

SEIYA Consulting

Marketing stratégique des nouveaux paradigmes énergétiques

Transition énergétique, hydrogène et piles à combustibles : présentation des enjeux économiques, technologiques et sociétaux

L'hydrogène, vecteur énergétique de l'avenir ?

ASPRM – Seiya Consulting, 27 et 28 mars 2012, Paris.

- Montant record : 70 milliards d'euros
- Facture énergétique responsable des $\frac{3}{4}$ de sa dégradation :
 - 62 milliards d'euros contre 48 milliards en 2010
- Quel est l'impact de notre facture énergétique fossile croissante sur la compétitivité, l'emploi, le pouvoir d'achat (donc la consommation), la pollution ? Combien de milliards supplémentaires ?

Le défi : concilier un impératif de transfert énergétique vers des solutions électriques décarbonées, sans pour autant faire sauter le réseau électrique, et tout en réduisant notre dépendance au nucléaire

Distance moyenne parcourue par habitant dans le monde



En France



Nombre de véhicules (monde)



Energie primaire (monde)



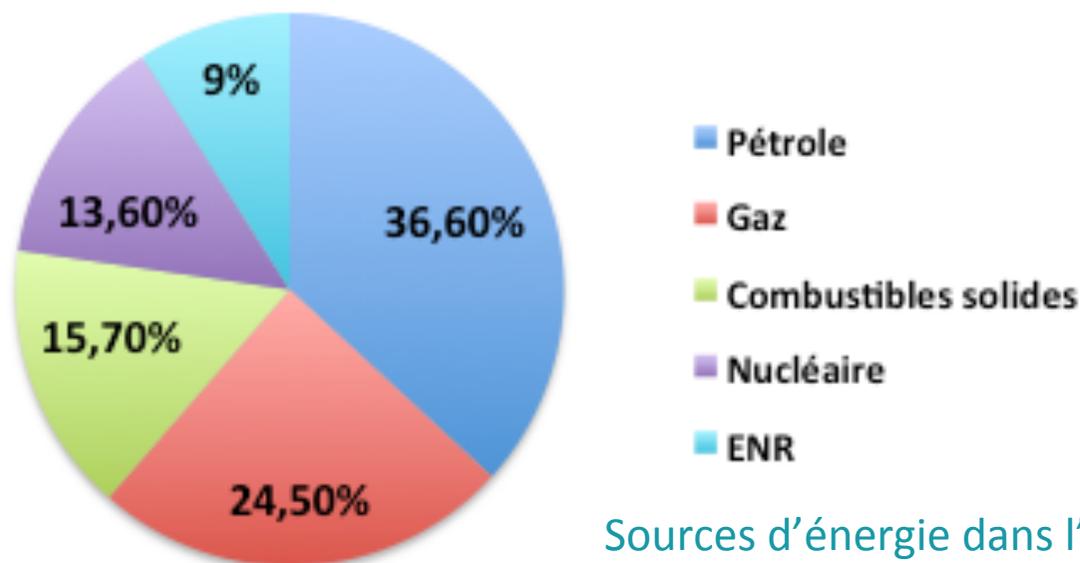
- La production de pétrole brut et condensats pourrait plafonner vers 95 Mb/j dès 2020
- Emissions de NOX et nanoparticules responsables de 2 millions de morts (source : OMS, 2011)

Et avec 2 milliards de véhicules, 6 millions de morts ?

Qui peut nier qu'il faut bouger ?

4

- Consommation d'énergie par habitant / an
 - 1,5 tep en 2000, 2 tep en 2030
- Diviser par 2 émissions de CO₂ d'ici 2050
- Combustibles fossiles = 80% fourniture énergie primaire



Sources d'énergie dans l'Union Européenne
En % de la consommation brute en 2009

- = Période de transition, mix énergétique diversifié
- = Hybridations, spécialisation, diversification, adaptation aux contraintes locales
- = innovations multiples, marchés de niche, fort potentiel PME plutôt que grands groupes
- = reconversions et nouveaux métiers
- = changement des comportements et des systèmes de valeur

Le contexte des transports et de l'environnement, vu par un acteur des moteurs thermiques...

Dans un contexte de pétrole cher et de préservation des ressources énergétiques, répondre à l'accroissement de la demande de mobilité constitue un défi majeur pour le secteur du transport. Ceci passe principalement par l'amélioration de l'efficacité énergétique des systèmes de propulsion.

Le pétrole et l'automobile

Le pétrole est:

- abondant,
- d'une extraordinaire densité énergétique (énergie contenue par kilo)
- d'une grande flexibilité d'usage.

pourquoi l'automobile dépend toujours du pétrole à plus de 98 % (gazole ou essence)

Ceci explique également pourquoi nos automobiles sont toujours propulsées par un moteur thermique : ce n'est pas une volonté, c'est la conséquence de l'existence du pétrole.

La dépendance de l'automobile au pétrole est source de bien des inquiétudes: accroissement de la demande, fortes tensions sur les marchés de l'énergie, ressources en pétrole limitées, crise pétrolière

Le pétrole "facile et bon marché" va progressivement laisser la place à l'ère du pétrole "difficile d'accès et cher" dont l'extraction deviendra de plus en plus lente.

Le problème est qu'il n'existe pas d'alternative au pétrole qui soit généralisable pour propulser les automobiles, hormis le gaz naturel qui est soumis aux mêmes tensions. **Ce sera donc bien aux automobiles de devenir plus économes, afin que le coût de l'énergie ramené au kilomètre parcouru, reste le plus faible possible le plus longtemps possible.**

Ha bon ?

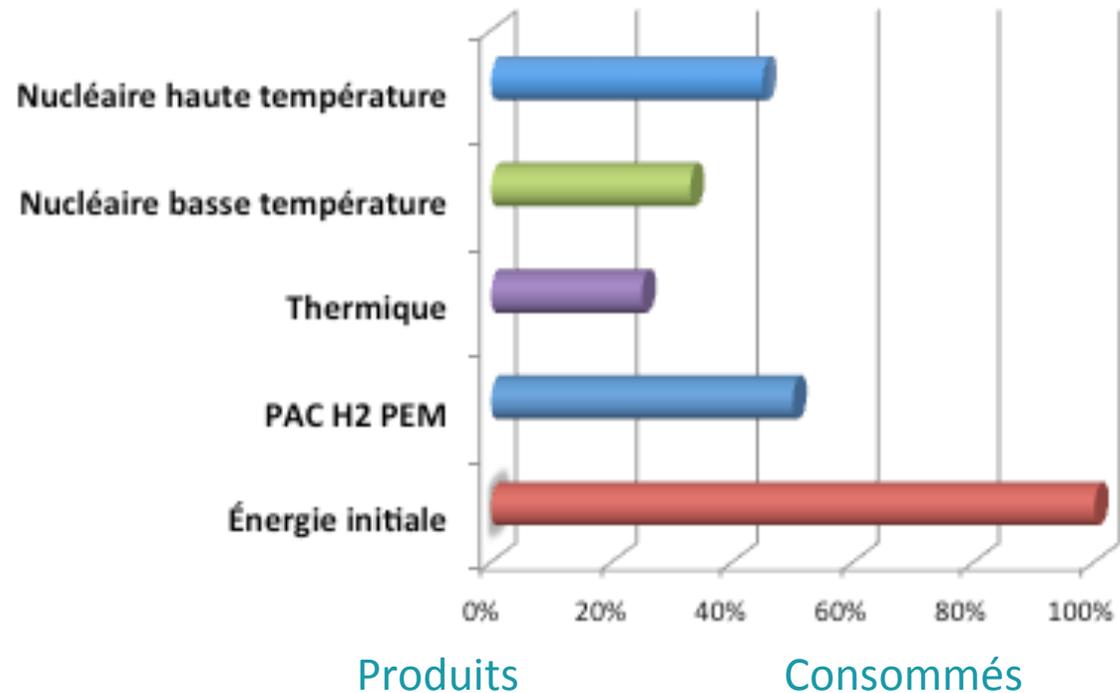
Et le rendement réel ?

C'est quoi cette fumée ?

Pas d'alternative propre ???

Efficacité des rendements énergétiques ?

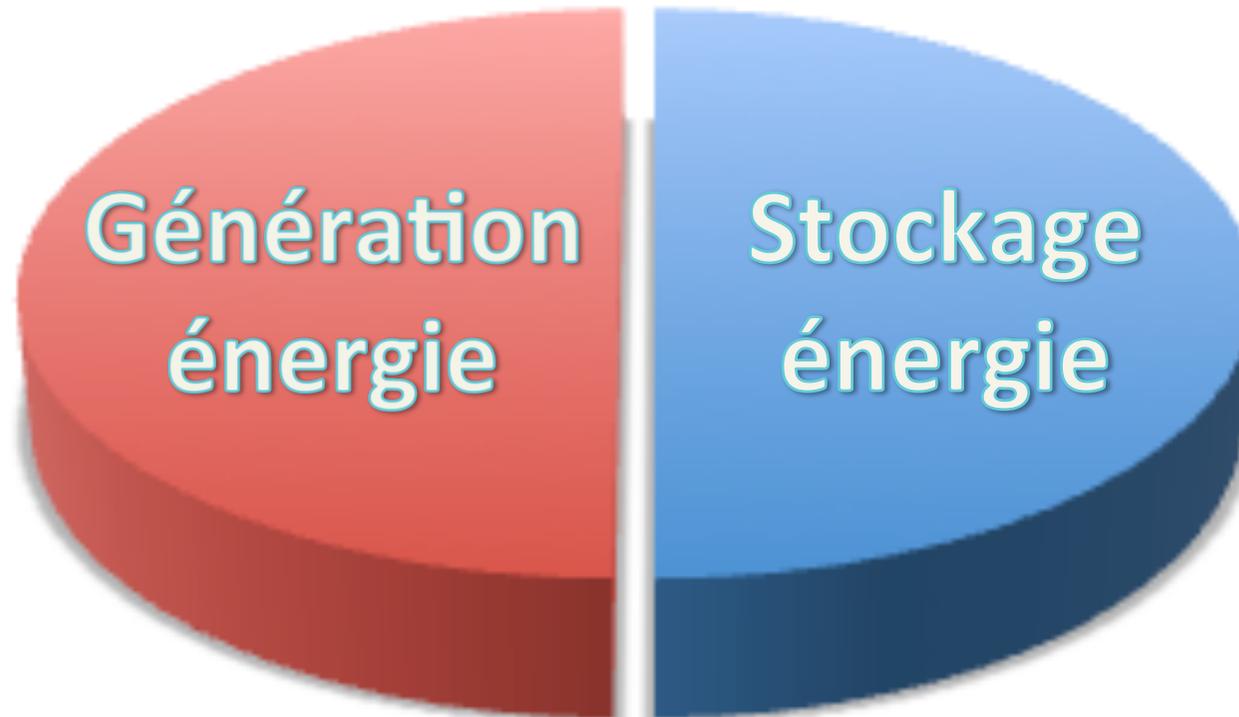
L'efficacité n'est pas le vrai critère !



Totaux énergie France :



Il faut que l'énergie soit bon marché, propre, et durable

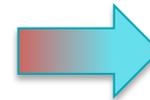


Acceptabilité du TCO dans un volume donné

Changements :

Technologies énergétiques

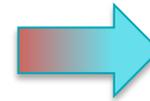
Combustion



Electrification

Optimisation efficacité (intelligence)

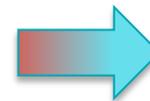
Gestion mécanique



Gestion numérique

Infrastructures

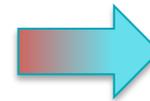
Centralisée



Distribuée

Comportements

Individualisme



Partage

- Roadmap Energy 2050 (ONG Européenne)
 - Scénario de déploiement ENR à 80% en Europe est possible
 - Si mutualisation massive au niveau Européen
 - Donc interconnexion massive du Grid haute tension (problématique)
 - Stratégies complémentaires
 - Stockage de l'énergie
 - ENRs diversifiés en fonction des particularités locales
 - Rapprocher la production de la consommation
- ➔ H2 très bon candidat !

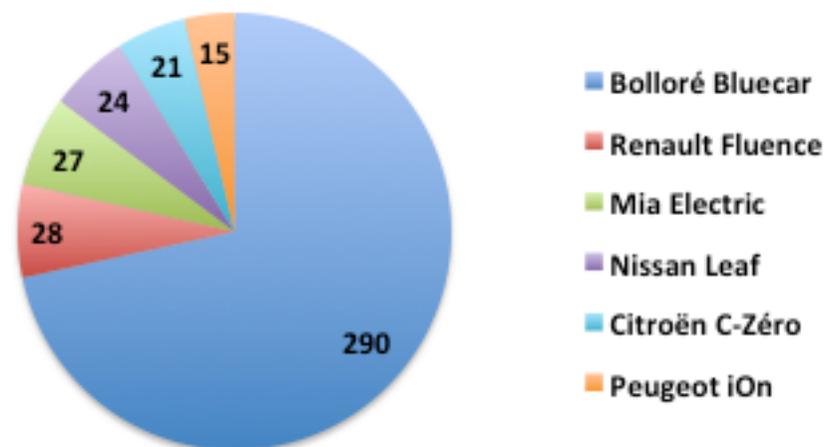
DE L'ÉNERGIE FOSSILE À L'ÉLECTRICITÉ...

- Grenelle 1
 - Objectif 2 millions de véhicules électriques batteries en 2020
 - Commandes publiques (jusqu'à 50 000 véhicules)
 - Incitations fiscales (5000 € pour les particuliers)
- Grenelle 2
 - 4,5 millions de points de recharge en 2020
- Déploiements prévus
 - Autolib « Bolloré » 3000 voitures + 1000 stations de charges
 - Infrastructures de charge publiques pour 14 villes
 - Mais 70% de véhicules hybrides diesel...
- Véhicules PAC H2 ?
 - Rien de prévu jusqu'en 2011
 - Contrairement à tous les autres pays industrialisés
 - AMIs ADEME à partir de 2011

- Au premier semestre 2011, seuls 5.222 véhicules électriques ont été immatriculés dans les 15 principaux pays d'Europe, selon le cabinet Jato Dynamics, soit 0,07 % du marché...

France 2012 : 717 immatriculations, dont 62% Bolloré Bluecar

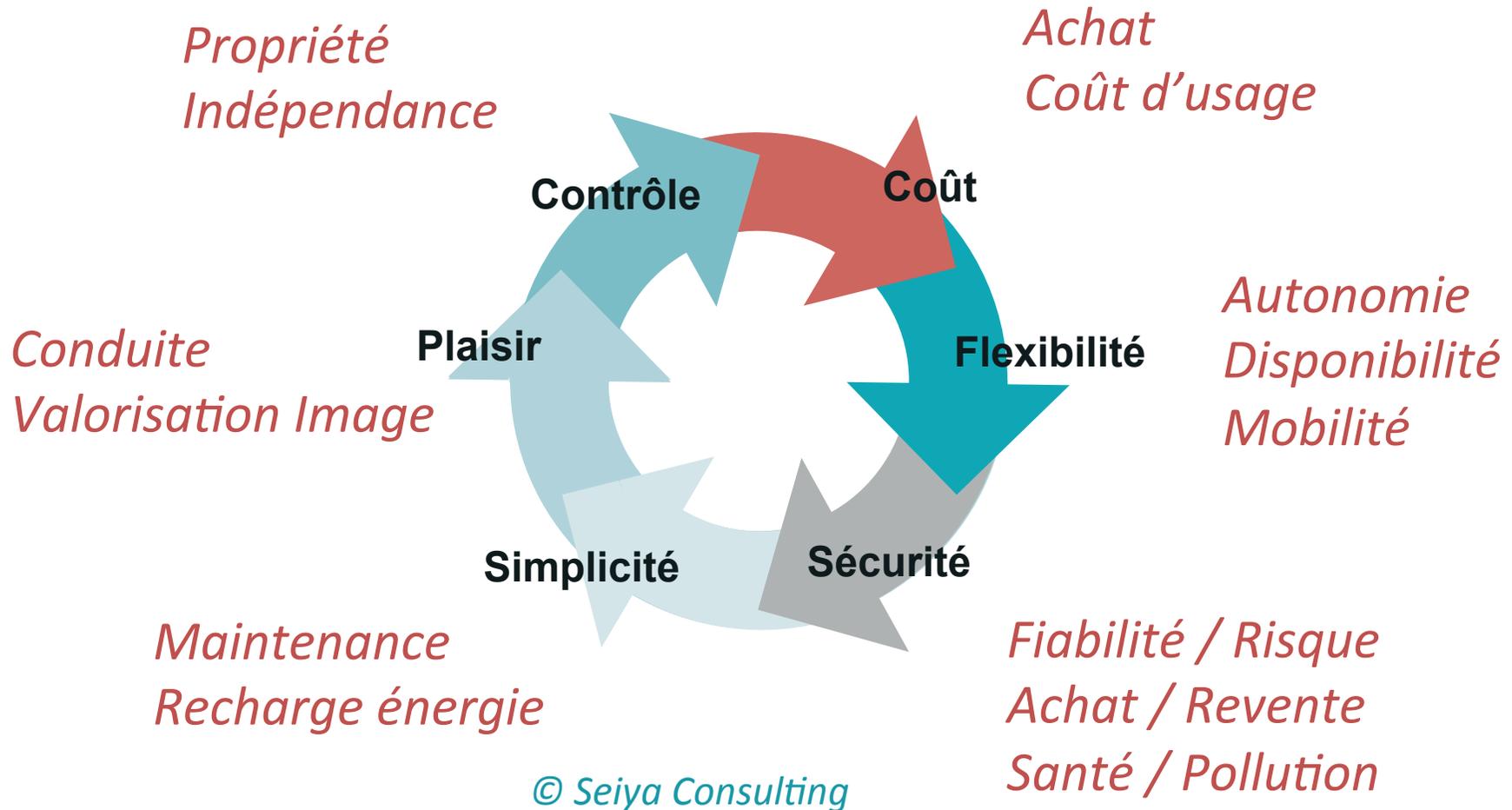
Immatriculations France Février 2012



Règles d'or des technologies de substitution

- 1) Une nouvelle technologie n'est adoptée qu'à un niveau de service supérieur ou un coût < 30%...
 - Pas d'exemple du contraire
 - L'homme n'aime pas régresser dans sa qualité de vie
- 2) Seul le consommateur décide
 - Sur sa perception de la Valeur
 - Quelle que soit la rationalité de la nouvelle solution proposée
- ➔ Aujourd'hui le succès des BEV nécessite un changement comportemental fort des utilisateurs
 - C'est au mieux extrêmement risqué
 - Au pire totalement illusoire

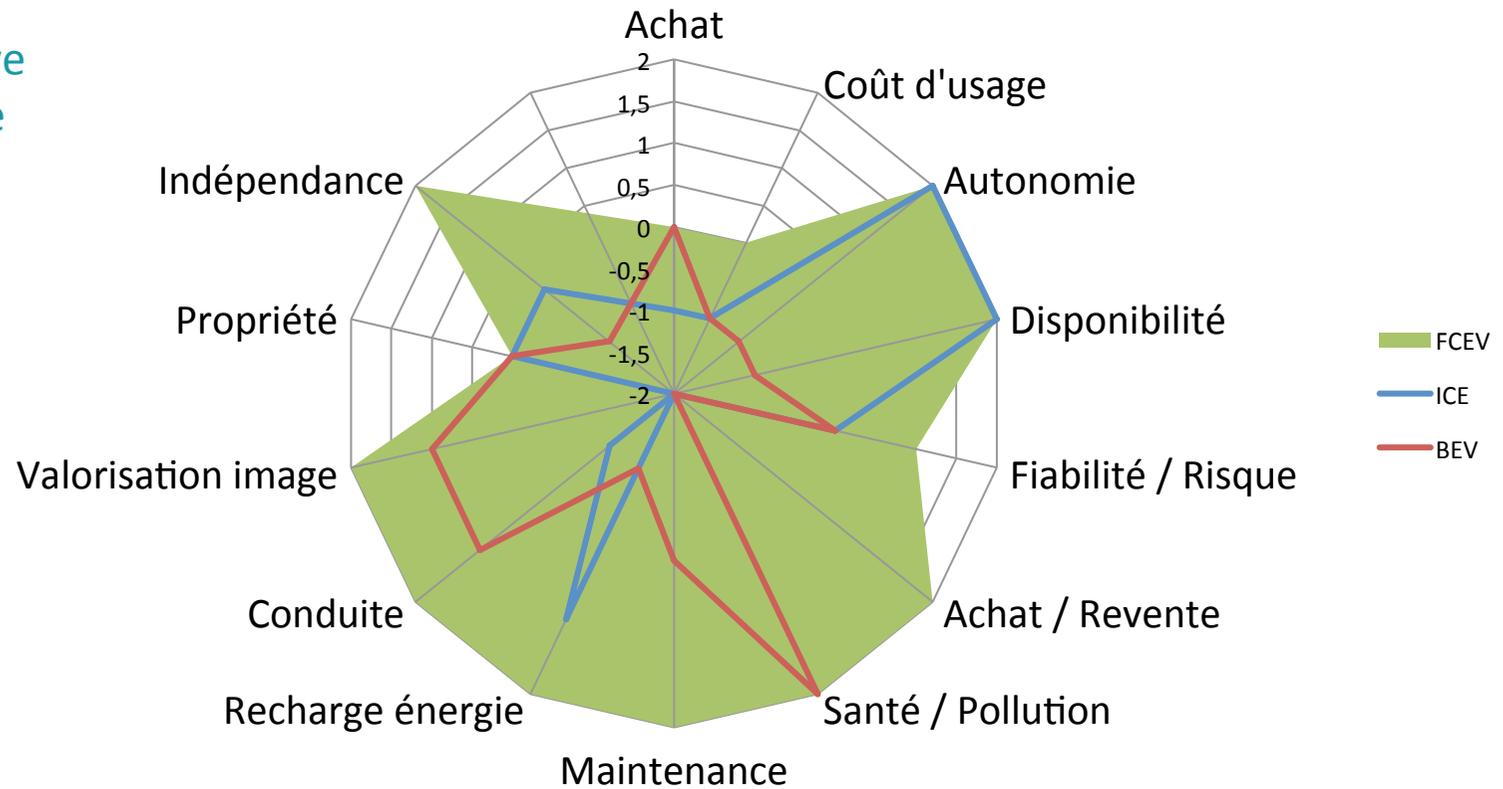
La perception de valeur pour l'utilisateur



En valeur, l'Hydrogène sort Vainqueur (2020) !

Perception des usagers

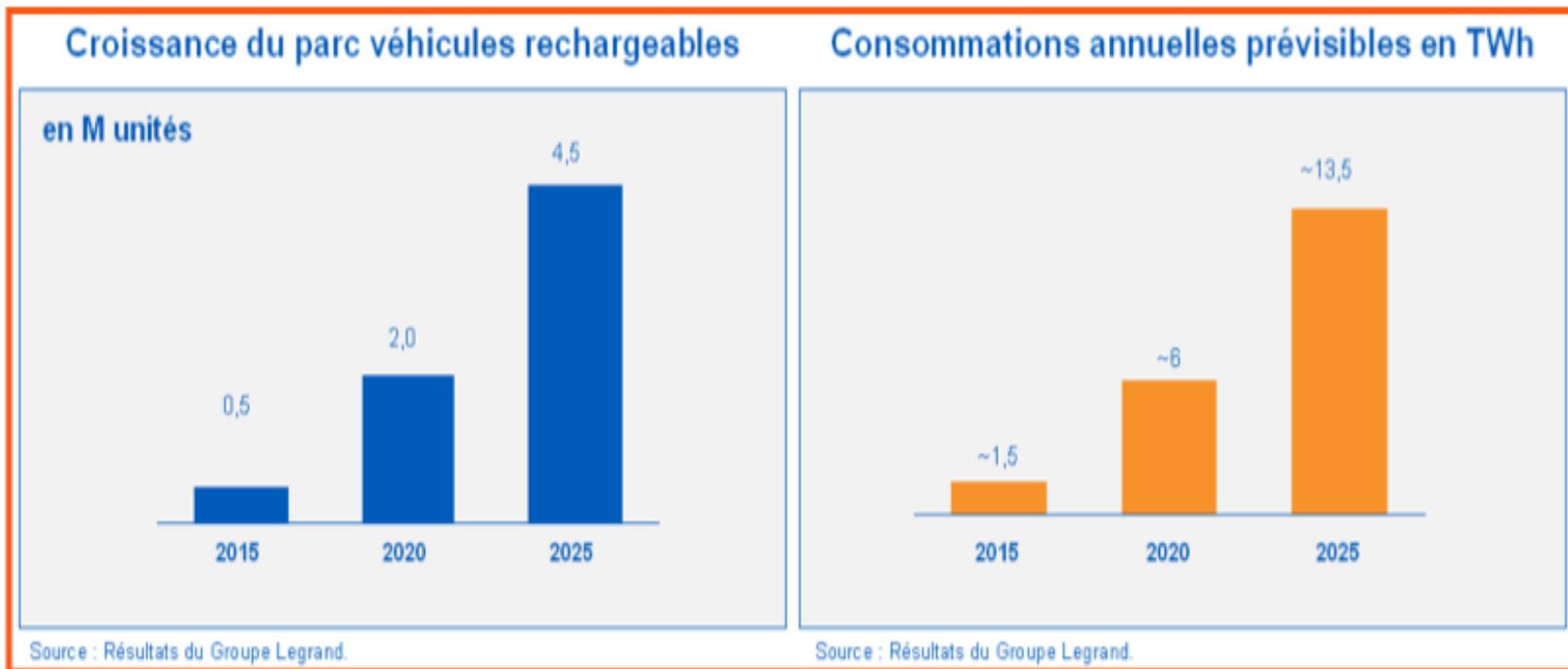
Echelle relative
(zéro = neutre
de référence)



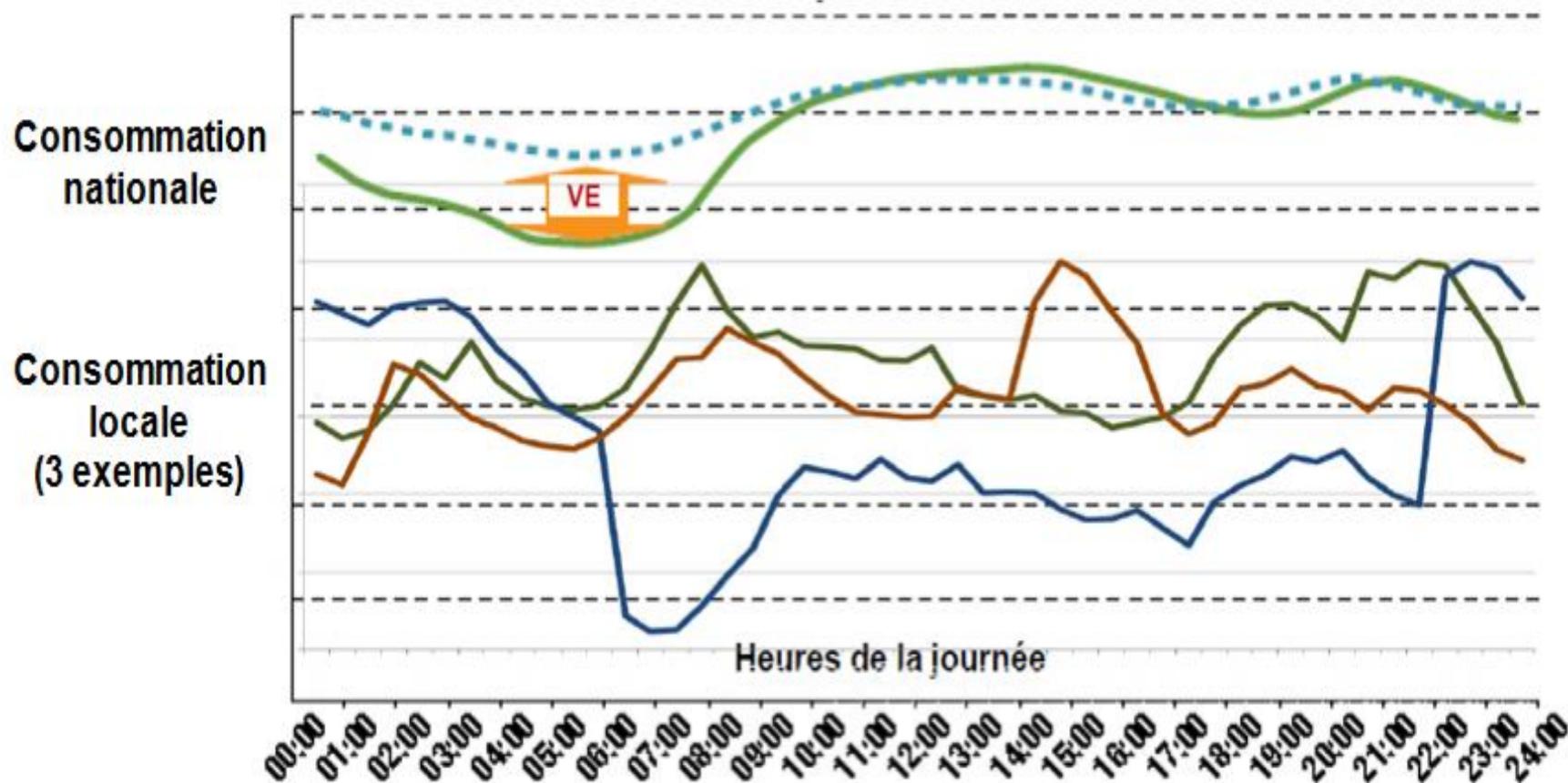
© Seiya Consulting

Véhicules Électriques batteries, le scénario théorisé...

- Objectif 2 M de VE en 2020, 33% Batteries, 67% Hybrides
 - Consommation électrique entre 5 et 6 TWh en 2020
 - « Absence de problème sur la courbe de charge nationale si on décale la charge en dehors des heures de pointe »



Le scénario théorique du Grid / VEB



Puissance appelée en fonction de l'heure de la journée

Source : ERDF

Cette théorie du déploiement VEB en France suppose

- 1 - Les consommateurs se disciplinent et se plient aux exigences du Grid
 - Toute contrainte de consommation limite... la consommation (achat des VE)
 - 2 millions d'automobilistes éco-responsables au point de se plier aux contraintes ?
 - « Moi, si j'ai une course urgente à faire je veux être sûr que ma voiture soit prête à partir »
- 2 - Le Grid est suffisamment intelligent pour faire les bons choix
 - Et que tout un chacun ait la discipline de brancher son véhicule dès qu'il est parké
 - Combien de milliards d'euros pour un SmartGrid opérationnel et temps de déploiement ? Quand ?
- Il faut 2,5 bornes de recharge en moyenne par véhicule (rapport Nègre)
 - 3 K € / borne, coût prévisionnel = 6 Md €

Dissipons la fumée...

- Il n'y a pas d'infrastructure de recharge H₂ en France, déployons des véhicules à batterie !
- Mais : il n'y a pas non plus d'infrastructure de recharge batteries !!
 - Problématiques de sécurité et de tension = bornes de recharge et câbles spécifiques
 - Borne publique 3 kW / 16A = 3000 € l'unité (à la charge de la collectivité)
 - Borne domestique « Wallbox » = 750 € l'unité (à la charge des consommateurs)
- Question : quel est le coût réel d'une infrastructure de recharge VEB (batteries) vs FCEV (H₂) ?

Comparaison coûts de recharge station publique de recharge : batterie vs hydrogène

Hypothèse du modèle :

	BEV 1	BEV 2	FCEV 1	FCEV 2
Autonomie effective moyenne	80 km	120 km	400 km	600 km
Temps de recharge moyen en mn	300 mn	360 mn	5 mn	7 mn
Borne de recharge publique 3kW 16A	3 000 €	3 000 €		
Station de distribution H2 AJC			220 000 €	300 000 €
Durée d'amortissement / remplacement	5 ans	5 ans	6 ans	7 ans

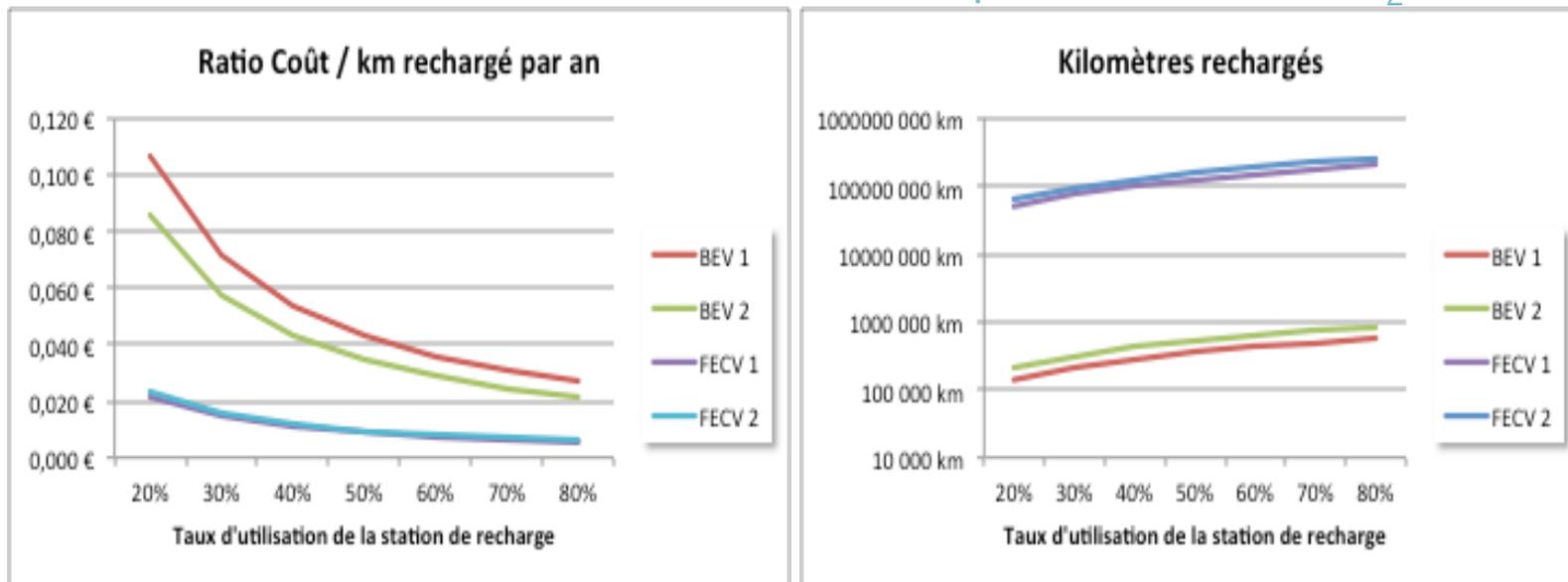
BEV 1 = Températures froides + chauffage, BEV 2 = Performances maximales

FCEV 1 - 350 bars, FCEV 2 - 700 bars

© Seiya Consulting 2011

Meilleur rendement investissement recharge : H₂

- Variation de la durée d'amortissement sans impact significatif
- Il faut environ 72 stations BEV pour recharger autant de véhicules qu'une seule station H₂
 - Soit $72 \times 3000 \text{ €} = 216\,000 \text{ €}$ = prix de 1 station H₂
- Il faut environ 360 stations BEV pour recharger autant de km qu'une seule station H₂
 - Soit $360 \times 3000 \text{ €} = 1\,080\,000 \text{ €}$ = le prix de 5 stations H₂

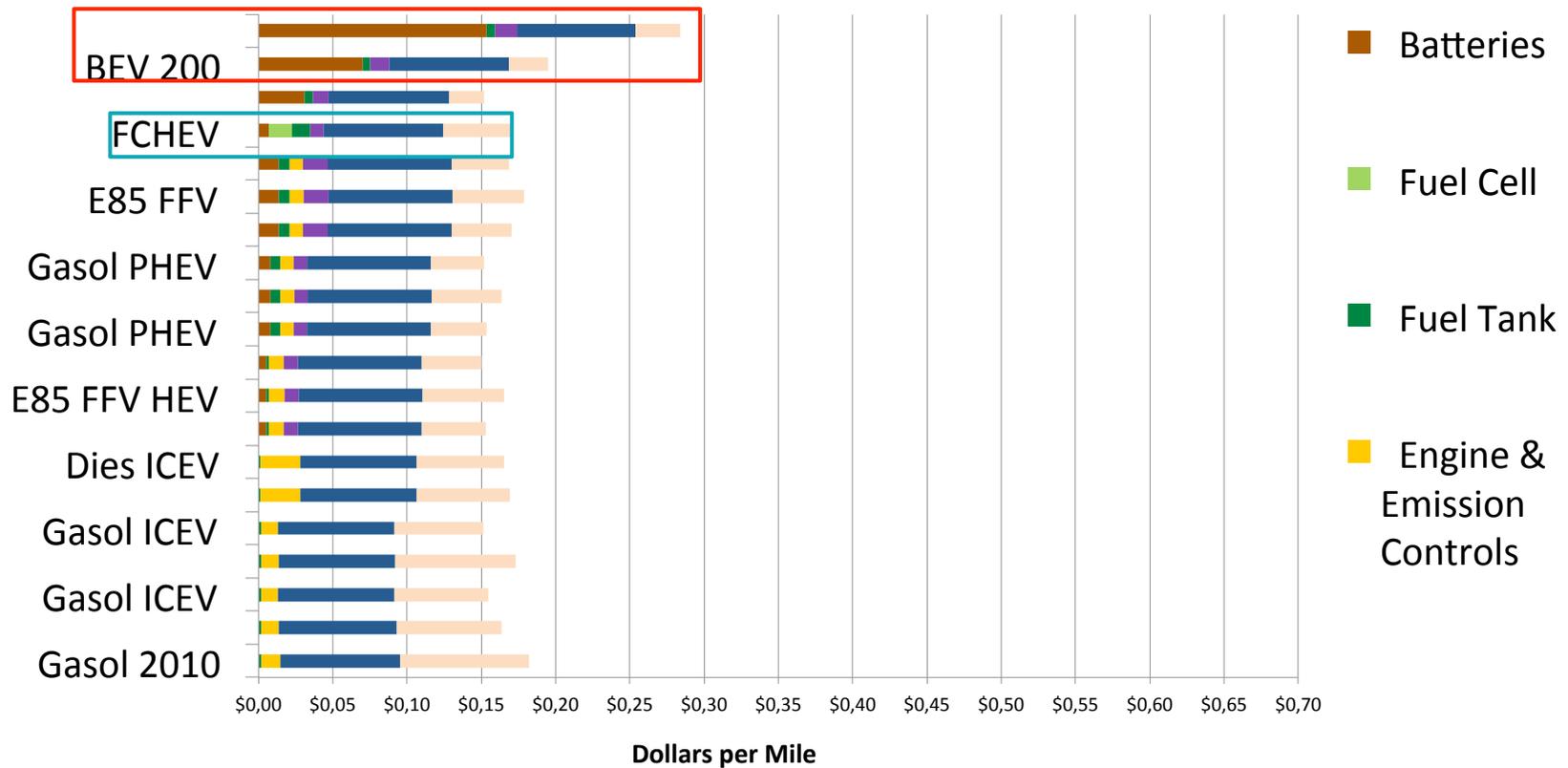


Les TCO 2030

The winner is... Fuel Cells!

Etude TCOs 2030 du DoE US (21 octobre 2011)

Component Cost per Mile in Year 2030
(except where indicated)

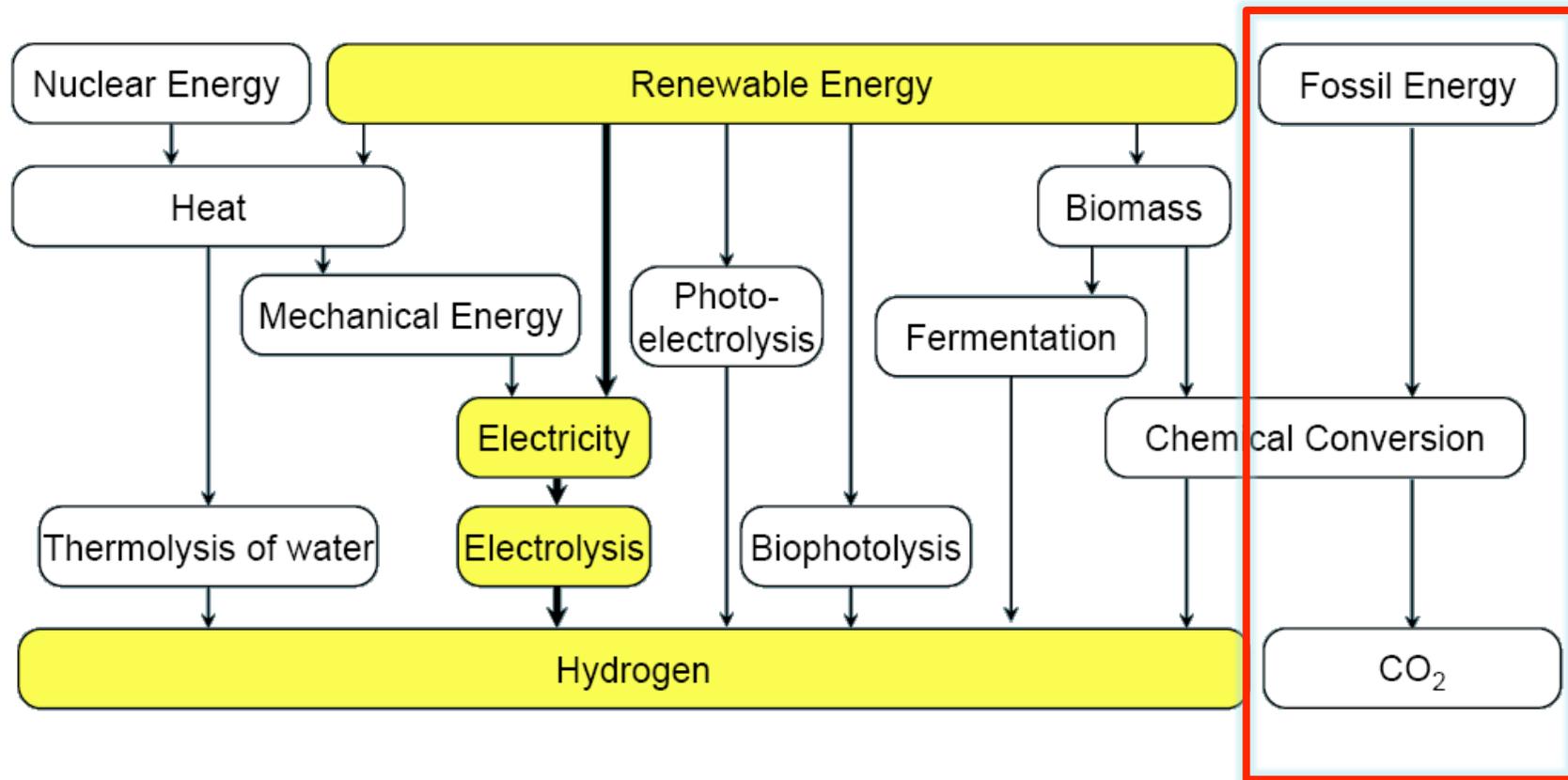


LA FILIÈRE HYDROGÈNE

- Industrie active dans plus de 20 pays, estimée à au moins 5,6 Md\$, 40 000 emplois
- D'ici 2020, 38 Md\$, 700 000 emplois
- Pays développés : diminution de la dépendance aux importations d'énergies fossiles
- Pays en développement : source d'énergie autonome, pas d'infrastructure réseau, croissance économique

Source : Annual Report on World Progress in Hydrogen Energy, PATH, nov. 2011

Zoom sur la génération d'hydrogène



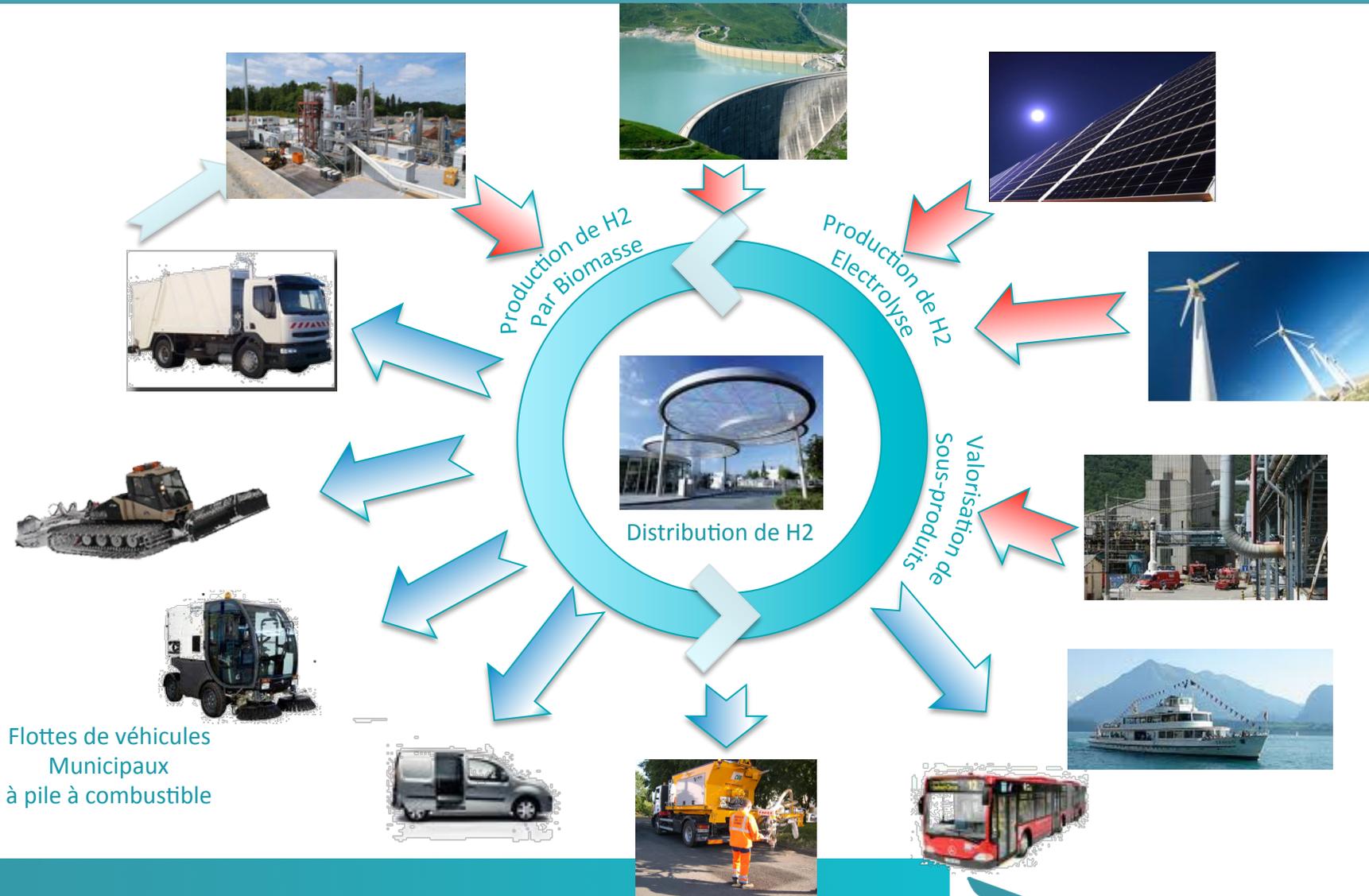
« plus de 90% de la production d'hydrogène est assurée à partir d'hydrocarbures » P. Marion (IFP)

Adapted from John A. Turner, Science, **285**, 687 (1999)

- **Reformage de gaz**
 - Du gaz, donc du CO₂
 - Pourtant, 30% de gain net CO₂ versus ICE, du simple fait d'un meilleur rendement énergétique
 - Technologies de captation de CO₂ à développer
- **Hydrogène fatal**
 - Sous-produit des industries chimiques à valoriser
 - 50 000 tonnes de H₂ fatal « pur » en France chaque année
- **Bioprocess (3G)**
 - Potentiellement inépuisable, sans apport énergétique
 - À quel horizon ?

- **Électrolyse**
 - En utilisant les ENR solaires, éoliennes, marémotrices, hydrauliques...
 - Nécessite encore des efforts pour améliorer le rendement
- **Solution vertueuse : stockage de l'énergie intermittente**
 - A condition qu'elle soit utilisée directement sous sa forme hydrogène dans des PAC
 - Améliore le rendement global et donc la rentabilité des ENRs

Scénario de démarrage, flottes captives H2



- **Cogénération centrale nucléaire : électrolyse de vapeur d'eau à haute température (EvHT)**
 - Programme d'étude CEA depuis 2006
 - Verrous technologiques : maîtrise des hautes températures (800°C), empilement d'éléments fragiles
 - Objectifs : durée de vie 50 000 heures, production H2 à 2 € /kg
- **Avantages**
 - production massive à faible coût
 - Optimisation rendements énergétiques et rentabilité des centrales nucléaires

- **Stockage sous pression**
 - 200, 350, 700 bars
 - Réservoirs de nouvelle génération, filages carbone
- **Stockage solide**
 - Hydrures métalliques capables d'absorber et de désorber le dihydrogène gazeux (notamment hydrures de magnésium)
- **Stockage liquide**
 - Très basses températures (environ 20° kelvin)

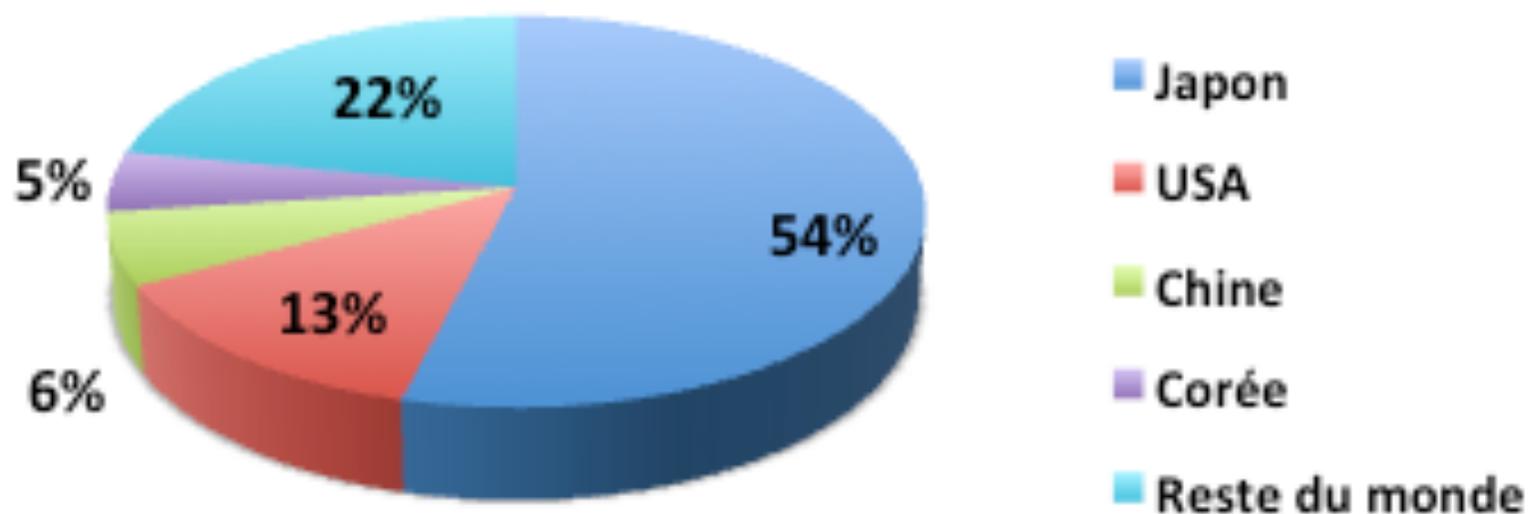
- ... terminologie impropre 😊 (pas de combustion)
- PEMFC (Proton Exchange)
 - Idéales pour les applications embarquées, de plus en plus utilisées dans les applications stationnaires (maturité et baisse des coûts)
 - Plusieurs technologies de plaques bipolaires : plaques graphites (matures, peu coûteuses, mais volumineuses), plaques acier inoxydable (idéales pour la fabrication en grande série, peu volumineuses ; difficultés : corrosion possible et augmentation de la résistance de contact)
- SOFC (Solid Oxyde)
 - Gros potentiel pour les fortes puissances, applications stationnaires
 - Manque encore de maturité technologique, coûts élevés
 - Concurrencées par les PEM sur les plus faibles puissances (PEM = 93% du marché Small Stationary en 2009, source: RNCOS)

Pays	Dépenses
USA	460 M\$ annuels
Allemagne	1,1 Md\$ jusqu'en 2017
Corée	100 M\$ annuels
Inde	50 M\$ annuels
Chine	60 M\$ annuels
Union Européenne (hors Allemagne)	800 M\$ annuels

- Feuille de Route Stratégique H2 et AMIs ADEME changent la donne en France
- Mais combien de milliards investis chaque année dans les moteurs thermiques pour gagner des pouillèmes de rendement et de propreté ?

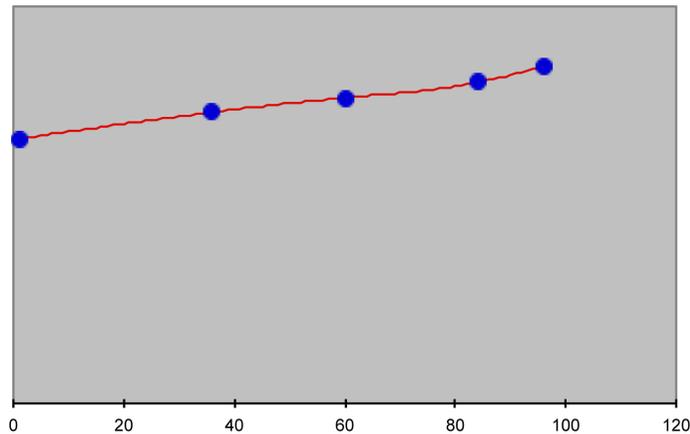
Brevets par pays en 2009 (RNCOS 2010)

34

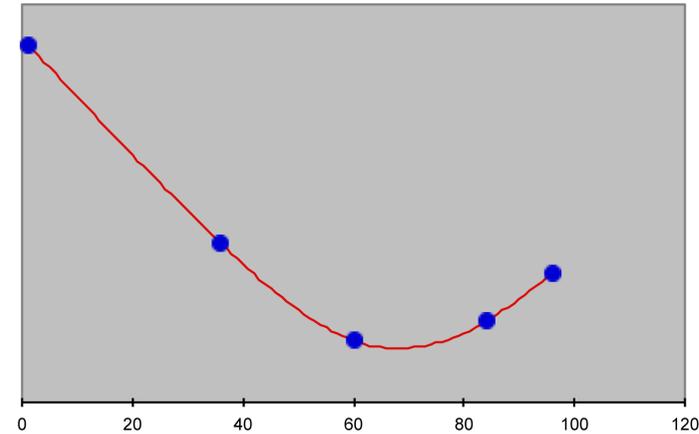


Basculements de paradigmes (évolution des coûts)

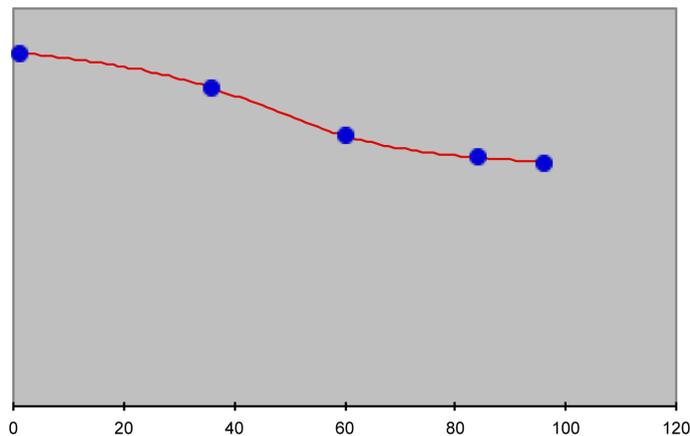
ICE - 2012 / 2020



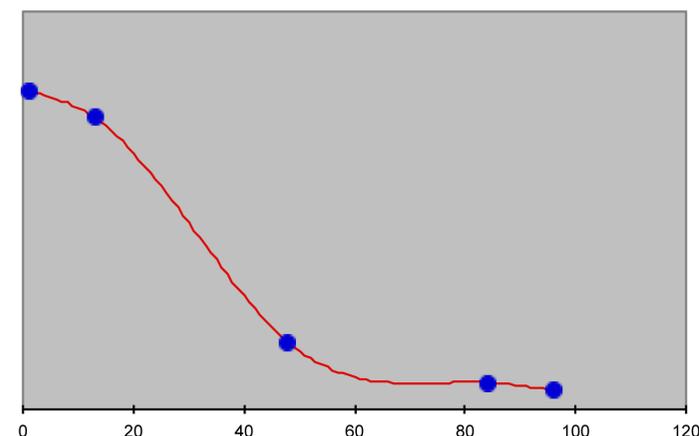
PHEV - 2012 / 2020



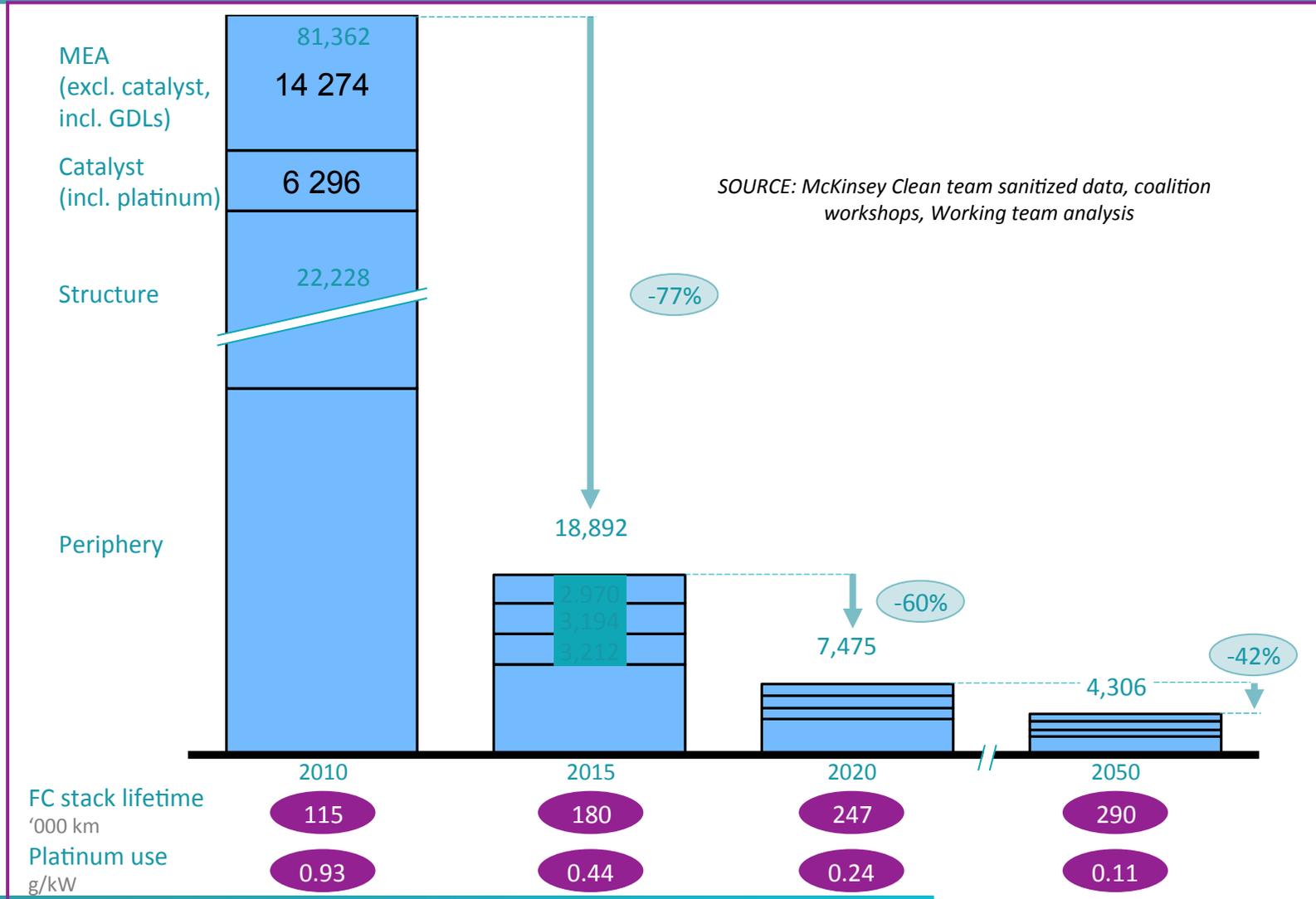
BEV - 2012 / 2020



FCEV - 2012 / 2020



Evolution des coûts PACs



Le prix acceptable de l'hydrogène ?

(1) 200l de Gazole, soit 600kWh "d'énergie mécanique"

Vecteur énergétique	Prix à la pompe	Rendement véhicule	Prix du plein ⁽¹⁾
Diesel →	1,3€/l PCI: 11 kWh/l	Moteur/trans η: 25%	284€ 0,47€/kWh
GNV →	0,88€/kg PCI: 13,9 kWh/kg	Moteur / trans η: 15%	253€ 0,42€/kWh
Hydrogène →	7€/kg PCI: 33 kWh/kg	PAC, Electronique, Moteur η: 45%	284€ 0,47€/kWh
E85 →	0,85€/l PCI: 6.5 kWh/l	Moteur / trans η: 20%	392€ 0,65€/kWh

- Dépenser des milliards en réduction de consommation pour les moteurs thermiques, afin de permettre aux pétroliers de prolonger dans le temps la demande pétrole, à prix élevé =
 - Réduction des marges constructeurs
 - Augmentation des marges pétroliers
 - Même prix au kilomètre pour l'utilisateur, mais jusqu'à quand ?

- Investir toujours plus de milliards dans le cycle économique de l'énergie fossile finie ou bien se préparer intensivement à sa reconversion inéluctable ?
- Problème classique de la diversification par les solutions de substitution qui génèrent une cannibalisation du business incubent
- Solutions stratégiques : devenir un producteur énergétique global ? Diversifier dans les applications ? Se transformer de producteur à entreprise de service ?
- Hypothèse : il arrivera aux énergéticiens incubents la même chose qu'aux ex opérateurs incubents de télécommunication dans les années 2000

- Control Command
- Modélisation
- Communications et réseaux
- SmartGrid

Applications énergétiques

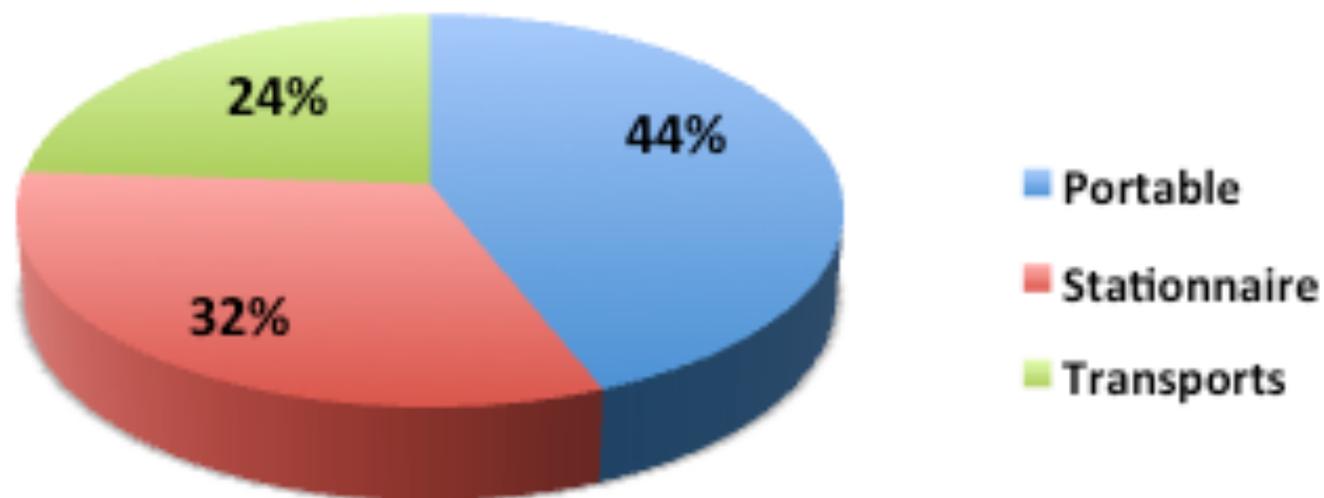
Logiciel / Modélisation / Télécoms

Matériaux / Nanotechs / Électronique

- Changements nécessaires dans l'organisation de la production et de la distribution
- Fin des monopoles, de faits ou réglementaires
- Nécessité d'adapter les cadres réglementaires
- Invention d'un nouveau modèle économique
 - Ecosystèmes verticalement intégrés versus stratifiés ?
 - Hubs énergétiques et places de marchés

APPLICATIONS

- Projections 2012, RNCOS 2010



CONCLUSIONS

Piliers du futur énergétique

45

