

Le coût de la transition énergétique



« Vers une société sobre en énergie et en carbone »

**Oui, bien sur, sans hésiter, mais jusqu'où, sans plonger
dans la décroissance économique et sociale
et à quel coût ?**

**Claude ACKET
AG SFEN Bourgogne
21 mai 2015**

Le contexte mondial

Besoins croissants en énergie Monde



x 2 d'ici 2050 ?

x 3 d'ici 2100 ??

➤ **population** (7Milliards en 2011, > 9 milliards dès 2050)

➤ **par habitant en moyenne, pour « rééquilibrage » ?**

(Par rapport à la moyenne, USA 4 fois, Europe 2 fois, Bangladesh 9 fois moins)

La domination actuelle des fossiles



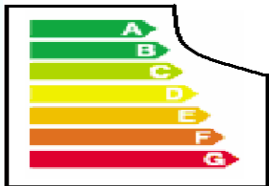
(plus de 80% production énergie Monde,
et seulement, mais encore, 50% en France

est-elle durable ?

(pénurie ? effet de serre ?)



Que faire ? Pistes principales



Economies d'énergie
(sobriété et efficacité)

Sources d'énergie « décarbonées »
(Renouvelables thermiques; Electricités renouvel. et nucléaire)

Situation actuelle Energie Primaire

tep: « tonne équivalent pétrole »

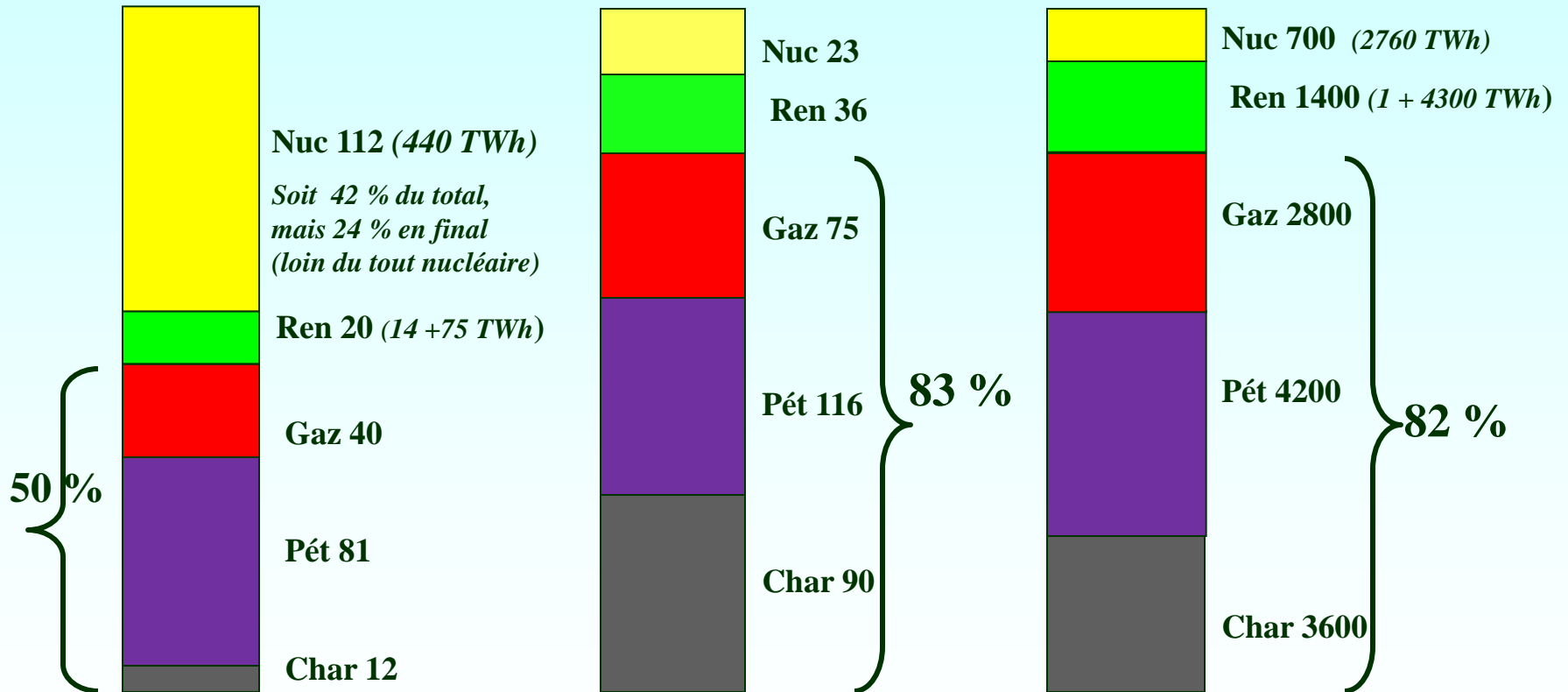
1 tep = 42 GJ (milliards de joules)

1 tep ~ 1,6 tonne de houille, 1170 m³ de gaz, 2,2 tonnes de bois.

France
265 Mtep

Allemagne
340 Mtep

Monde
13000 Mtep



Rejets
par hab.
6,3

9,7

4,9 t CO₂ /hab.an

Perspectives énergétiques

Trop de combustibles fossiles (présent et à l'avenir)

Effet de serre,

Indépendance énergétique, balance des paiements

- Seule la moitié des 36 milliards de tonnes de CO₂, que nous émettons au niveau mondial par an, est absorbée par la nature.

Pour limiter l'augmentation de température à 2°C à la fin du siècle, il faudrait diviser les émissions mondiales d'un facteur 2. Mais les pays développés, en tant que plus gros émetteurs, doivent faire plus et diviser par 4 leurs rejets, donc diviser par 4 l'appel aux combustibles fossiles.

→ LE FACTEUR 4 d'APPEL AUX FOSSILES (sauf CSC)

Mais faudrait-il retenir un facteur 3.5 pour la France et 5 pour l'Allemagne ?

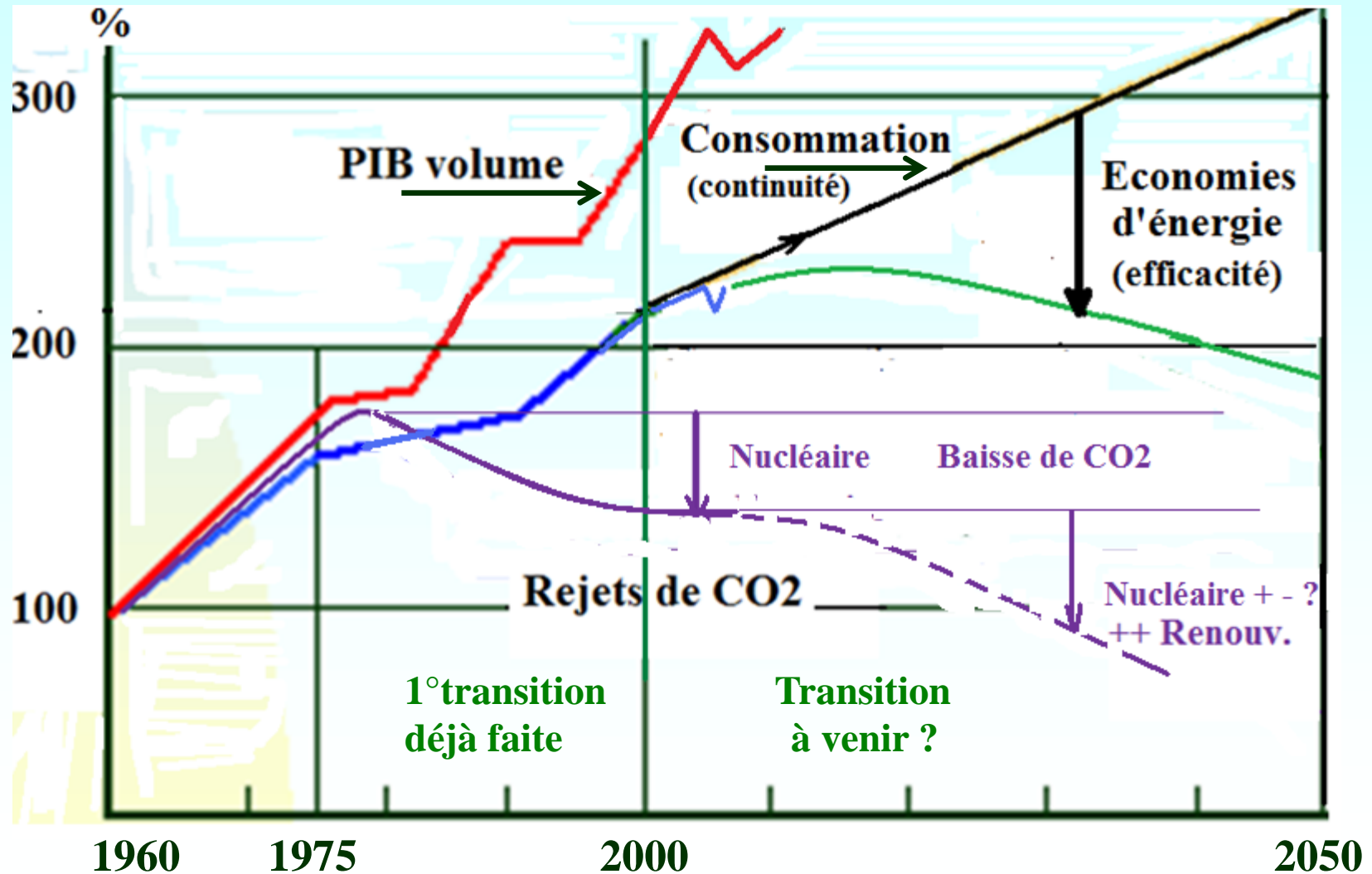
- Indépendance énergétique et aspects financiers France (68 Md € par an)

Si on divisait par 4 ! Gain 51 Md € par an !!!!

France, Consommation, perspectives

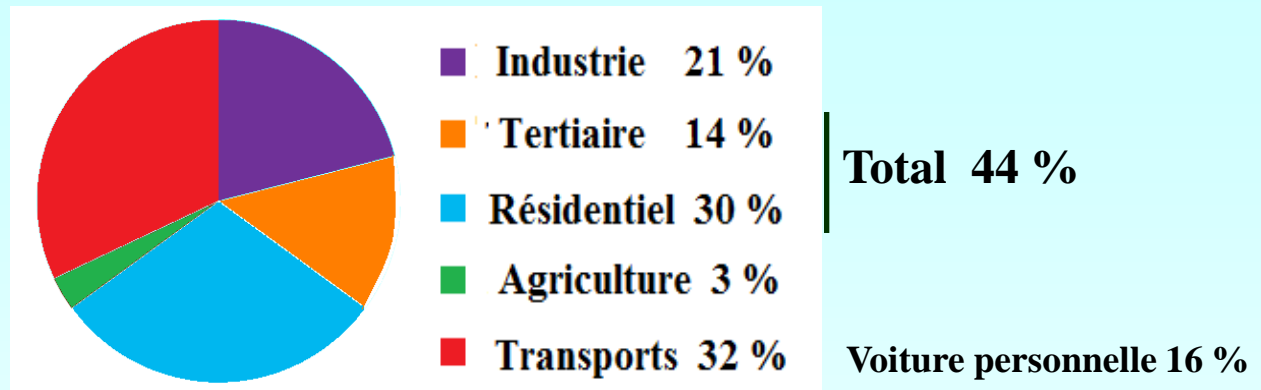
*Evolutions relatives sur base 100 en 1960
du PIB, de la consommation et des rejets de CO2*

Aujourd'hui + 1 % de PIB conduit à + 0.6 % de consommation



France, consommation Economies d'Énergie et moins de CO₂ rejetés

Consommations
actuelles



Actions prioritaires

RESIDENTIEL et TERTIAIRE: fossiles 21.1 % (gaz 14 %, pétrole 6.9 %) sur total des 44 %

- *Isolation plus ou moins poussée (à quel coût ?)*

Neuf dans la lignée des RT. Mais la RT 2012 (dernière aberration qui conduit au gaz !)

L'essentiel: rénovation de l'ancien

- *Remplacement fossiles par renouvelables thermiques et électricité décarbonée*

MOBILITE quasiment tout pétrole 29 % (sur le total des 32 %) , **numéro 1 des rejets de CO₂ !** :

- *Importance des transports en commun (électricité)*

- *Évolution dans la continuité: injection directe et haute pression, distribution variable, downsizing*

- *Plus d'électricité: en direct , hybridation « pluggables » (recharge réseau)*

- *Voie gaz si origine renouvelable (méthanisation, méthanation...)*

MAXIMUM d'ÉLECTRIFICATION de nos consommations énergétiques
(dans la continuité d'une production électrique décarbonée)

La transition énergétique en France: qu'est-ce ?



Selon le site du gouvernement, la transition énergétique :

« ... le passage d'une société fondée sur la consommation abondante d'énergies fossiles, à une société plus sobre et plus écologique »

« Concrètement il faut faire des économies d'énergies, optimiser nos systèmes de production et utiliser le plus possible les énergies renouvelables*, ...*

Aller vers un modèle énergétique qui permette de satisfaire de manière durable, équitable et sûre, pour les hommes et leur environnement les besoins en énergie des citoyens et de l'économie française dans une société sobre en énergie, et en carbone. »*

A ceci s'est ajouté au niveau du groupe scénarios un texte

*« **Décision du Gouvernement de ramener en 2025 de 75 à 50 % la part du nucléaire dans la production d'électricité dans notre pays ainsi que par le besoin de sécurité de notre approvisionnement *** ».*

Ceci reprend la proposition 41.1 du candidat Hollande,

en notant que la proposition 41.2 : « *Fermer Fessenheim* », n'est pas mentionnée.

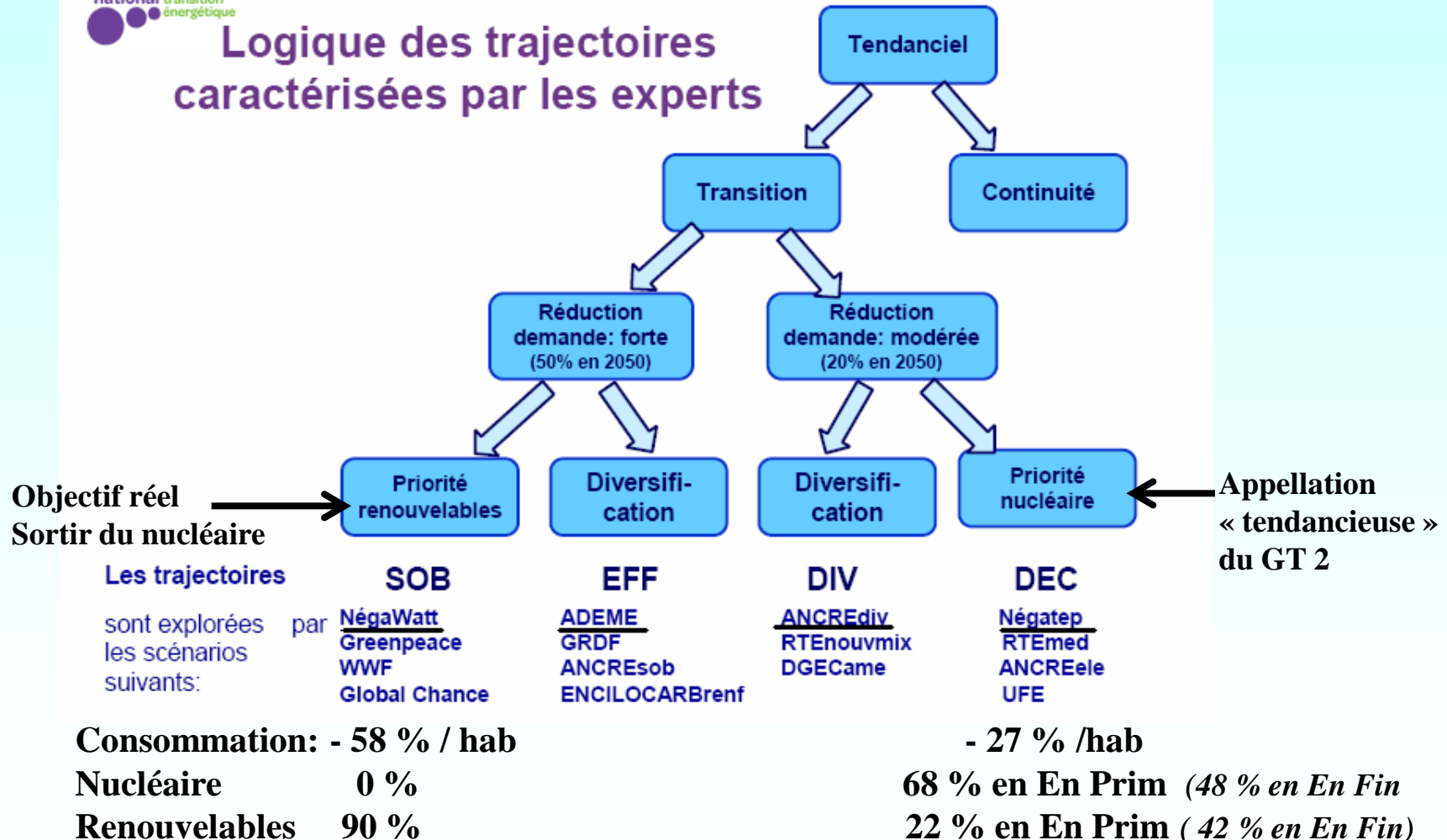
* A nuancer, mérite clarté et discussions

Importance des économies d'énergie et des renouvelables

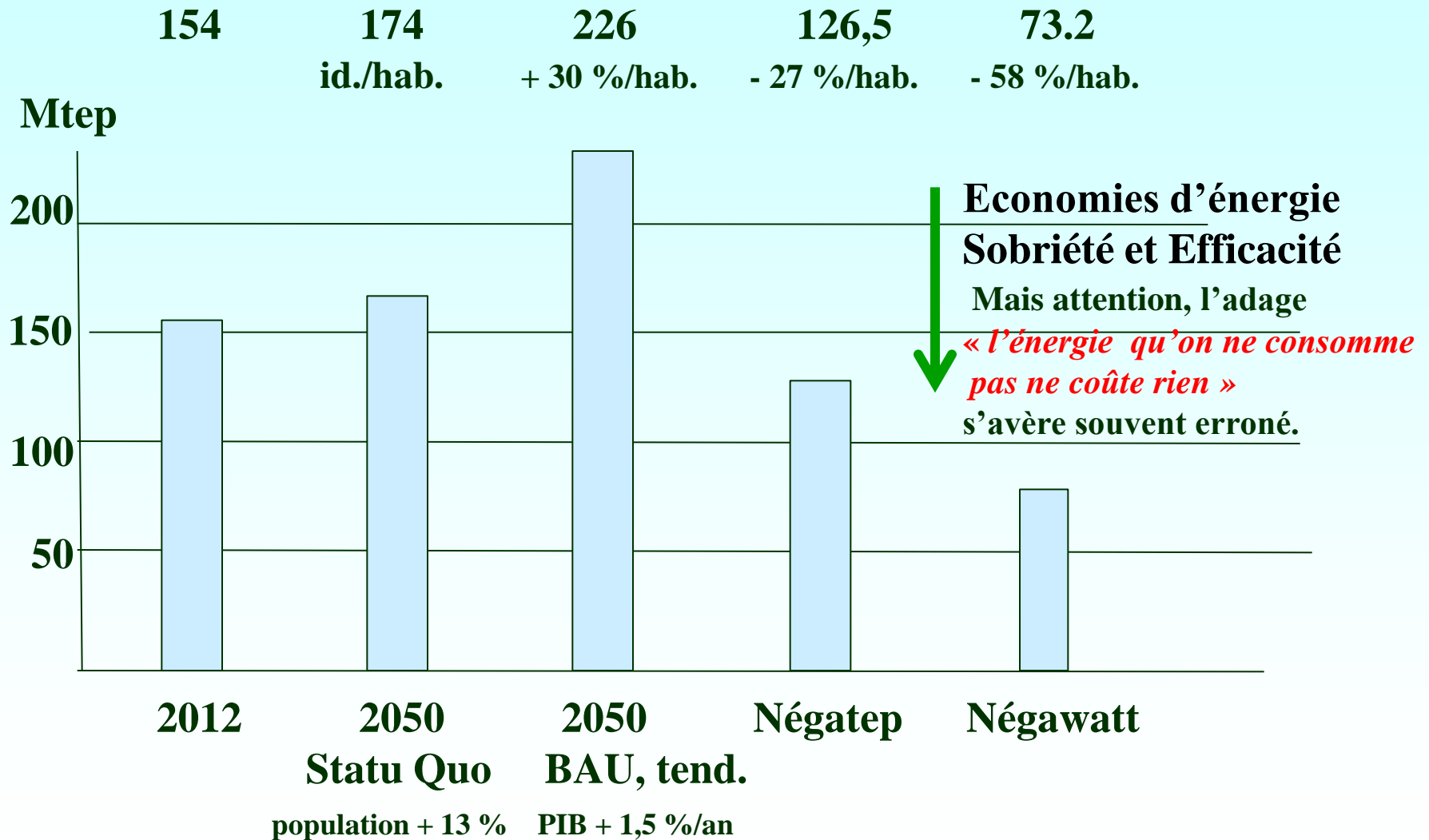
Approches diverses France



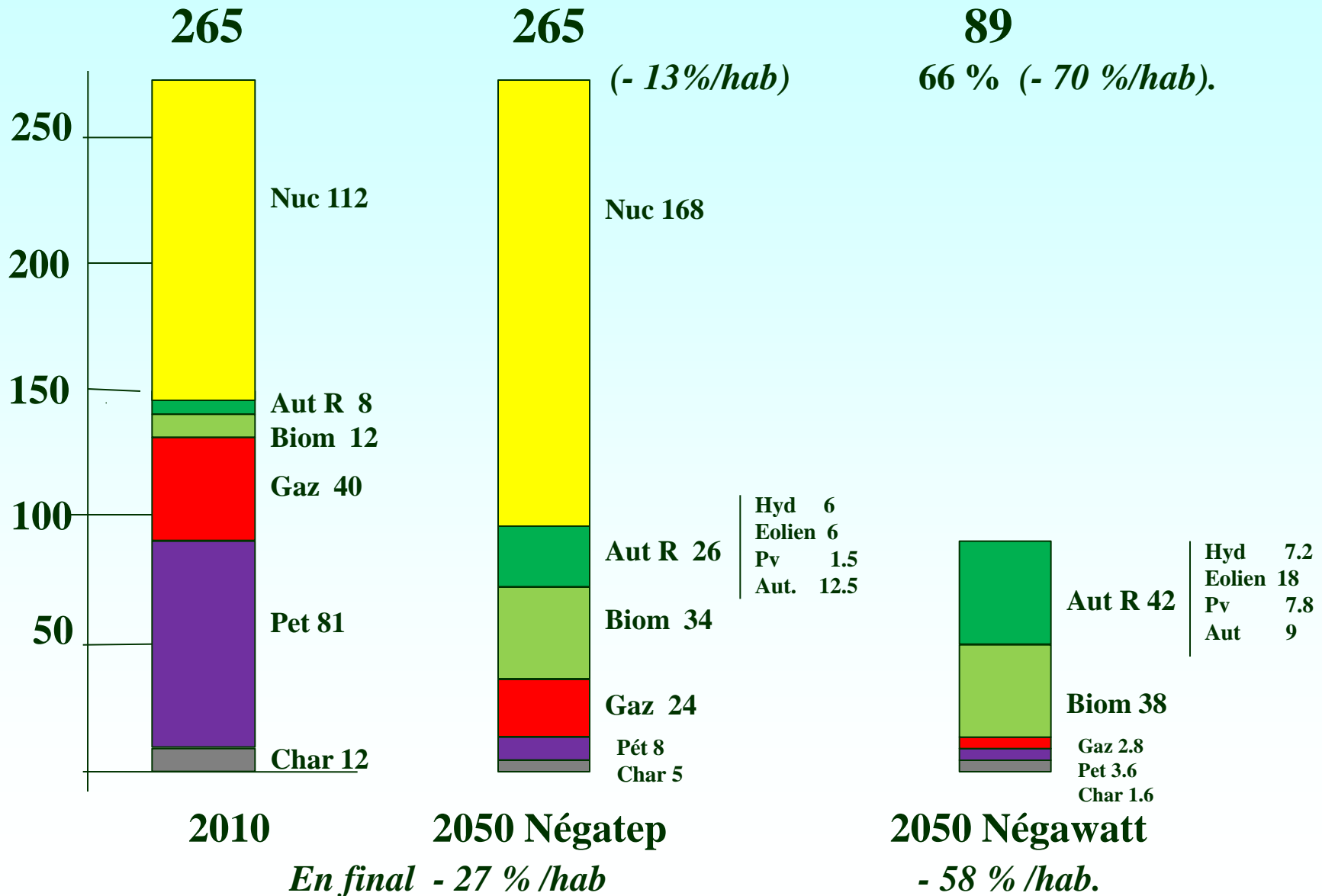
Logique des trajectoires caractérisées par les experts

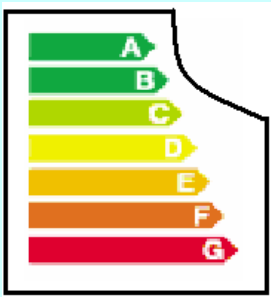


Energies finales France en Mtep



Energies primaires France en Mtep

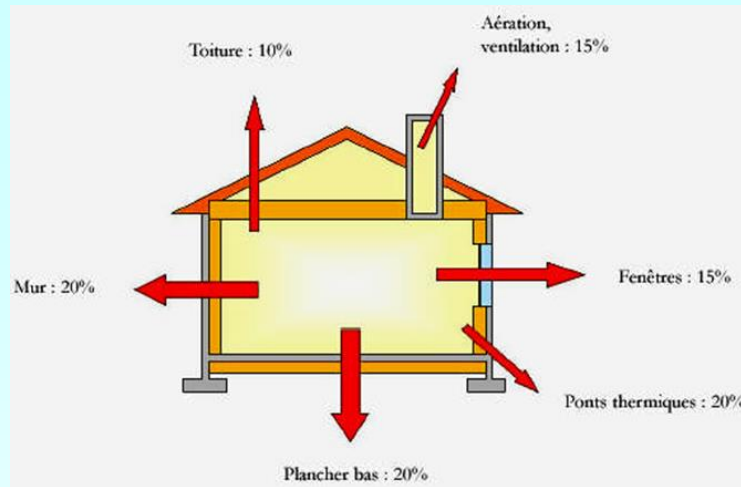




Economies d'énergie

	Négawatt	Négatep
Habitat <i>(A ce jour de 400 à 50, moyenne 230 kWh/m².an)</i>	30 kWh/m ² .an (45 et 15 à zéro, et même « Bepos » !!!) Les 19 °C pour tous (- 2 à - 3° C). Limiter surface /hab Electricité spécifique divisée par 2 ECS - 26 % par habitant en litres/jour	80 kWh/m ² .an (100 et 50) - 1°C limite (vieillessement...) Effet rebond pris en compte + 10 % surface par habitant (tendance) Electricité spécifique, pas de changement Pas de changement sanitaire, tendance +
Mode de vie	Limitation surfaces / hab. + cohabitation Viandes et laitages 2 fois moins	Léger accroissement surface /hab + 10 % (effet âge et société) Pas de changement significatif alimentation (hors effet âge).
Transports	-25 % km par an et par habitant Part VP réduit de 62 à 42 % Cons unit par véhicule - 56 % Base : 2 litres /100 km pour neuf Priorité gaz (62 %)	-13 % km par an et par habitant Part VP 55 % - 30 % Priorité électricité, plus biocarburants
Industrie	Moins 50 %	Moins 5 % (efficacité + 25 %) Base: essentiel déjà fait depuis fin 70 Réindustrialisation grâce au coût électricité

Exemples rénovation isolation habitat



Exemple de rénovation : appartement de 70 m²

Pour ramener de 300 à 100 kWh/m².an , investissement 20000 euros.

Si gaz, retour simple sur investissement 20 ans. A 4 % retour en 40 ans;

Pour ramener de 200 à 50 kWh/m².an, investissement 25000 euros .

Si gaz, retour simple sur investissement 34 ans. A 4 % pas de retour (infini)

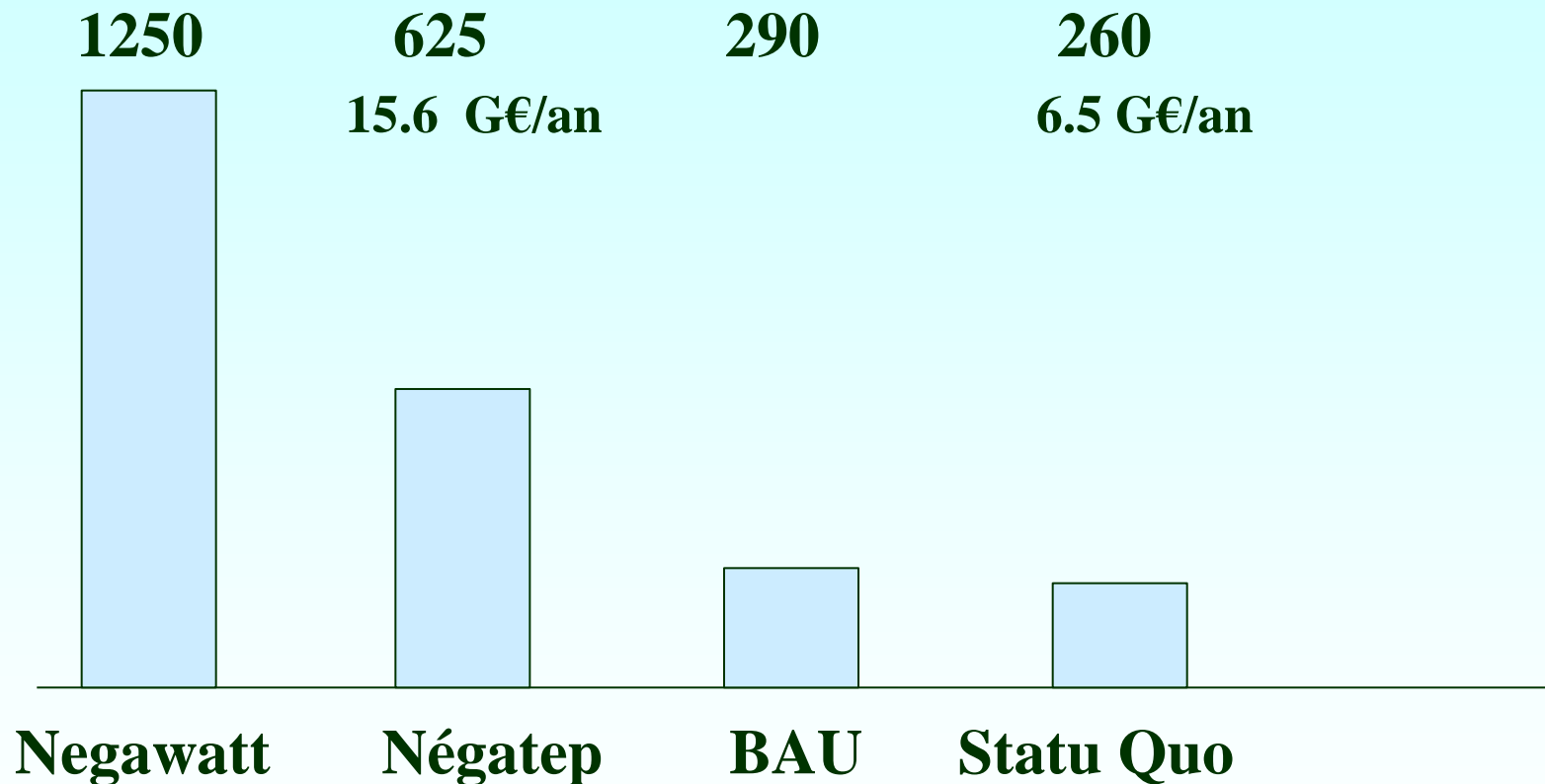
Exemple de rénovation : maison 130 m²

Total avant : 275 kWh/m².an, après rénovation : 61.5 kWh/m².an (55000 €)

Chauffage fuel, retour sur investissements à un taux de 4 %: 60 ans

Avec les coûts actuels des énergies, les travaux d'isolation ne sont donc pas toujours rentables, même à très long terme et ne doivent être entrepris qu'en analysant la situation au cas par cas

Coûts d'isolation pour le résidentiel et tertiaire (I et F) en G€ sur 40 ans de transition



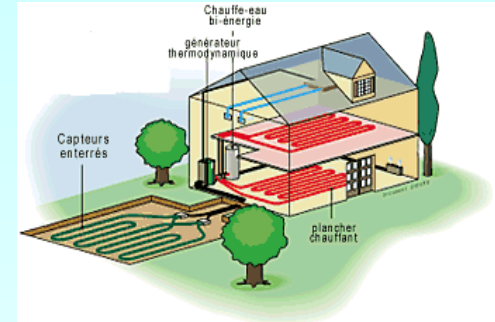
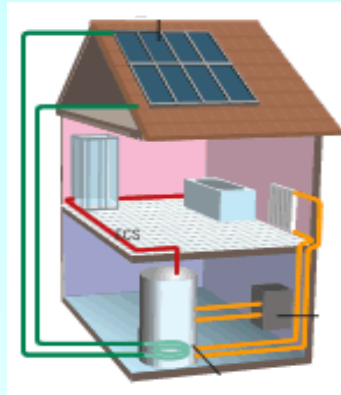
Exemple Négatep : - Construction de 10 millions de logements neufs, selon RT 2005 revue (et non 2012), objectif 50 kWh/m².an en finale
- Rénovation de 20 millions de logements anciens objectif 100 kWh/m², moyenne 15000 €/logement

Sources sous flux: les renouvelables



- Une priorité politique, un potentiel énergétique important qui a des limites, Monde actuel x 4 ?
(très bien, mais à quels coûts et loin de répondre aux besoins)
- Coût *(une fausse idée « ce serait gratuit »)*
- Accent à mettre sur la production directe de chaleur
(biomasse, solaire thermique, géothermie et PAC)
- Prudence sur les biocarburants
- Électricité non stockable: mauvaise adaptation des énergies discontinues

France, les renouvelables « Chaleur » en Mtep



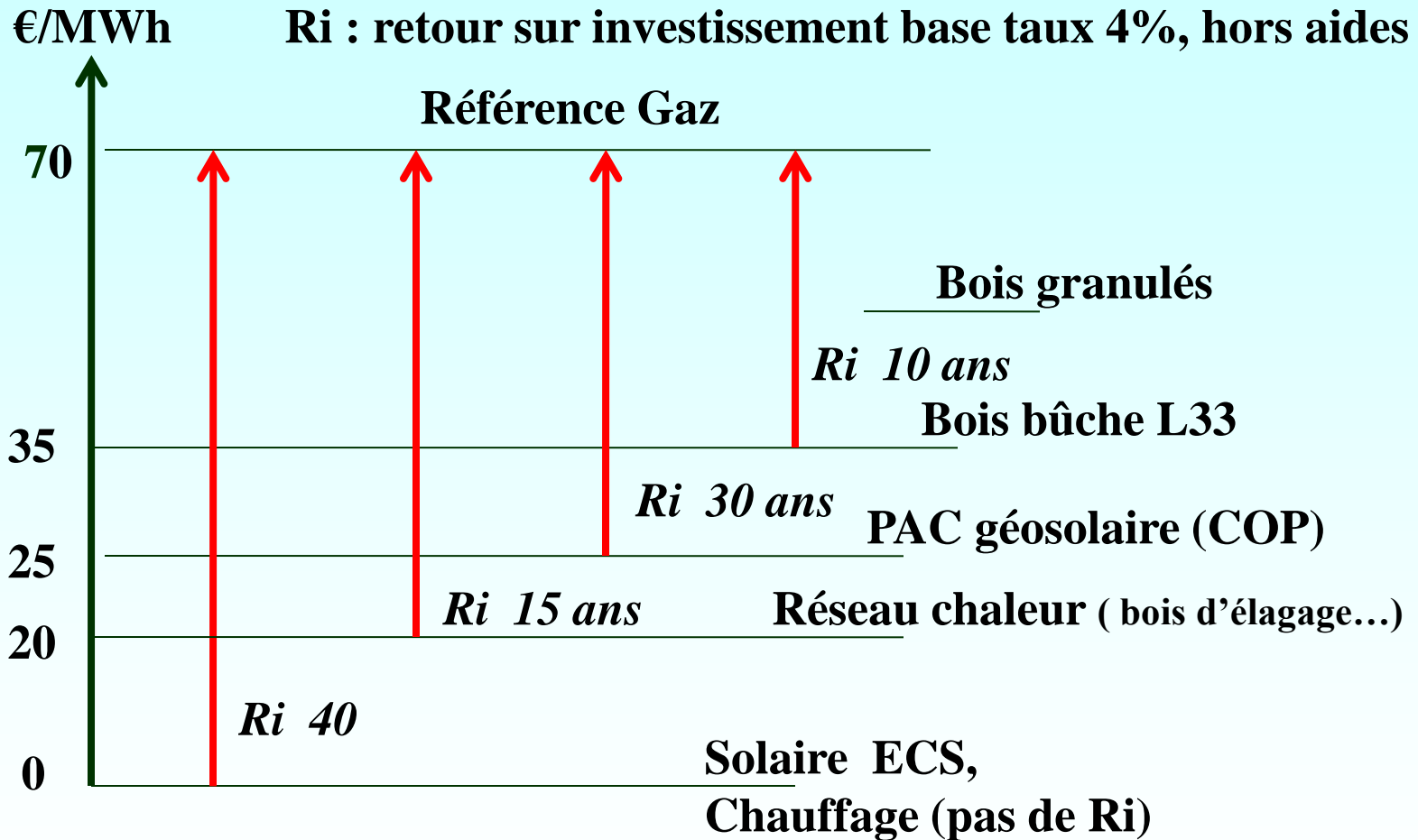
	2012	Avenir ?
Biomasse*** <i>(Bois déchets, biogaz, agro carburants)</i>	14	31* ou 39**
Solaire thermique		4* ou 3**
Géothermie et PAC	2	8* ou 7**
Total renouvelables	16	43* ou 49**

Petits à grands écarts selon scénarios France Négatep ou Négawatt***

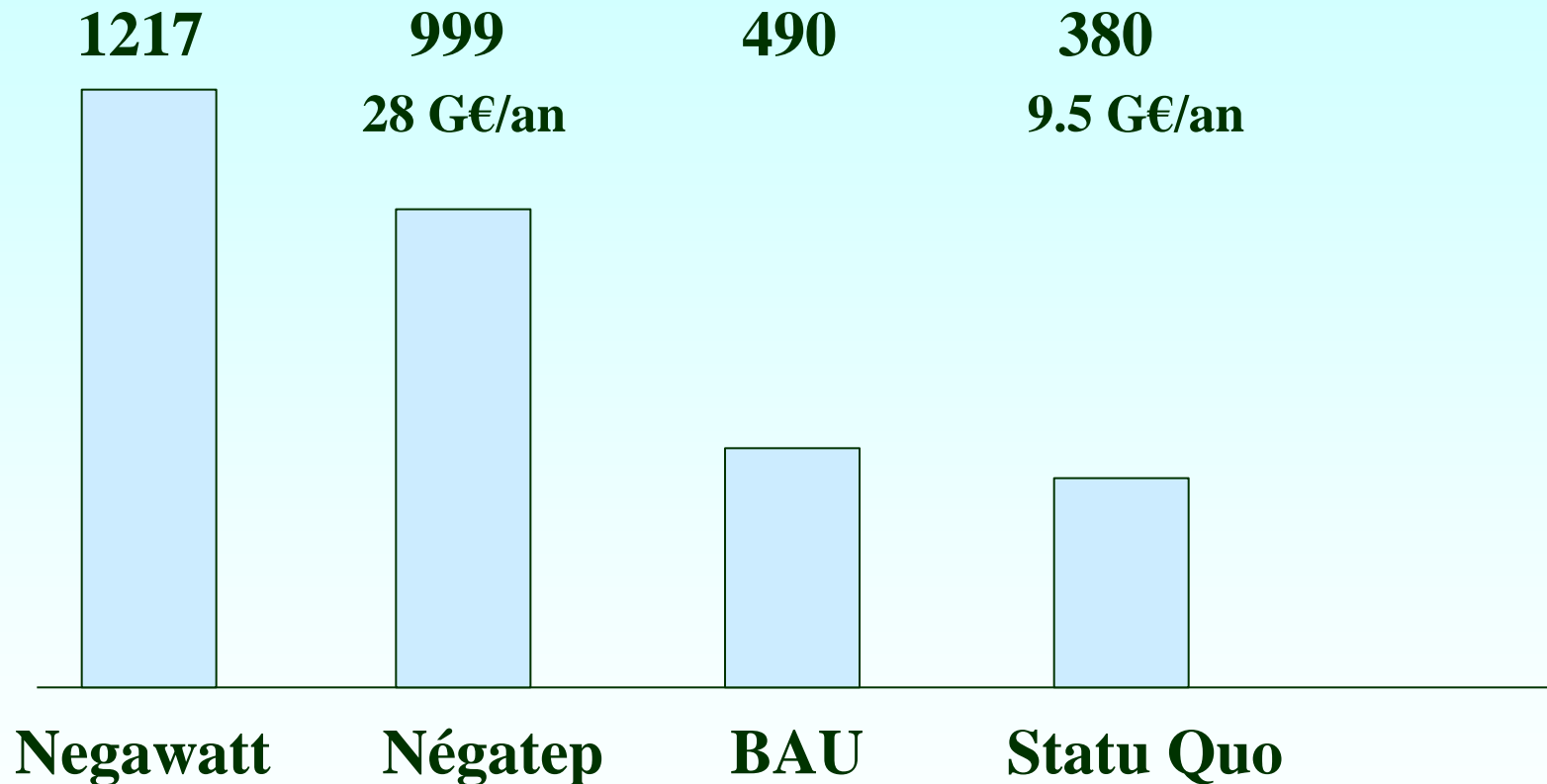
****Attention utilisation des terres : « manger, se chauffer, se déplacer »*

Renouvelables chaleur, aspects financiers

Coûts combustibles et investissements



Coûts des renouvelables thermiques I et F et combustibles en G€ sur 40 ans de transition



Exemple Négatep : - Habitat I et F: 375 G€ (PàC, foyers bois, solaire thermique ...)
- Biocarburants I et F : 118 G€
- Tous combustibles biomasse 506 G€

Coûts des renouvelables thermiques selon Négatep

Total investissements et maintenance habitat: 375 G€

(sur une période de 40 ans, sans actualisation)

(A comparer à 50 G€ pour statu quo et 140 G€ pour la continuité BAU).

- Pompes à chaleur: 126 G€ (hors électricité) *base : 7 millions de PàC à 12000 €*
- Bois chaleur: 135 G€ (hors combustible) *base 9 millions de logements plus réseaux*
- Divers (géothermie, énergies fatales...) : 24 G€
- Solaire thermique : 90 G€ *base :100 Mm² de panneaux à 600 €/m².*

Total investissements et maintenance biocarburants: 118 G€

Total combustibles (biomasse): 506 G€

(A comparer à 310 G€ pour le statu quo et pour la continuité BAU)

*Le total des besoins en 2050 est de 30,5 Mtep de biomasse primaire (pour 14 en 2012)
(13 Mtep pour la chaleur directe et 17.5 Mtep pour la fabrication de biocarburants)*

→ Total renouvelables thermiques : 999 G€, moyenne 25 G€/an
(+ 619 G€ / au statuquo et + 509 G€ / continuité BAU)

RENOUVELABLES ELECTRICITE en TWh

Le grand saut vers l'utopie ?



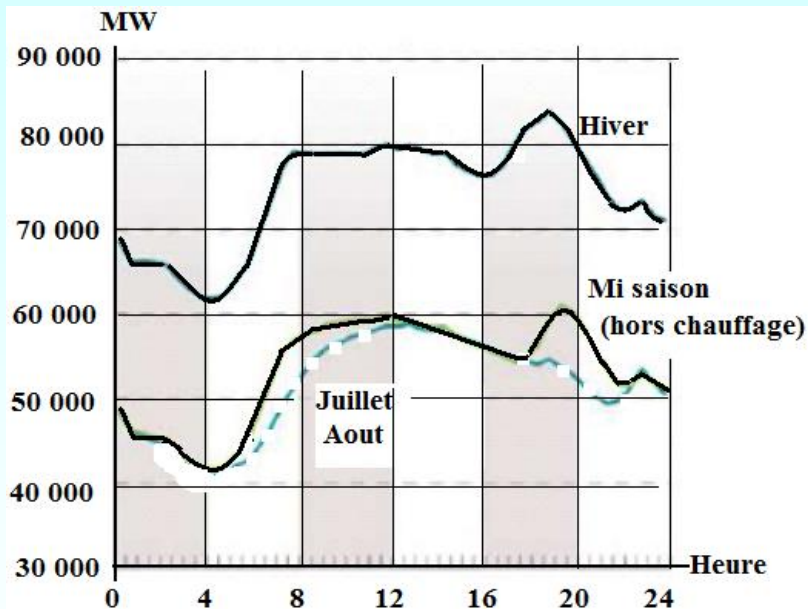
	2012	Avenir ?
Hydraulique	65	70* ou 77**
Eolien	5.7	70* ou 194**
Solaire		17* ou 90**
Biomasse	4	10* ou 5**
Total renouvelables	75	167* ou 376**

Les grands écarts entre Négatep et Négawatt***

Renouvelables électriques

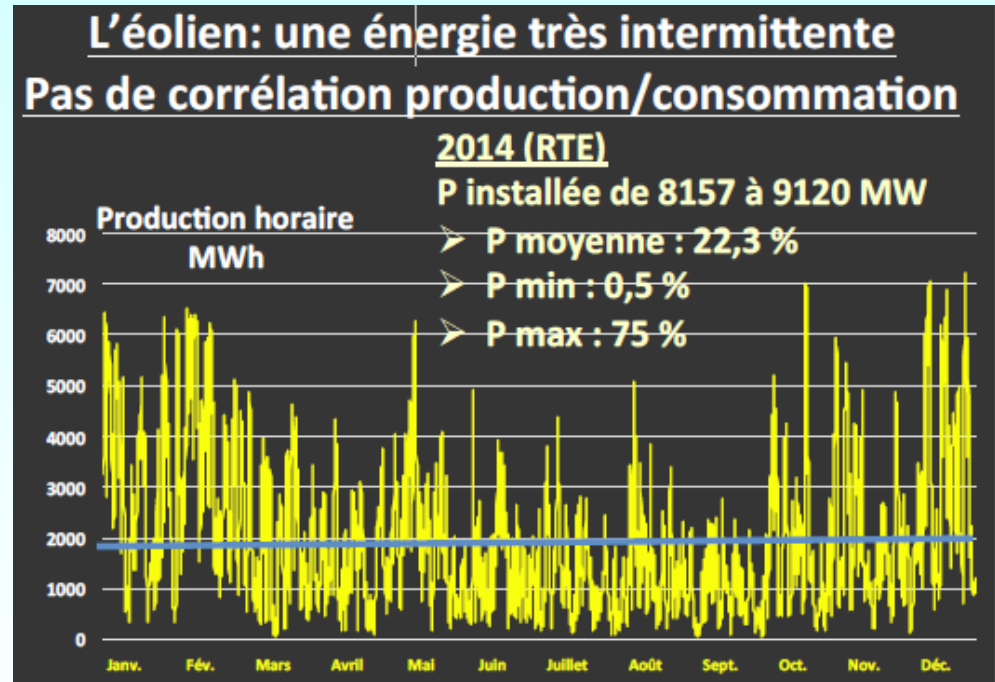
Intermittence/fluctuations et les besoins !!!

Les besoins actuels



Réponses à la production

- Δ hydraulique ~ 10 GW
- Δ nucléaire ~ 5 GW
- Δ fossiles ~ 4 GW
- Δ export/import ~ ± 4 GW



Stockage d'électricité la clé du développement des renouvelables

L'essentiel étant toujours la « souplesse » de l'hydraulique hors fil de l'eau

- STEP. Rendement global 70 %.

Ex: Pour 25 GW d'éolien, besoin de 14 Grand Maison (1600 MW 18 h)

Prévision Négawatt idem 2010 soit 4 GW

Négatep + 1 GW

- Méthanation (*e-méthane*): électrolyse → hydrogène + CO₂ → CH₄

Rendement 50 % (*Base du scénario Négawatt*)

- Hydrogène et valorisation biomasse biocarburants (*option Négatep*)

- Batteries des véhicules en recharge simple, pas de réinjection réseau

Ex: 10 millions de véhicules, 10 GW en recharge (Scénario Négatep).

Pour mémoire hors scénarios Négawatt et Négatep

- Hydrogène et piles à combustibles. Rendement global 30 à 35 %

- Hydrogène et injection réseau gaz. Rendement électrolyseurs seuls <70 % (*Sc. Ademe 2012*)

- Méthanation et production d'électricité. Rendement global < 30 % (*Cf Ademe 2015*)

Coût de l'intermittence

- Comme il faut répondre aux besoins, en l'absence totale d'énergie photovoltaïque et quasi-totale (reste environ moins de 5 % de la puissance installée) de l'éolien, il faut prévoir une puissance quasi équivalente à celle investie et la maintenir en exploitation (donc toutes équipes opérationnelles à payer)
- Il n'y a gain que sur le coût combustible non consommé par les autres sources,
- Sur un mix énergétique à forte base de production nucléaire, à chaque MWh d'intermittent produit devrait être imputé environ 50 € (en première approche 59.8 – 5.1), venant s'ajouter actuellement aux 75 € pour l'éolien terrestre, et dans le futur aux 220 € pour l'éolien offshore, hors surcoût réseau
- Pour des réseaux à forte présence fossiles on retrouve le même ordre de grandeur du surcoût
- Il faut retenir que les solutions stockage d'électricité sont encore plus onéreuses
Ordre de grandeur STEP 130 €/MWh, Batteries 110, Hydrogène et PàC 350 €/MWh

Coûts du nucléaire

- Pour l'existant, la Cour des Comptes (Rapport 2013/2014) donne un coût économique de 59.8 €/MWh décomposé en:

- Exploitation : 24.7 (dont 1.5 uranium sur le total de 5.1 combustible)
- Loyer économique : 21 (*capital origine, permet de reconstituer, à la fin de leur durée de fonctionnement, (ici 40 ans) un parc identique au parc initial. Ne prend pas en compte l'amortissement déjà couvert.*)
- Investissements sur l'existant : 9.1 (dont impact Fukushima)
- Provisions déchets : 3.2
- Provisions démantèlement : 1.3

Ce coût avec la méthode dite « CCE » (coût courant économique) intègre tous les coûts futurs potentiels tels que ceux de maintenance lourde nécessaire au prolongement de durée d'exploitation, les travaux « post-Fukushima », les coûts de démantèlement, les coûts de gestion à long terme des déchets radioactifs.

Le coût deviendrait 55 €/MWh pour un amortissement sur 50 ans

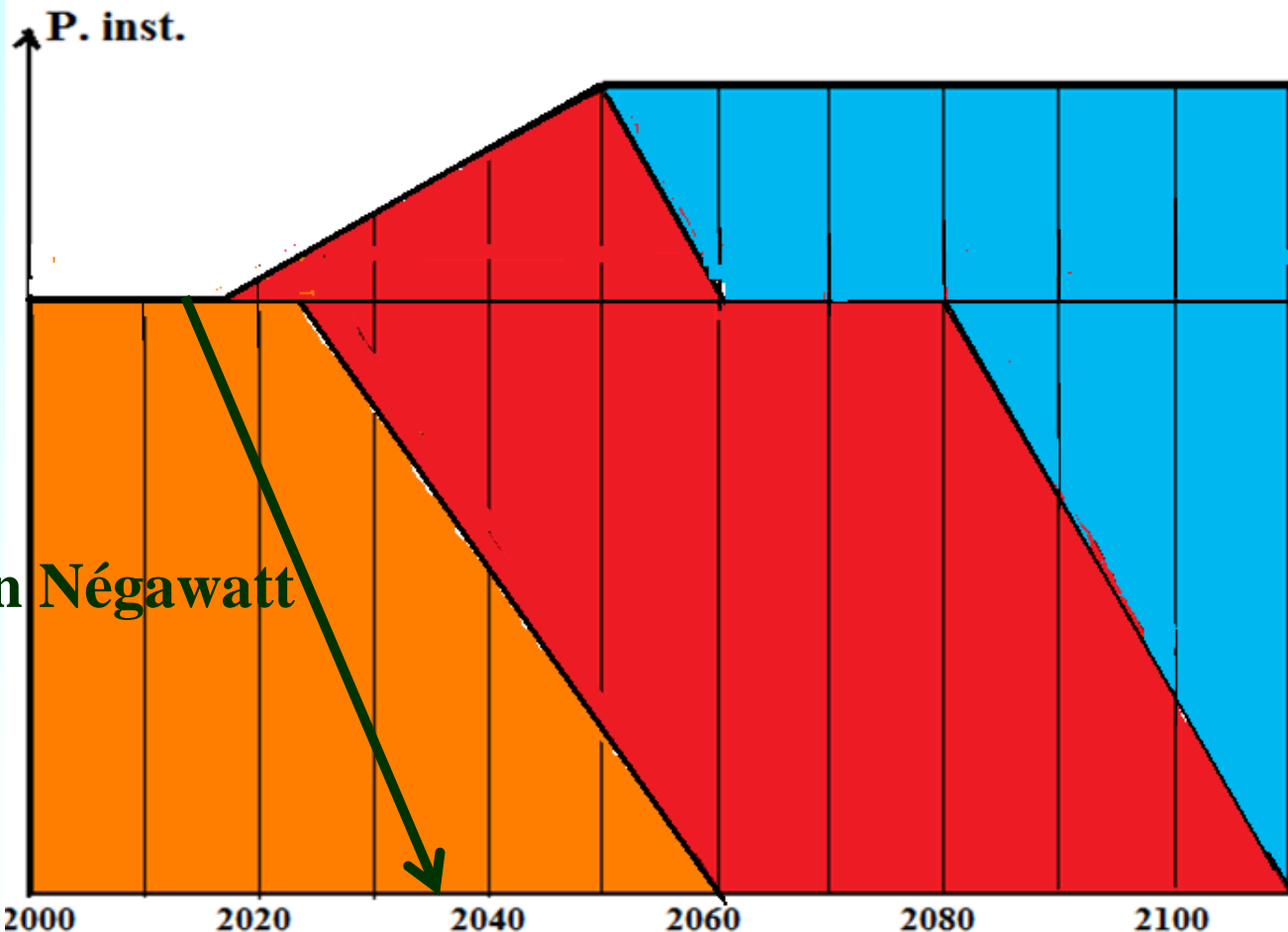
- EPR Tête de série 90 €/MWh ?
- Suite EPR 70 €/MWh ?

-Nota: La non prolongation de durée de vie de 10 ans pour le parc actuel aurait un coût net de 100 Milliards d'€

Evolutions du parc nucléaire

Selon Negatep

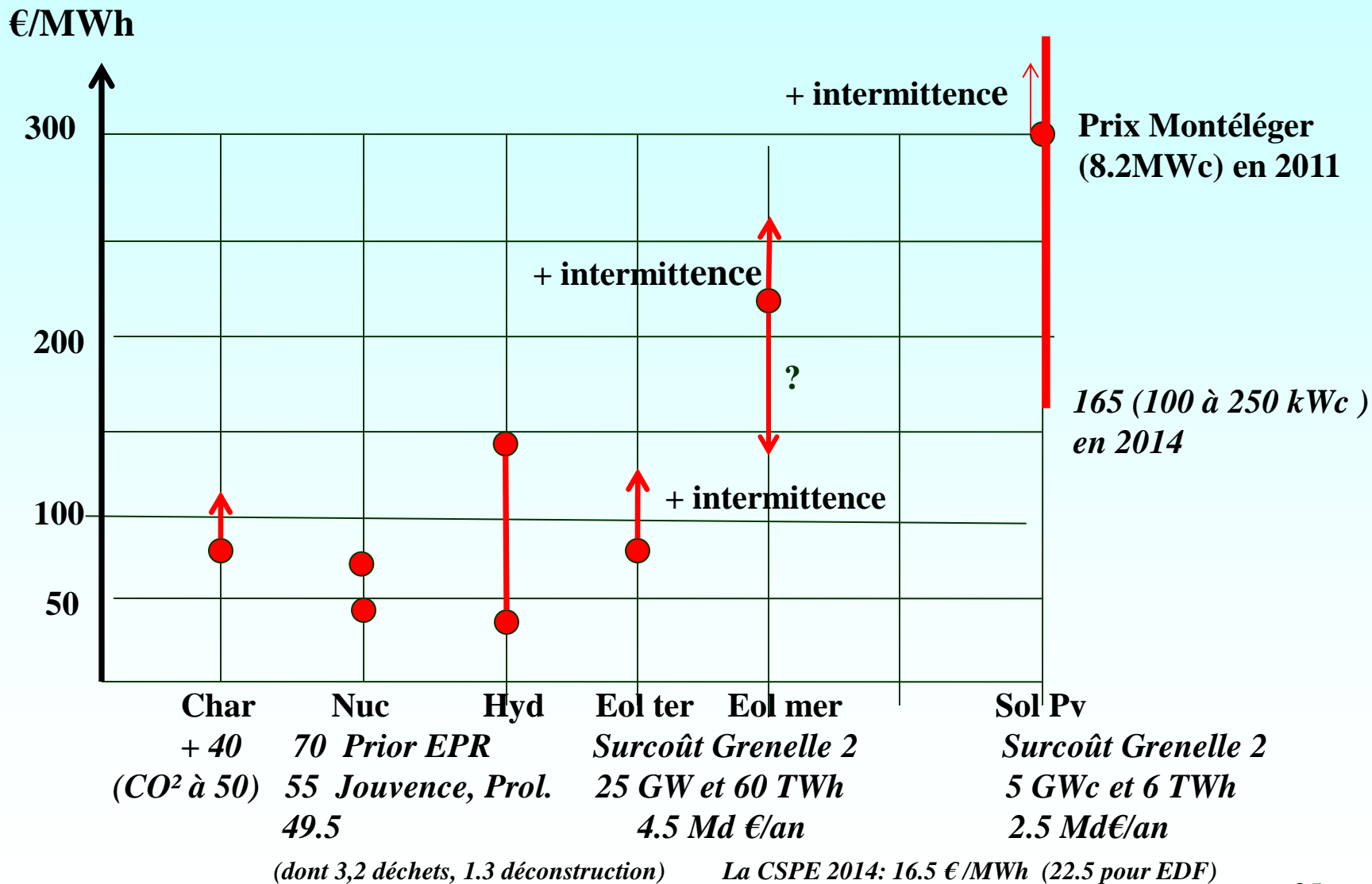
Parc actuel EPR SFR



Selon Négawatt

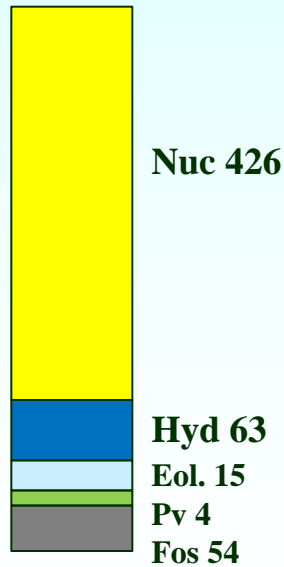
Coûts électricité

Dans une période de crise économique, la prise en compte des coûts n'est pas une préoccupation secondaire



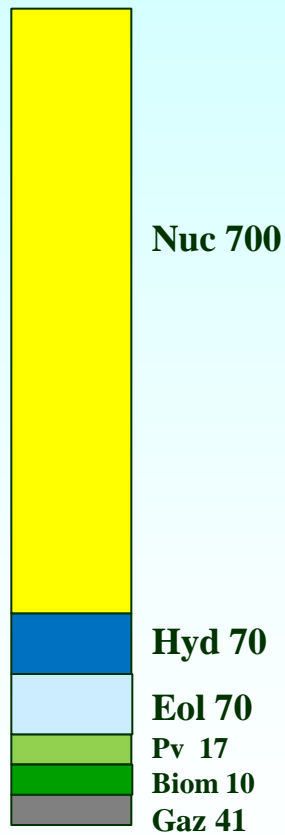
Electricité production en TWh

562 TWh



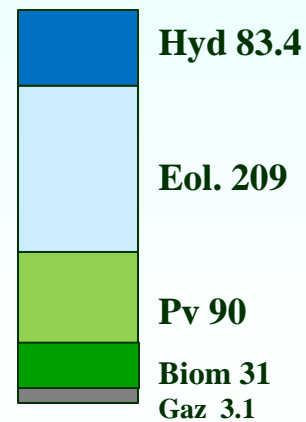
2012

908 TWh



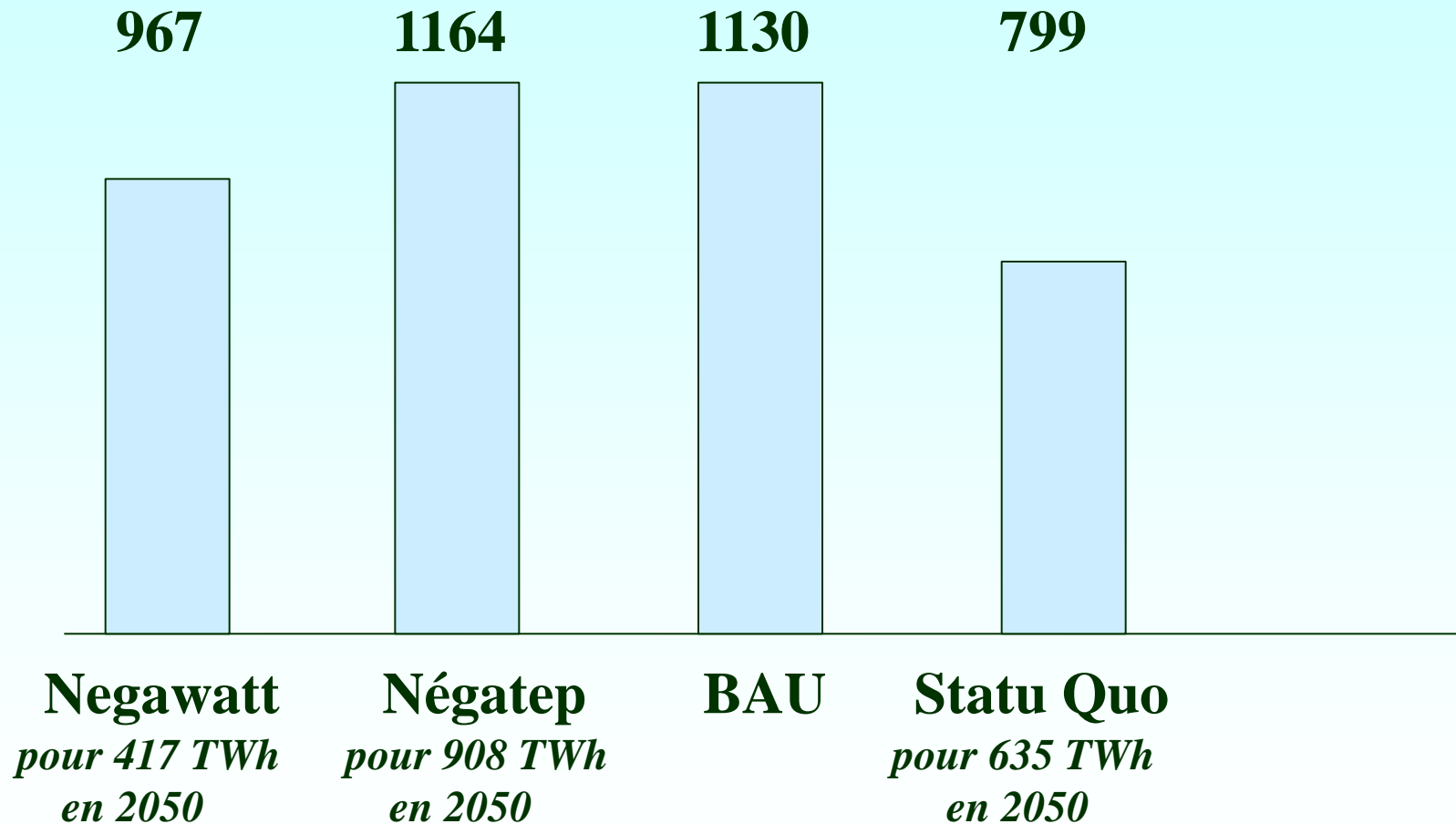
2050 Négatep

417 TWh



2050 Négawatt

Coûts de la production d'électricité en G€ sur 40 ans de transition



Exemple Négatep : Nucléaire 925 G€, Eolien 57, Pv 46 ...

Coûts de la production d'électricité selon Négatep

- Nucléaire, 700 TWh en 2050

- Puissance installée passe de 63 à 102 GW. Coût total: 925 G€
(Investissements 400, Exploitation 450, Grand carénage pour les existants, Début déconstruction)

- Hydraulique 70 TWh en 2050

- Puissance installée augmente peu de 1 GW. Coût total: 43 G€

- Autres sources régulables 51 TWh en 2050

- Biomasse et gaz fossile (dont pour intermittence). Coût total: 69 G€

- Eolien 70 TWh en 2050

- Puissance installée passe de 8 à 25 GW (dont 8 offshore).
1500 €/kW_i terre (5700 €/kW_e) et 2500 €/kW_i offshore (6800 kW_e) Coût total: 57 G€

- Photo Voltaïque 17 TWh en 2050

- Puissance installée passe de 5 à 15 GW_c. 4500 €/kW_c (18000 €/kW_he) Coût total: 46 G€

- Compléments réseau

- Puissance installée +91 GW. Coût total: 24 G€ (dont moitié pour renouvelables)

- → Total électricité 1164 G€ (moyenne 29.1 G€/an)
- (+ 365 G€ / au *statu quo* et + 34 G€ / continuité BAU)

France, coûts de la transition énergétique

La transition énergétique suppose un effort très important de la société.

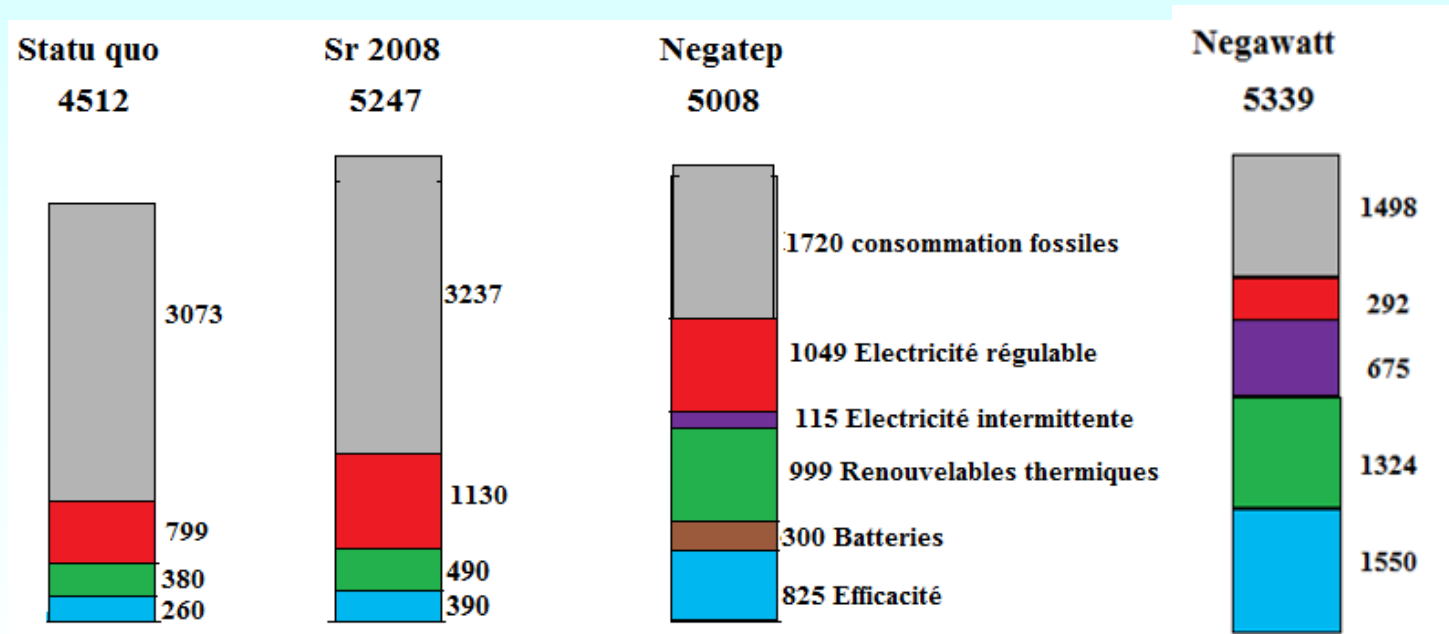
Coûts totaux (I et F), sur une période de 40 ans, avec les prix actuels des fossiles (début 2014)

selon 4 horizons différents: a) statu quo (*pas de changement par habitant, global + 13 % population*)

b) tendance (*SR 2008, dans la continuité hors crise*), +51 % /habitant

c) Négatep (*sobriété et efficacité - 27 % par hab.*)

d) Négawatt (*fortes sobriété et efficacité - 58 % par hab*)



Négatep : - Dépenses moyennes supplémentaires de 12,5 G €/an par rapport au statu quo

Zéro si coût fossiles + 37 %, en moyenne, ou si taxe CO₂ à 50 €/t, équilibre coût fossiles + 12 %

- Dépenses un peu réduites par rapport à une évolution tendancielle (SR 2008)

Tout ceci aux coûts actuels des fossiles (début 2014)

France, coût de la transition énergétique

Par rapport au statu quo (*consistant à ne rien changer, en rester aux modes actuels de production et de consommation, par habitant*), la transition énergétique coûterait:

- . 12,5 milliards € par an selon le scénario Négatep
- . 20,6 milliards € par an selon le scénario Négawatt

L'essentiel de l'écart entre les 2 scénarios vient

- du surcoût des économies d'énergie

L'adage « *l'économie qu'on ne consomme pas ne coûte rien* » s'avérant souvent erroné.

- de l'effort plus important sur les renouvelables sources de chaleur en grande partie lié à la méthanation et à la transformation du « surplus » de renouvelables électriques en chaleur sous forme de gaz de synthèse.

Cet écart n'est pas compensé par

- une moindre dépense pour l'électricité, mais seulement – 15 %, alors que la consommation finale électrique est divisée par plus de 2

- une moindre dépense sur la consommation de combustibles fossiles

LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE ALLEMANDE S'ACCÉLÈRE



Merci pour votre attention

Vos questions

Pour plus d'informations, voir sur site SLC:

www.sauvonsleclimat.org

Claude Acket et Pierre Bacher

- **Negatep 2014: réduire les rejets de gaz carbonique, oui mais à quel coût ?**
- **Négawatt / Négatep, le coût de la transition énergétique**