

L'environnement, un enjeu pour l'énergie -Partie 1

Natacha Gondran
Centre SITE

Plan de l'intervention

1. Les enjeux environnementaux liés à l'énergie et leurs conséquences sur les politiques énergétiques

2. Energies renouvelables pour une diversification des sources

- les différentes formes d'énergies renouvelables
- Un élément clé du développement local durable : développement , diversification, sécurité de l'approvisionnement, indépendance énergétique

3. Economies d'énergie et négawatt

4. Quelles politiques pour prendre en compte ces enjeux ?

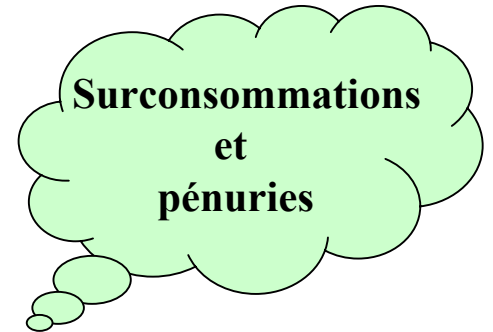
1. 1. Consommation finale d'énergie dans le monde en 2000

6905 Mtep d'énergie consommée / an en 2000

soit - 1,15 tep/habitant en moyenne mondiale

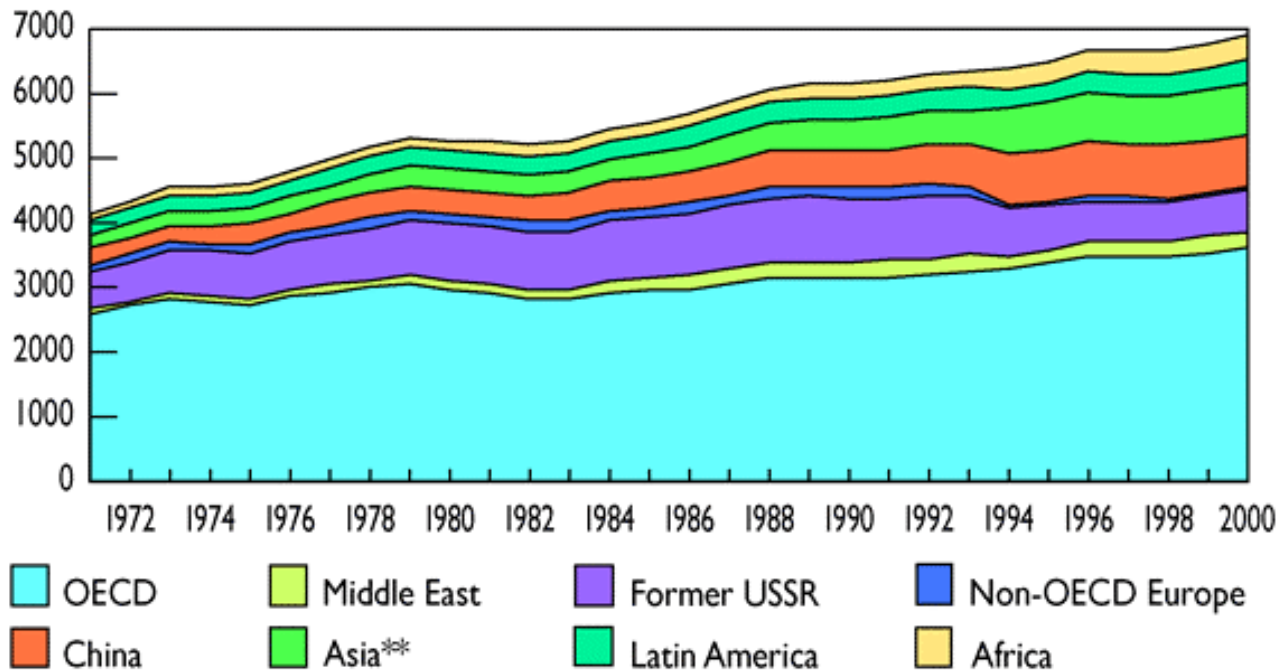
- 3,22 tep/habitant pour les pays de l'OCDE

- 0,67 tep/habitant pour les pays hors OCDE



1970 :
3,707
milliards
d'habitants

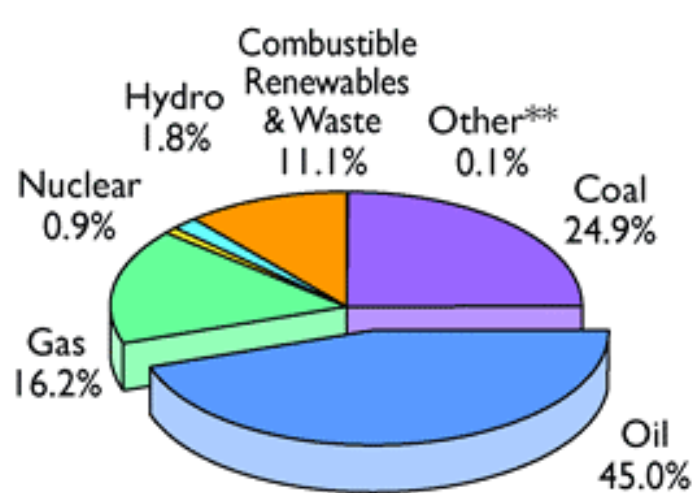
1,08 tep /
hab.



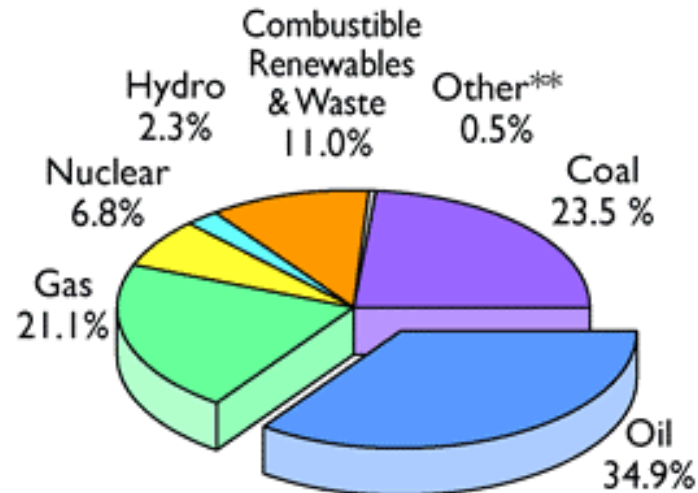
2000 :
6,905
milliards
d'habitants

1. 1. Les consommations d'énergie dans le monde en 2000

Production primaire totale d'énergie mondiale : 9963 Mtep



1973 : 6040 Mtep



2001 : 9963 Mtep

OCDE : production primaire totale = 5 317 Mtep (53 % pour 18,6 % de la population !)

1. 1. Les consommations d'énergie dans le monde en 2000

◆ Des déséquilibres qualitatifs

USA : 8,7 tep / an / habitant dont 2,5 tep pour transports 30%)

Russie : 2/3 de l'énergie du pays utilisée par l'industrie (données 1994)

Afrique Subsaharienne : très faible consommation (0,4 tep/habitant)
concentrée à plus de 3/4 sur les activités domestiques (données 1994)

Europe (en 2000) : 10 milliards de Mwh, soit 857 millions de tep

~2,3 tep/an/hab (France 269Mtep/an soit ~ 4,5 tep/hab/an)

41% pour bâtiments, 28% pour industrie et 31% pour transports

◆ 1,6 milliards de personnes (1/4 de la population mondiale) n'a pas accès à l'électricité

◆ 2,4 milliards de personnes utilisent la biomasse (bois, bouse, résidus de l'agriculture) pour la cuisine et le chauffage

1. 2. Principaux problèmes environnementaux liés à l'énergie ?

☞ Du local au régional

Thème	Facteur d'impact	Source	Effets
Pollution urbaine	SO ₂ , NO _x , O ₃ , COV, PAN, Plomb et autres métaux lourds, CO, poussières, etc.	Combustion des combustibles fossiles (charbon, fioul lourd, carburants, bois)	Santé, corrosion, détérioration des bâtiments urbains
Pollution photo-chimique	NO _x , COV, CO + hν ⇒ O ₃ ⇒ PAN	Combustion des combustibles fossiles (charbon, fioul lourd, carburants)	Santé, dommages sur les milieux animaux et végétaux, détérioration des matériaux

1. 2. Principaux problèmes environnementaux liés à l'énergie ?

☞ Du régional au global

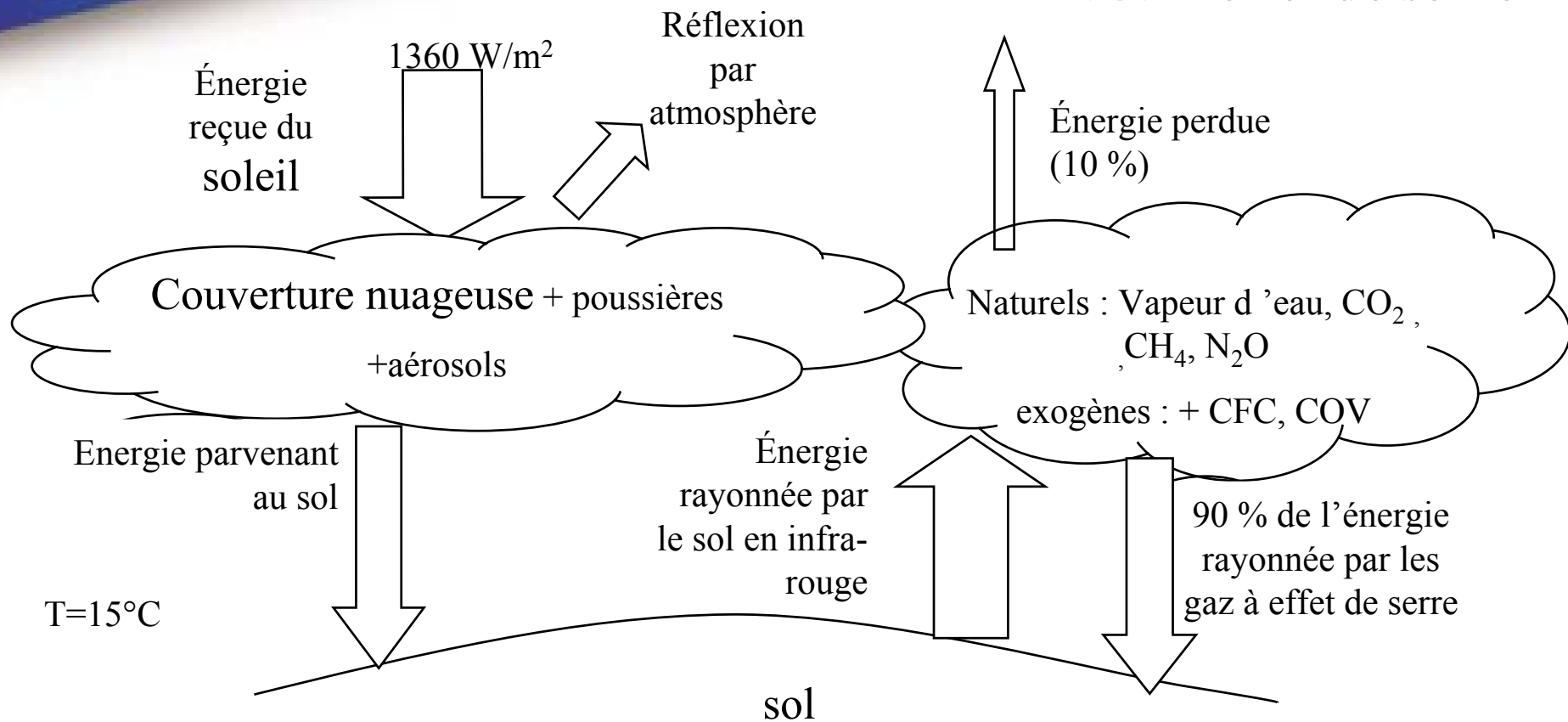
Thème	Facteur d'impact	Source	Effets
Pluies acides	$\text{SO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$ $\text{NO}_x \rightarrow \text{HNO}_3$ $\text{Cl} \rightarrow \text{HCl}$ NH_3 (ammoniac)	Combustion des combustibles fossiles (charbon, fioul lourd)	Dommages aux milieux végétaux, aquatiques et sols
Couche d'ozone	CFC, HCFC, halons, NO_x	Fluides frigorigères, isolants thermiques et électriques, produits anti-incendie	Santé (humains, végétaux et animaux)
Déforestation	Disparition de 16,9 millions d'ha/an de 1980 à 1990	Usages énergétiques du bois (combustion directe, charbon de bois)	Modification du climat, perte de biodiversité, érosion

1. 2. Principaux problèmes environnementaux liés à l'énergie ?

☞ Du régional au global

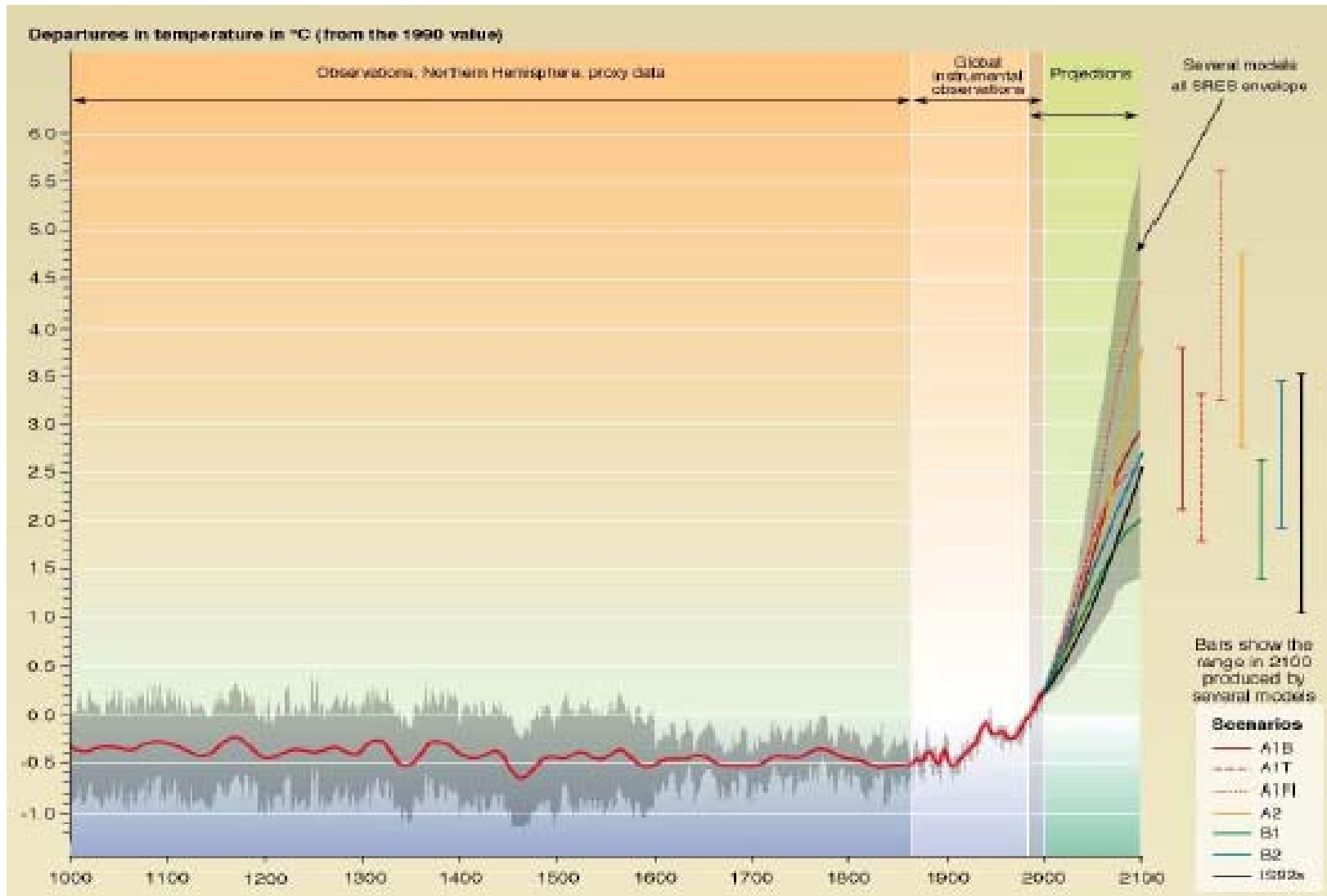
Thème	Facteur d'impact	Source	Effets
Radioactivité	Risques d'accident Gestion des déchets	Production d'électricité	Effets sur la santé humaine, et sur les écosystèmes
Effet de serre	CO ₂ , CH ₄ , CFC, N ₂ O	Combustion des combustibles fossiles (charbon, tous dérivés du pétrole)	Changements climatiques

1. 3. L'effet de serre



Échelle de temps : décennie, siècle

Variations de la température de la surface terrestre (1000 - 2010)



Consommation d'énergie par secteur d'activité et émissions de gaz carbonique en France en 1997

27.4

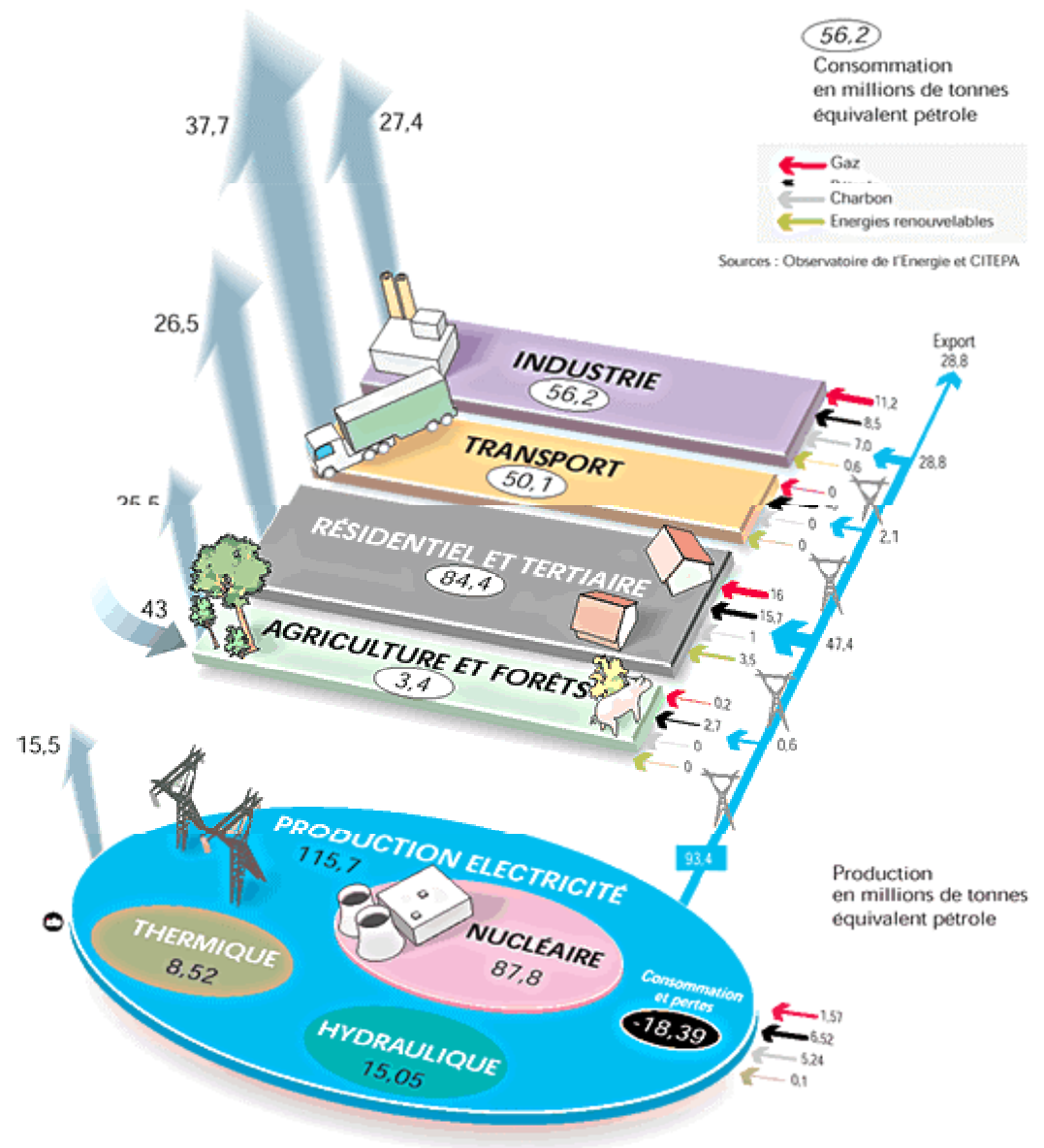
Émission de CO₂ en millions de tonnes de carbone

56.2

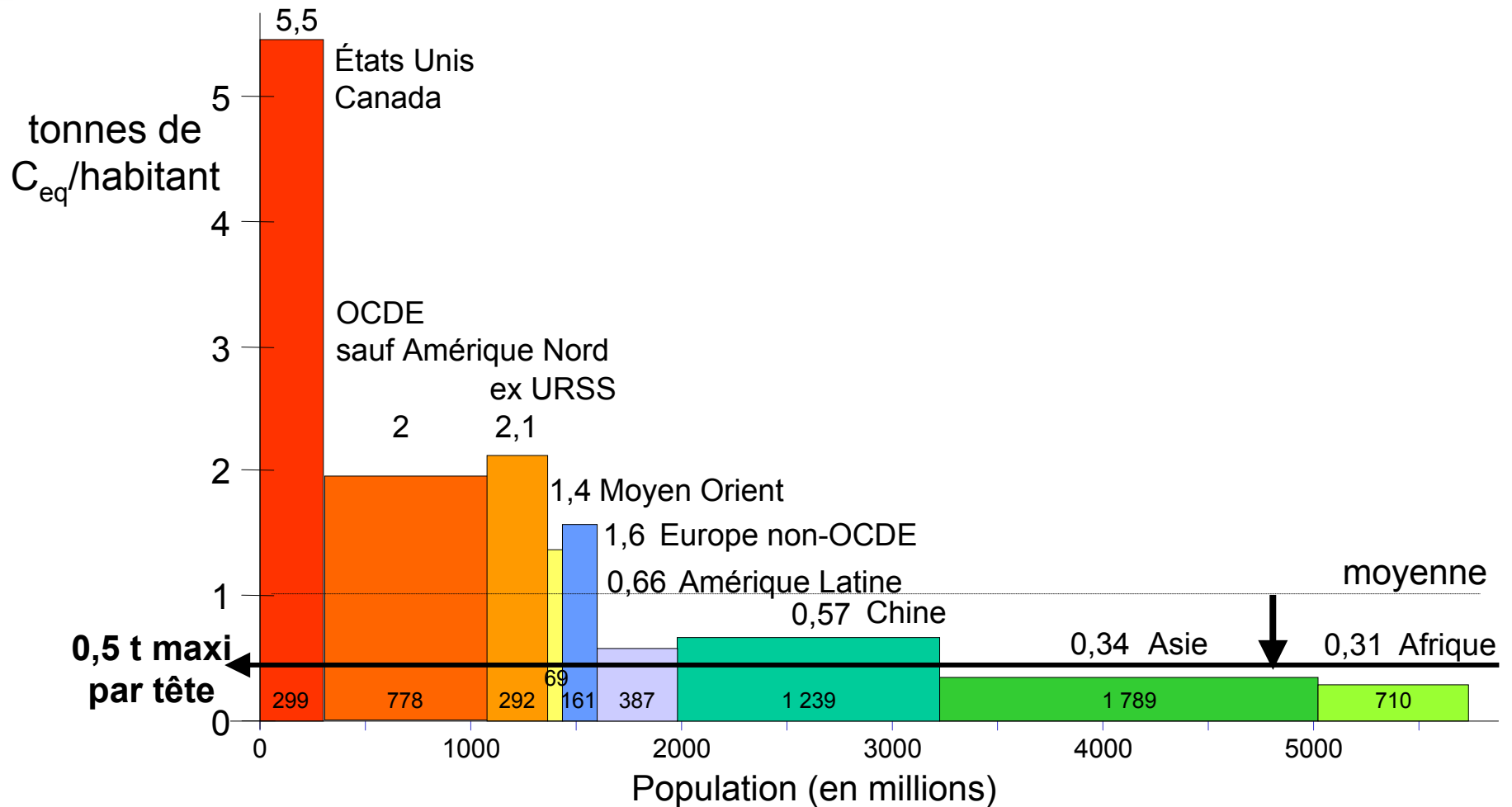
Consommation en millions de tonnes équivalent pétrole



Sources : Observatoire de l'Énergie et CITEPA



émissions de CO₂ par tête 1999



d'après Key World Energy Statistics from the IEA édition 2001

1. 4. Un système dominé par l'offre

◆ Une offre puissante et centralisée mais vulnérable

- ressources en combustibles fossiles réparties inégalement dans le monde
- Sommes et rentes en jeu très élevées \Rightarrow caractère conflictuel
- Intérêts stratégiques, industriels et financiers considérables
- Source de tensions géopolitiques majeures

◆ Une demande diversifiée et atomisée

- La pertinence du combustibles diffère selon les utilisations (chauffage, éclairage, moteurs, etc...)
- Des besoins quantitatifs et qualitatifs différents selon les lieux, modes de vie et saisons.

1. 5. Les scénarios d'évolution

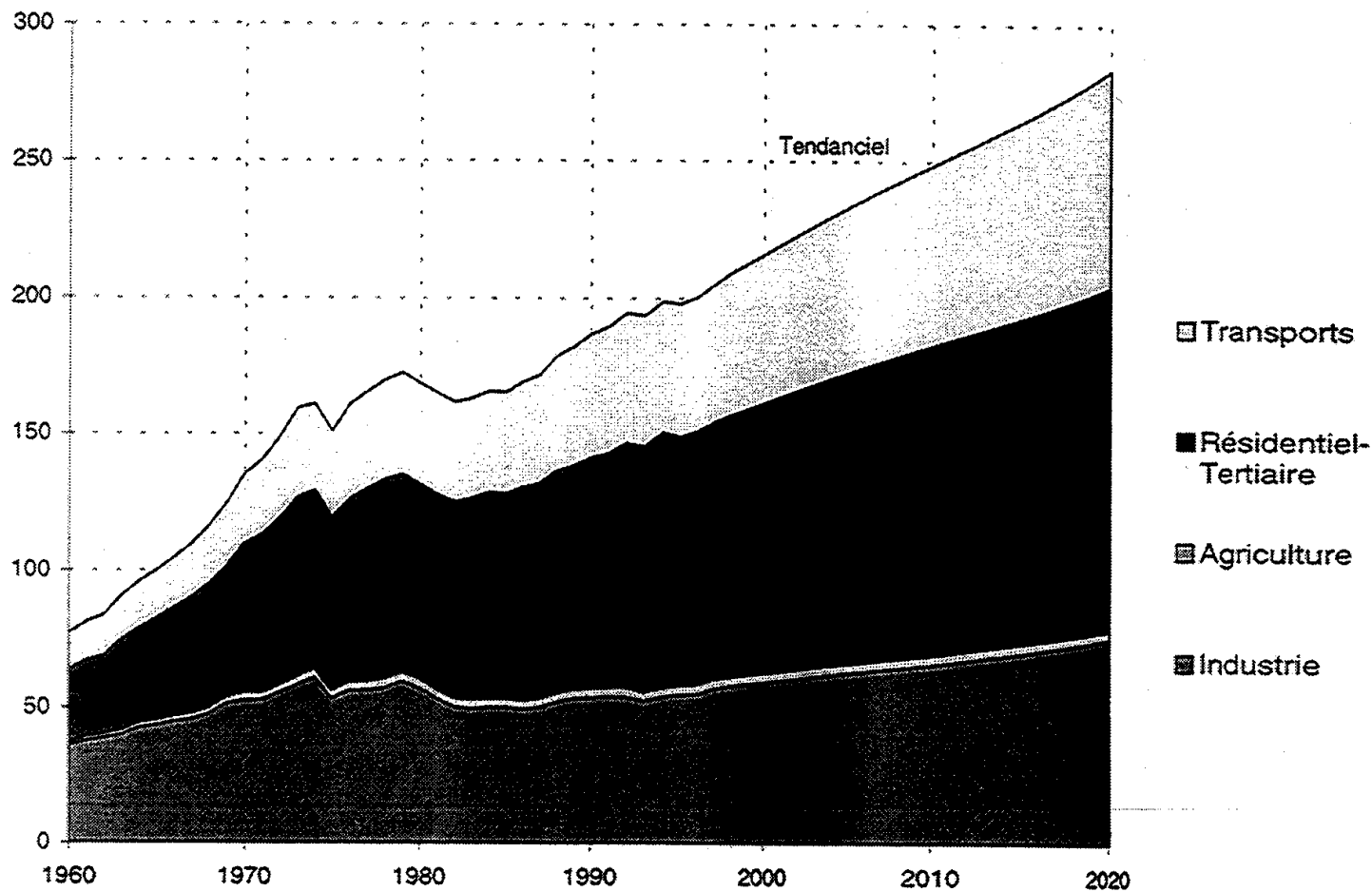
◆ Paramètres à prendre en compte

- démographie
- croissance économique
- coût des énergies / modes de tarification
- rendements énergétiques des technologies et leur évolution
- politiques énergétiques / modes de vie / évolution
- capacités de production / durée de vie des installations existantes

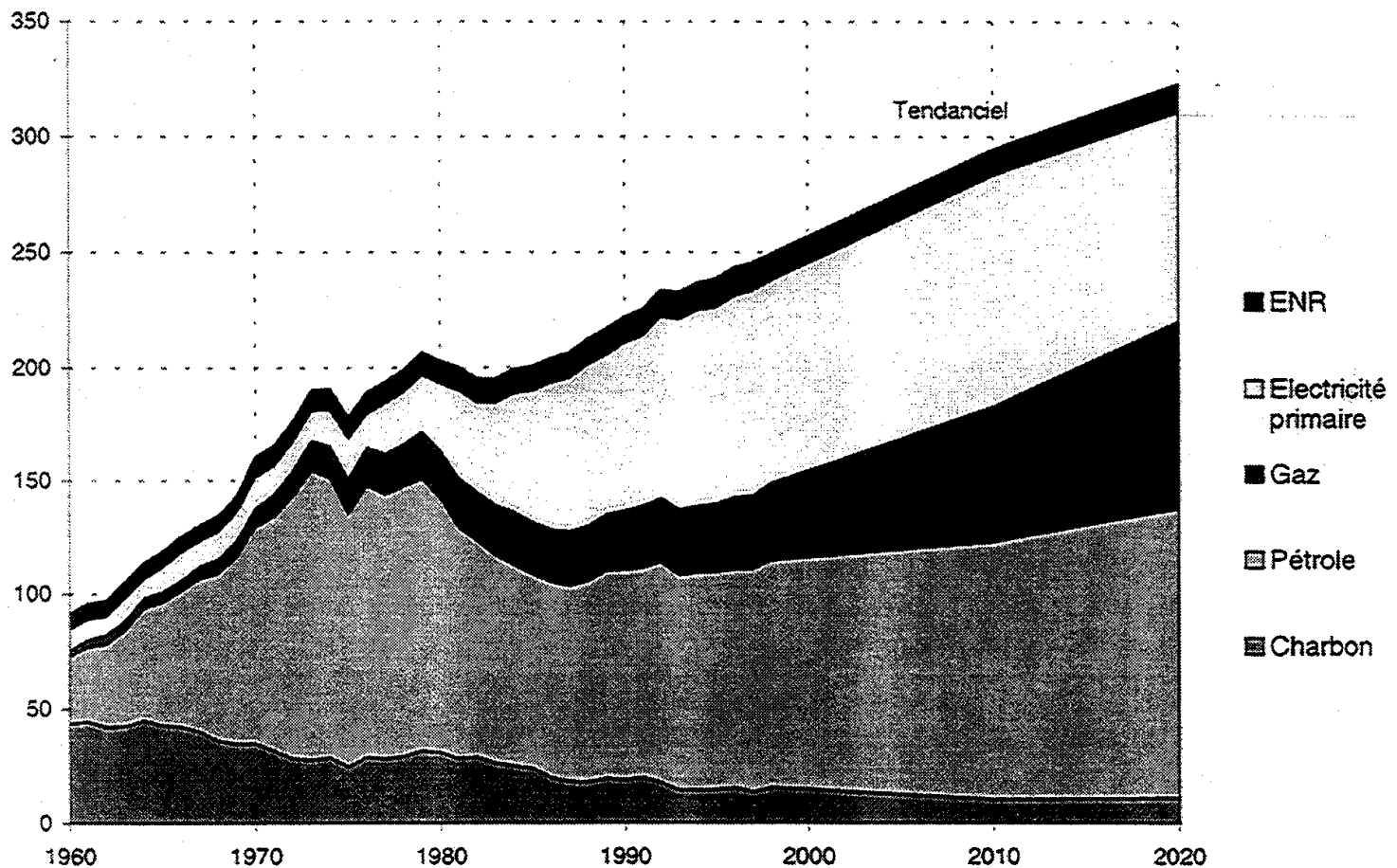
◆ Hypothèses

- **Scénarios** "business as usual" ou scénarios tendanciel : basé sur les consommations actuelles et évolutions passées (aucune nouvelle mesure n'influençant consommations à venir)
- Rôle plus ou moins interventionniste de l'Etat

1. 5. Scénarios tendanciel du CERNA



1.5. Scénario tendanciel (CERNA)



1. 5. Conséquence d'un tel scénario

- ◆ Augmentation des consommations de pétrole car accroissement des transports
 - ◆ Baisse du taux d'indépendance énergétique (augmentation du gaz et des interconnexions du réseau électrique, réduction du nucléaire).
 - ◆ Estimation de 129 Mt de Carbone émises en 2010
- ⇒ Le territoire français sera 23 % au-delà du niveau de 1990 (104,5 Mt de C), dont le maintien est l'objectif du protocole de Kyoto.
- ⇒ A 100 \$/tC, cela correspondrait à une dépense de 14 milliards de FF / an en permis d'émissions à acheter aux autres pays.
- ⇒ Seul scénario assurant le maintien des émissions au niveau de 1990 suppose la mise en œuvre d'une politique ambitieuse de **maîtrise de l'énergie** au niveau national et européen et une **évolution structurelle des modes de vie** (transport et aménagement du territoire).

1.5. Scénario tendancier

- ◆ Disponibilité des réserves de pétrole et de gaz ?

Réserves prouvées en 1990

	Réserves prouvées (Milliards de tep)	Réserves prouvées (années)
Charbon	496	197 ans
Lignite	110	293 ans
Pétrole	137	40 ans (données 2002)
Gaz naturel	120	56 ans

1. 6. Marchés énergétiques français : entre monopole et dérégulation

- ◆ A partir de la 1^{ère} guerre mondiale : intervention de l'Etat dans les réseaux (eau, électricité, téléphone) pour structurer leur développement
 - Raisons économiques et politiques
 - Péréquation, subventions et financements publics, politique industrielle
 - Raccordement au réseau = symbole de l'égalité républicaine et élément du lien social et de la modernisation de la société

- ◆ Début 1990 : dérégulation, libéralisation et extension de la relation marchande
 - Directive 96/92/CE du parlement européen et du conseil du 19 décembre 1996 concernant des règles communes pour le marché intérieur de l'électricité
 - Loi du 10 février 2000 (France) sur la modernisation de l'électricité
 - Concurrence ouverte aux clients "éligibles" (consommateurs de plus de 16 GWh/an, abaissé à 9 GWh en 2003)

1. 6. Les limites de la dérégulation

◆ Des carences théoriques des marchés

- Pour que les marchés soient justes et équitables, les consommateurs doivent disposer d'information complète pour profiter de la concurrence
- Pour promouvoir les énergies les moins polluantes, il faut que les prix des différentes énergies intègrent coûts environnementaux et sociaux

◆ Qui se concrétisent dans les faits

- Des subventions cachées pour les énergies traditionnelles
- Une tarification qui ne reflète pas les vrais coûts de production : péréquation, intégration des coûts sociaux et environnementaux (traitements des déchets / réhabilitation des sites de production ?)
- Des acteurs économiques qui profitent du système (Californie)
- Des marchés qui ne sont pas aussi concurrentiels que prévus car acteurs dont pouvoir est le plus fort reconstituent le système et exploitent clients et employés
- Comment assurer la continuité du service quand celui-ci n'est plus immédiatement rentable (ex. : tempête 99) ?

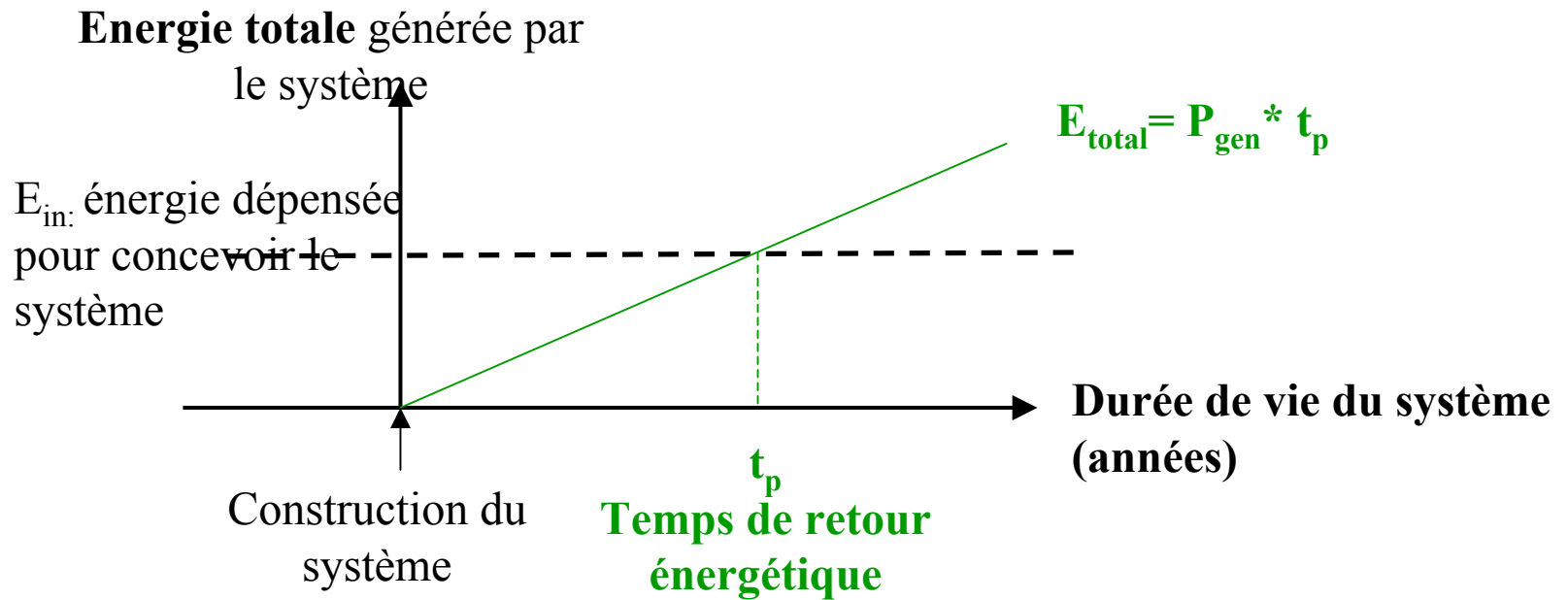
1. 6. Réhabilitation des régulations politiques

- ◆ Pour assurer la continuité du service
- ◆ Pour maintenir la péréquation géographique nationale
- ◆ Pour créer des fonds locaux de solidarité et aider les usagers en situation de précarité
- ◆ Pour répondre à la montée des préoccupations environnementales
 - Une réglementation européenne favorisant les énergies propres
 - Des préoccupations sociétales croissantes
 - le "marketing sociétal" des entreprises

2. Quelles alternatives ?

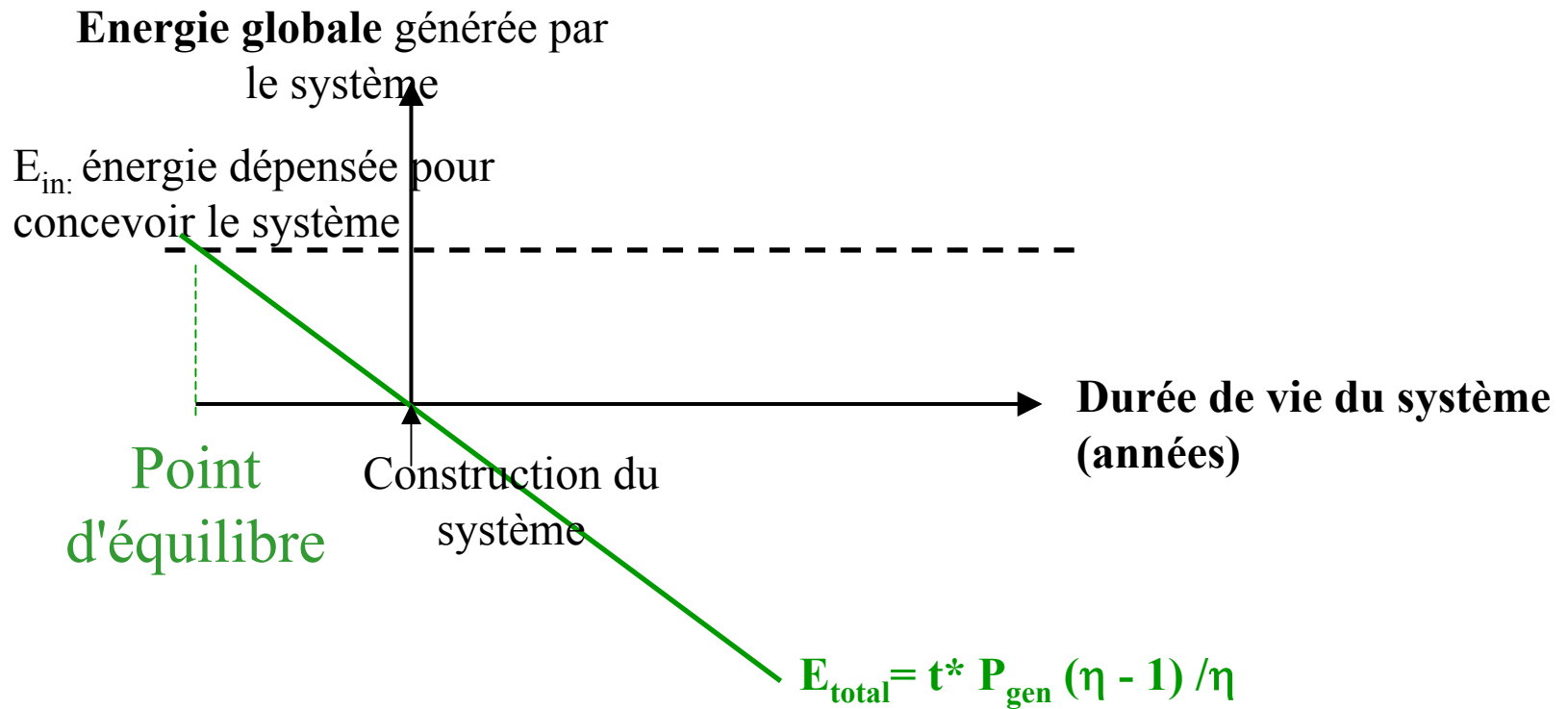
2. La notion de temps de retour énergétique

Pour un système utilisant les énergies renouvelables



2. La notion de temps de retour énergétique

Pour un système conventionnel utilisant une source d'énergie externe



2. L'énergie solaire : le solaire thermique

- ◆ **Principe** : transformer l'énergie solaire en chaleur
 - pour le chauffage des bâtiments (serre, murs capteurs)
 - pour eau chaude sanitaire (temps de retour énergétique ~ 3 à 5 ans), chauffage (PSD), climatisation
 - pour générer électricité
- ◆ **En France** : Plan Soleil lancé en 1999
 - estimation en 2002 : 550 000 m² (soit ~ 0,77 Mtep)
 - objectif 2006 : installation de 550 000 m² de capteurs supplémentaires
 - soutien financier (aux études et travaux)
 - campagne de presse destinée aux prescripteurs et professionnels du bâtiment
 - Garantie de Résultats Solaires : le prestataire s'engage sur la quantité d'énergie fournie annuellement par l'installation et dédommage le maître d'ouvrage en cas de déficit.

- 
- ◆ Principe : transformer le rayonnement solaire en électricité
 - ◆ Temps de retour énergétique : 2 à 5 ans selon le type de semi-conducteur utilisé et le mode de production
 - ◆ Applications :
 - électrification rurale décentralisée (~ 1,5 euros/kWh ; 20 000 keuros/kW))
 - raccordé au réseau (~3F/kWh ; 6 000 keuros / kW)
 - ◆ En France :
 - 11,3 MWp installés en 2000
 - Prix de rachat fixé à 0,15 euros/kWh pendant 20 ans

3. L'éolien

- ◆ Technologie qui a eu le plus de succès sur le plan commercial
- ◆ Temps de retour énergétique : 3 à 6 mois pour les meilleurs sites
- ◆ Temps de retour financier : ~ 7 ans
- ◆ Paramètres à prendre en compte pour quantifier l'électricité pouvant être générées : vitesse du vent, distribution statistique, distribution des différentes directions du vent, topographie du terrain alentour, intensité des turbulences
- ◆ Coûts à prendre en compte : investissements, coûts liés à l'intermittence et la variabilité du vent, prix du terrain, disponibilité des réseaux de transmission / distribution



◆ Une énergie de plus en plus compétitive

- ~ 1100 euros /kW installé pour $P < 12$ MW
- 3 à 4 %/an de l'investissement pour les coûts de maintenance
- 94 MW installés en France (17 548 en Europe, 8750 en Allemagne)
- 15 MW installés pendant l'année 2001 (4615 en Europe, 2659 en Allemagne)
- Réglementation française (arrêté tarifaire du 8 juin 2001) fixe prix de rachat de l'électricité éolienne de 5,49 à 8,38 cts d'euros le kWh selon puissance installée

4. La biomasse

◆ Les principales sources :

- Les déchets industriels et agricoles
- les déchets organiques de l'élevage
- les plantations énergétiques (bois, colza, etc...)
- les déchets domestiques et municipaux

◆ Les principaux procédés :

- La combustion directe
- la gasification (pyrolise)
- la conversion biologique (biogaz par digestion anaérobie)
- la conversion chimique ou biochimique (méthanol, éthanol)

- ◆ 58 % de l'énergie primaire fournie par les ER en Europe
- ◆ Coût de l'investissement lié à :
 - la puissance (100 à 500 kW : 2500 à 3500 F/kW ; 500 à 1000 kW : 1800 à 2800 F/kW ; > 1000 kW : 1500 à 2000 F / kW),
 - la structure (infrastructure, stockage, VRD, contraintes paysagères)
 - la nature du combustible
 - contraintes locales (bruit, insertion paysagère)
- ◆ Coût du combustible, en France : 11,5 Mtep (~4 %)
 - DIB (palettes, écorces) : 0,004 F/kWh
 - Plaquettes forestières (usage collectif) : 0,1 à 0,14 F / kWh
 - Granulés (vrac) : 0,22 F/kWh
- ◆ 3 à 4 emplois générés pour 1400 tonnes de bois consommées

- ◆ Estimations mondiales :

- 15 % de l'utilisation globale d'énergie primaire

- 38 % dans les pays du Sud

- Peut avoir des impacts sanitaires et environnementaux importants

- ◆ En France : 11,5 Mtep (~4 %)

- bois (9,2 Mtep), déchets urbains (1,8 Mtep), biocarburants (0,3 Mtep) et biogaz (0,2 Mtep)

- ◆ Biocarburants : France, premier producteur européen (éthanol, ETBE : additif pour essence et biodiesel : additif pour diesel) (91 000 tonnes en 2000).

- ◆ Renouvelable et neutre par rapport au CO₂ si et seulement si équilibre entre consommation et production

5. L'hydraulique

- ◆ Près de 17 % de la production d'électricité en France (23 300 MW de puissance installée)
- ◆ Seule micro-hydraulique < 10 MW considérée comme énergie renouvelable
 - 2018 MW disponibles en 2000 en France, 10260 MW en Europe
- ◆ Technologie mature et expérimentée, mais spécifique à des sites précis
- ◆ Si barrage : stockage d'énergie qui peut être mobilisée sur demande
- ◆ Nécessité de demander autorisations et réaliser études d'impacts :
 - Compatibilité avec autres usages de l'eau ?
 - Aspects paysagers ?
 - Lieu de remontée de poissons (échelle ou ascenseurs)

6. La géothermie

- ◆ Principe : utiliser la chaleur interne de la terre pour produire de l'électricité ou de la chaleur
- ◆ En Europe : seuls pays possédant un potentiel géothermique à haute température :
 - Electricité : Italie (785 MW installés, Portugal (100 MW), France (21 MW, Bouillante - Guadeloupe) (données 2000)
- ◆ Réseaux de chaleur
 - ◆ France (326 MWth - une trentaine de réseaux de chaleur en Bassin parisien et Alsace), Italie (325 MW)
 - ◆ Une technique aujourd'hui maîtrisée
 - ◆ performances économiques intéressantes : 70 F HT MWth

7. Energies renouvelables, des éléments clés du "développement durable" des territoires

■ Aspects environnementaux

- Impact moindre par rapport à l'effet de serre et l'épuisement des ressources naturelles
- Générateur de nuisances (intégration dans paysage, bruit), mais réduction des émissions au niveau du cycle de vie total

■ Aspects sociaux

- Amélioration du confort et du niveau de vie pour populations défavorisées, accès à l'électricité de populations non connectées au réseau
- Réduction des impacts respiratoires et sanitaires dus aux énergies « traditionnelles » (charbon de bois, charbon, nucléaire)
- Mais réticences des consommateurs à utiliser de nouvelles formes d'énergies

7. Energies renouvelables, des éléments clés du "développement durable" des territoires

■ Aspects économiques

- Assurer la bonne santé d'un secteur économique
- Création d'emplois locaux (chaufferies bois, plombiers, etc.)

■ Aspects politiques

- Participe à la réflexion autour de la maîtrise de la demande énergétique
- Décentralisation de la production électrique
- Réflexion locale intégrant production énergétique et aménagement du Territoire
- Limite la dépendance énergétique du pays / territoire
- Réduit la vulnérabilité du système énergétique (diminution des risques technologiques et terroristes)
- Respect de l'engagement dans le protocole de Kyoto
- Stimulation de la coopération Nord - Sud

8. ... mais qui sont encore bloqués par des obstacles

■ Aspects techniques

- Difficultés pour les raccordements au réseau électrique / inadaptation du réseau
- Energies souvent intermittentes
- Difficultés de stockages

■ Aspects économiques

- Coûts encore élevés
 - pas encore d'économies d'échelle
 - excepté pour l'éolien, tarifs de rachat ne permettent pas rentabilité à court terme
- Concurrence « déloyale » des énergies traditionnelles :
 - subventions cachées pour les énergies traditionnelles (investissements)
 - non prise en compte des externalités environnementales dans les coûts des énergies fossiles et nucléaires
- Verrouillage technologique

8. ... mais qui sont encore bloqués par des obstacles

■ Aspects sociaux

- Adaptation à la demande
 - Nécessite changement des comportements (approche combinée ER - management de l'énergie)
 - Doit être attaché à une utilisation « rentable » de l'énergie (Sud)
- Décentralisation implique augmentation du nombre de sites producteurs d'électricité et le rapprochement entre producteur et utilisateur (syndrome NIMBY)

■ Aspects politiques

- Blocages administratifs (procédures longues pour obtenir les autorisations)
- Budgets R&D publics limités et irréguliers
- Nécessite une volonté politique *réelle*