



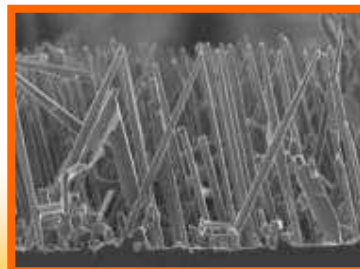
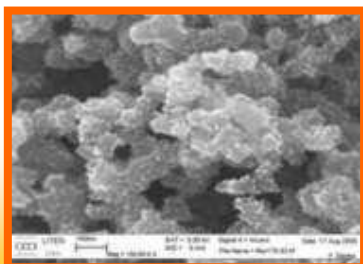
energie atomique • énergies alternatives



Le stockage de l'électricité : un enjeu pour le déploiement des énergies renouvelables et de mobilité électrique

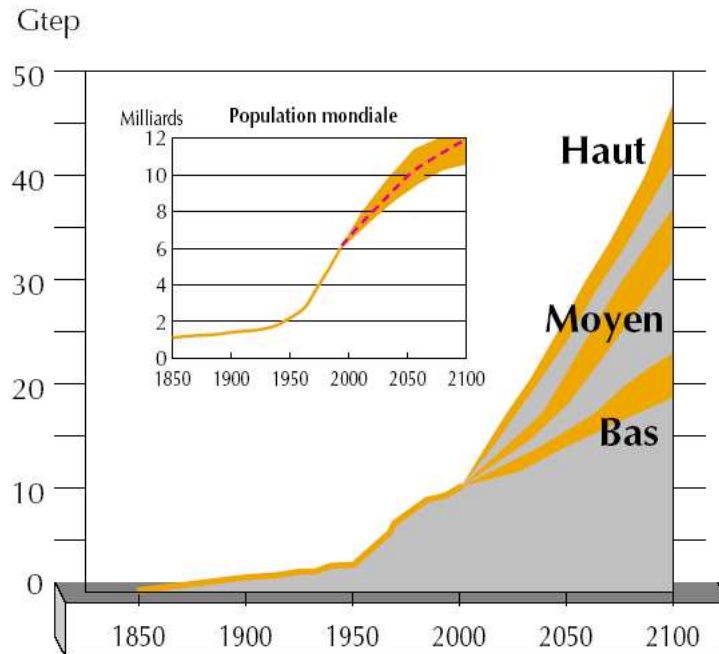
Hélène BURLET

**Responsable scientifique
CEA/LITEN**

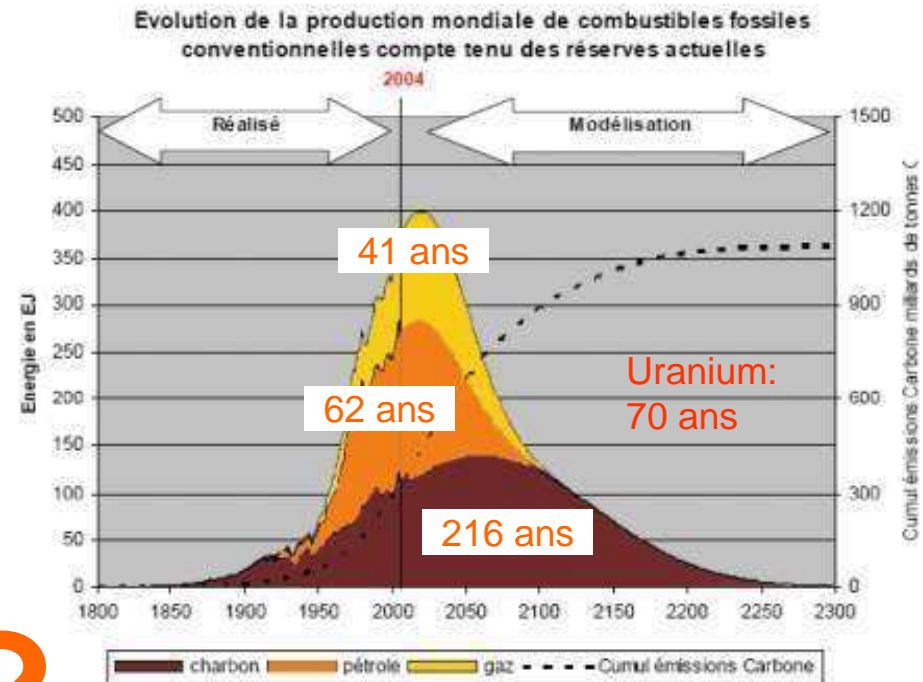


Contexte mondial

Une croissance de la consommation d'énergie *Les limites des énergies fossiles*



Source IIASA, rapport 1995

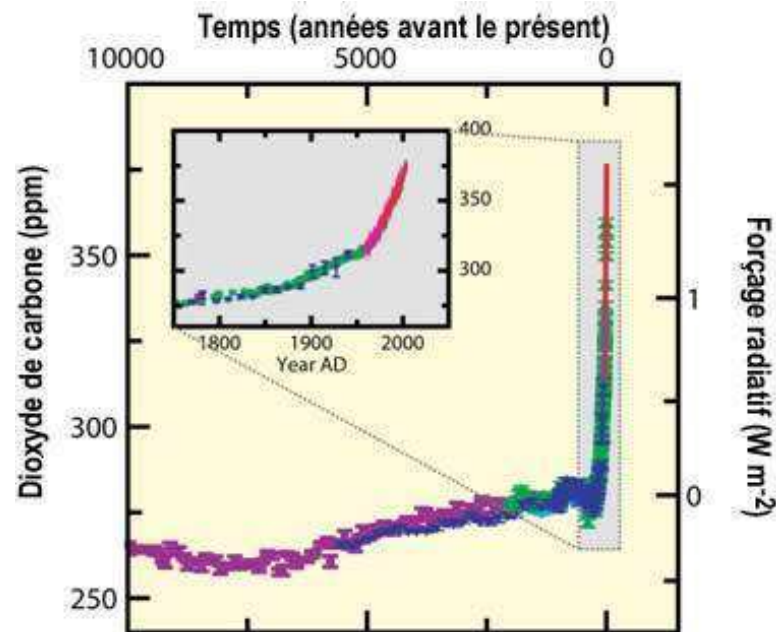


besoin de développer des énergies alternatives au fossile

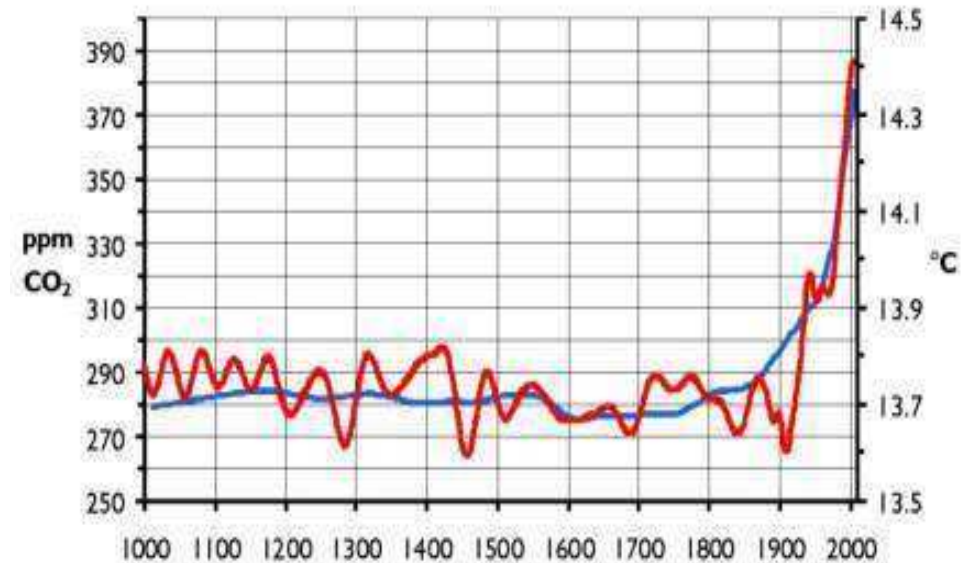
Changement climatique



GIEC 2007

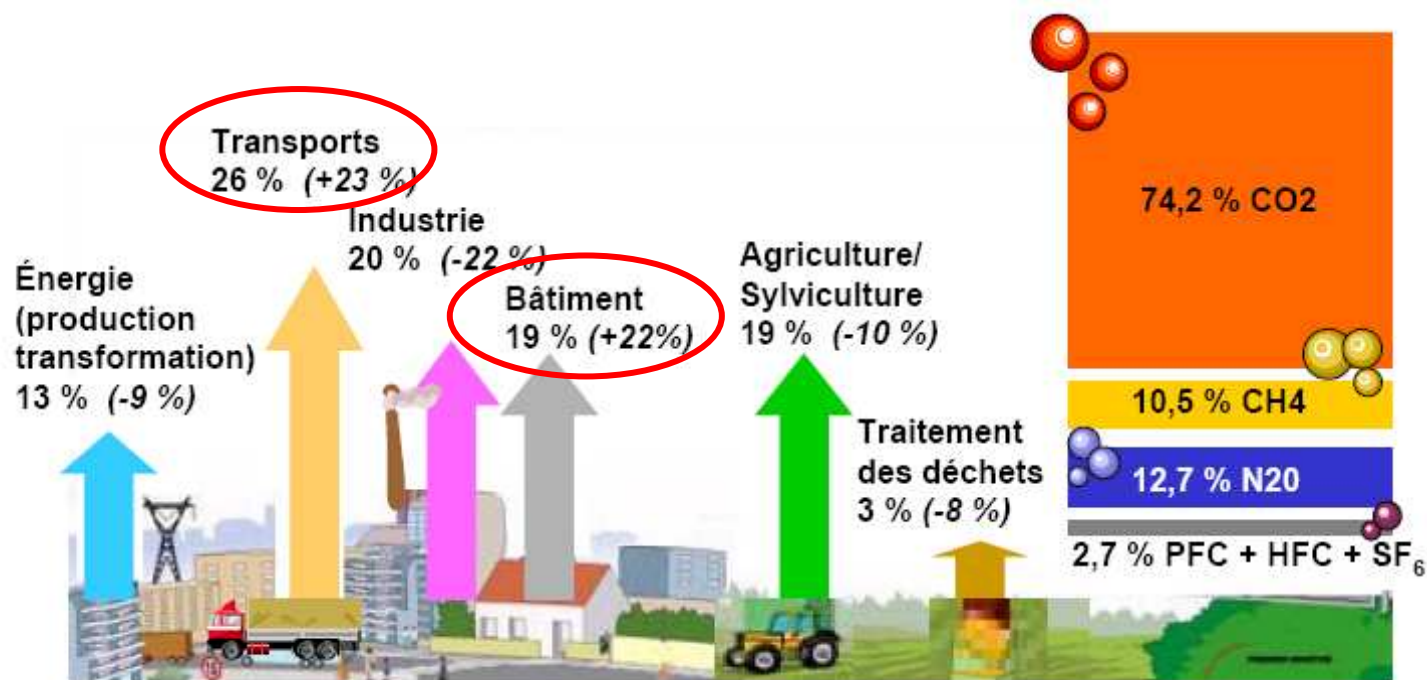


Corrélation entre le $[CO_2]$ et le réchauffement climatique



Unanimité concernant la corrélation entre élévation des températures et augmentation de la concentration en CO_2

Émission de GES entre 1990 et 2004



Émissions de GES² en France (y compris DOM/COM) en 2004, par secteur (hors UTCF³) (entre parenthèses, l'évolution depuis 1990 ; source : CITEPA/Inventaire SECTEN/Format PNLCC, février 2006)

Contexte Européen : 3 x 20

✚ Amélioration de 20% de l'efficacité énergétique →

- ✓ Rénovation à haute performance énergétique
- ✓ « maisons à énergie positive »
- ✓ Augmentation des rendements de l'ensemble des systèmes énergétiques

✚ 20% d'EnR dans la consommation globale →

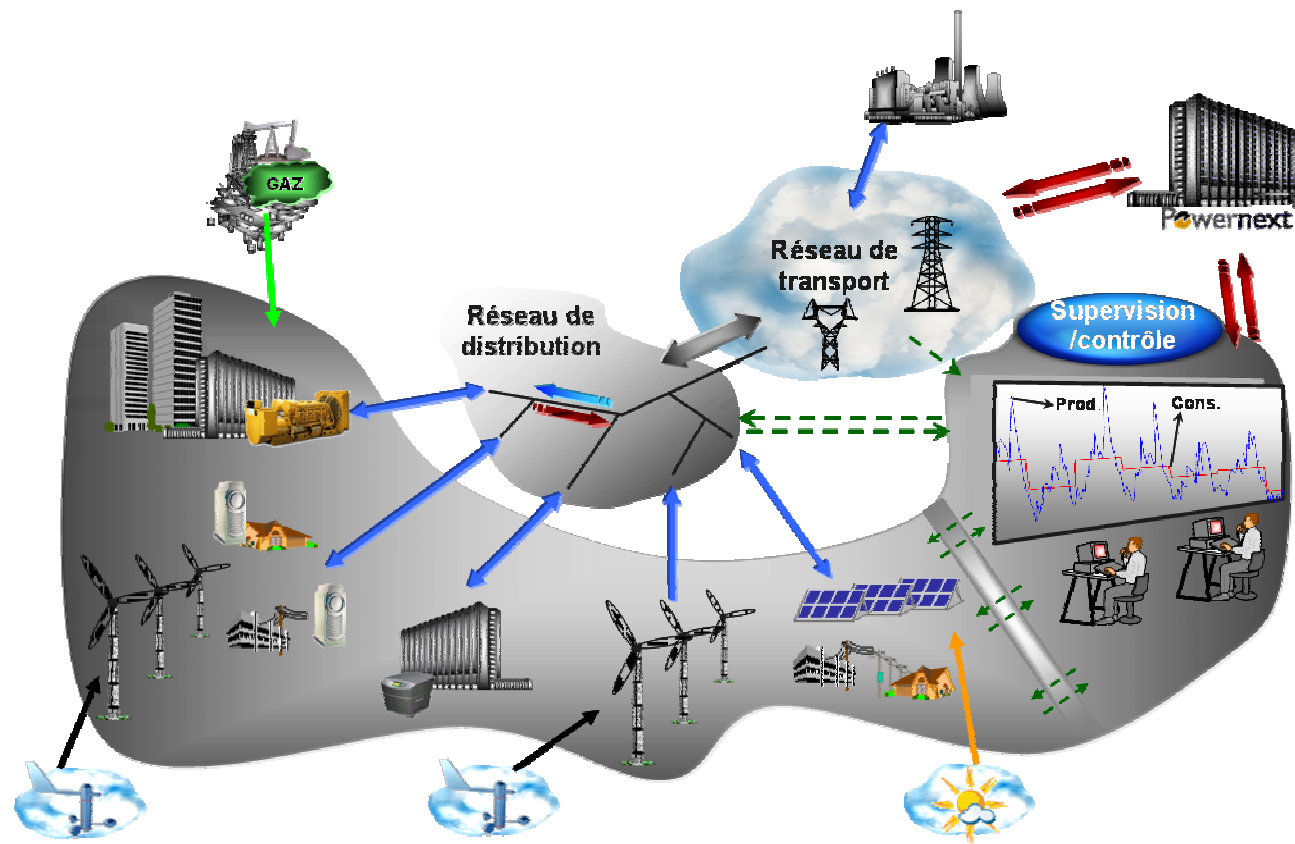
- ✓ production d'énergie décentralisée
- ✓ nouveaux modes de gestion des réseaux,
- ✓ évolution des modes de vie

✚ - 20% d'émission de CO2 →

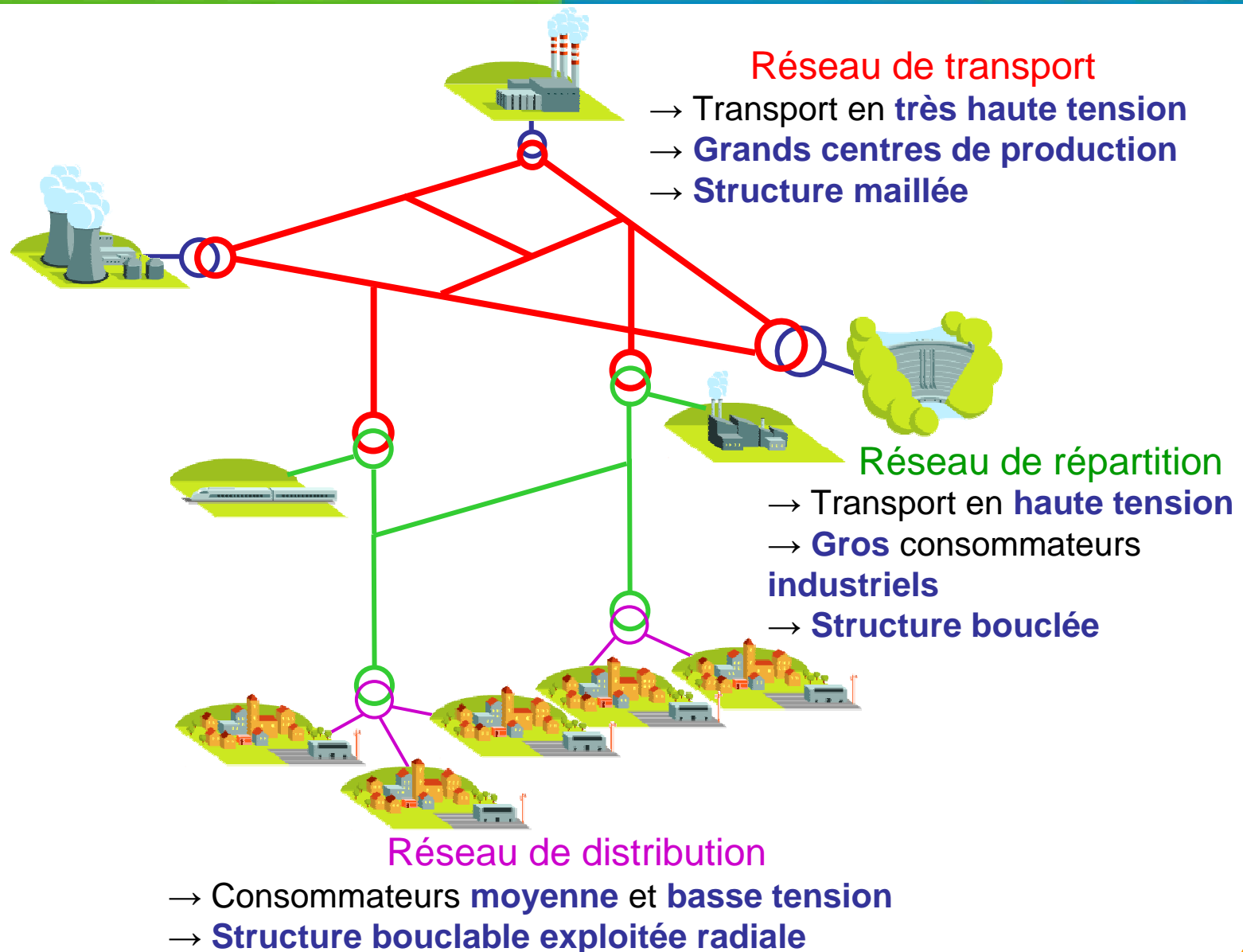
- ✓ Évolution des technologies et électrification modes de transport
- ✓ Biocarburants

Problématique du stockage de l'électricité

Impact des énergies renouvelables sur le réseau électrique

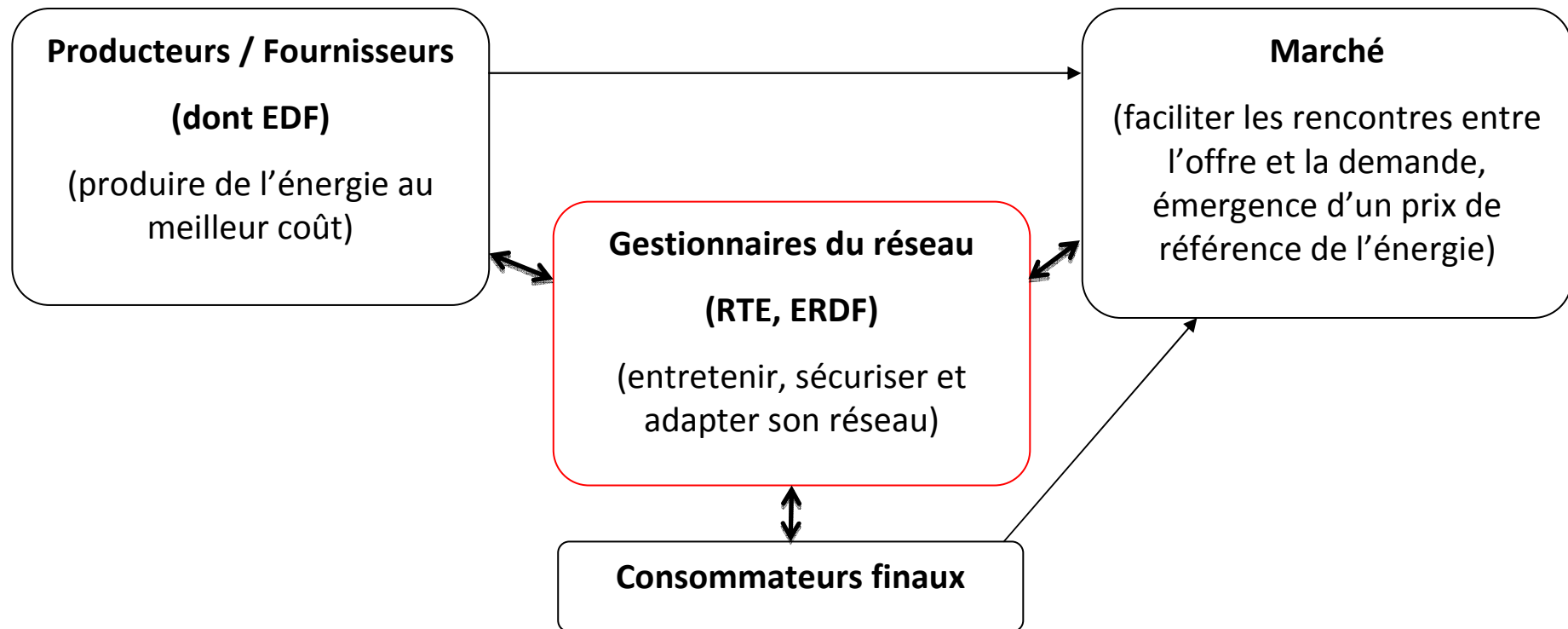


Le réseau électrique : hiérarchisation



Les problématiques de gestion du réseau

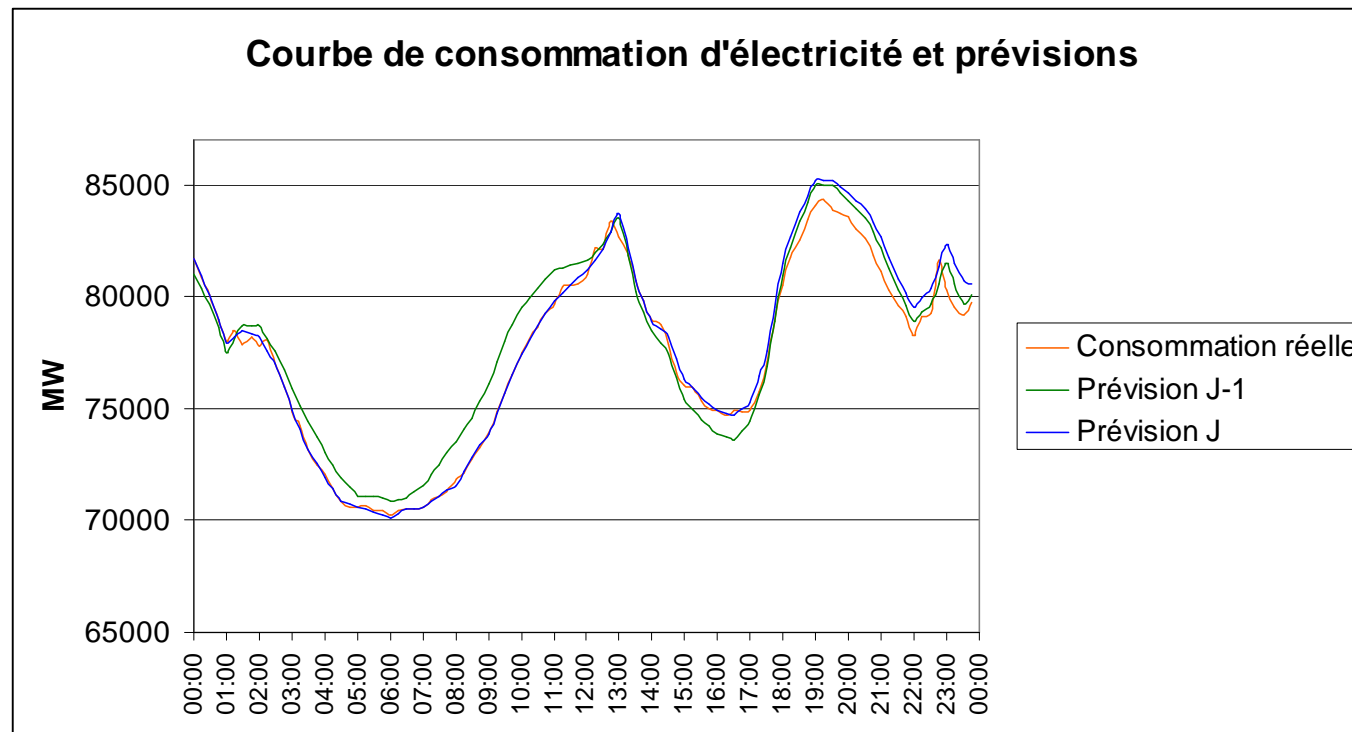
L'organisation du marché de l'électricité



Les problématiques de gestion du réseau

Quels sont les mécanismes de régulation du réseau électrique ?

- Adapter en permanence la production à la consommation



Estimation et consommation réelle d'électricité (10/01/2010) (Source ; RTE)

Moyens d'action : injection / soutirage

Les problématiques de gestion du réseau

Quels sont les mécanismes de régulation du réseau électrique ?

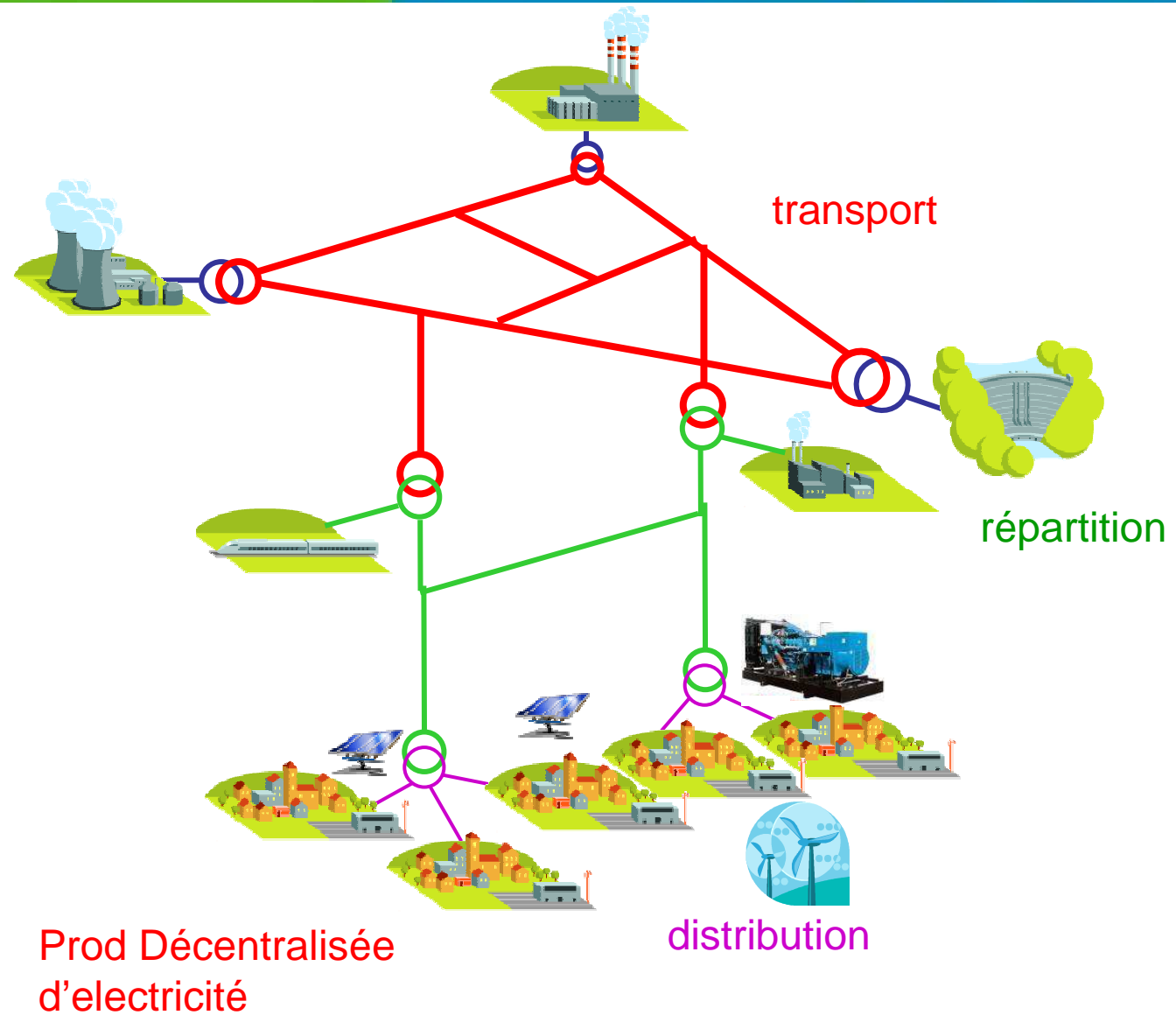
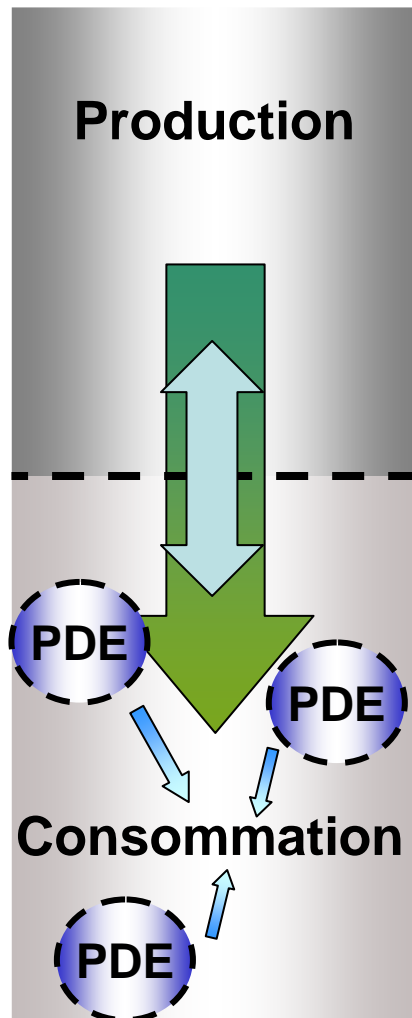
- Maintien d'une consigne en fréquence par réglage de la puissance active
 - Réglage primaire (0,7GW sous 30s)
 - Réglage secondaire (0,5-1GW sous 130s)
 - Réglage tertiaire (1,5 GW disponible sous 15mn)
- } automatique
- non automatique

Le stockage électrique pourrait servir de réserve de puissance

- Maintien d'une consigne en tension par différents réglages
 - Batteries de condensateurs & inductances
- ⇒ Le problème : transits de puissance engendrent des pertes et des chutes de tension

Rôle du stockage électrique pour réguler la tension??

En présence d'énergies renouvelables



Les problématiques de gestion du réseau

L'intégration des EnR dans le réseau électrique :

- **Intermittence** de la production d'énergie d'origine renouvelable
 - ⇒ Puissance injectée variable et difficilement prévisible
 - ⇒ Décalage entre les pointes de production et la demande

Problème de stabilité du réseau en présence d'EnR

Czech renewable energy exceeds grid safety limit

* Distributors, grid operator call for legislation changes

Wed Mar 10, 2010 11:05am
EST

ENERGY

* Stricter rules needed for connecting to grid

* Output from renewables uneven, threatens grid stability

By Jana Mlcochova

PRAGUE, March 10 (Reuters) - The installed capacity of wind and solar energy projects approved in the Czech Republic is nearly four times what can be safely fed into the country's electricity grid, energy distributors said on Wednesday.

The Association of Czech Regulated Electro-Energy Companies (CSRES) said the installed capacity of all projects approved by the end of January was 8,063 MW.

The limit from solar and wind projects that won't overload the grid is 1,650 MW until 2012, which corresponds to installed capacity of 2,200 MW, according to estimates made by the CSRES.

"We are obliged to connect to the grid or distribution system anyone who asks if it does not threaten a safe operation of the system. So our options are limited, it is up to lawmakers to resolve this," said Petr Zeman, chief executive of grid operator CEPS and a member of CSRES.

- Czech Republic – stability issues **realized** at 3% renewables
- Belgium – stability issues **likely** at 8% renewables
- Germany – stability issues **likely** at 20% to 25% renewables
- Continuous U.S. – stability issues **likely** at 20% to 25% renewables
- Hawaii – stability issues **possible** at 30%

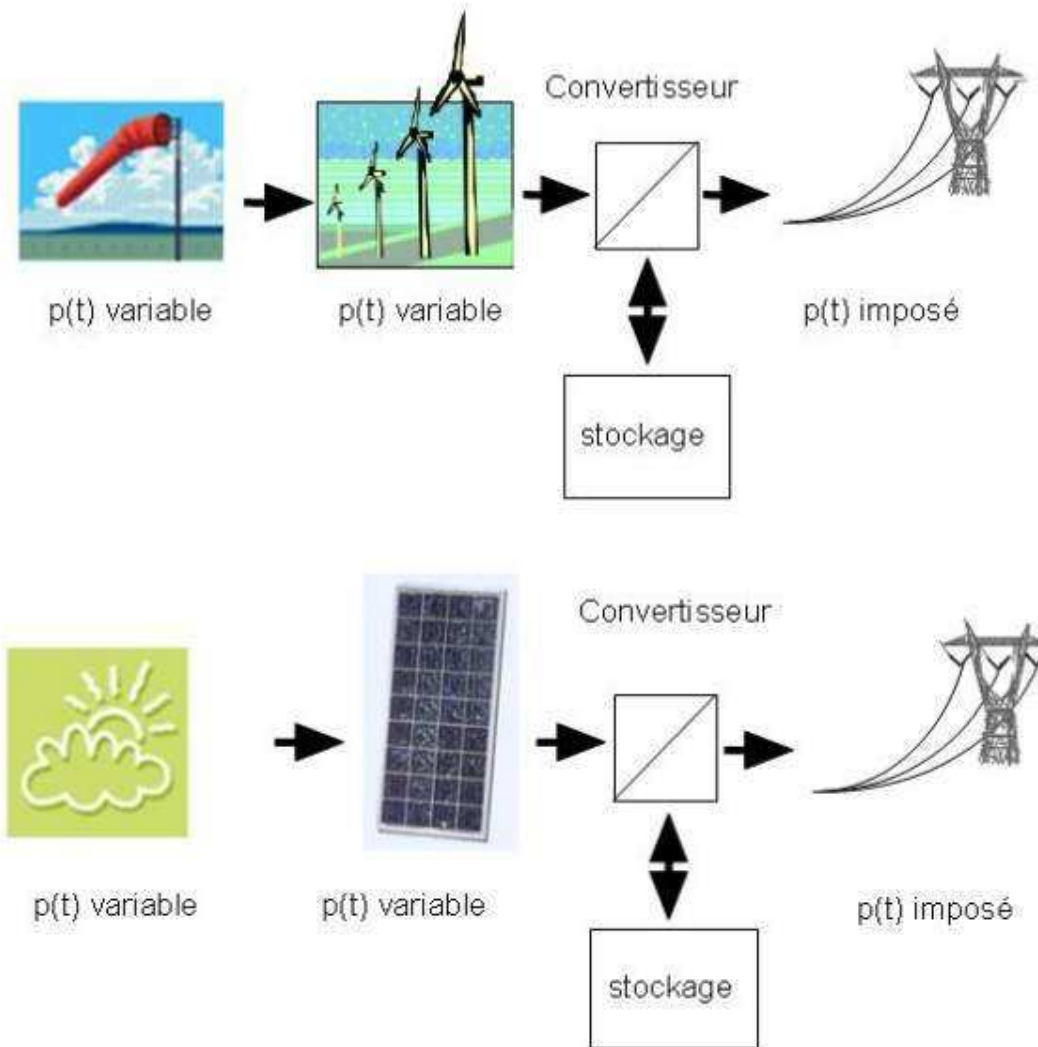
Les problématiques de gestion du réseau

L'intégration des EnR dans le réseau électrique :

- **Intermittence** de la production d'énergie d'origine renouvelable
 - **Dépendance** vis-à-vis du réseau et de la capacité des lignes
- ⇒ Effacements de production imposés par le gestionnaire du réseau → pertes

Rôle du stockage en présence d'un fort taux de pénétration d'EnR

Stockage, EnR & Réseaux électriques



Le stockage = source décentralisée pour le PV

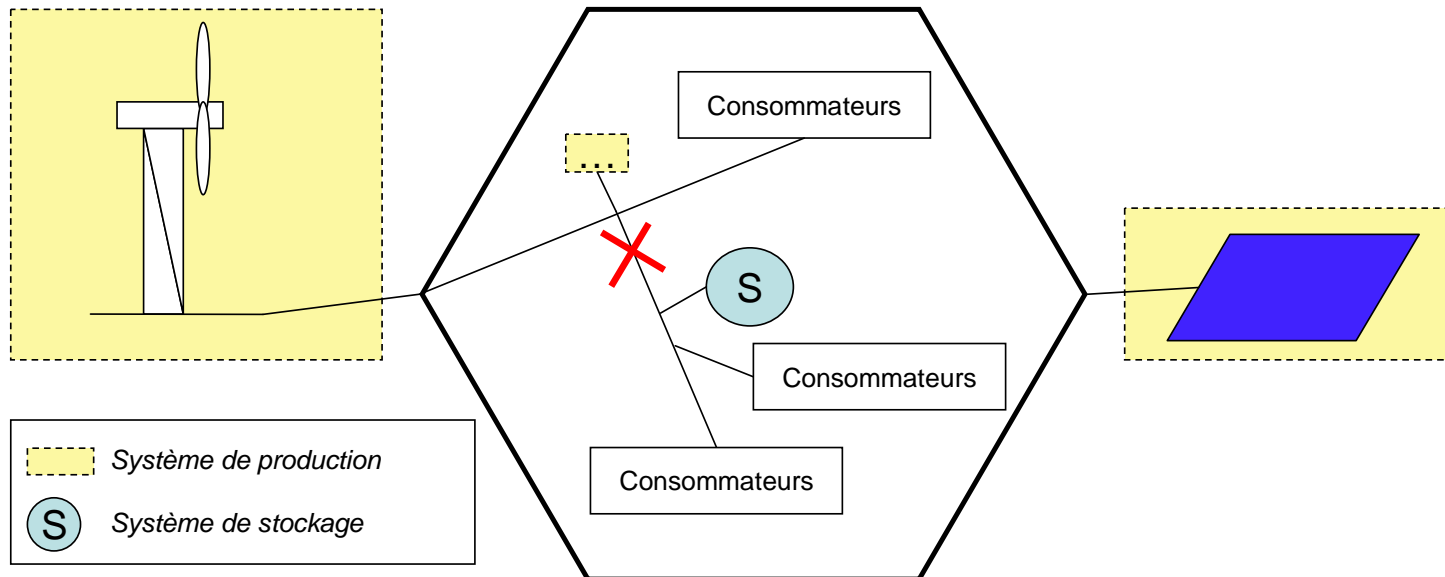


Identification des besoins de stockage

Quels services pourrait rendre le stockage ?

❖ Le secours :

- Un moyen de pallier à une défaillance du réseau (perte d'une unité de production d'énergie ou rupture d'une ligne) et/ou d'aider au redémarrage d'une unité
- ⇒ Garantir la sécurité du réseau électrique

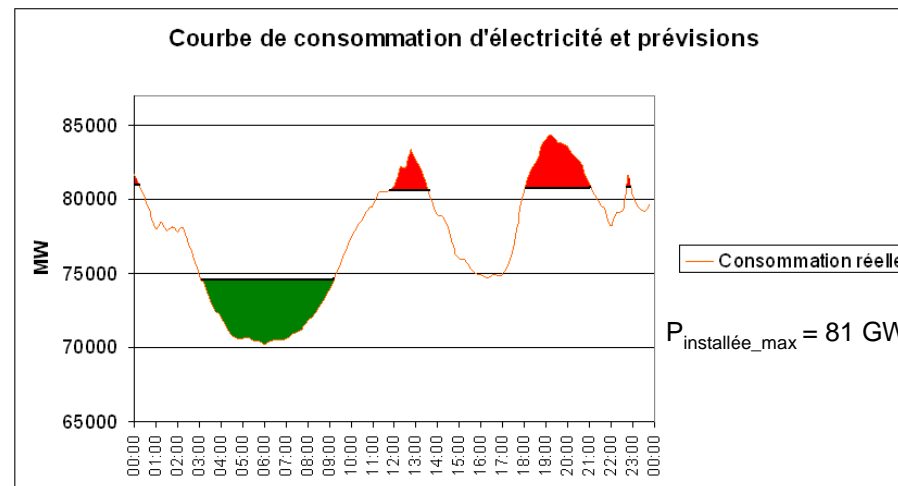


Identification des besoins de stockage

Quels services pourrait rendre le stockage ?

❖ Le lissage de charge :

- Un moyen de reporter la production d'énergie des périodes de faible demande vers les périodes de forte demande
- ⇒ Permettre une meilleure gestion du parc de production
 - ⇒ Puissance installée moins grande, infrastructures moins importantes
 - ⇒ Réduire l'utilisation des moyens de pointe (fioul notamment)



Identification des besoins de stockage

Quels services pourrait rendre le stockage ?

❖ Le contrôle qualité :

- Absorber ou restituer de la puissance
 - active pour la régulation de la fréquence
 - réactive pour la régulation de la tension
 - Substituer les moyens de production tels que les centrales thermiques
- ⇒ Une régulation dynamique des fréquences et tensions du signal électrique
- ⇒ Assurer en permanence la fourniture d'un signal de qualité

Identification des besoins de stockage

Quels services pourrait rendre le stockage ?

❖ Le contrôle de la production EnR :

- Un moyen de « **lisser la production** » face à la nature intermittente des énergies renouvelables
 - ⇒ mieux maîtriser la quantité d'énergie fournie au réseau

- Un moyen de faire face aux effacements de production
 - ⇒ Optimiser la production de son installation

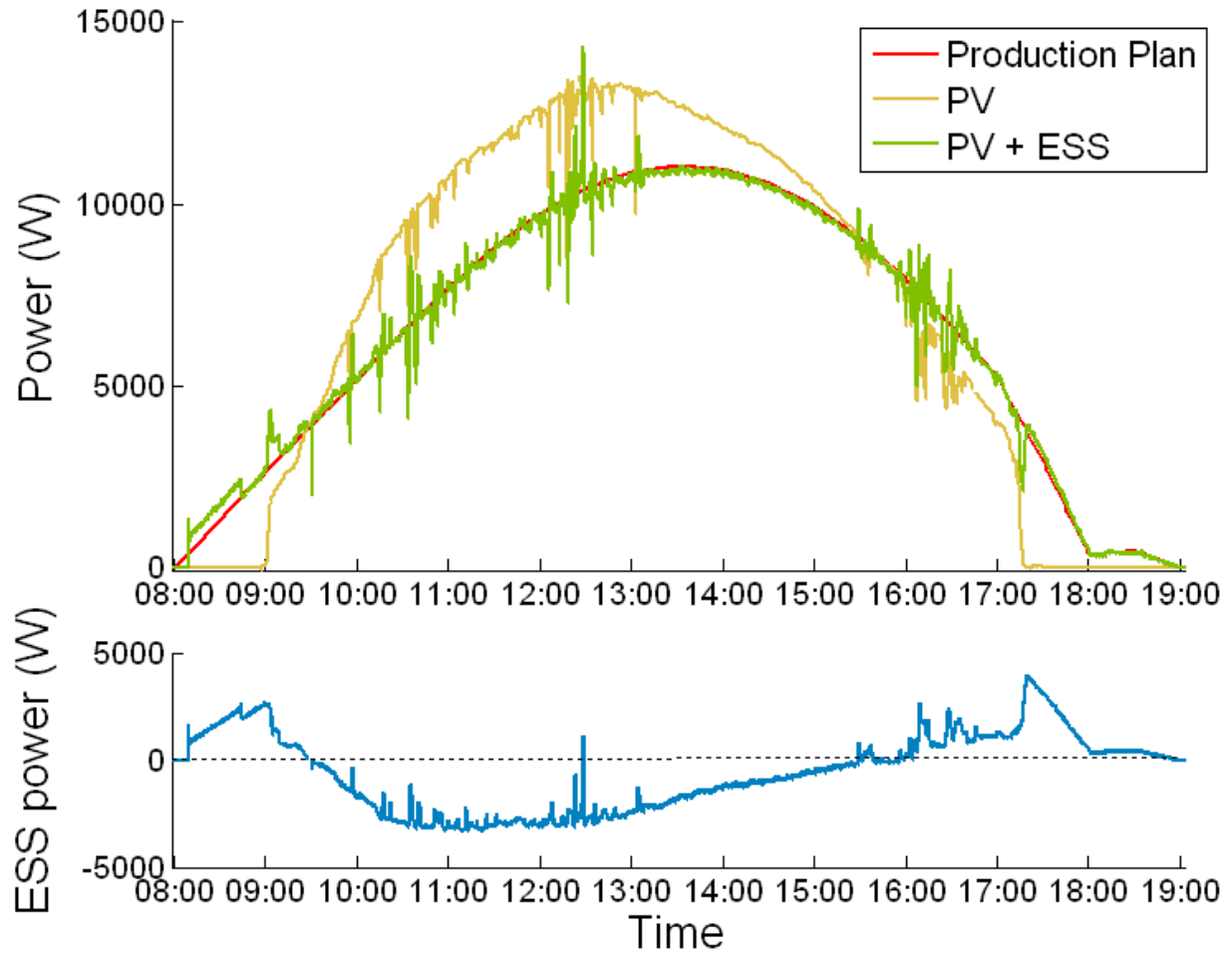


- Un moyen de reporter la production des périodes de faible demande (faible prix de rachat) pour la revendre en période de pointes où les prix de rachat sont plus élevés.
 - ⇒ Améliorer la rentabilité de son installation

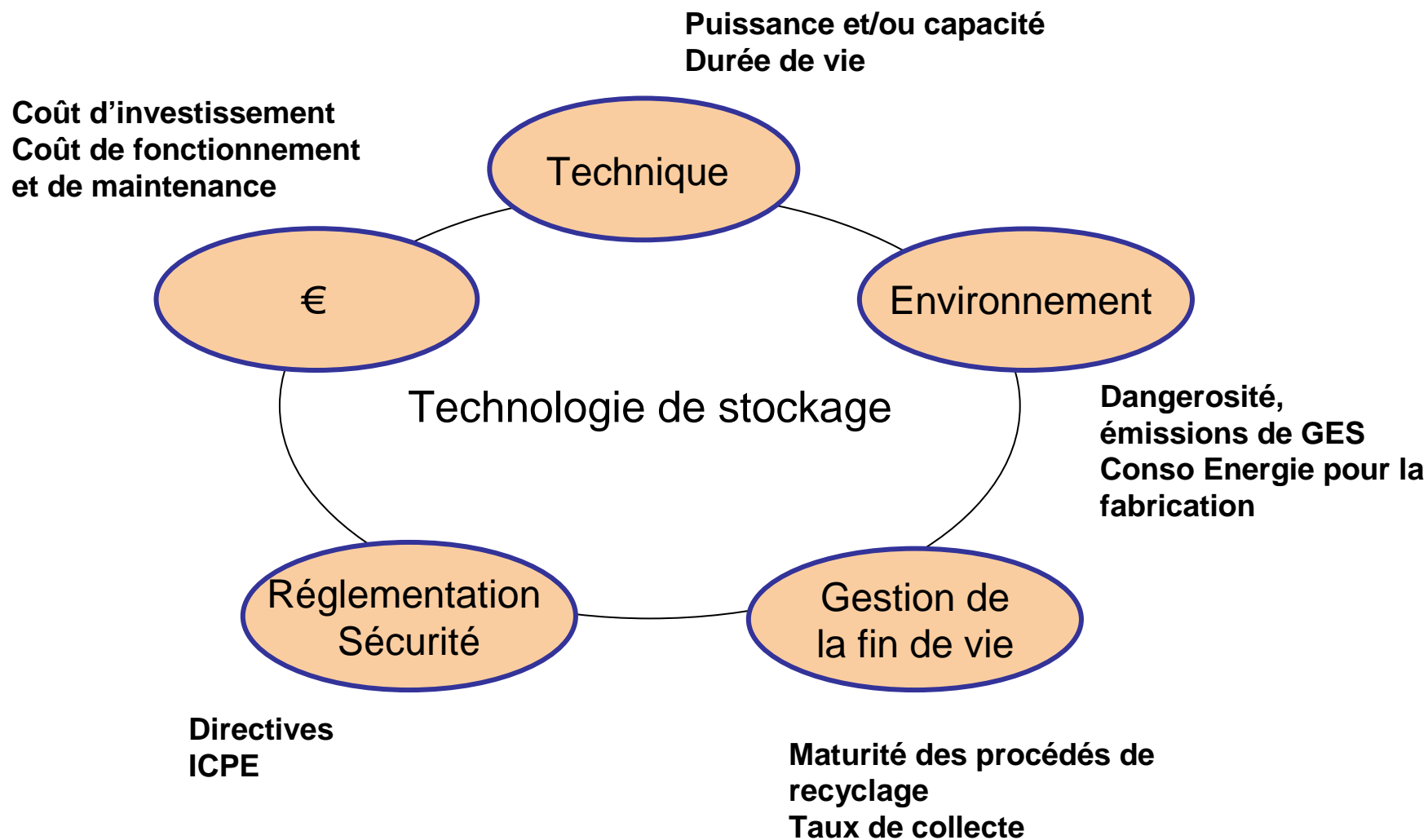


Notion de PV garanti

Quels services pourrait rendre le stockage ?



Quelles technologies de stockage ?



Quelles technologies de stockage ?

Quelles sont les technologies disponibles ?

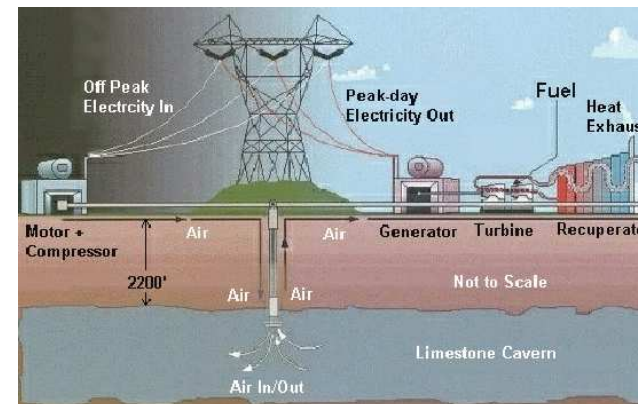
- Les technologies de stockage

- Batteries
- Supercondensateurs
- Supraconducteurs
- Volants d'inertie
- Air comprimé
- STEP
- H₂



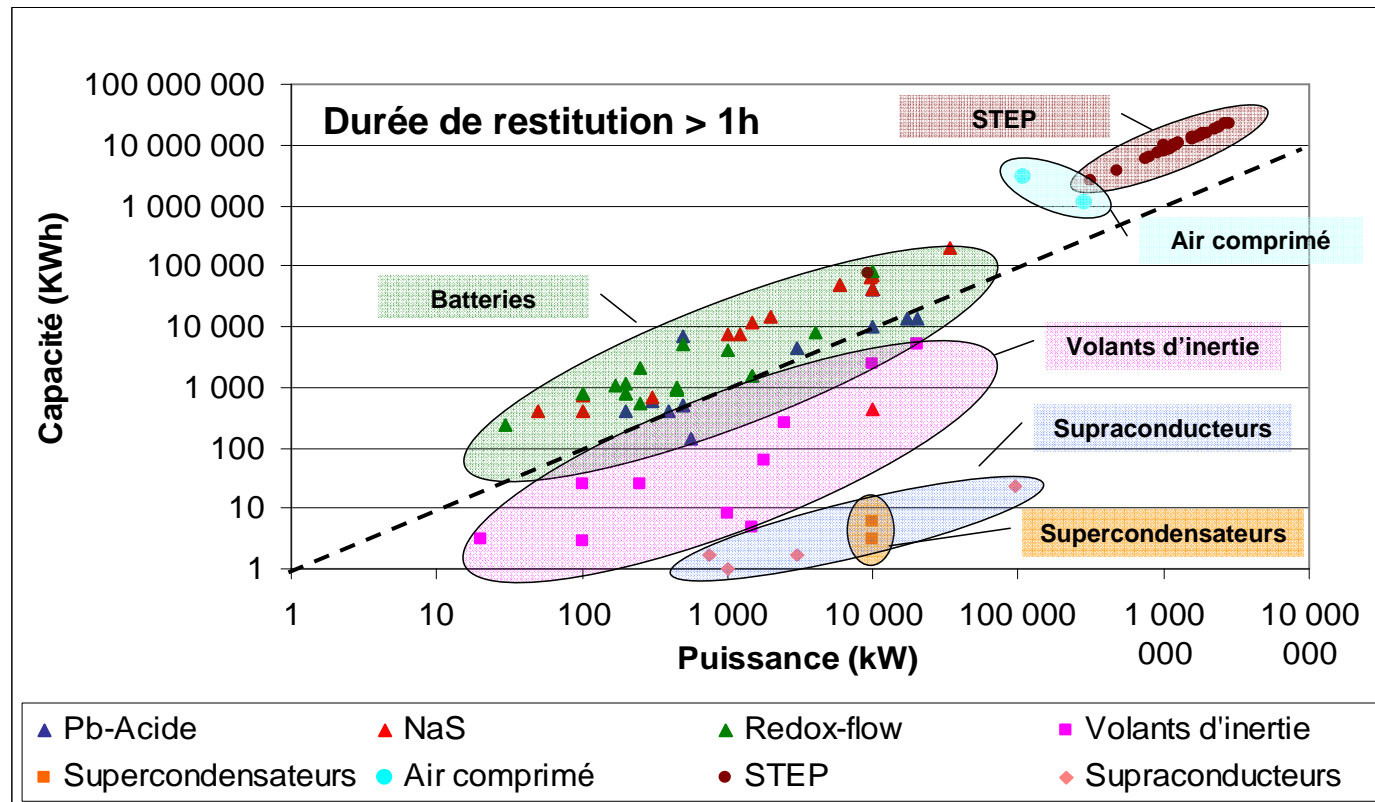
volant d'inertie

barrage de Grand Maison

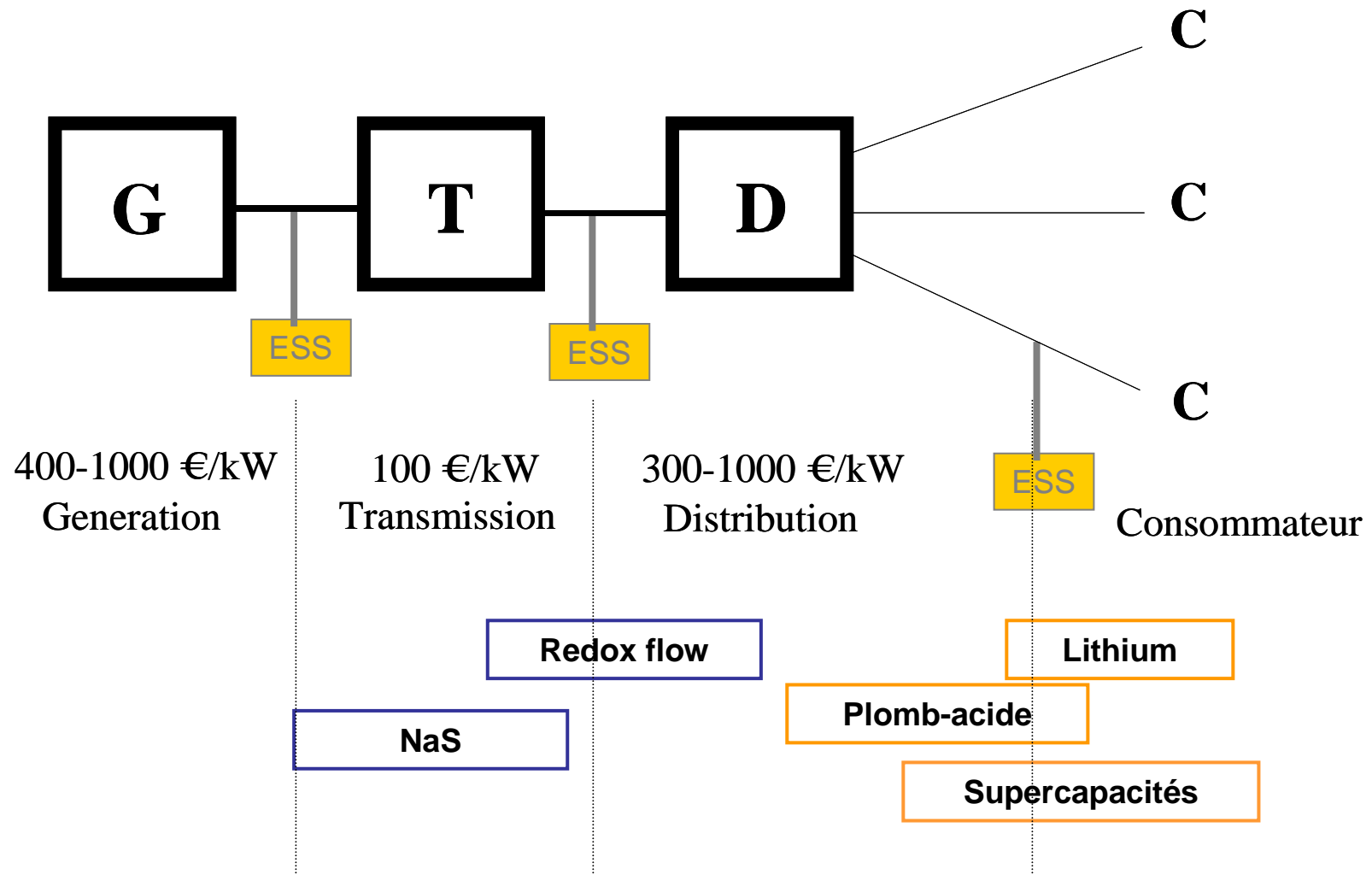


Quelles technologies de stockage ?

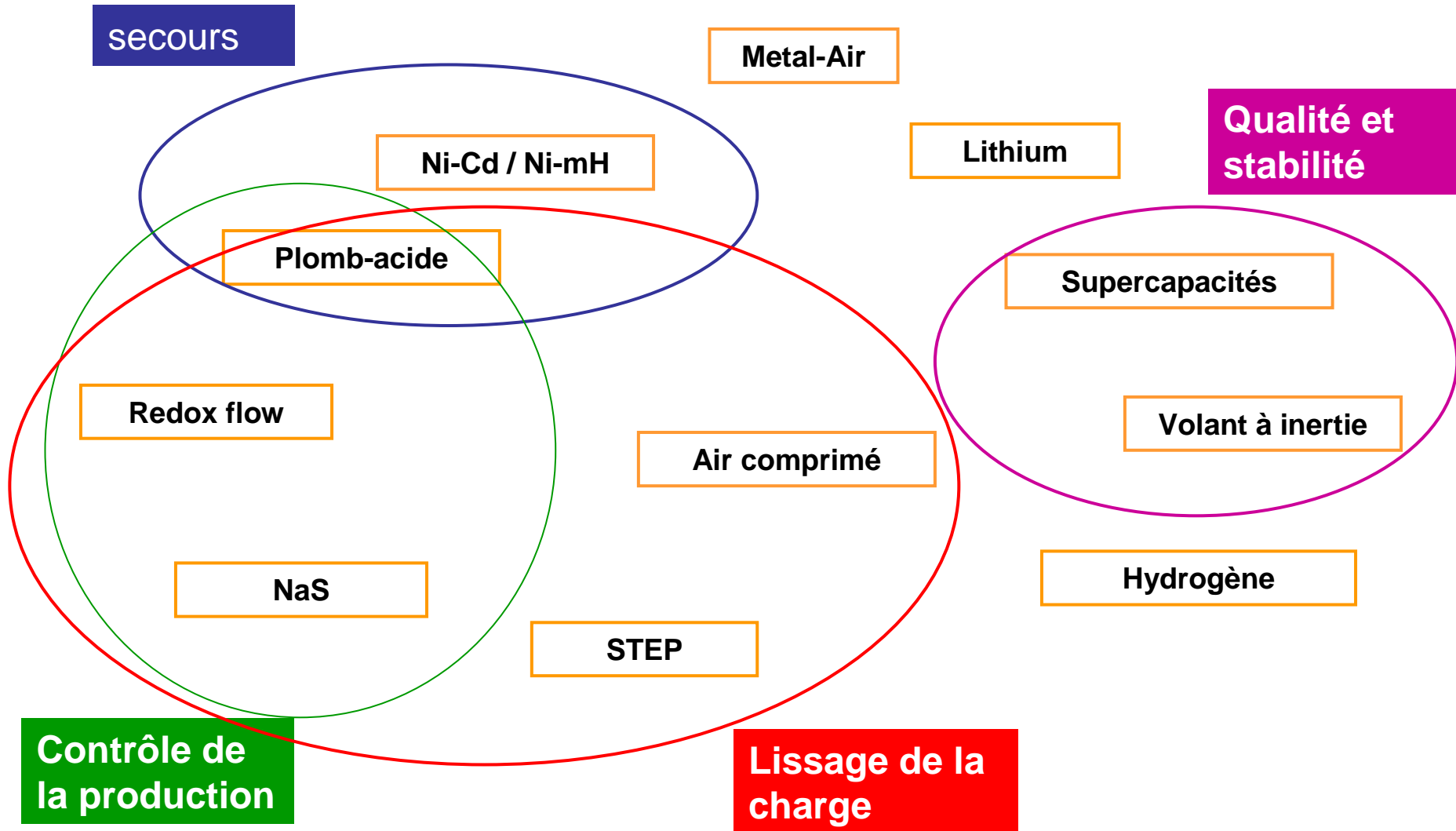
Classement selon leurs performances



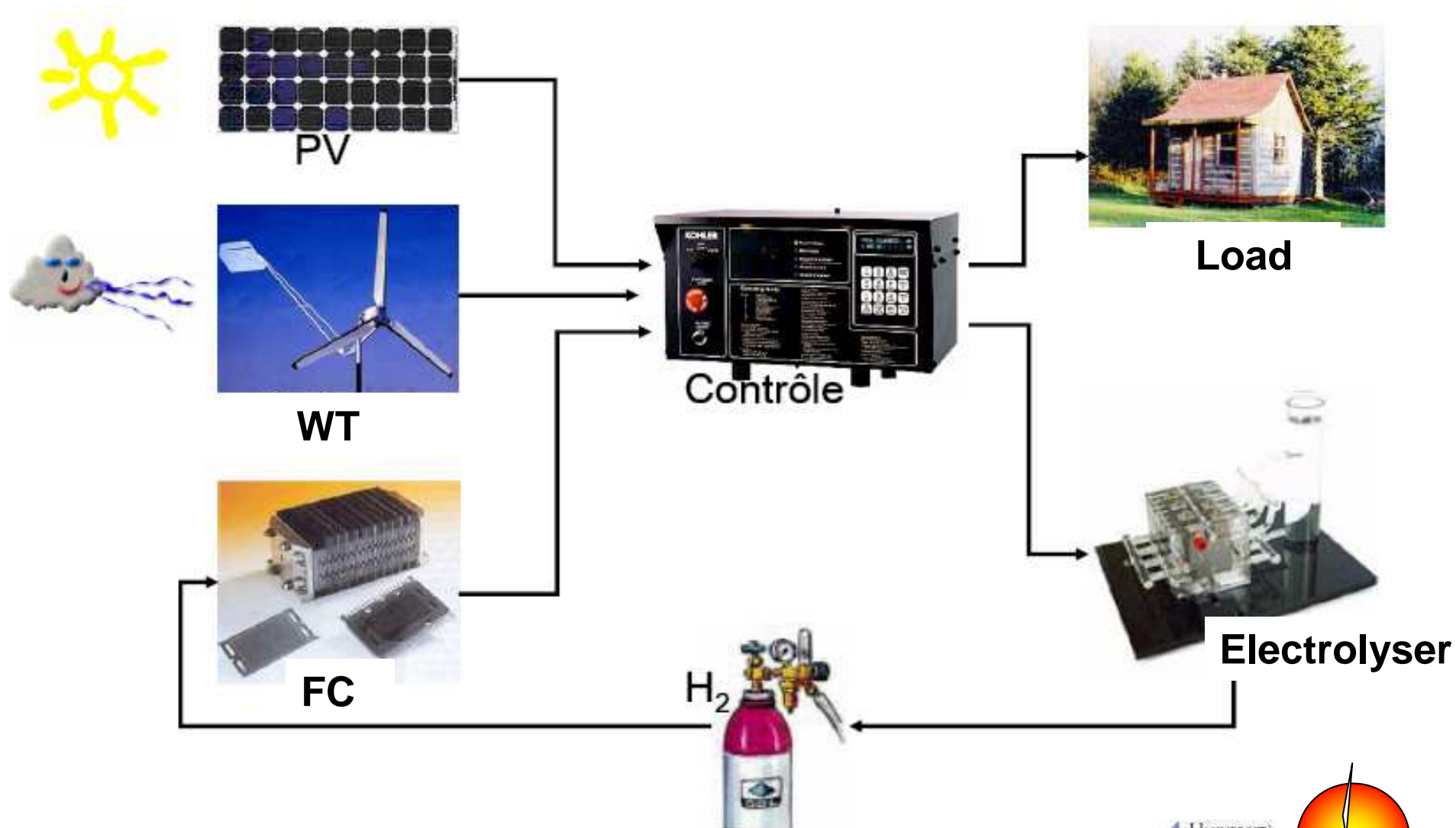
Le choix de la techno de stockage = f(application)

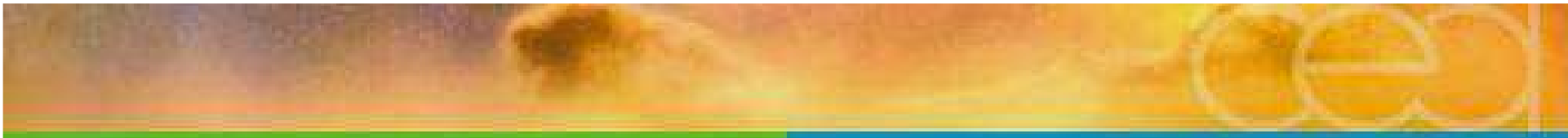


Exemples de technologies de stockage



Solution Hydrogène



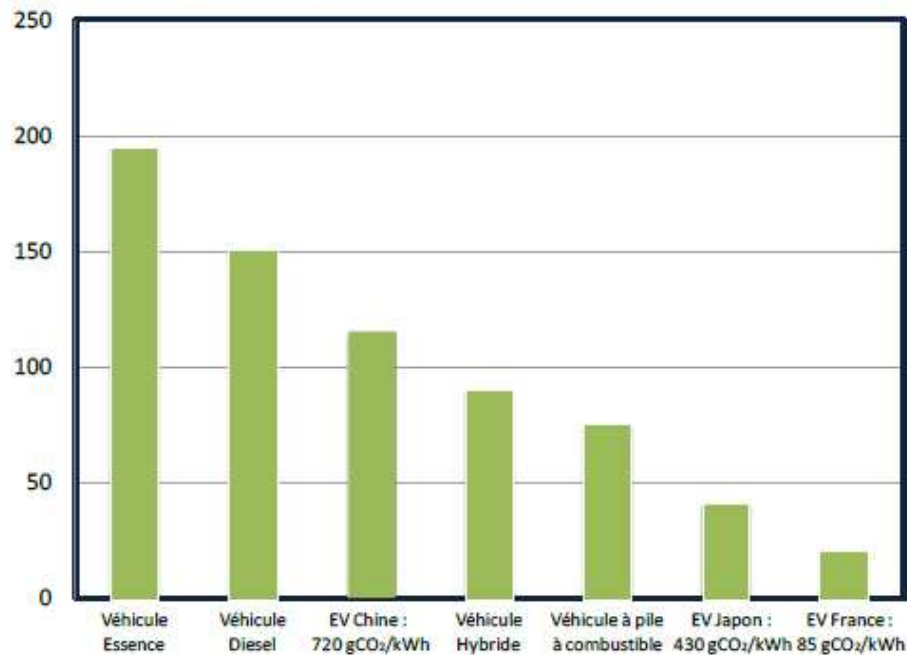


Energies non carbonées pour le transport



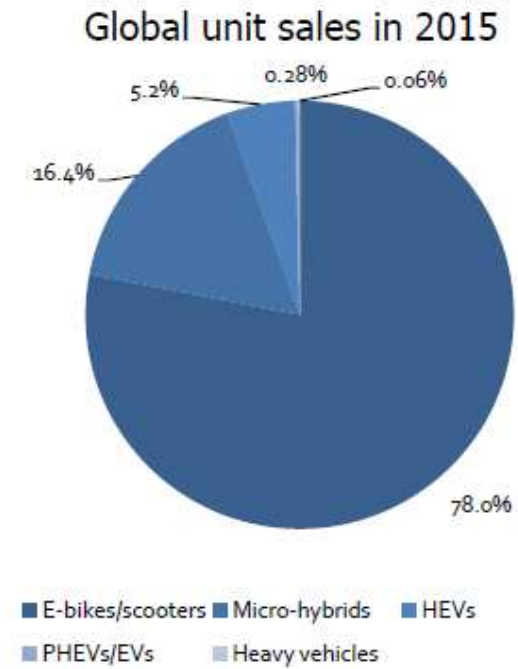
Transport électrique et GES

Véhicule électrique : un impact écologique différencié selon les pays

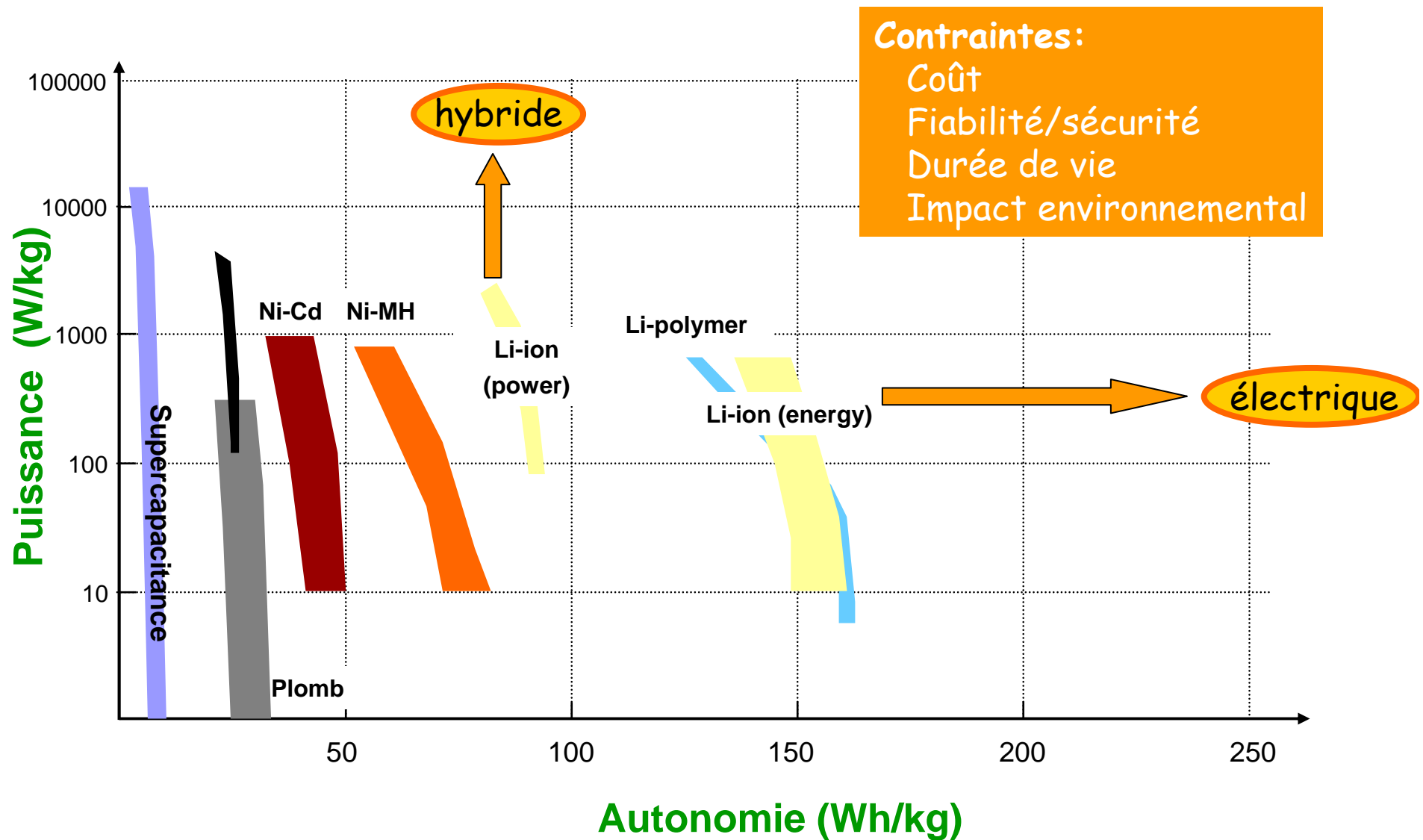


Emissions en gCO₂/km du puits à la roue (source Ademe)

Perspectives de déploiement (luxresearch)

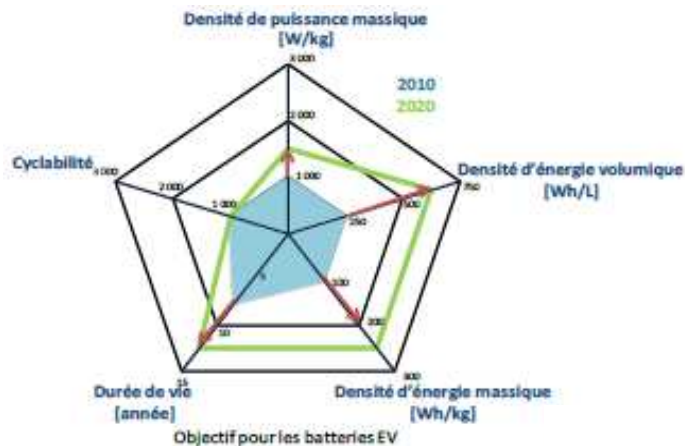


Des batteries pour les véhicules

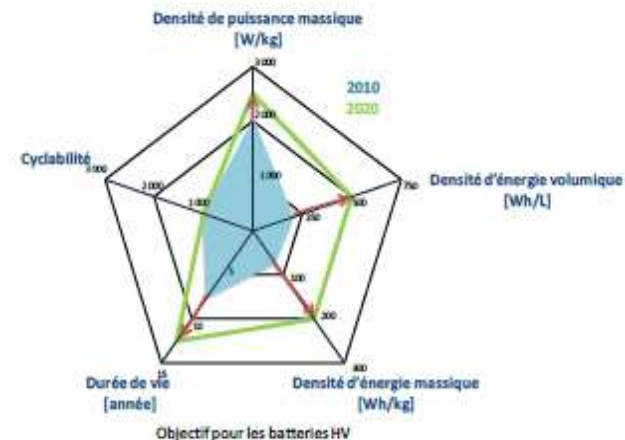


Quelles technologies de stockage pour les VE-VEH ?

Une lecture multicritères en terme de performance



Véhicules électriques



Véhicules hybrides

Technologie Li-ion la plus étudiée

EV : Mitsubishi i-MieV, Nissan Leaf, ZOE, Fluence ..

PHEV : Chevrolet Volt

Etat de l'art des batteries Li-ion



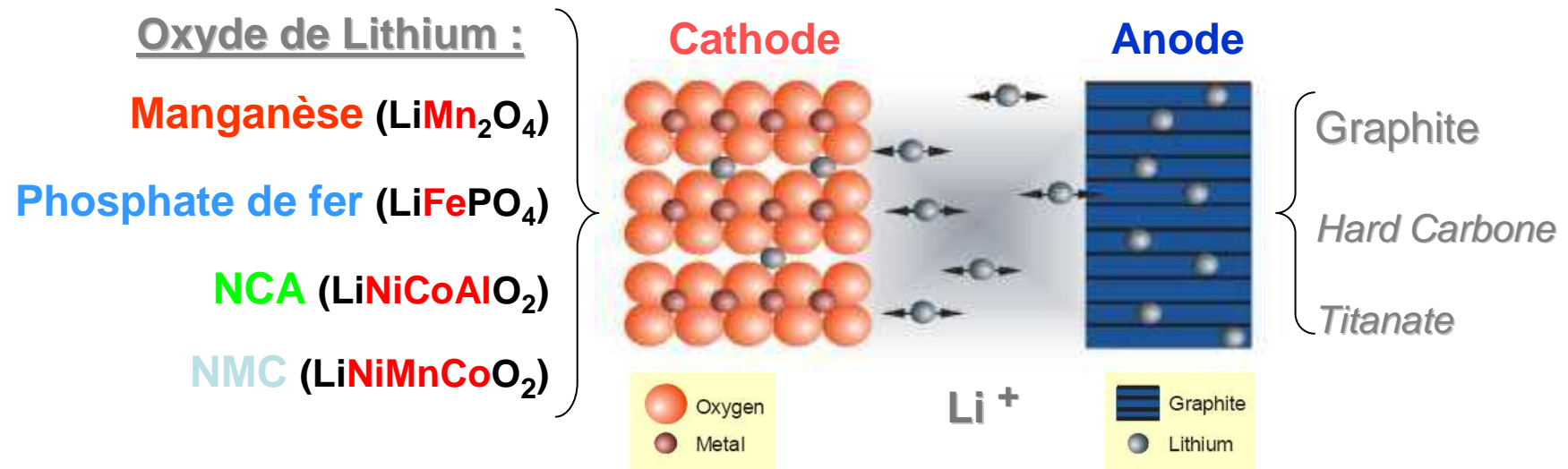
Technologie très répandue : portable, outillage ...

Chimie pour les hautes densités d'énergie :

Oxyde de cobalt lithié - graphite

Cette chimie n'est pas adaptée pour l'application transport :
Risque d'emballement thermique et risque de spéculation

Autres chimies



batteries Li-ion : les générations

1^{ère} Génération

Phosphate de fer lithié
Titanate de lithium

2^{ème} Génération

Oxyde de manganèse
spinelle / composite Si-C
Oxyde de Mn
lamellaire/composite Si-C

Oxyde de manganèse
spinelle / titanate de Li
Oxyde de manganèse
spinelle /TiO₂-B

Verrous :

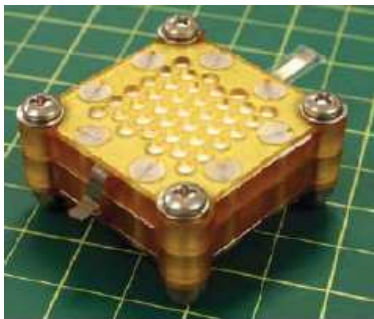
Cyclabilité des matériaux d'électrodes

Stabilités des électrolytes surtout sous 5V
(liquides ioniques?)

L'Après Li-ion

Les limites du Li-ion : densité d'énergie massique $< 300\text{Wh/kg}$

3 pistes :



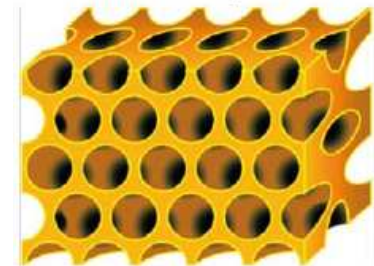
*Li/Air Cell
(800 Wh/kg)*

Technologie Li-air : Densité d'énergie théo 5000Wh/kg mais pb de formation de produits de réaction

Technologie Li-S : densité d'énergie théo élevée (2500Wh/kg) mais pb de solubilité dans les électrolytes organiques + risques formation dendrite

Electrolyte tout solide

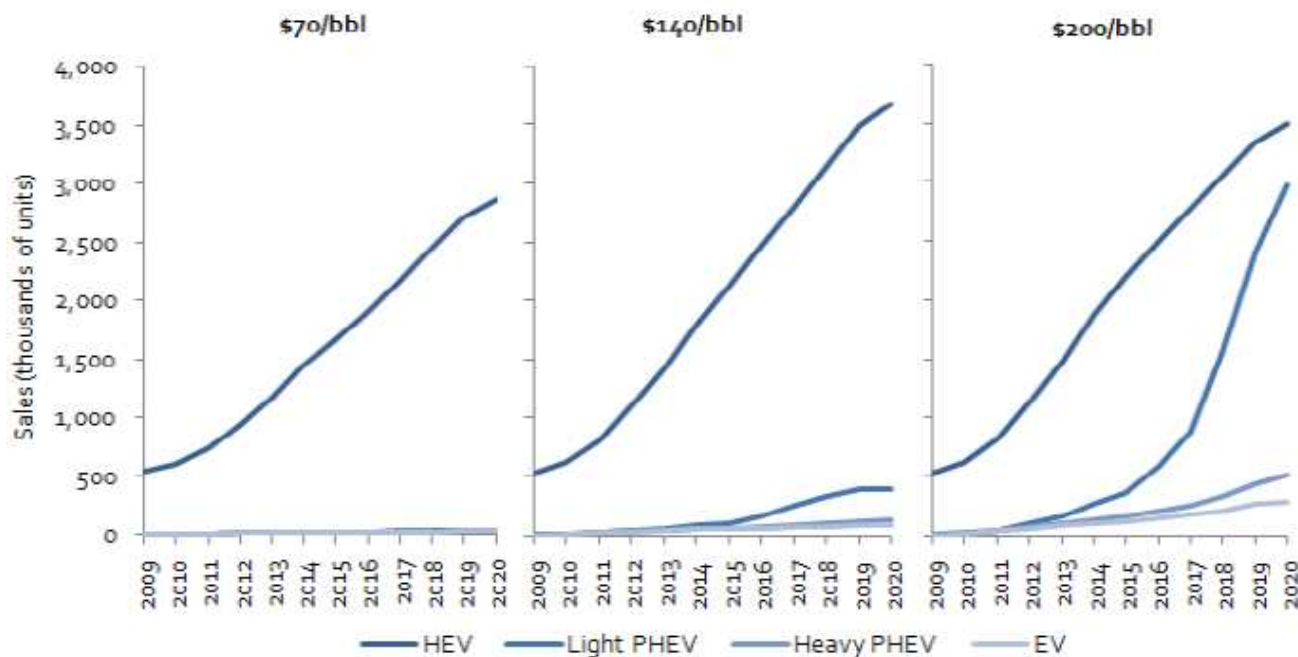
Structure du séparateur



Véhicules électriques : autres verrous

Acceptabilité sociale

Diminuer Prix : batteries & système



Surcoût à l'achat car faible coût d'utilisation / thermique

Véhicules électriques : autres verrous

Acceptabilité sociale

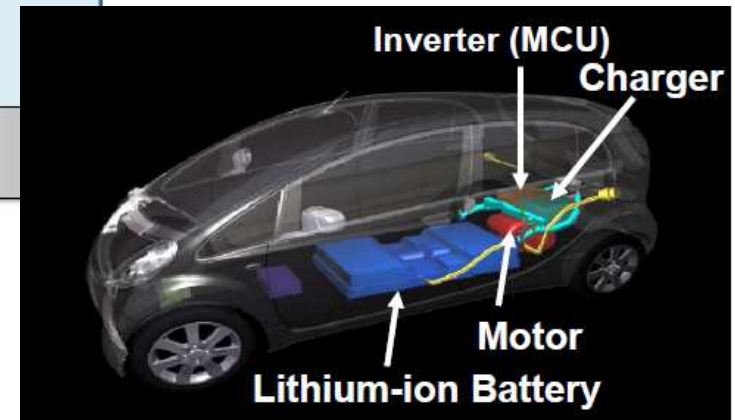
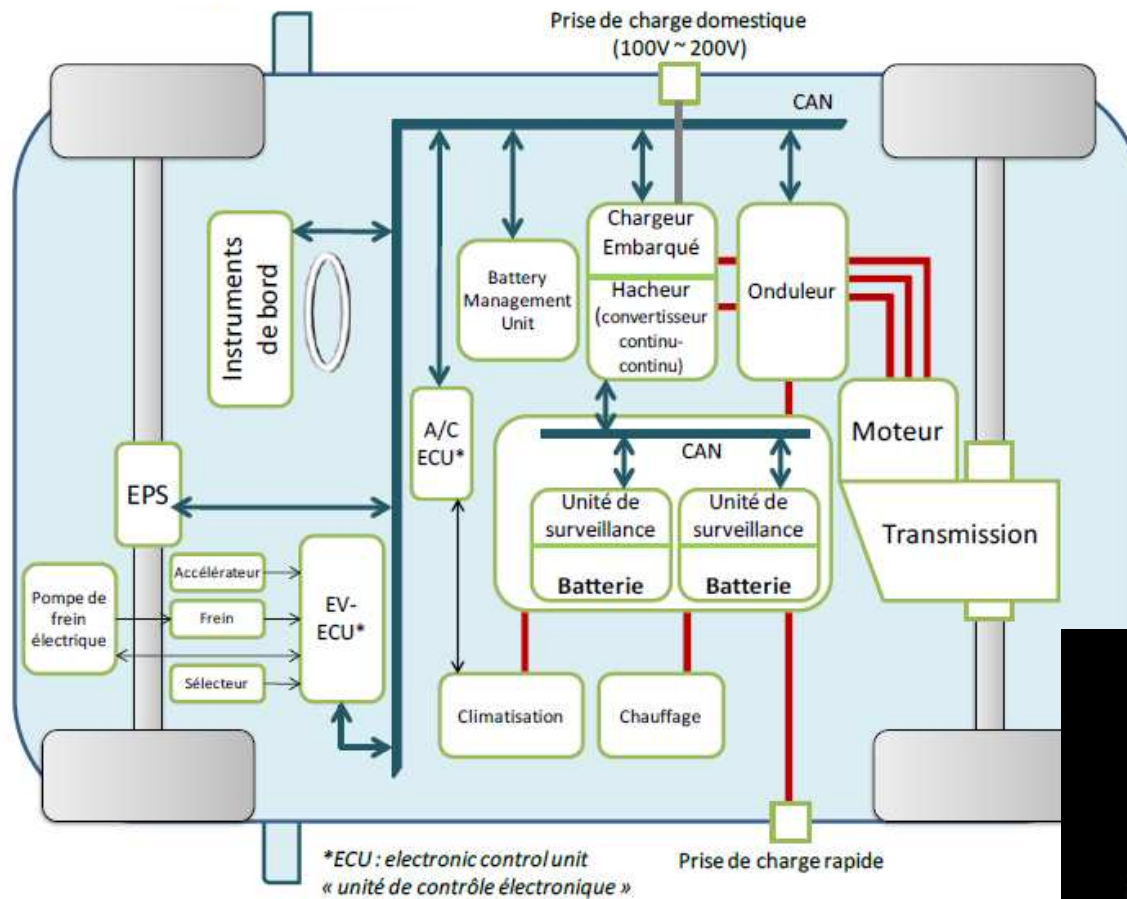
« Risque » de panne



I'm only a few miles from home.
Could I borrow a socket?

- ✓ Absence de jauge fiable (vieillessement fonctionnement/calendaire)
- ✓ Difficulté de prévoir la consommation : pente, climat, chauffage...

**Nécessité de développer
« battery management system »**

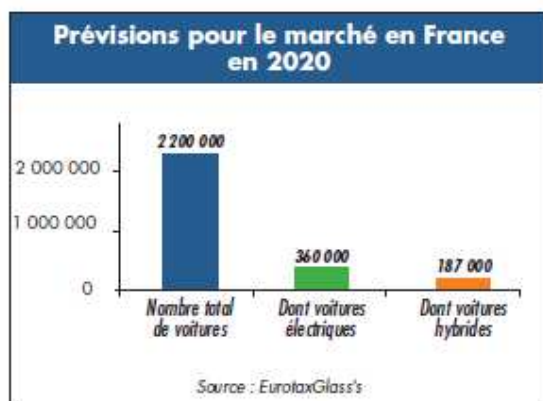


Exemple d'architecture de la I-MIEV

Problème de la recharge des VE/PVEH

Nécessité d'adapter l'infrastructure

véhicule électrique qqes dizaines de kWh



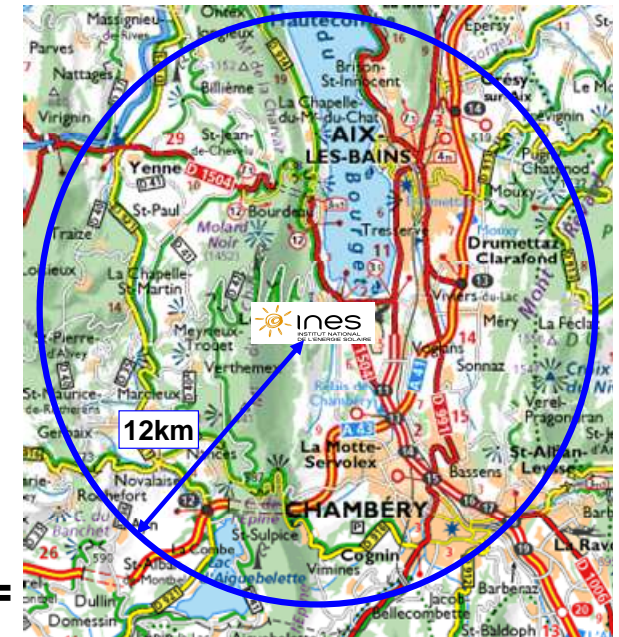
Recharge sur prise standard : qqes heures

Recharge rapide < 30 minutes

- ✓ Développement des recharges rapides sécurisées
(1 borne recharge rapide \approx 1 maison)
- ✓ Problème du pic de consommation => smart grid

Concept de mobilité solaire

Montrer la faisabilité du trajet domicile-travail par véhicules électriques rechargés au solaire pour des zones à habitats dispersés.



11m² de panneaux PV

=

1 place de parking au sol

=

25km/jour*

d'un Véhicule électrique

=



**MERCI POUR VOTRE
ATTENTION**

