la plus longue. Donc il faut attendre un certain nombre de bloc (par ex 6)

# Preuve de travail

- Comment ça fonctionne= chiffrement par le Hash



# Preuve d'enjeu

- Principe
  - Désigné au hasard
  - Au plus un mineur a des intérêts dans la chaîne (stake), au plus il est susceptible d'être sélectionné
- Avantages
  - Peu énergivore
  - Particulièrement efficace quand les mineurs sont à priori de confiance (p.ex font partie de la même entreprise)
- Inconvénients
  - Comme il n'est pas très coûteux de faire un bloc, le mineur peut être tenté de suivre plusieurs chaînes à la fois (affaibli le consensus) => Motivation des mineurs

# Focus sur la mobilité électrique

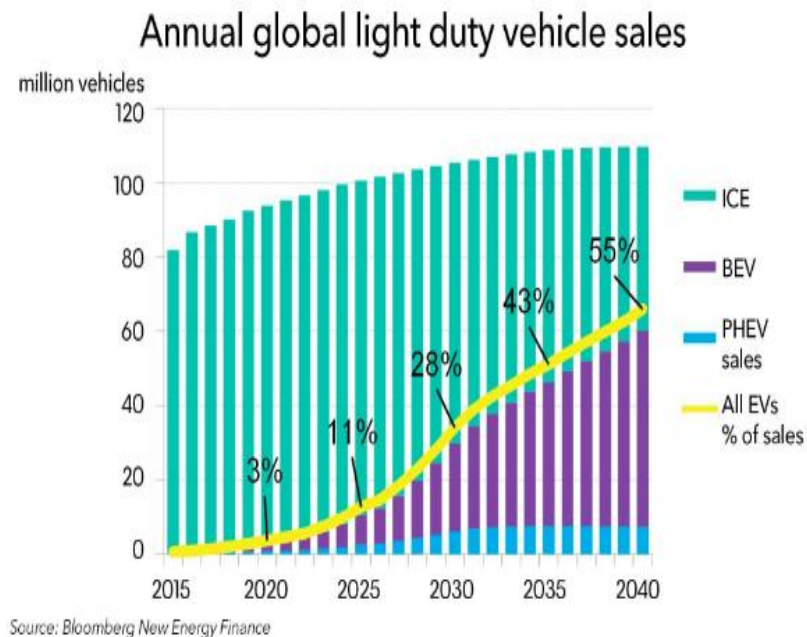
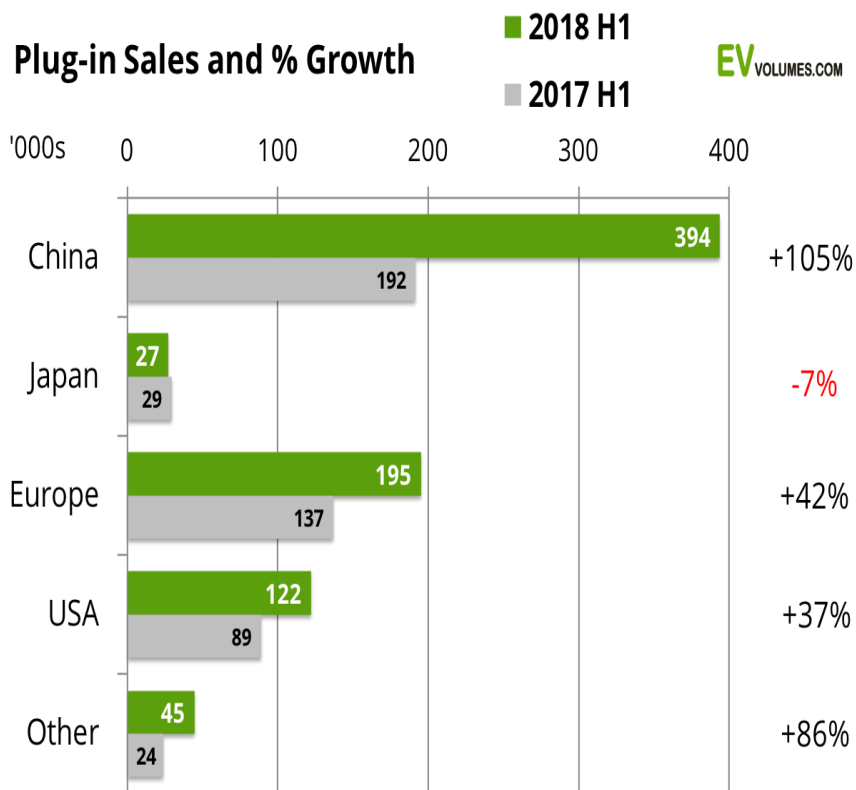
# Plan de la partie

- Pourquoi cela démarre?
- Quels intérêts pour les réseaux?
- Quels intérêts pour les clients?

# Plan de la partie

- Pourquoi cela démarre?
- Quels intérêts pour les réseaux?
- Quels intérêts pour les clients?

# Les ventes



Source: <http://www.ev-volumes.com/country/total-world-plug-in-vehicle-volumes/>



# Pourquoi cela démarre ?

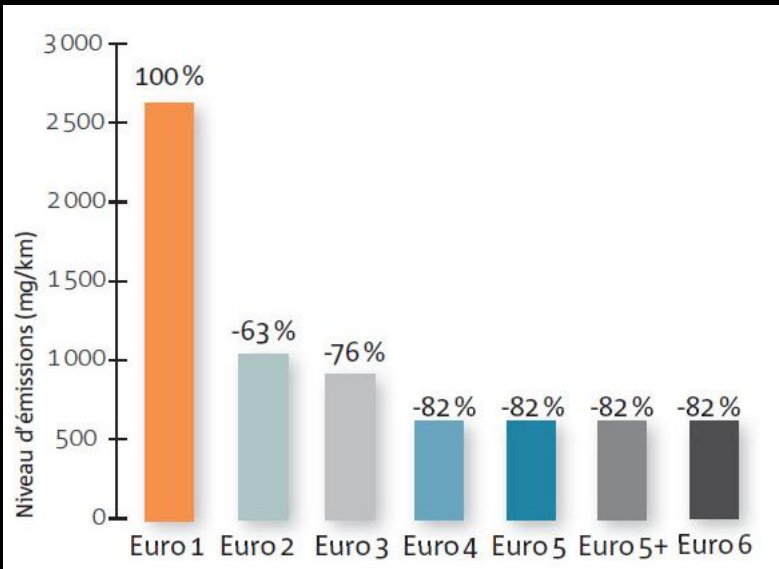
Les carottes et les batons

Range anxiety

Les infractures

# Les carottes et les batons

## Régulation



## Carottes

- Subventions publiques
  - Ventes
  - Infrastructures
  - R&D

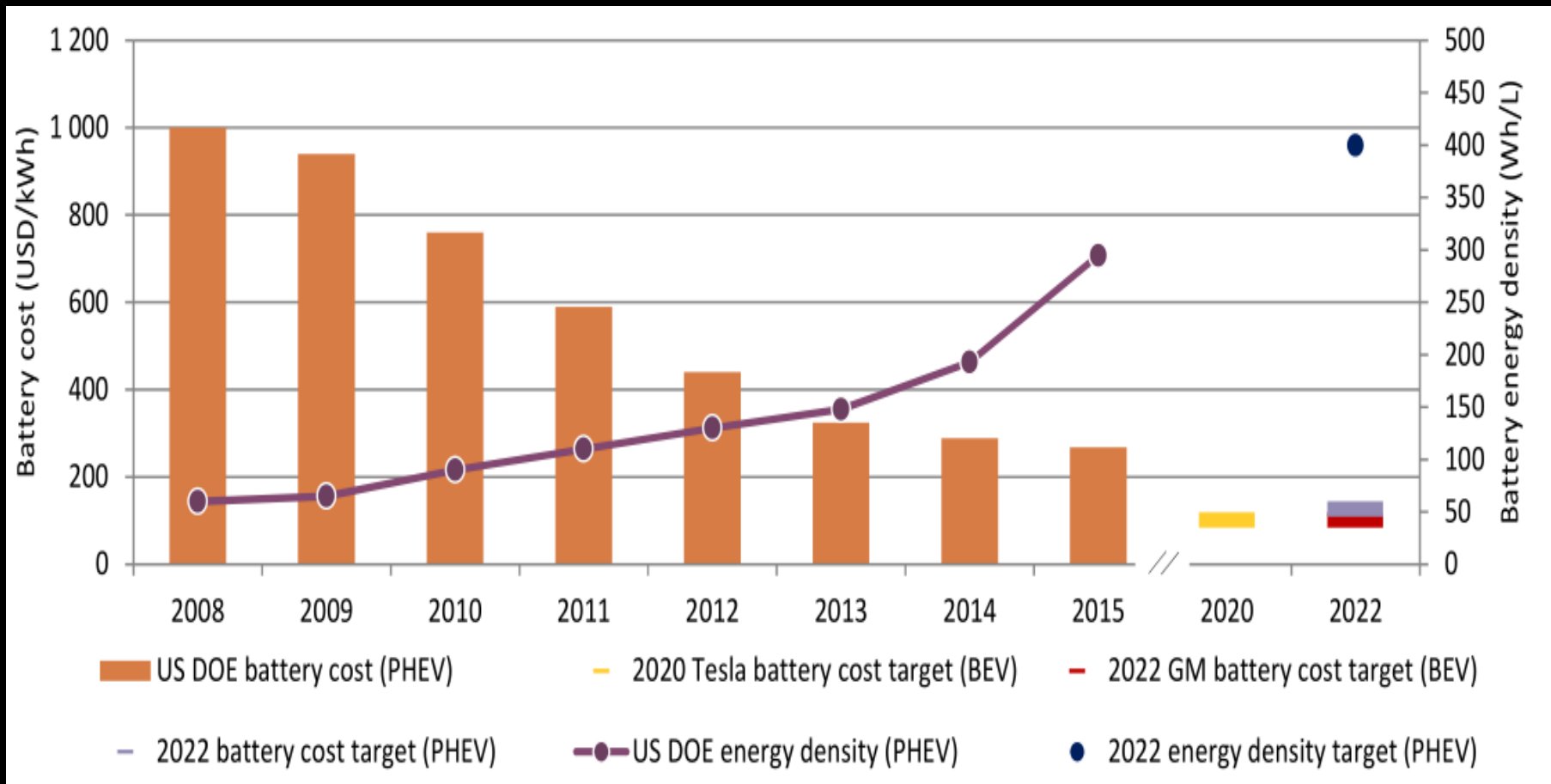
# Pourquoi cela démarre ?

Les carottes et les batons

**Range anxiety**

Les infractures

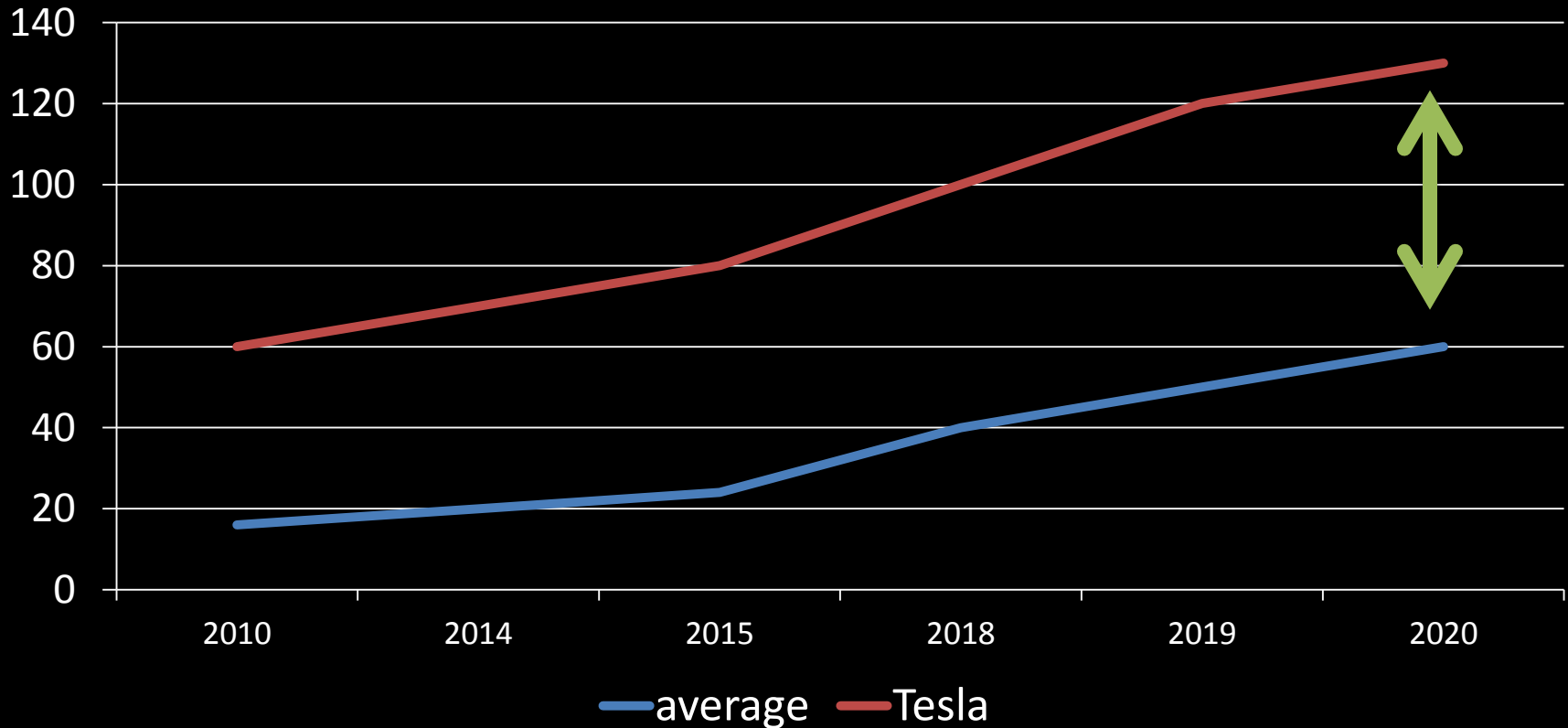
# Une double dynamique favorable



Source: IEA Global EV Outlook 2016

# Evolution

## Evolution of the size of the battery in kWh per car

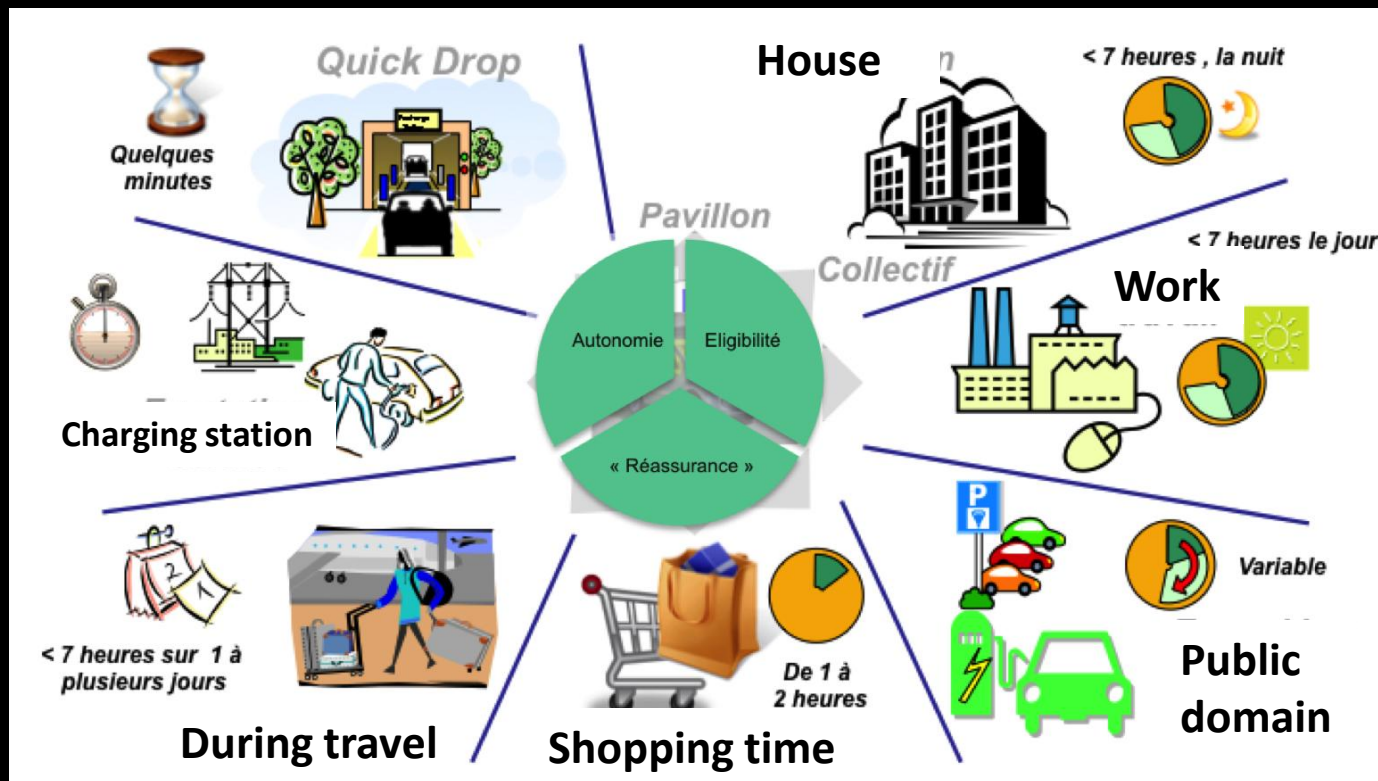


Après 2020 = baisse des couts vers baisse des prix des VE?

De la « range anxiety »  
à la « charging anxiety »

Ou et comment?

# Un minimum est nécessaire



**7 options mais 95% réalisé à la maison**

# Business models et données: qui doit investir dans quoi?

Place	Home	Work	Fast charge	Tesla Supercharger Charging stations	Ionity Charging stations
<b>Characteristics</b>					
<b>Power</b>	3-7 kW	3-22kW	22-50 kW	50-150 kW	350 kW
<b>Time to charge</b>	8-24h	1-3h	40 min 200km	30 min 400km	20 min 500 km
<b>Usages</b>	Commuting trips	Commuting trips	All usages	All usages	All usages
<b>Investment cost per charger</b>	200-500€	500-3k€	15k€-25k€	35-60k€	?
<b>Cost of recharge</b>	2-3€/100 km	4€	5 -7€	10-15€	50-80€



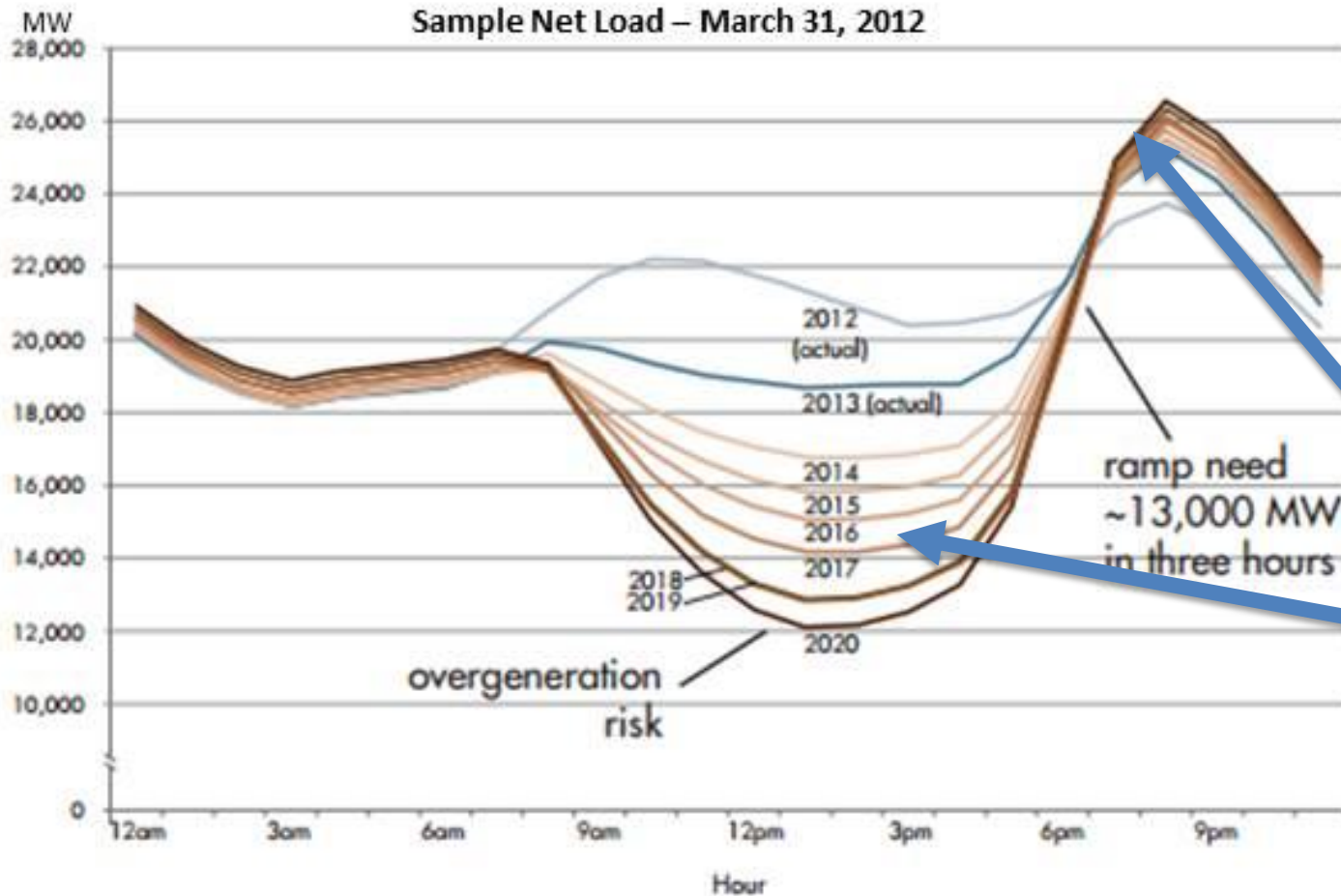
# Plan de la partie

- Pourquoi cela démarre?
- Quels intérêts pour les réseaux?
- Quels intérêts pour les clients?

Pour les GRT ?

# Egorger le canard?

The duck curve shows steep ramping needs and overgeneration risk



(from the California Independent System Operator)



Problème...



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

## Renewable and Sustainable Energy Reviews

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/rser](http://www.elsevier.com/locate/rser)



### Barriers to entry in frequency-regulation services markets: Review of the status quo and options for improvements



Olivier Borne<sup>a,1</sup>, Klaas Korte<sup>b</sup>, Yannick Perez<sup>c,d,\*,1</sup>, Marc Petit<sup>a,1</sup>, Alexandra Purkus<sup>b</sup>

<sup>a</sup> GeePs, CNRS UMR 8507 CentraleSupélec, UPSud and UPMC, 91192 Gif-sur-Yvette, France

<sup>b</sup> Department of Economics, Helm holtz Centre for Environmental Research – UFZ, Permoserstr. 15, 04318 Leipzig, Germany

<sup>c</sup> Réseaux Innovation Territoire et Mondialisation Université Paris-Sud, 91400 Orsay, France

<sup>d</sup> LGI CentraleSupélec, 3 rue Joliot Curie, 91192 Gif-sur-Yvette, France



Contents lists available at ScienceDirect

## Renewable and Sustainable Energy Reviews

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/rser](http://www.elsevier.com/locate/rser)



### Barriers to entry in frequency-regulation services markets: Review of the status quo and options for improvements



Olivier Borne<sup>a,1</sup>, Klaas Korte<sup>b</sup>, Yannick Perez<sup>c,d,\*,1</sup>, Marc Petit<sup>a,1</sup>, Alexandra Purkus<sup>b</sup>

<sup>a</sup> GeePs, CNRS UMR 8507 CentraleSupélec, UPSud and UPMC, 91192 Gif-sur-Yvette, France

<sup>b</sup> Department of Economics, Helmholtz Centre for Environmental Research – IFFZ, Permoserstr. 15, 04318 Leipzig, Germany

Energy Policy 119 (2018) 140–148



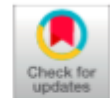
Contents lists available at ScienceDirect

## Energy Policy

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/enpol](http://www.elsevier.com/locate/enpol)



### Market integration or bids granularity to enhance flexibility provision by batteries of electric vehicles



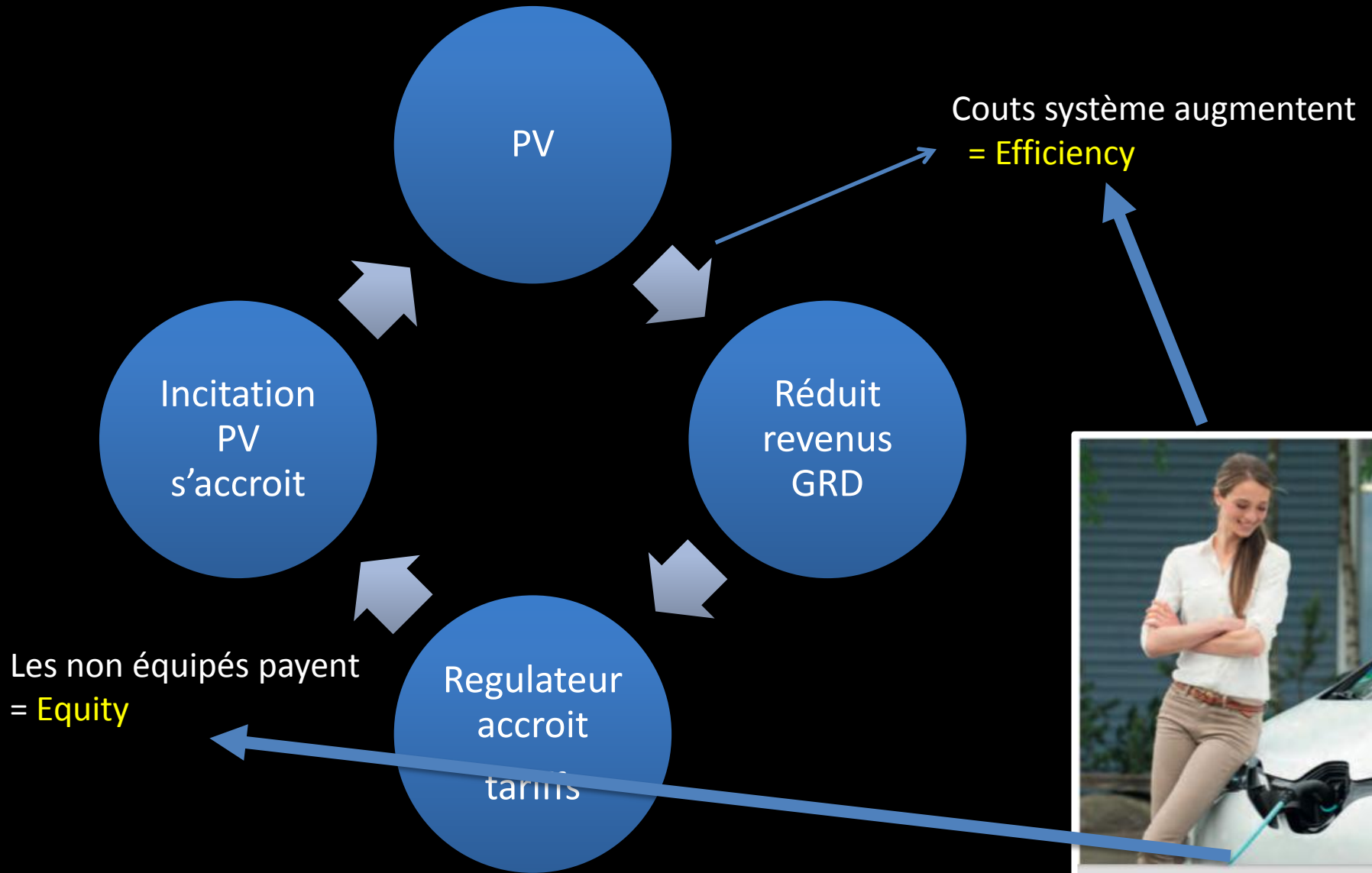
Olivier Borne<sup>a,\*</sup>, Yannick Perez<sup>b</sup>, Marc Petit<sup>a</sup>

<sup>a</sup> GeePs, CNRS UMR 8507 CentraleSupélec, UPSud and UPMC, 91192 Gif-sur-Yvette, France

<sup>b</sup> RITM Université Paris-Sud, and LGI, CentraleSupélec, 91192 Gif-sur-Yvette, France

Pour les GRD ?

# Le PV produit une « Death Spiral », que les VE peuvent réduire



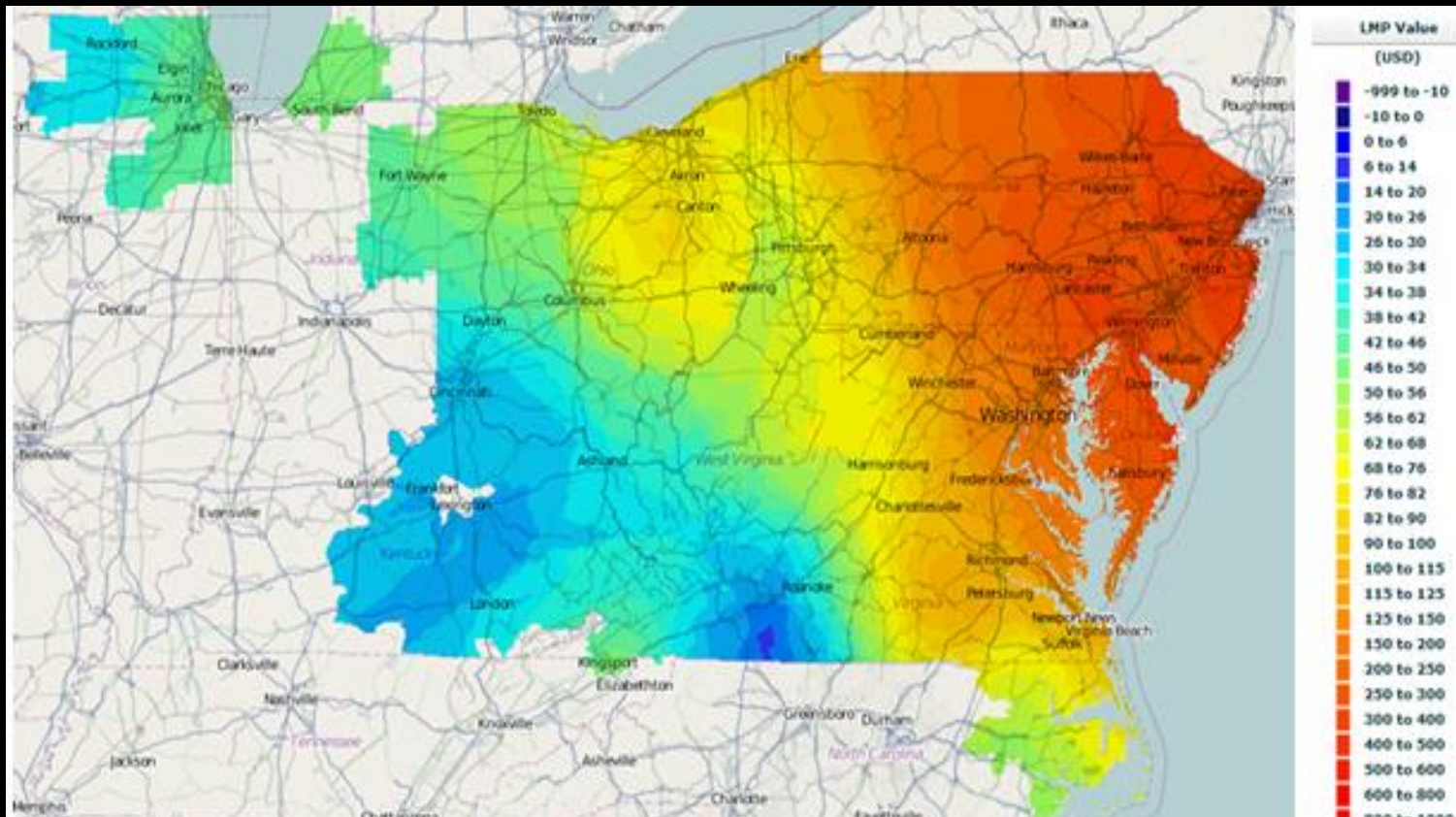


# Tarifs de réseaux avec décentralisation, digitalisation et véhicules électriques

# Decentralisé - market based – transparent

## - solution for charging-discharging

- Decentralisé = prix par services avec 3 informations : Where / When / Prices associated for charging and discharging



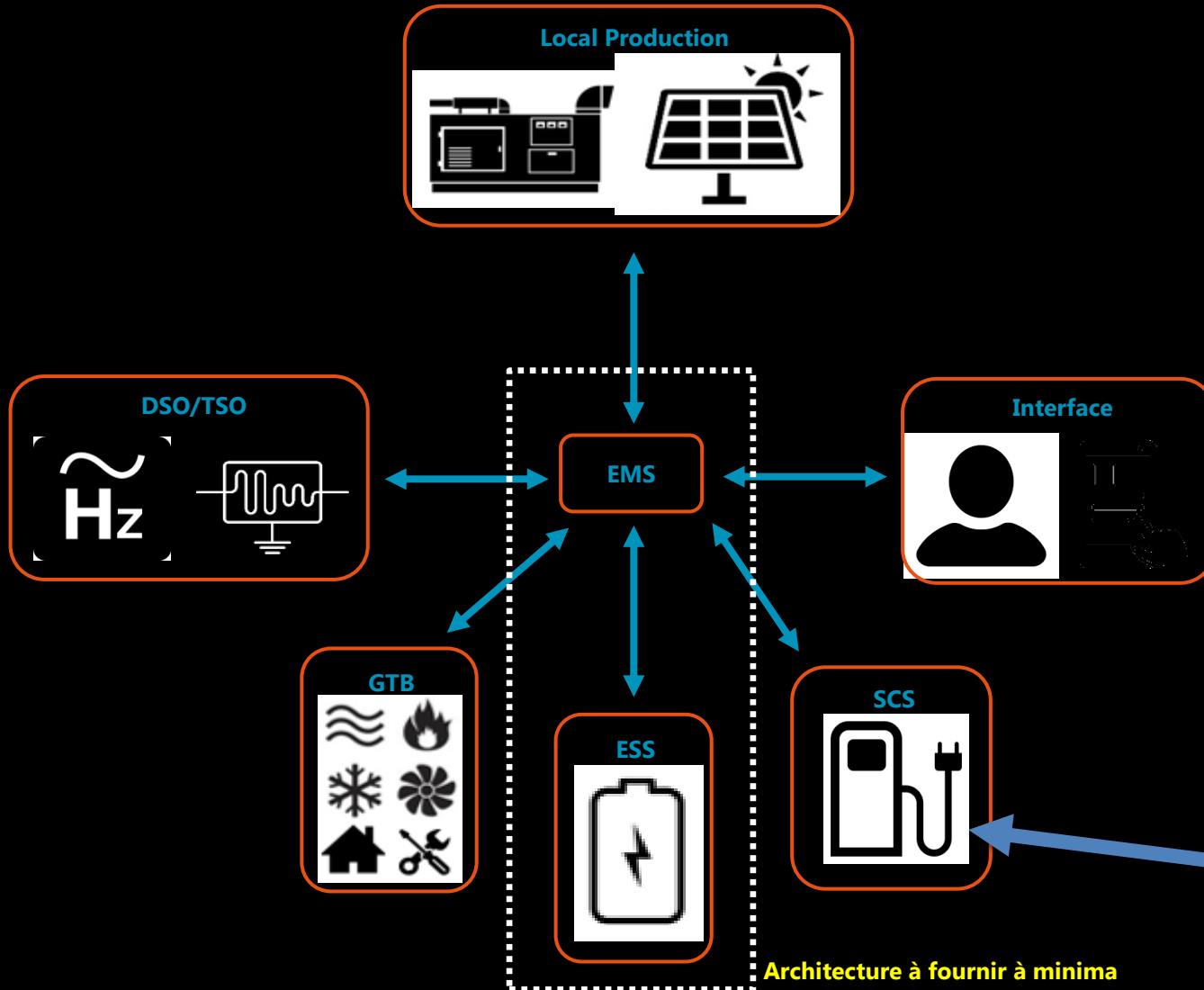
# Plan de la partie

- Pourquoi cela démarre?
- Quels intérêts pour les réseaux?
- **Quels intérêts pour les clients?**

Les VE réduisent les couts de connexion (kW) et le cout de l'usage des bâtiments avec un management actif



# Besoin d'un « Energy management system »



Architecture à fournir à minima





# Les VE et le phantasme de la déconnexion

9OCT2012 press-released  
27APR2012 sales-started

**1.5kW V2L**  
**PowerBox**



30MAY2012 press-released  
\*\*SEP2012 sales-started

**6kW V2H**  
**EV power station**

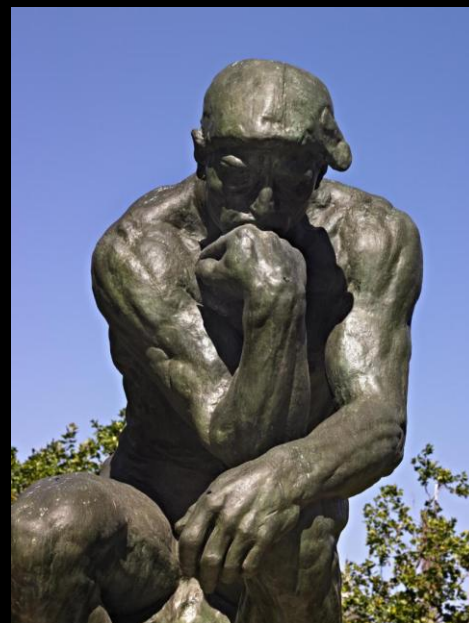


# Conclusions

# Qui les VE vont-ils aider?



=



Marchés de l'énergie / les réseaux / les solutions sous le compteur?



# La réponse dépend du jeu des acteurs

1. Vehicle to Transmission grid : **Need to change the rule**
  2. Vehicle to Distribution grid : **Need to change the rule**
- 
1. Vehicle to buildings = VtoB : Out of regulators scope
  2. Vehicle to Home = VtoH : Out of regulators scope
  3. Vehicle to Load = VtoL: Out of regulators scope

# Bibliographie

- Ramírez Díaz Alfredo, Marrero Gustavo, Ramos-Real Francisco, Perez Yannick, 2018 *Willingness to pay for the electric vehicle and their attributes in Canary Islands*, **RSER Vol 98**, December 2018, Pages 140-149.
- Hoarau Quentin and Perez Yannick, 2018, *Interactions Between Electric Mobility And Photovoltaic Generation: A Review*, **RSER 94** (2018) 510–522.
- Rodríguez Brito Maria Gracia, Ramírez-Díaz Alfredo Jesús, Ramos-Real Francisco J., Perez Yannick, 2018, *Psychosocial traits characterizing EV adopters' profiles: The case of Tenerife (Canary Islands)*, **Sustainability** 2018, 10, 2053.
- Borne Olivier, Yannick Perez and Marc Petit 2018, *Market integration or bids granularity to enhance flexibility provision by batteries of Electric Vehicles*, **Energy Policy**, Volume 119, August 2018, Pages 140–148.
- Borne Olivier, Korte Klaas, Perez Yannick, Petit Marc and Purkus Alexandra 2018, *Barriers to entry in Frequency-Regulation Services Markets: Review of the status quo and options for improvements*, **RSER**. Volume 81, Part 1, January 2018, Pages 605–614.
- Codani Paul, Perez Yannick and Petit Marc 2016, *Financial Shortfall for Electric Vehicles: economic impacts of Transmission System Operators market designs*, **Energy**, Volume 113, pp 422-431.
- Eid Cherrelle, Codani Paul, Perez Yannick, Reneses Javier, Hakvoort Rudi, 2016, *Managing electric flexibility from Distributed Energy Resources: A review of incentives for market design*, **RSER**, Volume 64, pp 237–247.