

Pour célébrer les 150 ans de l'École Centrale de Lyon



Cycle : Énergie : quelles nouvelles techniques ?

Quelle contribution de l'électricité pour une consommation énergétique plus sobre et avec moins de CO₂

par Henri Chambon,
direction de la stratégie d'EDF



www.efferve-sciences.ec-lyon.fr



**Conférences « Efferve'Sciences »
« Energie : Quelles nouvelles techniques ? »**

14 Novembre 2007

**« Quelle contribution de l'électricité pour une
consommation énergétique plus sobre et moins
émettrice de CO₂ ? »**

Henri CHAMBON, Direction de la Stratégie EDF

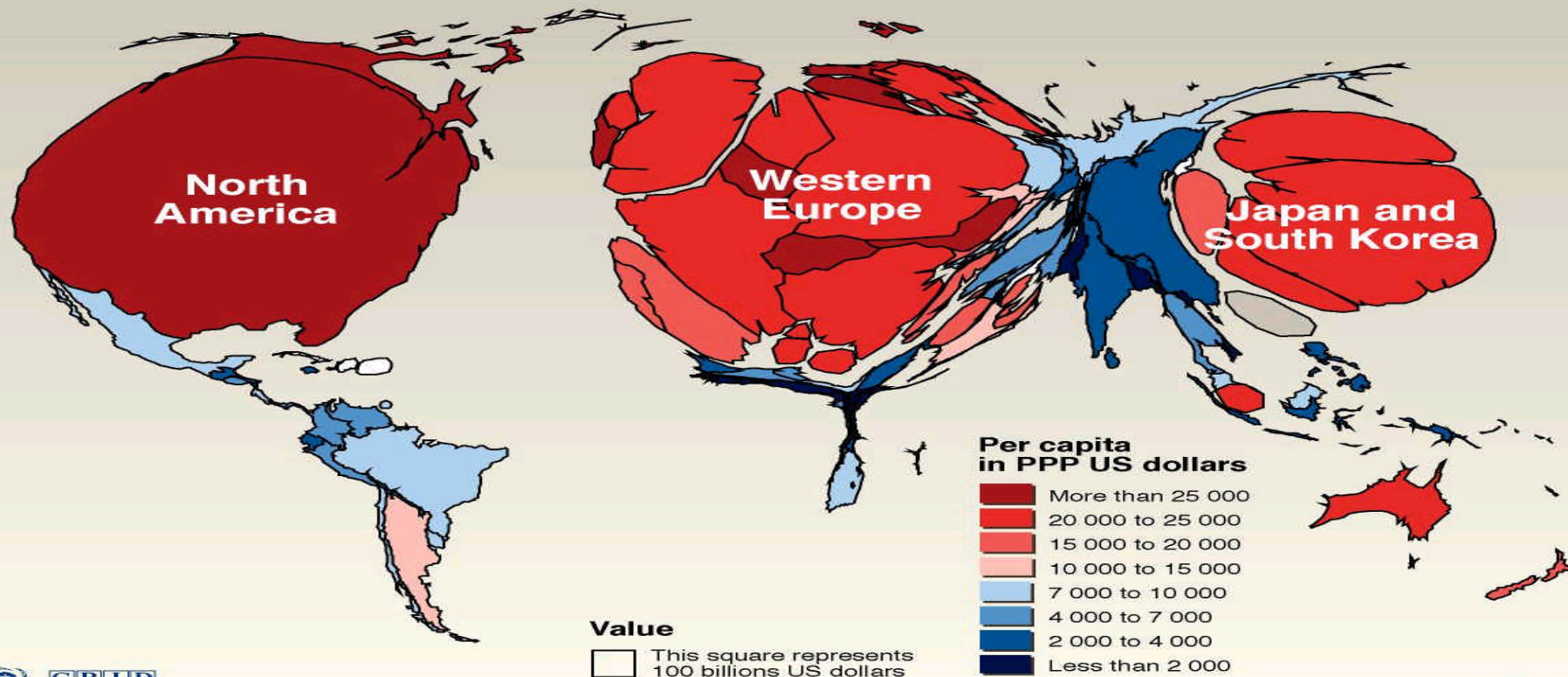
- 1 - Contexte mondial et grands enjeux : *L'importance des enjeux énergétiques, l'urgence de la lutte contre le changement climatique***
- 2 - Quelles marges de manœuvre ? *L'électricité : levier majeur pour infléchir les émissions de gaz à effet de serre.***
- 3 - Quelles mesures concrètes sur le secteur électrique susceptibles de limiter les émissions de CO2 ? Sur la demande *et l'offre, par la R&D***
- 4 - Des scénarios 2050 illustrant quel rôle crucial peut jouer l'électricité au niveau mondial, en mobilisant *toutes* les filières technologiques**
- 5 - Conclusion**

1 – CONTEXTE MONDIAL ET GRANDS ENJEUX

QUELQUES ELEMENTS A PRENDRE EN COMPTE :

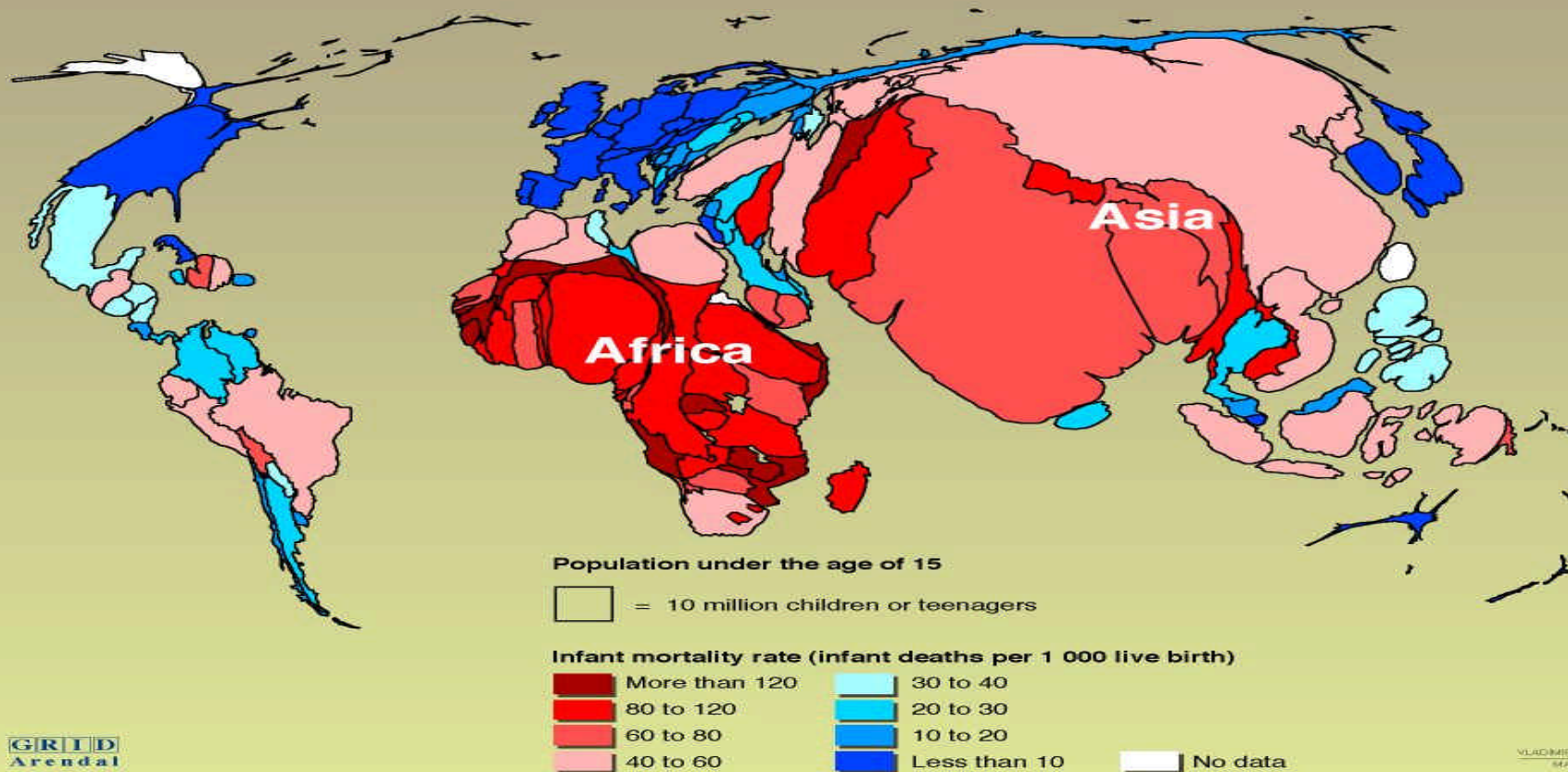
- l'importance des besoins énergétiques en croissance...
- ... et la variété de ces besoins dans le monde
- l'urgence de limiter les émissions de CO₂
- ...et les risques climatiques associés

Gross Domestic Product



Une image des zones qui consomment de l'énergie

Aujourd'hui

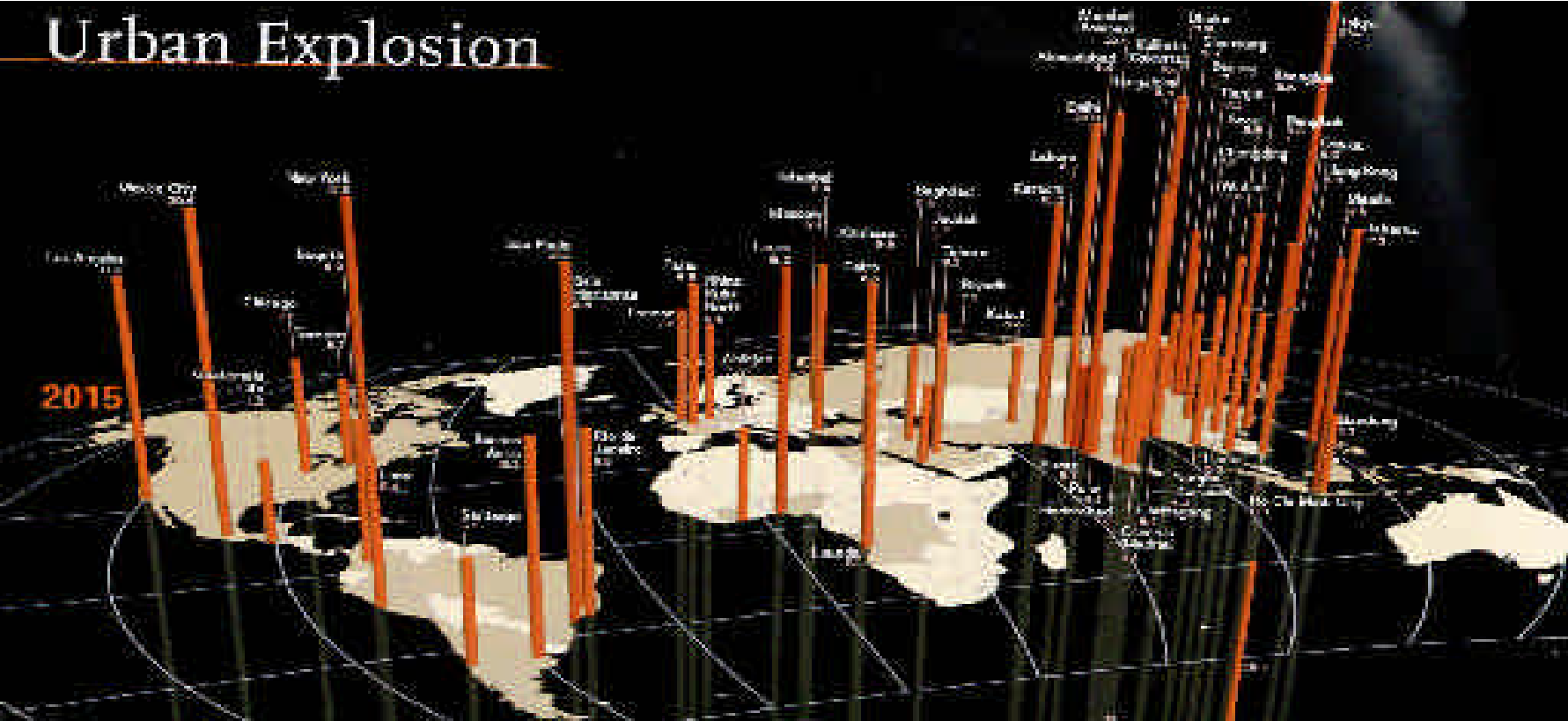


Et les zones de

forte croissance

de la demande énergétique

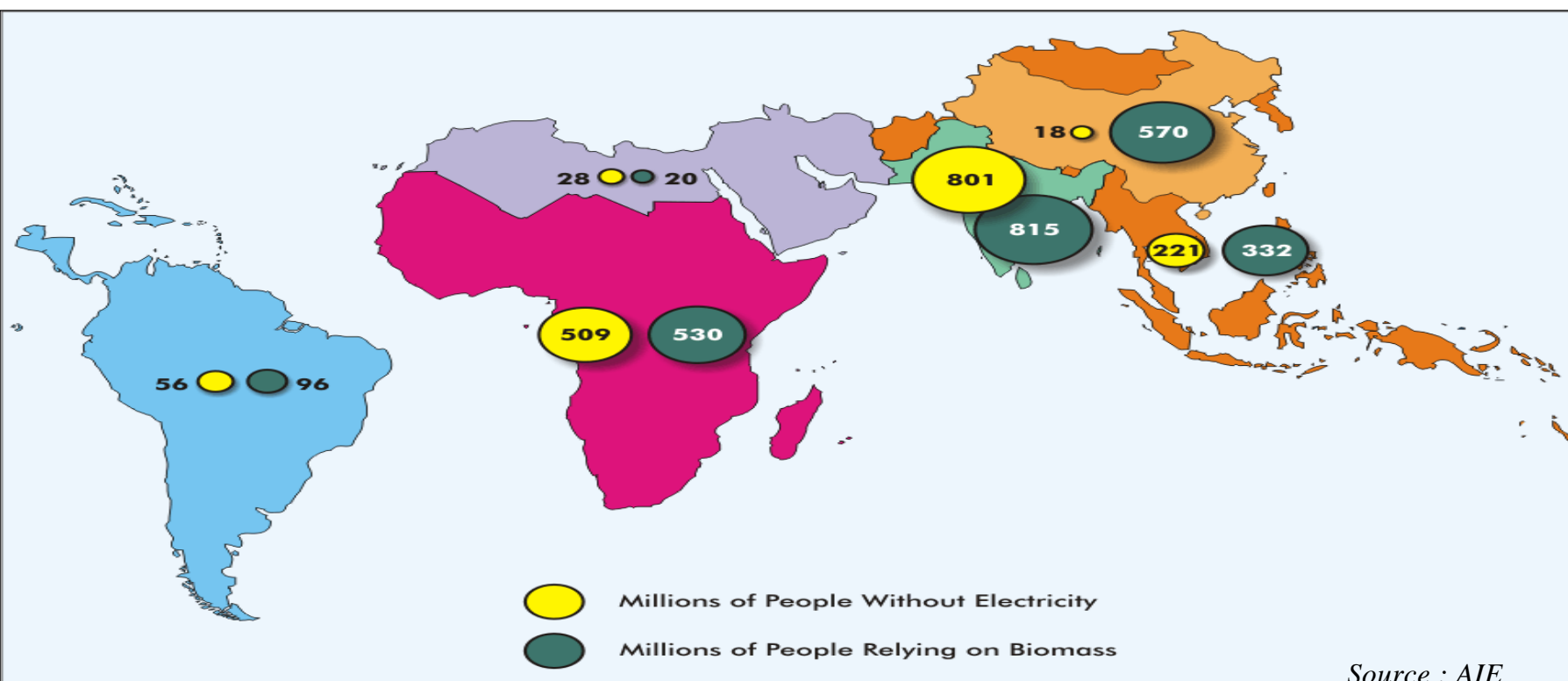
Urban Explosion



Alimenter tout
à la fois

Des
mégalo-poles

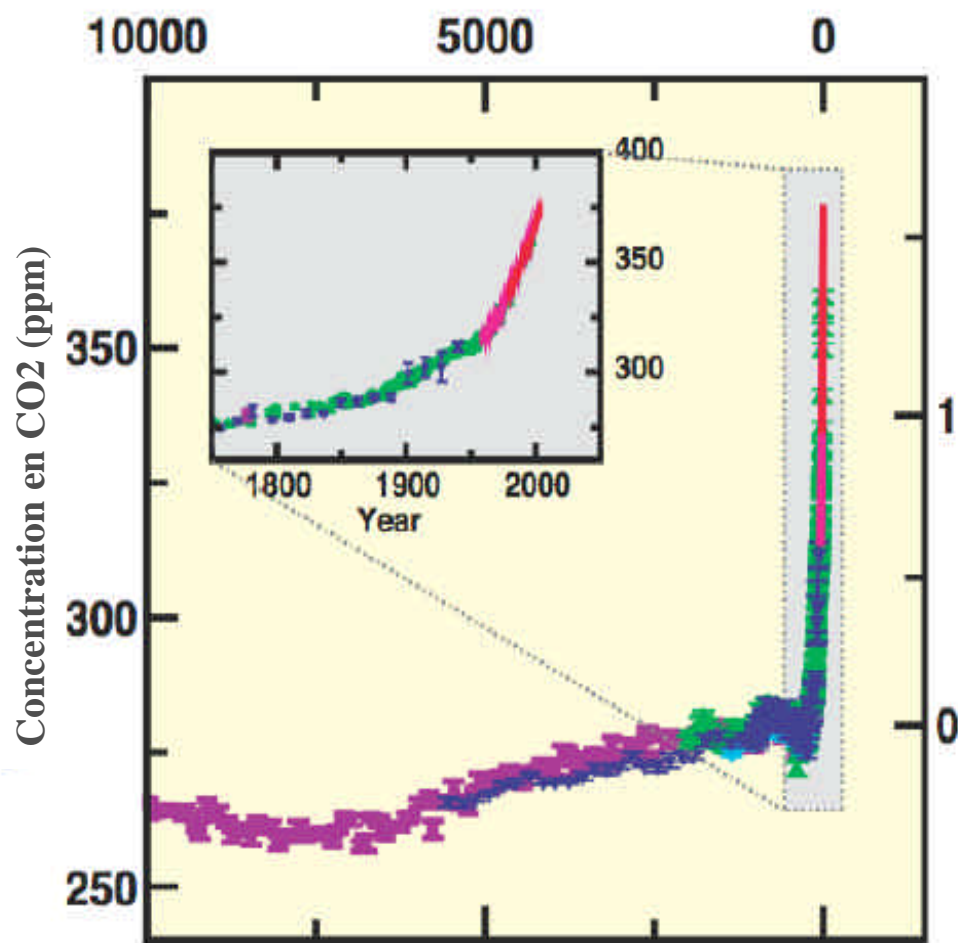
2015 : 60 agglomérations de plus de 5 millions d'habitants, dont 20 de plus de 10 millions



et des zones
très peu
denses
actuellement
sans énergie
moderne

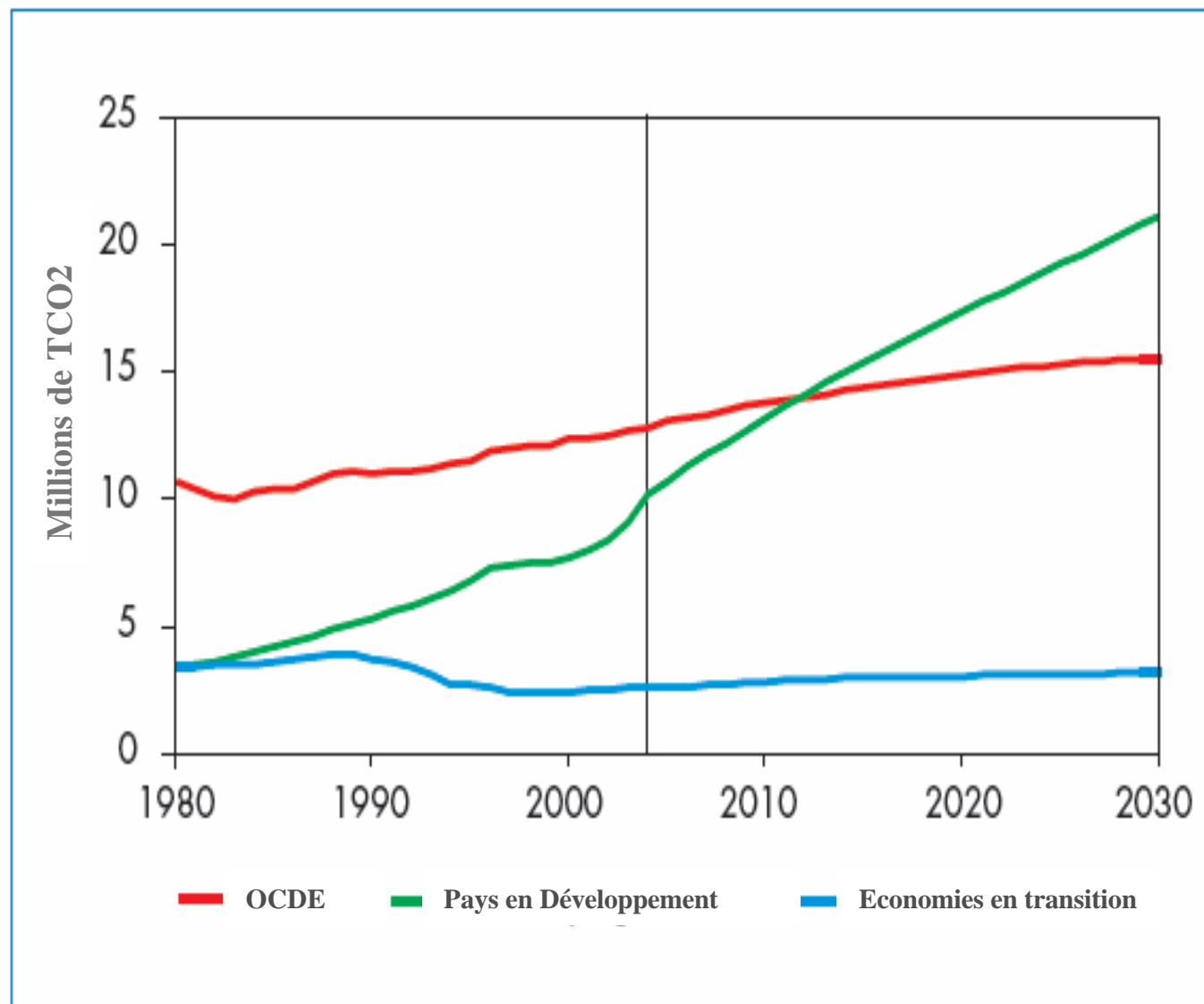
1,6 milliard de personnes ne disposent pas d'électricité, et près de 2 milliards ne peuvent compter comme énergie que sur la biomasse

Alors que la concentration dans l'air des gaz à effet de serre, *principalement CO2* a fortement augmenté depuis 150 ans, les émissions devraient s'accroître à l'avenir si rien n'est entrepris



Concentration en CO2 depuis 10 000 ans (et depuis 1800 ans)

Source : IPCC

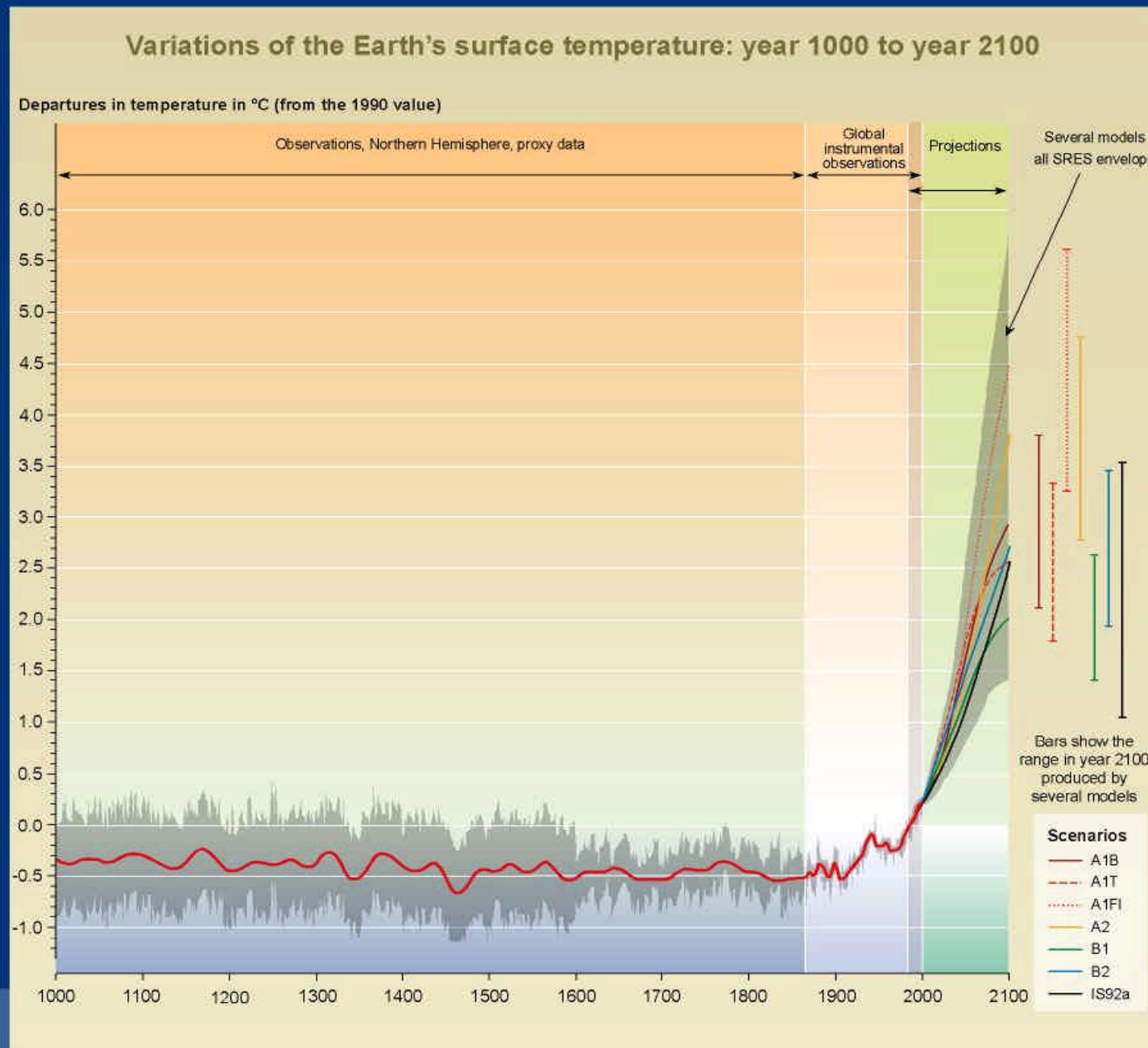


Emissions de CO2 depuis 25 ans, et envisageables dans les 25 prochaines années

Source : AIE

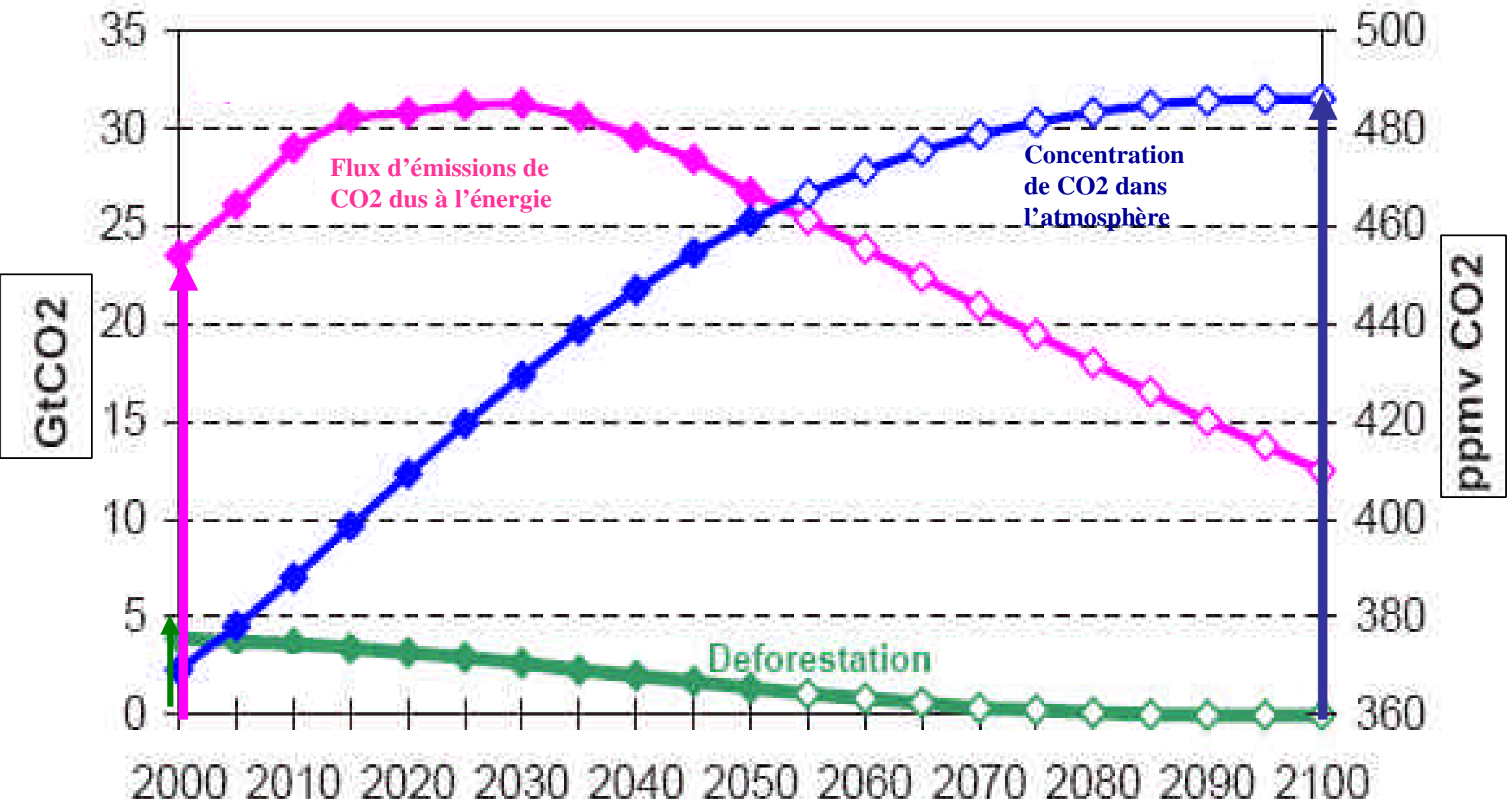
Avec des risques forts d'ici à la fin du siècle.

Quel climat préparons nous ?



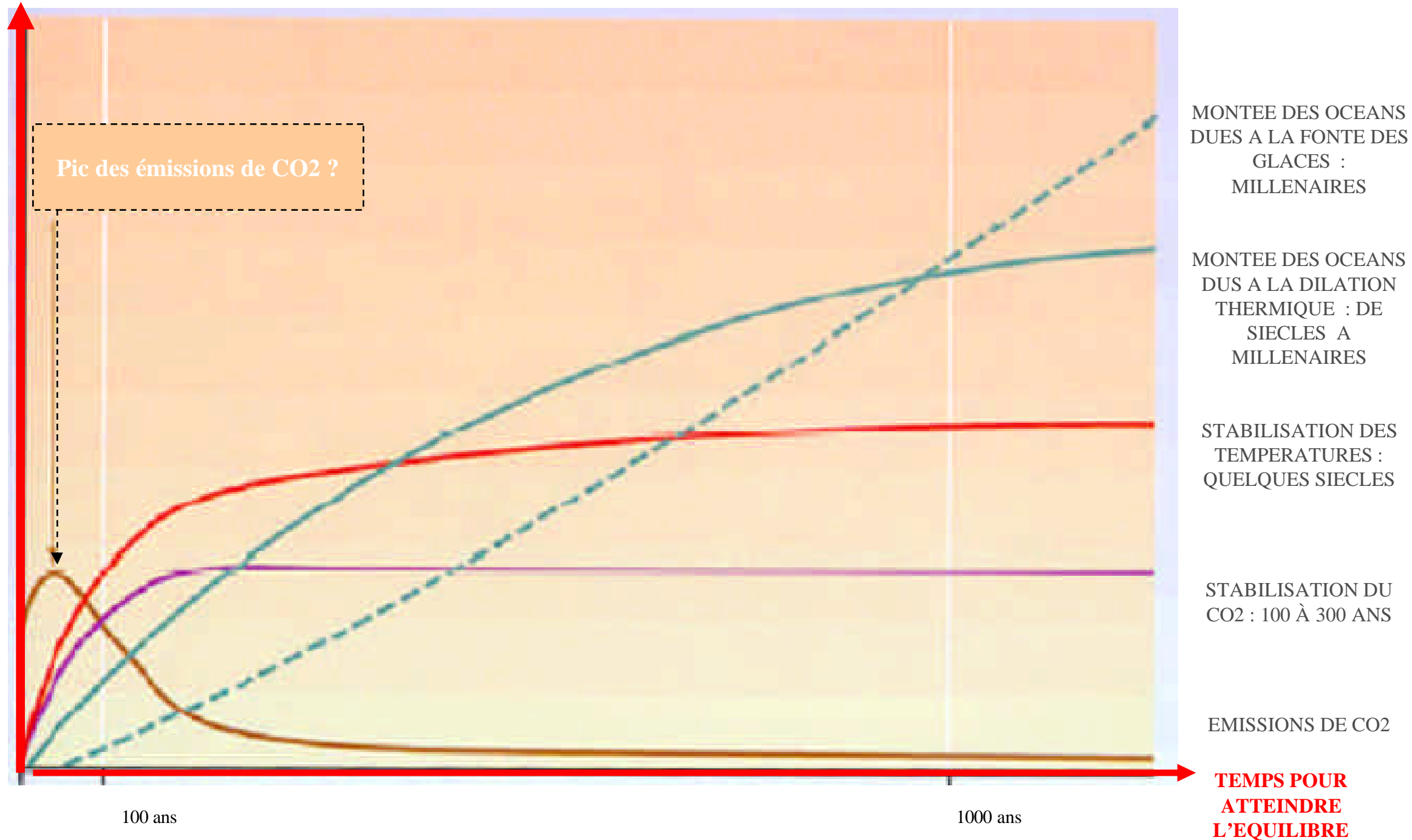
SYR - FIGURE 9-1b

Objectif : Freiner la croissance mondiale d'émissions de CO₂, puis amorcer une décroissance des flux d'émissions pour aboutir à un « plateau » de concentration en CO₂ dans l'atmosphère



Cela permettra de limiter les effets majeurs à court terme, même si ceux de long terme sont enclenchés.

IMPORTANT DE LA REPONSE



2 –QUELLES MARGES DE MANŒUVRE ?

L'électricité : levier majeur pour infléchir les émissions de gaz à effet de serre.

- La place de l'électricité dans la chaîne énergétique globale
- L'électricité : Une très large variété de ressources pour la produire...
- Des scénarios mondiaux (AIE) qui montrent son rôle majeur pour infléchir les émissions de CO₂
- La méthode des « coins » comme approche privilégiée

Définitions : la chaîne globale d'utilisation de l'énergie

• ENERGIE PRIMAIRE

charbon, pétrole, gaz, bois, hydraulique, uranium, soleil, vent,...

• Transformation

raffinages, gazéification biomasse, centrales électriques

• Transport-Distribution

gazoducs, lignes électriques, oléoduc et camions,...

• ENERGIE FINALE

(= Energie commercialisée)

carburants, gaz, électricité, chaleur : Toutes sources d'énergies rendues chez le consommateur

• Conversion

chaudières, fours, moteurs, lampes, appareillages électroniques de travail ou distractions...

• ENERGIE UTILE

d'images

chaleur haute ou basse température, force motrice, lumière, traitement d'information, de sons,

• Infrastructures d'utilisation

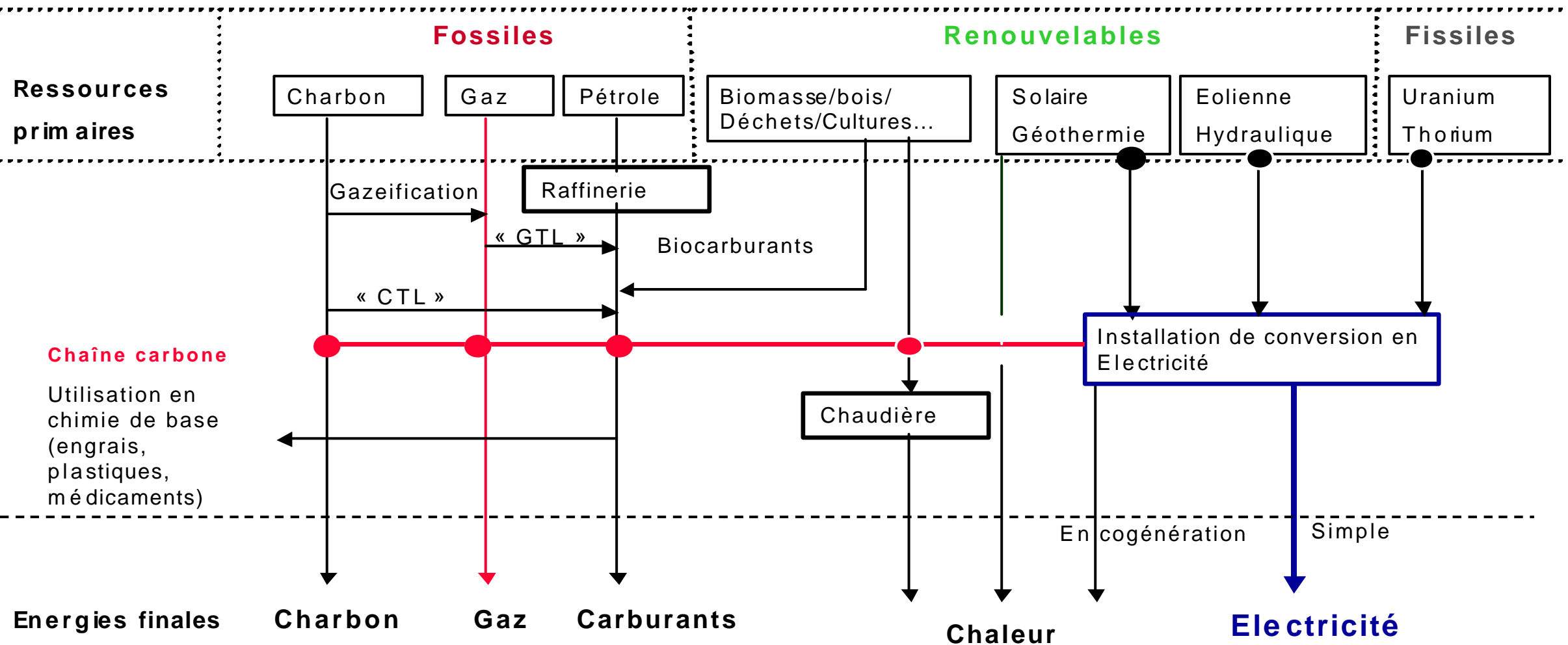
thermique de l'habitat, type de réseaux de transports, types de parc de machines, taux d'utilisation,...

• SERVICES ENERGETIQUES

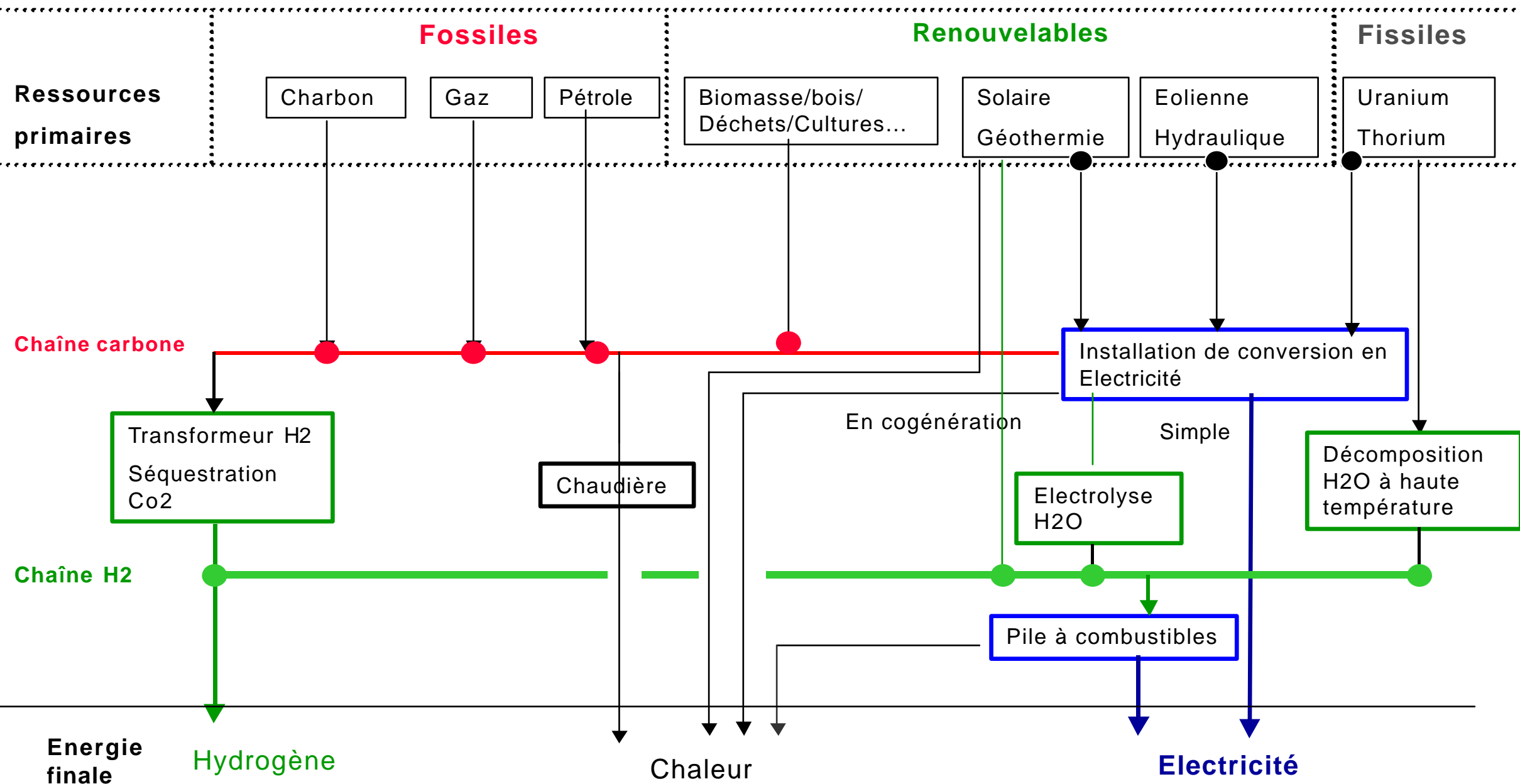
l'information, distractions,...

confort thermique, luminosité de l'habitat, mobilité des personnes, traitement de

Des ressources primaires très variées pour produire de l'électricité



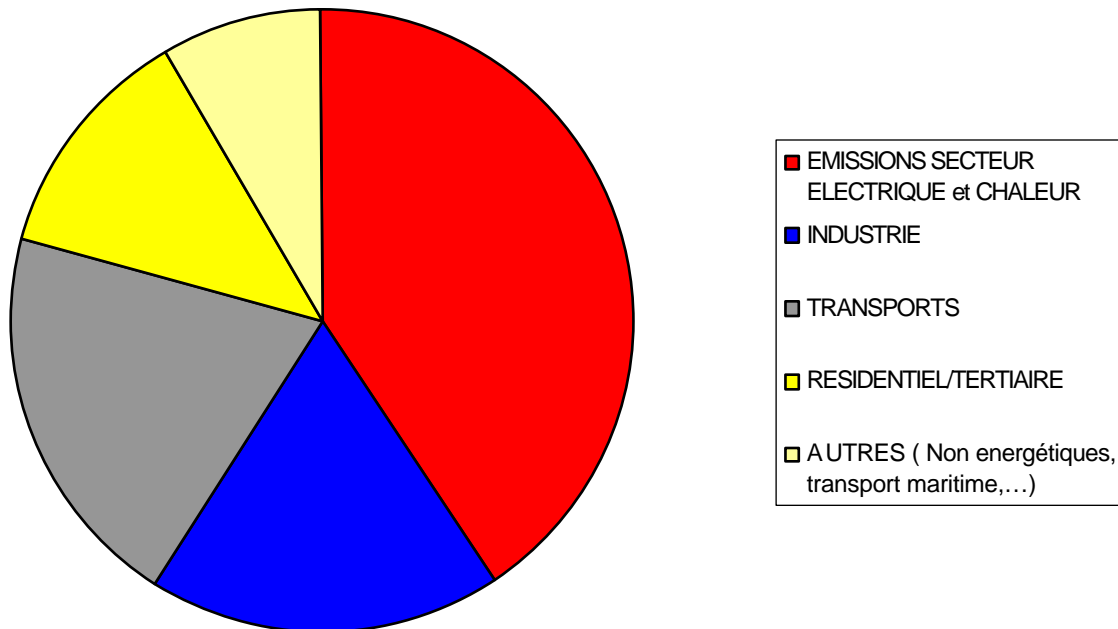
L' électricité complétée à terme par l'hydrogène ?



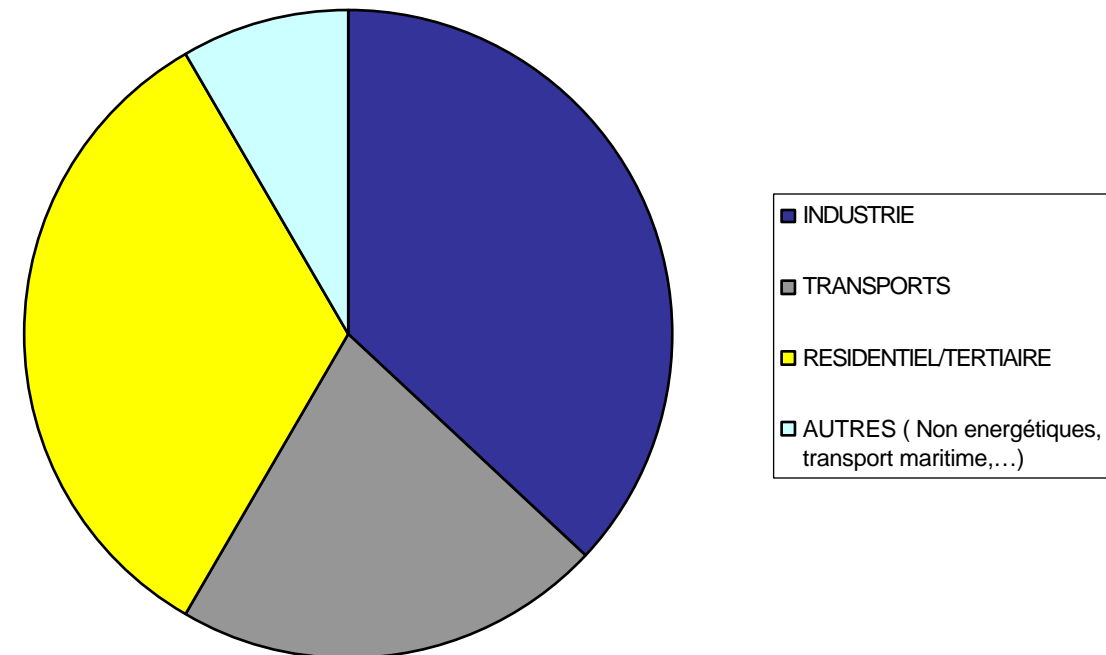
Rôle de l'électricité dans les émissions de CO2

Les mesures directes (finales) et indirectes (primaires) des émissions de CO2

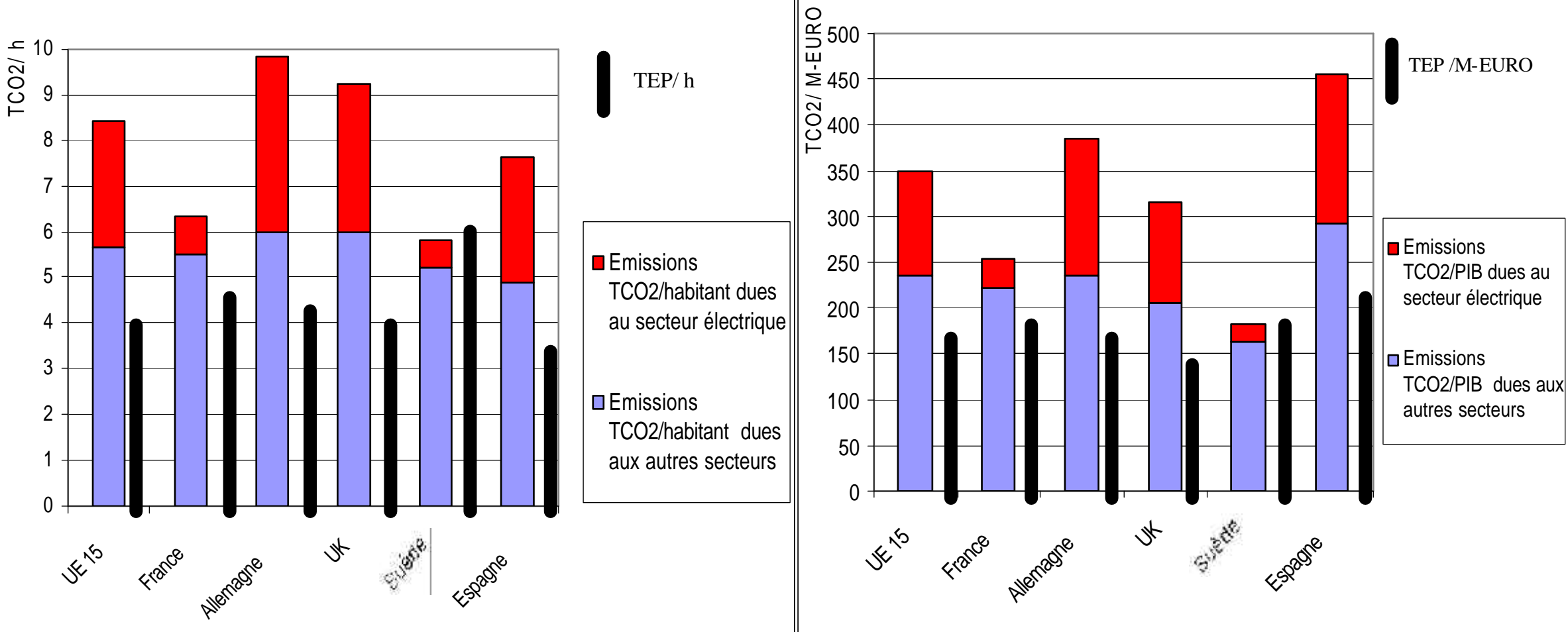
EMISSIONS DIRECTES DE CO2 DUES A L'ENERGIE, PAR SECTEURS
(Total : 26 MdTCO2/an)



EMISSIONS DIRECTES ET INDIRECTES DE CO2 PAR SECTEUR
(Total : 26 MdTCO2/an)



L'Electricité, facteur d'explication majeure des différences d'émission de CO2 entre pays



La simulation des avenir possibles par la *méthodes des scénarios* pour :

- De façon prévisionnelle, analyser ce qui se passera dans un « *Scénario de référence* » (horizon 20-25 ans) et dégager des pistes d'action les plus efficaces sur la demande et l'offre pour limiter les émissions de CO2
- D'une façon plus prospective (40 à 50 ans), se fixer un objectif d'émissions et analyser les conditions de « *trajectoires réalistes* » pour l'atteindre à moindre coût, avec la R&D et les ruptures technologiques indispensables

Au niveau mondial : AIE

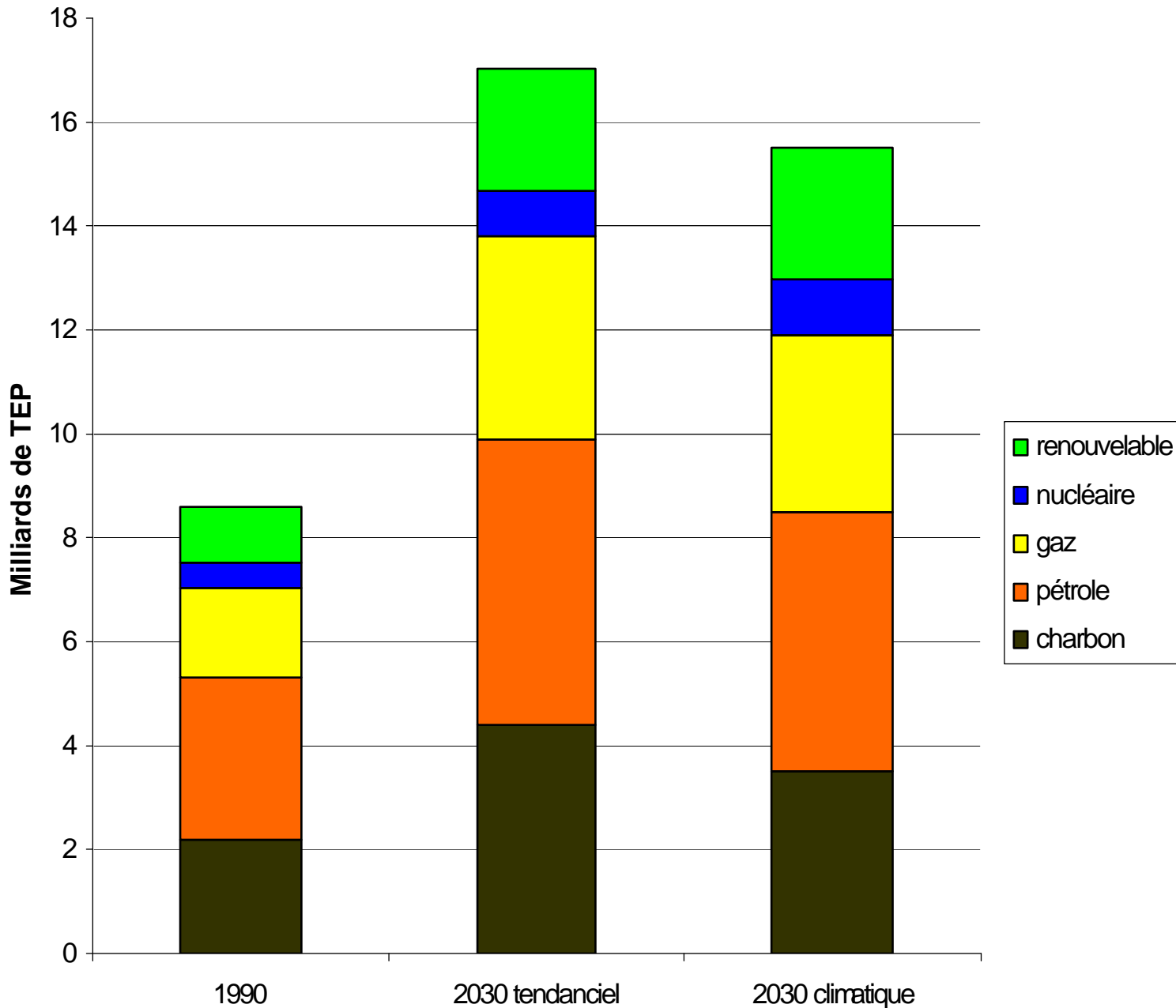
Au niveau européen : Commission Européenne (DG Energie, DG Recherche)

Au niveau français : Commission Ad-Hoc : « Centre d'Analyse stratégique »

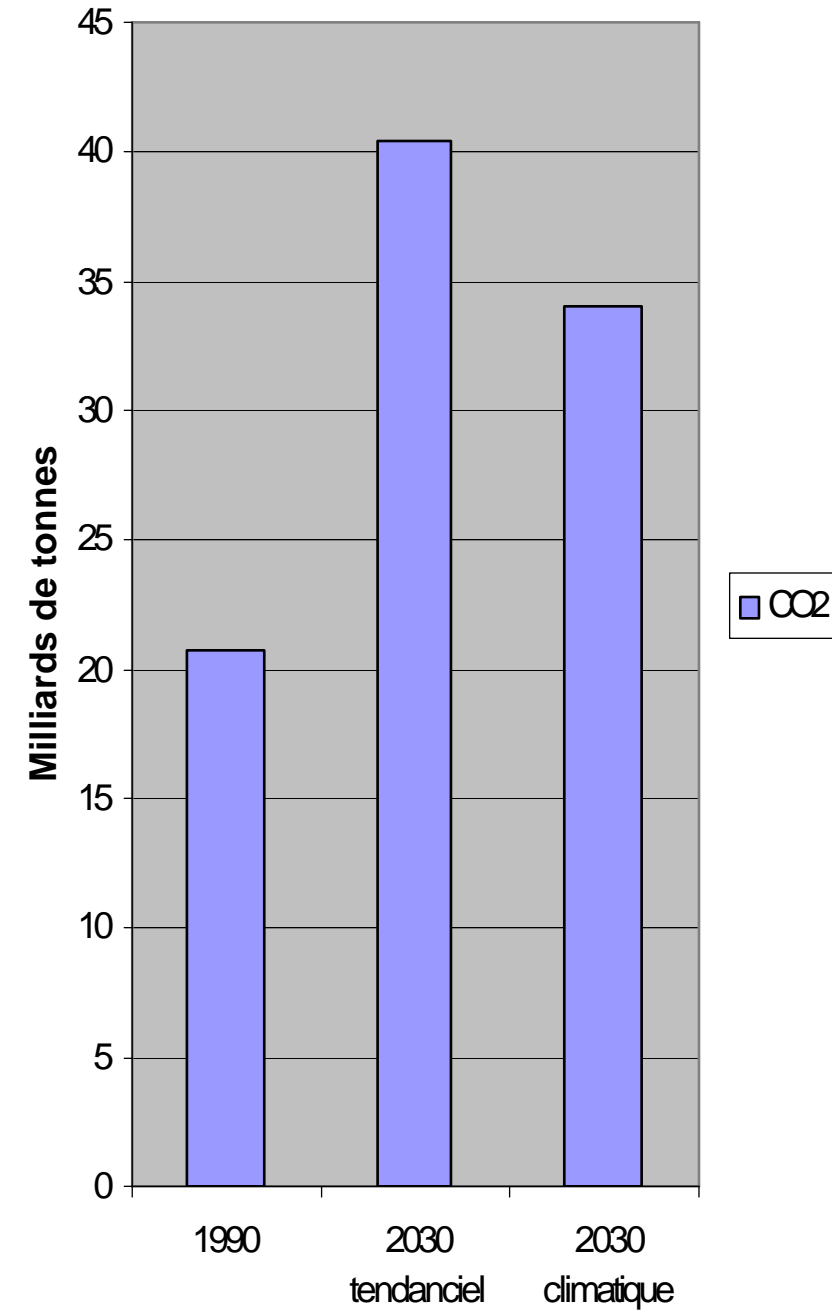
Un scénario « de référence » AIE sur 25 ans, et sa partie « alternative », tant sur l'offre que la demande

Evolution des consommations energetiques mondiales

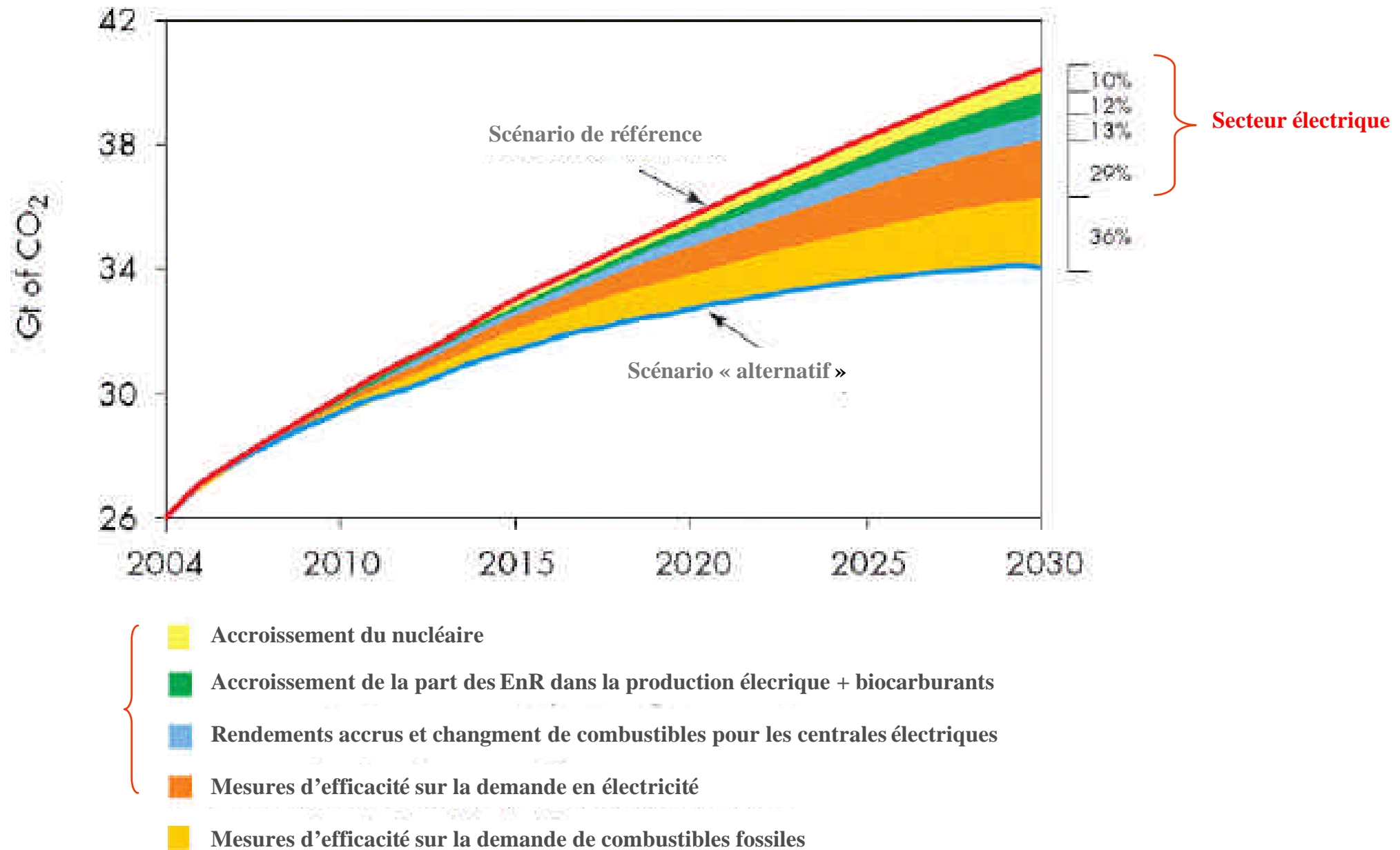
(source : AIE WEO 2006)



EMISSIONS MONDIALES DE CO2

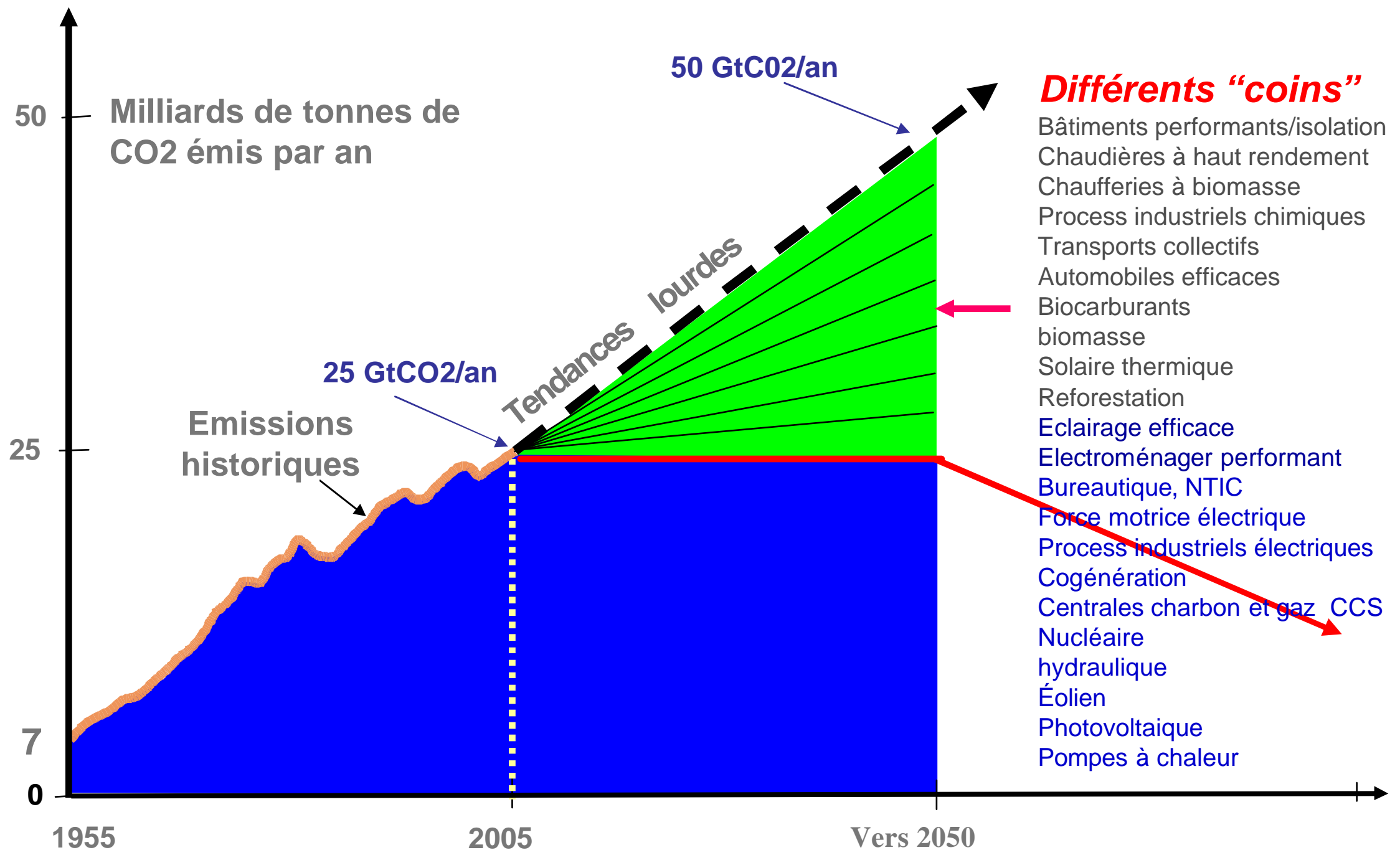


Réduction d'émissions de CO₂ de 15 % dans le scénario alternatif, *dont plus de 60% liées à l'électricité*



Source : Agence internationale de l'énergie (« World energy outlook 2006 »)

Vision prospective de long terme : La mise en oeuvre de l'empilage de "coins", dont une grande partie électriques



Phase de stabilisation... puis de décroissance

3- QUELLES MESURES CONCRETES SUR LE SECTEUR ELECTRIQUE SUSCEPTIBLES DE LIMITER LES EMISSIONS DE CO2 ?

3-1 Au niveau de la demande

- gisements d'économie sur la demande d'électricité, par *les meilleures technologies disponibles*
- en substitution à d'autres énergies finales fossiles, par des process performants

3-2 Au niveau des filières de production électrique

- fossiles à haut rendement puis avec séquestration du CO2
- nucléaire
- renouvelables

3-3 Avec maîtrise des coûts associés, et une R&D dynamique

3-1-a Utiliser les gisements d'économie sur la demande électrique

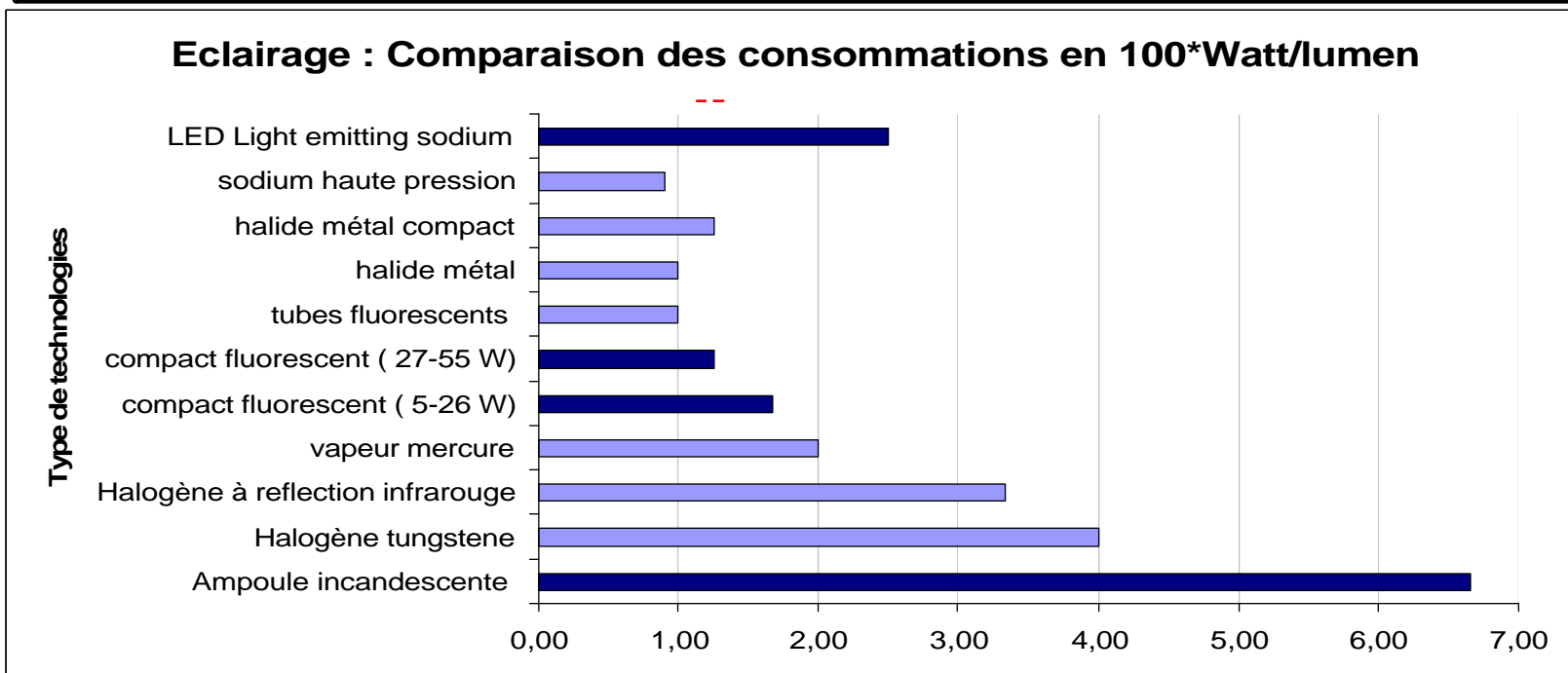
Efficacité des appareils bureautiques

Equipement	Fonctionnement (Watt)	Veille « Classique » (Watt)	Veille « Energy star » (Watt)
Ecran	70	< 15	< 8
Unité Centrale	40	< 30	< 15
Imprimante laser	300	30	
Photocopieur standard	500	150	< 15

Gros électroménagers plus sobres (Congélateurs, réfrigérateurs, cuisinières,...)

Modèle de 280 litres	Consommation en kWh annuels	Emissions CO2 en France 70gCO2/kWh	Emissions CO2 Europe 400gCO2/kWh
Modèle 1995	410	29	164
Modèle Classe C	320	23	128
Modèle classe A	200	14	80

Eclairages novateurs



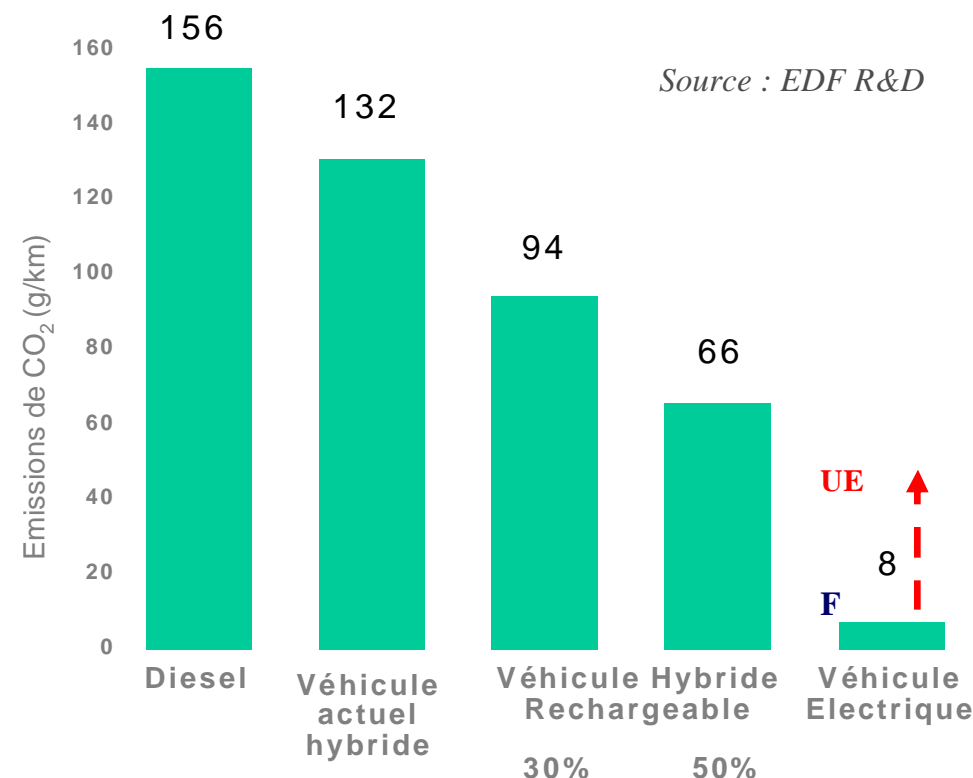
3-1-a Utiliser les gisements d'économie sur la demande électrique

- Insertion de variateurs électroniques de vitesse (VEV) pour le gros moteurs industrie, air comprimé (15 à 25% d'économies)
- Chauffage des contenus sans chauffer les contenants ex : micro-ondes, induction dans l'industrie, etc
- Compression mécanique de vapeur et pompes à chaleur



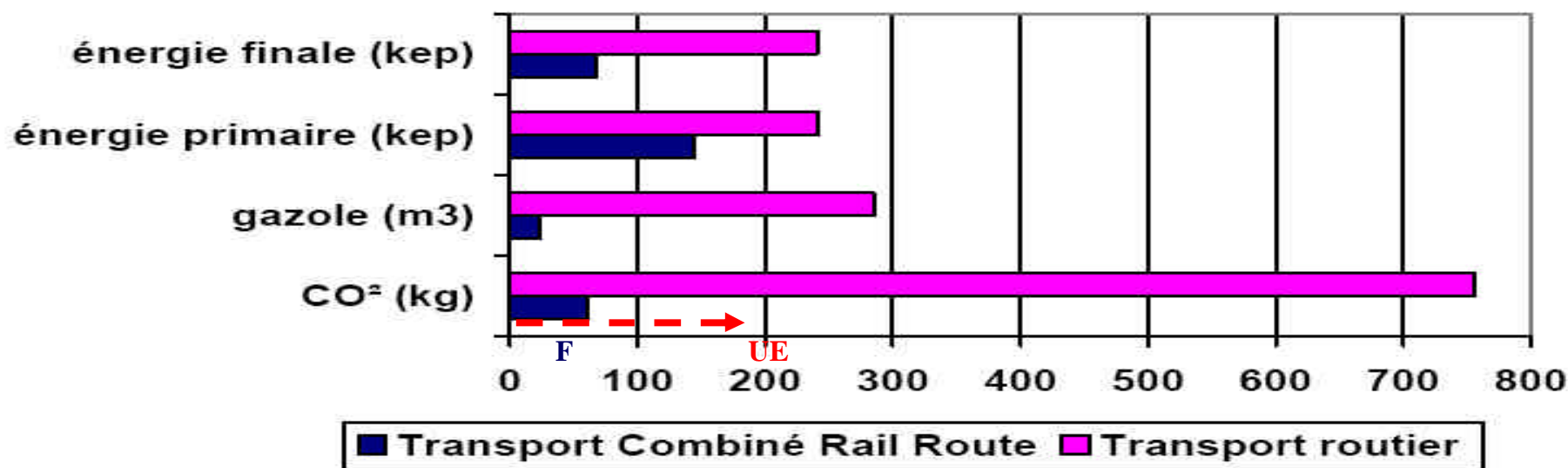
3-1-b Développer les gisements par substitution dans les transports

–Accroissement de la part des transports électriques (rail transeuropéen, modes urbains, ferro-routages, motorisation hydride,...)



Graphique n° 29 : Exemple de bilan énergétique entre route et transport combiné

liaison Paris Toulouse [valeur 2000 pour une unité de transport intermodal avec des parcours routiers d'approche et final de 30 km]

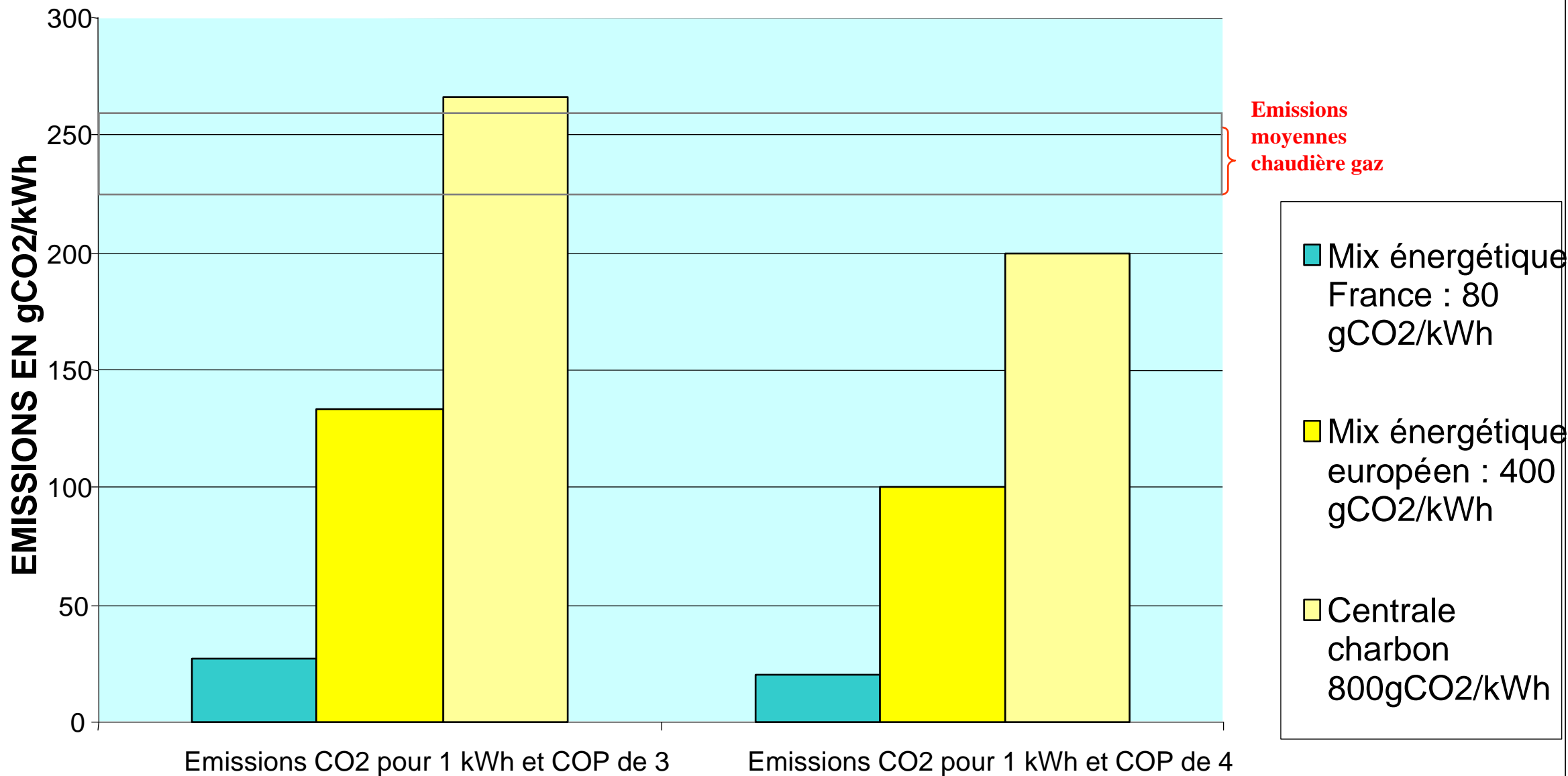


3-1-b Développer les gisements par substitution dans le chauffage

- Meilleure conception de l'enveloppe du bâti (murs, toiture, ouvrants,...) et compléments EnR thermique (solaire thermique, inserts et poêles bois « *flamme verte* »,...) pour limiter les besoins

- La Pompe à Chaleur : Utilisation de l'électricité pour extraire des calories (sol ou air)

EMISSIONS DE CO2 PAR POMPES A CHALEUR , SUIVANT LES PARCS ELECTRIQUES,
comparées à celles d'une chaudière à gaz



Source : EDF

3-2-a Améliorer la production électrique à base thermique fossile

- Accroître les rendements des centrales charbon (supercritiques) et gaz (cycles combinés à gaz)
- Augmenter la part des centrales à gaz (par rapport au charbon), dans la limite des coûts et de la sécurité d'approvisionnement
- R&D sur la séquestration (*au moins partielle*) du carbone et stockage
- Rôle irremplaçable de la production thermique pour compenser la production fluctuante des EnR (notamment éolien) en forte croissance

3-2-a : Jouer sur la palette des ressources, des rendements et des ruptures technologiques : Les différents leviers de réduction de CO2 des parcs thermiques

Ressource primaire



Rendement

Rupture

Emissions de CO2 pour produire 1 Md de kWh	Centrale charbon	Centrale cycle combiné gaz
Anciennes Re = 37%	950 000 TCO2	
Nouvelles Re= 45%	780 000 TCO2	
Nouvelles Re= 55%		360 000 TCO2
Capture et séquestration du carbone	120 000 TCO2	55 000 TCO2

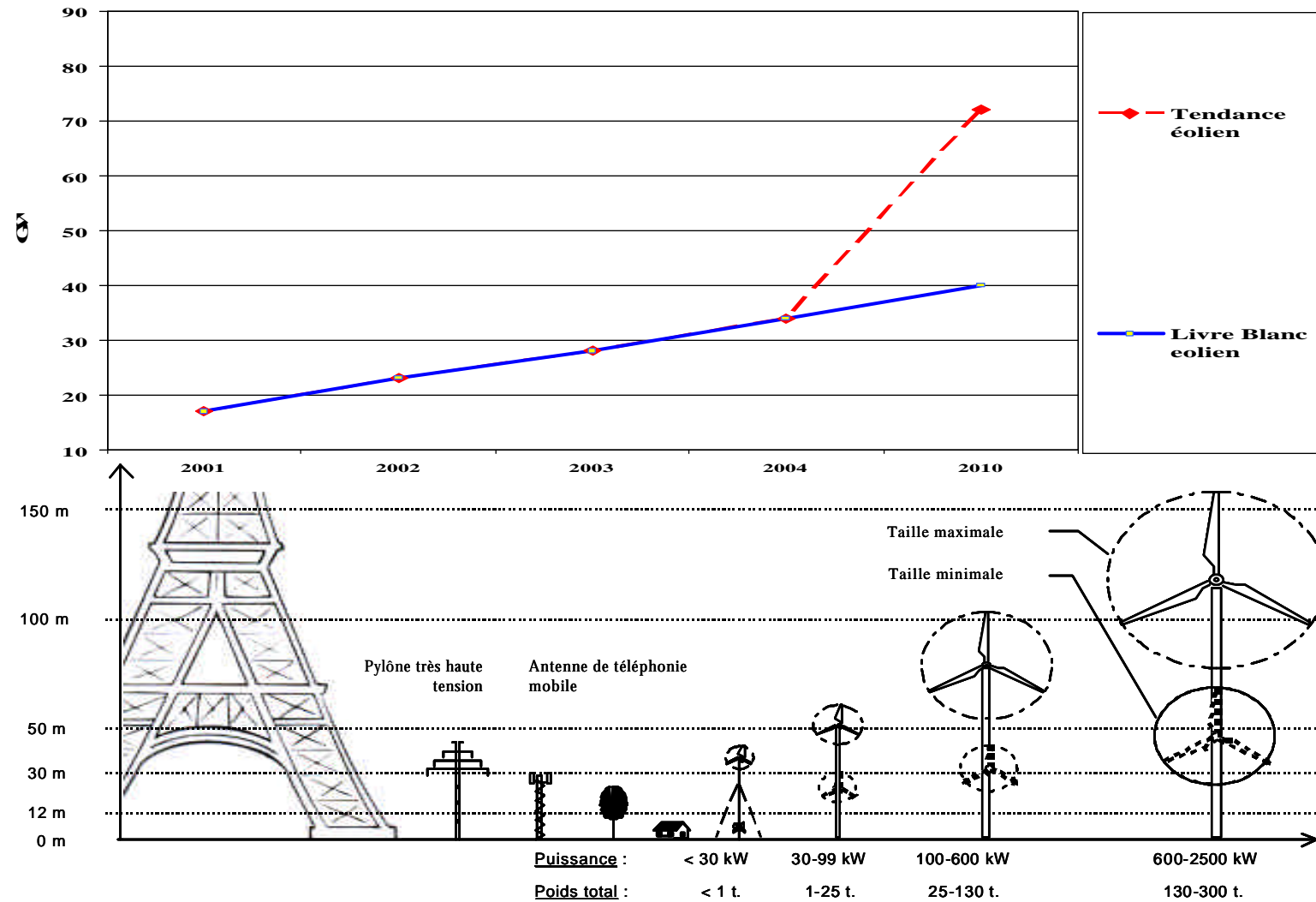
3-2-b Renforcer la part de l'énergie nucléaire pour les pays aptes à maîtriser cette filière.

- Pas de CO2
- Sécurité d'approvisionnement
- Faible sensibilité à la ressource minière
- Progrès sur les filières « Eau légère » : maîtrise des coûts, amélioration de la sûreté, durée de vie, diminution des déchets
- Déchets ultimes: Stockage /entreposage/stockage géologique
- Lancement EPR (Génération III, filière à eau légère)
- Préparation du futur : « Génération IV » pour utilisation industrielle à horizon 2040, avec possibilité production H2 et hautes températures

3-2-c Soutenir les énergies renouvelables électriques les plus efficaces

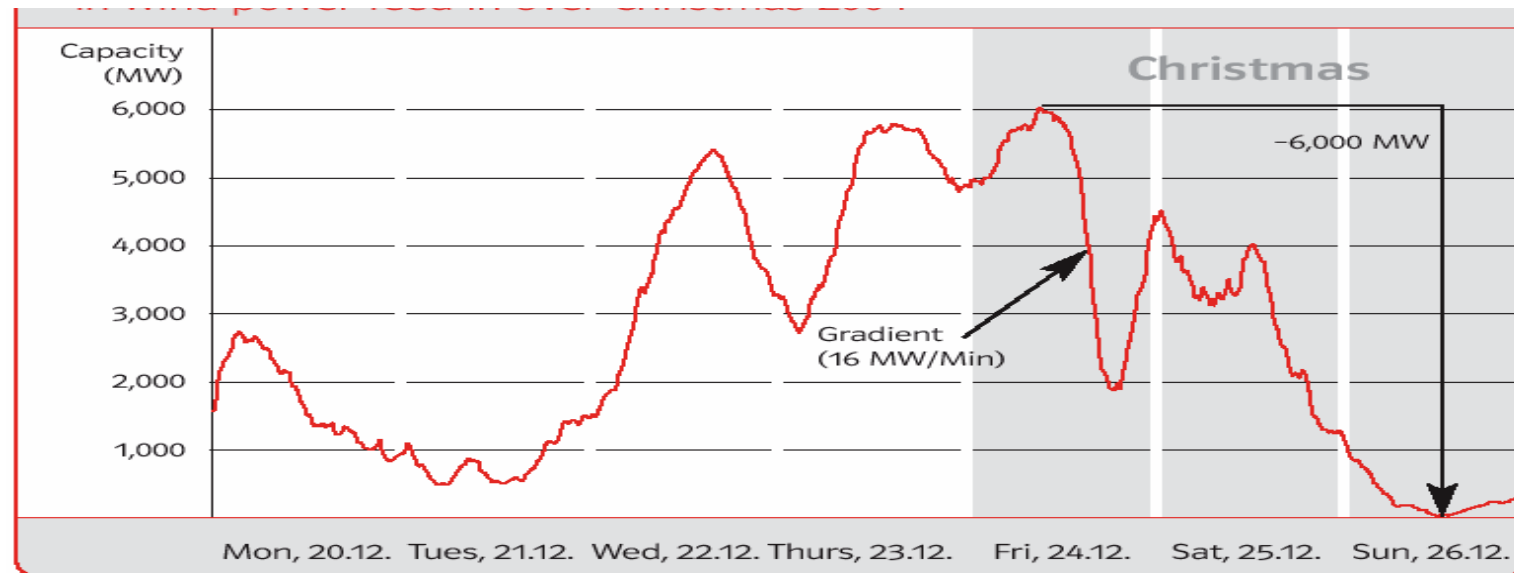
- Électriques...sans évoquer ici EnR chaleur ou biocarburants. *La pompe à chaleur est assimilée à une EnR thermique*
- Énergies émergentes pour la plupart
- Différentes filières : hydraulique, éolien, solaire photovoltaïque, biomasse/biogaz en cogénération, avec maturités différentes et dynamisme de baisse de coûts
- Effets limités sur l'environnement...mais utilisation des sols et des cours d'eau
- Défis sur les coûts et la garantie de puissance (vent, soleil...) en l'absence de stockage de l'électricité
- Mécanismes de soutien à coordonner pour l'efficacité : *subventions, fiscalité, règles d'amortissements, réduction d'impôts, obligations d'achats, mise en concurrence par appels d'offres,...*

Ex : Eolien :
développements
prometteurs



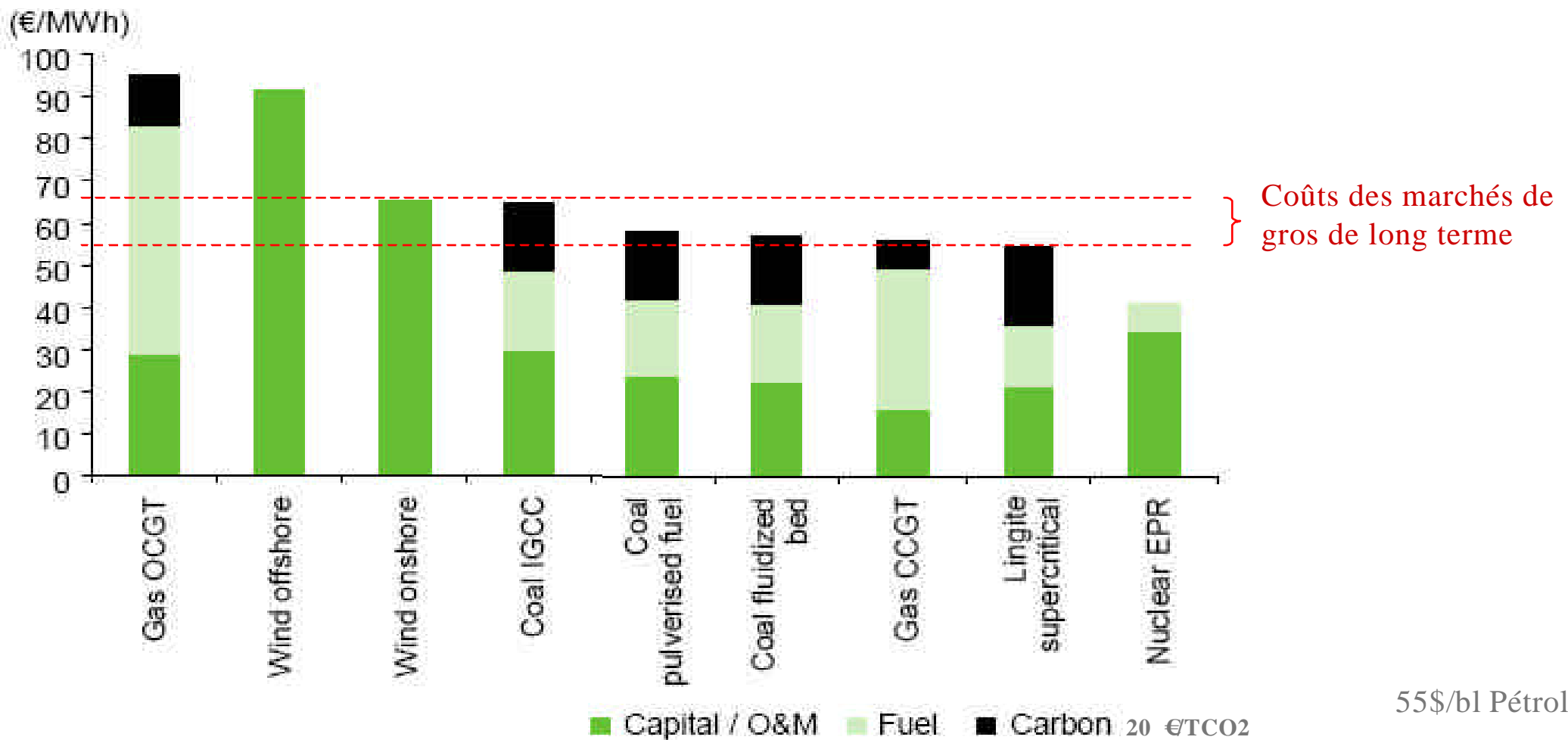
Mais...acceptabilité
paysagère...

Noël 2004 : Chute de production 4000 MW/heure . Source : E.ON



... et caractère
fortement fluctuant,
avec nécessité de
garantie de puissance
thermique ou
hydraulique

3-3-a Maîtriser les prix, dans un contexte de ressources primaires plus coûteuses, et de coûts d'émissions du CO2



Source: Dresdner Kleinwort Equity research

3-3-b Accroître la R&D pour tendre vers le « facteur 4 »

-Tous les secteurs concernés : Efficacité énergétique, Transports, Biocarburants, Energies renouvelables électriques et thermiques, Nucléaire, Hydrogène, stockage et transports d'énergie,...

-Intérêt de la R&D pour diminuer les coûts d'émission de CO2 dans le cadre d'une politique climatique

- C'est une des recommandations fortes du dernier rapport du Conseil d'Analyse stratégique de septembre 2007 sur les « *perspectives énergétiques de la France à horizon 2020-2050* »

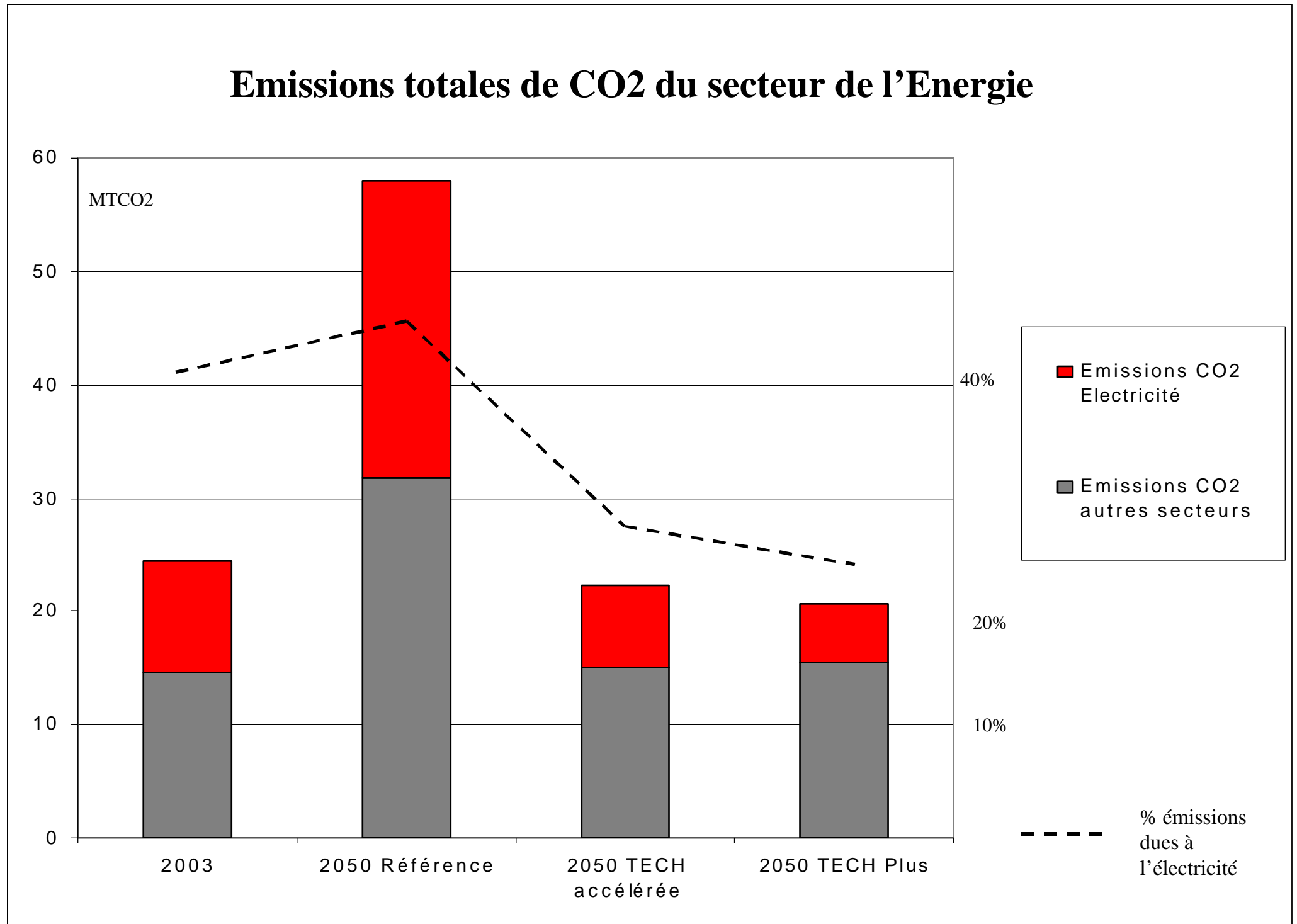
4 - DES SCENARIOS 2050 ILLUSTRANT QUEL RÔLE CRUCIAL PEUT JOUER L'ELECTRICITE

AIE Etude « Energy Technology perspectives »

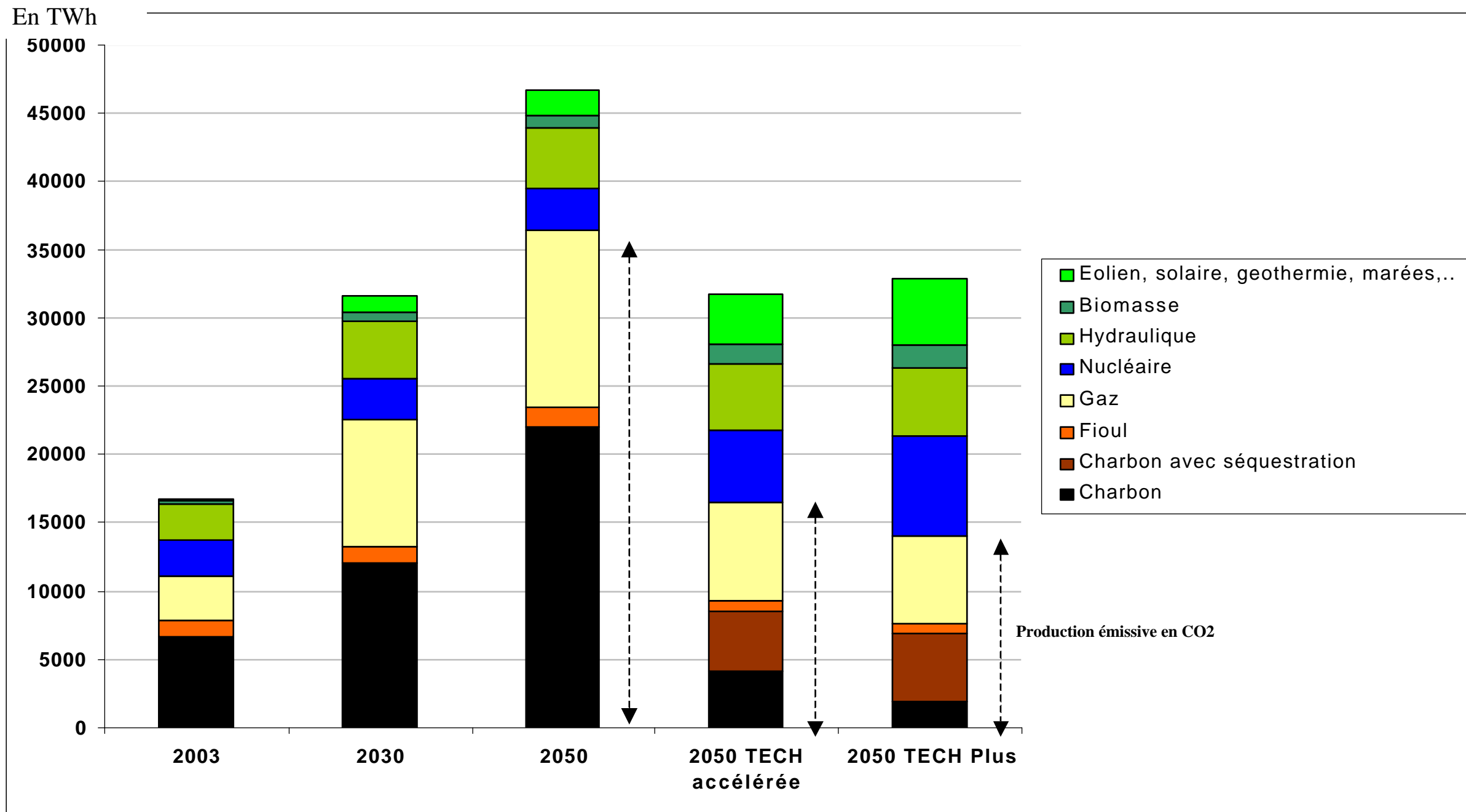
Source AIE : « Energy Technology Perspectives 2006. Scenarios & strategies to 2050 » »

- A horizon 2050 Examine l'intérêt d'accélération technologique sur différents filières (performances, coût), avec comme but de les rendre compétitives pour un coût de 25\$/tCO2
- Des scénarii très volontaristes de développement accéléré des technologies, dits « TECH » voire extrêmement volontaristes « TECH-PLUS » sur les filières tant de l'offre que de la demande (efficacité à l'utilisation finale). *Seuls les résultats concernant la filière électrique sont présentés ci-après.*

Des scénarii prospectifs de réduction des émissions de CO2 l'électricité fortement à contribution.

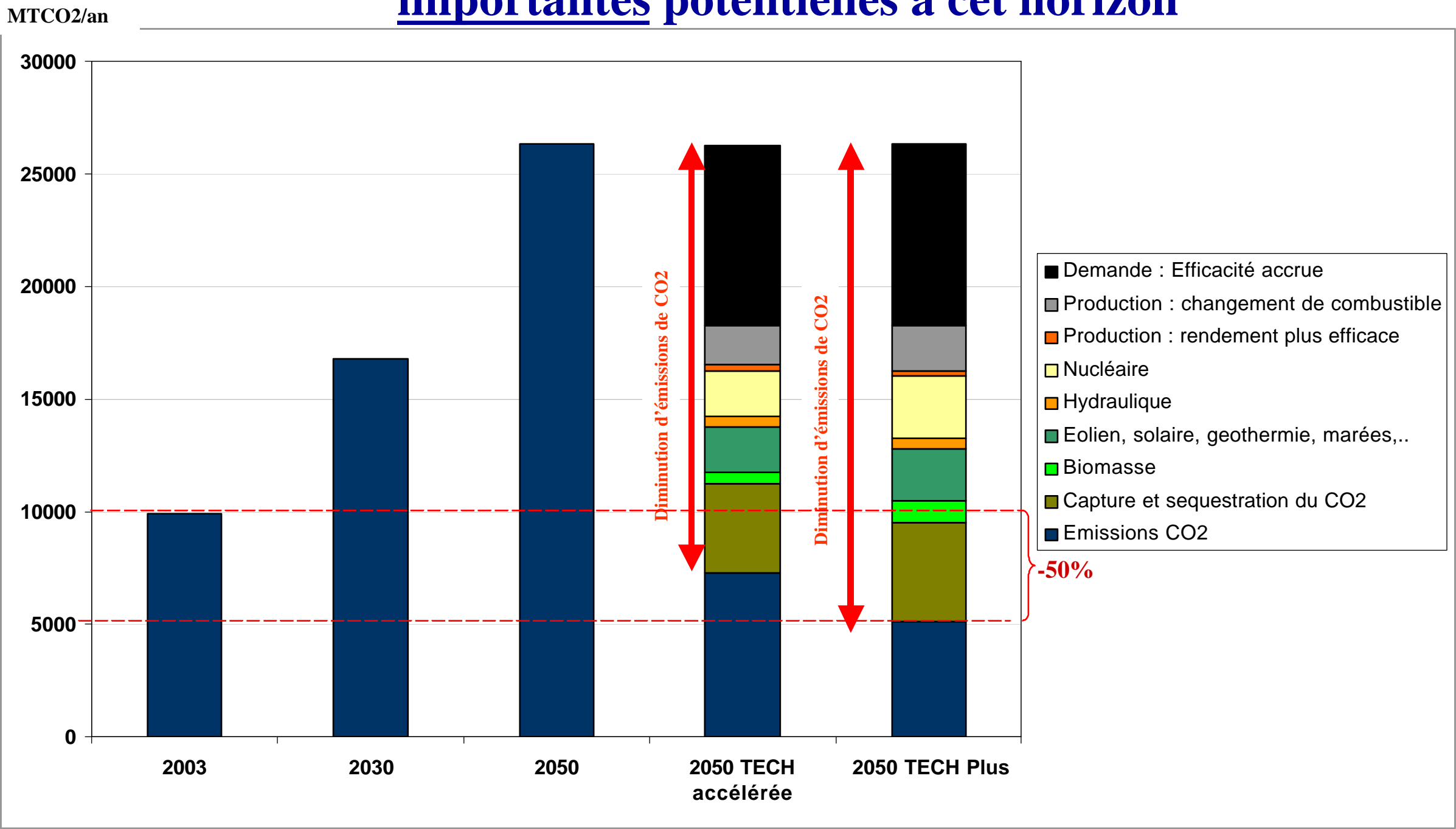


A l'horizon 2050, des marges de manoeuvre larges, si actions volontaires *tant sur l'offre que la demande électrique.*



Les Scénarii « *à technologies plus avancées* » privilégient l'efficacité énergétique et donnent une place nettement plus importante dans le « mix » au nucléaire et aux EnR,

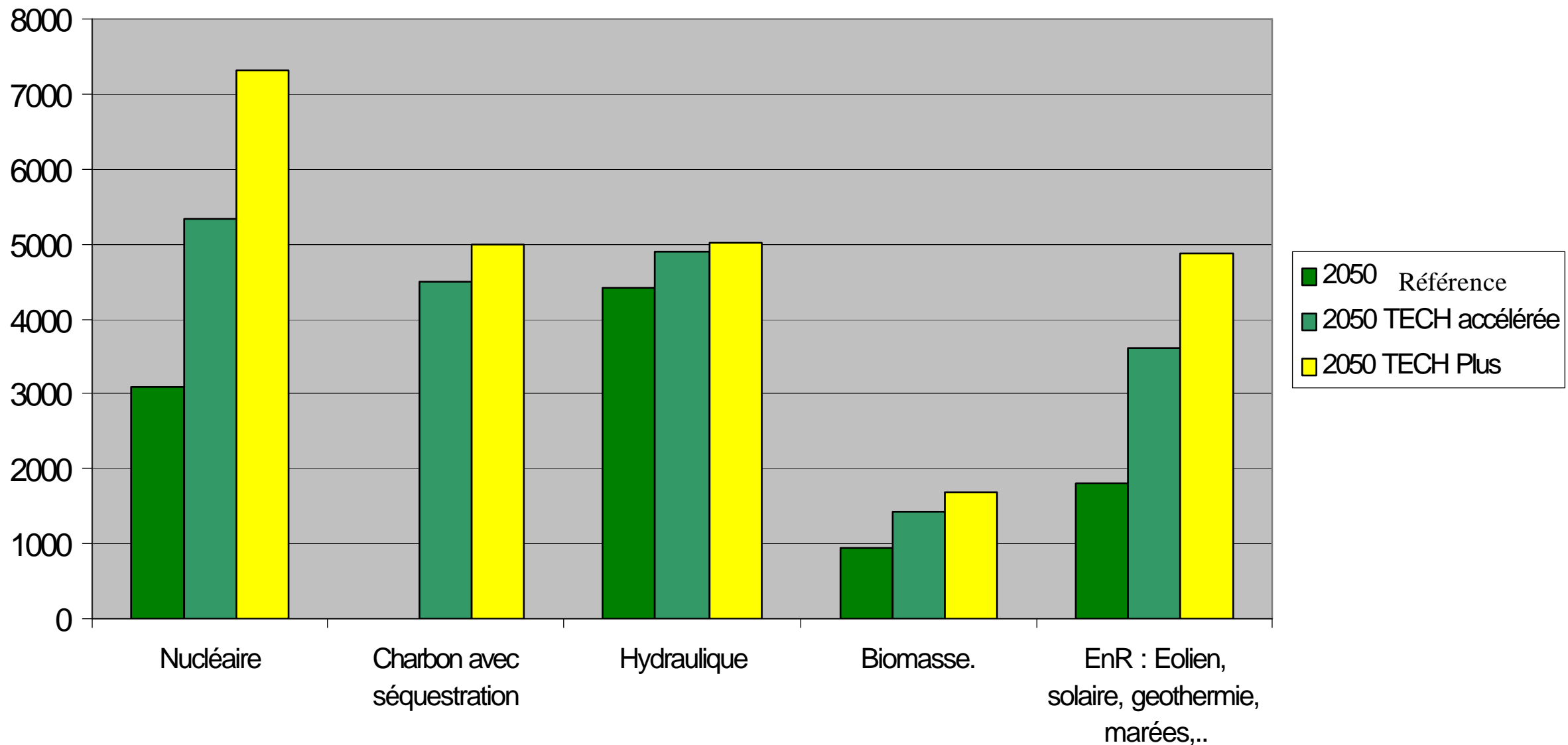
Avec en conséquence des diminutions d'émissions de CO2 très importantes potentielles à cet horizon



A horizon 2050, dans ces scénarios, 1/3 des réductions de CO2 provient des économies d'énergie à l'utilisation finale, et les 2/3 d'une offre moins carbonée (Nucléaire, EnR,...), et de la séquestration du carbone

Outre l'efficacité des utilisations de l'électricité, une part accrue des les filières non - ou peu - émettrices de CO2

Production en TWh

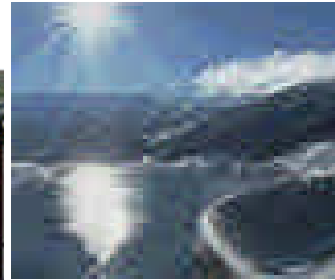


EN CONCLUSION : TOUTES LES PIECES DES FILIERES OFFRE/DEMANDE A MOBILISER POUR CONSTRUIRE LA MOSAIQUE DE L'ELECTRICITE DE DEMAIN !



Chaudières Stirling

Piles à combustibles



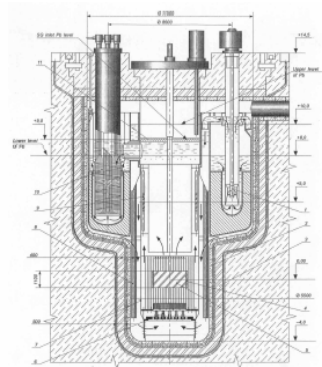
Hydraulique



Eolien on& off-shore ou intégré au bâti



Bâtiment bioclimatique



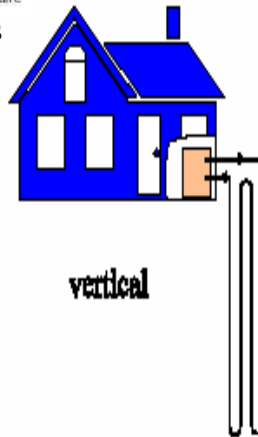
Nucléaire Génération II puis IV



Aval combustible nucléaire



Assemblage de combustible nucléaire
Performances combustible

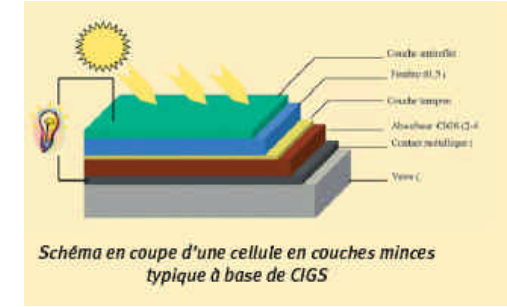


vertical

Pompes à chaleur



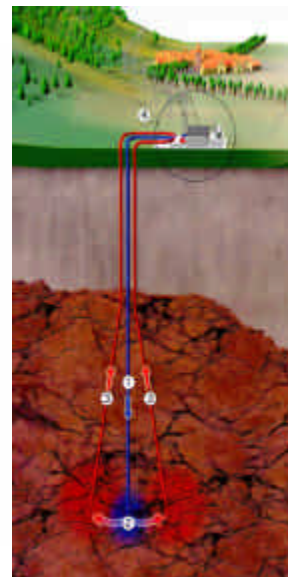
Concentrateurs thermiques



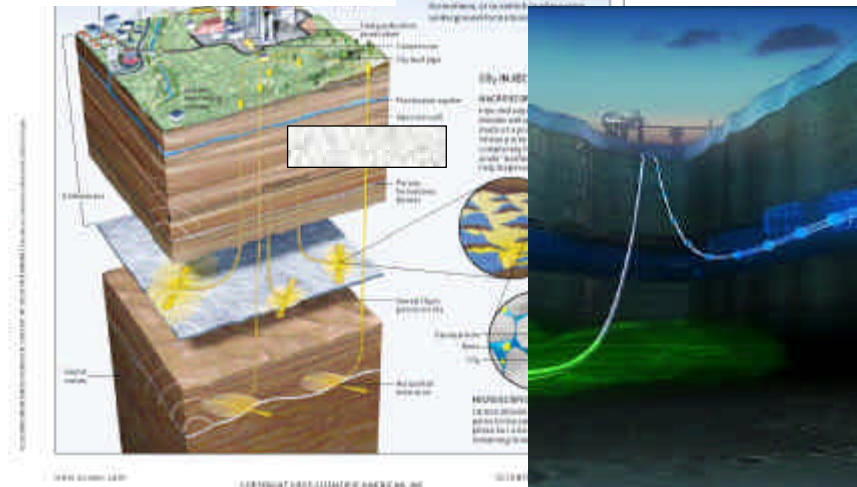
Photovoltaïque à couche mince



Biomasse



Géothermie chaude



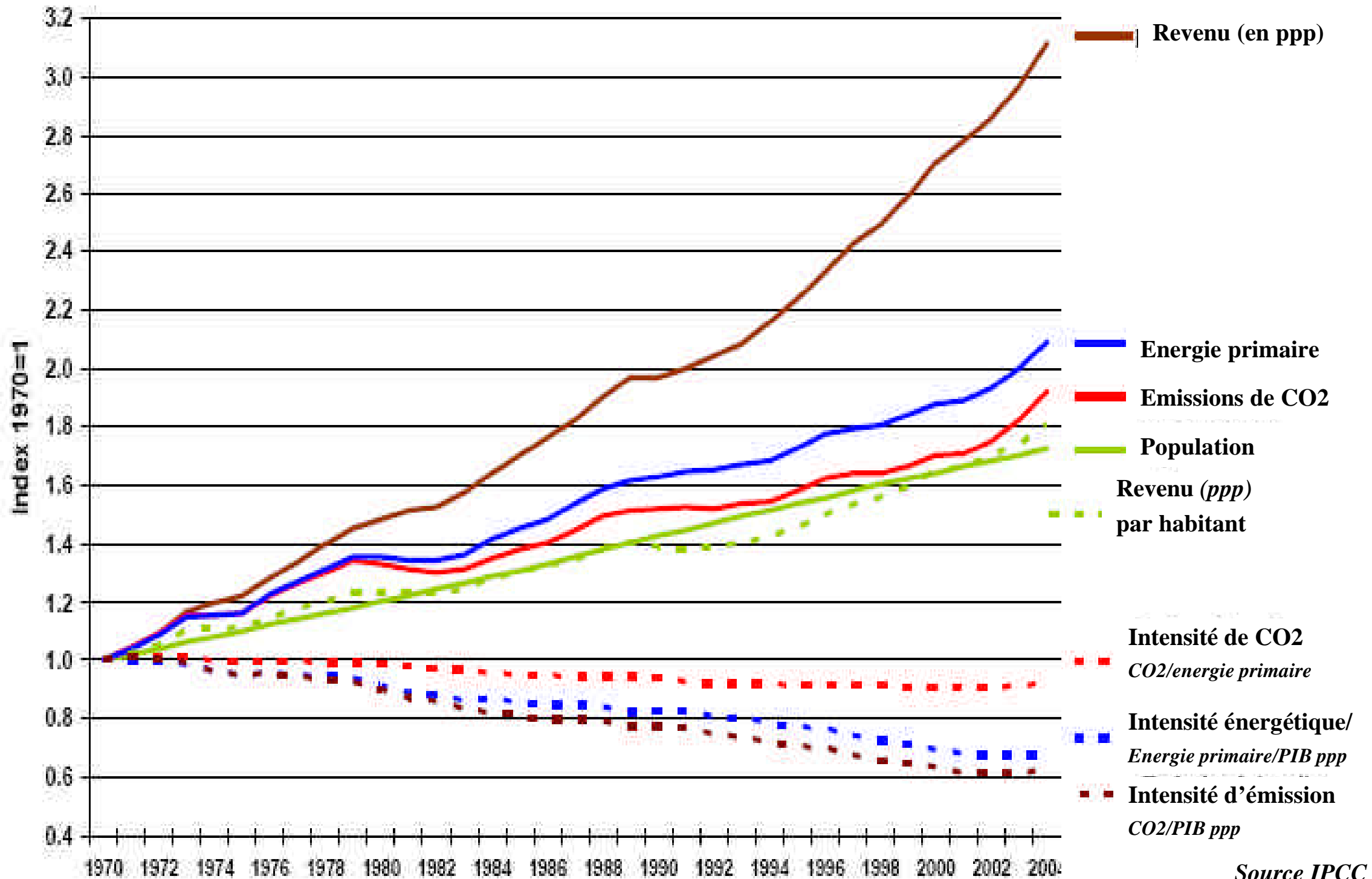
Capture et séquestration du carbone pour centrales charbon, puis gaz

*MERCI DE VOTRE
ATTENTION*

SOURCES

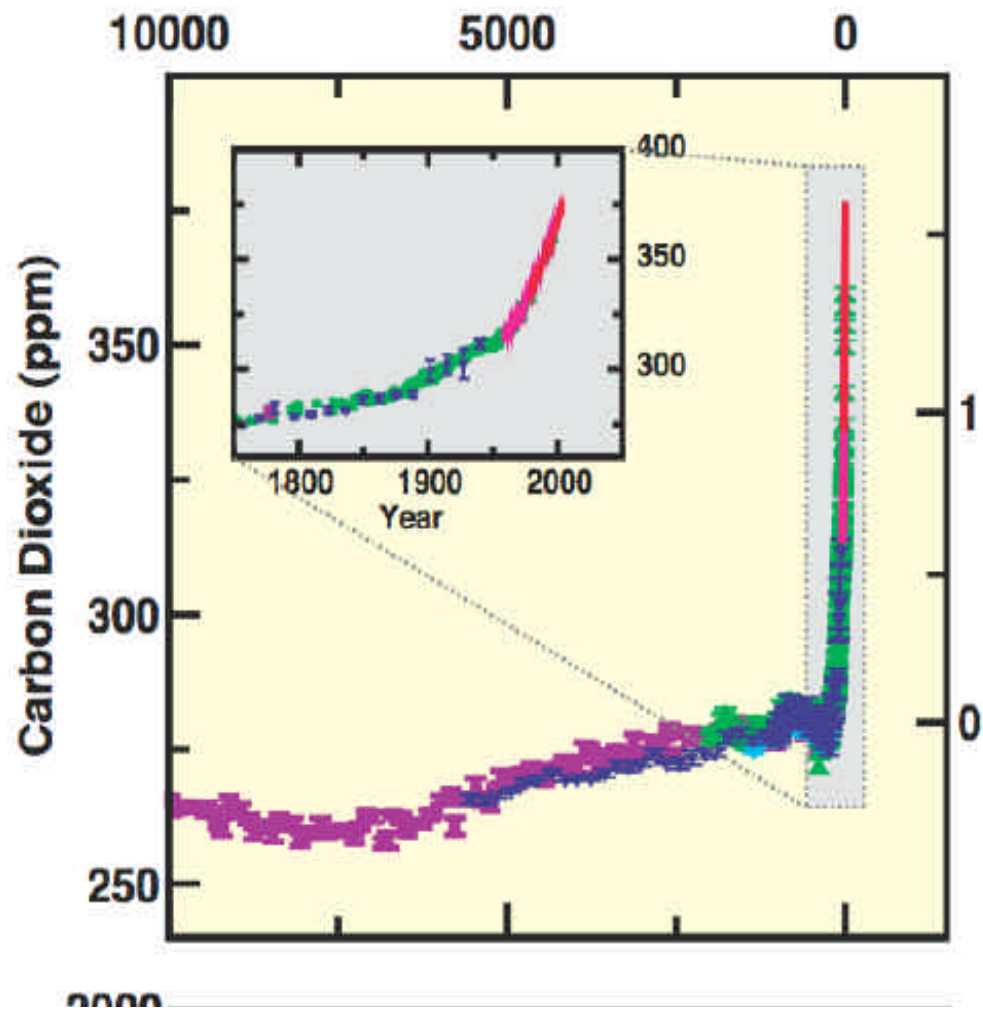
- **Agence Internationale de l'Energie**
WEO « World Energy Outlook » horizon 2030
« Energy Technology Perspectives » horizon 2050
www.iea.org
- **Centre d'analyses stratégiques**
Perspectives énergétiques de la France horizon
2020-2050
www.strategie.gouv.fr

Le défi mondial : Conjuguer croissance économique, en limitant autant que possible celle de l'énergie et du CO2...

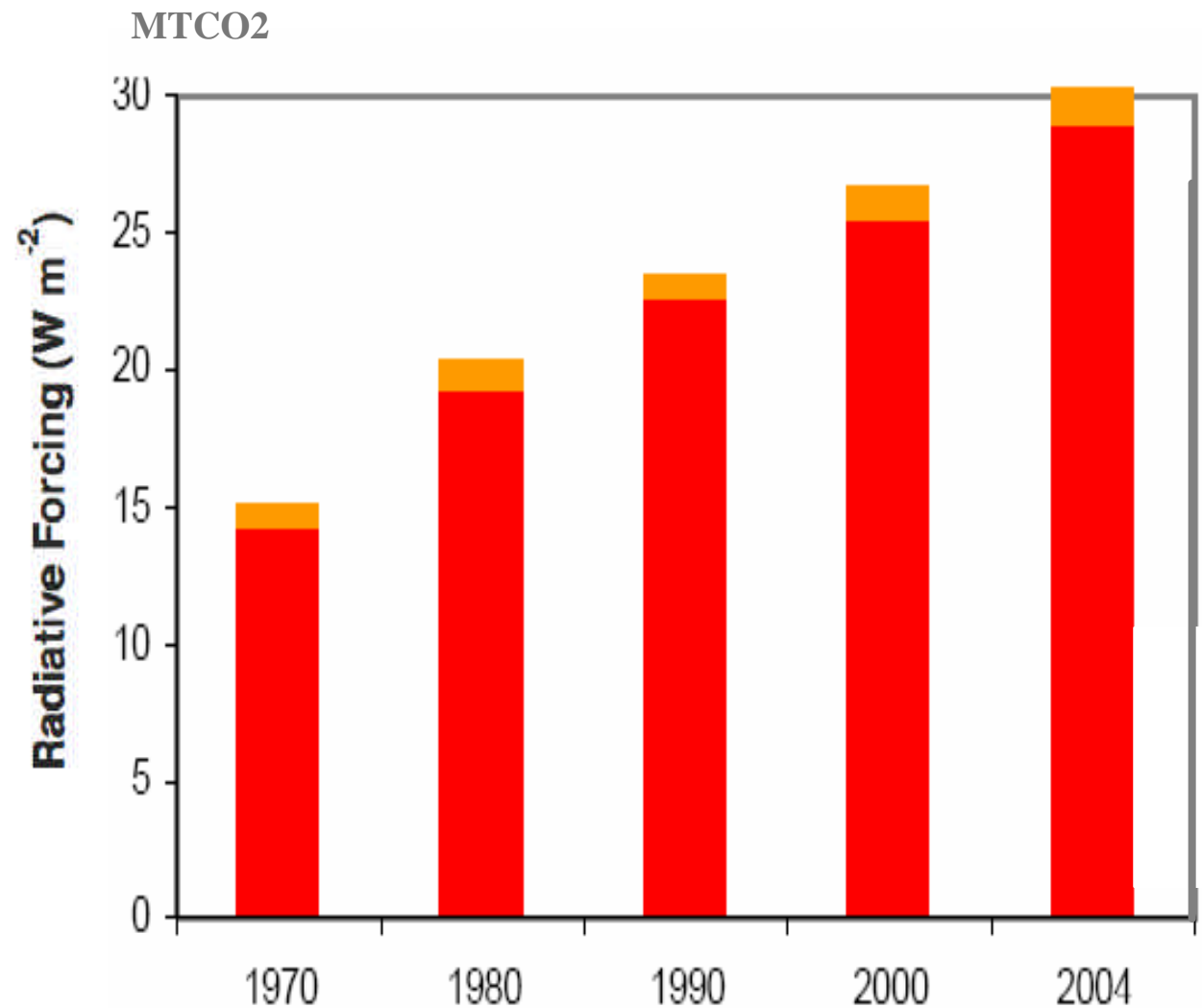


Source IPCC

Une croissance très forte des gaz à effet de serre (principalement CO₂)...



Concentration en CO₂ depuis
10 000 ans (et depuis 1800 ans)



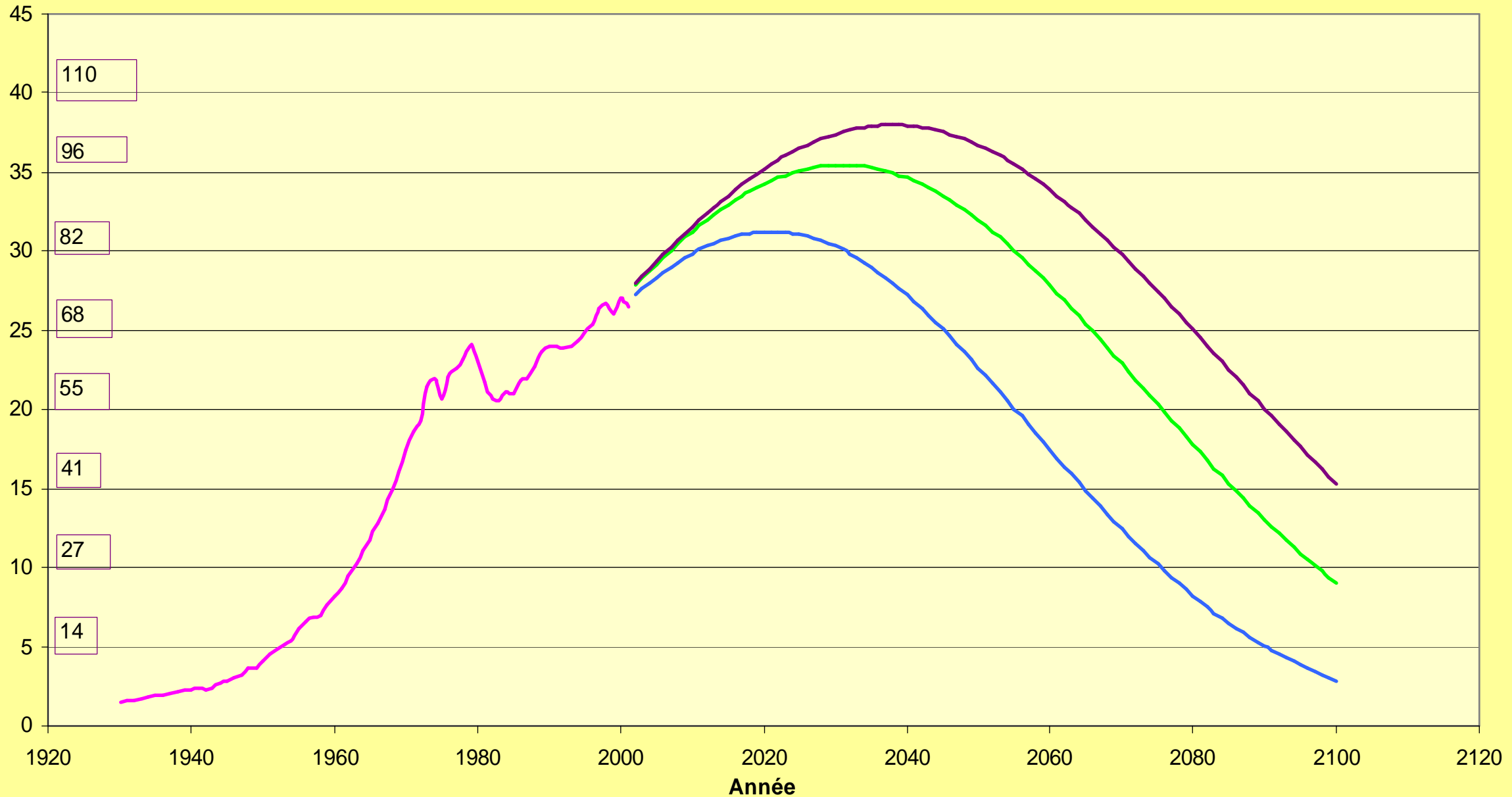
Emissions annuelles CO₂ Energie

Un contexte de tensions sur les ressources, notamment le pétrole :

La fin du « Pétrole facile »

Prod. (Gb/y) Prod. (Mb/d)

Source : IFP



Prod passée (tous liquides)

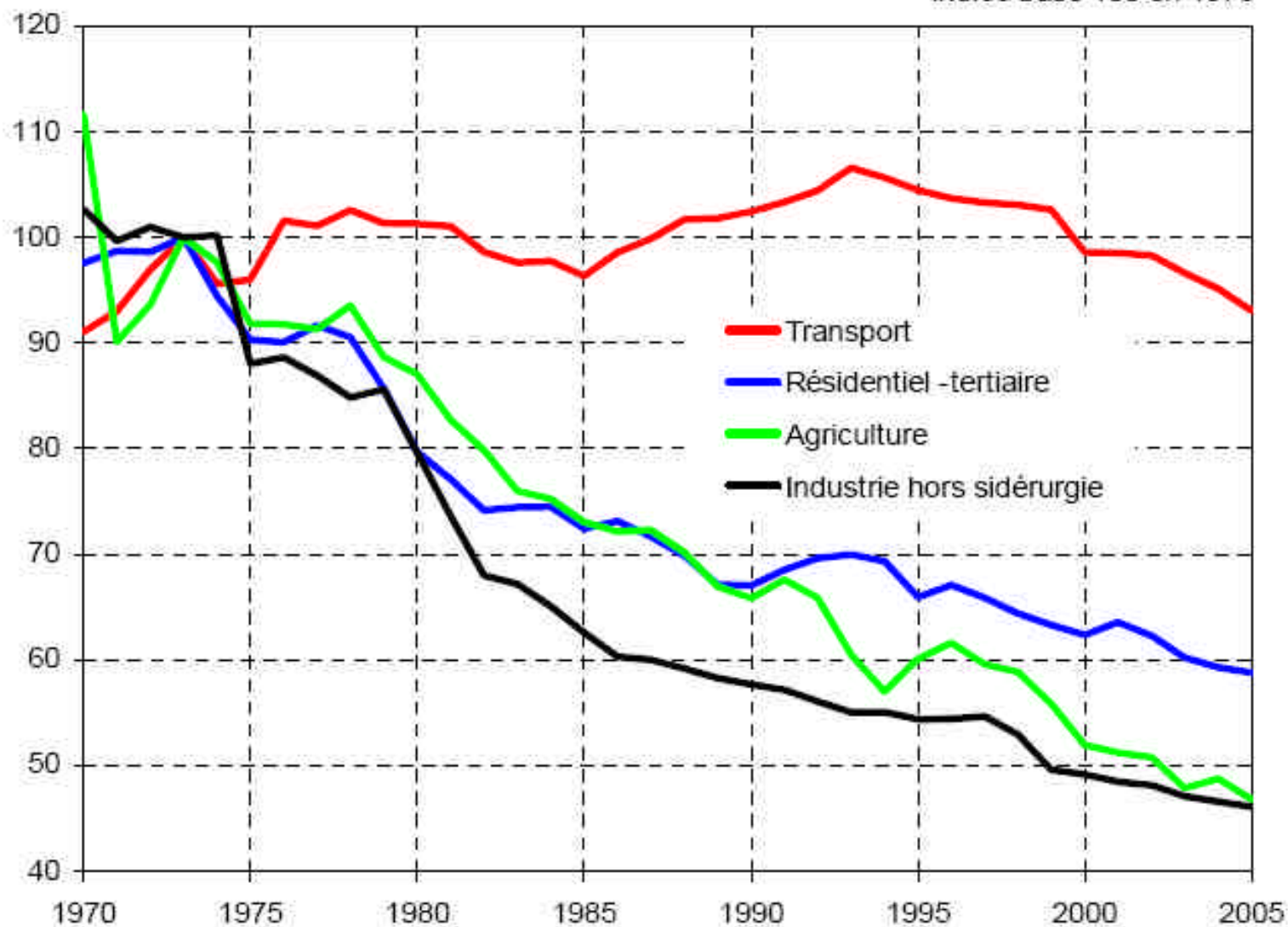
Tous liquides (taux de récup. 35%)

Tous liquides (taux de récup. 45%)

Tous liquides (taux de récup. 45%) et non-conventionnel

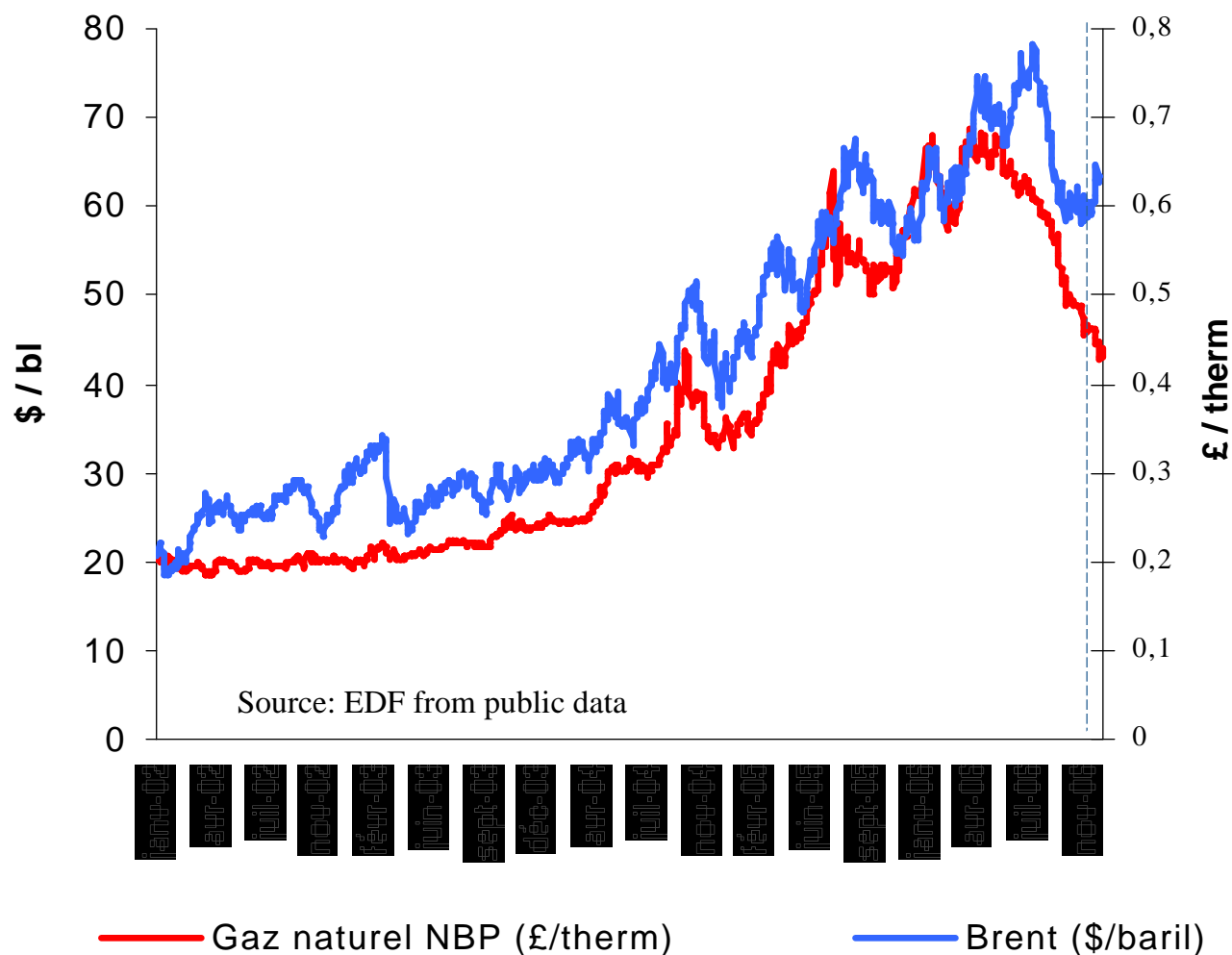
Graphique n° 28 : Intensité énergétique finale

indice base 100 en 1973

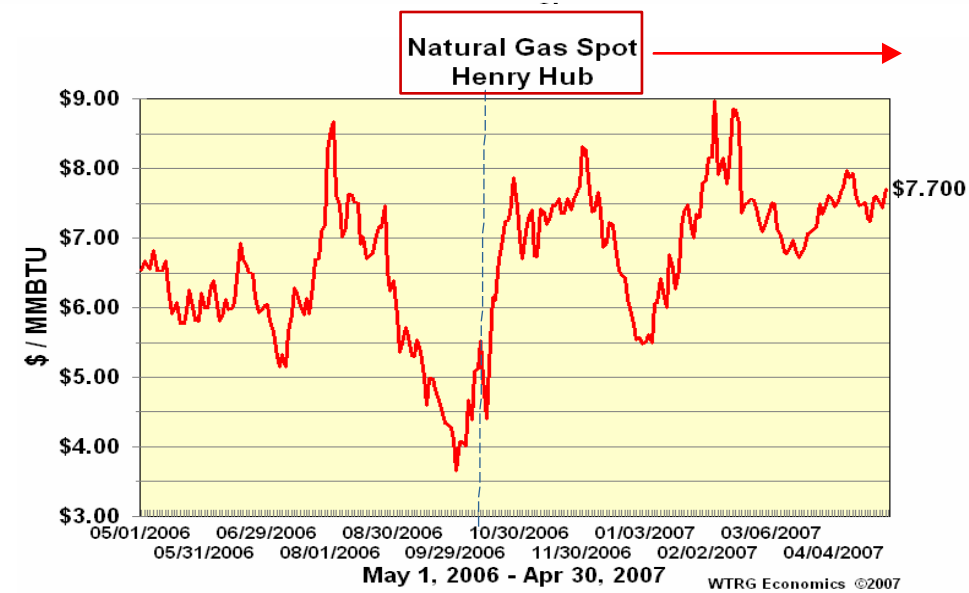
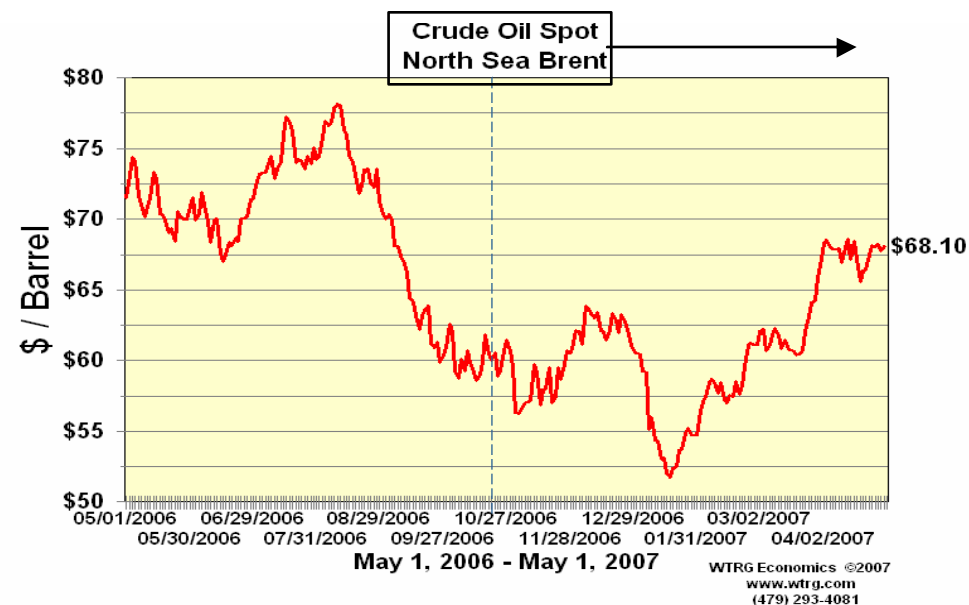


Source : DGEMP – Observatoire de l'énergie

Des hausses de prix des hydrocarbures qui traduisent les inquiétudes sur la sécurité d'approvisionnement



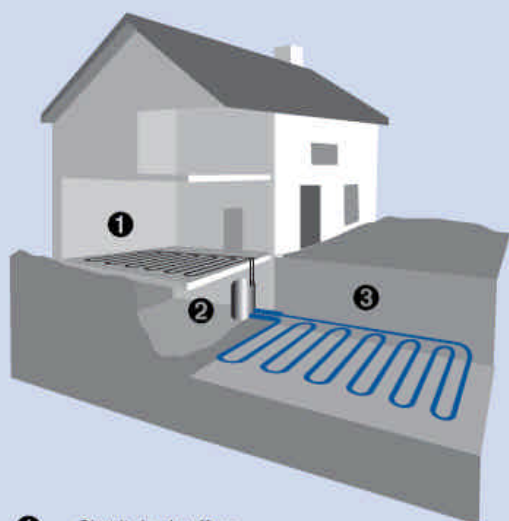
De 2002 à fin 2006



De janvier 2006 à mai 2007

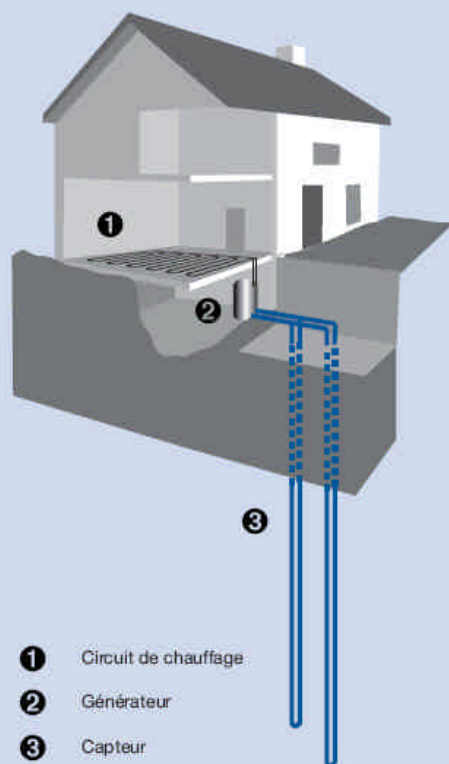
Quelques données sur les Pompes à Chaleur

Figure 5 : Dispositif à capteurs horizontaux



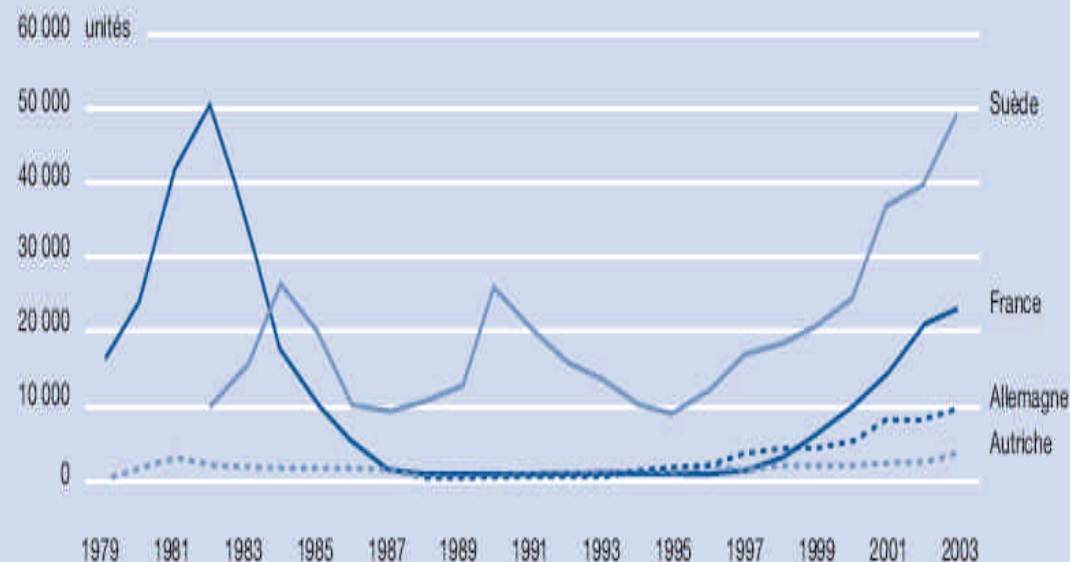
- ❶ Circuit de chauffage
- ❷ Générateur
- ❸ Capteur

Figure 6 : Dispositif à capteurs verticaux



- ❶ Circuit de chauffage
- ❷ Générateur
- ❸ Capteur

Figure 9 : Evolution des ventes de PAC pour quatre pays



Sources : AFPAC, C.Ducruet/EHPA, European Heat Pump Network (via la note EDF HN-96/01/002), étude BATIM

Tableau 1 : Exemples de COP machine pour quelques produits PAC disponibles sur le marché français

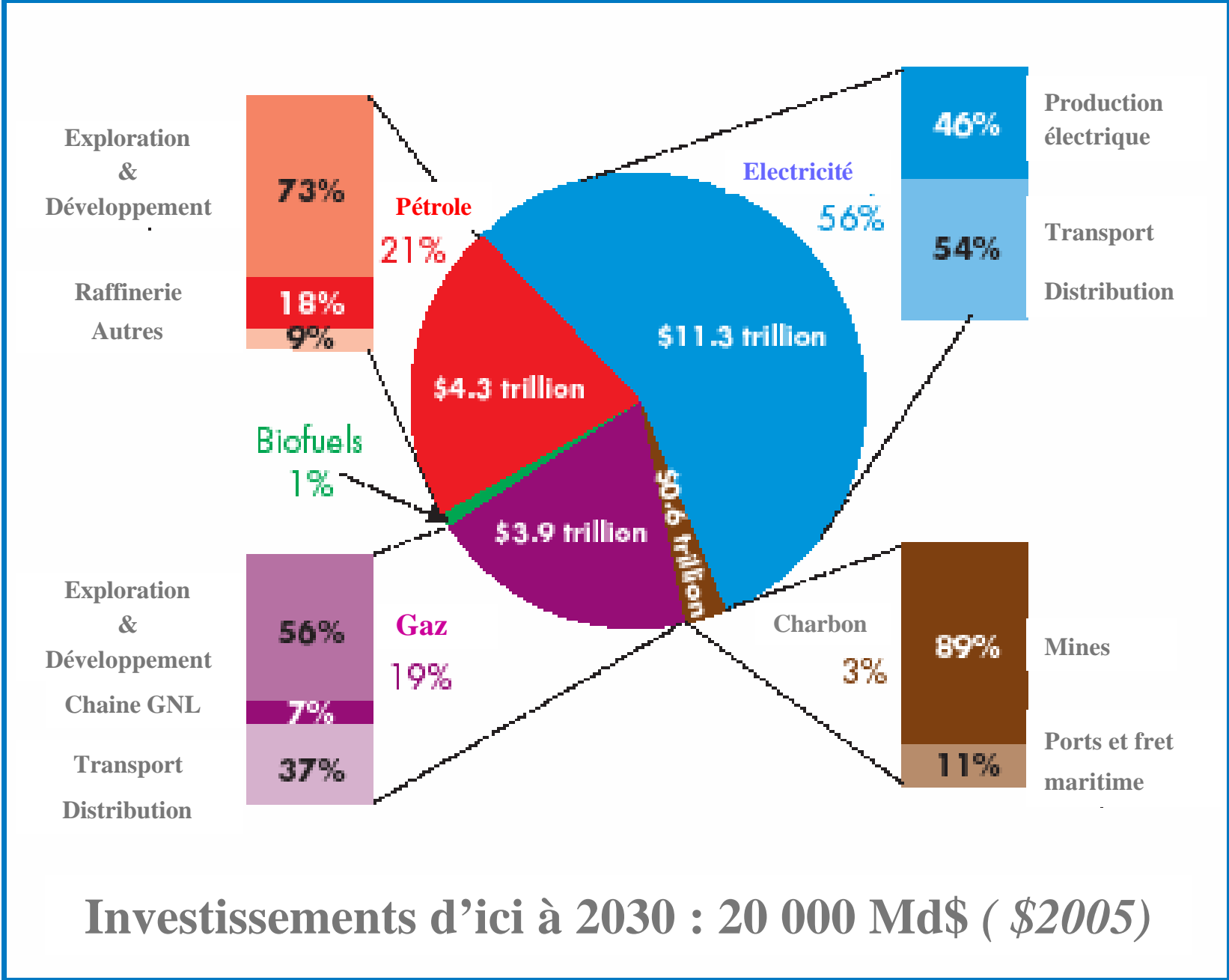
Constructeur	Pompe sur eau	Pompe sur sol	Pompe sur air (7°C)	Pompe sur air (-6°C)
Viessmann	5,52	4,4	3,63	2,64
France/géothermie	*	3,47	*	*
Delchi	3,84	*	2,99	2,28
Moyenne COP	4,68	3,935	3,31	2,46

COP : Coefficient de performance - * : pas de données disponibles.

Source : LTMU-UTC

Source : IDDRI cahiers du CLIP Janvier 2007 « Pompes à chaleur »

Des investissements considérables à réaliser en une génération sur le système énergétique mondial, dont près de 60% dans le secteur électrique



Des progrès constants dans la réduction des déchets à vie longue

Différents modes de gestion des déchets radioactifs

1000 tonnes de combustible usé qui ont produit 400 TWh

correspondent aux déchets suivants :

Déchets HA	Déchets MA-ML	Pu	Actinides mineurs	Déchets VL
2800 m ³	0	9 tonnes	1 tonne	7 m ³ /TWh
140 m³	200 m ³	0,1 tonne	1 tonne	1 m ³ /TWh
140 m ³	200 m ³	0,1 tonne	0,01 tonnes	1 m ³ /TWh

Pas de retraitement

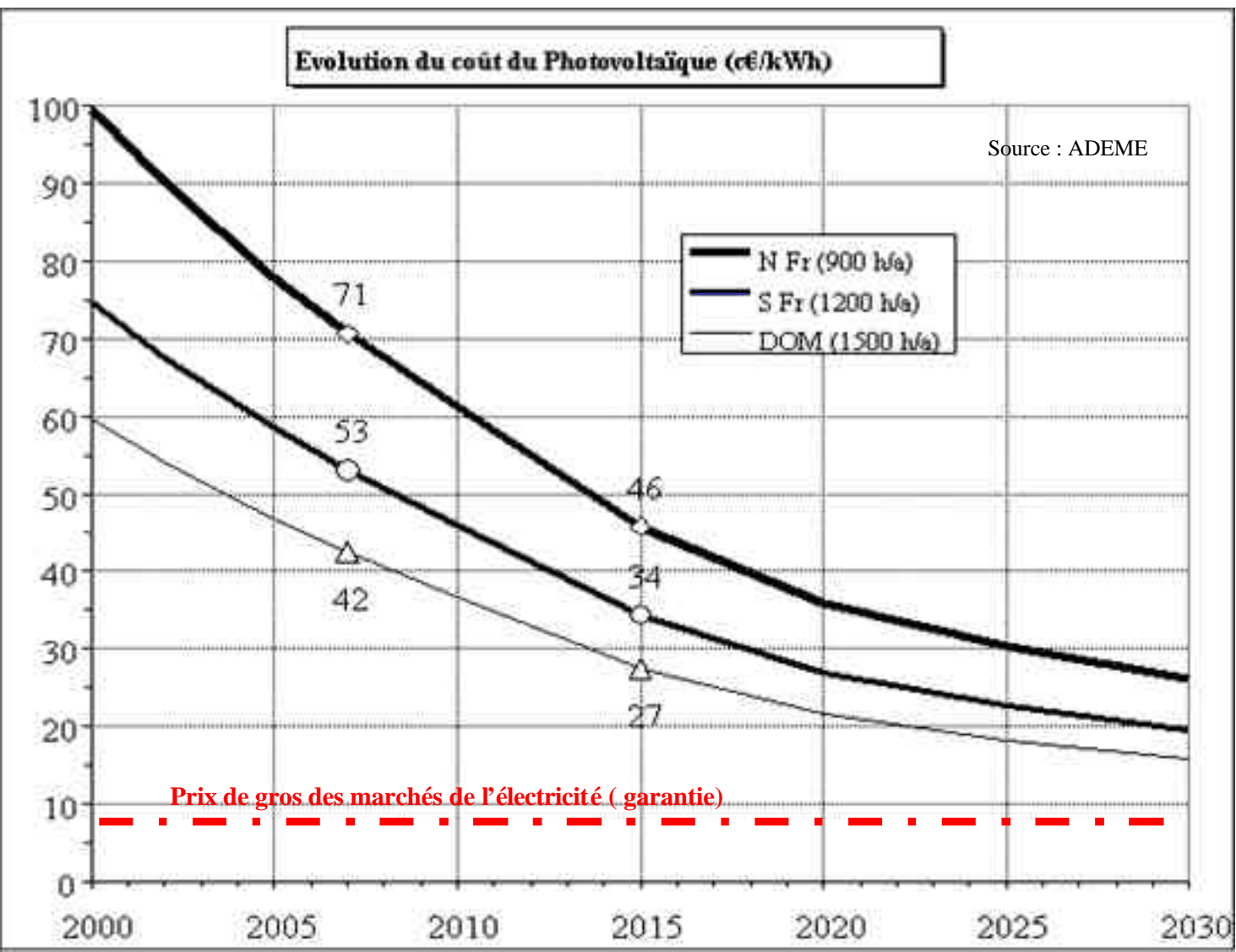
Traitement Recyclage Pu

Traitement Recyclage total

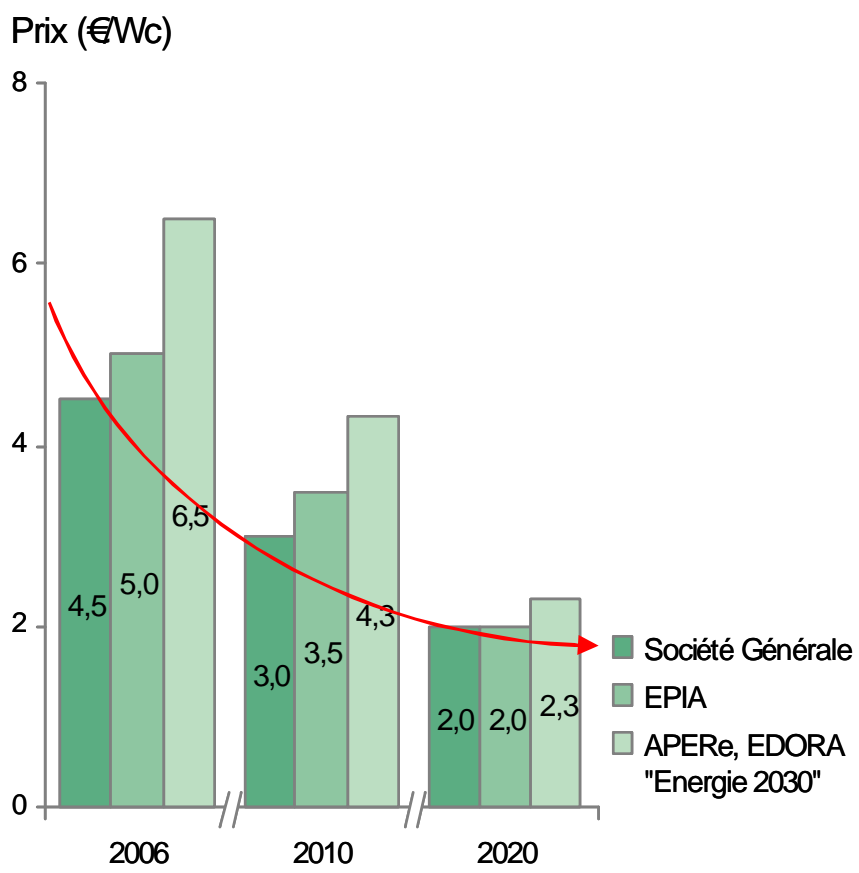
R&D



Ex : Photovoltaïque : Un rôle majeur de la R&D pour diminuer les coûts (Rupture technologique sur les couches minces ?)



Prévision d'évolution du coût d'investissement des systèmes photovoltaïques¹ à horizon 2020

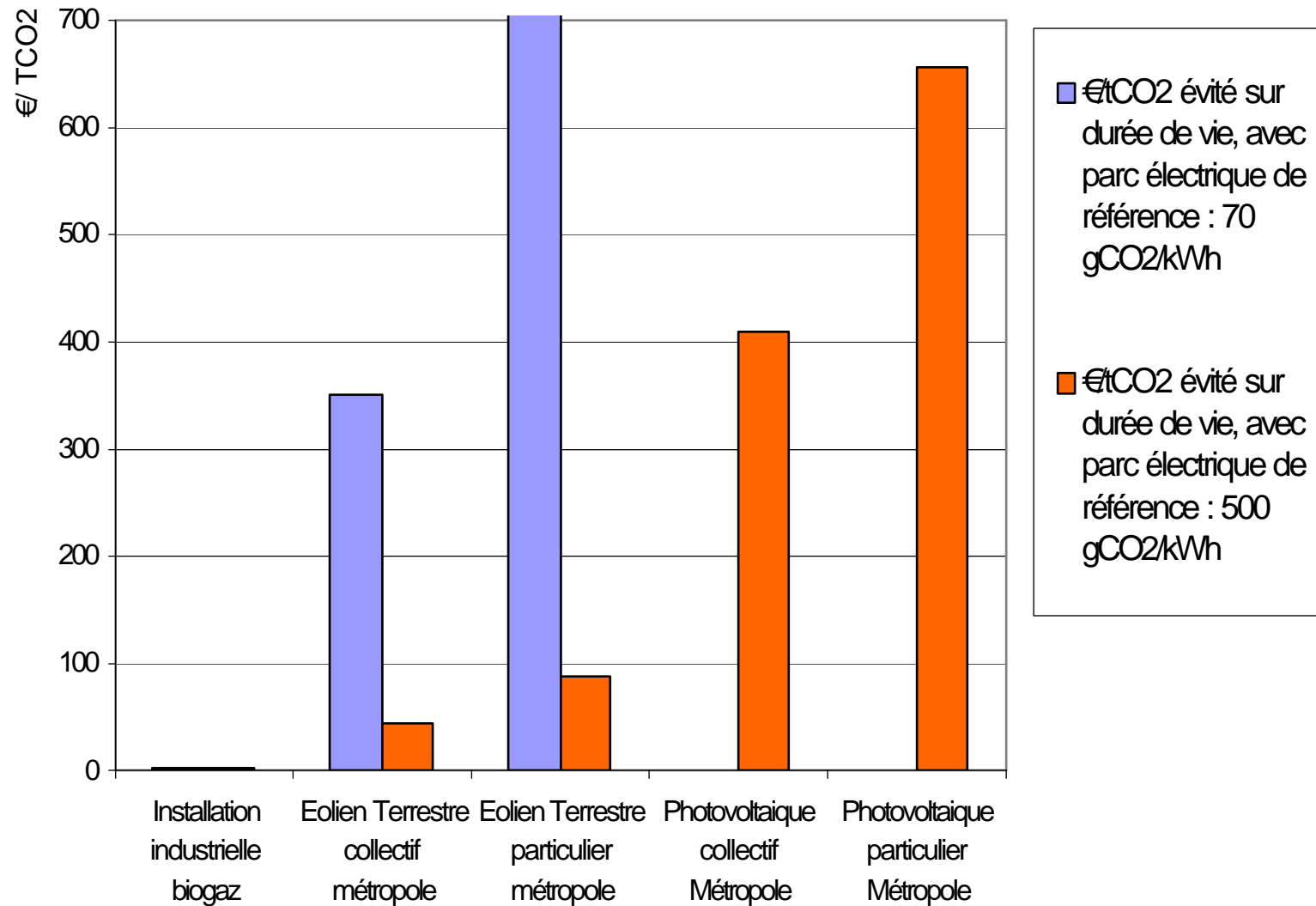


1. Systèmes raccordés au réseau du type champs ou toits industriels. Pour le résidentiel le prix est supérieur de 1 à 2 €

Coût des réduction d'émissions de CO2 par filière, en France continentale

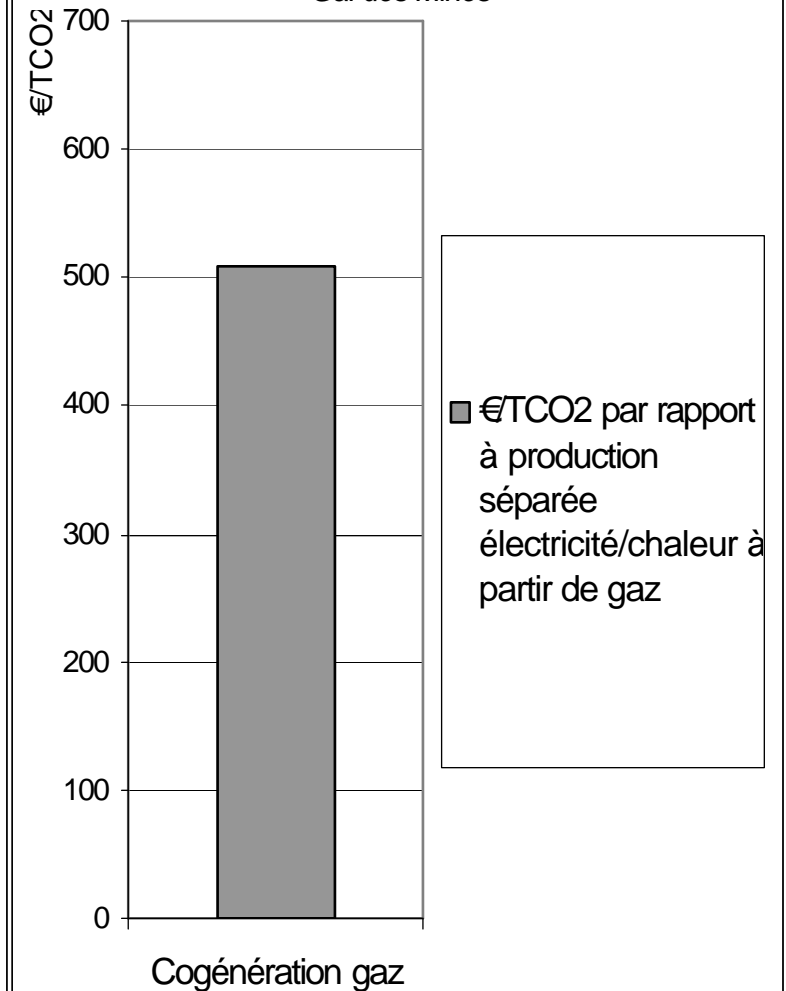
ENR : Coût de diminution des émissions de CO2

Source : Centre d'analyses stratégiques Perspectives énergétiques de la France



Cogénération : coût de diminution des émissions de CO2

Source : Rapport Inspection des Finances et CI Gal des Mines



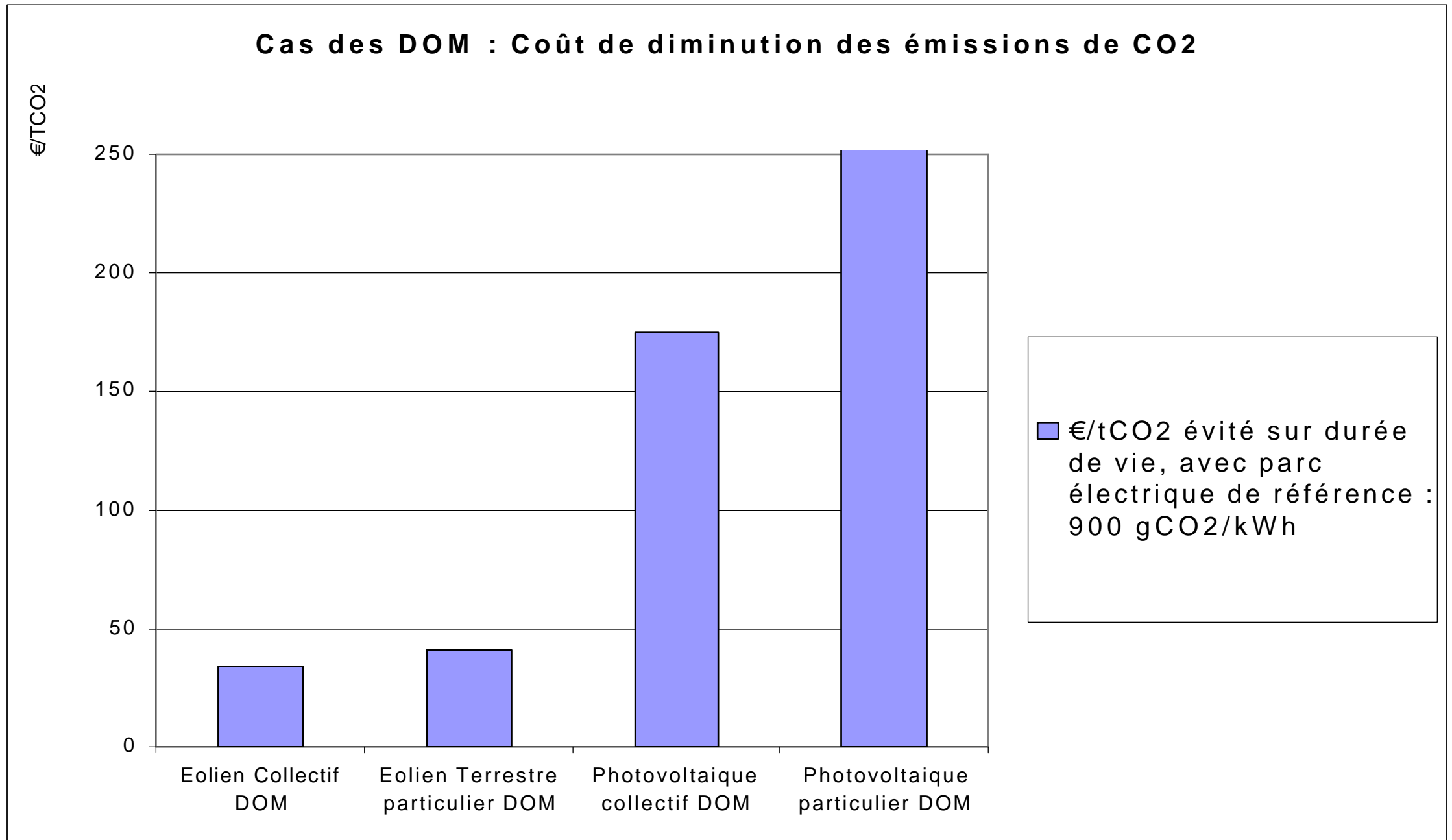
Emissions ACV des filières, en gCO2/kWh : Source : Université d'Utrecht

Eolien 8 gCO2/kWh

Biomasse 12g CO2/kWh

Photovoltaïque 100 gCO2/kWh

Coût des réduction d'émissions de CO2 par filière dans les DOM



Emissions ACV des filières , en gCO2/kWh : Source : Université d'Utrecht

Eolien 8 gCO2/kWh

Biomasse 12g CO2/kWh

Photovoltaïque 100 gCO2/kWh

Résumé de l'inventaire des évolutions technologiques du rapport

« Perspectives énergétiques de la France 2020-2050 »

► Véhicules automobiles

Quasi sûr (2010 – 2015)

- Développement du véhicule hybride
- Réduction de la consommation et des émissions de CO₂ de 30 % par rapport aux performances actuelles (technologie hybride diesel HDI)

Probable (2015 – 2020)

- Développement du véhicule hybride rechargeable

Possible¹⁴

- Développement du véhicule à pile à combustible

► Urbanisme / habitat

Quasi sûr

- Bâtiments neufs de performances proches de celles liées à l'objectif « facteur 4 » (50 kWh/m² pour un surcoût de l'ordre de 10 %)

Probable

- Conception de bâtiments à énergie positive économiquement acceptable

Possible

- Nouvelle conception énergétique de la ville

► **Charbon**

Quasi sûr (2015 – 2020)

- Amélioration du rendement des centrales (de 30 à 50 %)
- Captage du CO₂ par oxy-réduction ou post-combustion
- Combustion supercritique, hypercritique

Probable (2015 – 2020)

- Captage du CO₂ par oxy-réduction permettant la production d'hydrogène

Possible (après 2015 – 2030)

- Stockage géologique du CO₂ après captage

► **Pétrole et gaz**

Quasi sûr (d'ici 2015)

- Améliorations des performances de prospection géologique et des rendements d'exploitation des gisements (en cours)
- Amélioration du rendement des centrales à gaz (jusqu'à 60 %) (2010 – 2015)

Possible (après 2020)

- Récupération assistée des hydrocarbures par sources à haute température

► **Éolien**

Quasi sûr (d'ici 2015)

- Amélioration légère des coûts à terre par effet de masse
- Amélioration des rendements et des coûts pour la production off-shore

➤ **Solaire photovoltaïque**

Quasi sûr

- Amélioration des coûts et des rendements en technologie actuelle (silicium cristallin)

Probable

- Amélioration des coûts et des rendements par technologie silicium couches minces

Possible

- Utilisation des matériaux organiques comme semi-conducteurs à la place du silicium

➤ **Solaire thermique** *[pour mémoire]* : progrès continus sur fabrication industrielle

➤ **Nucléaire**

Quasi sûr (2015 – 2030)

- Amélioration des performances de la génération III (type EPR) de l'ordre de 15 %

Probable (2020)

- Traitement et recyclage de davantage de déchets nucléaires à vie longue

Possible (2040)

- Réacteurs très avancés (gain d'un facteur 50 sur l'utilisation de l'uranium)

➤ **Biomasse**

Quasi sûr (2010 – 2015)

- Développement des biocarburants de première génération (incorporation jusqu'à 7 % dans les carburants traditionnels)

Probable (2015 – 2030)

- Biocarburants de deuxième génération (valorisation de l'ensemble de la plante)

► Hydrogène

Probable (2010 – 2030 ?)

- Hydrogène comme moyen de stockage de l'énergie électrique
- Stockage industriel sous pression (370 – 700 bars)
- Moteurs thermiques à hydrogène
- Piles à combustibles de petite taille pour applications portables

Possible (2025 – 2040)

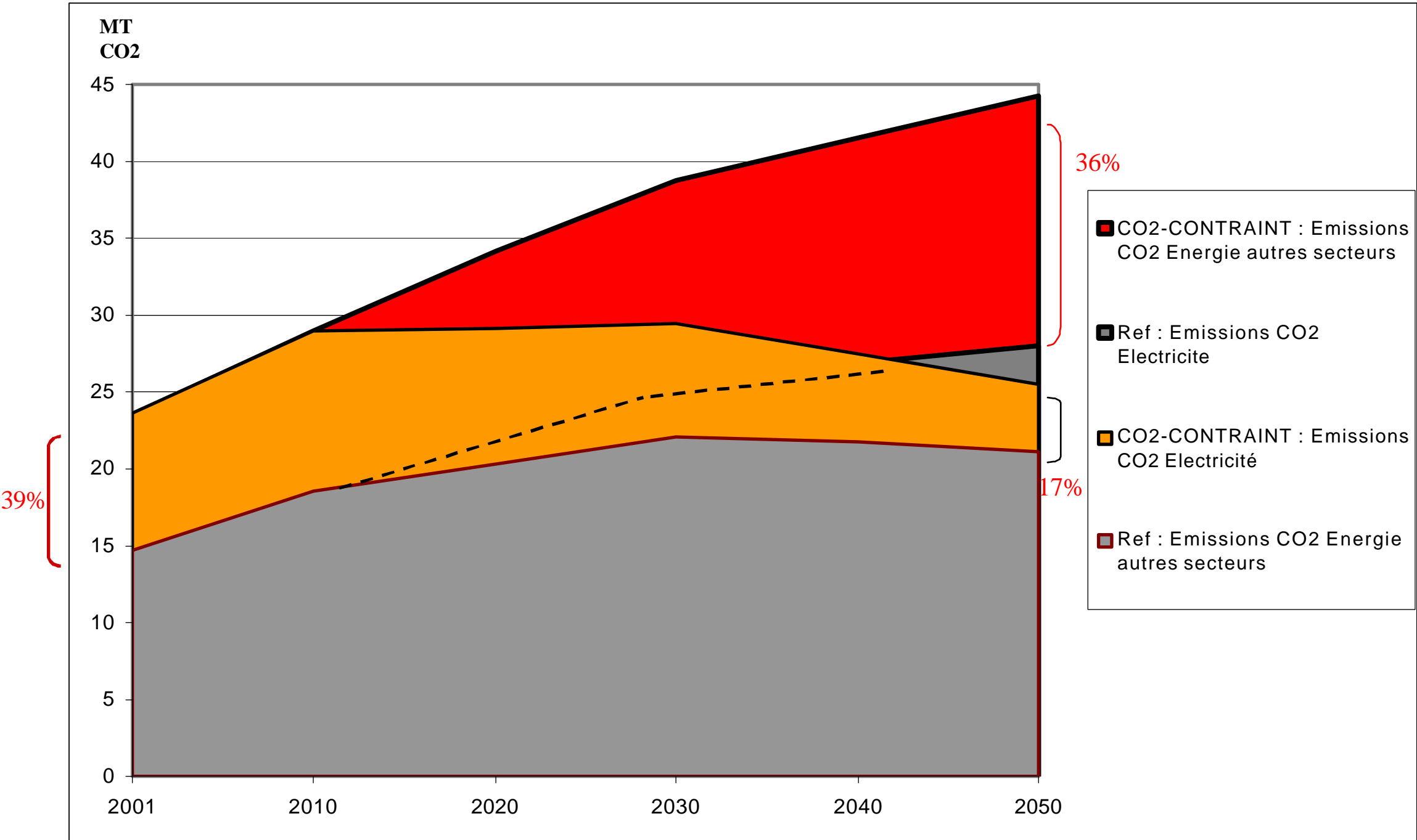
- Production massive (thermochimie, nucléaire, électrolyse haute température, solaire haute température)
- Réseaux de distribution grand public
- Technologie de la pile à combustible à oxyde solide « *solid oxide fuel cell* » (SOFC)

Etude UE « WETO 2050 » sur les modalités de réduction de CO2.

<http://ec.europa.eu/research/energy/>

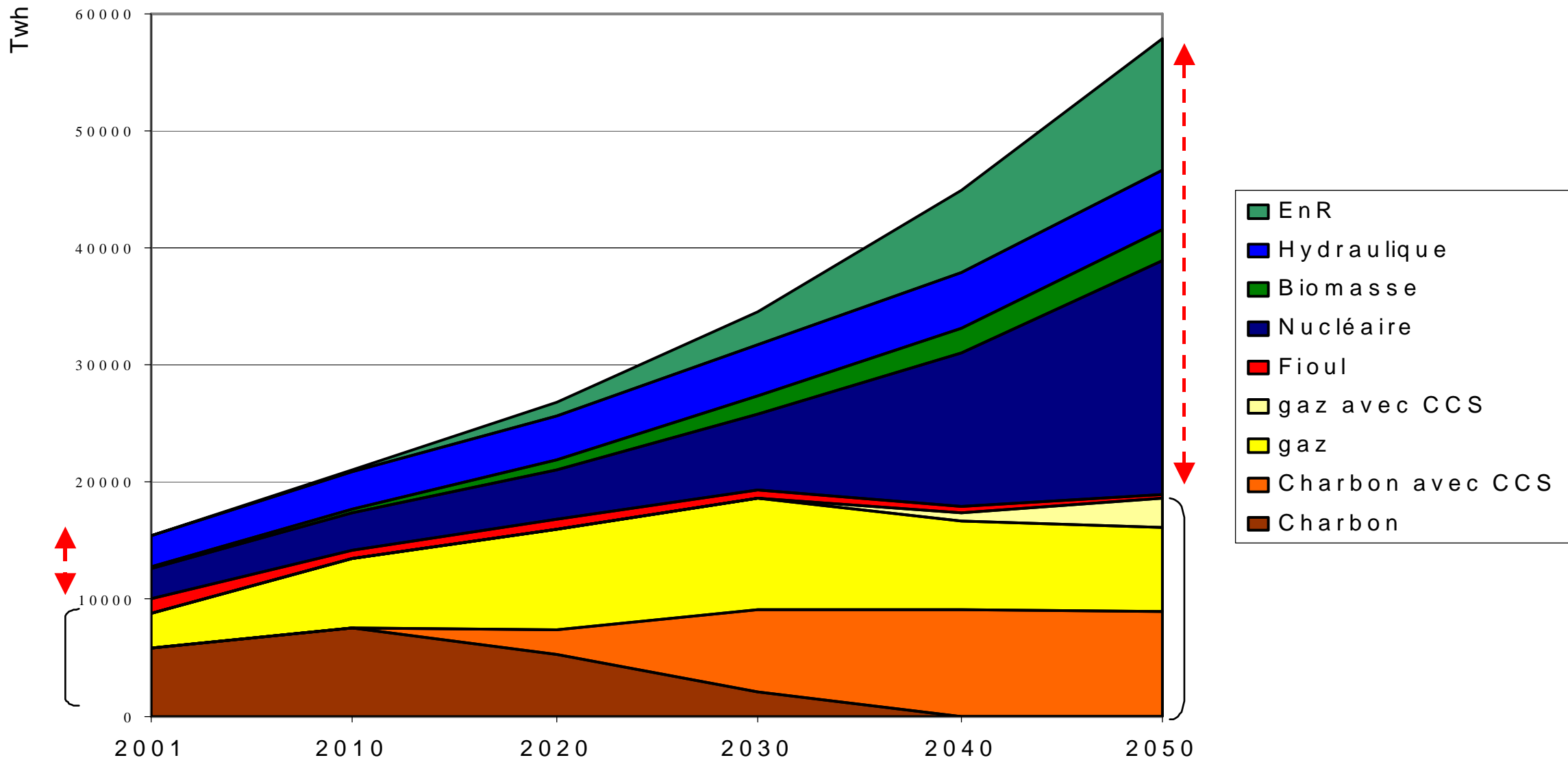
Hypothèses et méthodes différentes, mais conclusions similaires sur le rôle de l'électricité

EMISSIONS TOTALES CO2 DU SECTEUR DE L'ENERGIE

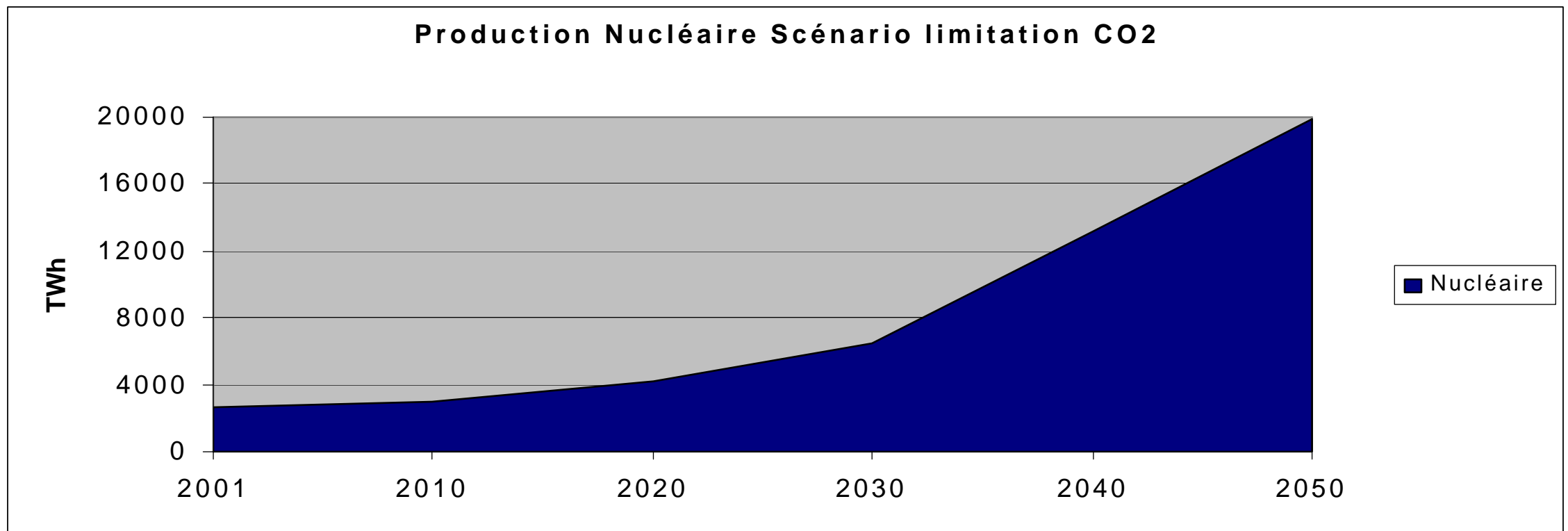
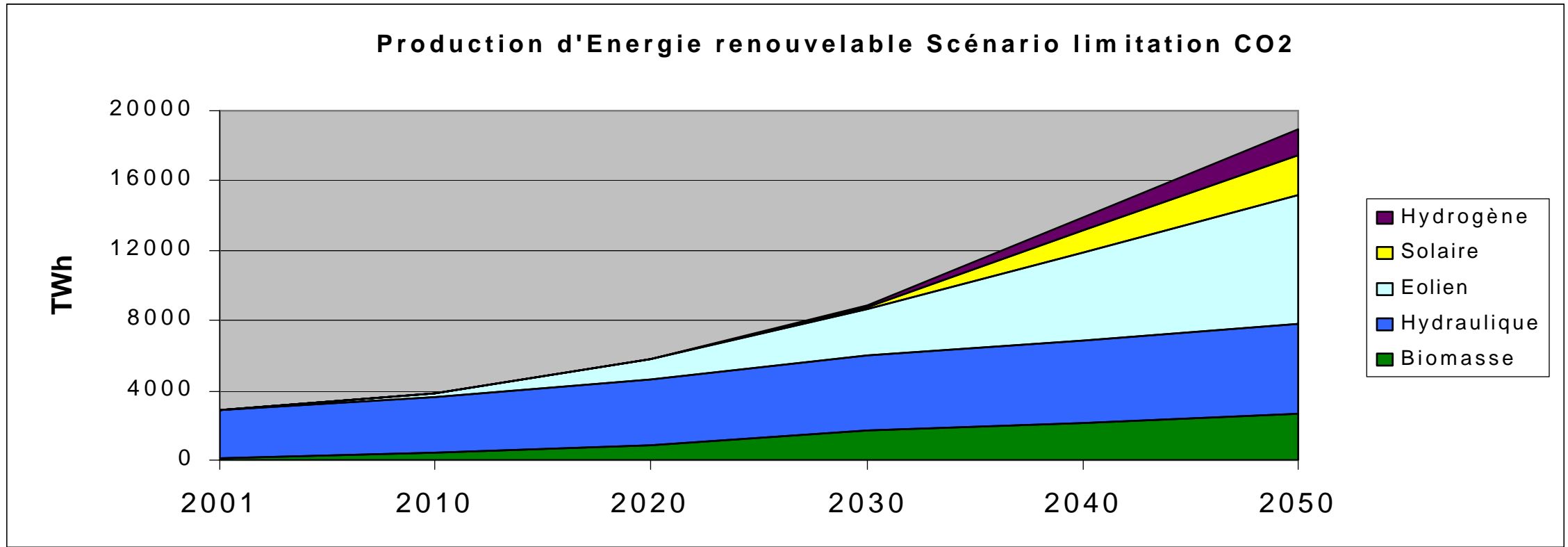


Scénario « CO2 contraint » Un mix électrique à forte composante EnR et nucléaire en 2050

Production électrique mondiale : Limitation de CO2 Commission Européenne DG Recherche

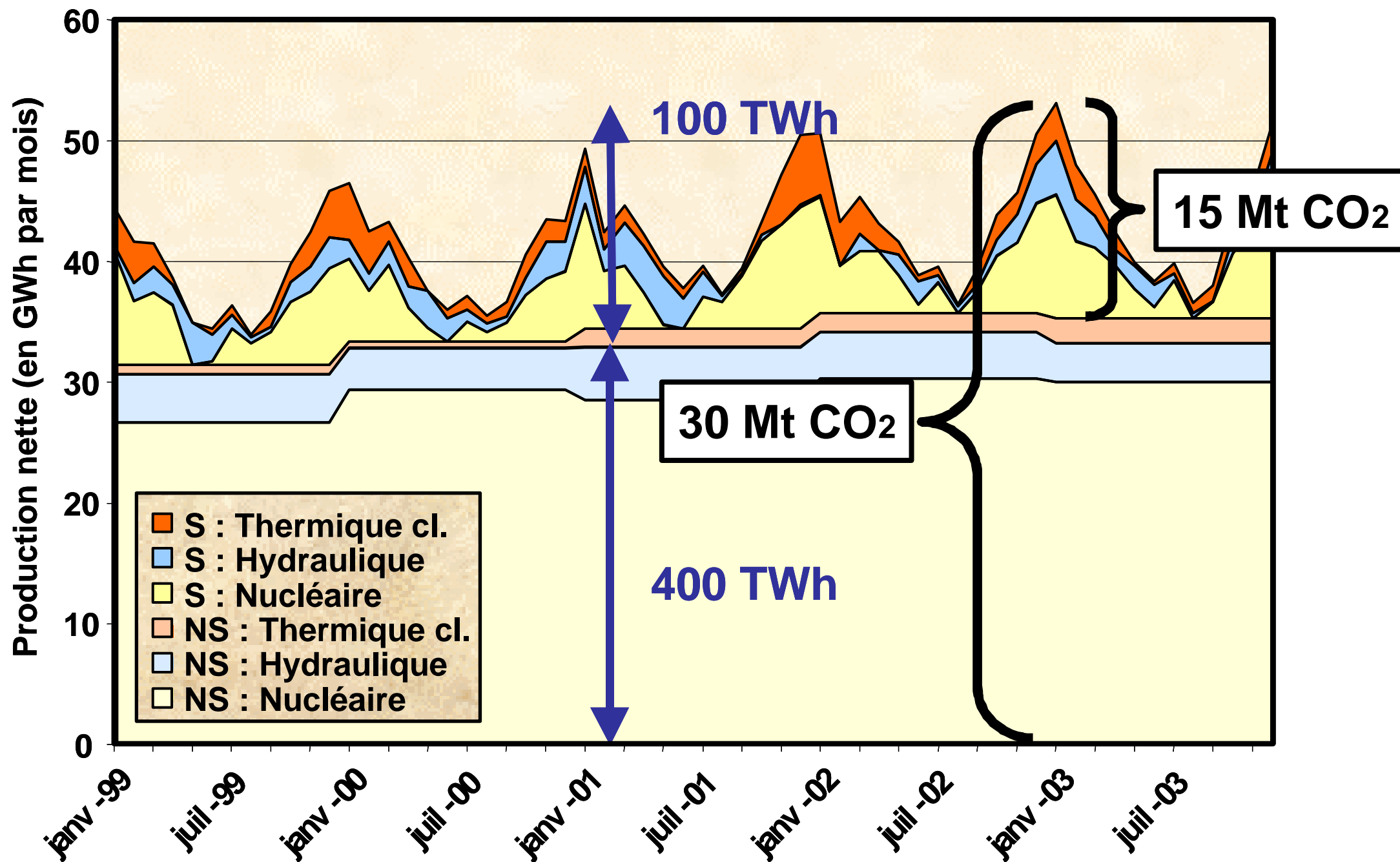


Une accélération des investissements dans les filières « CO2-free »



Contenu en CO2 du kWh saisonnalisé en France

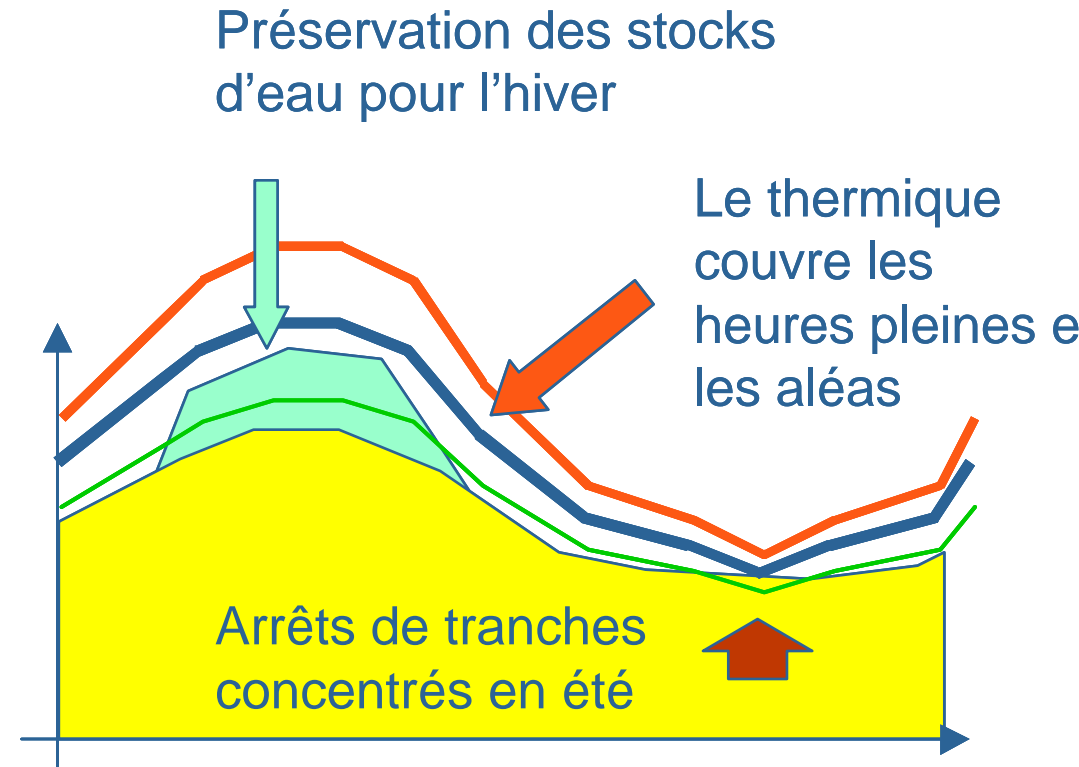
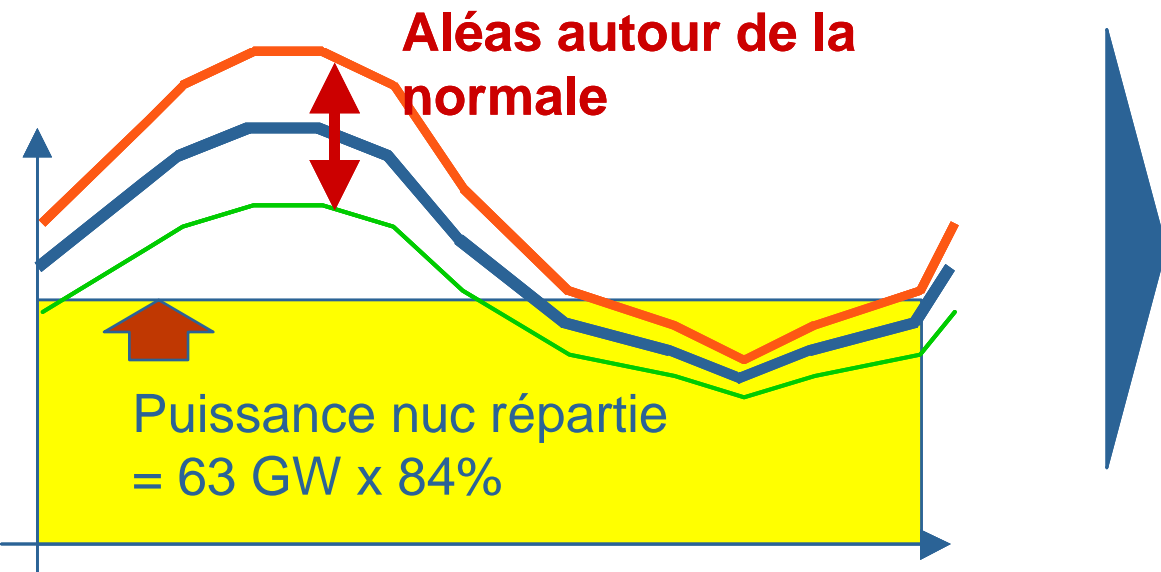
L'approche ADEME-EDF



Contenu en CO2 du kWh saisonnalisé en France

L'approche ADEME-EDF

Illustratif



Contenu en CO2 du kWh saisonnalisé	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Moyenne
g CO2/kWh	129	222	261	145	185	145	180

Environ
130gCO2/kWhe
en 2020

Source : ADEME-EDF

Source : EDF

Contenu en CO2 du kWh saisonnalisé en France

Bilan en réduction d'émissions de CO2

- Electricité : Actuellement : 180gCO₂/kWh. Rendement 100% par effet joule
- Gaz : 200gCO₂/kWhpci . Rendement moyen chaudière de 80 % : 250gCO₂/kWhpci

Pour des usages thermiques de l'électricité de **50 TWh** (50% des 100 TWh saisonnalisés), et à isolation identique, on a ainsi une économie de:

3,5 MTCO₂/an actuellement *et environ 6 MTCO₂ en 2020*

Chiffres à majorer de 40% en cas de chauffage fioul