

Synthèse

Juillet 2011

*Scénarios prospectifs Energie – Climat – Air
à horizon 2030*

SYNTHESE

Résumé

Le présent document constitue la synthèse d'un exercice de simulation des consommations d'énergie et des émissions de gaz à effets de serre (GES) à l'horizon 2020-2030, dans le cadre d'un scénario pré-grenelle à caractère tendanciel d'une part (« Business as usual » ou « Baseline »), et dans le cadre d'un scénario Grenelle qui résulterait de l'application et de l'atteinte des objectifs des lois Grenelle d'autre part.

La Direction Générale de l'Energie et du Climat, avec le Commissariat Général au Développement Durable, a lancé une étude sur les scénarios prospectifs énergie – climat – air à l'horizon 2030 de la France. Les résultats de cette étude ont été utilisés dans les différents rapports suivants :

- le Plan National d'Action pour l'Efficacité Energétique (PNAEE) qui doit être transmis à la Commission pour le 30 juin 2011 ;
- le Rapport sur les Mécanismes de Surveillance (RMS) que la France doit transmettre à la Commission pour le 15 mai 2011;
- le Plan Climat national qui sera actualisé en 2011.

L'élaboration de ces scénarios a fait l'objet de nombreuses concertations, dont deux comités de pilotage type Grenelle.

Les deux scénarios présentés représentent :

- ce que deviendrait la situation énergétique de la France à l'horizon 2020 et 2030 dans le cadre d'un scénario Pré-Grenelle, c'est à dire si aucune politique ou mesure nouvelle, autre que celles déjà en place ou décidées au 1^{er} janvier 2008 (donc, en particulier, avant mesures issues du « Grenelle de l'environnement »), n'était prise en compte. L'évolution du système énergétique est alors supposée s'effectuer dans un contexte de « sagesse conventionnelle » anticipant des choix politiques et des comportements des agents économiques considérés comme « raisonnables », de façon à ce qu'il ne s'agisse pas d'un scénario « repoussoir » ;
- ce que deviendrait la situation énergétique de la France dans le cadre d'un scénario Grenelle dit « AMS Objectifs », c'est-à-dire en prenant en compte l'effet des mesures et l'atteinte des objectifs prévus par les lois Grenelle I et II, à l'horizon 2020 et 2030, de façon à pouvoir en évaluer l'ambition et l'impact.

Tous les scénarios intègrent les effets conjoncturels de la crise économique et des mesures de relance associées. Ils se fondent sur le même cadrage macro-économique (mêmes hypothèses de croissance économique, mêmes prix des énergies).

Les projections d'émissions de gaz à effet de serre (hors UTCTF) montrent que la mise en oeuvre du Grenelle devrait permettre de ramener les émissions de gaz à effet de serre de la France à 435 Mt éq.CO₂ en 2020, soit une réduction de 23,1 % par rapport à 1990 (565 Mt éq.CO₂) et une réduction de 23,1 % par rapport à 2005. En 2030, la mise en oeuvre du Grenelle devrait permettre de ramener les émissions de la France à 385 MteqCO₂, soit une réduction de 31,9 % des émissions de gaz à effet de serre de la France par rapport à 1990 (565 Mt éq.CO₂) et une réduction de 31,9 % par rapport à 2005.

Suite aux évènements survenus au Japon en mars 2011, la question du nucléaire et de sa place dans la politique énergétique a été posée. Dans ce cadre, des travaux d'analyses de sensibilité des résultats aux hypothèses relatives aux capacités nucléaires ont débuté.

Plan

Résumé.....	3
Plan.....	4
Contexte.....	5
Objectifs et organisation	6
Hypothèses macro-économiques	8
Hypothèses sectorielles sur la demande d'énergie	9
Bâtiment résidentiel et tertiaire	9
Industrie (hors raffinage)	10
Transports	11
Hypothèses et modélisation de la branche électricité	12
Principes de la modélisation.....	12
Hypothèses de capacité	13
Hypothèses d'exportation.....	14
Disponibilité du nucléaire	15
Prix de l'électricité.....	15
Approvisionnement pétrolier	16
Evolution de la consommation finale d'énergie	16
Comparaison des résultats des scénarios 2010 et 2008	19
Emissions de gaz à effet de serre de l'énergie.....	20
Annexe.....	21
Scénario Pré-Grenelle en 2020.....	21
Scénario Pré-Grenelle en 2030.....	22
Scénario Grenelle en 2020.....	23
Scénario Grenelle en 2030.....	24

Contexte

Le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement (MEDDTL) a lancé en 2010 un exercice intitulé « *Scénarios Prospectifs Energie – Climat – Air à l'horizon 2030* », piloté par la Direction Générale de l'Energie et du Climat (DGEC) et le Commissariat Général au Développement Durable (CGDD). L'exercice a eu pour objectif de fournir des prévisions de consommations d'énergie, d'émissions de gaz à effet de serre et de polluants à l'horizon 2030. Il modélise les émissions de la métropole, des Départements d'Outre-Mer (DOM) et Collectivités d'Outre-Mer (COM) et traite pour la première fois des trois volets de la prospective énergie, climat et air de manière intégrée.

Par rapport au dernier exercice de prospective réalisé en 2008, l'exercice lancé en 2010 a eu pour objectif :

- de réaliser une mise à jour tenant compte de la mise en place des principales mesures du Grenelle;
- d'intégrer au mieux les problématiques énergie-climat-air dans un cadre de coopération et de transparence vis à vis des industriels, des syndicats et organismes non gouvernementaux (ONG) ;
- de prendre en compte le contexte économique qui a considérablement évolué au cours des deux dernières années.

Les différents scénarios décrivent l'évolution du système énergétique français et des émissions de gaz à effet de serre, ils ont été différenciés sur la base des politiques et mesures prises et des différentes échéances ou obligations de reporting communautaires et internationales.

Plus précisément, il s'agit pour la DGEC de représenter :

- ce que deviendrait la situation énergétique de la France à l'horizon 2020 et 2030 dans le cadre d'un scénario Pré-Grenelle, c'est-à-dire si aucune politique ou mesure nouvelle, autre que celles déjà en place ou décidées au 1^{er} janvier 2008 (donc, en particulier, avant mesures issues du « Grenelle de l'environnement »), n'était prise en compte. L'évolution du système énergétique est alors supposée s'effectuer dans un contexte de « sagesse conventionnelle » anticipant des choix politiques et des comportements des agents économiques considérés comme « raisonnables », de façon à ce qu'il ne s'agisse pas d'un scénario « repoussoir »¹ ;
- ce que deviendrait la situation énergétique de la France dans le cadre d'un scénario Grenelle dit « AMS Objectifs », c'est-à-dire en prenant en compte l'effet des mesures et l'atteinte des objectifs prévus par les lois Grenelle I et II, à l'horizon 2020 et 2030, de façon à pouvoir en évaluer l'ambition et l'impact.

En l'absence d'objectifs sectoriels pour la période de l'après 2020, le comité de pilotage a défini les règles et hypothèses suivantes pour le passage de 2020 à 2030 :

- prolongation tendancielle pour le scénario Pré-Grenelle

¹ Un tel scénario s'avère en effet tout à fait inapproprié en termes de développement durable, par exemple en étant loin d'atteindre tant les objectifs communautaires que ceux du « Grenelle de l'environnement », que ce soit en termes d'émissions de CO₂ ou de part des énergies renouvelables dans le mix énergétique.

- implémentation d'une valeur du carbone sur les secteurs hors-ETS à partir de 2020 de manière à s'inscrire dans une trajectoire compatible avec l'atteinte du « facteur 4 » à 2050².

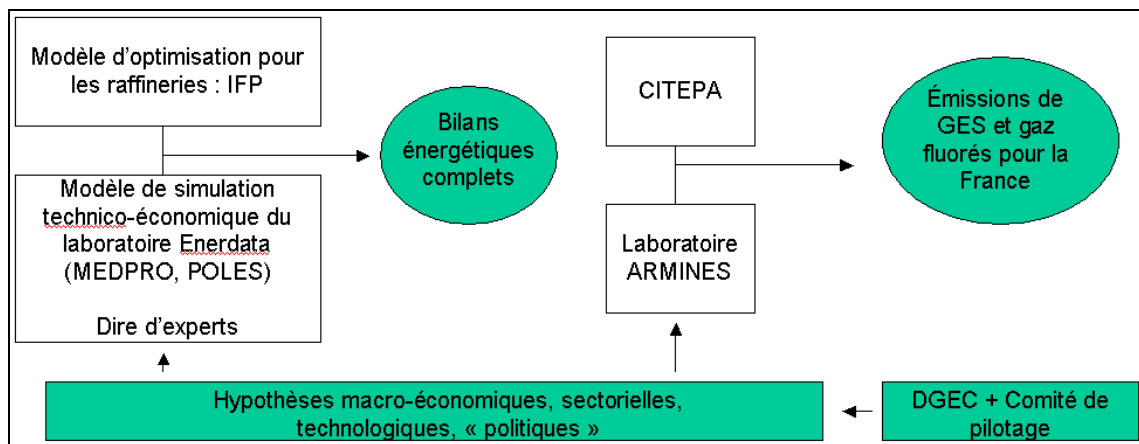
Objectifs et organisation

Les résultats issus de cet exercice de modélisation sont utilisés à la fois dans le cadre du Rapport sur les Mécanismes de Surveillance (RMS) et du Plan National sur l'Efficacité Energétique (PNAEE) que la France a transmis à la Commission en mai et juin 2011 ; et pour l'actualisation du Plan Climat de la France en 2011.

Suite à la mise en place d'un marché public, le MEDDTL a fait appel à un consortium de bureaux d'études afin d'assurer des projections de référence cohérentes sur le plan méthodologique entre les approches énergétiques, climatique, et de la qualité de l'air et afin d'obtenir une meilleure cohérence des hypothèses, des méthodes de modélisation et des résultats :

- le bureau d'étude Enerdata a assuré la mise en œuvre de la modélisation des scénarios énergétiques
- le Réseau de Transport d'Electricité (RTE) a participé aux discussions sur la modélisation du secteur électrique
- l'Institut Français du Pétrole Energies Nouvelles (IFP Energies Nouvelles) a traité de la modélisation de l'approvisionnement pétrolier
- le CITEPA (Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique), qui réalise également les inventaires d'émissions gaz à effet de serre et polluants de la France, a assuré la modélisation des émissions de gaz à effet de serre et des polluants atmosphériques, de manière conforme à la méthodologie d'inventaire national
- le Centre d'Etudes Prospectives Paris ARMINES, qui réalise les inventaires des fluides frigorigènes et de leurs émissions dans les équipements frigorifiques et de climatisation au niveau mondial, a traité de la modélisation des émissions fluides frigorigènes
- le bureau d'étude Énergies Demain a enfin apporté ses compétences en matière de modélisation bottom-up et sa connaissance fine du fonctionnement du modèle SceGES pour élaborer les rapprochements méthodologiques entre les différentes modélisations utilisées.

² Le point 2030 du scénario Grenelle (AMS objectifs) est obtenu par interpolation linéaire entre le point 2020 du scénario Grenelle (AMS objectifs) et l'objectif de 140Mt d'émissions GES en 2050.



Il convient par ailleurs de souligner que cet exercice a fait l'objet d'une large consultation à la fois des services des ministères concernés, des industriels, des organisations non gouvernementales et des syndicats. Ainsi, tout au long de l'exercice, des comités de pilotage sectoriels de calage des hypothèses et de présentation des résultats ont été organisés en partenariat avec les experts concernés.

Le comité de pilotage, qui a été associé à l'ensemble des travaux considérés, était présidé par Pierre-Franck Chevet, Directeur Général de l'Energie et du Climat, et constitué, outre les services de la DGEC, des personnalités suivantes :

Karine Brule, MAAPRAT
 Murielle Trouillet, MAAPRAT
 Vincent Szepler, MAAPRAT
 Timothee Olivier, DG Trésor, MINEFI
 Jean-François Gruson, IFP
 Dominique Auverlot, CAS
 Etienne Beeker, CAS
 Jean-Marc Roudergues, RTE
 Bernard Nanot, CGDD, MEDDTL
 Jean-Jacques Becker, CGDD, MEDDTL
 Olivier Teissier, CGDD, MEDDTL
 Linda Aliane, DHUP, MEDDTL
 Pierre Franc, DGITM, MEDDTL
 Gilles Croquette, DGITM, MEDDTL
 Vincent Ferstler, DEB, MEDDTL
 Laurent Meunier, Ademe
 Eric Vidalenc, Ademe

Hypothèses macro-économiques

Les deux scénarios Pré-Grenelle et Grenelle (AMS Objectifs) intègrent les effets conjoncturels de la crise économique et des mesures de relance associées. Ils se fondent sur le même cadrage macro-économique (mêmes hypothèses de croissance économique, mêmes prix des énergies).

Le cadrage macro-économique a été réalisé en grande partie sur la base d'une étude du BIPE³ réalisée en 2010 pour le MEDDTL, en concertation avec les acteurs publics et industriels français. Les hypothèses de calcul de ces différents scénarios sont résumées ci-dessous.

Taux de croissance du PIB (hypothèse COR-DGTPE, juin 2010): 1,5% sur la période 2010-2015, puis 2,2% sur la période 2015-2020 et enfin 1,6% sur la période 2020-2030

Croissance démographique (hypothèse INSEE 2006): 65,9 millions d'habitants en 2020 et 68,9 millions en 2030

Nombre de personnes par ménage (hypothèse INSEE 2006): 2,27 en 2020 et 2,2 en 2030

Le scénario de croissances sectorielles s'appuie sur les résultats de l'étude macroéconomique du BIPE et est cohérent avec l'hypothèse du PIB retenue.

Croissances macro-sectorielles et consommation privée des ménages (en part du PIB national)

	1990	2005	2010	2020	2030
Agriculture	2,7%	2,3%	2,0%	1,5%	1,2%
Construction et mines	6,7%	6,2%	6,2%	5,7%	5,3%
Industrie	15,5%	14,1%	13,6%	13,1%	12,7%
Tertiaire	75,1%	77,4%	78,2%	79,7%	80,9%
Cons. Privée ménages	56,0%	56,9%	57,6%	56,0%	54,5%

Prix des énergies, \$2008 (Agence Internationale de l'Energie, World Energy Outlook 2009):

- Pétrole: 100\$/bl en 2020 et 115\$/bl en 2030
- Gaz: 12,1\$/Mbtu en 2020 et 14\$/Mbtu en 2030
- Charbon: 104,2\$/t en 2020 et 109,4\$/t en 2030

Prix du quota CO2 Europe (hypothèse de la Commission Européenne): 18€/t CO2 en 2020 et 20€/t CO2 en 2030 pour le scénario Pré-Grenelle contre 25€/t CO2 en 2020 et 39€/t CO2 en 2030 pour le scénario Grenelle

Taux de change dollar/euro (hypothèse COPIL, Commission Européenne): 1,25\$/€ en moyenne sur la période 2009-2030

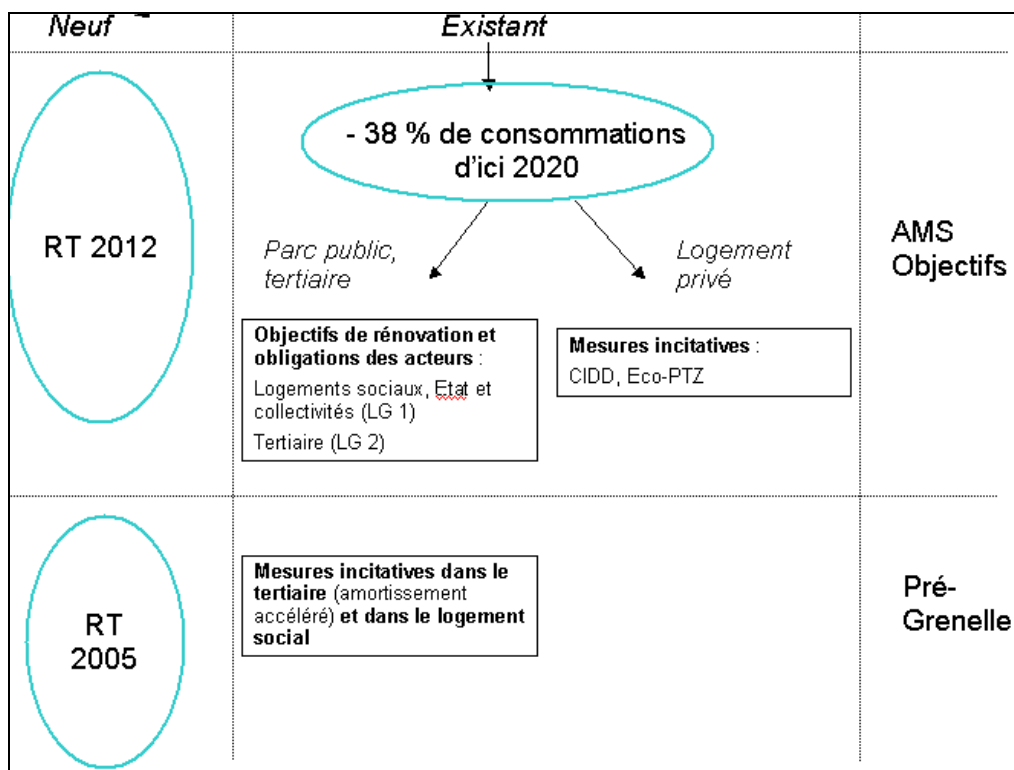
³ Projection macro-économique et sectorielle à l'horizon 2030 pour la France, Rapport remis le 31 mars 2010, BIPE.

Hypothèses sectorielles sur la demande d'énergie

Les hypothèses de demande résultent de contacts entre les prestataires Enerdata et Energies Demain et des instances ou experts reconnus, avant validation par le comité de pilotage. Le détail des hypothèses figure dans le rapport de l'étude confiée à Enerdata.

Bâtiment résidentiel et tertiaire

Figure : Bâtiment : tableau de correspondance entre mesures et scénarios



Les hypothèses pour le bâtiment peuvent être classées en deux catégories, les mesures sur le neuf et celles sur l'existant.

De manière générale, dans le cadre du scénario Grenelle (AMS Objectifs) et en l'absence de retour d'expérience contraire, il a été considéré que l'ensemble des mesures introduisant une obligation de résultat pour les acteurs concernés atteindrait pleinement leur objectif. Cette règle concerne en particulier :

- la mise en oeuvre des réglementations thermiques ou les obligations de rénovation introduites par la loi Grenelle 1 : les mesures complémentaires mises en oeuvre dans le cadre des lois Grenelle (attestation de conformité en fin de travaux, etc.) viennent conforter cette hypothèse.
- les obligations de rénovations imposées aux bâtiments de l'Etat ainsi qu'aux bâtiments tertiaires (loi Grenelle 2). Pour les premiers, l'objectif de la loi a été repris. Pour les seconds, la loi ne précisant pas d'objectif, et les décrets d'application étant encore en phase d'élaboration, il a été considéré que cette obligation permettrait d'atteindre une réduction de 38 % des consommations d'ici 2020 (soit l'objectif moyen de réduction inscrit dans la loi Grenelle 1 pour l'ensemble du parc existant).

Enfin, toujours dans le cadre du scénario Grenelle (AMS Objectifs) il est considéré que les dispositifs incitatifs Crédit d'impôt Développement Durable (CIDD) et Eco-Prêt à Taux Zéro (Eco-PTZ) seront prolongées à l'horizon 2020 afin d'atteindre l'objectif fixé par la loi Grenelle 1 de réduction de 38 % des consommations du parc existant.

Logements neufs : 400 000 résidences principales construites par an.

Part de logements individuels dans ces constructions : 58%.

Besoins unitaires de chauffage : pour le scénario Pré-Grenelle, ils s'accroissent pour le parc construit avant 1975, sont stables pour le parc de la période 1975-1990 et diminuent progressivement pour le parc postérieur à 1990. Pour le scénario Grenelle, ils baissent de 47% pour les logements construits avant 1975, et de 38% pour ceux construits après 1975.

Industrie (hors raffinage)

Les hypothèses retenues pour l'industrie l'ont été sur la base d'une concertation avec la Direction Générale de la Compétitivité, de l'Industrie et des Services (DGCIS) du ministère de l'Économie, de l'Industrie et de l'Emploi. De plus, une consultation spécifique des secteurs des Industries Grandes Consommatrices d'Énergie (IGCE) a permis de fournir les projections fines de production intégrées dans la modélisation, compte-tenu des contraintes de prix du carbone retenues. Sur les autres secteurs industriels, la modélisation s'est appuyée sur une adaptation des projections sectorielles du BIPE.

Tableau de correspondance entre mesures et scénarios dans l'industrie

<p>ETS: PNAQ I et II + Phase III Signal Prix CO2: 25 €/t en 2020 ; 39 €/t en 2030</p>	AMS Objectifs
<p>ETS: PNAQ I et II Signal Prix CO2: 18 €/t en 2020 ; 20 €/t en 2030</p>	Pré- Grenelle

Tableau: Productions physiques des IGCE à l'horizon 2030 (Mt)

	1990	2005	2010	2020	2030
Acier brut	19	19.5	15.0	20.5	21.0
dont HF/02	13.6	12.2	9.6	13.0	13.0
dont elec	5.4	7.3	5.4	7.5	8.0
ethylene	2.3	2.9	2.9	2.9	2.9
chlore	1.3	1.5	1	1	1
ammoniac	1.6	1.2	1.2	1.2	1.2
clinker	20.9	17.3	14.6	14.8	16.5
papier	7.0	10.3	9	11	13.4

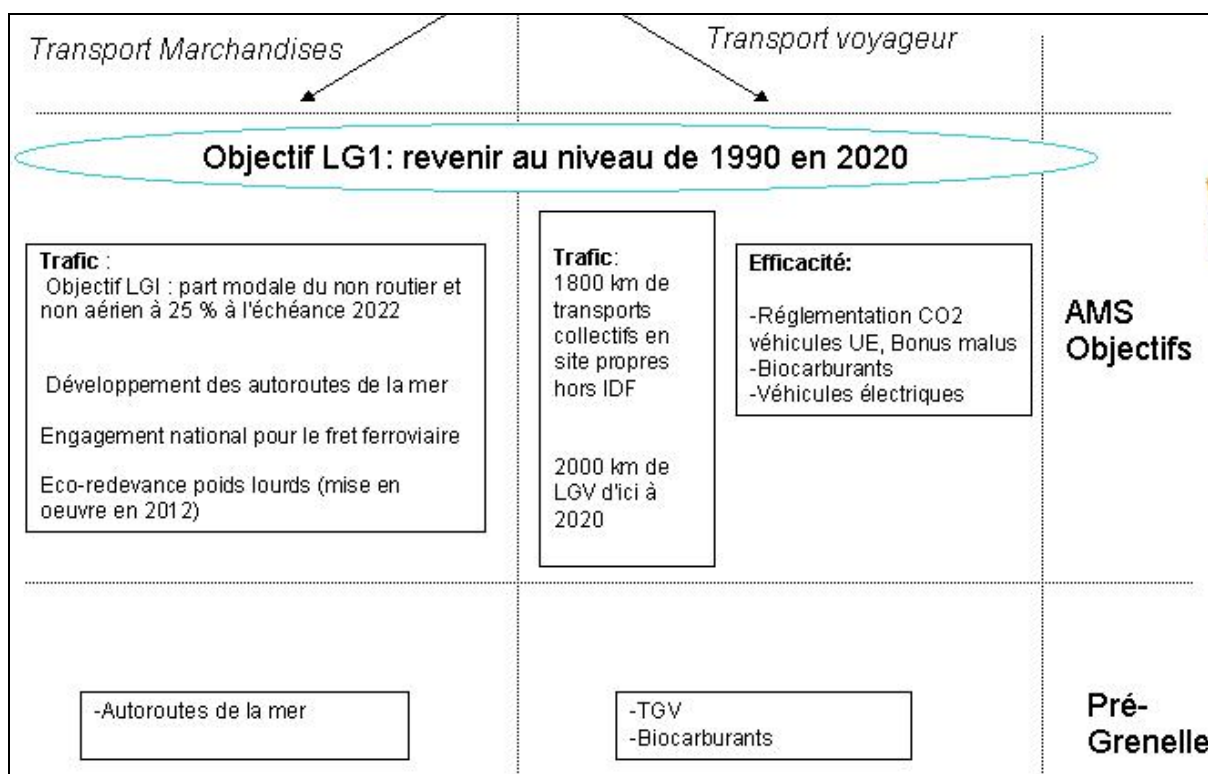
pâtes à papier	2.2	2.6	2.5	2.5	2.5
verre	4.9	5.5	4.5	6.0	6.4
aluminium	0.6	0.7	0.82	0.885	0.935
dont 1ère fusion			0.35	0.385	0.385
sucre	4.7	4.4	4.2	4.2	4.2

Tableau : Consommation unitaire d'énergie (indice, base 1 = 1990)

	1990	2005	2010	2020	2030
Acier	1,00	0,86	0,98	0,92	0,87
Acier brut (proc. HF/O2)	1,00	0,92	0,97	0,87	0,79
Acier brut (proc. ele)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ethylène	1,00	0,76	0,76	0,76	0,76
Chlore	1,00	0,97	0,96	0,90	0,85
Ammoniaque	1,00	0,80	0,77	0,75	0,75
Clinker	1,00	0,90	0,90	0,89	0,88
Papier-pâtes	1,00	1,00	0,75	0,75	0,75
Verre	1,00	0,90	0,83	0,86	0,86
Aluminium	1,00	1,10	1,10	1,10	1,10
Sucre	1,00	0,95	0,95	0,95	0,95

Transports

Figure : Transports : tableau de correspondance entre mesures et scénarios



Incorporation des biocarburants : taux de 7% en 2010, 10% en 2020 et 10% en 2030 pour le scénario Pré-Grenelle (loi POPE). Le scénario Grenelle (AMS Objectifs) intègre, parallèlement à la loi POPE, la directive ENR (10% d'ENR en 2020 dans les transports, objectif de 7 % de

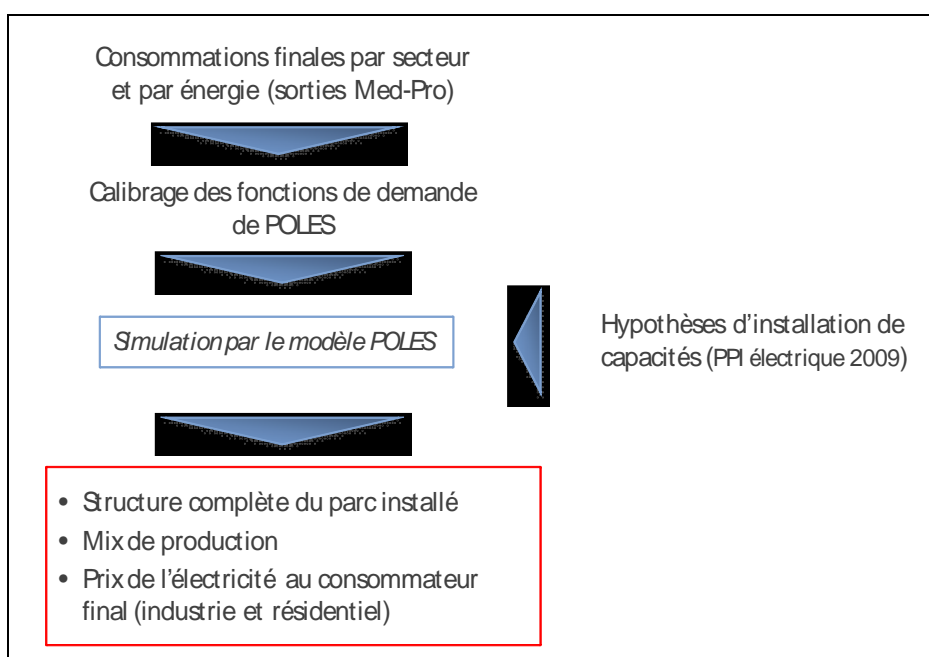
biocarburants) et le plan ENR (incorporation des biocarburants de première génération de 7% en 2020, et de seconde génération de 1 à 3% en 2020).

Hypothèses et modélisation de la branche électricité

Principes de la modélisation

Le modèle MedPro reconstitue la demande énergétique finale basée sur une représentation détaillée de la consommation énergétique par secteur, par usage et par énergie. Il intègre en particulier l'effet des mesures de maîtrise de la demande énergétique (directive eco-conception, certificats d'économie d'énergie, information/sensibilisation des consommateurs, etc.). Le modèle POLES réalise par ailleurs le bouclage entre la demande d'énergie et l'offre, en particulier sur le secteur électrique.

Figure 3 : Démarche de modélisation du secteur électrique avec les modèles MedPro et POLES.



Le modèle POLES a été calibré de manière à satisfaire les objectifs des programmations pluriannuelle des investissements (PPI) électricité, gaz et chaleur publiées en 2009 dans le cadre du scénario Grenelle (AMS Objectifs) et de la PPI publiée en 2006 dans le cadre du scénario Pré-Grenelle. Le scénario Grenelle est également basé sur le Plan National d'Action ENR (PNA ENR), il prend notamment en compte la construction des EPR de Penly et Flamanville d'ici 2020.

Figure 9 : tableau de correspondance entre mesures et scénarios pour l'énergie

Nucléaire	Efficacité énergétique	Développement des ENR	
Construction de deux EPR à horizon 2020	CEE prolongé pour une durée de 3 ans Directive éco-conception (nouveaux règlements)	23% d'ENR en 2020 Objectifs du Comop Grenelle, PPI 2009	AMS Objectifs
Puissance: 65 GW en 2020 et 2030	CEE	PPI 2006 AO Tarifs d'achat	Pré-Grenelle

Hypothèses de capacité

Concernant les capacités électriques, les hypothèses suivantes ont ainsi été retenues⁴:

- **Nucléaire** : le réacteur EPR de Flamanville (+1,6 GW) a été pris en compte à horizon 2020 pour le scénario Pré-Grenelle, auxquels s'ajoutent l'EPR de Penly pour le scénario Grenelle;
- **Hydraulique** : comme indiqué dans la PPI électricité 2009, il est supposé une augmentation de 3GW de la capacité d'ici 2020, suivie d'une stabilisation ;
- **Renouvelables** (éolien, photovoltaïque, biomasse) : à horizon 2020, les objectifs inscrits dans la PPI électricité 2009 ont été repris. Pour 2030, en l'absence d'autres données, les taux de croissance fournis par projections du Réseau de Transport de l'Electricité (RTE) ont été utilisés afin d'établir le parc de capacités renouvelables ;
- Les capacités thermiques à horizon 2030 et les capacités fioul à horizon 2020 sont établies par le modèle POLES afin de répondre à la demande. Les chiffres charbon, CCG, cogénération gaz naturel à 2030 n'ont pu être choisis plus basses que les chiffres 2020 car elles donnaient alors lieu à des heures de fonctionnement non pertinentes.

Concernant le principe utilisé pour la modélisation de l'appel en puissance : une courbe de charge a été estimée au sein de laquelle sont ensuite placées les technologies dites « must-run » . Le reste de la puissance à fournir est alors réparti en fonction des coûts des technologies disponibles de l'ordre du mérite et ceci pour chaque bloc de temps.

⁴ Les hypothèses retenues ont été validées et complétées le cas échéant par la Direction de l'Energie du MEDDTL à horizon 2020, et étendues à l'horizon 2030.

Tableau 1 : Hypothèses de capacités installées

	2008 (PPI)	2020	2030
Nucléaire	63,1	66,3	66,3
charbon	6,9	3,3	3,3
CCG	1	5,4	5,4
cogénération gaz naturel	4,8	2,2	2,2
fioul	5,2	Modèle	0
TAC	1,8	1,8	1,8
Hydro	25,3	28,3	28,3
Eolien		25	30
PV		5,4	10
Biomasse		3,3	3,3

Source : DGEC

Conformément à la PPI électricité 2009, il a ainsi été supposé qu'aucun dispositif de Captage et de Stockage du Carbone (CSC) ne serait mis en œuvre avant 2020. De manière générale, la pénétration des dispositifs CSC est modélisée par la simulation d'une compétition classique entre les différentes technologies de production, en prenant en compte les variables de coûts et la diminution d'efficacité des centrales équipées de tels dispositifs. Entre 2020 et 2030, il a été fait l'hypothèse que la taille des projets développés restait minime (ne dépassant pas la taille du prototype), et que le coût de la tonne de carbone (20€ pour le scénario Pré-Grenelle et 39€ pour le scénario Grenelle à l'horizon 2030) n'était pas suffisamment élevé pour justifier de la compétitivité et donc de la présence des dispositifs CSC à ces horizons de temps.

Hypothèses d'exportation

Le modèle POLES, lorsqu'il fonctionne sans contraintes exogènes, détermine les taux d'utilisation optimum des centrales, notamment nucléaires. Mais dans le cadre de cette modélisation, où la capacité est fixée ex ante, la durée annuelle d'utilisation des centrales, déterminée par la demande d'électricité en base et en pointe, et la capacité installée, est de facto une sortie du modèle.

Néanmoins, un ajustement des volumes d'exportations nettes d'électricité a été réalisé pour chaque scénario de manière à conserver un équilibre optimal pour le fonctionnement du parc électrique dans chacun des scénarios. L'expertise du Réseau de Transport de l'Electricité (RTE) a été sollicitée sur le secteur électrique pour valider les hypothèses, notamment en matière de :

- capacités d'exportation d'électricité et de niveaux de demande européenne ;
- réalisme de la gestion du réseau électrique en réponse à la nature de la demande (base/semi-base/pointe) induite par les scénarios de consommations, et ce compte-tenu des types de capacités de production installées.

Les hypothèses d'exportations retenues sont de 45 TWh en 2020 et en 2030 pour le scénario Pré-Grenelle et 100 TWh en 2020 et en 2030 pour le scénario Grenelle (AMS Objectifs).

Point de vigilance : Un scénario Grenelle (AMS Objectifs) en France correspondra selon toute vraisemblance à une situation dans laquelle l'ensemble des pays voisins de la France auront également réduit leur consommation énergétique. Le niveau d'exportation pris en compte dans le cadre du scénario Grenelle (AMS objectifs) est cohérent avec les capacités d'exportations de la France. Néanmoins, la réalité de la demande pour ces exportations nécessite une expertise approfondie.

Disponibilité du nucléaire

Concernant la disponibilité du nucléaire, l'hypothèse de base utilisée dans le modèle a été validée par les experts consultés, soit une disponibilité comprise entre 80 et 83%⁵.

Prix de l'électricité

Trois scénarios contrastés de prix de l'électricité ont été retenus. Deux variantes « encadrantes » ont été déclinées : un scénario bas dans lequel les prix suivent l'inflation ainsi qu'un scénario haut dans lequel les prix français rattrapent les prix européens à horizon 2030. Le scénario référence s'inscrit quant à lui entre ces deux scénarios extrêmes.

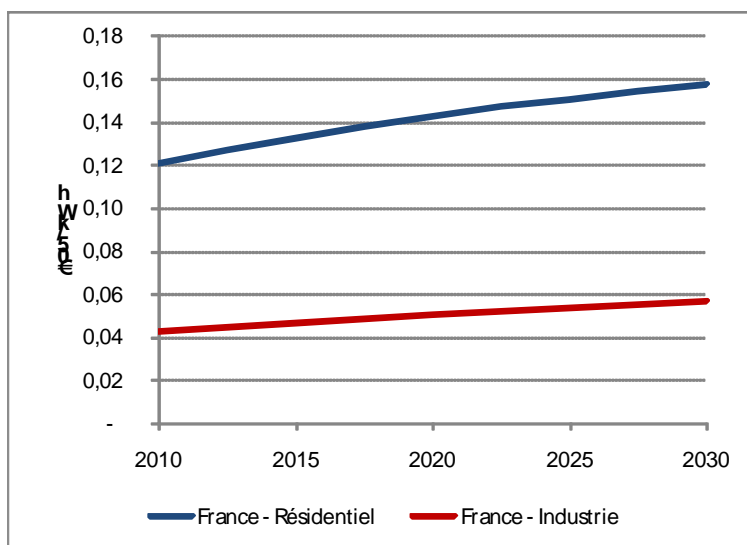
Les prix de l'électricité ont été établis par le modèle POLES, tout en intégrant les éléments suivants :

- investissements pour l'entretien du réseau,
- investissements dans les Cycles Combinés à Gaz (CCG),
- investissements pour la prolongation de la durée de vie des centrales nucléaires,
- maintien de la compétitivité face à l'UE.

Le prix au consommateur final obtenu dans les projections est un prix intermédiaire entre une convergence avec le prix moyen européen et un prix suivant l'inflation.

Figure 1 : Prix de l'électricité au consommateur final

⁵ De 1999 à 2006, le coefficient de disponibilité s'est amélioré de manière constante passant de 79,3% à 83,6%. Toutefois, en 2007, le Kd a chuté de 3,4 points pour atteindre 80,2%. Cette baisse s'explique par l'allongement des arrêts pour maintenance des tranches nucléaires du à des incidents techniques (2.2 points de baisse dus à une avarie générique ; 1 point de baisse du à des aléas rencontrés lors d'opérations de maintenance sur des alternateurs de génération d'électricité). Pour l'année 2008, le Kd attendu par l'exploitant nucléaire est très proche du coefficient de disponibilité de l'année 2007. A l'horizon 2011, l'objectif de l'exploitant est d'atteindre un coefficient de disponibilité de 85%.



Approvisionnement pétrolier

Pour le secteur du raffinage de pétrole, l'IFP Énergies Nouvelles a modélisé le bouclage entre les niveaux de demande de produits pétroliers issus des scénarios établis par Enerdata et la production du secteur. Ce travail a permis d'évaluer en particulier les consommations d'énergie et les émissions de CO₂ du raffinage français. Plusieurs options de comportement des acteurs du raffinage français ont été simulées (baisse des capacités, investissements, situation stable...).

Afin d'obtenir les demandes totales de produits pétroliers en 2020 et 2030, l'IFP Energies Nouvelles a complété les hypothèses non couvertes par la modélisation d'Enerdata, en faisant l'hypothèse d'une croissance de 2% par an de la demande de carburéacteur utilisé hors des frontières et produite par les raffineries françaises et en considérant que la demande de bitume reste à son niveau de 2005.

Les simulations effectuées se basent sur l'agrégation des raffineries françaises en une unique raffinerie dont les capacités correspondent à la somme des capacités françaises pour chacune des unités.

Le niveau de production dépend directement de la quantité de pétrole brut et des autres charges traitées par le raffinage.

L'exercice montre que la tendance à la baisse de la demande de produits pétroliers poserait des problèmes de sous-utilisation de certaines unités de raffinage. Ce phénomène accentue le risque de fermeture de raffinerie(s), potentiellement amenées en dessous de leur seuil de rentabilité économique⁶.

Par ailleurs, les scénarii de demande ne permettent pas de réduire le déséquilibre structurel de la balance entre produits légers (dont l'essence) et distillats moyens (diesel, fioul domestique). En l'absence de modification de la structure de la demande, une adaptation de l'outil de production par des investissements serait nécessaire pour réduire ce déséquilibre.

Evolution de la consommation finale d'énergie

⁶ Par exemple, au sein des raffineries, la baisse de la demande d'essence au profit du naphta, entraînerait un arrêt d'environ 40 à 50% des unités nécessaires à la production d'essence (reformeur, alkylation, isomérisation).

On se reportera au rapport d'Enerdata pour les évolutions fines par secteur et par usage des consommations d'énergie.

A l'horizon 2030, le scénario Pré-Grenelle correspond à une augmentation de la demande de 18 % en 2030 par rapport au niveau de 1990 alors que le scénario Grenelle (AMS Objectif) permet une réduction de 3% entre 1990 et 2030.

Tableau 2 : Consommation finale d'énergie, énergétique et non énergétique, par forme d'énergie et par secteur, dans le scénario Pré-Grenelle, en Mtep

<i>Mtep</i>	1990	2000	2005	2009	2020	2030
Charbon	10	7	7	5	5	5
Pétrole	81	88,3	86	79	68	65
Gaz	25	37	37	35	45	47
Electricité	26	31	36	37	46	50
ENR th	11	11	10	14	14	14
Total énergie finale	153	174	176	170	178	181

<i>Mtep</i>	1990	2000	2005	2009	2020	2030
Agriculture	4	4	4	4	3	3
Industrie	38	40	38	34	39	38
Résidentiel et tertiaire	58	64	69	69	75	77
Transports	41	49	50	50	46	47
Total énergétique	141	157	161	157	163	166
Non énergétique	12	17	15	13	15	15
Total énergie finale	153	174	176	170	178	181

Tableau 3 : Consommation finale d'énergie, énergétique et non énergétique, par forme d'énergie et par secteur, dans le scénario Grenelle, en Mtep

<i>Mtep</i>	1990	2000	2005	2009	2020	2030
Charbon	10	7	7	5	5	5
Pétrole	81	88,3	86	79	60	58
Gaz	25	37	37	35	31	30
Electricité	26	31	36	37	38	40
ENR th	11	11	10	14	16	16
Total énergie finale	153	174	176	170	150	149

<i>Mtep</i>	1990	2000	2005	2009	2020	2030
Agriculture	4	4	4	4	3	3
Industrie	38	40	38	34	39	38

Résidentiel et tertiaire	58	64	69	69	51	52
Transports	41	49	50	50	42	41
Total énergétique	141	157	161	157	135	134
Non énergétique	12	17	15	13	15	15
Total énergie finale	153	174	176	170	150	149

Figure : Consommation finale d'énergie, énergétique et non énergétique, par forme d'énergie, dans le scénario Pré-Grenelle (à gauche) et dans le scénario Grenelle (à droite), en Mtep

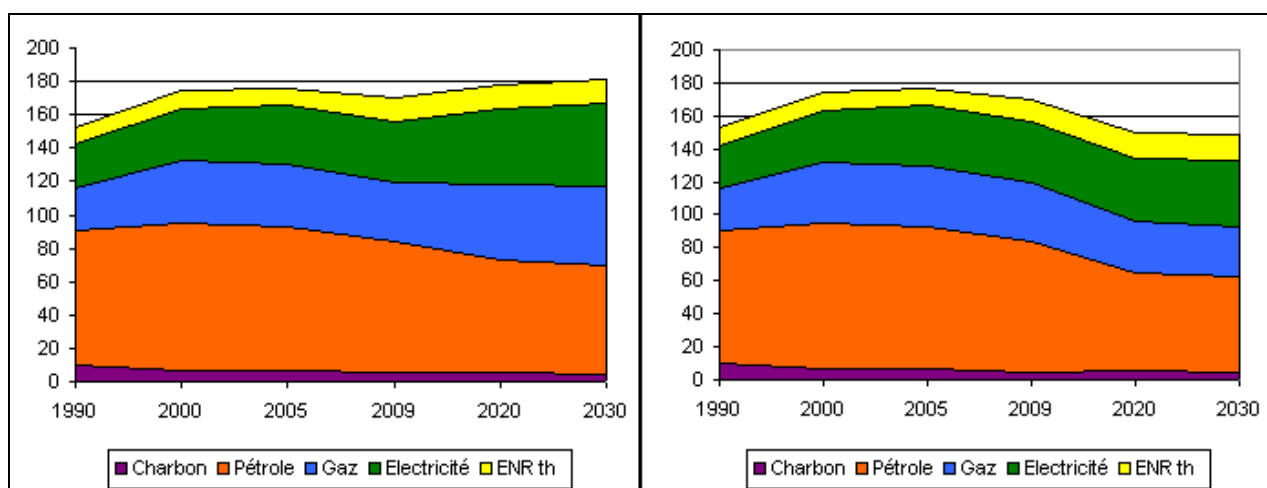
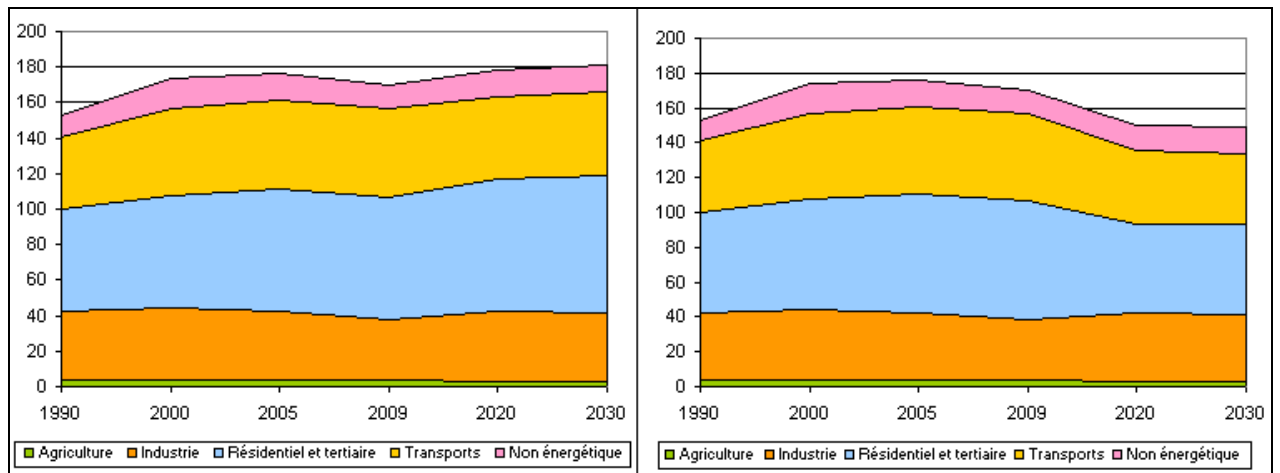
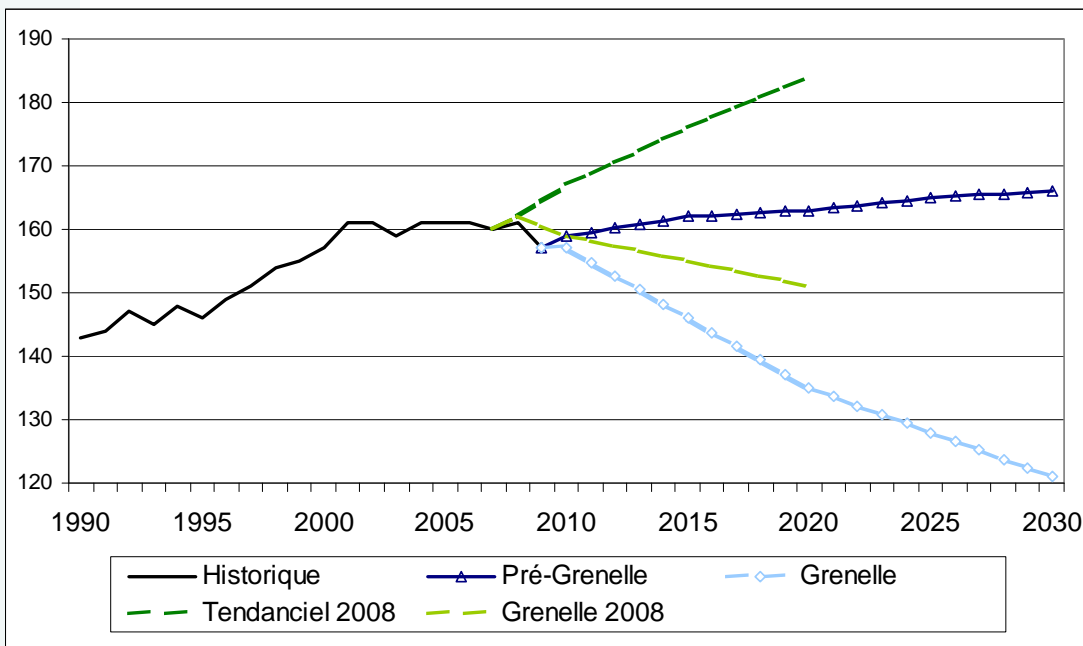


Figure : Consommation finale d'énergie, énergétique et non énergétique, par secteur, dans le scénario Pré-Grenelle (à gauche) et dans le scénario Grenelle (à droite), en Mtep



Comparaison des résultats des scénarios 2010 et 2008

Figure : projections de la consommation finale d'énergie obtenues pour les exercices de prospective réalisés en 2008 et en 2010, en Mtep



Variation en 2020/ à 1990	%
Pré Grenelle	+14%
Grenelle	-6%
Tendancier 2008	+29%
Grenelle 2008	+5%

Consommations d'énergie finale de la France métropolitaine (Mtep)

NB : les scénarios Tendanciel 2008 et Grenelle 2008 correspondent aux scénarios résultant du précédent exercice national de prospective

- le scénario Pré-Grenelle prévoit une consommation d'énergie en 2020 inférieure à celle du scénario Tendanciel 2008 avec 163 Mtep contre 184 Mtep pour l'exercice de 2008, soit une baisse de 21 Mtep. Cette baisse a lieu essentiellement dans les secteurs du transport (-11 Mtep) et du résidentiel tertiaire (-6 Mtep).
- de même le scénario Grenelle (AMS Objectif) prévoit une consommation d'énergie en 2020 inférieure à celle du scénario Grenelle 2008 avec 135 Mtep contre 151 Mtep pour l'exercice de 2008, cette baisse a lieu essentiellement dans les secteurs du transport (-12 Mtep) et de l'industrie (-3 Mtep).

La baisse des projections de consommation dans les scénarios de l'exercice actuel par rapport à l'exercice précédent s'explique essentiellement d'une part par la hausse des projections des prix de l'énergie (hausse de 40% de la projection de prix du pétrole retenu à 2020), et d'autre part par la prise en compte de l'effet crise sur la croissance économique

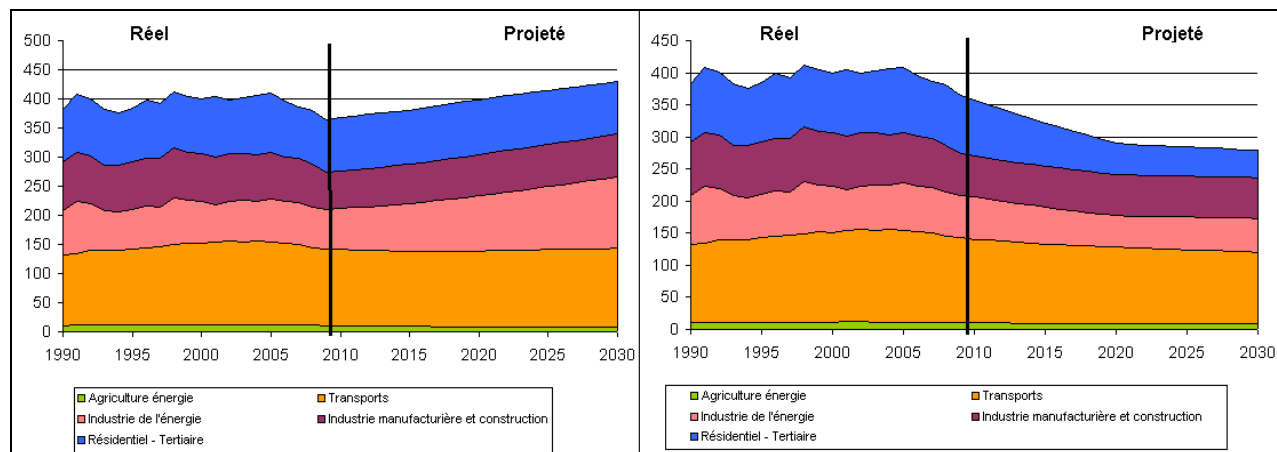
Emissions de gaz à effet de serre de l'énergie

Les projections d'émissions de gaz à effet de serre (hors UTCF) montrent que la mise en oeuvre du Grenelle devrait permettre de ramener les émissions de gaz à effet de serre de la France (périmètre métropole+DOM+COM) à 435 MteqCO₂ en 2020, soit une réduction de 23,1 % par rapport à 1990 (565 MteqCO₂) et une réduction de 23,1 % par rapport à 2005. En 2030, la mise en oeuvre du Grenelle devrait permettre de ramener les émissions de la France à 385 MteqCO₂, soit une réduction de 31,9 % par rapport à 1990 (565 MteqCO₂) et une réduction de 31,9 % par rapport à 2005.

Plus particulièrement, les projections d'émissions de gaz à effet de serre de l'énergie montrent que la mise en oeuvre du Grenelle devrait permettre de ramener ces dernières à un niveau de 290 MteqCO₂ en 2020, soit une réduction de 29 % par rapport à 2005 (409 MteqCO₂) et une réduction de 24 % par rapport à 1990 (382 MteqCO₂).

En 2030, la mise en oeuvre du Grenelle devrait permettre de ramener les émissions de la France à 279 MteqCO₂, soit une réduction de 32 % par rapport à 2005 et une réduction de 27% par rapport à 1990.

Figure : Evolution des émissions de gaz à effet de serre de l'énergie, dans le scénario Pré-Grenelle (à gauche) et dans le scénario Grenelle (à droite), en Mteq CO₂



Annexe

Scénario Pré-Grenelle en 2020

Scénario PG en 2020 (éd. 2010)									
Mtep 2020	COMB. SOLIDES	PÉTROLE		GAZ		ÉLECTRICITÉ		ENRt	TOTAL
		brut	raffiné	Nat.	Ind.	Produité	Cons.	et déchets	
APPROVISIONNEMENT									
Production (*)	0,1					128,1		16,1	144,3
Importation	13,4	76,6	5,6	55,5					151,1
Exportation			-4,6			-3,9			-8,5
Soutes maritimes internationales			-3,1						-3,1
Disponibilités	13,5	76,6	-2,0	55,5		124,2		16,1	283,8
(*) Production d'électricité nucléaire : 120,2 Mtep, électricité hydraulique, photovoltaïque et éolienne : 7,9 M									
EMPLOIS									
Consommation de la branche énergie									
Raffineries		76,6	-71,0			-0,1	0,3		5,8
Centrales élec	7,9		0,6	11,7	0,8	-4,0		2,3	19,3
Pertes, ajust., usages internes		0,0	0,0	0,0	0,0	-3,4	85,8	0,0	82,4
Total (a)	7,9	76,6	-70,4	11,7	0,8	-7,5	86,1	2,3	107,5
Consommation finale énergétique									
Industrie	5,1		5,8	12,8	-0,8		12,5	1,8	37,3
Tertiaire	0,1		1,9	9,1			14,0	1,8	26,9
Résidentiel	0,1		5,1	19,8			17,0	6,0	48,0
Agriculture	0,0		2,2	0,5			0,6	0,0	3,3
Transports			40,2				1,5	4,0	45,7
Total (b)	5,3		55,2	42,2	-0,8		45,6	13,8	161,3
Consommation finale non énergétique									
Total (c)	0,2		13,2	1,6	0,0		0,0	0,0	15,0
ENRt : énergies renouvelables thermiques (bois, déchets de bois, solaire thermique, pompes à chaleur)									
Source: Direction générale de l'énergie et du climat (mars 2011)									
Notes :									
- La colonne "ENRt et déchets" est affectée par une imprécision méthodologique, liée au principe même de la modélisation utilisée, qui ne permet pas de faire la distinction entre les énergies considérées et un solde d'équilibre du bilan énergétique, dont il est cependant espéré qu'il soit le plus faible possible;									
- La production nationale de pétrole brut et de gaz naturel a été prise égale à zéro pour simplifier la modélisation									

Scénario Pré-Grenelle en 2030

Scénario PG en 2030 (éd. 2010)									
Mtep 2030	COMB. SOLIDES	PÉTROLE		GAZ		ÉLECTRICITÉ		ENRt et déchets	TOTAL
		brut	raffiné	Nat.	Ind.	Produite	Cons.		
APPROVISIONNEMENT									
Production (*)	0,1					133,6		16,0	149,7
Importation	17,6	73,9	3,7	63,6					158,7
Exportation			-5,9			-3,9			-9,8
Soutes maritimes internationales			0,0						0,0
Disponibilités	17,7	73,9	-2,2	63,6		129,7		16,0	298,5
(*) Production d'électricité nucléaire : 123,7 Mtep, électricité hydraulique, photovoltaïque et éolienne : 9,9 Mtep									
EMPLOIS									
Consommation de la branche énergie									
Raffineries		73,9	-68,2			-0,1	0,3		5,9
Centrales élec	12,5		0,6	17,6	0,8	-6,2		2,2	27,5
Pertes, ajust., usages internes	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-3,9	89,2	0,0	85,3
Total (a)	12,5	73,9	-67,6	17,6	0,8	-10,2	89,5	2,2	118,7
Consommation finale énergétique									
Industrie	4,8		5,4	12,5	-0,8		13,0	1,7	36,7
Tertiaire	0,0		0,8	9,0			15,1	2,0	27,0
Résidentiel	0,1		2,3	22,3			19,6	5,9	50,1
Agriculture	0,0		2,2	0,5			0,6	0,0	3,3
Transports			41,2				2,0	4,1	47,4
Total (b)	4,9		51,9	44,3	-0,8		50,4	13,8	164,5
Consommation finale non énergétique									
Total (c)	0,2		13,4	1,6	0,0		0,0	0,0	15,3
ENRt : énergies renouvelables thermiques (bois, déchets de bois, solaire thermique, pompes à chaleur Source: Direction générale de l'énergie et du climat (mars 2011)									
- La colonne "ENRt et déchets" est affectée par une imprécision méthodologique, liée au principe même de la modélisation utilisée, qui ne permet pas de faire la distinction entre les énergies considérées et un solde d'équilibre du bilan énergétique, dont il est cependant espéré qu'il soit le plus faible possible; - La production nationale de pétrole brut et de gaz naturel a été prise égale à zéro pour simplifier la modélisation									

Scénario Grenelle en 2020

Scénario Grenelle en 2020 (éd. 2010)									
Mtep 2020	COMB. SOLIDES	PÉTROLE		GAZ		ÉLECTRICITÉ		ENRt et déchets	TOTAL
		brut	raffiné	Nat.	Ind.	Produite	Cons.		
APPROVISIONNEMENT									
Production (*)	0,1					124,5		17,7	142,3
Importation	6,3	69,5	3,8	32,0					111,5
Exportation			-3,3			-8,6			-11,9
Soutes maritimes internationales			-2,0						-2,0
Disponibilités	6,4	69,5	-1,5	32,0		115,9		17,7	239,9
(*) Production d'électricité nucléaire : 114,4 Mtep, électricité hydraulique, photovoltaïque et éolienne : 10,1 Mte									
EMPLOIS									
Consommation de la branche énergie									
Raffineries		69,5	-64,3			-0,1			5,1
Centrales élec	0,9		0,0	2,0	0,8	-3,7		1,6	1,6
Pertes, ajust., usages internes	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-2,7	87,1	0,0	84,4
Total (a)	0,9	69,5	-64,3	2,0	0,8	-6,5	87,1	1,6	91,1
Consommation finale énergétique									
Industrie	5,1		5,8	12,7	-0,8		12,5	1,8	37,3
Tertiaire	0,0		1,7	6,3			8,7	2,4	19,1
Résidentiel	0,0		2,8	8,8			11,3	8,8	31,7
Agriculture	0,0		2,2	0,5			0,6	0,0	3,3
Transports			37,1				2,2	3,1	42,4
Total (b)	5,2	0,0	49,6	28,4	-0,8		35,3	16,1	133,8
Consommation finale non énergétique									
Total (c)	0,2		13,2	1,6	0,0	0,0		0,0	15,0
ENRt : énergies renouvelables thermiques (bois, déchets de bois, solaire thermique, pompes à chaleur Source: Direction générale de l'énergie et du climat (mars 2011)									
- La colonne "ENRt et déchets" est affectée par une imprécision méthodologique, liée au principe même de la modélisation utilisée, qui ne permet pas de faire la distinction entre les énergies considérées et un solde d'équilibre du bilan énergétique, dont il est cependant espéré qu'il soit le plus faible possible; - La production nationale de pétrole brut et de gaz naturel a été prise égale à zéro pour simplifier la modélisation									

Scénario Grenelle en 2030

Scénario Grenelle en 2030 (éd. 2010)									
Mtep 2030	COMB. SOLIDES	PÉTROLE		GAZ		ÉLECTRICITÉ		ENRt et déchets	TOTAL
		brut	raffiné	Nat.	Ind.	Produite	Cons.		
APPROVISIONNEMENT									
Production (*)	0,1					132,6		18,8	151,6
Importation	6,5	66,6	1,3	32,3					106,7
Exportation			-4,3			-8,6			-12,9
Soutes maritimes internationales			0,0						0,0
Disponibilités	6,6	66,6	-3,0	32,3		124,0		18,8	245,4
(*) Production d'électricité nucléaire : 120,7 Mtep, électricité hydraulique, photovoltaïque et éolienne : 12 Mtep									
EMPLOIS									
Consommation de la branche énergie									
Raffineries		66,6	-61,5			-0,1			5,1
Centrales élec	1,4		0,0	3,5	0,8	-4,1		2,6	4,2
Pertes, ajust., usages internes	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-3,0	91,3	0,0	88,3
Total (a)	1,4	66,6	-61,5	3,5	0,8	-7,2	91,3	2,6	97,6
Consommation finale énergétique									
Industrie	4,8		5,4	12,5	-0,8		13,0	1,7	36,7
Tertiaire	0,0		0,9	5,4			10,5	3,1	19,9
Résidentiel	0,2		2,0	8,8			12,6	8,5	32,1
Agriculture	0,0		2,2	0,5			0,6	0,0	3,3
Transports			34,5				3,1	2,9	40,5
Total (b)	5,0	0,0	45,0	27,1	-0,8		39,9	16,2	132,5
Consommation finale non énergétique									
Total (c)	0,2		13,4	1,6	0,0	0,0		0,0	15,3
ENRt : énergies renouvelables thermiques (bois, déchets de bois, solaire thermique, pompes à chaleur)									
Source: Direction générale de l'énergie et du climat (mars 2011)									
- La colonne "ENRt et déchets" est affectée par une imprécision méthodologique, liée au principe même de la modélisation utilisée, qui ne permet pas de faire la distinction entre les énergies considérées et un solde d'équilibre du bilan énergétique, dont il est cependant espéré qu'il soit le plus faible possible;									
- La production nationale de pétrole brut et de gaz naturel a été prise égale à zéro pour simplifier la modélisation									

Service du climat et
de l'efficacité
énergétique

Département de
Lutte Contre
l'Effet de Serre

SYNTHÈSE



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère
de l'écologie,
de l'énergie,
du Développement
durable
et de la Mer

Direction
Générale Énergie
et Climat

Grande Arche –
Paroi nord
92 055 La Défense
Cedex