



Commission Nationale du Débat Public

Expertise complémentaire sur une meilleure
identification des politiques énergétiques alternatives
au projet Penly 3, et le contenu en gaz à effet de
serre de l'électricité consommée en France

Rapport final

SARL au capital de 210 400 €

99 rue de Stalingrad

93100 Montreuil sous bois

tel / fax 01 42 87 23 27

SIRET 480 478 502 00051



Sommaire

I. Objectifs et méthodologie	4
I.1. Objectifs	4
I.2. Méthodologie.....	4
II. Analyse des principaux scénarii du maître d’ouvrage	6
II.1. Scénarii d’évolution de la demande issus du Bilan Prévisionnel 2009 de RTE.....	6
II.2. Scénarii MEEDDAT	12
II.3. Résumé des principales hypothèses des scénarii du Maître d’ouvrage et comparaison des résultats obtenus.....	15
II.4. Hypothèses supplémentaires du Maître d’ouvrage.....	17
II.5. Analyse critique des scénarii du maître d’ouvrage	17
III. Politiques énergétiques alternatives	26
III.1. Reconstitution de la demande électrique nationale en 2008.....	26
III.2. Description des scénarii prospectifs et des gisements d’économie associés	33
III.3. Evolution future de la demande électrique nationale	37
III.4. Evolution de l’offre de production d’électricité	43
III.5. Analyse de la cohérence scénarii de demande – scénario de production	51
IV. Analyse de faisabilité des scénarii	58
IV.1. Impacts financiers	58
IV.2. Impacts socio-économiques	60
V. Conclusion de l’expertise	64
VI. Annexes	65
VI.1. Annexe 1 : Reconstitution des consommations du secteur Résidentiel en 2008 et projection à horizon 2020	65
VI.2. Annexe 2 : Consommations électriques nationales en 2008	78
VI.3. Annexe 3 : Reconstitution des appels de charge horo-saisonniers par usage en 2008	81

I. Objectifs et méthodologie

I.1. Objectifs

Etant donné l'importance d'un projet d'équipement tel que le projet d'EPR à Penly, ses impacts sociaux, économiques et environnementaux, la Commission nationale du débat public a décidé d'organiser un débat public sur le sujet. Ce dernier a pour objectif de permettre à la fois aux promoteurs du projet de le justifier, à chacun d'exprimer ses avis et ses arguments et de manière plus large de traiter de l'utilité même du projet.

Concernant ce dernier point, lors de sa séance du 5 mai 2010, la Commission nationale du débat public a accepté la proposition de la Commission particulière du débat public relatif au projet Penly 3, de faire procéder à une expertise complémentaire sur une meilleure identification des politiques énergétiques alternatives au projet Penly 3, et le contenu en gaz à effet de serre de l'électricité consommée en France.

L'objectif de cette étude est ainsi de pouvoir mettre à disposition des participants aux séances de débat public un maximum d'informations sur les divers scénarii d'évolution possibles de la demande et de la production d'électricité en France. Ces informations ont donc vocation à venir alimenter le débat sur l'utilité du projet et les différentes alternatives s'offrant à nous.

I.2. Méthodologie

La méthodologie retenue pour répondre aux objectifs de l'étude se base sur une simulation des évolutions possibles de la demande électrique nationale pour lesquelles une définition réelle des besoins de production (base, semi-base, pointe et hyper-pointe) pourra alors être effectuée. En fonction d'hypothèses d'évolution du parc de production (en exploitant notamment la dernière programmation pluriannuelle des investissements (PPI) de production d'électricité), la pertinence du projet Penly 3 pourra alors être analysée pour chacun des scénarii de demande retenus. Cette méthodologie est constituée des phases de travail suivantes (par ordre chronologique):

- **Analyse des principaux scénarii d'évolution de la demande élaborés par le maître d'ouvrage** : Cette phase doit permettre d'alimenter en hypothèses les simulations prospectives de la demande électrique nationale.
- **Simulation et analyse de divers scénarii de la demande électrique nationale à horizon 2020** : Basées sur une reconstitution de la demande en 2008, ces simulations se feront sur la base de divers scénarii classés ci-dessous par consommation annuelle décroissante :
 - **Scénario « pré-Grenelle »** : Ce scénario prend en compte uniquement les mesures décidées avant le Grenelle de l'Environnement
 - **Scénario « AME » (Avec Mesures Existantes)** : Ce scénario prend en compte l'ensemble des mesures décidées avant le 1^{er} Janvier 2010
 - **Scénario « Mesures Grenelle »** : Ce scénario prend en compte l'ensemble des mesures décidées par le Grenelle et leurs effets
 - **Scénario « Objectifs Grenelle »** : Ce scénario prendrait en compte la réalisation de l'ensemble des objectifs du Grenelle à l'horizon 2020 et non plus uniquement l'effet réel des mesures actuellement décidées.
 - **Scénario « Volontariste »** : Certains gisements de Maîtrise de la Demande en Electricité (MDE) ne sont pas exploités dans les objectifs ciblés par le Grenelle de l'Environnement. Ce scénario a donc pour rôle de rassembler une part de ces gisements, gisements dont l'atteinte est réaliste, en plus des actions déjà prévues par le Grenelle afin de représenter un scénario de demande bas.
 - **Scénario « Volontariste avec baisse du chauffage électrique »** : Ce scénario reprend l'ensemble des hypothèses du scénario « Volontariste » en y intégrant un

report d'une part des logements anciens se chauffant à l'électricité vers des systèmes de chauffage fonctionnant au gaz et au bois.

- **Analyse de l'évolution de l'offre de production d'électricité :** A partir d'une analyse en profondeur de la PPI, un scenario de production électrique de base sera défini ainsi que des pistes alternatives à celui-ci : développement plus ou moins important des énergies renouvelables, prolongement ou non de la durée de vie des centrales nucléaires, ...
- **Analyse de cohérence entre les scenarii de demande et les possibilités de réponses de l'offre de production d'électricité :** Cette phase a pour objectif la détermination des couples scenario de demande – scenario de production cohérents, c'est-à-dire pour lesquels le parc de production permet de répondre réellement aux contraintes fixées par la demande électrique nationale
- **Analyse de faisabilité des scenarii retenus :** Cette phase doit venir alimenter la réflexion sur le choix des couples scenario de demande – scenario de production retenus avec les différents impacts qu'ils engendrent : impacts financiers, impacts économiques et sociaux et impacts environnementaux
- **Analyse du contenu en Gaz à Effet de Serre (GES) de l'électricité :** Une analyse quantitative des émissions de GES et une analyse qualitative du contenu en GES du kWh électrique seront effectués pour l'éventail de scenarii prospectifs retenus, là encore dans l'objectif d'alimenter le débat sur le choix du scenario choisi pour la politique énergétique de la France

II. Analyse des principaux scénarii du maître d'ouvrage

Etant donné les objectifs de l'étude, il semble indispensable de s'affranchir au maximum de tout débat d'expert sur la prise en compte des évolutions structurelles, des différentes mesures, ... qui viendraient polluer un débat qui veut avant tout aborder le sujet des possibilités de développement alternatives au projet Penly 3. Ainsi cette première phase de l'étude concerne des travaux d'analyse des scénarii d'évolution utilisés par le maître d'ouvrage. Ces travaux suivront la démarche suivante :

- Reprise de l'ensemble des scénarii
- Analyse des hypothèses
- Traduction des hypothèses selon plusieurs termes :
 - Variables exogènes, déterminants, démographie, économie
 - Variables techniques : évolution des technologies diffusées et crédibilité des paramètres pris en considération
 - Variables comportementales, évolution des besoins : la composante la plus importante concerne l'évolution des besoins en termes d'attentes sur le confort et la pénétration des nouvelles technologies
- Analyse comparée des évolutions de demande en consommation et en puissance entre les divers scénarii en identifiant les différents effets (structure et consommation unitaire)
- Analyse critique des scénarii

Concernant les scénarii de demande utilisés par le maître d'ouvrage, il s'agit principalement des deux études suivantes :

- Le Bilan Prévisionnel de l'équilibre offre – demande d'électricité en France édition 2009 établi par RTE¹ dans le cadre de ses missions confiées par la loi du 10 février 2000.
- Les scénarii d'évolution de la demande réalisés par le MEEDDAT : le scénario énergétique « de référence à caractère tendanciel » établi à la demande de l'Agence Internationale de l'Energie (AIE) et les essais d'évaluation de la situation énergétique de la France à l'horizon 2020 du fait de l'application et de l'atteinte des objectifs du projet de loi « Grenelle de l'environnement »

II.1. Scénarii d'évolution de la demande issus du Bilan Prévisionnel 2009 de RTE

RTE publie périodiquement sous l'égide des pouvoirs publics un bilan prévisionnel pluriannuel de l'équilibre entre l'offre et la demande d'électricité en France. Ce dernier « a pour objet d'identifier les risques de déséquilibre entre la consommation d'électricité et l'offre de production disponible pour la satisfaire sur le territoire de la France continentale, sur un horizon d'une quinzaine d'années ». Pour ce faire, à l'image de la méthodologie utilisée dans cette étude, des prévisions de consommation intérieure d'électricité sont effectuées et confrontées aux perspectives connues d'évolution du parc de production. Dans la suite de ce chapitre nous nous efforcerons de restituer la majeure partie des hypothèses utilisées dans ces prévisions ainsi que les résultats obtenus.

II.1.a. Méthodologie

La méthodologie de prévision de la demande utilisée dans le Bilan Prévisionnel 2009 de RTE (BP 2009) repose sur une décomposition des consommations électriques nationales par usage et par secteur d'activité. Pour chacun de ces croisements Usage / Secteur d'activité une

¹ Réseau de Transport d'Electricité

identification des différents déterminants de la consommation et leurs relations entre eux sont identifiés, permettant ainsi la reconstitution des consommations électriques nationales. Ces déterminants d'entrée peuvent être classés en 3 typologies :

- Le PIB
- La Démographie et la population active
- L'Efficacité énergétique et les transferts entre énergie

En fonction d'hypothèses d'évolution différentes de ces paramètres, différents scénarii d'évolution de la demande ont été simulés et sont présentés dans la partie suivante.

II.1.b. Définition des différents scénarii de la demande

Les 4 scénarii d'évolution simulés dans le Bilan Prévisionnel 2009 sont les suivants :

- **Le scénario « Haut »** : L'ensemble des hypothèses retenues tendent à majorer la consommation (hypothèses d'évolutions structurelles, hypothèses de pénétration de la MDE,...).
- **Le scénario « Référence »** : Il choisit pour chacun des déterminants de la demande retenu l'hypothèse d'évolution centrale.
- **Le scénario « MDE renforcée »** : Il diffère du scénario de « Référence » par une pénétration plus rapide, du fait des lois Grenelle et des différentes directives européennes, de la Maîtrise de la Demande en Energie.
- **Le scénario « Bas »** : L'ensemble des hypothèses retenues tendent à minorer la consommation (hypothèses d'évolutions structurelles, hypothèses de pénétration de la MDE,...).

Ces scénarii essayent donc de balayer l'ensemble des possibilités d'évolution de la demande en intégrant de manière plus ou moins poussée différentes mesures de Maîtrise de la Demande en Electricité déjà mises en place ou en passe de l'être (Grenelle de l'Environnement, Directives EUP, ...). La suite de ce paragraphe reprend par secteur d'activité et/ou par usage les différentes hypothèses utilisées et auxquelles nous avons accès.

► PIB, démographie et population active

Deux hypothèses différentes d'évolution annuelle du PIB ont été utilisées :

- Une référence de +2% par an pour les scénarii « Haut », « Référence » et « MDE renforcé »
- Une variante basse de 1,6% par an pour le scénario « Bas »

Il est à noter que l'origine des hypothèses de croissance du PIB de la France présentes dans le BP 2009 n'est pas précisée.

Les hypothèses d'évolution démographiques et d'évolution de la population active proviennent quant à elles de publications de l'INSEE² et sont résumées dans le tableau suivant issu du Bilan Prévisionnel 2009 :

Scenario BP 2009	Bas	MDE renforcée	Référence	Haut
Scenario INSEE	SP09	SP01	SP01	SP08
Population en 2025 (en millions)	63,3	66,1	66,1	68,9
Ménages en 2025 (en millions)	30,5	31	31	31,6
Population active en 2025 (en millions)	27,7	28,2	28,2	28,2

Comme nous le verrons par la suite, ces paramètres présentés ci-dessus influencent fortement les différents résultats obtenus. Ainsi une analyse plus poussée de ces hypothèses sera effectuée dans la phase d'analyse critique des scénarii étudiés.

² INSEE Première n°1106 et INSEE Première n°1089

► Secteur industriel

Deux paramètres majeurs influencent l'évolution des consommations du secteur industriel : la croissance de la production industrielle et l'amélioration de l'efficacité énergétique des différents procédés et équipements. La croissance de la production industrielle est évaluée à + 1,2% par an sur la période (2007-2025) pour les scénarii « Haut », « Tendancier » et « MDE renforcée » et à 1% pour le scénario « Bas ». Cependant, ces évolutions diffèrent selon les branches d'activité et sont résumées dans le tableau suivant :

Branche	Evolution 2007-2025
Métaux	. Acier : Production nationale stable avec une part de la production transférée vers l'électricité . Aluminium : Disparition de la majorité des sites de production d'aluminium première fusion
Equipement	Globalement en croissance
Chimie	. Ammoniac : légère baisse (plus importante dans le cas d'un scénario environnemental) . Chlore : stable . Gaz industriel : Fort développement . Chimie organique : suit la progression européenne
Matériaux de construction	Croissance (plus importante dans le cadre des scénarii MDE avec un besoin en matériaux d'isolation plus important pour les réhabilitations thermiques du bâti)
Industrie Agroalimentaires	Croissance
Papier	Croissance
Textile, Cuir et Habillement	Décroissance
Industries diverses	Globalement en croissance notamment pour les industries du caoutchouc, du plastique et du bois

Il est à noter que les prévisions de croissance de production explicitées ci-dessus dépendent fortement des hypothèses retenues de croissance du PIB d'ici à 2025.

Comme expliqué précédemment l'amélioration de l'efficacité énergétique et les différentes politiques de MDE vont également avoir un impact sur les consommations électriques du secteur industriel. De plus, ces évolutions dépendant des efforts politiques et financiers mis en place, les hypothèses d'évolution des différents scénarii vont différer. Ces possibilités de maîtrise de la demande en électricité touchent principalement les usages des moteurs (qui concernent 60% des consommations électriques du secteur industriel) grâce à la diffusion plus ou moins importante de moteurs plus performants ou à variation de vitesse. Les autres gisements d'économie d'électricité, dont l'exploitation varie selon les scénarii, touchent le chauffage des locaux, la production de froid, l'air comprimé et l'éclairage.

► Secteur tertiaire

Les évolutions de la consommation électrique nationale du secteur tertiaire varient selon plusieurs hypothèses :

- L'évolution du parc de bâtiments
- Les transferts entre énergies de chauffage des surfaces existantes
- L'évolution de l'équipement des différentes branches par usage
- L'évolution de l'efficacité énergétique

Les hypothèses d'évolution des surfaces chauffées des différentes branches recensées pour les 25 prochaines années sont les suivantes :

	Croissance annuelle de surfaces chauffées par branche du scenario « Référence »
Transport (hors traction)	Inférieure à 1%
Commerce	Inférieure à 1%
Cafés - Hôtels - Restaurants	Inférieure à 1%
Enseignement	Inférieure à 1%
Santé	Inférieure à 1%
Bureaux	1,2% par an
Habitat Communautaire	Environ 2%
Sport - Loisirs - Culture	Environ 2%
Autres Tertiaire	Inférieure à 1%

Ainsi pour le scenario « Référence » du Bilan Prévisionnel RTE 2009 la croissance moyenne des surfaces chauffées du secteur tertiaire est de + 1,1%. De même que pour l'industrie, ces évolutions sont fortement influencées par les hypothèses de croissance du PIB et de croissance de la population active prises pour chaque scenario et sur lesquelles nous reviendront dans l'analyse critique.

L'évolution de l'équipement des surfaces tertiaires et de l'efficacité énergétique de ces dernières est principalement affectée par les changements suivants :

- Augmentation du taux d'équipement en climatisation
- Baisse des consommations unitaires de chauffage et de climatisation des surfaces équipées dues à une meilleure isolation du parc bâti : réglementation sur le neuf et rénovation sur l'ancien (Grenelle de l'environnement)
- Baisse des consommations unitaires d'éclairage due à la disparition progressive des lampes à incandescence, à l'implantation généralisée de ballasts électroniques, à l'implantation de LED pour les scénarii environnementaux et à une meilleure gestion de ce poste de consommation

► **secteur résidentiel**

A l'image du secteur tertiaire, l'évolution des consommations du secteur résidentiel dépend des paramètres suivants :

- Croissance du parc de logements et modification de sa structure
- Evolution des taux d'équipements liés aux différents usages
- Evolution de l'efficacité énergétique des différents équipements

L'évolution du parc de logements est dictée par l'évolution du nombre de ménages, elle-même issue des différents scénarii d'évolution de l'INSEE. Ainsi, en fonction du scenario étudié, la croissance annuelle du parc de logements est comprise entre 0,8% et 1%. Outre cette augmentation, le parc de logements va également être modifié structurellement :

- Evolution de la répartition entre maisons individuelles et immeubles collectifs
- Une meilleure efficacité thermique du parc due aux Réglementations Thermiques appliquées aux constructions neuves et aux réhabilitations thermiques du parc ancien préconisées dans le Grenelle de l'environnement. Ces évolutions conduisent à une baisse des consommations unitaires des ménages en chauffage électrique comprise entre 29 % et 47 % dans le neuf et 17 % et 24 % pour le parc ancien (Respectivement scenario « Référence » et « MDE renforcée »)

L'évolution retenue pour l'équipement des ménages peut être résumée ainsi :

- Croissance du parc de chauffe-eau utilisant partiellement ou totalement l'électricité
- Augmentation du taux d'équipement en climatisation
- Augmentation du taux d'équipement en congélateur et des équipements de lavage (lave-vaisselle, lave-linge et sèche-linge)

- Augmentation du taux d'équipement en électronique de loisir : ordinateurs, imprimantes, box ADSL, décodeurs TNT, consoles de jeu, lecteurs DVD, home-cinéma, ...

D'ici à 2025, horizon prospectif du Bilan Prévisionnel 2009, de nombreux efforts devraient être faits afin de diminuer ou limiter l'augmentation de la consommation unitaire des différents équipements. Les différents usages ne seront pas tous affectés de la même manière, les principales évolutions attendues étant les suivantes :

- Pénétration des pompes à chaleur (PAC) avec le crédit d'impôt (1,3 Millions de logements en plus chauffés à l'électricité dans le scénario de « Référence »)
- Développement des chauffe-eau solaires et thermodynamiques
- Disparition des ampoules à incandescence au profit des ampoules fluo-compactes ou des halogènes pour l'usage éclairage
- La mise en place des Directives européennes éco-conception EUP (« Energy Using Product ») qui devraient permettre d'augmenter l'efficacité énergétique des produits suivants :
 - Produits blancs (froid + lavage)
 - Ordinateurs et Box ADSL
 - Audiovisuel : téléviseurs, décodeurs numériques
 - Consommations de veille

► **Autres secteurs**

L'évolution attendue des consommations des autres secteurs est la suivante :

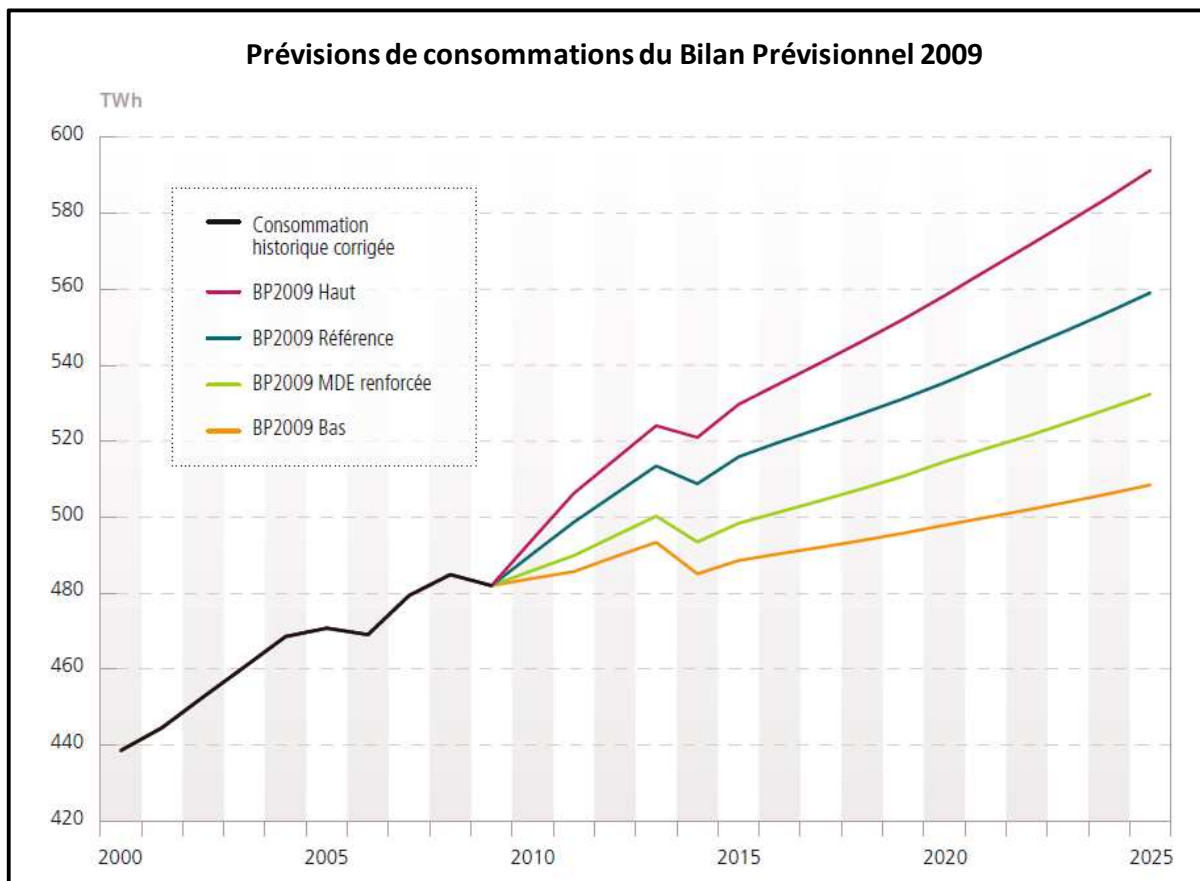
- **Agriculture** : Croissance annuelle moyenne de la demande d'électricité de 1,1%
- **Transport** :
 - **Transport ferroviaire** : Transfert modal du transport routier vers le rail conduisant à une hausse annuelle des consommations comprises entre 1,8 et 2,4%
 - **Véhicules électriques** : Parc de véhicules compris entre 1 et 3 millions de véhicules suivant les scénarii d'évolution étudiés
- **Energie** : Changement du procédé d'enrichissement de l'uranium de l'usine Eurodif (European Gaseous Diffusion Uranium Enrichissement Consortium) passant de la diffusion gazeuse à la centrifugation. Il y est fait l'hypothèse d'une certaine stabilité des consommations des raffineries et d'une augmentation des consommations de la production et de la distribution d'eau en lien avec la croissance du nombre de ménages.
- **Pertes** : Le taux de pertes sur l'ensemble du réseau est supposé constant (7% de la consommation intérieure nette)

II.1.c. Résultats obtenus

► **Résultats en consommation**

Les résultats obtenus par branche et par scénario sont résumés dans le tableau et le graphique ci-dessous issus du BP 2009 :

Consommations totales en TWh	2007	2020				2025			
		Bas	MDE renforcée	Référence	Haut	Bas	MDE renforcée	Référence	Haut
Industrie	134,3	139,7	144,3	147,5	149,7	142,5	148,7	153,1	155,3
Tertiaire	121,7	126,2	130,2	139,9	142,8	126,3	131,3	144,5	148,3
Résidentiel	144,7	158,5	159,3	170,2	181,5	161,8	162,2	177,5	192,8
Transport	12,5	16,4	22,5	17,6	22,6	19,3	29,8	21,5	30,2
Agriculture	8,2	9,4	9,4	9,4	9,4	10	10	10	10
Energie (pertes réseaux incluses)	58	47,7	48,9	50,7	52,3	48,6	50,4	52,6	54,8
Consommation intérieure	479,4	497,9	514,6	535,4	558,3	508,5	532,4	559,1	591,3



Ainsi, en fonction des scénarii, l'augmentation de la demande varie, à horizon 2025, de 30 TWh à plus de 110 TWh (consommation finale comprise entre 508 et 590 TWh par an), soit une croissance comprise entre 6 et 23% des consommations 2007. Ces fortes différences entre les scénarii proviennent à la fois des différences d'évolution structurelles (PIB, nombre de ménages, surfaces tertiaires), des différences de pénétration de mesures de réduction des consommations et des différences de transfert entre énergie pour les usages concurrentiels (pénétration de la PAC en alternative au chauffage au fuel par exemple).

► Résultats en puissance

Dans la méthodologie de prévision des appels de charge en 2020 dans le BP 2009, le choix a été fait de prendre uniquement en compte une modification de profils des appels de charge journaliers des usages suivants :

- L'éclairage
- Le chauffage avec la forte pénétration des PAC dont le COP (Coefficient de Performance) dépend de la différence de température entre le milieu de prélèvement et le milieu de restitution
- La recharge des véhicules électriques

Les résultats obtenus sur la pointe à température normale et sur la « pointe à une chance sur dix » sont alors les suivants :

Prévisions de puissance à la pointe dans le scénario « Référence » (en GW)

	2012 / 2013	2014 / 2015	2019 / 2020	2024 / 2025
Pointe à température normale	86,9	88,2	91	94,9
Pointe « à une chance sur dix »	102	103,8	107,7	112

Prévisions de puissance à la pointe « à une chance sur dix » (en GW)

	2012 / 2013	2014 / 2015	2019 / 2020	2024 / 2025
Haut	104,2	106,6	113,2	119,8
Référence	102	103,8	107,7	112
MDE renforcée	98,6	99,7	102,3	104,6
Bas	97,9	98,4	100,3	102,2

Là encore on s'aperçoit que les différences entre scénarii sont assez importantes passant d'une pointe « à une chance sur dix » de l'ordre de 100 GW en 2025 pour le scénario « Bas » à une pointe d'environ 120 GW pour le scénario « Haut ».

II.2. Scénarii MEEDDAT

Les deux derniers scénarii énergétiques réalisés par l'Observatoire de l'Énergie et l'ancienne DGEMP avaient pour objectif de donner des clés de compréhension de l'évolution de la consommation énergétique à l'horizon 2030 dans le cas où toutes les mesures du Grenelle de l'environnement étaient appliquées.

Une comparaison entre un scénario « pré-Grenelle », dit également « tendanciel » et un scénario « Grenelle Objectifs » permet d'avoir une estimation du volume de consommation évité pour remplir les objectifs nationaux, européens et mondiaux.

II.2.a. Scénario pré-Grenelle ou tendanciel DGEMP 2008

Ce scénario a été réalisé en 2008 par l'ancienne DGEMP. Il présente une projection tendancielle de la consommation énergétique par secteur en 2030 en se basant sur des mesures votées au 1^{er} janvier 2008, sans prendre en compte les lois Grenelle I. Ce scénario a pour objectif d'évaluer les efforts nécessaires à l'atteinte des ambitions du Grenelle. Nous ne retranscrivons que les hypothèses ayant une influence sur la consommation d'électricité.

► PIB, démographie et population active

Les hypothèses macro-économiques et démographiques de ce scénario sont les suivantes :

- Croissance du PIB de 2,1% par an sur la période 2008-2030 ;
- Croissance démographique de 0,4 % par an portant la population de 60,4 millions d'habitants en 2005 à 67,2 millions en 2030, soit 31,6 millions de ménages ;
- Le nombre d'emplois dans le secteur tertiaire est de 24,3 millions en 2030 (étude BIPE³) ;

Les hypothèses sur les différents déterminants de la consommation prises pour les différents secteurs sont explicitées ci-dessous.

³ société d'études économiques et de conseil en stratégie

► Secteur industriel

Les hypothèses de la demande dans le secteur industriel sont tirées d'une étude BIPE. L'évolution de la consommation d'électricité est liée à la production par branche du secteur.

Branche	Evolution 2007-2025
Métaux	. Acier : Production nationale stable . Aluminium : stable
Chimie	. Ammoniac : Production stable . Chlore : légère baisse . Ethylène : production stable
Matériaux de construction	Stabilité de la production de ciment
Industrie Agroalimentaires	Baisse de la production de sucre sur la période 2005-2020
Papier	Croissance
Verre	Forte croissance

► Secteur tertiaire

L'évolution de la consommation électrique des bâtiments est basée sur les réglementations thermiques 2000 et 2005, avec 15 % d'efficacité de chacune des réglementations par rapport à la précédente, soit tous les 5 ans. Une hypothèse de gain sur l'efficacité énergétique par emploi de 0,5 % est prise.

La consommation d'électricité spécifique est en hausse due à la croissance du taux d'équipement en informatique et produits électrotechniques.

► Secteur résidentiel

Les réglementations thermiques 2000 et 2005 influencent la consommation électrique dans les bâtiments résidentiels.

L'hypothèse prise sur l'évolution du parc résidentiel est la suivante : 350 000 nouvelles résidences principales sont construites par an jusqu'en 2010, puis 300 000 par an jusqu'en 2030. Les besoins unitaires de chauffage augmentent pour le parc résidentiel antérieur à 1975, stagnent pour les logements construits entre 1975 – 1990, diminuent pour le parc datant de 1990.

Les besoins en eau chaude sanitaire passent d'un indice 1,2 en 2005 à 1,5 en 2030.

Concernant les nouvelles technologies de chauffage, les pompes à chaleur réversibles pénètrent progressivement le marché, mais engendrent parallèlement des consommations plus importantes pour la climatisation.

► Energie

La consommation d'électricité due à l'enrichissement d'uranium est fortement réduite grâce au passage de la diffusion gazeuse à l'ultra-centrifugation en 2015.

► Résultats

La consommation d'électricité finale serait de 552 TWh en 2020 et de 624 TWh en 2030, répartie de la manière suivante par secteur :

Secteur	Consommation d'électricité en 2006 en TWh	Consommation d'électricité en 2020 en TWh	Consommation d'électricité en 2030 en TWh
Industrie	136	157	178
Tertiaire	130	177	198
Résidentiel	149	196	222
Agriculture	3	6	7
Transports	12	16	20
Total	430	552	624

II.2.b. Scenario 2008 « Grenelle »

Le scénario « Grenelle » présente l'impact qu'auraient les mesures Grenelle sur la consommation d'énergie en 2020.

Les hypothèses macro-économiques et démographiques sont identiques à celles du scénario tendanciel.

Seules les hypothèses sur l'évolution de la demande en électricité dans les secteurs résidentiels, tertiaire et du transport ont été modifiées :

- Bâtiments : Ce scénario prend en compte une réduction de 47 % des consommations d'énergie primaire des bâtiments construits avant 1975, une baisse de 23% pour les bâtiments construits entre 1975 – 1990 et une baisse de 14 % pour ceux bâtis après 1990 ;
- Transport :
 - Report modal de la route vers le rail estimé à 8,2 milliards de tonnes-km ;
 - Démarrage de la commercialisation des voitures hybrides plug-in et véhicules électrique à partir de 2015.

► Résultats

En 2020, si les objectifs du Grenelle sont réalisés, la consommation finale d'électricité serait de 452 TWh. Dans le cas d'un retard de 10 ans dans la réalisation des objectifs du Grenelle, la consommation électrique en 2020 serait de 480 TWh.

On observe donc une quasi-stagnation de la consommation électrique sur la période 2006-2030 (croissance de la consommation de 5,1%).

Secteur	Consommation d'électricité en TWh - Scénario Grenelle 2020	Consommation d'électricité en TWh – Scénario Grenelle différé 2020
Industrie	158	158
Tertiaire	122	136
Résidentiel	145	160
Agriculture	6	7
Transports	19	19
Total	450	480

La croissance de la consommation électrique observée sur la période 2000 – 2006 serait donc fortement ralentie. Ce ralentissement est essentiellement du à la baisse importante de la consommation des bâtiments tertiaires et des logements.

En revanche, la consommation du secteur industriel évolue à la hausse sur la période 2006 - 2020 (+ 16 %)

Dans le cas du scénario Grenelle différé, on observe une légère hausse dans les secteurs tertiaire et résidentiel (respectivement + 4,5 % et 7,4 %). Cette croissance est nettement inférieure à celle constatée dans le scénario tendanciel (+ 30 %).

II.3. Résumé des principales hypothèses des scénarii du Maître d'ouvrage et comparaison des résultats obtenus

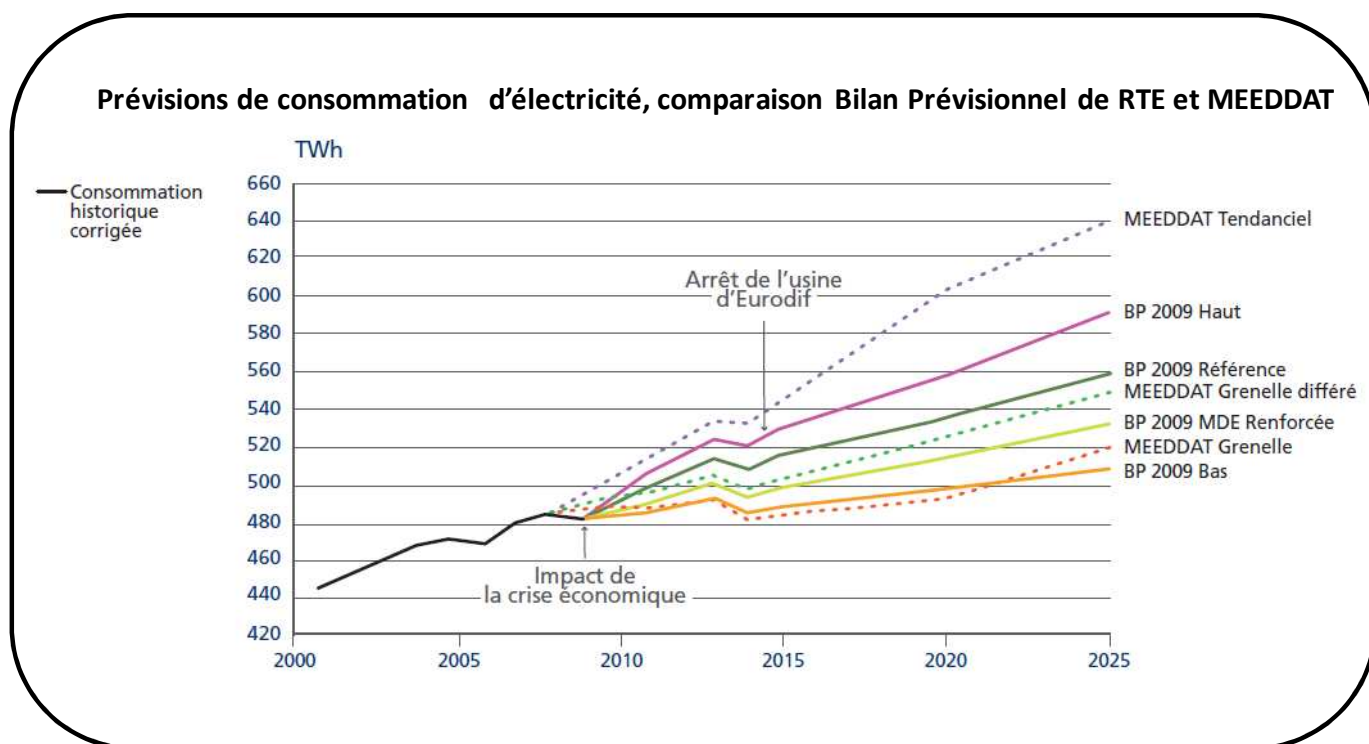
Les principales hypothèses d'évolution structurelle, économique et de l'efficacité énergétique sont résumées ci-dessous :

Scenario		Principales hypothèses d'évolution structurelle	Principales hypothèses d'évolution économique	Principales hypothèses d'évolution de l'efficacité énergétique
Bilan Prévisionnel RTE 2009	Scenario "Haut"	Scenario INSEE SP08 68,9 millions d'habitants en 2025 31,6 millions de ménages en 2025 28,2 millions d'actifs en 2025	Sortie de crise en 2009 TCAM du PIB de 2% sur la période 2007 - 2025	Peu d'actions de MDE
	Scenario "Référence"	Scenario INSEE SP01 66,1 millions d'habitants en 2025 31 millions de ménages en 2025 28,2 millions d'actifs en 2025	Sortie de crise en 2010 TCAM du PIB de 2% sur la période 2007 - 2025	- Renforcement de la RT et réhabilitation lourde du parc bâti ancien - Pénétration d'équipements performants dans les secteurs résidentiel et tertiaire (éclairage, produits blancs, informatique, ...) - Pénétration des moteurs performants dans l'industrie
	Scenario "MDE renforcée"			
	Scenario "Bas"	Scenario INSEE SP01 63,3 millions d'habitants en 2025 30,5 millions de ménages en 2025 27,7 millions d'actifs en 2025	Sortie de crise en 2011 TCAM du PIB de 1,6% sur la période 2007 - 2025	Accélération des mesures de MDE par le biais des lois Grenelle et des directives européennes
MEEDDAT	Scenario "Tendanciel"	Scenario INSEE central		Ensemble des mesures votées au 1 ^{er} Janvier 2008
	Scenario "Grenelle"	67,2 millions d'habitants en 2030 24,2 millions d'actifs dans le secteur tertiaire	TCAM du PIB de 2,1% sur la période 2006 - 2030	Prise en compte des mesures et objectifs du projet de loi Grenelle
	Scenario "Grenelle différé"			Retard de 10 ans dans la réalisation des objectifs du Grenelle

Les principaux résultats obtenus en 2020 pour les différents scénarii étudiés sont présentés dans le tableau ci-dessous :

		Consommations électriques nationales 2020 en TWh			
		Résidentiel	Tertiaire	Industrie	Consommation intérieure
Bilan Prévisionnel RTE 2009	Scenariio "Haut"	181,5	142,8	149,7	558,3
	Scenariio "Référence"	170,2	139,9	147,5	535,4
	Scenariio "MDE renforcée"	159,3	130,2	144,3	514,6
	Scenariio "Bas"	158,5	126,2	139,7	497,9
MEEDDAT	Scenariio "Tendanciel"	196	177	157	601,5
	Scenariio "Grenelle différé"	160	136	158	523,0
	Scenariio "Grenelle"	145	122	158	492,5

La comparaison entre les différents scénarii d'évolution est réalisée sur le graphique ci-dessous issu du dossier du maître d'ouvrage :



Ainsi, les résultats obtenus avec les deux méthodologies différentes amènent des résultats assez similaires. Cependant avec des hypothèses d'évolution démographique et économique plus fortes, les simulations effectuées par le MEEDDAT obtiennent malgré tout des consommations électriques nationales plus importantes en 2025. Ces différences d'hypothèses limitent également les possibilités de comparaison étant donné la difficulté à séparer les impacts provenant des évolutions structurelles et les impacts provenant de la mise en place de politique de réduction des consommations.

Les résultats désagrégés par secteur présentent certaines similitudes et certaines différences :

- **Tertiaire** : Les résultats obtenus semblent assez similaires. En effet, en considérant que le scénario « Grenelle différé » équivaut à un mix entre les scénarii « Référence » et « MDE renforcée » et que le scénario « Grenelle » équivaut quant à lui au scénario « Bas » du Bilan Prévisionnel 2009, on obtient bien des consommations annuelles semblables (le

scenario « Tendanciel » du MEEDDAT n'est quant à lui pas comparable au scenario « Haut » du BP 2009, ce dernier prenant en compte nombre de mesures non-prises en compte par le MEEDDAT).

- **Industrie** : La non-prise en compte d'actions spécifiques sur cette branche dans les simulations effectuées par le MEEDDAT, combinée à une évolution tendancielle plus forte que dans les scenarii RTE (du notamment aux différences d'évolution démographique et économique) amènent de fortes disparités dans les résultats.
- **Résidentiel** : C'est pour ce secteur que la comparaison est la plus difficile. Les résultats se rejoignent en effet entre le scenario « Grenelle différé » et les scenarii « Tendanciel » et « MDE renforcée » du BP 2009 mais pour les autres simulations les résultats diffèrent fortement.

II.4. Hypothèses supplémentaires du Maître d'ouvrage

Les scenarii décrits précédemment font donc état d'une forte incertitude sur les évolutions possibles de la demande à moyen et long terme. Ainsi le projet Penly 3 a pour objectif de permettre, selon le dossier du maître d'ouvrage, de « disposer d'une plus grande sécurité d'approvisionnement de la France en électricité, face aux aléas et incertitudes qui pèsent à moyen et long terme sur le système électrique français » (les aléas cités ici font également référence aux incertitudes régnant notamment sur les objectifs forts de développement des énergies renouvelables sur lesquels nous reviendrons dans la phase 2 de l'étude). Outre ces incertitudes, le maître d'ouvrage met en avant la volonté de pouvoir répondre, au travers de la construction de Penly 3, au développement de nouveaux usages que représentent le développement des transports ferrés et des véhicules électriques :

- Transports ferrés : fort développement des transports urbains et mise en place de 2000 km de Lignes à Grande Vitesse d'ici à 2020 augmentant les consommations électriques nationales de 6 à 12,5 TWh
- Pénétration des véhicules électriques : Objectif de 2 millions de véhicules en 2020 provoquant une augmentation des consommations électriques nationales de 2 à 5 TWh⁴

Ces hypothèses conduisent donc à une augmentation de la consommation électrique nationale annuelle de 8 à 18TWh en 2020. Il est à noter que ces hypothèses sont issues du numéro 21 de *Stratégie et études* publié par l'ADEME en 2009.

II.5. Analyse critique des scenarii du maître d'ouvrage

Dans cette partie nous nous limiterons uniquement à une analyse des hypothèses d'évolution associées à chacun des scenarii sans nous préoccuper de la méthodologie de simulation utilisée.

II.5.a. Hypothèses d'évolution économique

Les hypothèses d'évolution du PIB ont un impact fort sur les scenarii d'évolution. En effet, cette évolution correspondant à l'évolution de la richesse créée par le pays (production de biens et de services), l'évolution des consommations des secteurs professionnels lui est donc directement proportionnelle (l'autre facteur important étant l'évolution de l'efficacité énergétique). Pour rappel le taux de croissance annuel moyen des études précédentes est de 2,1% dans les simulations du MEEDDAT et est comprise entre 1,6 et 2% pour le BP 2009 (1,6% pour le scenario « Bas » et 2% pour les autres).

Il est à noter, qu'à l'image des simulations de consommation énergétiques, il existe régulièrement de nombreuses études donnant des résultats assez différents sur l'évolution à moyen ou long terme du PIB. Ajoutons à cela les difficultés à apprécier l'impact futur de la crise

⁴ Une hypothèse de consommation de 20kWh aux 100km a été prise

économique sur cette évolution. Voici par exemple une comparaison de différentes estimations de croissance du PIB tirée d'un rapport d'information de Juillet 2009 du Sénat fait au nom de la commission des finances pour le débat sur les orientations publiques et réalisé par M. Philippe Marini, sénateur de l'Oise :

	Hypothèses de croissance du PIB (en %)				
	2008	2009	2010	2011	2012
Gouvernement					
PJL programmation des finances publiques et rapport économique, social et financier associé au PLF⁵ 2009	1	1,3	2,5	2,5	2,5
Loi de programmation des finances publiques et LFI⁶ 2009 (textes promulgués)	1	0,2 - 0,5	2	2,5	2,5
PLFR⁷ mars 2009	0,7	-1,5	1	ND	ND
Présent débat d'orientation des finances publiques	0,4	-3	0,5	2,5	2,5
Commission des finances					
Rapport sur le PLFR de mars 2009	0,7	-3	0,5	1	2
Scénario de la commission des finances	0,4	-3	0,5	1	2

Cependant, un consensus ressort sur le fait que la crise devrait avoir un impact important sur l'évolution de ce dernier. Voici un extrait de ce même rapport d'information du sénat concernant l'évolution future du PIB :

« La crise actuelle n'est pas une crise conjoncturelle ordinaire, mais une crise bancaire qui, comme les autres graves crises bancaires, devrait avoir sur le PIB un impact permanent. ». L'évolution du « PIB potentiel en l'absence de crise économique [...] (*aurait*) un taux de croissance de 2% par an jusqu'à 2014, et de 1,75% ensuite (à cause de l'évolution démographique) ». « Le PIB potentiel, tel qu'il pourrait résulter de la crise économique [...] résulte de l'application au PIB potentiel d'un taux de croissance plus faible, fixé, de manière conventionnelle, à 0,75 % sur la période 2008-2011 ».

En prenant de telles hypothèses pour calculer un Taux de Croissance Annuel Moyen (TCAM) du PIB à horizon 2020 ou 2025 on obtient respectivement 1,56 et 1,62%. De même en prenant les évolutions réelles entre 2007 et 2009 et en supposant ensuite une croissance annuelle de 0.5% du PIB en 2010 et une croissance annuelle forte de 2,5%⁸ entre 2011 et 2025, on obtient un TCAM 2007-2020 du PIB de 1,8% et un TCAM 2008-2025 de 2%.

L'OFCE⁹ a publié un article intitulé « Quelle dette publique à l'horizon 2030 en France? » dans sa revue de Janvier 2010 et dans lequel certaines prévisions d'évolution du PIB, reproduites ci-dessous, sont présentées :

Période	TCAM du PIB
1960 - 1973	5,6%
1974 - 2001	2,2%
2002 - 2010	1,6%
2011 - 2020	1,4%
2021 - 2030	1,6%

⁵ Projet de Loi de Finances

⁶ Loi des Finances Initiales

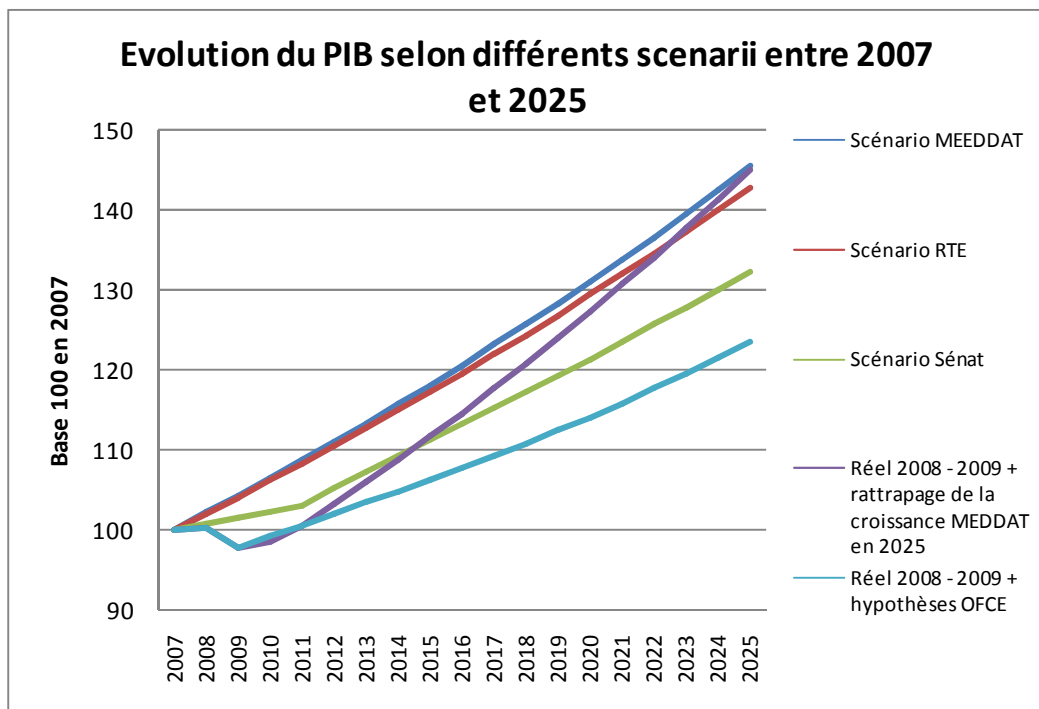
⁷ Projet de Loi de Finances Rectificative

⁸ Sur la période 1994-2000, période à forte croissance (sortie de la crise économique européenne de 1992-1993 et bulle internet des années 1995-2000) le Taux de Croissance Annuel Moyen du Produit Intérieur Brute de la France était par exemple de 2,44% (source : Base de données Fond Monétaire Internationale)

⁹ Centre de recherche en économie de Sciences Po

Là encore les prévisions de croissance économique sont bien moins importantes que celles prévues dans les études de RTE et du MEEDDAT. On peut également citer le BIPE¹⁰ dont les prévisions de croissance du PIB sur les années à venir prennent un TCAM annuel compris entre 1 et 1,8% d'ici à 2025.

Le graphique ci-dessous permet de comparer certains de ces scénarii d'évolution entre 2007 et 2025 :



Les fortes différences sont clairement mises en évidence. Le scénario se basant sur les données réelles de croissance des années 2008 et 2009 et rattrapant la croissance du scénario MEDDAT en 2025 suit un TCAM de 2.5% entre 2009 et 2025 (taux de croissance très fort comme expliqué précédemment).

Les évolutions du PIB de la France, proposées dans les études du MEEDDAT et de RTE (publiées respectivement en Avril 2008 et en Juillet 2009), ne semblent donc pas être en accord avec de nombreuses prévisions actuelles, les effets de la crise et de l'évolution démographique semblant ne pas y être assez présents.

Ainsi en faisant l'approximation, à mesures d'efficacité énergétique constantes, d'une relation de proportionnalité entre l'évolution de la consommation annuelle des secteurs industriel et tertiaire et l'évolution annuelle du PIB de la France et en supposant le TCAM du PIB compris entre 1,4 et 1,7% entre 2007 et 2025 on obtient les différences suivantes sur les résultats de consommations annuelles 2025 du scénario de Référence du Bilan Prévisionnel 2009 de RTE :

	Consommations électriques annuelles en TWh				
	BP 2009	BP 2009 avec TCAM du PIB de 1,7%	Différence	BP 2009 avec TCAM du PIB de 1,4%	Différence
Tertiaire	144,5	141,1	3,4	137,7	6,8
Industrie	153,1	150,3	2,8	147,5	5,6
Total	297,6	291,4	6,2	285,1	12,5

On obtient ainsi une différence de consommation comprise entre 6,2 et 12,5TWh de consommation annuelle soit une part de la production annuelle prévue par le réacteur Penly 3 (13 TWh) comprise entre 48 et 96%.

¹⁰ Société d'études économiques et de conseil en stratégie

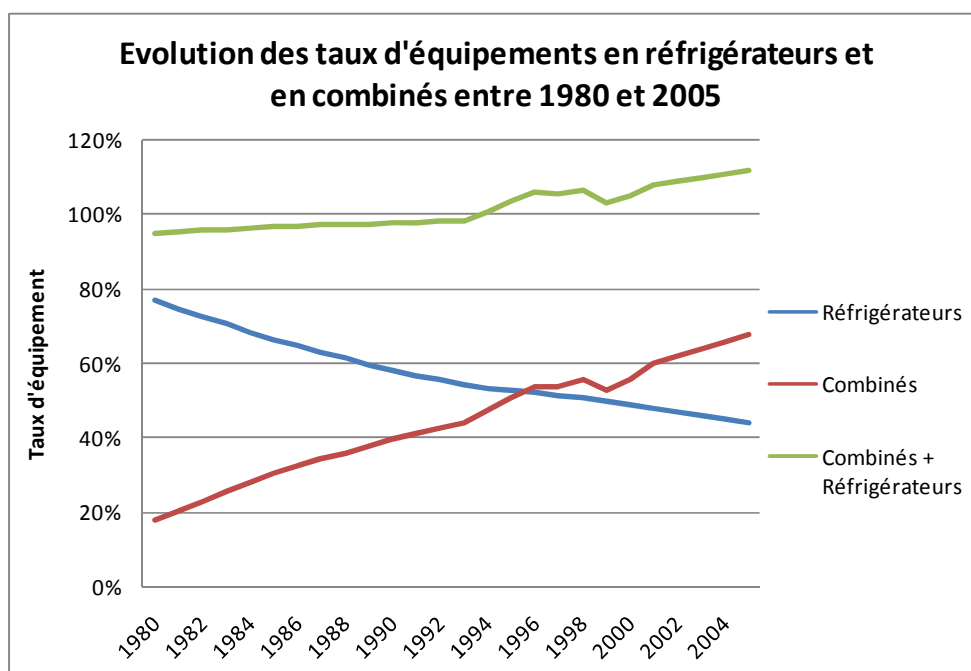
II.5.b. Hypothèses d'évolution des nouveaux usages

Les méthodologies de reconstitution des consommations par usage, utilisées par RTE ou dans cette étude, ne peuvent pas, pour des questions de disponibilité d'informations, traiter de manière exhaustive l'ensemble des usages. Il est donc habituel de regrouper l'ensemble des usages peu influents dans une catégorie généralement intitulé « Autres usages », et qui sert de donnée de calage avec les données de consommation officielles. N'ayant pas d'informations sur le traitement de ces consommations dans les documents du MEEDDAT nous nous intéresserons ici uniquement à l'analyse des résultats obtenus dans le Bilan Prévisionnel RTE.

Dans le BP 2009 cette catégorie se nomme « Autres usages spécifiques ». Ces derniers « regroupent les usages émergents et les usages pour lesquels peu d'informations sont disponibles. [...] Ils comprennent par exemple le petit électroménager, la domotique et les systèmes d'alarme, les piscines et l'éclairage de jardin, divers équipements de confort – voire gadgets ... L'éventuel effet de multi-équipement y est également inclus. La prévision de consommation de ce regroupement très hétérogène d'usages repose sur la prolongation de l'évolution tendancielle observée par le passé ». Ainsi la consommation annuelle de ces usages connaît un taux de croissance annuel moyen de 3,8% sur la période 2007 – 2025 dans le BP 2009. La consommation de ces usages représentant 15 % des consommations totales du secteur résidentiel en 2007, leur consommation augmente d'environ 22 TWh entre 2007 et 2025. Cette augmentation représente à elle seule 27% de l'augmentation totale des consommations électriques nationales du scénario « Référence » (79,7 TWh).

Pour juger de la pertinence de l'hypothèse d'évolution prise il est préférable d'analyser ces usages en les séparant en trois catégories. En effet, comme décrit ci-dessous, chacune de ces catégories devrait subir des évolutions indépendantes entre elles et pour certaines différentes des années précédentes :

- **Le double et triple équipement :** Cette catégorie regroupe donc l'ensemble des double et triple équipements présents dans les logements français. En termes de consommation, les plus importants sont :
 - **Les réfrigérateurs et combinés :** Le double équipement en réfrigérateurs et en combinés augmente assez peu ces dernières années (+ 0,7% par an entre 1995 et 2005) et n'a aucune raison de devoir subir une forte augmentation ces prochaines années (voire graphique suivant issu des données INSEE¹¹ et GIFAM¹² :

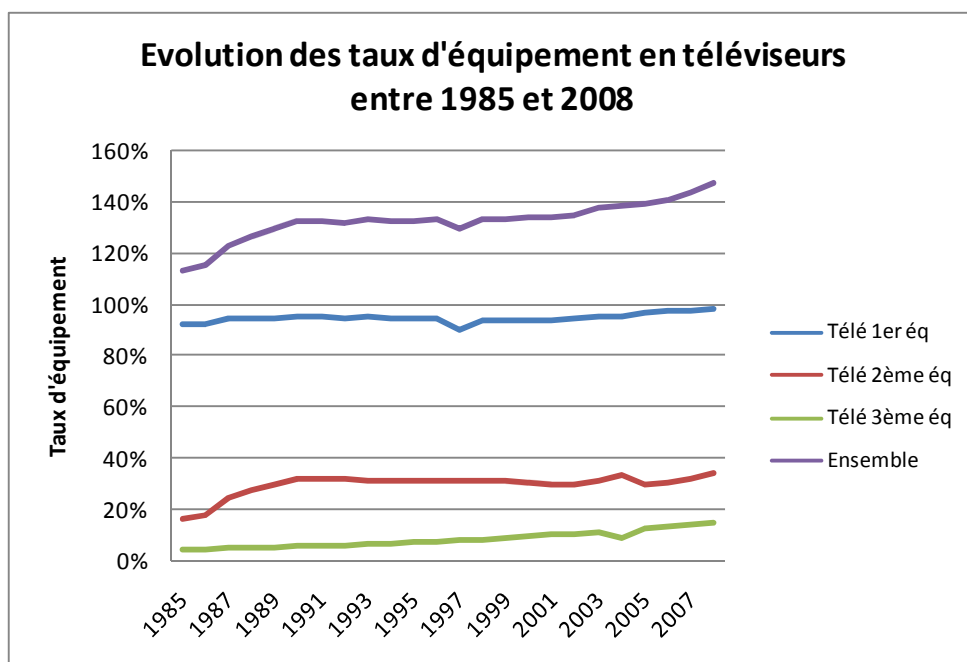


¹¹ Institut national de la statistique et des études économiques

¹² Groupement Interprofessionnel des Fabricants d'Appareils Ménagers

De plus, l'impact en consommation de ce double équipement devrait diminuer dans les prochaines années étant donné l'amélioration de l'efficacité énergétique du parc d'appareils de production de froid.

- **Les téléviseurs :** La problématique de l'évolution du double et triple équipement en téléviseurs est différente de celles des appareils de froid. En effet, avec la démocratisation progressive des technologies LCD et plasma depuis 2004 les ventes de téléviseurs ont connu une forte augmentation ces 5 dernières années (moins de 4 millions de téléviseurs vendus en 2004 contre 7,3 millions en 2009). Cette augmentation provient d'un changement de comportement des ménages pour lesquels l'achat d'un téléviseur ne sert plus uniquement à satisfaire un renouvellement de leur ancien téléviseur mais également à satisfaire une nouvelle demande (meilleure qualité d'image, écran plus grand, moins encombrant). Ainsi, ces anciens téléviseurs ont fait fortement augmenter le double et triple équipement ces dernières années comme le montre le graphique suivant (source INSEE et SNPTV¹³) :



L'augmentation observée ces dernières années devrait s'atténuer voire diminuer dans les années à venir pour deux raisons principales :

- Le ralentissement de l'augmentation des ventes de téléviseurs ne répondant pas au remplacement d'un équipement dans les années à venir.
- L'extinction progressive du signal analogique démarrée en 2009 et qui devrait s'étendre à l'ensemble du territoire d'ici fin 2011. Les équipements ne disposant pas de récepteur TNT devront se retirer progressivement du parc, ce qui devrait donc toucher une partie des doubles et triples équipements qui ne devraient être qu'en partie renouvelés.

Ainsi l'augmentation des consommations des doubles et triples équipements en téléviseurs devrait ralentir ces prochaines années, même si la pénétration progressive des écrans LCD et plasma à la place des téléviseurs CRT devrait augmenter leurs consommations unitaires.

- **Les ordinateurs :** La pénétration du double équipement en ordinateur devrait continuer à augmenter dans les prochaines années. Cependant, à l'image des observations réalisées sur le parc de 1^{er} équipement, les consommations unitaires de ces équipements devraient diminuer dans les années à venir du fait de la pénétration progressive des ordinateurs portables au dépend des ordinateurs fixes dont la consommation moyenne est très supérieure.

Ainsi les consommations dues au double équipement dans les ménages devraient continuer d'augmenter dans les prochaines années, mais cette augmentation devrait fortement ralentir.

¹³ Syndicat National de la Publicité Télévisée

- **Les usages minoritaires (petit électroménager, éclairage de jardin, piscines, divers équipements de confort...)** : Ces usages croissent régulièrement depuis plusieurs années. Leur évolution est difficile à prévoir. En effet deux cas de figure pourraient se présenter :
 - Evolution constante de la consommation électrique suivant la tendance des dernières années
 - Saturation de ces besoins dans les ménages conduisant à un ralentissement de l'augmentation progressive des consommations
- **Les nouveaux usages ou usages émergents** : Cette typologie d'usages est par définition celle dont l'évolution est la plus difficile à prévoir. Ne constatant à l'heure actuelle aucun usage ne devant subir de croissance exponentielle et qui ne soit pas déjà recensé dans les autres usages, l'hypothèse la plus rigoureuse est ici de suivre sur la période 2007 – 2025 la tendance observée au cours des dernières années.

Le taux de croissance annuel moyen des consommations des « Autres usages spécifiques » est de 2,2% dans le Bilan Prévisionnel réalisé par RTE en 2007. En comparant aux 3,8% du BP 2009, la méthodologie utilisée étant la même, l'augmentation des consommations de cette catégorie s'est donc accélérée ces dernières années. D'après ce qui a été décrit précédemment cette forte augmentation des dernières années devrait être en majorité due à des phénomènes devant fortement ralentir dans les années à venir. On peut donc supposer que cette augmentation devrait revenir à un niveau plus proche des observations réalisées avant 2005. Les données utilisées dans le Bilan Prévisionnel 2007 pourraient être une première approche. En prenant cette augmentation annuelle moyenne de 2,2% à la place des 3,8% du BP 09, la croissance des consommations du secteur résidentiel serait de 10 TWh de moins entre 2007 et 2025 (consommation du secteur résidentiel de 167,4 TWh en 2025 contre 177,5 TWh dans le Bilan Prévisionnel 2009).

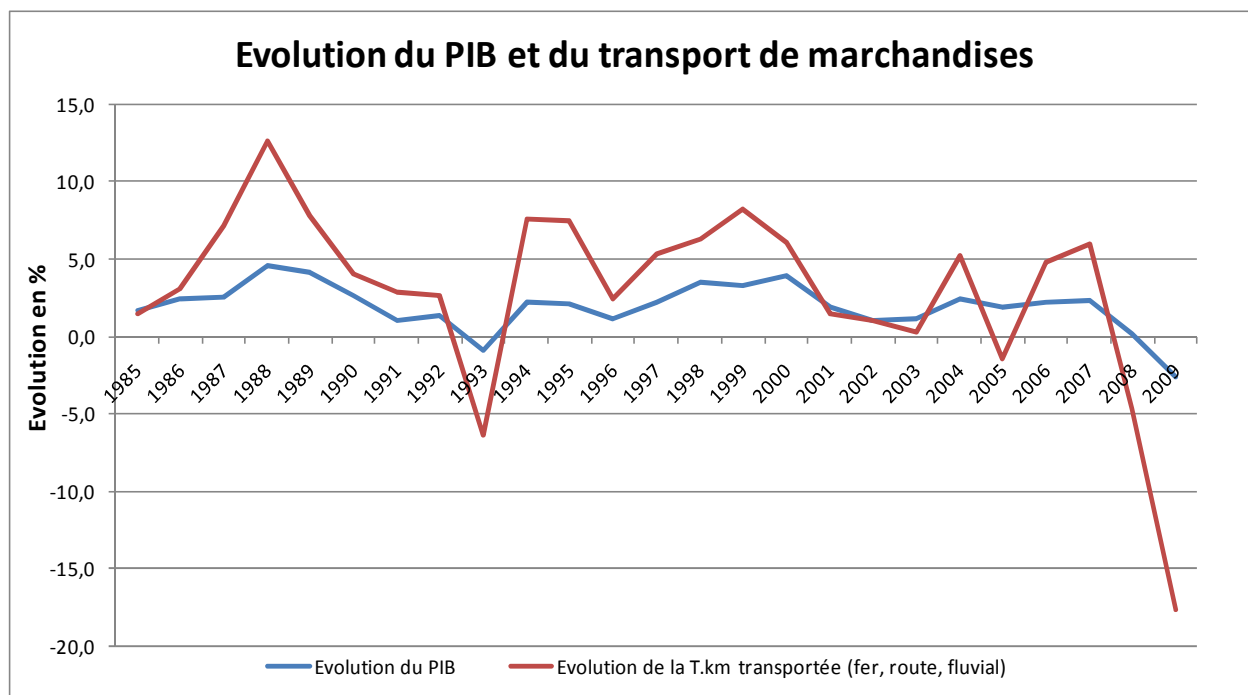
II.5.c. Hypothèses d'évolution des consommations du secteur des transports

L'un des arguments majeurs avancés par le maître d'ouvrage pour justifier le besoin de la mise en service de Penly 3 est de pouvoir « anticiper le développement de nouveaux usages consommateurs d'électricité ». Pour cela le maître d'ouvrage s'appuie sur une estimation de l'augmentation de la consommation d'électricité du secteur « transport » comprise entre 10 TWh et 20 TWh à l'horizon 2020. Cette hausse prend en compte le transport ferroviaire (passagers et marchandises) et la consommation des véhicules électriques. L'objectif de cette partie est donc de réaliser une estimation de l'impact de la mise en place de l'ensemble des mesures prévues dans le Grenelle de l'environnement et de la comparer aux estimations du maître d'ouvrage et du Bilan Prévisionnel RTE.

► Evolution du transport de marchandises sur la période 2010-2020

Dans un premier temps, une analyse de la corrélation entre évolution du PIB et du volume de transport de marchandises a été réalisée. Le graphique ci-dessous présente les évolutions du PIB et de la tonne.km¹⁴ transportée sur la période 1985 – 2009.

¹⁴ Unité de mesure correspondant au transport d'une tonne sur un kilomètre



Jusqu'en 2004, les évolutions du transport de marchandises et du PIB semblent fortement corrélées. Les variations importantes du PIB à la hausse ou à la baisse se répercutent de manière sévère sur le transport de marchandises. Même si cet effet semble moins évident sur la période 2005 – 2009, il est fort probable que dans les années futures, l'évolution de la tonne.km transportée suive celle du PIB.

Un calcul du rapport entre l'évolution du PIB et l'évolution de la t.km transportée a donc été effectué sur la période 2000 – 2007 et nous renseigne sur la sensibilité du transport de marchandise aux évolutions du PIB. Le tableau suivant illustre ce calcul en comparant les TCAM des t.km transportés par an France en fonction d'un TCAM du PIB fixé à 1,8 et 2% par an.

Variation annuelle du PIB	1,80%	2%
Variation de la t.km transportée	0,59%	0,65%

La partie II.5.b nous a vu remettre en cause certaines des hypothèses de croissance du PIB utilisée dans les études du ministère et de RTE, nous ne reprendrons donc pas ces hypothèses et utiliserons un TCAM de 1% en 2010 et de 1,8% à partir de 2011 (les évolutions d'avant 2010 sont les évolutions réelles du PIB).

► Transport de fret ferroviaire

- Objectifs du Grenelle

Les objectifs du Grenelle précisent qu'en 2012, la part du fret ferroviaire doit croître de 25 % par rapport à l'année 2006, et que la part modale doit atteindre 21,25 % du transport de marchandises à l'horizon 2020. Ce qui correspond à un report modal de 21 milliards de t.km de la route vers le fer d'ici à 2020 selon nos hypothèses de croissance explicitées ci-dessus. Ce report est dû à l'augmentation du transport combiné de marchandises (doublement en 2012 des t.km transportés par rapport à 2006) et à la création des autoroutes ferroviaires.

- Consommation électrique du fret ferroviaire

La consommation unitaire d'électricité à la tonne. kilomètre transportée sur le fer a été évaluée par une étude de l'ADEME.¹⁵ à 0,047 kWh.

En reprenant ces différentes données (PIB, part modale du fret ferroviaire, efficacité énergétique à la tonne. kilomètre), nous obtenons une consommation de 2,7 TWh en 2020.

¹⁵ « Etude de l'efficacité énergétique et des émissions CO2 du transport ferroviaire de marchandises »

► Evolution du transport de passagers

Les modes de transport ferré de passagers considérés sont les suivants :

- **SNCF** : TGV, Trains grandes lignes (Corail...), TER et Transilien ;
- **RATP** : métro, RER et tramways ;
- **Métro et tramways** de province.

Les objectifs du Grenelle concernant l'évolution du transport ferré de passager peut se résumer ainsi :

- 2000 kilomètres de Lignes à Grande Vitesse supplémentaires lancées d'ici à 2020, étude de 2500 kilomètres supplémentaires à plus long terme
- 1500 kilomètres de lignes nouvelles de tramways ou de bus protégées venant s'ajouter aux 329 existantes dans les 10 ans. Objectif de report modal équivalent de 18 milliards de Km parcourus par les usagers.
- Lancement d'un projet de rocade structurante par un métro automatique autour de Paris

L'évolution de l'activité du transport de passagers est généralement mesurée par le nombre de voyageurs.km effectués par an. Le MEDDAT estime que l'atteinte des objectifs du Grenelle de l'Environnement se traduira par une augmentation du nombre de voyageurs.km annuel en France, ce dernier atteignant une valeur de 130 milliards de voyageurs.km en 2020.

Le calcul de la consommation ensuite a été réalisé en se basant sur les facteurs d'émission moyens par voyageurs.km donnés par l'ADEME dans la méthode Bilan Carbone 2007. En 2020, nous obtenons une consommation de 11,3 TWh dans le cas de l'atteinte des objectifs du Grenelle de l'environnement.

► Véhicules électriques

- Estimation du marché

Les objectifs du Grenelle visent un parc de 2 millions de véhicules électriques en 2020. Ces objectifs de pénétration devraient être scindés entre deux catégories d'usagers :

- Les flottes captives des grandes entreprises devraient être rapidement touchées par ces mesures, certaines ayant déjà commencées à s'équiper ;
- Les ménages urbains seront sans aucun doute les premiers à s'équiper d'un véhicule électrique du fait d'un déploiement ciblé d'abord dans les grandes agglomérations. De plus, l'autonomie étant limitée par rapport à un véhicule conventionnel, la probabilité est forte que les ménages disposant d'au moins deux véhicules constituent le principal marché. Ce qui réduit a priori la pénétration du véhicule électrique au sein de la population.

Les flottes captives sont à l'heure actuelle estimées à environ 1 000 000 de véhicules. Il ne semble pas irréaliste de considérer que la moitié de ces véhicules seront électriques d'ici à 2020. Ainsi en considérant un parc de flotte captive de 1 400 000 véhicules en 2020, il reste donc un objectif de 1 250 000 véhicules particuliers fonctionnant à l'électricité d'ici à 2020.

En 2006, 8,6 millions de ménages disposaient d'au moins 2 voitures. En considérant que l'évolution du double-équipement suit la tendance actuelle, le nombre de ménages bi-motorisés pourraient atteindre 11,8 millions en 2020.

La part de ménages (parmi ceux ayant déjà au moins 1 automobile) équipés de véhicules électriques serait donc de 0,75 % en 2020. Cette part monte à 9 % pour les ménages bi-motorisés.

En mettant en place une dynamique de parc identique à celle décrite en annexes 1 et 3 pour les véhicules électriques des ménages urbains bi-motorisés, l'atteinte des objectifs du Grenelle se traduit par une forte pénétration des voitures électriques sur le marché. En effet ces derniers devraient augmenter leur part de marché (sur le marché des ventes de voitures des ménages urbains bi-motorisés), passant d'une part presque nulle dans les ventes en 2014 à une part de 42% en 2020. Bien qu'élevés, ces objectifs semblent atteignables si les moyens nécessaires, et notamment les installations de bornes de recharge, suivent les objectifs fixés par le Plan nationale des véhicules électriques et des voitures hybrides.

- Estimation du nombre de kilomètres parcourus par an

L'estimation du nombre de kilomètre parcourus par an pour les ménages ciblés (ménages urbains bi-motorisés) pour des motifs autres que vacanciers est basée sur l'utilisation du modèle Mobiter, développé au sein d'Energies Demain.

Mobiter est une base de données, constituée à partir de sources variées (comprenant par exemple le recensement général de la population et les résultats des enquêtes ménages déplacements) interprétées, actualisées et enrichies par des spécialistes du transport de personnes. Le modèle reconstitue par motif une série de données descriptives des déplacements : mode, portée, commune d'origine, commune de destination...

Le modèle donne 8 000 km parcourus pour la mobilité quotidienne par an (hors vacances et week-end) pour les ménages urbains bi-motorisés

- Estimation de la consommation électrique

L'ADEME donne une consommation électrique maximale aux 100 km de 25 kWh. Ainsi en croisant l'ensemble des données décrites précédemment on **obtient une consommation totale des véhicules électriques à l'horizon 2020 de 4 TWh.**

► Bilan

Dans le cas de l'application de l'ensemble des mesures du Grenelle de l'Environnement, on obtient donc une consommation électrique totale du secteur du transport d'environ 20,5 TWh, , soit une hausse de la consommation de ce secteur de 8 TWh par rapport à 2007.

	Consommation en TWh en 2020
Fret ferroviaire	2,7
Transport ferré de passagers	11,3
Véhicules électriques	4
Autres	2,5
Total	20,5

En fonction des scénarii simulés, RTE évalue la hausse des consommations de transport due à l'ensemble de ces mesures entre 5 et 10 TWh d'ici à 2020. Nos estimations de cette hausse sont donc en accord avec les évaluations du Bilan Prévisionnel 2009.

Le maître d'ouvrage prévoit quant à lui une hausse de la consommation comprise entre 10 TWh et 20 TWh à l'horizon 2020. Les objectifs du Grenelle étant déjà ambitieux, il semble peu probable d'obtenir des hausses supérieures à celles attendues par la mise en place du Grenelle. La fourchette de 10 à 20 TWh utilisée pour la justification de l'augmentation de la consommation des nouveaux usages semble donc trop élevée.

III. Politiques énergétiques alternatives

III.1. Reconstitution de la demande électrique nationale en 2008

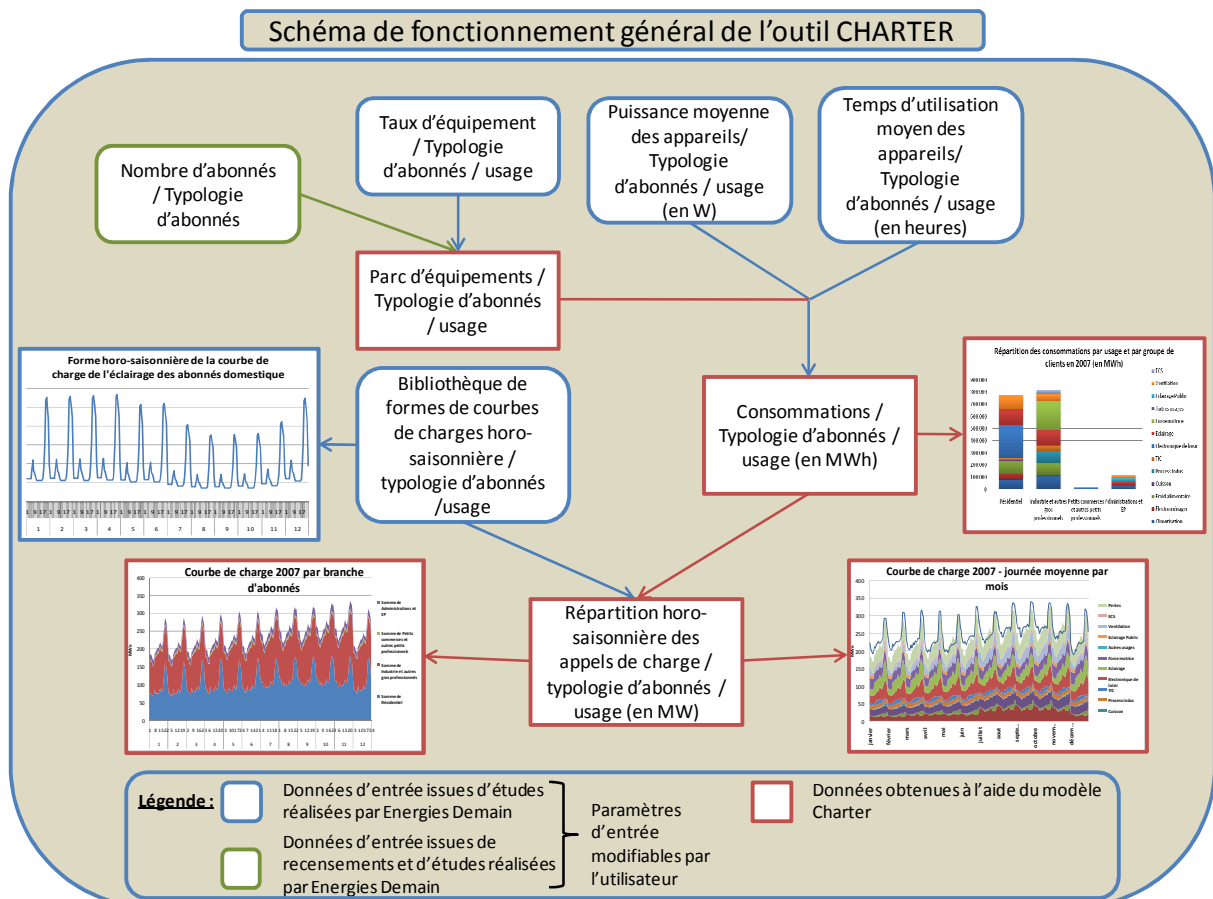
La première étape essentielle à l'étude prospective de la consommation électrique nationale est la reconstitution de la courbe de charge nationale 2008 par usage et par typologie d'abonnés. En effet un exercice prospectif cohérent doit se baser sur une compréhension fine des différents mécanismes et déterminants de la demande (nombre d'usagers par typologie, taux d'équipement par usage, puissance moyenne des équipements par usage, ...) afin de pouvoir les projeter selon des hypothèses qui seront définies ultérieurement.

Afin de répondre à ce besoin, Energies Demain a développé au cours de ces dernières années un modèle de reconstitution de la demande électrique horo-saisonnière appelé CHARTER (CHARGE TERritoiriale). En partant d'une description fine des différents consommateurs (résidentiel, tertiaire et industriel), de leurs équipements et de leurs comportements de consommation, ce logiciel permet la reconstitution des courbes de charge horo-saisonnières par usage (chauffage, éclairage, climatisation, froid positif, froid négatif, télévision, ... une cinquantaine d'usages étant ainsi répertoriés) et par typologie d'abonnés.

Le modèle se décompose en deux phases :

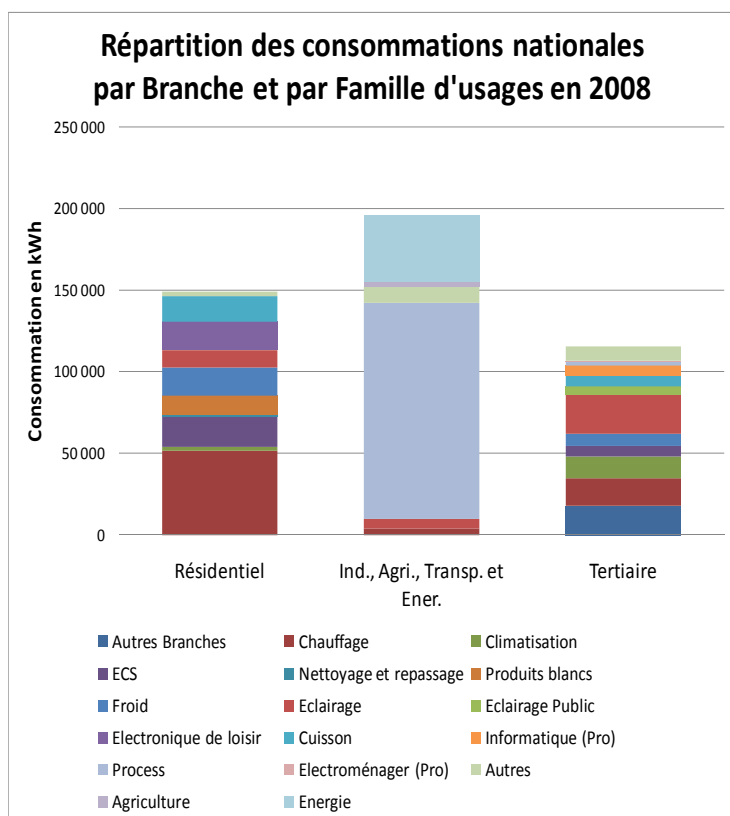
- Reconstitution des consommations électriques nationales par typologie d'abonnés et par usage (la description de la méthodologie est décrite en annexe 1)
- Répartition horo-saisonnière de ces consommations suivant trois journées types (semaine, samedi et dimanche)

Le schéma ci-dessous résume la méthodologie utilisée :



III.1.a. Reconstitution des consommations électriques nationales 2008 par usage et par typologie d'usagers

La reconstitution effectuée se fait selon une cinquantaine d'usages et une soixante de typologies d'usagers. Dans la suite de l'étude les résultats seront présentés de manière agrégée par famille d'usages et par secteur afin de rendre les résultats compréhensibles. Il est à noter qu'un coefficient de pertes de 7% a été pris en compte et que le calage des consommations en énergie s'est effectué à partir des données de consommation globales fournies par RTE pour l'année 2008. Nous obtenons donc les résultats suivants en consommation pour l'année 2008 (une description plus précise des consommations des différentes branches est disponible en annexe 2) :



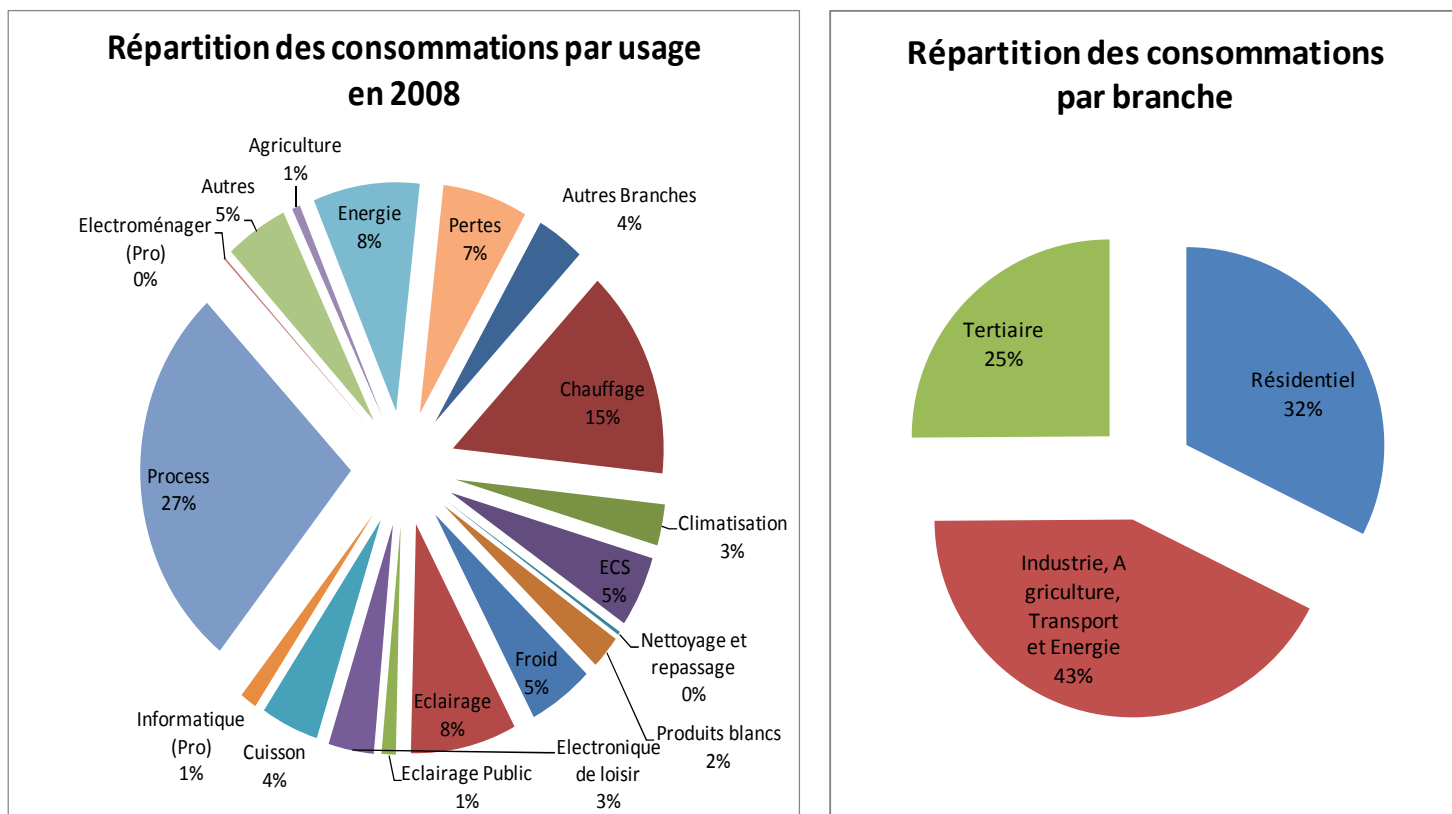
Consommation en GWh	Résidentiel	Industrie, Agriculture, Transport et Energie	Tertiaire	Total
Autres Branches et pertes	0	0	18 161	18 161
Chauffage ¹⁶	51 739	4 127	16 619	72 485
Climatisation	580	0	13 610	15 908
ECS	18 754	0	5 895	24 648
Nettoyage et repassage	1 140	0	0	1 140
Produits blancs	11 621	0	0	11 621
Froid	16 896	0	7 777	24 674
Eclairage	10 801	5 757	23 583	40 141
Eclairage public	0	0	5 370	5 370
Electronique de loisir	17 077	0	0	17 077
Cuisson	15 798	0	6 191	21 989
Informatique (Pro)	0	0	6 362	6 362
Process	0	132 003	2 598	134 601
Electroménager (Pro)	0	0	541	541
Autres	4 900	10 094	8 792	22 068
Agriculture	0	3 103	0	3 103
Energie	0	40 414	0	40 414
Pertes	10 451	13 685	8 085	32 221
Total	159 758	209 183	123 585	492 526

Les consommations électriques nationales de chauffage des secteurs résidentiel et tertiaire sont généralement source de désaccord entre les différents acteurs du monde de l'énergie. Ces consommations ont donc été comparées pour l'année 2007 (dernière année dont les données du Service de l'observation et des statistiques (SOeS) sont publiques) dans le tableau suivant :

¹⁶ Pour le secteur Résidentiel les consommations indiquées regroupent les consommations de chauffage électrique (49,6 TWh) et les consommations des auxiliaires de chauffage de l'ensemble des systèmes de chauffage des logements (2,1 TWh).

	Consommations électriques de chauffage en 2007 ¹⁷ (en TWh) (* A climat corrigé, ** A climat Réel)		
	SOeS d'après CEREN*	RTE**	Energies Demain**
Résidentiel	43,2	39,1	44,3
Tertiaire	17,1	18,3	16,4
Total	60,3	57,3	60,7

La répartition des consommations totales par usage et par secteur en 2008 est la suivante :



Les consommations électriques nationales sont donc réparties de manière équilibrée entre trois grands groupes de consommateurs :

- **Le secteur résidentiel** : 160 TWh de consommation électrique annuelle (150 TWh sans les pertes) soit 32% de la consommation nationale
- **Le secteur tertiaire** : 123 TWh de consommation électrique annuelle (116 TWh sans les pertes) soit 25% de la consommation nationale
- **Les secteurs industriel, agricole, du transport et de l'énergie** : 210 TWh de consommation électrique annuelle (195 TWh sans les pertes) soit 43% de la consommation nationale

La consommation électrique nationale totale était donc de l'ordre de 490 TWh en 2008 (460 TWh sans les pertes). La répartition des consommations par usage fait ressortir 6 usages principaux qui regroupent presque 70% des consommations électriques nationales en 2008 :

- **Les process** : 27% de la consommation électrique nationale (135 TWh) dont la majeure partie proviennent de l'Industrie
- **Le chauffage** (dont les auxiliaires de chauffage) : 15% de la consommation électrique nationale (72TWh). Ces consommations se répartissent comme suit :
 - 51 TWh pour le secteur résidentiel soit 71% des consommations nationales de Chauffage

¹⁷ Les mois d'hiver de l'année 2007 était moins froids que les mois d'hiver du climat normal. La correction climatique augmente donc les valeurs de consommation de chauffage

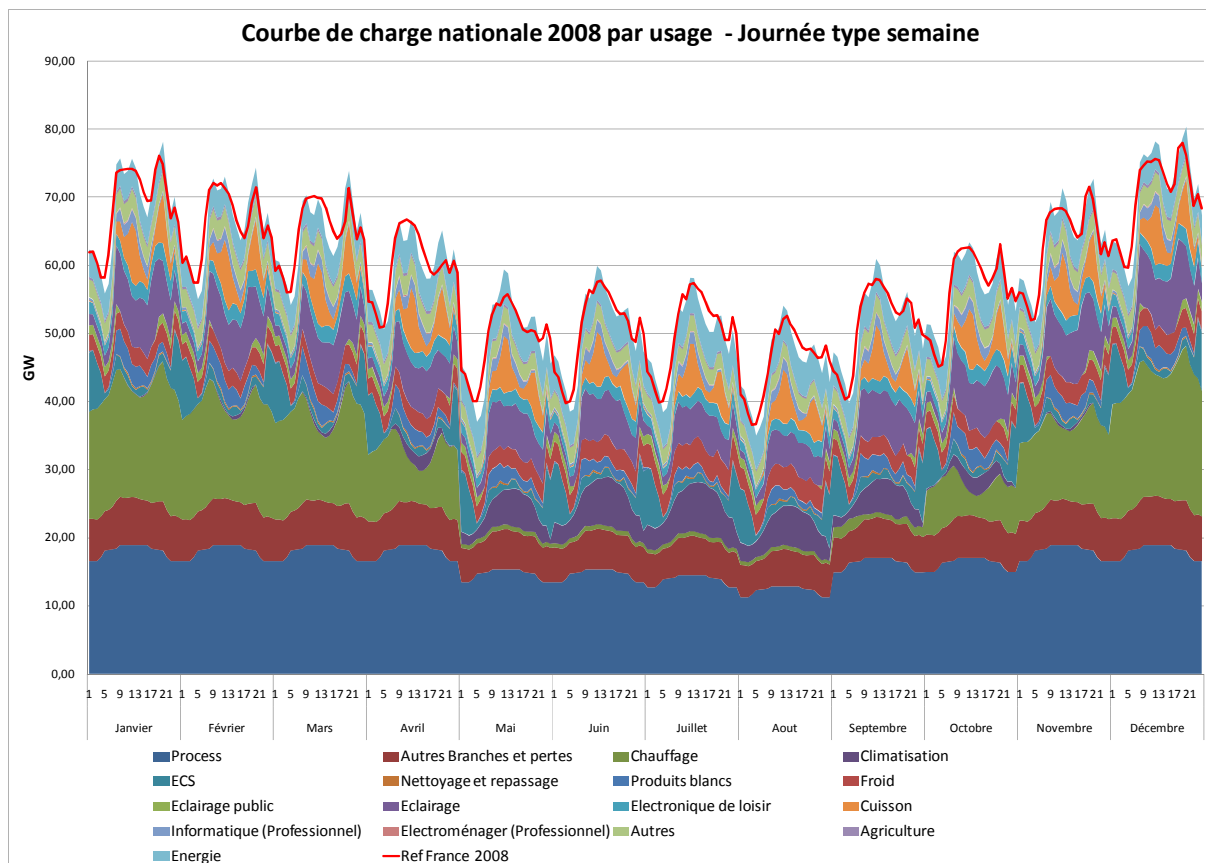
- 17 TWh pour le secteur tertiaire soit 23% des consommations nationales de Chauffage
- 4 TWh pour le reste des usagers soit 6% des consommations nationales de Chauffage
- **L'éclairage** : avec un peu plus de 40 TWh de consommation nationale, l'éclairage est le troisième usage le plus représenté avec 8% des consommations électriques nationales.
- **L'énergie** : cet usage concerne environ 8% des consommations totales avec 40 TWh de consommation annuelle.
- **Le froid et l'eau chaude sanitaire (ECS)** : ces deux usages concernent chacun 5% des consommations électriques annuelles totales de la France, soit environ 25 TWh de consommation annuelles. Ces usages ont la particularité d'être principalement concentrés dans les secteurs résidentiel et tertiaire.

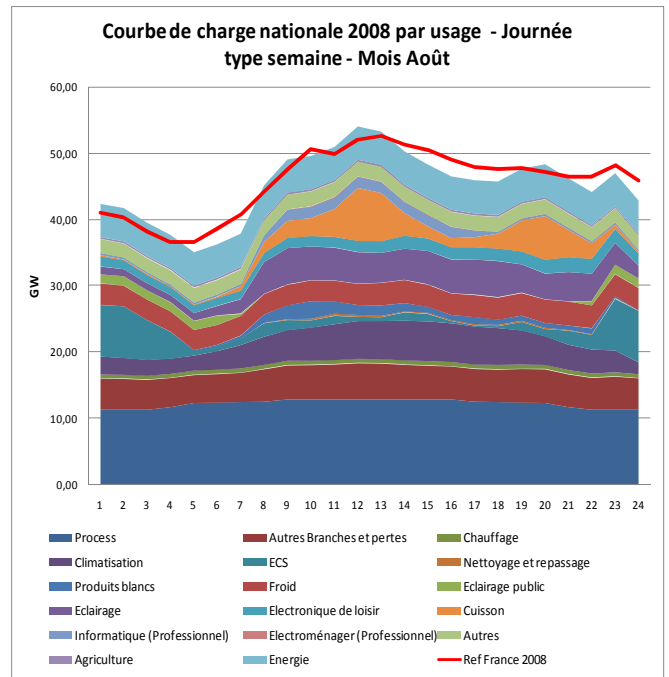
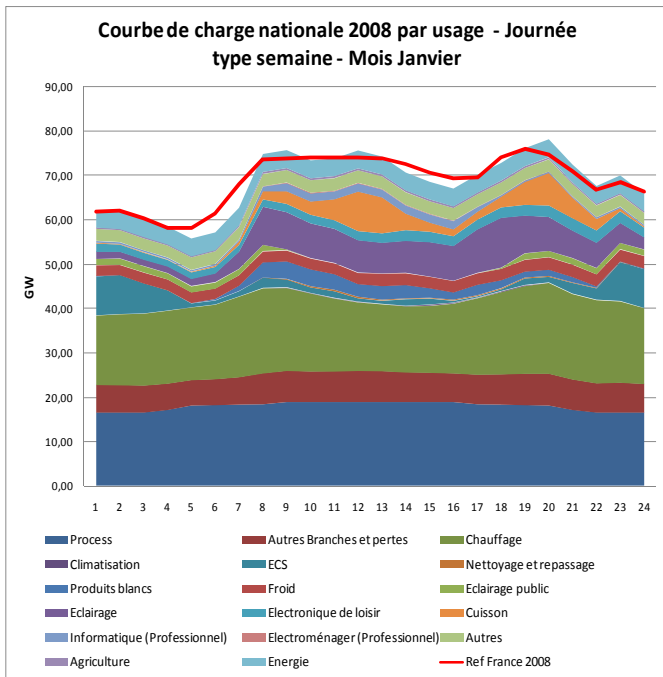
Dans la suite de l'étude ces usages devraient donc concentrer une forte part des gisements de Maîtrise de la Demande en Electricité (MDE) exploités par les scénarii prospectifs alternatifs au projet Penly. Cependant il est à noter, et nous le montrerons par la suite, que ces usages ne sont pas les usages dont la part devrait augmenter dans les années à venir, au contraire des nouveaux usages tels que l'électronique de loisir et l'informatique qui ne cessent de se développer.

III.1.b. Répartition horo-saisonnière des appels de charge 2008 par usage et par typologie d'usagers

Cette reconstitution des consommations achevée nous pouvons répartir ces consommations sur l'année pour retomber sur les appels de charge nationaux 2008. Ces appels de charge sont représentés par la courbe rouge et sont tirées des données historiques RTE pour l'année 2008 (ces données sont moyennées par mois et par journée type afin d'être adaptées à une comparaison avec les sorties de l'outil CHARTER). Les résultats obtenus sont donc les suivants :

► Répartition horo-saisonnière des appels de charge 2008 par usage

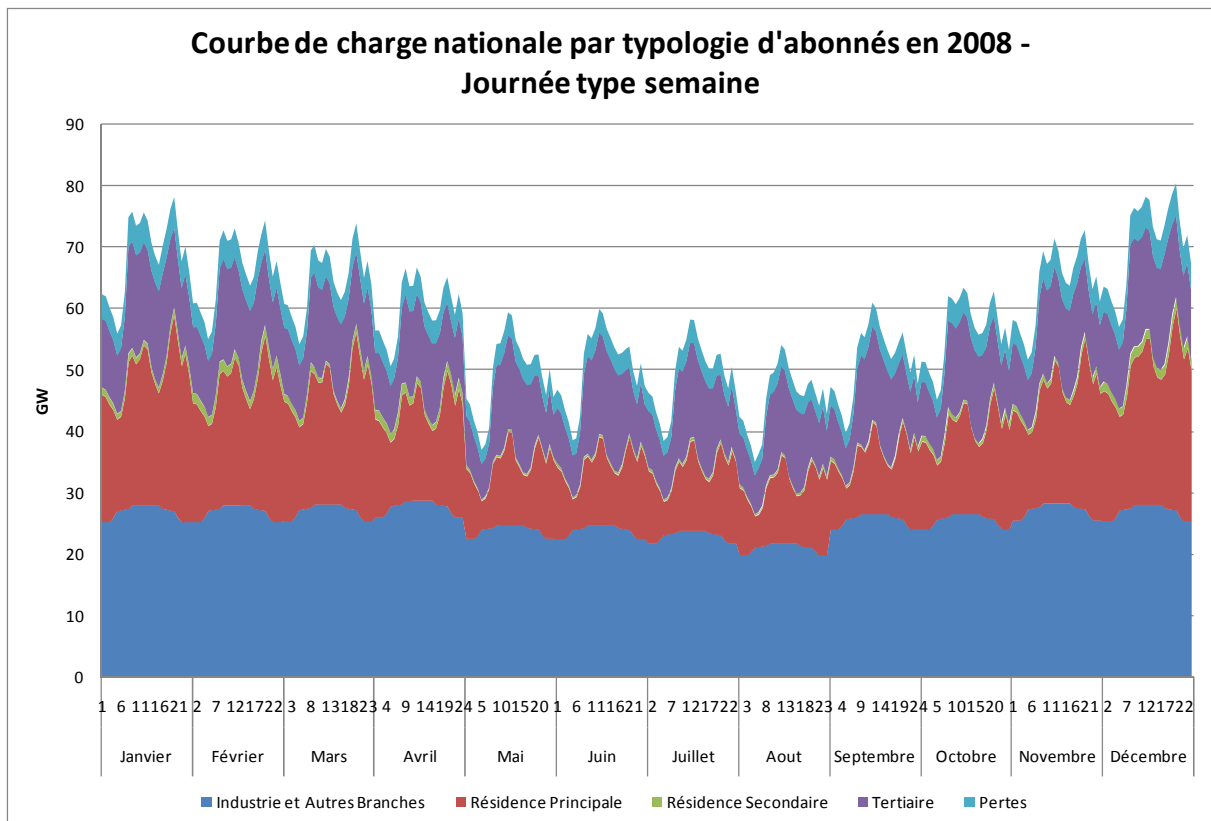




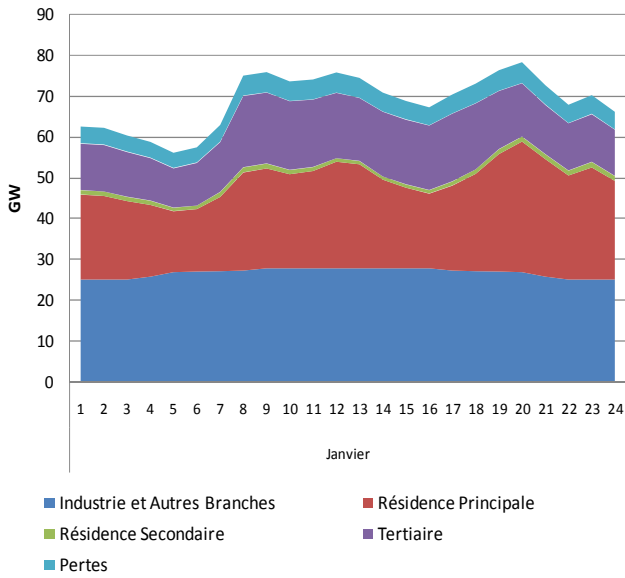
Les résultats obtenus n'ont que peu de différences avec la courbe de charge RTE de référence en 2008 (moins de 4% en moyenne) et sont donc validés (les courbes de charge des autres mois de l'année sont présentées en Annexe 3). Ils pourront ainsi être réutilisés par la suite comme base de la mise en place des différents scénarii prospectifs.

► Autres représentations graphiques

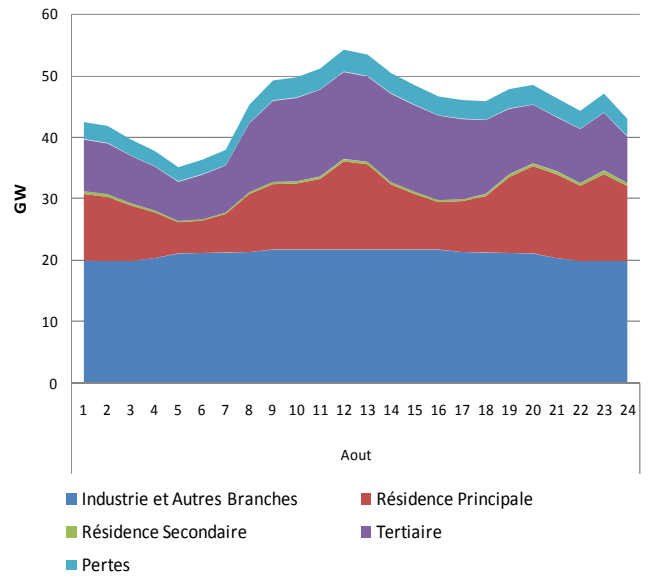
Il est également possible d'étudier l'influence des différents secteurs sur les appels de charge horaires au cours des différents mois de l'année. On s'aperçoit ainsi (cf. graphiques ci-dessous) que les fluctuations journalières sont majoritairement dues au secteur résidentiel et dans une moindre mesure au tertiaire.



Courbe de charge nationale 2005 par typologie d'abonnés- Journée type semaine - Mois Janvier



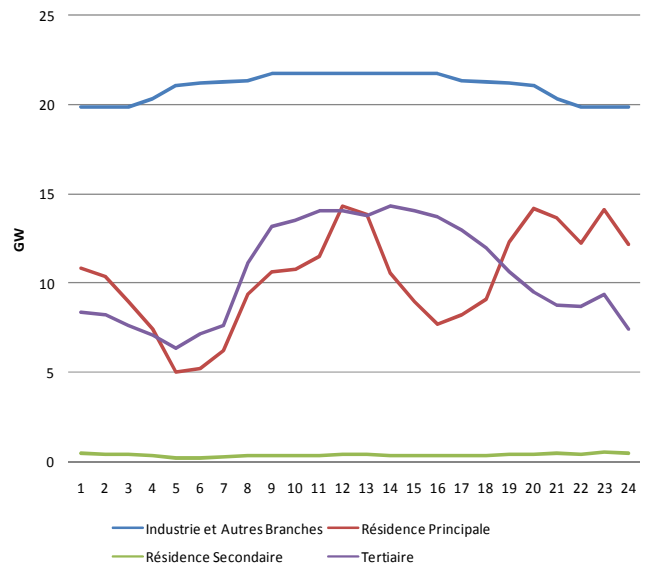
Courbe de charge nationale 2005 par typologie d'abonnés- Journée type semaine - Mois Août



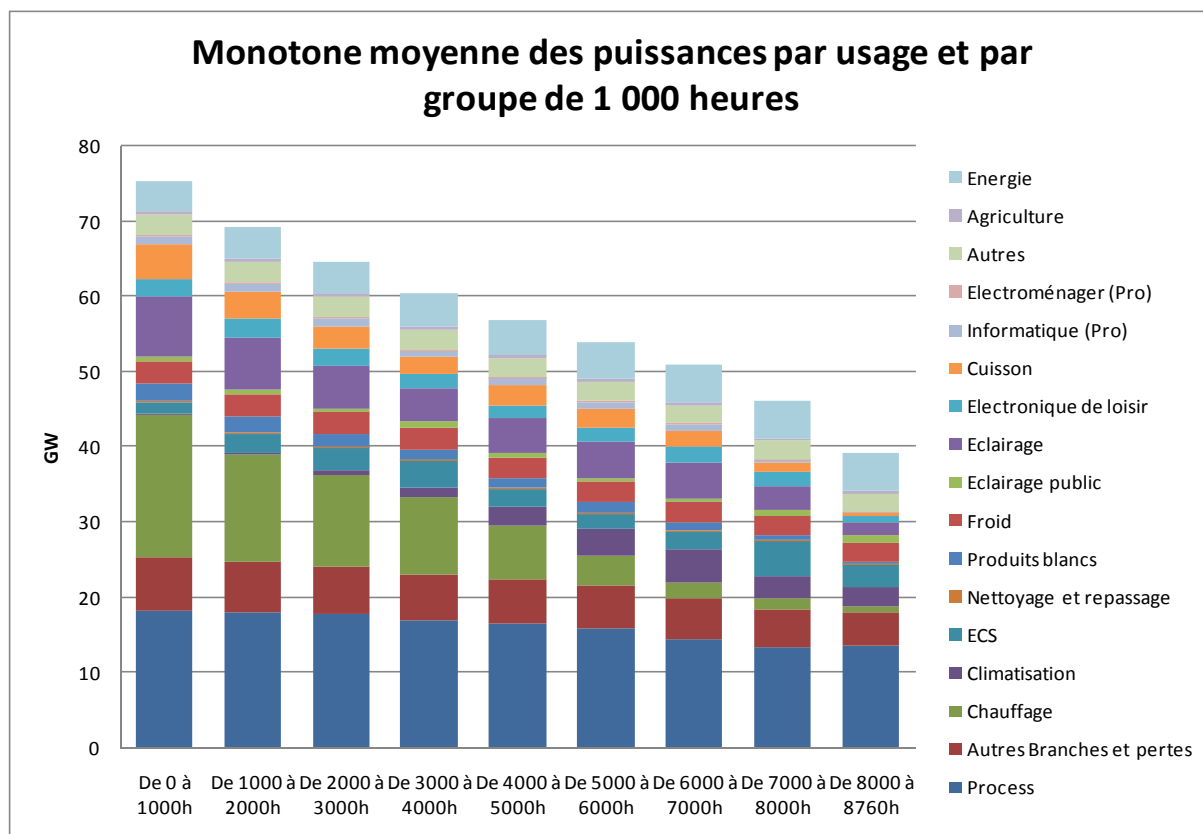
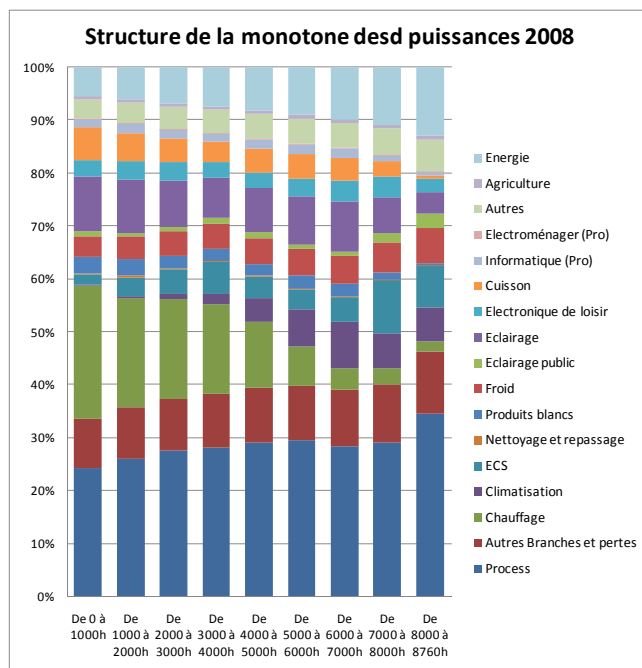
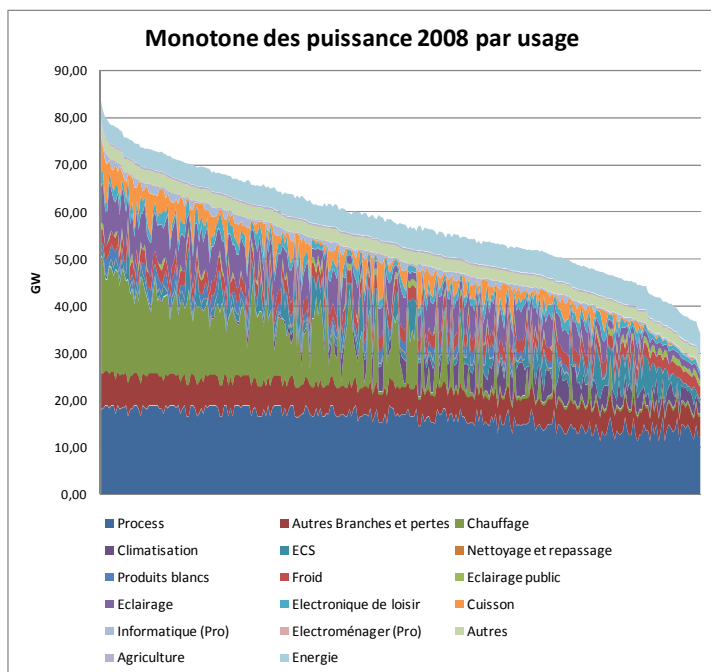
Courbe de charge nationale 2005 des différentes typologies d'abonnés- Journée type semaine - Mois Janvier



Courbe de charge nationale 2005 des différentes typologies d'abonnés- Journée type semaine - Mois Août



Le modèle nous permet également de reconstituer la monotone des puissances de la France en 2008 :



Sur les usages identifiés, les usages process et chauffage sont clairement ceux qui contribuent le plus à la pointe avec environ 25% des appels de charge chacun, suivi de l'éclairage (environ 10%) dont la part devrait baisser dans les prochaines années du fait des nouvelles réglementations. Cependant les process, étant donné leur constance tout au long de l'année, ne peuvent être considérés comme des usages de pointe. Les graphiques ci-dessous montrent d'ailleurs de manière assez immédiate que le chauffage est l'usage dont la responsabilité sur la forte pente de la monotone des puissances est la plus forte.

III.2. Description des scénarii prospectifs et des gisements d'économie associés

Comme expliqué en introduction de cette étude, 5 scénarii prospectifs de demande en électricité en 2020 sont proposés :

- **Scénario « pré-Grenelle »** : Ce scénario prend en compte uniquement les mesures décidées avant le Grenelle de l'Environnement
- **Scénario « AME » (Avec Mesures Existantes)** : Ce scénario prend en compte l'ensemble des mesures décidées avant le 1er Janvier 2010
- **Scénario « Mesures Grenelle »** : Ce scénario prend en compte l'ensemble des mesures décidées par le Grenelle et leurs effets
- **Scénario « Objectifs Grenelle »** : Ce scénario prendrait en compte la réalisation de l'ensemble des objectifs du Grenelle à l'horizon 2020 et non plus uniquement l'effet réel des mesures actuellement décidées.
- **Scénario « Volontariste »** : Certains gisements de Maîtrise de la Demande en Electricité (MDE) ne sont pas exploités dans les objectifs ciblés par le Grenelle de l'Environnement. Ce scénario a donc pour rôle de rassembler une part de ces gisements en plus des actions déjà prévues par le Grenelle afin de représenter un scénario de demande bas.
- **Scénario « Volontariste avec baisse du chauffage électrique »** : Ce scénario reprend l'ensemble des hypothèses du scénario « Volontariste » en y intégrant un report d'une part des logements anciens se chauffant à l'électricité vers des systèmes de chauffage fonctionnant au gaz et au bois.

La pénétration des voitures électriques dans le parc national de véhicules augmentera en fonction de la vigueur des politiques de MDE mises en place dans les différents scénarii prospectifs.

Les hypothèses utilisées pour les différentes simulations sont décrites dans la suite de ce chapitre. Etant donné les références que représenteront les *scénarii prospectifs énergie – climat – air de référence concernant la France dans un cadre européen et international à l'horizon 2030* que vont réaliser prochainement la DGEC et le CGDD et leur la forte ressemblance avec nos scénarii prospectifs, une partie décrit également ces derniers.

III.2.a. Description des scénarii énergie - climat – air de référence concernant la France dans un cadre européen et international à l'horizon 2030

Les définitions de ces scénarii par la DGEC et le CGDD sont les suivantes :

- **Un scénario « avec mesures existantes »**, ou « à caractère tendanciel » complet, indiquant la trajectoire de la demande d'énergie, de l'offre énergétique, et des émissions de GES et de polluants atmosphériques que devraient induire toutes les mesures visant la réalisation des objectifs énergétiques français, et la réduction des émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques, effectivement adoptées ou exécutées avant le 1er janvier 2010 ;
Ce scénario actualisera notamment le scénario énergétique de référence DGEMP-OE de 2008. Il doit décrire l'évolution du système énergétique français, avec des hypothèses « tendancielles », en particulier pour la macro-économie nationale, internationale et européenne, en intégrant les effets conjoncturels de la crise économique et des mesures de relance associées, et en supposant que n'ait été mise en place aucune politique et mesure autre que celles déjà adoptées ou exécutées à la date de référence. Il inclut également l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques d'origine non énergétique.
- **Un scénario « avec mesures supplémentaires (AMS), objectif Grenelle »**, indiquant la trajectoire de la demande d'énergie et l'offre d'énergie et des émissions de GES et de polluants atmosphériques que pourrait induire la mise en œuvre effective de toutes les mesures prévues et visant spécifiquement la réalisation des objectifs énergétiques

français, et la réduction des émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques, postérieures au premier janvier 2010 ; le scénario actualisera notamment le scénario « Grenelle central » de 2008, de l'ex DGEMP, en intégrant les effets conjoncturels de la crise économique et des mesures de relance associées. Il inclut également l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques d'origine non énergétique.

- **Un scénario « avec mesures supplémentaires (AMS), mesures »** qui prendrait uniquement en compte les mesures réellement décidées à ce jour, et leurs effets (et pas les objectifs finaux).
- **Un scénario tendanciel « pré Grenelle »**, qui décrirait l'évolution du système énergétique français, avec des hypothèses « tendancielles » préalables au Grenelle (reprenant en partie le socle d'hypothèses du scénario tendanciel 2008 de l'ex DGEMP)

III.2.b. Définition des différents scénarii de demande d'électricité

Afin de pouvoir donner un caractère pédagogique à l'étude de l'impact d'actions de Maîtrise de la Demande en Electricité sur les consommations nationales, les différents scénarii que nous nous proposons de simuler dans la suite se baseront sur les mêmes hypothèses d'évolution économique et démographique.

► Hypothèses d'évolution économiques et démographiques

Nos hypothèses d'évolution démographiques seront les mêmes que celles utilisées dans le scénario « Référence » du Bilan Prévisionnel 2009, à savoir une population de 66,1 Millions de personnes, 31 Millions de ménages et 28,2 Millions d'actifs en 2025.

L'analyse effectuée dans la partie 2 nous a montré que les taux de croissance annuelle moyens du PIB utilisés dans les études de RTE et du MEEDDAT semblaient trop optimistes. Cependant afin de rendre la comparaison possible entre les scénarii que nous effectuons et ceux réalisés dans le Bilan Prévisionnel 2009 un TCAM du PIB de 2% sera pris sur la période considérée.

► Hypothèses d'évolution de l'efficacité énergétique et du transfert entre énergies

Le tableau ci-dessous reprend les principales hypothèses d'évolution de l'efficacité énergétique dans les différents scénarii simulés (hors scénarii « Volontariste »). Etant donné le temps imparti pour l'étude, l'impact de l'ensemble des incitations financières n'a pu être simulé. Ainsi certaines mesures ne sont pas présentes même si, en toute rigueur, ces dernières auraient du être présentées dans le cadre de la définition de nos scénarii.

Secteur	Mesure	Scenarion "pré-Grenelle"	Scenarion "AME"	Scenarion "Mesures Grenelle"	Scenarion "Objectifs Grenelle"
Parc Bâti	Rénovation du bâti existant		- Prolongation du Crédit d'impôt Développement Durable jusqu'en 2012 - Eco Prêt à Taux Zéro	- Prolongation du Crédit d'impôt Développement Durable jusqu'en 2012 - Eco Prêt à Taux Zéro	Baisse des consommations d'énergie du parc bâti existant de 38% d'ici à 2020
	Réglementation thermique dans le neuf	RT 2005 et labels Haute Performance Energétique et Très Haute Performance Energétique	RT 2005 et labels Haute Performance Energétique et Très Haute Performance Energétique	RT 2012 et Label Basse Consommation Bâtiment à Energie positive après 2020	RT 2012 et Label Basse Consommation Bâtiment à Energie positive après 2020
	Réglementation thermique dans l'existant	RT éléments par éléments (décrets de 2007)	RT éléments par éléments (arrêté de 2008)	RT éléments par éléments (arrêté de 2008) Label Haute Performance Energétique Rénovation	RT éléments par éléments (arrêté de 2008) Label Haute Performance Energétique Rénovation

	Rénovation du bâti public et tertiaire		audit d'efficacité énergétique de l'ensemble des bâtiments publics d'ici la fin 2010	Idem que le scénario AME + - Obligation de rénovation d'ici 2020 de l'ensemble des bâtiments publics et tertiaires	Pour les bâtiments publics : objectif de réduction de 40 % des consommations d'énergie et de 50 % des émissions GES
	Logements sociaux				Rénovation des 800 000 logements sociaux les plus énergivores (passage des consommations supérieures à 230 kWhEP/m ² /an à 150 kWhEP/m ² /an
Efficacité énergétique des équipements	Directives Eco-Conception EUP (« Energy Using Product »)		Directive eco-conception sur les ampoules, la veille des appareils, l'éclairage des rues et des bureaux, la performance des chargeurs	Directive eco-conception sur les ampoules, la veille des appareils, l'éclairage des rues et des bureaux, les moteurs électriques, les téléviseurs, les appareils de froid, les lave-linges et lave-vaisselles, ...	Directive eco-conception sur les ampoules, la veille des appareils, l'éclairage des rues et des bureaux, les moteurs électriques, les téléviseurs, les appareils de froid, les lave-linges et lave-vaisselles, ...
	Développement du solaire thermique	Plan Soleil et Crédit d'Impôt Développement Durable	Fonds chaleur, Crédit d'impôt Développement Durable, éco-prêt à taux zéro, Réglementation Thermique 2012	Fonds chaleur, Crédit d'impôt Développement Durable, éco-prêt à taux zéro, Réglementation Thermique 2012	0,9 Mtep de production solaire thermique en 2020
Transports	Report modal	Mise en place des deux premières autoroutes ferroviaires	- Mise en place des deux premières autoroutes ferroviaires - Développement des transports collectifs en site propre : 1er appel à projets en 2009 - Développement des Lignes à Grande Vitesse (Bretagne Pays de la Loire, Est européenne, Paris-Orléans-Clermont-Ferrand-Lyon - Lton - Turin, Montpellier - Perpignan...)	Idem que le scénario AME + - Engagement national pour le fret ferroviaire (créer un réseau d'autoroutes ferroviaires cadencées, doubler le transport combiné de marchandises : reporter plus de 500 000 camions / an sur le fer d'ici 2020) - Développement des transports collectifs en site propre : 1er appel à projets en 2009 + 2ème appel à projets en 2010	Idem que pour le scénario « Mesures Grenelle » + - Objectif de développement hors de l'île de France de 1800 km de transports collectifs en site propres - Objectif de construction d'ici 2020 de 2000 kms de lignes à grande vitesse et définition d'un programme supplémentaire de 2500 kms
	Développement des voitures électriques		Développement des voitures électriques et hybrides calé sur le prolongement des tendances observées	Plan national pour le développement des véhicules électriques et hybrides rechargeables	- 2 000 000 de voitures électriques en circulation en 2020 et prolongement de la dynamique jusqu'en 2030

Les différents scénarii essayant de représenter des évolutions possibles des consommations électriques nationales au travers d'une prise en compte nationale plus ou moins forte des préoccupations environnementales, des hypothèses de prise de conscience de ces enjeux par la population sont associés aux mesures « techniques » présentées ci-dessus. Ces évolutions se traduisent dans nos hypothèses par deux types de modification comportementales différentes :

- **Une limitation plus importante du gaspillage** (l'extinction systématique des lumières dans les pièces non utilisées d'un bâtiment par exemple) dans les scénarii « environnementaux » se traduisant principalement dans l'outil CHARTER par une baisse des temps d'utilisation de certains équipements.

- **Une modification des comportements d'achat des différents usagers.** En fonction des scénarii étudiés, ces derniers auront une tendance plus ou moins forte à l'achat d'équipements performants (ces tendances étant bien entendu cadrées par les dynamiques de parcs d'équipements décrites en Annexe 1) et à l'utilisation d'usages énergivores tels que la climatisation.

Les différentes mesures supplémentaires mises en place pour les scénarii « Volontaristes » par rapport au scénario « Objectifs Grenelle » peuvent être résumées ainsi :

		Principales mesures supplémentaires du scénario volontariste par rapport au scénario Objectifs Grenelle
Réhabilitation thermique du parc bâti existant	Résidentiel	- Conservation du rythme de réhabilitation nécessaire à l'atteinte de l'objectif Grenelle, mais augmentation de la qualité des gestes de réhabilitation (-50% sur le besoin de chauffage des logements d'avant 1975) - Transferts plus importants du chauffage électrique vers le bois et le gaz lors de changements de systèmes de chauffage dans le scénario « Volontariste avec baisse du chauffage électrique »
	Tertiaire	Gain de 20% sur les consommations de chauffage de l'ensemble des surfaces tertiaires
Limitation des consommations des usages spécifiques		Interdiction à la vente des lave-vaisselles, lave-linges et appareils de froid (réfrigérateurs, combinés et congélateurs) de catégorie énergétique inférieure à A+ à partir de 2015 Création d'une catégorie A+++
		Interdiction à la vente des sèche-linge de catégorie énergétique inférieure à B à partir de 2015
		Augmentation progressive de l'efficacité énergétique des téléviseurs vendus pour atteindre une baisse de 50% des consommations unitaires d'ici à 2020
		Limitation de la puissance moyenne en fonctionnement des ordinateurs vendus à 100W en 2015 et à 90W en 2020
		Limitation du double et triple équipement en téléviseurs par le biais du passage d'une redevance par ménage à une redevance par appareil
		Limitation de l'augmentation du taux d'équipement en sèche linge par le biais d'un malus à l'achat
		Limitation du développement de la climatisation dans le secteur tertiaire par le biais de la réglementation dans le neuf et dans l'existant
		Politique volontariste sur l'Eclairage Public : diminution des temps d'utilisation et des puissances installées
Transport		+ 1 000 000 de véhicules électriques en 2020
		- 40 % du transport de marchandises assuré par le ferroviaire en 2020
		- + 15 % de voyageurs.km SNCF sur le rail par rapport aux objectifs Grenelle en 2020 - + 20 % voyageurs.km par rapport aux objectifs Grenelle sur les transports en commun ferrés en 2020.

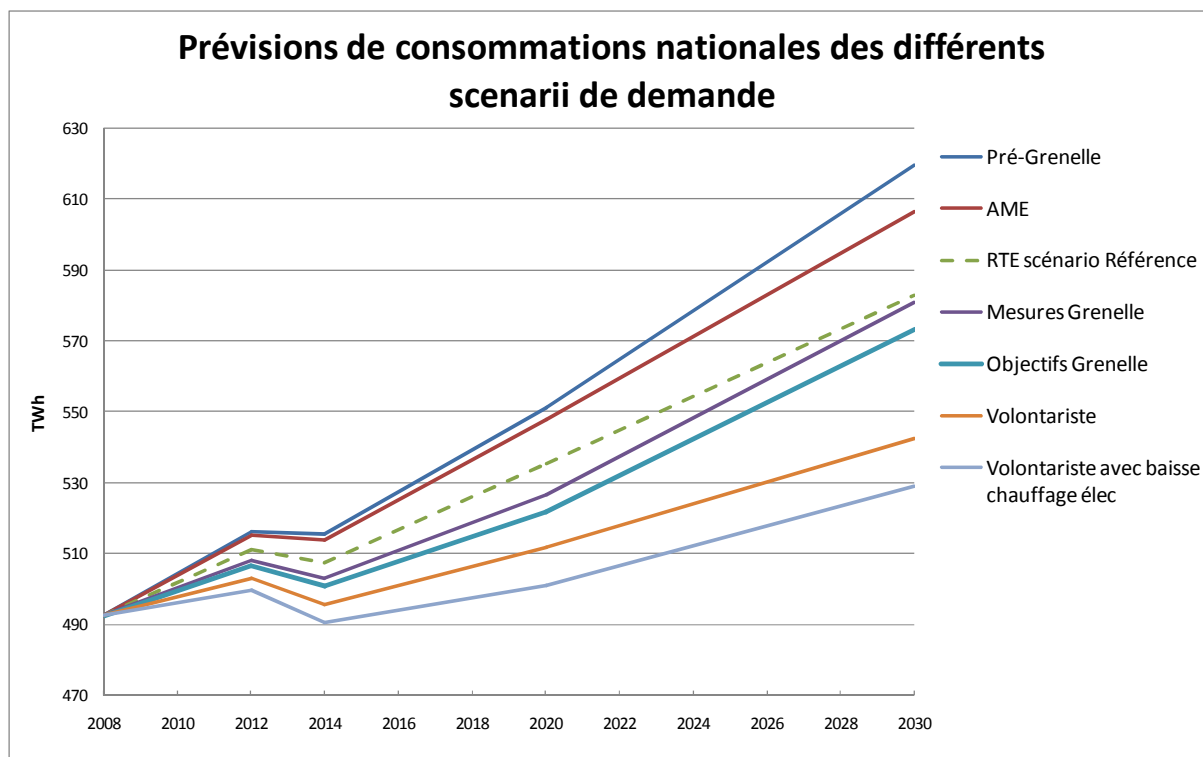
Ces différentes mesures supplémentaires se veulent réalistes et ne vont pas toucher l'ensemble des gisements d'économie d'électricité actuellement disponibles.

III.3. Evolution future de la demande électrique nationale

Le chapitre précédent nous a permis de définir 6 scénarii d'évolution possible de la demande en fonction des différentes mesures de réduction mises en place sur cette dernière. Il reste maintenant à évaluer quantitativement les impacts futurs sur les appels de charge nationaux des scénarii retenus. Pour cela nous utilisons de nouveau le modèle CHARTER en projetant les différents déterminants (les hypothèses utilisées dépendant du scénario décrit) selon la méthodologie décrite en annexe 1.

III.3.a. Résultats en consommation

Les résultats globaux obtenus pour les différents scénarii sont résumés dans les tableaux et le graphique ci-dessous (les estimations de consommation du scénario RTE en 2030 se font sur la base d'une prolongation des tendances observées entre 2020 et 2025 dans le Bilan Prévisionnel 2009) :



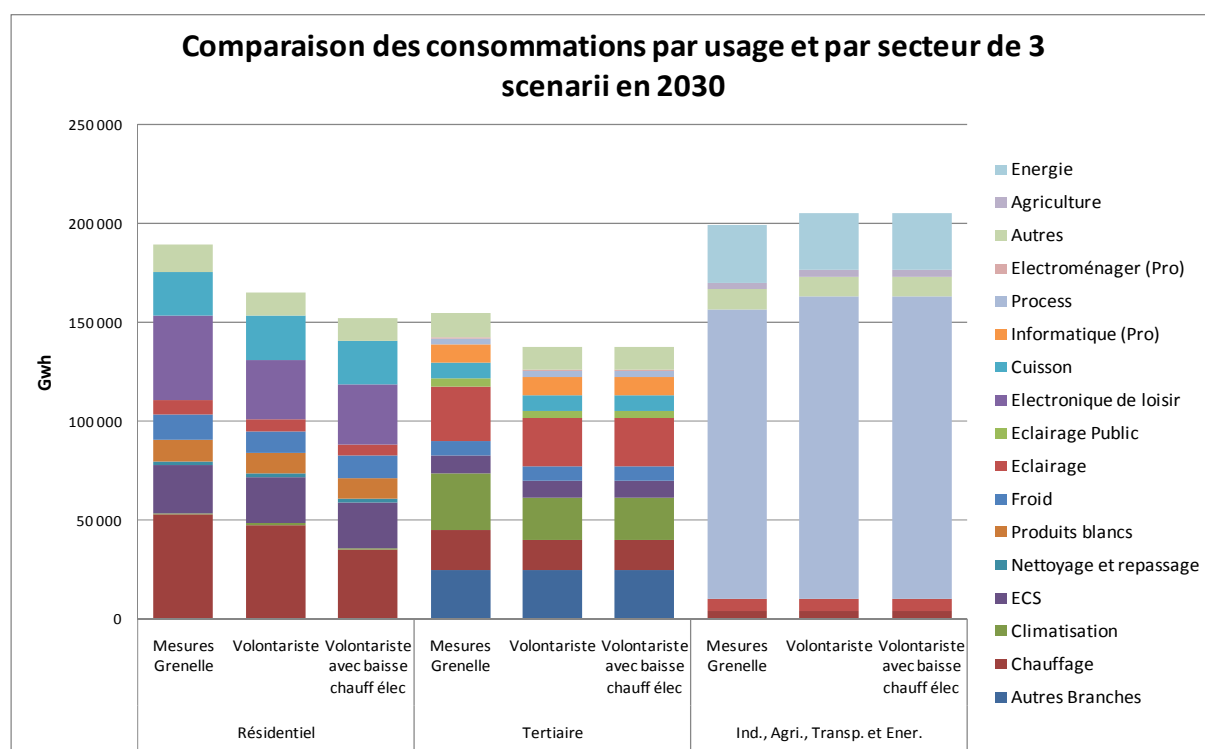
	Consommations 2020 en TWh					
	Pré-Grenelle	AME	Mesures Grenelle	Objectifs Grenelle	Volontariste	Volontariste avec baisse chauffage elec
Résidentiel	184 680	180 306	169 826	167 329	161 253	151 237
Tertiaire	138 375	137 623	135 683	135 227	125 774	125 774
Industrie et Autres Branches	192 108	194 108	186 716	185 119	191 319	191 319
<i>Industrie (sans Autres Branches)</i>	129 293	129 293	120 901	117 304	117 304	117 304
<i>Autres Branches</i>	62 815	64 815	65 815	67 815	74 015	74 015
Pertes	36 061	35 843	34 456	34 137	33 484	32 783
Total	551 224	547 880	526 680	521 813	511 831	501 114

	Consommations 2030 en TWh					
	Pré-Grenelle	AME	Mesures Grenelle	Objectifs Grenelle	Volontariste	Volontariste baisse chauffage élec
Résidentiel	216 424	207 738	189 300	184 220	164 340	151 796
Tertiaire	155 849	154 366	154 608	153 548	137 445	137 445
Industrie et Autres Branches	206 897	204 678	198 971	198 239	205 239	205 239
<i>Industrie (sans Autres Branches)</i>	145 310	134 396	125 689	121 957	121 957	121 957
<i>Autres Branches</i>	61 587	70 282	73 282	76 282	83 282	83 282
Pertes	40 542	39 675	38 002	37 521	35 492	34 614
Total	619 713	606 457	580 881	573 528	542 515	529 093

Les consommations électriques nationales varient donc entre 500 et 550 TWh en 2020 et entre 530 et 620 TWh en 2030 selon les scénarii, le scénario « Mesures Grenelle » étant celui dont les résultats se rapprochent le plus du scénario « Référence » de RTE (Consommations intérieures respectivement égales à 527 et 535 TWh en 2020).

On s'aperçoit que les gains de consommation entre les scénarii « Volontaire » et « Objectifs Grenelle » se situent exclusivement dans les secteurs résidentiel et tertiaire, une hausse des consommations du transport venant diminuer les gains globaux. Ainsi les scénarii « Volontariste » et « Volontariste avec baisse du chauffage électrique » permettent respectivement une baisse de 10 et 20TWh de la consommation intérieure en 2020 par rapport au scénario « Objectifs Grenelle » (baisse d'environ 30 et 40 TWh en 2030).

Le graphique suivant illustre les différences de répartitions des consommations par usage et par typologie d'abonnés en 2030 suivant trois scénarii :



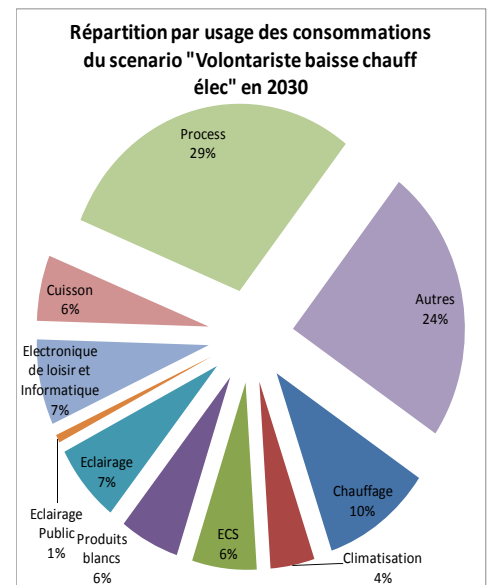
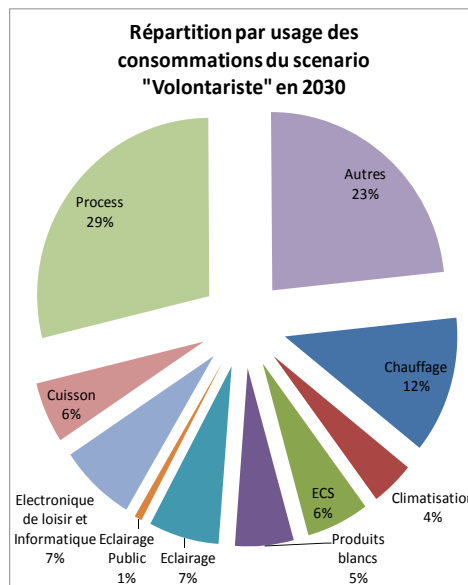
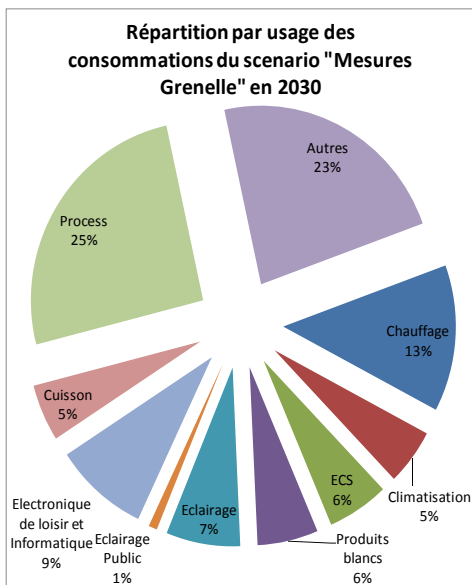
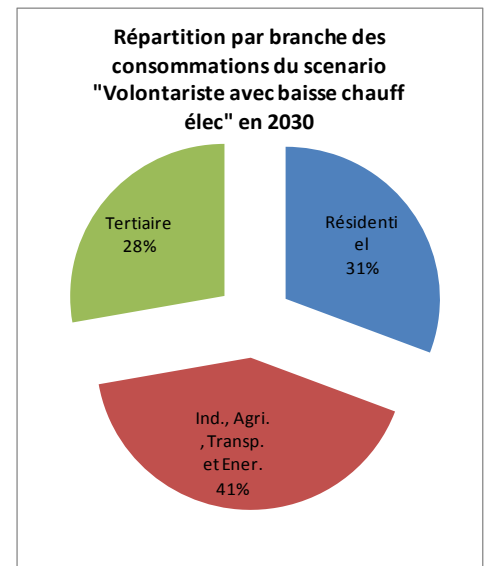
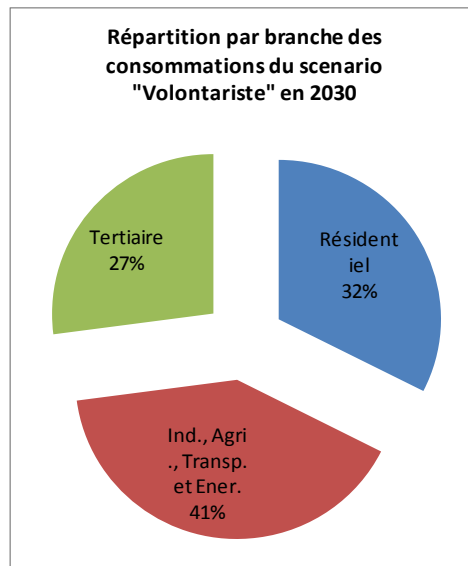
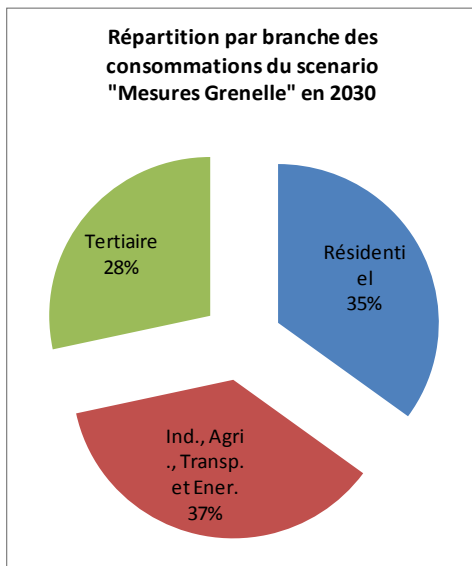
Ainsi les principaux usages ciblés par des mesures supplémentaires à celles prévues dans le Grenelle de l'Environnement sont les suivants :

- **Secteur résidentiel :**
 - Le chauffage : les consommations diminuent respectivement de 5 et 17TWh pour les scénarii « Volontariste » et « Volontariste avec baisse du chauffage électrique » en

comparaison du scénario « Mesures Grenelle » en 2030 (soit 2,5 et 9% des consommations des ménages)

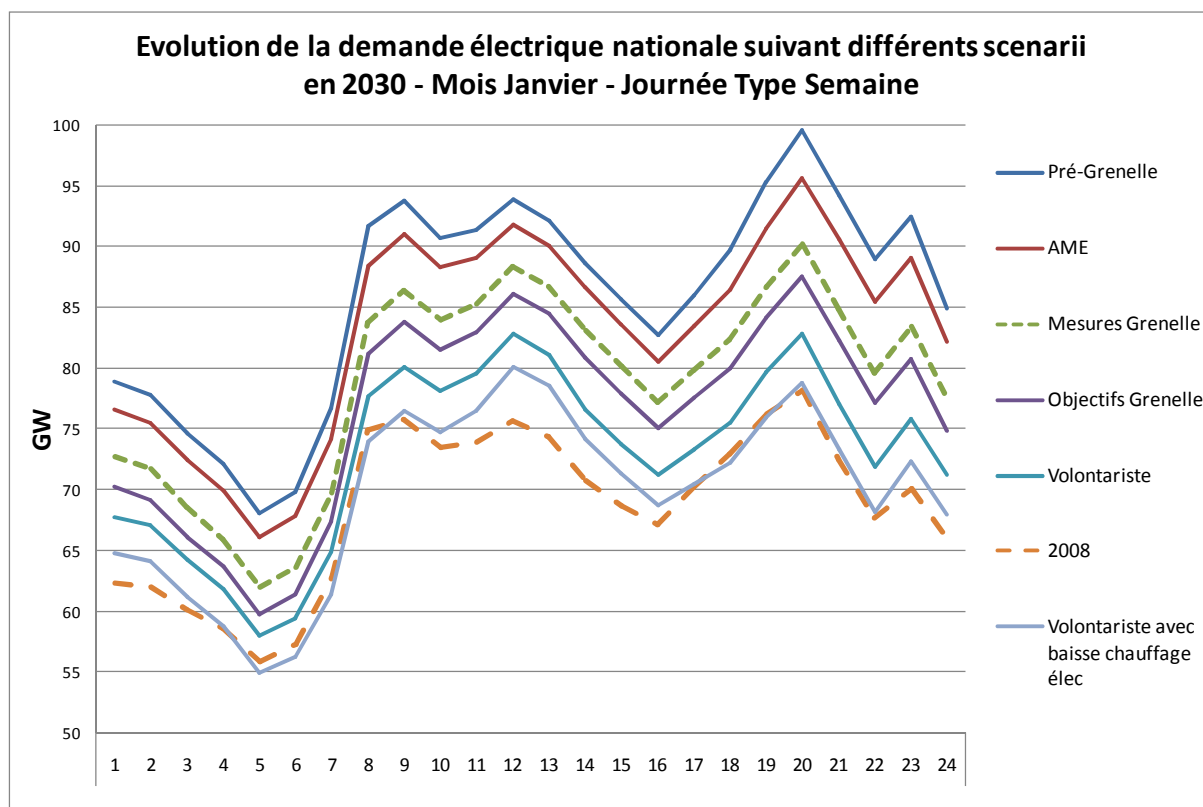
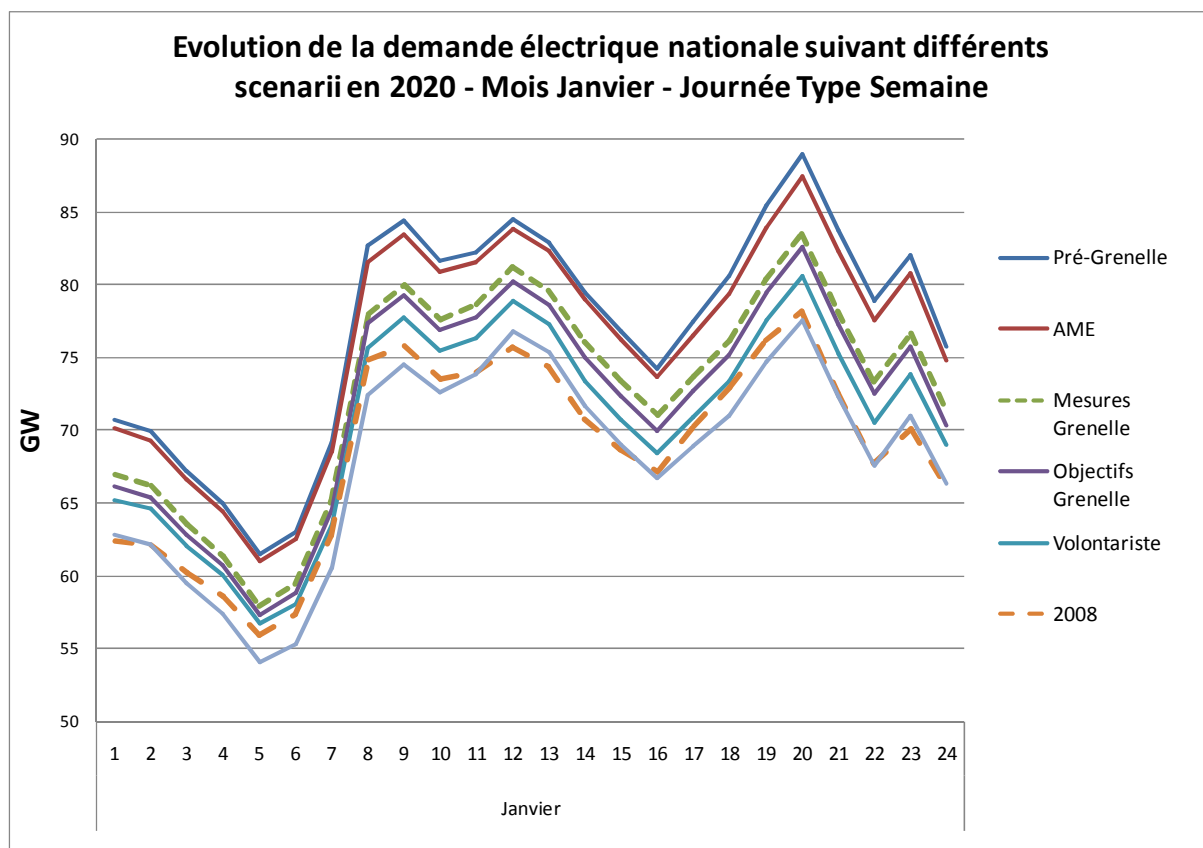
- L'électronique de Loisir : la limitation forte des consommations des téléviseurs permet une réduction de 12,3 TWh des consommations électriques des ménages (soit plus de 90% de la production supposée du réacteur de Penly 3)
- Les produits blancs : la réglementation renforcée préconisée sur les appareils de lavage et de froid permet une économie de l'ordre de 3,3 TWh en 2030
- **Secteur tertiaire :**
 - Le chauffage : une réelle politique de réhabilitation du bâti tertiaire existant permet une réduction des consommations de chauffage de 5TWh en 2030
 - La climatisation : la limitation de l'augmentation du taux d'équipement et la meilleure isolation du bâti permettent un gain de 7 TWh en 2030 par rapport au scénario « Mesures Grenelle »
 - L'éclairage public : gain d'environ 1 TWh
- **Secteur des transports :** l'augmentation de la part du fret ferroviaire, du nombre de passagers des transports communs ferrés et du parc de véhicules électriques conduit à une augmentation des consommations de plus de 7TWh en 2030

La structure par usage et par branche est ainsi modifiée entre les différents scénarii comme illustré sur les graphiques suivants :

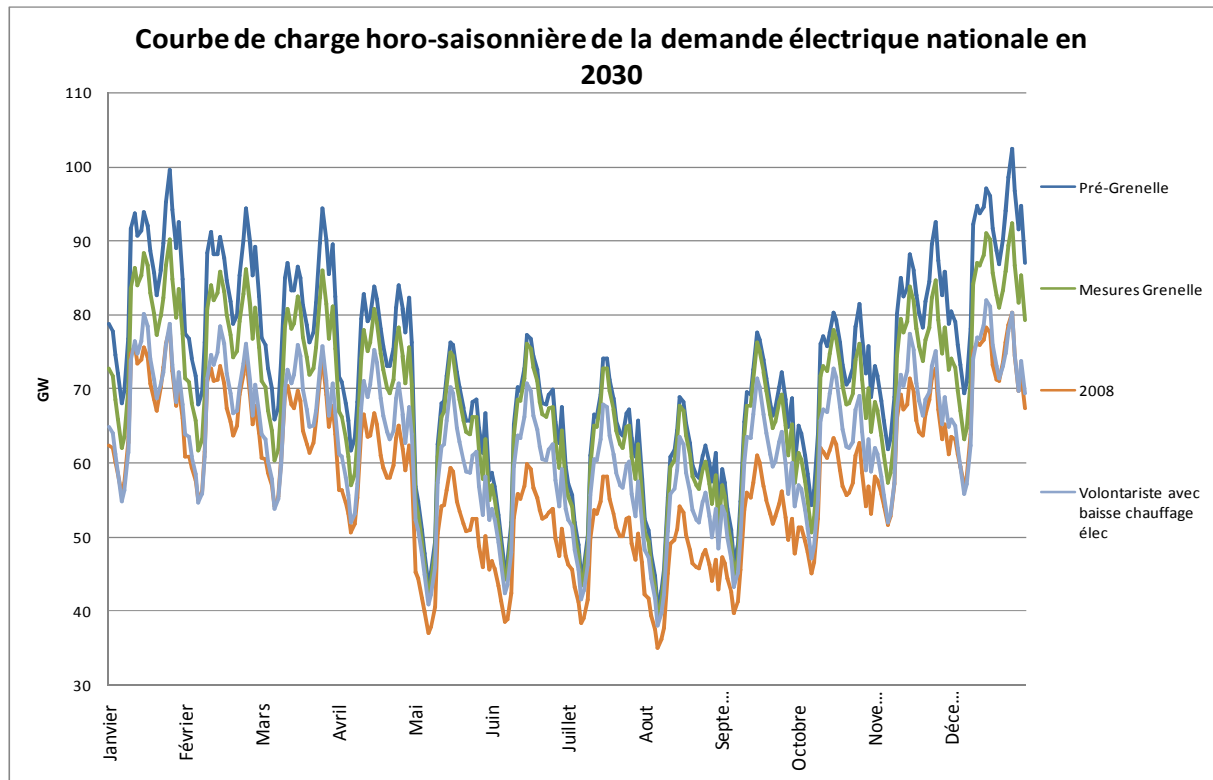


III.3.b. Résultats en puissance

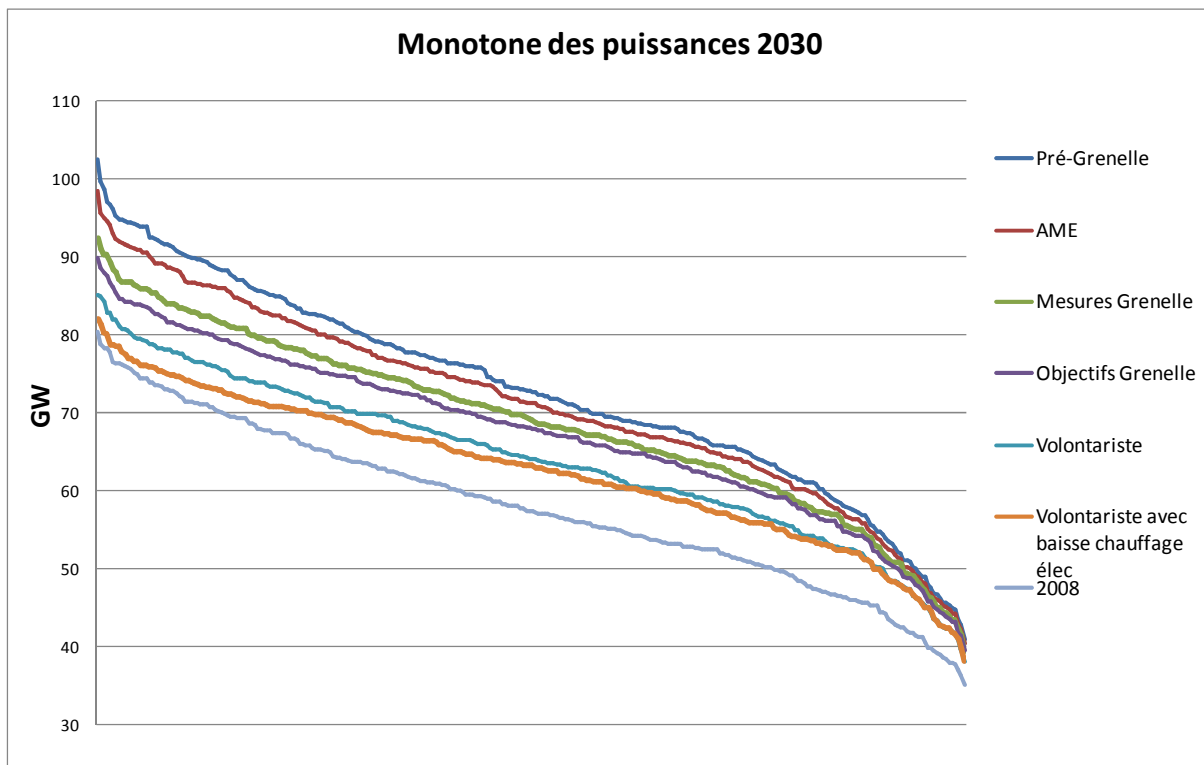
La modification du volume et de la structure de la consommation électrique nationale en 2020 et 2030 obtenues pour les différents scénarii conduit à des modifications différentes de la courbe de demande nationale :



La comparaison entre les appels de charge des différents scénarii en 2020 et 2030 est donc similaire à celle effectuée entre les consommations électriques nationales. La hiérarchisation est en effet la même (de « Pré-Grenelle » pour les appels de charge maximums à « Volontariste avec baisse du chauffage électrique » pour les appels de charge minimums), l'écart entre les courbes augmentant avec le temps. Une différence d'appel de charge de 20 GW est observée à la pointe journalière (20% des appels de charge totaux) entre le scénario « Pré-Grenelle » et le scénario « Volontariste avec baisse du chauffage électrique », la pointe journalière passant du soir au midi en hiver pour ce dernier du fait de la forte baisse des consommations de l'électronique de loisir dans le secteur résidentiel. Les structures journalières et horo-saisonnnières diffèrent donc entre les scénarii. On s'aperçoit par exemple de fortes différences de saisonnalité dans la courbe de charge nationale en fonction des scénarii (cf. graphique suivant) :



Cette différence d'évolution de la demande conduit à des modifications de la monotone des puissances (cf. graphique suivant). La pente de cette dernière s'accroît principalement avec la saisonnalité de la courbe c'est-à-dire avec la part prise par le chauffage dans les consommations électriques nationales. Il est à noter que les consommations électriques nationales de chauffage ont également un fort impact sur la sensibilité de la consommation à la température (actuellement de 2 100 MW/°C), elle-même génératrice de mise en route de centrales thermiques à flamme et de tensions sur les réseaux de transport et de distribution lors de vagues de froid.



La monotone du scénario « Volontariste avec baisse du chauffage électrique » est sans surprise la plus plate des monotones des scénarii étudiés.

III.4. Evolution de l'offre de production d'électricité

Afin de dessiner les pistes d'une politique alternative au projet Penly 3, le scénario de production électrique présent dans la Programmation Pluriannuelle d'Investissement de production d'électricité a été analysé en profondeur.

III.4.a. Présentation de la Programmation Pluriannuelle d'Investissement de production d'électricité

Le scénario analysé de développement des différents moyens de production d'électricité est celui retenu dans le cadre de la Programmation Pluriannuelle des Investissements de production d'électricité 2009 (ou PPI électricité).

La PPI de production d'électricité est prévue par l'article 6 de la loi du 10 février 2000 relative à la modernisation et au développement du service public de l'électricité. « La PPI est la traduction concrète de la politique énergétique dans le domaine de l'électricité. Elle doit permettre de vérifier la mise en ligne des objectifs de politique énergétique et la sécurité d'approvisionnement à l'échelle nationale ».

La PPI constitue donc la vision qu'ont les pouvoirs publics de l'avenir du parc de production d'électricité et son rôle se traduit au travers de deux éléments :

- « la PPI permet au Gouvernement d'intervenir si nécessaire sur le développement des moyens de production d'électricité à travers les mécanismes d'appels d'offres, d'obligation d'achat et d'autorisation
- la PPI constitue le document de référence de la politique énergétique française pour le secteur électrique. Elle est donc notamment utilisée par les pouvoirs publics dans leurs relations avec les opérateurs électriques et avec la Commission Européenne. Elle a, par exemple, constitué une base construite et partagée pour l'évaluation des besoins de quotas de CO2 pour le deuxième PNAQ, pour la production d'électricité ».

L'exercice de la PPI électricité 2009 s'est effectué avec pour mission d'intégrer les orientations du Grenelle de l'environnement et les engagements liés à l'adoption par la France du paquet européen énergie-climat en décembre 2008. Elle définit des scénarios de développement des différentes filières de production d'électricité à l'horizon 2020.

La dernière PPI a été publiée en juillet 2009. Cette dernière se base entre autres sur le Bilan Prévisionnel RTE 2007 actualisé en 2008. La publication du Bilan Prévisionnel 2009 est ultérieure à la PPI.

III.4.b. Les filières de production d'électricité

► Le nucléaire

L'énergie produite par les centrales nucléaires est caractérisée par le produit de trois grandeurs :

- La puissance installée
- Le coefficient de disponibilité K_d
- Le coefficient d'utilisation K_u

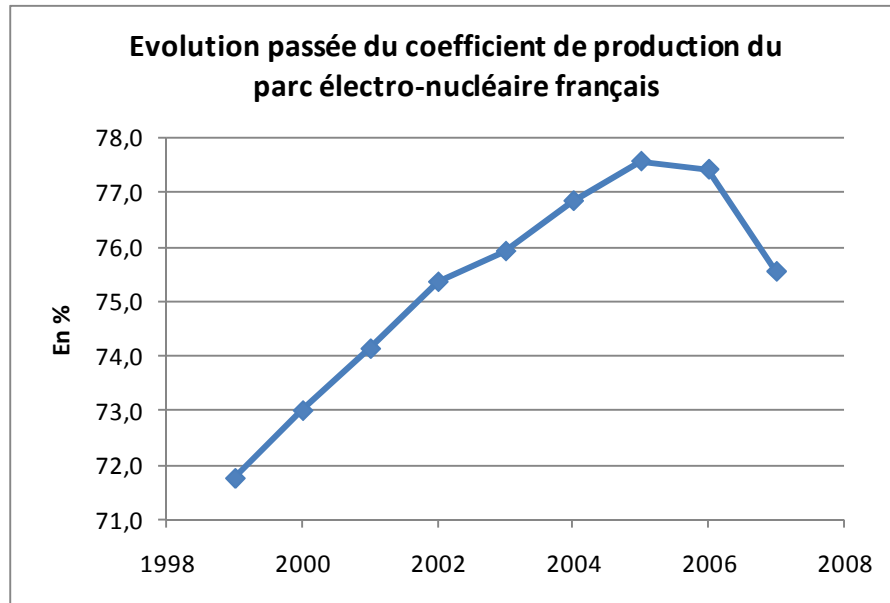
Le produit de K_d et K_u donne de coefficient de production K_p . Ce coefficient traduit la part de production effective d'électricité des centrales.

Les coefficients K_d et K_u traduisent donc la variabilité annuelle des capacités de production d'électricité par le parc nucléaire. Cette variabilité est provoquée par divers facteurs :

- Le coefficient de disponibilité K_d intègre les indisponibilités techniques des réacteurs (avaries, maintenance des centrales...)
- Le coefficient d'utilisation reflète les cas où la centrale étant disponible, l'énergie pouvant être produite n'a pas été appelée par le réseau (demande trop faible ou

indisponibilité locale du réseau de transport) ou par contraintes environnementales (limitation des rejets thermiques dans les cours d'eau).

Le coefficient Kp, produit de Ku et Kd, donne pour les années passées (source : EdF) :



Les recommandations (qualitatives) issues de ces éléments par la PPI se traduisent par un souci de dimensionnement à la hausse du parc nucléaire en 2020, afin de compenser les éventuelles baisses de disponibilité induites par les aléas techniques subis par le parc.

► L'évolution du parc de production nucléaire à l'horizon 2020

Les hypothèses d'évolution de production d'électricité d'origine nucléaire de la PPI reposent sur trois facteurs :

- **Des améliorations techniques du parc existant**

La PPI se base sur les données d'EDF qui envisage d'augmenter la production du parc nucléaire actuel de 8 à 15 TWh entre 2015 et 2020, grâce à de nouveaux rotors de turbine plus performants et une augmentation de puissance des réacteurs du palier 1300 MW.

Au-delà de ces améliorations, ce sont les éléments suivants qui seront structurant sur l'évolution du parc.

- **La durée de vie des centrales**

L'Autorité de Sureté Nucléaire (ASN) a pour fonction de se prononcer pour chaque réacteur nucléaire sur la poursuite éventuelle de son exploitation. Cette décision est effectuée à l'issue de chaque visite décennale et a pour effet de reconduire l'autorisation d'exploitation de la centrale sur une période de 10 ans.

Tout en rappelant le rôle prépondérant de l'ASN sur la prolongation de la durée de vie des centrales, la PPI retient pour son scénario central une prolongation de la durée de vie de l'ensemble des centrales existantes au-delà de 40 ans. Cette approche est justifiée par un constat similaire effectué à l'échelle internationale, notamment aux Etats-Unis.

- **La construction de nouvelles centrales**

Le scénario de la PPI prend en compte la construction de l'EPR de Flamanville, portant la puissance installée de la France de 63,1 GW à 64,7 GW en 2012. Cette centrale est actuellement en cours de construction.

La PPI appuie la construction de l'EPR de Penly 3. Cette construction est justifiée dans le rapport de la PPI par :

- La nécessité de disposer d'une marge de sécurité en termes de capacité de production liée aux incertitudes sur l'équilibre offre-demande à l'horizon 2020
- La nécessité de disposer d'une marge de sécurité en termes de capacité de production liée à l'incertitude de la prolongation de la durée de vie des centrales existantes au delà de 40 ans.
- La nécessité de lisser l'effort d'investissement de renouvellement du parc nucléaire et de maintenir les compétences industrielles de cette filière.
- La garantie de la disponibilité d'une électricité compétitive et non émettrice de gaz à effet de serre.

On remarque que l'argumentation en faveur de l'EPR est principalement basée sur une notion de marge de sécurité d'approvisionnement.

► Le parc thermique classique centralisé

Le développement des parcs de production thermique sont évaluée dans la PPI à l'horizon 2020. Les moyens de production thermique sont divisés de la manière suivante :

- Les cycles combinés gaz (CCG)

La PPI souligne la nécessité d'investissements en CCG dans le cadre d'une utilisation en semi-base, afin de compenser le nombre de fermeture important prévu de centrales à charbon. Compte tenu du principe de libre installation, la PPI ne fixe pas d'objectif de développement des CCG. Elle retient toutefois dans son scénario central, comme dans le Bilan Prévisionnel RTE actualisé 2008, la réalisation d'au moins 10 CCG à l'horizon 2012.

La PPI appelle à la vigilance sur le besoin en CCG à partir de 2015, suivant l'évolution de la demande et du parc de production de pointe fioul.

Remarque : le Bilan Prévisionnel RTE 2009 prévoit 11 nouveaux CCG d'ici 2012 et un supplémentaire d'ici 2013

- Les centrales à charbon

Le parc charbon actuel s'élève à 6,9 GW. L'avenir du parc de centrales à charbon est directement lié à la directive environnementale Grandes Installations de Combustion (GIC) limitant les émissions polluantes en sortie de cheminée.

Celle-ci va provoquer la fermeture d'une partie du parc en 2015 (3,6 GW, soit 50% de la puissance installée).

Les quatre centrales restantes (3,6 GW) pourront fonctionner au-delà de 2015, suite à des travaux importants de traitement des fumées. La PPI recommande de pérenniser l'exploitation de ces centrales au delà de 2020.

La PPI recommande que la construction de nouvelles centrales soit restreinte aux seules opérations de démonstration de capture et stockage du CO2 (CSC).

- Les moyens thermiques de production de pointe
 - Les groupes fioul-vapeur

Les moyens de production de pointe permettent de fournir de l'électricité lors de périodes de pointe ou d'extrême pointe.

Les moyens de production fioul-vapeur (ou groupes fioul) sont concernés, au même titre que les centrales à charbon, par la directive GIC. Ceci limite leur utilisation à environ 450 heures par an jusqu'en 2015. Au delà de 2015, leur exploitation dépendra fortement de l'évolution du cadre réglementaire européen, actuellement en cours de discussion.

La puissance installée du parc de production fioul est actuellement de 5,2 GW.

- Les turbines à combustion (TAC)

Les TAC ont pour vocation de fonctionner en pointe ou extrême pointe, soit moins de 500 heures par an. La puissance installée du parc de TAC est actuellement de 1,2 GW.

La PPI retient comme hypothèse la continuation de leur utilisation à l'horizon 2020, ainsi que la construction de trois TAC en 2009 et 2010, ce qui porterait la puissance installée du parc de TAC à 1,75 GW en 2010.

► La cogénération au gaz naturel

La cogénération fait partie des moyens de production thermique décentralisés. Son principe consiste à produire simultanément de la chaleur et de l'électricité. Son développement a débuté autour des années 2000 avec la mise en place d'un dispositif d'obligation d'achat garantissant le rachat de l'électricité pour une durée de 12 ans. Un grand nombre de contrats arrivent donc à échéance prochainement. Ces contrats pourront être renouvelés, à condition de réaliser des travaux de rénovation permettant d'atteindre un niveau de performance d'efficacité énergétique conforme à la directive 2004/8/CE relative à la promotion de la cogénération à haut rendement.

La PPI souligne l'intérêt de l'utilisation de la cogénération grâce :

- A son rendement de production en énergie primaire. La cogénération permet des économies s'élevant jusqu'à 12% par rapport à la production séparée de chaleur et d'électricité.
- Aux réductions des émissions de CO₂ lorsqu'elle fonctionne en substitution de production d'électricité à partir d'un combustible fossile.
- A la réduction des pertes réseau du fait du caractère décentralisé de la production d'électricité.
- A un fonctionnement en adéquation avec les périodes de consommations en hiver.

Le parc installé de cogénération en 2009 est proche de 5 GW. Compte tenu de l'incertitude sur le renouvellement des contrats d'obligation d'achat de l'électricité, la PPI ne se prononce pas sur des objectifs de développement de parc de cogénération. Elle recommande tout de même le développement de la cogénération biomasse, notamment en substitution de la cogénération au gaz naturel.

Remarque : RTE envisage dans son scénario central une érosion du parc de cogénération à hauteur de -2 GW d'ici 2015.

► Les énergies renouvelables

Les travaux de la PPI sont largement basés sur les objectifs de développement des énergies renouvelables définis par le comité opérationnel n°10 du Grenelle de l'environnement (COMOP 10).

• L'hydraulique :

La production d'électricité d'origine hydraulique représente, en 2009, 94% de la production électrique d'origine renouvelable et 11,6% la production totale française.

La production hydroélectrique peut se décomposer en quatre catégories :

- La production **au fil de l'eau**, d'une puissance installée de 7,6 GW en 2009. Ces installations se trouvent notamment sur les grands fleuves et produisent de l'électricité en base.
- La production de type « **éclusée** », avec un parc installé de 4,3 GW. Ces installations peuvent moduler leur production sur les cycles journaliers.
- Les usines de « **lac** » (ou de « **retenue** »), d'une puissance installée de 9 GW. Elles disposent d'un réservoir permettant de produire l'électricité lors des demandes importantes.
- Les **stations de transfert d'énergie par pompage**, d'une puissance installée de 4,4 GW. Le principe de ces stations consiste à remonter de l'eau dans un réservoir lors des périodes creuses de demandes électriques, afin de produire durant les périodes de demandes fortes.

La puissance installée totale des installations hydrauliques s'élève à 25,3 GW en 2007. Les conclusions du COMOP 10 indiquent que la plus grande partie du potentiel hydroélectrique est exploitée depuis plusieurs années. Des contraintes environnementales sur l'amélioration des masses d'eau et de la vie aquatique auront pour effet de diminuer le productible des installations existantes durant les prochaines années.

Des moyens d'augmentation du potentiel hydraulique ont toutefois été identifiés lors des conclusions du Grenelle de l'environnement :

- La création de nouvelles centrales, essentiellement au fil de l'eau.
- Le suréquipement et la modernisation des installations existantes.

- L'augmentation du nombre de STEP et le suréquipement des centrales de pointe existantes (lac et STEP).

A la suite de l'analyse des scénarii de développement de l'hydraulique présentés par le COMOP 10, la PPI retient en conclusion les objectifs de développement suivants :

horizon 2020	COMOP 10		PPI 2009
	Scenario référence	Scenario volontariste	Objectif retenu
Augmentation du productible annuelle	2 TWh	7 TWh	3 TWh
Augmentation de puissance installée en pointe	2 GW	3 GW	3 GW

► L'éolien

L'éolien s'est fortement développé ces dernières années passant de 0,4 GW installé début 2005 à 3,4 GW installé début 2009.

L'objectif retenu par la PPI correspond à celui formulé par le COMOP 10, soit à l'horizon 2020 :

- **19 GW de puissance installée d'éoliennes terrestres**
- **6 GW de puissance installée d'éoliennes maritimes**

► Le solaire photovoltaïque

Au 31 décembre 2008, la puissance cumulée du parc photovoltaïque installée en France métropolitaine s'élève à environ 48 MW.

La PPI entérine l'objectif du COMOP 10 d'atteindre d'ici 2020 5,4 GW de puissance installée photovoltaïque.

► La biomasse

Le terme biomasse correspond à l'usage du bois combustible, mais comprend aussi l'utilisation du biogaz et des UIOM¹⁸ dans le COMOP 10.

La biomasse se caractérise par une problématique de conflits d'usage, étant utilisée pour des besoins énergétiques ou industriels.

La quantification de la ressource reste à effectuer par un examen du plan d'approvisionnement en biomasse.

La PPI recommande de procéder au développement de la production d'électricité issue de la biomasse par le recours à des appels d'offre plutôt qu'à un tarif réglementé, ainsi que par le développement de centrales de cogénération de moyenne ou grande taille. Cette dernière recommandation permettrait la mise en place de technologies de réduction des polluants atmosphériques.

En 2006, la puissance installée est estimée à 0,450 GW (énergie produite : 240 ktep).

- Les différents appels d'offres

Suite au premier appel d'offre, 216 MW de projets de centrales ont été autorisés en 2005.

Les résultats du second appel d'offre, lancé en 2006, ont été connus en 2008, avec environ 300 MW de puissance électrique autorisée.

Le troisième appel d'offre biomasse lancé fin 2008 porte sur au maximum 250 MW.

¹⁸ Unités d'incinération des ordures ménagères

Remarque : dans ses hypothèses de projection, RTE ne retient que 50% des puissances installées prévue pour les deux derniers appels d'offres, au vu des résultats observés pour le premier.

La PPI retient l'objectif de développement proposé par le COMOP 10, qui se traduit en termes de puissance électrique installée à 2,8 GW en 2020.

► Les technologies marines

Les technologies marines regroupent :

- L'énergie thermique des mers, dont le potentiel de développement se situe dans les DOM ;
- L'hydrolien, possible sur la cote nord-ouest ;
- Les usines marémotrices : l'usine de la Rance en France existe déjà.
- L'utilisation des vagues : dont les technologies ne sont pas encore matures.

La PPI encourage le développement des énergies marines et souligne la nécessité de développer la recherche et développement dans ce secteur.

L'estimation du développement de cette filière étant difficile à estimer, les technologies mises en jeu n'étant pas matures, la PPI ne fixe pas d'objectifs et ne prend pas en compte ces technologies dans son analyse offre-demande.

► Récapitulatif de développement des filières de production électrique

Les deux tableaux ci-dessous regroupent les principaux éléments cités précédemment. Les informations fournies par la PPI sont séparées en trois catégories :

- Les hypothèses

Elles concernent les informations probables sur le développement des différentes filières et qui sont utilisées comme hypothèses structurantes dans l'élaboration du scénario équilibre offre-demande de la PPI.

- Les recommandations

Les recommandations regroupent les avis de la PPI sur le développement des différentes filières, mais ne fixent pas d'obligations d'atteinte de résultat.

- Les objectifs

Les objectifs définis par la PPI fixent des obligations d'atteinte de résultats. Ces objectifs concernent les énergies renouvelables et correspondent à ceux définis lors du COMOP 10.

Les travaux de la PPI sont basés sur les prévisions du bilan RTE 2007 actualisé en 2008. Les résultats du scénario central du bilan prévisionnel RTE 2009 sont présentés afin de comparer les éventuelles différences de prévisions sur l'offre. Le scénario « vision centrale » de RTE correspond à une offre de production jusqu'en 2015 déterminée par les « projets engagés », puis pour la période 2015-2020 par un ajustement du parc de production afin de respecter le « critère de défaillance ».

Filières Thermiques	PPI 2009		Prévisions RTE 2009 vision "centrale"
	Hypothèses	Recommandations	
Nucléaire	<ul style="list-style-type: none"> • Prolongation des centrales existantes au delà de 40 ans • Amélioration du productible des centrales existantes (+ 8 à 15 TWh entre 2015 et 2020) • Mise en service d'un EPR à Flamanville en 2012 (1,6 GW) • Mise en Service de l'EPR de Penly en 2017 	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en service de l'EPR de Penly en 2017 	<ul style="list-style-type: none"> • Durée de vie des centrales a minima jusqu'à 40 ans • Mise en service d'un EPR à Flamanville en 2012 (1,6 GW) • Au-delà de 2015, hypothèse qu'un éventuel déclassement de centrale est compensé par la construction d'un EPR.
Charbon	<ul style="list-style-type: none"> • Fermeture de 50% du parc actuel en 2015 (- 3,6 GW) • Exploitation des centrales restantes jusqu'en 2020 	<ul style="list-style-type: none"> • Construction de nouvelles centrales restreinte aux opérations de CSC 	<ul style="list-style-type: none"> • Fermeture de centrales d'ici à 2015 (- 3,6 GW) • Exploitation d'une partie des centrales restantes jusqu'en 2020 (2,9 GW)
CCG	<ul style="list-style-type: none"> • 10 nouveaux CCG d'ici 2012 	<ul style="list-style-type: none"> • Vigilance sur le besoin de CCG à partir de 2015 	<ul style="list-style-type: none"> • 11 nouveaux CCG d'ici 2012 (4,8 GW) • +1 CCG en 2013 (0,4 GW)
Groupes fioul-vapeur	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation limitée à 450 heures/an en moyenne jusqu'en 2015 • Exploitation après cette date non connue 	-	<ul style="list-style-type: none"> • Fermeture de 0,75 GW d'ici 2015 • Fonctionnement limité à 500h/an pour le reste du parc jusqu'en 2015. Exploitation après cette date non connue
TAC	<ul style="list-style-type: none"> • Exploitation du parc actuel jusqu'en 2020 • Construction de trois TAC en 2008/2009 • Puissance installée en 2010 : 1,75 GW 	-	<ul style="list-style-type: none"> • Exploitation du parc actuel jusqu'en 2020 • Construction de trois TAC en 2008/2009 • Puissance installée en 2010 : 1,75 GW
Cogénération Gaz	-	<ul style="list-style-type: none"> • Substitution des cogérations gaz par de la cogénération biomasse 	<ul style="list-style-type: none"> • Diminution de la puissance installée de 2 GW d'ici 2015.



Filières EnR	PPI 2009			Prévisions RTE 2009 vision "centrale"
	Hypothèses	Recommandations	Objectifs 2020	
Hydraulique	-	-	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation du productible + 3 TWh/an • Nouvelle capacités de pointe : + 3 GW en 2020 	<ul style="list-style-type: none"> • Perte de 5% du productible (stabilisation à 65,4 TWh/an en moyenne)
Eolien	-	-	<ul style="list-style-type: none"> • Parc terrestre de 19 GW et Parc maritime de 6 GW 	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de 1 GW/an • Puissance installée : 17 GW en 2020
Solaire PV	-	-	<ul style="list-style-type: none"> • Puissance installée : 5,4 GW en 2020 	<ul style="list-style-type: none"> • Puissance installée : 5,4 GW en 2020
Biomasse (Bois-UIOM-Biogaz)	<ul style="list-style-type: none"> • Trois appels d'offres biomasse portent la puissance électrique à 760 MW d'ici 	<ul style="list-style-type: none"> • Recours aux appels d'offres plutôt que tarif d'obligation d'achat. • Privilégier l'usage chaleur par rapport à l'usage production d'électricité. • Développer des installations de cogénération de taille moyenne ou grande 	<ul style="list-style-type: none"> • Puissance installée en production électrique : 2,8 GW 	<ul style="list-style-type: none"> • 50% des puissances installées prévues dans les appels d'offres 2006 et 2008 se développent (+275 MW)
Géothermie	<ul style="list-style-type: none"> • Développement très limité en France métropolitaine 	-	-	-
Technologie marines	-	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessité d'encourager la R&D 	-	-



III.5. Analyse de la cohérence scenarii de demande – scenario de production

L'objectif de ce chapitre est de mettre en regard l'ensemble des scenarii de la demande simulés avec les moyens de production prévus par la PPI aux horizons 2020 et 2030, afin de juger du degré de réponse apportée par cette dernière aux contraintes énergétiques fixées par ces scenarii. L'objectif de l'étude étant de juger de la pertinence de la mise en place du réacteur Penly 3 pour répondre aux besoins électriques nationaux, l'ensemble des objectifs de la PPI ont été repris dans la suite de l'étude **à l'exception de la mise en place de Penly 3**.

Ainsi après l'intégration de l'ensemble des hypothèses d'évolution de la demande et de la production d'électricité, il sera possible de répondre à la question suivante pour chacun des scenarii de demande proposés précédemment : les évolutions du système de production d'électricité français prévues dans le cadre de la PPI, hors projet Penly 3, permettent-ils de répondre aux besoins nationaux à horizon 2020 et 2030 ? Dans l'outil utilisé et décrit ci-dessous une hypothèse d'exportation d'électricité constante égale aux exportations de l'année 2008 a été prise.

III.5.a. Méthodologie

Les simulations effectuées dans le chapitre précédent nous ont permis de reconstituer la demande électrique horo-saisonnière nationale. Cette charge électrique a alors été traitée de telle manière qu'elle est divisée, pour chaque mois, en trois groupes qualitatifs, représentatifs de la contrainte provoquée pour le système de production :

- Base
- Semi-base
- Pointe

L'outil de simulation de la production électrique est séparé en deux parties :

- La production centralisée (hydraulique fil de l'eau, hydraulique suivi de charge, éolien, autres ENR, nucléaire, gaz, charbon, fioul, import)
- La production décentralisée (photovoltaïque, micro-éolien, prise en compte des résultats issus des modules : déchets, bâtiments, industries, chauffage urbain et agriculture)

Cette simulation se base sur trois principes fondamentaux :

- Nécessité de répondre à la demande mensuelle en quantité et en qualité
- Prise en compte des puissances installées dans le parc de production (scenario par défaut basé sur les prévisions de la PPI et sur les tendances publiées par DGEMP-OE en avril 2008)
- Calcul des heures de fonctionnement par la prise en compte d'une hiérarchie entre moyens de production électrique, selon la qualité de l'énergie appelée.

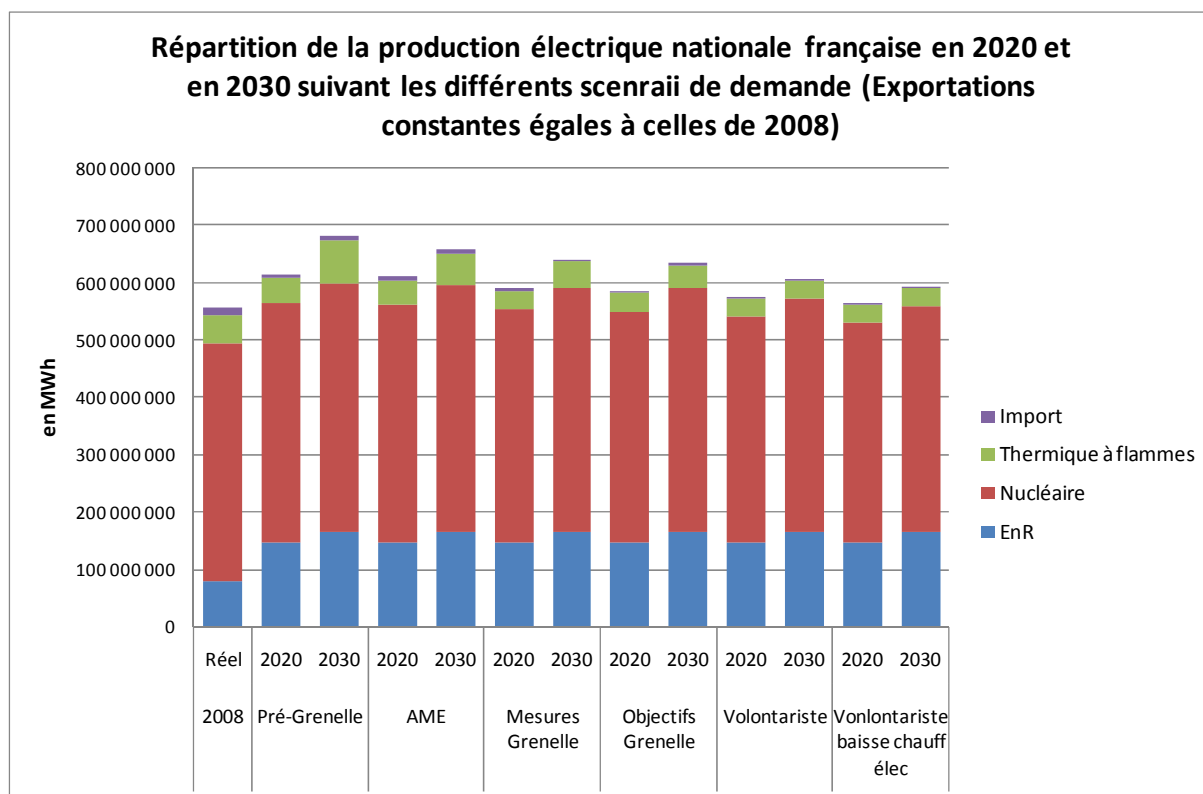
Cette méthodologie a été développée et testée par Energies Demain dans de nombreuses études visant à simuler la demande électrique nationale ou à des échelles plus réduites.

III.5.b. Résultats obtenus

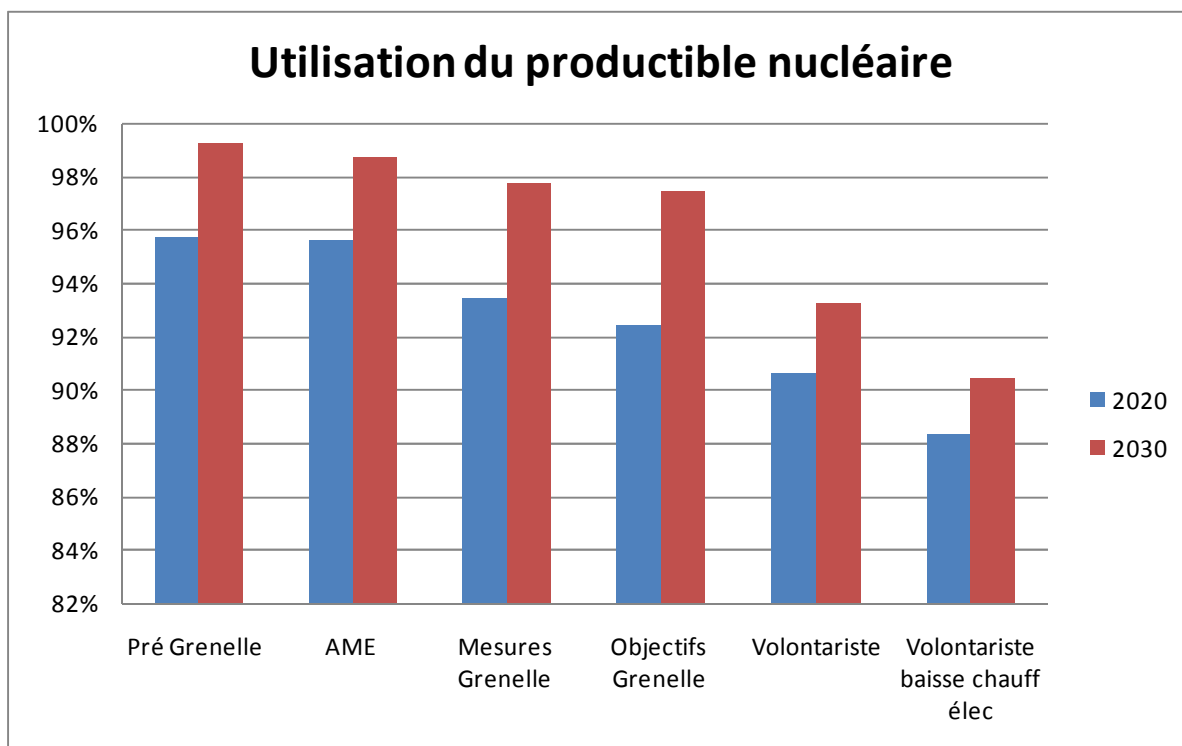
► Réponse du parc de productions aux différents scenarii de demande

Après avoir utilisé l'outil pour chacun des scenarii de demande en 2020 et 2030, le premier résultat est qu'**à climat normal les évolutions du parc de production électrique prévues dans la PPI, hors Penly 3, suffisent à alimenter la demande électrique nationale** sans augmenter, et même pour la plupart des scenarii en faisant diminuer, les importations d'électricité (les importations ayant généralement un contenu CO₂ important). Les résultats suivant nous donnent pour chaque scenario de demande la réponse du parc en 2020 et en

2030 proposée par l'outil que nous avons utilisé (les résultats sont ici agrégés par famille de moyens de production du parc) :



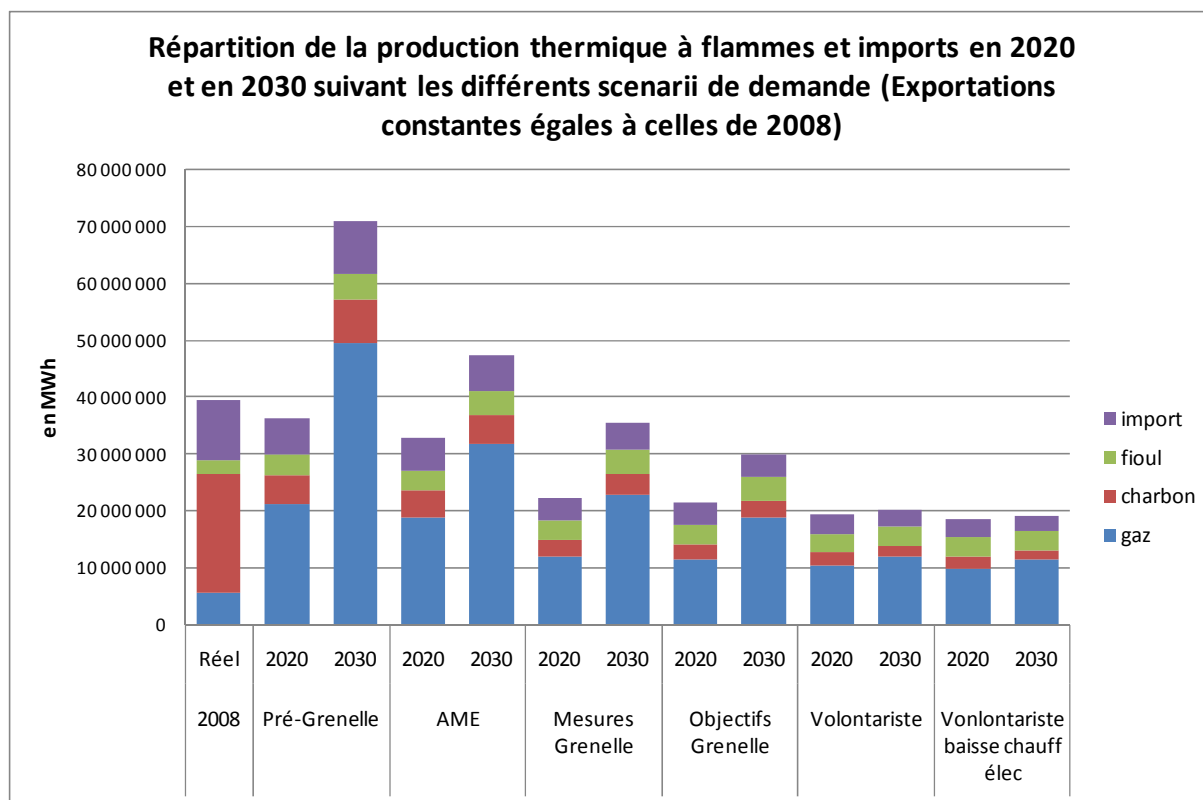
Dans un premier temps on remarque la forte augmentation de production EnR entre 2008 et les différents scénarii en 2020 et 2030 due principalement aux objectifs forts de développement éolien et photovoltaïque de la PPI. On remarque également que cette production EnR n'est pas modifiée selon les scénarii, les productions thermiques à flammes et nucléaire se chargeant d'adapter la production électrique française aux besoins. Ainsi le volume de production de ces moyens diminue avec l'engagement plus ou moins fort qui est pris en faveur de la Maîtrise de la Demande en Electricité. Le productible nucléaire est ainsi plus ou moins utilisé suivant les scénarii comme illustré sur le graphique ci-dessous :



A climat normal le productible nucléaire n'est donc jamais utilisé totalement. On remarque également que sur les deux scénarii Référence de la demande que sont « Mesures Grenelle » et « Objectifs Grenelle » il existe même une forte marge de sécurité sur ce productible en 2020 (entre 7 et 8% du productible est inutilisé). Cette marge, additionnée à la marge sur le parc de production thermique à flammes, serait largement suffisante pour assurer la sécurité d'approvisionnement d'une année particulièrement froide, et l'entretien inattendu d'un ou deux réacteurs.

En effet en supposant une année aussi froide que 1996, année la plus froide des quinze dernières années, on se retrouve avec une surconsommation de chauffage de 8% par rapport à une année à climat normal soit en 2020 une surconsommation de l'ordre de 5,5TWh dans le scénario « Mesures Grenelle ». 6 TWh constituent en 2020 et selon nos hypothèses d'évolution du productible nucléaire une part de 1,5% du productible nucléaire annuel. Un réacteur de 1300 MW dispose quant à lui d'un productible annuel d'environ 9 TWh, soit environ 2,1% du productible nucléaire 2020 dans nos simulations. Une année froide combinée à l'impossibilité d'utilisation de deux réacteurs de 1300 MW signifierait donc, en utilisant l'hypothèse peu probable que le nucléaire pourrait répondre entièrement aux surconsommations de chauffage, une utilisation de 99% du productible nucléaire.

Comme observé ci-dessus pour le nucléaire, l'utilisation des moyens de production thermique à flammes (auxquels nous additionnons les imports) est également largement modifiée en fonction des scénarii de demande. Le tableau suivant illustre ces différences observées par combustible :

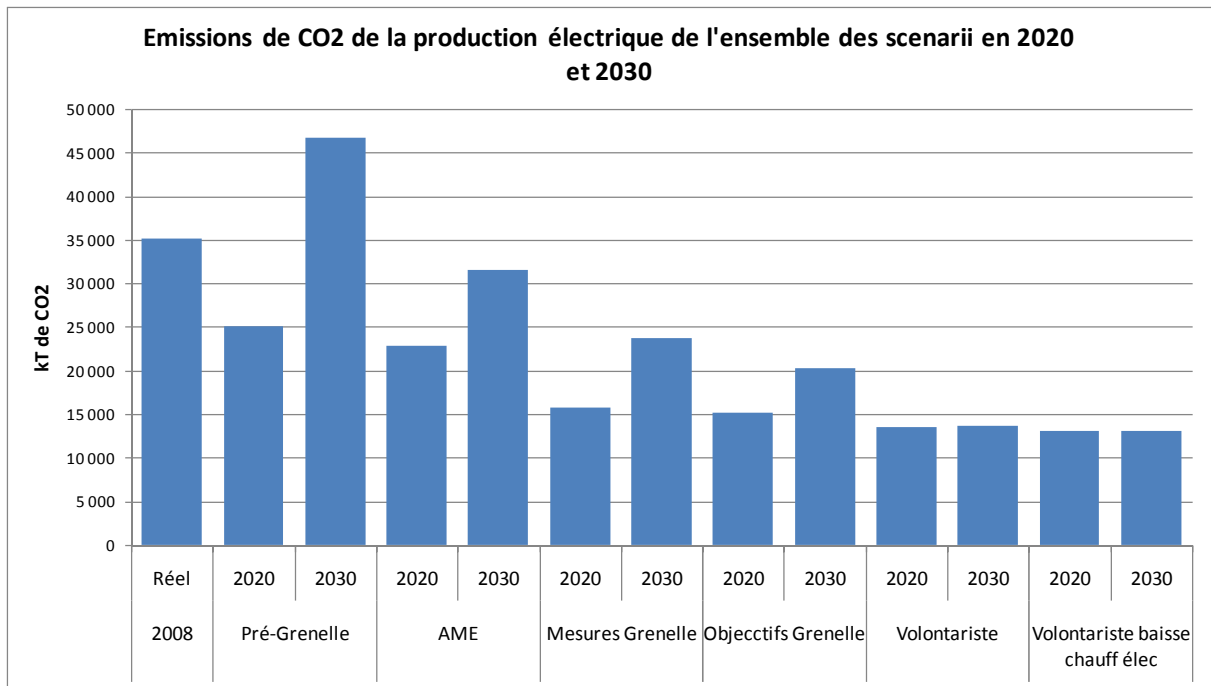


Trois observations majeures peuvent être faites ici :

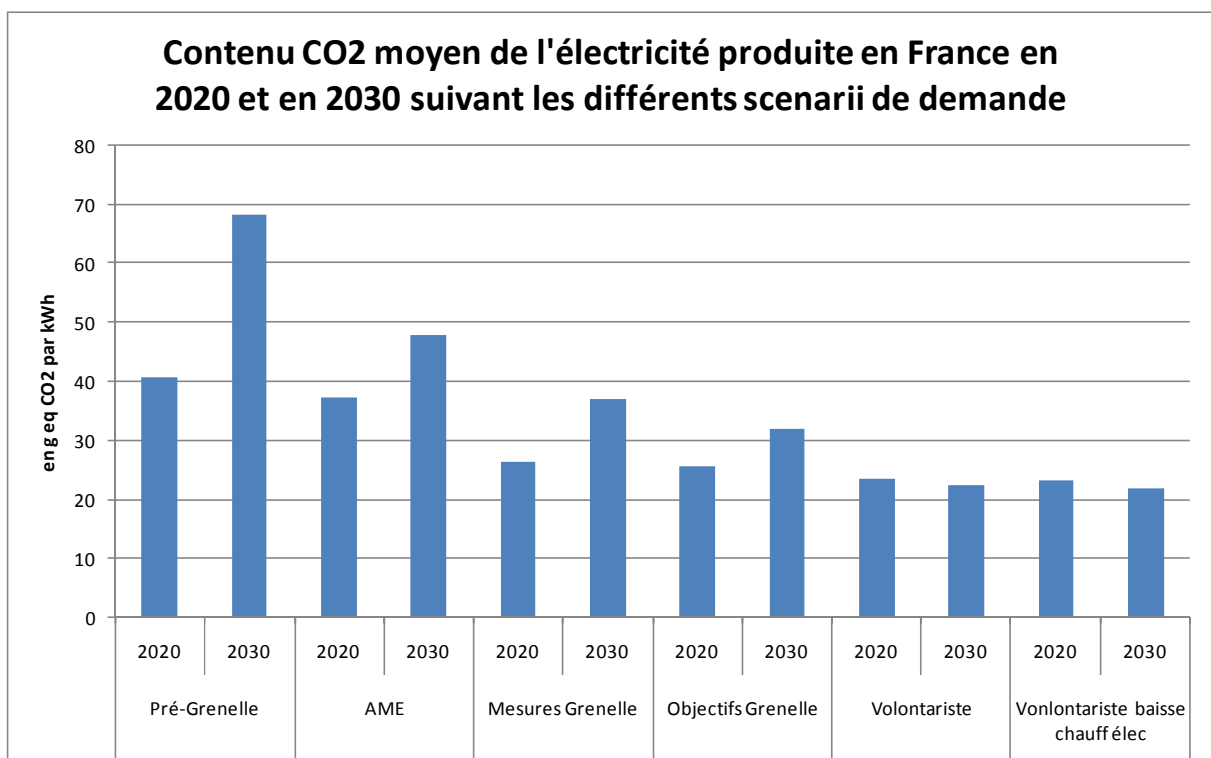
- Forte diminution de la part de la production à partir de charbon dans la production thermique à flammes nationale en 2020 et en 2030 remplacée par des moyens de production au gaz comme préconisé dans la PPI.
- Forte diminution des imports pour l'ensemble des scenarii de demande. Ces imports diminuent par exemple respectivement de 63 et 55% en 2020 et 2030 pour le scenario « Mesures Grenelle » et de 69 et 75% pour le scenario « Volontariste avec baisse du chauffage électrique »
- Excepté pour le scenario Pré-Grenelle en 2030 le volume totale de production représentée ci-dessus diminue en 2020 et en 2030 par rapport à 2008, baisse allant de 8% en 2020 pour le scenario « Pré-Grenelle » à plus de 50% pour les scenarii « Volontariste ».

► Evolution des émissions de Gaz à Effet de Serre

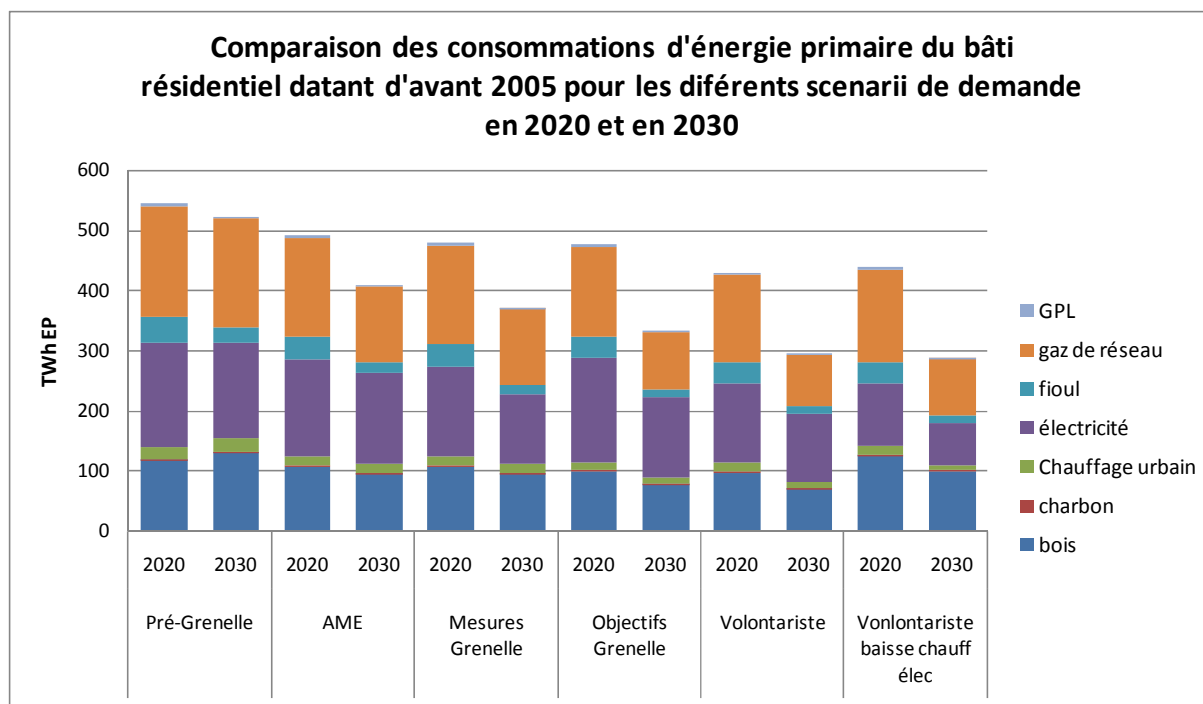
L'évolution des imports et de l'utilisation des moyens de production thermique à flammes devrait fortement modifier les émissions de gaz à effet de serre du système électrique nationale comme illustré ci-dessous (on considère ici un contenu carbone des imports de 700g eq CO₂ / kWh) :



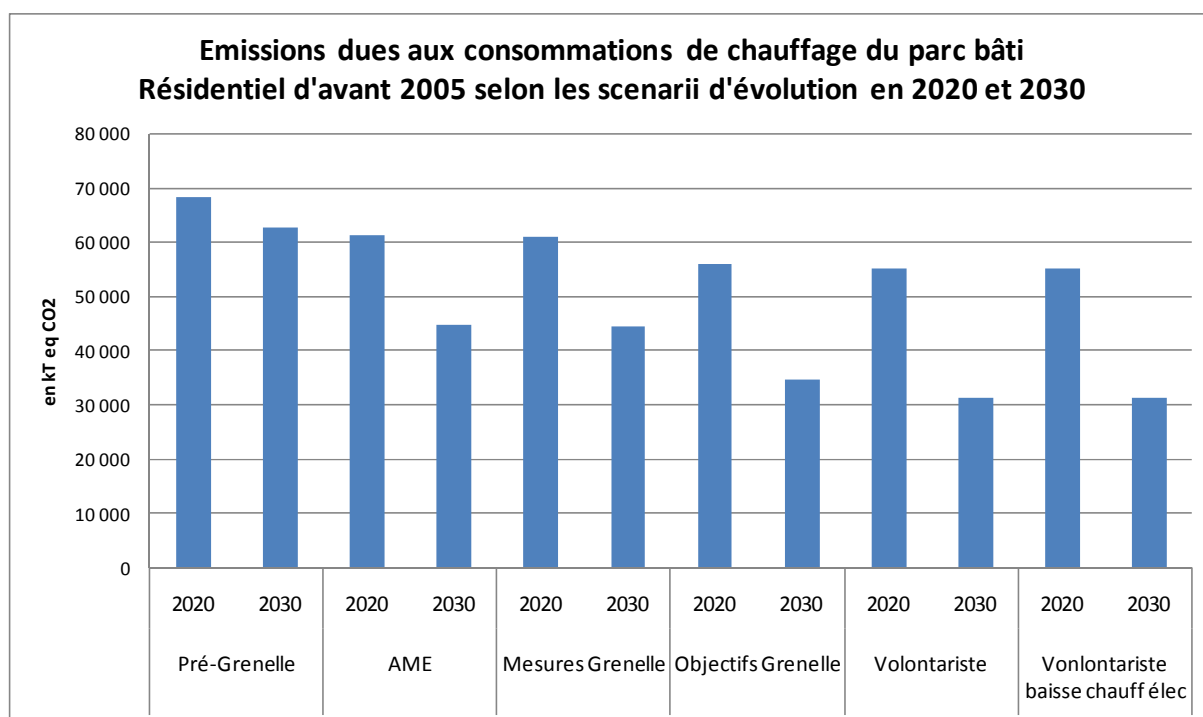
Les baisses des émissions de Gaz à Effet de Serre du parc de production sont donc fortes, elles sont par exemple de 20 000 kt eq CO₂ en 2020 avec le scenario « Mesures grenelle » (57% des émissions totales 2008). On peut alors comparer les résultats obtenus sur le contenu CO₂ moyen du kWh suivant les différents scenarii en croisant les émissions totales et les consommations intérieures :



Dans le cadre de la comparaison entre le scenario « Volontariste » et le scenario « Volontariste avec baisse du Chauffage électrique », il convient également de comparer, pour les autres énergies, les émissions de Gaz à Effet de Serre provenant des consommations de chauffage du bâti résidentiel antérieur à 2005. Voici donc tout d'abord une comparaison des consommations d'énergie primaire entre les différents scenarii :



Ces différences de consommations totales et de répartition des consommations par énergie amènent à des émissions différentes du parc bâti d'avant 2005¹⁹ :

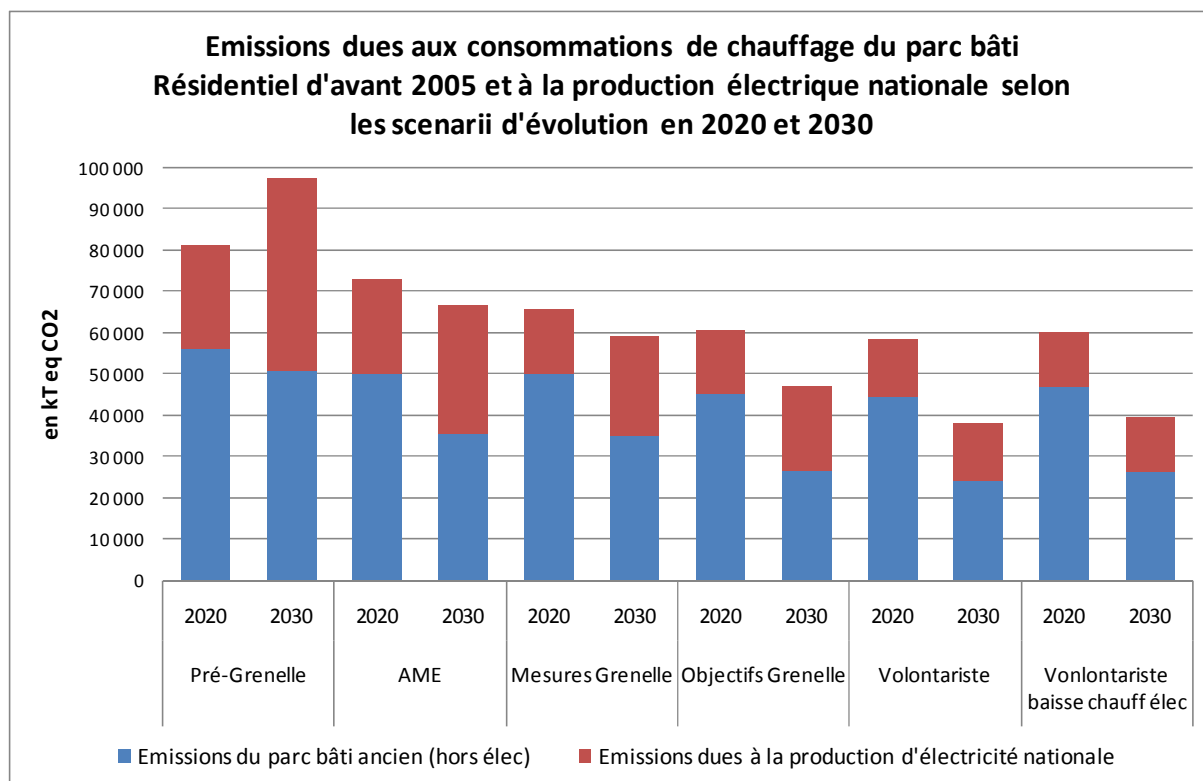


Ainsi plus les efforts de réhabilitation du parc bâti datant d'avant 2005 sont forts plus les émissions dues au chauffage du secteur résidentiel diminuent. On s'aperçoit également que, contrairement aux idées reçues, des politiques visant à une limitation des consommations de chauffage électrique n'impliquent pas nécessairement une hausse des émissions de gaz à effet de serre. En effet dans notre scénario « Volontariste avec baisse du chauffage électrique », en

¹⁹ Les facteurs d'émissions utilisées ici sont issus du Bilan Carbone de l' pour les différentes énergies excepté pour l'électricité ou le contenu carbone du kWh est tiré de la note de cadrage sur le contenu CO2 du kWh par usage en France de l'ADEME

encourageant une substitution du chauffage électrique par du chauffage au bois et au gaz de réseau, les émissions du parc n'augmentent que très légèrement par rapport au scénario « Volontariste » (0.06% en 2020 et 0.11% en 2030).

Il est donc maintenant possible de comparer les émissions totales du système électrique français additionné aux émissions de chauffage du parc bâti ancien provenant des autres énergies de chauffage, les résultats obtenus sont les suivants :



Pour continuer l'évaluation d'une politique de limitation des consommations électriques nationales de chauffage, on peut là encore comparer les résultats obtenus pour les deux scénarii « Volontariste ». Le scénario de baisse du chauffage électrique émet donc sur ce périmètre légèrement plus que le scénario « Volontariste ». Mais ces émissions supplémentaires restent faibles au regard des émissions totales (1 800 et 1700 kT en 2020 et 2030 soit 3 et 5% des émissions totales) et négligeables au regard des émissions de GES françaises totales. En effet d'après les inventaires des émissions de gaz à effet de serre du CITEPA²⁰, les émissions de gaz à effet de serre en France étaient d'environ 560 000 kt eq CO₂ en 2005, la différence observée entre nos scénarii représentant donc environ 0,3% des émissions nationales 2005. Cette hausse des émissions paraît infime en comparaison des gains apportés par une telle politique sur la sensibilité thermique du système électrique et donc sur les contraintes de transport et de distribution de l'électricité.

²⁰ Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique

IV. Analyse de faisabilité des scénarii

L'objectif de cette partie est de venir alimenter les résultats obtenus précédemment en élargissant l'horizon de l'étude à des impacts pas encore évalués et rentrant pour une part tout aussi importante dans l'évaluation d'un projet d'envergure comme celui-ci :

- Les impacts financiers
- Les impacts économiques et sociaux

IV.1. Impacts financiers

Les impacts financiers peuvent être séparés en deux typologies majeures : les investissements nécessaires et leurs effets sur la diminution de la facture énergétique des usagers. Ainsi pour les grandes mesures évaluées ci-dessous, une analyse de ces deux aspects sera effectuée quand elle est possible, l'association de ces deux chiffrages permettant d'évaluer la rentabilité des mesures et donc d'une certaine manière leur faisabilité.

Afin de calculer un impact sur la facture d'électricité des mesures mises en place, il est nécessaire de prendre des hypothèses d'évolution du prix de l'électricité. Pour ce faire pour chacun des impacts simulés nous effectuerons une estimation du coût global selon deux hypothèses :

- Un prix constant de l'électricité d'ici à 2030
- Une évolution du prix de l'électricité suivant les projections effectuée par la CRE (Commission de Régulation de l'Energie) :
 - Hausse de 7,1% des tarifs après la mise en place de la loi NOME
 - Augmentation annuelle de 3,1% entre 2011 et 2025

IV.1.a. Mesures sur la réglementation

De nombreuses mesures préconisées par le Grenelle ou notre scénario «Volontariste vise à la mise en place de nouvelles réglementations agissant principalement sur l'efficacité énergétique :

- Réglementation thermique dans le neuf
- Réglementation thermique dans l'existant
- Directives éco-conception
- ...

Il est difficile d'évaluer le coût réel de la mise en place de telles mesures et le surcoût qu'elles engendrent pour les usagers, cependant ces investissements semblent relativement faibles au regard, pour la plupart de ces réglementations, du volume d'équipements ou de bâti touchés et des gains que cela engendre.

On peut cependant évaluer l'impact de telles mesures sur la facture d'électricité des abonnés. Nous avons donc évalué l'impact sur les ménages de la mise en place des directives éco-conception prévues dans le scénario « Mesures Grenelle » sur les appareils suivants : les ampoules, les téléviseurs, les lave-linge et lave-vaisselle et les appareils de froid. On obtient ainsi une baisse de consommation unitaire des ménages d'environ 160 kWh en 2020 et de 262 kWh en 2030. En supposant un prix constant de l'électricité aux alentours de 10 centimes d'euro le kWh on obtient donc un gain pour les ménages de 16 euros en 2020 et de 26 euros en 2030 (23 euros en 2020 et 50 euros en 2030 suivant les projections de la CRE).

Une évaluation similaire peut être effectuée sur la mise en place de la RT 2012. Ainsi cette mise en place toucherait un peu plus d'un million de logements en 2020 et 2,4 Millions en 2030 pour une économie unitaire de l'ordre de 3 200 kWh par logement. En considérant le prix de l'électricité ici encore constant et égal à 10 centimes d'euro par kWh, on obtient une économie annuelle de l'ordre de 320 euros par logement touché (465 euros en 2020 et 631 euros en 2030

suivant les projections de la CRE). Au-delà du coût de la mise en place d'une telle réglementation, un surcoût du logement compris entre 5 et 10% est à prendre en compte.

IV.1.b. Réhabilitation du parc bâti ancien

Le Grenelle de l'environnement fixe des objectifs forts en termes de réhabilitation du parc bâti. Dans nos scénarii prospectifs ces derniers se traduisent par les chiffres suivants dans nos scénarii les plus forts :

- 400 000 réhabilitations par an à partir de 2013 pour le scénario « Mesures Grenelle »
- 650 000 réhabilitations par an à partir de 2013 pour les scénarii « Objectifs Grenelle » et « Volontariste »

Ces travaux vont nécessiter de forts investissements de la part des ménages qui seront en partie compensés par les différentes aides mises à leur disposition (éco prêt à taux zéro, crédit d'impôt développement durable, ...). En prenant comme hypothèse qu'une réhabilitation faisant économiser 40% des consommations de chauffage d'un logement datant d'avant 1975 (scénarii « Mesures Grenelles » et « Objectifs Grenelle ») coûte 30 000 euros et qu'une réhabilitation faisant économiser 50% des consommations de chauffage d'un logement datant d'avant 1975 (scénarii « Mesures Grenelles » et « Objectifs Grenelle ») coûte 40 000 euros, on obtient les investissements suivants pour ces scénarii :

	Nombre de logements réhabilités			Investissements nécessaires (en Millions d'euros)		
	« Mesures Grenelle »	« Objectifs Grenelle »	Scénarii « Volontariste »	« Mesures Grenelle »	« Objectifs Grenelle »	Scénarii « Volontariste »
2010 - 2015	1 700 000	3 250 000	3 250 000	51 000	97 500	130 000
2015-2020	2 000 000	3 250 000	3 250 000	60 000	97 500	130 000
2020 - 2025	2 000 000	3 250 000	3 250 000	60 000	97 500	130 000
2025 - 2030	2 000 000	3 250 000	3 250 000	60 000	97 500	130 000
Total 2010 - 2020	3 700 000	6 500 000	6 500 000	111 000	195 000	260 000
Total 2010 - 2030	7 700 000	13 000 000	13 000 000	231 000	390 000	520 000

On obtient donc des investissements nécessaires variant entre 111 et 260 milliards d'euros d'ici à 2020 et variant entre 230 et 520 milliards d'euros d'ici à 2030. Pour les logements chauffés à l'électricité datant d'avant 1975 et touché par cette réhabilitation les gains sur la facture d'électricité serait les suivants :

- **Gain unitaire de 40%** : Gain d'environ 3 850 kWh par an soit une économie annuelle de 385 euros à prix de l'électricité constant et une économie annuelle de 560 euros en 2020 et de 760 euros en 2030 suivant les estimations de la CRE
- **Gain unitaire de 50%** : Gain d'environ 4 800 kWh par an soit une économie annuelle de 480 euros à prix de l'électricité constant et une économie annuelle de 700 euros en 2020 et de 950 euros en 2030 suivant les estimations de la CRE.

IV.1.c. Ensemble des mesures

L'impact des différentes mesures sur la facture d'électricité des ménages et des professionnels diminuent avec l'ampleur des politiques de Maîtrise de la Demande en Electricité mises en place. Ainsi cette partie a pour objectif d'évaluer l'impact sur cette dernière de la mise en place du Grenelle de l'Environnement (comparaison scénario Pré-Grenelle – scénario « Objectifs Grenelle ») et de notre scénario « Volontariste » (comparaison scénario « Objectifs Grenelle » - scénario « Volontariste »). Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

		Impact Grenelle en GWh	Impact « Volontariste » en GWh	Impact Grenelle en kWh/ména ge ou en kWh/m ²	Impact « Volontariste » en kWh/ména ge ou en kWh/m ²	Impact Grenelle en Euro/ménage ou en Euro/m ²		Impact « Volontariste » en Euro/ménage ou en Euro/m ²	
						Prix Constant	Hypothèses CRE	Prix Constant	Hypothèses CRE
Résidentiel	2020	17 351	6 076	584	205	58,44	84,94	20,47	29,74
	2030	32 204	19 881	1 000	617	99,95	197,13	61,70	121,70
Tertiaire	2020	3 147	9 453	3	9	0,31	0,45	0,94	1,36
	2030	2 301	16 103	2	14	0,20	0,40	1,43	2,82

L'impact moyen sur la facture électrique des ménages de la mise en place du Grenelle de l'Environnement est donc compris entre 60 et 200 euros par an en fonction de l'horizon de temps étudié et des hypothèses d'évolution du prix d'électricité. L'impact du scénario « Volontariste » par rapport au scénario « Objectifs Grenelle » est quant à lui compris entre 20 et 120 euros par an.

Les économies réalisées par le secteur tertiaires après la mise en place du Grenelle sont, au contraire du secteur résidentiel, moins importantes que celles réalisées par le scénario « Volontariste » (un gain compris entre 0,2 et 0,45 euros/m² pour le Grenelle contre un gain compris entre 0,94 et 2,82 euros/m² pour le scénario « Volontariste »).

IV.2. Impacts socio-économiques

IV.2.a. Impacts sur l'emploi

► Situation actuelle

Sous l'impulsion du Grenelle de l'environnement, et de la montée des préoccupations liées au changement climatique, différents secteurs, en particulier ceux de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables, ont connu une recrudescence de leur activité.

En effet, la mise en œuvre de vastes programmes de MDE entraîne l'apparition de nouveaux besoins notamment :

- Formation à l'isolation du bâti et à l'installation-maintenance de matériel performant ;
- Audit et diagnostic de performance énergétique ;
- Architectes et ingénieurs familiarisés avec les nouvelles normes ;
- Installateurs ;
- Ouvriers ;
- Gestion des ressources en biomasse ;
- Production de granulés ou de plaquettes pour les chaudières à bois...

Selon l'ADEME, le nombre d'emplois dans le secteur des énergies renouvelables et l'efficacité énergétique a cru de 13 % entre 2006 et 2009.

	Emplois directs en 2006	Emplois directs en 2009
Développement EnR	31 600	50 900
Production EnR	21 000	28 300
Amélioration de l'efficacité énergétique - Résidentiel	91 000	117 400
Amélioration de l'efficacité énergétique - Transport	59 300	97 600
Total	203 700	294 200

Le déploiement d'une politique de Maîtrise de la Demande en Energie est donc génératrice d'emplois dans différents secteurs, les secteurs d'activité touchés dépendant bien entendu des mesures mises en place.

► Impacts sur l'emploi

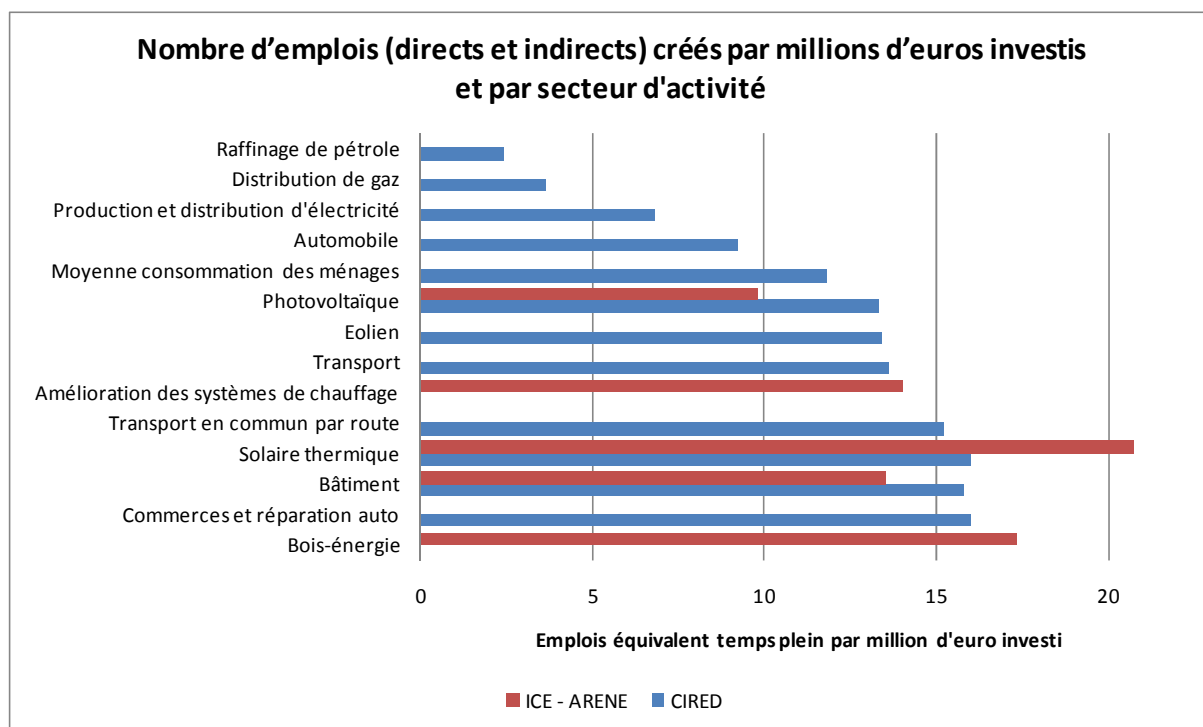
La mise en place d'une telle politique implique plusieurs évolutions du marché de l'emploi pouvant être séparées en 4 catégories :

- **Emplois directs et indirects** : Les emplois directs sont ceux liés à l'activité décrite sans intermédiaire (le développement des lignes TGV entraîne la création d'emploi dans le secteur de la construction d'infrastructures, d'exploitation et de la maintenance des trains et des rails de chemin de fer). Les emplois indirects dépendent quant à eux de l'activité d'un secteur donné (la construction de ligne de TGV accroît par exemple l'activité dans le secteur de la sidérurgie)
- **Emplois détruits** : Le développement de l'activité dans le secteur de l'efficacité énergétique et de la production d'énergies renouvelables peut également entraîner la disparition d'emplois dans certaines branches, notamment celles liées à la vente de gaz ou à la distribution de produits pétroliers.
- **Emplois induits** : Les emplois induits sont les emplois créés par l'augmentation du pouvoir d'achat, hors facture énergétique, des ménages. En effet, si ceux-ci investissent moins dans les dépenses énergétiques ; ils reporteront donc leur consommation sur d'autres secteurs (loisirs, habillement...).

L'impact sur le secteur de l'emploi ne se limite donc pas au secteur de l'énergie. Les différentes études trouvées sur le sujet utilisent des méthodes similaires pour évaluer la création d'emplois due à des mesures en faveur des économies d'énergie. Un calcul de ratios « emploi créé par euros investis » est réalisé en se basant sur des programmes de MDE déjà réalisés en France et dans le monde ou, dans le cas de la construction et du transport, sur les indicateurs du secteur. La productivité annuelle est estimée à 2 %.

Le graphique ci-dessous présente des ratios utilisés dans le cadre d'études menées par le CIRED et l'ARENE²¹ pour évaluer l'impact sur le nombre d'emploi en France ou en Ile-de-France de politiques d'efficacité énergétique ou de développement des énergies renouvelables:

²¹ « Impacts sur l'emploi de la réduction des émissions de CO2 en Ile-de-France ». CIRED. Janvier 2010
« Etude prospective sur le développement des activités et des emplois dans les secteurs de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables en Ile-de-France ». ICE-ARENE. Décembre 2006



Plusieurs remarques peuvent être faites sur ce graphique :

- Le contenu en emploi des secteurs classiques de l'énergie (raffinage du pétrole, distribution de gaz, production et distribution de l'électricité) est plus faible que le contenu en emploi des secteurs encouragés par la Maîtrise de la Demande en Energie tel que le bâtiment (excepté pour le transport où le secteur automobile est fortement créateur en emploi par le biais de l'ensemble des commerces le constituant).
- Le contenu en emploi de la consommation moyenne des ménages est supérieur au contenu en emploi des secteurs de l'énergie classique. Le surplus de pouvoir d'achat acquis par les ménages en réduisant leurs factures énergétiques devrait donc créer plus d'emplois que ce qu'il n'en détruira.
- Le contenu en emploi du secteur des énergies renouvelables est plus important que celui des énergies classiques.

Le bilan de la mise en place de politiques de réduction des consommations et de développement des énergies renouvelables est donc positif en termes de création d'emploi.

Plusieurs études ont ainsi été faites pour évaluer l'impact sur le marché de l'emploi de la mise en place du Grenelle de l'Environnement. Ainsi des études réalisées par le CIRED en 2007 et le BCG en 2009 évaluent le nombre d'emplois total créés par le Grenelle en 2020, une évaluation des impacts du Grenelle en termes d'emplois dans le secteur du bâtiment en 2020 ayant également été réalisé par le MEDDAT. Le tableau ci-dessous récapitule le nombre d'emplois nets créés (emplois créés – emplois détruits) grâce aux différentes filières et obtenus dans ces études :

	BCG	CIRED	Evaluation Grenelle
Amélioration de l'efficacité énergétique du bâti	314 000	205 200	244 300
Transport	180 000	239 400	
Energies renouvelables	134 000	239 400	
Total	650 000	684 000	

Pour avoir un ordre d'idée de la mutation du marché du travail obtenue par ces grandes mesures, dans son étude le CIRED évalue le nombre d'emplois détruits dans les secteurs de l'automobile et de l'énergie à 245 000.

Il faut ajouter à cela le développement des véhicules électriques et hybrides qui devrait avoir un impact positif sur l'emploi en France, notamment en termes de fabrication de véhicules et de batteries.

V. Conclusion de l'expertise

L'étude réalisée ici tente de répondre à une question principale :

Dans quels scénarii d'évolution de la demande nationale la construction du réacteur Penly 3 est-elle réellement nécessaire à la sécurité d'approvisionnement du territoire français ?

L'objectif retenu par la PPI correspondant à celui formulé par le COMOP 10 à l'horizon 2020 permet à lui seul de répondre aux besoins en 2030 engendrés par les scénarii les plus alarmistes, et d'ailleurs irréalistes, que sont les scénarii « Pré-Grenelle » et « AME ».

Il est vrai que dans nos simulations les scénarii les moins volontaristes demandent un recours plus fort aux énergies fossiles en 2030 pour répondre aux besoins français. Mais dans ce cas où nous nous retrouverions sur une croissance de la demande proche du scénario Pré-Grenelle, les horizons de temps auxquels les problèmes apparaîtront sont suffisamment éloignés (15 à 20 ans) pour se permettre de pouvoir reporter de plusieurs années une décision définitive sur le réacteur de Penly, soit à une date où nous aurions une idée réelle de l'impact des différentes mesures mises en place ces derniers mois. De surcroît, parvenir d'ores et déjà à une telle conclusion reviendrait à considérer que les objectifs fixés dans le cadre du Grenelle de l'Environnement ne seront pas atteints.

On est également en droit de se poser la question de l'impact d'une situation sur capacitaire dont on a pu voir les effets en termes d'incitation à la consommation dans les années 1975.

L'étude montre aussi à quel point les ménages et les territoires étaient vulnérables aux fluctuations futures du prix de l'énergie et que la mise en œuvre d'une politique effective de maîtrise de l'énergie pouvait présenter une double opportunité :

- Le maintien du pouvoir d'achat des ménages et de l'équilibre financier des entreprises sensibles
- Le développement d'une économie locale basée essentiellement sur le travail.

L'analyse environnementale montre que la mise en œuvre d'une politique de réduction de la demande électrique constitue un véritable vecteur de réduction des émissions de gaz à effet de serre du fait de plusieurs facteurs :

- Le fort développement des énergies renouvelables qui viennent en substitution des combustibles fossiles
- Les moindres importations d'électricité d'origine européenne fortement carbonée
- Les reports modaux dans le transport entraînant un passage des carburants vers l'électricité

Rappelons que, dans un souci de neutralité, l'expertise s'est tenue à respecter les hypothèses émises par la maîtrise d'ouvrage et qu'un gisement purement « structurel » de l'ordre de la production du réacteur de Penly 3 a été mis en évidence et a été volontairement non exploité dans l'étude.

VI. Annexes

VI.1. Annexe 1 : Reconstitution des consommations du secteur Résidentiel en 2008 et projection à horizon 2020

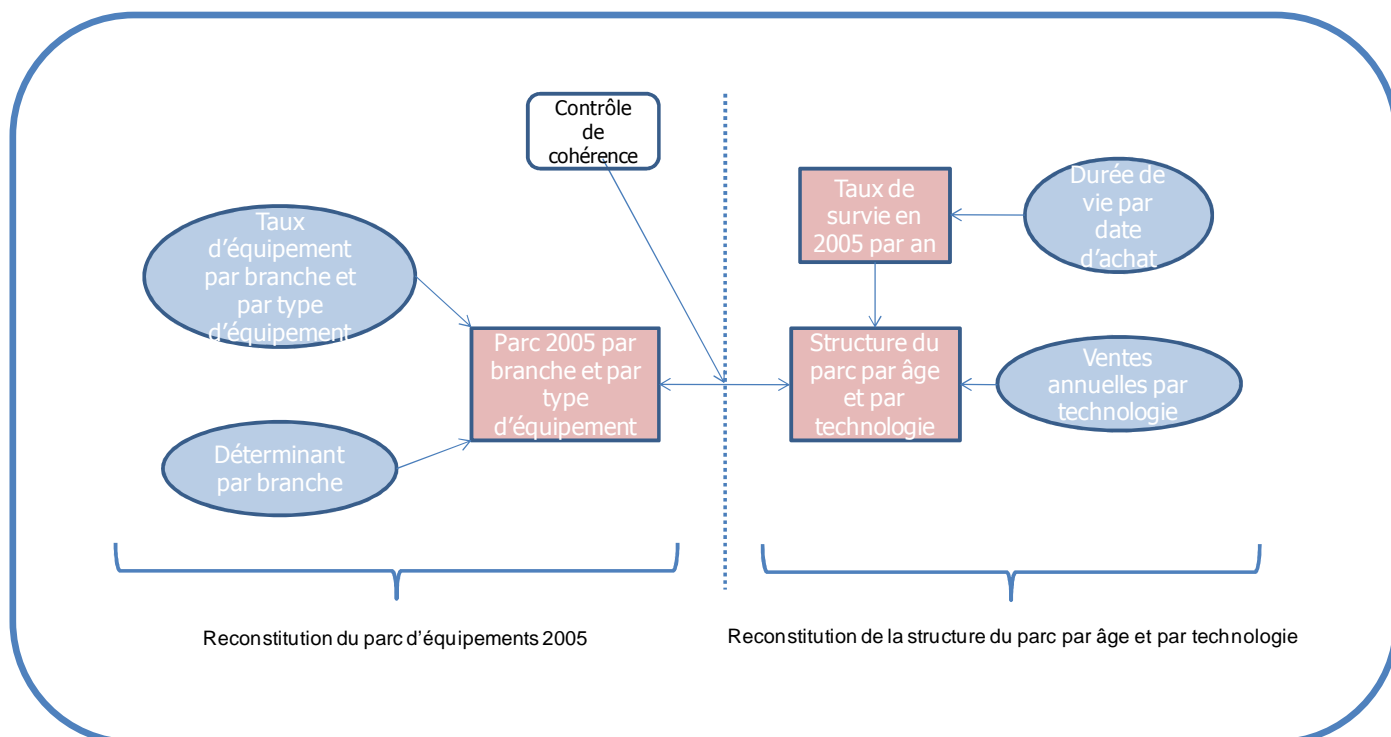
VI.1.a. Reconstitution des consommations électriques nationales du secteur Résidentiel en 2008 (hors Chauffage et ECS)

► Reconstitution de la structure par âge des parcs d'équipements électriques nationaux

L'objectif de cette partie est de détailler la méthodologie utilisée dans la reconstitution des parcs d'équipements électriques résidentiels en 2008. La méthodologie peut se séparer en deux phases distinctes dont le recouplement nous permet un contrôle de cohérence pour chaque usage (voire schéma ci-dessous) :

- Une phase de reconstitution du parc d'équipements 2008 par type de logements (RP, RS)
- Une phase de reconstitution de la structure du parc d'équipements 2008 par âge et par technologie

Méthodologie de reconstitution des parcs d'équipements 2008 d'appareils électriques résidentiels



► Reconstitution du parc d'équipements résidentiel

Cette phase a permis de reconstituer en volume (millions d'appareils) et par branche (RP/RS) les parcs d'équipements. Pour cela une recherche des taux d'équipements par usage a été réalisée et traduite en millions d'équipements par croisement avec le nombre de résidences principales et de résidences secondaires en 2008.

A travers une remontée d'informations historiques des taux d'équipements cette phase va nous permettre également, en se basant sur les évolutions passées, de pouvoir projeter à un horizon plus ou moins lointain les différents déterminants.

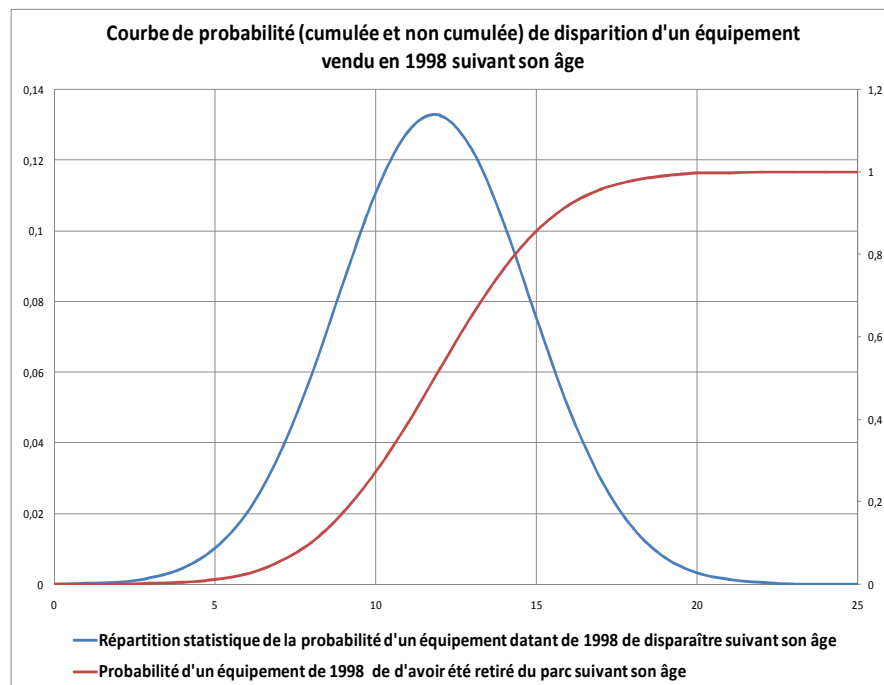
► Reconstitution de la structure par âge du parc d'équipements

Afin de mettre en place cette phase plusieurs types de données, pour chaque équipement, ont été recherchés dans la littérature :

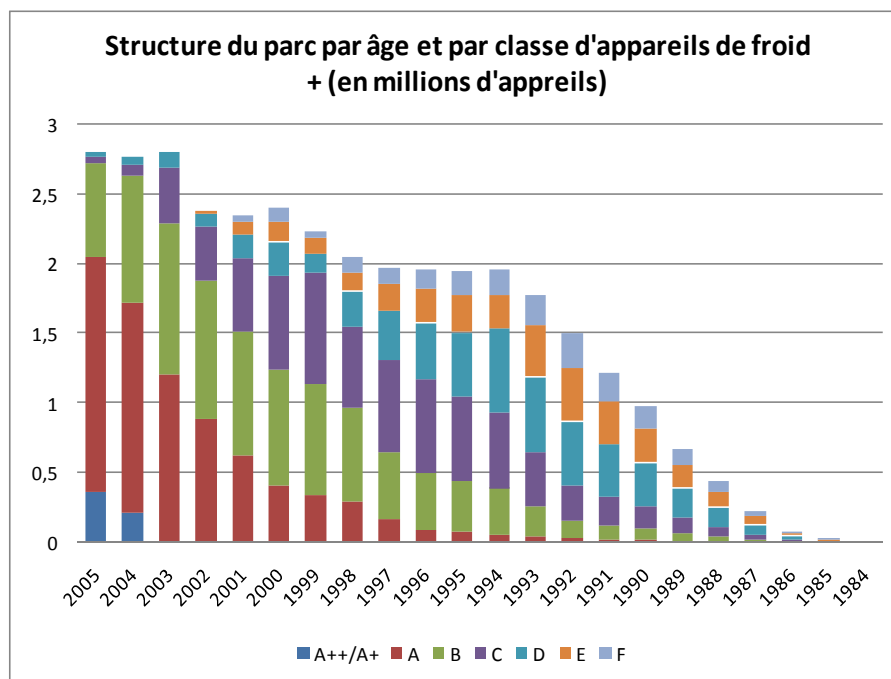
- Historique des ventes par technologie (ou étiquette énergie pour les produits concernés)
- Durée de vie par type d'appareils
- Puissance moyenne des appareils par technologie (ou étiquette énergie pour les produits concernés)

Cette remontée d'informations a permis dans un premier temps de calculer une durée de vie et une puissance des appareils par année de vente.

Ensuite, à chaque appareil vendu dans les années recensées a été affecté une courbe de survie de type loi normale, centrée sur la durée de vie de l'appareil et d'écart-type fluctuant entre 10 et 40% de la durée de vie en fonction de la sensibilité de l'usage au renouvellement technologique (plus l'écart type est petit plus la sensibilité au renouvellement technologique est faible). Voici une représentation graphique de la courbe de probabilité de disparition d'un équipement de 98 :



Cette étape nous permet ainsi de pouvoir reconstituer un parc d'équipement par année et par technologie (ou par étiquette énergie pour les appareils concernés). Voici par exemple la reconstitution du parc 2008 de réfrigérateurs et de combinés par âge et par étiquette énergie :



Afin de s'assurer de la véracité des résultats obtenus à ce stade de la méthode, une comparaison est réalisée entre la taille des parcs obtenus dans les phases 1 (parc résidentiel) et 2 (parc national). Dans la plupart des cas, sans ajustement nécessaire, les deux chiffres concordent : soit les résultats sont identiques, soit le parc d'équipements résidentiels est légèrement inférieur au parc total (dans le cas des appareils également présents chez les professionnels comme les réfrigérateurs). Dans les autres cas, la durée de vie utilisée dans la phase 2 est alors ajustée afin que les résultats obtenus concordent avec ceux de la phase 1.

► Reconstitution des consommations nationales par usage et de la forme des appels de charge horo-saisonniers par usage et par typologie d'abonnés

La structure par âge du parc obtenue précédemment nous permet de pouvoir calculer une puissance moyenne par équipement du parc. En croisant ensuite cette information avec un temps de fonctionnement annuel moyen (données provenant généralement de sources différentes d'Energies Demain : INSEE, Enertech, ...) on obtient une estimation de la consommation unitaire moyenne par équipement et de la consommation annuelle moyenne par logement en 2008.

Une reconstitution des consommations du secteur résidentiel par usage a par la suite été possible en associant aux parcs résidentiels calculés en phase 1 de la reconstitution du parc la description des appareils obtenue en phase 2.

A ces consommations par usage et par typologie d'abonnés résidentiel peut alors être associé une forme de courbe de charge horo-saisonnier. Cette forme décrit des appels de charge horo-saisonniers d'une journée moyenne par heure, par mois et par journée type (semaine, samedi ou dimanche).

Ces formes peuvent être obtenues de deux manières différentes :

- A partir de campagnes de mesures : Pour les usages sur lesquels des campagnes de mesure sur un échantillon suffisamment important de la population ont été réalisées, la moyenne des résultats obtenus est ainsi utilisée comme base pour la forme de courbe de charge. Des modulations mensuels peuvent ensuite, lorsque cela est pertinent être attribué à chaque forme obtenue en fonction des typologies de logements concernées et de l'implantation géographique.
- A partir d'outils construits par Energies Demain : Pour les usages thermiques et l'éclairage, des outils de reconstitution de la forme des appels de charge horo-saisonniers moyen ont été développés par Energies Demain. Ces outils sont construits de manière analogue en croisant les besoins des abonnés (présence dans les locaux, température de

consigne par exemple pour l'usage chauffage), les conditions extérieurs (température pour l'usage chauffage) et les apports internes.

VI.1.b. Reconstitution des consommations de Chauffage et d'ECS en 2008 : modèle ENERTER

A partir des données du Recensement Général de la Population actualisées et enrichies notamment grâce à l'expertise de spécialistes en histoire de l'architecture, et en thermique du bâtiment, le modèle ENERTER® simule de manière dynamique les consommations énergétiques de chacun des près de trente millions de logements français. Si la principale valeur ajoutée de ce modèle réside dans sa capacité à déterminer selon une approche discrète, soit logement par logement, les consommations énergétiques du parc bâti résidentiel, il convient de souligner que la richesse des données exploitées lui permet également la prise en compte des caractéristiques architecturales (nombre d'étages, matériaux de construction, taux de vitrage...) dans le cadre des simulations réalisées.

La suite de cette partie fournit les principaux éléments nécessaires à la compréhension de la structure du modèle et des méthodes employées dans la simulation des consommations énergétiques.

► Définition architecturale du parc bâti résidentiel

Les données du Recensement Général de la Population réalisé en 1999 par l'INSEE constituent le point de départ du modèle ENERTER®. Pour chacun des immeubles du secteur résidentiel français, il est en effet possible d'extraire de ce dernier les données suivantes :

- son Identifiant (concaténation du numéro de la zone IRIS dans laquelle se trouve l'immeuble et du numéro de l'immeuble dans l'IRIS en question) ;
- le code INSEE de la commune dans laquelle se trouve l'immeuble ;
- son type (Maison individuelle, Immeuble collectif,...) ;
- sa période de construction ;
- son nombre d'étages (uniquement s'il s'agit d'un immeuble collectif) ;
- les surfaces de chacun des logements qu'il comprend.

Afin de pouvoir simuler les consommations énergétiques du parc bâti de manière fine, ces données ont été enrichies dans le but de décrire architecturalement, et donc thermiquement, chacun des bâtiments du parc bâti résidentiel français afin d'intégrer des caractéristiques architecturales supplémentaires (matériaux de construction, taux de vitrage...) dans le calcul des consommations d'énergie. Energies Demain a établi une matrice répertoriant les grandes typologies architecturales françaises du secteur résidentiel. Celle-ci comprenait pour chacune des 244 typologies décrites :

- son identifiant ;
- sa famille²² ;
- le nombre de niveaux (cette donnée est fournie par l'INSEE pour les immeubles collectifs) ;
- la hauteur sous-plafond de la typologie considérée ;
- la typologie constructive des parois verticales extérieures (exemples : béton + doublage brique, parpaing, calcaire, béton 20cm + isolant 8cm...) ainsi que l'épaisseur et le coefficient de transmission thermique U associé ;
- la typologie constructive des planchers ainsi que l'épaisseur et le coefficient de transmission thermique U associé ;
- la typologie constructive de la toiture ainsi que l'épaisseur et le coefficient de transmission thermique U associé ;
- le type de menuiseries utilisées ;
- le taux de vitrage ;
- le facteur de mitoyenneté²³.

²² La matrice considérée compte 21 familles architecturales (Pavillon de banlieue, Maison de ville, Barres,...) dans lesquelles sont regroupées les 244 typologies qu'elle comprend.

Un module de distribution aléatoire contrainte des typologies architecturales (DACTA) permet d'attribuer une typologie architecturale à chaque logement du parc. Afin de restreindre le champ des possibles quant à l'attribution de ces 244 typologies à chacun des immeubles présents dans le RGP 1999, des combinaisons de discriminants ont été établies. Ces discriminants se répartissent en deux ensembles distincts :

- un ensemble de discriminants relatifs à la typologie elle-même et correspondants aux données caractéristiques du bâtiment disponibles dans le RGP 1999 :
 - son type (maison individuelle, immeuble collectif...)
 - sa période de construction
 - son nombre d'étages, uniquement s'il s'agit d'un immeuble collectif
- un ensemble de discriminants relatifs à la zone où l'on trouve cette typologie:
 - la typologie de tissu urbain
 - la grande région architecturale
 - les matériaux de construction à disposition
 - le niveau de briques de la zone dans laquelle on la trouve (cette variable caractérise l'« abondance » de briques dans une zone donnée. Elle a été définie à l'aide de l'implantation des briqueteries en France ainsi que de l'historique des productions de celles-ci)

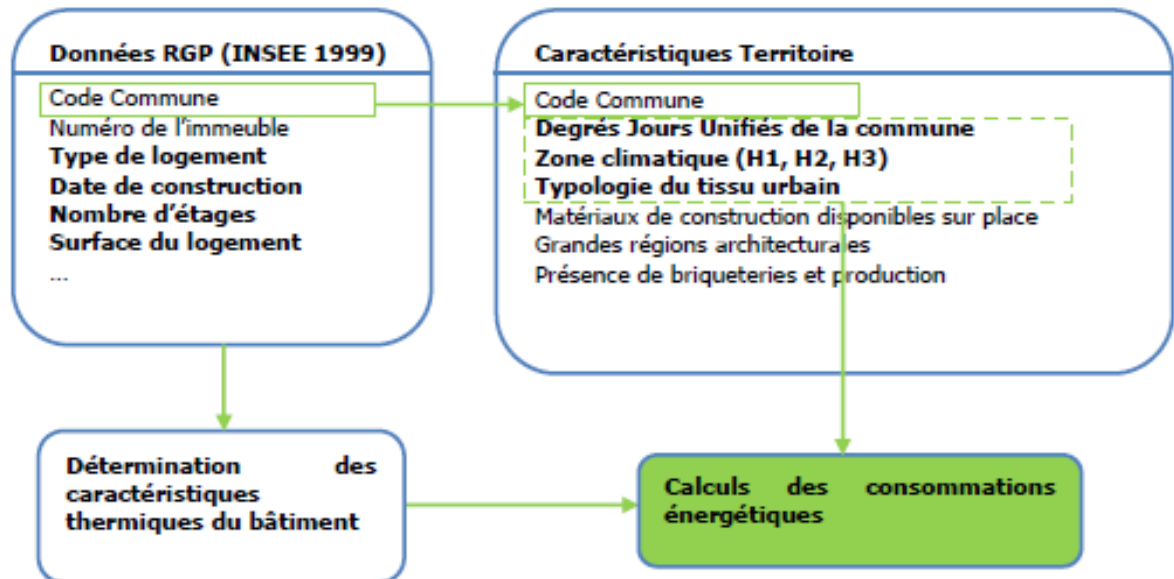
Certaines typologies étant pourvues de la même combinaison de discriminants, il a été nécessaire d'établir la probabilité de trouver une typologie pour une combinaison de discriminants donnée afin de permettre l'implémentation du module DACTA.

A propos de l'exploitation des résultats du module DACTA à proprement parler, il convient de noter qu'il aurait pu être envisageable d'adopter un raisonnement similaire à celui de la logique floue en considérant pour le calcul des consommations énergétiques que les parois extérieures de l'immeuble sont par exemple constituées à 80% d'un mur traditionnel en brique, 10% en parpaing et 10% en béton préfabriqué. Cependant l'objectif de ce module étant de modéliser une réalité physique, chacun des immeubles se voit attribuer aléatoirement l'une des typologies architecturales comprises dans la matrice précédemment décrite dans le cadre de son implémentation au modèle ENERTER®. Cette attribution se fait bien entendu suivant les probabilités de trouver cette typologie pour la combinaison de discriminants considérée.

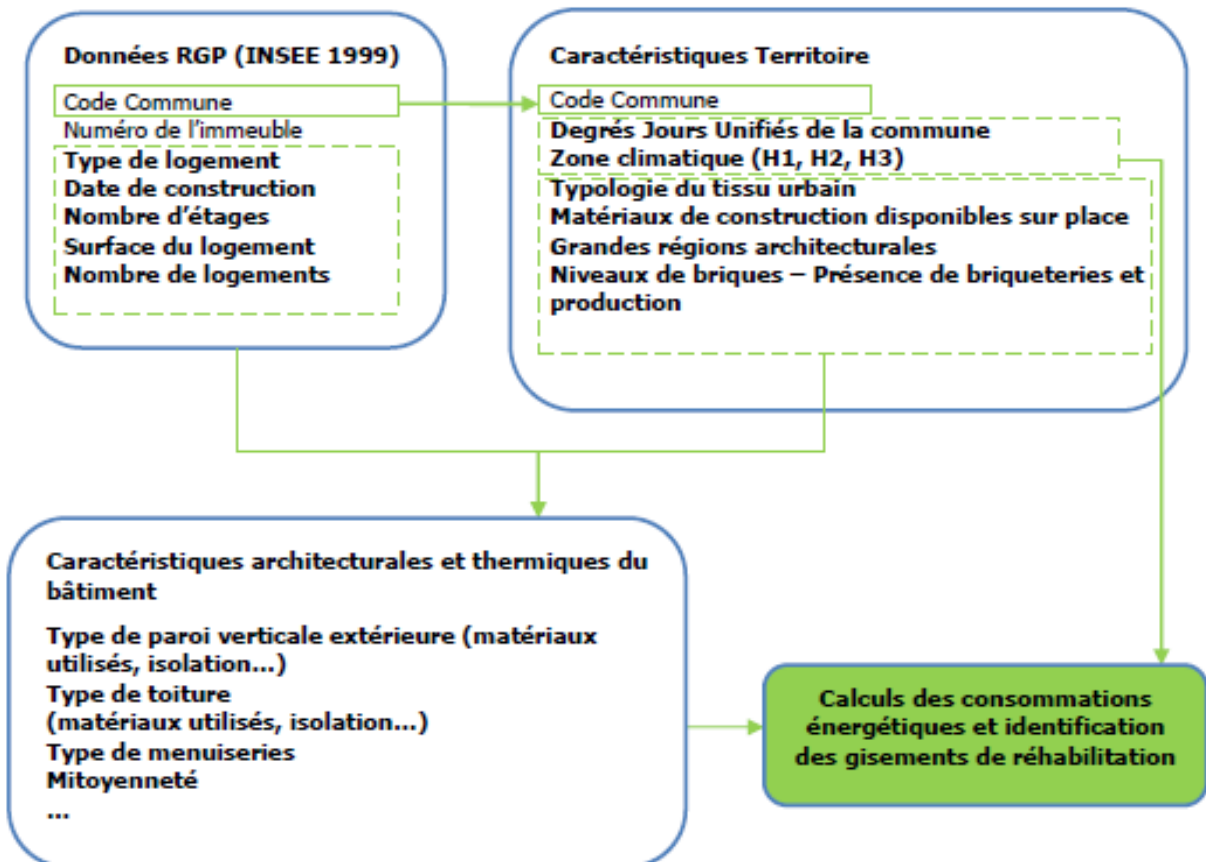
²³ Ce facteur de mitoyenneté est fonction de la famille architecturale considérée ainsi que de la compacité du tissu urbain

Intérêt du module de « Distribution aléatoire contrainte des typologies architecturales » dans le fonctionnement d'ENERTER

Fonctionnement simplifié d'ENERTER® SANS implémentation des typologies



Fonctionnement simplifié d'ENERTER® AVEC implémentation des typologies



► Actualisation des données 2000 – 2005

Les données issues du RGP (1999) ont été actualisées pour définir un état du parc à l'année 2005. L'évolution du parc a été simulée année par année entre 2000 et 2005, en intégrant notamment la construction neuve, la réhabilitation des logements existants et les changements de systèmes de chauffage (aucune hypothèse n'a été prise sur les démolitions).

a. Construction neuve

A partir de la base de données SITADEL (statistiques communales sur la construction neuve), les logements construits entre 2000 et 2005 ont été intégrés au modèle ENERTER. Notons que cela induit une légère diminution du degré de précision par rapport aux données du RGP, données à l'échelle de l'IRIS.

b. Réhabilitation

Les taux de réhabilitation des logements par geste (isolation des murs, isolation du plancher bas, isolation de la toiture, changement du système de ventilation) ont été évalués à partir des sources suivantes :

- *La construction progresse encore en 2006*, Gérard Vittek – INSEE, Insee Première n° 1145, juillet 2007
- *Analyse 2006 de l'offre et de la demande en matière d'efficacité énergétique dans les logements – note de synthèse*, Observatoire Permanent de l'amélioration Energétique du logement, juillet 2008
- *Dépense d'acquisition de logements et de travaux*, INSEE
- *Maîtrise de l'énergie, bilan 2000, attitudes et comportements des particuliers – 2e phase, note de synthèse*, ADEME – SOFRES
- *Les 8 tableaux qui permettent de comprendre le marché de la fenêtre en France en 2006*, Batim-Etudes, juillet 2007
- *Mesurer et comprendre les marchés de l'amélioration de l'habitat*, Bérénice Le Fur – CAH, 2004
- *Economies et substitutions d'énergie dans les bâtiments*, Conseil général des Ponts et Chaussée, février 2008
- *Chiffres clés du logement*, Plan de cohésion sociale, 2006
- *Typologie des bâtiments d'habitation existants en France – rapport de synthèse*, Pascale Graulière, 2007

Après détermination du nombre de logements réhabilités, une affectation aléatoire a été réalisée sur la France.

c. Changements de systèmes de chauffage

Les sorties de parc sont déterminées à partir d'hypothèses sur la durée de vie moyenne des systèmes de chauffage. Une matrice de transfert entre modes et énergies de chauffage donne la nature des systèmes de remplacement.

► Actualisation des données 2005 – 2008

Le modèle ENERTER réalisant ces bilans pour l'année 2005, une évolution du parc a été nécessaire entre 2005 et 2008. Cette évolution a suivi la même logique que celle simulée pour la période 2000 – 2005. Une évaluation de la construction neuve a ainsi été incorporée et une évolution du parc existant a été réalisée (Dynamique de renouvellement du parc de systèmes de chauffage et incorporation d'un taux de réhabilitation). Cependant, étant donné le temps imparti, à cette étude la territorialisation de ces évolutions n'a pas été effectuée.

► Calcul des consommations d'énergie liées au chauffage

La modélisation des consommations énergétiques pour des besoins de chauffage dans chacun des logements du parc se fait sur la base des règles de calcul THC-88. Elles nous permettent de déterminer une consommation conventionnelle (ou consommation brute), représentative d'une réponse intégrale au besoin de chauffage.

a. Calcul du besoin en chaleur

Paramètres de calcul

Surface	Surface habitable
SurfaceToit	Surface de la toiture
SurfMurs	Surfaces de parois verticales non mitoyennes
PartFenetre	Proportion de surface vitrée dans les parois verticales
Hauteur_sous_plafond	Hauteur sous plafond
Utoit, Umurs, Ufen, Uplan	Coefficients de transmission thermique pour le toit, les murs, les fenêtres et le plancher bas, prenant en compte la réhabilitation éventuelle du logement.
Taux_air	Taux d'air renouvelé dans le logement en 1 heure
Taux_lin	Taux de pertes de chaleur linéiques (pertes dues aux ponts thermiques)
E	Energie apportée par 1 m ² de vitrage sud
Rend_interm	Facteur d'intermittence (traduit les baisses momentanées de température)

Intermédiaire de Calcul

R	Pertes de chaleur dues au renouvellement d'air pour 1° de delta (W/K) $R = 0.34 * \text{Taux_air} * \text{Surface} * \text{Hauteur_sous_plafond}$
G	Densité volumique de fuite de chaleur pour un delta de 1° (W/m3.K) $G = [R + (1 + \text{taux_lin}) * [\text{SurfaceToit} * (\text{Utoit} + \text{Uplan}) + \text{SurfMurs} * (1 - \text{PartFenetre}) * \text{Umurs} + \text{SurfMurs} * \text{PartFenetre} * \text{Ufen}]] / (\text{surface} * \text{hauteur_sous_plafond})$
SseSh	Surface équivalent sud de vitrage par unité de surface habitable Si typl = 1 => SseSh = 0.028 Sinon => SseSh = 0.025
Apport	Total des apports de chaleur gratuit dans le logement (kWh/an) $\text{Apport} = \text{surface} * (\text{SseSh} * E + \text{AiSh})$
Deper	Total des déperditions de chaleur (kWh/an) $\text{Deper} = (24 * G * \text{surface} * \text{hauteur_sous_plafond} * \text{DJU} * \text{rend_interm} / 100) / 1000$
F	Fonction intégrant l'inertie (inertie moyenne = 2.9) $F = (X - X^{(2,9)}) / (1 - X^{(2,9)})$ avec $X = \text{Apport} / \text{Deper}$

$$\text{Besoin_chauff (kWh/an)} = \text{Deper} * (1 - F)$$

b. Calcul de la consommation conventionnelle d'énergie finale

Paramètres de calcul

Rend_prod	Rendement de production
Rend_distrib	Rendement de distribution
Rend_interm	Rendement d'intermittence (fonction du type d'occupation : résidence principale/secondaire...)
Surchauffe	Si l'occupant chauffe plus que le besoin, surchauffe > 1 Si l'occupant chauffe moins que le besoin, surchauffe < 1

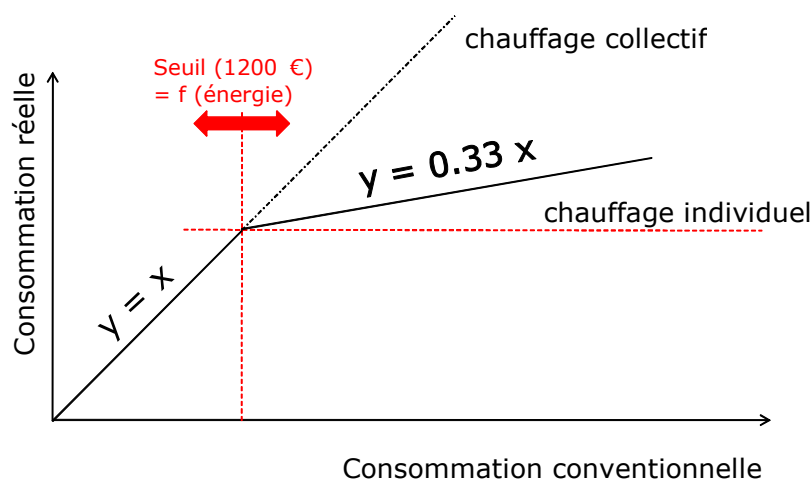
$$\text{Conso_chauf_conv Ef tot (kWh/an)} = (\text{Besoin_chauf} * \text{Surchauffe}) / (\text{Rend_prod} * \text{Rend_distrib})$$

c. Calcul de la consommation réelle - Prise en compte du facteur comportemental

La consommation réelle de chauffage d'un ménage n'est pas toujours identique à la consommation conventionnelle calculée. Les aspects techniques et comportementaux qui entrent en jeu dans le mode d'utilisation des instruments de régulation du chauffage dans un logement ont été intégrés au calcul de la consommation conventionnelle (avec les paramètres « surchauffe » et « rendement d'intermittence »). Pour prendre en compte la distorsion restante entre consommation conventionnelle et réelle, nous avons posé l'hypothèse que le facteur financier était déterminant dans le taux de réponse au besoin lorsque celui-ci atteint des valeurs élevées. Ainsi, nous avons introduit un seuil à 1 200 € après lequel seul 33% du besoin de chauffage d'un logement est réellement assouvi.

Cette réduction de la consommation réelle par rapport à la consommation conventionnelle n'est introduite que dans le cas des modes de chauffage permettant à l'occupant de moduler sa consommation. Tous les logements en chauffage collectif se voient donc attribuer une consommation réelle égale à la consommation conventionnelle.

Le schéma ci-dessous illustre cette méthodologie de calcul de la consommation « réelle » de chauffage :



► Calcul des consommations d'énergie liées à l'Eau Chaude Sanitaire (ECS)

a. Calcul du besoin en chaleur

Paramètres de calcul

B	Besoin en eau chaude = 50 L/jour/personne
t	Taux de couverture du besoin moyen en France = 70%
j	Nombre de jours d'utilisation d'eau chaude = 300 jours /an
C	Capacité calorifique de l'eau = 1.163 Wh/L/°C
Tc	Température de l'eau chaude = 50°C
Tf	Température de l'eau froide = 12°C

$$\text{Besoin_ECS} = B * t * j * C * (Tc - Tf)$$

Soit Besoin_ECS = 50 * 0.70 * 300 * 1,163 * (50-12) = **464 kWh/pers/an**

b. Calcul de la consommation d'énergie

Une matrice de passage permet de déterminer les énergies utilisées pour la production d'eau chaude sanitaire ; celles-ci dépendent de l'énergie et du système de chauffage, et du type de logement (maison/appartement). On a ainsi la part du besoin en chaleur assurée par chaque énergie (e.g. gaz de réseau). Bien que cette répartition n'ait un sens qu'en moyenne sur un parc de logements suffisamment grand, ce calcul des consommations s'effectue tout de même sur chacun des logements, pour permettre ensuite d'effectuer les regroupements souhaités.

Chaque logement donne ainsi lieu à plusieurs calculs de consommations.

Paramètres de calcul

Nb_pers	Nombre de personnes occupant le logement
Part_énergie	Pourcentage du besoin d'ecs assuré par l'énergie considérée (déterminé avec la matrice passage)
Ratio	Ratio de présence (fonction du type de logement)
Rend_énergie	Rendement de l'énergie considérée

$$\text{Conso_ECS_énergie} = \text{Besoin_ECS} * \text{Nb_pers} * \text{Ratio} * \text{Part_énergie} / \text{Rend_énergie}$$

La consommation d'énergie finale totale pour l'ECS est alors la somme des contributions de chaque énergie :

$$\text{Conso_ECS (kWh/an)} = \Sigma \text{Conso_ECS_énergie}$$

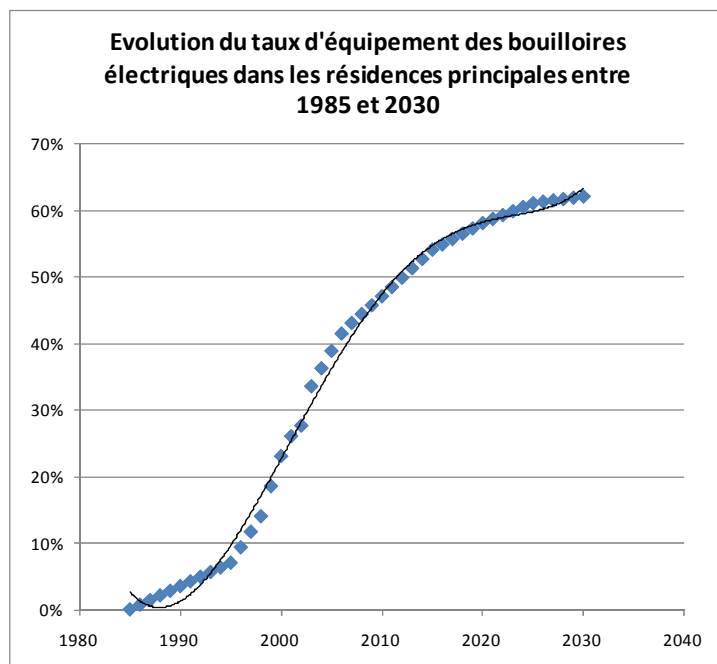
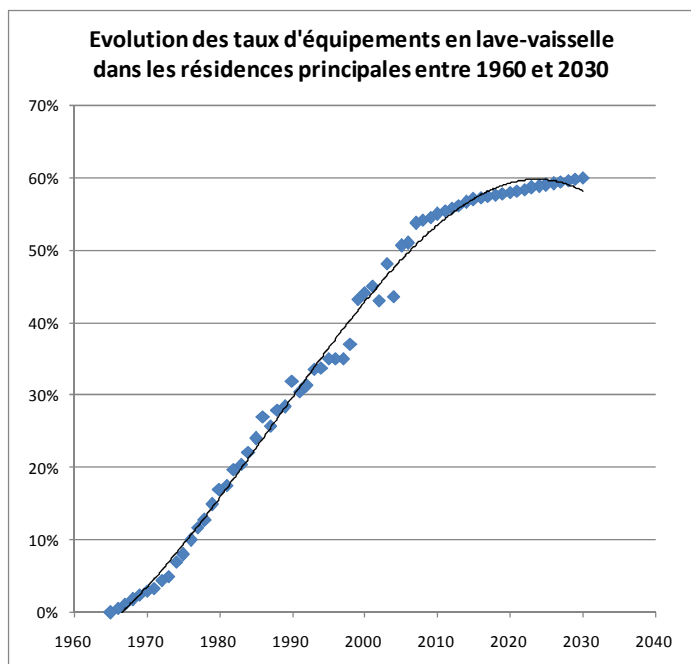
VI.1.c. Prospective des parcs et de leurs consommations annuelles par usage et par typologie d'abonnés

L'objectif est ici de pouvoir projeter l'ensemble des déterminants nécessaires à la reconstitution de la structure des parcs d'équipements électriques nationaux et de leurs consommations associées à partir de la mécanique mise en place pour la reconstitution 2005. Cette méthodologie permet donc d'obtenir une description analogue à celle réalisée pour 2005, aux différents points de passage choisis (tous les 5 ans entre 2010 et 2030), des paramètres suivants :

- Nombre de logements en France (RP/RS)
- Taux d'équipements par usage
- Ventes annuelles d'appareils électriques par usage
- Durée de vie moyenne
- Structure du parc par âge
- Structure du parc par technologie / par classe énergétique
- Temps d'utilisation annuel moyen
- Puissance moyenne en fonctionnement / en veille
- Consommation annuelle moyenne par équipement / moyenne par logement / totale du parc

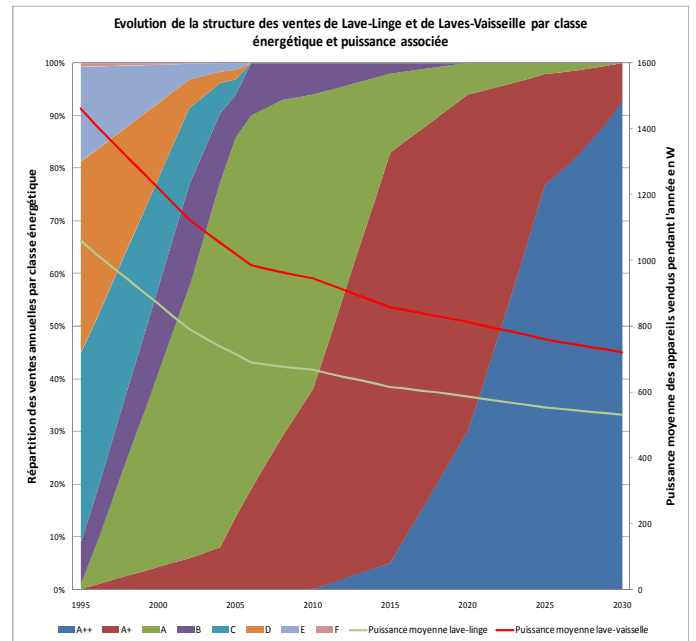
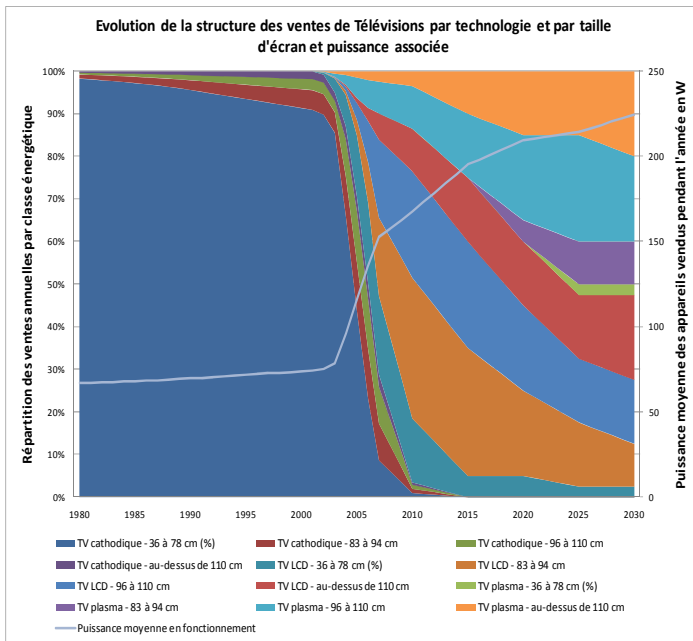
La méthodologie de reconstitution de l'ensemble de ces paramètres à quelque horizon que ce soit se décompose chronologiquement de la manière suivante :

- Hypothèse de projection du nombre de ménages : hypothèses issues de l'INSEE
- Hypothèse de projection des taux d'équipements : La reconstitution historique des taux d'équipements par usage effectuée précédemment permet d'évaluer, en fonction de la courbe obtenue et de son rapprochement avec sa courbe en S théorique, la maturité sur le marché de l'usage étudié. Ainsi à partir d'hypothèses par usage sur les taux d'équipements maximums atteints, les vitesses de pénétration et de disparition, il est possible d'obtenir des évolutions cohérentes des taux d'équipements des ménages français d'ici à 2030 (voire exemples suivants).

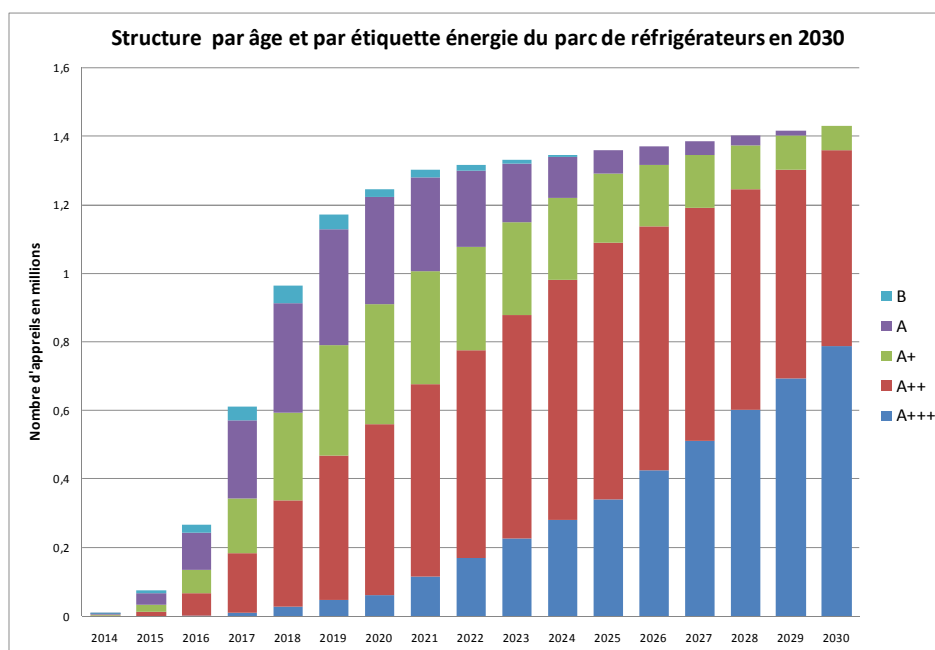


- Projection des parcs d'équipements par usage : Croisement des résultats obtenus sur le nombre de ménages et les taux d'équipement par usage
- Structure annuelle des ventes par technologie ou par classe énergétique : A partir des évolutions observées, des pénétrations attendues de nouvelles technologies attendues,

... des hypothèses de structure des ventes par technologie et / ou classe énergétique sont mises en places (voire exemples suivants) :



- **Durée de vie moyenne :** En fonction de la structure annuelle des ventes par technologie, une durée de vie moyenne par année de vente est calculée
- **Historique des ventes (en volume) :** Un taux de renouvellement annuel moyen du parc est défini en fonction de plusieurs critères (historique de renouvellement annuel du parc calculé à partir de l'évolution du parc et des ventes, durée de vie moyenne des appareils, rupture technologique, ...). Ainsi en y ajoutant l'augmentation annuelle du parc calculée à partir des historiques obtenus précédemment on obtient l'évolution historique théorique des ventes par usage.
- **Structure du parc par technologie / par classe énergétique :** Le croisement des ventes et des courbes de survie calculées à partir de la durée de vie moyenne nous permette la reconstitution du parc d'équipements par âge et par technologie et / ou étiquette énergie (voire exemple suivant) :

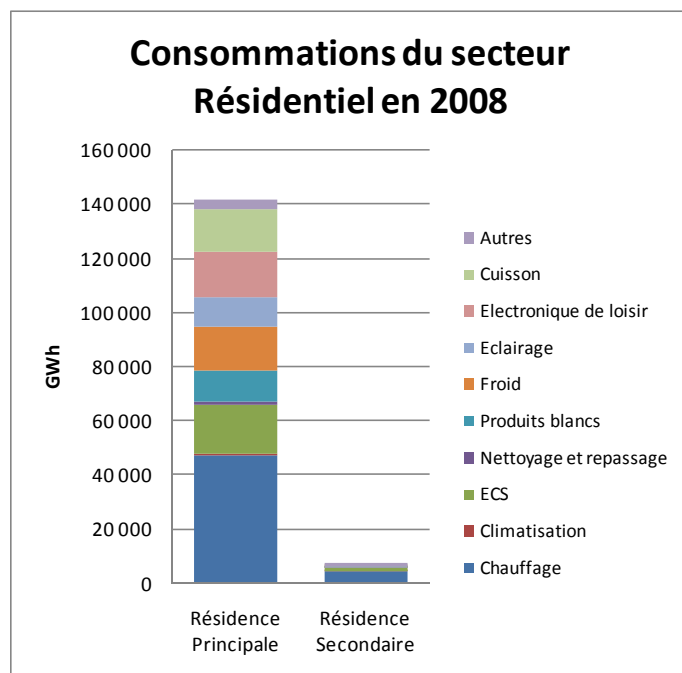
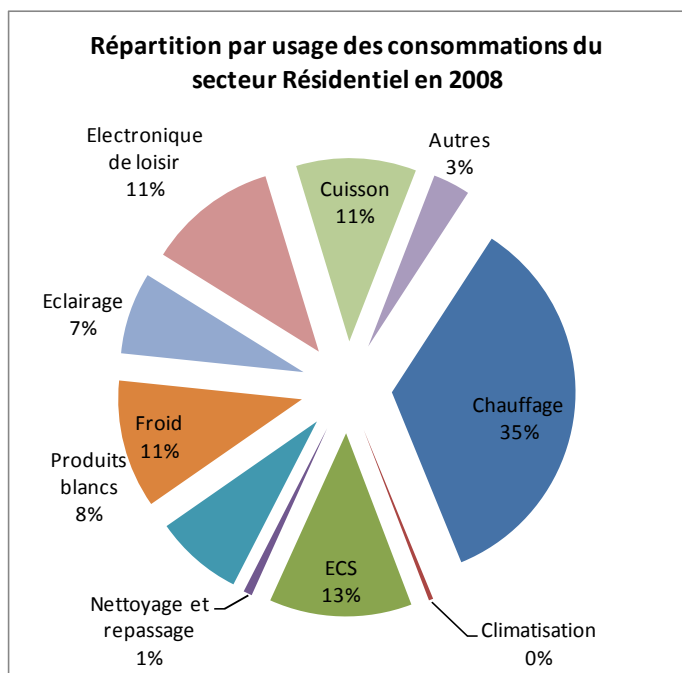


- Puissance moyenne en fonctionnement / en veille : La structure par âge et par technologie du parc croisé avec des puissances moyennes par technologie et/ ou par classe énergétique nous permet ainsi de calculer une puissance moyenne en fonctionnement et en veille par type d'appareils
- Temps d'utilisation annuel moyen : A partir des évolutions observées, des pénétrations attendues de nouvelles technologies, ... des hypothèses de temps d'utilisation moyen par appareil électrique sont mises en place
- Consommation annuelle moyenne par équipement / moyenne par logement / totale du parc : A partir des différents paramètres obtenus précédemment (parc par an, puissance moyenne par an, temps d'utilisation annuel moyen par an) on peut ainsi calculer les consommations annuelles par usage et par typologie d'abonnés de l'ensemble des usages étudiés.

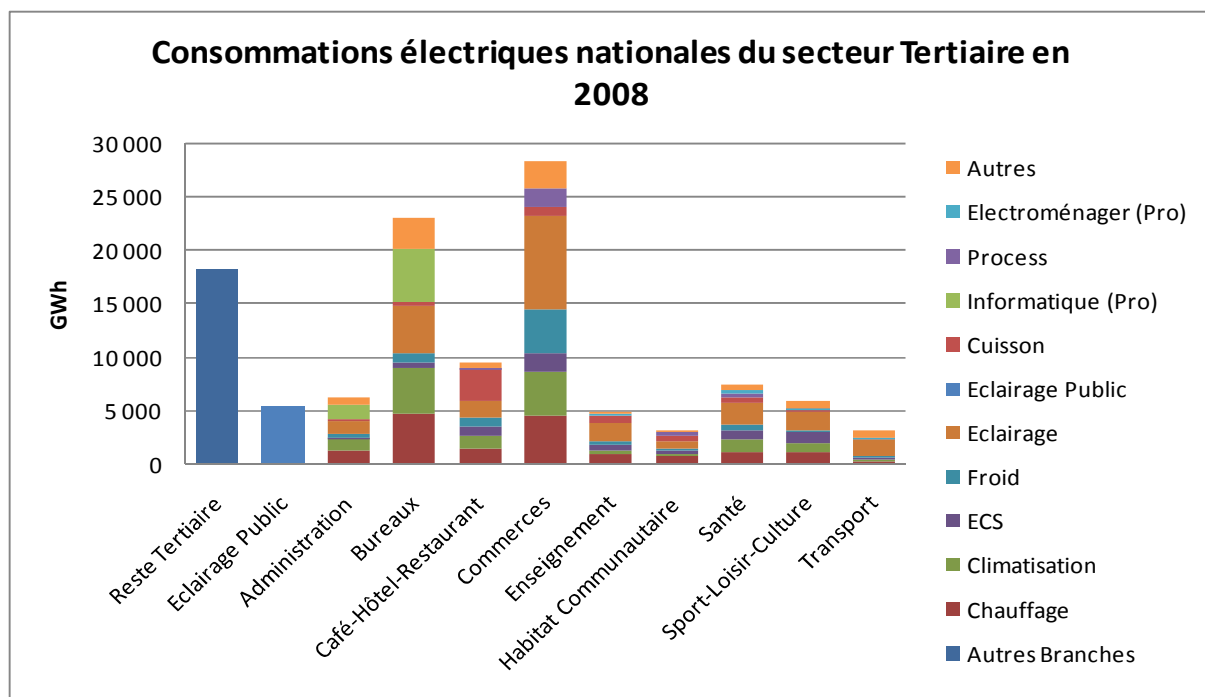
VI.2. Annexe 2 : Consommations électriques nationales en 2008

VI.2.a. Secteur Résidentiel

Au sein du secteur Résidentiel la répartition des consommations totales 2008 est la suivante :

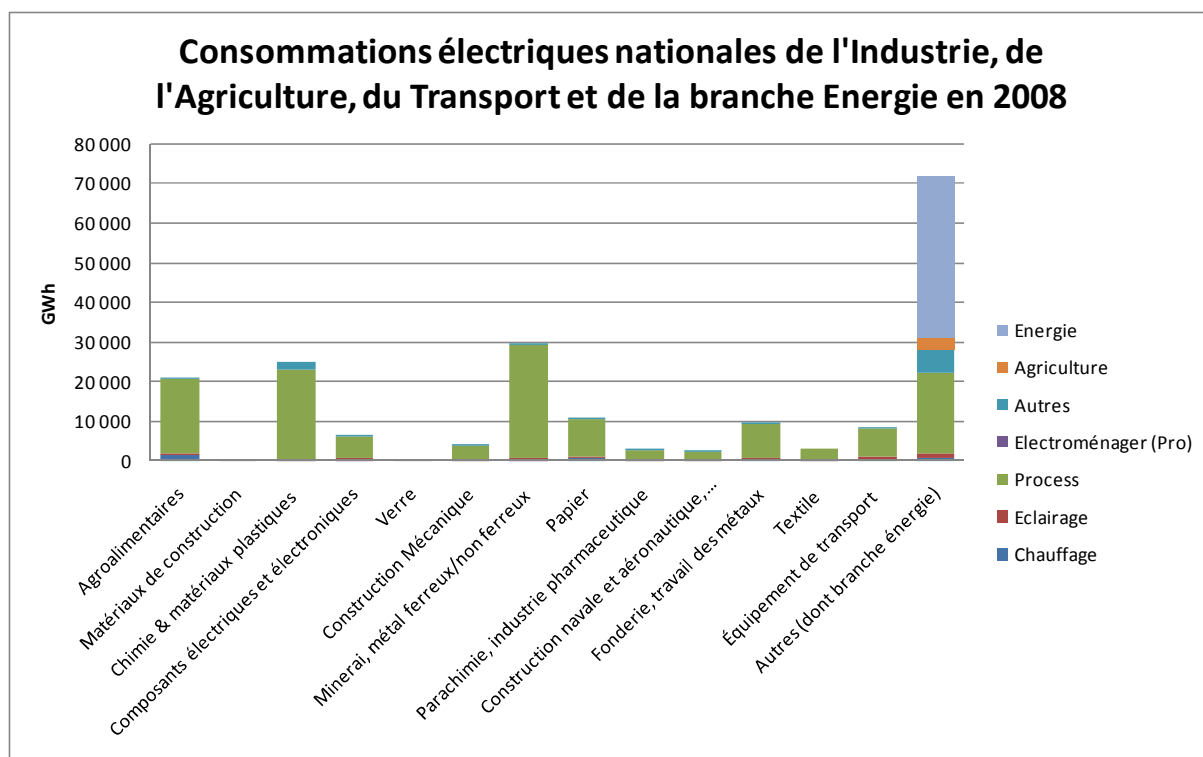


VI.2.b. Secteur Tertiaire



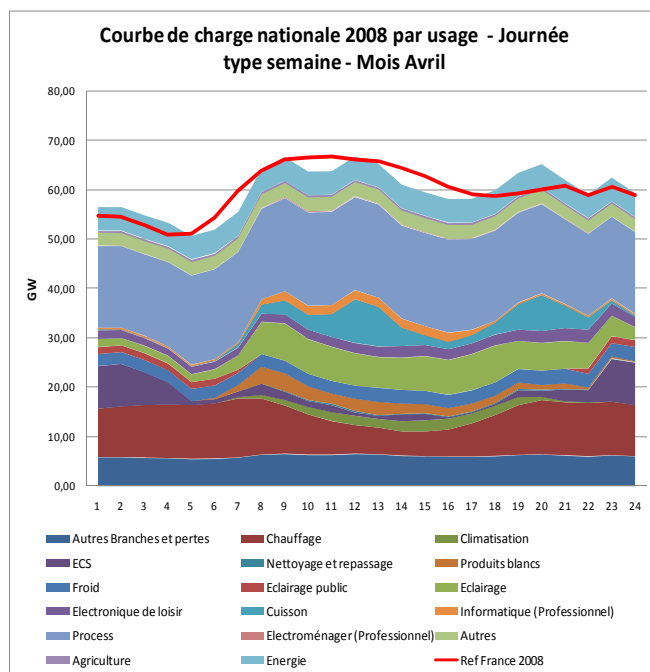
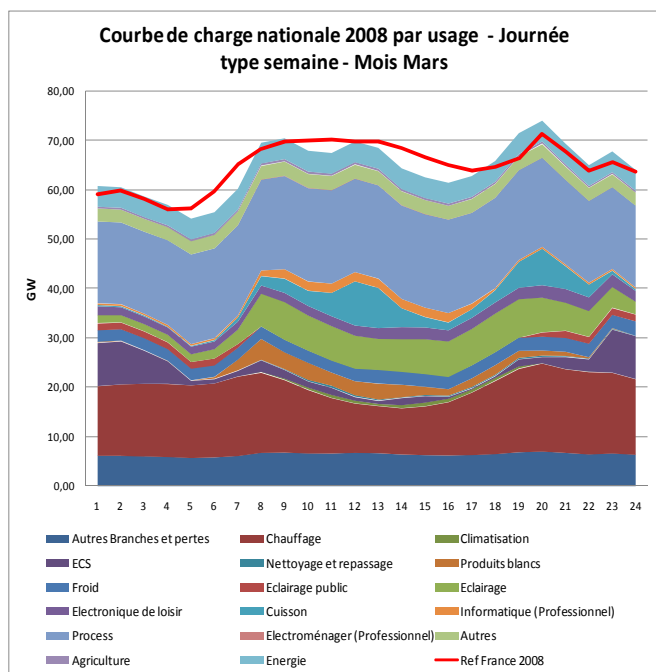
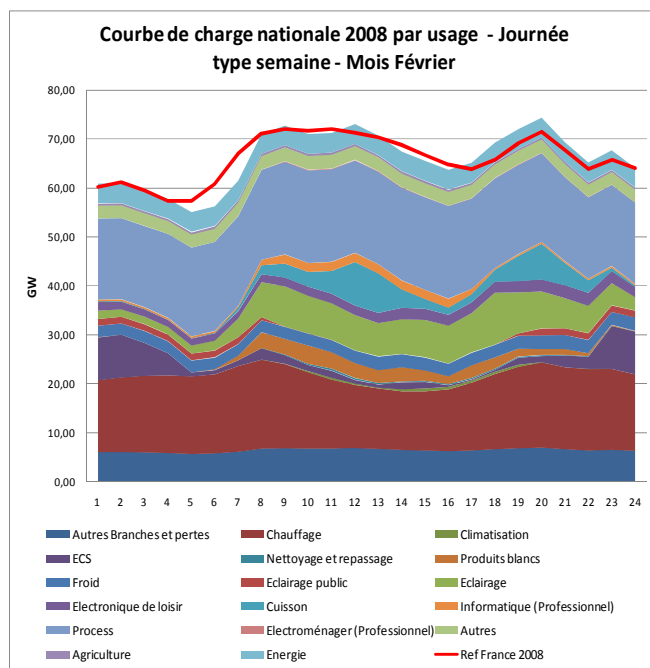
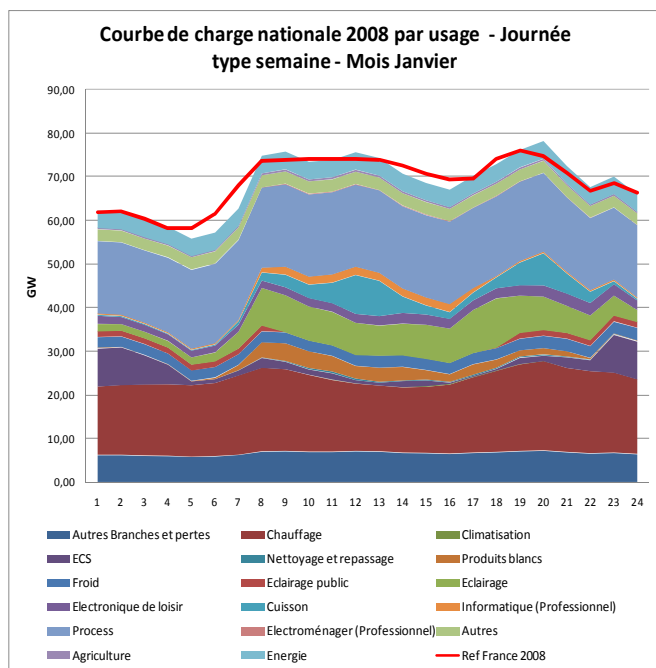
	Autres Branches	Chauffage	Climatisation	ECS	Froid	Eclairage	Eclairage Public	Cuisson	Informatique (Pro)	Process	Electroménager (Pro)	Autres	Total
Reste Tertiaire	18 161	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18 161
Eclairage Public		0	0	0	0	0	5 370	0	0	0	0	0	5 370
Administration		1 291	1 183	122	364	1 203	0	77	1 356	0	0	628	6 224
Bureaux		4 751	4 366	449	896	4 422	0	283	5 006	0	0	2 777	22 950
Café-Hôtel-Restaurant		1 500	1 258	779	867	1 527	0	3 049	0	129	0	443	9 553
Commerces		4 568	4 071	1 700	4 159	8 656	0	825	0	1 738	0	2 558	28 275
Enseignement		1 027	264	561	373	1 647	0	702	0	0	160	241	4 975
Habitat Communautaire		769	188	374	228	657	0	514	0	334	0	184	3 248
Santé		1 165	1 246	750	517	2 144	0	484	0	397	222	595	7 520
Sport-Loisir-Culture		1 190	859	1 022	196	1 757	0	180	0	0	84	716	6 004
Transport		358	174	138	177	1 571	0	77	0	0	76	648	3 219
Total	18 161	16 619	13 610	5 895	7 777	23 583	5 370	6 191	6 362	2 598	541	8 792	115 500

VI.2.c. Industrie, Agriculture, Transport et Energie

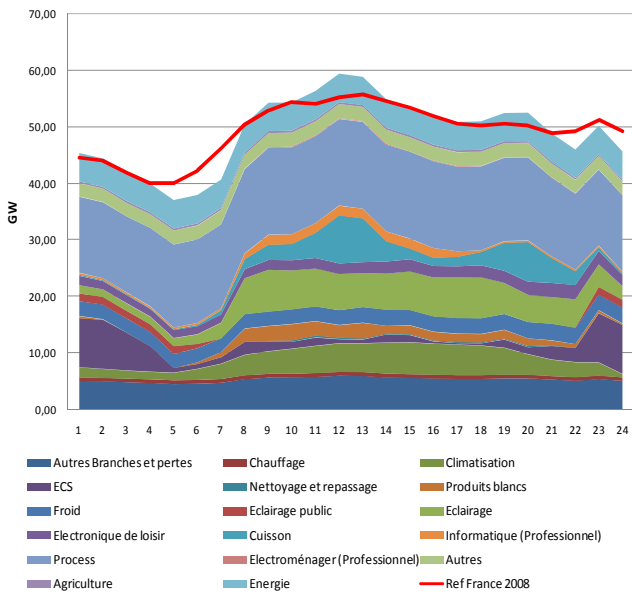


	Chauffage	Eclairage	Process	Autres	Agriculture	Energie	Total
Agroalimentaires	1 362	519	18 704	22	0	0	20 606
Matériaux de construction	100	0	0	0	0	0	100
Chimie & matériaux plastiques	19	420	22 692	1 673	0	0	24 804
Composants électriques et électroniques	136	548	5 675	435	0	0	6 794
Verre	4	0	0	0	0	0	4
Construction Mécanique	119	403	3 461	99	0	0	4 082
Minerai, métal ferreux/non ferreux	129	711	28 393	610	0	0	29 843
Papier	854	196	9 494	177	0	0	10 721
Parachimie, industrie pharmaceutique	141	179	2 495	242	0	0	3 057
Construction navale et aéronautique, armement	104	190	1 925	352	0	0	2 571
Fonderie, travail des métaux	269	381	8 601	252	0	0	9 503
Textile	88	190	2 835	0	0	0	3 112
Équipement de transport	205	849	7 316	200	0	0	8 571
Autres (dont branche énergie)	598	1 171	20 414	6 030	3 103	40 414	71 731
Total	4 127	5 757	132 003	10 094	3 103	40 414	195 498

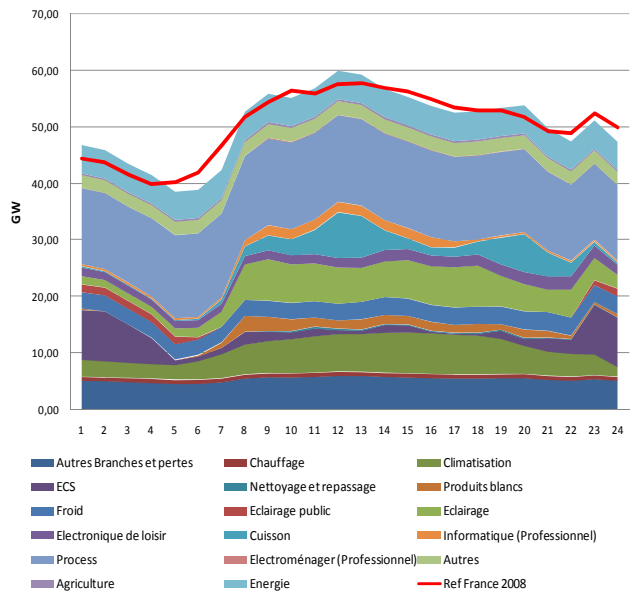
VI.3. Annexe 3 : Reconstitution des appels de charge horo-saisonniers par usage en 2008



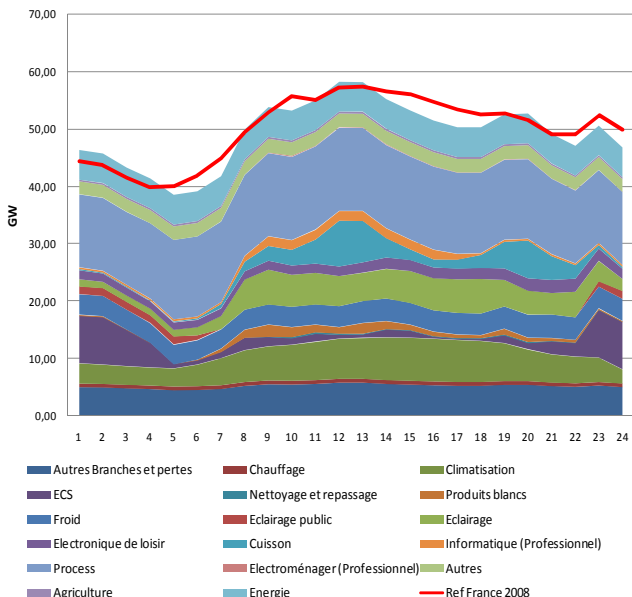
Courbe de charge nationale 2008 par usage - Journée type semaine - Mois Mai



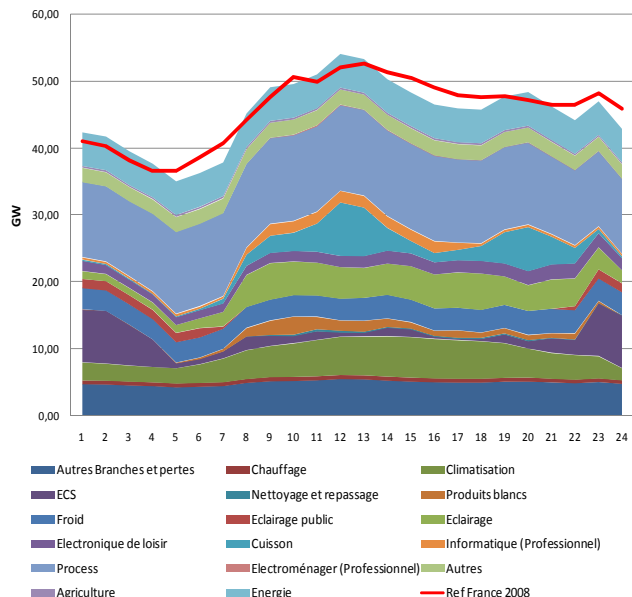
Courbe de charge nationale 2008 par usage - Journée type semaine - Mois Juin



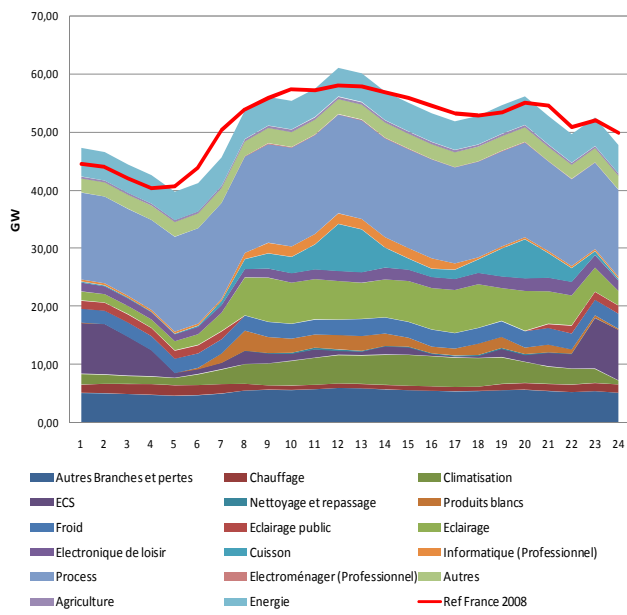
Courbe de charge nationale 2008 par usage - Journée type semaine - Mois Juillet



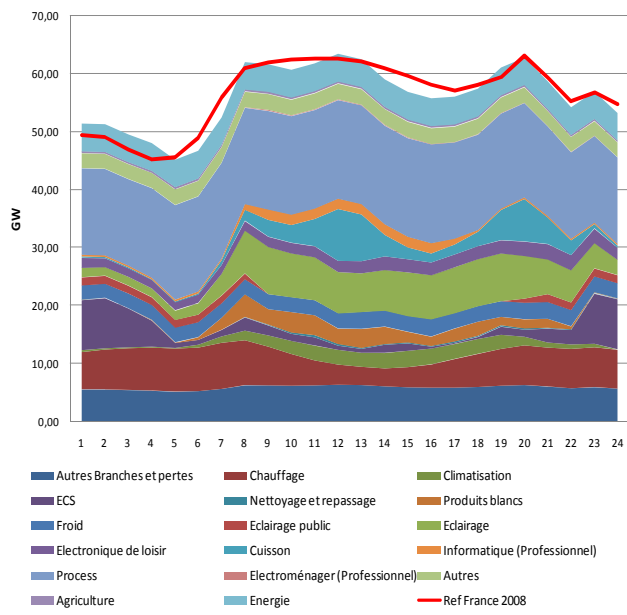
Courbe de charge nationale 2008 par usage - Journée type semaine - Mois Août



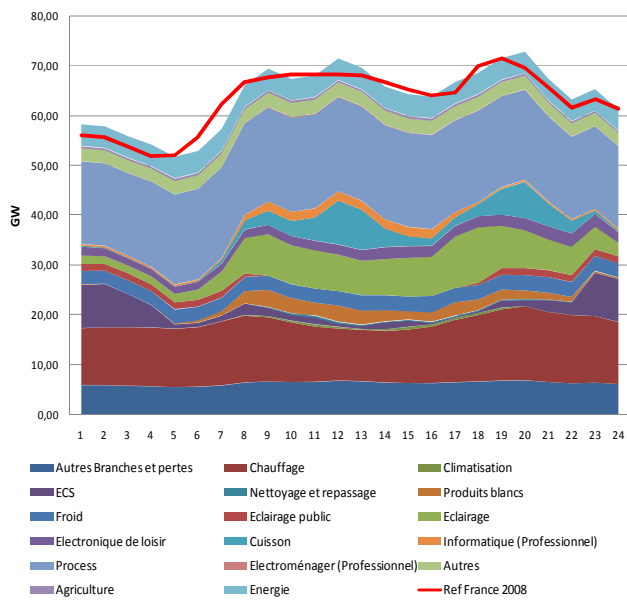
Courbe de charge nationale 2008 par usage - Journée type semaine - Mois Septembre



Courbe de charge nationale 2008 par usage - Journée type semaine - Mois Octobre



Courbe de charge nationale 2008 par usage - Journée type semaine - Mois Novembre



Courbe de charge nationale 2008 par usage - Journée type semaine - Mois Décembre

