

FRANCE : QUEL BESOIN ÉLECTRIQUE POUR DEMAIN ?

1. BESOIN FUTUR

Avant de se poser des questions sur la fermeture des centrales nucléaires que certains pensent pouvoir remplacer par le développement des énergies renouvelables intermittentes, il est important de définir le besoin futur et à quelle échéance.

La projection de la consommation d'énergie électrique pour les années 2030 et 2050 repose sur des hypothèses d'évolution qui peuvent d'ailleurs évoluer dans le temps.

La démarche qui a été retenue afin de conduire à un modèle robuste est la suivante :

- analyse sur une longue période de l'évolution de la consommation
- définition des points et des zones critiques dans cette évolution
- définition des points de référence pour la projection
- choix des hypothèses de projection
- consolidation des résultats

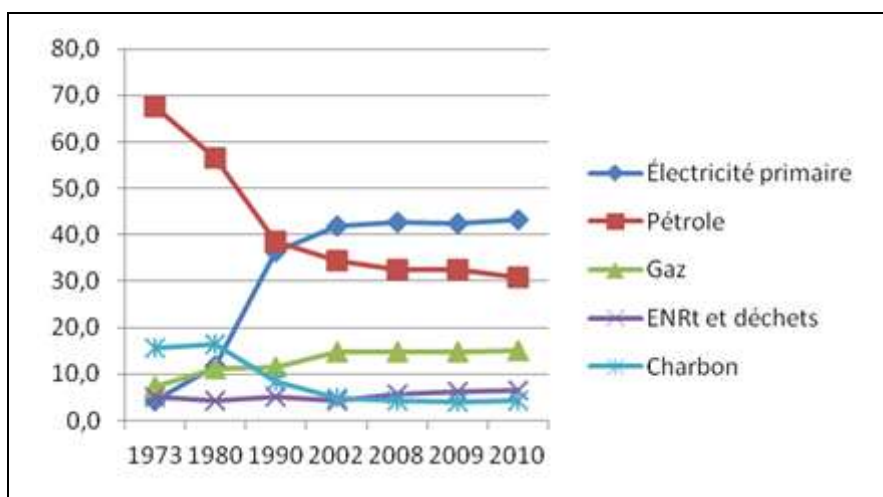
L'analyse des courbes de consommation entre 1973 et 2017 montre une augmentation constante de la consommation entre 1973 et 2010 avec un maximum pour l'année 2010, puis une baisse de la consommation avec un minimum en 2014 et une reprise qui semble s'amorcer actuellement. On verra §3 le détail de cette évolution.

2. BILAN SUR LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE EN 2010

L'année 2010 constitue un point charnière dans la consommation d'énergie puisque la crise économique va remettre en cause au moins temporairement l'évolution constatée jusque là. La consommation en 2010 constituera donc un élément de référence et de comparaison pour la consommation électrique.

2.1. ÉVOLUTION DE LA CONSOMMATION GLOBALE D'ÉNERGIE ENTRE 1973 ET 2010

Le graphique 1 montre, en pourcentage de l'énergie totale, l'évolution de la consommation par source d'énergie depuis le choc pétrolier de 1973.



Graphique 1 : Evolution de la consommation en France

La forte décroissance de la consommation de pétrole correspond à la montée en puissance de la production d'électricité essentiellement d'origine nucléaire complétée maintenant par les énergies renouvelables, éolienne et photovoltaïque, ainsi que la mise en valeur énergétique de la biomasse et des déchets.

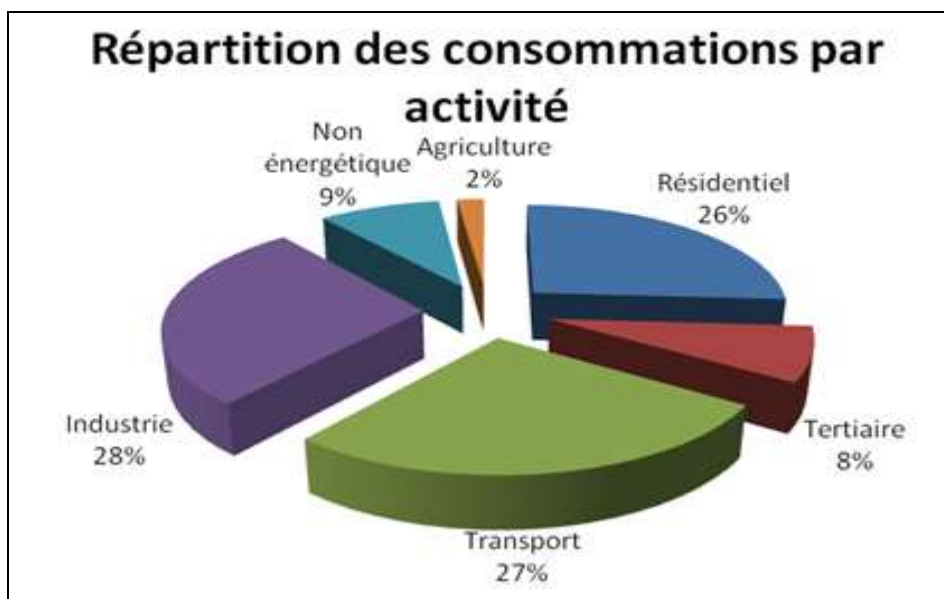
La consommation française a été de 266 Mtep¹ en 2010.

2.2. RÉPARTITION PAR SECTEUR D'ACTIVITÉ

Le graphique 2 ci-dessous donne la répartition des énergies consommées en 2010 en France.

On constate trois postes importants qui, à eux seuls, représentent 80% de l'énergie.

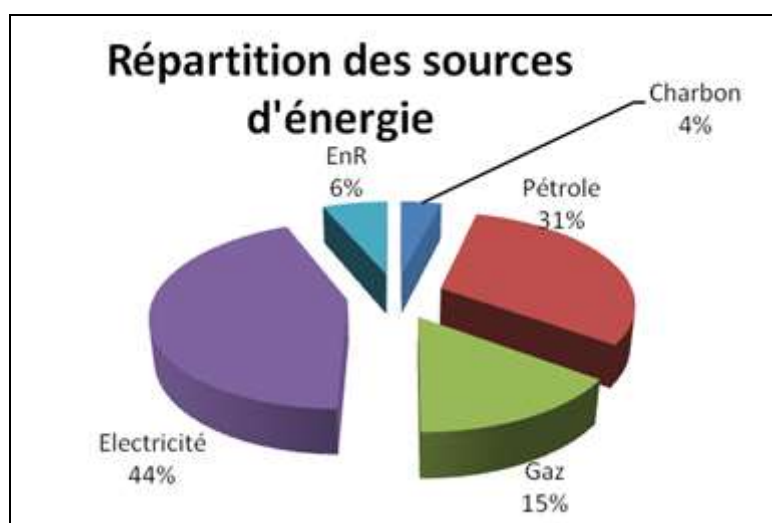
Ce sont le résidentiel, sur lequel il est possible de faire de sensibles économies, l'industrie qui verra une profonde restructuration et qui devra évoluer vers un fonctionnement plus économe en l'énergie fossile et le transport qui se fait essentiellement par la route.



Graphique 2 : Répartition des consommations énergétiques en France

2.3. RÉPARTITION DES DIFFÉRENTES ÉNERGIES CONSOMMÉES

Le graphique 3 donne la répartition des différentes sources d'énergie consommée en France en 2010.



Graphique 3 : Répartition des sources d'énergie en France

¹ Unités employées dans le texte :

Mtep : Mégatonne équivalent pétrole = mille tonnes équivalent pétrole, 1 tep = 11 700 kWh

MWh : Mégawatt heure = 10³ kWh = mille kWh, **GWh** : gigawatt heure = 10⁹ kWh = million kWh

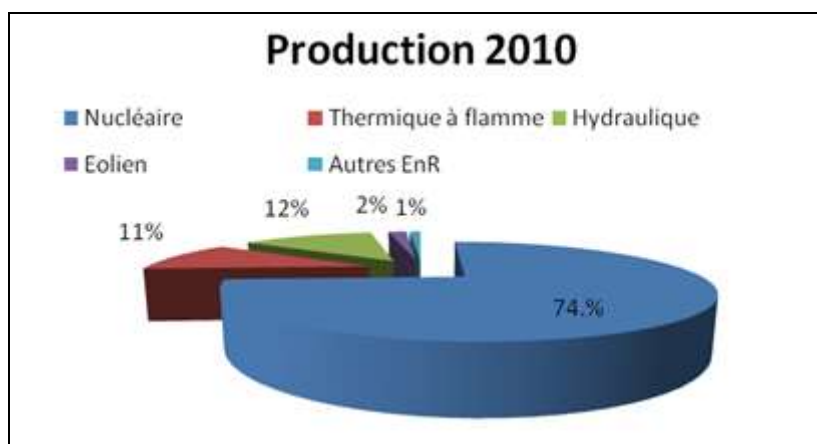
TWh : Téra watt heure = 10¹² kWh = mille million de kWh

L'électricité, appelée électricité primaire, provient d'énergies primaires non fossiles c'est-à-dire d'origines nucléaire, hydraulique, éolienne et photovoltaïque². L'électricité produite à partir d'une transformation de combustibles fossiles est intégrée dans les autres sources d'énergie (charbon, gaz, pétrole).

La partie énergie renouvelable (EnR) concerne l'énergie thermique (biomasse, récupération des déchets, biocarburants, géothermie, solaire thermique).

2.4. PRODUCTION ÉLECTRIQUE EN 2010

En 2010, cette production a été de 550,3 TWh pour une consommation de 488,1 TWh soit un excédent de 62,2 TWh qui permet de couvrir les différents aléas (production, climat, etc.) et d'alimenter le marché extérieur.



Graphique 4 : Répartition de la production électrique française en 2010

2.5. MONTÉE EN PUISSANCE DES ÉNERGIES RENOUVELABLES INTERMITTENTES

Entre 2005 et 2010, la participation des énergies renouvelables intermittentes au besoin énergétique augmente au rythme de 28 % par an et ceci pour une production électrique à peu près constante (Tableau 2). Ce phénomène devra être pris en compte dans les différents scénarios de projection.

Production (TWh)	Nucléaire	Hydraulique	Thermique fossile	Eolien	Autres EnR	Total
2005	430	56	54,8	4,3		545,1
2010	407,9	68	59,4	9,5	5,5	550,3

Tableau 2 : Répartition de production d'électricité

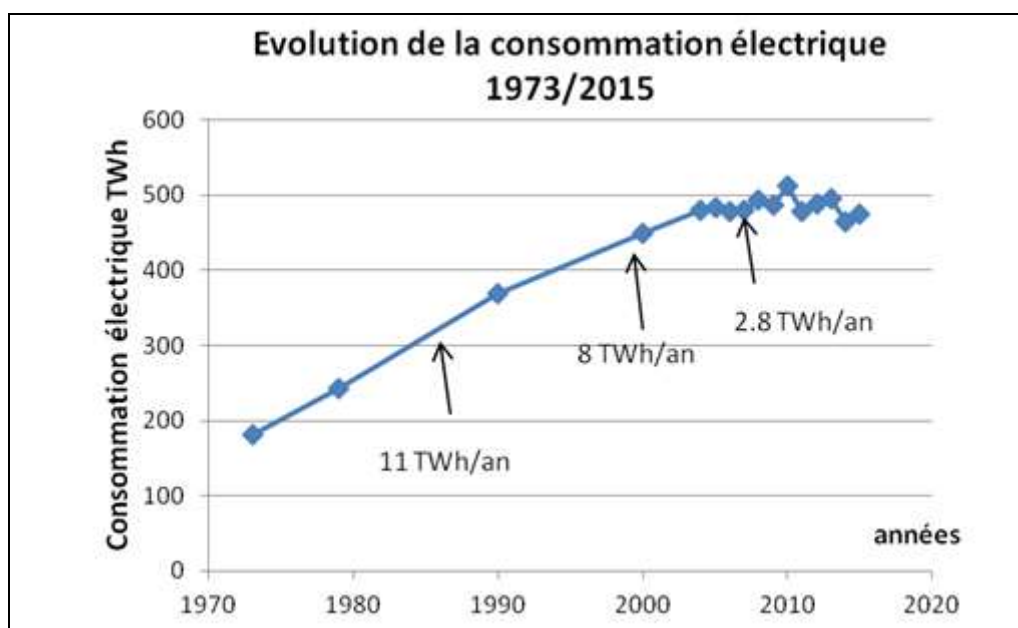
3. ÉVOLUTION DU BESOIN ÉLECTRIQUE FUTUR

3.1. HISTORIQUE DE L'ÉVOLUTION

L'estimation de la quantité d'électricité qui sera consommée dans le futur va s'appuyer d'une part sur l'historique et d'autre part sur des hypothèses d'évolution de la société dans les prochaines décennies. Mais cette extrapolation ne sera valable que s'il n'y a pas de rupture dans le processus de consommation.

L'analyse de la consommation électrique depuis les années 70, montre une augmentation rapide de 1973 à 1990 sur une pente de 11 TWh/an, une augmentation un peu moins rapide entre 1990 et 2004 avec une pente de 8 TWh/an et un net ralentissement entre 2004 et 2010 avec une pente moyenne de 2,8 TWh/an (Graphique 5).

² Définition EDF et INSEE.

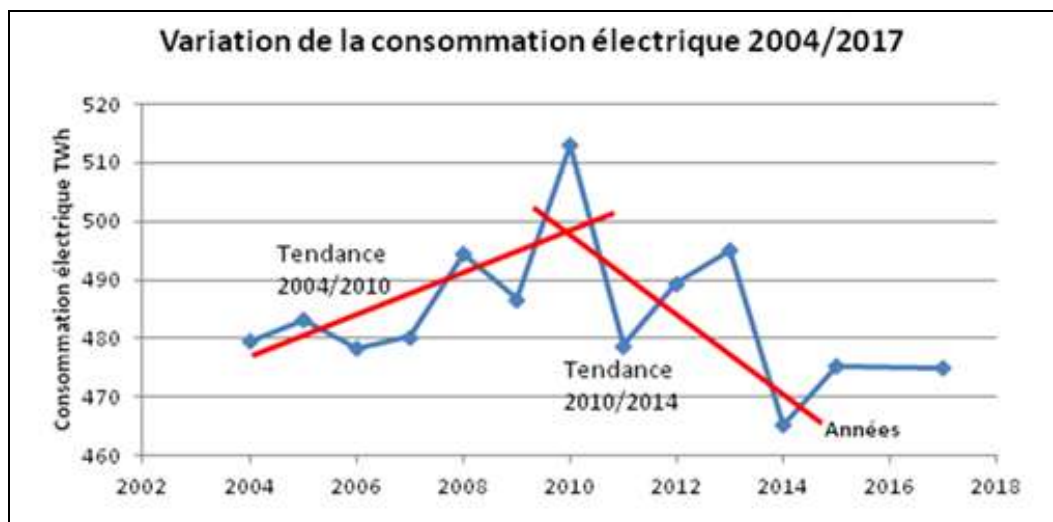


Graphique 5 : Evolution de la consommation entre 1970 et 2015

Le ralentissement entre 2004 et 2010 montre que les besoins ont été progressivement satisfaits et que l'on entre depuis 2004 dans une phase où la croissance absolue ne correspond plus à la réalité de la société.

L'année 2010 marque une rupture dans le processus de consommation. Cette rupture est essentiellement liée à la crise économique qui a frappé l'Europe et non à une réduction volontaire de la consommation comme d'aucuns le laisse croire. Cette crise semble actuellement se terminer et pour les années à venir on peut donc penser que la progression de la consommation suivra l'adaptation de la société à de nouveaux idéaux plus orientés vers la préservation des ressources naturelles que vers la consommation à tout prix.

Le graphique 6 donne le détail de la consommation entre 2004 et 2017.



Graphique 6 : Détail de la consommation entre 2004 et 2017

3.2. HYPOTHÈSES SUR L'ÉVOLUTION FUTURE

En suivant la répartition du graphique 2, les changements devraient essentiellement porter sur le résidentiel, le transport et l'industrie.

La politique MDE (maîtrise de la demande en énergies) déjà largement entamée, devrait aller dans le sens de la réduction de la consommation ; cependant de nouveaux besoins vont apparaître.

- En matière de **résidentiel** la politique d'isolation des bâtiments va se traduire essentiellement par la disparition du chauffage à énergie fossile (fuel, gaz naturel). L'électricité prendra principalement le relais avec une consommation raisonnée (électrique directe économique, pompe à chaleur, circulation de fluide caloporteur...). Cependant le réchauffement climatique va voir prospérer les climatiseurs.
- En matière de **transport** les recherches se développent rapidement autour du véhicule électrique. Le transport des marchandises actuellement assuré essentiellement par la route devrait migrer sur le rail. La politique, dans la plupart des grandes villes, crée des réseaux de tramways et favorise le covoiturage. Tout ceci va conduire à une baisse importante de la consommation d'énergie fossile qui se reportera en partie sur l'électricité.
- En matière **d'industrie**, la sidérurgie forte consommatrice d'énergie fossile a pratiquement disparue en France, mais subsiste l'industrie manufacturière qui est essentiellement consommatrice d'électricité.
- Il faut également tenir compte du développement de la recherche, qui est le point fort de la France, et le développement des techniques de l'information qui conduiront à l'augmentation de la consommation électrique partiellement compensée par le développement de technologies de moins en moins énergivores.
- Un autre point important est l'augmentation de la population due en partie aux flux migratoires liés au réchauffement climatique.

Cette analyse succincte montre que, même si dans les années à venir la consommation globale d'énergie diminue grâce à la politique de MDE, on peut penser que le besoin électrique ne peut qu'augmenter celui-ci dû, en grande partie, au transfert des usages.

3.3. MODÈLES DE PROJECTION

Pour les décennies à venir il y aura certainement une augmentation du besoin en électricité. Mais pour tenir compte de la politique de transition énergétique on n'envisagera, dans le modèle de projection, qu'une progression modeste qui peut être calquée sur l'évolution des années 2004-2010 qui a déjà intégrée la plupart des paramètres de limitation.

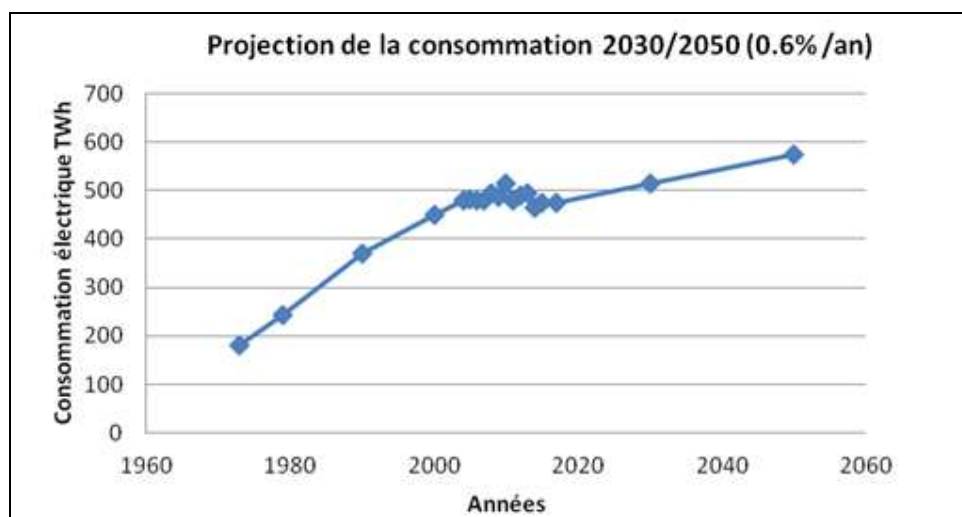
Le tableau 3 ci-dessous donne 3 hypothèses de progression en partant d'une valeur moyenne de consommation 2014/2015 de 470 TWh (voir graphique 6)

% annuel d'augmentation	0,6	0,4	0,2
Consommation TWh 2030	515	500	485
Consommation TWh 2050	575	540	505

Tableau 3 : Projection de la consommation

Si la projection du besoin électrique sur 15 ans est prévisible sans remise en cause fondamentale il est plus difficile de faire des prévisions sur une période relativement longue de 40 à 50 ans. Jusqu'en 2050 les prévisions internationales donnent toujours la priorité aux énergies fossiles (pétrole 30 %, gaz 26 %, charbon 23 %). La France voulant exclure les énergies fossiles de sa consommation énergétique se rabattra sur l'électricité produite à partir du nucléaire, de l'hydraulique et des énergies intermittentes qui devraient devenir plus compétitives avec le développement du stockage de l'électricité soit directement sous forme électrochimique (batteries, condensateurs), soit par stockage d'eau (STEP) ou par production d'hydrogène.

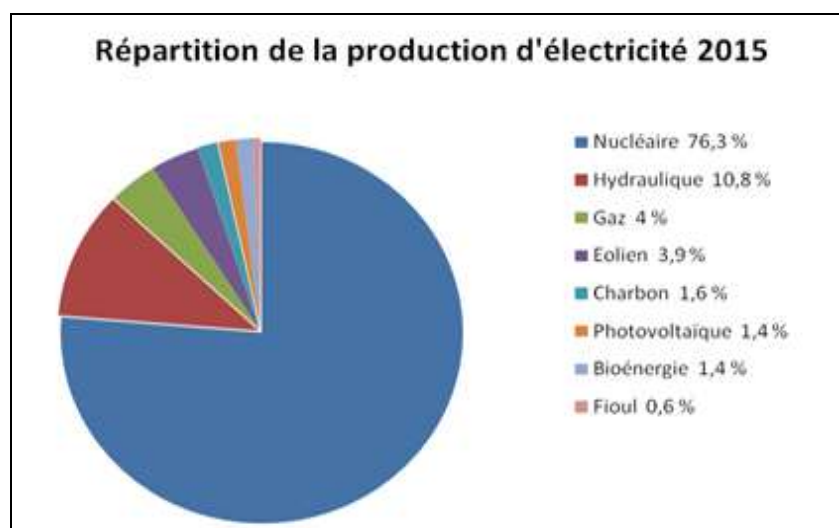
Pour tenir compte des hypothèses d'évolution décrite § 3.2 nous retiendrons un modèle d'évolution sur la base de 0,6 % par an correspondant à peu près aux prévisions d'avant la crise de l'OCDE (voir graphique 7).



Graphique 7 : Projection 2030-2050

3.4. RÉFÉRENCE DE LA PROJECTION : ANNEE 2015

L'année 2014 devrait constituer le point bas de la production électrique la crise économique semblant prendre fin. Sans que l'on puisse tirer de conclusion les années 2015, 2016 et 2017 marquent une stabilisation annonçant sans doute la reprise. Le graphique 8 montre la répartition par type de production.



Graphique 8 : Production électrique 2015

4. SCÉNARIOS DE PRODUCTION ÉLECTRIQUE EN 2030

Attention : Ne pas confondre production et consommation.

En 2010 la production électrique était de 550 TWh pour une consommation de 490 TWh soit un solde positif de 60TWh constituant une réserve de sécurité et permettant les échanges internationaux.

4.1. HYPOTHÈSE DE SCÉNARIOS

Hypothèse 1 : Compte tenu du caractère irrégulier et aléatoire du photovoltaïque et de l'éolien et afin de répondre au besoin, on supposera que l'appel aux ressources fossiles n'aura qu'un rôle complémentaire.

Il faut être conscient que le facteur de charge³ d'une éolienne terrestre est de l'ordre de 20 à 23 % et que le rendement du photovoltaïque est de l'ordre de 10 à 12 % avec les technologies actuellement industrialisées.

³ Le facteur de charge, sur une durée déterminée, est le rapport entre l'énergie effectivement produite et l'énergie qui aurait été produite à puissance nominale. Ces chiffres sont donnés pour une année de fonctionnement.

Hypothèse 2 : La capacité hydraulique de la France est quasiment toute exploitée. Bien que cette production soit également fortement liée aux aléas climatiques on considère que la production hydraulique restera constante sur la durée concernée et égale à 60 TWh valeur moyenne entre 2005 et 2010.

Hypothèse 3 : La part des différentes énergies renouvelables hors hydraulique est difficile à déterminer. On définira pour dimensionner facilement le problème un système appelé « *énergie intermittente de référence* » caractérisant le mix énergétique éolien terrestre et maritime⁴, photovoltaïque etc.

Hypothèse 4 : La capacité de « l'énergie intermittente de référence », est fixée forfaitairement à 2,5 MW⁵ basé uniquement sur les performances de l'énergie éolienne terrestre et maritime.

On considèrera un facteur de charge moyen de 25 %, c'est-à-dire que, pour une production d'énergie intermittente renouvelable de 25 MWh, l'énergie fossile devra fournir à la demande 75 MWh (essentiellement des turbines à gaz). Ceci n'est qu'un ordre de grandeur permettant de dimensionner facilement le problème.

Hypothèse 5 : On considèrera une réserve de production de 60 TWh analogue à celle de 2010.

4.2. COMPARAISON DE TROIS SCÉNARIOS D'ÉVOLUTION POUR L'OBJECTIF 2030

La projection sur 2030 n'a que pour but de définir des tendances d'évolution sans tenir compte de la composition réelle du parc de production qui est à ce stade difficile à définir. Les projections ci-dessous ne prennent en compte que les énergies zéro carbone (nucléaire, hydraulique, mix éolien photovoltaïque). Les bioénergies sont intégrées dans la rubrique « besoin supplémentaire ».

Si on estime la réserve à 60 TWh la production global pour 2030 sera de l'ordre de 575 TWh.

A partir du modèle d'évolution à 0,6 % par an, 3 scénarios de production ont été envisagés :

- le premier correspond à 50 % de production d'électricité nucléaire qui est l'objectif du Grenelle de l'environnement
- le second correspond à une part du nucléaire de 76 % satisfaisant à la limitation de la loi de transition énergétique (puissance installée \leq 63,2 Gw)
- le troisième correspond à 60 % du besoin représentant une production intermédiaire qui pourrait être un compromis pour l'objectif 2030

Apparaît également dans le tableau 4 le « besoin complémentaire » nécessaire pour couvrir la demande ainsi que la production de CO₂ relative à ce complément si celui-ci est réalisé avec du fossile type turbine à gaz.

% Nucléaire	Nucléaire TWh	Hydraulique TWh	Energie intermittente de référence TWh	Besoin complémentaire en énergie fossile TWh	Production CO ₂ MT	% Renouvelable
50	288	60	57	171	110	20
76	437	60	20	58	38	14
60	345	60	43	130	82	18

Tableau 4 : Comparaison scénarios de référence

4.3. ANALYSE DES SCÉNARIOS

Scénario 50 % : La production du nucléaire est ramenée à 50 % du besoin 2030.

On retrouve, l'ordre de grandeur des objectifs du Grenelle de l'environnement traduit en énergie annuelle produite, qui est de 57 TWh pour l'éolien terrestre et maritime.

⁴ Le photovoltaïque n'a pas été retenu comme moyen de production de masse car sa très faible capacité de production en fait plutôt une énergie complémentaire et pose le problème de la gestion de toutes ces petites sources d'énergie. Cette production est mieux adaptée à une utilisation locale, mais demande une remise en cause du fonctionnement de nos sociétés qui ne peut pas être envisagée à court terme. A noter que les technologies actuelles de fabrication des cellules photovoltaïques sont très énergivores et extrêmement polluantes. La grande majorité des panneaux photovoltaïques est fabriquée en Chine.

⁵ Les objectifs du Grenelle de l'environnement sont 19 GW pour l'éolien terrestre et 6 GW pour l'éolien maritime soit un rapport 3 en puissance électrique installée. Les facteurs de charge moyens sont respectivement 0,2 et 0,4. En gardant ce même rapport, le facteur de charge de l'éolienne moyenne est $(19 \times 0,2 + 6 \times 0,4) / (19 + 6) = 0,248$. La puissance de l'éolienne moyenne est $(19 \times 2 + 6 \times 6) / (19 + 6) = 2,5$ MW en prenant une puissance de 2 MW pour le terrestre et 6 MW pour le maritime

Si l'on reprend la proportion entre les éoliennes terrestres et maritimes définie par le Grenelle de l'environnement ceci conduira à l'implantation de 9 500 éoliennes terrestres⁶ et 1000 éoliennes maritimes et fera passer l'électricité renouvelable de 15 % actuel à 20 %. Ceci pose le problème de l'implantation et l'interconnexion de ce grand nombre de machines sur des sites suffisamment ventés pour qu'elles puissent garder de bonnes performances. Ce scénario nécessitera de faire appel aux énergies fossiles pour palier les aléas de production, ce qui conduira à une forte augmentation de émissions de CO₂ (120 MT pour 40 actuels)⁷.

Scénario 76 % : La part du nucléaire à 76 % correspond à la limite définie par la loi de transition énergétique. En se référant à l'année 2015, la part du nucléaire sera à peu près la même et la part du renouvelable non carboné augmentera de près de 5 % couvrant, en grande partie l'augmentation du besoin (voir graphique 8). Ceci n'entraînera pas une augmentation fondamentale de la production de CO₂.

Scénario 60 % : Le point 60% ne représente qu'un compromis qui pourrait être négocié avec les lobbies antinucléaires. A noter toutefois que ceci reviendrait à doubler le volume d'émission de CO₂ du à la production électrique par rapport au volume actuel.

5. CONCLUSION

Le choix énergétique pour l'avenir est un problème complexe car il dépend de nombreux paramètres tant techniques, financiers que politiques auxquels s'ajoutent la sensibilité des populations aux arguments écologiques et la notion de danger.

En France, comme pour l'ensemble des pays européens de l'OCDE, l'augmentation de la consommation énergétique restera globalement modeste sur les vingt prochaines années grâce à la montée en puissance des politiques d'économies d'énergie et fera largement appel à d'autres sources telles que la biomasse, la géothermie et le solaire thermique.

L'électricité assurera une part de plus en plus importante du besoin en énergie lié principalement à la politique de recherche et d'innovation souhaitée par la France, le développement des transports propres et l'augmentation naturelle liée à une société plus nombreuse et de plus en plus technologique.

Les énergies renouvelables devraient en partie couvrir cette augmentation. Mais du fait de la saturation de la capacité hydraulique, le recours à l'éolien et au photovoltaïque nécessite, dans les quelques années à venir, un complément en énergie fossile dans un rapport 1/4, 3/4 pour pallier les aléas de la production.

Un compromis est donc à trouver pour ne pas augmenter outre mesure les émissions de gaz à effet de serre. Une projection de la production électrique en 2030 montre qu'un bon équilibre devrait se trouver avec du nucléaire à un niveau de l'ordre de 70 à 75 % associé à 15 à 18 % de renouvelable, le complément étant assuré dans un premier temps par les énergies fossiles remplacées progressivement dans la mesure des progrès technologiques par le stockage de l'électricité (Voir [fiche GAENA N°26](#)).

La capacité du parc nucléaire actuel devrait satisfaire à ces besoins jusqu'en 2030.

Pour l'avenir plus lointain, il faut être conscient que la transition énergétique est une œuvre de très longue haleine qui nécessite, outre des progrès techniques et technologiques, la recherche de concepts énergétiques nouveaux et une remise en cause assez fondamentale du fonctionnement de nos sociétés, ce qui ne peut se faire que sur plusieurs générations.

4 SOURCES

- OCDE** : Organisation de Coopération et de Développement Economique
- EIA** : Energy Information Administration (agence américaine)
- AIE** : Agence Internationale de l'Energie
- INSEE** : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
- SOeS** : Service de l'Observatoire et des Statistiques
- EDF** : Electricité de France
- ERDF** : Electricité Réseau Distribution France
- CEA** : Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energie Alternatives
- EHESS** : Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales
- UFE** : Union Française de l'Electricité
- Connaissance des énergies** : Fiches pédagogiques

⁶ Au 1^{er} janvier 2012, le parc éolien était constitué de 3 695 éoliennes pour une puissance installée de 6 756 MW soit une puissance moyenne de 1,8 MW par éolienne.

⁷ Energie complémentaire fournie par des turbines à gaz produisant 650 kg de CO₂ par MWh. Toute autre source d'énergie fossile conduira à une plus forte production de CO₂.