

# Compte rendu

**Commission d'enquête relative aux coûts passés, présents et futurs de la filière nucléaire, à la durée d'exploitation des réacteurs et à divers aspects économiques et financiers de la production et de la commercialisation de l'électricité nucléaire, dans le périmètre du mix électrique français et européen, ainsi qu'aux conséquences de la fermeture et du démantèlement de réacteurs nucléaires, notamment de la centrale de Fessenheim**

– Thème : Place du nucléaire dans le mix électrique français

Audition jointe de M. François Moisan, directeur exécutif scientifique Recherche et International de l'ADEME, et de M. Jacques Bittoun, président de l'ANCRE (Alliance nationale de coordination pour la recherche sur l'énergie)..... 2

Jeudi

17 avril 2014

Séance de 14 heures

Compte rendu n° 49

SESSION ORDINAIRE DE 2013-2014

**Présidence  
de M. François Brottes**  
*Président*

*L'audition débute à quatorze heures dix.*

**M. le président François Brottes.** Ces auditions portent sur la place du nucléaire dans le mix énergétique français. J'ai souhaité, et le rapporteur l'a accepté, que la commission d'enquête réfléchisse à l'évolution du mix électrique dans les années à venir, sujet qui est au cœur du débat sur la transition énergétique et des engagements du Président de la République.

Nous accueillons M. François Moisan, directeur exécutif scientifique Recherche et International de l'ADEME, M. Jacques Bittoun, président de l'Alliance nationale pour la coordination de la recherche sur l'énergie (ANCRE) et Mme Nathalie Alazard. L'ANCRE est une alliance d'organismes publics nationaux qui a pour mission de mieux coordonner les recherches sur l'énergie qu'ils mènent et de renforcer leur efficacité. Il est à noter que l'ADEME ne fait pas partie des partenaires de l'ANCRE et que le scénario de l'ANCRE, publié très récemment, n'a pas été passé au crible du débat national sur la transition énergétique.

Conformément aux dispositions de l'article 6 de l'ordonnance du 17 novembre 1958, je vous demande de prêter le serment de dire la vérité, toute la vérité, rien que la vérité.

*(M. François Moisan, M. Jacques Bittoun et Mme Nathalie Alazard prêtent serment.)*

**M. François Moisan, directeur exécutif scientifique Recherche et International de l'ADEME.** L'ADEME n'est pas un opérateur de recherche mais une agence qui soutient la recherche. À ce titre, elle est associée aux travaux de l'ANCRE et participe au comité de coordination de cette dernière.

Les visions de l'ADEME sur la transition énergétique à l'horizon 2030 et 2050 ont été présentées lors du débat national bien qu'elles lui soient antérieures.

Le scénario à l'horizon 2030, sur lequel je me focaliserai aujourd'hui, est une extrapolation des tendances passées tenant compte d'inflexions assez volontaristes, mais réalistes, et permettant de s'inscrire, à l'horizon 2050, dans la trajectoire d'une division par quatre des émissions de gaz à effet de serre, le « facteur 4 ».

En revanche, la vision à l'horizon 2050 obéit à une logique différente puisqu'elle présuppose la réalisation du « facteur 4 ». Elle considère 2050 comme un horizon normatif, dont elle évalue le réalisme au regard d'hypothèses techniques et économiques.

S'agissant du mix électrique et de la place des énergies qui y concourent, nous nous sommes d'abord intéressés à l'évolution de la demande. Selon le niveau de la demande, la contribution des différentes énergies varie : si la demande est élevée, il est plus difficile d'atteindre les objectifs en matière d'énergies renouvelables.

Dans notre scénario, la demande en énergie finale passe de 151 millions de tonnes d'équivalent pétrole en 2010 à 123 en 2030, soit une baisse de 18 %, puis à 82 en 2050, soit une baisse de 46 %. C'est sur la base de ces chiffres, complétés par des prévisions sur les émissions de gaz à effet de serre dans le domaine de l'agriculture, que nous évaluons la réalisation du « facteur 4 » en 2050.

**M. le président François Brottes.** À ce stade, il serait bon que vous rappeliez la définition de l'énergie primaire et celle de l'énergie finale.

**M. François Moisan.** L'énergie finale est l'énergie livrée aux consommateurs, qu'ils soient particuliers ou industriels. Pour produire cette énergie, il a fallu au préalable transformer des énergies primaires, qui peuvent être importées ou produites sur le territoire national. La différence entre énergie primaire et énergie finale tient à la consommation d'énergie liée à cette transformation.

La trajectoire de réduction par deux de la consommation d'énergie repose sur deux secteurs : le bâtiment et les transports.

Dans le premier, nous supposons une amélioration des performances énergétiques des bâtiments. Elle passe par une performance accrue des bâtiments neufs rendue possible par l'obligation faite à ces derniers à compter de 2022 d'être des bâtiments à énergie positive. Mais les bâtiments neufs ne représentent qu'une faible part du parc en 2050 dont les deux tiers sont d'ores et déjà construits. En complément, un programme ambitieux de réhabilitation des logements – 500 000 logements par an –, qui a déjà été annoncé, doit donc permettre d'améliorer le stock existant. La réussite de ce programme demande des technologies de rénovation, l'accès au financement pour les ménages, et de la formation. Mais l'objectif nous semble réaliste. En matière de logement, la demande passerait ainsi de 44 millions de tonnes d'équivalent pétrole en 2010 à 21 en 2050 et 32 en 2030, sans baisse du confort et de la température de chauffage. En outre, cet effort de performance énergétique se traduit par la création d'emplois non délocalisables.

Dans le second secteur, plusieurs pistes permettent d'atteindre l'objectif d'une diminution de la consommation d'énergie : premièrement, l'amélioration des véhicules thermiques ou hybrides, à tout le moins de la chaîne thermique des véhicules, d'une part et le développement du véhicule électrique, d'autre part, deux domaines dans lesquels les progrès des constructeurs français sont encourageants. Dans notre vision, la part du véhicule électrique reste limitée : elle ne représente que 4 % du parc en 2030 pour devenir plus importante en 2050.

D'une manière générale, notre scénario n'est bâti sur aucune rupture technologique, quel que soit le secteur. Il ne tient pas compte des technologies dont la commercialisation n'est pas proche : nous n'avons ainsi pas envisagé, bien que nous soutenions les recherches dans ce domaine, le captage et le stockage du CO<sub>2</sub> ou encore l'utilisation de l'hydrogène.

Pour en revenir au secteur des transports, nous parions également sur le déploiement des nouveaux services de mobilité. Alors qu'ils n'étaient pas pris au sérieux il y a quelques années, nous constatons que ces services – le covoiturage, l'autopartage – rencontrent un succès certain auprès des consommateurs pour des raisons pratiques et de coût. La France est très en avance dans ce domaine, avec des entreprises comme Bolloré ou BlaBlaCar, première société de covoiturage à l'échelle européenne. Nous avons donc imaginé que ces services représenteraient en 2050 une part significative. Les véhicules adaptés à l'usage urbain permettent de réduire considérablement les consommations : une voiture en libre-service consomme 7 kilowattheures aux cent kilomètres contre 30 pour une berline électrifiée.

En revanche, nous n'attendons pas de gains très importants dans le secteur industriel. Nous avons identifié des gisements d'économies d'énergie grâce à l'optimisation des

procédés industriels mais nous ne prévoyons pas de réduction de la part des industries grosses consommatrices d'énergie ou des industries manufacturières dans la valeur ajoutée.

Je précise que cet exercice est fondé sur l'hypothèse d'un taux de croissance de 1,7 % par an, retenue par le commissariat général à la stratégie et à la prospective. Ce choix nous permet de démontrer qu'il est possible d'atteindre l'objectif du « facteur 4 » sans recourir à la décroissance.

Pour l'agriculture, nous avons supposé que les pratiques agricoles permettaient de réduire les émissions des autres gaz à effet de serre sans pour autant atteindre le « facteur 4 ».

J'ai omis de dire que la consommation d'électricité finale passe de 37,7 millions de tonnes d'équivalent pétrole en 2010 à 32,4 en 2030, soit une réduction de 14 % quand la consommation globale d'énergie diminue de 18,5 %. L'électricité voit donc sa part relative augmenter, notamment dans le secteur des transports et du tertiaire.

Nous avons évalué le concours des énergies renouvelables à la production d'électricité décarbonée. En 2030, le mix électrique est composé de la manière suivante : l'éolien représente 7,2 millions de tonnes d'équivalent pétrole, dont 34 gigawatts d'éolien terrestre et 12 d'éolien offshore ; le photovoltaïque, 33 gigawatts dont 8 à 10 pour l'exploitation décentralisée – sur le toit de petits bâtiments – et 23 à 25 pour l'exploitation centralisée – une partie sur les toits de surfaces commerciales et une partie limitée de centrales au sol, 12 gigawatts ; l'hydraulique produit 38 térawattheures au fil de l'eau, grâce à une amélioration des performances des sites existants, et 7 gigawatts pour le stockage, contre 5,4 actuellement, sans envisager un stockage massif supplémentaire ; la contribution des énergies marines et de la biomasse est très faible – nous pensons que la production d'électricité n'est pas la meilleure utilisation de la biomasse. Enfin, 1,7 million de tonnes d'équivalent pétrole de gaz complète ce mix.

Quant à la part du nucléaire, nous avons retenu le chiffre de 50 %, conformément à l'objectif affiché pour 2025, sans nous prononcer sur le devenir du parc, prolongation ou renouvellement.

Notre analyse des besoins en matière de flexibilité nous conduit à envisager une part de 30 % d'électricité renouvelable variable dans le mix électrique en 2030, limite au-delà de laquelle un stockage plus important est nécessaire.

S'agissant des moyens flexibles, nous prévoyons en 2030, 7 gigawatts de stations de pompage et 3 gigawatts de capacité d'effacement, ce qui correspond aux projections de Réseau de transport d'électricité (RTE) pour 2016. Le développement des réseaux électriques intelligents pourrait néanmoins permettre d'aller plus loin en matière d'effacement. Enfin, nous avons évalué les interconnexions à 21 gigawatts, conformément à l'hypothèse de RTE. Nous n'avons donc pas subordonné la part d'électricité variable à des importations au-delà de cette prévision.

Pour 2050, nous avons évalué le niveau de la demande mais nous n'avons pas précisé le mix électrique. Nous avons essayé de déterminer la contribution des énergies renouvelables à l'ensemble du mix énergétique. S'agissant des biocarburants, nous sommes très mesurés compte tenu des surfaces disponibles entre 2030 et 2050. Nous avons estimé la part exploitable en 2050 des gisements éolien et photovoltaïque, les deux énergies renouvelables

qui pourraient jouer le rôle le plus important à cet horizon, mais nous n'avons pas fixé la part du nucléaire.

Au-delà de cet exercice technico-économique, nous avons réalisé une analyse macroéconomique pour évaluer l'impact sur les grands agrégats des scénarios. Nous avons travaillé avec l'Observatoire français des conjonctures économiques (OFCE) et un laboratoire de Sciences-Po qui a développé un modèle d'équilibre général, appelé ThreeME. À la différence des visions que je viens de présenter, nous nous appuyons là sur un scénario de référence, en l'occurrence celui élaboré par la direction générale de l'énergie et du climat qui prévoit une stabilité des parts des différentes énergies dans le mix et une relative croissance de la consommation. Nous émettons trois hypothèses sur le mix de 2050 : dans la première, la part du nucléaire demeure à 50 % ; dans la deuxième, en maximisant la contribution des énergies renouvelables pour atteindre une part de 70 %, le nucléaire représentant 18 % ; dans la troisième, la part du nucléaire s'établit à 25 %.

L'évaluation macroéconomique montre, par rapport au scénario de référence, une croissance du PIB légèrement supérieure, à l'horizon 2030, de l'ordre de 1,7, soit une année de croissance supplémentaire, et à l'horizon 2050, de 2,5. On est loin de la décroissance...

En outre, des emplois supplémentaires sont créés, environ 300 000 en 2030 et entre 650 000 et 850 000 en 2050, qui proviennent du secteur du bâtiment et de la production d'énergies renouvelables.

Enfin, le budget des ménages croît de manière importante puisqu'il est multiplié par 1,5 d'ici à 2050. Malgré la facture énergétique et la dette contractée pour financer la rénovation du logement, le revenu disponible progresse.

Le commerce extérieur est moins performant en début de période mais dès que les industries françaises sont installées sur les marchés de la transition énergétique, le solde redevient largement positif par rapport au scénario de référence.

**M. le président François Brottes.** Avez-vous réfléchi aux moyens de financer les scénarios ? La question de savoir qui paie reste posée et nous préoccupe.

Le gaz de schiste n'existe pas en France à ce jour. Mais doit-il pour autant être exclu des scénarios sur l'évolution du mix électrique ?

Votre réflexion considère-t-elle la France comme un pays aux frontières étanches ou prend-elle en compte les importations ?

**M. François Moisan.** L'évaluation macroéconomique tient compte des financements nécessaires pour parvenir à la transition énergétique. En revanche, nous n'avons pas détaillé les mécanismes qui devront être mis en place pour déclencher les investissements. Cela ne relève pas de la compétence de l'ADEME. Nous savons que la rénovation représente un coût de 20 000 à 30 000 euros par maison, qui est très important pour les ménages non solvables, alors que les dispositifs actuels s'adressent à des ménages avec un certain niveau de revenu. L'ADEME essaie de contribuer à la réussite du plan de rénovation des logements et travaille avec d'autres acteurs sur les mécanismes de financement et d'incitation.

Quant aux gaz de schiste, notre scénario ne s'intéresse pas à la provenance du gaz. Le réseau de gaz se décarbonise à l'horizon 2030 et beaucoup plus à l'horizon 2050 : à cette échéance, 47 % du gaz est d'origine renouvelable, notamment du biogaz ou de la méthanation

– nous ne sommes pas les seuls à parier sur une forte pénétration du biogaz puisque les projections de GDRF retiennent également cette option. En revanche, nous n’avons pas différencié gaz naturel ou gaz de schiste. L’exercice consiste pour nous à décarboniser le mix énergétique par la réduction de la demande et le recours à des énergies moins carbonées. Or, nous ne disposons pas à ce jour de bilan carbone de l’exploitation des gaz de schiste en comparaison du gaz naturel.

Notre scénario reprend, pour l’importation ou l’exportation d’énergie électrique variable, les capacités d’interconnexions sur lesquelles s’appuie RTE. Il est souhaitable d’augmenter ces capacités afin de valoriser l’ensemble des productions au niveau européen. Mais nous n’avons pas émis d’hypothèses dépassant ces capacités, qui ne sont pas nécessairement liées à des frontières politiques mais plutôt à des frontières géographiques et physiques de capacité du réseau. En 2030, il n’y a pas de contrainte sur le volume de production d’électricité variable. Nous collaborons avec notre homologue allemand, DENA (Deutsche Energie-Agentur), pour étudier ce sujet de l’échange de production électrique variable.

**M. Jacques Bittoun, président de l’ANCRE.** Je suis accompagné de Mme Natahalie Alazard, géologue et économiste, qui a été co-responsable de la rédaction des scénarios.

En préambule, je souhaite rappeler que l’ANCRE est une alliance, dépourvue d’administration et de crédits, à la différence d’une agence. L’Alliance rassemble des partenaires liés par une convention afin d’évoquer ensemble un sujet qui constitue leur mission commune, en l’occurrence, la recherche sur l’énergie. Quatre partenaires sont membres fondateurs : le Commissariat à l’énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) et l’Institut français du pétrole Energies nouvelles, qui tous deux s’intéressent exclusivement à l’énergie, mais aussi le CNRS qui mène des recherches généralistes et la Conférence des présidents d’université. Font également partie de l’ANCRE quinze organismes travaillant, parmi d’autres thèmes, sur celui de l’énergie : l’Institut français des sciences et technologies des transports, de l’aménagement et des réseaux (IFSTTAR), le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB), le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM), l’Institut national de la recherche agronomique (INRA), etc.

L’ANCRE réunit donc 19 organismes de recherche publics représentant près de 400 experts afin de définir une stratégie nationale de recherche et de participer au débat national sur la transition énergétique.

Sur le plan méthodologique, face à la multitude de paramètres existants, les scénarios mesurent la variation de certains paramètres au regard de paramètres pré-définis. Nous avons bâti des scénarios contrastés qui s’appuient sur des trajectoires ambitieuses. Les hypothèses sur lesquelles ils reposent sont de nature scientifique et technologique mais aussi économique, industrielle, sociétale, environnementale ainsi que du domaine de la recherche et développement (R&D).

Les postulats correspondent à la feuille de route fixée par le débat national sur la transition énergétique : une division par quatre à l’horizon 2050 des émissions de gaz à effet de serre, une part de la production d’électricité nucléaire limitée à 50 % conformément à l’objectif affiché par le Président de la République, un recours accru aux énergies renouvelables, une sobriété et une efficacité énergétique plus grandes.

Trois scénarios ont été établis : le premier insiste sur la sobriété énergétique, en mettant en avant l'efficacité énergétique et les changements comportementaux ; le deuxième mise sur un usage accru de l'électricité pour réduire les émissions de gaz ; le troisième parie sur un développement cohérent de vecteurs diversifiés, associant la biomasse, la valorisation et l'utilisation de la chaleur fatale – la chaleur perdue dans les centrales.

Contrairement aux scénarios de l'ADEME, nous prenons pour hypothèse des ruptures technologiques. Nos scénarios nécessitent la levée de plusieurs verrous technologiques ou comportementaux qui ont fait l'objet d'un rapport distinct.

Le scénario sur les vecteurs diversifiés a été retenu par le groupe de travail des experts du débat national sur la transition énergétique pour illustrer l'une des quatre trajectoires qu'il a retenues.

À ces trois scénarios s'ajoute une variante, prenant en compte l'insuffisance des énergies renouvelables en raison de leur caractère intermittent, dans laquelle une partie du nucléaire est remplacée par du gaz. Afin d'éviter la remontée des gaz à effet de serre que cette solution provoque, nous proposons une autre variante dans laquelle la contrainte sur le nucléaire est relâchée.

L'étude de l'ANCRE a été publiée en janvier et fera l'objet d'un séminaire le 29 avril. Elle est complétée par une première évaluation multicritères selon une grille d'analyse prédéfinie. Elle doit évidemment être mise à jour en permanence et approfondie.

En conclusion, je souhaite souligner les caractéristiques communes aux différents scénarios : les hypothèses sur lesquelles l'étude est fondée sont précisément explicitées, ce qui n'est pas toujours le cas ; la coopération des experts au sein de l'ANCRE permet de couvrir un champ de compétences bien plus large que ce qu'aucune organisation pourrait à elle seule réaliser ; le respect des objectifs impose un déploiement massif des meilleures technologies dont certaines exigent une rupture, ce que des organismes de recherche ne peuvent que souhaiter. Les modèles économiques donnent de premières évaluations mais ils présentent encore beaucoup d'incertitudes, limitant d'autant la possibilité de s'y référer pour arrêter une planification au titre de la transition énergétique – dont l'objectif principal est la réduction de l'impact climatique et environnemental dans des conditions économiques viables et en limitant notre dépendance aux importations.

**M. le président François Brottes.** Contrairement à l'ADEME, vous n'avez guère prononcé les mots d'économies d'énergie.

**M. Jacques Bittoun.** Le scénario qui insiste sur la sobriété énergétique répond pleinement à cette préoccupation.

**Mme Nathalie Alazard, membre du groupe programmatique prospective énergétique de l'ANCRE.** Comme Jacques Bittoun l'a dit, nous avons travaillé sur des scénarios très contrastés. Notre objectif n'était pas de trouver le scénario optimal.

Les experts se sont d'abord intéressés à la demande en faisant appel aux groupes programmatiques de l'ANCRE qui travaillent sur les technologies liées à la demande par secteur – bâtiment, transport, industrie. Ils ont analysé les évolutions de ces secteurs sur la base d'hypothèses moyennes de croissance économique et démographique communes.

Comme l'ADEME, nous avons retenu le chiffre de 1,7 % pour la croissance du PIB – très discutable, j'en conviens – et de 73 millions d'habitants à l'horizon 2050.

Ensuite, les experts ont évalué les gains possibles grâce à des efforts de sobriété et d'efficacité énergétique, soutenus par les performances des technologies. Ils se sont interrogés sur ce qu'on pouvait attendre du progrès technique selon le degré de maturité des différentes technologies.

Puis, le travail s'est porté sur l'offre d'énergie nécessaire pour répondre à la demande en favorisant au maximum les énergies renouvelables et en recherchant des gains de performance pour ces dernières.

À l'issue de ces études, le groupe de travail qui coordonnait l'ensemble des scénarios a évalué si les objectifs fixés – « facteur 4 » et 50 % de nucléaire – pouvaient être atteints et, selon les résultats, revoyaient les hypothèses avec les différents groupes programmatiques afin d'être au plus près de l'objectif.

Malgré le caractère très volontariste des scénarios en termes de changements techniques et de modification des comportements, nous avons néanmoins veillé à vérifier leur cohérence et leur réalisme, quant au rythme notamment. Le constat est néanmoins celui d'une accélération des rythmes dans tous les domaines.

Le premier scénario – sobriété renforcée – repose sur une décarbonisation du mix électrique qui passe par une efficacité énergétique poussée, une sobriété énergétique renforcée, donc une modification des comportements de consommation d'énergie et un développement des énergies renouvelables.

Illustration de ce scénario, dans le secteur résidentiel tertiaire, un effort très important de rénovation du parc est accompli : le rythme est multiplié par quatre par rapport au rythme actuel et les rénovations sont profondes de manière à dégager un gain de 70 % d'énergie.

**M. le président François Brottes.** Avez-vous trouvé les moyens pour les financer ?

**Mme Nathalie Alazard.** Le mécanisme de financement est une question légitime sur laquelle nous n'avons néanmoins pas travaillé.

Dans ce même scénario, nous avons envisagé des modifications des modes de vie qui contribuent à abaisser la consommation d'énergie : dans le résidentiel, l'arrêt de l'augmentation du nombre de mètres carrés par habitant ou une part plus importante de l'habitat collectif ; dans le domaine des transports, la baisse de la mobilité individuelle d'environ 20 % au profit des déplacements doux ou d'une autre organisation de la vie quotidienne.

**M. Denis Baupin, rapporteur.** Vous ne pouvez pas parler d'une baisse de la mobilité si elle est compensée par le recours aux déplacements doux. Vous pensez plutôt à une baisse de la mobilité motorisée ?

**Mme Nathalie Alazard.** Nous envisageons une diminution à la fois de la mobilité globale et de la mobilité motorisée. Nous comptons aussi sur un développement des modes de transport alternatifs à la voiture. Le rapport à la voiture se modifie également, avec le développement de flottes servicielles et de l'autopartage. Ces différents éléments concourent à



une division par deux du nombre de véhicules. Ce scénario repose donc sur une évolution très poussée des comportements.

Le deuxième scénario – décarbonation par l'électricité – s'appuie également sur une efficacité énergétique accrue – cette donnée est incontournable pour atteindre l'objectif – mais aussi sur la diffusion du vecteur électrique dans tous les usages – mobilité, chauffage, procédés industriels. L'électricité est produite par des sources décarbonées : énergies renouvelables et nucléaire.

Illustration de ce scénario, dans le bâtiment, le rythme de rénovation est soutenu sans atteindre celui du premier scénario ; le parc rénové consomme 50 à 60 % d'énergie en moins ; on constate un effet rebond puisque, après rénovation, on se chauffe un peu plus. Dans le transport, les tendances actuelles sont maintenues sans augmentation mais tout l'effort repose sur une électrification des véhicules et plus généralement des modes de transport. En 2030, 65 % des véhicules vendus sont des véhicules électrifiés : hybrides rechargeables ou véhicules électriques.

Enfin, le troisième scénario – vecteurs diversifiés – mise sur une efficacité énergétique poussée et l'apparition de nouveaux vecteurs au sein du système énergétique grâce au développement de systèmes locaux, à une forte incorporation des bioénergies, sous forme liquide ou gazeuse, ainsi qu'à une forte valorisation des sources de chaleur basse température, notamment la chaleur des centrales.

Illustration de ce scénario, dans le bâtiment, les modalités de la rénovation sont les mêmes que dans le deuxième scénario mais les technologies alternatives à l'électricité sont privilégiées – solaire, réseau de chaleur, géothermie. Dans le transport, la baisse de la consommation de carburants fossiles est compensée par une hausse accélérée de l'efficacité énergétique des véhicules et le développement de carburants issus de la biomasse. Dans ce scénario, la part des biocarburants de première génération n'augmente pas, contrairement aux biocarburants issus de la biomasse lignocellulosique. Le développement des véhicules électriques est plus faible que dans les scénarios précédents.

Pour chacun de ces scénarios, la réalisation du « facteur 4 » nécessite l'avènement de ruptures technologiques – technologies mal identifiées ou dont l'acceptation peut poser problème. Dans le premier scénario, il faut faire appel au captage, au stockage ou à la valorisation du CO<sub>2</sub> ainsi qu'au développement de solutions d'effacement pour la gestion du réseau électrique. Dans le deuxième scénario, des stockages massifs d'électricité sont nécessaires afin de gérer la variabilité saisonnière et de tirer le meilleur parti des énergies renouvelables. Dans le troisième scénario, l'exploitation de la chaleur basse température suppose des systèmes de cogénération nucléaire.

Concernant la production d'énergie, la part du nucléaire dans la production d'électricité à l'horizon 2030 est proche de 50 % et continue à diminuer jusqu'en 2050. La consommation d'électricité dans le premier scénario reste stable et dans le second, augmente de 30 %. Mais dans tous les cas, la capacité électrique installée double.

Dans la seconde partie de l'année 2013, nous avons travaillé à l'évaluation de ces scénarios selon des critères divers. Ce travail très lourd n'est pas achevé. Nous disposons de quelques chiffres qui figurent dans le rapport, notamment sur les investissements nécessaires dans les différents secteurs.

Je terminerai en vous faisant part des principaux enseignements que l'ANCRE a tirés de cet exercice. Les scénarios envisagés nécessitent une accélération des rythmes d'innovation et de diffusion de celle-ci ainsi qu'une inflexion, voire une inversion, des tendances de l'évolution des comportements.

Cet exercice, à cet égard très utile pour les équipes R&D de l'ANCRE, a également permis de mettre en évidence les grands invariants en termes d'innovations technologiques. Il montre également que certaines technologies de rupture permettent d'atteindre plus rapidement les objectifs.

Enfin, il nous est apparu évident pour la suite de nos travaux que l'apport des sciences humaines et sociales est indispensable pour une meilleure compréhension des comportements, pour la prise en compte de ce facteur comportemental dans les travaux sur les technologies au service de la transition énergétique, pour l'identification des systèmes de gouvernance favorables à la mise en place de certaines de ces technologies ainsi que pour la conception de nouveaux modèles d'affaires.

**M. le président François Brottes.** Je suis très sensible à cette question des modèles d'affaires parce que nous sommes aujourd'hui dépourvus de modèle économique pour de nombreux chantiers nouveaux et de nouveaux opérateurs. Avez-vous un document sur ce sujet ?

**Mme Nathalie Alazard.** Non, nous avons organisé un séminaire dans le cadre d'un groupe programmatique de l'ANCRE afin d'amorcer la réflexion avec les industriels sur cette question.

**M. le président François Brottes.** Le stockage n'a pas trouvé son modèle d'affaires alors que l'urgence l'impose.

**M. le rapporteur.** Je n'ai pas découvert les différents scénarios puisqu'ils ont été présentés dans le cadre du débat national sur la transition énergétique. Ils ont le mérite de faire des projections et d'analyser les moyens d'atteindre les différents objectifs fixés, qui devraient trouver une traduction dans la loi sur la transition énergétique : la division par quatre des émissions de gaz à effet de serre – alors que le dernier rapport du GIEC dresse un constat alarmant, personne ne peut plus en nier la nécessité – et le passage à 50 % de nucléaire en 2025, auquel j'ajoute l'objectif fixé par le Président de la République lors de la conférence environnementale d'une division par deux de la consommation énergétique à l'horizon 2050. Cet objectif est atteint par le scénario de l'ADEME – 48 % – et dans une moindre mesure par le scénario sur la sobriété de l'ANCRE – 41 %.

La comparaison entre vos études est rendue difficile par le fait que les horizons sont différents, l'ADEME privilégiant 2030 et l'ANCRE 2050, ce qui n'est pas sans conséquence au regard des évolutions technologiques. On peut en effet se permettre à l'horizon 2050 des ruptures technologiques beaucoup plus importantes.

Pouvez-vous confirmer que le choix d'une hypothèse de croissance du PIB de 1,7 % rend plus difficile la réalisation des objectifs ? En d'autres termes, une croissance plus faible faciliterait celle-ci ? Une croissance économique plus faible rend d'autant plus nécessaire le développement d'activités économiques créatrices d'emplois. Or l'ADEME a démontré les effets positifs de la transition énergétique en termes d'emplois tandis que l'ANCRE ne se

prononce pas clairement, faute de temps semble-t-il. Cela renforce la nécessité de s'engager dans la transition énergétique.

**M. le président François Brottes.** Sous réserve de trouver les financements évidemment...

**M. le rapporteur.** Cette question clé n'est pas en effet traitée dans les études. Celles-ci ne se prononcent pas sur les modalités de réalisation de leurs scénarios.

**M. le président François Brottes.** ...qui sont pourtant le problème du législateur !

**M. le rapporteur.** Cela ne m'a pas échappé. J'essaie néanmoins de ne pas interroger nos interlocuteurs sur des sujets sur lesquels ils n'ont pas travaillé.

S'agissant des 650 000 logements rénovés par an, je suppose que ce chiffre est une moyenne jusqu'à l'échéance. On peut en effet espérer un effet d'apprentissage et de montée en charge pour atteindre cet objectif. Malgré tout, est-il réaliste ?

Grâce aux 70 milliards d'euros par an que nous dépensons pour importer des énergies fossiles, le Qatar rachète par petits morceaux la France et la Russie achète l'Ukraine. Je considère que ce constat nous impose de revoir notre modèle économique afin de le rendre plus incitatif pour économiser de l'énergie, créer des emplois et conserver l'argent en France. Cela ne dit pas pour autant, j'en conviens, comment procéder.

L'épargne des Français comme les flux financiers représentent des montants très largement supérieurs aux besoins de financement de la transition énergétique. La question est de savoir comment rendre suffisamment attractif les placements afin de flécher l'argent dans cette direction.

Les propos sur l'évolution des comportements ne doivent pas laisser penser que l'on va restreindre la capacité des personnes à se déplacer. C'est la raison pour laquelle je vous ai interrompu au sujet de la mobilité motorisée. Ce n'est pas parce qu'il y a moins de véhicules que l'on se déplace moins dès lors qu'on est plus nombreux par véhicule.

Or, le rapport que j'ai présenté récemment pour l'office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques sur le véhicule écologique, montre que l'évolution comportementale que traduit l'utilisation des véhicules partagés est très significative, notamment dans les jeunes générations. Si cette évolution se confirme, elle peut modifier durablement le rapport au véhicule automobile sans qu'il soit le résultat d'une décision imposée d'en haut.

**M. Jacques Bittoun.** Vous dites que l'ANCRE n'a pas tenu compte des créations d'emplois. Il me semble que nous sommes parmi les mieux placés pour apporter des perspectives dans ce domaine : les innovations et les nouvelles technologies qui sont le cœur des recherches menées par les partenaires de l'ANCRE seront à l'origine des nouveaux emplois.

**M. le rapporteur.** Mon intention n'était pas d'être insultant à l'égard de l'ANCRE. Il est écrit dans votre rapport que vous n'avez pas eu le temps de soumettre ces scénarios à des modèles macro-économiques permettant de les évaluer. Or, d'autres scénarios ont été passés au crible de ces modèles, sur la pertinence desquels on peut par ailleurs s'interroger compte tenu des horizons auxquels ils s'appliquent.

**Mme Nathalie Alazard.** Les effets en matière d'emplois directs et indirects par secteur ont été mesurés. Mais l'évaluation macro-économique – l'effet d'une énergie plus chère sur le reste de l'activité économique par exemple – n'a pas été faite.

**M. François Moisan.** Je précise que nos scénarios, pour 2030 comme 2050, ne prennent pas en compte les ruptures technologiques. Cela ne signifie pas que nous ne croyons pas à l'avènement de ruptures technologiques – l'ADEME soutient fortement l'innovation à travers les investissements d'avenir pour lesquels elle a déjà engagé plus de un milliard d'euros auprès d'entreprises françaises. Mais nous nous situons dans un exercice de prospective et non de prévision. Nous avons voulu montrer comment atteindre le « facteur 4 » avec le minimum d'incertitudes.

Ainsi, nous n'avons pas imaginé que les biocarburants de seconde génération, que nous soutenons, permettront à ce stade de développer un potentiel de carburants liquides plus important que les 3 millions de tonnes prévues pour 2030 parce que les surfaces ne seront pas nécessairement disponibles. Il en va de même pour le captage et le stockage de CO<sub>2</sub> : des expérimentations sont en cours mais leur mise en œuvre nous semble difficile. En revanche, si ces innovations devaient percer, elles permettront d'accroître la marge de manœuvre.

Le problème du financement se pose principalement pour le résidentiel et les ménages. Les ménages investissent 30 milliards d'euros par an pour des travaux dans leur logement mais ces derniers ne sont pas orientés vers l'efficacité énergétique. Des outils et des incitations seraient nécessaires pour affecter ces sommes à l'efficacité énergétique. C'est un enjeu essentiel. En 2030, tous les logements n'auront pas été réhabilités au rythme actuel. Il faut prendre en considération l'ensemble de la période pour y parvenir.

S'agissant des transports, les gains attendus grâce aux nouveaux services de mobilité concernent principalement la période 2030-2050.

Quant aux modèles d'affaires des nouvelles activités, monsieur le président, vous avez évoqué le stockage. Mais dans les réseaux électriques intelligents, plusieurs modèles d'affaires sont possibles. Les démonstrateurs cherchent à identifier le modèle qui produira de la valeur ajoutée. Cela est vrai également pour l'agrégation des effacements. La France est dans ce domaine, avec 14 démonstrateurs, très en avance. Sur la mobilité, les modèles se cherchent encore. L'identification des modèles donnera de la flexibilité supplémentaire.

Dernier point sur les comportements, une récente conférence posait la question de savoir s'il est plus difficile de modifier les technologies ou les comportements. L'exemple de la mobilité servicielle montre que les deux se conjuguent : à Paris, on n'a pas modifié les comportements de manière volontariste mais l'offre technique a rencontré la demande des usagers car elle était plus pratique et moins coûteuse. Je suis donc mal à l'aise avec l'idée de modifier les comportements.

**M. le président François Brottes.** Avez-vous l'intention d'actualiser vos réflexions ? Les modèles d'affaires sont, il est vrai, liés aussi aux décisions de la puissance publique. Le déploiement d'un réseau de bornes de recharge électrique peut changer l'attitude du consommateur à l'égard du véhicule électrique et ainsi aboutir à une évolution plus significative que celle que vous prévoyez. Cela doit nous amener à revisiter souvent les modèles.

**M. François Moisan.** Nous avons plusieurs exercices en cours : en premier lieu, un bilan par grandes thématiques technologiques des expérimentations menées dans le cadre des investissements d'avenir. J'espère qu'ils contribueront davantage à conforter qu'à revoir nos hypothèses ; en deuxième lieu, un projet qui décrit la vie des Français en 2050 au travers de huit familles afin de s'assurer que nos scénarios ne sont pas source de contraintes pour les modes de vie ; en dernier lieu, une réflexion sur la consommation puisqu'une partie des émissions de gaz à effet de serre est le fait des produits que nous consommons et qui sont pour partie importés. Actuellement, la moitié de l'énergie que nous consommons est de l'énergie directe ; en 2050, celle-ci ne représenterait plus que 20 %, le reste serait consommé par le biais des produits.

**Mme Frédérique Massat.** Je souhaite revenir sur l'énergie hydraulique qui représente aujourd'hui près de 13 % de l'énergie. D'après ce que je comprends, non sans inquiétude, vos projections font état d'une production de 38 térawattheures au fil de l'eau, alors qu'elle est aujourd'hui de 68 térawattheures et de 7 gigawatts grâce à la modernisation des stations de transfert d'énergie par pompage (STEP). Vous ne prévoyez donc pas d'augmentation de la production par des ressources nouvelles – par la création de barrages – alors que cette énergie est aujourd'hui la seule énergie stockable. Enfin, avez-vous pris en compte dans votre réflexion l'évolution des réseaux de transport et de distribution qui sont des paramètres majeurs des évolutions énergétiques à venir ?

**M. François Moisan.** Rassurez-vous, nous avons distingué dans le mix électrique de 2030, pour l'hydraulique, le fil de l'eau et la flexibilité. Les 70 térawattheures sont répartis entre ces deux catégories. Nous supposons une amélioration de la performance des barrages et des stations de pompage. En revanche, nous ne prévoyons pas de nouveaux barrages. Nous ne diminuons pas la production d'énergie hydraulique mais nous la décomposons. Cela permet d'évaluer la flexibilité qui pourrait être apportée au mix électrique par les énergies variables comme l'éolien et le photovoltaïque. Nous envisageons la création d'une ou deux STEP.

**M. le président François Brottes.** Une ou deux ? Où les installe-t-on ?

**M. François Moisan.** Je dois vérifier les chiffres. Mais nous misons d'abord sur l'amélioration des STEP actuelles. La question de l'emplacement des STEP se pose.

**M. Jacques Bittoun.** Les deux précédents présidents de l'ANCRE ont mis en place dix groupes programmatiques parmi lesquels cinq portent sur les sources d'énergie, trois sur l'efficacité et deux sont transversaux, le premier sur les réseaux électriques et le second sur les aspects économiques et de prospective. C'est ce dernier qui a conduit la coordination sur les scénarios et qui poursuit ses travaux.

**M. le président François Brottes.** Je vous remercie. Sachez que le Parlement est très demandeur de vos réflexions sur les modèles d'affaires. J'ai le sentiment que nous avons mis beaucoup d'intelligence et de compétences à réfléchir à différents scénarios mais nous manquons cruellement, à quelques semaines du débat parlementaire sur la transition énergétique, de propositions sur les modèles économiques. Tirer des plans sur la comète à cinquante ans ne nous renseigne pas sur la manière d'amorcer les choses au premier jour. Si vous pouvez aider la réflexion sur ce point qui est crucial pour nous et pour la France...

*L'audition s'achève à quinze heures quarante.*

**Membres présents ou excusés**

**Commission d'enquête relative aux coûts passés, présents et futurs de la filière nucléaire, à la durée d'exploitation des réacteurs et à divers aspects économiques et financiers de la production et de la commercialisation de l'électricité nucléaire**

Réunion du jeudi 17 avril 2014 à 14 heures

*Présents.* - M. Denis Baupin, M. François Brottes, Mme Geneviève Gosselin-Fleury, Mme Frédérique Massat, M. Michel Sordi

*Excusés.* - M. Damien Abad, Mme Sylvie Pichot, M. Franck Reynier

**DOCUMENTS MIS À LA  
DISPOSITION DE LA COMMISSION**

# **La transition énergétique en France : scénarios et visions de l'ADEME**

**François MOISAN**  
**Directeur exécutif Stratégie, Recherche, International**  
**Directeur Scientifique**  
**ADEME**  
**France**

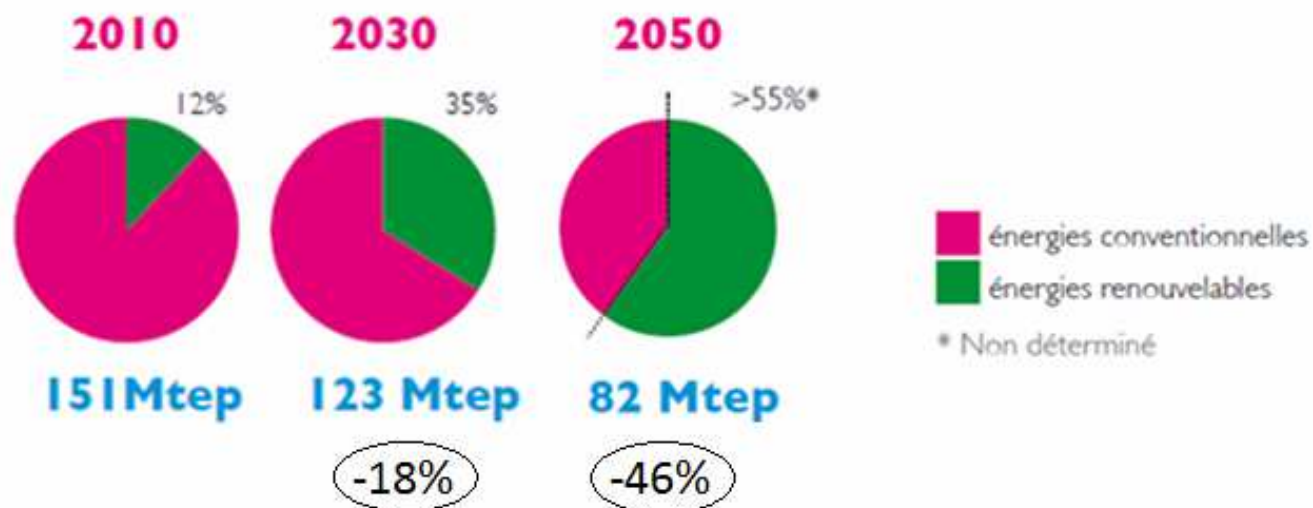
**Audition Assemblée Nationale, jeudi 17 avril 2014**



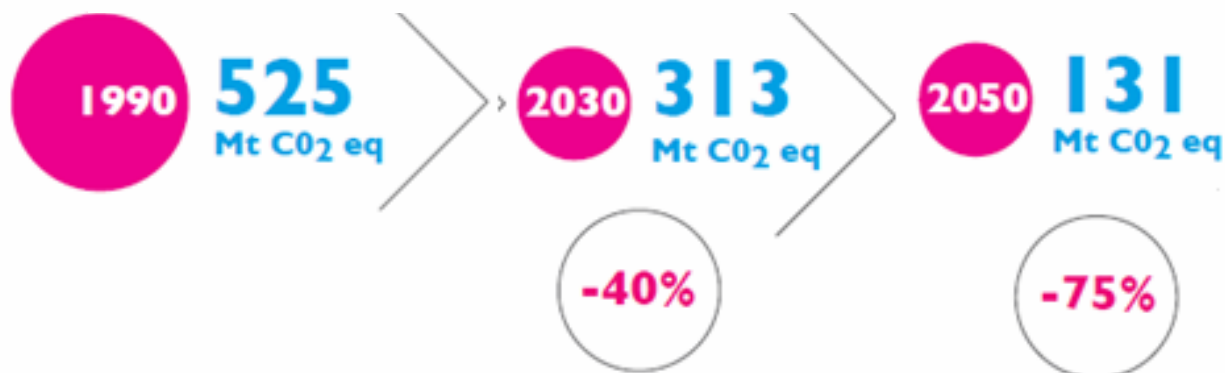
## Les scénarios 2030-2050 de l'ADEME :

- une réduction de 50% de la demande d'énergie à l'horizon 2050
- une part croissante et maîtrisée des énergies renouvelables (35% en 2030, > 55% en 2050)

### Bilan en énergie

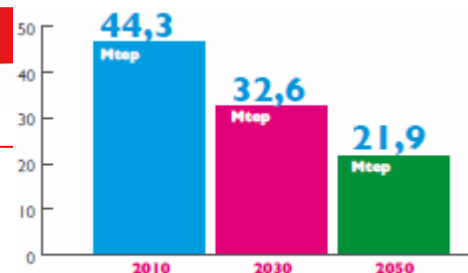


### Bilan en GES



# Des bâtiments à énergie positive ou basse consommation

Neufs (énergie positive à partir de 2020)...



BILAN ENERGETIQUE DANS LE RESIDENTIEL EN 2010, 2030 ET 2050 EN MTEP FINALES

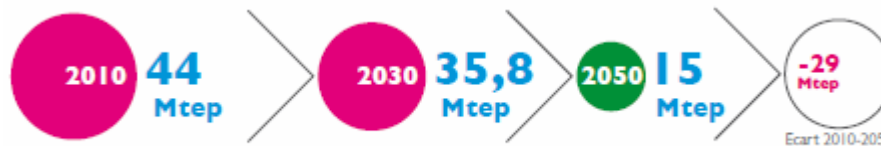
**Sans baisse des températures, ni des quantités d'eau chaude sanitaire**



Mais surtout rénovés  
 500 000/an d'ici 2030  
 Tout le parc en 2050  
 (27 millions logements) ...

mieux isolés, avec des équipements de chauffage plus performants (PAC, microcogénérations...) et un meilleur pilotage

# Une voiture partagée qui en remplace 3...

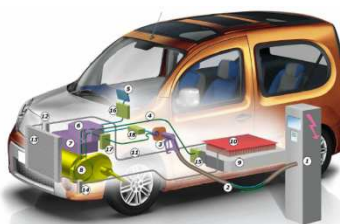


BILAN DU SECTEUR DES TRANSPORTS EN 2010, 2030 ET 2050 EN MTEP FINALES



Hybrid Air :  
full hybride essence  
sans batterie

Véhicules électriques (4% du  
parc en 2030, 28% en 2050)  
(ou au biogaz)...



De nouveaux services de mobilité

## Emissions des véhicules neufs

- 2010 : 130gCO<sub>2</sub>/km
- 2030 : 49 gCO<sub>2</sub>/km
- 2050 : ~25gCO<sub>2</sub>/km



## En 2050, en ville

- 30% véhicules partagés
- 20% véhicules individuels
- 25% transports collectifs
- 15% vélo
- 10% deux roues motorisés



# Une production d'énergie...

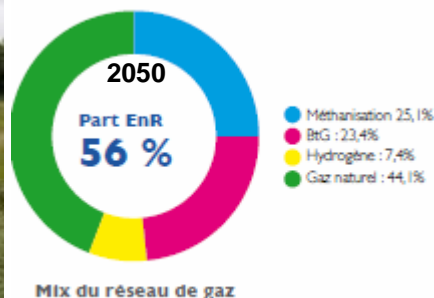


**Méthanisation : 500 à 600 méthaniseurs par an**

**Potentiel éolien : 40GW à terre + 30GW en mer**



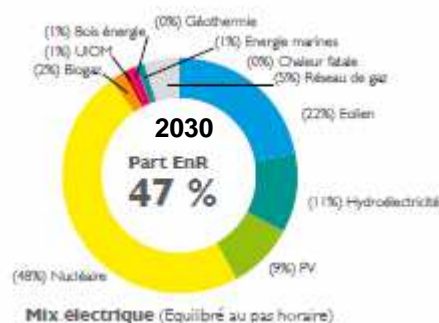
Plus locale...



**Ressource forestière : prélèvement de 75% de l'accroissement**

... et plus respectueuse de l'environnement

**Potentiel Solaire – PV : 60GW**



## Bilan énergie finale 2010 par vecteur

2010 Mtep	R&T	Transports	Industrie	TOTAL
Électricité	25,2	1,1	10,3	37,7
Gaz naturel	20,1		11,3	31,5
Réseaux de chaleur	2,8		0,4	3,2
Produits pétroliers	10	40,5	7,1	60,4
Charbon	0,3		5,1	5,5
Bois énergie	7		1,7	8,8
Biocarburants		2,4		2,4
Autres (ENR)	1		0,5	1,5
<b>TOTAL</b>	<b>66,5</b>	<b>44</b>	<b>36,5</b>	<b>151</b>

## Bilan énergie finale 2030 par vecteur

2030 Mtep	R&T	Transports	Industrie	TOTAL	% 2010
Électricité	20,8	1,8	9	32,4	- 14%
Gaz naturel	11,6		8,9	21,5	- 32%
Réseaux chaleur	6,1		0,3	6,3	+49%
Prod pétroliers	1,4	31	5,7	39,2	-35%
Charbon	0,1		5	5,1	-7%
Bois énergie	7,6		2,6	10,1	+15%
Biocarburants		3		3	+25%
Autres (ENR)	3,7		1,7	5,3	+ 253%
<b>TOTAL</b>	<b>51,2</b>	<b>35,8</b>	<b>33,2</b>	<b>123</b>	<b>-18,5%</b>

## Mix électrique en 2030 et flexibilité (énergies finales)

- Éolien : 7,2 Mtep : 34 GW terrestre (5,6 Mtep) + 12 GW en mer (3,2 Mtep)
- PV : 2,9 Mtep (33 GW)
  - 8 à 10 GW décentralisé (20% du gisement disponible)
  - 23 à 25 GW centralisé (potentiel estimé à 115 GW dont 12 centrales au sol)
- Hydraulique : 38 TWh fil de l'eau : 3,4 Mtep + flexible (cf ci-dessous)
- Énergies marines : 0,4 Mtep (1,5 GW)
- Biomasse (bois, méthanisation, déchets) : 1,2 Mtep
- Nucléaire : 15,6 Mtep
- Réseau de gaz : 1,7 Mtep
- Moyens flexibles :
  - Stockage : 7 GW de STEP (5,4 en 2011)
  - Effacement : 3 GW (hypothèse RTE pour 2016)
  - Interconnexions : 21 GW (RTE)

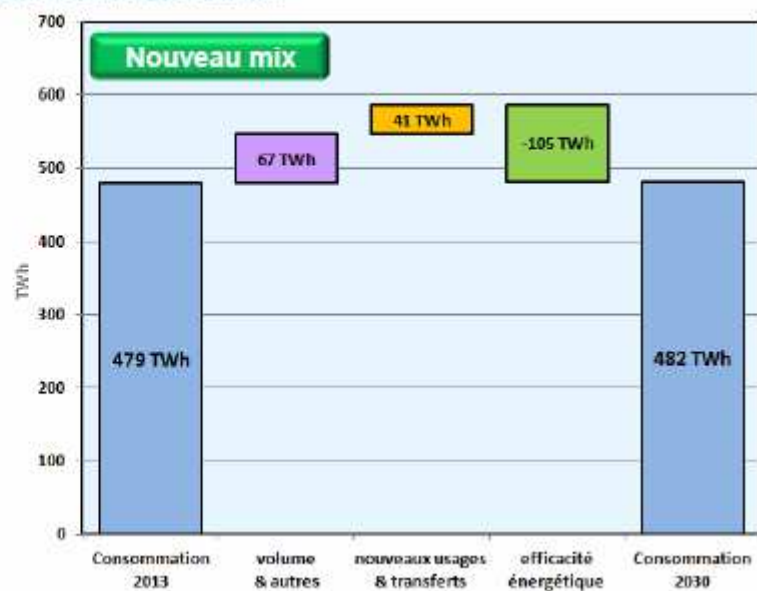
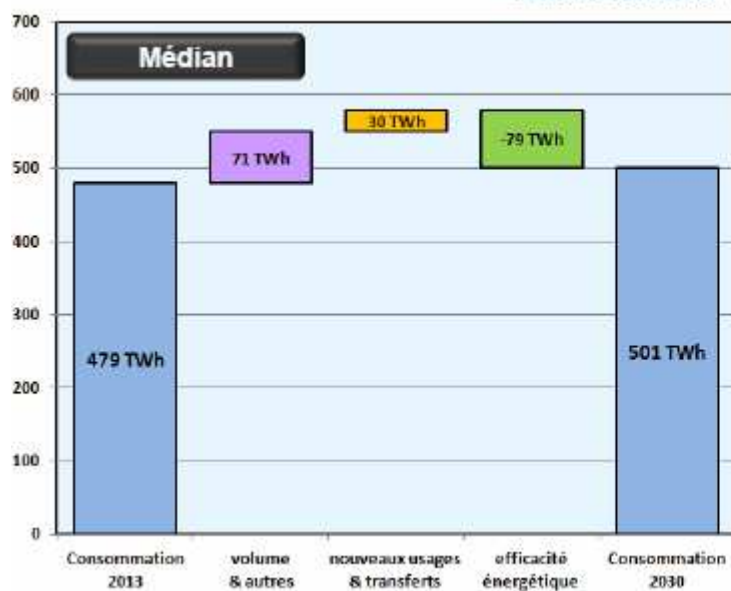
## Puissance et bilan électrique 2030

Consommation 2030 - TWh (incluant pompage et stockage)		416		
	Puissance installée GW	Energie annuelle TWh	% énergie	Nbre heures plein puissance
<b>Production 2030</b>				
<b>Energies renouvelables</b>				
<b>Variables</b>				
Eolien terrestre	34,0	59	13,7%	1 739
Eolien en mer	12,0	38	8,7%	3 136
PV	33,0	39	8,9%	1 169
<b>--&gt; total EnR Variables</b>	<b>79,0</b>	<b>135</b>	<b>31,4%</b>	<b>2 015</b>
<b>Non variables</b>				
hydro fil de l'eau	8,4	38	8,8%	4 514
EnR thermique décentralisée	2,2	17	4,0%	7 862
Energies marines	1,5	4,9	1,1%	3 384
<b>--&gt; total EnR non variables</b>	<b>12,1</b>	<b>60</b>	<b>14,0%</b>	<b>5 253</b>
<b>Flexibles</b>				
STEP	7,0	3,0	0,7%	432
Hydro flexible, hors STEP	15,4	4,7	1,1%	303
<b>--&gt; Total EnR flexibles</b>	<b>22,4</b>	<b>8</b>	<b>1,8%</b>	<b>368</b>
<b>--&gt; total EnR</b>	<b>113,5</b>	<b>203</b>	<b>47,2%</b>	
<b>Energies non renouvelables</b>				
Nucléaire	32,0	203	47,0%	6 333
CCG	6,9	23	5,4%	3 358
TAC	5,0	1,1	0,26%	226
<b>--&gt; total énergies non renouvelables</b>	<b>43,9</b>	<b>227</b>	<b>52,7%</b>	



Le scénario « nouveau mix » de RTE retient une quasi-stabilisation de la consommation d'électricité en France à 2030 : l'efficacité énergétique compense les nouveaux usages (mobilité)

*Décomposition de la croissance de la consommation intérieure France continentale dans les scénarios « Médian » et « Nouveau mix »*



# Estimation des effets macroéconomiques de la vision ADEME

ADEME/OFCE

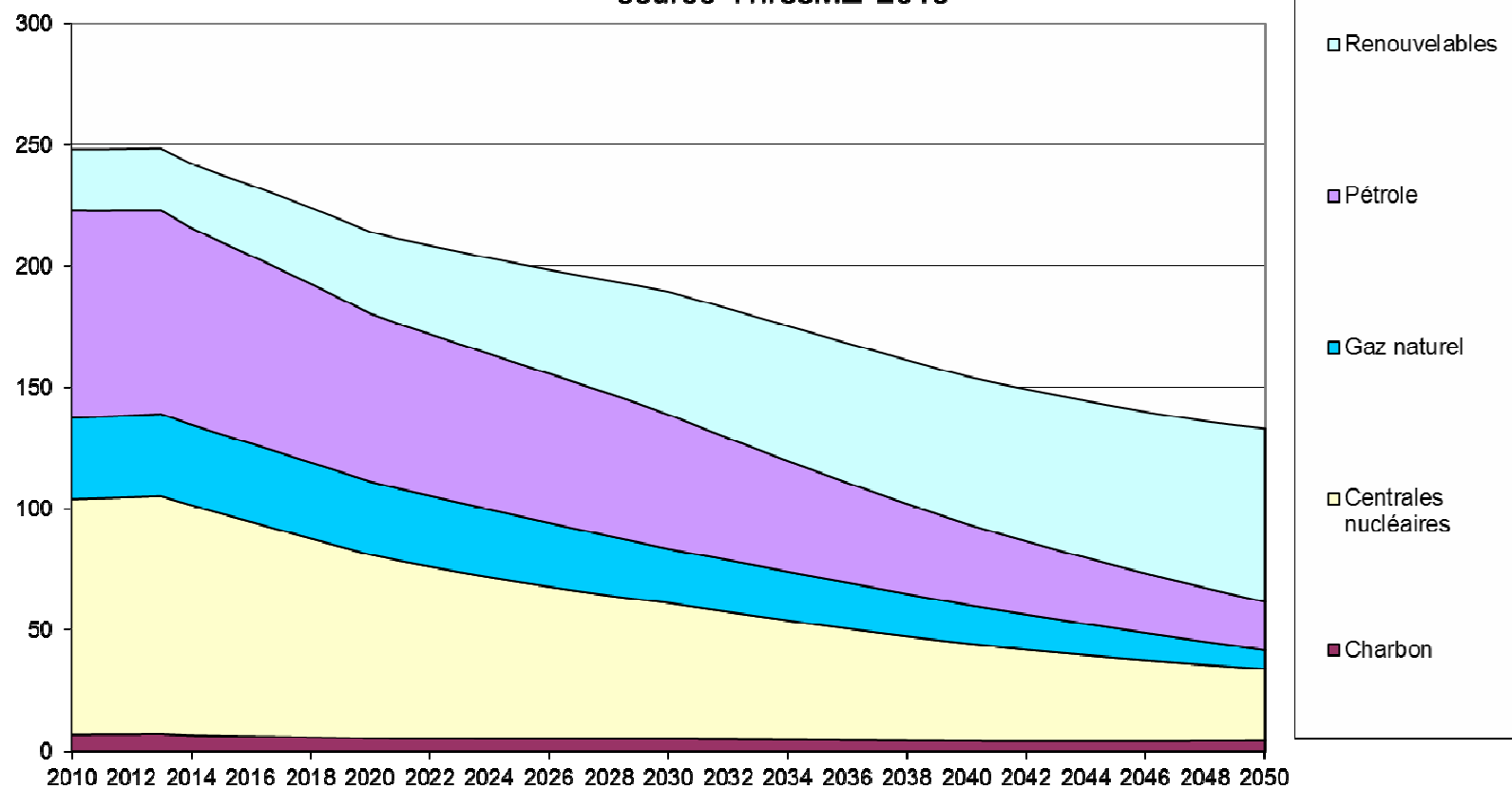
*Modèle Macroéconomique Multisectoriel d'Evaluation des politiques Energétiques et Environnementales conçu conjointement par l'ADEME et l'OFCE depuis 2008 (Observatoire Français des Conjonctures Economiques)*

- *Le modèle tient compte de l'effet du transfert d'activité d'une branche à l'autre sur l'emploi, les consommations d'énergie, le commerce extérieur, le niveau de la demande et la croissance*
- *Les entreprises font des arbitrages énergétiques (énergie/capital, substitutions énergétiques, progrès technique endogène)*
- *Les ménages font un choix entre investissements énergivores et sobres : 3 classes de logements (passifs; sobres (<150 kWh/m<sup>2</sup>) et énergivores), 3 classes de véhicules (bonussées, malussées et électriques)*
- *Scénario de référence : Les parts des différentes énergies dans le mix restent stables entre 2010 et 2050, les instruments de lutte contre le changement climatique ne sont pas modifiés, taux de croissance 1,8%/an*

## Trois variantes du scénario ADEME ont été simulées.

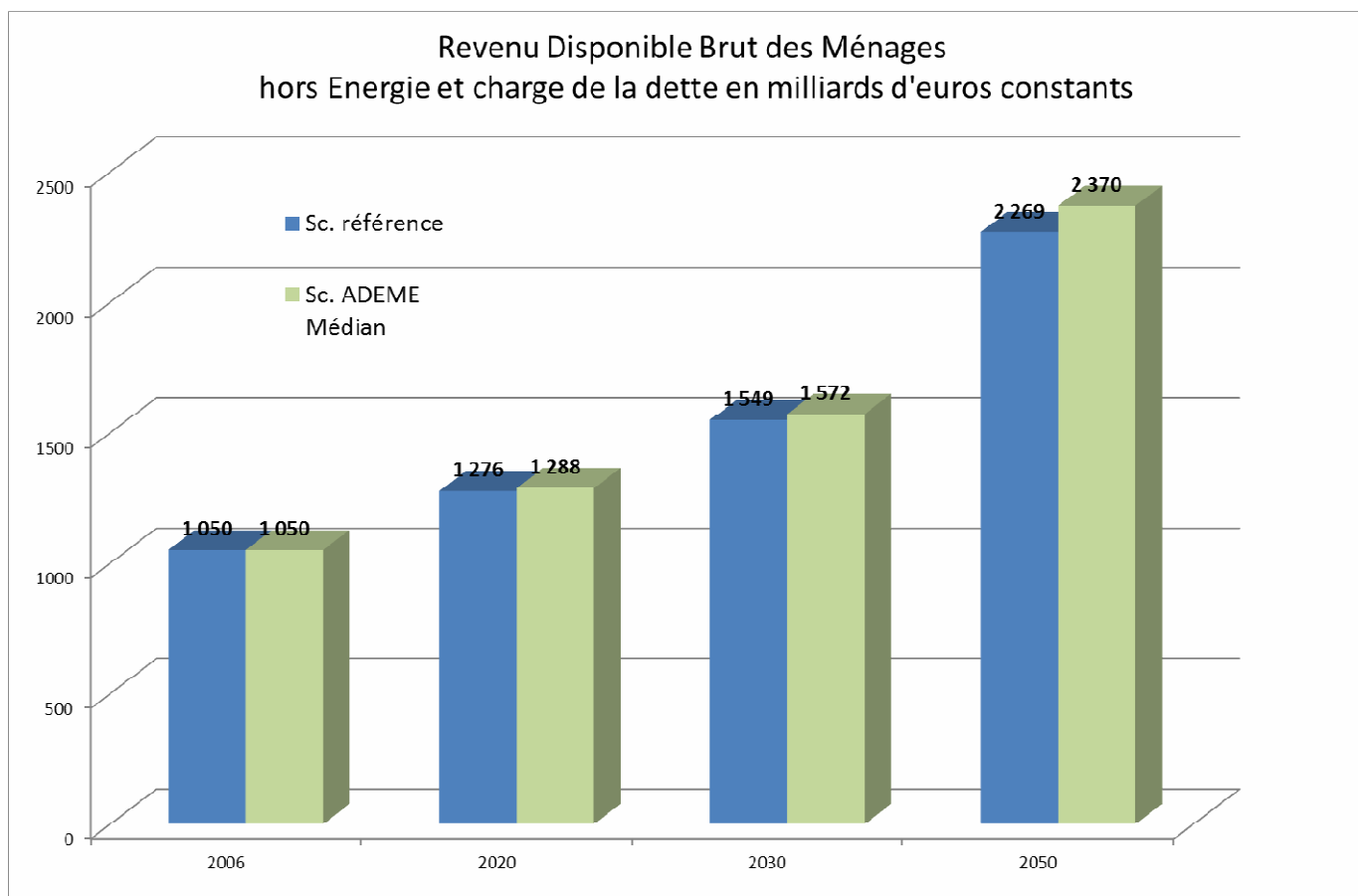
- **La demande d'énergie finale est identique dans les trois scénarios. Elle est conforme à la vision.**
- **Coté offre, les scénarios diffèrent sur la part de l'électricité d'origine nucléaire dans le mix électrique en 2050 :**
  - *Scénario bas : La part du nucléaire représente 50% de la demande d'électricité finale en 2030 et 18% de la demande d'électricité finale en 2050 (C'est le niveau obtenu lorsque l'on exploite au maximum le potentiel des énergies renouvelables pour le niveau de la demande considéré)*
  - *Scénario Médian : La part du nucléaire représente 25% de la demande d'électricité finale en 2050*
  - *Scénario Haut : La part du nucléaire reste stable entre 2030 et 2050 et représente 50% de la demande d'électricité finale.*

**Scénario ADEME Médian**  
 Evolution du mix énergétique en Mtep énergie primaire  
 source ThreeME 2013



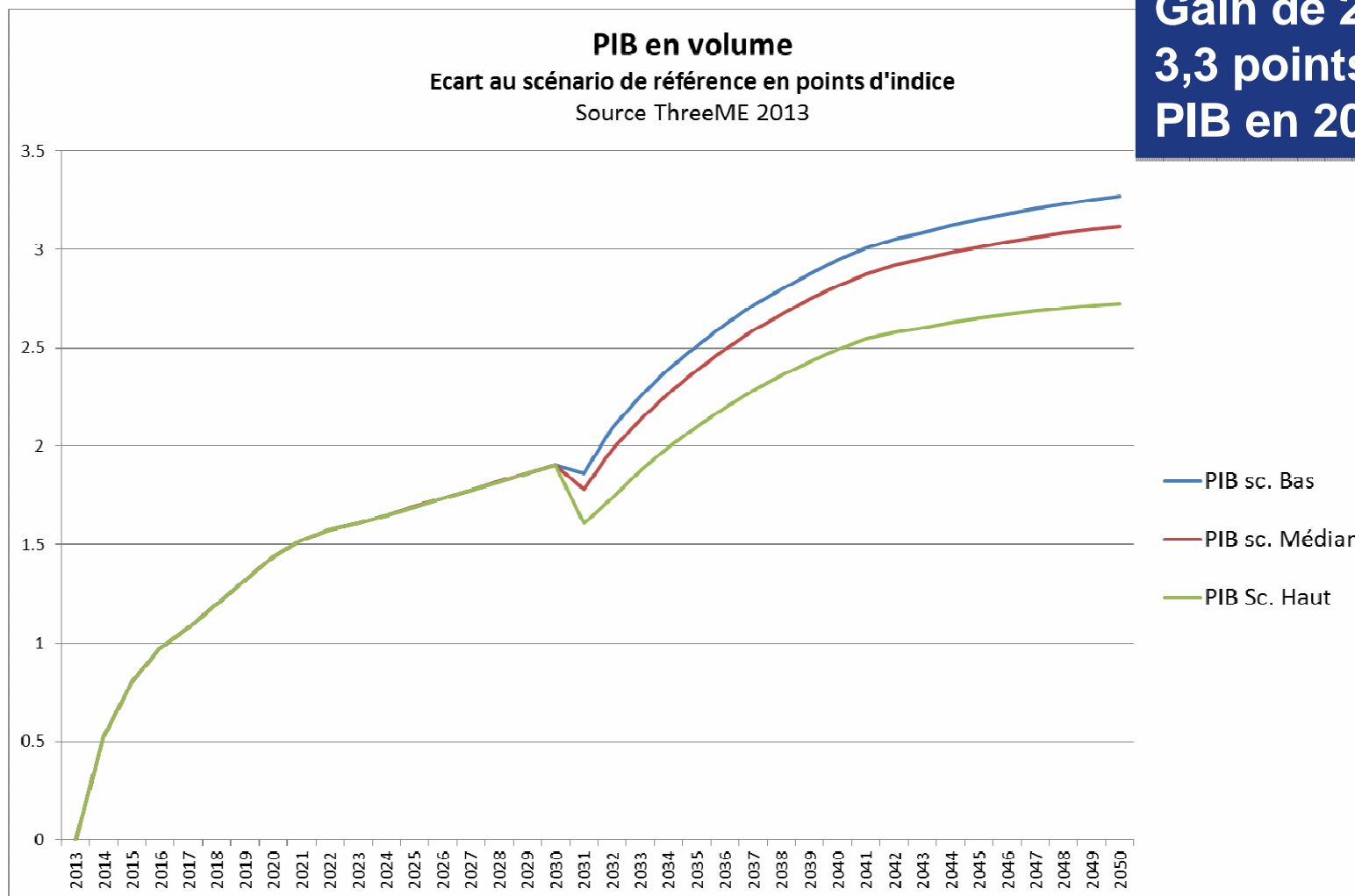
La consommation finale d'énergie s'élève à 126 MtepEf en 2030 et 78MtepEf en 2050

## Evolution du revenu disponible brut des ménages



La charge de la dette des ménages correspond au remboursement de leurs annuités majoré de la charge d'intérêts, pour l'ensemble des emprunts contractés pour le financement de leurs investissements dans le logement et les achats d'automobiles

# Impact comparé sur le PIB

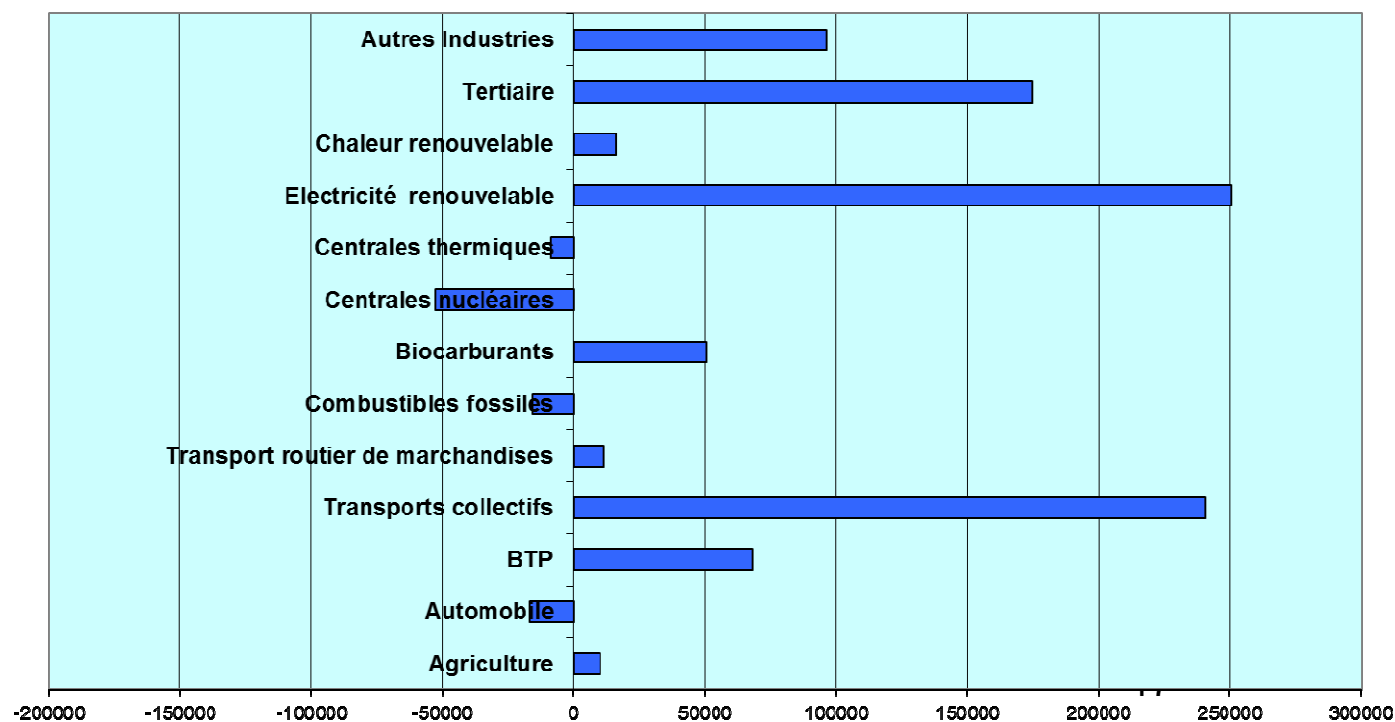


**Gain de 2,7 à  
 3,3 points de  
 PIB en 2050**

# Les variations d'emplois

Gain de +329 000 emplois en 2030 et +825 000 emplois en 2050 dans le scénario médian

Créations ou pertes d'emplois par secteur en 2050  
 Sc. ADEME Médian  
 source ThreeME





## 23/01/2014 : L'ANCRE publie ce jour un rapport d'études sur ses propositions de scénarios de transition énergétique à l'horizon 2050

L'ANCRE a présenté, ce jour, le rapport d'études sur trois scénarios possibles d'évolution du système énergétique français à horizon 2050, visant à atteindre le « facteur 4 » (division par 4 au moins des émissions de Gaz à Effet de Serre, ou GES, liées à l'énergie par rapport à l'année 1990). Ces scénarios reposent sur une approche volontariste en termes d'innovation scientifique et technologique. Le rapport, fruit du travail de quelques 400 experts scientifiques de l'ANCRE pendant 18 mois, décrit des trajectoires contrastées de la demande et du mix énergétique, et il évalue leurs impacts socio-économiques et environnementaux. L'objectif est d'apporter des éléments d'éclairage dans le cadre de la préparation du projet de loi sur la transition énergétique prévu pour être examiné par le Parlement en 2014.

Ces trois scénarios se caractérisent de la façon suivante :

- **Le scénario « Sobriété renforcée » (SOB)** s'appuie sur une évolution majeure des comportements individuels pour la réduction de la demande d'énergie, l'amélioration de l'efficacité énergétique et le développement des énergies renouvelables. Il suppose notamment un effort de rénovation considérable de l'habitat (650 000 logements par an contre 125 000 actuellement).
- **Le scénario « Décarbonisation par l'électricité » (ELE)** est fondé sur la combinaison d'un effort marqué d'efficacité énergétique et d'un accroissement dans les différents usages de la part de l'électricité décarbonée. Le scénario ELE table, par exemple, sur 45 % de mobilité électrique en 2050.
- **Le scénario « Vecteurs diversifiés » (DIV)** mise sur l'efficacité énergétique et met l'accent sur la diversification des sources et vecteurs énergétiques, avec une forte contribution de la biomasse, la récupération de chaleur fatale (dont celle des réacteurs nucléaires) et un rôle important des systèmes énergétiques intelligents.

Pour ces trois scénarios, au-delà de l'atteinte du « facteur 4 », on suppose que la part du nucléaire dans la production d'électricité est de l'ordre de 50% en 2025 tel que cela est proposé par le Gouvernement. Une variante, proche du scénario ELE a également été étudiée : elle permet un meilleur résultat sur la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, au prix d'une contrainte moindre sur le nucléaire. Dans cette variante, la part de l'énergie nucléaire dans la production d'électricité décroît tendanciellement pour atteindre 60% à l'horizon 2050.

Ces scénarios, qui supposent tous un effort soutenu d'efficacité énergétique, permettent une réduction très importante des consommations d'énergies fossiles et le développement d'une offre importante d'énergies renouvelables, en particulier dans le secteur électrique.

Au regard d'autres trajectoires présentées dans le cadre du débat sur la transition énergétique, **les baisses de consommation d'énergie finale se situent en 2050 à des niveaux « intermédiaires »**, soit entre 27 % et 41 % selon les scénarios.

Néanmoins, le « facteur 4 » n'est atteignable que si d'autres conditions sont réunies :

- **un rythme soutenu d'innovation et de diffusion des technologies** qui implique un important effort national de R&D sur la période, le développement de nouvelles infrastructures et aménagements et enfin une stratégie industrielle, pour parer le risque de dépendance par rapport aux technologies importées ;

- **le recours à des technologies de rupture** : captage, recyclage et stockage du CO<sub>2</sub> (jusqu'à 40 MtCO<sub>2</sub> en 2050) et réseaux intelligents (SOB), stockage électrique de grande capacité (38 GWe-47 TWh - ELE), cogénération, notamment nucléaire (jusqu'à 80 TWh vers le résidentiel tertiaire et 40 TWh vers l'industrie en 2050 - DIV). Le rapport de l'ANCRE souligne par exemple que, dans le scénario ELE, le niveau très élevé de stockage qui a été identifié ne pourrait être satisfait par les technologies identifiées à ce jour.

### L'évaluation des scénarios

Afin de fournir aux décideurs des éléments d'appréciation, un premier travail d'évaluation multicritères, en particulier sur les impacts économiques, sociaux et environnementaux des scénarios, a été mené par l'ANCRE. Compte tenu de la complexité des questions posées, des incertitudes et du manque de modèle adapté, il doit être et sera poursuivi.

Pour réduire les dépenses récurrentes de consommation d'énergie fossile, il apparaît, d'ores et déjà, qu'un fort niveau d'investissement est nécessaire. Les montants estimés sont de l'ordre de mille milliards d'euros d'ici à 2050. C'est une constante de tous les scénarios, sans qu'il ait été identifié d'écart très notable entre eux. Par exemple, le scénario SOB est très coûteux en investissement dans le résidentiel et tertiaire, il l'est moins dans les autres secteurs où la production diminue avec la baisse de la demande.

Sur le plan environnemental, tous les scénarios vont au-delà du facteur 4 pour le CO<sub>2</sub> d'origine énergétique et permettent une baisse de 65 % à 70 % de la totalité des émissions de gaz à effet de serre (tous secteurs confondus) à l'horizon 2050.

Les autres impacts positifs portent principalement sur la réduction de la dépendance énergétique extérieure, qui passerait de 50 % aujourd'hui à 27 % (ELE), 28 % (DIV) et 36 % (SOB), sur l'amélioration de la balance commerciale et, potentiellement, sur l'emploi. Mais pour obtenir des conséquences favorables sur l'emploi, de nouvelles filières technologiques soutenues par des investissements publics et développées par des entreprises françaises et européennes devront être mises en place.

Les prix unitaires de l'énergie augmentent dans tous les scénarios, selon des dynamiques différentes. Un doublement du prix de l'électricité est envisageable d'ici 2050. L'impact sur le budget des ménages et les coûts des entreprises est cependant limité, compte tenu d'une consommation d'énergie fortement réduite.

Enfin, le rapport de l'ANCRE formule des premières propositions en termes de programmation de la recherche pour le projet de loi sur la transition énergétique. Celles-ci portent notamment sur l'intensité de l'effort R&D à fournir et les modalités de pilotage à mettre en place, en lien avec la stratégie nationale de la recherche sur l'énergie.

La communauté scientifique, au travers de l'ANCRE, s'est engagée dans un travail de longue haleine qui va encore être affiné dans les mois à venir. Il permet de donner à la puissance publique des éléments de compréhension sur l'impact des différentes orientations possibles pour le futur énergétique de la France, mais aussi d'enrichir la réflexion et la connaissance scientifique sur les innovations à mettre en œuvre. Ces travaux seront soumis à la communauté scientifique et constituent un ensemble cohérent ouvert à la discussion. L'ANCRE organisera au printemps un séminaire scientifique dans ce but.

Ce rapport a été présenté à l'occasion de l'Assemblée générale annuelle de l'ANCRE tenue ce jour, jeudi 23 janvier, présidée par Jacques Bittoun, président de l'Université Paris-Sud.