

Commission Énergie  
Thierry Chambolle, président du groupe 5  
Hervé Pouliquen, rapporteur

# > Perspectives énergétiques de la France à l'horizon 2020-2050

---

## Rapport d'orientation

« Scénarios énergétiques »

Avril 2007





# Sommaire

> 1. INTRODUCTION.....	6
> 2. SCENARIO DE REFERENCE.....	8
2.1 Rappel des références existantes.....	8
2.1.1 Scénario tendanciel DGEMP 2004.....	8
2.1.1.1 Macro-économie.....	9
2.1.1.2 Hypothèses sectorielles.....	9
2.1.1.3 Principaux résultats.....	10
2.1.2 Principaux objectifs de la loi d'orientation du 13 juillet 2005.....	11
2.1.3 Plan climat.....	13
2.1.4 Objectifs européens.....	15
2.2 Synthèse des scénarios tendanciels et des objectifs à 2020.....	18
> 3. SCENARIO FACTEUR 4.....	19
3.1 Démarche de travail.....	19
3.2 Approche sectorielle.....	21
3.2.1 Objectif théorique.....	21
3.2.2 Caractéristiques des secteurs.....	22
3.3 Approche transversale.....	22
3.3.1 Exemples de gisements dans les processus urbains.....	25
3.3.2 Exemples de gisements dans les transports.....	26
3.3.3 Exemples de gisements dans le résidentiel/tertiaire.....	26
> 4. SYNTHESE DES HYPOTHESES.....	27
4.1 Macro-économie (hypothèses communes aux scénarios tendanciel et Facteur 4).....	27
4.2 Hypothèses sectorielles.....	28
4.2.1. Transports.....	28
4.2.2. Résidentiel/tertiaire.....	29
4.2.3. Industrie.....	30
4.2.4. Énergie.....	31
> ANNEXE 1 : PERFORMANCE DES PAYS EUROPEENS VIS-A-VIS DES EMISSIONS DE GES.....	32
1. Projections globales et par pays.....	32
2. Plan climat européen. Politiques et mesures.....	33
> ANNEXE 2 : CHIFFRES OBJECTIFS ET MESURES DU PLAN CLIMAT.....	35
> ANNEXE 3 : DONNEES COMPARATIVES SUR LES SECTEURS.....	38
1. Introduction.....	38
2. Répartition de la consommation d'énergie dans le monde.....	38
3. Caractéristiques de la consommation en France.....	38
4. Croissance des secteurs.....	43
> ANNEXE 4 : HYPOTHESES ET SCENARIOS DU SECTEUR TRANSPORT.....	44
1. Introduction.....	44
2. Les énergies utilisées dans les transports.....	44
3. Les caractéristiques de la demande mondiale.....	45
4. Les scénarios.....	47
5. Les évolutions possibles du secteur.....	56
Annexe 4.1 : Comparaisons de scénarios de consommation du secteur des transports.....	57
Annexe 4.2 : scénario de référence DGTREN 2003, secteur transports.....	58
Annexe 4.3 : ÉTUDE Prospective énergétique à 2050 pour la France.....	59
Annexe 4.4 : Hypothèses transport du scénario faibles émissions du WBCSD.....	60
Annexe 4.5 : Données de l'étude « Sources d'énergies pour le 21 <sup>e</sup> siècle ».....	61

Annexe 4.6 : Prospective transport à 2050 du Conseil général des Ponts et chaussées .....	63
Annexe 4.7 : Evolutions des caractéristiques des véhicules.....	66
> ANNEXE 5 : HYPOTHESES ET SCENARIOS DU SECTEUR RESIDENTIEL/TERTIAIRE.....	67
1. Introduction.....	67
2. Les caractéristiques de la demande mondiale.....	67
3. Situation en France.....	68
4. Les scénarios .....	74
5. Les évolutions possibles du secteur .....	78
Annexe 5.1 : SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE DGTREN 2003, secteur résidentiel-tertiaire.....	79
Annexe 5.2 : ÉTUDE Prospective énergétique à 2050 pour la France.....	80
> ANNEXE 6 : SCENARIOS ENERGETIQUES : ETAT DE L'ART.....	82
1. Introduction.....	82
2. Les scénarios au niveau français.....	82
3. Les scénarios au niveau européen .....	84
4. Les scénarios au niveau international.....	86
> ANNEXE 7 : LA MODELISATION DANS LES SCENARIOS ENERGETIQUES .....	90
1. Modèles <i>top-down</i> (modèles d'équilibre).....	90
2. Modèles <i>bottom-up</i> (modèles d'optimisation) .....	91
3. Des modèles hybrides .....	92
4. Les modèles de demande .....	93
5. Eléments de la démarche de modélisation .....	93
> ANNEXE 8 : FICHES SUR LES OUTILS MARKAL ET MEDEE – POLES.....	94
> ANNEXE 9 : VARIABLES, HYPOTHESES, DONNEES DE REFERENCE ET DE CONTROLE DETAILLEES PAR SECTEUR.....	97
> ANNEXE 10 : REFERENCES DES INTERVENTIONS DANS LE GROUPE 5 .....	126
> ANNEXE 11 : MEMBRES DU GROUPE 5 .....	127

## Résumé

Les travaux du groupe « scénarios énergétiques » accompagnent les travaux de prospective et d'analyse stratégique de la Commission Énergie.

Le présent rapport se concentre sur l'élaboration des hypothèses. Pour ce faire, il s'appuie notamment sur les exercices de prospectives récents menés au plan national dans l'énergie et dans les différents secteurs de la demande.

Les travaux ont pour objectif de proposer un scénario tendanciel à 2030 et un scénario Facteur 4 apportant une description d'un avenir possible qui répondrait aux enjeux énergétiques de la France, tel que la loi d'orientation de juillet 2005 en a posé dans ce sens les grands objectifs.

A partir d'une analyse sectorielle verticale et d'une approche transversale, un premier jeu d'hypothèses détaillé est établi pour l'ensemble du système en tendanciel à 2030 et pour le Facteur 4 aux horizons 2030 et 2050.

## > 1. INTRODUCTION

La construction de scénarios énergétiques accompagne les travaux de prospective et d'analyse stratégique du secteur énergétique<sup>1</sup>.

Au plan international, les plus connus sont ceux de l'Agence internationale de l'énergie (AIE)<sup>2</sup>, du Conseil mondial de l'énergie<sup>3</sup> mais aussi des pétroliers SHELL et Exxon Mobil<sup>4</sup>.

Les exercices récents de la Commission européenne sont ceux de la DGTREN et de la DG Research.

Au niveau national, citons notamment les exercices suivants sur lesquels s'appuient les présents travaux.

- « **Énergie 2010-2020 : Trois scénarios énergétiques pour la France** », **Commissariat général du plan**, groupe de travail présidé par Pierre Boisson et publié en 1998.  
La méthode d'exploration utilisée<sup>5</sup> fait le postulat d'un caractère ouvert et incertain de l'avenir, écartant une approche fondée sur la seule projection de tendances passées. C'est le sens de la construction de trois scénarios, dont aucun n'est tendanciel. Bâties sur quelques hypothèses macro-économiques communes, ces scénarios ne sont pas directement construits autour de politiques publiques alternatives mais plantent différents contextes plausibles d'évolution de la société française d'ici 2020 en fonction desquels les différents acteurs actuels de la scène énergétique, et parmi eux les pouvoirs publics français, ont à concevoir leurs stratégies. Quant au rôle de l'État, les scénarios envisagent, concomitamment aux évolutions quantitatives synthétisées, une différenciation des modalités de l'action publique. Il s'agit des scénarios :
  - S1 : "Société de marché", qui correspond à une situation allant dans le sens d'une plus large confiance dans les mécanismes régulateurs de marché et donc une réduction de l'intervention économique de l'État ;
  - S2 : "État industriel", où l'État entend redevenir interventionniste dans le domaine économique et industriel au nom des intérêts de long terme de la nation et de la compétitivité ;
  - S3 : "État protecteur de l'environnement", caractérisant une situation où l'État est prioritairement le gardien de valeurs de protection de la santé, de prévention des risques technologique et de préservation de l'environnement.
- **Le scénario tendanciel de la DGEMP-Observatoire de l'Énergie**, publié en 2004, a été construit pour répondre à une demande spécifique de l'Agence internationale de l'énergie (AIE), conformément à l'engagement de la France vis-à-vis de cette Agence de communiquer un tel scénario lors de la revue en profondeur 2003-2004.
- **Le scénario DGEMP Objectif Facteur 4**, publié en 2005. Le soutien à un objectif international d'une division par 2 des émissions mondiales de gaz à effet de serre d'ici 2050 nécessite une division par 4 ou 5 des émissions pour les pays développés. Pour y parvenir, le Président de la République a fixé un objectif de division par quatre de nos

---

<sup>1</sup> Cf. État de l'art sur les scénarios énergétiques (annexe 6)

<sup>2</sup> Scénarios tendanciel à 2030 (*World energy outlook 2006*) et technologique à 2050 (*Energy technology perspective 2006*)

<sup>3</sup> Scénarios 2050 à paraître en novembre 2007

<sup>4</sup> *Global scenarios to 2025* (2005) et *The outlook for energy, a view to 2030* (2005)

<sup>5</sup> Cf. annexe 1 du rapport Energie 2010-2020

émissions de gaz à effet de serre d'ici à 2050, qui a été inscrit dans le Plan climat du Gouvernement en 2005. Un groupe de travail interministériel, présidé par Christian de Boissieu, président délégué du Conseil d'analyse économique, a réfléchi aux incidences socio-économiques d'un tel engagement.

- **Le scénario dit "avec mesures existantes" (MIES)** à l'horizon 2020 dans le cadre du Programme national de lutte contre le changement climatique (PNLCC), fait État des efforts nationaux réalisés dans le cadre des engagements nationaux relatifs au protocole de Kyoto.
- **Les scénarios du Conseil général des Ponts et chaussées (CGPC)** s'intéressent en particulier à l'évolution des transports à l'horizon 2050.
- **Le scénario de "division par trois" en 2030 du Conseil général des mines (CGM)** décrit les différentes options techniques et technologiques permettant d'atteindre un objectif de division par trois des émissions de GES à l'horizon 2030.

Le groupe "Scénarios énergétiques" de la Commission Énergie a pour objectif de produire :

- d'une part un scénario de référence à 2030 qui intègre les plans et mesures nationaux et européens existant ou quasi sûrs,
  - d'autre part un scénario Facteur 4 répondant à l'orientation exprimée par la loi du 13 juillet 2005, comportant des mesures volontaristes.
- Dans le prolongement du rapport du groupe de travail "Facteur 4", les travaux du groupe visent à apporter une quantification de cet objectif pour le système énergétique français au regard des principaux secteurs d'activités.

Le présent rapport se concentre sur l'élaboration des hypothèses. Pour ce faire, il s'appuie sur les travaux des autres groupes de travail de la Commission et sur les exercices de perspectives récents menés dans les différents domaines d'intérêt, en particulier :

- de la DGEMP : Scénario tendanciel à 2030 et étude Facteur 4 à 2050<sup>6</sup> ;
- du CEPII : Étude Scénarios de long terme de l'économie mondiale CEPII (horizons 2020 et 2050)<sup>7</sup> ;
- de la Mission interministériel effet de serre (MIES) : scénarios du Plan climat 2010 et 2020<sup>8</sup> ;
- du BIPE : Projections macro-économiques et sectorielles à l'horizon 2025<sup>9</sup> ;
- du CGPC : Prospective transport à 2050<sup>10</sup>;
- du Ministère de l'Équipement/DGUHC : Évolutions tendancielle à 2030 dans les bâtiments<sup>11</sup>.

Les travaux de modélisation puis de simulation souhaitent apporter à la Commission Énergie une vue détaillée du système énergétique français d'ici à l'horizon 2050. Il est entendu que le scénario tendanciel n'est établi que jusqu'à 2030 ; la prolongation des mesures connues ou pressenties ayant été jugée trop aléatoire au-delà de cet horizon. En revanche, il s'agit de

---

<sup>6</sup> Cf. § 2.1.1

<sup>7</sup> Cf. annexe 9

<sup>8</sup> Cf. § 2.1.3

<sup>9</sup> Cf. annexe 9

<sup>10</sup> Cf. annexe 4

<sup>11</sup> Cf. annexe 5

proposer au travers du scénario Facteur 4 une description d'un avenir possible qui répondrait aux enjeux énergétiques de la France, tel que la loi d'orientation de juillet 2005 en a posé les grands objectifs. Le travail sur les hypothèses puis les restitutions des simulations doivent donc permettre :

- d'établir une quantification détaillée des hypothèses du système énergétique en ce qui concerne la demande et l'offre et d'assurer la cohérence des données sur tout l'horizon considéré. Les résultats de simulation apporteront ainsi une vision prospective cohérente à 2050 d'un ou plusieurs scénarios qu'il ne faut pas confondre avec des prévisions.
- d'identifier dans les différents secteurs les principales discontinuités auxquelles pourrait avoir à faire face le système énergétique national (ex. décalage entre l'offre et la demande) ;
- d'évaluer ou d'identifier les gisements potentiels d'économies d'énergie ou de réduction des émissions de GES et l'impact des mesures politiques qui permettraient de les atteindre (le modèle décrivant les dynamiques des différents éléments du système permet d'observer les effets des mesures à moyen et long terme) ;
- d'identifier aussi finement que possible les limites, en particulier le coût pour atteindre le Facteur 4. Ainsi, les travaux doivent conduire à disposer d'un modèle qui puisse évaluer les différentes voies (évolutions techniques et organisationnelles) pour atteindre le meilleur rapport performance/coût de la trajectoire vers le Facteur 4.

Les travaux de simulation comprendront donc des études de sensibilité sur un certain nombre de paramètres.

Deux outils de modélisation sont utilisés, MEDEE - POLES<sup>12</sup> et MARKAL<sup>13</sup>, dont les principes de modélisation et de résolution sont différents mais complémentaires. Leur description est donnée dans les *annexes 7 et 8*.

## > **2. SCENARIO DE REFERENCE**

### *2.1 Rappel des références existantes*

#### **2.1.1 Scénario tendanciel DGEMP 2004<sup>14</sup>**

Le scénario proposé est un scénario « de référence à caractère tendanciel », à l'horizon 2030, compatible avec le concept de scénario dit « business as usual » de l'AIE (Agence internationale de l'énergie), conformément à l'engagement de la France vis-à-vis de cette Agence de communiquer un tel scénario lors de la revue en profondeur 2003-2004 de la politique énergétique française. Ses hypothèses macro-économiques sont cohérentes avec le scénario tendanciel publié par la DGEMP en 2000, ainsi qu'avec les scénarios S1 (« Société de marché »), S2 (« État industriel ») et S3 (« État protecteur de l'environnement ») du Groupe « Énergie 2010-2020 » présidé en 1998 par Pierre Boisson au sein du Commissariat général du plan.

Par convention, dans le scénario considéré, les politiques et mesures affectant l'énergie qui s'appliqueront dans l'avenir sont celles qui étaient décidées fin 2003 ou très certainement

---

<sup>12</sup> Enerdata

<sup>13</sup> Ecole des Mines

<sup>14</sup> Source DGEMP, synthèse des résultats, avril 2004

susceptibles de l'être à brève échéance si elles devaient avoir une application immédiate. En conséquence, ni les dispositions de la loi d'orientation sur l'énergie du 13 juillet 2005, ni les mesures préconisées par le Plan climat 2004 ne sont prises en compte. S'agissant de la lutte contre le changement climatique, le protocole de Kyoto, en tant que tel, n'est donc pas pris en considération.

Dans ce scénario tendanciel, la France ne devrait donc pas connaître de crise majeure ou de rupture marquée sur les plans économique, social et politique. Elle devrait voir la poursuite de la construction européenne et de la mondialisation des échanges, ainsi que le maintien de l'évolution technologique actuelle pour l'énergie ; ainsi, pour le nucléaire, le réacteur nucléaire EPR fait partie intégrante du scénario.

Les principales hypothèses structurantes avaient été fixées comme suit sur 2004-2030.

#### 2.1.1.1 Macro-économie

- Croissance économique de +2,3 % par an déclinée par secteur selon des projections à 2020 établies en 1998 par le BIPE (Club « DIVA ») et prolongées à « dire d'experts » avec l'aide des différents départements ministériels plus particulièrement concernés ;
- Croissance démographique en ralentissement : +0,3 % par an en moyenne pour la France métropolitaine, mais +0,7 % pour le nombre de ménages et stabilité pour la population active (hypothèse dite « centrale » de l'INSEE publiée en 2003) ;
- Parité de taux de change entre l'euro et le dollar ;
- Prix du Brent égal à 30 \$ par baril (dollar constant de 2003) ;
- Prix international du gaz naturel égal à 4,0 \$/Mbtu (indexation sur le prix du brut) ;
- Prix international du charbon compris entre 40 et 50 \$/t ;
- Taux d'actualisation égal à 8 % (en réel) ;
- Séquestration du carbone : non prise en compte à l'horizon 2030 ;
- Directive 2003/87 du 13 octobre 2003 sur l'échange de quotas d'émission de GES non prise en compte, dans l'incertitude sur la quantification de ses effets.

#### 2.1.1.2 Hypothèses sectorielles

Dans le cadre des principes énoncés ci-dessus, les options sectorielles suivantes avaient été retenues :

##### • Hypothèses sur la demande

- Transport : l'accord ACEA-2010 (140 gCO<sub>2</sub>/km) s'applique pleinement à la France, dès 2008, mais l'étape suivante (120 gCO<sub>2</sub> en 2012) n'est pas prise en considération; la climatisation, qui ne fait pas partie de l'accord ACEA, est prise en compte en ajoutant une surconsommation (5 % au départ, un gradient croissant ensuite) qui tient compte de la concurrence vitesse/climatisation dans le partage de l'énergie utile fournie par le moteur.
- Industrie : les accords volontaires signés dans le cadre de l'AERES sont réputés respectés.
- Résidentiel/Tertiaire : les réglementations thermiques RT 2000 et RT 2005 sont pleinement appliquées avec un délai d'apprentissage de cinq ans et les pouvoirs publics font en sorte de conjurer les risques d'effets rebond, surtout par des mesures

coercitives (contrôle/sanction) ; la directive sur l'efficacité énergétique dans les bâtiments est supposée s'appliquer.

- **Hypothèses sur l'offre**

**Électricité :**

- Solde exportateur d'électricité calculé sur 2004-2030 selon un modèle d'optimisation européenne développé par RTE ;
- Part d'électricité d'origine « renouvelable » dans la consommation : taux de 21 % d'électricité prévu par la directive 2001/77 du 27 septembre 2001 atteint en 2010, mais ensuite conforme à un profil « tendanciel » jusqu'en 2030, avec la contrainte de ne pas diminuer en quantité l'électricité ainsi produite ;
- Coûts de référence de la production d'électricité : ceux de l'étude DIDEME parue en 2003 pour les moyens centralisés ;
- Contraintes environnementales : la directive « GIC » pour les installations d'électricité s'applique pleinement ;
- Nucléaire : le taux moyen de disponibilité des centrales progresse entre 2003 et 2010 pour atteindre 85 % ; Eurodif est remplacé par l'ultracentrifugation à partir de 2015 ; les centrales nucléaires sont supposées s'arrêter dès qu'elles atteignent 40 ans de durée de vie (en 2017, par exemple, pour la centrale de Fessenheim) ; le remplacement des centrales ne se fait pas systématiquement mais conformément au schéma ci-après : mise en service de deux nouvelles tranches EPR par an, soit 3 200 MW par an, à compter de 2020, après une tête de série mise en service en 2013, de sorte qu'en fin de période la puissance totale installée est d'environ 51 GW (contre 63 GW en 2003) ; le solde du parc de production d'électricité est calculé à l'aide du modèle d'optimisation de RTE, avec les contraintes précitées sur l'électricité d'origine renouvelable et des contraintes d'infrastructures pour l'électricité au gaz.

**Gaz :** dans la limite de l'exercice considéré, il est supposé que les besoins en gaz seront satisfaits, dans les conditions économiques précitées, sans difficultés d'approvisionnement autres que des limitations sur les infrastructures (stockage, terminaux méthaniers, conduites de gaz) et le souci de diversification des opérateurs.

**Raffineries :** activité calculée sur 2004-2030 selon un modèle d'optimisation européenne développé par l'IFP qui prend en compte les projets d'investissements récemment décidés par les raffineurs.

**Biocarburants :** taux d'incorporation de 3 % dans les carburants (hors carburéacteurs) d'ici 2030 (à comparer à moins de 1 % en 2003).

- **Hypothèses technico-économiques**

Les hypothèses concernant l'évolution de l'efficacité énergétique et des consommations unitaires résultent de dires d'experts recueillis notamment à partir de la consultation des ministères concernés et de l'ADEME, avec validation par un comité de liaison installé par la DGEMP.

### 2.1.1.3 Principaux résultats

Les parcs de production d'électricité installés de 2010 à 2030, par application du modèle RTE avec les hypothèses du scénario tendanciel sont donnés *tableau 1*, et les principaux indicateurs énergétiques sur le *tableau 2*.

**Tableau 1 : Mix énergétique du scénario tendanciel 2030**

En %	1973	1980	1990	2000	2010	2020	2030
Charbon	12,3	9,2	6,8	4,3	3,7	3,2	3,2
Pétrole	65,3	60,1	52,6	50,8	48,5	45,6	42,9
Gaz	7,2	12,9	16,3	19,2	20,9	21,9	22,4
Electricité	9,0	12,4	17,1	19,4	19,9	21,7	23,0
Énergies renouvelables therm. (*)	6,2	5,4	7,2	6,2	7,1	7,6	8,6
<b>Total énergie finale</b>	<b>100,0</b>						

\* hors hydraulique, éolien et photovoltaïque

(en MW de puissance nette installée) (*)	2000	2010	2020	2030
Nucléaire	68 183	63 130	62 560	50 670
dont : - REP (et Phénix jusqu'en 2008)	63 183	63 130	57 760	13 870
- EPR	-	-	4 800	36 800
Charbon	8 210	5 330	7 450	12 600
CCG		1 040	5 040	13 840
Fioul	3 540	5 080	5 080	-
TAC fioul et gaz	810	810	3510	9600
Gaz dérivés (gaz de hauts fourneaux)	310	620	620	620
Thermique divers non ENR (auto-production, cogénération, ...)	7 700	10 400	10 400	10 400
Thermique ENR (**)	500	550	1 450	1 700
Hydraulique	25 300	25 400	25 400	25 400
Eolien	56	3 200	17 100	19 100
<b>Total</b>	<b>109 609</b>	<b>115 560</b>	<b>138 610</b>	<b>143 930</b>

REP = réacteur à eau légère pressurisée (parc actuel) ; TAC = turbine à combustion ; CCG = centrale à cycle combiné au gaz ; (\*) Les valeurs pour 2000 diffèrent légèrement des données officielles de l'Observatoire de l'énergie, en raison d'une différence de méthodologie (notamment sur la prise en compte des centrales "sous cocon") ; (\*\*) Sur la base d'une production de 2,6 TWh pour 500 MW.

Source : DGEMP OE, 2004

**Tableau 2 : Indicateurs du scénario tendanciel 2030**

	Projection 2030
<b>Consommation d'énergie primaire (diminuée de la consommation de la branche énergie)</b>	228 Mtep (175 Mtep en 2000) 0,9 %/an (1,2 % entre 1990 et 2000)
<b>Consommation d'énergie finale</b>	209 Mtep (158 Mtep en 2000) 0,9 %/an (1 % entre 1990 et 2000)
<b>Intensité énergétique</b>	Primaire : -1,5 %/an Finale : -1,3 %/an
<b>Emissions de CO<sub>2</sub></b>	537 Mt CO <sub>2</sub> (388 en 2000)

Source : DGEMP OE, 2004

### 2.1.2 Principaux objectifs de la loi d'orientation du 13 juillet 2005

La loi du 13 juillet 2005 fixe les cinq grands objectifs de la politique énergétique française pour les 30 ans à venir :

- Contribuer à l'indépendance énergétique nationale ;
- Garantir la sécurité d'approvisionnement ;

- Assurer un prix compétitif de l'énergie ;
- Préserver la santé humaine et l'environnement, en particulier en luttant contre l'aggravation de l'effet de serre ;
- Garantir la cohésion sociale et territoriale en assurant l'accès à tous de l'énergie.

Dans ce cadre, les principaux objectifs fixés au global et par secteur sont résumés dans le *tableau 3*.

**Tableau 3 : Principaux objectifs de la loi du 13 juillet 2005**

	Objectifs nationaux
<b>Emissions de GES</b>	Soutien à la division par 2 des émissions mondiales de GES d'ici 2050, ce qui nécessite une division par 4 ou 5 des émissions pour les pays développés. La loi soutient l'objectif de division par 4 de nos émissions de gaz à effet de serre d'ici 2050.
<b>Intensité énergétique finale</b>	Maîtrise de la demande d'énergie : réduction de 2 %/an d'ici à 2015 et 2,5 %/an d'ici à 2030.  Certificats d'économies d'énergie : le décret relatif aux obligations d'économies d'énergie fixe un objectif national de 54 Mrds de kWh d'économies d'énergie cumulées pour la période du 1 <sup>er</sup> juillet 2006 au 30 juin 2009. Cet objectif sera réparti entre les différents vendeurs d'énergie au prorata de leurs ventes aux consommateurs finals. Le dispositif a pour but d'inciter les vendeurs d'énergie à vendre aussi des économies d'énergie.
<b>Énergie</b>	<u>Énergies renouvelables</u>  Diversification du bouquet énergétique : <ul style="list-style-type: none"> <li>- 10 % des besoins énergétiques français à partir de sources d'énergie renouvelables à l'horizon 2010 ;</li> <li>- Production intérieure d'électricité d'origine renouvelable à hauteur de 21 % de la consommation en 2010 ;</li> <li>- Développement des énergies renouvelables thermiques pour permettre d'ici 2010 une hausse de 50 % de la production de chaleur d'origine renouvelable.</li> </ul> <u>Nucléaire :</u>  Maintien de l'option nucléaire ouverte à l'horizon 2020 en disposant vers 2015 d'un réacteur nucléaire de nouvelle génération opérationnel.  Le prolongement au-delà de 40 ans n'est pas garanti ; cela dépend au cas par cas le moment venu, de l'évaluation de l'aptitude des centrales à respecter les exigences de sûreté.
<b>Bâtiments</b>	Objectif d'amélioration de la performance énergétique dans le neuf de 40 % en 2020. Aller vers une part significative de logements à énergie positive.  La priorité porte sur l'amélioration du parc de logements anciens, compte tenu du faible taux de renouvellement (1 %/an).  Plan face sud de promotion des énergies renouvelables dans le bâtiment : objectif d'installation de 200 000 chauffe-eau solaires et de 50 000 toits solaires par an en 2010.  Dépassement du COS de 20 % pour les constructions remplissant les conditions de performances énergétiques ou comportant des équipements de production d'énergie renouvelables.
<b>Transport</b>	Réduction des émissions individuelles moyennes de CO <sub>2</sub> des voitures neuves à 120 gCO <sub>2</sub> /km à l'horizon 2012. Ainsi qu'un objectif de réduction pour les utilitaires, poids lourds et deux roues.  L'amélioration des comportements de conduite.  La définition de politiques d'urbanisme permettant d'éviter un étalement urbain et facilitant le recours aux transports en commun.  L'amélioration du rendement énergétique de la chaîne logistique des entreprises

	notamment en matière de transport de marchandises et l'optimisation des déplacements des salariés entre leur domicile et leur lieu de travail. La réduction des GES des avions.
<b>Industrie</b>	L'État souhaite appuyer les efforts des entreprises pour améliorer l'efficacité énergétique des processus de production par les procédés les moins émetteurs de GES, notamment via le système d'échange de permis. La France propose la mise en place de seuils de consommation maximale des appareils électriques en veille, vers 1 watt par appareil de grande diffusion.
<b>Agriculture</b>	Plan terre énergie : objectif d'une économie d'importation d'au moins 10 Mtep en 2010 grâce à l'apport de biomasse pour la production de chaleur et de carburants (importations 2005 : 175 Mtep).

Source : JO du 14 juillet 2005

### 2.1.3 Plan climat

En ratifiant le protocole de Kyoto<sup>15</sup>, l'Europe (UE-15), s'est engagée à réduire de 8 % ses émissions de GES en 2012 par rapport à 1990 (4200 MteCO<sub>2</sub>). Pour la France, il s'agit d'une stabilisation à 568 MteCO<sub>2</sub> en 2012.

L'*annexe 1* montre les performances des pays européens vis-à-vis de l'objectif de Kyoto. Au global, l'Europe doit renforcer les mesures existantes pour atteindre les objectifs fixés par le Protocole pour 2012 (*Figure A1.1*). La France fait partie des 8 pays de l'UE-15 qui devraient réussir à améliorer leurs émissions par rapport à 1990 (*Figure A1.2*).

En juillet 2004, le gouvernement français a lancé le Plan climat 2004 – 2012 définissant des actions nationales de prévention du changement climatique avec cet objectif. Ce Plan s'adresse à tous les secteurs mais en tenant compte de l'évolution tendancielle de chacun. Ainsi, les secteurs agriculture, industrie et énergie doivent baisser leurs émissions pour compenser la croissance dans les transports et le résidentiel/tertiaire.

L'objectif étant à 2012, le Plan climat met la priorité sur les mesures qui produisent des résultats avant cette date<sup>16</sup>.

L'engagement de l'État dans le cadre de la politique de lutte contre le changement climatique est évalué à plus de 2 Mrds d'euros/an de dépenses publiques.

Le bilan 2005 des émissions par secteur depuis 1990 est donné *tableau 4*. Les mesures nouvelles souhaitent mettre l'accent en priorité sur les deux points suivants :

- le bâtiment existant qui recèle des gisements importants d'économies (les réglementations pour le neuf sont jugées satisfaisantes). La priorité consiste à mettre en application les différentes mesures avec les technologies disponibles. Le Plan recommande de travailler avec les acteurs de proximité, notamment les collectivités locales, les réseaux bancaires, les filières professionnelles mais aussi par une homologation de l'offre ;
- le transport des personnes.

Les mesures nouvelles (2006) doivent permettre un gain supplémentaire de 6 à 8 MteCO<sub>2</sub>/an.

<sup>15</sup> Le protocole de Kyoto : un engagement de limitation des émissions des pays de l'annexe B, pour parvenir en moyenne annuelle sur la période 2008-2012, à une réduction globale de 5,2 % par rapport au niveau de 1990

<sup>16</sup> Chaque année est comptabilisée de manière irréversible

**Tableau 4 : Bilan 2005 des émissions de CO<sub>2</sub> par secteur entre 1990 et 2005**

Secteur	Emissions MteCO <sub>2</sub> 1990/2005	
	MteCO <sub>2</sub>	
Résidentiel /tertiaire	89/103	+ 16 %
Énergie	79/71	- 9 %
Transport	121/147	+ 21 %
Industrie	142/115	- 19 %
Agriculture Sylviculture Déchets	118/105	- 11 %
Total	565/555	- 1,7 %

Source : Plan climat 2004 – 2012, MIES, CITEPA, 2007

Les simulations menées dans le cadre du Plan climat apportent les indications suivantes (figure 1) :

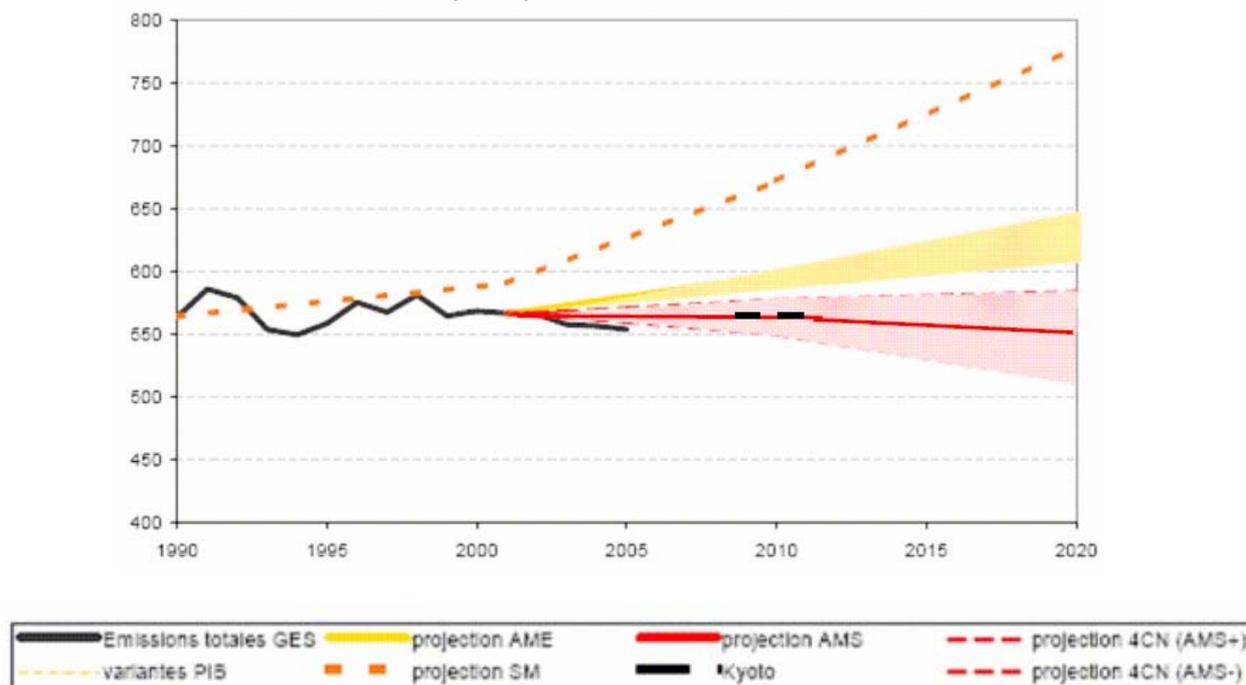
- La réalisation des mesures existantes (projections AME) conduit en trajectoire moyenne à des émissions de 597 MteCO<sub>2</sub> en 2010 (-78 MteCO<sub>2</sub>) et 626 MteCO<sub>2</sub> en 2020. L'effet provient principalement des économies d'énergie, de la politique de traitement des déchets et de la baisse des émissions de N<sub>2</sub>O et de gaz fluorés.
- L'addition de mesures supplémentaires (projections AMS) conduit en trajectoire moyenne à des émissions de 563 MteCO<sub>2</sub> en 2010 (-34 MteCO<sub>2</sub>) et 550 MteCO<sub>2</sub> en 2020. Les meilleurs résultats (AMS +) conduisent à une baisse des émissions de 10 % en 2020 par rapport à 1990 (à comparer avec l'objectif -20 % de l'UE, cf. §2.1.4).

Les mesures principales comprennent :

- Transport (-10 MteCO<sub>2</sub>) : renforcement du cadre de soutien au développement des biocarburants (défiscalisation, TGAP), éco conduite, modulation CO<sub>2</sub> du certificat d'immatriculation.
- Bâtiments (-3,4 MteCO<sub>2</sub>) : RT 2005 et suivantes, application de la directive efficacité énergétique des bâtiments, programme de rénovation ANRU ; renforcement du crédit d'impôt aux particuliers et mise en place des certificats d'économies d'énergie.
- Énergie (-11 Mte CO<sub>2</sub>) : baisse de la demande électrique *via* la mise en place des certificats d'économies d'énergie et des réglementations du bâtiment, et le soutien au développement des énergies renouvelables par le tarif d'achat et les appels d'offres du plan pluriannuel d'investissement (PPI).
- Industrie (-7,8 Mte CO<sub>2</sub>) : effort induit par l'application du Plan national d'allocation des quotas (PNAQ), la baisse des émissions de gaz fluorés par l'application des directives européennes recyclage, l'extension de la réglementation aux installations de HFC et le règlement et la directive européenne sur les gaz fluorés.
- Agriculture (-1,4Mte CO<sub>2</sub>) : campagne de réglage des engins agricoles, soutien à la capture de biogaz.
- Déchets : Plan déchets.

Le tableau A2.1 (annexe 2) résume les principales mesures et chiffres du Plan climat.

**Figure 1 : Projections relatives aux effets des mesures existantes (AME) et nouvelles (AMS) du Plan climat 2004 – 2012**



Source : MIES, 2007

#### 2.1.4 Objectifs européens

Le paquet énergie du 10 janvier 2007, "an energy policy for Europe", fait suite au Livre vert "une stratégie de l'UE pour une énergie sûre, compétitive et durable" (8 mars 2006).

Le document rappelle les enjeux de la stratégie européenne de l'énergie :

- la **durabilité** environnementale : 80 % des émissions de GES dans l'UE proviennent de la façon dont l'énergie est produite et consommée ; selon le scénario tendanciel, les émissions augmenteront encore d'ici 2030 de 5 % au niveau de l'UE et de 55 % au niveau mondial.
- la **sécurité d'approvisionnement** : la dépendance énergétique extérieure globale de l'UE passerait de 50 % aujourd'hui à 65 % en 2030 ; 57 à 84 % pour le gaz ; 82 à 93 % pour le pétrole ; la consommation d'électricité augmenterait de 1,5 % par an.
- la **compétitivité** : avec un baril à 100\$ (\$ 2005) en 2030, la facture énergétique de l'UE-27 sera de 170 milliards d'euros, soit 50 % plus élevée qu'aujourd'hui<sup>17</sup>.

Le plan d'action proposé a pour objectif stratégique de conduire la transformation de l'Europe vers une économie hautement efficace et peu polluante au plan énergétique. Cette transformation est présentée comme une véritable révolution industrielle accélérant le changement vers une croissance sobre en carbone dans les prochaines décennies. L'enjeu est d'atteindre le résultat escompté en assurant conjointement une meilleure compétitivité de l'économie européenne et en limitant le coût des mesures.

Les principaux chiffres des objectifs sont résumés dans le tableau 5.

<sup>17</sup> Ou encore une facture équivalent à 350 euros par citoyen européen

**Tableau 5 : Objectifs chiffrés proposés par l'UE dans le paquet énergie du 10 janvier 2007**

	Objectifs de l'UE
<b>Emissions de GES<sup>18</sup></b>	20 % de réduction d'ici 2020 (base 1990). Un objectif pour les négociations internationales de 30 % de réduction des émissions de GES en 2020 et 50 % en 2050 (soit une réduction de 60 à 80 % pour les pays développés en 2050).
<b>Economies d'énergie</b>	Réduire la consommation d'énergie primaire de 20 % en 2020, soit une économie d'énergie de 13 % par rapport à 2006 en tenant compte de la croissance (gain estimé de 100 Mrds€ et de 780 MtCO <sub>2</sub> /an)
<b>Énergies renouvelables</b>	20 % du <i>mix</i> énergétique en 2020 (7 % aujourd'hui) <sup>19</sup> . Production d'électricité <sup>20</sup> à partir de renouvelables : 21 % en 2010.
<b>Transports</b>	Minimum d'incorporation de 10 % <sup>21</sup> de biocarburants dans les carburants pour les transports en 2020 (Indicatif de 14 %).

Source : UE

Les réflexions et les intentions des États se structurent autour de nouveaux objectifs comme l'illustrent les deux points suivants :

1. Le tableau 6 présente une comparaison entre les objectifs de l'Union européenne et le Plan d'action en faveur de l'environnement des États-Unis.

**Tableau 6 : Comparaison des objectifs de l'UE et des États-Unis**

	Objectifs de l'UE	Objectifs du Plan d'action en faveur de l'environnement (Discours de l'Union 23/01/07)
<b>Emissions de GES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 20 % de réduction d'ici 2020 (base 1990)<sup>22</sup>.</li> <li>• Un objectif pour les négociations internationales de 30 % de réduction des émissions de GES en 2020 et 50 % en 2050 (soit une réduction de 60 à 80 % pour les pays développés en 2050).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduction de 18 % des émissions d'ici à 2012 (base 2006).</li> <li>• Appuyée par 29 Mrds \$ de R&amp;D, d'assistance et d'incitations dans le domaine énergie - environnement</li> <li>• Décret sur la salubrité de l'air et Loi ciel propre.</li> </ul>
<b>Economies d'énergie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduire la consommation d'énergie primaire de 20 % en 2020, soit une économie d'énergie de 13 % par rapport à 2006 (gain de 100 Mrds€ et 780 MtCO<sub>2</sub>/an).</li> <li>• Proposition en 2007 d'un accord international sur l'efficacité énergétique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• D'ici à 2017, les économies de carburants et les biocarburants permettraient la réduction annuelle de 10 % des émissions des transports, soit 175 MtCO<sub>2</sub>. (600 MtCO<sub>2</sub> cumulées d'ici 2017).</li> </ul>

<sup>18</sup> Répartition des émissions de GES au niveau européen (2004) : énergie 59 % (charbon 30 %), transport 21 %, agriculture 9 %, industrie 8 %, déchets 3 %

<sup>19</sup> Selon l'UE, l'Europe est leader mondial dans les énergies renouvelables avec un chiffre d'affaires de 20 Mrds€. 300 000 personnes sont employées dans ce secteur

<sup>20</sup> *Mix* actuel de la production d'électricité : charbon 30 %, gaz 20 %, pétrole 4 %, nucléaire 31 %, énergie renouvelables 14 % + divers (source Eurostat)

<sup>21</sup> 1 % en 2005, 5,75 % en 2010

<sup>22</sup> Répartition des émissions de GES au niveau européen (2004) : énergie 59 % (charbon 30 %), transport 21 %, agriculture 9 %, industrie 8 %, déchets 3 %

<p><b>Énergie</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 20 % d'énergies renouvelables dans le <i>mix</i> primaire en 2020 (7 % aujourd'hui).</li> <li>• 21 % de production d'électricité à partir de renouvelables en 2010.</li> <li>• Mettre en place un mécanisme qui permette la construction et l'exploitation en 2015 de 12 démonstrateurs CCS de grande taille</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Promotion des technologies charbon propre : 1,6 Mrds\$ de crédits d'impôts pour aider à compenser le coût des investissements de 9 centrales (10 Mrds\$) utilisant les techniques de réduction.</li> <li>• Cette expérience aboutira à la centrale thermique expérimentale FutureGen en 2012 : 1<sup>ère</sup> centrale de production combiné électricité et hydrogène à très faibles émissions (1 Mrds\$).</li> <li>• Projet des techniques de séquestration à grande échelle d'un potentiel de 600 Mrds de tCO<sub>2</sub> ≅ 200 ans d'émissions du parc thermique des États-Unis.</li> <li>• Réforme de l'évaluation des réglementations vis-à-vis de l'efficacité, la pollution et la sûreté (New source review, NSR). Dans le secteur de l'électricité, la réforme permettra des investissements immédiats visant l'efficacité et réduira les émissions de CO<sub>2</sub> alors même que les usines investiront environ 50 Mrds\$ au cours des 15 prochaines années pour réduire la pollution et satisfaire aux nouveaux critères d'assainissement de l'atmosphère.</li> </ul>
<p><b>Transports</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Minimum d'incorporation de 10 %<sup>23</sup> de biocarburants dans les carburants pour les transports en 2020 (Indicatif de 14 %).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stopper la progression des émissions de CO<sub>2</sub> des véhicules d'ici 10 ans.</li> <li>• Réduire de 20 % les carburants fossiles d'ici 10 ans ; substitution de 15 % par des biocarburants et 5 % de réduction de la consommation des véhicules (l'objectif de 35 Mrd gallons en 2017 = 5 fois l'ancien objectif de 2012))</li> <li>• Plans de réduction des congestions, d'économie de carburants et des pertes de temps (coût année 2003 des congestions estimé à 63 M\$).</li> <li>• R&amp;D Biofuels Initiative : 179 M\$ (2008, +19 %)</li> </ul>
<p><b>Industrie</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Africa-Europe Energy partnership</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Partenariat Asie-Pacifique sur le développement propre et le climat. Ce partenariat accélère les investissements et crée des marchés pour des technologies, des biens et des services plus propres et plus efficaces tout en stimulant la croissance économique durable et en réduisant la pauvreté.</li> <li>• Travaux <i>via</i> le G8 : "Gleneagles Plan of action".</li> <li>• 100 programmes et projets sectoriels dans le cadre de 8 groupes de travail : aluminium, bâtiments et appareils ménagers, ciment, énergie fossile plus propre, mines de charbon, production et distribution d'électricité, production et distribution d'énergies renouvelables et acier.</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coopération avec le secteur privé : engagements de 14 secteurs industriels et de la Business Roundtable, dirigée par plus de 100 sociétés, de tenter de résoudre le problème des émissions de GES, dans le cadre de partenariats avec le Ministère de l'énergie et l'Agence de protection de l'environnement.</li> </ul>

<sup>23</sup> 1 % en 2005, 5,75 % en 2010

<b>Technologies</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plateformes technologiques</li> <li>• En 2007, un Plan stratégique européen des technologies énergétiques.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• R&amp;D : Advance energy initiative (2,7 Mrds\$ en 2008, + 26 %/2007, + 53 %/2006)</li> <li>• Partenariats internationaux sur la technologie : fusion, hydrogène, Gen 4, énergies renouvelables, économies d'énergie, CCS, piégeage du méthane.</li> </ul>
---------------------	--	---

Source : UE, USA-White House President

2. Le Gouvernement britannique a publié le 13 mars 2007 un projet de loi sur le changement climatique qui fixe un objectif de réduction par rapport à 1990 de 60 % des émissions de CO<sub>2</sub> de la Grande-Bretagne en 2050 et un objectif intermédiaire de 26 à 32 % en 2020.

Pour le moyen terme, cette initiative va donc au-delà de l'objectif de -20 % en 2020 (base 1990) proposé par l'UE dans le paquet énergie du 10 janvier 2007.

Pour le long terme, le projet se rapproche de la loi d'orientation française du 13 juillet 2005 qui soutient (sans le rendre obligatoire) un objectif à 2050 de division par 4 des émissions de gaz à effet de serre. Les résultats seront rapportés annuellement devant le Parlement et le plan de quotas de réduction sera révisé tous les 5 ans. Des pouvoirs supplémentaires sont donnés au gouvernement pour engager plus facilement de nouvelles politiques.

Le projet anglais exprime la volonté du pays de soutenir dans les faits le post 2012, et d'engager résolument la transition vers une économie faiblement carbonée. Les différents secteurs de la société seront sollicités, ce qui implique des économies d'énergies, des investissements dans les technologies propres et la modification substantielle des modes de consommations. Mais cela devra se faire en maintenant le niveau de vie.

## 2.2 Synthèse des scénarios tendanciels et des objectifs à 2020

Les données d'émissions de GES par secteur sont comparées sur le tableau 7 pour les références suivantes :

- Plan climat 2004 – 2012 avec les effets des mesures nouvelles (AMS),
- Tendanciel DGEMP 2004,
- Commission européenne (-20 % par rapport à 1990, en réduisant de façon homogène les émissions des différents secteurs en 2005).

Par secteur, on observe que l'objectif 2020 de l'UE correspond à un effort d'environ 20 %<sup>24</sup> supplémentaire par rapport à la projection AMS 2010 (engagement de Kyoto).

En ce qui concerne le secteur de l'énergie, l'enveloppe PNAQ2 (déc. 2006), fixe d'ores et déjà pour 80 % du secteur une cible à 2012 de 49 MteCO<sub>2</sub>/an.

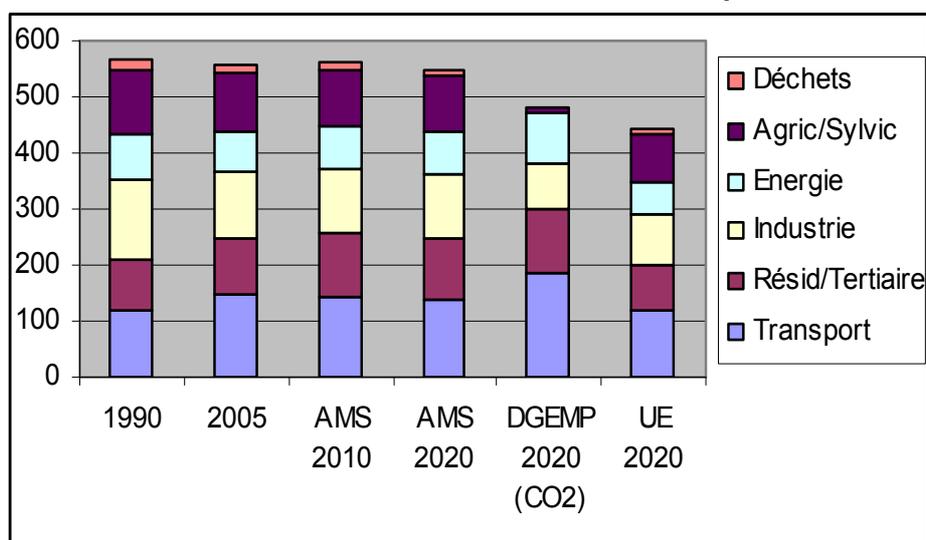
<sup>24</sup> Transport -18 %, Résidentiel/tertiaire -27 %, Industrie -20 %, Energie -26 %, Agriculture -17 %

**Tableau 7 : Comparaison des émissions par secteur entre différents exercices**

GES MteCO <sub>2</sub>	Référence 1990	2005	AMS 2010	AMS 2020	DGEMP 2030 (CO <sub>2</sub> seul)	UE 2020
Transport	121	147	144	139	184	118
Résid/Tertiaire	89	103	113	108	115	82
Industrie	142	115	115	114	80	92
Énergie	79	71	77 <sup>25</sup>	77	92	57
Agric/Sylvic	118	105	101	100	9	84
Déchets	16	14	12	10	0	11
<b>Total</b>	<b>565</b>	<b>555</b>	<b>562</b>	<b>548</b>	<b>480</b>	<b>444</b>

Source : CITEPA, MIES, DGEMP, UE

**Figure 2 : Comparaison des émissions par secteurs entre différents exercices : Plan Climat 2004 – 2012 avec les effets des mesures nouvelles (AMS), Tendanciel DGEMP 2004, Commission européenne**



Source CITEPA, MIES, DGEMP, UE

### > 3. SCENARIO FACTEUR 4

#### 3.1 Démarche de travail

La France soutient dans la loi du 13 juillet 2005 la définition d'un objectif de division mondiale par deux des émissions mondiales de gaz à effet de serre d'ici à 2050, ce qui nécessite

<sup>25</sup> Le PNAQ2 (déc. 2006) attribue une enveloppe de 49,1 MtCO<sub>2</sub>/an aux installations qui représentent 82 % du secteur de l'énergie, pour la période 2008-2012

compte tenu des différences de consommation entre pays, une division par quatre de ces émissions pour les pays développés.

Comme le souligne le rapport du Groupe de travail Facteur 4, diviser les émissions de GES par 4 à l'horizon 2050 est un objectif ambitieux et volontariste qui va devoir prendre en compte tout un ensemble de considérations techniques, technologiques, économiques et sociétales avec en toile de fond des choix et des enjeux majeurs pour les politiques publiques.

Le rapport établit qu'un défi important de la problématique Facteur 4 va consister à articuler deux approches complémentaires :

- une analyse sectorielle verticale, où sont déclinés l'un après l'autre les principaux secteurs concernés : l'industrie et l'énergie, les transports, le bâtiment, l'agriculture.
- une démarche transversale, touchant tous les secteurs, débouchant en particulier sur des questions de régulation publique.

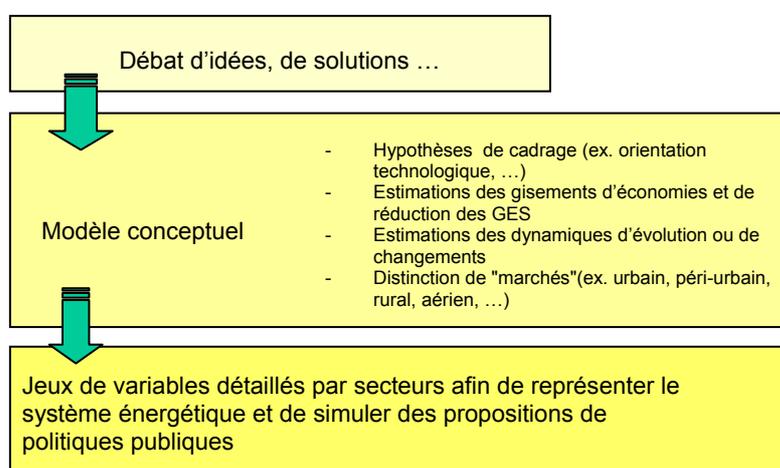
Le groupe « scénarios énergétiques » de la Commission Énergie s'est appuyé sur cette recommandation (cf. § 3.2 et 3.3).

La démarche de travail part de l'écoute des experts (groupes de travail de la Commission Énergie, ministères, université, industrie) sur les caractéristiques des différents secteurs et les pistes de réduction des émissions pour aboutir à la production d'un ensemble de variables et d'hypothèses détaillées pour les horizons 2030 et 2050.

Dans le but de modéliser finement le système énergétique, en particulier côté demande, et d'identifier les politiques et mesures pertinentes et réalistes vers le Facteur 4, il a été jugé nécessaire de rassembler au travers de cette démarche les informations suivantes (*figure 3*) :

- les hypothèses de cadrage stratégique par secteurs ;
- les estimations des gisements d'économies et de réduction des GES ;
- les estimations des dates et des dynamiques d'évolutions ou de changements ;
- la distinction de marchés où se rencontrent une demande (usages) et une offre de produits et d'énergie, pour prendre en compte les spécificités de la demande et ses possibilités d'évolution.

**Figure 3 : Démarche de travail pour l'élaboration des hypothèses Facteur 4 à 2050**



## 3.2 Approche sectorielle

### 3.2.1 Objectif théorique

Une trajectoire vers le Facteur 4 en 2050 peut être tracée à partir des objectifs des Plans existants (Plan climat, objectifs de l'UE) d'ici 2020 et d'une hypothèse de réduction des émissions au-delà. Les chiffres correspondant à cette simulation (*tableau 8, figure 4*) apportent alors les enseignements suivants :

- Le total des émissions en 2005 montre une légère progression par rapport à l'année 1990, prise comme référence. Les émissions des secteurs transport et résidentiel/tertiaire sont en nette augmentation alors que celles des autres secteurs baissent. L'addition entre les secteurs conduit à un résultat global quasi stable.
- Les projections des mesures du Plan climat pour 2010 permettraient de respecter l'objectif fixé par le Protocole de Kyoto pour la France à 568 MteCO<sub>2</sub>.
- L'objectif de -20 % des émissions de GES proposé par l'UE pour 2020 est obtenu arbitrairement en appliquant 20 % de réduction des émissions à chaque secteur par rapport au résultat obtenu en 2005.

Pour l'énergie, cet objectif à 2020 correspond d'ores et déjà à la cible PNAQ2 attribuée pour 2012.

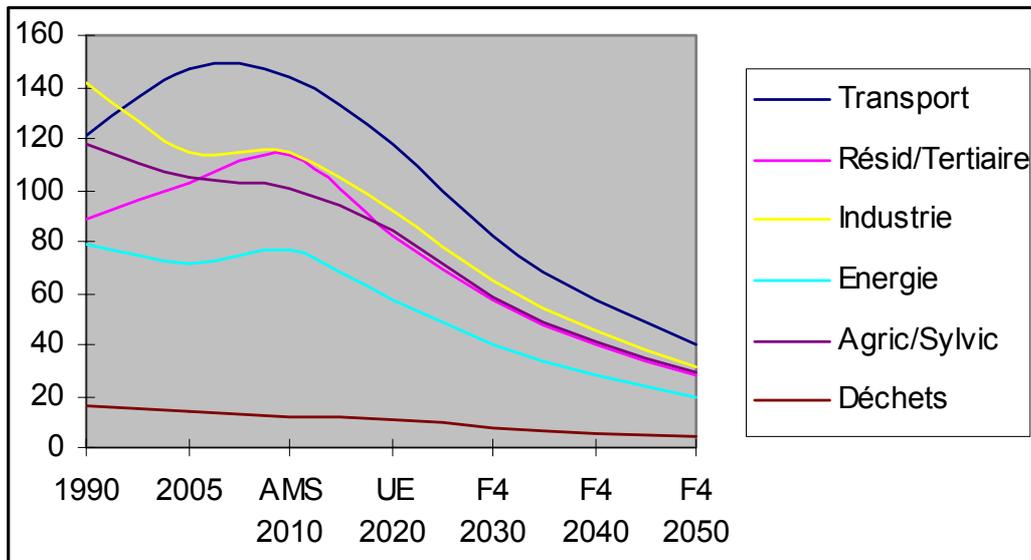
A l'horizon 2020, il est peu probable que l'on puisse permettre aux secteurs transport et résidentiel/tertiaire d'obtenir ne serait ce qu'une stabilisation de leurs émissions. Cela reviendrait à rechercher 50 MteCO<sub>2</sub> supplémentaires dans les autres secteurs. Une inflexion notable par rapport à la croissance tendancielle d'augmentation des émissions est donc nécessaire dans ces deux secteurs.

- Au-delà de 2020, il faut appliquer une baisse de -30 % tous les 10 ans pour atteindre le Facteur 4.

**Tableau 8 : Simulation de l'évolution des émissions de GES d'ici 2050**

	Référence 1990	2005	AMS 2010	UE 2020 (-20 %/2005)	F4 2030 (-20 %/2020)	F4 2040 (-30 %/2030)	F4 2050 (-30 %/2040)
<b>Transport</b>	121	147	144	118	82	58	40
<b>Résid/Tertiaire</b>	89	103	113	82	58	40	28
<b>Industrie</b>	142	115	115	92	64	45	32
<b>Énergie</b>	79	71	77	57	40	28	19
<b>Agric/Sylvic.</b>	118	105	101	84	59	41	29
<b>Déchets</b>	16	14	12	11	8	5	4
<b>Total</b>	565	555	562	444	311	218	152

**Figure 4 : Simulation des objectifs de baisse des émissions de GES vers le Facteur 4 en 2050**



Le Facteur 4 constitue donc un véritable défi qui doit engager des efforts significatifs dans tous les secteurs en adressant les gisements les plus importants. La cible de -20 % en 2020 proposée par l'UE est sur la trajectoire. Les secteurs transport et résidentiel/tertiaire constituent des priorités compte tenu de l'orientation tendancielle à la hausse de leurs émissions.

### 3.3.2 Caractéristiques des secteurs

Une description des données comparatives entre les secteurs est fournie en *annexe 3*. Les secteurs prioritaires Transports et Résidentiel/Tertiaire sont analysés dans les *annexes 4* et *5*.

### 3.3 Approche transversale

Nous proposons que la modélisation du système soit appréhendée au travers des trois éléments directeurs suivants, afin de rechercher et traduire les différents gisements de réduction :

- Les processus d'organisation,
- Les composants,
- Les systèmes.

Cela permet de caractériser l'approche transversale complémentaire à la décomposition sectorielle comme le recommande le rapport Facteur 4 (cf. ci-dessus).

Le tableau 9 montre que les trois éléments de cette décomposition peuvent répondre à trois stratégies d'actions distinctes : l'évaluation, la normalisation et l'innovation. Ainsi, il est envisageable d'affecter à chacun des trois éléments une part de l'objectif facteur 4 et de bénéficier des potentialités de chacune des stratégies.

Chaque stratégie conduit à des gisements potentiels d'économies d'énergie et de réduction des émissions qu'il faut d'une part traduire dans les hypothèses du scénario Facteur 4 et d'autre part positionner dans le temps comme l'indique la *figure 5*.

Remarques :

La loi du 13 juillet 2005 et le Plan climat indiquent déjà des pistes de progrès via l'amélioration des processus d'organisation. Exemples :

- Amélioration du rendement énergétique de la chaîne logistique des entreprises en matière de transport de marchandises et de l'optimisation des déplacements des salariés entre leur domicile et leur lieu de travail ;
- Réexamen des processus de livraisons de marchandises en ville (représentant 40 % des émissions de GES) ;
- Création des plans de développement urbains de 2<sup>e</sup> génération ;
- Encouragement des bonnes pratiques environnementales dans l'agriculture par l'extension des audits.

Les stratégies d'évaluation des processus d'organisation sont connues. Elles sont un des leviers de progrès dans l'industrie et pourraient dès maintenant être appliquées par exemple à la conception et à l'optimisation énergétique de tous les processus d'organisation des zones urbaines.

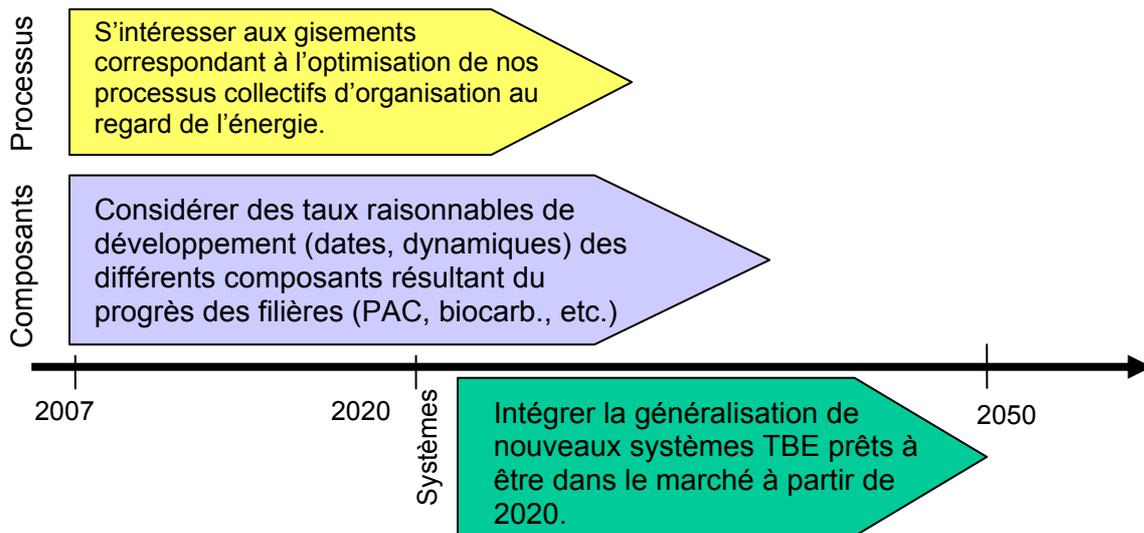
Les progrès dans les composants (appareils, carburants...) sont bien encadrés par la réglementation et les différentes directives au niveau européen. Il faut donc ici caler les hypothèses sur les objectifs attendus dans les différents textes législatifs.

Les futurs systèmes à très basses émissions (dits TBE) tels que le véhicule hybride rechargeable, le véhicule électrique, le bâtiment à énergie nulle ou positive, ne peuvent être envisagés aux plans des performances et des coûts qu'à partir de l'horizon 2020. Ils devraient s'avérer indispensables pour obtenir une baisse drastique des émissions en particulier dans les secteurs résidentiel/tertiaire et du transport routier.

**Tableau 9 : Caractérisation de la démarche transversale du Facteur 4**

Axes d'amélioration	Stratégies	Objectifs F4
Processus : (organisation et modes de vie)	Evaluation	- 130 MteCO <sub>2</sub> ?
Composants (filières)	Normalisation	- 130 MteCO <sub>2</sub> ?
Systèmes TBE (très basse énergie)	Innovation technologique	- 130 MteCO <sub>2</sub> ?

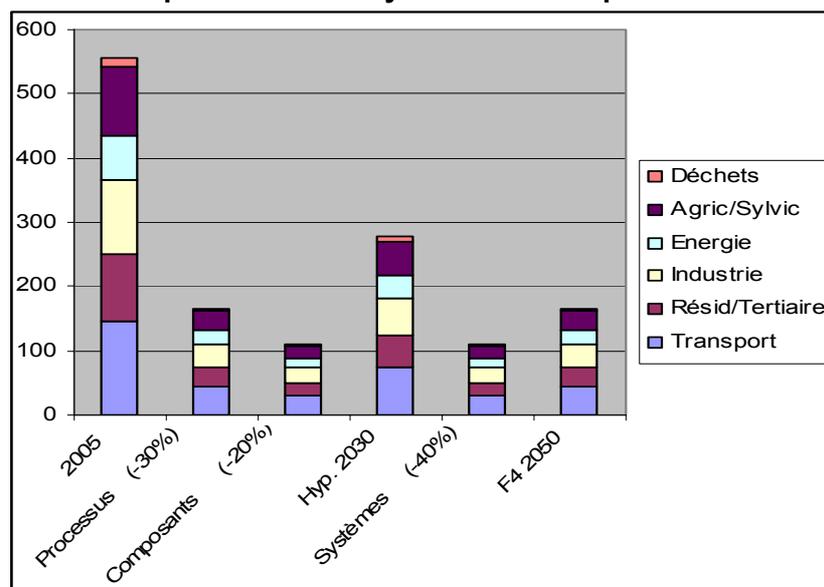
**Figure 5 : Echéances de mise en œuvre des hypothèses correspondant aux trois éléments caractéristiques de l'approche transversale**



Selon l'approche transversale de la *figure 5*, l'évolution possible des émissions de GES est simulée avec l'hypothèse suivante (*figure 6*) :

- gain de 30 % sur les processus d'ici à 2030,
- gain de 20 % sur les composants d'ici à 2030, ce qui correspond à l'ordre de grandeur des cibles des différentes réglementations et directives qui adressent l'amélioration des appareils et des matériaux (*figure 7*) à cet horizon.
- gain de 40 % par généralisation de systèmes TBE après 2030.

**Figure 6 : Scénario d'émissions vers le Facteur 4, obtenu par une répartition des efforts entre les processus d'organisation, les composants et les systèmes TBE à partir de 2030**



(La base de calcul est le bilan des émissions en 2005 ; il faudrait intégrer les évolutions des émissions dues à la croissance sur les horizons considérés, ce qui pourra être fait avec les outils de simulation).  
Les chiffres et les ordres de grandeur sont destinés à illustrer la démarche

### 3.3.1 Exemples de gisements dans les processus urbains

**Tableau 10 : Processus d'organisation relatifs aux villes**

Domaine d'action	Levier	Potentiel	Politique
<b>Villes nouvelles et quartiers nouveaux</b>	Eco-conception globale	Les réalisations dans le domaine (cf. Dongtan, Fribourg, Beddington, etc.) montrent des potentiels d'économies d'énergie et de réduction des émissions de CO <sub>2</sub> de 30 à 70 %.	Politique de développement d'une nouvelle ingénierie urbaine
<b>Villes existantes</b>	Optimisation des processus d'organisation (renforcement des objectifs) : <ul style="list-style-type: none"> <li>• PDU,</li> <li>• Marchandises,</li> <li>• Déchets,</li> <li>• Economies d'énergies</li> <li>• Transports propres,</li> <li>• etc.</li> </ul>	Potentiel de 20 à 30 %	Politique de Plans de progrès et d'évaluation régulière (3 ans) au niveau régional et communal
<b>Modes de vie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Télétravail</li> <li>• Usage des TIC</li> <li>• etc.</li> </ul>	Télétravail : < 5 %	Politique de rattrapage du niveau de pratique des pays les plus avancés

**Tableau 11 : Exemples d'éco-villes et éco-quartiers**

	<p><b>Dongtan 2010, 1<sup>ère</sup> ville écologique du monde (Chine)</b></p> <p>Dongtan comptera entre 50 000 et 80 000 habitants en 2010 (première phase, 630 ha), 500 000 en 2050. Dongtan construite à titre expérimental, préfigure les nombreuses villes nouvelles des prochaines décennies en Chine.</p> <p>Réduction des trajets, transports propres, 10 fois plus d'espaces publics, énergies renouvelables, 80 % des déchets solides recyclés, maintien de l'activité agricole (diminution de la dépendance), biodiversité.</p>
	<p><b>Eco-ville de Fribourg (Allemagne)</b></p> <p>500 km de pistes cyclables, connexions efficaces entre les moyens de transports, projet de TGV banlieue pour la liaison avec les villes environnantes, 10 % d'énergies renouvelables en 2010, tri et recyclage des déchets à grande échelle, diminution des émissions de CO<sub>2</sub> (30 %).</p>
	<p><b>Beddington Zero Energy Development (Royaume-Uni)</b></p> <p>Un village écologique, comprenant 82 logements et 2 300 m<sup>2</sup> de bureaux et commerces, a vu le jour dans la banlieue sud de Londres, à Sutton.</p> <p>Au final, la rationalisation (recyclage, transports limités, développement économique local renforcé, design des logements, récupération de la chaleur, etc.) permet à BedZED de réduire de 50% son <u>empreinte écologique</u>. Pour donner un ordre de grandeur, comparativement à des habitations classiques, le chauffage est réduit de 90 %, la consommation totale énergétique de 70 %, et le volume des déchets de 75 %.</p>

### 3.3.2 Exemples de gisements dans les transports

**Tableau 12 : Estimation des gisements de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> dans les transports<sup>26</sup>**

Objets d'amélioration	Mesures	Exemples	Gain / an à 2025
<b>Processus</b>	Inter modalité longue distance	3 x 600 km autoroutes ferroviaires 1600 km LGV CIADT 2003 ( -2000 km autoroutes nouvelles CIADT 2003 -10km/h vitesse	0,5 MtCO <sub>2</sub> 0,4 MtCO <sub>2</sub> 2,6 MtCO <sub>2</sub> 0,6 MtCO <sub>2</sub> )
	Collectif urbain	+ 20 % collectif aires urbaines > 300 000 hab.	0,8 - 1,1 MtCO <sub>2</sub>
	Flottes	Généralisation VE aux flottes publiques urbaines	0,9 MtCO <sub>2</sub>
	Urbanisme	Action sur l'urbanisme / limitation de l'étalement urbain	2,5 MtCO <sub>2</sub>
	Report des déplacements	Réduction du trafic lié par exemple à une hausse de prix	3 - 16 MtCO <sub>2</sub>
<b>Composants</b>	Carburants	Remplacement de 20 % du pétrole par les biocarburants	28 MtCO <sub>2</sub>
	Efficacité	Mise aux normes du parc existant à 120 gCO <sub>2</sub> /km	13 - 32 MtCO <sub>2</sub>
<b>Systèmes</b>	Innovation	Véhicule TBE sur 20 % du parc (VHR ou VE)	2,5 - 3,5 MtCO <sub>2</sub>

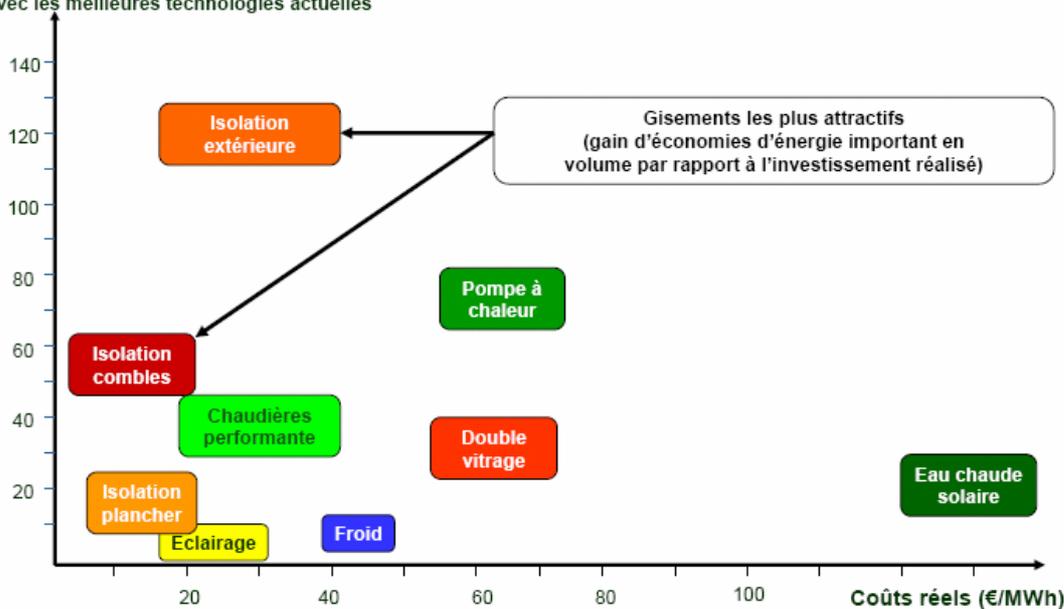
Source : Task Force transport, Commission Énergie

### 3.3.3 Exemples de gisements dans le résidentiel/tertiaire

La figure 7 donne un exemple des gisements de différents composants dans le résidentiel.

**Figure 7 : Gisements théoriques d'économies d'énergie dans l'habitat existant**

Gisements théoriques en volume (TWh/an)  
avec les meilleures technologies actuelles



<sup>26</sup> Les exemples cités ne signifient pas qu'ils sont retenus comme hypothèses. Ils visent à éclairer dans un premier temps sur les potentiels respectifs de gains. Les gisements ne sont pas tous cumulatifs.

Source : EDF

**Tableau 13 : Estimation des gisements de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> dans le résidentiel tertiaire**

Objets d'amélioration	Mesures	Exemples	Gain / an à 2030
Processus	Renouvellement	Résidentiel : démolition de 100 000 logements contre 50 000, remplacés par du neuf.	7 MtCO <sub>2</sub>
Composants	Isolation	Tertiaire : l'isolation renforcée du bâti ferait gagner 18 TWh de fuel et 28 TWh de gaz.	12 MtCO <sub>2</sub>
	Chaufferies	Tertiaire : rénovation des chaufferies tertiaires (+ 15 % de rendement et basculement au gaz).	6 MtCO <sub>2</sub>
		Tertiaire : 30 % de parts de PAC sur les chaufferies gaz ou électricité	4 MtCO <sub>2</sub>
Systèmes			

#### > 4. SYNTHÈSE DES HYPOTHÈSES

**Par convention, dans le scénario tendanciel proposé à 2030**, les politiques et mesures affectant l'énergie à l'avenir sont celles qui étaient décidées fin 2006 ou très certainement susceptibles de l'être à brève échéance si elles devaient avoir une application immédiate. En conséquence, **les dispositions de la loi d'orientation sur l'énergie, les mesures préconisées par le Plan climat sont prises en compte**. S'agissant de la lutte contre le changement climatique, le protocole de Kyoto est donc pris en considération.

Les outils de simulation MEDEE-POLES et MARKAL ayant des modes de résolution différents<sup>27</sup> (*annexe 8*), il a été fait un recensement large des variables caractéristiques du système. Elles ne sont donc pas toutes prises en considération en entrée ou en contrainte selon l'outil utilisé.

L'ensemble des variables et hypothèses est décrit dans les tableaux de l'annexe 9. Nous en donnons un résumé ci-après.

Il sera nécessaire de préciser comment, dans les modèles, la répartition de la demande et de l'offre est prise en compte au cours d'une année. La courbe de charge présente en effet, compte tenu notamment des besoins de chauffage, une forte saisonnalité et pour y répondre, des moyens de production différents plus ou moins polluants vont être employés en fonction des périodes de l'année.

#### *4.1 Macro-économie (hypothèses communes aux scénarios tendanciel et Facteur 4)*

Au plan macro-économique, les hypothèses sont cohérentes avec les travaux du CEPIL (étude *Scénarios de long terme de l'économie mondiale* publié en 2006), de l'Agence

<sup>27</sup> MEDE-POLES par équilibre offre-demande, MARKAL par optimisation d'un objectif sous contrainte

international de l'énergie (études WEO 2006 et Tech+) et de l'Union européenne (étude WETO-H2, 2006).

- Croissance économique de +2,1% / an jusqu'en 2015, +1,8% par an entre 2015 et 2030, et 1,6%/an entre 2030 et 2050 ; un test de sensibilité sera effectué avec +0,5% de croissance soit 2,3 % et 2,1% entre 2015 et 2050 ;
- Croissance démographique en augmentation : 67,2 M en 2030 à 70 M en 2050 selon les données du scénario central de l'INSEE publié en 2006.
- Parité de taux de change entre l'euro et le dollar ;

*Hypothèse de scénario haut des prix de l'énergie<sup>28</sup> :*

- Prix du Brent entre 50 et 80 \$ entre 2005 et 2015, 100 à 150 \$ entre 2015 et 2030, 100 \$ au-delà (dollar constant de 2005) ;
- Prix international du gaz naturel égal à 8 \$/Mbtu entre 2005 et 2015, 11 \$/Mbtu entre 2015 et 2030 et 15 \$/Mbtu au-delà ;
- Prix international du charbon égal à 60 \$/t entre 2005 et 2015, 90 \$/t entre 2015 et 2030 et 120 \$/t au-delà.

*Emissions :*

- Objectif de l'UE de -20 % de GES en 2020 (base 1990) pris en compte dans le scénario F4 mais non dans le tendanciel ;
- Valeur tendancielle du CO<sub>2</sub> (prix secteur ETS du CO<sub>2</sub>) à 20 \$/tCO<sub>2</sub> entre 2005 et 2015, 30 \$/tCO<sub>2</sub> entre 2015 et 2030 et 60 \$/tCO<sub>2</sub> au-delà<sup>29</sup>.

## 4.2 Hypothèses sectorielles

### 4.2.1. Transports

Tendanciel 2030 :

Les plans de déplacements urbains de 2<sup>e</sup> génération sont pris en compte ainsi que la volonté d'accroître les transports collectifs (+ 25 %). Le Plan climat recommande le réexamen des processus de livraison de marchandises en ville (40 % des émissions de GES). Le ferroviaire (LGV) croît conformément au CIADT 2003 (doublement du trafic TGV voyageurs et + 50 % pour les marchandises).

L'accord volontaire ACEA, UE-constructeurs, fixe les émissions à 140 gCO<sub>2</sub>/km, et des véhicules économes sont disponibles à 3,4 l/100km dès 2010.

L'écoconduite et l'amélioration des plans de déplacements urbains conduit à une économie des consommations (hors motorisation) de 15 %.

La part des biocarburants est fixée à 5,75 % d'incorporation en 2008, 7 % en 2010 et 10 % en 2015.

---

<sup>28</sup> Etabli notamment à partir des travaux du groupe de travail offre et demande mondiales de la Commission Energie. Par ailleurs, si les principaux grands pollueurs mondiaux basculaient dans le Facteur 4, il serait sans doute nécessaire de revenir à un scénario de prix plus médian. Ce scénario de prix sera l'objet d'analyse de sensibilité

<sup>29</sup> Valeur à ne pas confondre avec un signal prix additionnel (ou taxe) qu'il faudrait inclure dans certains secteurs pour atteindre le Facteur 4

#### Facteur 4 :

La révision des processus en ville conduit à une réorganisation de l'économie locale d'abord par l'augmentation des services (télé achat, télé services, télétravail) aux foyers et aux entreprises (2030) puis par un rapprochement entre les logements, les pôles de services et les transports, les zones d'emplois (2050).

Les plans de déplacements urbains sont renforcés en privilégiant les transports en commun et les services de covoiturage (2030), voire les péages urbains, pour résoudre les problèmes de fortes congestions ou interdire les cœurs des communes, en laissant plus de place aux déplacements doux (piéton, deux roues,...).

A partir de 2020-2030, suite à des efforts de recherche-développement-innovation, on envisage une large diffusion des véhicules TBE, hybrides rechargeables et électriques, et des biocarburants de 2<sup>e</sup> génération qui réduisent fortement la part des hydrocarbures pour les transports (environ -2/3).

#### 4.2.2. Résidentiel/tertiaire

##### Tendancier 2030 :

Le taux de renouvellement reste faible (75 000 de sorties/an de résidences principales) et l'étalement urbain se poursuit (1,5 % /an). Les deux tiers des résidences principales sont en zones urbaines et périurbaines. La majorité des constructions neuves (environ 70 %) sont construites en rural diffus (< 10 000 habitants).

Les performances dans les logements neufs suivent la réglementation thermique (RT) et respectent l'objectif de 40 % d'amélioration de la performance énergétique de chauffage en 2020 (40 kWh/m<sup>2</sup>/an).

Les améliorations dans l'ancien (priorité du Plan climat) devraient permettre un gain d'environ 25 % sur les consommations (y compris la réhabilitation de 25 % du parc).

La croissance des installations présentant un intérêt d'économies significatif pour le chauffage se poursuit : bois-énergie, PAC, chauffe-eau solaire, réseaux de chaleur (cf. Plan climat).

##### Facteur 4 :

Le scénario se caractérise par deux orientations :

- une politique très active de renouvellement, (doublement du taux à 150 000 sorties/an), qui contribue à maintenir la construction neuve entre 300 et 400 000 logements/an, et permet de réduire le stock de vieux logements peu performants. Cette politique a un impact sur la localisation de l'habitat.
- une politique active de rénovation/réhabilitation (400 000 logements/an).

Les modèles et les simulations aideront à identifier l'optimum de répartition entre ces deux orientations, notamment vis-à-vis du critère économique.

Après une extension de 17 % en 10 ans, les terres urbaines voient leur croissance stoppée (2030) puis les politiques d'urbanisme autorisent une densification des espaces urbains.

Dès maintenant et en accélération d'ici 2050, la planification urbaine retrouve un rôle actif. Elle permet la réalisation d'éco-quartiers dans les zones de renouvellement urbain, caractérisés par : 1. une meilleure intégration des commerces et des services afin de développer la vie de quartier et les déplacements doux, 2. l'organisation des bâtiments en forme urbaine continue (maisons ou immeubles en R + 3). Une plus grande densité d'occupation des sols est encouragée à proximité des transports en commun.

La RT dans le neuf passe à 15 kWh/m<sup>2</sup>/an (chauffage consommation finale) en 2050. Le taux de rénovation et de réhabilitation des bâtiments anciens passe à 50 % du parc en 2030 et 75 % en 2050, par segmentation du parc en fonction des caractéristiques des bâtiments.

Ces efforts d'amélioration puis la généralisation de bâtiments à énergie nulle ou positive, rendus compétitifs, à partir de 2020, permettent d'atteindre une baisse significative de la consommation moyenne du parc de 172 kWh/m<sup>2</sup>/an en 2005 à 130 kWh/m<sup>2</sup>/an en 2030 et 75 kWh/m<sup>2</sup>/an en 2050.

Ces hypothèses devront être complétées par celles concernant le tertiaire qui représente environ 2/3 de la consommation d'énergie du secteur (22 Mtep / 70 Mtep).

#### 4.2.3. Industrie

##### Tendancier 2030 :

Le taux de croissance moyen annuel de la production retenu est de 2 % conformément au scénario central du BIPE<sup>30</sup> qui privilégie la croissance des services dans les 20 prochaines années. Le scénario suit les enveloppes PNAQ dont l'évolution tendancielle des émissions d'ici 2030 a été estimée à - 1,5 %/an.

L'amélioration de l'efficacité énergétique du secteur présente deux composantes : l'évolution de l'intensité énergétique au sens technique et l'impact de l'effet structurel. À titre de cadrage, ces valeurs ont été estimées au regard des performances de la période passée, des évolutions et progrès prévisibles, respectivement à - 1,7 %/an et - 1,3 %/an, soit un tendancier global de - 3 %/an (-3,4 %/an entre 1990 et 2002).

Les progrès au niveau du recyclage des produits sont considérés se poursuivre (acier, papier-carton, plastique, verre, etc.).

Enfin, le tendancier souhaite inclure les orientations de la loi du 13 juillet 2005, concernant l'amélioration du rendement énergétique de la chaîne logistique des entreprises (transport des marchandises, déplacements des salariés, etc.) dont le potentiel devra être précisé.

##### Facteur 4 :

Ce scénario retient une hypothèse de 2,5 %/an de croissance de l'industrie, supposant pour la France et l'Europe un redressement des capacités technologiques et une réindustrialisation spécialisée sur le haut de gamme et la connaissance.

---

<sup>30</sup> Fait pour le Service économie, statistique et prospective du Ministère de l'Équipement

Le taux de décarbonisation est augmenté à - 2 %/an (2030) et - 2,5 %/an (2050), ainsi que l'amélioration de l'efficacité énergétique due au progrès technologique et aux évolutions structurelles, 3,5 %/an (2030) et - 4,5 %/an (2050).

Le gisement de la récupération et du recyclage est fortement sollicité dans les différents secteurs pour atteindre les taux des meilleurs pays en la matière (ex. : Allemagne).

#### 4.2.4. Énergie

##### Tendancier 2030 :

Les hypothèses sont celles de la loi du 13 juillet 2005, de la PPI et du Plan climat correspondant à la diversification du bouquet énergétique :

- 10 % des besoins énergétiques français à partir de sources d'énergies renouvelables à l'horizon 2010 ;
- Production intérieure d'électricité d'origine renouvelable à hauteur de 21 % de la consommation en 2010 ;
- Développement des énergies renouvelables thermiques pour permettre d'ici 2010 une hausse de 50 % de la production de chaleur d'origine renouvelable ;
- PPI : énergies renouvelables connectées au réseau : 17 GW en 2015.

La contrainte PNAQ2 prévoit une amélioration de 16 % des émissions du secteur d'ici 2012.

Les opérateurs du secteur sont fortement sollicités dans le mécanisme des certificats blancs (-54 TWh d'ici 2009 et doublement de l'objectif entre 2009 et 2012).

##### Facteur 4 :

La consommation d'énergie primaire est supposée en baisse compte tenu des économies d'énergie dans les différents secteurs. L'objectif de l'UE est de l'ordre de - 20 % à l'horizon 2020<sup>31</sup> au-delà d'une compensation de l'effet de croissance du PIB de 2,3 %/an. Cela représente une baisse de la consommation de 13 % entre 2005 et 2020 (1 750 Mtep à 1 500 Mtep). La référence à la directive 2006/32/CE a pour but d'illustrer la cible de 9 % d'économies pour la période 2008-2016.

À côté du potentiel d'efficacité énergétique à réaliser au niveau de la consommation, des économies importantes (environ 20 %) peuvent être réalisées en évitant les gaspillages d'énergie pendant la conversion et le transport d'énergie.

Selon l'objectif Facteur 4, les hypothèses des différents secteurs de la demande devraient conduire également à une part d'énergie fossile fortement réduite dans le *mix* primaire.

---

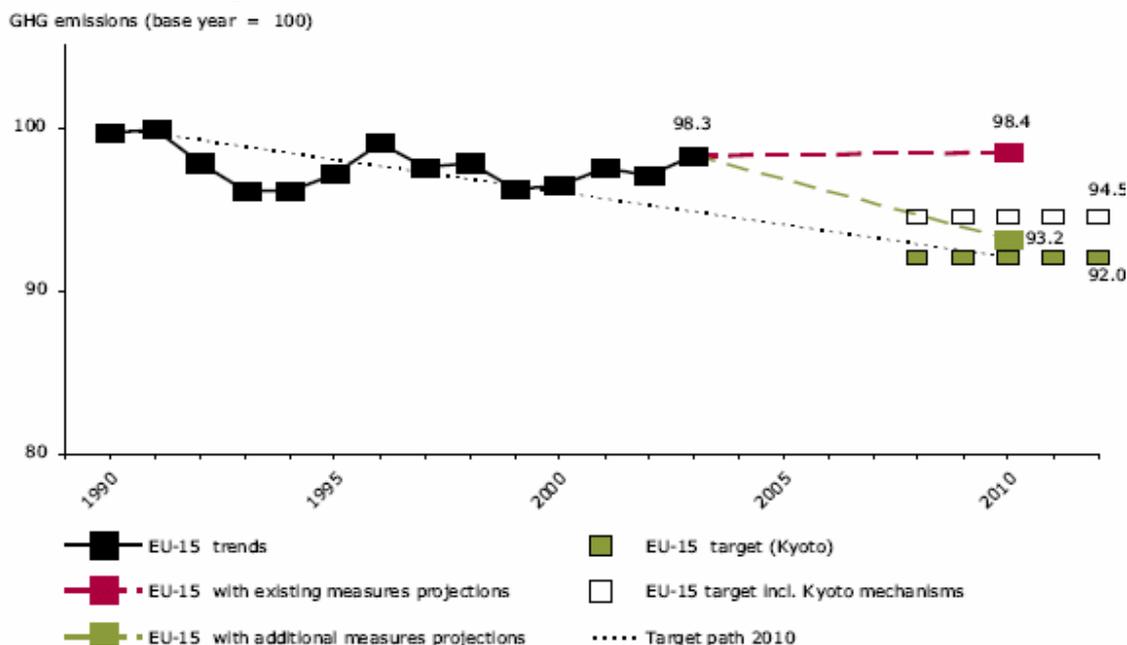
<sup>31</sup> 1,5 % d'amélioration pour l'énergie primaire venant s'ajouter au 1,8 % de la tendance "statu quo" d'amélioration pour l'intensité énergétique, qui se compose de l'impact, sur l'efficacité énergétique, de la législation communautaire en vigueur (0,35 % par an) ainsi que d'autres effets (0,6 % dû aux changements structurels et 0,85 % dû aux "améliorations indépendantes", comme le remplacement normal du parc technologique par an)

> **ANNEXES : SCENARIOS ENERGETIQUES**

Annexe 1 : Performance des pays européens vis-à-vis des émissions de GES

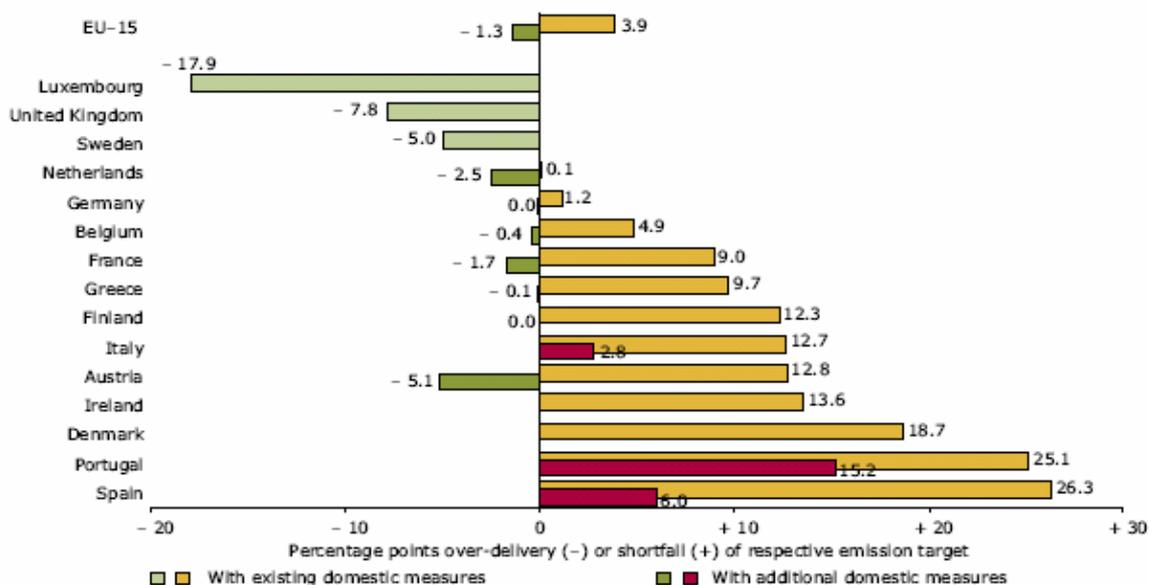
1. Projections globales et par pays

**Figure A1.1 : Projection des émissions de GES (UE-23)**



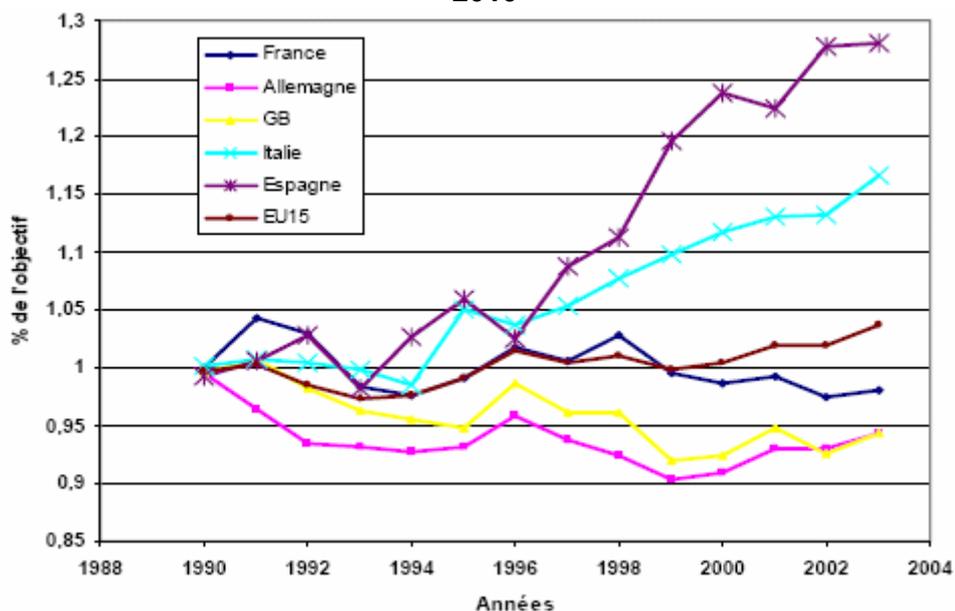
Source : Greenhouse gas emission trends and projections 2005  
European Environment Agency (EEA), 01/12/2005

**Figure A1.2 : Ecart des pays (UE-15) par rapport à l'engagement 2008-2012 du protocole de Kyoto**



Source : Greenhouse gas emission trends and projections 2005  
European Environment Agency (EEA), 01/12/2005

**Figure A1.3 : Emissions de quelques pays de l'UE-15 vis-à-vis de leur contrainte 2010**



Source : MIES, Deuxième rendez-vous climat 2007

## 2. Plan climat européen. Politiques et mesures

En juin 2001, la Commission européenne a adopté le Plan climat européen (ECCP : *european climate change programme*). Le potentiel de réduction des émissions de GES du plan ECCP a été estimé à 300 MteCO<sub>2</sub> en 2010 ce qui correspond à la réduction nécessaire pour atteindre les engagements de Kyoto pour l'UE-15. Dans ce Plan, un certain nombre de politiques et mesures coordonnées a été identifié.

Les principaux textes de politiques et mesures coordonnées (ECCP) sont les suivants :

- **Secteurs industrie, résidentiel/tertiaire, énergie :**

EU CO<sub>2</sub> emissions trading scheme (Directive 2003/87/EC, adopted by the Council and the Parliament in October 2003, started 1 January 2005);

Directive linking the EU CO<sub>2</sub> emissions trading scheme with the Kyoto mechanisms (COM (2003) 403 final, adopted by the Council and the Parliament in October 2003, to be transposed by Member States by November 2005);

Directive on the promotion of electricity from renewable energy sources (2001/77/EC, adopted by Council and Parliament in 2001, transposed by Member States by October 2003);

Directive on Combined Heat and Power to promote high efficiency cogeneration (2004/8/EC, adopted by Council and Parliament in February 2004, to be transposed by Member States by February 2006);

Directive on the Energy Performance of Buildings (2002/91/EC, adopted by Council and Parliament January 2003, to be transposed by Member States by January 2006);

Directive restructuring the Community framework for the taxation of energy products and electricity (2003/96/EC, adopted by Council October 2003, to be transposed by Member States by 2005);

Directive on establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-using products (2005/32, adopted by Council and Parliament July 2005, to be transposed by Member States by 2007).

- **Transport :**

Reduction in the average CO<sub>2</sub> emissions of new passenger cars (voluntary commitment by car manufacturers in EU, Japan and Korea; 1998/1999);

Directive on use of biofuels in transport (2003/30/EC, adopted by Council and Parliament May 2003, to be transposed by Member States by 2005).

- **Agriculture :**

Common rules for direct support schemes under the common agricultural policy and establishing certain support schemes for farmers (carbon credit for energy crops) (Regulation 1782/2003).

- **Déchets :**

Recovery of methane from biodegradable waste in landfills (Landfill Directive 1999/31/EC, transposed by Member States July 2001).

**Figure A1.4 : Modifications des réglementations des pays après l'adoption par l'UE du plan CCPM**

CCPM	Austria	Belgium	Denmark	Finland	France	Germany	Greece	Ireland	Italy	Luxembourg	Netherlands	Portugal	Spain	Sweden	United Kingdom
Taxation of energy products 2003/96/EC	N		B	B	B	B		B	R		B	N		R	B
Emissions trading 2003/87/EC	N	N	N	N	N	N	N	N	N		N	N	N	N	R
Promotion of electricity from RE sources 2001/77/EC	N	N	B	R	R	B	R	R	N		R	R	R	B	N
Promotion of cogeneration 2004/8/EC		B	R	R	B	B	R	N	N		B	B		B	N
Directives on energy labelling of appliances	N		B	N	N	N	N	N	R		N	N	N	N	N
Moter challenge, voluntary EC programme			N			R		N			N			N	
Energy performance of buildints 2002/91/EC	N	N	R	N	N	R	R	N	N		B	R		N	N
Eco-management & audit scheme (EMAS) EC 761/2001	N		N	N	N	N	R				B	N	N	B	
Efficiency of hot water bollers 92/42/EEC	N		B		N	R	B	N			B	N	N	N	N
Transport modal shift to rail 2001/12/EC etc.	N	N	R	N	B			N	N		B		N	R	N
Promotion of biofuels for transport 2003/30/EC	N	N	N	N	R	R	N	N	N		N	N	N	R	N
Consumer information on cars 1999/94/EC	N	N	R		N	N		N			N	N	N	N	N
Agreement with car manufacturers ACEA etc,	N	N			R	R	R		B		N	N		N	R
Support under CAP (1782/2003)	N	B	N	N	R	N		N			N		N	N	N
Support under CAP - amendment (1783/2003)		B	N	N	R			N			N			N	N
Landfill directive 1999/31/EC	B	B	B	B	B	B	R	N	N		B	N	R	B	N

<b>N</b>	New national PAM implemented after CCPM was adopted	<b>B</b>	National PAM already in force <b>before</b> CCPM was adopted
<b>R</b>	Existing national PAM <b>re-enforced</b> by CCPM		Not reported/not implemented

Source : Greenhouse gas emission trends and projections 2005  
European Environment Agency (EEA), 01/12/2005

## Annexe 2 : Chiffres objectifs et mesures du Plan climat

Les principaux chiffres objectifs du Plan climat sont rapportés par secteur dans le tableau suivant :

**Tableau A2.1 : Résumé des principales mesures du Plan climat 2004 – 2012**

	Objectifs nationaux (mesures supplémentaires 2006)
<b>Transport</b>	
Plan biocarburants	5,75 % d'incorporation en 2008 7 % en 2010 et 10 % en 2015
Etiquette énergie	Obligatoire pour les véhicules neufs (mai 2006) <i>Obligatoire pour les véhicules d'occasion (mise en circulation après juillet 2004)</i>
Automobile	Accord volontaire UE-constructeurs (ACEA, JAMA, KAMA) à 140 g CO <sub>2</sub> /km pour 2008-2009. France bien placée avec 152 g en 2005. <i>A l'étude pour le long terme 120 gCO<sub>2</sub> /km</i> <i>Programme pour mettre sur le marché en 2010 une voiture familiale consommant moins de 3,4 l/100km (hybride diesel consommant 30 % de moins).</i> <i>Programme flex-fuel (0 à 85 % d'éthanol dans l'essence).</i> <i>Défiscalisation des biocarburants.</i>
Eco conduite	Economie de 13 % en moyenne des consommations de carburants
Plans de déplacement	<i>Création des plans de déplacements urbains de 2<sup>ème</sup> génération pour les grandes agglomérations<sup>32</sup> (2009)</i>
Marchandises en ville	<i>Examen dans le cadre des PDU. 40 % des émissions de GES en milieu urbain trouvent leur origine dans la livraison des marchandises. La réduction des surfaces de stockage augmente les livraisons.</i>
Objectif SNCF	Plus de carburants fossiles à l'horizon 2025
Grands chantiers complémentaires à la route	<i>Autoroute ferroviaire Alpes, Luxembourg-Perpignan, Nord-Pays Basque.</i>
Marchés de quotas de CO <sub>2</sub>	<i>Propositions d'extensions au niveau européen pour progressivement orienter particuliers et entreprises vers des solutions plus sobres en carbone</i>
Aérien	Objectifs de la communauté aéronautique européenne de réduction de 50 % les émissions de CO <sub>2</sub> d'ici 2020.
<b>Bâtiments</b>	
Réglementation thermique neuf	RT 2005 : 15 % plus exigeante que la RT 2000. <i>Objectif désormais fixé de baisse de 40 % des consommations unitaires en 2020 par rapport à 2000.</i>
	<i>Création d'un label français Très Basse Consommation en relation avec l'association Effinergie : moins de 50 kWh/m<sup>2</sup></i>
Logement social	<i>Mise en place d'un prêt à taux réduit (2,45 %) pour le financement des coûts additionnels de la très haute performance énergétique (THPE) pour les HLM</i>
Bâtiments existants	<i>Abaissement de 1000 m<sup>2</sup> (Directive 2002 sur les bâtiments) à 200 m<sup>2</sup> du seuil de performances énergétiques minimales pour les rénovations.</i>
Diagnostique performance énergétique	Bilan énergie et CO <sub>2</sub> <i>Généralisation de l'étiquette énergie lors des transactions</i>

<sup>32</sup> 13 agglomérations de plus de 100 000 h et 57 unités urbaines de plus de 100 000 h, soit 27 M h.

Crédit d'impôt DD	<i>Renforcement</i>
Livret développement durable	Objectif 0,7 MteCO <sub>2</sub>
PREBAT	<p><i>Objectifs :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- proposer des solutions performantes pour une modernisation durable du parc existant ;</li> <li>- intégrer dans le neuf des matériaux, composants et techniques diminuant par 4 la consommation des bâtiments ;</li> <li>- trouver des méthodes et des techniques qui permettent à moyen et long terme la mise à dispositions d'ouvrages à énergie positive.</li> </ul>
Matériaux	<p><i>Critères de performance énergétique minimale</i></p> <p><i>Obligations de réhabilitation énergétique des bâtiments existants</i></p>
Equipements	<p>Croissance :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- PAC : 40 % / an (25000 PAC en 2005,)</li> <li>- Chauffe-eau solaire : 72 % / an (+110 000 m<sup>2</sup> de nouveaux capteurs)</li> <li>- Bois : 127 %/an</li> <li>- Chaudières à condensation : *2</li> </ul>
<b>Industrie</b>	
Directive PNAQ	PNAQ 2 : -6 % / PNAQ1 (hors nouveaux entrants)
MDP, MOC	
Audits énergétiques	
Projets domestiques	<i>Crédits d'émission dans les secteurs non couverts par le marché des quotas (1Mte CO<sub>2</sub> sur 2008-2012)</i>
Logistique	<i>Promouvoir la réalisation de bilan carbone dans les grandes zones d'activités.</i>
<b>Énergie</b> Loi du 13/07/05	<p>Accélération de la baisse de l'intensité énergétique.</p> <p>Énergies renouvelables :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 50 % thermique en 2010</li> <li>- 21 % électrique en 2010</li> <li>- Eolien : *14 en 4 ans</li> </ul> <p>Impulsion de la R&amp;D</p> <p>Option nucléaire ouverte</p>
Certificats d'économies d'énergie	<p>54 TWh sur 3 ans</p> <p><i>Doublement de l'objectif sur la période 2009 – 2012 (objectif de coût 1c€/kWh économisé).</i></p>
EnR	Tarifs d'achat, fiscalité favorable
Chaleur	<p><i>PPI chaleur : scénario d'augmentation de 50 % des énergies renouvelables d'ici 2010-2015 avec une priorité donnée au soutien à la production de chaleur renouvelable collective.</i></p> <p><i>Soutien financier doublé à la production de chaleur d'origine renouvelable</i></p>
<b>Agriculture</b>	
Bois-énergie	Programme bois-énergie 2000-2006 d'aide à l'investissement
Biomasse	Nouvel arrêté de tarif de rachat d'électricité issu de la biomasse
Biogaz	<p>Actions pour la conversion du méthane en énergie</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Encouragement des bonnes pratiques environnementales dans l'agriculture par l'extension des audits</li> <li>- Mise en oeuvre d'un programme de valorisation du biogaz agricole</li> <li>- Plan Serres</li> </ul>

<b>Déchets</b>	<p>Développement du recyclage</p> <p><i>Valorisation énergétique des biogazs de décharge. On estime à 3,3 Mtep/an<sup>33</sup>, l'énergie qui pourrait être produite par le biogaz valorisable en France (10 % de la consommation nationale de gaz naturel).</i></p> <p><i>La chaleur récupérée par les 132 unités d'incinérations des ordures ménagères est de 1Mtep (700 000 logements chauffés) et le potentiel supplémentaire est de 4Mtep à l'horizon 2020.</i></p>
<b>Sensibilisation, Formation, recherche</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Campagne « faisons vite ça chauffe! » (2003-2006)</li> <li>- Création d'espaces info énergie (2001)</li> <li>- Généralisation de l'affichage énergétique ou CO<sub>2</sub> (2004-)</li> </ul> <p><i>- Montée en puissance de la campagne de communication</i></p> <p><i>- Doublement d'ici à 2010 du nombre d'Espaces info énergie</i></p> <p><i>- Regroupement des meilleurs établissements de recherche et d'enseignement supérieur dans le domaine du climat sera mis en place en Ile-de-France.</i></p> <p><i>- Plan de formation concernant tous les acteurs du bâtiment</i></p>
<b>Collectivités locales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Développement des plans climats territoriaux (2004-)</li> </ul>

Source MIES, 2007

<sup>33</sup> Dont 1,8 Mtep/an de l'agriculture et l'agroalimentaire ; et 1,45 Mtep des déchets ménagers.

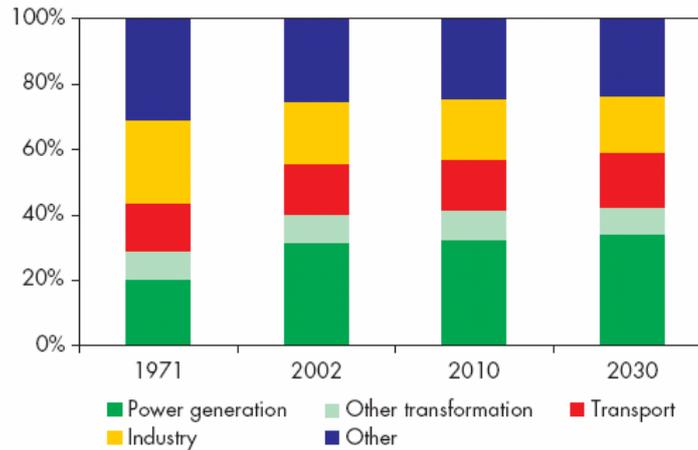
## Annexe 3 : Données comparatives sur les secteurs

### 1. Introduction

La présente note rassemble des données comparatives sur l'énergie dans les différents secteurs d'activités.

### 2. Répartition de la consommation d'énergie dans le monde

**Figure 1 : Consommation totale d'énergie primaire dans le monde**



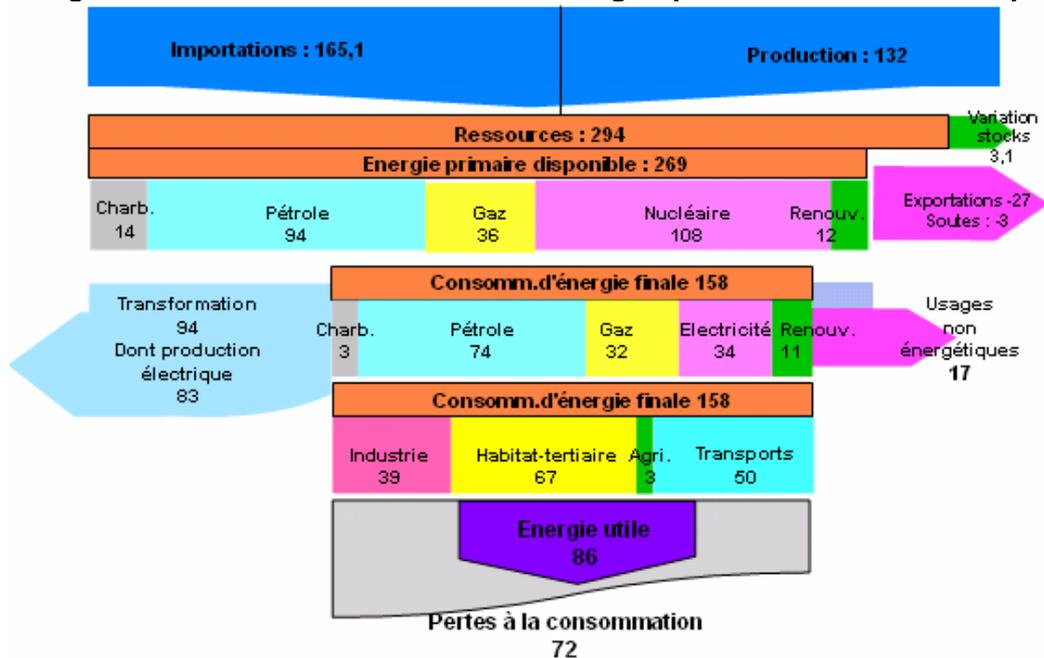
Source : AIE WEO 2004

### 3. Caractéristiques de la consommation en France

#### 3.1 Chaîne de transformation

Le rendement global de la chaîne de transformation est de 34 %.

**Figure 2 : Chaîne de transformation énergétique. Flux en 2000 en Mtep**



### 3.2 Consommation d'énergie finale par secteur

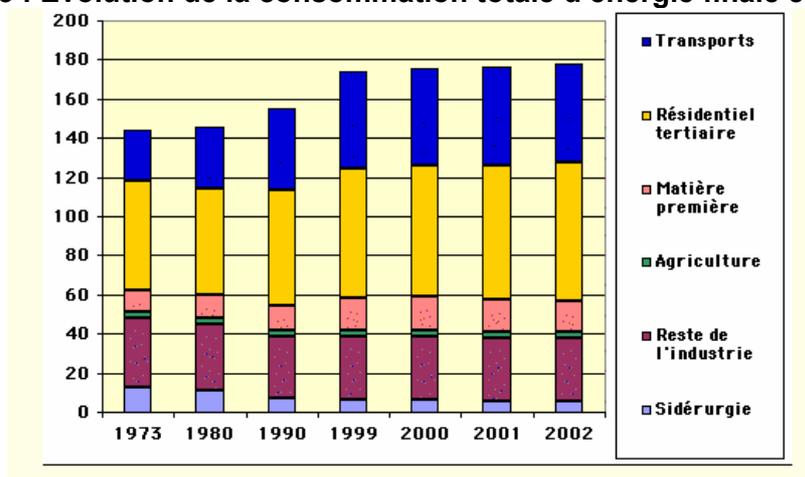
Sur les trente dernières années, le transport et le résidentiel-tertiaire progressent de plus de 20 % alors que l'industrie baisse de 21 % (Tableau 1).

**Tableau 1 : Répartition sectorielle des consommations énergétiques finales en 2004**

	Mtep	Part en %	Croissance de 1973 – 2004 en %	Pétrole (Mtep)
<b>Sidérurgie</b>	5,8	3,6	-12	0,1
<b>Industrie (hors sidérurgie)</b>	31,9	19,8	-9	6,1
<b>Résidentiel – tertiaire</b>	69,8 (2/3 résidentiel et 1/3 tertiaire)	43,3	+24	15,5
<b>Agriculture</b>	2,9	1,8	+100 (>2 %/an)	2,3
<b>Transport (hors maritime international)</b>	50,8	31,5	+ 20 (>0,6 %/an)	49 (43 % à 67 % entre 80 et 2003)
<b>Total</b>	161,2	100,0		73

Source : DGEMP 2005

**Figure 3 : Evolution de la consommation totale d'énergie finale en France**



Source : DGEMP 2002

### 3.3 Consommation d'électricité par secteur

**Tableau 2 : Consommation finale d'électricité en France en 2002**

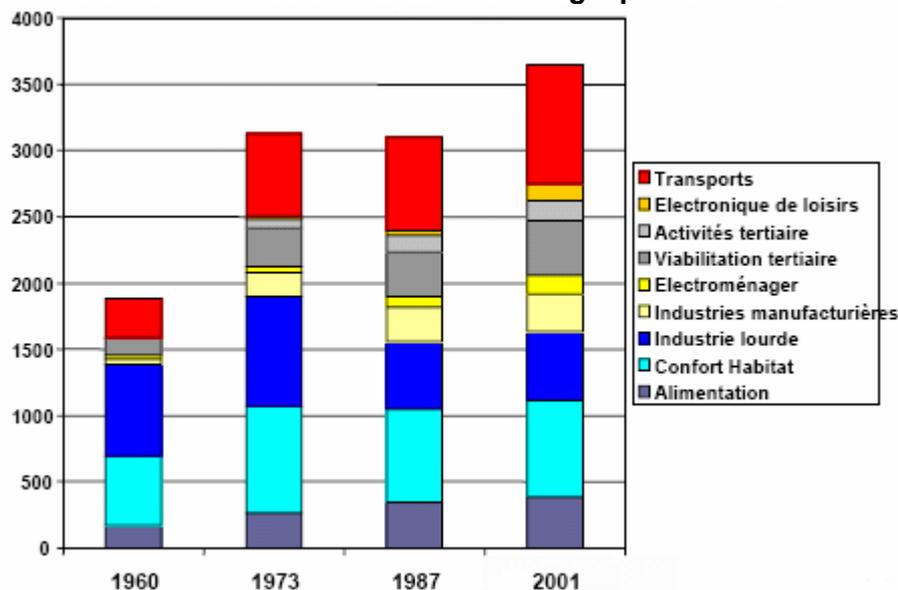
	TWh	%
<b>Industrie</b>	137	34
<b>Résidentiel + Tertiaire</b>	257	63
<b>Autres</b>	14	3
<b>Total</b>	408	100

Source : DGEMP

### 3.4 Consommation d'énergie par habitant

On note la seule part décroissante de l'industrie lourde (*Figure 4*).

**Figure 4 : Evolution de la consommation d'énergie par habitant en France**

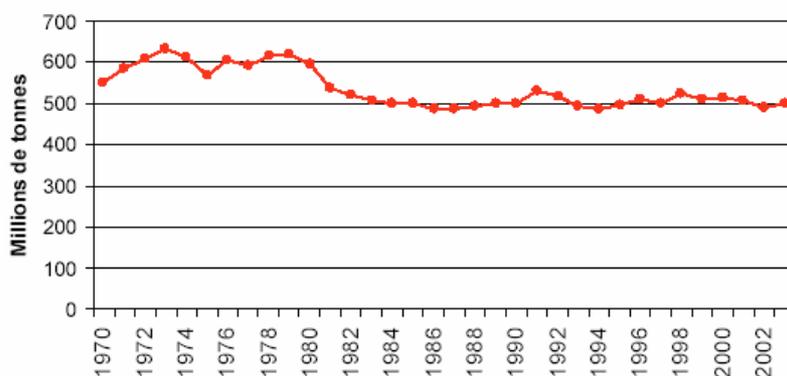


Source : GDF, WWF, P. Radanne, 2006

### 3.5 Emissions de CO<sub>2</sub>

Les émissions sont quasi stables depuis 1980 (*figure 5*) ; sur la période 1970-2003, elles baissent de 0,3 % en moyenne par an. L'évolution est très variable selon les secteurs. L'augmentation dans les transports annule tous les gains des autres secteurs (*figure 6*).

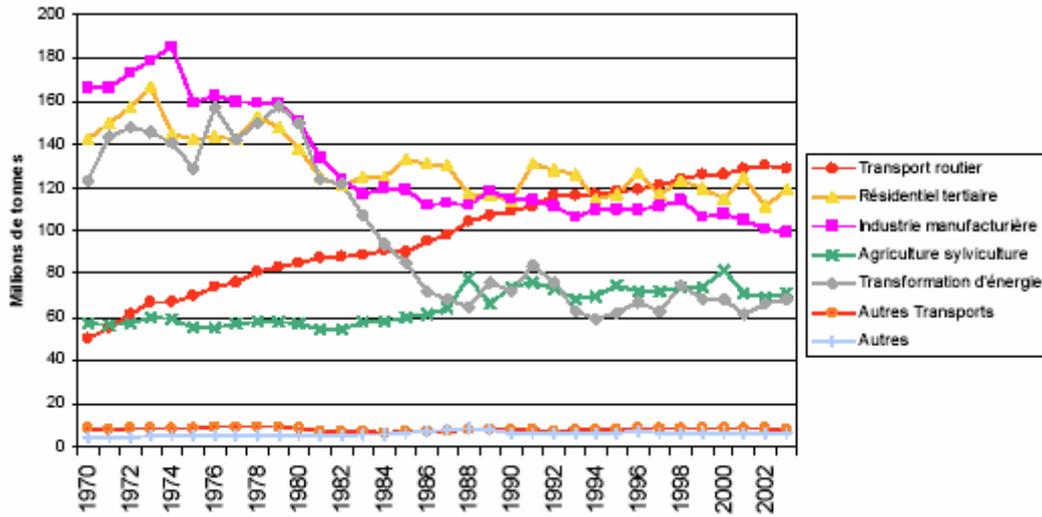
**Figure 5 : Emissions totales brut en France entre 1970 et 2003**



Source : CITEPA 2005

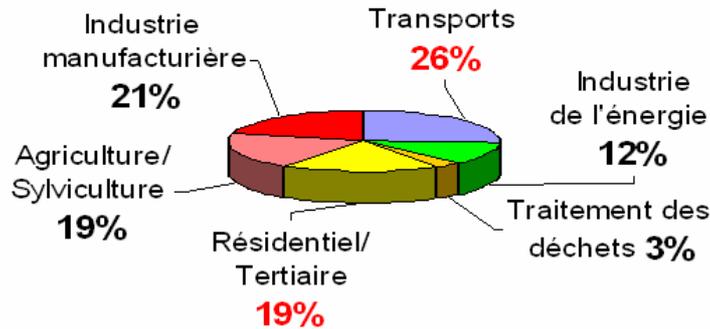
### 3.5.1 Répartition des émissions par secteur

Figure 6 : Emissions de CO<sub>2</sub> en France (métropolitaine) entre 1970 et 2003



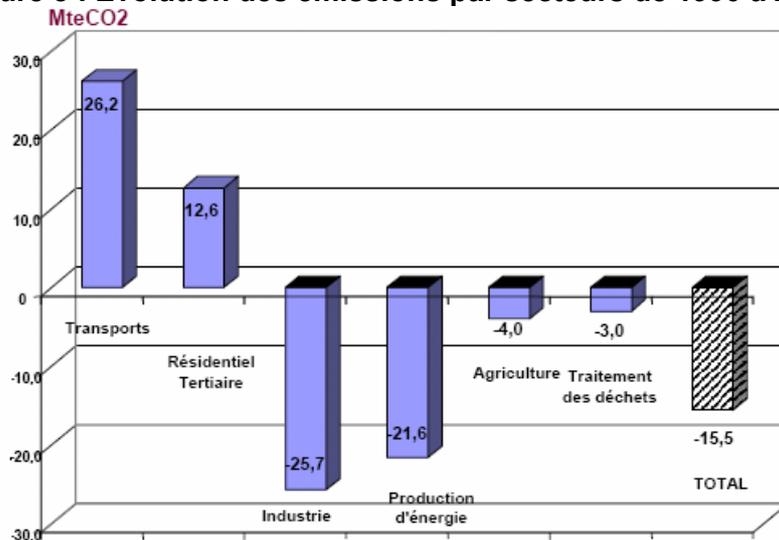
Source : CITEPA 2005

Figure 7 : Répartition des sources d'émissions de GES en France



Source : CITEPA 2003

Figure 8 : Evolution des émissions par secteurs de 1990 à 2001



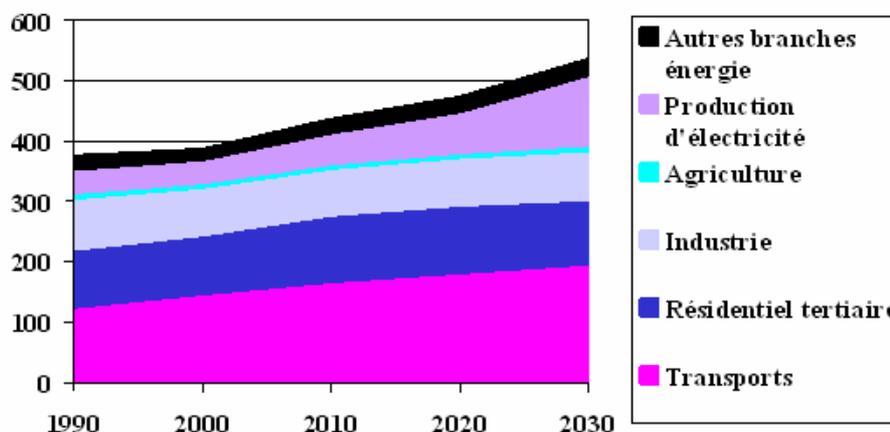
Source : GDF, WWF, Radanne

### 3.5.2 Projections à 2030

Les secteurs du transport et du résidentiel-tertiaire montrent un écart fortement croissant. L'augmentation des distances parcourues et des surfaces chauffées contribuent à la dérive des consommations. Dans une moindre mesure, le secteur de l'énergie repart à la hausse.

Pour 2030, les projections tendancielle affichent une forte croissance des émissions due à la production d'énergie et aux transports (figure 9).

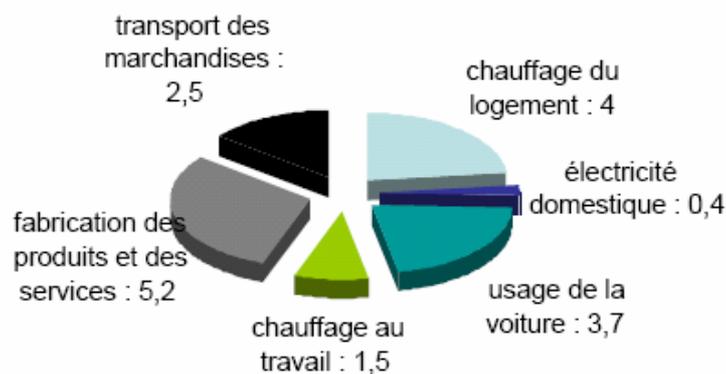
**Figure 9 : Répartition tendancielle des sources d'émissions de GES en France jusqu'en 2030, en MteCO<sub>2</sub>**



Source : DGEMP 2004

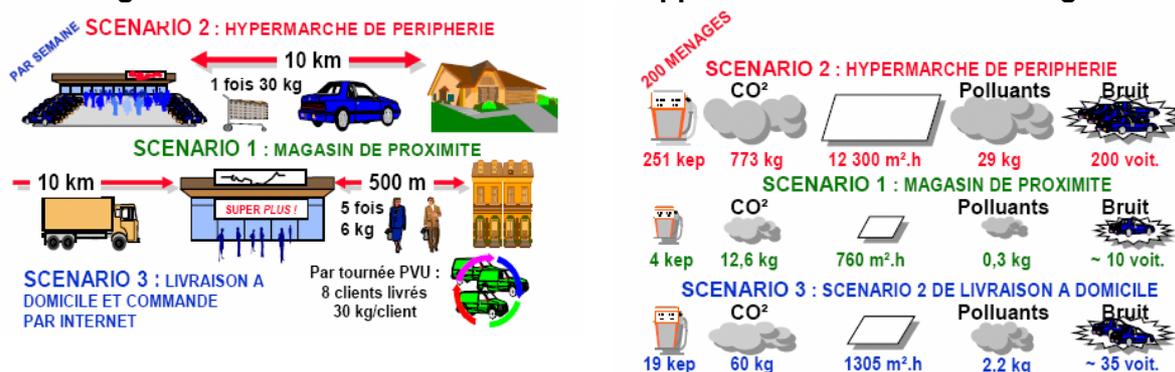
### 3.5.3 Répartition par modes d'usage et modes d'organisation

**Figure 10 : Emission de CO<sub>2</sub> d'un ménage français moyen (17t /an)**



Source : Ademe

**Figure 11 : Nuisances de 3 scénarios d’approvisionnement des ménages**



Source : Ademe 1997

#### 4. Croissance des secteurs

**Tableau 4 : Taux de croissance annuel moyen de la valeur ajoutée par grands secteurs**

Valeur ajoutée par grands secteurs	Taux de croissance moyen annuel	
	1980 - 2004	2004 - 2025
Agriculture	1,7	- 0,7
Industrie	1,8	1,7
Énergie	-0,5	2,1
Construction	0	0,8
Services principalement marchands	2,7	2,4
Services administrés	1,7	0,7
Total	2	1,9

Source : BIPE 2007

## Annexe 4 : Hypothèses et scénarios du secteur transport

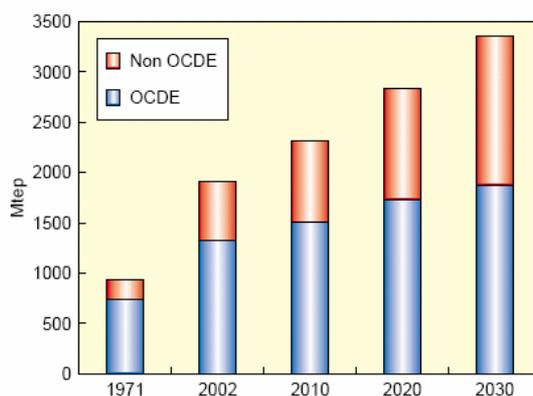
### 1. Introduction

La présente note vise à rassembler les principaux éléments nécessaires à la réactualisation des hypothèses et à l'élaboration des sous-scénarios énergétiques relatifs au secteur des transports pour l'exercice de modélisation/simulation des travaux de la Commission ÉNERGIE. Les principaux éléments de la demande mondiale d'énergie pour ce secteur sont rappelés ainsi que les caractéristiques extraites de quelques études prospectives : DG TREN 2003, DGEMP étude facteur 4 2005, AIE 2006, P.R. BAUQUIS 2004.

### 2. Les énergies utilisées dans les transports

L'énergie consommée dans les transports représente environ 20 % de l'énergie primaire globale (*tableau 8, annexe 5*). Les produits pétroliers sont aujourd'hui l'énergie utilisée à près de 100 % dans les transports. Les États-Unis, l'Europe et le Japon en représentent une part d'environ 55 % et l'OCDE 75 %. La part des pays émergents est appelée à croître très rapidement à l'avenir (*figure 1*).

**Figure 1 : Evolution de la consommation**



Source : IFP

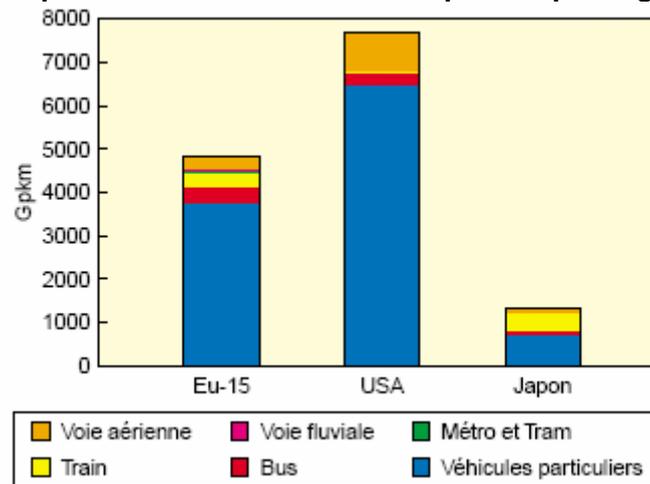
À partir des études de l'AIE et de P.R. BAUQUIS, les perspectives de diversification du *mix* énergétique en 2050 du secteur sont résumées dans le *tableau 1 (annexe 1)*. On observe pour 2050 une substitution possible des hydrocarbures naturels de l'ordre de 20 % en tendanciel et de 50 % dans les scénarios les plus optimistes. On notera les résultats du scénario faibles émissions du WBCSD à 2050 qui montre une baisse des consommations de l'ordre de 30 % dans les pays développés et un *mix* réparti entre pétrole, biocarburants et hydrogène selon les régions (*annexe 4*).

Les potentiels d'économies par l'amélioration des rendements de moteurs seraient importants, de l'ordre de 25 % et 50 % si on abaissait les puissances moyennes des véhicules comme le présente la *figure 5 (annexe 5)*.

### 3. Les caractéristiques de la demande mondiale

Le transport routier domine largement le bilan (*figure 2*), sauf au Japon qui présente une part plus importante de transports en commun. Le nombre de passager km parcouru est un indicateur du secteur ; en tendanciel, il devrait varier d'un facteur 1 à 2 d'ici 2050 dans les pays développés et il augmenterait au moins d'un facteur 10 dans les pays émergents. La demande apparaît très liée au niveau de revenu des foyers, la distance entre le lieu de domicile et le travail et les services éducatifs.

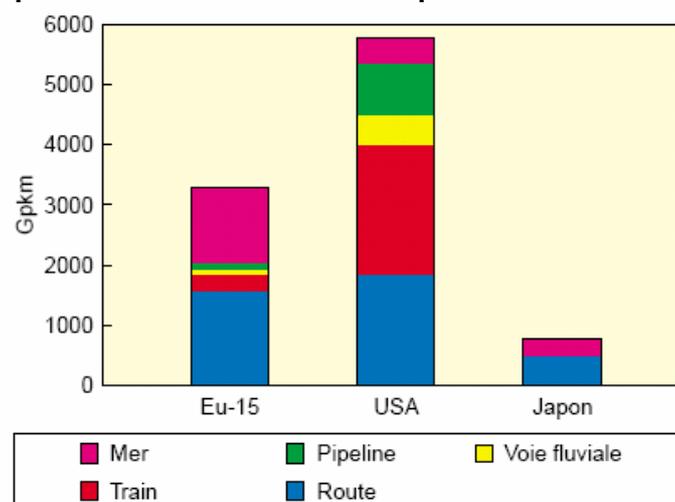
**Figure 2 : Répartition des modes de transport de passagers en 2000**



Source : Commission européenne 2003

L'évolution du transport de marchandises est principalement liée à celle du PIB et du commerce mondial. Les voies routières et aériennes ont fortement augmenté au cours des 20 dernières années (+120 %). La croissance est moindre, entre 50 et 80 %, pour les autres modes (ferroviaire, maritime, pipe). La répartition en fonction des régions est donnée *figure 3*. Les États-Unis présentent le *mix* le plus équilibré. En Europe, le transport routier continue de prendre des parts de marché au train.

**Figure 3 : Répartition des modes de transport de marchandises en 2000**

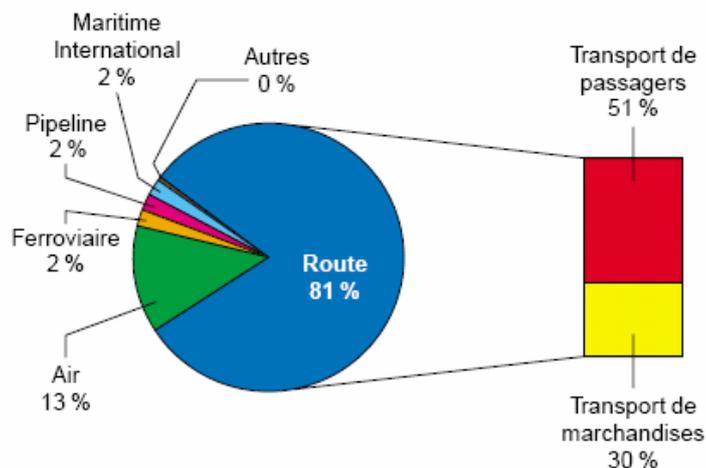


Source : Commission européenne 2003

Le poids du transport routier en terme de consommation énergétique est ultra dominant à 81 %, réparti à 51 % pour le transport de passagers et 30 % pour les marchandises (figure 4). Cette situation est attribuée au manque de compétitivité et d'infrastructures des autres modes ce qui s'explique par les raisons suivantes :

- éloignement entre les gares et les bassins d'activités ou les logements ; moindre centralité des destinations ;
- coûts relativement faibles des carburants ;
- stratégies de flux tendus et goûts des consommateurs pour des produits de plus en plus variés et spécialisés exigeants des transports flexibles et rapides.

**Figure 4 : Répartition de la consommation d'énergie du secteur en 2001**



Source : IFP

Le secteur du transport représentait 31,3 % de la consommation finale d'énergie de l'Union européenne en 2002. Ce secteur fait figure de « cancre de la classe », dans la mesure où il absorbe 66 % de la consommation finale de produits pétroliers, qui croît au rythme de + 1 % par an. La part du transport dans la consommation finale d'énergie de la France est ainsi passée de 20 % à 31 % entre 1973 et 2004.

Une amélioration limitée peut être attendue du progrès technologique des véhicules. Certes, les moteurs classiques sont sans cesse plus économes et plus propres. Mais les gains de rendement énergétique ainsi obtenus sont en pratique absorbés par l'augmentation de la puissance des véhicules et par l'accroissement du trafic. Les véhicules hybrides, fonctionnant à l'essence et à l'électricité, sont déjà au point, mais leurs capacités restent limitées par le problème du stockage de l'électricité. Quant aux véhicules propulsés par une pile à hydrogène, ils existent déjà au stade de prototypes. Mais la phase de production industrielle semble encore lointaine, tant que les coûts n'auront pas été suffisamment abaissés et que la question de la production de l'hydrogène n'aura pas trouvé de solution *via* ble.

Les plus grands progrès doivent être espérés, à court et moyen terme, du développement des transports collectifs urbains, pour les personnes, et du transport combiné ou du feroutage, pour le fret (rentable économiquement pour les trajets massifiés supérieurs à 500 kilomètres). La politique de l'énergie rejoint ici la politique des transports.

## 4. Les scénarios

### 4.1 Scénarios 2030 DG TREN (2003)

Les caractéristiques principales du scénario de référence pour l'UE 15 sont données *tableau 2 (annexe 2)*.

### 4.2 Scénarios 2050 Facteur 4 DGEMP - Enerdata – LEP II (2005)

Les hypothèses (*annexe 3*) relatives aux trafics de passagers et marchandises au-delà de 2030 s'appuient sur l'étude PREDIT 3 (scénario de mobilité durable pour la France). Les variables principales sont la démographie, le taux de croissance, le budget temps de transport des personnes, la vitesse, les volumes de trafic et leur répartition modale.

Les hypothèses retenues sur la technologie sont celles d'un basculement du paradigme moteur à combustion interne/pétrole vers un nouveau paradigme propulsion électrique/production d'électricité embarquée. Pour les véhicules légers, la réduction progressive du ratio d'émission de carbone par véhicule-km est de 140 gCO<sub>2</sub> (accord ACEA) en 2008 à 30 gCO<sub>2</sub> en 2050.

### 4.3 Scénarios exploratoires CGPC 2050 pour la France (2006)

Les enseignements du passé montrent que la période des 50 dernières années a été marquée par une forte croissance des transports sous l'effet de cinq facteurs :

- accroissement de la richesse ;
- ouverture des économies, transformation des modes de vie (accès à l'automobile : taux de motorisation multiplié par 10 depuis 1955, maison individuelle, temps libre...)
- disponibilité d'une énergie abondante à bas prix, développement des transports rapides (voies rapides, autoroutes, TGV, avion...),
- externalisation d'une partie du processus de production : les dépenses de transport de marchandises sont largement inférieures aux gains réalisés grâce à l'utilisation de la sous-traitance même la plus lointaine ;
- transit routier en croissance de 5 %/an sur les 10 dernières années, concentré sur quelques itinéraires autoroutiers (16 % du transport intérieur de marchandises ;

Les transports représentent 27 % des émissions de CO<sub>2</sub><sup>34</sup>. Ces émissions ont augmenté de 23 % entre 1990 et 2002, et sont stables depuis. Celles du transport routier ont été multipliées par 6,4 entre 1960 et 2000.

Quatre scénarios ont été élaborés à partir de 4 images du contexte économique et géopolitique (*figure 8 et 9, annexe 6*). À partir des hypothèses de ces scénarios et de la modélisation des flux de transport, les simulations donnent des ordres de grandeur des évolutions possibles pour les 50 prochaines années (voir le détail des hypothèses dans le *tableau 10, annexe 6*) :

- La route reste le mode de transport prédominant. Dans aucun des scénarios, le coût de la mobilité ne constitue un facteur limitant. Le prix élevé de l'énergie a peu de

---

<sup>34</sup> Industrie 21 %, bâtiments 20 %, énergie 13 %, agriculture 16 %, déchets et autres 4 % (Source CITEPA, Ministère de l'écologie et du développement durable, 2004).

conséquences sur le volume global des flux de transport. +50 % du prix de l'énergie par véhicule-km entraîne une baisse de 6,4 % des km parcourus (tenant compte de l'amélioration des technologies permises par l'augmentation des prix des carburants).

- Modération de la croissance des flux ;
- Ralentissement de la mobilité voyageur notamment sur les *courtes distances*, 0 à 50 km expliqué par les paramètres suivants : tassement de la croissance du revenu des ménages, augmentation du coût des transports, (environnement, sécurité, carburants), maturité de la motorisation des ménages, plafond du budget temps consacré aux transports, stabilité-diminution des vitesses.  
La croissance serait de 10 à 40 % sur la période 2000 – 2050. Ces déplacements de courte distance resteraient la part prépondérante 59 à 64 % de la mobilité globale des personnes (68 % en 2002). La part du collectif est de 8 à 10 %.
- Croissance soutenue pour les *moyennes et longues distances*, 50 à 1000 km en faveur de la voiture et du TGV. La croissance serait de 50 à 200 % sur la période 2000 – 2050.
- La croissance des déplacements *aériens* baisse de 4,3 % / an à +2,2 % / an. La croissance serait de 100 à 320 % sur la période 2000 – 2050.
- Ralentissement de la croissance du flux de *marchandises*, ciblé sur l'international et concentré sur quelques axes ou nœuds de fort transit. La croissance serait d'au plus 1 % / an sur la période 2000 – 2050.
- Le scénario le plus volontariste sur la question énergétique envisage des véhicules plus efficaces (3l/100 km) et une moindre dépendance aux carburants pétroliers (1/3 biomasse, 1/3 électricité d'origine nucléaire ou charbon CCS, 1/3 pétrole)
- Des potentiels existent pour les modes de transports alternatifs à la route (économiques en GES), en particulier dans les grandes agglomérations (IdF, agglomérations > 300 000 hab. : 40 à 60 % des déplacements), sur les axes fret massifiés et grâce à l'extension du réseau et de l'offre TGV.
- Le scénario le plus optimiste conduit à une division par 2,6 des émissions de CO<sub>2</sub> de l'ensemble des transports et 2,7 pour le transport terrestre par rapport à 2000.

#### 4.4 Projection de la demande de transport (tendanciel et Facteur 4)

##### *Préambule :*

*Dans le cadre des travaux du Groupe 5 pour la définition de scénarios 2025 et 2050, Olivier Paul-Dubois-Taine, membre du groupe, s'est livré à l'exercice ci-après de projection 2025 de la demande de transport à partir de données détaillées de la demande de transport en 2002 et de projections tendanciennes 2025 établies par le Service Economie, Statistique et Prospective du Ministère des transports (SESP), ainsi que des analyses de l'INRETS effectuées dans le cadre de la démarche prospective transport 2050 du CGPC (cf § 4.3).*

Ces projections 2025 (scénario tendanciel et scénario Facteur 4) portent :

**a- sur les déplacements de personnes** (voyageurs x km en transport intérieur au sens des comptes transport) et analysent différents marchés de la mobilité :

- les déplacements de proximité (moins de 100 km) des habitants des agglomérations urbaines (habitat dense, services quotidiens proches, transports collectifs) ;
- les déplacements de proximité (moins de 100 km) des habitants des espaces périurbains et ruraux (faible densité, services quotidiens plus éloignés, peu de transports collectifs) ;
- les déplacements à longue distance (plus de 100 km) qui se partagent entre la voiture, le train, l'autocar et l'avion.

**b- sur le transport aérien international** (exprimé en voyageurs sur les aéroports français) ;

**c- sur le transport intérieur de marchandises** (exprimé en tonnes x km), en distinguant la longue distance (essentiellement les semi remorques de plus de 25 tonnes) et la courte distance.

Cet exercice a été prolongé jusqu'en 2050, avec un scénario Facteur 4 qui prend en compte un certain nombre de ruptures (technologies et coût d'usage des véhicules, organisation urbaine et services de mobilité, etc.) ; quelques perspectives tendanciennes ont été extrapolées, pour mémoire.

#### 4.4.1 Répartition actuelle de la demande de mobilité des personnes, selon les marchés

Cette répartition a été reconstituée pour l'année 2002 à partir des récentes analyses du SESP et de l'INRETS, en voyageurs x kilomètres annuels parcourus (déplacements motorisés des Français en France, hors trajets internationaux et touristes étrangers), et en véhicules x kilomètres (tableau 1).

**Tableau 1 : Répartition des flux et des trafic par zone (base 2002)**

Milliards de voy.km parcourus		dont transp. collectifs		dont VP		Trafic : G. VP x km	
<b>Urbain de proximité</b> (0 à 100 km)	Ile de France	14		26			
	Reste France	8		112			
	<i>Total</i>	22	17%	138	20%	119	26%
<b>Périphérie et rural de proximité</b>	Ile de France	12		38			
	Reste France	14		287			
	<i>Total</i>	26	13%	325	49%	232	50%
<b>Longues dist.</b> (plus de 100 km)	Ile de France	38		52			
	Reste France	55		153			
	<i>Total</i>	93	70%	205	31%	114	25%
<b>Ensemble</b>	<i>Total général</i>	<b>141</b>	<b>100%</b>	<b>668</b>	<b>100%</b>	<b>465</b>	<b>100%</b>

Par rapport aux enjeux de consommation d'énergie et d'émissions de CO<sub>2</sub>, cette situation appelle les principaux commentaires suivants :

- les déplacements de proximité (moins de 100 km) comprennent les déplacements de semaine et de fin de semaine ; environ 20 % de ces kilomètres correspondent à des trajets domicile travail ;
- environ la moitié des kilomètres parcourus en voiture résulte des déplacements de proximité (moins de 100 km) effectués par les habitants des zones périphériques et rurales à faible densité ;
- pour ces déplacements de proximité, la part des transports collectifs urbains est forte en Ile de France (44 %), plus modeste dans les autres agglomérations urbaines (17 %) et très faible dans les zones périphériques et rurales (9 %) ;
- la part déplacements à longue distance reste limitée (25 % de l'ensemble des véhicules x kilomètres annuels parcourus), même si ces déplacements s'accroissent à un rythme nettement plus élevé ;
- pour ces déplacements à longue distance, les modes de transport alternatifs à la voiture (train ou avion) sont utilisés plus fortement par les habitats d'Ile de France, qui disposent d'une offre beaucoup plus étendue et dont les revenus élevés prédisposent à des déplacements plus longs.

#### 4.4.2 La mobilité des personnes, selon les marchés : évolutions 2002-2025

Par rapport au scénario tendanciel (mise en œuvre des mesures décidées ou très probables), un scénario 2025 volontariste implique à la fois des mesures :

- de régulation par les prix, avec une augmentation du prix des carburants (taxe carbone ou équivalent) de l'ordre de 50 % (en monnaie constante) sur la période ;
- de mise en œuvre à un rythme plus soutenu des politiques de développement des modes alternatifs à la route et à l'aérien intérieur (avec des mesures de régulation des vitesses et de partage de la voirie dans les zones urbaines denses) ;
- de développement des services de mobilité à la personne, dans les zones à faible densité où les transports collectifs sont peu capables d'offrir de services alternatifs à la voiture.

Les gisements potentiels d'économie de mobilité en voiture et les modes d'action susceptibles d'y contribuer sont très différents selon les trois marchés de la mobilité des personnes :

- **Mobilité urbaine** (26 % des km en voiture) : les moyens d'action sont ceux des politiques locales (plans de déplacements urbains) : développement des transports collectifs, partage de la voirie, stationnement payant, développement des modes non motorisés pour déplacement de proximité (vélo). Ils peuvent être intensifiés et étendus avec l'instauration de péages urbains par les autorités d'agglomération. L'effet de ces politiques est limité aux grandes agglomération et leur extension (localisation des commerces et des activités, politiques foncières, etc.). L'objectif du scénario volontariste serait une croissance de 40 % de la clientèle des transports collectifs dans les grandes agglomérations (au lieu de 15 % dans le scénario de référence).
- **Mobilité de proximité en périurbain et rural** (50 % des km en voiture) : c'est le gisement de mobilité automobile de loin le plus important et aussi le plus difficile à exploiter. Les transports collectifs classique étant peu adaptés à ces zones à faibles densité, les alternatives à la mobilité en voiture individuelle restent : le co-voiturage sous toutes ses formes ; le télétravail et les télé services ; et, sur le long terme l'organisation du développement de l'habitat et des activité autour de pôles de services permettant de regrouper les déplacements et d'améliorer l'efficacité des transports collectifs. Dans le scénario volontariste, une augmentation de 50 % le prix d'usage de l'automobile pour les déplacements quotidiens de proximité conduirait à abaisser de 34 % à 23 % la croissance de le circulation automobile sur la période. Le développement des TER et des Tram-trains permettant l'accès rapide au centre des grandes agglomérations entraînerait une croissance des voyageurs x km de 25 % (scénario tendanciel) à +50 % (scénario Facteur 4).
- **Mobilité à longue distance** (25 % des km en voiture) : les moyens d'action combinent une offre de transports collectifs renforcée (développement de TGV au dépend de l'avion, services d'autocars interurbains sur les liaisons mal desservies par le transport ferroviaire) et le prix d'usage de la voiture individuelle (+50 % d'augmentation sur la période). Ils conduiraient à une croissance beaucoup plus forte de la clientèle des transports collectifs (+100 % au lieu de +50 %) et à une plus faible croissance des trafics automobiles (+54 % au lieu de +76 %) sur la période.
- **Performance des véhicules** : les performances énergétiques du parc VP en France étaient en 2002 de 170 g CO<sub>2</sub>/km en moyenne. Dans un scénario tendanciel, compte tenu de l'accord ACEA et des pressions des instances européennes, ces performances devraient à l'horizon 2025 s'abaisser à 145 g CO<sub>2</sub>/km, compte tenu d'un rythme normal de renouvellement. Dans un scénario plus volontariste (Facteur 4), la consommation moyenne du parc s'abaisserait à 125 g CO<sub>2</sub>/km, compte tenu d'un objectif de

commercialisation des véhicules neufs à 120 g CO<sub>2</sub>/km et d'incitation à un renouvellement accéléré du parc.

#### 4.4.3 Estimation des flux 2025 pour les scénarios tendanciel et volontariste

Le tableau 2 porte sur les projections des flux de transports et des trafics en 2025 selon les hypothèses tendanciennes prises en compte par l'étude du SESP.

**Tableau 2 : Projection 2025, scénario tendanciel**

Milliards de voy/km parcourus		dont tr. collectifs	Δ 2025/2002	dont VP	Δ 2025/2002	Trafic VP	Δ 2025/2002
<b>Urbain de proximité</b> (0 à 100 km)	Total	25	<b>+15 %</b>	145	<b>+5 %</b>	125	<b>+5 %</b>
	<i>dont TCSP</i>	16					
	<i>dont bus</i>	9					
<b>Périphérie et rural de proximité</b>	Total	33	<b>+25 %</b>	420	<b>+29 %</b>	305	<b>+34 %</b>
	<i>dont fer</i>	21					
	<i>dont bus</i>	12					
<b>Longues dist.</b> (plus de 100 km)	Total	140	<b>+50 %</b>	360	<b>+76 %</b>	200	<b>+76 %</b>
	<i>dont fer</i>	95					
	<i>dont aérien</i>	20					
<b>Ensemble</b>	<i>Total général</i>	<b>198</b>	<b>+40 %</b>	<b>925</b>	<b>+35 %</b>	<b>630</b>	<b>+36 %</b>

Le tableau 3 porte sur les projections des flux de transports et des trafics en 2025 selon les hypothèses plus volontaristes décrites ci-dessus.

**Tableau 3 : Projection 2025, scénario Facteur 4**

Milliards de voy/km parcourus		dont tr. collectifs	Δ 2025/2002	dont VP	Δ 2025/2002	Trafic VP	Δ 2025/2002
<b>Urbain de proximité</b> (0 à 100 km)	Total	30	<b>+40 %</b>	135	<b>-2 %</b>	115	<b>-3 %</b>
	<i>dont TCSP</i>	18					
	<i>dont bus</i>	12					
<b>Périphérie et rural de proximité</b>	Total	40	<b>+50 %</b>	395	<b>+21 %</b>	285	<b>+23 %</b>
	<i>dont fer</i>	26					
	<i>dont bus</i>	14					
<b>Longues dist.</b> (plus de 100 km)	Total	170	<b>+80 %</b>	315	<b>+54 %</b>	175	<b>+54 %</b>
	<i>dont fer</i>	130					
	<i>dont aérien</i>	16					
<b>Ensemble</b>	<i>Total général</i>	<b>240</b>	<b>+70 %</b>	<b>845</b>	<b>+25 %</b>	<b>570</b> (*)	<b>+23 %</b>

(\*) Avec une hypothèse d'élasticité de -0,20 du trafic automobile au prix des carburants

#### 4.4.4 La mobilité des personnes : scénario 2050 Facteur 4

Dans un scénario volontariste tourné vers le Facteur 4, la période 2025-2050 serait marquée par des ruptures technologiques et organisationnelles préparées dès les prochaines années, mais dont la durée de maturation dépasse plusieurs décennies.

- d'une part, les évolutions technologiques des véhicules conduiraient à une utilisation massive de l'électricité pour les trajets à courte et moyenne distance (véhicules urbains tout électrique ou véhicules hybrides rechargeables) conduisant à une forte diminution (par rapport à la situation 2025) du coût kilométrique des véhicules pour ce type de trajets (malgré le coût des batteries) ;
- d'autre part, outre la concentration d'une partie de la croissance urbaine dans les agglomérations denses, l'espace périurbain et rural de proximité aurait développé des pôles de services de proximité permettant de limiter les déplacements et de faciliter l'organisation de transports « semi collectifs ».

- **Mobilité urbaine (20 % des km en voiture) :** les politiques volontaristes de développement des agglomérations urbaines denses, avec limitation de la circulation dans les zones centrales et développement des transports collectifs seraient complétées par la substitution de la majeure partie de la circulation automobile classique par des « petits véhicules électriques » non polluants et moins encombrants (avec des réglementations ou des incitations tarifaires). La circulation automobile serait stabilisée au niveau atteint en 2025 (légère augmentation liée aux extensions urbaines). La part des transports collectifs serait également stabilisée entre 2025 et 2050
- **Mobilité de proximité en périurbain et rural (48 % des km en voiture) :** la politique d'organisation des territoires autour de pôles de services de proximité (commerces santé, écoles, livraisons et autres services de mobilité) aurait pour effet de limiter la demande de déplacements quotidiens, autres que professionnels et encourager le regroupement de l'habitat à proximité de ces pôles avec un usage important de la voiture électrique (environ 60 % des km parcourus, compte tenu de la diminution des distances de trajets quotidiens). La part des transports collectifs à moyenne distance (plus de 20 km) continuerait à s'accroître, principalement avec les TER et les trams-trains (pour l'accès aux principaux pôles d'activité).
- **Mobilité à longue distance (32 % des km en voiture) :** la croissance du trafic automobile est très ralentie, compte tenu du prix élevé carburants (doublement du coût kilométrique). La demande de transport ferroviaire continuerait sa croissance, de façon un peu ralentie par rapport à la période 2005 – 2025 (fin de l'effet d'offre de nouvelles lignes à grande vitesse), notamment sur les liaisons ferroviaires internationales et entre capitales régionales. Les liaisons interrégionales par autocar rapide continueraient à se développer.
- **Performance des véhicules :** à l'horizon 2050, le parc VP comprendrait environ 44 millions de véhicules dont la moitié serait tout électrique (petits véhicules urbains ou de proximité) ou et la moitié hybride rechargeable (avec une autonomie de batterie pour les trajets courts). Compte tenu d'une part de 45 % de km parcourus avec de l'énergie électrique, la consommation totale de carburants (dérivés, du pétrole ou biocarburants) serait de l'ordre de 11 à 12 millions de Tep.

**Tableau 4 - Projection 2050, scénario Facteur 4**

Milliards de voy/km parcourus		dont tr. collectifs	Δ 2050/2002	dont VP	Trafic VP (G V x km)	Δ 2050 /2002	
<b>Urbain de proximité</b> (0 à 100 km)	<i>Total</i>	32	<b>+45 %</b>	140	<i>Total</i>	120	<b>0 %</b>
	<i>dont TCSP</i>	20			<i>dont électr</i>	100	
	<i>dont bus</i>	12			<i>dont carb</i>	20	
<b>Périphérie et rural de proximité</b>	<i>Total</i>	48	<b>+85 %</b>	420	<i>Total</i>	300	<b>+30 %</b>
	<i>dont fer</i>	32			<i>dont électr</i>	180	
	<i>dont bus</i>	16			<i>dont carb</i>	120	
<b>Longues dist.</b> (plus de 100 km)	<i>Total</i>	220	<b>+140 %</b>	360	<i>Total</i>	200	<b>+75 %</b>
	<i>dont fer</i>	160			<i>dont électr</i>	0	
	<i>dont aérien</i>	16			<i>dont carb</i>	200	
<b>Ensemble</b>	<i>Total général</i>	<b>240</b>	<b>+70 %</b>	<b>920</b>		<b>620 (*)</b>	<b>+33 %</b>

(\*) Avec une hypothèse d'élasticité de -0,20 du trafic automobile au prix des carburants

#### 4.4.5 Transport aérien international

Le trafic total des aéroports français métropolitains s'élevait **en 2004** à 124,4 millions de passagers (Mp), **dont 76,1 pour le trafic international** (41,5 Mp. d'échanges avec les pays de l'Union européenne et 34,5 avec les autres pays du monde).

Après un effet de rattrapage suite à la stagnation du trafic entre 2001 et 2004, la croissance tendancielle du trafic aérien (en nombre de passagers sur les aéroports français) serait de 3 % à 3,5 % par an sur la période 2005 – 2050, soit 190 Mp. en 2030 (x 2,5) et 320 Mp. en 2050 (x 4,2).

Dans un scénario volontariste (facteur 4), avec un prix du kérosène en forte croissance (taxe carbone européenne d'ici 2025 et mondiale vers 2030) et un développement des liaisons ferroviaires à grande vitesse entre les pôles européens, cette croissance pourrait être limitée :

- entre 2 % et 2,5 % sur la période 2005 – 2030, soit 150 Mp. en 2030 (x 2,0)
- et entre 1,5 % et 2 % après 2030 soit 212 Mp. en 2050 (x 2,8).

Cette « pression environnementale » incitera les opérateurs à optimiser l'utilisation de leur flotte, avec des appareils de plus grande capacité et des moteurs plus économes. **La consommation d'énergie au passager x km transporté pourrait ainsi diminuer d'un facteur 2 d'ici 2030.**

#### 4.4.6 Transport intérieur de marchandises

En 2002, le transport intérieur routier de marchandises représentait 277 milliards de tonnes x km, dont :

- la majeure partie (environ 93 %) est transportée par poids lourds (plus de 3,5 tonnes) représentant 27 G véh. x km ;
- le reste (livraisons fractionnées à courte distance, pour l'essentiel) est assuré par les VUL (environ la moitié des km parcourus), soit 43 G véh. x km.

**Scénario 2025 tendanciel :** le transport routier de marchandises s'accroît d'environ 1,5 % par an (soit +41 % entre 2002 et 2025), compte tenu de la hausse des prix des carburants et

des progrès de productivité de la profession (moteurs plus économes, meilleur remplissage des camions). Compte tenu de la plus forte croissance à l'international (semi remorques de 40 tonnes), l'augmentation du trafic de poids lourds serait légèrement inférieure. Le transport ferroviaire devrait renouer avec la croissance, compte tenu notamment de l'ouverture du marché à de nouveaux opérateurs et des aménagements programmés de capacité ferroviaire.

**Scénario 2025 Facteur 4 :** à volume de transport identique (entonnnes x km), ce scénario se caractérise par une accélération des programmes de développement des capacités et services de transport ferroviaires et fluviaux prévus au CIADT de décembre 2003. Le transport ferroviaire, entre 2005 et 2025 s'accroîtrait de 85% (au lieu de 44 %), notamment avec la réalisation de plusieurs autoroutes ferroviaires, et le volume du transport fluvial doublerait. La croissance du TRM entre 2005 et 2025 serait ramenée de 30 % à 13 %. Le trafic des poids lourds diminuerait plus faiblement, dans la mesure où les transferts modaux portent sur des trafics routiers très optimisés. La progression du trafic des VUL (supérieure à celle des tonnes x km) ne serait pas affectée.

**Scénario 2050 Facteur 4 :** le transport routier de marchandises s'accroîtrait à l'horizon 2050 de +50 % à +70 % par rapport à 2005 (selon la structure de l'économie et les délocalisations). Pour faire face à cette croissance et notamment à la concentration des flux internationaux, les services de transport ferroviaires seraient développés à grande échelle sur les deux axes de transit nord-sud dédiés au fret reliant l'Espagne à l'Europe du nord et de l'est, afin de reporter sur le fer l'essentiel du transit routier international. Le trafic ferroviaire serait multiplié par 3 ou 3,5 (selon la technologie développée sur l'infrastructure dédiée fret) et le trafic routier se stabiliserait à un niveau un peu supérieur à celui atteint en 2025

**Performance des véhicules :** les consommations de carburant au véhicule x km des poids lourds pourraient s'améliorer d'environ 15 % à l'horizon 2025 et de 30 % à l'horizon 2050. Les véhicules utilitaires légers devraient suivre une évolution technologique parallèle à celle des voitures particulières, à savoir : des véhicules tout électrique pour livraisons en milieu urbain et à courte distance ; des véhicules hybrides rechargeables pour la moyenne et longue distance.

**Tableau 5 : Projections marchandises : 2025 et 2050**

Variables marchandises	2005	2025 Tendanciel	2025 Facteur 4	2050 Facteur 4
Total G.Tonnes x km	348	459 (+37 %)	459 (+37 %)	556 (+60 %)
<i>dont route</i>	300	390	369	392 à 412
<i>dont ferroviaire</i>	41	59	76	124 à 144
<i>dont fluvial</i>	7	10	14	20
G.PL. x km > 3,5 tonnes	35	44 (+26 %)	42 (+20 %)	46 à 48 (+33 %)
G.VUL. x km < 3,5 tonnes	45 (*)	63 (+40 %)	63 (+40 %)	75 (+70 %)

(\*) On a considéré que la moitié des VUL x km était affectée au transport de marchandises (l'autre moitié étant prise en compte dans les VP x km voyageurs)

#### 4.5 Concept et scénario de mobilité urbaine

Les travaux du PREDIT apporte une classification conceptuelle des politiques de la mobilité urbaine qui montre face à un objectif d'accroissement ou de réduction de la mobilité, deux type de politiques par l'organisation et la régulation d'une part et par les mécanismes de marché d'autre part.

Scénario 1 : situation prédominante pendant longtemps, expliquée par une forte confiance dans le progrès technologie censé apporter beaucoup de réponse aux besoins de la société. Hors contraintes d'environnement, la tendance est de rester dans la voie technologique.

Scénario 2 : modèle prévalant en Angleterre (péage urbain) ;

Scénario 3 : considérant que le péage donne de l'argent à l'État, les transactions sont organisées entre pollueur et pollué. Le contrat est préféré à la taxe.

**Tableau 4 : Concepts relatifs à la mobilité urbaine**

<b>Les programmes (policy)</b>		
<b>Les choix collectifs (politics)</b>	Recours préférentiel aux organisations et à des processus collectifs de régulation	Recours préférentiel aux marchés et à des incitations individuelles
Maintien, voire accroissement de la mobilité des personnes et des marchandises	Scénario 1 « Volontarisme technologique » <b>homo technicus</b>	Scénario 2 « Connaissance des coûts et Vérité des Prix » <b>homo oeconomicus</b>
Recherche d'une réduction de la mobilité des personnes et des marchandises	Scénario 4 « Maîtrise de la mobilité par une transaction urbaine » <b>homo politicus</b>	Scénario 3 « Maîtrise de la mobilité par des transactions privées » <b>homo contractor</b>

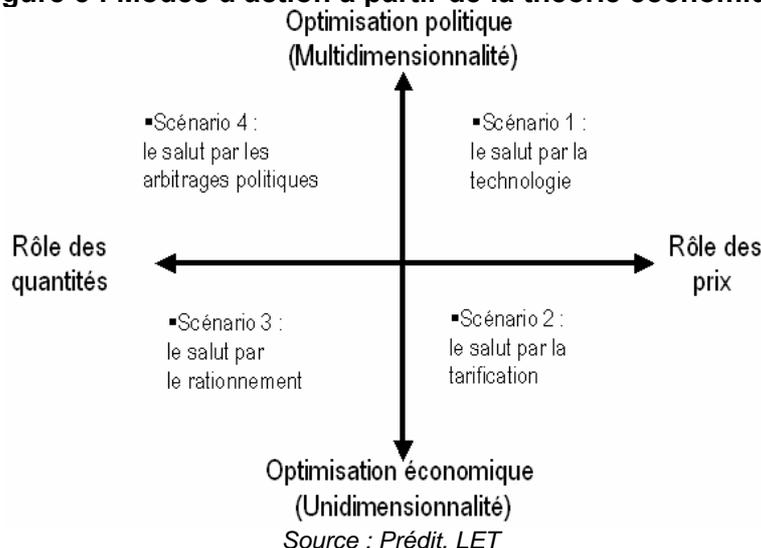
Source : PREDIT, Laboratoire d'économie des transports, LET

Scénario 4 : la transaction est collective et politique (c'est le modèle Allemand et Suisse).

Trois modes d'actions sont possibles relevant de théories économiques différentes :

- jouer sur les prix,
- réagir par rapport à la fixation de quantités,
- apporter une réponse politique qui traduit la complexité, les rapports de forces sociaux et rejette les arbitrage économiques (prix ou quantité).

**Figure 5 : Modes d'action à partir de la théorie économique**



### *5. Les évolutions possibles du secteur*

Il est nécessaire de tenir compte des temps de renouvellement des véhicules. L'IFP avance à titre indicatif que l'introduction naturelle à 50 ou à 95 % d'une nouvelle technologie dans un parc d'automobile prend respectivement 13 ans et 24 ans.

Les pistes d'évolutions :

- la réduction de consommation et des émissions unitaires des véhicules ;
- l'utilisation de carburants alternatifs ou d'autres sources d'énergie ;
- l'accélération du renouvellement des parcs de véhicules ;
  
- l'augmentation de la part modale des modes de transports autres que la route ;
- la redynamisation des modes alternatifs de transports de marchandises ;
- le changement radical des infrastructures à très long terme ?
  
- la diffusion des modes de vie autour des trajets court, la densification de l'habitat ;
- l'augmentation des services apportés par les technologies de l'information et de la communication.

Annexe 4.1 : Comparaisons de scénarios de consommation du secteur des transports

Tableau 5

Consommation des transports (Gtep/an)	2005 (IFP)	2050 (AIE Energy Technology Perspectives 2006)			2003-2100 (Source P.R. Bauquis)			
		Référence	MAP	TECH+	2003	2012	2030	2050
	1,78 Gtep	4,5 Gtep	3,7 Gtep	3,5 Gtep	2 Gtep	2,7 Gtep	3,4 Gtep	3,8 Gtep
<b>Hydrocarbures naturels</b>	1,75 Gtep (98,1 %)	4,2 Gtep (94 %)	3 Gtep (81 %)	2 Gtep (57 %)	2	2,7	2,8 (82 %)	2 (52 %)
<b>Electricité</b>	1 %	2 %					Hybride rechargeable	
							0,2 (6 %)	0,6 (16 %)
<b>Hydrocarbures conventionnels synthétiques (Fischer-Tropsch gaz et charbon)</b>		0,93 Gtep (20 %)	0,3 Gtep (8,3 %)	0,28 Gtep (8 %)			0,2 (6 %)	0,6 (16 %)
<b>Hydrocarbures conventionnels synthétiques (biocarburants : biodiesel et éthanol)</b>	0,5 %	0,13 Gtep (2,8 %)	0,48 Gtep (13 %)	0,85 Gtep (24 %)				
<b>Hydrogène carbonée (synthétiques 2<sup>ème</sup> génération)</b>				0,25 Gtep (7 %)			0,2 (6 %)	0,6 (16 %)
<b>Charbon (autres)</b>	0,3 %	2 %						
<b>Gaz naturel (autres)</b>		2 %						

Sources IFP 2005, AIE 2006, P.R. Bauquis 2003

Annexe 4.2 : scénario de référence DGTREN 2003, secteur transports

**Tableau 6 : Scénario DGTREN 2030**

Scénario de référence UE – 15	Période 2000 - 2030	Variables	
<b>Economie</b>	Modernisation économique continue Progrès technologique substantiel Développement du marché intérieur	Croissance du PIB mondial	3 %/an
		Croissance du PIB UE-15	2,3 %/an
<b>Énergie</b>	Politique d'efficacité énergétique et de renouvelables. Economie davantage tournée vers les services et vers moins de production industrielle énergivore.  Pas de nouvelles mesures sur la réduction des émissions de GES  Prix du pétrole plus faible en 2030 qu'en 2000	Énergie primaire	0,6 %/an
		Énergie finale	0,8 %/an
		Intensité énergétique primaire	-1,7 %/an
		Intensité énergétique finale	-1,4 %/an
<b>Transport</b>	Accord sur l'efficacité énergétique avec les constructeurs automobiles	Croissance du transport de passagers	1,4 %/an
		Croissance du transport de marchandises	2,1 %/an
<b>Demande d'énergie des transports</b>	Moins rapide que dans la période précédente due aux améliorations de l'intensité énergétique du secteur correspondant notamment aux accords environnementaux de l'industrie automobile, malgré une poursuite du report vers l'aérien et la route. <sup>35</sup>	Croissance de la demande	0,9 %/an

Source : *European Energy and Transport – Trends to 2030, 2003*

<sup>35</sup> Au niveau de l'UE 25, la part du rail (passagers et fret) décroît fortement au profit de la route et de l'avion. En 2000, les pays accédant ont une part de fret ferroviaire de 43 % et l'UE – 15 de 13 % ; ils tendent à rejoindre le type d'organisation des 15.

*Annexe 4.3 : Étude Prospective énergétique à 2050 pour la France (DGEMP, ENERDATA, LEPII, février 2005)*

Cette étude produit un scénario facteur 4 à 2050.

Hypothèses pour les transports :

**Tableau 7: Hypothèses de trafic à 2050**

Equipement et usage de l'automobile en 2050	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ménages 1 pers : 12 000 km/an</li> <li>• monoparental : 15000 km/an</li> <li>• 2 pers: 21000 km/an</li> <li>• &gt;2pers: 25000 km/an</li> </ul>
Trafic collectif passagers	<ul style="list-style-type: none"> <li>• la mobilité terrestre passe de 2000 km/an/pers en 2001 à 6700km/an/pers en 2050,</li> <li>• dont 2/3 en TGV</li> </ul>
Trafic marchandises	<ul style="list-style-type: none"> <li>• baisse de l'élasticité du trafic de 1,1 à 0,9</li> <li>• retour du trafic routier au niveau 2010</li> <li>• solde pris par fret marchandises ferroviaire grande vitesse européen (alignement sur étude PREDIT 2050)</li> </ul>

Source : Enerdata

**Tableau 8 : Projection de trafic à 2050**

	1990	2001	2010	2030	2050
<b>Route</b>					
Voiture, VUL Gvkm	350	467	507	605	543
Camions Gtkm	194	274	284	315	277
Bus-Taxis Gpkm	41	44	49	51	60
<b>Fer</b>					
Passagers GpKm	64	72	97	189	370
Marchandises Gtkm	50	50	67	129	247
<b>Voies d'eau GtKm</b>	7	7	8	14	25

Source : ENERDATA

**Tableau 9 : Hypothèses technologiques à 2050**

VP, VUL en part du parc	<ul style="list-style-type: none"> <li>• électrique urbain : 40 %</li> <li>• hybrides 30 % dont : 45 % essence, 55 % gazole, 10 % biocarburants</li> <li>• PAC – H2 : 30 %</li> </ul>
VL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 50 % hybride gazole dont 10 % biocarburants</li> <li>• gaz naturel : 20 % du parc bus et distribution de marchandises en urbain (60 % en 2030)</li> <li>• PAC – H2 : 30 %</li> </ul>
TGV	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compensation entre hausse du facteur de charge et effet de la vitesse</li> </ul>

Source : Enerdata

**Tableau 10 : Projection de demande d'énergie à 2050**

Mtep	1990	2001	2010	2030	2050
Essence (y.c. biocarburants)	17,8	13,8	14,0	8,3	1,2
Gazole (y.c. biocarburants)	18,0	29,0	29,5	26,7	15,7
GPL	0,1	0,2	0,4	0,7	0,0
GNV			0,4	1,0	0,3
Electricité	0,7	0,9	1,1	4,5	9,1
H2			0,0	0,8	7,2
<b>Total</b>	<b>36,5</b>	<b>43,9</b>	<b>45,4</b>	<b>42,1</b>	<b>33,5</b>

Gris : METL/SES, Comptes Transport de la Nation ; CPDP, TCEF

Mtep	1990	2001	2010	2030	2050
<b>Véhicules légers</b>	<b>24,4</b>	<b>28,9</b>	<b>30,5</b>	<b>27,5</b>	<b>18,2</b>
Pétrole-gaz	24,4	28,9	30,5	24,8	8,1
H2			0,0	0,5	5,6
Electricité			0,0	2,2	4,5
<b>Camions, bus</b>	<b>10,0</b>	<b>12,7</b>	<b>12,4</b>	<b>10,4</b>	<b>7,7</b>
Pétrole-gaz	10,0	12,7	12,4	10,0	5,8
H2			0,0	0,3	1,6
Electricité			0,0	0,1	0,3
<b>Total route</b>	<b>34,6</b>	<b>41,8</b>	<b>43,1</b>	<b>38,1</b>	<b>26,1</b>

Gris : METL/SES, Comptes Transport de la Nation

Mtep	1990	2001	2010	2030	2050
Part des biocarburants	0%	0%	3%	10%	10%
Emissions de CO <sub>2</sub> , hors air (Mt)	112	134	134	103	48
Parc VP, VUL (Millions)	27	32	36	41	38
Intensité énergétique	362	363	328	226	136

Source ENERDATA

*Annexe 4.4 : Hypothèses transport du scénario faibles émissions du World business council for sustainable development (WBCSD)*

**Tableau 11 : Scénario faibles émissions du WBCSD (Source WBCSD 2005)**

Transports par Région	Consommation Aviation & route (2002)	Route (2002)	Carburant Fossile Bio H2 (2002)	Consommation Aviation & route (2050)	Route (2050)	Carburant : Fossile Bio H2 (2050)
USA + Canada	25,2 EJ	4,9 Mrd km	99 % 1 % 0 %	16 EJ (-36 %)	5,3 Mrd km	48 % 25 % 27 %
Europe 25	13 EJ	3,7 Mrd km	99 % 1 % 0 %	9,5 EJ (-27 %)	3,5 Mrd km	47 % 21 % 32 %
Japon	3,6 EJ	1,1 Mrd km	100 % 0 % 0 %	2,8 EJ (-22 %)	1 Mrd km	0 % 0 % 100 %
Chine	2,3 EJ	0,44 Mrd km	100 % 0 % 0 %	14,5 EJ (+530 %)	5,6 Mrd km	83 % 0 % 17 %

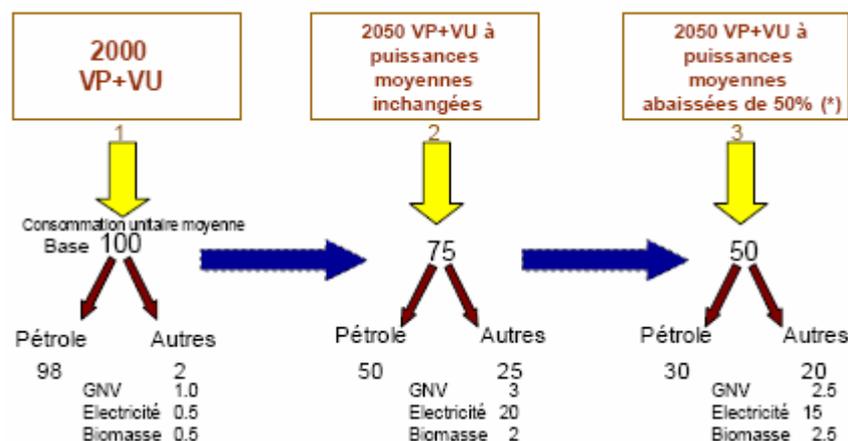
Annexe 4.5 : Données de l'étude « Sources d'énergies pour le 21<sup>e</sup> siècle »  
(P.-R. Bauquis, 2004)

Tableau 12

	2000	2020	2050	2100
<b>Énergie Monde en (Gtep)</b>				
Dont :				
Pétrole	3,7	5,0	3,5	1,5
Gaz	2,1	4,0	4,5	2,0
Charbon	2,2	3,0	4,5	4,5
Nucléaire	0,6	1,0	4,0	12,0
Renouvelables	0,7	1,0	1,5	3,0
Consommation totale d'énergie (Gtep)	9,5	14,0	18,0	23,0
Dont :				
Énergies consommées pour les transports - Gtep	1,9	2,7	3,4	4,1
Pourcentage des consommations énergétiques assurant les besoins des transports	20%	19%	19%	18%

Source : AIE, estimations futures : P.-R. Bauquis

Figure 6 : Bilans énergétiques des transports routiers : valeurs des consommations relatives en 2000 et 2050



Source : P.-R. Bauquis

Tableau 13 : Consommation énergétique du secteur des transports

Consommation mondiales en milliards de tep	1980	2000	2020		2050	2100
Transports terrestres	0,9	1,5	2,5	2,0	2,5	3,0
Transports aériens	0,1	0,2	0,5	0,4	0,5	0,6
Transports maritimes	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3
Transports autres	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
<b>TOTAL</b>	<b>1,2</b>	<b>1,9</b>	<b>3,2</b>	<b>2,7</b>	<b>3,4</b>	<b>4,1</b>

Sources : AIE, P.-R. Bauquis

Figure 7 : Scénario de production mondiale de pétrole et part des transports

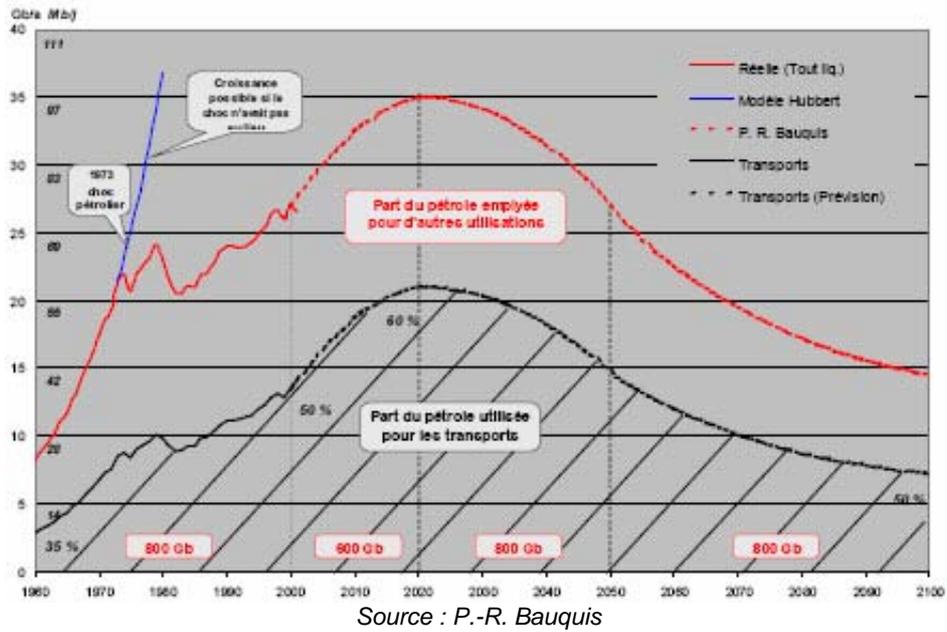


Figure 8 : Énergie pour les transports

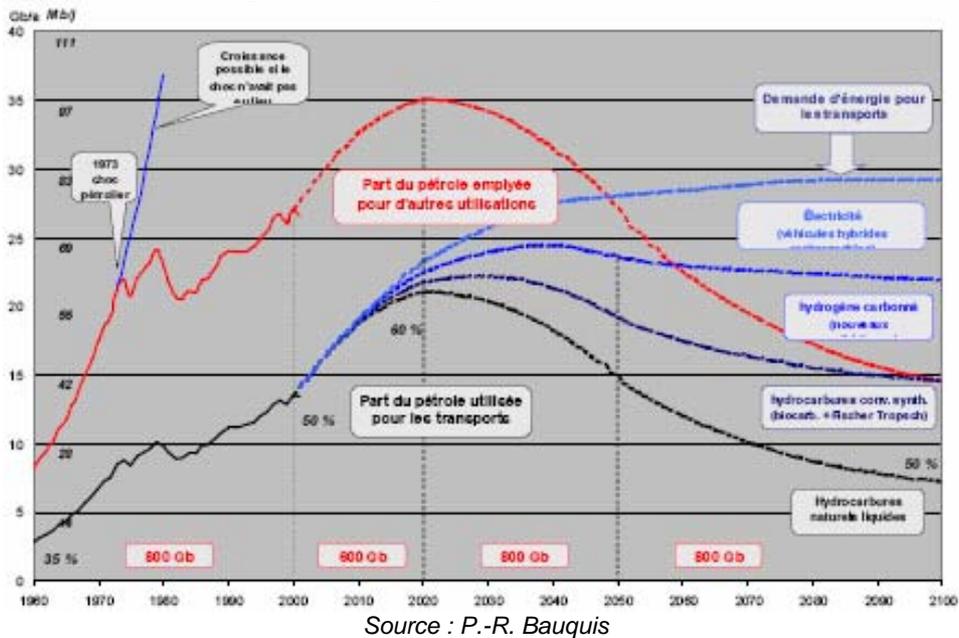
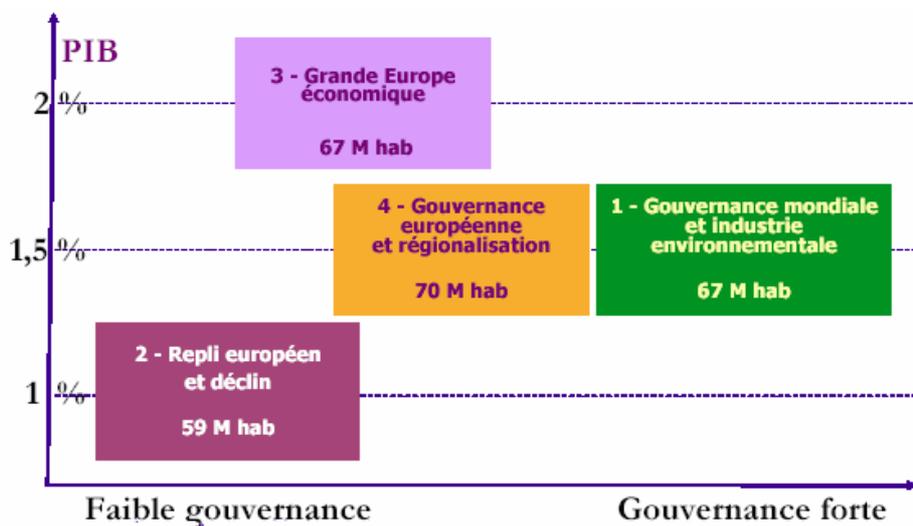


Figure 9 : Scénarios de contexte



Figure 10 : Position des scénarios en fonction des hypothèses de croissance du PIB et du niveau de gouvernance notamment en matière d'énergie



**Tableau 14 : Hypothèses des 4 scénarios du secteur des transports pour la France**

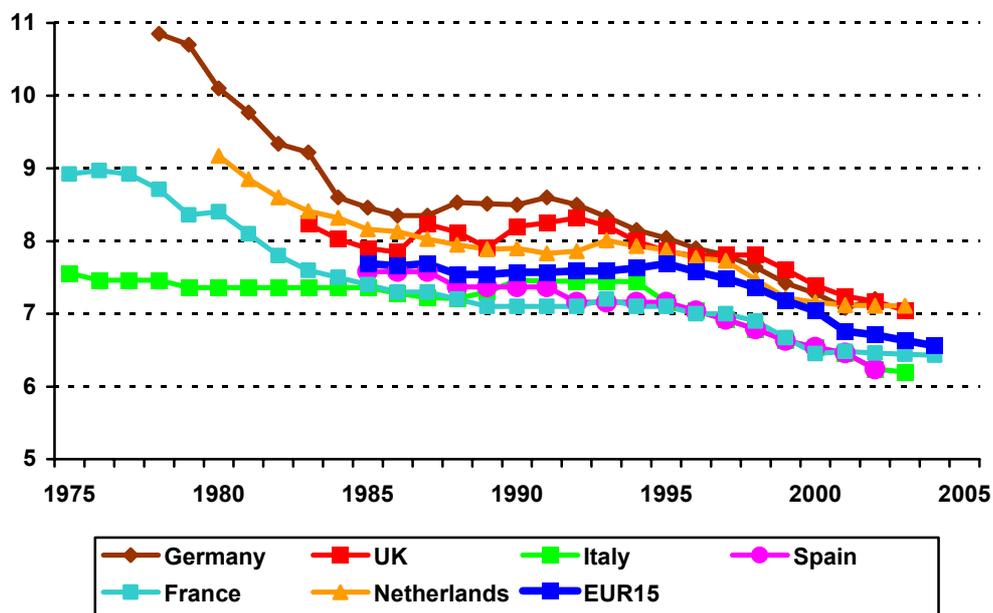
	1975 - 2002	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Modèle fédéral fort à 25</li> <li>Gouvernance mondiale en matière d'énergie</li> <li>Maintien des activités industrielles compétitives</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Economie mondiale centrée sur Asie et États-Unis</li> <li>Cohésion européenne faible - repli</li> <li>Absence de gouvernance europ. ou mondiale de l'énergie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Europe centrée sur compétitivité et sécurité</li> <li>Europe plus unie après 2015</li> <li>Intégration forte avec la CEI et le pourtour méditerranéen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Europe fédérale à 25+</li> <li>Domination États-Unis et Asie</li> <li>Place importante des valeurs de l'emploi et de l'environnement</li> </ul>
<b>Démographie</b>	46,5 M	67 M Population plus dispersée en fonction des revenus	59 M Vieillessement et chômage Habitat périurbain et en autarcie	67 M Périurbanisation forte Forte activité dans le Sud et l'Ouest de la France Développement de l'habitat dans les zones à faible densité	70 M Retour en ville Développement des régions actives autre que Sud et Ouest
<b>Croissance du PIB</b>		1,5 % / an	1 % / an	2 % / an	1,5 % / an
<b>Industrie</b>		Fort potentiel industriel européen Concentration dans les grands pôles industriels et portuaires	Gains de productivité insuffisants/concurrence intern. Délocalisation	Délocalisation vers les voisins de l'Europe et l'Asie	L'Europe préserve ses activités industrielles en protégeant son marché et son modèle économique spécifique
<b>Politique énergétique</b>		Active. Régulation mondiale forte	Peu active.	Volonté politique européenne de diminuer la dépendance et limiter les émissions Faible gouvernance mondiale	Régulation européenne de l'énergie mais tardive Normes sociales et environnementales protectionnistes
<b>Prix du baril dont taxe carbone</b>	28 \$	90 \$ 60\$	60 \$ 0 \$	90 \$ 30 \$	180 \$ 60 \$
<b>Technologie</b>	154 gCO <sub>2</sub> / km en 2003	Véhicule hybride Forte diminution de la consommation unitaire Véhicules : +10 % à achat et +50 % à l'entretien 90 g CO <sub>2</sub> / km	Progrès des véhicules limités. Régulation par le marché 120 g CO <sub>2</sub> / km	Développement modéré des technologies basses émissions Véhicules : + 40 % à l'entretien 110 g CO <sub>2</sub> / km	Développement modéré des technologies basses émissions Financement des énergies alternatives avec la taxe carbone élevée Véhicules : +10 % à achat et + 50 % à l'entretien
<b>Carburants</b>		Biocarburants jusqu'à 50 %	Report par à-coups sur les carburants de substitution 8 % biocarburants	Augmentation de 11 % des consommations 20 % biocarburants	Faible baisse de la consommation 30 % biocarburants
<b>Prix</b>		1,8 € / l, usage : +30 % au km parcouru	1,3 € / l, usage : +20 % au km parcouru	1,7 € / l, usage : +30 % au km parcouru	2,4 € / l
<b>Flux terrestre</b>	Croissance de 90 %	Croissance de la mobilité	Forte périurbanisation mais	Croissance de la mobilité	Croissance de la mobilité

<b>voyageurs courtes et moyennes distances (&lt; 50km)</b>	entre 1975 et 2002 Part du collectif dans les déplacements motorisés de 12 % à 8 %	fortement ralentie : 30 % d'ici 2050	croissance de la mobilité fortement ralentie Croissance du trafic automobile : 10 % et du collectif 25 % Doublement du trafic TGV	moyennement ralentie du fait de l'augmentation des revenus Part du collectif dans les déplacements motorisés à 10 %	fortement ralentie Part du collectif dans les déplacements motorisés de 8 % à 10 %
<b>Flux terrestre voyageurs longues distances (50 à 1000km)</b>	49 (1975) Base 100 (2002)	150 Doublement de la mobilité d'ici 2050 > 300 km : + 160 % Trafic TGV : 300 % Limitation vitesse sur route	118 Croissance d'un tiers	164 Doublement de la mobilité d'ici 2050 Déplacement long (> 300 km) bénéficiant au collectif	158 Doublement de la mobilité d'ici 2050 Répartition inchangée entre route et collectif
<b>Flux aériens</b>	46 (1986) Base 100 (2002)  4,3 %/an entre 1986 et 2004	191 Diminution notable (croissance modérée, économie d'énergie) Croissance 1,4 % / an (inf au doublement) Trafic européen en concurrence avec le TGV	185 Croissance 1,4 % / an	318 Croissance 2,5 % / an (x 3,5) Forte croissance du trafic international Croissance ADP et régionaux	168 Croissance 1,1 % / an
<b>Flux de marchandises</b>	54 (1965) Base 100 (2002)  Croissance 1 %/an	167 Croissance 1 %/an Forte croissance des trafics d'échanges et de transits Concentration des flux sur les grands axes de transport trans-européens et les zones portuaires	94 à 117 Stabilisation (croissance éco faible, peu dynamisme du commerce extérieur, délocalisations)  Activité forte des ports	146 à 182 Croissance 1 % / an Essor des échanges marchands avec le pourtour méditerranéen et avec la CEI Transits plus faibles vers Italie et Espagne	150 Développement du fret inter régional Développement de l'économie locale
<b>Énergie et CO<sub>2</sub></b>		Diminution forte des émissions : 62 % / 2002	Faible diminution des émissions : 19 % / 2002	Faible diminution des émissions : 8 % / 2002	Diminution moyenne des émissions : 37 % / 2002

d'après données du CGPC

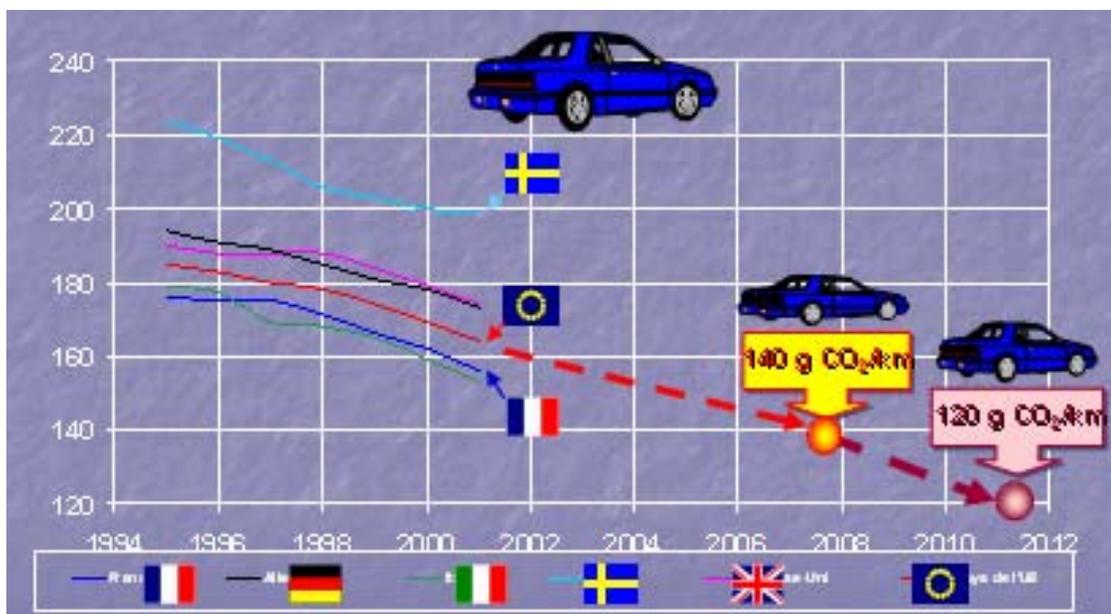
Annexe 4.7 : Evolutions des caractéristiques des véhicules

Figure 11. Consommations spécifiques des voitures neuves (l/100 km)



Sources : ADEME

Figure 12 : Accord ACEA objectifs 2008 et 2012



Source : ADEME

## Annexe 5 : Hypothèses et scénarios du secteur résidentiel/tertiaire

### 1. Introduction

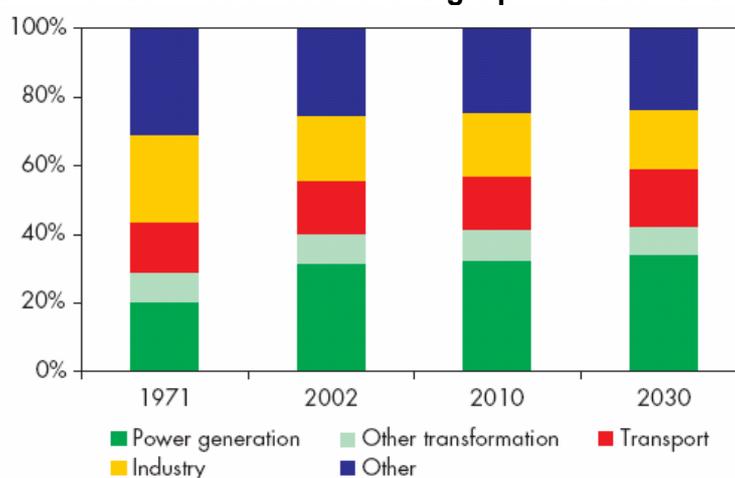
La présente note vise à rassembler les principaux éléments nécessaires à la réactualisation des hypothèses et l'élaboration des sous-scénarios énergétiques relatifs au secteur du résidentiel et du tertiaire pour l'exercice de modélisation/simulation des travaux de la Commission ÉNERGIE. Les principaux éléments de la demande d'énergie pour ce secteur au plan mondial et français sont rappelés ainsi que les caractéristiques extraites de quelques études prospectives.

### 2. Les caractéristiques de la demande mondiale

#### Dans le monde

D'ici 2050, la population de la terre dépassera les 9 milliards d'habitants. La majorité de la croissance démographique projetée se produira dans les milieux urbains. La communauté internationale va se trouver confrontée à de nombreux enjeux pour rendre les villes durables. Ils se présenteront dans différents domaines : approvisionnement en nourriture, logements, emplois, infrastructures et gestion de l'énergie, de l'eau, des déchets, transports, contrôle de la pollution...

**Figure 1 : Consommation total d'énergie primaire dans le monde**



Source : E WEO 2004

#### En Europe

Le résidentiel et tertiaire représentait 40,4 % de la consommation d'énergie finale de l'Union européenne en 2002. C'est un secteur où les gisements d'économies d'énergie sont importants : à elle seule, la mise en oeuvre de la directive de 2002 sur la performance énergétique des bâtiments devrait permettre un gain de 40 Mtep. Le parc des bâtiments ne se renouvelle qu'au rythme de 1 % environ par an. La priorité doit donc être donnée à la rénovation des bâtiments existants, qui fournit l'occasion d'une mise aux normes systématique.

### 3. Situation en France

#### 3.1 Consommations du secteur résidentiel – tertiaire

Avec une part majoritaire de 43 %, la consommation d'énergie du secteur résidentiel et tertiaire représente 69,8 Mtep en 2005, dont les 2/3 pour le résidentiel et 1/3 pour le tertiaire. La croissance a été de 24 % entre 1973 et 2004. Le secteur consomme 15,5 Mt de pétrole/an.

En France, 54,5 % de la consommation d'énergie des secteurs tertiaire et résidentiel reposent sur l'électricité (20 % pour le gaz, 16 % pour le pétrole et 9 % pour les énergies renouvelables). La consommation d'électricité du secteur est de 257 TWh, soit 63 % du total.

#### 3.2 Résidentiel

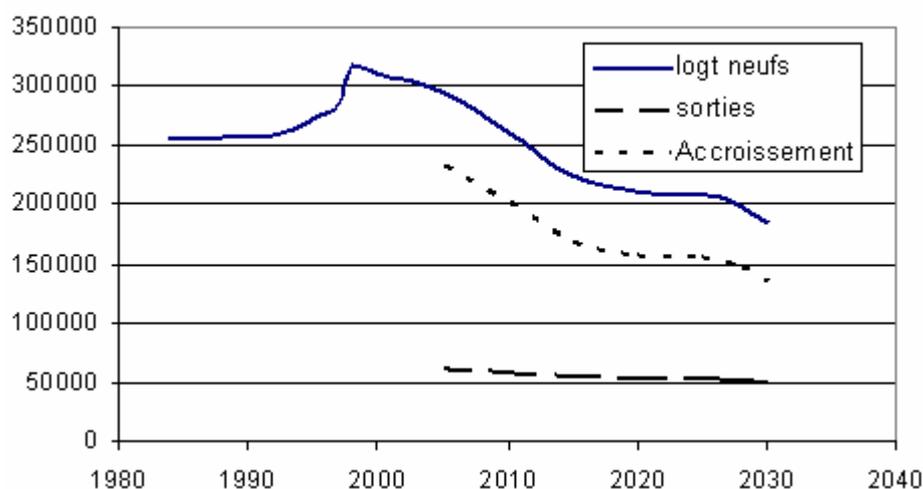
La consommation s'élève à 48 Mtep. Entre 1973 et 2002, le parc de logement a crû de 43 %. L'habitat individuel représente 56 % du parc. Le confort s'est fortement accru puisque 90 % des logements sont tout confort en 2002 contre 44 % en 1973. La surface moyenne des résidences principales passe de 72 m<sup>2</sup> à 90 m<sup>2</sup>. Les logements sont de moins en moins peuplés : 20 % de surpeuplé en 1973 contre 65 % de sous-peuplés en 2002. Le nombre de personnes par pièce passe de 0,9 à 0,6 (en moyenne, 23 m<sup>2</sup> à 37 m<sup>2</sup> par personne).

Sur la période (1973-2001), la croissance des consommations énergétiques est de 12 %, soit 0,4 % par an. Les consommations unitaires (kWh/m<sup>2</sup>) baissent de 32 %.

##### 3.2.1 Parc de logements

Pour un parc de 24 M de logements, l'accroissement est de 240 000 logements par an<sup>36</sup> (1 %/an). En 2005, l'habitat rural et diffus (108 000) représente 26 % des constructions. La maison individuelle en secteur diffus progresse de 5 % par an. Les perspectives d'évolution sont présentées *figure 2*, *3* et *tableau 1*.

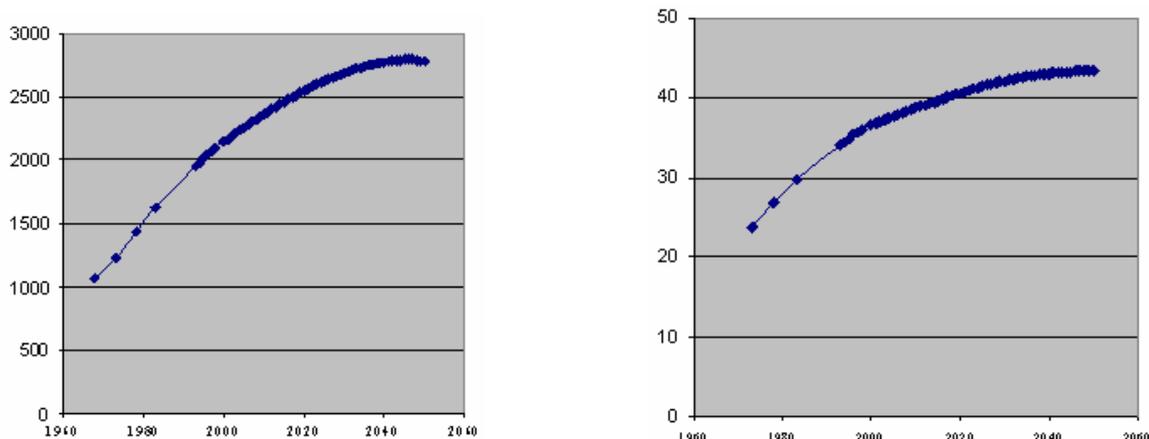
**Figure 2 : Mouvements dans le parc en nombre de logements**



Source : J.-P. Traisnel, LTMU CNRS 2006

<sup>36</sup> 300 000 constructions neuves et 60 000 sorties.

**Figure 3 : Prédiction d'évolution de la surface du parc (Mm<sup>2</sup>) et de la surface habitable (m<sup>2</sup>/personne)**



Source : J.-P. Traisnel, LTMU CNRS 2004

**Tableau 1 : Parc de résidences principales d'ici 2050 en France**

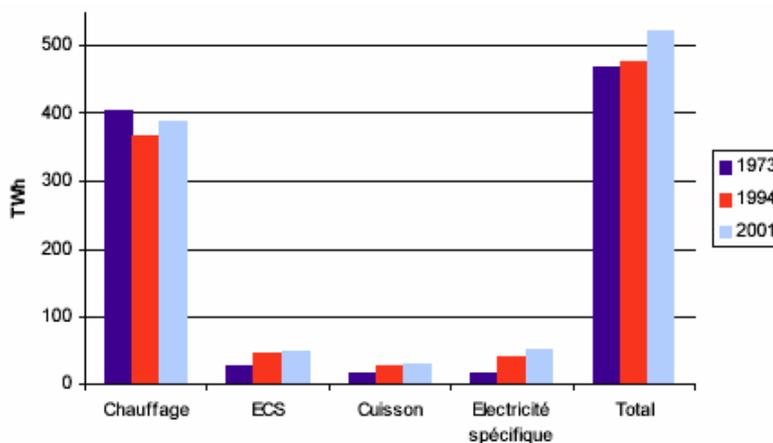
	2050
Parc de résidences principales	32 M
Parc existant en 2050	21,3 M 88 % du parc antérieur à 2005 (2/3 du total)
Neuf construit entre 2005 et 2050	10,7 M (1/3 du total)

Source : J.-P. Traisnel, LTMU CNRS 2006

### 3.2.2 Chauffage

Le chauffage représente les trois quarts de la consommation des résidences principales (figure 4) soit 388 TWh (2001, 33,4 Mtep<sup>37</sup>). La consommation unitaire moyenne est de 179 kWh/m<sup>2</sup> (2001).

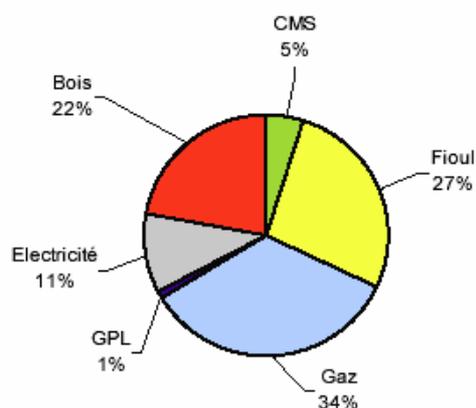
**Figure 4 : Répartition des consommations d'énergie finale pour les résidences principales**



Source : J.-P. Traisnel et Maiza, 2004

<sup>37</sup> 1MWh= 0,086 tep.

**Figure 5 : Part des différents types d'énergie du chauffage dans l'habitat en 2000**



Source : Traisnel et Maiza, 2004

**Tableau 2 : Données du parc 1999, calage de la consommation de chauffage pour 23,15 M de résidences principales (sur 23,865 M, données Compte du logement), et une consommation totale d'énergie de chauffage de 373 TWh (sur 385)**

	MI	Surface (m <sup>2</sup> )	Consom- mation totale	CU	IC	Surface (m <sup>2</sup> )	Consom- mation totale	CU
	Effectifs		GWh	kWh/m <sup>2</sup>			GWh	kWh/m <sup>2</sup>
gaz réseau	3 391 066	361 288 600	72 392	200,4	4 737 511	352 714 615	44 410	125,9
fioul	3 542 851	402 066 105	85 818	213,4	1 243 439	94 105 080	12 574	133,6
électrique	3 212 542	336 610 730	29 743	88,4	2 839 461	165 935 630	10 713	64,6
GPL	563 559	62 471 110	11 177	178,9	78 319	5 545 505	606	109,3
charbon	237 402	19 642 705	8 300	422,5	57 636	4 148 240	896	216,0
bois	2 354 697	243 561 810	80 723	331,4	98 597	8 160 660	2 038	249,7
chauffage urbain	6 287	607 395	209	344,6	790 219	60 148 725	13 252	220,3
<b>TOTAL</b>	<b>13 308 404</b>	<b>1 426 248 455</b>	<b>288 362</b>	<b>202,2</b>	<b>9 845 182</b>	<b>690 758 455</b>	<b>84 489</b>	<b>122,3</b>

L'effet de la réglementation thermique aurait réduit de 40 à 60 % la consommation d'énergie par logement neuf entre 1974 et 1989 (tableau 3).

La croissance du nombre de logement et des surfaces aurait eu un effet d'augmentation de 1,3 % de la consommation entre 1973 et 1997, et les effets de structures de -0,6 %/an (renouvellement du parc par des logements neuf - 0,3 %, changement de combustible -0,3 %).

**Tableau 3 : Consommation des logements neufs en kWh/m<sup>2</sup>**

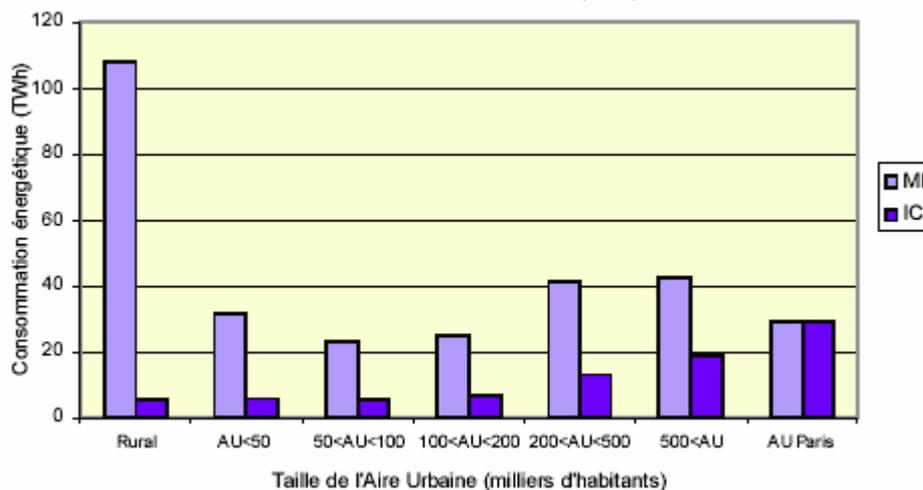
Période de construction	Maison individuelle		Immeuble collectif		Moyenne estimée
	Gaz	Électricité	Gaz	Électricité	
<b>Avant 1975</b>	234	117	170	137	240 à 300
<b>Réglementation 1975</b>	191	69	151	90	180
<b>Réglementation 1982</b>	145	54	100	79	130
<b>Réglementation 1985</b>					100
<b>Réglementation 1989</b>	136	51	75	54	85 à 95
<b>Évolution 1974-1989</b>	-42 %	-56 %	-56 %	-60 %	

Source : J.-P. Traisnel, LTMU CNRS, 2001

La consommation des autres usages que le chauffage s'élève à 11,7 Mtep (2001) dont eau chaude sanitaire 4 Mtep, cuisson 2,6 Mtep et électricité spécifique 5 Mtep.

La répartition des consommations de chauffage montre la part élevée des zones rurales (figure 6).

**Figure 6 : Consommation de chauffage en résidence principale en fonction de la taille de l'aire urbaine**



Source : LET, LTMU CNRS, 2004

Les perspectives de baisse des besoins de chauffage sont importantes en fonction :

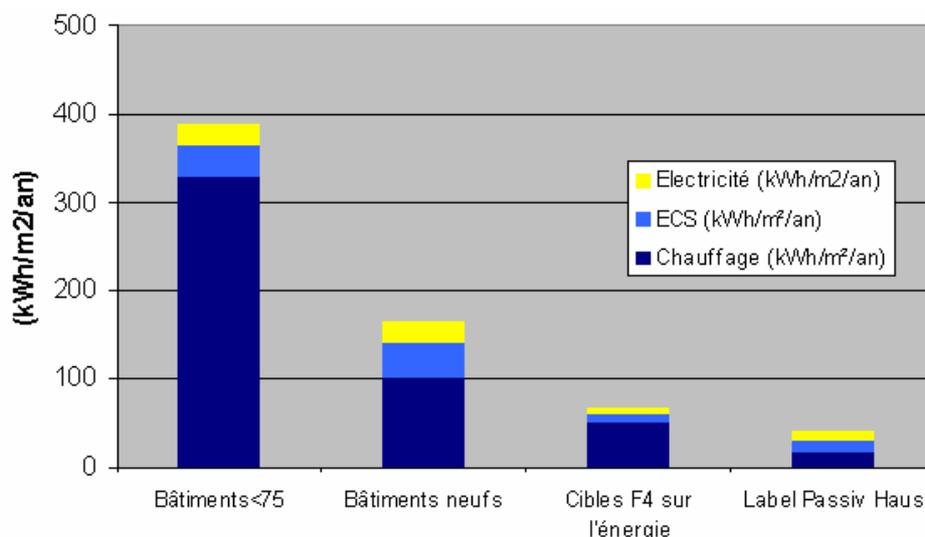
- de la typologie des logements (ex. maison isolée vs à maison à étages de plusieurs logements)
- des niveaux d'isolation.

La réhabilitation des immeubles anciens permettrait de réduire la consommation de chauffage d'environ un facteur 3 par des actions sur le bâti, la ventilation et les chaudières<sup>38</sup>.

Mais un effort de 80 kWh/m<sup>2</sup>/an est annulé par 20 km parcouru en véhicule particulier par jour, ce qui pose le problème du lien urbanisme transport dans le mouvement d'étalement urbain.

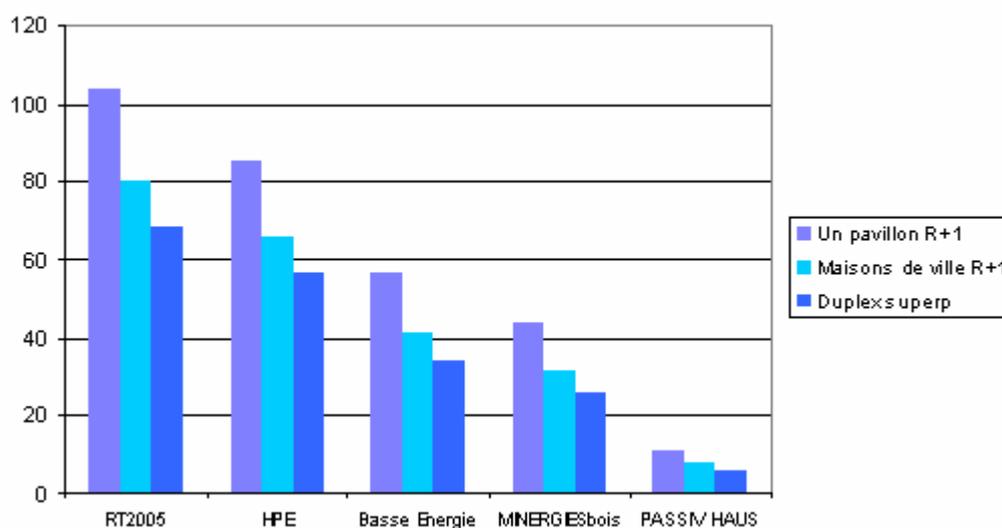
<sup>38</sup> Voir J.P. Traisnel : Réhabilitation d'un immeuble parisien : réduction des consommations de chauffage de 410 kWh/m<sup>2</sup>/an à 120 kWh/m<sup>2</sup>/an.

**Figure 7 : Consommation d'énergie des bâtiments**



Source : J.-P. Traisnel LTMU CNRS 2006

**Figure 8 : Besoins de chauffage en kWh/m²/an de différents types d'habitation**



Source : J.-P. Traisnel LTMU CNRS 2006

### 3.3 Tertiaire

Avec un niveau de consommation de 22,1 Mtep<sup>39</sup> (croissance de 30 % entre 1986 et 2000), le secteur tertiaire représente 14 % de la consommation énergétique finale et un tiers des consommations des bâtiments. Les usages sont pour 21 % l'électricité spécifique et pour 63 % le chauffage et l'eau chaude sanitaire.

Le tertiaire est une réalité complexe : il comprend des secteurs très différents et eux-mêmes hétérogènes. Quelques ordres de grandeur :

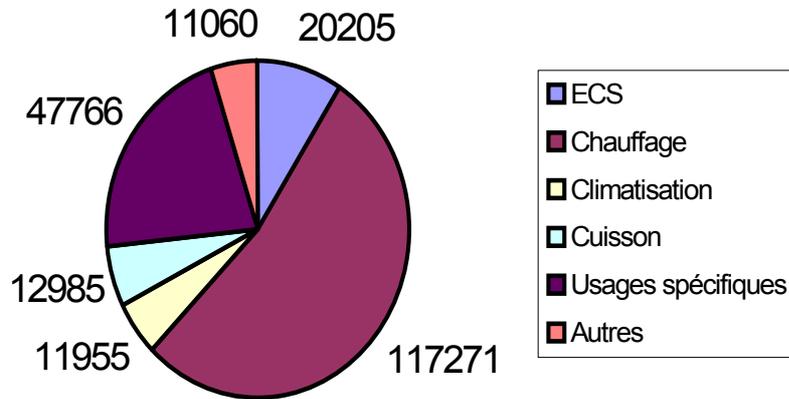
Le poste chauffage + ECS représente 137 TWh de conso finale sur 220 TWh en 2003.

<sup>39</sup> DGEMP 2004

Les fossiles gaz et fioul représentent 102 TWh sur les 137 TWh de Chauffage + ECS et, le chauffage électrique est relativement marginal : 13 TWh en chauffage + ECS en 2003

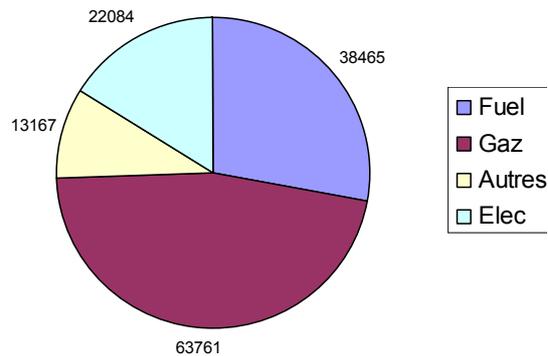
Le bâti est plutôt performant pour le chauffage électrique : 86 kWh/m<sup>2</sup>/an ; il l'est moins pour les autres sources de chaleur : 153 kWh/m<sup>2</sup>/an.

**Figure 9 : Répartition par usage des consommations du secteur tertiaire (GWh 2003)**



Source : EDF, 2003

**Figure 10 : Répartition par énergie des consommations du secteur tertiaire (chauffage + ECS, GWh 2003)**



Source : EDF, 2003

### 3.4 Climatisation

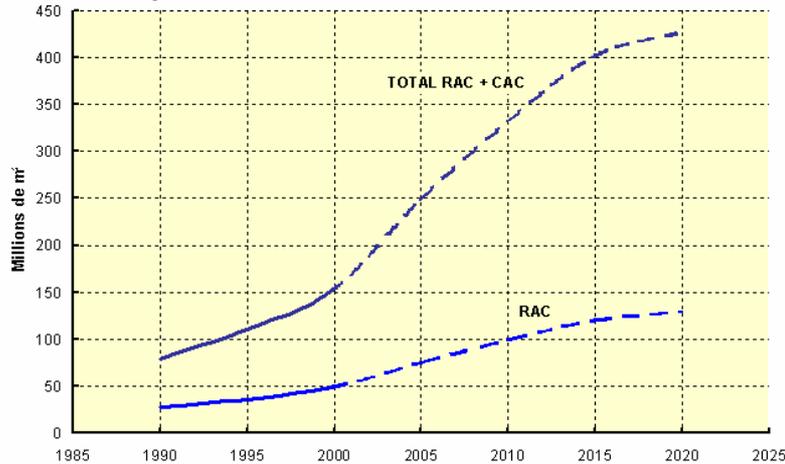
#### Taux d'équipement en climatiseur en France dans l'ensemble du tertiaire

Le secteur tertiaire représente une surface totale de 784,5 Mm<sup>2</sup> en 1999. Environ 19 % de cette surface est climatisée soit environ 149 Mm<sup>2</sup>. La consommation française liée à la climatisation et à la ventilation des surfaces climatisées (chiffre excluant donc la ventilation des surfaces non climatisées) est de l'ordre de 4,5 TWh (sur la base de 30 kWh/m<sup>2</sup>).

#### Evolution de la climatisation en France

L'étude de marché dans le cadre du projet EECCAC a permis de mettre en évidence la forte croissance de la climatisation entre 1990 et 2000 et a établi des projections à l'horizon 2010 et 2020.

**Figure 11 : Perspectives d'évolution de la climatisation en France**



Source : EECCAC, "Energy Efficiency and Certification of Central Air Conditioners", study for the D.G. Transportation-Energy of the Commission of the E.U., J. ADNOT, 2002

#### 4. Les scénarios

##### 4.1 Evolution tendancielle dans les bâtiments : parcs, consommations d'énergie, émissions de CO<sub>2</sub> (Ministère de l'Équipement/DGUHC).

###### 4.1.1 Situation 2005

Le parc résidentiel 2005<sup>40</sup> est estimé à 31,082 M. de logements dont 4,863 M. de résidences secondaires et logements vacants. Le parc 2005 des bâtiments à usage tertiaire est évalué à 868,035 millions de m<sup>2</sup>.

Pour l'année 2005 la consommation d'énergie de l'ensemble des bâtiments s'est élevée à 796,3 TWh (120.6 Mt CO<sub>2</sub>) dont 548,6 TWh (85.6 MT CO<sub>2</sub>) pour le secteur résidentiel.

###### 4.1.2 Evolution 2005 - 2030

Afin d'évaluer les caractéristiques des bâtiments (taille de parc, consommation d'énergie<sup>41</sup> et émissions de CO<sub>2</sub><sup>42</sup>) à l'horizon 2030, les facteurs d'évolution suivants ont été retenus :

- l'accroissement du parc des résidences principales est considéré égal à l'accroissement du nombre des ménages ressortant de l'étude INSEE<sup>43</sup>. Il se traduit, en fonction de deux hypothèses (basse et haute) d'évolution des comportements de cohabitation, par une augmentation du nombre des résidences principales égal à 5,890 M. de résidences (hypothèse basse) ou égal à 6,530 M de résidences (hypothèse haute) ;
- le taux de croissance annuel moyen du parc des résidences secondaires et des logements vacants a été estimé à +0,2 % /an ; celui des locaux tertiaires à +1,7 % /an ;

<sup>40</sup> Métropole + Dom au 01/01/2005

<sup>41</sup> Energie finale.

<sup>42</sup> Masse de CO<sub>2</sub> calculée par conversion des énergies finales consommées.

<sup>43</sup> Etude A. Jacquot.

- deux hypothèses de rythme moyen annuel de démolition de résidences principales ont été prises en compte : soit 50 000 logt/an, soit 100 000 logt/an ;
- Pour ce qui intéresse les caractéristiques thermiques des bâtiments neufs, il a été retenu l'entrée en vigueur d'une nouvelle réglementation thermique tous les 5 ans induisant une diminution de 15 % des consommations précédentes. En ce qui concerne les bâtiments existants les dispositions du Plan climat en cours ont été prolongées avec un renforcement des incitations et de la réglementation tous les 5 ans conduisant à une réduction accrue des émissions de 10 % (hypothèse basse) ou de 15 % (hypothèse haute).

À partir de la situation 2005 et en intégrant les hypothèses d'évolutions évoquées, deux tendanciel, l'un "plancher " et l'autre "plafond", ont été évalués :

- le tendanciel "*plancher*", favorable, obtenu par combinaison des hypothèses (accroissement de 5,890 M du nombre des résidences principales ; démolition de 100 000 logt/an et augmentation de 15 %/5 ans des effets du Plan climat pour les bâtiments existants) conduit à la *valeur 2030 BASSE* de la consommation d'énergie globale des bâtiments évaluée à 598 TWh (dont 328 TWh pour le résidentiel) se traduisant par une émission globale de 89 Mt CO<sub>2</sub> (dont 51 Mt CO<sub>2</sub> d'origine résidentielle) ;
- le tendanciel "*plafond*", défavorable, retient les hypothèses d'un accroissement de 6,530 M du nombre des logements ; d'une démolition en moyenne de 50 000 logt/an et d'une augmentation de 10 %/5 ans des effets du Plan climat pour les bâtiments existants. Dans ce cas la *valeur 2030 HAUTE* de la consommation globale d'énergie des bâtiments est évaluée à 648 TWh dont 372 TWh pour le résidentiel. L'émission de CO<sub>2</sub> correspondante s'élève à 96 Mt CO<sub>2</sub> pour l'ensemble des bâtiments et à 58 Mt CO<sub>2</sub> pour le seul secteur résidentiel.

## SITUATION 2005

	PARC	CONSOMMATION D'ENERGIE	EMISSIONS DE CO2 (hors EnR)
RESIDENTIEL	(Millions de logts)	(TWhh)	(Mt CO2)
Résidences principales	26,219	530,1	82,7
Résid. Second. et L. V.	4,863	18,7	2,9
RESIDENTIEL ENSEMBLE	31,082	548,8	85,6
TERTIAIRE	(Millions de m²)	(TWhh)	(Mt CO2)
	868,0	247,5	35
ENSEMBLE DES CONSTRUCTIONS		796,3	120,6

## SITUATION 2030

SITUATION "PLANCHER" (hypothèse de croissance "basse" ; 100 000 logt démolis reconst./an et Plan Climat accru 15%/5ans)

	PARC	CONSOMMATION D'ENERGIE	EMISSIONS DE CO2 (hors EnR)
RESIDENTIEL	(Millions de logts)	(TWhh)	(Mt CO2)
Résidences principales	32,109	308,2	48,1
Résid. Second. et L. V.	5,113	19,4	3,0
RESIDENTIEL ENSEMBLE	37,222	327,6	51,1
TERTIAIRE	(Millions de m²)	(TWhh)	(Mt CO2)
	1 323,0	270,6	38,2
ENSEMBLE DES CONSTRUCTIONS		598,2	89,3

SITUATION "PLAFOND" (hypothèse de croissance "Haute" ; 50 000 logt démolis reconst./an et Plan Climat accru 10%/5ans)

	PARC	CONSOMMATION D'ENERGIE	EMISSIONS DE CO2 (hors EnR)
RESIDENTIEL	(Millions de logts)	(TWhh)	(Mt CO2)
Résidences principales	32,749	352,6	55,0
Résid. Second. et L. V.	5,113	19,4	3,0
RESIDENTIEL ENSEMBLE	37,862	372,0	58
TERTIAIRE	(Millions de m²)	(TWhh)	(Mt CO2)
	1 323,0	276,4	38,2
ENSEMBLE DES CONSTRUCTIONS		648,4	96,2

### 4.2 Scénarios 2030 DG TREN (2003)

Les caractéristiques principales du scénario de référence pour l'UE 15 sont données *tableau 2 (annexe 1)*.

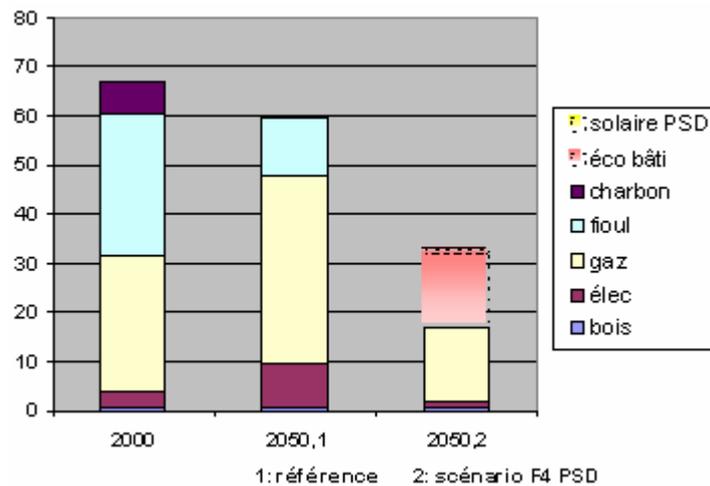
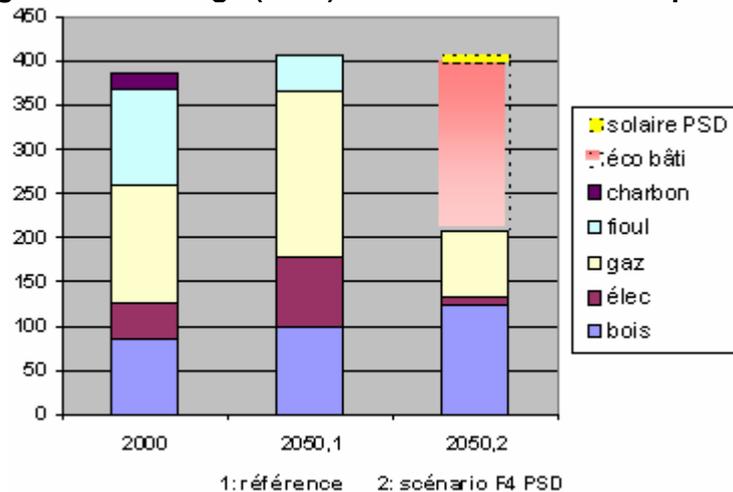
### 4.3 Scénarios 2050 Facteur 4, DGEMP - Enerdata – LEPII (2005)

Les hypothèses (*annexe 2*).

### 4.4 Scénarios 2050 Facteur 4, P. Radanne, MIES (2004)

L'éco conception des bâtiments peut conduire à une division par deux des consommations de chauffage.

**Figure 12 : Scénario de référence et facteur 4 en 2050 pour les énergies de chauffage (TWh) et les émissions correspondantes (MtCO<sub>2</sub>)**



Source : P. Radanne, MIES, 2004

#### 4.5 Objectifs facteur 4 pour le parc de logement (J.P. Traisnel, LTMU CNRS 2004)

**Tableau 4 : Perspective d'évolution des consommations de chauffage des bâtiments (kWh/m<sup>2</sup>)**

Année de construction	ancien	49-74	75-99	neuf (2000-2005)	Total
Consommations unitaires en 2005 (kWh/m <sup>2</sup> /an)	220	190	110	92	172 (moyenne)
Consommations unitaires : objectif 2050 (kWh/m <sup>2</sup> /an)	135	60	60	30	75 (moyenne)
Réhabilitation : gain à obtenir en 2050 (kWh/m <sup>2</sup> /an)	85	130	50	52	84,4 (moyenne)
Surfaces estimées (Mm <sup>2</sup> )	854	551	637	118	2160
Gain total estimé (TWh)	72,6	71,6	31,9	6,1	182,2

Source : J.-P. Traisnel 2004

## 5. Les évolutions possibles du secteur

- Progrès technologique

Confort thermique des logements :

- isolation, ventilation
- pompes à chaleur
- solaire thermique pour l'ECS (couverture de 50 % des besoins)
- production d'énergie : photovoltaïque et éolien intégrés au bâti
- confort d'été
- haute technologie domotique-bioclimatique

Objectif chauffage dans le neuf de 25 kWh/m<sup>2</sup>.

- Démarche intégrée des villes et des quartiers durables

- circuits courts (domicile-travail, services...)
- habitat à énergie positive
- démarche HQE révisée
- déplacements doux et transport en commun
- mutualisation des besoins de production d'énergie : réseaux de chaleur, cogénération...
- recyclage des déchets
- préservation des terres agricoles, espaces verts, espaces publics.

- Impact du vieillissement de la population

La part des plus de 60 ans passe de 20 % en 2000 à 30 % en 2025.

Annexe 5.1 : SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE DGTREN 2003, secteur résidentiel-tertiaire

**Tableau 5 : Scénario DGTREN 2030**

Scénario de référence UE - 15	Période 2000 - 2030	Variables	
<b>Économie</b>	Modernisation économique continue Progrès technologique substantiel Développement du marché intérieur	Croissance du PIB mondial	3 % / an
		Croissance du PIB UE-15	2,3 % / an
<b>Énergie</b>	Politique d'efficacité énergétique et de développement des énergies renouvelables. Economie davantage tournée vers les services et vers moins de production industrielle énergivore.  Pas de nouvelles mesures sur la réduction des émissions de GES  Prix du pétrole plus faible en 2030 qu'en 2000	Énergie primaire	0,6 % / an
		Énergie finale	0,8 % / an
		Intensité énergétique primaire	-1,7 % / an
		Intensité énergétique finale	-1,4 % / an
<b>Résidentiel-tertiaire</b>		Croissance du résidentiel (EU-15)	0,6 % / an
		Croissance du tertiaire (EU-15)	1,1 % / an

Source : *European Energy and Transport – Trends to 2030, 2003*

Annexe 5.2 : ÉTUDE Prospective énergétique à 2050 pour la France (DGEMP, ENERDATA, LEPII, février 2005)

Cette étude produit un scénario facteur 4 à 2050.

Hypothèses pour le résidentiel et tertiaire :

**Tableau 6 : Hypothèses du résidentiel à 2050 (Source Enerdata)**

Logements en 2050	<ul style="list-style-type: none"> <li>30 millions de logements, 2 pers/logt en moyenne</li> </ul>
Construction ancienne	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ravalement thermique généralisé sur les logements construits avant 1980 (gain de 30 % sur le chauffage) ; 25 % du parc tous les 10 ans depuis 2010.</li> </ul>
Construction neuve	<ul style="list-style-type: none"> <li>Introduction progressive de logements très basses consommation (20 kWh/m<sup>2</sup>) dans la construction neuve : 1/3 de 2010 à 2020, 2/3 de 2020 à 2030, 100 % après 2030.</li> </ul>
Réglementation	<ul style="list-style-type: none"> <li>Renforcement de la réglementation sur l'efficacité minimale des équipements électriques</li> </ul>
Chauffage	<ul style="list-style-type: none"> <li>20 % du parc raccordés à des chaufferies urbaines ou collectives utilisant du bois ou des déchets</li> <li>Pénétration des chauffe-eau solaires : <ul style="list-style-type: none"> <li>toutes les maisons individuelles neuves à partir de 2005, plus 25 % des autres maisons individuelles tous les 10 ans ; 70 % des besoins satisfaits par le solaire, complément électrique</li> <li>la moitié des immeubles collectifs neufs à partir de 2010 ; 50 % des besoins satisfaits avec le solaire.</li> </ul> </li> <li>Hors solaire et chauffage urbain, la part de l'électricité reste à son niveau de 2010, le gaz fait l'appoint</li> </ul>

**Tableau 7 : Projection de la demande d'énergie du secteur résidentiel**

Mtep	1990	2001	2010	2030	2050
Fioul	9,8	9,6	8,1	2,2	0,0
Gaz (y compris biogaz et H2)	10,0	14,3	16,2	16,0	12,8
Charbon/bois	1,2	0,5	1,0	1,1	0,5
GPL	1,6	1,8	1,6	1,3	0,0
Electricité	8,6	11,4	13,8	17,5	16,5
Autres	11,2	10,6	9,6	13,1	14,1
<b>Total</b>	<b>42,4</b>	<b>48,2</b>	<b>50,3</b>	<b>51,1</b>	<b>43,9</b>

Mtep	1990	2001	2010	2030	2050
Chauffage	33,1	36,0	36,0	32,0	23,0
Eau chaude	3,7	4,6	5,3	6,8	8,0
Cuisson	2,1	2,7	2,2	2,3	2,3
Elec. Specif., clim,	3,4	4,9	6,7	10,0	10,5
<b>Total</b>	<b>42,4</b>	<b>48,2</b>	<b>50,3</b>	<b>51,1</b>	<b>43,9</b>

Gris : DATAMED, d'après CEREN

Source : Enerdata

**Tableau 8 : Hypothèses du tertiaire à 2050**

Croissance du secteur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poursuite au même rythme</li> </ul>
Construction ancienne	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alignement sur les performances thermiques des logements (chauffage et climatisation)</li> <li>• Le ravalement thermique concerne aussi le tertiaire, au même rythme</li> </ul>
Construction neuve	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gain de 15 % tous les 10 ans.</li> </ul>
Progrès technique	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Électricité spécifique : tendance de progrès 1 %/an au lieu de 0,5 %.</li> </ul>
Chauffage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 20 % des bâtiments tertiaires raccordés à des chaufferies collectives/urbaines à bois/déchets/géothermie</li> <li>• Le reste au gaz.</li> </ul>

Source : Enerdata

**Tableau 9 : Projection de demande d'énergie du tertiaire**

Mtep	1990	2000	2010	2030	2050
Pétrole	5,4	5,0	3,8	1,7	0,0
Gaz	4,7	6,7	8,2	9,7	9,7
Charbon	0,3	0,2	1,1	0,0	0,0
Electricité	6,9	8,9	9,8	11,8	12,4
Autres	0,9	1,3	0,4	2,3	3,6
<b>Total</b>	<b>18,2</b>	<b>22,1</b>	<b>23,3</b>	<b>25,5</b>	<b>25,7</b>

*Gris : DATAMED, d'après CEREN et CE/TCEF (électricité)*

Mtep	1990	2001	2010	2030	2050
Emissions de CO <sub>2</sub> (Mt)*	33,5	37,4	36,0	26,2	16,2
Intensité énergétique (tep/M€95)	228	220	185	125	73
Employés (millions)	15,2	18,3	19,1	21,6	20,3
Énergie/employé (tep)	1,22	1,21	1,22	1,18	1,26
Electricité/employé (kWh)	5 390	5 720	5 920	6 340	7 070

Source : Enerdata

## Annexe 6 : Scénarios énergétiques : état de l'art

### 1. Introduction

Depuis une dizaine d'années, on remarque un foisonnement dans la construction de scénarios énergétiques, au niveau national<sup>44</sup> et international. L'observation de ces exercices permet de situer les différents éléments à prendre en compte dans des travaux d'analyse stratégique du secteur énergétique et d'élaboration de scénarios de long terme.

Les principales familles de modèles sont présentées puisque le travail de modélisation et de simulation accompagne désormais les exercices de prospective pour répondre au besoin croissant de quantification des phénomènes.

Plusieurs enseignements sont extraits des différents exercices relatifs aux scénarios nationaux et internationaux.

### 2. Les scénarios au niveau français

Au niveau national tout d'abord, on peut citer entre autres :

- **« Énergie 2010-2020 : Trois scénarios énergétiques pour la France », Commissariat général du plan**), groupe de travail présidé par Pierre Boisson et publié en 1998 ; le Commissariat général du Plan a proposé, sur la base d'un large consensus entre les acteurs, trois scénarios quantifiés pour la France, fournissant un cadre de cohérence et d'analyse critique. *La méthode d'exploration utilisée<sup>45</sup> fait le postulat d'un caractère ouvert et incertain de l'avenir, écartant une approche fondée sur la seule projection de tendances passées. C'est le sens de la construction des trois scénarios, dont aucun n'est tendanciel. Bâti sur quelques hypothèses macro-économiques communes, ces scénarios ne sont pas directement construits autour de politiques publiques alternatives mais plantent différents contextes plausibles d'évolution de la société française d'ici 2020 en fonction desquels, les différents acteurs actuels de la scène énergétique, et parmi eux les pouvoirs publics français, ont à concevoir leurs stratégies. Quant au rôle de l'État, les scénarios envisagent, concomitamment aux évolutions quantitatives synthétisées, une différenciation des modalités de l'action publique.* Il s'agit des scénarios :
  - S1 : "société de marché", qui correspond à une situation allant dans le sens d'une plus large confiance dans les mécanismes régulateurs de marché et donc une réduction de l'intervention économique de l'État ;
  - S2 : "État industriel", où l'État entend redevenir interventionniste dans le domaine économique et industriel au nom des intérêts de long terme de la nation et de la compétitivité ;
  - S3 : "État protecteur de l'environnement", caractérisant une situation où l'État est prioritairement le gardien de valeurs de protection de la santé, de prévention des risques technologique et de préservation de l'environnement.
- **Le scénario tendanciel de la DGEMP-Observatoire de l'Énergie**, publié en 2004, qui a été construit pour répondre à une demande spécifique de l'Agence internationale de l'énergie (AIE), conformément à l'engagement de la France vis-à-vis de cette Agence de communiquer un tel scénario lors de la revue en profondeur 2003-2004. Il s'agissait d'analyser les évolutions de l'offre et de la demande d'énergie à l'horizon 2030 si aucune

<sup>44</sup> Voir note interne AALK, datée du 23/01/06.

<sup>45</sup> Cf. annexe 1 du rapport Energie 2010-2020.

mesure nouvelle de politique publique, en matière de maîtrise de la demande d'énergie (MDE) notamment, n'était mise en œuvre d'ici là : on poursuit tout simplement les tendances actuelles ; en conséquence, ni les dispositions de la future loi d'orientation sur l'énergie, ni les mesures préconisées par le Plan climat 2004 ne sont prises en compte. S'agissant de la lutte contre le changement climatique, le protocole de Kyoto, en tant que tel, n'est donc pas pris en considération. Ses hypothèses macroéconomiques sont cohérentes, pour que la comparaison soit possible avec le scénario tendanciel publié par la DGEMP en 2000, ainsi qu'avec les scénarios S1, S2, S3 du groupe « Énergie 2010-2020 ».

Comme le souligne la synthèse (juin 2004) des travaux réalisée par l'Observatoire de l'énergie de la DGEMP, dans ce scénario tendanciel, la France ne devrait pas connaître de crise majeure ou de rupture marquée sur les plans économique, social et politique. Elle devrait voir la poursuite de la construction européenne et de la mondialisation des échanges, ainsi que le maintien de l'évolution technologique actuelle pour l'énergie ; ainsi, pour le nucléaire, le réacteur nucléaire EPR fait partie intégrante du trend. On notera :

- Une série d'hypothèses prises de type : macro-économiques, sectorielles sur la demande (transport, industrie, résidentiel/tertiaire) et sur l'offre (électricité, gaz, raffinerie, biocarburants) ;
- Différents résultats sur :
  - > la consommation finale d'énergie (application du modèle MEDEE aux hypothèses), la production et la consommation d'énergie primaire (offre d'énergie établie à partir de modèles développés par le RTE pour l'électricité et l'IFP pour les raffineries) ;
  - > l'intensité énergétique (baisse moyenne de 1,5 % /an jugée optimiste par rapport au passé récent : - 0,3 % /an sur 1990-2000) ;
  - > émission de CO<sub>2</sub> (une accélération entre 2003-2010 du fait des transports et entre 2020-2030 du fait du remplacement, dans les hypothèses considérées, d'une partie des centrales nucléaires par des centrales au charbon et au gaz).

Deux scénarios en variantes ont été établis, mais de manière approximative :

Scénario X1 : abandon du nucléaire en fin de vie (40 ans) et remplacement par le gaz ou le charbon ; efforts redoublés pour les économies d'énergie et les renouvelables ;

Scénario X2 : mêmes efforts en faveur des économies d'énergie et des renouvelables que pour X1 mais développement soutenu du nucléaire.

- **Le scénario DGEMP Objectif Facteur 4**, publié en 2005. Le soutien à un objectif international d'une division par 2 des émissions mondiales de gaz à effet de serre d'ici 2050, nécessite une division par 4 ou 5 des émissions pour les pays développés. Pour y parvenir, le Président de la République a fixé un objectif de division par quatre de nos émissions de gaz à effet de serre d'ici à 2050, qui a été inscrit dans le Plan climat du Gouvernement en 2005. Un groupe de travail interministériel, présidé par Christian de Boissieu, président délégué du Conseil d'analyse économique, a réfléchi aux incidences socio-économiques d'un tel engagement. Les conclusions de ce groupe de travail, peuvent être opportunément utilisées pour construire le (ou les) scénario énergétique souhaitable pour l'avenir.
- **Le scénario dit "avec mesures existantes" (MIES)** à l'horizon 2020 dans le cadre du Programme national de lutte contre le changement climatique (PNLCC), qui fait État des efforts nationaux réalisés dans le cadre des engagements nationaux relatifs au protocole de Kyoto. Ce scénario, contrairement au précédent, prend en compte l'ensemble des

mesures mises en œuvre, ou en voie de l'être, pour lutter contre le changement climatique.

- **Les scénarios du Conseil général des Ponts et chaussées (CGPC)** s'intéressent en particulier à l'évolution des transports à l'horizon 2050.
- **Le scénario de "division par trois" en 2030 du Conseil général des mines (CGM)** décrit les différentes options techniques et technologiques permettant d'atteindre un objectif de division par trois des émissions de GES à l'horizon 2030.
- **Le scénario dit "RADANNE", élaboré pour le compte de la MIES**, s'intéresse lui aussi au potentiel de réduction des émissions de GES, mais propose une orientation différente de celle du scénario précédent. Il met l'accent sur des actions très volontaristes de l'État en matière de promotion des énergies nouvelles et renouvelables (éolien, biomasse, etc.) et de la MDE, avec une forte limitation du recours à l'énergie nucléaire.

### 3. Les scénarios au niveau européen

L'examen rétrospectif des travaux sur les scénarios énergétiques menés par la Commission européenne montre plusieurs types d'exercices :

- **"European energy to 2020" (DG TREN), 1996**, caractérisé par 4 scénarios :
  - **"Sagesse conventionnelle "** qui constitue le scénario de continuité (dit *business as usual*, BAU) caractérisé par un rebond de croissance à court terme (2000) puis une croissance économique faible sur le long terme. Le prix du pétrole atteint 30 \$ en 2020.
  - **"Champs de bataille"** : qui repose sur l'idée d'un choc pétrolier brutal au début de la décennie 2000, suivie par une récession profonde vers 2005-2006 et une longue période de stagnation. L'atteinte de la globalisation est considérée comme trop amitieuse. On assiste alors à une fragmentation du monde en grandes régions et à une montée des protectionnismes. Cela conduit aussi à une Europe à la carte. Le prix du pétrole atteint 40 \$ en 2005 puis baisse à 28 \$ en 2020.

Les politiques énergétiques cherchent l'indépendance énergétique ; l'accent est mis sur la protection de l'outil de production plutôt que sur le contrôle de la demande.
  - **Hyper – marché**, scénario de mondialisation, de globalisation et de libéralisation des marchés avec des prix bas de l'énergie et une hypothèse de forte croissance. Le volet environnemental des politiques énergétiques est au second plan, la priorité étant accordée à l'efficacité des mécanismes de marché dans un objectif fort de compétitivité.
  - **Ecologique**, qui suppose l'internalisation des coûts externes des sources d'énergie, la promotion des investissements relatifs au développement durable. L'intervention politique est forte en ce sens et l'on attend un développement marqué des nouvelles technologies énergétiques et de la maîtrise de la demande. Les changements sont soutenus par les consommateurs et les producteurs et s'en trouvent accélérés. Le prix du pétrole reste autour de 16 \$ pendant toute la période.
- **European union energy outlook to 2020 (DG TREN), novembre 1999**, s'est penché sur les arguments et les causes qui conduiraient les développements des sources d'énergies, des technologies, des secteurs et des pays. La démarche a mis l'accent sur l'analyse quantitative et de nombreux allers-retours avec les experts et les organisations du milieu

de l'énergie. Trois scénarios ont été construits autour de la problématique CO<sub>2</sub>. On note par exemple le résultat des simulations de surcoût du système énergétique occasionné par la contrainte carbone entre 25 et 55 Mds euros par an (augmentation des investissements, des tarifs...). Le chiffre varie beaucoup entre les différents pays européens selon le *mix* énergétique et le type d'industries.

L'étude énumère plusieurs incertitudes :

- la place du nucléaire : sous la contrainte carbone et avec une faible opposition, la capacité nouvelle à installer entre 2015 et 2030 pourrait s'élever à 200 GW, pour étendre et remplacer les installations en fin de vie ;
- le prix du gaz ;
- le rôle du transport impactant la dépendance par rapport au pétrole et les émissions ;
- les changements structurels de l'économie sur le long terme au sein de l'UE, ayant des répercussions sur la demande d'énergie.

o ***European energy and transport trends to 2030 (DG TREN), janvier 2003.***

Le rapport analyse les sujets clés et les perspectives énergétiques, du transport et de la pollution par le CO<sub>2</sub>. Les résultats s'appuient sur une analyse quantitative utilisant des modèles issus de plusieurs organisations (POLES, PRIMES...). L'exercice part de la définition d'hypothèses macro-économiques (contexte international et place de l'Europe) et relatives au secteur de l'énergie (prix, part des différentes sources, des consommations et des émissions).

L'étude élabore ensuite un scénario de référence susceptible ultérieurement de servir de base à l'analyse de scénarios particuliers pour évaluer l'effet de mesures de politiques énergétiques.

o ***Énergie, technologie et politique climatique, WETO (DG Research), Word energy, technology and climate policy outlook, en 2003.***

Ce rapport compare un scénario de référence à paramètres constants et un scénario de réduction du carbone afin de montrer l'impact que pourraient avoir les politiques liées au changement climatique.

- *scénario de référence* : les tendances économiques actuelles, les changements technologiques et structurels de l'économie mondiale se poursuivent dans la même ligne qu'aujourd'hui.

Les objectifs politiques spécifiques de la politique énergétique et environnementale et les mesures mises en œuvre après 2000 ne sont pas prises en compte (par ex. les objectifs de réduction de CO<sub>2</sub> du Protocole de Kyoto, l'élimination progressive de l'énergie nucléaire dans certains pays, et les objectifs d'augmentation de la part des énergies renouvelables).

Les résultats montrent que la demande énergétique mondiale augmentera de 1,9 % par an entre 2000 et 2030. La demande des pays en voie de développement augmentera rapidement (part de 50 % en 2030 contre 40 % aujourd'hui). Pétrole, charbon et gaz représenteront 90 % de l'approvisionnement énergétique total en 2030. Dans l'UE, les renouvelables et le nucléaire représenteront moins de 20 % de l'approvisionnement.

- *scénario de réduction de carbone* : les engagements pris par les différentes régions pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub> à moyen terme sont pris en compte, mais certaines régions ne sont pas incluses (ex. CEI), ni les renforcements pour l'après Kyoto. Les hypothèses tiennent compte de la mise en œuvre des politiques de développement durable dans un grand nombre de secteurs économiques. La valeur carbone appliquée

à l'utilisation de combustibles fossiles est fixée pour l'UE au double de celle des autres régions.

Les résultats montrent 11 % de diminution de la consommation mondiale d'énergie par rapport au scénario de référence (1,3 % croissance de la demande). La part des principales sources d'énergie serait fortement affectée : charbon (-42 %), pétrole (-8 %), gaz (inchangé), nucléaire (+36 %), énergies renouvelables (+35 %). Les émissions mondiales baisseraient de 21 % mais resteraient plus élevées en 2030 qu'en 1990 (en Europe -15 %/1990).

Remarque :

***La principale limite de ces scénarios est due à l'insuffisance de données sectorielles sur l'ensemble des pays de l'UE.***

*On a par exemple noté une forte disparité entre les données relatives aux consommations d'énergie du secteur agricole produites en France et celles utilisées par la CE pour les scénarios. En effet, ces données sont bel et bien renseignées par les pays membres, mais elles ne sont pas régulièrement actualisées. En outre, elles sont harmonisées par EUROSTAT sur la base d'une comptabilité européenne qui demeure somme toute encore assez approximative ; cette procédure explique une grande partie des écarts entre les résultats des scénarios nationaux et ceux fournis par la Commission.*

#### 4. Les scénarios au niveau international

##### ○ **World energy outlook (AIE), 2004**

L'AIE présente un scénario tendanciel (*business as usual*, donc avec la même orientation que la DGEMP) et un scénario alternatif qui analyse l'impact global des politiques environnementales, de sécurité d'approvisionnement et d'économies d'énergie que les pays considèrent actuellement. Ces scénarios ont pour objet principal d'alerter les autorités des pays membres de l'OCDE sur l'épuisement "annoncé" des ressources fossiles.

Bien que très réduit par rapport au scénario de référence, le niveau des émissions reste en 2030, dans le scénario alternatif, au-dessus du niveau d'aujourd'hui. Le scénario de référence donne plusieurs points de repères :

- des besoins d'énergie supérieure de 60 % en 2030 et des émissions aussi 60 % supérieures ;
- un peak-oil au-delà de 2030 et une part des énergies fossiles de 85 % du *mix* énergétique à cette date, dont les 2/3 sont absorbés par les pays en voie de développement ;
- l'augmentation des risques, notamment risque de sécurité d'approvisionnement et risque climatique. Les pays de l'OCDE, la Chine et l'Inde dépendent d'importations lointaines en provenance de pays instables ; en ce sens, le rapport recommande une évaluation claire et transparence des réserves de gaz et de pétrole ;
- l'explosion du commerce international va accroître la dépendance réciproque entre les pays exportateurs et les pays producteurs ;
- les investissements sont estimés à 16 000 Mds \$, absorbés majoritairement par la production d'électricité (10 000 Mrds \$ dont la moitié dans les pays en voie de développement) ;

- la part des sources de production non carbonées reste minoritaire : le nucléaire progresse légèrement en valeur absolue et les énergies renouvelables passent de 2 % à 6 % du *mix* (éolien et biomasse).
- le rôle central de la Russie d'ici à 2030 pour la sécurité d'approvisionnement du monde, en particulier pour le gaz. Les incertitudes sont nombreuses quant au niveau des investissements, les caractéristiques des gisements, les capacités futures de production et l'efficacité énergétique du pays.
- la fourniture d'énergie aux populations les plus pauvres de la planète reste vitale mais incertaine.

o **Global energy scenario to 2050 (Conseil mondial de l'énergie)**

L'élaboration de scénarios énergétiques au sein du Conseil Mondial de l'énergie trouve son origine à la fin des années 70. Le rapport *Energy for Tomorrow's World* en 1993 est une étape importante. Trois scénarios sont présentés, enrichis de tendances à 2100. Le rapport présente :

- un scénario A (*High Growth*) promoteur d'une forte croissance où la consommation augmente conjointement avec des améliorations importantes de l'efficacité énergétique ;
- un scénario B (*Référence*) de type tendanciel ;
- un scénario C (*Ecologically Driven*) où les politiques avec les autres acteurs sociaux et économiques réussissent à promouvoir l'efficacité énergétique, l'innovation technologique des énergies non fossiles, la réduction des barrières institutionnelles et la baisse des émissions polluantes.

Depuis 93, le Conseil mondial de l'énergie a créé plusieurs variantes, en collaboration avec l'IIASA (International Institut of Applied Systems Analysis) :

- scénario A1 : utilisation massive du pétrole et du gaz ;
- scénario A2 : utilisation intensive du charbon ;
- scénario A3 : accent mis sur le gaz naturel, les énergies renouvelables et le nucléaire pour lutter contre les niveaux d'émissions ;
- scénario B : référence ;
- scénario C1 : accent mis sur l'efficacité énergétique, les renouvelables (solaire pour le long terme) et nucléaire ;
- scénario C2 : expansion du nucléaire.

Les nouveaux scénarios du Conseil mondial de l'énergie qui succèdent à la version de 1998 paraîtront en novembre 2007 lors de la conférence de Rome (11 au 15/11). Ce travail doit rendre compte de la problématique globale du système énergétique et des approches locales. La méthode d'élaboration de type "bottom up" part de la description d'"histoires" régionales sur les avenir possibles.

Deux débats ont marqué le début de l'exercice :

- le lien entre croissance économique et énergie (la croissance peut-elle être bridée ?),
- le pic pétrolier.

Il a été demandé aux différents pays/régions participant à l'exercice de structurer leur réflexion par rapport à quatre horizons de temps 2005, 2020, 2035 et 2050, selon les deux axes suivants :

- degré d'engagement des États ou des pouvoirs publics,
- coopération entre États, entreprises et intégration des marchés.

Les scénarios des pays sont aussi examinés à l'aune des 3A :

- *Accessibilité (Accessibility)* : fournir des services énergétiques modernes ;
- *Disponibilité (Availability)* : sécurité d'approvisionnement, continuité et qualité de fourniture ;
- *Acceptabilité (Acceptability)* : aspects sociaux et environnementaux.

Sept groupes transverses approfondissent les thématiques suivantes :

- mobilité,
- génération d'électricité,
- systèmes stationnaires,
- usages finaux de l'électricité,
- fondamentaux des prix,
- financement,
- changement climatique.

Remarques : L'expérience du CME indique que :

- les scénarios passés se sont trompés en excès sur la consommation d'énergie mondiale, sous-estimant le progrès technologique et la baisse tendancielle de la consommation,
- l'enjeu climatique est perçu très différemment dans le monde. L'accessibilité est souvent d'une priorité supérieure à l'acceptabilité,
- le message sur la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> semble plus porteur que celui sur le changement climatique.

Signalons également l'existence de scénarios produits par les pétroliers, en particulier en 2005, ceux de **SHELL** (*Global scenarios to 2025*) et **Exxon Mobil** (*The outlook for energy, a view to 2030*).

Remarques :

La construction de chacun de ces scénarios, comme de l'ensemble des scénarios d'ailleurs, suppose un certain nombre d'hypothèses, notamment sur les évolutions des **variables de contexte macroéconomique international dites "exogènes" ou de scénarios d'entrée** par rapport à des décisions ou des comportements éventuels :

- la démographie, la croissance du PIB, les prix des matières (pétrole, gaz, charbon, etc.), les taux de change Euro/Dollar ;
- le volontarisme des autorités publiques nationales comme internationales en matière de régulation : maîtrise de la demande, lutte contre le changement climatique dont taxe CO<sub>2</sub> et prix des permis d'émissions négociables, promotion des renouvelables ;

- l'impact futur attendu ou escompté des mesures déjà mises en œuvre ou à venir (quels seront par exemple les effets de la dernière réglementation thermique sur les consommations futures d'énergie des bâtiments ?) ;
- l'évolution des contraintes inhérentes aux accords internationaux (Kyoto 2, par exemple).

## Annexe 7 : La modélisation dans les scénarios énergétiques

Les travaux d'élaboration des scénarios énergétiques reposent de plus en plus sur des outils de modélisation dont on peut relever deux familles principales, gouvernées par des fonctions d'équilibre ou des fonctions d'optimisation. Le choix des outils va également dépendre du type d'exercice de prospective considéré. En résumé, citons la prévision (par prédiction économétrique), la prospective exploratoire (par la méthode des scénarios) et enfin la prospective d'anticipation (par la définition d'objectifs et la recherche des voies pour les atteindre).

### 1. Modèles top-down (modèles d'équilibre)

#### 1.1 Les modèles d'équilibre partiel énergétiques

Ils s'appuient sur une subdivision du monde en marchés : région, pays, secteur. La mise en équation du système énergétique dans les marchés et entre eux s'effectue par des fonctions d'équilibre offre-demande. La fonction de production est agrégée, des hypothèses de prix de départ étant affectées à chaque source d'énergie. Des modules traitent la demande finale en fonction des secteurs, des technologies énergétiques, de la conversion d'énergie. Il s'agit généralement de comprendre le fonctionnement d'un marché en interaction avec l'offre et la demande. Il est assez simple de coupler ces modèles aux modèles macro-économiques d'équilibre général.

Exemples :

<p><u>POLES</u></p>	<p>Prospective Outlook on Long-term Energy Systems</p>	<p>LEPII Grenoble – bases Enerdata et ODYSSEE</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compatibilité avec MEDEE</li> <li>• Possibilité de cohérence forte avec les exercices DGEMP</li> <li>• Utilisé pour l'étude Facteur 4</li> <li>• Extension VLEEM modèle énergie-environnement à très long terme (Commission européenne et ADEME).</li> <li>• Projet IDRI-EPE<sup>46</sup> :             <ul style="list-style-type: none"> <li>- couplage énergie/macroéconomie (IMACLIM-POLES),</li> <li>- couplage énergie/matériaux-urbanisme-transport (POLES).</li> </ul> </li> </ul> <p><b><i>POLES prend comme point de départ les données sectorielles très désagrégées issues de MEDEE. Les données macro-économiques sont exogènes mais voir les essais de couplage (IMACLIM, modèles CEPII, etc.)</i></b></p>
---------------------	--	---	---

<sup>46</sup> Institut du développement durable et des relations internationales - Entreprises pour l'environnement.

<u>PRIMES</u>	Price inducing model of the energy System	Université nationale technique d'Athènes (NTUA) – bases EUROSTAT et ODYSSEE <sup>47</sup>	<i>PRIMES prend comme point de départ les données de macro-économique de GEM-E3, les données sectorielles EUROSTAT (habitat, transport, industries...).</i>
---------------	---	---	---

## 1.2 Les modèles d'équilibre général

On distingue les modèles d'équilibre général calculable (GEM-E3, GEMINI-E3), des modèles d'équilibre partiel ou seul le système énergétique est pris en compte et non le reste de l'économie.

<u>GEM-E3</u>		Université d'Athènes + réseau européen (KUL/Louvain, ERASME/ECP, Paris 1, Univ. Mannheim, ...)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Couplage PRIMES - GEM E3</li> </ul>
<u>GEMINI-E3</u>		Collaboration entre le Ministère de l'équipement, des transports et du logement (METL) et le CEA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• GEMINI-E3 XL-France est une adaptation nationale</li> <li>• La famille comporte un modèle mondial GemWTrapP</li> <li>• Couplage POLE-GEMINI E3 resté en projet</li> </ul>
<u>IMACLIM</u>		Centre international de recherche sur l'environnement et le développement (CIRED)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impact macroéconomique des contraintes carbone (emploi, investissement, revenus, fiscalité, marchés internationaux, prix)</li> </ul>

## 2. Modèles bottom-up (modèles d'optimisation)

Ils sont restreints à l'analyse d'un seul secteur de l'économie. Le système énergétique peut être d'un point de vue technologique fortement détaillé à chaque niveau (production, transport, utilisation) ; la demande est décrite sous forme de courbes de charges. La finalité de ces modèles d'optimisation est souvent d'identifier un ensemble optimal de technologies ou de moyens de production satisfaisant un objectif de demande. La méthode de résolution est une optimisation du système énergétique considéré, sous contrainte avec objectif tel que : minimisation des dépenses, maximisation des gains, minimisation des émissions, ...

<sup>47</sup> ODYSSEE est un projet entre l'ADEME, la DG TREN/Commission européenne et 15 agences d'efficacité énergétique de différents pays européens. Le projet ODYSSEE est coordonné par l'ADEME avec le support technique de Enerdata. Le projet repose sur une base des consommations d'énergie, de l'efficacité énergétique et des émissions de CO<sup>2</sup>.

Exemples :

<u>MARKAL</u>	Market allocation model	AIE (réseau international ETSAP <sup>48</sup> ) Mines Paris - Centre de mathématiques appliquées.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Base technologique très détaillée</li> <li>• Identification d'un système énergétique de référence à partir de l'objectif et des contraintes</li> <li>• Communauté d'utilisateurs dans le cadre de l'ETSAP.</li> </ul> <p><b>Les données technologiques sont très détaillées, la demande s'exprime de façon agrégée sous forme de courbe de charge</b></p>
<u>TIMES</u>	Integrated markal-efon system	AIE (réseau international ETSAP <sup>49</sup> ) Mines Paris - Centre de mathématiques appliquées.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Version plus complète de MARKAL, qui peut notamment être couplée avec des modèles économiques</li> <li>• E<sup>3</sup> (energy, economy, environment) optimization</li> </ul>
<u>PERSEUS</u>		Programme package for emission reduction strategy in energy use and supply (européen)	
<u>ERIS</u>		Energy research and investment strategy, (européen)	

### 3. Des modèles hybrides

Ils commencent à apparaître combinant des modèles sectoriels énergétiques (modèles d'optimisation dynamique, d'équilibre partiel, de demande) et des modèles globaux (d'équilibre général, modèles macroéconomiques (monétaire, d'investissements, etc.)).

Ils forment des modèles de type E<sup>3</sup> (*energy, economy, environment*).

Exemples :

<u>MESSAGE – MACRO</u>		IIASA/Conseil mondial de l'énergie	
<u>IMACLIM-POLE</u>		LEP II Grenoble - CIRED	
<u>TIMES</u>			

<sup>48</sup> Energy Technology Systems Analysis Programme de l'AIE (depuis 1980).

<sup>49</sup> Energy Technology Systems Analysis Programme de l'AIE (depuis 1980).

#### 4. Les modèles de demande

Ils alimentent les modèles énergétiques par deux approches différentes :

- modèles économétriques (top down), où la consommation énergétique est reliée à différentes variables économiques : PIB, population...

Exemples HERMES (Belgique, Bureau fédéral du Plan), MIDAS.

- modèles technico-économiques (bottom up) qui intègrent une analyse détaillée de la demande par usage selon des scénarios de choix économiques et politiques (MEDEE).

<u>MIDAS</u>	Université nationale technique d'Athènes (NTUA)	Modèle type entrée/sortie, multinational, utilisant les bilans économiques nationaux, très forte désagrégation sectorielle, analyses à court terme des changements politiques, pas de prise en compte des évolutions technologiques.  Approche économétrique (prix, valeurs ajoutées...) pour l'estimation de l'évolution de la demande.
<u>MEDEE</u>	Enerdata France (dans plus de 100 pays et régions depuis 1970)	Famille Med-pro Environnement (projections pour les émissions de GES),  Développement du modèle MEDEE-Transport avec le support de l'ADEME, pour une application préliminaire en France (PREDIT 2000-2003)  MEDEE-S (Europe du sud), MEDEE-A (Afrique)

#### 5. Eléments de la démarche de modélisation

Quelque soit la méthode, il importe d'examiner les éléments du processus de travail qui entourent la modélisation et la simulation :

- description des **hypothèses de référence** : caractéristiques macroéconomiques et des systèmes énergétiques, fonctions de demande, comportements des acteurs...
- définition de **scénarios d'entrée** : décisions politiques, projections de prix, disponibilité des nouvelles technologies...
- écriture des **équations de contraintes** : ayant pour but de respecter l'environnement, les matériels, de maîtriser les risques.
- fixation des **objectifs** : quelles technologies, quels investissements sont optimaux ; quelles projections de prix, des émissions ; quels gains économiques...

L'établissement de ces données d'entrée résulte de débats et de consensus sur un certain nombre de questions clés du secteur énergétique dans son environnement social institutionnel et économique.

## Annexe 8 : Fiches sur les outils MARKAL et MEDEE – POLES

- MARKAL

Le Centre de Mathématiques Appliquées, soutenu par le Conseil Français de l’Energie<sup>50</sup>, s’est investi depuis 2003, dans le développement d’un modèle MARKAL/TIMES (MARKAL pour Market Allocation) pour la France. MARKAL/TIMES - France est un outil prospectif qui permet d’obtenir des informations normatives à partir d’analyses de scénarios reflétant les différentes politiques, mesures ou incitations concernant le système énergétique français.

MARKAL/TIMES-France optimise sur un horizon de plusieurs décennies, un coût actualisé (technique, économique ou environnemental) d’une représentation technico-économique du système énergétique français sous contrainte de satisfaction de la demande.

Cette représentation consiste en une description détaillée de la chaîne énergétique, de l’amont (production et offre énergétique) à l’aval (secteurs économiques utilisant l’énergie finale) en passant par tous les secteurs intermédiaires consommateurs ou producteurs d’énergie. Cette représentation détaillée constitue l’atout principal de l’approche [1].

A partir de données technico-économiques et d’hypothèses exogènes sur les tendances (demande, prix des ressources, taux d’actualisation, etc.) MARKAL/TIMES-France fournit les évolutions (typiquement tous les 5 ans jusqu’en 2050) des principaux déterminants du système énergétique à savoir :

- l’impact des prix des énergies à court et moyen terme,
- l’estimation des émissions de polluants,
- la simulation des différentes compétitions technologiques et économiques,
- la prise en compte de certaines mesures incitatives de réduction des émissions de gaz à effet de serre,
- l’effet de ruptures technologiques,
- le rôle des mesures liées à la maîtrise de la demande d’énergie,
- l’impact du secteur des transports,
- l’impact de différents projets de recherche et développement (performances énergétiques, projets d’énergies renouvelables, maîtrise de la demande d’électricité, etc.),
- les conséquences des politiques énergétiques (par exemple les objectifs du protocole de Kyoto ont été envisagés *via* MARKAL/TIMES pour la planification nationale de l’Inde, du Canada, de la Suisse, etc.),
- et permet l’analyse de leurs variantes.

Les données sur lesquelles repose la représentation du système énergétique français - décrite de façon détaillée dans la thèse de Edi Assoumou [2] - sont issues de bases statistiques largement validées :

la représentation des technologies provient de la base de données du projet européen NEEDS (construction d’un modèle MARKAL/TIMES pour les 25 pays européens) et les confrontations au sein de cette communauté garantissent la robustesse des descriptions adoptées.

---

<sup>50</sup> *via* l’Institut français de l’énergie dont l’objectif est de favoriser l’émergence dans les laboratoires de recherches liées à l’étude des enjeux économiques dans le domaine de l’énergie

Les données statistiques pour la France sont extraites des publications officielles : RTE, DGEMP, etc.

Enfin, MARKAL/TIMES est un outil ouvert, utilisé par une large communauté internationale, développé dans le cadre d'un consortium impliquant des équipes de modélisation dans plus de 35 pays ce qui permet les échanges au sein d'un très large panel d'utilisateurs. Cette approche a déjà permis à la Chine [3], au Royaume-Uni [4] et à la Norvège [5] entre autres de développer des scénarios Facteur 4 à l'horizon 2050.

#### Références

- [1] E. Assoumou, M. Bordier, G. Guerassimoff, C. Grange, N. Maïzi, « La famille MARKAL de modèles de planification énergétique : un complément aux exercices de modélisation dans le contexte français », *Revue de l'énergie* n° 558, juillet - août 2004
- [2] E. Assoumou, *Modélisation MARKAL pour la planification énergétique long terme dans le contexte français*, Thèse à l'Ecole des Mines de Paris, spécialité Economie et Finance, 22 Juin 2006
- [3] E.D. Larson, P. DeLaquil, Z. Wu, W. Chen, and P. Gao, « Exploring implications to 2050 of energy-technology options for China », *Sixth Greenhouse Gas Control Technologies Conference*, Kyoto, Japan, 30 septembre au 4 octobre 2002
- [4] M. Leach, D. Anderson, « Options for a low carbon future : Review of modelling activities and an update », *DTI Economics Paper*, septembre 2005
- [5] K. Aamodt Espegren, A. Fidje, E. Rosenberg, « Reducing Norwegian Greenhouse Gas Emissions with 75% by 2050 », *International Energy Workshop*, Le Cap 27-29 juin 2006

- **MEDEE**

Le modèle MEDEE est un modèle technico-économique explicatif (non statistique). Il s'attache à décrire les systèmes futurs de consommation énergétique dans un univers macro-économique donné, globalement cohérent. Il combine une description physique et technologique des processus de consommation énergétique avec une approche économique des déterminants de ces consommations. MEDEE est un modèle fortement désagrégé où la demande énergétique est appréhendée au niveau des principaux usages de l'énergie, pour chacun des grands secteurs de consommation (industrie, ménages, service, transport, autre) et les principales catégories (usage final).

MEDEE permet d'évaluer l'impact de la demande énergétique future résultant des évolutions technologique et des changements structurels de l'économie si ceux-ci peuvent être décrits. De même l'impact des mesures politiques peut être évalué dès lors que l'on peut les traduire en variables d'entrées technologique ou socioéconomique.

Le modèle est en difficulté sur l'évaluation des impacts des variations de prix des énergies (impact du contexte sur la variabilité des élasticité-prix des consommations, effet sociologique au prix, influence progressive des progrès technologiques). La résolution s'opère par une recherche de cohérence entre ces facteurs, par rapport aux observations du passé ou de situations à l'étranger.

## • PÔLES

Le modèle Pôle est un modèle de simulation du système énergétique mondial à l'horizon 2030, étendu aujourd'hui à l'horizon 2050. La dynamique est donnée, à partir du point initial puis d'année en année, par des ajustements progressifs des variables de l'offre et de demande d'une part et de prix d'autre part. Le souci est de conserver dans le modèle des technologies explicites et non génériques. Cela signifie qu'un effort de prospective technologique doit être mené afin de tenter d'identifier toutes les technologies susceptibles d'avoir un développement quantitatif important à 2050.

Le modèle est construit selon une structure hiérarchisée de modules, interconnectés au niveau national, régional et mondial. Sur le plan national, le modèle intègre les modules de consommation, d'énergies nouvelles, de conversion en électricité et de production d'énergies fossiles pour chaque région. Sur les plans régionaux ou mondiaux, il intègre les flux d'échanges énergétiques et les modules de prix internationaux, pour les trois grandes énergies faisant l'objet d'un large commerce international, pétrole, gaz naturel et charbon.

Dans sa désagrégation actuelle (38 régions), le modèle permet à la fois de distinguer les grands acteurs de la scène de l'énergie ou de la négociation climat, et de reconstituer divers schémas régionaux.

Dans PÔLES, les évolutions démographiques et économiques, pour chacun des grands pays ou régions du monde, sont considérées comme exogènes. En revanche, les évolutions de l'ensemble des variables caractérisant la consommation, la transformation, la production et les prix de l'énergie sont endogènes au modèle.

PÔLES permet :

- la prospective détaillée du système énergétique mondial, par grands pays ou régions, avec simulation de la demande par secteur, des technologies liées aux énergies nouvelles, des systèmes électriques, de l'offre et des prix des hydrocarbures.
- l'analyse du progrès technique du secteur de l'énergie avec simulation des scénarios de percée technologique et une endogénéisation des effets d'expérience et d'apprentissage sur les nouvelles technologies.
- l'analyse des impacts potentiels de la prise en compte des contraintes d'environnement global.

Il est important de calibrer les fonctions de demande de PÔLES pour la France avec les résultats du modèle MEDEE.

### **Extension VLEEM (Very Long Term Energy-Environment Model)**

VLEEM est un modèle dont l'horizon de temps est le demi-siècle ou le siècle. Élaboré par un consortium européen pour la Commission européenne (DG Recherche) et l'ADEME, le modèle comprend deux grandes parties : une partie sur la prospective des besoins de services énergétiques et une partie sur la prospective des systèmes technologiques pouvant répondre à ces besoins en respectant des critères de soutenabilité.

L'idée est d'utiliser les images 2050 de VLEEM pour cadrer les évolutions simulées par MEDEE et POLES au-delà de 2030. Seule la France et l'Europe seront explicitement traitées dans ce sens, les autres régions du monde restant traitées par PÔLES selon une simple extrapolation des évolutions 2000-2030.

### Références

[1] *Effet de serre : modélisation économique et décision publique*, rapport du groupe présidé par P.N. Giraud du CGP, la Documentation française, 2002

[2] *Etudes pour une prospective énergétique concernant la France*, Rapport final Enerdata – LEPII, pour l'Observatoire de l'énergie, DGEMP

*Annexe 9 : Variables, hypothèses, données de référence et de contrôle détaillées par secteur*

- Macro économie
- Transports
- Résidentiel – tertiaire
- Industrie
- Énergie

**MACROECONOMIE**

VARIABLES	Sc. TENDANCIEL	Sc. FACTEUR 4	Sc. FACTEUR 4
	CIBLES D'ICI A 2030	CIBLES D'ICI A 2030	CIBLES 2030 A 2050
<b>1. Croissance du PIB</b>	<p><i>Sur un échantillon d'une centaine de pays, le taux de croissance potentiel du PIB mondial serait de 2,5 % sur les 45 prochaines années. Ce chiffre est un peu inférieur à la valeur de 3 % observée entre les années 1980 et 2005. La croissance potentielle du PIB pour la France serait de 1,8 % à l'horizon 2020 (Estimation Banque mondiale 2,2 %) et de 1,6 % à l'horizon 2050. Entre 2005 et 2050, les évolutions de la part de PIB des grands blocs sont très différentes : les États-Unis se maintiennent (35 % à 37 %), l'Europe baisse (25 % à 17 %), la Chine augmente (10 % à 22 %), en \$2000 constant. Les taux de croissance du PIB seraient pour la Chine de 4,6 %/an pour la Chine et 4,5 %/an pour l'Inde. (Source Etude Scénarios de long terme de l'économie mondiale CEPII, 2006).</i></p>		
<b>Croissance annuelle moyenne (Monde)</b>	<p>➤ 3 % / an (AIE 2006 : 2,9 % / an DGEMP 2004 : 2,6 % / an)</p>	<p>➤ 3 % / an (WETO-H2 2006 : 2,6 %/an)</p>	<p>➤ 2,5 %/ an (WETO-H2 2006 : 2,2 %/an AIE ACT, TECH+ 2006 : 2,9 %/ an DGEMP étude F4, 2005 : 2,3 %/an)</p>
<b>Croissance annuelle moyenne (France)</b>	<p>➤ 2,1 % jusqu'en 2015 ➤ 1,8 % entre 2015 et 2030 (DGEMP 2004 : 2,3 % / an)</p>	<p>➤ 1,8 % (WETO-H2 2006 : 1,8 %/an)</p>	<p>➤ 1,6 % (WETO-H2 : 1,4 %/an)</p>
<p>Un test de sensibilité sera effectué avec +0,5 % de croissance soit 2,3 % et 2,1% entre 2015 et 2050.</p>			
<b>2. Démographie</b>			
<b>Monde</b>	<p>➤ 7 800 M hab. (Source WETO-H2, DGEMP)</p>	<p>➤ 7 800 M hab.</p>	<p>➤ 8900 M hab.</p>
<b>France (Source scénario central INSEE, métropole)</b>	<p>➤ 2030 : 67,2 M 2005 : 60,7 M (DGEMP 2004 : 63,9 M, base INSEE 2003 WETO-H2 : 64 M)</p>	<p>➤ 2030 : 67,2 M</p>	<p>➤ 2050 70 M (DGEMP 2004 : 64 M, base INSEE 2003) WETO-H2 2006 : 64 M)</p>

< 20 ans	➤ 22,6 % 2005 : 25 %	➤ 22,6 %	➤ 21,9 %
20 – 64 ans	➤ 53,9 % 2005 : 58,7 %	➤ 53,9 %	➤ 51,9 %
> 64 ans	➤ 23,5 % 2005 : 16,4 %	➤ 23,5 %	➤ 26,2 %
<b>3. Prix des énergies (Source Groupe offre/demande mondiales/ Commission Énergie)</b>	Données 2006 (DIGEC) Uranium : 41 \$/lb Charbon : 61\$/t Pétrole : 50\$/b Gaz naturel : 8,8 \$/Mbtu CO <sub>2</sub> : 20€/t		
<b>Prix du pétrole</b>	<p style="text-align: center;"><i>2005 – 2015</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Ralentissement économique mondial.</i></li> <li>• <i>Arrivée de nouvelles capacités de production et de raffinage.</i></li> </ul> <p style="text-align: right;">➤ 2005-2015 : 50 à 80 \$/b</p> <p>(DGEMP 2004 : 30 \$/b)</p>	<p style="text-align: center;"><i>2015 – 2030</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>L'OPEP devra faire la preuve de son potentiel minier, technique et financier, voire organisationnel et politique afin de pallier le plafonnement irréversible de la production hors OPEP même en tenant compte des innovations technologiques les plus pointues.</i></li> </ul> <p style="text-align: right;">➤ 2015-2030 : 100 à 150 \$/b</p>	<p style="text-align: center;"><i>2030-2050</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Cette période ne peut être envisagée que sous l'angle des substituts. La satisfaction de la demande de carburants reposera sur un mix faisant intervenir d'autres énergies primaires, charbon, gaz naturel, biomasse.</i></li> <li>• <i>En première approche, le prix du pétrole sera donc essentiellement déterminé à long terme par le coût marginal le plus élevé parmi les différents substituts.</i></li> <li>• <i>Des épisodes de forte volatilité des prix dans une fourchette de 50 à 200\$ doivent être envisagés sous l'effet des saturations et des excès périodiques de capacités de production</i></li> </ul> <p style="text-align: right;">➤ 2030 – 2050 : 100 \$/b avec une volatilité entre 50 et 200\$/b</p>

<p><b>Prix du gaz</b></p>	<p><i>A l'horizon 2020, les arbitrages gaz se combineront avec les arbitrages inter énergies pour jouer la modération des prix dans une bande de fluctuation de 6 à 15 \$/MTU pour les volumes marginaux, l'essentiel des volumes conservant le lien organique avec le prix du pétrole à travers les formules d'indexation. Un facteur de volatilité proviendra du degré croissant de dépendance des principaux marchés que resteront l'Amérique du Nord (États-Unis essentiellement) et l'Europe de l'Ouest.</i></p> <p>(projections marché US 2025, données US 2005 : 4 à 8 \$/Mbtu)</p> <p>➤ 2005-2015 : 8 \$/ Mbtu</p>	<p><i>Le lien d'indexation pétrole gaz se déplacerait vers un lien gaz-charbon, les deux énergies étant en compétition pour la production électrique.</i></p> <p><i>Dans un scénario facteur 4, les coûts de la dépollution des centrales charbon donnerait l'avantage au gaz qui verrait sa demande se maintenir, ainsi que les prix.</i></p> <p>➤ 2015-2030 : 11 \$/ Mbtu</p>	<p><i>Même si les avis divergent, la poursuite du rythme tendanciel de production devrait être difficilement soutenable à partir de la décennie 2030. La volatilité du prix associée à un tel scénario est virtuellement illimitée et amplifiée par le caractère non substituable et non stockable de l'électricité, principal débouché des ressources gazières, dont le prix est lui-même très volatil, tout au moins dans le cadre d'un marché libéralisé.</i></p> <p><i>L'industrie gazière sera marquée à plus long terme par une élasticité-prix de la production et du renouvellement des réserves très affaiblie. Seules l'intensité et l'efficacité de l'exploration seront susceptibles d'assurer la continuité des mises en production au fil du temps face à une demande d'électricité inextinguible.</i></p> <p>➤ 2030 – 2050 : 15 \$/ Mbtu</p>
<p><b>Prix du charbon</b></p>	<p><i>Le prix du charbon est étroitement lié aux coûts de production et de transport. L'ampleur des réserves et l'absence de contrainte perceptible sur les capacités de production et d'exportation des grands pays charbonniers ont permis de modérer la hausse des prix même dans le contexte de prix des hydrocarbures depuis 2003.</i></p> <p>➤ 2005-2015 : 60 \$/ t</p>	<p>➤ 2015-2030 : 90 \$/ t</p>	<p><i>Tension sur la demande et investissements dans de nouvelles infrastructures.</i></p> <p>➤ 2030-2050 : 120 \$/ t</p>

<b>4. Environnement</b>			
<b>Objectif de l'UE</b>	➤	<u>Objectif UE du 10 janvier 2007</u> - 20 % d'émissions de GES en 2020 par rapport à 1990	
<b>Contrainte carbone (prix secteur ETS)</b>	➤ Valeur plafond : 20 \$ /tCO <sup>2</sup>	➤ Valeur plafond : 30 \$ /tCO <sup>2</sup>	➤ Valeur plafond : 60 \$ /tCO <sub>2</sub>
<b>5. Maîtrise de la demande d'énergie</b>			
	<u>Loi du 13 juillet 2005</u> • -2 %/an d'ici 2015 • -2,5 %/an entre 2015 et 2030  ➤ - 2,5 %/an	<u>Objectif UE du 10 janvier 2007</u> • -3,3 %/an d'ici 2020 tenant compte de : - -2,3 %/an de croissance, - -1 %/an supplémentaire.  ➤ -3,3 %/an	➤ -3,5 %/an

**TRANSPORT**

<b>VARIABLES</b>	<b>Sc. TENDANCIEL</b>  <b>CIBLES D'ICI A 2030</b> <i>(MESURES CORRESPONDANTES)</i>	<b>Sc. FACTEUR 4</b>  <b>CIBLES D'ICI A 2030</b> <i>(MESURES CORRESPONDANTES)</i>	<b>Sc. FACTEUR 4</b>  <b>CIBLES 2030 A 2050</b> <i>(MESURES CORRESPONDANTES)</i>
<b>1. Mobilité des personnes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plans de déplacements urbains (PDU)</li> <li>- Développement d'infrastructures nouvelles de transports collectifs (TGV, métros, Tram...)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Renforcement des PDU – péages urbains</li> <li>- Fort développement des transports collectifs</li> <li>- Réorganisation de l'économie locale : télétravail, télé-services, télé-achat</li> <li>- Taxe carbone élevée et modulée</li> </ul>	<p><i>Mêmes mesures avec en plus :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Généralisation des transports de personnes à TBE</li> <li>- Rapprochement logements - pôles de services</li> <li>- zones d'emplois</li> </ul>
<b>Mobilité de proximité en zone urbaine</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Faible croissance des km VP</li> <li>➤ Croissance TC + 20%</li> </ul> <p><i>Politique de limitation de la voiture en ville et de développement des transports collectifs urbains (Plans de déplacements urbains)</i></p> <p>(2002) VP : 138 G voy.km ; 119 G véh.km TC : 22 G voy.km</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ VP : 145 G voy.km ; 125 G véh.km</li> <li>➤ TC : 25 G voy.km</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Stagnation des km VP</li> <li>➤ Croissance TC + 50%</li> </ul> <p><i>Renforcement des Plans de déplacements urbains (expérimentations péage urbain)</i> <i>Quartiers nouveaux denses organisés autour des TC</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ VP : 135 G voy.km ; 115 G véh.km</li> <li>➤ TC : 30 G voy.km</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Baisse de km x VP</li> <li>➤ Poursuite croissance TC</li> </ul> <p><i>Mêmes mesures avec en plus</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Obligation motorisation électrique en ville</li> <li>- Généralisation péage urbain dans les grandes agglomérations</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>- VP : 140 G voy.km ; 120 G véh.km</li> <li>- TC : 32 G voy.km</li> </ul>

<p><b>Mobilité de proximité en zone périurbaine et rurale</b></p>	<p>➤ Croissance des km VP : + 34 %</p> <p><i>Pas de contrainte d'usage de la VP, hors prix du pétrole et congestion à proximité des grandes métropoles</i></p> <p>(2002)          VP : 325 G voy.km ; 232 G véh.km          TC : 26 G voy.km          Part des VUL : 25% environ</p> <p>➤ VP : 420 G voy.km ; 305 G véh.km          ➤ TC : 33 G voy.km</p>	<p>➤ Croissance ralentie km VP : + 23%</p> <p><i>Plans locaux de mobilité dans les bassins de vie périurbains et ruraux ; télétravail, télé services, et covoiturage</i>  <i>Taxe carbone élevée et modulée</i></p> <p>➤ VP : 395 G voy.km ; 285 G véh.km          ➤ TC : 40 G voy.km</p>	<p>➤ Stabilisation des km VP après 2025:</p> <p><i>Mêmes mesures avec en plus</i>  <i>Croissance des voitures TBE 2%/an</i>  <i>Pôles d'urbanisation et de services + TC</i>  <i>Péage kilométrique modulé</i></p> <p>- VP : 420 G voy.km ; 300 G véh.km          - TC : 48 G voy.km</p>
<p><b>Mobilité à longue distance (transport intérieur français, yc. tourisme international)</b></p>	<p>➤ Croissance des km VP : + 76 %          ➤ Doublement trafic TGV  <i>Programme LGV CIADT</i></p> <p>(2002)          VP : 205 G voy.km ; 114 G véh.km          TC : 79 G voy.km          Aérien intérieur : 14 Gvoy.km</p> <p>➤ VP : 545 G voy.km ; 200 G véh.km          ➤ TC : 120 G voy.km          ➤ Aérien intérieur : 20 Gvoy.km</p>	<p>➤ Croissance des km VP : + 54 %          ➤ Triplement trafic TGV + autocars interrégionaux</p> <p><i>Capacité ferroviaire LGV et gares et développement des services associés.</i>  <i>Taxe carbone élevée (doublement prix carburants).</i></p> <p>➤ VP : 315 G voy.km ; 175 G véh.km          ➤ TC : 154 G voy.km          ➤ Aérien intérieur : 16 Gvoy.km</p>	<p>➤ Faible croissance des km VP longue distance, après 2025</p> <p><i>Pôles et services touristiques accessibles par transport collectif</i>  <i>Généralisation péage kilométrique modulé.</i></p> <p>• VP : 360 G voy.km ; 200 G véh.km          • TC : 204 G voy.km          • Aérien intérieur : 16 Gvoy.km</p>

<p><b>Aérien international (voyageurs aéroports métropolitains)</b></p>	<p>➤ Croissance trafic 3 % à 3,5 % par an</p> <p>- <i>Développement TGV européens</i> Aérien international : 76,1 millions de passagers (Mp.) en 2004.</p> <p>➤ 2030 : 190 Mp. (x 2,5)</p> <p><u>Loi du 13 juillet 2005</u> Réduction des GES des avions. <u>Plan climat :</u> Objectif de la Communauté aéronautique européenne de réduction de 50 % des émissions de GES d'ici 2020.</p>	<p>➤ Croissance trafic 2 % à 2,5 % par an</p> <p>- <i>Modification du tourisme vers des destinations de proximité</i> - <i>Taxe kérosène ou quotas européens</i></p> <p>➤ 2030 : 150 Mp. (x 2,0)</p>	<p>➤ Croissance trafic 1,5 % à 2 % par an après 2030</p> <p>- <i>Développement des télé-échanges</i> - <i>Taxe kérosène mondiale</i></p> <p>➤ 2050 : 212 Mp. (x 2,8)</p> <p>NB. : 320 Mp. (x 4,2) dans un tendancier 2050 (croissance trafic de 3 % à 3,5 % par an)</p>
<p><b>2. Mobilité des marchandises</b></p>	<p><i>Renchérissement des coûts routiers</i> <i>Concurrence et productivité du transport routier de marchandises (TRM)</i> <i>Organisation de la distribution dans les grands centres urbains</i></p> <p><u>Plan climat :</u> <i>Réexamen des processus de livraisons de marchandises en ville (40 % des émissions de GES)</i></p>	<p>- <i>Croissance du ferroviaire sur les grands axes massifiés</i> - <i>Généralisation 44 tonnes</i> - <i>Taxe carbone ou permis négociables à l'échelle européenne</i></p>	<p><i>Mêmes mesures avec en plus :</i> - <i>Généralisation 60 tonnes sur les grands axes</i> - <i>Etiquetage carbone incluant le transport</i></p>

<b>Longues distances</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Croissance TRM 2005 – 2025 : +30 %</li> <li>➤ Croissance PL 2005 – 2025 : +26 %</li> <li>➤ Croissance ferroviaire et fluvial +44 %</li> </ul> <i>Programme ferroviaire du CIADT</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Croissance TRM 2005 – 2025 : +23 %</li> <li>➤ Croissance PL 2005 – 2025 : +20 %</li> <li>➤ Croissance ferroviaire et fluvial +88 %</li> </ul> <i>Développement du transport ferroviaire : aménagements de capacité ; autoroutes ferroviaires</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Croissance TRM 2005 – 2025 : +34 %</li> <li>➤ Croissance PL 2005 – 2025 : +20 %</li> <li>➤ Croissance ferroviaire et fluvial : +200 %</li> </ul> <i>Mêmes mesures + lignes fret dédiées au transit nord-sud</i>
<b>Courtes distances</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Croissance VUL : +40 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Croissance VUL : +40 %</li> </ul> <i>Organisation des tournées Développement des centres de distribution</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Croissance VUL : +70 %</li> </ul> <i>Généralisation VUL électriques ou hybrides</i>
<b>3. Développement technologique</b>		<i>Progrès significatifs sur la consommation unitaire des véhicules, en particulier en urbain.</i>  <i>Contrainte carbone moyenne</i>	<i>Généralisation de véhicule BE et TBE à partir de la substitution des biocarburants et de l'électricité</i>  <i>Contrainte carbone importante</i>
<b>Performances des véhicules individuels (moyenne du parc)</b>	<p>En 2002 : 170 g CO<sub>2</sub> / km -</p> <p><u>Loi du 13 juillet 2005</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Objectif de 120 gCO<sub>2</sub> / km en 2012</li> </ul> <p><u>Plan climat :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Accord volontaire UE/constructeurs à 140 gCO<sub>2</sub> / km en 2009</li> <li>➤ Hybride diesel 3,4 l/100km en 2010</li> <li>➤ 145 gCO<sub>2</sub> / km</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cible : 125 g CO<sub>2</sub> / km</li> <li>➤ Consommation VLh : -30 %</li> </ul> <p>(VLh : véhicules légers à hydrocarbures naturels)</p> <p>(réglementation européenne + incitations au renouvellement du parc)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cible : 90 g CO<sub>2</sub> / km</li> <li>➤ Consommation VLh : -50 %</li> </ul> <p>(Généralisation électrique (urbain) et hybride rechargeable : moins 70 g équivalent CO<sub>2</sub> / km)</p>

<b>Conso. moyenne du parc</b>	Moyenne du parc 145 gCO <sub>2</sub> /km	Moyenne du parc 125 gCO <sub>2</sub> /km	Moyenne du parc 90 gCO <sub>2</sub> /km
<b>Performances poids lourds</b>	➤ Conso. d'énergie / PL x km : -15 %	➤ Conso. d'énergie / PL x km :-15 % (poids lourds gaz ?)	➤ Conso. d'énergie / PL x km :-30 %
<b>Economies d'énergie</b>	Plan climat : - Eco conduite : -13 % en moyenne de consommation de carburants - Plans de déplacements urbains de 2 <sup>ème</sup> génération  ➤ 15 % hors véhicule	➤ 20 % hors véhicule	➤ 20 % hors véhicule
<b>Hypothèse de répartition des énergies du secteur transport</b>	2002 : 53 Mtep, 2020 : 60 Mtep, dont : - Électricité : 2 Mtep - Biocarburants : 4 Mtep - Hydrocarb : 54 Mtep	Cible : 50 Mtep, dont : - Electricité : 5 Mtep - Biocarburants : 7 Mtep - Hydrocarb : 38 Mtep	Cible : 50 Mtep, dont : - Electricité : 13 Mtep - Biocarburants : 14 Mtep - Hydrocarb 23 Mtep
<b>Hypothèse volontariste transport électrique</b>		<i>Effort élevé vers les flottes Forte R&amp;D sur les futurs systèmes TBE Report trafic sur le fer (collectif urbain et longues distances, voyageurs et marchandises)</i>	<i>Généralisation d'une gamme de véhicule TBE Report trafic sur le fer (collectif urbain et longues distances, voyageurs et marchandises)</i>

	VHR (véhicule hybride rechargeable) 2 % du parc / 10 % véhic neufs 0,7 TWh/an	VHR 15 % du parc / 40 % véhic neufs 6 TWh/an	VHR 75 % du parc / 75 % véhic neufs 24 TWh/an
	VE particulier 0,4 % du parc / 2 % véhic neufs 0,4 TWh/an	VE particulier 5 % du parc / 10 % véhic neufs 5,4 TWh/an	VE particulier 25 % du parc / 25 % véhic neufs 16 TWh/an
	VE flottes 6 % du parc 0,9 TWh/an	VE flottes 36 % du parc 5,4 TWh/an	VE flottes 75 % du parc 10 TWh/an
	Rail (2002 : 12 TWh) 15 TWh	30 TWh	60 TWh
	Total 17 TWh	Total 47 TWh	Total 110 TWh
<b>Équivalent prix du carbone pour les transports</b>	15 €/tCO2	70 €/tCO2 Rapprochement TIPP gazole - essence	140 €/tCO2
<b>5. Variables de contrôle</b>			
<b>Prix/km VL incorporant l'achat</b>	En 2002 : 16c€  ➤ 20 c€	➤ 22 c€ (Surcoût provenant du prix du pétrole et des efforts d'adaptation à la lutte contre les émissions de GES)	➤ 30 c€ (Surcoût des nouveaux véhicules TBE et contrainte carbone renforcée)
<b>Budget - temps</b>	Déplacements quotidiens : constant Déplacements occasionnels : très variable	Déplacements quotidiens : constant Déplacements occasionnels : très variable	Déplacements quotidiens : constant Déplacements occasionnels : très variable
<b>Contrainte temps</b>		En augmentation : demande de vitesse	En augmentation : demande de vitesse
<b>Élasticité de la demande au PIB</b>			
<b>Ouverture des marchés européens et internationaux</b>	moyenne	moyenne	forte

**RÉSIDENTIEL**

<b>VARIABLES</b>	<b>Sc. TENDANCIEL</b>  <b>CIBLES D'ICI A 2030</b> <i>(MESURES CORRESPONDANTES)</i>	<b>Sc. FACTEUR 4</b>  <b>CIBLES D'ICI A 2030</b> <i>(MESURES CORRESPONDANTES)</i>	<b>Sc. FACTEUR 4</b>  <b>CIBLES 2030 A 2050</b> <i>(MESURES CORRESPONDANTES)</i>
<b>1. Parc de logements</b>		<i>Politique très active de rénovation thermique Zones de renouvellement urbain (écoquartiers) Reprise d'un mouvement haussier de construction neuve</i>	<i>Généralisation des bâtiments à énergie positive Accélération du rythme de renouvellement urbain (éco quartiers)</i>
<b>Nombre de résidences principales (France métropolitaine)</b>	2005 : 25,5 M  ➤ 30 M de résidences principales	➤ 33 M de résidences principales	➤ 33 M de résidences principales en 2050
<b>Stock</b>	➤ Stock antérieur à 2005: 24M de RP	➤ Stock antérieur à 2005 : 22,5 M de RP	➤ Stock antérieur à 2005 : 18,75 M de RP
<b>Neuf</b>	2005 : 350 000 logements  ➤ Neuf construit dans l'intervalle 2005-2025 : 6 M de RP ➤ 300 000 logements par an	➤ Neuf construit dans l'intervalle 2000-2025 : 7,5 M de RP ➤ Moy. de 375 000 logements par an	➤ Neuf construit dans l'intervalle 2005-2050 : 14,25 M de RP ➤ Moy. de 320 000 logements par an en 45 ans ➤ Soit +6,75 M (2025-2050)
<b>Maisons individuelles</b>	➤ Maisons individuelles : 57 % du parc (taux de MI dans le neuf : 57 %, si les taux de sorties MI/IC ne sont pas différenciés)	➤ Maisons individuelles : 50 % du parc (taux de MI diffuse dans le neuf : 35 % en moyenne)  (La réduction du taux de maison individuelle dans le neuf s'appliquerait aux tissus urbains non continus)	➤ Maisons individuelles : 45 % du parc (taux de MI dans le neuf : 32 % en moyenne)  <i>Orientation vers des logements groupés (frein au pavillonnaire)</i>

<b>Rénovation/ renouvellement</b>		<i>Action sur l'existant :</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ par composant</li> <li>○ par logement</li> <li>○ par immeuble</li> <li>○ par quartier</li> </ul>	<i>Augmentation du taux de sortie : selon le critère d'obsolescence du bâti, mais surtout selon la possibilité de desserte par transports en commun :</i>
<b>Sorties</b>	➤ 75 000/an (taux de renouvellement : 0,3 %)	➤ 150 000/an (taux de renouvellement : 0,6 %)	150 000/an (taux de renouvellement : 0,6 %)
<b>Accroissement du parc</b>	➤ De 25,5 M de ménages à 30 M en 20 ans : 225 000/an en moyenne	➤ De 25,5 M de ménages à 30 M en 20 ans : 225 000/an en moyenne	➤ De 25,5 M de ménages à 33 M en 45 ans : 170 000/an en moyenne (baisse de l'accroissement du nombre de ménages sur le long terme)
<b>Cibles de répartition et consommation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ RP : 2646 Mm2</li> <li>➤ Stock : 1796 Mm2</li> <li>➤ Neuf : 850 Mm2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ RP : 2649 Mm2</li> <li>➤ Stock : 1785 Mm2</li> <li>➤ Neuf : 864 Mm2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- RP : 2890 Mm2</li> <li>- Stock : 1533 Mm2</li> <li>- Neuf : 1357 Mm2</li> </ul>
<b>Surfaces de logements</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ RP : 2646 m2</li> <li>➤ Stock : 1796 m2</li> <li>➤ Neuf : 850 m2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ RP : 2649 m2</li> <li>➤ Stock : 1785m2</li> <li>➤ Neuf : 864m2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ RP : 2890 m2</li> <li>➤ Stock : 1533 m2</li> <li>➤ Neuf : 1357 m2</li> </ul>
<b>2. Aménagement des territoires</b>	<i>En 10 ans alors que la population a crû de 4 %, les terres urbanisées se sont étendues de 17 % soit 4 fois plus vite ; elles ont doublé depuis 1945.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Favoriser une plus grande densité d'occupation du sol à proximité des TC.</li> <li>▪ Favoriser une meilleure intégration des commerces et des services afin de développer la vie de quartier et les déplacements doux.</li> <li>▪ Organisation des bâtiments en forme</li> </ul>	<i>Favoriser la construction d'une gamme variée de logements pour répondre aux besoins des personnes et des nouveaux quartiers</i>

		<i>urbaine continue (maisons de ville, petits immeubles en R+3) : couplage habitat activité, -30 à -50 % de déperdition thermique par l'enveloppe.</i>	
<b>Taux d'étalement</b>	➤ 1,5 %/an	➤ 0 %/an	➤ -1 % / an (Est-ce possible de réduire les superficies des terres urbanisées ?)
<b>Zones urbaines</b> (Agglomérations de 50 à 500 000 h et RP)	2005 : 15,5 M de RP <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 17,5M de RP</li> <li>➤ Sorties : 0,75 M</li> <li>➤ Logements neufs : 3 M</li> </ul> Croissance du parc : <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cible de densité à 500m des TC :</li> <li>➤ Densité de desserte par TC :</li> <li>➤ Densité de commerces &amp; services/quartier :</li> <li>➤ Km de voies piétonnières :</li> <li>➤ Km de pistes cyclables :</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 18,5M de RP</li> <li>➤ Sorties : 1,5 M</li> <li>➤ Logements neufs : 4 ,5 M</li> </ul> Croissance du parc : <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cible de densité à 500m des TC :</li> <li>➤ Densité de desserte par TC :</li> <li>➤ Densité de commerces &amp; services/quartier :</li> <li>➤ Km de voies piétonnières :</li> <li>➤ Km de pistes cyclables :</li> </ul> <i>(15 % d'éco quartiers Forte incitation à la rénovation de l'ancien – label HQE Ancien : 50 % du stock et facteur 2 sur les consommations)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 20 M de RP</li> <li>➤ Sorties : 2 M (2025-2050)</li> <li>➤ Logements neufs : 3,5 M (2025-2050)</li> </ul> Croissance du parc : <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cible de densité à 500m des TC :</li> <li>➤ Densité de desserte par TC :</li> <li>➤ Densité de commerces &amp; services/quartier :</li> <li>➤ Km de voies piétonnières :</li> <li>➤ Km de pistes cyclables :</li> </ul> <i>(30 % d'éco quartiers Forte incitation à la rénovation de l'ancien – label HQE Ancien : 75 % du stock et facteur 2 sur les consommations)</i>
<b>Zones péri-urbaine et rurales</b> (Agglomérations de 50 à 500 000 h et RP)	2005 : 10 M de RP <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 12,5M de RP</li> <li>➤ Sorties : 75 000/an</li> <li>➤ Logements neufs : 3 M</li> </ul> Croissance du parc : <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cible de densité à 500m des TC :</li> <li>➤ Densité de desserte par TC :</li> <li>➤ Densité de commerces &amp; services/quartier :</li> <li>➤ Km de voies piétonnières :</li> <li>➤ Km de pistes cyclables :</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 11,5M de RP</li> <li>➤ Sorties : 1,5 M</li> <li>➤ Logements neufs : 3 M</li> </ul> Croissance du parc : <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cible de densité à 500m des TC :</li> <li>➤ Densité de desserte par TC :</li> <li>➤ Densité de commerces &amp; services/quartier :</li> <li>➤ Km de voies piétonnières :</li> <li>➤ Km de pistes cyclables :</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 13 M de RP</li> <li>➤ Sorties : 1,75 M (2025-2050)</li> <li>➤ Logements neufs : 3,25 M (2025-2050)</li> </ul> Croissance du parc : <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cible de densité à 500m des TC :</li> <li>➤ Densité de desserte par TC :</li> <li>➤ Densité de commerces &amp; services/quartier :</li> <li>➤ Km de voies piétonnières :</li> <li>➤ Km de pistes cyclables :</li> </ul>

		<i>(15 % d'éco quartiers et centres de services)</i>	<i>(30 % d'éco quartiers)</i>
<b>Rural diffus</b> ( <i>&lt; 10 000 h</i> )	<p>Parc : 11,7M (2050 13,1 M) Complément/an : RP + autre : 50 000 + 30 000</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Croissance du parc :</li> <li>➤ Cible de densité à 500m des TC :</li> <li>➤ Densité de desserte par TC :</li> <li>➤ Densité de commerces &amp; services/quartier :</li> <li>➤ Km de voies piétonnières :</li> <li>➤ Km de pistes cyclables :</li> </ul> <p>75 % de constructions neuves en diffus en 2003.</p>	<p>Parc : 9,7 M</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Croissance du parc :</li> <li>➤ Cible de densité à 500m des TC :</li> <li>➤ Densité de desserte par TC :</li> <li>➤ Densité de commerces &amp; services/quartier :</li> <li>➤ Km de voies piétonnières :</li> <li>➤ Km de pistes cyclables :</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Forte incitation pour la rénovation thermique de l'habitat rural : 30 % du stock avant 2000 couvert</i></li> <li>• <i>10 % d'éco quartiers)</i></li> </ul>	<p>Parc : 9,7 M</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Croissance du parc :</li> <li>➤ Cible de densité à 500m des TC :</li> <li>➤ Densité de desserte par TC :</li> <li>➤ Densité de commerces &amp; services/quartier :</li> <li>➤ Km de voies piétonnières :</li> <li>➤ Km de pistes cyclables :</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Forte incitation pour la rénovation thermique de l'habitat rural : 60 % du stock avant 2000 couvert</i></li> <li>• <i>20 % d'éco quartiers)</i></li> </ul>
<b>3. Taux d'amélioration des consommations de chauffage des logements</b>			
<b>Parc moyen</b>	<p>2005 : moyenne du parc 175 kWh/m<sup>2</sup>/an</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Tendanciel : moyenne du parc 133 kWh/m<sup>2</sup>/an</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Moyenne du parc : 117 kWh/m<sup>2</sup>/an</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Moyenne du parc 69 kWh/m<sup>2</sup>/an</li> </ul>
<b>Logements neufs</b>	<p>2005 : 75 kWh/m<sup>2</sup>/an</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Tendanciel : 40 kWh/m<sup>2</sup>/an</li> </ul> <p><u>Loi du 13 juillet 2005 :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Objectif d'amélioration de la performance énergétique dans le neuf de 40 % en 2020.</li> </ul> <p><u>Plan climat :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Baisse de 40 % de la consommation en 2020</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 35 kWh/m<sup>2</sup>/an</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ RT 2050 15 kWh/m<sup>2</sup>/an (Label passiv Haus)</li> </ul> <p>50 % de bâtiments RT à 15 kWh/m<sup>2</sup>/an</p> <p>50 % de bâtiments à énergie positive</p>
<b>Logements 1975 - 1999</b>	<p>2005 : 90 kWh/m<sup>2</sup>/an</p>		

<b>(13% du parc avant 81 et 22% depuis)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tendanciel : 81 kWh/m<sup>2</sup>/an</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 67 kWh/m<sup>2</sup>/an</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 45 kWh/m<sup>2</sup>/an</li> </ul>
<b>Logements 1949 - 1975 (34% du parc)</b>	<p>2005 : 125 kWh/m<sup>2</sup>/an</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Tendanciel : 112 kWh/m<sup>2</sup>/an</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 94 kWh/m<sup>2</sup>/an</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 62 kWh/m<sup>2</sup>/an</li> </ul>
<b>Logements avant 1949 (31% du parc)</b>	<p>2005 : 215 kWh/m<sup>2</sup>/an</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Tendanciel : 193 kWh/m<sup>2</sup>/an</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 160 kWh/m<sup>2</sup>/an</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 107 kWh/m<sup>2</sup>/an</li> </ul>
<b>Réhabilitation du stock avant 2005</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 20 % du parc réhabilité (réduction de 50 % des consommations unitaires)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 50 % du parc réhabilité</li> </ul> <p>(400 000 logements rénovés/réhabilités par an soit 50 % des logements qui changent de main)</p>	<p>75 % du parc réhabilité</p> <p>Objectif moyen du parc en 2050 : F2 sur les consommation tendancielle de chauffage et F2 par substitution énergies renouvelables</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 75 à 80 kWh/m<sup>2</sup>/an (chauffage)</li> <li>- 15 à 20 kWh/m<sup>2</sup>/an (ECS)</li> </ul>
<b>4. Développement technologique</b>		<b>Généralisation des composants et appareillages économes arrivés à maturité</b>	<b>Généralisation des bâtiments à énergie nulle ou positive</b>
<b>Equipements de chauffage</b>	<p><i>Maintien des parts de marché 2005</i></p> <p><i>Remplacement tous les 20 ans</i></p>	<p><i>Rénovation :</i></p> <p><i>Priorité au remplacement des chaudières fioul/GPL par du gaz et des PAC HT.</i></p> <p><i>Ces remplacements peuvent se faire plus vite que les ravalements thermiques du fait de la durée de vie des chaudières et sont complémentaires.</i></p>	<p><i>Id + substitution</i></p>
<b>Bilan consommation finale</b>	<p>2003 : 381 TWh, dont</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Electricité : 40 TWh</li> <li>- Gaz : 145 TWh</li> <li>- Bois : 90 TWh</li> </ul>	<p>Conso finale totale : 320 TWh dont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Elec (Joule + PAC) ~ 45 TWh (dont ~ 30 de PAC)</li> <li>- Fossiles ~ 145 TWh</li> <li>- Bois ~ 130 TWh</li> </ul> <p>EnR intégrées au <i>mix</i> final <i>via</i> les PAC : de l'ordre de 60 TWh</p>	

		Total EnR intégrées au <i>mix</i> des besoins de chauffage : 160 TWh sur 320 TWh soit 50 %	
<b>PAC</b>		<p>Généralisation de la pompe à chaleur réversible dans le neuf et remplacement de 50 % des chaudières fuel et gaz (MI stock)</p> <p>Neuf :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 100 000 PAC/an tout type en 2020</li> </ul> <p>Existant :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 160 000 PAC/an (essentiellement PAC air/eau dans la MI) en 2020</li> </ul>	<p>A partir de 2020 : palette de solutions PAC disponibles, par exemple :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- substitution progressive sur chaudières gaz par des PAC hybrides et compactes (élec + appoint gaz) pour le collectif à chauffage individuel Gaz (chaudière murale)</li> <li>- PAC hybrides (avec appoint gaz) de forte puissance pour le collectif centralisé et le tertiaire</li> <li>- Solution de capteur de chaleur dans le sol pour améliorer les COP des PAC en baissant les coûts (permettrait des COP supérieurs à 4 dans la rénovation)</li> <li>- solutions adaptées à la rénovation des chauffages « Joule » : solutions <i>mixtes</i> PAC Air / Air réversible (avec COP &gt; à 3) en pièces principales + Joule en pièces secondaires</li> </ul> <p>Cible conso :</p>
<b>Biomasse de chauffage hors réseau</b>	Bois énergie 2005 : 85 TWh énergie finale Avec des installations à mauvais rendement, CU moy. de 250 kWh/m <sup>2</sup> (IC, 8Mm <sup>2</sup> ) à 330 kWh/m <sup>2</sup> (MI, 245 Mm <sup>2</sup> )	Gain facteur 2 en rendement  Cible conso : 100 TWh	Cible conso : 120 TWh
<b>Réseaux de chaleur (dont bois énergie)</b>	2005 : 15 TWh	Cible conso 2025 : 30 TWh (100 % OM+Biomasse)	Cible conso 2050 : 60 TWh (100 % OM+Biomasse)
<b>ECS</b>	2005 : 45 TWh Croissance : 0,6 TWh/an Tendanciel conso 2025 : 65 TWh  <u>Plan climat :</u> Plan face sud : 200 000 chauffe-eau solaire	Cible conso : 40 TWh ( <i>Economie + solaire thermique neuf</i> )  Favoriser Solaire + appoint élec joule, voire PAC en combinaison avec les solutions chauffage mises en place.	Cible conso : 35 TWh ( <i>Economie + solaire thermique neuf + solaire thermique sur le stock</i> )  A long terme, il paraît difficile de faire mieux que de substituer 25 % toutes sources confondues : (~ 15 TWh pour résidentiel + tertiaire par rapport à 65 TWh tendanciel), en équipant tous les sites

			les mieux placés.
<b>Éclairage</b>	2005 : 9 TWh	Cible conso :	Cible conso :
<b>Électricité spécifique + clim</b>	<p>2005 : 70 TWh</p> <p>Bilan :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gros électroménager : 28 TWh</li> <li>- Cuisson : 30 TWh (1/3 élec, 2/3 gaz)</li> <li>- Audio : 13 TWh</li> <li>- Divers 18 TWh</li> </ul> <p><u>Plan climat :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mise en place de seuils de consommation maximale des appareils en veille (1W)</li> </ul>	<p>2020 : 100 TWh</p> <p>L'essentiel des gains à espérer sur l'élec spécifique dans le résidentiel va passer par l'éco conception des appareils (incluant la baisse progressive des veilles jusqu'à atteindre systématiquement 1 W par appareil existant après 2030) et les campagnes de sensibilisation pour éviter les effets rebonds</p> <p>Cibles :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gros électroménager : 19 TWh</li> <li>- Cuisson : 30 TWh (1/3 élec, 2/3 gaz)</li> <li>- Audio : 13 TWh</li> <li>- Divers 32 TWh (multiplication des appareils divers difficilement réglables)</li> </ul>	<p>2020 : 80 TWh</p> <p>Cible conso :</p>
<b>Production décentralisée d'énergie et stockage</b>	<p><u>Plan climat :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 50 000 toits solaires/an en 2010</li> </ul>	Cible conso : (quelle source d'énergie, cogénération gaz ou biomasse ?)	Cible conso :

**TERTIAIRE**

<b>Surfaces</b>	2005 : 868 Mm <sup>2</sup> ➤ 1320 Mm <sup>2</sup>	➤ 1320 Mm <sup>2</sup>	➤ 1320 Mm <sup>2</sup>
<b>Consommations</b>	2005 : 247 Mm <sup>2</sup> ➤ 276 Mm <sup>2</sup> dont chauffage + ECS, 140 TWh (2003)	➤ 270 Mm <sup>2</sup>	
<b>Bilan de consommation finale</b>	2003 : chauffage + ECS - Electricité : 22 TWh - Gaz : 64 TWh - Fuel : 38 TWh - Autre : 13 TWh		chauffage + ECS - Electricité : 30 TWh - Gaz : 36 TWh - Fuel : 20 TWh - Autre : 15 TWh
<b>Taux d'amélioration des consommations de chauffage et ECS</b>	Parc moyen : 2003 : ➤ 86 kWh/m <sup>2</sup> /an pour le chauffage électrique ➤ 153 kWh/m <sup>2</sup> pour les autres énergies		Parc moyen : ➤ 75 kWh/m <sup>2</sup> /an pour l'ensemble du parc  Au travers : - des actions de rénovation du bâti (potentiel de 700 Mm <sup>2</sup> de surface hors élec sur 900 Mm <sup>2</sup> ) - de rénovation des chaufferies (amélioration des rendement gaz et PAC)

**INDUSTRIE**

VARIABLES	<p align="center"><b>Sc. TENDANCIEL</b></p> <p align="center"><b>CIBLES D'ICI A 2030</b> <i>(MESURES CORRESPONDANTES)</i></p>	<p align="center"><b>Sc. FACTEUR 4</b></p> <p align="center"><b>CIBLES D'ICI A 2030</b> <i>(MESURES CORRESPONDANTES)</i></p>	<p align="center"><b>Sc. FACTEUR 4</b></p> <p align="center"><b>CIBLES 2030 A 2050</b> <i>(MESURES CORRESPONDANTES)</i></p>
<p><b>1. Taux de croissance des branches industrielles (2004 – 2025)</b></p>	<p><i>De manière générale, ce sont clairement les secteurs des services qui portent la croissance dans les 20 prochaines années : ils se situent en phase d'accélération par rapport aux deux décennies précédentes. (Source BIPE)</i></p> <p><i>On observe une nette croissance des émergents dans certains secteurs (textile, automobile, produits électriques)</i></p>	<p><i>L'évolution de l'activité industrielle sur le moyen long terme est liée aux parts de marché que pourront conserver la France et l'UE.</i></p> <p><i>Celles-ci dépendent de nos capacités technologiques et du cadre institutionnel.</i></p> <p><i>Les hypothèses qui pourraient être retenues pour le facteur 4 sont celles :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>d'un redressement des capacités technologiques de l'UE,</i></li> <li>- <i>de l'absence de résistances institutionnelles laissant la place au rattrapage des émergents (ensemble des marchés non cloisonnés).</i></li> </ul> <p><i>Ces facteurs peuvent conduire à un scénario caractérisé par :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>la stabilisation des parts de marchés dans un marché s'élargissant,</i></li> <li>• <i>la ré-industrialisation de l'UE (dé-industrialisation évitée) comprenant points forts technologiques, spécialisation sur le haut de gamme, société de la connaissance.</i></li> </ul> <p><i>(Source CEPII)</i></p>	
<p><b>Taux de croissance moyen annuel de la production (Source BIPE)</b></p>	<p>Scénario central : 2 % (Scénario dynamisme mondial : 2,5 % Scénario perte de compétitivité : 1,5 %)</p>	<p><i>Les hypothèses ci-dessus permettent de s'inscrire dans le cas scénario dynamique mondial et de retenir un taux de croissance annuel de l'industrie de 2,5 % jusqu'en 2050.</i></p> <p><i>Dans ce sens, la trajectoire facteur 4 peut contribuer à cette augmentation et affecter positivement la croissance de certains secteurs.</i></p>	

<b>Croissance de la valeur ajoutée</b>			
<b>Agriculture, sylviculture, pêche</b>	➤ -1,1 %/an (1,3 %/an pour 1980-2004)	➤ 2 %/an <i>(montée en puissance des biocarburants, capacité de la France à participer à la contrainte alimentaire du monde)</i>	<b>Agriculture, sylviculture, pêche</b>
<b>Agro-alimentaire</b>	➤ 0,6 % / an (1,6 %/an pour 1980-2004)	➤ 2 %/an	<b>Agro-alimentaire</b>
<b>Automobile (TCAM production)</b>	➤ 2,2 %/an (3,7 %/an pour 1980-2004)	➤ 2,2 % /an <i>(nécessité de reconvertir les véhicules classiques vers des véhicules TBE)</i>	<b>Automobile (TCAM production)</b>
<b>Bâtiment</b>	➤ 1,4 %/an (0,6 %/an pour 1980-2004)	➤ 2 %/an <i>(croissance soutenue correspondant à une volonté de renouvellement /rénovation du parc vers l'objectif F4)</i>	<b>Bâtiment</b>
<b>Bois et papier</b>	➤ 0,55 %/an (1,7 %/an pour 1980-2004)	➤ 0,55 %/an <i>(Tendance à la dématérialisation sur le long terme par les TIC)</i>	<b>Bois et papier</b>
<b>Construction navale, aéron. et ferroviaire</b>	➤ 1,8 %/an (4,5 %/an pour 1980-2004)	➤ 2 %/an <i>(le facteur 4 appelle un effort vers les transports collectifs)</i>	<b>Construction navale, aéron. et ferroviaire</b>
<b>Chimie, caoutchouc, plastique</b>	➤ 0,8 %/an (2,7 %/an pour 1980-2004)	➤ 0,8 %/an	<b>Chimie, caoutchouc, plastique</b>
<b>Combustibles et carburants</b>	➤ - 2 %/an (-2 %/an pour 1980-2004)	➤ - 2 %/an	<b>Combustibles et carburants</b>

<b>Eau, gaz, électricité</b>	➤ 2,1 %/an (3 %/an pour 1980-2004)	➤ 2,1 %/an	<b>Eau, gaz, électricité</b>
<b>Métallurgie et transf. des métaux</b>	➤ 2,1 %/an (0,7 %/an pour 1980-2004)	➤ 2,1 %/an	<b>Métallurgie et transf. des métaux</b>
<b>Produits minéraux</b>	➤ 0,8 %/an (0,6 %/an pour 1980-2004)	➤ 0,8 %/an	<b>Produits minéraux</b>
<b>Textile</b>	➤ -0,7 %/an (-1,3 %/an pour 1980-2004)	➤ -0,7 %/an	<b>Textile</b>
<b>2. Environnement</b>			
<b>Contrainte enveloppe PNAQ2 déc. 2006 Part industrie (46 % des émissions de l'industrie en 2005)</b>	➤ Obj. 2012 : 53,8 MteCO <sub>2</sub> /an  (2005 : 53,2 MteCO <sub>2</sub> /an)		
<b>Taux de décarbonisation de l'industrie</b>	➤ -1,5 %/an  (cf. écart enveloppe PNAQ1 – PNAQ2 : -7,9 % sur 5 ans)	➤ -2 %/an	➤ -2,5 %/an

<b>3. Amélioration de l'efficacité énergétique</b> <b>(Source ADEME : ODYSSEE-MURE Workshop 04/2005 Paris : Energy efficiency trends in France)</b>	<i>Le cadre européen fixe un objectif tendanciel global de 20 % d'économie énergie en 2020 soit -1 %/an avec une croissance du PIB de 2,3 % (total - 3,3 %/an)</i>		
<b>Évolution de l'intensité énergétique (à structure constante, en moyenne au sens technique)</b>	➤ -1,7 %/an (1990-2002 : -1,3 %/an dont 1990-1996 : - 0,6 %/an et 1996-2002 : - 2 %/an)	➤ -2 %/an	➤ -3 %/an
<b>Impact de l'effet structurel</b>	➤ -1,3 %/an (1990-2002 : -1 %/an dont 1990-1996 : - 0,5 %/an et 1996-2002 : - 1,4 %/an)	➤ -1,5 %/an	➤ -1,5 %/an
<b>Total</b>	➤ -3 % / an (1990-2002 : -2,3 %/an dont 1990-1996 : -1,2 %/an et 1996-2002 : -3,4 %/an)	➤ -3,5 %/an	➤ -4,5 %/an
<b>Par secteur :</b>  <b>Agro-alimentaire</b>	1990-2002 : gain de 2 %		

<b>Manufacturing</b>	1990 – 2002 : gain de 16 %		
<b>Équipements</b>	1990 – 2002 : gain de 16 %		
<b>Ciment</b>	1990 – 2002 : augm. de 8 %		
<b>Papier</b>	1990 – 2002 : gain de 23 %		
<b>Chimie</b>	1990 – 2002 : gain de 27 %		
<b>Non ferreux</b>	1990 – 2002 : augm. de 16 %		
<b>Acier</b>	1990 – 2002 : gain de 20 %		
<b>Non métallique</b>	1990 – 2002 : gain de 4 %		
<b>Textile</b>	1990 – 2002 : augm. de 40 %		
<b>4. Niveau de recyclage des produits</b>			
<b>% de matières premières secondaires dans la production des matériaux</b>			
<b>Acier</b>	<p>2004 : 43 %  L'utilisation de matière 1<sup>ère</sup> secondaire permet d'économiser 80 % de CO<sub>2</sub> par rapport à la production d'acier à partir de matière première brute. Le taux théorique max est de 80 % et dépend de la quantité d'acier fabriqué environ 15 ans auparavant (Source ARCELOR).</p> <p>➤ 50 %</p>	<p>➤ 55 %</p>	<p>➤ 65 %</p>

<b>Papier-carton</b>	<p>2004 : taux de recyclage 58 % (maximum théorique 80 %, moyenne europ. 47 %)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 60 %</li> </ul> <p>2004 : taux de récupération : 61 % (moyenne europ 60 %, All. 74 %)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 70 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ taux de recyclage : 65 %</li> <li>➤ taux de récupération : 75 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ taux de recyclage : 70 %</li> <li>➤ taux de récupération : 80 %</li> </ul>
<b>Plastique</b>	<p>2004 : : taux de recyclage 7 %</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 15 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 20 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 25 %</li> </ul>
<b>Verre</b>	<p>2004 : taux de récupération de la production de verre creux 55 % (All. 85 %)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 70 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ taux de récupération : 85 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ taux de récupération : 90 %</li> </ul>
<b>Métaux non ferreux</b>	<p>2004 : 35 %</p>		
<b>5. Dématérialisation du cycle de vie des produits (allègement)</b>	<p><i>La dématérialisation des produits (caractéristiques conservées voir améliorées avec moins de matière) peut avoir un certain effet sur les quantités produites. On peut néanmoins supposer à l'horizon considéré que l'excès d'énergie nécessaire par unité produite et l'élargissement des marchés va compenser cet effet.</i></p>		
<b>Rendement énergétique des chaînes logistiques</b>	<p><u>Loi du 13 juillet 2005</u>  <i>Amélioration du rendement énergétique de la chaîne logistique des entreprises en matière de transport de marchandises et de l'optimisation des déplacements des salariés entre leur domicile et leur lieu de travail.</i></p>		
<b>Effet de la décarbonisation du cycle de vie des produits</b>	<p><i>Relatif à la réduction de l'impact environnemental des produits fabriqués sur l'ensemble du cycle de vie. Les effets dépassent le secteur de l'industrie. Le gisement correspondant pourra être évalué de façon globale.</i></p>		

**ÉNERGIE**

VARIABLES	Sc. TENDANCIEL  CIBLES D'ICI A 2030 (MESURES CORRESPONDANTES)	Sc. FACTEUR 4  CIBLES D'ICI A 2030 (MESURES CORRESPONDANTES)	Sc. FACTEUR 4  CIBLES 2030 A 2050 (MESURES CORRESPONDANTES)
1. Objectifs institutionnels			
Énergies renouvelables	<p><u>Loi du 13 juillet 2005</u> Diversification du bouquet énergétique :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 10 % des besoins énergétiques français à partir de sources d'énergie renouvelables à l'horizon 2010</li> <li>• Production intérieure d'électricité d'origine renouvelable à hauteur de 21 % de la consommation en 2010</li> <li>• Développement des énergies renouvelables thermiques pour permettre d'ici 2010 une hausse de 50 % de la production de chaleur d'origine renouvelable</li> </ul> <p><b>PPI</b> : énergies renouvelables connectées au réseau : 17 GW en 2015</p> <p><u>Objectifs européens (10/01/07)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 20 % d'énergies renouvelables dans le <i>mix</i> primaire en 2020 (7 % en 2005) <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 15 % du <i>mix</i> primaire</li> </ul> </li> </ul>	<p>➤ 20 % du <i>mix</i> primaire</p>	<p>➤ 25 % du <i>mix</i> primaire</p>

<b>Énergie nucléaire</b>	<p><u>Loi du 13 juillet 2005</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maintien de l'option nucléaire ouverte à l'horizon 2020, en disposant vers 2015 d'un réacteur nucléaire de nouvelle génération opérationnel</li> <li>• Le prolongement au-delà de 40 ans n'est pas garanti : cela dépend, au cas par cas et le moment venu, de l'aptitude des centrales à respecter les exigences de sûreté.</li> </ul> <p>➤ 40 % du mix primaire</p>	<p>➤ 45 % du mix primaire</p>	<p>➤ 50 % du mix primaire</p>
<b>Bio masse</b>	<p><b>Objectifs européens (10/01/07)</b></p> <p>Biocarburants : 10 % des carburants en 2020</p> <p>➤ 30 Mtep en 2025</p> <p>Indicatif de répartition par secteur :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- bioproduits : 5 à 10 % (2005 : 1,5 %)</li> <li>- biocarburants : 7 à 10 % (2005 : 1 %)</li> <li>- chaleur : 15 % (2005 : 10 %)</li> <li>- électricité : 1 % (2005 : 0,5 %)</li> </ul> <p><u>Plan climat :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2005 : 1 Mtep récupérée par les unités d'incinération des ordures ménagères (700 000 logements chauffés)</li> <li>- Potentiel supplémentaire : 4 Mtep</li> </ul>	<p>➤ 30 Mtep</p>	<p>➤ 50 Mtep</p> <p>Indicatif de répartition :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- bioproduits : 30 %</li> <li>- biocarburants : 30 à 40 %</li> <li>- chaleur : 30 %</li> <li>- électricité : 1 %</li> </ul>

<b>Hypothèse de bilan du secteur de la production électrique</b>	2020	En TWh		
	Production nucléaire	460		
	Production hydraulique	70		
	Production ENR hors hydraulique	20		
	Production thermique classique	50		
	Total Offre	600		
	Demande France ( <i>hors Corse</i> )	530		
	Autoconsommation	- 10		
	Solde Pompage	2		
	Balance des exports	80		
Total Demande	600			
<b>2. Environnement</b>				
<b>Contrainte enveloppe PNAQ2 déc. 2006 : Part énergie (82 % des émissions de l'énergie en 2005)</b>	Obj. 2012 : 49,1 MteCO <sub>2</sub> /an (2005 : 58,4 MteCO <sub>2</sub> /an) (écart enveloppe PNAQ1 – PNAQ2 : -16 % sur 5 ans)			

<b>Taux de décarbonisation du secteur énergie</b>	➤ - 1 %/an (Objetif -35 % sur 45 ans)	➤ - 1 %/an	➤ - 1 %/an
<b>Économies d'énergie</b>	<u>Plan climat :</u> - Certificats d'économies d'énergie : 54 TWh cumulées entre juillet 2006 et juin 2009. - Doublement de l'objectif sur la période 2009-2012.		

## Annexe 10 : Références des interventions dans le groupe 5

Chambolle Thierry	« <i>Hypothèses tendanciennes et Facteur 4</i> », Commission plénière, diaporama, 14 mars 2007
Chateau Bertrand	« <i>Scénarios énergétiques pour la France</i> » diaporama
Criqui Patrick	« <i>Les scénarios WETO-H2 pour la DG-RTD : hypothèses, mobilisation, résultats</i> », diaporama, 5 décembre 2006
Crozet Yves	« <i>Quels transports pour demain ?</i> », diaporama, 18 janvier 2007
Gazeau Jean-Claude	« <i>La politique climatique : quels défis ?</i> », diaporama, 18 janvier 2007
Lamy Jean	« <i>Rapport énergy</i> » européen du 10 janvier 2007, diaporama, 18 janvier 2007
Lavergne Richard	« <i>Scénarios tendanciels 2030 et étude Facteur 4</i> », diaporama, 22 novembre 2007
Liger Sophie	« <i>Potentiel d'amélioration des performances dans l'industrie</i> , diaporama, 6 février 2007
Maizi Nadia	« <i>Facteur 4, l'approche Markal</i> , diaporama, 16 octobre 2006
Martinez Emmanuel	<i>Travaux de l'AERES</i> , diaporama, 6 février 2007
Paul Dubois Taine Olivier	<i>Scénarios transports du CGPC</i>
Pouliquen Hervé	« <i>Quelles variables structurelles pour faire levier vers le Facteur 4</i> », diaporama, 18 janvier 2007 « <i>Modèle et hypothèse : scénario tendanciel et Facteur 4</i> », diaporama, 14 février 2007
Tutenuit Claire	<i>IDDRI-EPE</i> , « <i>Perspectives à long terme des évolutions de GES</i> », diaporama, 6 février 2007
Traisnel Jean-Pierre	« <i>Variables structurelles pour faire levier vers le Facteur 4</i> », diaporama, 5 février 2007 « <i>Habitat et enjeux F4</i> », diaporama, 9 janvier 2007
Vainio Matti	« <i>Energy scénarios in OG Environnement</i> », diaporama, 12 septembre 2006

## Annexe 11 : Membres du groupe 5

Président : Thierry Chambolle

Rapporteur Centre d'analyse stratégique : Hervé Pouliquen

<b>Membres titulaires</b>		<b>Suppléants</b>
Michel Destot	Député de l'Isère	
Claude Gatignol	Député de la Manche	
Daniel Paul	Député de la Seine Maritime	Gwenaëlle Perrier
Bruno Sido	Sénateur de la Haute-Marne	
FO	Jean-Claude Mailly (secrétaire général)	Jacky Chorin Sébastien Dupuch
CFE-CGC	Bernard Van Craeynest (président)	Michel Lamy Jean Conan
CGPME	Jean-François Roubaud (président)	Dominique Broggio
UPA	Pierre Perrin (président)	Jean Lardin
NégaWatt	Thierry Salomon (président)	Benoît Lebot
UFIP	Christian Balmes (PDG)	
GDF	Jean-François Cirelli (président)	Didier Sire Stéphane Brimont
EDF	Pierre Gadonneix (président)	Dominique Lagarde Bernard Scherrer
Dominique Dron	Professeur (ENSMP)	
Nadia Maizi	Professeur (ENSMP, directrice du Centre de mathématiques appliquées)	
Emile Quinet	Professeur honoraire (ENPC)	
Jean-Pierre Traisnel	Université Paris 8 – LTMU CNRS	
Olivier Paul Dubois Taine	Ingénieur général honoraire (CGPC)	
CGPC	Thierry Vexiau	
DLF/économie	Marie-Christine Lepetit (directrice)	Cyril Sniadower
DGE/économie	Luc Rousseau (dir. gal)	Emmanuel Caquot
DGEMP/économie	Dominique Maillard (directeur général)	Richard Lavergne
DEEI/agriculture	Jean-Marie Aurand (directeur)	Bernard Chaud
ENERDATA	Bertrand Chateau (directeur général)	