



**IFP-AFTP-CFE**

Paris, 11 Mai 2006

# Quels nouveaux paradigmes énergétiques?

Bertrand Château

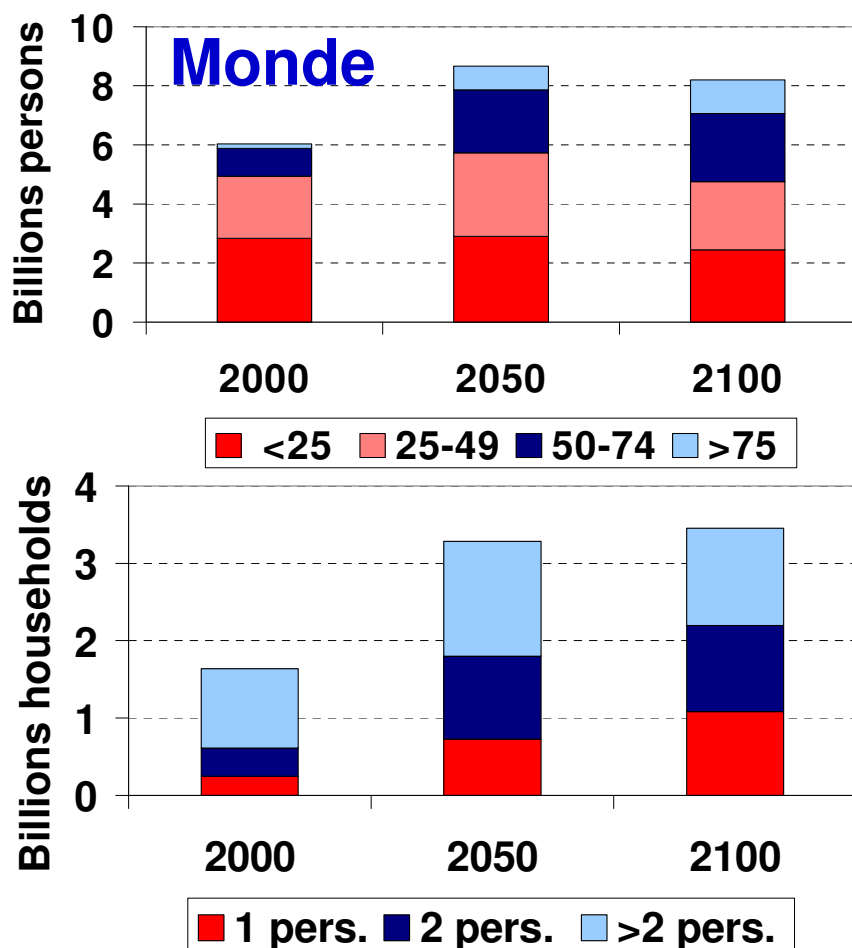
[www.enerdata.fr](http://www.enerdata.fr)

## Agenda

---

- > Quels besoins énergétiques à long terme?
- > Quels nouveaux paradigmes
- > Que faire?

## La démographie : le principal moteur des besoins en longue période. 3 évolutions fondamentales : stabilisation/déclin, vieillissement, réduction de la taille des ménages

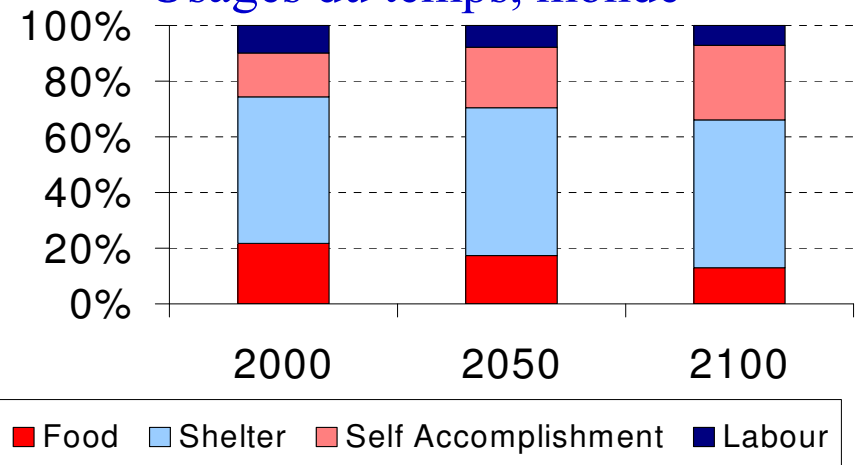


- 8 milliards d'habitants dès 2050 (+35%), stable ensuite
- Un tiers de la population au-delà de 50ans en 2050, presque la moitié en 2100
- Les ménages d'une et deux personnes: plus de la moitié des ménages en 2050, 60% en 2100 (un tiers en 2000)

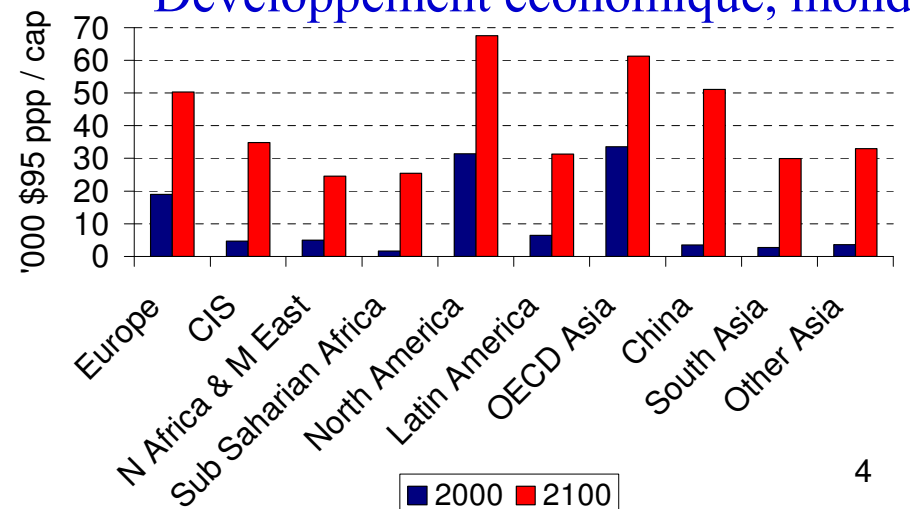
# La formation, la technologie et l'usage du temps: les autres moteurs essentiels de l'économie et des besoins. La globalisation implique une relative convergence dans le monde

- Les gens passeront de plus en plus de temps dans la formation et les loisirs, de moins en moins au travail et pour se nourrir
- Grâce aux progrès de l'éducation et à l'émancipation des femmes, la richesse devrait croître fortement et converger dans le monde .

Usages du temps, monde



Développement économique, monde



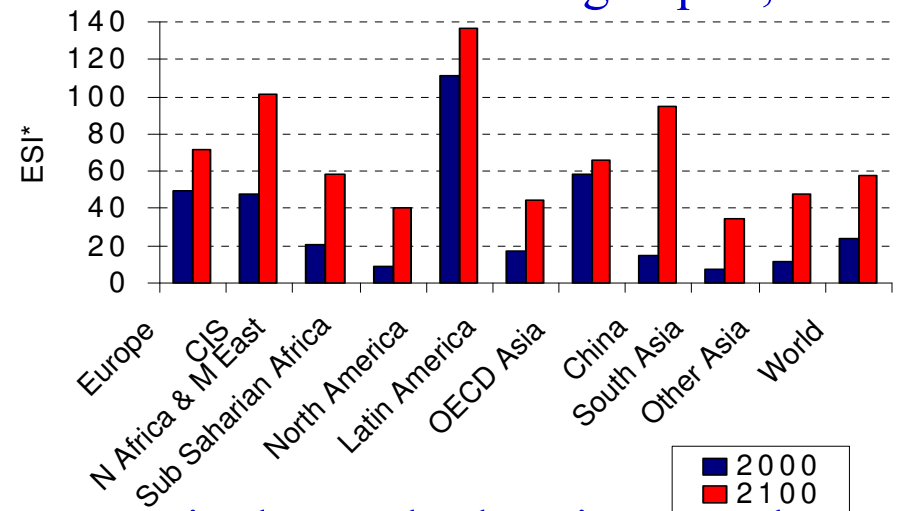
## Quelles conséquences pour les transports?

- Plus de ménages, plus de richesse, plus d'équipement individuel...avec néanmoins un frein dû à l'urbanisation et la densité
- Un budget temps transport globalement constant jusqu'à maintenant, mais qui pourrait dériver à la hausse du fait des temps de loisirs
- Plus de richesse, plus de valeur du temps, plus de valeur par tonne transportée donc plus de vitesse: deux conséquences sur les besoins de services énergétiques: plus de mobilité, plus vite.

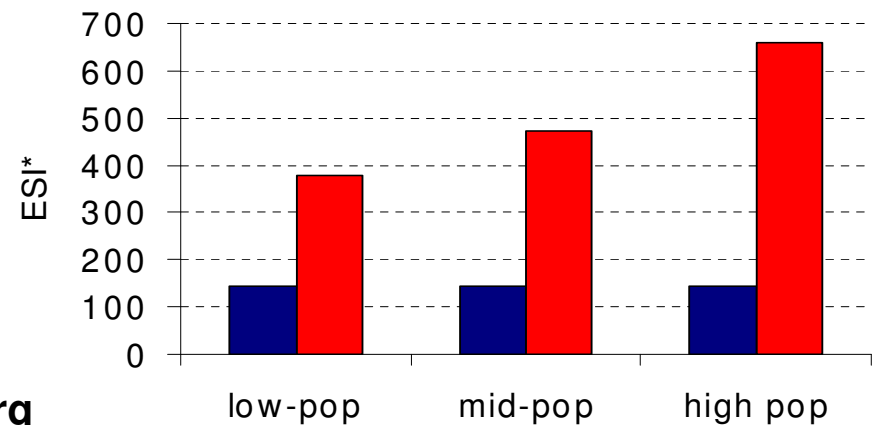
# L'accroissement des besoins de services énergétiques d'ici 2100 sera considérable: entre 1,5 et 3 fois le niveau de 2000

- Les besoins per capita pourraient être multipliés par 2.5 dans le monde sur le prochain siècle, 40% seulement en Europe.
- Les incertitudes sur la démographie : une incertitude de +/- 30% des besoins de services énergétiques en 2100 .

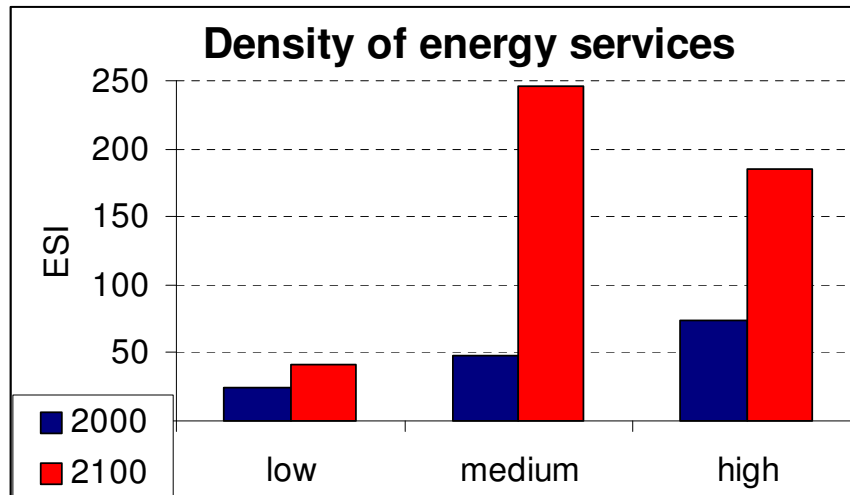
Besoins de services énergétiques, monde



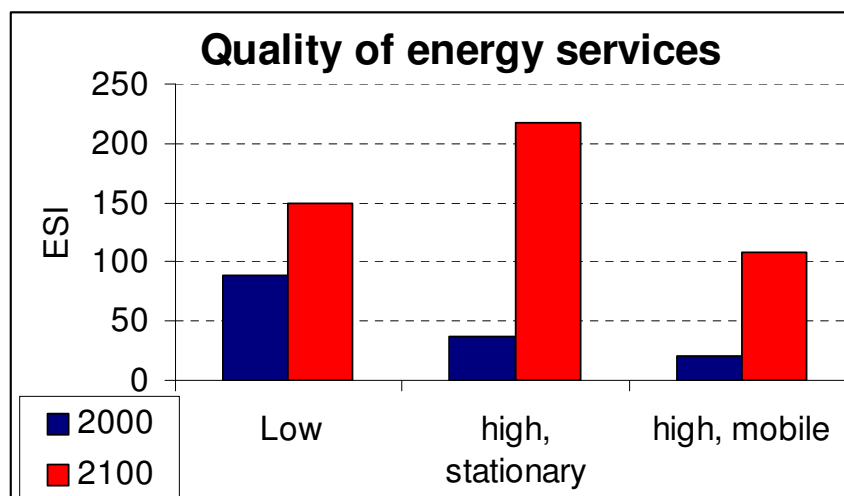
Incertitudes sur les besoins, monde



## Les besoins de services énergétiques seront de plus en plus concentrés et demanderont des énergies de qualité croissante



➤ Très forte concentration des besoins, tant spatiale (urbanisation) qu'en puissance (industrialisation).



➤ L'essentiel de la croissance des besoins se portera sur des énergies à performances élevées, tant en stationnaire (mécanique, électronique, ...) qu'en mobile (transport)



## Agenda

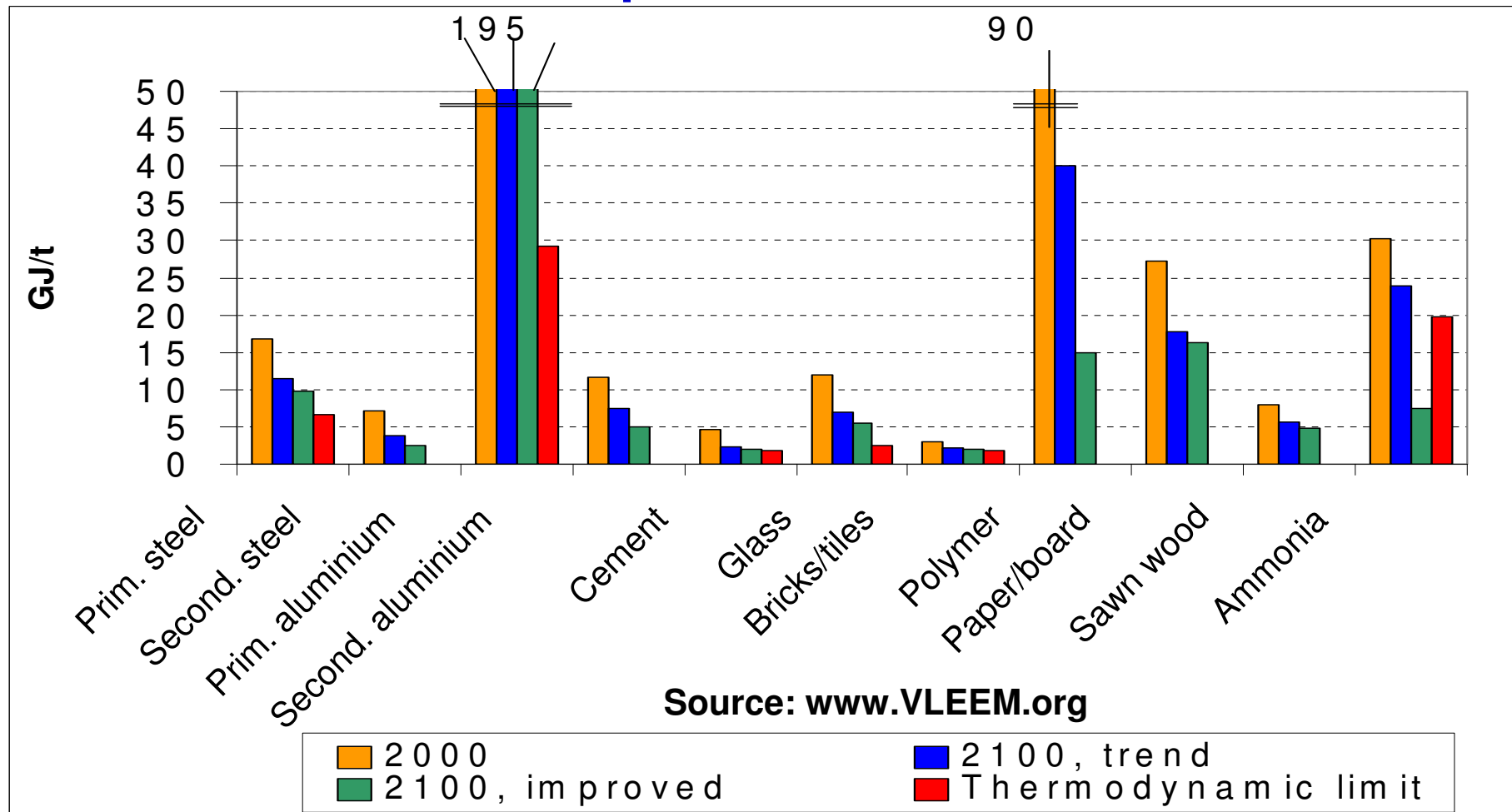
---

- > Quels besoins énergétiques à long terme?
- > Quels nouveaux paradigmes?
- > Que faire?

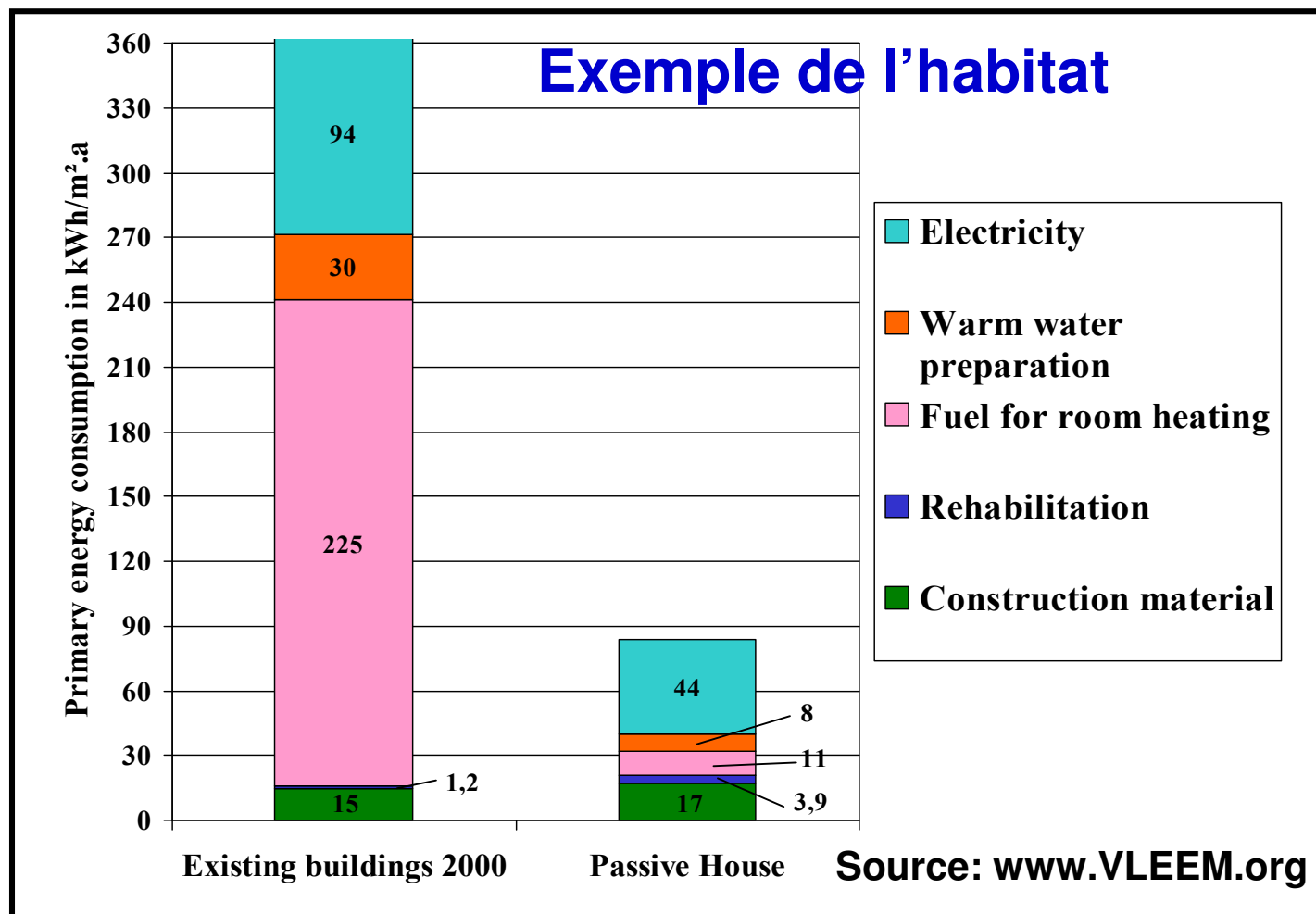


**Premier impératif de tout nouveau paradigme : limiter l'impact des besoins sur le dimensionnement du système énergétique, donner un rôle majeur à l'efficacité énergétique**

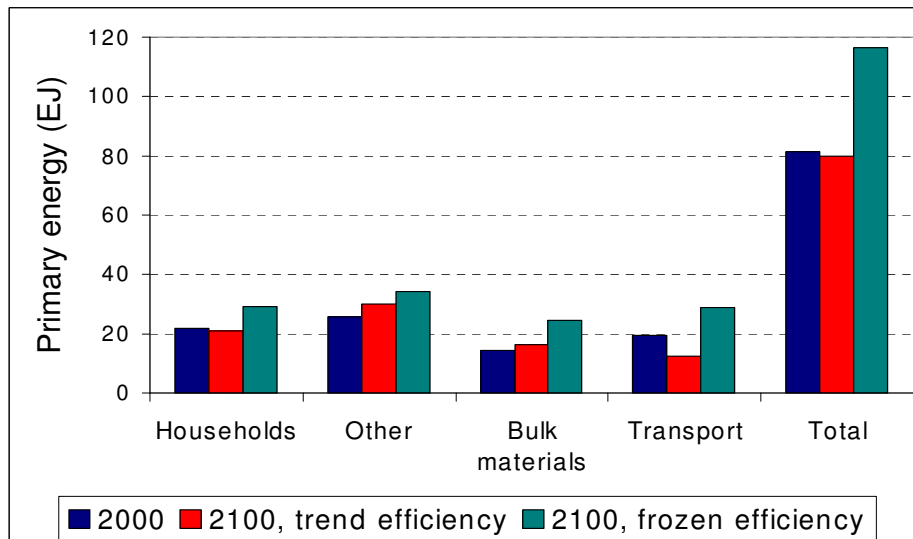
**Exemple des matériaux**



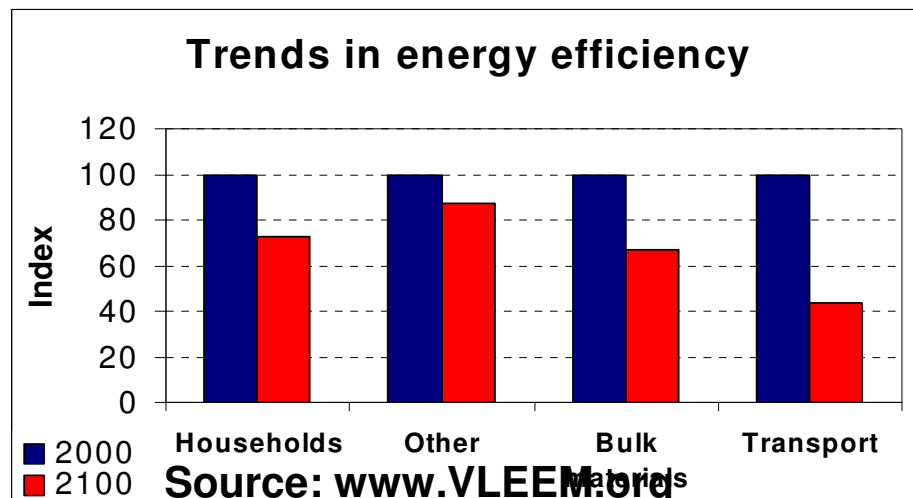
# Les exigences d'efficacité énergétique et leur impact sur le volume de la demande commerciale d'énergie: des composantes intrinsèques des paradigmes énergétiques.



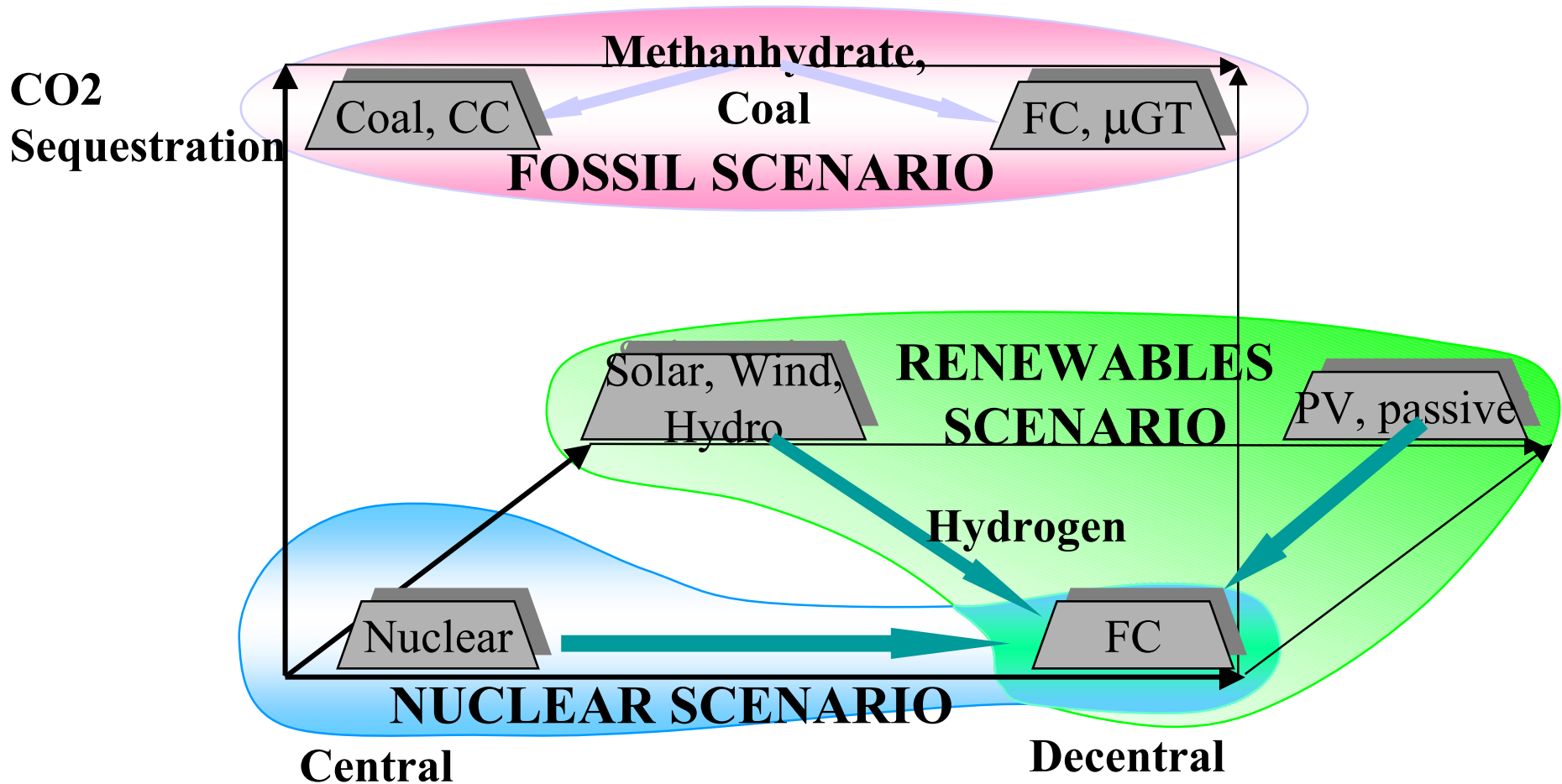
**En Europe, il est concevable de satisfaire des besoins 40% plus élevés en 2100, avec une quantité d'énergie commerciale (en tep) 20% plus faible.**



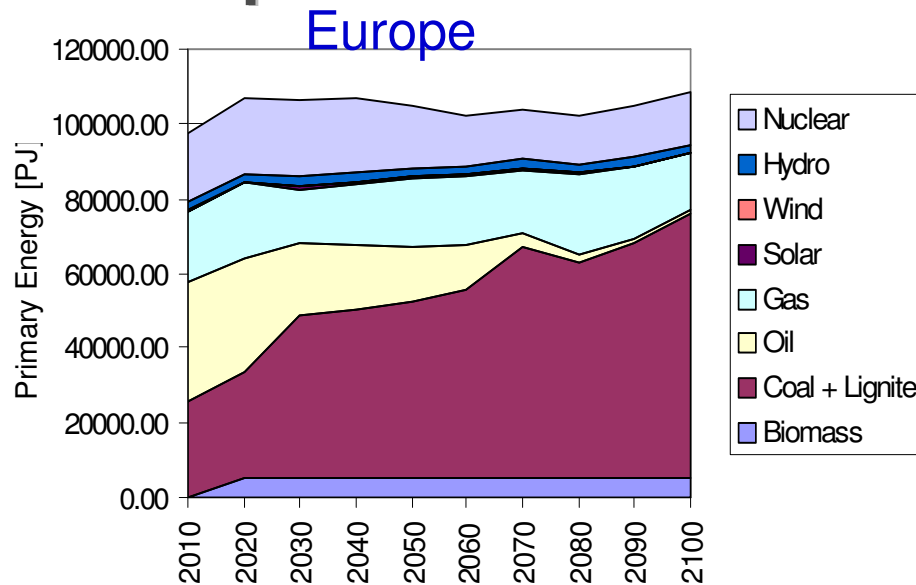
- Une efficacité moyenne maintenue à son niveau de 2000 conduirait à 40% d'énergie commerciale en plus en 2100
- Une progression moyenne de l'efficacité, avec les technologies connues, permettrait de stabiliser la demande commerciale;
- Vision moyenne: 60% de gain d'efficacité dans les transports, 30% dans les logements et les IGCE



# Trois principaux paradigmes énergétiques alternatifs peuvent se mettre en place sur le prochain siècle



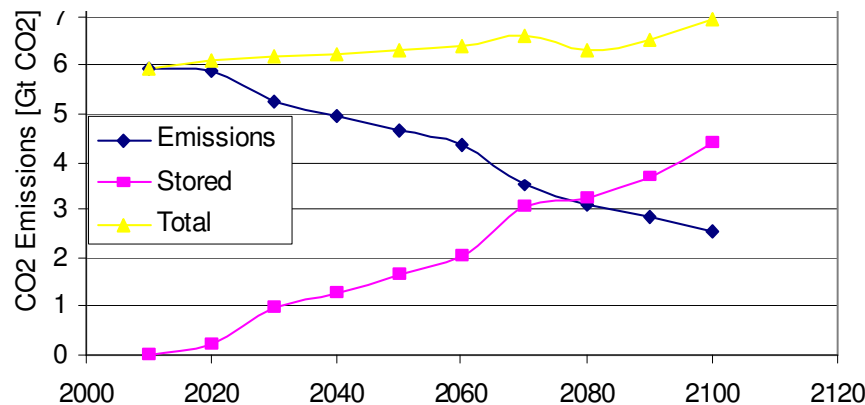
# Le prolongement du paradigme fossile : une voie possible mais étroite entre l'épuisement de ressources finies et l'exigence de capture-sequestration du CO2



➤ Le charbon revient en force, au travers de l'électricité, de l'hydrogène et des carburants de synthèse.

➤ Le pétrole n'est plus utilisé que dans les rares usages où il est quasiment irremplaçable (avion,...).

➤ A partir de 2080, il faut stocker plus de CO2 que d'en émettre dans l'atmosphère: un impératif pour faire baisser les émissions de 10% tous les 10 ans



Source: [www.VLEEM.org](http://www.VLEEM.org)

# La nécessaire stabilisation des concentrations de GES dans l'atmosphère impose une limite supérieure à l'utilisation des ressources fossiles...

Stabilisation level [ppmv CO <sub>2</sub> ]	Cumulative carbon emissions [GtC; 1991-2100]	Comparable carbon quantities [GtC]		
		Gas	Oil	Coal reserves (Table 2.1), or reserves and conventional (discovered) resources (Table 2.2)
400	<500	Conventional oil and gas deposits		
		Reserves	Resources	Resource base
		82	179	261
		118	153	271
450	630-650	Coal reserves (Table 2.1), or reserves and conventional (discovered) resources (Table 2.2)		
500	750-820	Total conventional and unconventional oil resource base (650)		
550	870-990	Total conventional and unconventional natural gas resource base (915)		
		Additional unconventional oil occurrences (914)		
600	950-1100	Total proven fossil fuel reserves (983-1090)		
650 and higher	1030-1200 and higher	Total coal resource base (5000 +)		
		Additional gas occurrences (clathrates: 14,000)		

Source: *M. Grubb, Energy Policy 29 (2001), 837-845.*

**...mais cette limite supérieure peut être repoussée par la capture-sequestration du CO<sub>2</sub> : les potentiels théoriques sont considérables, mais leur exploitation demeure très incertaine**

Carbon storage reservoir	Range of CO <sub>2</sub> sequestration potential [Gt C]
Deep ocean	1,391 – 27,000
Deep saline reservoirs (aquifers)	87 – 2,727
Depleted gas reservoirs	136 – 300
Depleted oil reservoirs	41 – 191
Unminable coal seams (ECBM)	>20

Source: *Edmonds, J.A. et. al. (2000): The role of carbon management technologies in addressing atmospheric stabilisation of greenhouse gases.*

## Les transports dans un nouveau paradigme fossile

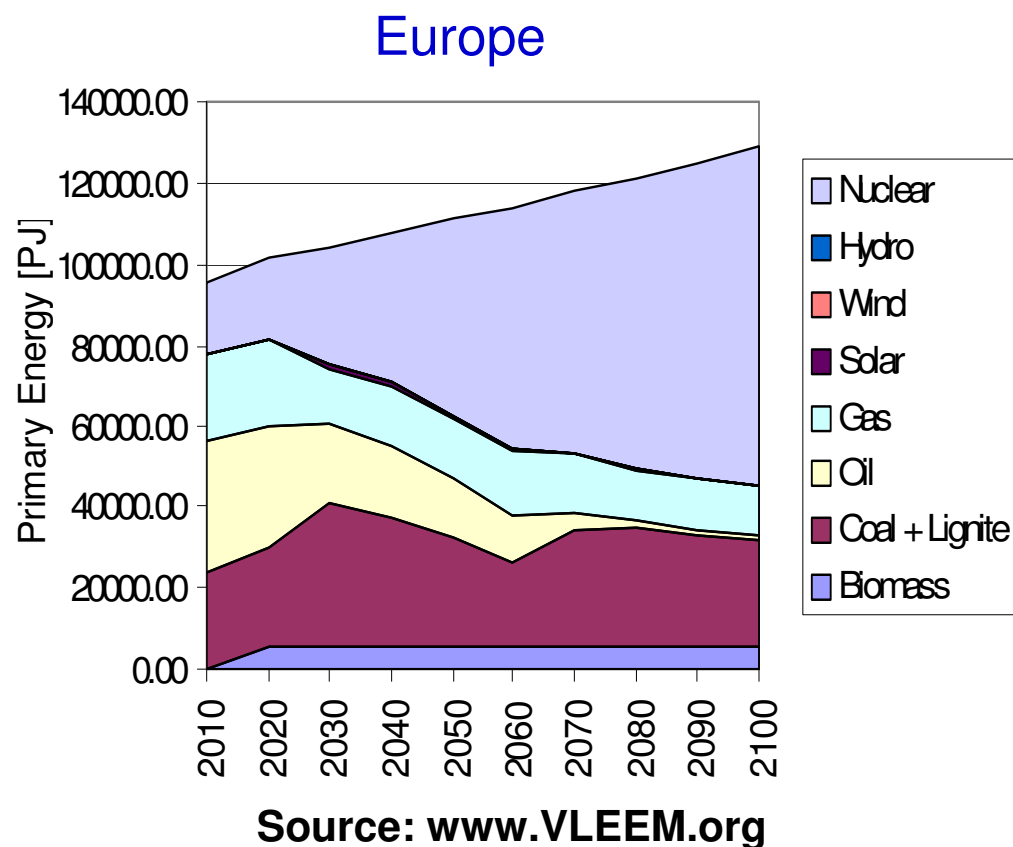
- Pas nécessairement de remise en cause de l'organisation actuelle des transports
- La poursuite de la domination des moteurs thermiques, mais des gains d'efficacité importants, notamment grâce à l'hybridation simple
- Un fort développement des carburants de synthèse à partir du charbon.
- Un grand risque d'explosion du transport aérien pour faire face aux besoins de vitesse croissante.



## Attention: les prix du kérosène seuls n'entraveront pas l'explosion du transport aérien

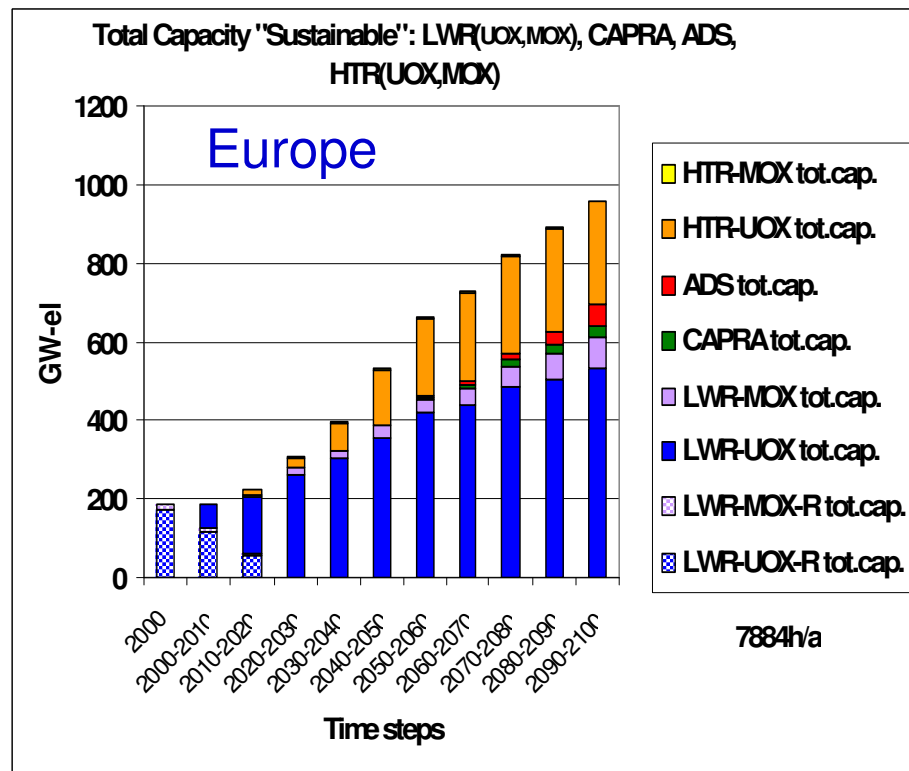
- Le phénomène dominant: la baisse vertigineuse du prix moyen des billets d'avion depuis 20 ans et le très bas niveau actuel
- Avec un pétrole à 55 \$ /bbl (2005), le poids des dépenses de kérosène dans les charges reste modéré: 16% pour Air France - KLM (1er semestre 2005), 20% pour Easyjet (2005)
- Un pétrole à 110€ ne renchérirait le prix moyen du billet d'Easyjet que de 15€.

## Le paradigme nucléaire: une solution régionale aux problèmes des fossiles, mais un défi considérable au niveau mondial



- En Europe, le nucléaire pourrait couvrir jusqu'à 60% de l'énergie primaire en 2100, via l'électricité et l'hydrogène.
- Du fait des pertes de transformation et de la structure des coûts de production, c'est un paradigme moins favorable à l'efficacité énergétique

# Les grands défis du paradigme nucléaire à l'échelle du monde: l'épuisement des ressources d'uranium, l'élimination des déchets à vie longue, le conflit entre « le nucléaire pour tous » et la prolifération militaire ou terroriste



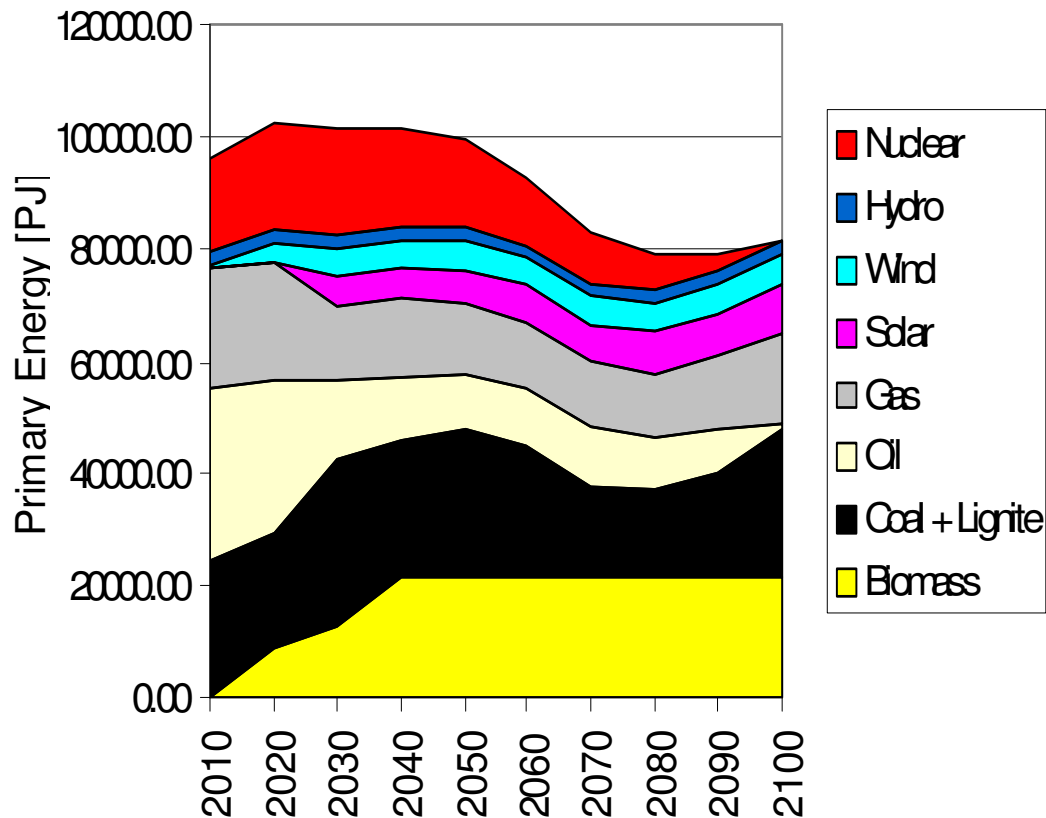
Source: [www.VLEEM.org](http://www.VLEEM.org)

- La 4ème génération: vers des réacteurs à haut rendement, intrinsèquement sûrs, mais pas avant 2030-2040
- La transmutation: vers l'éradication finale des déchets à vie longue, mais pas avant 2060-2080
- Des besoins en capitaux considérables

## Les transports dans un paradigme nucléaire

- Le moteur thermique laisse progressivement la place aux moteurs électriques, via l'hybridation complète, et aux piles à combustibles
- La TGV s'impose comme mode majeur de déplacement pour tous les trajets longue distance inférieurs à 2000 km
- Le pétrole est réservé en priorité au transport aérien de très longue distance.
- Les nouvelles technologies modifient en profondeur les comportements vis à vis de l'équipement automobile et de l'usage des modes.

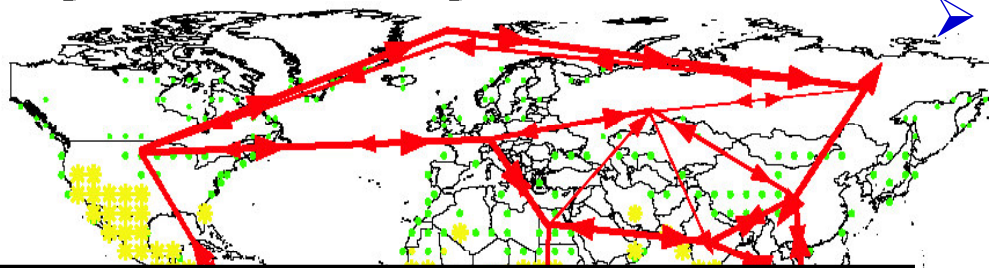
## Le paradigme renouvelables: une révolution dans l'organisation et la gestion du système énergétique, que pourraient imposer un échec dans le stockage massif du CO2 et l'incapacité à surmonter les défis du nucléaire



Source: [www.VLEEM.org](http://www.VLEEM.org)

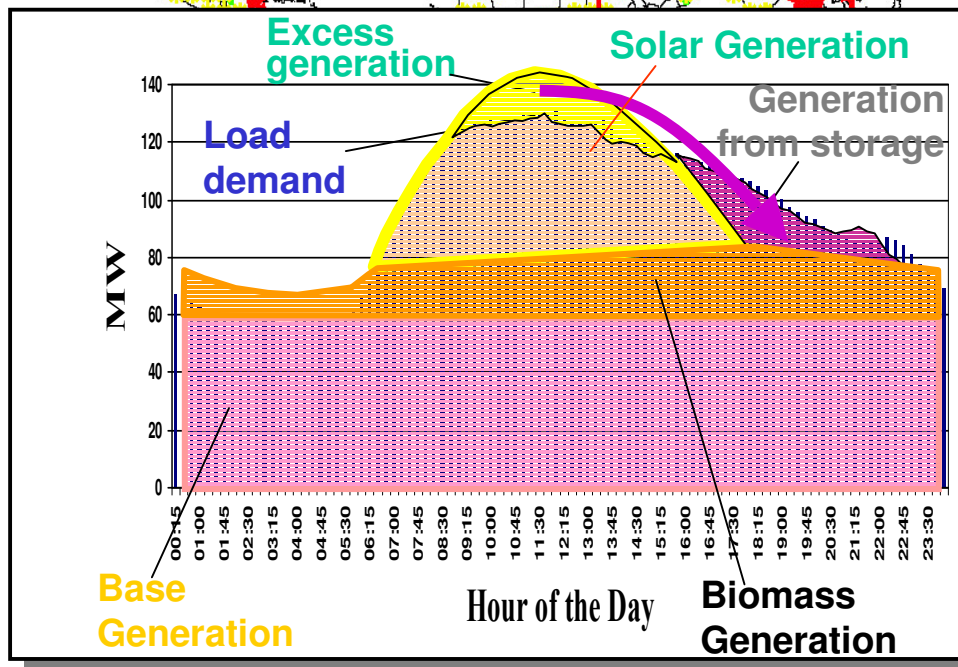
- En Europe, la demande d'énergie commerciale plafonne dès 2020, et baisse de 20% en 2100
- La biomasse commerciale joue un rôle majeur
- Les fossiles continuent à être utilisés au maximum permis par l'échec de la sequestration massive du CO2

# Les clés du paradigme renouvelables: combiner des solutions décentralisées qui limitent fortement le recours aux énergies commerciales avec le concept de « Global Link » qui renforce considérablement le potentiel exploitable



➤ Le concept de “Global Link” pour le transport et le stockage permet de valoriser des ressources solaires et éoliennes considérables.

➤ Les réseaux locaux d'échanges d'énergie et la combinaison des énergies renouvelables permettent de résoudre l'essentiel des problèmes d'intermittence .



## Les transports dans un paradigme renouvelables

- La maîtrise de la vitesse et de la mobilité est un préalable: troc de la vitesse contre de la proximité
- Le moteur thermique perdure grâce aux biocarburants, les moteurs électriques, via l'hybridation complète, et les piles à combustibles montent progressivement en puissance
- La TGV s'impose comme mode majeur de déplacement pour tous les trajets longue distance inférieurs à 2000 km
- Le pétrole est réservé en priorité au transport aérien de très longue distance.
- Les nouvelles technologies modifient en profondeur les comportements vis à vis de l'équipement automobile et de l'usage des modes.



## Agenda

---

- > Des nouveaux paradigmes pour quels besoins?
- > Quels nouveaux paradigmes?
- > Que faire?



## **On ne pourra plus très longtemps continuer « comme avant »**

- Les modes de vie et de consommation des pays industriels ne sont pas soutenables à l'échelle du monde
- De profonds changements de paradigme énergétique seront probablement inévitables dans les décennies à venir: ils impacteront nécessairement les modes de vie et leurs relations à l'énergie
- Pour être soutenables, les modes de vie devront nécessairement s'orienter vers la sobriété énergétique, au fil des prochaines générations: il s'agit là d'un enjeu majeur de société.
- L' espace de choix des solutions énergétiques futures sera d'autant plus ouvert que la demande commerciale sera faible: il faudra changer l'ordre des priorités

## Quelles exigences pour les décideurs?

- Même si les problèmes apparaissent lointains, les solutions exigent souvent des décisions à court terme
- Attention à l'illusion technologique: toute nouvelle technologie, si elle résoud un problème, modifie aussi les comportements.
- La transformation des modes de vie et des comportements est inévitable: éviter les crises demande d'agir très tôt, souvent dès l'école, car les délais "naturels" d'adaptation sont longs: au moins une génération!
- Les contraintes exigeantes du court terme n'exonèrent pas les décideurs de leurs responsabilités à long terme: il faut l'explicitier et le formaliser dans le processus décisionnel.

## Quelques priorités de R&D, pertinentes pour tous les nouveaux paradigmes

- Les bâtiments à très basse énergie
- Les systèmes combinés électricité-hydrogène
- Le transport de l'électricité sur longue distance et son stockage
- Les bio-technologies pour l'énergie



**Merci de votre attention**

**[www.enerdata.fr](http://www.enerdata.fr)**