



DÉFIS CLIMATIQUES NOUVEAUX ENJEUX ÉLECTRIQUES

Synthèse des propositions de l'UFE pour mettre l'électricité au service de la croissance verte et de la réduction des émissions de CO₂





Étude menée par l'UFE avec l'appui du Cabinet Estin & Co - Février 2009

Conception&Impression : Murcar Graphique - couverture : Fotolia - UFE © 2009



DÉFIS CLIMATIQUES NOUVEAUX ENJEUX ÉLECTRIQUES

I - Du bilan carbone du secteur électrique au scénario « nouveaux enjeux électriques de 2020 » : Les deux finalités de la démarche de l'UFE	p.4
II - Le secteur électrique français présente un bilan carbone extrêmement positif	p.5
- La méthode utilisée par l'UFE (Principes)	p.5
- La performance CO ₂ du parc électrique doit être mesurée à l'échelle de la France	p.6
- Premier résultat : Le bilan carbone du secteur électrique en France est extrêmement positif	p.7
- Deuxième résultat : la réduction de la pointe est essentielle pour la performance CO ₂	p.7
III - Nouveaux enjeux électriques et défis climatiques : Un scénario 2020 ambitieux, mais réaliste	p.9
- Quelles perspectives actuelles de demande et de production d'électricité à l'horizon 2020 ? ...	p.9
- 1 ^{er} volet du scénario ambitieux de l'UFE : des transferts d'usage d'énergie fossile vers l'utilisation d'électricité à haute performance CO ₂	p.9
- 2 ^{ème} volet de la « vision 2020 » UFE : la réduction des puissances appelées en pointe	p.11
- Un scénario qui présente un bilan carbone « France » encore plus favorable	p.12
- Un scénario du refus de la décroissance, symbole de ce que peut être la croissance verte	p.13

DU BILAN CARBONE DU SECTEUR ÉLECTRIQUE AU SCÉNARIO « NOUVEAUX ENJEUX ÉLECTRIQUES DE 2020 » :

Les deux finalités de la démarche de l' UFE

La France a fait, il y a plus de trois décennies, le choix d'un mix énergétique peu dépendant des énergies fossiles qui garantit aujourd'hui une électricité sûre et faiblement émettrice de CO₂. Cet engagement a conduit la France à s'engager très tôt et résolument dans la lutte contre le changement climatique, en faveur donc de la limitation des émissions de gaz à effet de serre, au premier rang desquels figurent les émissions de CO₂.

En 2008, compte tenu de la structure particulière du parc de production électrique français, 77% de la production est d'origine nucléaire et 11% d'origine hydraulique, auxquels vient également s'ajouter la production issue d'autres énergies renouvelables. Ainsi, 90% de l'électricité produite proviennent de moyens qui n'émettent pas directement de CO₂.

Alors que la France fait face à de nouveaux défis, notamment climatiques, l'UFE souhaite apporter une contribution permettant à la fois de démontrer objectivement la sobriété en carbone du parc de production électrique et, à plus long terme, de proposer un scénario de politique énergétique ambitieux, mais réaliste, permettant de répondre au défi climatique, et de tendre vers une économie globalement sobre en carbone, créatrice d'emplois et d'industrie.

Classement des moyens de production d'électricité selon leurs émissions de CO₂

	Contenu CO ₂ hors Analyse du Cycle de Vie (en g/kWh)	Contenu CO ₂ Analyse du Cycle de Vie (en g/kWh)
Charbon	953	1000
Fuel	830	998
Gaz (turbine)	830	1265
CCG	365	400
Cogénération	322	422
Pompage	NS ⁽¹⁾	NS ⁽¹⁾
Eolien	↑	↑
Nucléaire	0	5
Fil de l'eau	↓	↓
Barrage	↓	↓

C'est pourquoi l'UFE a engagé, avec le cabinet ESTIN & Co, une étude avec une double finalité :

- **Etablir un bilan carbone précis et objectif du secteur électrique français**, tel qu'il existe actuellement et tracer, là encore de la manière la plus précise et objective possible, l'origine des émissions de CO₂ résiduelles du secteur.

- **Proposer un scénario 2020 ambitieux et atteignable**, permettant d'augmenter la contribution de l'électricité à l'objectif de réduction des émissions de CO₂ du secteur énergétique en France, de trois manières complémentaires :

- En améliorant la « performance CO₂ » des utilisations actuelles de l'électricité dans tous les secteurs, c'est-à-dire en réduisant les émissions de CO₂ liées aux usages actuels (notamment en améliorant leur efficacité énergétique et par modification de la courbe de charge de ces usages).

- En accélérant les « transferts d'usage » présentant un bilan environnemental positif en remplaçant des équipements (de chauffage, de transport...) les plus émetteurs de CO₂ (fioul, pétrole, prioritairement) par des équipements fonctionnant à base d'électricité à haute performance CO₂.

- En améliorant la performance CO₂ du parc de production électrique français.

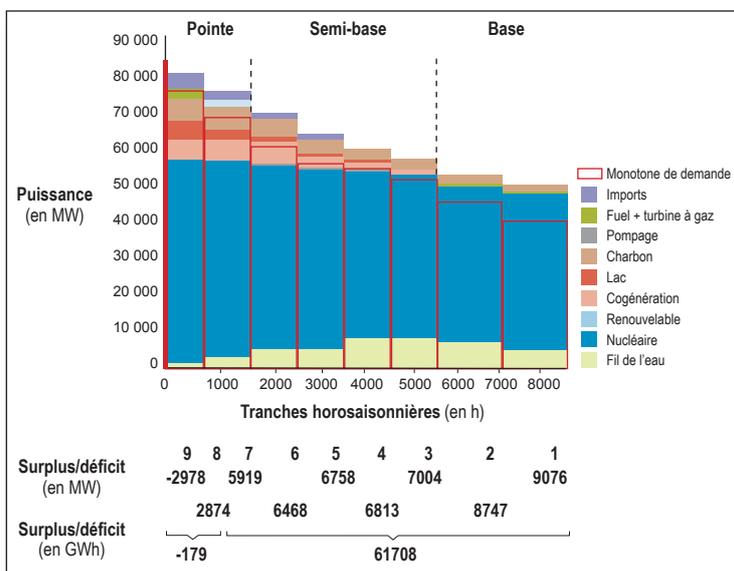
Ce scénario présente de nombreux effets induits bénéfiques : outre le fait qu'il réduit significativement les émissions de CO₂, il accroît **l'indépendance énergétique** de la France et sa **sécurité d'approvisionnement**. Il conduit également au renforcement **d'une nouvelle économie moins carbonée, créatrice d'emplois** et du potentiel d'exportation de la France à un moment où la lutte contre les émissions de CO₂ est une des trois composantes du « 3X20 » européen, permettant à la France de valoriser un des ses avantages compétitifs historiques.

LE SECTEUR ÉLECTRIQUE FRANÇAIS PRÉSENTE un bilan carbone extrêmement positif

LA MÉTHODE UTILISÉE PAR L'UFE (PRINCIPES)

Le schéma suivant illustre la méthode de raisonnement et de calcul utilisée par l'UFE. Cette méthode est familière des électriciens mais peu connue du grand public. Elle présente le grand intérêt de visualiser rapidement et simplement le fonctionnement d'un parc électrique, correspondant à une puissance totale disponible (en MW), pendant les 8760 heures que compte une année.

**Moyenne de la production et de la consommation
sur la période 2005-2007**



Le graphique ci-dessus est obtenu en classant, heure par heure, la puissance de production (égale à la consommation) de la plus importante à la plus faible. La production française annuelle est ensuite, symboliquement et mathématiquement, représentée en deux dimensions :

- La « puissance appelée » en ordonnée ; cette puissance est fournie par un empilement de moyens de production

mobilisés par ordre de coût de production croissant, en allant du plus fatal¹ au moins fatal ; le graphique « empile » tous les moyens situés en France, selon cette logique, quel que soit l'opérateur concerné.

- Une dimension « durée d'utilisation », symbolisée en abscisse, découpant l'année (8760 heures) en 9 tranches qui suffisent à caractériser de manière efficace le système. Les tranches sont numérotées de droite à gauche de 1 à 9. Les deux premières tranches ont une durée de 1500 heures, et correspondent aux heures dites de « base », c'est-à-dire pendant lesquelles la production est la plus faible. Les 4 tranches suivantes, d'une durée de 1000 heures, correspondent aux heures de « semi-base », enfin, les 3 tranches de « pointe », d'une durée de 1000, 700 et 60 heures représentent les heures de l'année pendant lesquelles le système est le plus chargé (la dernière tranche étant également appelée « extrême pointe »).

La combinaison « puissance produite x durée d'utilisation de cette puissance » permet de définir des tranches horosaisonnnières qui simulent le fonctionnement du système électrique : **plus la puissance croît, moins elle est utilisée longtemps ; l'extrême pointe correspond à la puissance maximale appelée pendant quelques dizaines d'heures par an ; la base est la puissance minimale appelée pendant, a minima, 3000 heures.**

La surface des rectangles de couleur fournit donc une représentation simple de l'énergie (qui est une puissance multipliée par un temps de fonctionnement) produite. Le graphique indique également (courbe rouge), pour chaque tranche, la courbe de « demande de puissance » des besoins de consommation en France, la somme des appels de puissance des consommateurs français, hors exports.

On constate que la courbe de demande de puissance (courbe rouge) est toujours en dessous du maximum de puissance fournie par les moyens de production mise en œuvre, sauf pour l'extrême pointe (quelques dizaines

LE RÔLE CLEF DE LA PUISSANCE DANS UN SYSTÈME ÉLECTRIQUE

La dimension « puissance » est critique pour définir la structure d'un parc de production électrique, et surtout sa sécurité : **il faut être capable de fournir pendant quelques dizaines d'heures (en général en hiver, le soir), une puissance maximale faute de quoi le système se met en « black out ».**

L'électricité ne se stocke pas. Ce sont donc les moyens de production qui constituent la « réserve ». Le capital est immobilisé, mais il ne produit pas. Cette puissance maximale n'est appelée (utilisée) que quelques dizaines d'heures par an. Le reste du temps, elle est à l'arrêt, ou peut être exportée si les conditions du marché international de l'électricité le permettent.

Hormis l'hydraulique de puissance (lac), des moyens de production thermiques (fioul, charbon, gaz) sont utilisés pour produire la puissance de pointe. Ils sont émetteurs de CO₂.

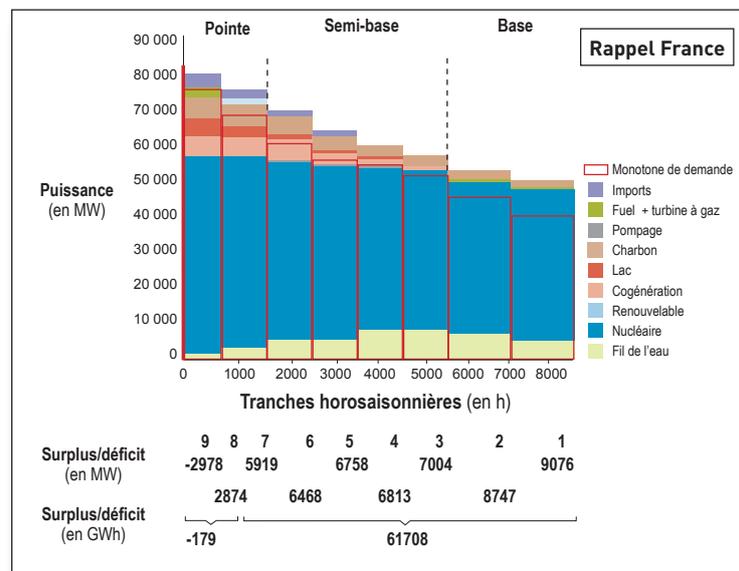
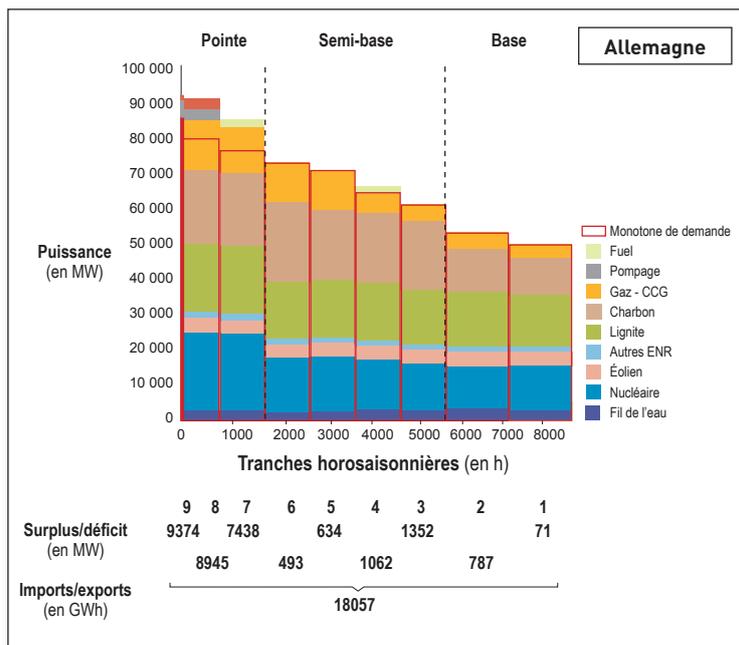
En France, la problématique de l'électricité est, en réalité, plus une question de puissance que d'énergie.

¹ Fatal : production hydraulique fil de l'eau, production éolienne, solaire, cogénération

d'heures sur les 8760 heures annuelles). La France est donc, sauf en extrême pointe, exportatrice nette de puissance et d'énergie. L'appel à l'étranger est strictement nécessaire pour quelques heures d'extrême pointe par an. Cependant, pour des raisons d'optimisation du système, il existe des niveaux importants de contrats d'importation et d'exportation, à hauteur respectivement de 81,4 TWh et 34,8 TWh.

La comparaison des schémas ci-dessous « Allemagne » vs « France » illustre les différences historiques de choix de mix de production électrique :

Ce schéma permet de mettre en évidence quelques particularités du parc de production français :



- Le nucléaire et l'hydraulique ont une part déterminante dans le système électrique français. Ce sont des moyens de production « non carbonés ».
- Le nucléaire est assez fortement « saisonnalisé » : 10000 MW de puissance nucléaire environ sont utilisés pour couvrir les besoins de semi-base et de pointe ; c'est une des caractéristiques du système français,

essentielle, où le nucléaire n'est pas limité à la seule production d'électricité en base. Ainsi, selon l'hydraulicité, l'hydraulique « fil de l'eau » contribue plus ou moins à la couverture des besoins et le relais est pris, dans une large proportion, par le nucléaire.

- La « cogénération » est un contributeur d'énergie important en période de semi-base et, surtout de pointe, aussi important que le charbon. L'hydraulique de puissance (lac) vient les compléter sur la pointe avec sa capacité de modulation rapide.

- La France exporte globalement beaucoup plus (x3) que l'Allemagne. En exportant de l'énergie peu carbonée, la France améliore à la fois sa balance des paiements et le bilan CO₂ de l'Europe, valorisant ainsi un avantage compétitif industriel fort.

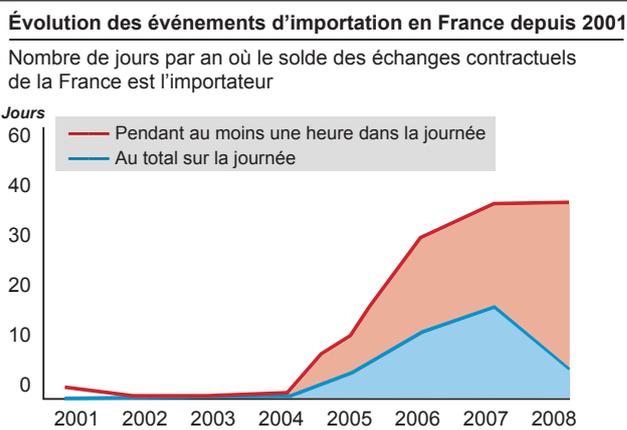
- La France est importatrice nette en période d'extrême pointe.

LA PERFORMANCE CO₂ DU PARC ÉLECTRIQUE DOIT ÊTRE MESURÉE À L'ÉCHELLE DE LA FRANCE

Si le marché des échanges d'électricité tend aujourd'hui progressivement vers une intégration européenne, l'analyse de la performance CO₂ du système électrique doit être effectuée à l'échelle des Etats, et donc de la France.

- Tout d'abord, si la mise en place progressive du marché intérieur européen de l'électricité conduit à un accroissement des échanges entre pays, l'analyse conduite ci dessus montre que, globalement, le système électrique français est autosuffisant sauf les quelques dizaines d'heures par an les plus chargées. L'accroissement des échanges (imports et exports) constaté hors les périodes les plus chargées est lié, pour l'essentiel, à une optimisation financière de la part des acteurs et à une couverture des aléas techniques de production. La création du « market - coupling » entre la France, la Belgique et les Pays-Bas, très prochainement étendu à l'Allemagne, accélère cette optimisation sur la plaque centre-ouest Europe.

- Néanmoins, le système électrique français importe en moyenne quelques dizaines d'heures par an, les heures les plus chargées. Durant ces heures, la marge nationale en France a diminué ces dernières années. La France doit désormais importer pendant les pointes les plus extrêmes. Ces risques sont particulièrement élevés en hiver en raison de l'effet de la température sur l'appel des moyens de pointe (-1°C en dessous des normales équivaut à l'appel de



2100 MW supplémentaires). Pour cette raison, l'étude UFE a été menée en tenant compte de ces importations en électricité à partir des pays voisins pour estimer le bilan CO₂ de la France.

- Au delà de la construction du marché européen de l'électricité, ce sont actuellement les politiques publiques françaises (comme le Grenelle de l'Environnement le démontre) qui orientent :

- Les décisions d'investissements (en volume et en technologie) dans le domaine de la production électrique,
- Les décisions des utilisateurs d'énergie (ménages, entreprises, transporteurs...) quant au type de technique et d'énergie utilisées.

L'essentiel des politiques relatives au mix électrique relevant pour l'heure de mesures nationales, il est donc légitime d'évaluer à l'échelle de la France la performance CO₂ de l'électricité en tenant compte naturellement des moyens de production nationale d'électricité mais également des importations / exportations qui permettent d'équilibrer production et consommation nationales d'électricité.

PREMIER RÉSULTAT : LE BILAN CARBONE DU SECTEUR ÉLECTRIQUE EN FRANCE EST EXTRÊMEMENT POSITIF

L'étude initiée par l'UFE démontre la performance CO₂ du parc électrique, selon deux approches complémentaires : en moyenne (approche globale) et par tranches horosaisonnnières.

GLOBALEMENT

Le bilan des émissions CO₂ de la France est extrêmement positif avec seulement 404,2 MtCO₂ d'après le CITEPA en 2006 : l'unité de PIB française est ainsi deux fois moins carbonée que celle de l'Allemagne !

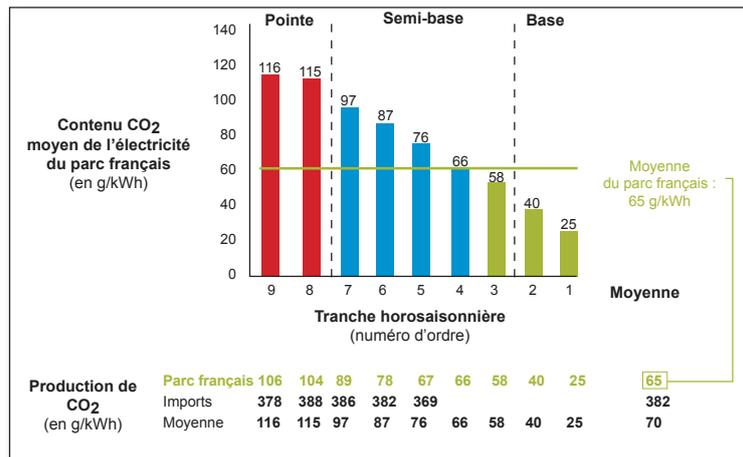
Avec des émissions de CO₂ de 65 g/kWh (70 g/kWh en tenant compte des importations), le bilan carbone du secteur électrique en France est extrêmement positif², puisque près de six fois moins que la moyenne européenne (372 g/kWh).

Ce constat est fondamentalement dû à des choix, ambitieux et cohérents, de politiques publiques effectués depuis l'après guerre, tant au niveau des modes de production de l'électricité (Hydraulique, Nucléaire, Cogénération) que de la promotion des usages de l'électricité en substitution des énergies fossiles fortement émettrices de CO₂ (Charbon, Fuel). La chasse au CO₂ en France a, de fait, commencé depuis longtemps. Cette politique globale est, dans une large mesure, une des causes fondamentales de l'avantage compétitif « carbone » de la France. Elle a conduit aussi au développement et à la structuration de secteurs industriels puissants (Nucléaire, équipement électriques...).

PAR TRANCHE HOROSAISONNIÈRE

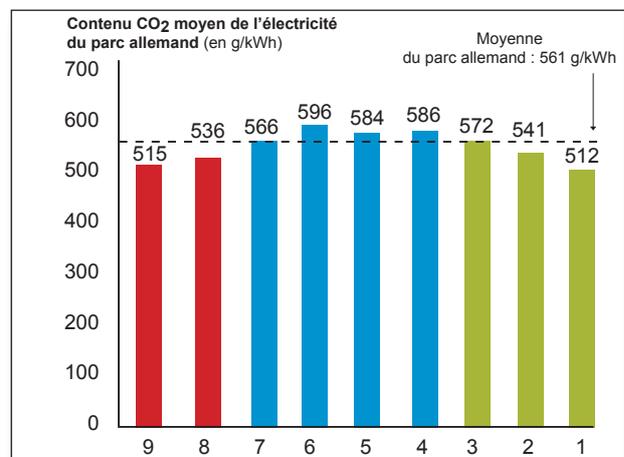
Une analyse plus fine, par tranches horosaisonnnières, donne le contenu CO₂ moyen de chaque tranche.

Il est intéressant de constater que même s'il existe une variation importante du contenu entre la tranche de base (25 g CO₂/kWh) par rapport à la pointe



(116 g CO₂/kWh), la valeur du contenu moyen de chaque tranche reste faible. Il ne faut cependant pas en tirer la conclusion qu'un développement de la pointe ou, au contraire, sa diminution aurait un effet faible, car ces variations n'impactent pas uniformément le mix de production moyen par tranche. Ainsi, le scénario développé par l'UFE montre les réductions importantes des émissions de CO₂ pouvant être atteintes par la limitation des demandes de pointe (cf. dernier chapitre).

Il est également intéressant de montrer le même graphique pour l'Allemagne (Graphique ci-dessous). La comparaison parle d'elle-même. On y voit que les émissions de la tranche 9 « France » représentent 22,5% des émissions de la tranche 9 « Allemagne » ! Pour la tranche 6 (semi base), on est à 14,5% !



Le bilan carbone du parc électrique Français s'établit à **34,2 Mt de CO₂** (soit 9% des émissions totales de CO₂ de la France), dont 3,4 Mt liées aux importations contractuelles (CO₂ émis par des moyens de production situés hors France), et 4,0 Mt liées aux exportations contractuelles (CO₂ émis par des moyens de production France, pour de l'énergie consommée hors France).

DEUXIÈME RÉSULTAT : LA RÉDUCTION DE LA POINTE EST ESSENTIELLE POUR LA PERFORMANCE CO₂

Pour l'avenir, l'UFE considère que le véritable enjeu lié au contenu CO₂ de l'électricité est de promouvoir des usages

² L'ensemble des chiffres est donné hors ACV, c'est-à-dire sans tenir compte des gaz à effet de serre émis par les chaînes d'approvisionnement des combustibles et la fabrication des équipements.



performants de l'électricité, c'est-à-dire des usages qui non seulement consomment moins, mais aussi permettent soit d'effacer, soit de reporter les puissances appelées dans les tranches de pointe. Ceci dans la perspective d'une approche globale de la contribution du système électrique français à la performance CO₂ de la France.

DES DÉRIVES ACTUELLES INQUIÉTANTES

Or, la situation actuelle du système électrique français montre des signaux inquiétants quant à l'évolution possible de l'équilibre amont-aval :

- forte augmentation de la thermo sensibilité de la consommation française qui est passée de 1500 MW/°C en 2001 à 2100 MW/°C en 2008 ; la France est désormais responsable de la moitié de la thermo sensibilité de la plaque européenne, ce qui induit des aléas forts sur la puissance appelée en fonction des conditions météorologiques,

- forte augmentation de la pointe, deux fois plus vite que la base sur les dix dernières années. Une majorité peut être imputée à la thermo sensibilité, mais s'y ajoutent le développement soutenu des usages spécifiques de l'électricité, en particulier l'électronique de loisir. La France a perdu 4 000 MW d'effacement depuis 10 ans, soit l'équivalent de 10 Cycles Combinés Gaz. Il faut déplorer la réduction, depuis 2 000, de tous les signaux économiques incitant à moins consommer en période de pointe. Ceci s'observe aussi bien au niveau des tarifs de l'électricité que des politiques commerciales des fournisseurs d'électricité.

Si rien n'est fait, cette évolution est susceptible d'affaiblir l'excellence du bilan du système électrique français en terme d'efficacité économique et d'émissions de CO₂ par rupture de la cohérence de la politique amont/aval :

- volonté politique et engagement des acteurs à développer une offre de production peu carbonée d'une part (nucléaire, énergie renouvelable),

- développement incontrôlé des usages peu performants de l'électricité d'autre part, qui nécessitent de forts investissements dans les réseaux de transport et dans la production de pointe, plus carbonée.

DES SOLUTIONS À RELANCER POUR MAINTENIR L'EXCELLENCE CO₂ DU SYSTEME ÉLECTRIQUE FRANÇAIS

Cependant, la tendance actuelle n'est pas une fatalité puisqu'il existe des solutions techniques, assorties de signaux pertinents, sur la fourniture d'électricité pour maintenir l'excellence du bilan, voire l'améliorer dans les prochaines années.

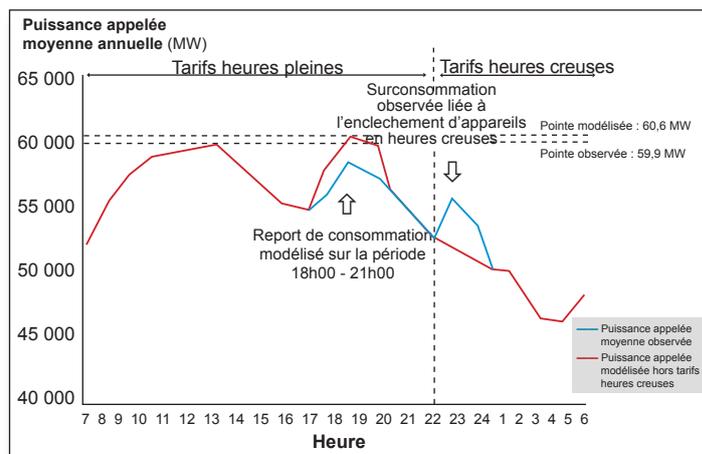
L'exemple suivant, qui est issu des politiques mises en œuvre par le passé, fournit un indicateur pertinent pour les pistes d'action à renforcer à l'avenir dans le domaine des économies d'énergie et de réduction des émissions de CO₂.

La mise en place des tarifs de type « heures pleines / heures creuses »³, couplés avec des dispositifs⁴ appropriés de report du démarrage effectif⁵ des appareils au moment

du basculement en heure creuse, permettrait de déplacer environ 2 TWh de consommation de la période de pointe vers la période de base si elle était appliquée à la totalité de la consommation.

Il serait, ainsi, possible de réduire la consommation en période de pointe, donc, les émissions de CO₂. Cette analyse repose sur la seule hypothèse que les consommations se reportent de la tranche 18h-21h, la plus chargée, vers la tranche horaire 22h-1h. C'est le déplacement des consommations vers les périodes les moins chargées qui réduit l'appel en moyens de pointe les plus émetteurs de CO₂, et contribue donc à améliorer la performance CO₂ du parc.

Le graphique ci-dessous illustre (pour 2005/2007) les conséquences constatées d'un tel déplacement de consommation, sur la courbe de charge de la consommation nationale :



UN DÉBAT À RÉÉQUILIBRER

En complément des analyses précédentes, il convient de souligner que l'ouverture des marchés a conduit à focaliser l'attention sur le prix du MWh électrique, et à gommer la dimension puissance maximale appelée, qui demeure, cependant, une des variables essentielle dans le dimensionnement d'un parc électrique. Cela a pu conduire à minimiser le recours aux effacements de puissance, de façon dommageable pour le système et pour la performance CO₂ du système électrique. Tous les signaux portant sur la puissance appelée en pointe ont été réduits depuis 2000, y compris au niveau des tarifs d'utilisation des réseaux et des politiques commerciales des fournisseurs.

L'enjeu est donc bien, à travers politiques publiques (tarifs, déductions fiscales...), couplées à des politiques commerciales appropriées et à des automatismes de gestion de la puissance appropriés, de :

- promouvoir les solutions électriques garantes de la meilleure efficacité énergétique ;
- agir sur la demande pour encourager une meilleure utilisation de la puissance de pointe.

³ Les heures se situent la nuit, dans des tranches de base, c'est à dire au moment où il est moins fait appel à des moyens de production carbonés (gaz, fioul, charbon...).

⁴ L'expérience montre que dans la plupart des cas, les dispositifs automatiques sont plus efficaces que des dispositifs qui font appel à une action du consommateur.

⁵ Chauffe-eau électriques qui se mettent en route la nuit, au delà de 22h00, appareils électroménagers qui, enclenchés en heure de pointe, ne démarrent effectivement qu'au moment où est émis, sur le réseau, le signal de basculement en heures creuses...

NOUVEAUX ENJEUX ÉLECTRIQUES ET DÉFIS CLIMATIQUES :

Un scénario 2020 ambitieux, mais réaliste

QUELLES PERSPECTIVES ACTUELLES DE DEMANDE ET DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ À L'HORIZON 2020 ?

LA DEMANDE D'ÉLECTRICITÉ TELLE QUE PRÉVUE ACTUELLEMENT

Du point de vue de la demande d'électricité, les hypothèses du bilan prévisionnel du RTE peuvent être résumées de la manière suivante (cf tableau ci-dessous). Ce scénario montre deux choses :

La politique de MDE, telle que modélisée a, sur la demande :

- Un impact fort sur l'évolution de la consommation d'électricité ;
- Un impact plus faible sur la puissance appelée en pointe.

Scénario	Bilan prévisionnel RTE	
	2005-2007	2020
	Scénario MDE Modérée	Scénario MDE forte (Grenelle)
Consommation (TWh) Sans MDE	479	569 (+x% p.a)
Impact des MDE (TWh)	-35	-57
Consommation (TWh)	479	533 (+0,8% p.a)
Puissance appelée en tranche 9 (GW)	82,6	94,4 (+0,9% p.a)
		89,0 (+0,5% p.a)

L'UFE juge que les orientations politiques actuelles de MDE, légitimement centrées sur la diminution de la consommation d'énergie, n'insistent pas assez, pour l'électricité, sur la maîtrise de la demande de pointe, c'est à dire là où on peut réduire davantage les émissions de CO₂, tout en limitant les besoins d'investissement dans les moyens de production correspondants.

C'est une des orientations fortes de la « vision 2020 » que propose l'UFE.

L'ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION TELLE QU'ELLE S'ESQUISSE ACTUELLEMENT OUVRE DE LARGES PERSPECTIVES

Du point de vue de la production, l'UFE fait les hypothèses suivantes pour le parc de production à l'horizon 2020 (cf tableau ci-contre).

Cette esquisse du parc 2020 renforce la part des moyens non carbonés dans le parc de production et donne donc à la France une opportunité supplémentaire pour faire jouer à l'électricité un rôle majeur dans la lutte contre les émissions de CO₂ en France.

L'augmentation de la production nucléaire permettra de disposer de marges de manœuvre supplémentaires pour

Production	2005-2007		2020	
	Puissance en GW	Énergie en TWh	Puissance en GW	Énergie en TWh
Nucléaire	63,2	425,8	67,5	460
Hydraulique	24,8	66	27,5	73
Autres EnR	1,7	5,9	32,7	50
Thermique décentralisé	7	23,9	6	25
CCG + Charbon	7,9	30	11,9	48,3
Fioul TAC	5,2	2,1	2,5	0,2
Total	109,8	553,7	148,1	656,5

faire face aux nombreuses incertitudes, notamment celles relatives à la concrétisation des scénarios de rupture voulus par le Grenelle de l'Environnement en termes de développement des EnR, celles concernant la réussite des actions de Maîtrise De l'Énergie... A minima, cette production supplémentaire pourra contribuer à la lutte contre le changement climatique et au renforcement des exportations de la France.

Compte tenu du fait qu'il est très long et difficile d'adapter un parc de production électrique, et ce d'autant plus que ce parc est peu carboné⁶, il est essentiel que l'offre précède la demande⁷, et que les politiques publiques orientent de manière cohérente la demande vers cette offre.

1^{ER} VOLET DU SCENARIO AMBITIEUX DE L'UFE : DES TRANSFERTS D'USAGE D'ÉNERGIE FOSSILE VERS L'UTILISATION D'ÉLECTRICITÉ À HAUTE PERFORMANCE CO₂

Ces transferts sont les suivants :

UN DÉVELOPPEMENT PLUS AMBITIEUX DES POMPES À CHALEUR

Le scénario de l'UFE se place dans une hypothèse où les Pompes à Chaleur équiperont 40% de logements individuels et 14% du parc de logements collectifs à horizon 2030.

Pour 2020, le scénario prévoit 4,8 millions de pompes à chaleur (PAC) « classiques » installées en remplacement, d'une part, de chauffage Fioul et, d'autre part, de chauffages électriques par effet joule les moins performants.

⁶ Plus la production est « propre » en CO₂ émis, plus elle est longue à développer. Mettre en place une TAC est facile et rapide, mais fort peu « écologique » au regard du CO₂ !

⁷ C'est la grande leçon de la politique française conduite dans les années 50 avec l'hydraulique, et dans les années 70 avec le nucléaire

Ces PAC consommeront au total 10 TWh, soit un déplacement de 8,8 TWh des énergies fossiles vers l'électricité, et la reprise de 4 TWh de chauffage « effet joule » par 1,2 TWh de PAC. Pour être totalement efficaces, ces conversions doivent s'accompagner de travaux d'isolation pour réduire considérablement les besoins de chauffage et maximiser les gains énergétiques réalisés. L'augmentation nette sur la consommation électrique est donc de 6 TWh ((8,8+1,2)-4).

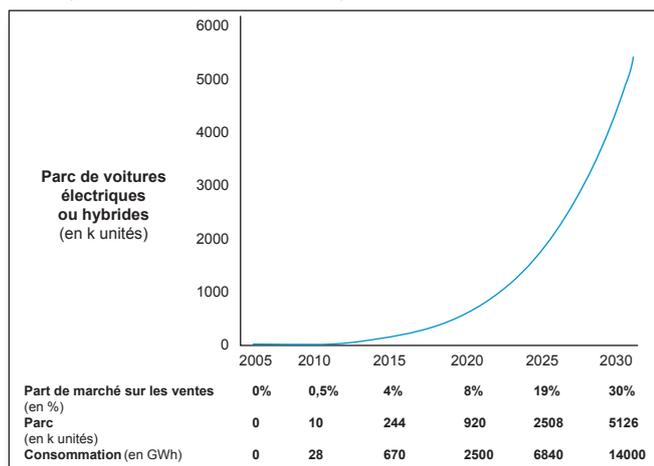
Dans les bâtiments collectifs, les PAC Très Haute Température pourraient déplacer, à l'horizon 2020, 0,5 TWh de consommation initialement au Fioul.

Ainsi, 6,5 TWh de consommation nouvelle pour des PAC utilisant de l'électricité peu carbonée viendraient en relèvement d'énergie carbonée, dans le cadre des projections de production peu carbonée présentée auparavant.

DÉVELOPPEMENT DE L'ÉLECTRICITÉ DANS LE TRANSPORT

Deux hypothèses fortes sont faites :

- L'une pour le transport ferroviaire (fret et passager) :
 - Si l'on tient compte des équipements réalisables à horizon 2020, c'est 6 TWh d'électricité qui peuvent être utilisés par le développement de l'utilisation du rail, en lieu et place de moyens de transports utilisant le fioul.



- Dans le scénario le plus ambitieux, ce sont 16 TWh qui peuvent être envisagés. Ils supposent une accélération rapide des mises en chantiers de transports ferroviaires liés à l'évolution du prix du pétrole et au développement des transports collectifs.

• L'autre pour le développement de la voiture électrique, avec une hypothèse « raisonnable » de 920 000 Véhicules Electriques ou Hybrides Rechargeables (de nuit, donc avec des émissions de CO₂ faibles), plaçant les parcs sur une trajectoire de 5 M de véhicules en 2030⁸.

Ces hypothèses conduisent à une fourchette d'augmentation de la demande liée au transport comprise entre 9 et 19 TWh.

Pour les véhicules électriques, il est indispensable d'envisager, dès à présent, que la majorité de ces véhicules soit rechargée la nuit – en base – quand le système émet le

moins de CO₂. A contrario, si cette considération n'était pas prise en compte en amont de la croissance attendue du parc électrique, le développement des VER pourrait conduire à une forte croissance de la pointe de production électrique.

DÉVELOPPEMENT DE L'ÉLECTRICITÉ DANS L'INDUSTRIE

Il est possible de poursuivre le développement des usages de l'électricité dans l'industrie en remplacement d'utilisation d'énergie fossile (four à induction dans la métallurgie et la plasturgie, compression mécanique de vapeur dans l'agro-alimentaire, PAC en parachimie et dans l'agro-alimentaire) qui permettent, à la fois, une nette amélioration de l'efficacité énergétique des procédés et une réduction significative des émissions de GES.

L'estimation faite par l'UFE de l'augmentation de la consommation d'électricité correspondante est de l'ordre de 11 TWh.

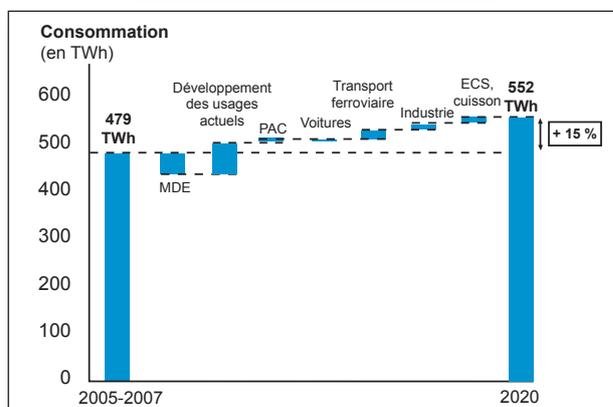
DÉVELOPPEMENT D'USAGES ÉLECTRIQUES DANS LE TERTIAIRE ET LE RESIDENTIEL

Les travaux du CAS conduisent, dans une optique volontariste, à développer un certain nombre d'usages électriques (ECS, Cuisson...) en remplacement de combustibles fossiles. Les estimations conduisent à « déplacer » environ 8 TWh.

AU TOTAL...

Ce sont donc de 39 à 46 TWh d'électricité à haute performance CO₂ qui peuvent être utilisés en lieu et place d'énergies fossiles à basse performance CO₂, dans le cadre des projections de production peu carbonée présentée auparavant. Ces transferts conduisent à une croissance de la consommation d'électricité, mais celle-ci doit être comprise comme une substitution à d'autres formes d'énergies. La nécessaire réalisation d'économie d'énergie sur les usages actuels de l'électricité ne doit pas conduire à en déduire que la consommation d'électricité totale doit diminuer. Ce scénario démontre qu'il est possible, tout à la fois, de réduire la consommation des usages existants et de transférer des usages pour conduire, au final, à une croissance de la consommation électrique non émettrice de CO₂. Dans le scénario UFE, la consommation 2020 intégrant les reports d'usages est supérieure de 15% à la consommation actuelle.

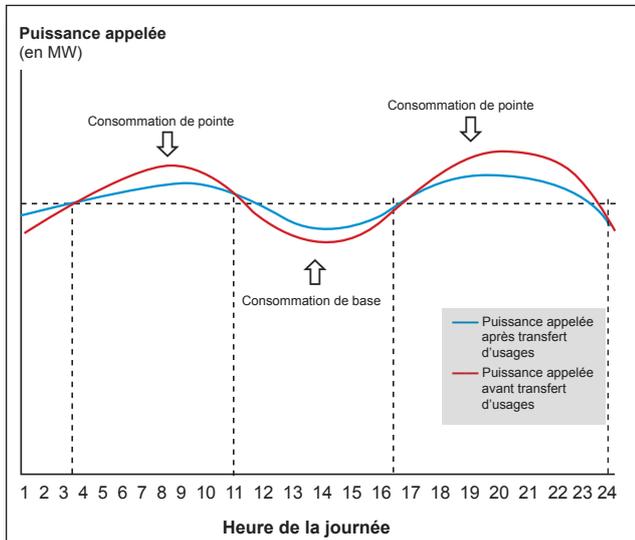
Schéma montrant le bilan d'ensemble



⁸ Ces hypothèses n'intègrent pas un revirement possible de l'opinion : est-ce que la crise de l'automobile « classique » est conjoncturelle ou structurelle ?

2ÈME VOLET DE LA « VISION 2020 » UFE LA RÉDUCTION DES PUISSANCES APPELÉES EN POINTE

Comme on l'a vu précédemment, ce sont les puissances appelées en pointe qui conduisent à dégrader le bilan CO₂ du parc de production électrique.



Il est donc logique d'inciter à conduire des politiques volontaristes qui reportent durablement, et le plus automatiquement possible, des appels de puissance des tranches de pointe vers les tranches de base (de la période 19h00 / 20h00 en hiver, vers une période plus nocturne, après 22h00 ou 23h00). Concrètement, ceci consiste à **recommander l'installation large de tout automatisme** qui conduit à reporter le démarrage des laves vaisselles, des laves linge, à éviter le démarrage des congélateurs*...

L'UFE, en première analyse, a identifié trois sources potentielles de diminution des consommations de pointe.

LA RÉDUCTION DES APPELS EN POINTE PAR DES APPAREILS APPROPRIÉS

0,8 GW sont d'ores et déjà identifiés :

- Froid résidentiel : transfert de 0,3 TWh, (soit -0,2 GW sur la puissance appelée en pointe)
- PAC à effacement en pointe : transfert de 1 TWh ; soit -0,55 GW

LE DÉVELOPPEMENT D'USAGES DONT LE MODE DE FONCTIONNEMENT PERMET LE LISSAGE DE LA PUISSANCE DE POINTE

2 GW de puissance peuvent être économisés en pointe, ou consommés, en plus, en base :

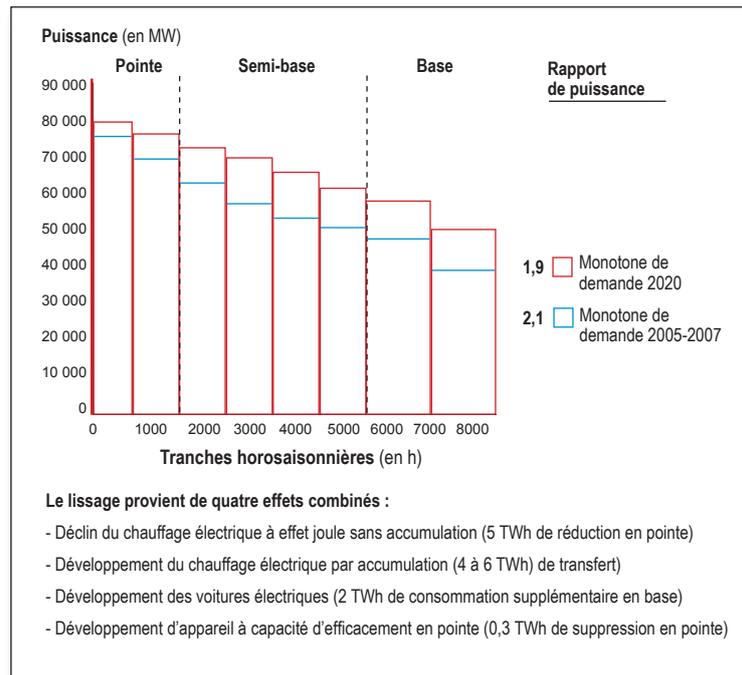
- Voitures électriques avec une politique incitant à une recharge en période de base, la nuit : 2 TWh, (soit 0,7 GW supplémentaire nécessaire en base)
- Développement des radiateurs effet joule à accumulation : 3 à 5 TWh (+1,3 GW)

LA LIMITATION DES APPELS EN POINTE DE CERTAINES APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ

Le remplacement du chauffage électrique à effet joule direct par des solutions plus performantes sur le plan de l'économie de la puissance appelée en pointe (renforcement de l'isolation, effacement du chauffage des pièces non dédiées à la vie aux heures de pointes, remplacement par des PAC, développement de solution à accumulation) permet d'envisager, a minima, une économie de 2 GW de puissance de pointe.

AU TOTAL...

On peut d'ores et déjà envisager une réduction de ce que les spécialistes appellent un « rapport de puissance », c'est-à-dire le rapport entre la puissance maximale appelée (tranche 9) et la puissance minimale appelée (tranche 1), comme le montre le schéma ci-dessous.



Selon le scénario UFE, ce ratio serait réduit de 10% (il évolue de 2,1 aujourd'hui à 1,9 en 2020). Il s'agit d'une rupture forte avec la situation constatée ces dernières années (croissance de la pointe de puissance de l'ordre de deux fois la croissance de la base).

L'évolution de ce ratio a un effet de levier très intéressant sur les émissions de CO₂ puisque la pointe est responsable, en France, d'une grande part des émissions de CO₂. Ainsi, une diminution, qui peut apparaître modeste, de 10 % de ce ratio conduit, en réalité, à une **réduction des émissions de CO₂ de près de 50% pour le parc électrique.**

UNE NÉCESSAIRE REFORTE DE LA TARIFICATION

Ce développement suppose une transformation profonde dans la tarification de l'électricité pour permettre une interaction dynamique entre fournisseurs d'électricité et clients, et refléter de façon plus fine les coûts du système électrique.

* Les congélateurs modernes tiennent 24h00 sans alimentation, sans impact sur la chaîne de froid : il est donc possible de différer de manière intelligente leur fonctionnement de quelques heures... de pointe !

Cette interaction est elle-même conditionnée au déploiement approprié de systèmes de comptages plus fins (type compteur électronique) et, surtout, à des systèmes de pilotage des appels de puissance performants.

UN SCÉNARIO QUI PRÉSENTE UN BILAN CARBONE « FRANCE » ENCORE PLUS FAVORABLE

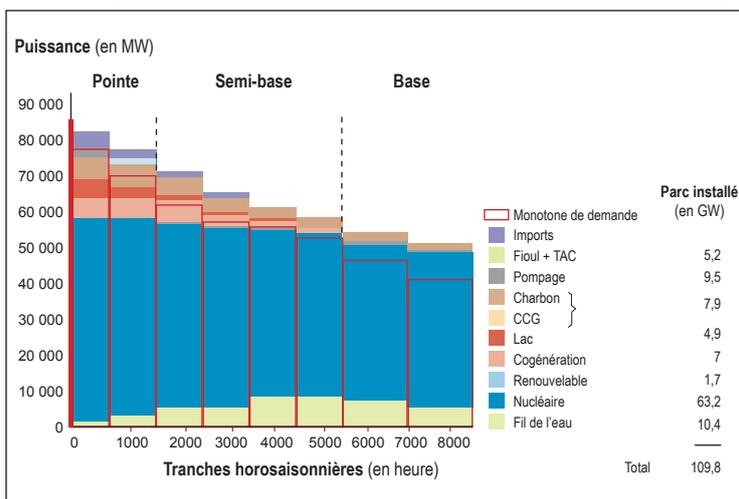
La vision 2020 de l'UFE « Défi Climatique, Nouveaux Enjeux Électriques » permet, en fait, d'améliorer, doublement, le bilan carbone de la France.

UN SYSTÈME ÉLECTRIQUE PLUS DÉVELOPPÉ ET PLUS PERFORMANT SUR LE PLAN CARBONE

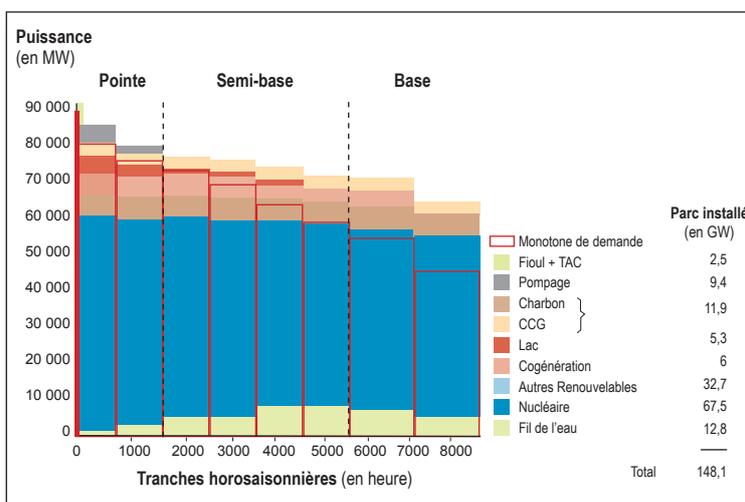
Les deux schémas ci-dessous résument l'essentiel : le scénario UFE permet de réduire l'utilisation de moyens carbonés dans le système de production « France ».

Ce scénario conduit à une diminution du contenu moyen en CO₂ pour chacune des tranches, permettant une diminution du contenu moyen en CO₂ du kWh.

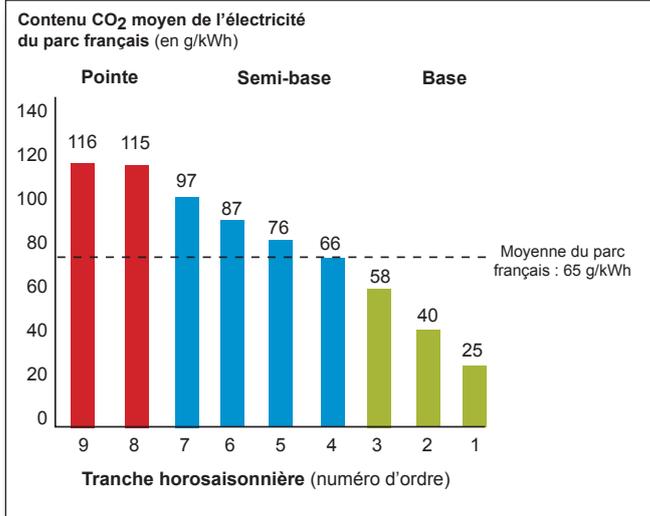
2005-2007



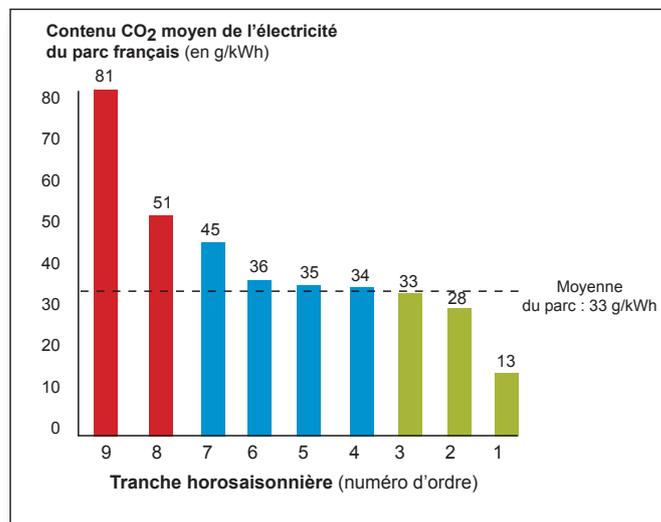
2020



2005-2007



2020



UNE ÉCONOMIE FRANÇAISE PLUS EFFICACE QUANT AU BILAN CO₂ DU PARC ÉLECTRIQUE...

Le tableau ci-après démontre le bilan positif du scénario proposé par l'UFE, sur le plan des émissions de CO₂, qui sont réduites, globalement, de près de 50%, en incluant les émissions liées aux transferts d'usages.

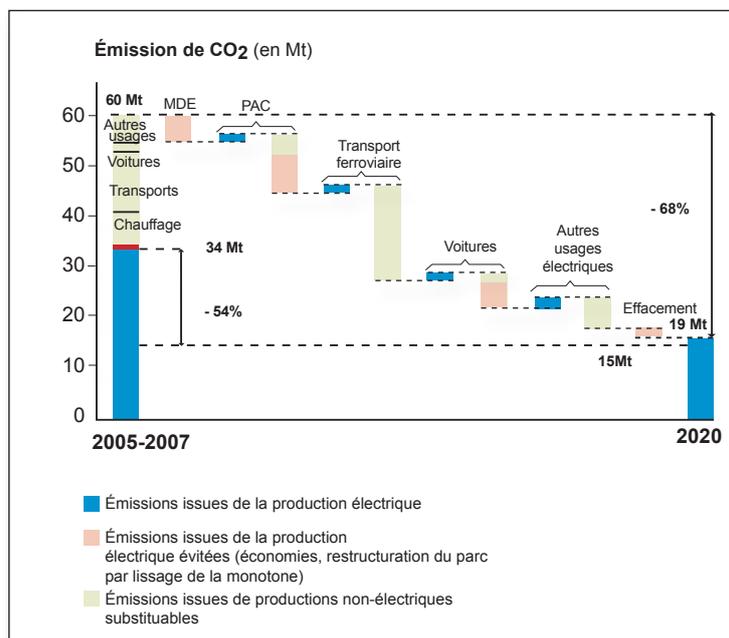
Le bilan du scénario est également positif sur d'autres plans :

- la France peut exporter plus d'énergie décarbonnée sur des marchés étrangers chers, car utilisant des combustibles fossiles. Notons qu'elle pourrait en exporter d'avantage si elle venait à accroître sa production nucléaire.
- la France voit sa sécurité d'approvisionnement électrique renforcée ; elle dépend moins des autres pays, mais aussi moins des énergies fossiles.

	2005-2007		2020 Scénario UFE	
	Puissance en GW	Énergie en TWh	Puissance en GW	Énergie en TWh
Nucléaire	63,2	425,8	67,5	460
Hydraulique	24,8	66	27,5	73
Autres EnR	1,7	5,9	32,7	50
Thermique Décentralisé	7	23,9	6	25
CCG + Charbon	7,9	30	11,9	48,3
Fioul et TAC	5,2	2,1	2,5	0,2
Total	109,8	553,7	148,1	656,5
Demande «France»	82,6	479	88	552
Capacité d'export		74,7		104,5
Contenu CO₂ global (en g/kWh)	65		32	
Émissions Globales hors exports (en Mt)	34		19	

AU FINAL ET AU GLOBAL, TOUS EFFETS PRIS EN COMPTE, LE BILAN EST ENCORE PLUS FAVORABLE

Le schéma ci-dessous récapitule la totalité des réductions d'émissions de CO₂ obtenues avec ce scénario UFE. Si les émissions totales liées aux usages considérés dans l'étude (usages électriques actuels et usages fossiles transférés à l'électricité, correspondant à une partie des usages fossiles France) correspondent à 60 Mt actuellement, elles sont réduites à moins de 20 Mt en 2020. Ceci représente une division par 3 des émissions de CO₂ associées aux usages considérés.



Ce bilan démontre clairement l'intérêt, pour la France, en terme de lutte contre les émissions de gaz à effet de serre, de poursuivre une politique équilibrée amont/aval. Elle doit reposer sur le développement d'un parc de production peu carboné, encourager les usages performants de l'électricité, notamment en terme d'influence sur la pointe et, en parallèle, décourager les usages qui le sont moins. Ceci conduira à une meilleure maîtrise de la courbe de charge électrique, et en particulier de la pointe. Ces conditions permettront des réductions d'émissions de CO₂ par substitution de certaines consommations de combustibles fossiles vers de l'électricité moins carbonée. En outre, la « vision 2020 » de l'UFE comporte un fort potentiel de croissance. En effet, si les politiques publiques sont en général longues à mettre en œuvre lorsqu'il s'agit de faire évoluer significativement les comportements et les usages de tous les consommateurs, les effets, en 2030, du scénario proposé seront multipliés par 2. L'année 2020 étant une année de décollage fort, annonçant d'importantes ruptures dans les modes de consommation de l'énergie.

UN SCÉNARIO DU REFUS DE LA DÉCROISSANCE, SYMBOLE DE CE QUE PEUT ÊTRE LA CROISSANCE VERTE

Au niveau industriel, dans le cadre d'un refus ferme de la décroissance, les orientations évoquées ci-dessus doivent permettre de faire du secteur électrique, dans son ensemble, un des vecteurs de développement d'une « croissance verte » évoquée dans le cadre du Grenelle : au cœur des défis électriques, en réponse aux défis climatiques, se trouvent l'innovation, la création de nouvelles filières industrielles, le développement de nouvelles formes de services, et donc la création de valeur et d'emplois.

NOTES

