

DÉBAT PUBLIC SUR LE PROJET PENLY 3

Construction d'une unité de production électronucléaire
sur le site de Penly (Seine-Maritime)



CHANGER L'ÉNERGIE ENSEMBLE



GUIDE DE LECTURE

Le dossier du maître d'ouvrage est composé de deux parties complémentaires :



Dossier, partie principale contenant les informations strictement nécessaires au débat. // **Pages 1 à 72**
Sommaire détaillé en pages 4 et 5



Mieux comprendre les enjeux du nucléaire, information complémentaire en 11 points thématiques approfondissant certains éléments présentés dans le "Dossier" // **Pages 73 à 146**
Sommaire détaillé en pages 74 et 75

Les renvois du "Dossier" vers "Mieux comprendre les enjeux du nucléaire" sont identifiés par un picto présent dans la marge. Le nombre correspond au numéro de la fiche à laquelle il faut se reporter.

i
2.2

Glossaire

Les mots ou expressions **mis en valeur** dans le texte sont explicités dans le glossaire présent en **pages 148 à 150**.

Dictionnaire des sigles

Un dictionnaire des sigles utilisés dans ce document est présent en **page 151**.

Les données figurant dans ce document sont les dernières connues à la date de la rédaction.

DOSSIER DU MAÎTRE D'OUVRAGE



Construction d'une unité
de production électronucléaire
sur le site de Penly (*Seine-Maritime*)





MESSAGE DU PRÉSIDENT D'EDF

Chère Madame, Cher Monsieur,

Ce dossier est notre première contribution au débat public qui s'engage sur le projet Penly 3. Je souhaite que ce débat nous donne l'occasion d'informer de façon complète et d'échanger de façon ouverte sur tous les aspects de ce projet.

Notre pays bénéficie depuis plus de vingt ans d'une électricité bon marché, indépendante des fluctuations des cours des hydrocarbures, et peu émettrice de CO₂ à l'origine des changements climatiques. Il le doit largement au parc nucléaire d'EDF, composé de 58 réacteurs à eau sous pression mis en service depuis la fin des années 70.

L'électricité est un bien de première nécessité et continuera à jouer un rôle essentiel dans les prochaines décennies. Elle devra, plus que jamais, être produite à partir de moyens peu émetteurs de gaz à effet de serre, nucléaire et énergies renouvelables.

EDF est partie prenante de l'ambitieuse politique énergie climat développée par l'Europe et la France. L'entreprise, en tant qu'acteur de la maîtrise de la demande d'énergie, apporte sa contribution pour modérer la croissance de la consommation. Il est aussi de sa responsabilité de construire de nouveaux moyens de production pour répondre aux besoins futurs de ses clients : des moyens économiques, peu ou pas émetteurs de gaz à effet de serre et peu sujets aux fragilités économiques ou politiques de tous ordres. Enfin EDF s'implique fortement dans le développement de solutions électriques performantes dans tous les secteurs de l'économie.

C'est dans cette perspective globale que s'inscrit le projet Penly 3, qui fait suite à celui de Flamanville 3, première unité de production électronucléaire utilisant un réacteur de type EPR en France. Le projet Flamanville 3 a fait l'objet d'un débat public en 2005/2006, l'unité est actuellement en cours de construction. Les caractéristiques techniques des deux projets sont identiques.

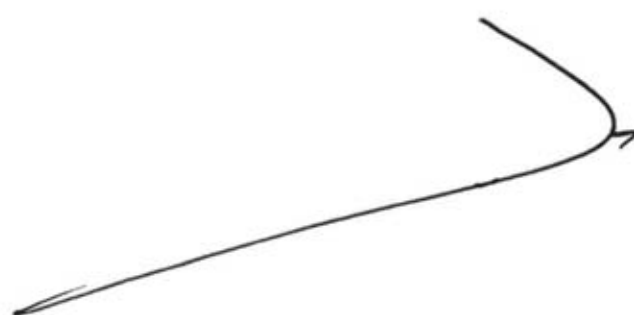
Penly 3 sera un projet en partenariat où nous associerons GDF SUEZ, TOTAL et d'autres électriciens européens.

"Cette période de débat public constitue, pour EDF et ses partenaires, un moment fort dans l'élaboration de notre projet."

Forte de plus de 50 années d'expérience dans le nucléaire, EDF a collaboré activement à l'amélioration de la sûreté, de l'efficacité économique et environnementale des réacteurs nucléaires à eau sous pression avec ses partenaires industriels européens, sous le contrôle en France de l'Autorité de sûreté nucléaire. La technologie EPR (*European Pressurised Reactor*), synthèse de ces améliorations, est un choix réaliste, qui allie le progrès technique et la continuité de nos savoir-faire.

Le 28 mai 2009, conformément à la loi, EDF a saisi la Commission nationale du débat public (CNDP) qui a décidé, le 1^{er} juillet 2009, d'organiser un débat sur le projet.

Cette période de débat public constitue, pour EDF et ses partenaires, un moment fort dans l'élaboration du projet. Comme nous l'avons fait pour Flamanville 3, c'est pour nous et nos partenaires l'occasion de prendre le temps d'échanger avec vous sur l'intérêt de ce choix industriel, de nous donner la possibilité d'écouter les positions des uns et des autres, d'expliquer notre projet, d'examiner ensemble quels en sont les enjeux.

 **Henri Proglio**

	PAGE
DOSSIER DU MAÎTRE D'OUVRAGE	1
Le mot du Président d'EDF	2
1 // But et objectifs du projet Penly 3	7
2 // Quel contexte pour l'électricité ?	9
2.1 Les besoins énergétiques mondiaux en augmentation	11
2.2 Des réserves énergétiques géographiquement déséquilibrées, des prix très fluctuants et en tendance haussière	11
2.3 La dépendance énergétique de l'Europe et de la France	15
2.4 Le bilan énergétique français	15
2.5 Les spécificités de l'électricité	17
2.6 La consommation et la production d'électricité en France	20
2.6.1 La consommation d'électricité en 2009	20
2.6.2 La production d'électricité en France	20
2.7 La prise de conscience mondiale du changement climatique	23
3 // De la mise en œuvre de la politique énergétique française au projet Penly 3	25
3.1 Les conséquences du Grenelle de l'environnement	26
3.2 Vers une réduction de la consommation énergétique française	26
3.3 Vers une croissance modérée de la consommation électrique nationale	28
3.4 La PPI 2009, des moyens de production adaptés au nouveau contexte énergétique	29
3.4.1 Le développement des énergies renouvelables (ENR)	29
3.4.2 La modernisation du parc thermique à flamme	30
3.4.3 Le recours à l'énergie nucléaire	31
3.5 La proposition d'EDF: le projet Penly 3	32
3.5.1 Renforcer la sécurité énergétique	32
3.5.2 Disposer d'une énergie peu émettrice de CO ₂	34
3.5.3 Garantir une électricité compétitive, rentable et au coût de production stable	35
3.6 Les alternatives au projet	36
3.6.1 Remplacer le projet par des nouveaux moyens de production utilisant des énergies renouvelables	36
3.6.2 Remplacer le projet par des actions de maîtrise de la demande d'énergie	37
3.6.3 Faire le projet plus tard	37
3.6.4 Optimiser le parc de centrales nucléaires existant	38
3.6.5 Utiliser un autre moyen de production non nucléaire	38

	PAGE
4 // Le projet Penly 3	39
4.1 Les objectifs de sûreté	41
4.2 Les choix de conception de Penly 3	42
4.3 Les progrès en matière d'environnement	46
4.3.1 Une démarche de progrès continu	46
4.3.2 Les prélèvements d'eau	48
4.3.3 Les rejets thermiques	49
4.3.4 Les rejets chimiques	50
4.3.5 Les rejets radioactifs	51
4.3.6 Les déchets	54
4.3.7 L'impact sonore et visuel	54
4.3.8 La déconstruction	56
4.4 Les objectifs de performance de Penly 3	56
4.5 Le coût prévisionnel du projet et son financement	57
4.6 L'expérience acquise	58
5 // Penly 3, un impact socio-économique significatif	61
5.1 L'implantation sur le site de Penly	62
5.1.1 Le site de Penly	62
5.1.2 Des adaptations limitées	63
5.1.3 Le raccordement de Penly 3 au réseau 400 000 V	63
5.2 Les aspects socio-économiques	63
5.2.1 L'activité pendant la construction	63
5.2.2 L'activité pendant l'exploitation	64
5.2.3 L'accompagnement du projet	65
5.2.4 La concertation autour du projet	65
5.3 La maîtrise du projet	66
5.3.1 L'organisation retenue	66
5.3.2 La nature des travaux	68
5.3.3 Les conséquences du chantier sur l'environnement	69
6 // Les grandes étapes du projet	71
MIEUX COMPRENDRE LES ENJEUX DU NUCLÉAIRE	73
Annexes	147
Glossaire	148
Dictionnaire des sigles	151
Décisions de la CNDP	152

1

BUT ET OBJECTIFS DU PROJET PENLY 3



AVEC SES PARTENAIRES ET SUR SON SITE DE PENLY (SEINE-MARITIME), EDF SOUHAITE CONSTRUIRE DÈS MAINTENANT UNE NOUVELLE UNITÉ NUCLÉAIRE DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ D'UNE PUISSANCE DE 1 650 MW¹. LE DÉBUT DE LA CONSTRUCTION (PREMIER BÉTON) EST PRÉVU EN 2012.



1.1

Cette unité de production appelée "Penly 3" serait construite en utilisant la technologie de réacteurs nucléaires à eau sous pression européenne EPR (European Pressurised Reactor).



6.2

Elle produirait de l'ordre de 13 TWh d'électricité par an, soit plus de 2 % de la production française, pendant une durée prévisionnelle de 60 ans.

Pourquoi le projet Penly 3 ?

EDF et ses partenaires préparent l'avenir en cohérence avec la politique de développement durable de la France. Celle-ci, en complément des actions de maîtrise de la demande en énergie (MDE) et du développement des **énergies renouvelables** réaffirme l'intérêt de l'énergie nucléaire pour la production d'électricité : elle contribue à l'**indépendance énergétique** nationale et n'émet que très peu de gaz à effet de serre. De plus, l'électricité produite est compétitive par rapport à celle produite par des moyens utilisant des combustibles **fossiles** (gaz et charbon principalement).

S'il est réalisé, le projet Penly 3 contribuera à apporter des marges pour assurer en permanence l'équilibre entre la production et la consommation d'électricité, comme le précise le rapport au Parlement sur la Programmation Pluriannuelle des Investissements (PPI), diffusé en juin 2009.

En parallèle, EDF et ses partenaires ont analysé les besoins de leurs clients. Une nouvelle unité de production électronucléaire à Penly aurait les caractéristiques techniques, environnementales et financières requises pour les satisfaire.

Penly, une implantation qui conjugue plusieurs avantages

Le site de Penly a été choisi parmi les sites disponibles pour ses atouts qui sont susceptibles de faciliter la réalisation de ce projet : EDF, qui exploite deux unités de production électronucléaire sur ce site, est déjà propriétaire ou concessionnaire des terrains nécessaires. La majeure partie des terrassements est déjà réalisée car le site a été prévu dès

l'origine pour recevoir quatre unités de production. De plus, la région a déjà une expérience importante dans l'accueil des grands chantiers, y compris nucléaires, et le site a bénéficié d'une volonté partagée d'élus locaux et d'acteurs du territoire, lors de la phase préliminaire de réflexion en vue du choix du site.

Enfin, selon Réseau de Transport d'Électricité (RTE²), les deux lignes à très haute tension existantes sont suffisantes pour évacuer la puissance produite par les trois unités de production du site de Penly vers le **réseau interconnecté**.

Un projet en partenariat

Si le projet est confirmé à l'issue du débat public, Penly 3 fera l'objet d'un partenariat, sous la forme d'une société de projet dont EDF aura la majorité avec plus de 50 % des parts. GDF SUEZ et TOTAL seront associés à l'opération avec 33,33 % des parts. EDF a aussi entamé des discussions avec d'autres énergéticiens pour les associer dans la limite des 16,66 % restants ; il s'agit en particulier d'ENEL, avec qui EDF a noué un accord de coopération dans des projets nucléaires en Italie et en France, et qui est déjà présent dans le projet EPR de Flamanville 3, ainsi que d'E.ON, deuxième opérateur nucléaire en Europe, qui avait été, aux côtés d'EDF, l'un des commanditaires des études préliminaires de l'EPR dans les années 90. La société de projet sera propriétaire de Penly 3.

Le principe fondateur de ce partenariat est de reproduire à Penly un projet de construction d'une unité de production électronucléaire utilisant un réacteur EPR identique à celui de Flamanville.

La gouvernance du projet n'est pas encore complètement définie, notamment qui sera l'exploitant nucléaire, garant de la sûreté nucléaire au sens de la loi Transparence et Sécurité Nucléaire du 13 juin 2006. Ce thème est détaillé au chapitre 5.3.

Tous les engagements pris par EDF sur Penly 3, notamment dans le cadre du débat public, seront ensuite repris par la Société de Projet une fois qu'elle sera constituée.

1. 1 MW = 1 million de Watts.

2. RTE : Réseau de Transport d'Électricité, est le gestionnaire du réseau public de transport d'électricité français. Son indépendance vis-à-vis des producteurs d'électricité est garantie par la Commission de Régulation de l'Énergie instituée en application de la loi du 10 février 2000.

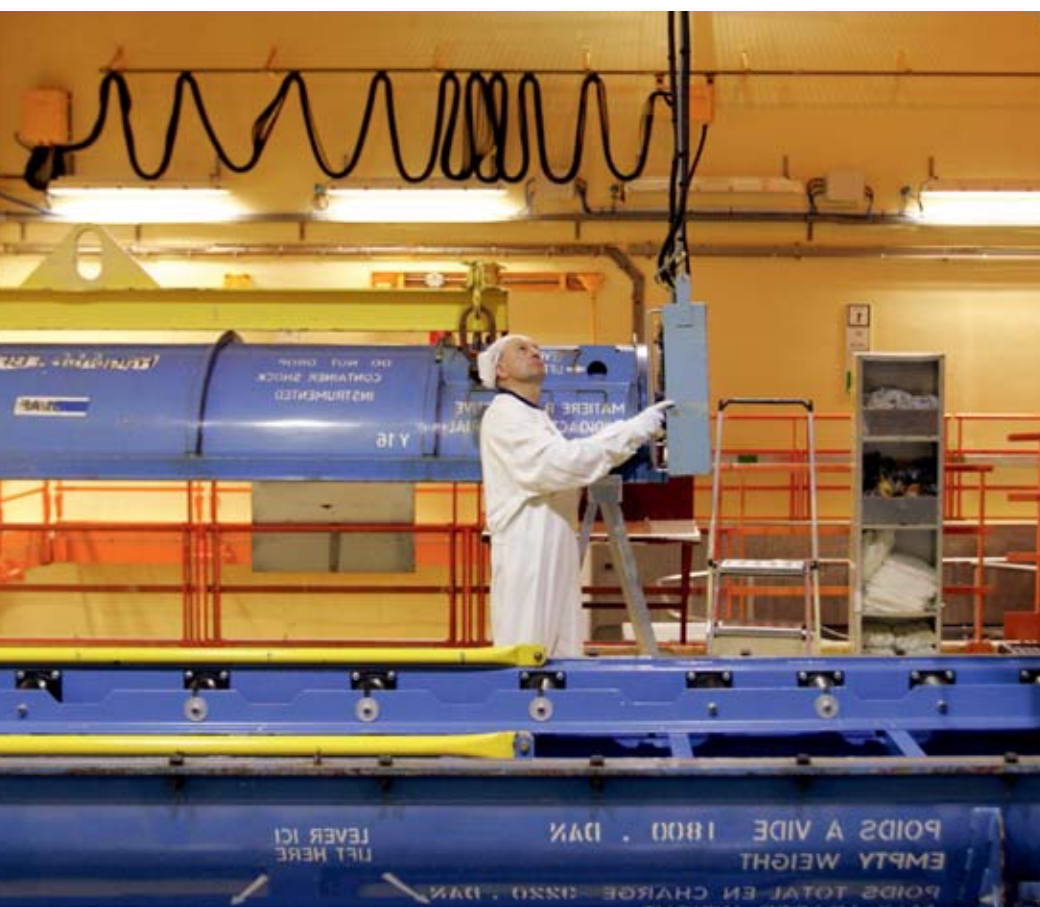
2

QUEL CONTEXTE POUR L'ÉLECTRICITÉ ?

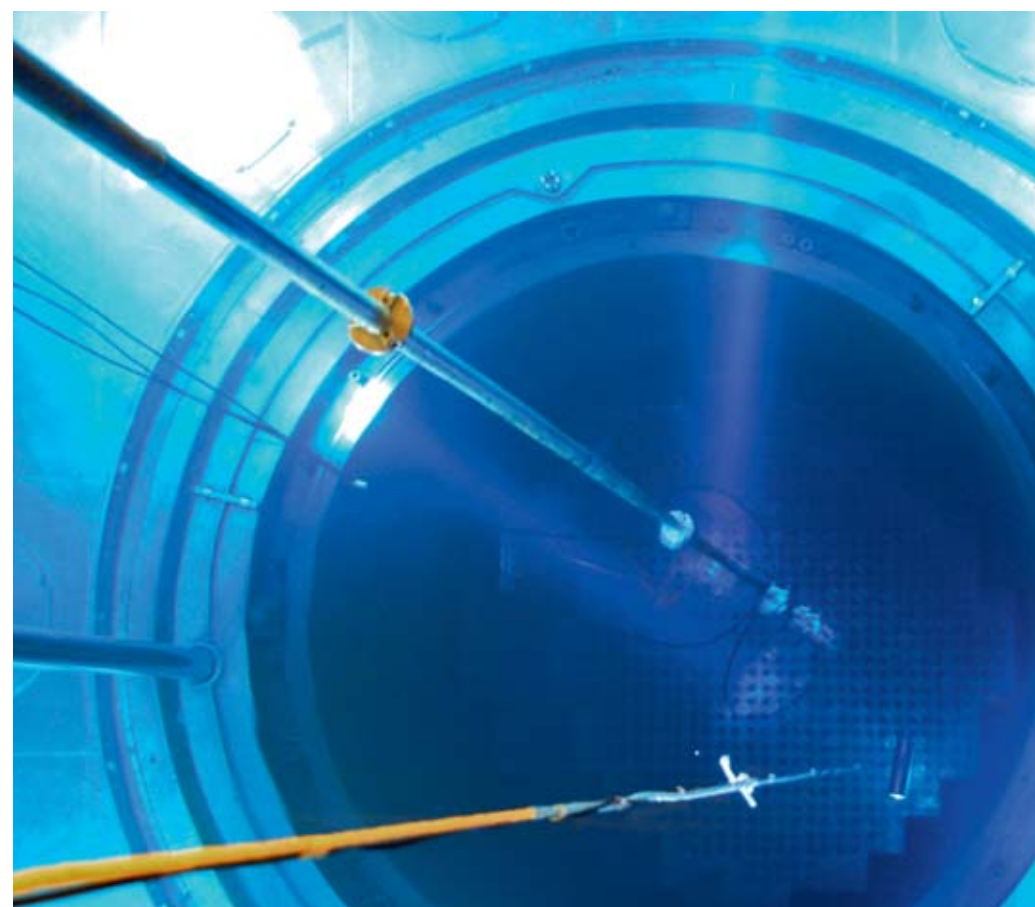
i 4.1 L'ÉLECTRICITÉ PEUT ÊTRE PRODUITE À PARTIR D'ÉNERGIE RENOUVELABLE (HYDRAULIQUE, ÉOLIENNE, SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE...), NUCLÉAIRE, OU FOSSILE (GAZ NATUREL, PÉTROLE, CHARBON). PARMIS SES TRÈS NOMBREUX USAGES, CERTAINS LUI SONT QUASIMENT SPÉCIFIQUES (PAR EXEMPLE, L'ÉCLAIRAGE EST ASSURÉ À PRESQUE 100 % PAR DE L'ÉLECTRICITÉ). À L'INVERSE, D'AUTRES USAGES SONT EN COMPÉTITION AVEC LES ÉNERGIES FOSSILES OU LES ÉNERGIES RENOUVELABLES (PRODUCTION DE CHALEUR, TRANSPORTS...). LES PROBLÉMATIQUES ÉLECTRIQUES SONT DONC INDISSOCIABLES DE CELLES DE L'ÉNERGIE. C'EST LA RAISON POUR LAQUELLE CE CHAPITRE PRÉSENTE D'ABORD LE PANORAMA ÉNERGÉTIQUE MONDIAL PUIS NATIONAL.

L'ÉLECTRICITÉ PRÉSENTE PAR AILLEURS DES SPÉCIFICITÉS (CONTRAINTES DE TRANSPORT, ADAPTATION PERMANENTE ET INSTANTANÉE DE LA PRODUCTION AUX FLUCTUATIONS DE LA CONSOMMATION) QUI ONT DES RÉPERCUSSIONS TRÈS IMPORTANTES, NOTAMMENT SUR LES CHOIX D'ÉQUIPEMENTS DE PRODUCTION. CES CARACTÉRISTIQUES SONT EXPOSÉES BRIÈVEMENT AVANT LA PRÉSENTATION DU SYSTÈME ÉLECTRIQUE EN FRANCE.

ENFIN, LA PRÉSENTATION DU CONTEXTE DANS LEQUEL S'INSCRIT LE PROJET PENLY 3 S'ACHÈVE PAR UN ÉLÉMENT IMPORTANT : LA PRISE DE CONSCIENCE DE L'IMPACT DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE SUR LE CLIMAT ; LE SECTEUR DE LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ EST EN EFFET UN DES PREMIERS ÉMETTEURS AU NIVEAU MONDIAL, MÊME SI CETTE SITUATION EST DIFFÉRENTE POUR LA FRANCE.



Manutention de conteneurs de combustible nucléaire.



La cuve d'un réacteur nucléaire.

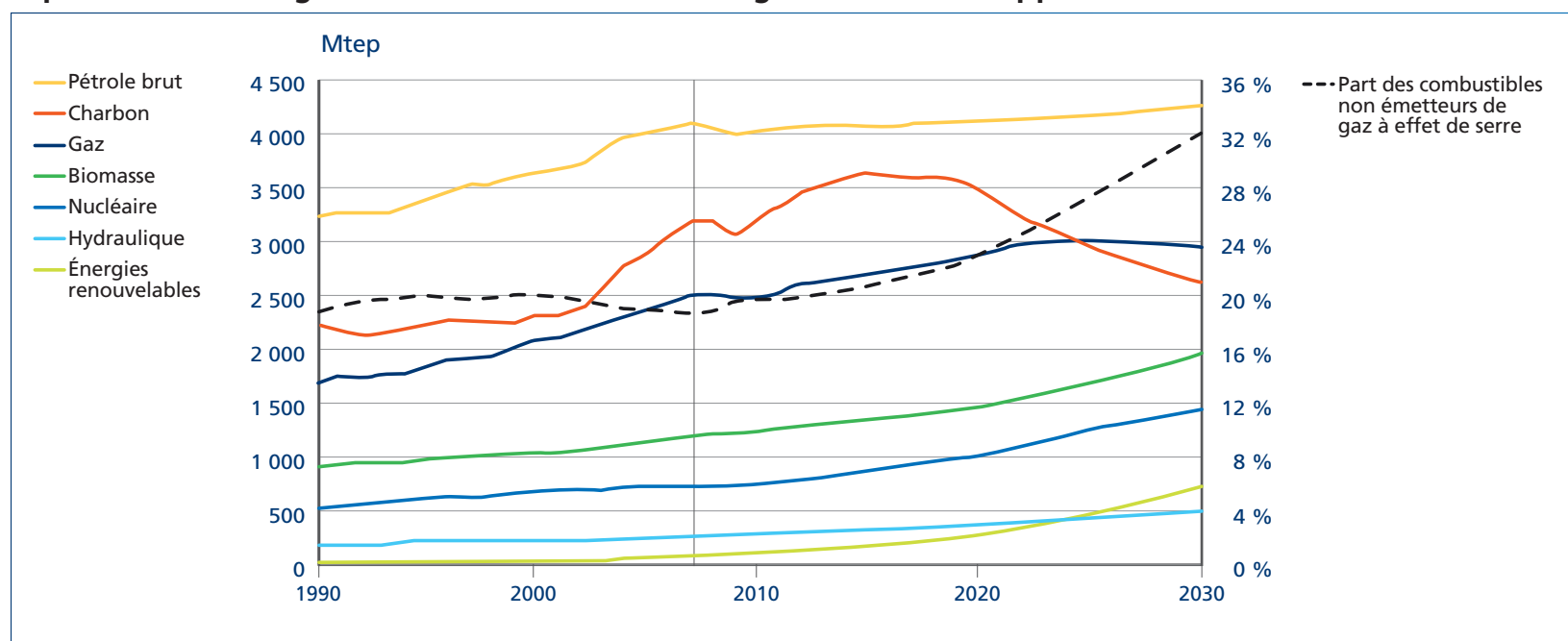
2.1 Les besoins énergétiques mondiaux en augmentation

Dans son **scénario de référence** de 2009, l'Agence internationale de l'énergie (AIE) prévoit qu'en 2030 la planète consommera 40 % d'énergie de plus qu'aujourd'hui. Cette augmentation n'est pas répartie uniformément sur la surface du globe ; les pays les plus industrialisés lancent des actions de maîtrise de la demande alors que les besoins des pays émergents vont beaucoup augmenter. En 2009, l'AIE a également élaboré un nouveau scénario dit "450 ppm" qui suppose que les Pouvoirs Publics des nations du monde entier engagent une action collective visant à limiter la concentration à long terme des gaz à effet de serre dans l'atmosphère à 450 parties par million (ppm) d'équivalent CO₂, devant permettre ainsi de limiter la hausse de la température

moyenne du globe à 2 °C (le scénario de référence conduirait à une concentration de 1 000 ppm et à une augmentation de la température de 6 °C). Ce scénario s'appuie sur un recours accru aux énergies émettant peu de gaz à effet de serre, d'origine nucléaire et renouvelable, et prévoit une augmentation de la consommation énergétique mondiale en 2030 de 20 % de plus qu'aujourd'hui.

Le graphique ci-après donne l'évolution rétrospective de la demande d'énergie dans le monde et la prévision qu'en donne l'Agence internationale pour l'énergie jusqu'à 2030. L'énergie présentée regroupe la totalité des sources d'énergie qui servent à satisfaire les besoins de l'humanité (industrie, électricité, chauffage, transports, etc.)¹.

Évolution de la demande d'énergie mondiale et prévisions de l'Agence Internationale de l'Énergie, scénario 450 ppm



Source : "World Energy Outlook" de l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE) 2009.

2.2 Des réserves énergétiques géographiquement déséquilibrées, des prix très fluctuants et en tendance haussière

Le pétrole est peu utilisé pour la production d'électricité, mais il est la référence en matière de prix de l'énergie et rentre en concurrence avec l'électricité pour le chauffage et pour une partie des transports terrestres.

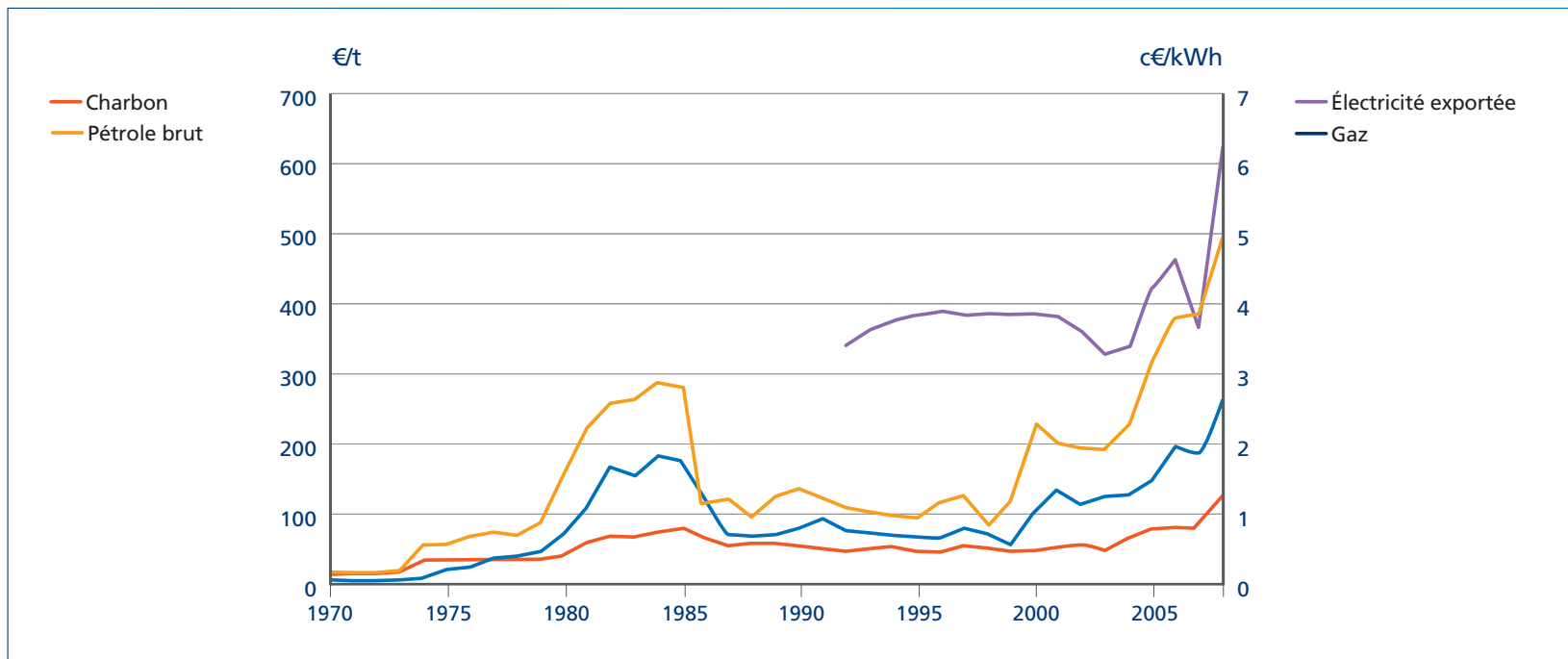
▣ **Les réserves de pétrole** sont inégalement réparties sur la surface du globe et quasiment absentes en Europe où les réserves de la mer du Nord sont en voie d'épuisement. De plus, le prix moyen du pétrole augmente depuis 1998 et son cours est

très fluctuant, avec des crises subites. Les années 2007 et 2008 sont, à cet égard, tout à fait révélatrices de ce comportement erratique.

Le cours du **brent**, principale référence utilisée dans les transactions, est passé de 54 dollars le baril en janvier 2007 à 96 \$/bl fin décembre 2007. En juillet 2008, le cours atteint 145 \$/bl. Il est ensuite affecté par la crise financière. Les cours s'effondrent. Ils plongent jusqu'à 36 \$/bl en fin d'année 2008, pour remonter récemment et s'établir entre 75 et 80 \$ sur le dernier trimestre 2009.

1. Les données sont exprimées en millions de tonnes équivalent pétrole (Mtep).

Prix moyens annuels des énergies importées et exportées en France en euros 2008



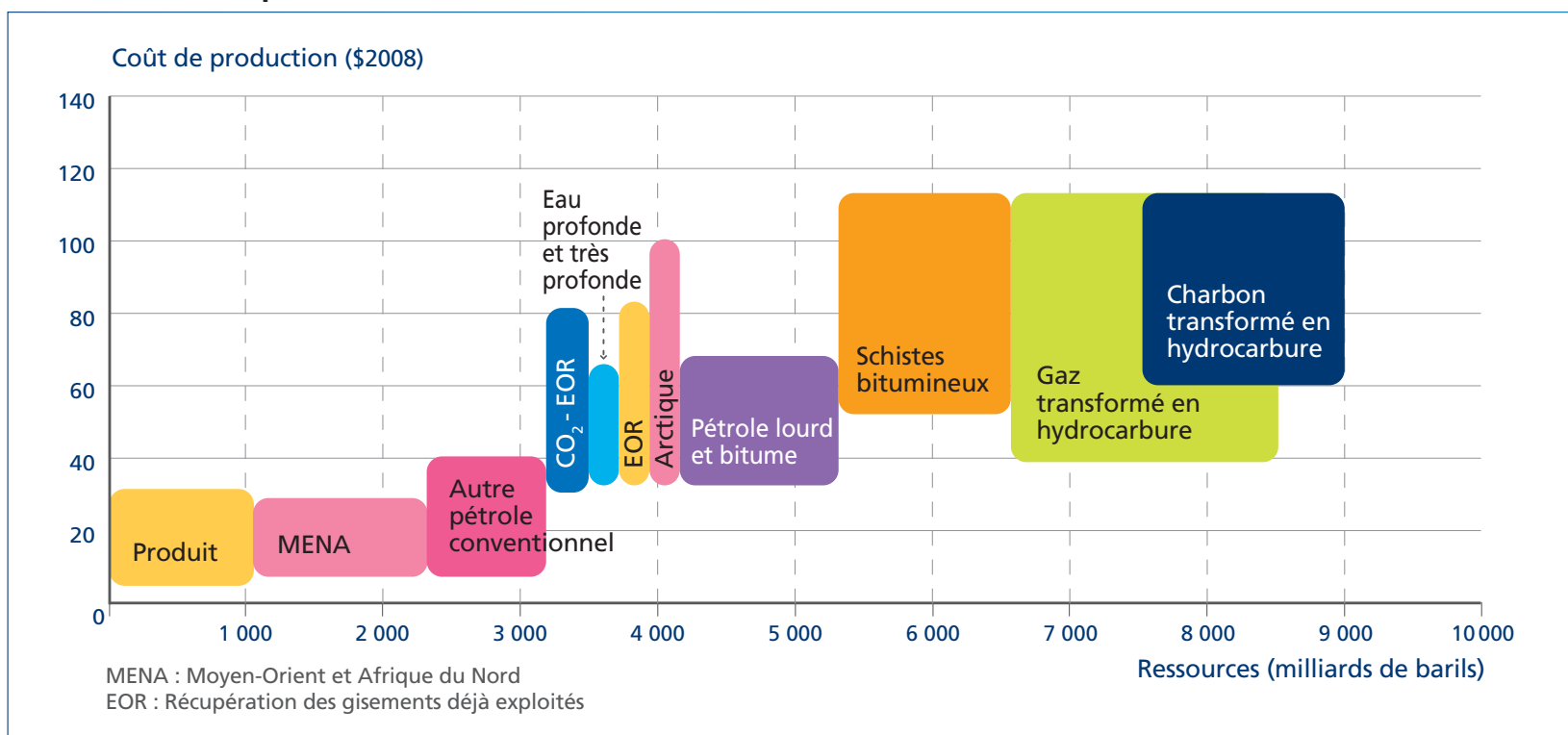
Source: Service de l'observation et des statistiques du commissariat général au développement durable, principalement d'après des données des douanes.

Hors OPEP, le pétrole bon marché est en voie d'épuisement. L'exploitation des nouveaux gisements va devenir de plus en plus difficile et enchérir leur coût financier et environnemental. De plus, ces dernières années, les découvertes de nouvelles réserves de pétrole à bas coût de production se font à un rythme inférieur à la consommation mondiale. C'est le signe du fameux "peak oil"

qui annonce la raréfaction de la ressource et donc son enchérissement.

Le graphique ci-après donne les réserves estimées de pétrole et leur coût d'extraction. Aujourd'hui, les coûts d'extraction sont compris entre 10 et 30 dollars le baril. À titre indicatif, la consommation mondiale de pétrole a été de 31 milliards de barils en 2008 (4,2 milliards de tonnes).

Ressources de pétrole et coût d'extraction



Source: Agence Internationale de l'Énergie 2008.

▣ Les réserves de gaz naturel

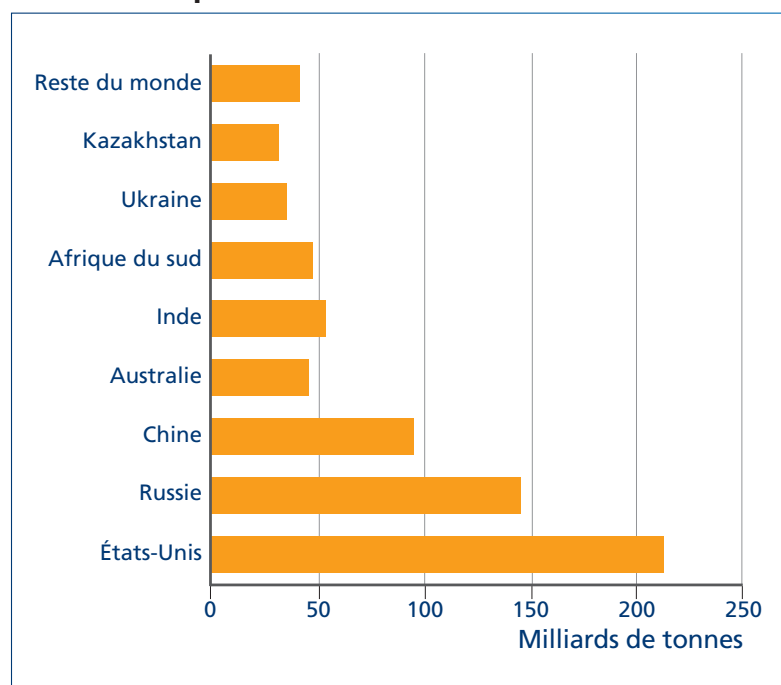
En 1985, les réserves mondiales de gaz naturel étaient estimées à 100 000 milliards de m³ (environ 100 milliards de tep); en 2008 de nouvelles évaluations faisaient état de 185 000 milliards de m³ (environ 180 milliards de tep). Les principales réserves prouvées de gaz naturel dans le monde sont situées pour 41 % au Moyen-Orient, 34 % en Europe et Eurasie (chiffres 2008).

Les pays qui alimentent la France sont notamment la Norvège (29 %), la Russie (18 %), l'Algérie (18 %), les Pays-Bas (17 %) (chiffres 2006 donnés par la DGEC¹). La consommation mondiale de gaz naturel a été de 2 916 milliards de m³ en 2006, l'Agence internationale de l'énergie prévoit qu'elle augmente à hauteur de 3 400 milliards de m³ en 2015.

Comme pour le pétrole, le prix du gaz, qui lui est souvent corrélé, est amené à connaître une hausse durable sur le long terme en Europe.

▣ **Les réserves de charbon** estimées sont importantes et mieux réparties géographiquement.

Réserves prouvées de charbon



Source : Conseil mondial de l'énergie (2007).

Les réserves prouvées ont été évaluées à 847 milliards de tonnes en 2005 et la production s'est élevée à 4,4 milliards en 2006. L'Agence internationale de l'énergie prévoit que la consommation augmente jusqu'à 7 milliards de tonnes en 2030 dans son scénario de référence et baisse à 4 milliards dans le scénario "450 ppm".

Une flambée des prix a été observée avant la crise, que l'on explique principalement par une demande

exceptionnellement forte dans certaines zones, la Chine surtout, et par de fortes tensions sur le fret. En effet, entre 2002 et 2007, la consommation de charbon affichait une évolution annuelle moyenne d'environ +6 %, soit environ trois fois la croissance du gaz naturel et deux fois celle du pétrole. Avec la crise, les prix sont revenus à des niveaux beaucoup plus bas, puis sont remontés un peu pour s'établir au-dessus de 85 \$ la tonne fin 2009.

▣ **Les réserves d'uranium** présentent une situation encore différente. Selon l'Agence Internationale pour l'Énergie Atomique (AIEA), les réserves identifiées atteignent environ 5,5 millions de tonnes à un coût d'extraction inférieur à 130 \$/kg.

Les ressources totales sont estimées à des valeurs beaucoup plus importantes. En effet, la recherche de nouveaux gisements a été très faible pendant de nombreuses années, elle est à présent beaucoup plus active et conduira à une probable réévaluation des réserves dans un proche avenir.

L'AIEA estime à 10 millions de tonnes les ressources non encore découvertes et à plus de 22 millions de tonnes les ressources non-conventionnelles (notamment dans les phosphates).

À la différence des autres combustibles, l'uranium ne représente aujourd'hui que 5 % du coût du kWh et rend donc le coût de l'électricité produite par les centrales nucléaires peu sensible aux variations des cours de l'uranium. Cette caractéristique permettra l'exploitation future de gisements qui ont des coûts d'extraction plusieurs fois supérieurs à ceux d'aujourd'hui.

La consommation mondiale d'uranium en 2006 et sa prévision jusqu'en 2030 figurent dans le tableau ci-après.

Consommation mondiale d'uranium

Année	Tonnes d'uranium
2006	66 500
2010	de 70 000 à 75 000
2015	de 77 000 à 86 000
2020	de 85 000 à 99 000
2025	de 91 000 à 111 000
2030	de 94 000 à 122 000

Source : Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire 2007.



7.4

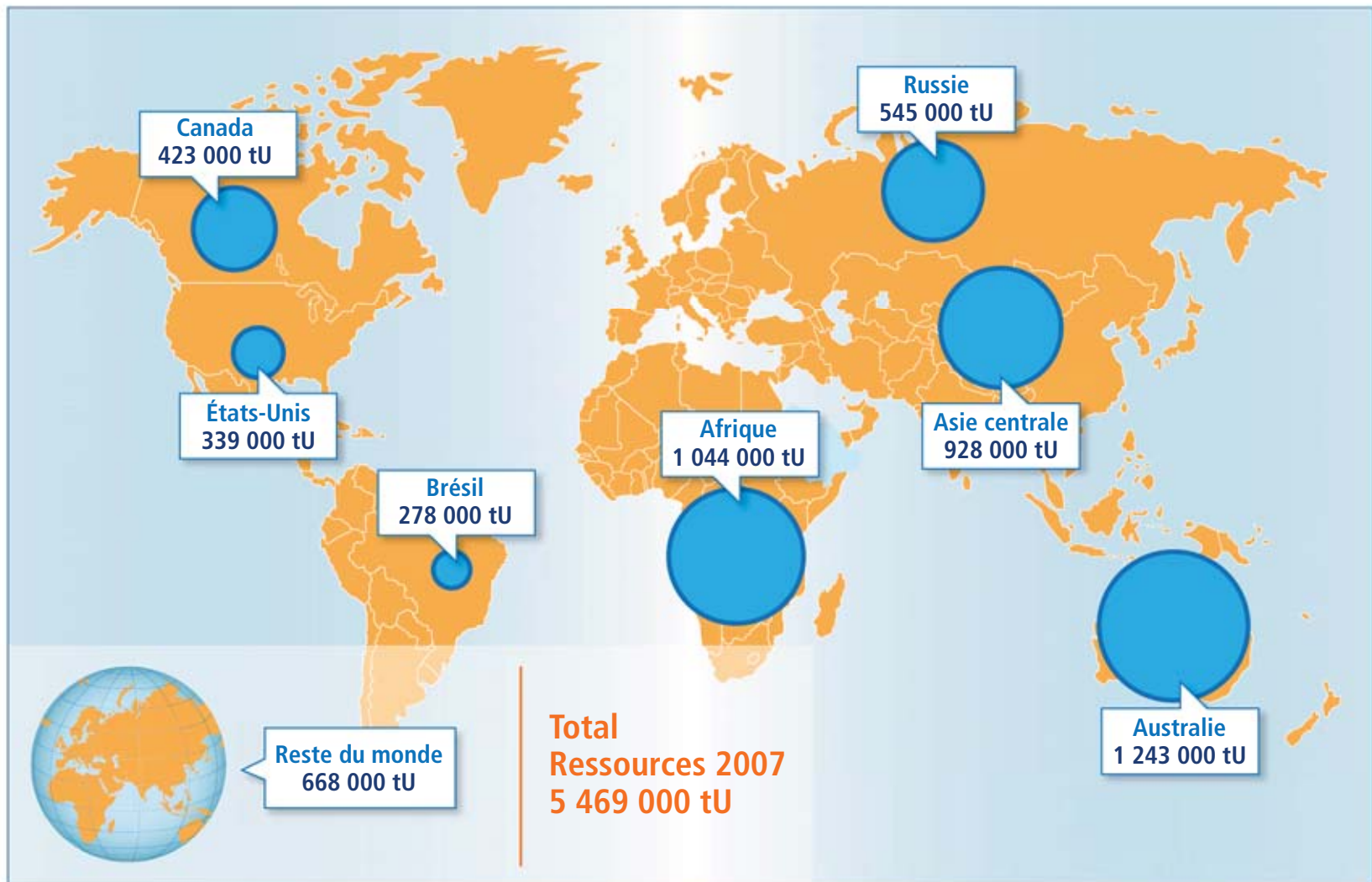
1. Direction Générale de l'Énergie et du Climat du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer.

Les fourchettes de consommation correspondent aux différents scénarios de développement de la production d'électricité nucléaire dans les décennies à venir. Dans tous les cas, la couverture des besoins serait assurée au moins jusqu'à la fin du siècle.

Au-delà de 2040, la commercialisation des nouveaux réacteurs nucléaires, dits de génération 4, pourrait progressivement diviser la consommation d'uranium naturel d'au moins un facteur 50 et augmenter d'autant la durée des réserves disponibles.

i
6.4

Ressources identifiées d'uranium à un coût d'extraction inférieur à 130\$ le kilo



Source : Red book OCDE/AIEA 2008.

Les réserves d'énergies renouvelables en vue de la production d'électricité

Pour les énergies renouvelables, les limitations ne portent pas sur la quantité d'énergie, mais sur le potentiel exploitable. Par exemple, l'énergie du vent est suffisante en théorie pour assurer la totalité des besoins mondiaux d'électricité. En pratique, le potentiel est limité pour des raisons économiques (coût élevé du kWh produit, les sites peu ou mal ventés sont moins intéressants...), techniques (difficultés d'accès, intermittence, évacuation de l'électricité...), environnementales et d'occupation des sols. Le solaire photovoltaïque est confronté aux mêmes types de contraintes.

L'électricité produite à partir de la biomasse pourrait représenter plus de 10 % de la consommation

d'électricité pour les zones les plus favorables. Pour les autres types d'énergies renouvelables en phase industrielle ou pré-industrielle (hydraulique non encore équipée, énergie de la mer, géothermie...), le potentiel est plus limité et ne pourrait contribuer à satisfaire que quelques pourcents de la consommation d'électricité, particulièrement dans les pays industrialisés qui utilisent déjà largement leur potentiel hydraulique.

À ce jour, les coûts de production de ces nouvelles technologies sont supérieurs à ceux des centrales thermiques (nucléaire, gaz ou charbon). La production d'électricité à partir des nouvelles énergies renouvelables est subventionnée dans la plupart des pays européens pour permettre l'atteinte de la maturité industrielle de ces nouvelles filières.

i
4.3

i
4.1

2.3 La dépendance énergétique de l'Europe et de la France

Comme l'a établi le Livre Vert de la Commission européenne¹, l'Union européenne apparaît particulièrement fragile, marquée par une dépendance énergétique forte et croissante : 52,4 % de ses besoins énergétiques étaient assurés en 2005 par des produits importés, ce chiffre pourrait augmenter jusqu'à 65 % en 2030 si aucune mesure n'est prise. Cette dépendance est particulièrement marquée pour le gaz (de 57 % en 2005 à 84 % en 2030) et le pétrole (de 82 % en 2005 à 93 % en 2030). La situation de la France est plus favorable, en raison du fort recours à l'énergie nucléaire pour la production d'électricité, alors que les autres pays européens voient leurs ressources propres diminuer (charbon en Allemagne et en Espagne, gaz au Royaume-Uni et aux Pays-Bas, etc.).

Le nucléaire et l'indépendance énergétique

L'indépendance énergétique d'un pays est sa capacité à satisfaire ses besoins d'énergie en maîtrisant les sources de production, les canaux d'approvisionnement et les techniques de valorisation des différentes formes d'énergie.

Le taux d'indépendance énergétique correspond au rapport entre l'énergie produite par un pays et l'énergie consommée dans le pays. La façon de déterminer l'indépendance énergétique est définie par l'Union Européenne.

Bien que le minerai d'uranium soit importé, le combustible nucléaire est considéré comme une ressource nationale qui participe à l'indépendance énergétique, en raison de la très forte valeur ajoutée nationale pour transformer le minerai en combustible nucléaire. En outre, les stocks d'uranium représentent plusieurs années de consommation et l'approvisionnement est diversifié. ■

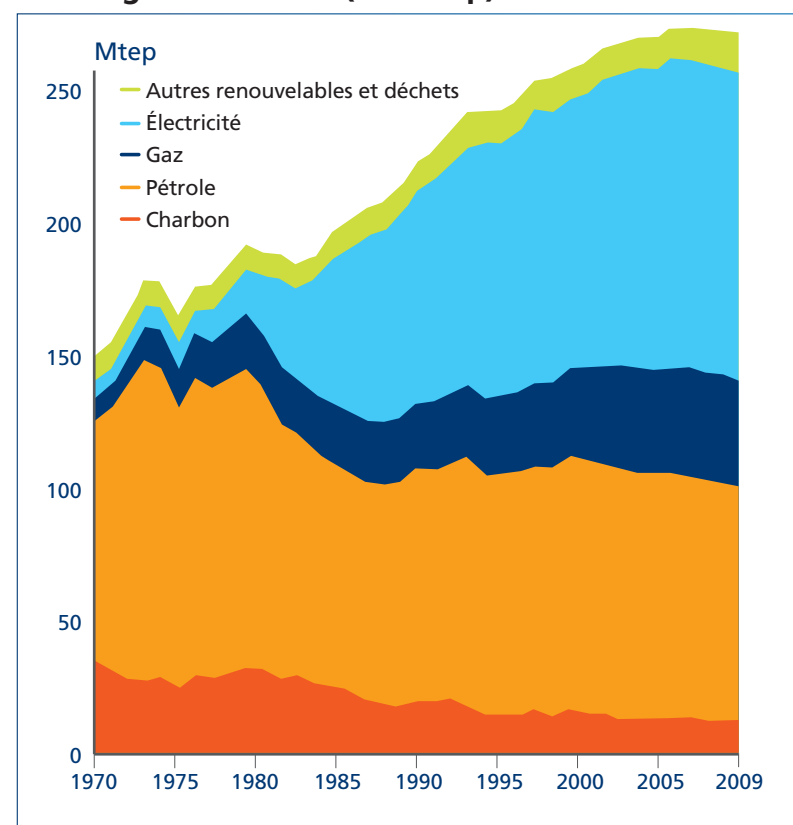
La volonté de l'Europe de limiter la dépendance énergétique va de pair avec la lutte contre le changement climatique. Elle s'est concrétisée par le "paquet climat-énergie" adopté en décembre 2008 (voir paragraphe 2.7).

2.4 Le bilan énergétique français

La consommation

Sur la dernière décennie, des modifications durables semblent se dessiner, avec notamment la confirmation de la stabilisation de la consommation d'énergie. L'envolée des prix du pétrole au premier semestre 2008, assimilable à un choc pétrolier, et la crise économique commencent à faire sentir leurs effets sur la consommation d'énergie en 2009. Il se pourrait aussi que les niveaux de prix atteints par l'énergie laissent des traces dans les comportements des ménages. Une part importante des réductions de consommation est toutefois évidemment liée à la baisse de l'activité économique.

Consommation française d'énergie corrigée du climat (en Mtep)



Source : Service de l'observation et des statistiques du Commissariat général au développement durable.

Avec 273,6 Mtep, la consommation totale d'énergie de la France en 2008, corrigée du climat, reste au même niveau qu'en 2007. Elle est un peu en retrait par rapport aux années 2004-2006 et à peine au-dessus du niveau de 2000, alors que le produit intérieur brut poursuivait sa croissance.

1. Source : Livre vert "Une stratégie européenne pour une énergie sûre, compétitive et durable", mars 2006.

En 2009, la consommation d'énergie a baissé d'environ 5 %. Il est encore trop tôt pour apprécier la part due à la crise économique.

Depuis les chocs pétroliers de 1973 et 1979, c'est la première fois que la consommation connaît une période aussi longue sans croissance. La stabilisation de ces dernières années, acquise sous des conjonctures économiques diverses et dans un contexte d'émergence des préoccupations environnementales, semble l'expression d'une tendance durable (Source: Direction Générale de l'Énergie et du Climat (DGEC)).

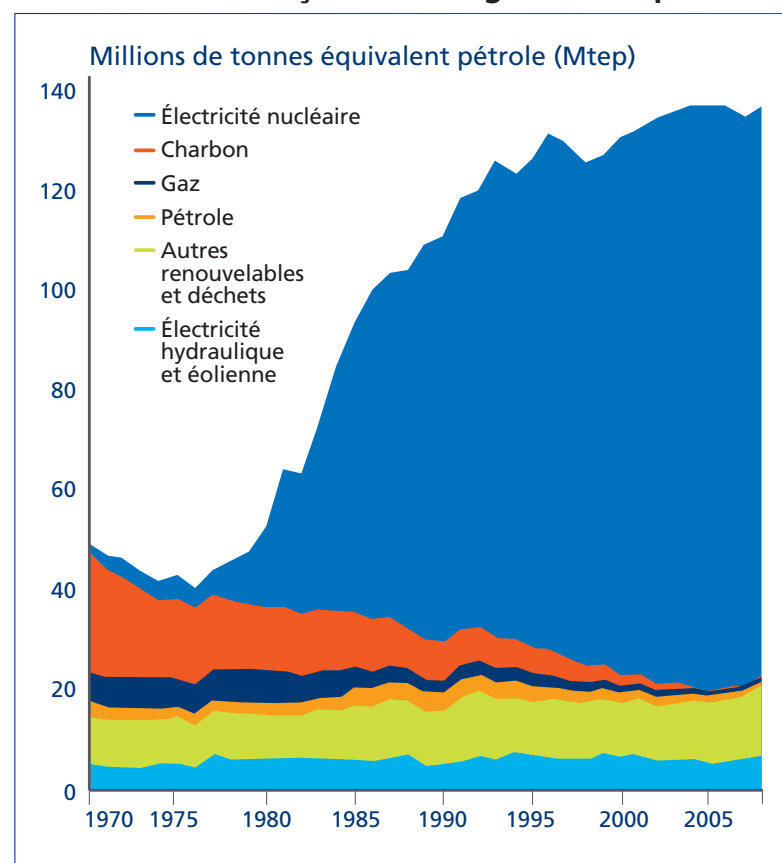
La production d'énergie en France

La France dispose de réserves énergétiques fossiles très limitées, ce qui l'expose à des risques d'approvisionnement qu'elle a su limiter: la facture énergétique de la France, exprimée en pourcentage du produit intérieur brut (PIB), est passée dans des circonstances comparables, assimilables à des chocs pétroliers, de 5 % en 1980 à 3 % en 2008, grâce notamment à la pénétration de l'électricité nucléaire (Source: DGEC).

Le risque d'augmentation de la facture énergétique, due aux produits pétroliers, demeure cependant, comme on peut le constater sur le graphique ci-dessous: elle a doublé en euros constants entre 2000 et 2008.

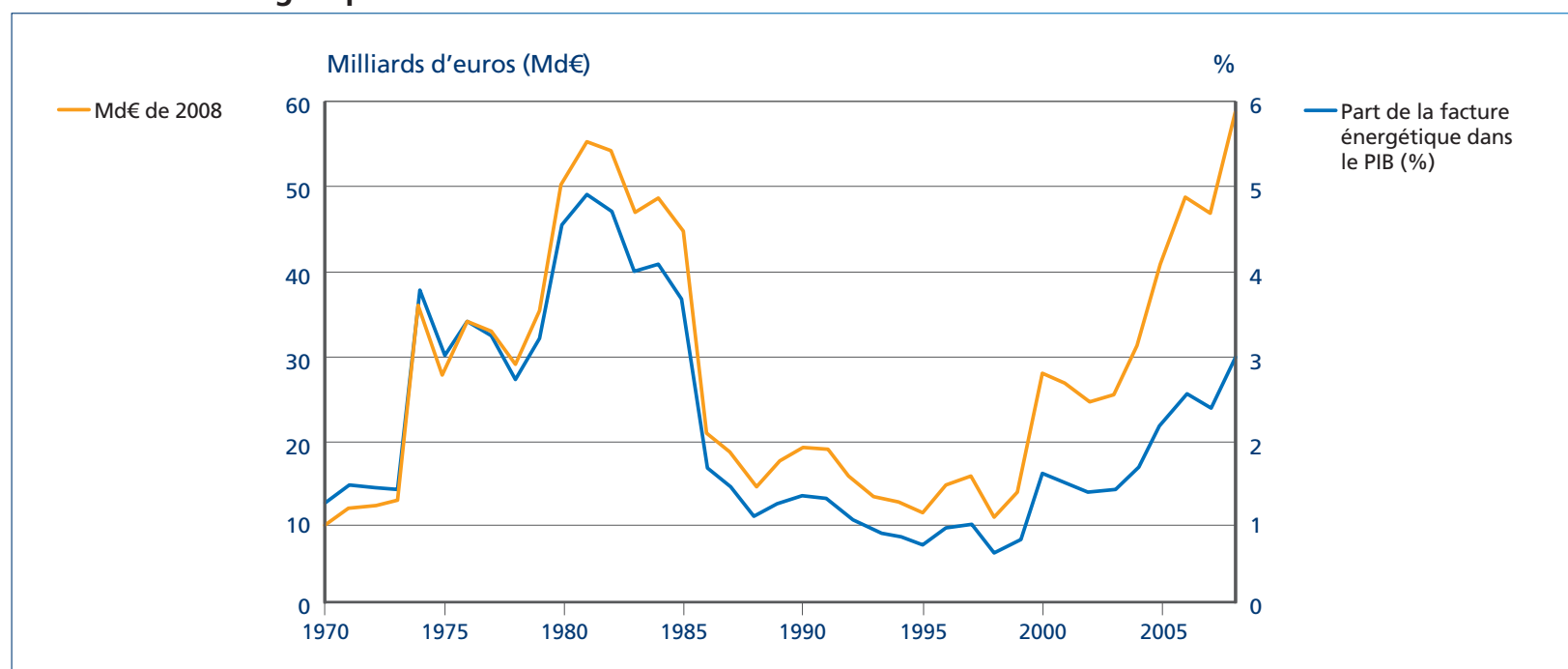
La production française d'énergie n'a que peu augmenté entre 2000 et 2008 (3,9 %). La production de combustibles fossiles n'est plus que 1,5 % du total, contre encore 4,3 % en 2000. Le nucléaire reste prédominant (83,6 %) mais la part des énergies renouvelables s'accroît (15 % contre 13,6 %). En 2009, la production d'électricité à partir d'énergies renouvelables (hors hydraulique) poursuit une vigoureuse progression (24 % environ sur l'année).

Production française d'énergie en Mtep



Source: Service de l'observation et des statistiques du Commissariat général au développement durable.

La facture énergétique de la France



Source: Service de l'observation et des statistiques du Commissariat général au développement durable.

2.5 Les spécificités de l'électricité

▣ Des contraintes fortes

Les lois de la physique imposent qu'à tout moment la production d'électricité soit égale à la consommation à l'intérieur d'un réseau en courant alternatif. Comme l'électricité se stocke très difficilement, il est nécessaire d'adapter en permanence la production à la consommation en faisant varier la puissance de certaines unités de production et en arrêtant et démarrant d'autres unités. Il faut également disposer de production en réserve, mobilisable en quelques secondes pour faire face aux aléas tels que l'arrêt inopiné d'un moyen de production ou l'augmentation brutale de la consommation.

Un réseau électrique très étendu permet de limiter la réserve globale en la mutualisant et de réagir plus efficacement en cas de perturbation importante. C'est une des raisons pour lesquelles le réseau électrique s'étend dans toute l'Europe de l'Ouest, permettant également des échanges commerciaux. Ces derniers sont cependant limités par les capacités des lignes électriques et encore une fois par la physique : l'électricité en courant alternatif se transporte mal sur de très grandes distances.

Le réseau électrique européen est également très maillé et ressemble à une sorte de plan de métro

parisien géant. Ce maillage permet la sécurisation de l'alimentation en électricité : en cas de défaillance d'une ligne électrique, l'électricité trouve un autre chemin, de la même manière qu'en cas d'indisponibilité d'une ligne de métro, on peut quand même arriver à destination en prenant d'autres lignes. Globalement l'électricité va des lieux de production vers les lieux de consommation, mais sans passer forcément par le chemin le plus court, ni aller vers le plus proche. Si l'on poursuit l'analogie avec le métro, un voyageur ne prendra pas forcément le trajet le plus court, s'il en trouve un autre plus rapide. De même, s'il a dans l'idée d'acheter quelque chose, il ira dans le magasin qui lui prendra le moins de temps de trajet, pas forcément le plus proche. Il est ainsi impossible de savoir avec précision où va l'électricité produite par une centrale.

Il est préférable d'avoir le meilleur équilibre géographique possible entre la production et la consommation d'électricité de manière à limiter le nombre de lignes électriques. Dans la pratique, cet objectif est contrarié par les zones très urbanisées, grandes consommatrices d'énergie, avec peu de possibilités de production (par exemple l'Ile-de-France ou les grandes agglomérations) ou à l'inverse les zones peu urbanisées propices à la production d'électricité (montagne pour l'hydraulique, par exemple).

Aire d'interconnexion en courant alternatif



Source : Union pour la Coordination du Transport de l'Électricité.

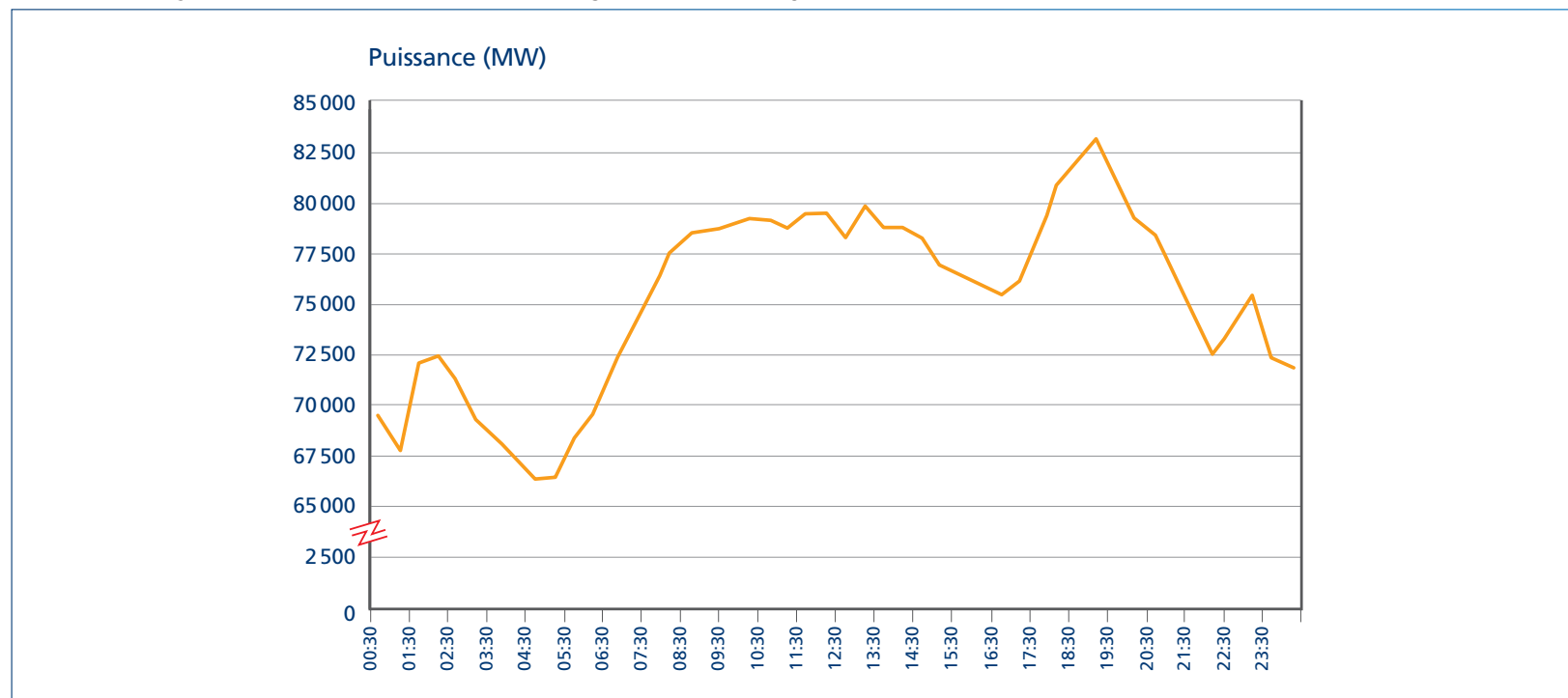
De grandes variations de la consommation

La consommation d'électricité en France, donc également la production, varie jusqu'à 30 % au cours de la même journée. Même si ces variations peuvent s'atténuer par des incitations à ne pas consommer pendant la pointe (tarification de pointe flexible associée à un compteur communicant, par exemple), elles ne

peuvent pas totalement être supprimées.

La consommation dépend aussi de la saison, avec 70 % d'écart entre la journée la plus chargée de l'hiver et la plus creuse de l'été. D'autres paramètres influent également sur la consommation d'électricité : la température extérieure, la nébulosité, l'activité économique, etc.

Courbe type de consommation française sur une journée



Source: RTE.

Des moyens de production aux caractéristiques différentes

Les installations de production d'électricité n'ont pas toutes les mêmes caractéristiques pour répondre en temps réel à la variation de la consommation.

Certaines installations ne peuvent pas faire varier leur puissance à volonté. C'est le cas, par exemple, des panneaux solaires, des éoliennes ou des usines hydroélectriques sur les fleuves : s'ils ne sont pas utilisés, leur énergie est perdue.

Ils ne peuvent donc s'adapter à la variation de la demande qu'au détriment de leur efficacité.

Les panneaux solaires et les éoliennes présentent également l'inconvénient d'avoir une production intermittente. Néanmoins, la prévisibilité de la météorologie permet d'en atténuer les effets.

Les autres types d'installation peuvent moduler leur puissance pour répondre au besoin. Elles peuvent faire varier leur puissance plus ou moins rapidement (de quelques minutes à quelques dizaines de minutes) entre une valeur minimum, généralement de l'ordre de 30 % de la puissance maximale, et cette puissance maximale. Cette catégorie comprend toutes les centrales thermiques (classiques et nucléaires) et les centrales hydrauliques, hormis celles qui sont sur les fleuves.

Il existe quelques moyens très souples et très ra-

pides, principalement les centrales hydrauliques avec de grands barrages et les turbines à combustion, malheureusement peu nombreuses pour les premières et d'un coût de production très élevé pour les secondes.

Enfin, les STEP, Stations de Transfert d'Énergie par Pompage permettent de stocker de l'énergie et de la restituer au moment voulu sous forme d'électricité. Ce sont des usines hydroélectriques avec deux réservoirs, un à l'amont, un à l'aval. L'usine peut fonctionner dans les deux sens. On pompe de l'eau du bas vers le haut quand la consommation d'électricité est faible et les prix de l'électricité sont bas. On la turbine du haut vers le bas quand les prix de l'électricité sont très élevés en période de forte consommation (**pointe**).

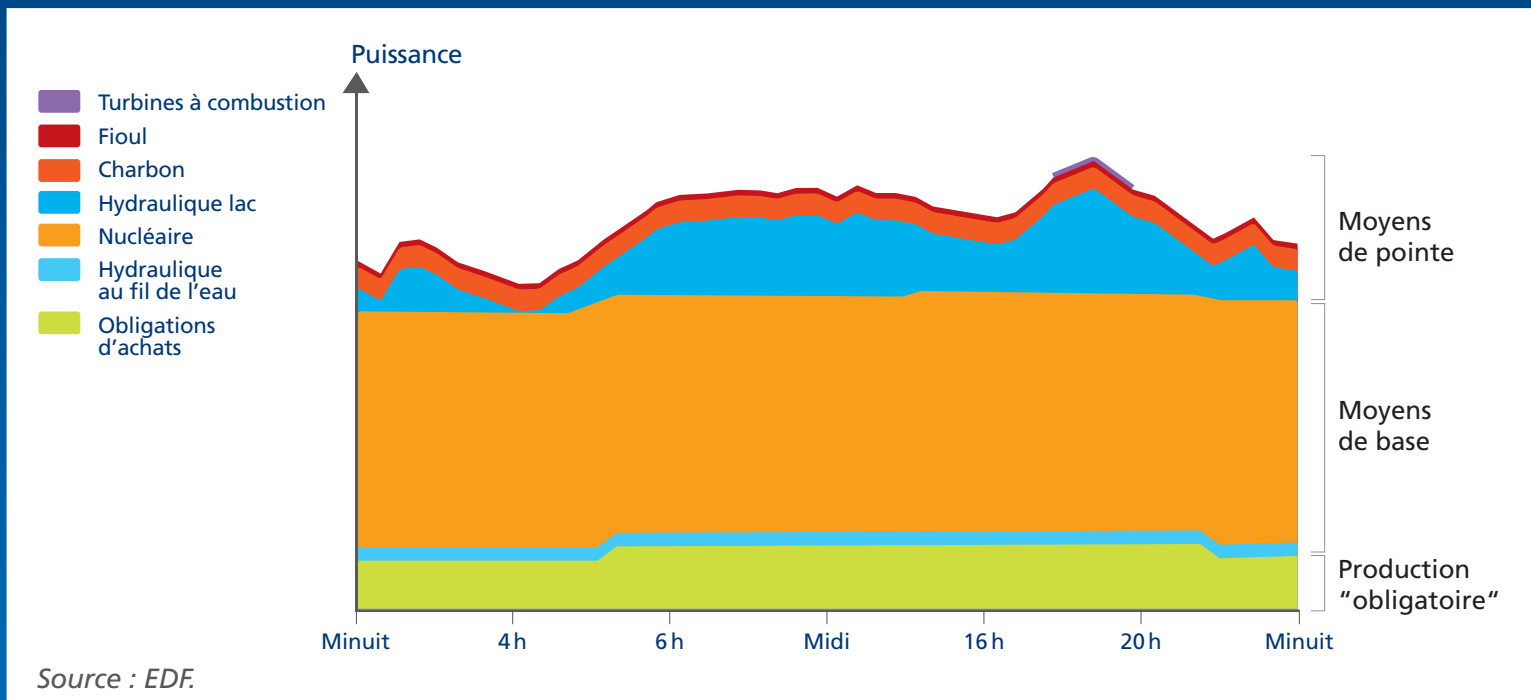
L'objectif global est de combiner à chaque instant tous les moyens de production nécessaires pour garantir la sûreté du réseau de la manière la plus économique possible. La prise en compte de l'aspect environnemental se fait, en plus des contraintes réglementaires, au travers de la taxation du carbone qui fait augmenter le coût de production des centrales qui émettent des gaz à effet de serre et donc en diminuer le recours.

i
4.1

i
4.3

Principe de l'utilisation des différents moyens de production pour assurer l'équilibre production/consommation

Allocation des moyens de production au cours de la journée



L'offre et la demande d'électricité doivent toujours être à l'équilibre. En France, EDF mobilise le nucléaire et l'hydraulique au fil de l'eau pour répondre à la demande de base et appelle les centrales thermiques et l'hydraulique de barrage pour couvrir les pointes de consommation ou

pallier les aléas survenant sur les autres centrales. Dans le système électrique français, les centrales sont appelées par ordre croissant de coût de production, intégrant le prix de la tonne de CO₂ rejetée. ■

2.6 La consommation et la production d'électricité en France

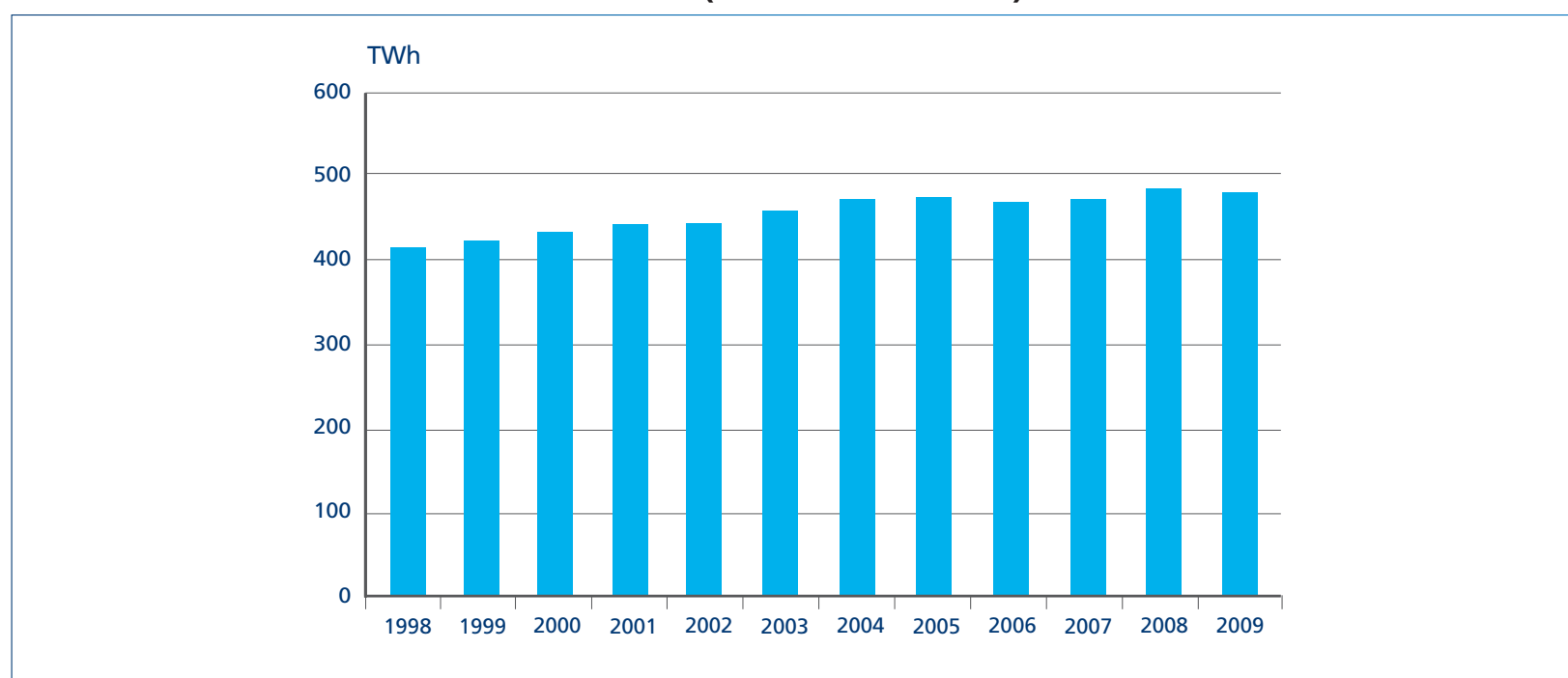
2.6.1 La consommation d'électricité en 2009

La consommation française d'électricité (France métropolitaine) a été de 486,4 TWh¹ en 2009. Après correction des variations climatiques², elle s'établit à 478,1 TWh, en baisse de 1,8 % par rapport à l'année précédente.



Sensibilisation aux économies d'énergie.

Évolution de la consommation d'électricité (France continentale)



Source : RTE.

Ces dernières années, la consommation se répartit ainsi en moyenne par type d'usage :

Type d'usage	Part de la consommation
Transports	3 %
Agriculture	1,5 %
Résidentiel / tertiaire	63,5 %
Industrie	32 %

Source : Service de l'observation et des statistiques du Commissariat général au développement durable.

2.6.2 La production d'électricité en France

Même si sa part de marché est prépondérante, EDF est en concurrence pour la production et la fourniture d'électricité en France. Depuis l'ouverture des marchés, de nouveaux acteurs sont apparus, notamment dans la production hydraulique, thermique et les **énergies renouvelables**.

La production d'électricité en France pendant l'année 2009 s'est élevée à 518,8 TWh (milliards de kWh), celle d'EDF à 448 TWh (hors Corse). Les deux autres producteurs les plus importants sont la CNR (filiale de GDF SUEZ) avec 15,8 TWh et la SNET (filiale de EON France) avec 8,4 TWh (chiffres 2008).

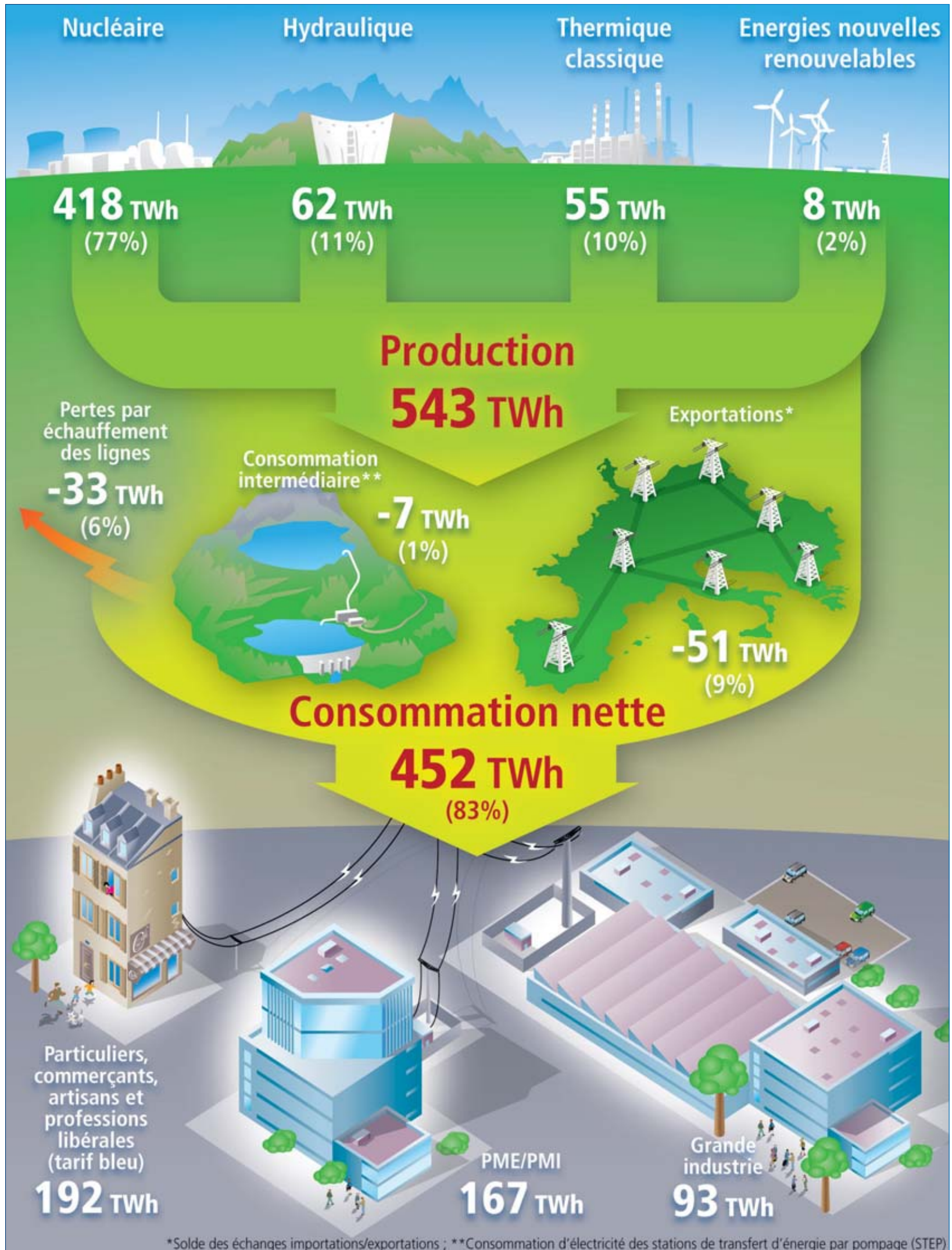
i
5.1

i
5.3

1. 1 TWh = 1 Tera Watt heure = 1 milliard de kWh. Tous les chiffres de ce paragraphe proviennent de RTE.

2. La valeur corrigée permet de faire des comparaisons sur l'évolution de la consommation au cours des années, alors que la valeur brute permet de comparer la production et la consommation.

Bilan électrique moyen 2005-2009 en TWh pour la France Métropolitaine



Source: RTE.

L'essentiel de la production française d'électricité vient aujourd'hui du nucléaire et des **énergies renouvelables** principalement hydraulique avec une part croissante de l'éolien.

Ce parc de production présente des atouts significatifs :

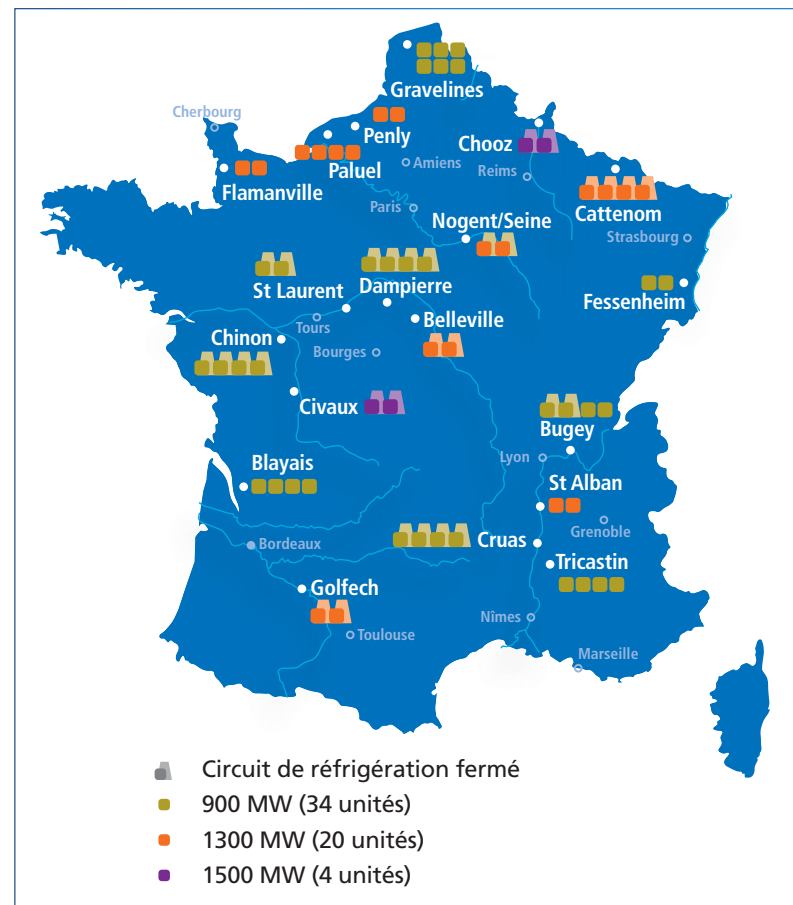
- un ensemble de moyens de production compétitif et peu exposé aux fluctuations des marchés du gaz et du charbon. Les ménages et les industriels bénéficient de prix parmi les plus bas en Europe ;
- une faible dépendance vis-à-vis de l'étranger et des variations des marchés internationaux pour l'approvisionnement de la France en électricité (le taux d'**indépendance énergétique** de la France s'est accru considérablement : de 26 % en 1973, il est passé à plus de 50 % aujourd'hui, essentiellement en raison de la restructuration du parc de production d'électricité). Elle bénéficie donc à ce jour d'une grande sécurité d'approvisionnement.



Aménagement hydraulique du bassin de la Loire et du Massif central.

Le plus grand parc nucléaire européen

Les centrales nucléaires françaises



EDF, premier électricien nucléaire mondial, exploite en France le parc de production nucléaire composé de 58 unités réparties sur 19 sites. Elles utilisent toutes des réacteurs à eau pressurisée fournis par AREVA (anciennement Framatome).

Les unités ont été construites par séries, chaque nouvelle série tirant parti de l'expérience accumulée et de l'amélioration de la technologie.

Cette standardisation a débouché sur la mutualisation des moyens et de l'expérience qui permet aux centrales nucléaires d'EDF d'avoir un haut niveau de **sûreté** et un kWh très compétitif.

i
6.2
6.7
6.8

Les différentes séries constituant le parc nucléaire français

Puissance (MW)	Nombre d'unités	Période de mise en service																						
		77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
900	34	2	2	2	7	8	2	4	4	1	1	1												
1300	20									2	3	4	3	2	0	3	1	1	1					
1500	4																				1	2	0	1
Total	58																							

Source : EDF.

i
6.3

2.7 La prise de conscience mondiale du changement climatique

La fin du XX^e siècle a été marquée par la prise de conscience des problèmes environnementaux dus aux gaz à effet de serre, dont la combustion du gaz, du charbon et du pétrole est le principal émetteur. Le protocole de Kyoto a été la première marque concrète de la volonté internationale de lutte contre ces phénomènes.

▣ Les engagements de Kyoto

Le protocole de Kyoto a été ouvert à ratification le 16 mars 1998 et est entré en vigueur en février 2005. Début 2009, il avait été ratifié par 184 pays. En France, l'entrée en vigueur s'est traduite par le décret n° 2005-295 du 22 mars 2005. La directive européenne 2001/77/CE relative à la promotion de l'électricité produite à partir des sources d'énergies renouvelables sur le marché intérieur a été harmonisée avec les objectifs du protocole.

Le protocole de Kyoto propose un calendrier de réduction des émissions des six gaz à effet de serre¹ qui sont considérés comme la cause principale du réchauffement climatique des cinquante dernières années. Il comporte des engagements absolus de réduction des émissions pour 38 pays industrialisés, avec une réduction globale de 5 % des émissions de CO₂ d'ici 2012 par rapport aux émissions de 1990. L'objectif global est de limiter à 2 °C le réchauffement planétaire.

Sur la période 2008-2012, la France devra stabiliser ses émissions de gaz à effet de serre à leur niveau de 1990. Cet engagement est en bonne voie d'être tenu. Depuis 2000, les émissions sont inférieures à celles de 1990. En 2007, elles leur étaient même de 7 % inférieures.

▣ En Europe, le paquet énergie-climat

En mars 2007, les dirigeants de l'Union Européenne ont approuvé les propositions de la Commission, dites "3 fois 20", visant à :

- réduire les émissions de CO₂ d'au moins 20 % d'ici 2020 par rapport aux émissions de 1990 (voire de 30 %, en cas d'accord au niveau mondial);
- porter à 20 % la part des sources d'énergies renouvelables dans la consommation énergétique totale;

- augmenter de 20 % l'efficacité énergétique, par rapport à l'évolution tendancielle actuelle.

Ces engagements se traduisent par le "paquet énergie-climat" qui a été adopté par le Conseil et le Parlement européen en décembre 2008, dont les mesures comprennent principalement :

- un renforcement du système communautaire d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre, en parallèle à un objectif de réduction des émissions :
 - de -21 % comparées aux émissions de 2005, pour les secteurs participant au système de quotas (électricité, industrie),
 - de -10 % comparées aux émissions de 2005, pour les secteurs ne participant pas (bâtiment, transports terrestres et déchets par exemple);
- l'adoption d'objectifs contraignants, visant à augmenter la part d'énergie renouvelable dans la consommation d'énergie (20 % pour l'Europe en 2020), tout en tenant compte des besoins et possibilités spécifiques de chaque État membre ;
- la définition de nouvelles règles pour la capture et le stockage du carbone, et pour les aides en faveur de la protection de l'environnement.

▣ En France, le Grenelle de l'environnement

Lancé le 6 juillet 2007, le Grenelle de l'environnement répond à la volonté du Gouvernement de placer le développement durable au cœur de ses priorités afin de surmonter les défis environnementaux à venir tels que le changement climatique, la préservation de la biodiversité et la prévention des effets de la pollution sur la santé.

Le Grenelle de l'environnement s'est organisé autour de six groupes de travail regroupant chacun l'État, les collectivités territoriales, les syndicats, les entreprises et les associations selon les thèmes suivants :

- lutter contre les changements climatiques et maîtriser la demande d'énergie ;
- préserver la biodiversité et les ressources naturelles ;
- instaurer un environnement respectueux de la santé ;
- adopter des modes de production et de consommation durables ;
- construire une démocratie écologique ;

1. CO₂ (gaz carbonique), CH₄ (méthane), N₂O (protoxyde d'azote), SF₆ (hexafluorure de soufre), HFC (hydrofluorocarbures), PFC (perfluorocarbones).

- promouvoir des modes de développement écologiques favorables à l'emploi et à la compétitivité.

Chacun de ces groupes de travail a été subdivisé en ateliers qui se sont réunis à plusieurs reprises et ont rendu leurs conclusions fin septembre 2007. Celles-ci ont été présentées au public au travers d'une grande consultation dans les régions et sur Internet.

Enfin une table ronde, qui s'est tenue les 24 et 25 octobre 2007, a été l'occasion d'annoncer les mesures décidées lors du Grenelle de l'environnement. Lors du discours de clôture, le Président de la République a notamment déclaré :

"Notre première priorité, et c'est l'une des conclusions du Grenelle, c'est de réduire notre besoin d'énergie. L'objectif est d'améliorer de 20% notre efficacité énergétique d'ici à 2020. Et notre deuxième priorité est de viser un objectif de plus de 95% d'énergie électrique sans effet sur le climat, c'est-à-dire sans carbone. C'est, à mes yeux, le seul objectif pertinent pour lutter contre les défis climatiques."



Bien que le nucléaire ne fût pas un des sujets en débat lors des ateliers du Grenelle, le Président Sarkozy a précisé dans le même discours :

"Il est illusoire en France de vouloir relever le défi du climat, notre premier défi, sans l'énergie nucléaire. Aujourd'hui, nous n'avons pas d'autre choix, sauf à renoncer à la croissance. Mais ça ne signifie nullement que le nucléaire doit être la solution unique au défi climatique."

Par la suite, trente-trois chantiers opérationnels ont été lancés courant décembre 2007, afin de préciser les mesures opérationnelles de mise en œuvre des orientations du Grenelle.

Les conclusions des chantiers opérationnels ont notamment permis d'élaborer le projet de loi de programme relatif à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement. Cette loi, dite "Grenelle 1" a été votée par les deux Assemblées, en première lecture et publiée au Journal officiel du 5 août 2009. Une seconde loi, traduisant ces conclusions en dispositions applicables et opposables à tous, la loi "Grenelle 2", a été votée par le Sénat et pourrait être votée à l'Assemblée nationale au premier semestre 2010.

En Haute-Normandie, un plan climat énergies

La prise de conscience des enjeux environnementaux et énergétiques en Haute-Normandie se traduit notamment par le plan climat énergies, adopté en juin 2007 par l'assemblée régionale. Ce plan est cofinancé par la Région et l'ADEME. Il fixe comme priorités la réduction progressive des consommations d'énergie, l'amélioration de la performance énergétique, le développement des énergies renouvelables et l'utilisation rationnelle de l'énergie. Le plan entend également conforter la Haute-Normandie comme l'une des premières régions françaises productrices d'énergie.

Pour plus d'information, le lecteur pourra se reporter à : www.hautenormandie.fr/Environnement-Transports/Environnement/Plan-climat-energies. ■

i
2.2