L'évaluation macroéconomique des visions énergétiques 2030-2050 de l'ADEME

ADEME
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

DOCUMENT TECHNIQUE

L'évaluation macroéconomique des visions énergétiques 2030-2050 de l'ADEME

G. Callonnec (ADEME), G. Landa (OFCE), P. Maillet (OFCE), F. Reynes (OFCE, TNO)

PREAMBULE

L'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) a présenté sa vision de la transition énergétique lors du Débat National organisé par le ministère de l'Energie sur le même thème[i]. Elle a estimé les effets macroéconomiques de la mise en œuvre de son scénario, à l'aide d'un modèle macroéconomique néokeynésien multisectoriel, qui tient compte des effets sur l'emploi et la balance commerciale d'un transfert d'activité des branches énergivores vers les branches sobres, et aussi des effets rétroactifs de la variation de la demande sur la production et le niveau de l'activité économique, ce pour ne pas exclure a priori l'existence éventuelle d'un double dividende écologique et économique en l'absence d'imperfections de marché.

C'est la première fois en France qu'un scénario de transition énergétique complet et cohérent défini tant du côté de l'offre que de la demande énergétique ; établi à l'aide d'outils technico-économiques (MEDPRO), fait l'objet d'un bouclage macroéconomique avec ce type de modèle.

Après une brève description du scénario de transition énergétique conçu par l'ADEME (1), les grands principes de la modélisation (2) et les résultats de la simulation (3) sont présentés.

Le scénario de transition énergétique de l'ADEME 3
Efficacité et sobriété : vers une réduction de la demande d'énergie 3
Une offre d'énergie très largement décarbonée 4
Le modèle ThreeME 5
Un modèle multisectoriel néokeynésien 5
Une approche multisectorielle nécessaire 5
De possibles arbitrages énergétiques 6
Une interaction dynamique entre l'offre et la demande 6
Un effet d'éviction limité grâce à la création monétaire 7
L'effet multiplicateur 9
Une relative viscosité des prix à court terme 10
L'existence d'un double dividende 12
Cas de la transition énergétique 13
Le calibrage du modèle 14

Les coûts unitaires de production 15
L'évolution des coûts unitaires de production 16
Le paramétrage des équations de comportement 17
Les élasticités 17
Les propensions à importer 19
Les autres équations de comportement 19
Les résultats 19
Le scénario de référence 20
La modélisation du scénario ADEME 21
Des effets expansionnistes 23
Une amélioration du pouvoir d'achat des ménages 23
Un regain d'investissement 24
Un impact positif sur l'emploi 26
Une diminution du déficit de la balance commerciale 29
Les effets induits sur PIB 30
La valeur tutélaire du carbone 31
Les effets sur les finances publiques 32
Conclusion 34

Le scénario de transition énergétique de l'ADEME

Le scénario de prospective 2030-2050 élaboré par les équipes de l'ADEME prévoit une forte diminution de la demande d'énergie finale, de 18% entre 2010 et 2030 et de 47% à l'horizon 2050. Cette baisse est obtenue grâce à une amélioration de l'efficacité énergétique dans tous les secteurs, sans rupture technologique majeure, mais aussi grâce à un regain de sobriété, notamment dans les transports.

Efficacité et sobriété : vers une réduction de la demande d'énergie

Le potentiel d'économie d'énergie identifié par l'ADEME est considérable, notamment dans le bâtiment et les transports. La rénovation énergétique des immeubles pourrait entraîner une chute de près de 60% de la consommation moyenne au mètre carré des logements entre 2010 et 2050, si bien que la consommation du secteur résidentiel pourrait être divisée par deux, malgré la croissance démographique et la réduction de la taille des ménages. Grâce à l'amélioration de ses performances thermiques et en supposant une diminution de la surface de bureau par employé de 20% à horizon 2050, le secteur tertiaire pourrait également réduire de 30% sa consommation énergétique, malgré son essor.

La densification des espaces urbanisés, l'essor du télétravail, le développement du covoiturage et de l'autopartage, le report du véhicule individuel vers les transports collectifs et les modes actifs (marche, vélo…), pourraient déboucher sur une réduction d'un tiers du nombre de voitures en circulation à l'horizon 2050. Conjuguée à la diminution tendancielle de la consommation énergétique des véhicules thermiques et à la forte pénétration des automobiles électriques et hybrides (qui composeraient les 2/3 du parc en 2050), la consommation d'énergie du secteur des transports pourrait baisser des 2/3 entre 2010 et 2050.

Si l'on suppose que la tendance actuelle à l'efficacité énergétique dans l'industrie se poursuivra, sa demande d'énergie pourrait diminuer de plus d'un quart en 2050, même si la part de son activité dans le PIB reste stable.

Enfin, le développement de pratiques agricoles plus durables (réduction des consommations de produits azotés, élevage extensif favorisant le maintien des prairies permanentes, essor de l'agriculture biologique et de l'agroforestrie, économies de chauffage, développement de la méthanisation, évolution des régimes alimentaires –recommandations FAO - en 2050) permettrait de diviser par deux ses émissions de gaz à effet de serre et de réduire d'un quart ses besoins énergétiques.

Une offre d'énergie très largement décarbonée

Le Scénario ADEME suppose aussi une modification radicale du mode de production de la chaleur : le chauffage au fioul disparaîtrait progressivement. La part du gaz naturel destiné à la production de chaleur (hors chauffage électrique et produits pétroliers) pourrait chuter de 70% à 20% entre 2010 et 2050, au bénéfice des énergies renouvelables et notamment du biogaz et de la biomasse dont les parts s'élèveraient respectivement à 31% et 20%.

Le tiers de la demande de combustibles fossiles de l'industrie (13 Mtep) et des transports (14 Mtep) en 2050 serait satisfait par des biocarburants ou du biogaz (soit 7 Mtep). Si bien que la consommation de produits pétroliers serait divisée par un facteur 4,3.

La production d'électricité serait très largement décarbonée : les centrales au fioul et au charbon seront fermées à l'horizon 2030. Les intrants de gaz naturel dans la production des centrales thermiques au gaz seraient réduits de plus de moitié entre 2010 et 2050.

L'ADEME a étudié 3 variantes de poids relatifs du nucléaire dans le mix électrique :

- Dans le scénario bas, la part du nucléaire s'élève à 18% de la consommation finale d'électricité en 2050, ce qui est le seuil minimal que l'on puisse atteindre en exploitant au maximum le potentiel d'énergies renouvelables disponible compte tenu du niveau de demande finale retenu (82 Mtep).
- Dans le scénario médian, la part du nucléaire atteint 25% de la consommation finale d'électricité en 2050.
- et dans le scénario haut, la part du nucléaire est maintenue à 50% entre 2030 et 2050, seuil qui correspond au plafond maximal fixé par le chef de l'Etat à l'horizon 2025-2030.

La combinaison de la réduction de la demande d'énergie finale et de la décarbonation des ressources énergétiques, décrites ci-dessus, permettraient d'atteindre l'objectif du facteur 4 en 2050. L'ensemble des émissions de gaz à effet serre s'élèverait à 131 Mteq CO_2 en 2050 contre 525 MteqCO_2 en 1990.

Le modèle ThreeME

Pour apprécier les effets macroéconomiques des scénarios de transition énergétiques, l'ADEME a utilisé le modèle ThreeME[ii], (Modèle Macroéconomique Multisectoriel d'Evaluation des politiques Energétiques et Environnementales) qu'elle a conjointement développé depuis 2008 avec l'Observatoire Français des Conjonctures Economiques (OFCE) et le centre hollandais de recherche scientifique appliquée (TNO, Netherlands Organization for Applied Scientic Research)[1].
Il s'agit d'un modèle néo-keynésien du type « Offre Globale - Demande globale » comparable aux modèles couramment utilisés par les instituts de prévision conjoncturelle, comme EMOD de l'OFCE ou MESANGE de l'INSEE, à cette différence près qu'il est multisectoriel.

Un modèle multisectoriel néokeynésien

ThreeME comporte 24 secteurs de production et 17 sous-secteurs énergétiques. C'est un modèle en économie ouverte. La variation des importations et des exportations de chaque bien dépend des distorsions de prix relatifs entre les tarifs domestiques et étrangers. Pour simplifier, on suppose que les taux de change sont fixes.

Une approche multisectorielle nécessaire

Il est ainsi possible de faire apparaître les effets d'un transfert d'activité d'une branche à l'autre :

- sur l'emploi, puisque les secteurs de production n'ont pas tous la même intensité en main d'œuvre ;
- sur la consommation énergétique, puisqu'ils n'ont pas tous la même intensité énergétique ;
- sur la balance commerciale, puisqu'ils n'ont pas tous la même propension à importer et à exporter.

Par exemple, une hausse des énergies renouvelables au détriment des centrales thermiques à flamme entraîne une augmentation de l'emploi - les premières étant plus intensives en main d'œuvre que les secondes - et une diminution des importations de combustibles fossiles.

Or la modification du contenu en emploi de l'économie exerce une influence directe sur la consommation et donc sur la demande, tout comme l'évolution du déficit extérieur. Toutes choses égales par ailleurs, leur variation se répercute sur le produit intérieur brut (le PIB) puisque cet agrégat est égal à la somme de la consommation *C*, de l'investissement *I*, des variations de stocks ΔS et du solde de la balance commerciale *(X-M)*.

$$PIB = C+I+\Delta S+(X-M)$$

[1] *A full description of the Three-ME model: Multi-sector Macroeconomic Model for the Evaluation of Environmental and Energy policy*, OFCE, 2013

Si l'on admet que la demande n'est pas sans influence sur la production (voir *infra*), il est essentiel de modéliser finement l'influence des transferts sectoriels sur l'emploi et la balance commerciale, faute de quoi, le modélisateur s'expose à des biais de prospectives conséquents.

De possibles arbitrages énergétiques

Pour modéliser les choix énergétiques des agents, 17 sous-secteurs énergétiques ont été identifiés.

Les entreprises réalisent des arbitrages énergétiques :

- Elles substituent du capital à l'énergie lorsque son prix relatif augmente.
- Elles peuvent substituer les sources d'énergies les unes aux autres.
- Il existe un progrès technique endogène (l'efficacité énergétique s'améliore lorsque les prix relatifs de l'énergie augmentent).

Les ménages font un choix entre investissements permettant des économies d'énergie ou non Parmi 3 classes de logements et de voitures.

- Leurs parts de marché varient en fonction de l'évolution des coûts d'usage (amortissement du prix d'achat, net des aides, et consommation d'énergie).
- Le taux de pénétration des véhicules électriques est supposé exogène.

Par ailleurs, ThreeME tient compte de l'effet de sobriété induit par la variation des prix : les ménages réduisent leurs dépenses de chauffage et de carburant lorsque les prix augmentent et inversement.

Le modèle ThreeME a la particularité d'être un modèle hybride : les investissements des agents (les flux) entraînent une modification des parcs de véhicules et immobiliers (les stocks). La nature de ces parcs détermine directement la consommation d'énergie.

Contrairement aux purs modèles d'offre (d'inspiration néoclassique) les modèles néokeynésiens comme ThreeME prennent en compte les effets rétroactifs de la variation de la demande (consommation, investissement et balance commerciale) sur l'offre (la somme des valeurs ajoutées) et vice versa. Un modèle multisectoriel néokeynésien peut donc faire apparaître, avec de moindres biais de prospective, l'influence de la transition énergétique sur la demande, et évaluer en retour son impact sur l'activité économique.

Une interaction dynamique entre l'offre et la demande

Les modèles néo-keynésiens font apparaître l'interaction dynamique qui existe entre l'offre et la demande:

- en admettant l'existence d'un financement par création monétaire (ce qui est une réalité depuis l'invention de la monnaie fiduciaire et scripturale) ;
- en postulant un ajustement lent des prix (cette approche est appropriée lorsque les agents sont en situation d'information imparfaite et/ou de concurrence oligopolistique).

Un effet d'éviction limité grâce à la création monétaire

L'une des grandes différences qui distingue les modèles Offre - Demande (néokeynésien, en équilibre dynamique), des modèles d'Offre (walrassien, en équilibre statique) porte sur l'effet d'éviction entre investissements (voir encadré 1).

Dans ThreeME, les investissements ne sont pas seulement financés par l'épargne (autofinancement et crédit obligataire) mais aussi grâce au crédit bancaire, qui est une forme de création monétaire. Les crédits font les dépôts. Le financement d'un investissement par emprunt bancaire n'entraîne pas de hausse des taux d'intérêts sur le marché obligataire (sous réserve que la Banque centrale maintienne ses taux directeurs inchangés). La variation de la quantité de capital n'est donc pas bornée a priori[2]. Ainsi l'effet d'éviction entre investissements est limité.

Ex : La hausse des investissements de rénovation énergétique des ménages ne débouche pas sur une baisse équivalente de leurs dépenses par ailleurs. Celles-ci diminuent d'un montant égal à la hausse des annuités de la dette induite par les travaux, moins la baisse des factures énergétiques obtenues.

Dans les modèles néokeynésiens comme ThreeME, la hausse de L'investissement peut contrebalancer la « perte sèche » induite par l'instauration d'une taxe. En effet, dans les modèles d'offre pur, la hausse de la fiscalité entraîne une augmentation mécanique du prix des produits ou des facteurs qui y sont assujettis. Elle incite les agents à réaliser des investissements de substitution. Mais cela ne provoque pas une augmentation globale de la demande, puisque l'effet d'éviction est total. Or ces investissements sont a priori moins rentables que ceux auxquels ils se substituent, faute de quoi il n'aurait pas été nécessaire d'instaurer une taxe. Cela affecte négativement la demande et la croissance ; à moins que la taxe n'induise une diminution des importations, soit parce qu'elle frappe essentiellement des produits importés, comme les combustibles fossiles par exemple, soit parce que le recyclage des recettes permet à l'Etat de réduire une taxe encore plus distorsive, comme les cotisations employeurs, par exemple (voir encadré 1). Mais dans cas, le coût de la taxe est en partie supporté par le reste du monde. Dans le modèle ThreeME l'instauration d'une taxe énergétique est non seulement compensée par l'amélioration de la balance commerciale mais aussi par une hausse globale de la FBCF[3].

Encadré 1 : Les modèles d'offre, la perte sèche et le double dividende

Dans un modèle d'offre de type walrassien, l'investissement est exclusivement financé par l'épargne disponible. On suppose que les taux d'intérêt s'ajustent instantanément pour équilibrer ces deux variables (si une branche augmente ses investissements, les taux d'intérêts s'élèvent jusqu'à ce que l'investissement global des autres secteurs diminue du même montant). Donc, pour un niveau d'épargne donné, il n'est pas possible

[2] L'épargne est fonction du revenu disponible des ménages, qui lui-même dépend du taux de croissance tendanciel de l'économie, qui à l'équilibre, est égal à la somme de deux facteurs exogènes : les gains de productivité et la croissance démographique.

[3] La Formation brute de capital fixe en comptabilité nationale est égale à la somme des investissements.

d'augmenter l'investissement d'une branche sans diminuer ceux des autres. L'effet d'éviction est total, sauf si la hausse des taux entraîne une entrée de capitaux en provenance de l'extérieur. On comprend pourquoi, d'après les néoclassiques, une relance par l'investissement public est inopérante. Cette hypothèse a une influence majeure sur l'estimation macroéconomique des effets de la lutte contre le réchauffement climatique.

C'est l'une des conditions de la validité de la loi de Jean Baptiste Say (1760) selon laquelle l'offre crée sa propre demande. En effet, si l'épargne, qui est égale aux revenus non consommés par les ménages et les profits non redistribués des entreprises, est entièrement mobilisée pour financer l'investissement, alors l'ensemble des revenus générés au cours du processus de production sont soit consommés, soit investis. L'offre est donc égale à la demande. L'épargne n'est pas une fuite.

Grâce à ce postulat, les entreprises n'ont pas de problème de débouchés. Elles produisent donc au maximum de leurs capacités qui dépendent à la fois de la quantité de capital, de ressources naturelles, d'énergie et de main d'œuvre disponible. Grâce à la flexibilité des prix qui permet d'écouler les stocks non désirés, et grâce à la flexibilité des salaires qui permet de résorber le chômage, l'économie est systématiquement à l'équilibre de plein emploi. Le chômage est inexistant ou volontaire.

L'évolution de l'offre est donc prédéterminée par la variation de la quantité de facteurs de production disponible et de leur gain de productivité. Or la hausse de la quantité de capital dépend du montant de l'épargne, qui elle-même, à l'équilibre, varie comme les revenus, autrement dit l'offre. Elle aussi est prédéterminée. En revanche, la quantité de travail dépend de la croissance démographique, qui est exogène. L'équilibre est donc statique[4]. IL n'y a pas de variation endogène. Les fluctuations conjoncturelles ne s'écartent du taux de croissance tendanciel (égal à la somme des gains de productivité et du taux de croissance démographique) qu'en cas d'interventions intempestives de l'Etat ou de chocs exogènes : progrès technologiques, catastrophe naturelle etc. Il suffit de contester le postulat selon lequel l'investissement et l'épargne ne dépendent que des seuls taux d'intérêt pour obtenir une dynamique endogène, influencée par le niveau de la demande anticipée, susceptible de générer une hausse durable du niveau du PIB à long terme.

L'instauration d'une taxe sur les combustibles entraîne alors une augmentation mécanique des prix. Le renchérissement du coût de l'énergie incite les agents à réaliser des investissements dans l'efficacité énergétique. Mais cela ne provoque pas une augmentation globale de la FBCF, puisque l'effet d'éviction est total. Or ces investissements sont a priori moins rentables que ceux auxquels ils se substituent, faute de quoi il n'aurait pas été nécessaire d'instaurer une taxe carbone. Le regain d'efficacité énergétique induit donc une baisse des profits et une hausse des prix qui débouche à la fois sur une diminution de la consommation réelle mais aussi sur une baisse de l'épargne et donc de l'investissement. Cela provoque une baisse de la demande et donc une chute de la production et des échanges.

A l'inverse, la redistribution des recettes fiscales aux entreprises, sous la forme d'une baisse des charges, peut favoriser leur croissance et compenser le déclin des secteurs frappés par la taxe. En effet, si la taxe carbone finance une baisse des cotisations employeurs des entreprises et /ou une baisse des taxes sur le capital, alors l'augmentation de la demande de travail et de capital peut compenser l'effet récessif d'une moindre utilisation de l'énergie. Cela n'est valable que si la taxe carbone se substitue à une taxe encore plus distorsive, de sorte que la quantité de facteur de production disponible à coût unitaire constant augmente.

A défaut, si la quantité de facteur de production disponible à bas coût est plus faible, en économie fermée, et

[4] De ce point de vue, il serait possible de faire abstraction des termes $\Delta S+(X-M)$ dans l'équation du PIB pour écrire simplement $PIB = C+I$ d'où $PIB-C=I$ et par conséquent $E=I$ l'épargne finance l'investissement. C'est la condition de validité de la loi de Jean Baptiste Say.

a fortiori à l'échelle planétaire, les pertes des uns ne sont pas entièrement compensées par le gain des autres. On considère que les agents accusent une « perte sèche »[5]. En ce cas, toutes choses égales par ailleurs, l'instauration d'une taxe, même redistribuée, se solde par une hausse des prix et une diminution du pouvoir d'achat.

A l'équilibre en concurrence pure et parfaite, il serait illusoire d'essayer de compenser une perte sèche par une politique budgétaire expansive, puisqu'au mieux, il existerait un effet d'éviction entre l'investissement public et l'investissement privé. L'épargne serait drainée par l'Etat au détriment des entreprises.

En économie ouverte, les modèles en équilibre statique nous enseignent qu'une taxe énergétique n'entraîne pas systématiquement une récession dans l'Etat qui l'instaure, si :

- les importations d'énergies diminuent,
- les exportations augmentent grâce à la baisse des charges qui pèsent sur le travail et la compétitivité externe des entreprises.

En ce cas le PIB augmente d'un montant égal à l'excédent de la balance commerciale moins la perte sèche. Cependant le PIB des partenaires commerciaux de l'économie considérée diminuera d'un montant équivalent à l'excèdent de la balance commerciale. Si bien que le solde mondial restera négatif.

Fondamentalement, les modèles en équilibre statique opposent la prospérité économique globale au respect de l'environnement. Et pour cause, cette approche repose sur la conviction que l'activité économique dépend de la quantité de facteurs de production disponibles. Or la lutte contre le changement climatique implique obligatoirement une diminution du volume utilisé d'énergie fossile.

Cette analyse repose sur une logique de jeu non coopératif, à somme négative. Les économistes qui utilisent ces modèles parviennent à justifier la lutte contre le réchauffement en faisant valoir que les coûts de l'inaction seraient dans le futur bien plus élevés que les coûts d'une intervention précoce. Les politiques sont donc placés devant le choix cruel d'une cure d'austérité immédiate, avec les effets récessifs identifiés plus haut, ou d'une crise climatique et énergétique dans un futur plus ou moins bien déterminé, aux effets potentiellement dramatiques. Lorsque l'on songe au fait que nul n'a avantage à prendre l'initiative le premier (sauf cas particuliers évoqués ci-dessus), et qu'une action isolée est inutile, on comprend à l'aune de ce discours, pourquoi l'intervention des Etats est lente et limitée.

En bref, le raisonnement en équilibre statique obéit systématiquement à une logique sacrificielle. Il oppose la préservation des équilibres écologiques de long terme à la maximisation de la prospérité économique à court et moyen terme.

L'effet multiplicateur

Dans un modèle néo-keynésien, l'investissement et donc l'offre de crédit, n'est pas prédéterminé par les sommes épargnées par les agents, il dépend de la rentabilité attendue des projets (cf. théorie de la Valeur Actuelle Nette[6]). Or celle-ci dépend de la demande anticipée (et/ou des gains d'économies

5 Théoriquement, une perte sèche peut provoquer une augmentation des pressions inflationnistes, une baisse des salaires réels et une réduction de l'offre de travail.

6 D'après la théorie de la Valeur Actuelle Nette, un investissement *I* est rentable si la somme des cash flows *CF* anticipés actualisés est supérieure au montant investi, autrement dit si la VAN est supérieure à zéro. $VAN = \sum \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I$. A l'équilibre $= \sum \frac{CF_t}{(1+r)^t}$. Les cash flows dépendent des ventes et donc de la demande anticipée. *r* est le coût moyen pondéré du capital qui dépend également des taux d'intérêt. On voit que les

d'énergies attendus dans le cas des investissements d'efficacité énergétique) et du coût de financement. Le stock de capital varie donc de façon endogène.

En retour, l'investissement influence la production (à court terme, la production de biens d'équipement augmente et à long terme, la quantité de capital productif s'accroît) et donc l'emploi. La diminution du chômage débouche sur une augmentation de la consommation, ce qui rétroagit sur la demande anticipée. Il est donc possible de modéliser ainsi l'existence de cercles vertueux expansifs ou a contrario des cercles récessifs cumulatifs (cf. théorie du multiplicateur).

Dans ce schéma, une hausse de l'épargne des ménages n'entraîne pas une hausse de l'investissement (qui résulterait de la seule baisse des taux) mais une chute de la consommation, qui provoque une augmentation de la variation des stocks non désirée et/ou une contraction de la production et de l'emploi, qui restreint à nouveau la demande et l'investissement.

A contrario, une augmentation de l'offre de monnaie (de crédit) via une baisse des taux d'intérêt décidée par la Banque centrale, entraîne une hausse de l'investissement, de la production, de l'emploi et donc de la demande anticipée, qui rétroagit positivement sur l'offre et accessoirement l'épargne. « La monnaie n'est pas neutre ». Il existe toujours une égalité comptable entre l'épargne et l'investissement mais celle-ci résulte non pas d'une fluctuation des taux d'intérêt mais d'une variation du PIB.

En bref, en équilibre général dynamique, lorsque l'offre de crédit (la création monétaire) est endogène et/ou lorsque la concurrence est imparfaite, les entreprises sont confrontées à un problème de débouchés (l'épargne est une fuite). Dans une telle situation d'incertitude, la production n'est pas déterminée par la quantité de facteurs disponibles (l'utilisation totale des facteurs de production), mais par la demande anticipée. Ce n'est pas seulement l'offre qui crée sa propre demande, l'inverse est également vrai. Dans ce cadre, il peut y avoir un équilibre de sous-emploi et des crises cumulatives. Ceci explique pourquoi les conjoncturistes utilisent des modèles néo keynésiens. Ce sont les seuls capables de reproduire des fluctuations conjoncturelles réalistes.

Une relative viscosité des prix à court terme

Théoriquement, en cas de choc récessif, et pour un stock de capital donné, une parfaite flexibilité des prix, qui équilibrerait spontanément l'offre et la demande de biens, permettrait aux entreprises d'écouler les stocks non désirés et de rétablir l'équilibre de la balance commerciale afin de maintenir le niveau de leur production.

Là encore, la flexibilité des prix permet de maintenir l'équilibre de plein emploi si et seulement si elle n'a pas d'incidence négative sur l'investissement. C'est le cas dans les modèles d'offre pur où

---

sommes investies ne dépendent pas seulement du coût du capital. Les taux d'intérêts ne peuvent plus équilibrer l'épargne et l'investissement, si l'on suppose que ces deux variables dépendent aussi de l'évolution des revenus. En équilibre dynamique, soit les taux d'intérêt équilibrent l'offre et la demande de monnaie, soit ils sont fixés par la banque centrale et l'offre de monnaie s'ajuste instantanément à la demande de monnaie. Cette différence est importante puisqu'en pareil cas, il n'y a plus d'équilibre économique instantané entre l'offre potentielle et la demande anticipée.

l'investissement ne dépend pas de la demande mais seulement de l'épargne[7]. Ce n'est pas le cas, dans un modèle néokeynésien. La déflation provoque une contraction de la valeur de la production. Ainsi pour des annuités inchangées, la baisse des prix entraîne une hausse du ratio charge de la dette sur chiffre d'affaire, autrement dit une augmentation des coûts unitaires du capital. Elle augmente le temps de retour des investissements réalisés dans le passé. Elle rend plus difficile l'amortissement des coûts fixes. La déflation accroît le volume de la dette[8]. Elle réduit la rentabilité du capital et les profits, tout comme la capacité d'autofinancement des entreprises qui est une composante majeure de l'épargne. Si l'on considère que l'investissement dépend de la rentabilité du capital (autrement dit du volume de recettes attendues et du coût réel du capital), une baisse des prix entraînera une chute de l'investissement et donc une nouvelle baisse de la demande. Pour compenser la diminution des profits, les entreprises pourraient être tentées de réduire davantage les salaires. Mais si le pouvoir d'achat des ménages baisse, la consommation s'effondre, ce qui limite d'autant la production. Dans ce cadre, seul un regain de compétitivité à l'extérieur et une hausse des exportations pourrait relancer l'activité. Mais ce phénomène ne peut advenir qu'en système de change fixe, et si nos partenaires commerciaux eux-mêmes sont épargnés par la déflation.

Quoi qu'il en soit, en situation de concurrence imparfaite, les oligopoles, pour maximiser leurs profits, ont intérêt à ajuster les quantités produites aux variations de la demande, plutôt que leurs prix (Robinson, Chamberlin, 1933[iii]). C'est pourquoi, les modèles néokeynésiens supposent que les entreprises appliquent une marge, plus ou moins flexible, à des coûts unitaires de production (théorie du mark up, Okun, 1981[iv]). Dans ce cadre, les prix n'ajustent pas instantanément la demande à l'offre.

Les salaires ne s'ajustent pas spontanément pour équilibrer l'offre et la demande de travail. Cela reviendrait à considérer que plus les salaires sont élevés et plus nombreux sont les individus à proposer leur service sur le marché. A l'inverse, la baisse des rémunérations entraînerait une chute de l'offre de travail volontaire. Cette approche néglige le fait que la grande majorité des personnes en âge de travailler sont obligées de le faire pour subvenir à leurs besoins, quel que soit le salaire moyen proposé. C'est pourquoi on postule que la variation de l'offre de travail dépend à la fois d'un taux de flexion (lorsque le chômage augmente, certaines personnes découragées se retirent du marché de l'emploi) mais aussi de la croissance démographique. La variation des salaires dépend à la fois de l'inflation, des gains de productivité et de l'évolution du chômage (courbe Wage Setting) voire du niveau du chômage (Théorie de la courbe de Philipps)[v] puisque celui-ci n'est pas sans incidence sur le pouvoir de négociations des partenaires sociaux.

Dans les modèles néokeynésiens, les taux d'intérêt n'équilibrent pas instantanément l'épargne et l'investissement, puisque ces deux variables dépendent non seulement de la rémunération du capital mais aussi des revenus attendus. On suppose donc pour simplifier que les taux d'intérêt sont fixés par la banque centrale en fonction des évolutions du taux d'inflation et du taux de chômage (règle de

[7] L'équilibre walrassien n'est vérifié que si il existe une flexibilité concomitante des taux d'intérêt, qui équilibrent l'épargne et l'investissement ; des prix sur le marché des biens et services et des salaires sur le marché du travail qui permettent d'équilibrer instantanément l'offre et la demande.

[8] En change flexible, la déflation peut provoquer une appréciation de la monnaie qui peut contrebalancer le poids de la dette libellée en devise étrangère.

Taylor). Ils influencent la demande d'investissement (puisque les entreprises déterminent le niveau désiré de leur capital en fonction de la demande anticipée et compte tenu de la distorsion de prix relatifs entre capital et travail, pour minimiser leurs coûts et maximiser leurs profits) et l'on suppose que l'offre de crédit s'y ajuste spontanément.

Le double dividende de la fiscalité environnementale

Dans ce cadre théorique, il est possible de montrer que l'instauration d'une taxe environnementale génère un double dividende écologique et économique : la perte sèche évoquée plus haut peut être non seulement compensée par une amélioration de la balance commerciale et/ou une baisse des charges qui pèsent sur le travail ou le capital, financée par les recettes de taxes ; mais aussi par les gains macroéconomiques induit par une éventuelle augmentation de la demande.

Sachant que les investissements d'efficacité énergétique, induits par la fiscalité environnementale des entreprises comme des ménages, sont essentiellement financés à crédit, ils ne se substituent pas intégralement aux autres. La substitution capital énergie débouche donc sur une augmentation globale des investissements en général (la formation brut de capital fixe, FBCF) puisque l'effet d'éviction est partiel. La demande croît et les débouchés des entreprises se développent : la demande influence l'offre.

Cela entraîne une hausse de la production (sous l'effet à la fois de l'augmentation du stock de capital productif et de l'augmentation des ventes des fournisseurs de biens d'équipement) et une diminution des importations d'énergie, qui génère une hausse de l'emploi et donc de la consommation : l'offre influence la demande.

Une spirale expansive s'enclenche à court terme. Toutefois, à long terme, le remboursement de la dette induite par le financement de l'investissement exerce un effet récessif sur l'économie (la masse monétaire se contracte).

Si la somme des revenus directs générés par l'investissement et si les revenus indirects induits par l'effet multiplicateur sur l'emploi et l'évolution de la balance commerciale couvrent la charge de la dette, alors la hausse du PIB sera durable. A l'inverse, si les investissements ne sont pas rentables (les VAN sont négatives) et si leurs pertes ne sont pas compensées par ailleurs par les effets d'entraînement positifs qu'ils ont exercés sur le reste de l'économie, alors la baisse du PIB sera durable.

Ex : L'instauration d'une taxe carbone incite les consommateurs à privilégier les modes de transports les moins carbonés : comme par exemple délaisser la route au bénéfice du rail. L'usage des automobiles diminue mais la consommation de transports collectifs augmente. Or le contenu en emploi des chemins de fer est supérieur à celui du trafic routier. Cela entraîne une contraction du chômage qui rétroagit aussi positivement sur la demande. Dans un modèle d'offre, cet effet aurait été au moins en partie compensé par une diminution tendancielle du taux de profit, qui aurait réduit le taux d'épargne et donc l'investissement, si bien que la demande serait restée stable. Dans le cas d'un modèle offre demande, où l'épargne ne finance pas l'investissement, les créations d'emplois liées au

transfert d'activité des secteurs énergivores vers les secteurs sobres exercent un effet multiplicateur positif sur l'économie.

En théorie, à l'équilibre de plein emploi, les modèles néo keynésiens retrouvent des propriétés néoclassiques. Le sentier de croissance devient parfaitement stable. Le taux de croissance du PIB revient au niveau qu'était le sien avant l'intervention de l'Etat. Mais le niveau du PIB est supérieur.

Cas de la transition énergétique

La transition énergétique implique non seulement l'instauration d'une contribution climat énergie, la réalisation d'investissement d'efficacité énergétique mais aussi une modification du mix énergétique.

Le raisonnement appliqué aux investissements d'efficacité énergétique ne vaut pas pour les investissements liés à la modification du mix. En effet, pour une demande donnée et un instant *t*, l'augmentation de la puissance installée d'énergie renouvelable sera au moins partiellement compensée par une diminution de la puissance installée des énergies non renouvelables. La hausse des investissements dans les filières vertes devrait donc s'accompagner d'une diminution des investissements dans les énergies carbonées (le raisonnement est aussi valable entre les divers modes de transport). Il existe donc un effet de substitution conséquent, indépendamment du mode de financement de ces équipements. Le regain d'investissement dans les énergies renouvelables ne devrait donc pas exercer un fort effet d'entraînement à court et moyen terme, sauf si la propension à importer les biens d'équipements dans les secteurs de production d'énergie renouvelable est inférieure à la propension à importer les biens d'équipements dans les secteurs de production d'énergie non renouvelable. Ce qui n'est pas le cas aujourd'hui.

En revanche, la substitution des énergies renouvelables aux autres devrait augmenter le contenu en emploi de la branche et déboucher sur une baisse sensible de nos importations de combustibles fossiles. Cela devrait avoir un effet expansif.

Néanmoins, la hausse du prix de l'énergie qui pourrait en résulter, au moins à court et moyen terme, pourrait exercer un impact récessif sur l'activité, essentiellement via une baisse de la compétitivité externe et interne car les entreprises devraient répercuter cette hausse sur leur prix de vente. Cela pourrait donc contrebalancer au moins en partie l'effet expansif lié à la variation de l'emploi et des importations de fossiles.

Cela dit au niveau macroéconomique, les coûts des uns sont les gains des autres. Toutes les recettes liées à la production d'énergie renouvelable seront redistribuées aux agents (et en définitive aux ménages) via les dépenses du secteur (salaires, consommations intermédiaires, investissement, dividendes) sauf celles qui serviront à l'achat de biens importés et une partie de la charge de la dette (qui sert au refinancement des banques auprès de la Banque Centrale). L'augmentation de la production d'énergie renouvelable et du coût de l'énergie ne devrait donc pas affecter négativement le revenu disponible moyen des ménages net de leur facture énergétique, sauf si la propension à importer et le coût du capital des filières vertes sont supérieurs au secteur des énergies non renouvelables.

Si les effets expansifs l'emportent sur les effets récessifs et que la somme cumulée des gains de PIB couvre le remboursement des annuités de l'emprunt, alors le niveau du PIB restera durablement supérieur à ce qu'il aurait été en l'absence de transition. A l'inverse, si les effets récessifs l'emportent sur les effets expansifs, les entreprises devront augmenter leurs prix et l'Etat devra augmenter les taxes pour rembourser leurs dettes respectives, ce qui affectera négativement et durablement la demande.

En définitive, les effets macroéconomiques de la transition énergétique vont dépendre

- de l'effet de la baisse de la demande d'énergie sur la balance commerciale ;
- de la réduction de production d'énergie ;
- des effets de la hausse du coût unitaire de production des entreprises sur les prix et la demande interne et externe ;
- des modalités de la redistribution des recettes fiscales environnementales ;
- de la modification du taux de profit dans l'économie si elle a une incidence sur l'offre de crédit et donc la quantité de capital disponible, (ce qui n'est pas le cas dans la version de ThreeME utilisée actuellement) ;
- de la variation de l'emploi ;
- et de la modification de la propension à importer/exporter des diverses filières ;
- de l'influence des prix de l'énergie sur les investissements d'efficacité énergétique et leur rentabilité.

Le calibrage du modèle

Pour faire correctement la part des choses entre les effets récessifs et les impacts expansifs à l'œuvre, il est essentiel de calibrer soigneusement le modèle.

Le modèle est calibré sur plusieurs bases de données :

- Tous les paramètres et variables des équations macroéconomiques sont calibrés sur les tableaux de la comptabilité nationale (TES et TEE) de l'INSEE à l'année de base.[vi]
- Les dépenses des ménages sont calibrées sur les données INSEE.
- Les coûts et le nombre des travaux de rénovation sur la base OPEN (le prix induit du saut de classe est égal à 264€/m²).
- Les prix et parts des différentes classes de véhicules sur données du Car labelling de l'ADEME[vii].
- Les consommations d'énergies du secteur du transport sur les Comptes des Transports[viii]
- Les consommations d'énergies et les émissions de CO_2 de l'industrie sur les données du CEREN.
- Toutes les variables sont paramétrées sur l'année 2006.

Les coûts unitaires de production

Une attention particulière doit être portée aux coûts unitaires de production, puisque ceux-ci influencent beaucoup les résultats.

Les coûts unitaires de production de l'énergie ont été calibrés sur la base du rapport coût de production de l'électricité de la DGEMP (2003)[ix]. Les autres coûts ont été calibrés sur la base du rapport In Numeri (2008)[x]. Le coût du nucléaire a été corrigé sur la base du rapport de la Cour des Comptes sur le coût du nucléaire (2012)[xi]. Le coût du MWh (hors coût d'acheminement) est fixé à 50€/MWh pour les centrales existantes (frais de prolongation inclus). Le coût de production de l'EPR a été fixé à 70€/MWh sur la base du rapport du Sénat rédigé sur la question (2012)[xii]. Ce chiffre correspond à la fourchette basse de l'estimation réalisée, comprise entre 70 et 90€/MWh.

	en €2006/MWh	Coût de production hors distribution
Carburants	Pétrole	50
	Biocarburants et biogaz	61
Electricité	Nucléaire	50
	Centrale au fioul	189
	Centrale au gaz	56
	Centrale au charbon	52
	Eolien, hydrolien	79
	Solaire	232
	Hydraulique et step	62
	Cogénération, méthanation, autres	50
Chaleur et vapeur	Gaz naturel	56
	Bois	62
	Biogaz	89
	Incinération (UIOM)	27
	Géothermie, pompe à chaleur	54
	Cogénération, autres	60

Source ThreeME d'après DGEMP et IN Numeri

L'évolution des coûts unitaires de production

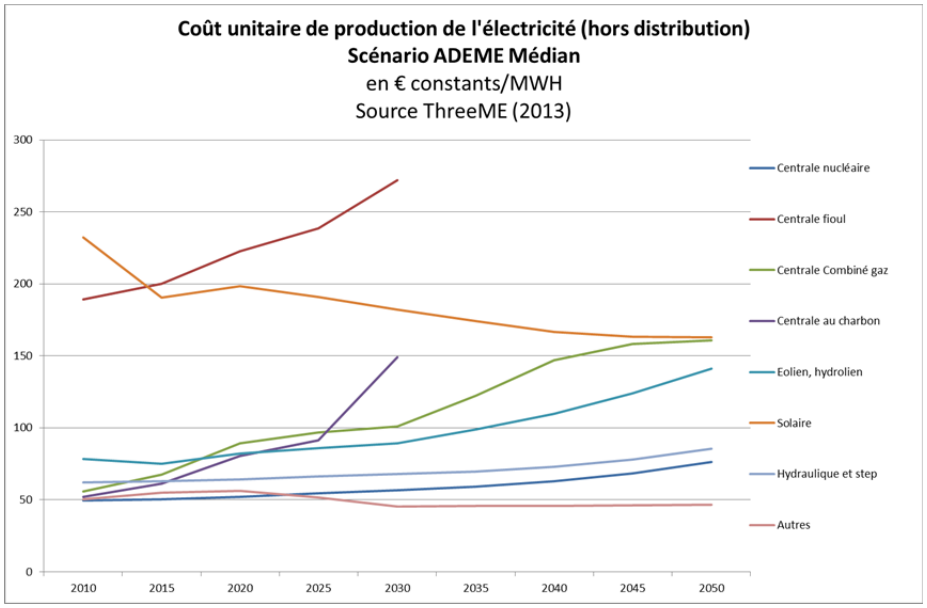

Figure 1

Les coûts unitaires de production des énergies évoluent en fonction du coût du travail, du coût du capital, de la productivité de ces facteurs, du progrès technique et du prix des consommations intermédiaires, toutes taxes comprises.

Le coût de production de l'électricité éolienne augmente malgré les économies d'échelle attendues dans ce secteur car la part de l'éolien off-shore augmente au détriment de l'éolien terrestre, or le premier est beaucoup plus onéreux que le second.

Le coût unitaire de production des centrales thermiques au fioul et au charbon s'accroît sous l'effet de la hausse du prix des combustibles d'une part, et de la diminution de la production d'autres part qui ne permet plus d'amortir les coûts fixes. Ces unités de production sont fermées d'ici 2030.

Le coût du nucléaire augmente sous l'effet de la construction des EPR dont le coût de production est estimé à 70€/MWH. (Ce chiffre n'inclut pas les coûts du démantèlement et de la gestion des déchets nucléaires, ils seront pris en compte dans une version ultérieure sur la base des estimations réalisées par la Cour Des Comptes), soit un chiffre comparable à celui de l'éolien terrestre.

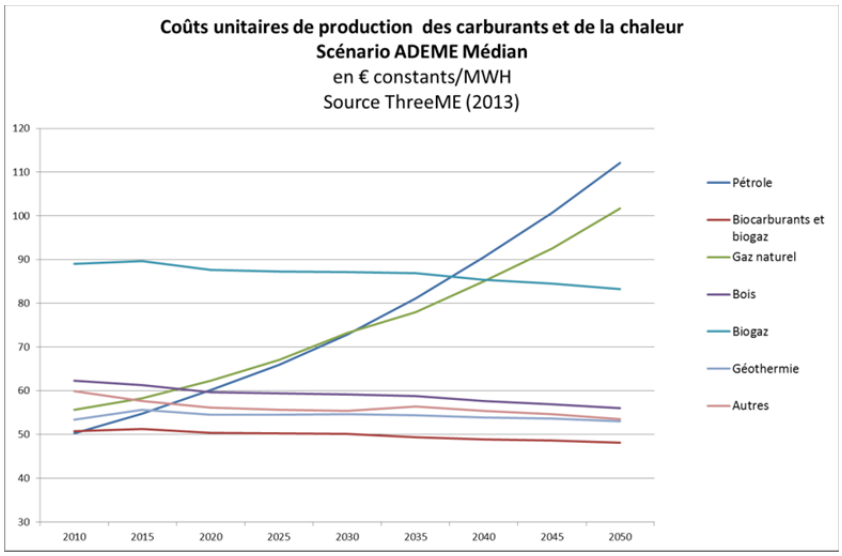

Figure 2

Le coût des énergies renouvelables est très légèrement décroissant compte tenu des gains d'économie d'échelle et du progrès technique réalisés dans ces filières émergentes.

Les coûts de production et de distribution des produits pétroliers et du gaz naturel augmentent sous l'effet de la hausse de leurs prix à l'importation.

Le paramétrage des équations de comportement

Les paramètres des équations de comportement sont estimés sur la base d'études économétriques du CEREN et de l'INSEE pour les arbitrages énergétiques des agents.

Les élasticités

D'après la littérature économétrique[xiii], l'élasticité prix de la demande de carburant des ménages oscillerait entre -0.3 et -0.8 à court et long terme. Autrement dit, si le prix des carburants croît de 10%, la demande des ménages chuterait de 3% à court terme, et de 8% à long terme, grâce à la fois à un regain de sobriété immédiat (réduction de la vitesse et de la mobilité, report de la route vers le rail) et grâce à l'achat de véhicules moins énergivores. Sachant que ces deux phénomènes font l'objet d'une modélisation distincte dans ThreeME, l'élasticité prix de la demande des ménages à court terme a été prudemment fixée à -0,2 tandis que l'élasticité de substitution entre véhicules neufs a été fixée à 0.8 (lorsque le coût d'usage d'un véhicule énergivore augmente de 10 points par rapport à celui d'un véhicule sobre, les ventes de ces derniers augmentent de 8% au détriment des premiers, au prorata de leurs parts dans les immatriculations neuves.) Là encore ce chiffre peut paraître modeste si l'on songe que l'élasticité de substitution entre les 7 classes énergétiques des véhicules a été estimée par l'ADEME à 1.8 lors de l'instauration du bonus-malus automobile[xiv]. En effet, il existe une forte substituabilité entre les véhicules qui se situent aux frontières de leurs classes énergétiques respectives. Un consommateur fera peu de différence entre un véhicule de classe D qui émet entre 142g CO_2/Km et un véhicule de classe C qui en émet 138g. Ceci explique pourquoi la part de marché

des voitures de catégorie B a bondi de 20% à 35% des ventes, entre 2007 et 2008, tandis que les ventes d'automobiles de la classe G ont chuté de 50% sur la même période.
Sachant que dans la version de ThreeME utilisée pour le présent exercice, il n'existe que trois classes de véhicules (les bonussés, les malussés et les véhicules électriques) et qu'ils sont donc moins substituables les uns par rapport aux autres en moyenne, l'élasticité a été corrigée à la baisse.

La sensibilité du taux de croissance des travaux énergétiques des ménages au coût d'usage relatif des diverses classes de logements est fixée à 0,6. Le coût d'usage inclut à la fois la facture énergétique et le remboursement des annuités de la dette nécessaire au financement des travaux (hors Crédit d'impôt développement durable - CIDD). Là encore, la valeur retenue est modeste, si l'on songe que la rentabilité des travaux d'efficacité énergétique des épaves thermiques est théoriquement avantageuse, dès lors que l'on anticipe une hausse du prix de l'énergie de l'ordre de 2% par an en euros constants (ce qui correspond aux anticipations de l'Agence Internationale de l'Energie) avec une température intérieure de 19°C. En effet, l'ADEME considère que le taux de rentabilité interne d'une rénovation complète d'une classe G ou F (représentative de la moyenne du parc) à C (cible qui correspond à la norme thermique dans le neuf en 2010) oscille entre 6.5% et 10%, soit un chiffre supérieur au coût de l'emprunt[xv]. Néanmoins les temps de retour sont longs : entre 9 et 14 ans pour des équipements qui ont une durée de vie de 25 ans en moyenne. C'est un horizon trop lointain pour les ménages, qui demeurent en moyenne moins de 8 ans dans leurs logements et qui bien souvent n'ont ni le droit ni les moyens de rénover. En effet : 40% des ménages sont locataires et n'ont pas la possibilité de réaliser des travaux dans leur habitation. Un grand nombre de particuliers n'ont pas accès au crédit, soit parce qu'ils vivent sous le seuil de pauvreté, soit parce qu'ils consacrent déjà plus d'un tiers de leur revenu au remboursement de leurs dettes, ce qui leur ôte la possibilité de contracter un nouvel emprunt. En outre, nombreux sont ceux qui ne chauffent pas ou peu leurs logements et qui n'ont donc guère d'économies à espérer[xvi]. Malgré ces contraintes, d'après l'enquête OPEN[xvii], les français ont dépensé 18 milliards d'euros dans la rénovation thermiques de leurs logements en 2006, ce qui représente 1 point de PIB. 10% des immeubles ont fait l'objet d'une rénovation partielle ou totale à cette date. La valeur de l'élasticité retenue permet au modèle de reproduire le rythme de la rénovation constatée au milieu des années 2000. Elle est inférieure aux estimations réalisées par le CEREN dans le résidentiel (0.8)[xviii].

L'élasticité de substitution capital énergie a été fixée à 0.5 dans l'industrie. Ce chiffre est comparable à celui retenu dans le modèle Emod de l'OFCE. L'élasticité de substitution inter énergie dans l'industrie est supposée égale à 0.4, pour les combustibles servant à la production de chaleur. Elle est fixée à zéro pour les combustibles à double usage, c'est-à-dire les combustibles utilisés à la fois pour la production de chaleur et en tant que consommation intermédiaire dans la fabrication du produit fini (charbon pour l'acier, pétrole pour la plasturgie, gaz naturel pour la fabrication d'engrais et produits azotés, etc).

Les propensions à importer

La propension à importer les biens d'équipements des filières ENR converge vers celle des branches industrielles à l'horizon 2030-2040. On suppose implicitement que l'Etat encourage le développement de filières nationales via sa politique d'offre.

Part de la FBCF importée	2006	2030	2050
éolien	65%	23%	21%
solaire	21%	22%	15%
hydraulique	17%	17%	17%
bois énergie (industriel et collectif)	34%	15%	15%
biogaz	41%	22%	15%

Source In Numeri pour 2006. Hypothèses ADEME.

Les autres équations de comportement

En dehors du bloc énergie, les équations de comportement ont été paramétrées sur la base d'études économétriques de l'OFCE :

- politique monétaire (règle de Taylor)
- fixation des salaires (Courbe Wage Setting WS)
- fixation des prix (théorie du mark up)
- élasticité de substitution entre facteurs de production (fonction CES).

De ce fait, les propriétés dynamiques du modèle sont comparables à celles du modèle de prévision conjoncturelle utilisé par l'INSEE et la DG Trésor de Bercy, MESANGE. Ainsi, en cas d'augmentation des investissements publics de 1 point de PIB, l'activité économique augmente de 1.3 %, à court terme.

Les résultats

Pour apprécier les effets macroéconomiques des visions ADEME, on introduit des mesures ou des changements exogènes dans un scénario de référence, dont la particularité est de suivre un « sentier de croissance équilibré », autrement dit une tendance relativement stable, dénuée de fluctuation conjoncturelle[9]. Ainsi les écarts à ce scénario de référence pourront-ils être imputés à la seule dynamique générée par l'introduction des nouvelles mesures. Ces changements sont calibrés de manière à ce que le modèle reproduise les hypothèses de production et de consommation énergétiques exposées dans la vision ADEME.

[9] Théoriquement, si l'on s'abstient d'introduire des chocs de demande exogènes à répétition dans un modèle macroéconomique, le taux de croissance converge rapidement vers une tendance, qui est égale à la somme des gains de productivité et du taux de croissance démographique. C'est le taux de croissance potentielle de l'économie.

Le scénario de référence

Le scénario de référence est donc un scénario virtuel, qui n'a pas la prétention d'être réaliste. C'est un étalon de mesure de ce que serait le développement potentiel d'un monde, où toutes les variables serait guidées par une forme de « business as usual » perpétuel. Cette qualité nous permet d'apprécier les modifications induites par la mise en œuvre de la vision.

Ainsi, on suppose que :

- 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 (CIDD, bonus malus, taxes intérieures de consommation etc) ;
- Les gains de productivité augmentent à un taux constant de 1.4%.
- La croissance démographique annuelle est toujours de 0.4% (c'est le taux de croissance moyen estimé par l'INSEE sur la période 2013 2050).

Ainsi, le taux de croissance de l'économie tend de manière endogène vers 1.8% (chiffre qui correspond sans surprise à la somme des deux taux listés ci-dessus).

C'est également le cas pour l'ensemble des secteurs, sauf pour :

- La consommation de produits alimentaires : on suppose qu'à terme, la demande de produits agricoles croît comme la population et non comme le revenu (ce n'est pas parce que l'on est deux fois plus riche, que l'on mangera deux fois plus).

- L'achat de véhicules, parce que les études économétriques montrent que le taux d'équipement des ménages atteint rapidement un seuil qui dépend pour beaucoup de la densité des territoires concernés.

- La construction de logements, qui dépend des projections réalisées par l'INSEE sur le nombre de m² disponibles par ménages à l'horizon 2050 (il augmentera de 0.7% par an, soit presque deux fois plus que la population).

- Et enfin l'énergie, puisque la demande dépend en grande partie de l'expansion du parc immobilier et du parc automobile, du progrès technique et de l'évolution du prix des combustibles fossiles qui selon les prévisions de l'AIE, augmenteront à un taux supérieur au taux d'inflation, qui correspond à une hausse moyenne de près de 2% en euros constants[xix].

Sur le graphique ci-dessous (Figure 1), on remarque que la demande primaire d'énergie demeure relativement stable malgré l'augmentation de la population et de l'activité économique. La part de l'électricité augmente dans le mix sous l'effet d'une augmentation plus rapide des prix du fioul et du gaz.

La consommation finale d'énergie s'élève à 156 Mtep en 2030 et 138,5 Mtep en 2050. Ce niveau correspond aux projections du scénario DGEC-AME réalisées par le ministère de l'écologie et de l'énergie, dans le cas où les mesures existantes demeureraient inchangées.

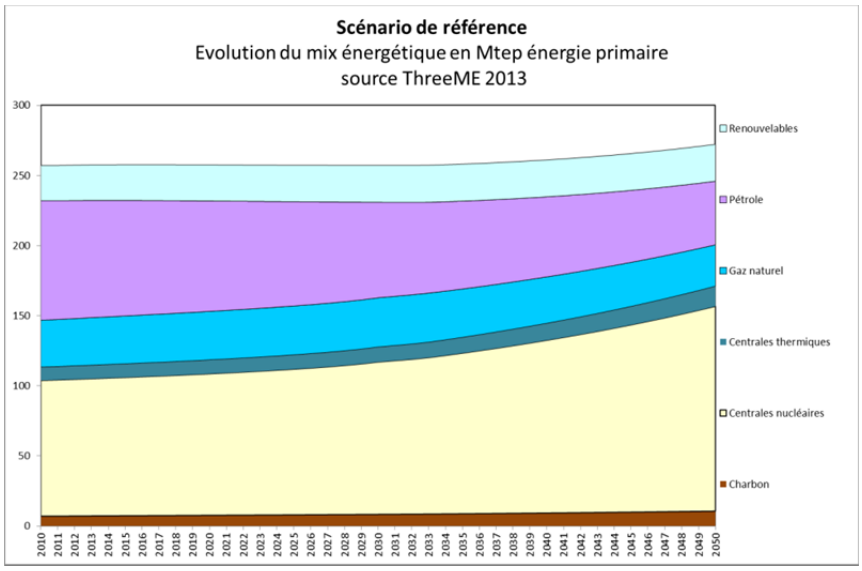

Figure 3

La modélisation du scénario ADEME

Pour modéliser le scénario de transition énergétique de l'ADEME, les modifications suivantes ont été apportées au scénario de référence:

- *La modification des parts relatives du mix électrique :*

La part du nucléaire tend vers 50% d'ici 2030, vers 25% en 2050 dans le scénario Médian, et vers 18% dans le scenario bas. Les centrales au fioul et au charbon sont fermées d'ici 2030.

- *La modification des parts relatives des ENR dans la distribution de combustibles gazeux et chaleur :*

La part du gaz naturel passe de 77% à 25% dans la distribution de combustibles gazeux et chaleur entre 2006 et 2050. Cette diminution est compensée par l'augmentation du biogaz et de la chaleur renouvelable (bois, déchets, géothermie, solaire…).

- *La pénétration du véhicule électrique :*

Celle-ci est calibrée de manière exogène, car faute de données existantes sur longue période, il n'est pas possible de modéliser de manière pertinente le choix des agents entre l'acquisition de véhicules thermiques et électriques.
On suppose qu'il existe presque 10 millions de véhicules équivalents tout électrique dans le scénario ADEME.

- *L'instauration d'une contribution climat énergie*

L'instauration d'un signal prix, dans un modèle macro-économique, reflète un mix de mesures de natures diverses (règlementaires, incitatives, fiscales…). Dans la présente modélisation, la contribution climat énergie est calibrée pour atteindre les cibles de demande énergétiques. Son assiette a deux composantes :

- Les combustibles fossiles à usage énergétique (charbon, produits pétroliers et gaz naturel).

Conformément à la directive UE 2003-93, la décarbonatation des produits minéraux non métalliques et les combustibles dits « à double usage » sont exonérés. Les combustibles consommés par les sites industriels soumis au système d'échange de quotas européen (SEQE) sont également exonérés. Cette hypothèse est conforme à la décision du Conseil Constitutionnel du 29 décembre 2009[xx], qui stipule que les entreprises peuvent jouir d'une exemption totale lorsqu'elles sont soumises à un dispositif particulier dès lors qu'il s'avère effectivement contraignant. Le Conseil avait alors jugé que l'allocation gratuite de quotas en grande quantité ne conférait pas au système un caractère tel qu'il puisse justifier une exemption totale des assujettis. Cependant, les quotas ont été mis aux enchères à partir 2013 et la commission européenne prévoit d'en geler l'attribution d'une partie, afin de soutenir les cours à la hausse. Il devrait donc être juridiquement possible d'exonérer les sites soumis au marché européen de quotas sans courir le risque d'une censure du Conseil constitutionnel pour rupture d'égalité devant l'impôt.

Le taux est exprimé en euros par tonne de CO_2. Il est uniforme pour les ménages et les entreprises assujetties.

Conformément à la lettre du projet de loi de finance rectificative de décembre 2009, les recettes de taxe carbone sont redistribuées aux agents via une baisse de l'impôt sur le revenu (IR) pour les ménages et des cotisations employeurs pour les entreprises.

- L'électricité et les énergies renouvelables

Le taux est exprimé en euros par tep. Les recettes ne sont pas redistribuées. Elles abondent le budget de l'Etat, dans le respect de la règle de la non affectation du produit des taxes.

Ces modifications conduisent :

- Coté demande, aux baisses des consommations énergétiques du scénario :
  - Pour le logement ainsi que les véhicules particuliers.
  - Pour l'industrie au global.
  - Pour le tertiaire.
- Coté offre, le mix global obtenu en 2030 et 2050 est conforme aux cibles retenues pour chacun des trois variantes de mix électrique.

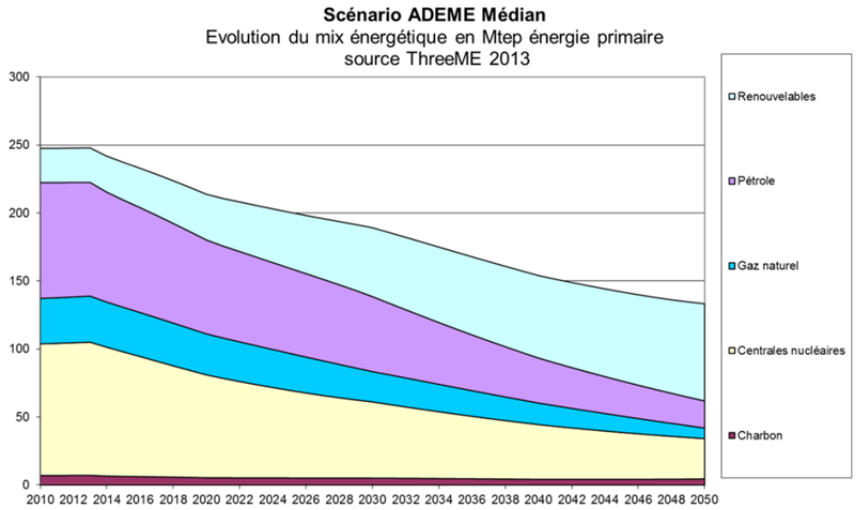

Figure 4

Des effets expansionnistes

Au terme de cette modélisation, l'ADEME et l'OFCE ont estimé que les impacts expansionnistes de la transition énergétique l'emportent sur ses effets récessifs. En 2050, dans le cadre du scénario médian de l'ADEME, le PIB français serait supérieur de 3 points à celui du scénario de référence, et l'économie française serait enrichie de plus de 800 000 emplois supplémentaires.

Ces résultats s'expliquent essentiellement par une augmentation de l'activité des secteurs des énergies renouvelables, du transport collectif et de la rénovation du bâtiment, au détriment de la branche énergie. Or les premiers ont une forte intensité en main d'œuvre et une propension à importer relativement faible par rapport aux secteurs des énergies non renouvelables. La transition se solde donc par une forte progression des créations d'emplois et une amélioration sensible de la balance commerciale, qui ont un effet expansif sur la demande. Ce phénomène compense très largement l'effet récessif lié à la perte de compétitivité qu'éprouvent les entreprises à court terme à la suite de la hausse du prix de l'énergie.

Une amélioration du revenu disponibledes ménages

Si dans un premier temps, la facture énergétique des ménages s'accroît sous l'effet d'une hausse du prix des combustibles et des taxes (Figure 5), elle diminue ensuite grâce à la baisse de la demande d'énergie.

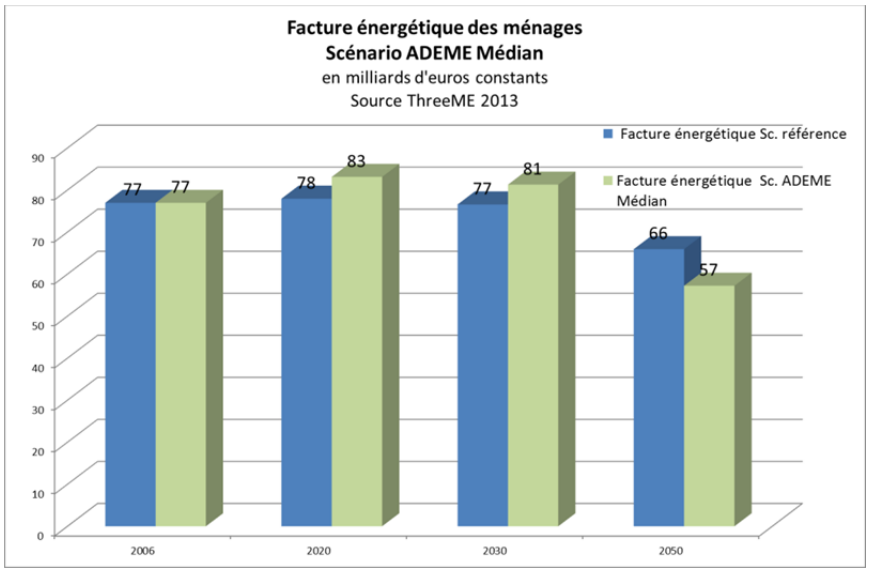

Figure 5

A terme, la somme cumulée des économies d'énergie excède le remboursement de la charge de la dette liée aux investissements d'efficacité énergétique. Ce phénomène, conjugué à la baisse du chômage, entraîne une augmentation de 4% de leur revenu disponible, net de la facture énergétique et du remboursement des annuités induites par le financement des travaux d'efficacité énergétique, par rapport au scénario de référence en 2050 (figure 6).

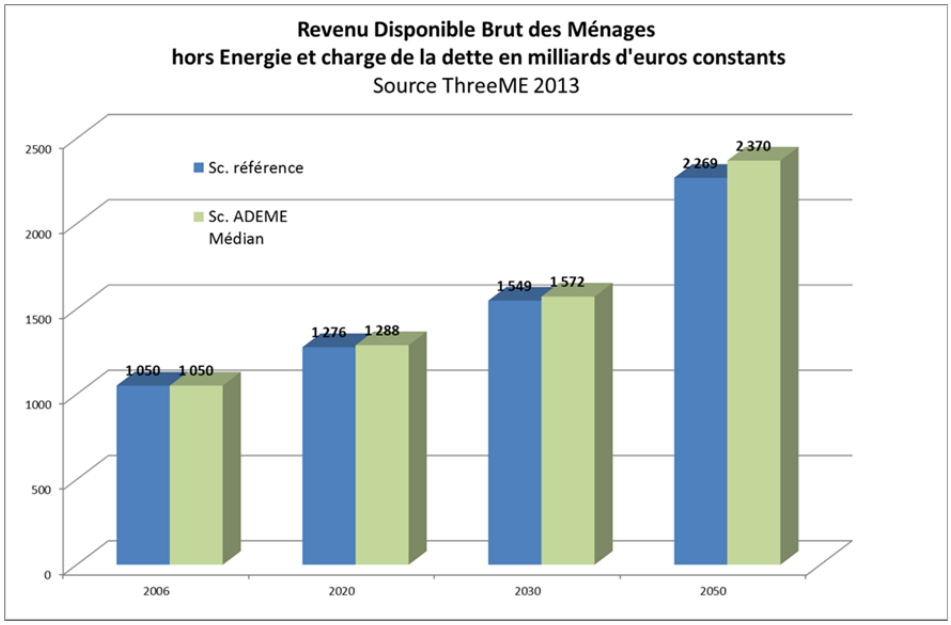

Figure 6

Un regain d'investissement

La transition énergétique induit une augmentation notable des investissements dans certaines branches et en particulier dans le secteur des énergies renouvelables (+39 milliards d'euros d'investissement annuels en moyenne sur la période par rapport au scénario de référence), la

rénovation énergétique des logements (+8 milliards), et les transports collectifs (+ 3 milliards d'euros d'investissement annuels en moyenne sur la période).

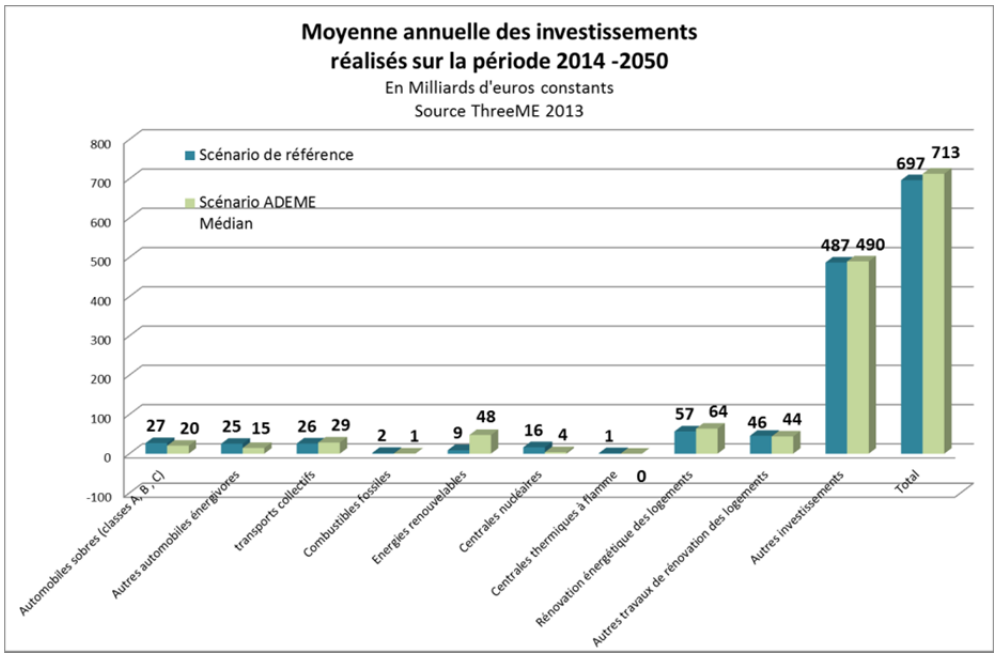

Figure 7

Cette hausse est quasi compensée par la diminution des besoins d'investissements notamment dans l'automobile (les dépenses des ménages en automobiles sont ici traitées comme des dépenses d'investissement) et les centrales thermiques, si bien que le regain d'investissements par rapport au scénario de référence ne s'élèverait qu'à 16 milliards d'euros annuels en moyenne (Figure 7). Cela représente un peu moins de 1 point de PIB par an. Cette évaluation correspond avec les estimations du rapport Stern, selon lequel, la lutte contre le changement climatique requiert la mobilisation de 1% de nos richesses annuelles.

Dans ThreeME, il est supposé que ces investissements sont financés par emprunt. L'augmentation de la charge de la dette est couverte à terme par les économies d'énergies, des recettes directes et des gains induits.

Avec 63 milliards d'euros par an en moyenne sur la période 2014-2050, la rénovation énergétique représente le besoin d'investissement nécessaire à l'accomplissement de la transition énergétique le plus élevé – mais nombre de ces investissements, intégrés au cycle de rénovation naturel des bâtiments, auraient également été réalisés dans le scénario de référence sous l'effet de la hausse du prix du pétrole et du gaz naturel (voir figure 8). C'est en fait le secteur des énergies renouvelables qui bénéficie du montant d'investissement le plus important par rapport au scénario de référence, avec 39 milliards d'euros additionnels en moyenne annuelle.

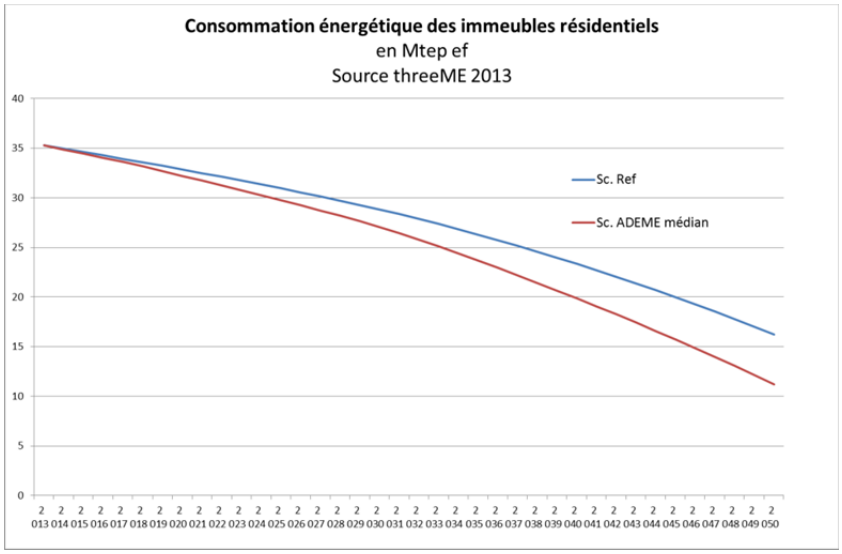

Figure 8

Un impact positif sur l'emploi

Les créations d'emplois directes et indirectes dans les secteurs bénéficiaires de la transition énergétique (énergies renouvelables, transport collectif, BTP) compensent largement les pertes dans les secteurs en décroissance (nucléaire, thermique à flamme, production et distribution de combustibles fossiles, industrie automobile). (voir figure 9)

La réduction du chômage exerce un effet d'entraînement durable sur l'activité, si bien que le nombre d'emplois induits est conséquent notamment dans le secteur des autres industries et le tertiaire.

En définitive, la transition générerait 330 000 créations d'emplois en 2030 et 825 000 emplois en 2050.

Encadre 2 : Comptabilisation des emplois dans le modèle ThreeME

Les emplois sont affectés aux divers secteurs selon les règles en vigueur dans la comptabilité nationale :

- Ainsi, les emplois liés à l'exploitation de l'équipement sont affectés au secteur concerné. (maintenance des éoliennes, production d'électricité éolienne)
- Les emplois liés à l'investissement (FBCF, formation brut de capital fixe, comme la construction de l'éolienne) sont imputés aux fabricants du bien d'équipement.
- En comptabilité nationale (dans le TES 2006) seuls les secteurs : agricole (en l'occurrence la sylviculture), automobile, autres industries (la métallurgie, fabrication de biens d'équipements, etc.) Bâtiment Travaux Publics et services marchands satisfont les besoins de FBCF des autres secteurs. L'emploi induit par les investissements d'une branche va donc dépendre de leurs montants et de l'intensité en emploi de son fournisseur. Les contenus en emplois des branches sont donnés de l'INSEE. Nous n'avons formulé aucune hypothèse sur ce point.
- Pour l'installation, le traitement est différencié selon les secteurs :
  - si le fournisseur installe lui-même l'équipement au profit de l'exploitant (ex : la branche métallurgie fabrique livre et installe une turbine pour la branche énergie), les emplois liés à l'installation seront

imputés au fabricant de bien d'équipement et non à la branche énergie car en comptabilité l'exploitant inscrit la totalité de la dépense (frais d'installation inclus) dans ses dépenses d'investissement (son poste FBCF). Ceci explique pourquoi il y a très peu d'emplois dans les réseaux de chaleur, on les retrouve dans le BTP.

- En revanche, si la branche installe elle-même les équipements, alors les emplois lui seront imputés car l'opération sera inscrite comme une dépense salariale interne. Elle est donc comptabilisée comme une dépense de maintenance et d'exploitation. (c'est l'une des raisons pour lesquelles, en comptabilité nationale, la FBCF de la branche électricité est très faible en 2006.) Les créations d'emplois liés à l'augmentation du nombre d'installation vont donc dépendre de l'intensité en emplois de l'exploitant (et des gains de productivité du travail).
- Pour les énergies renouvelables électriques, pour plus de clarté, les dépenses d'installation sont inscrites en dépenses de maintenance plutôt qu'en dépenses d'investissement. Ainsi tous les emplois liés à l'installation (panneaux PV et éolienne) sont affectés aux sous-secteurs énergétiques, (autrement dit pour ThreeME, un installateur de panneaux photovoltaïques n'est pas un couvreur zingueur, l'emploi est comptabilisé dans la branche énergie et non plus dans le bâtiment). Nous avons réduit le montant initial des investissements des secteurs ENR en conséquence, de sorte que l'emploi induit chez les fabricants d'équipement n'augmente pas en parallèle. Il n'y a donc pas de double compte.

- Pour les frais de raccordement, de distribution et de réseau dans la branche électricité,

  - les emplois liés au raccordement des nouvelles installations au réseau sont affectés au sous-secteur bénéficiaire. (ex : le raccordement d'un panneau solaire au réseau est un coût pour le sous- secteur solaire, et les emplois correspondants lui sont affectés)
  - les emplois liés à l'entretien du réseau sont ventilés entre les différents sous-secteurs au prorata de la part de leur production dans celle de la branche.

  - pour l'électricité, les marges commerciales (et les emplois liés à la distribution) sont ventilées entre les différents sous-secteurs au prorata de la part de leur production dans celle de la branche.

- Pour les frais de distribution et de réseau pour la chaleur et de combustibles gazeux et les produits pétroliers,

  - Lorsque la distribution est assurée par le secteur transport de marchandises et la branche commerce (ex des stations-services des grandes surfaces commerciales), les emplois liés à la distribution sont comptabilisés dans ces secteurs. La ventilation est donnée par la comptabilité nationale.

En bref :

- Les emplois liés à la fabrication des biens d'équipements ne sont pas comptabilisés dans la branche énergie.
- Les emplois liés à l'installation des biens d'équipements ne sont pas comptabilisés dans la branche énergie sauf si elle procède elle-même à l'installation.
- Les emplois liés aux frais de distribution et d'entretien du réseau assurés par des prestataires extérieurs ne sont pas comptabilisés dans la branche énergie.

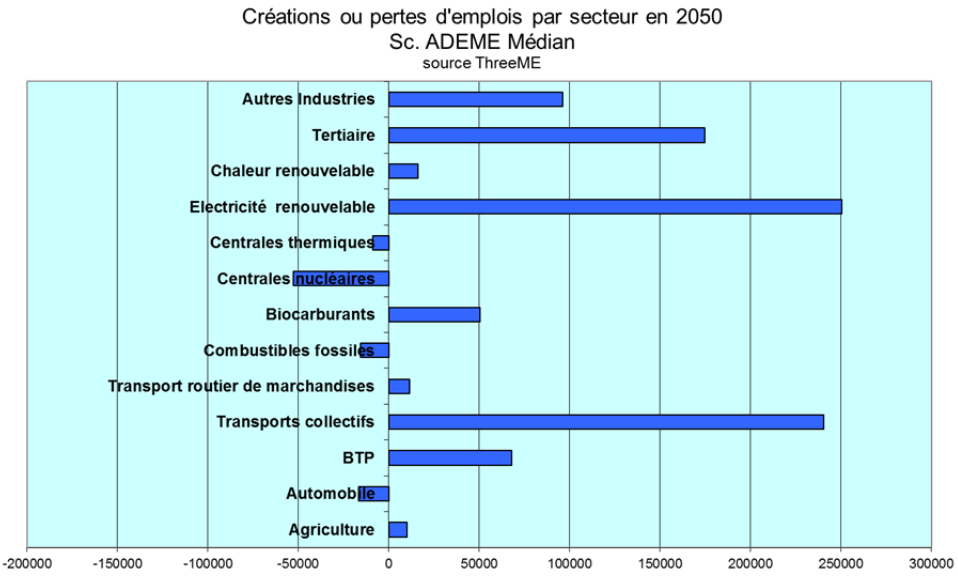

Figure 9

Les emplois sont affectés aux divers secteurs selon les règles en vigueur dans la comptabilité nationale :

- Ainsi, les emplois liés à l'exploitation de l'équipement sont affectés au secteur concerné. (maintenance des éoliennes, production d'électricité éolienne)
- Les emplois liés à l'investissement (FBCF, formation brut de capital fixe, comme la construction de l'éolienne) sont imputés aux fabricants du bien d'équipement.
- Les emplois liés à l'installation des équipements sont affectés aux secteurs qui en ont la charge, s'il sont sous -traités, (par exemple, si la réalisation des réseaux de chaleur ou l'installation de panneaux photovoltaïques est effectués par le secteur du BTP, ses effectifs augmenteront). .(voir encadré 2).

La part des actifs occupés en pourcentage de la population active augmenterait donc de 3 %. En tenant compte d'un taux de flexion[10] de près de 50%, le taux de chômage diminuerait ainsi de 1.5 point en pourcentage de la population active.

La structure du marché du travail sera donc modifiée mais dans des proportions relativement modeste. Il faudra notamment organiser la reconversion d'environ 80 000 postes dans les secteurs impactés négativement. Cette tâche ne devrait pas poser de grandes difficultés aux organismes de formation et aux administrations compétentes, sachant que la reconversion devrait s'opérer progressivement sur une durée longue de près de 40 ans et dans un marché en expansion, où les créations de postes excéderont très largement les pertes.

[10] Le taux de flexion est le rapport entre la variation du chômage et la variation de l'emploi. Ce rapport est inférieur à 1 car l'apparition d'une nouvelle offre d'emploi génère une recrudescence de la demande. Les personnes découragées ou non inscrites en tant que demandeur d'emploi (jeunes non indemnisés, femme au foyer, chômeur de longue durée etc) se manifestent à nouveau lorsque qu'elles jugent une offre attirante ou accessible.

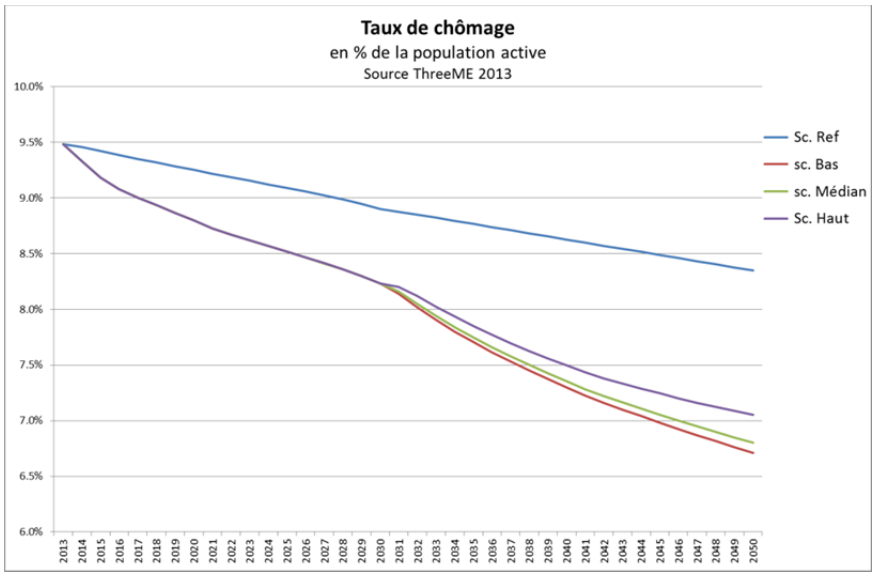

Figure 10

Les créations d'emplois sont d'autant plus importantes que la part du nucléaire dans le mix est faible puisque l'intensité en main d'œuvre des renouvelables est supérieure à celle des centrales nucléaires. Ceci explique pourquoi les gains de PIB sont légèrement supérieurs dans les scénarios bas et médian (le PIB est égal à l'ensemble des revenus distribués dans l'économie).

Une diminution du déficit de la balance commerciale

Dans un premier temps, le déficit de la balance commerciale s'accroît sous deux effets conjugués. D'abord, la hausse du prix de l'énergie (et notamment de l'électricité) provoque une augmentation des coûts unitaires de production des entreprises qui dégrade un peu leur compétitivité à l'extérieur. Ensuite, le regain des investissements dans les renouvelables favorise, dans un premier temps, les importations de biens d'équipements en provenance de l'extérieur, jusqu'à ce que les filières françaises se développent. En conséquence, le déficit se creuse d'un montant égal à 0.2% de PIB à court terme (Figure 11) puis il se rétracte grâce à la réduction des importations de gaz et de pétrole d'1 point de PIB. La France verrait aussi son indépendance, et donc sa sécurité énergétique renforcée.

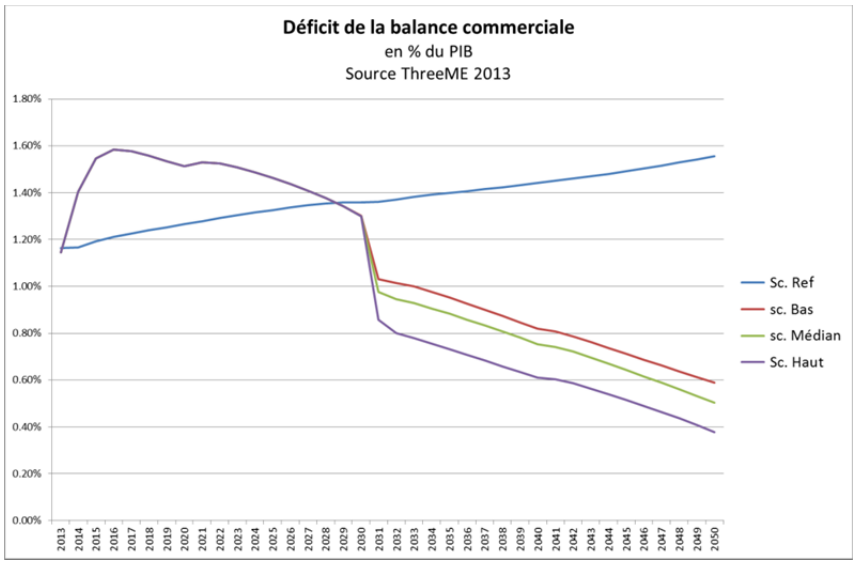

Figure 11

Le déficit de la balance commerciale diminue davantage dans le scénario haut puisque la propension à importer des biens d'équipements est plus faible dans le nucléaire que dans le secteur des renouvelables.

Les effets induits sur PIB

La hausse de l'investissement, de l'emploi et la réduction concomitante du déficit de la balance commerciale entraîne une augmentation du PIB. En définitive, le niveau de l'activité serait supérieur de 3 % par rapport au niveau qui serait le sien dans le scénario de référence.

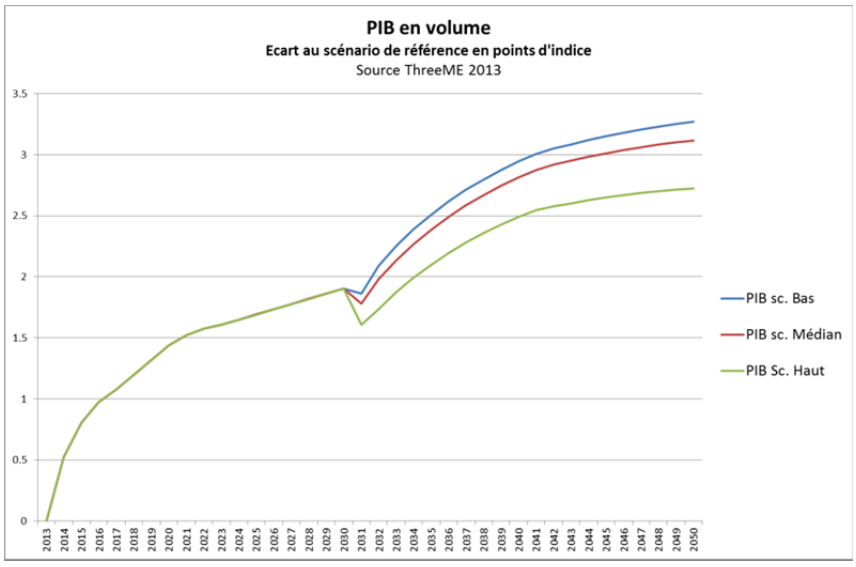

Figure 12

Les gains de PIB sont assez comparables d'un scénario à l'autre. Cela s'explique par :

- La diminution du poids du secteur de l'électricité dans le PIB.
- La relative convergence des prix du nucléaire et des renouvelables.

La légère contraction du gain constatée en 2030 résulte de l'instauration d'une taxe sur l'électricité. Pour une même cible de demande électrique, la contribution est d'autant plus forte que le prix de l'électricité est faible.

La valeur tutélaire du carbone

Le taux de la contribution énergie climat reflète la valeur d'un ensemble de mesures de natures différentes et pas seulement fiscales, qui peut être assimilé à un « signal prix » adressé aux agents.

Le taux de la taxe carbone est calibré de manière à atteindre les cibles de consommation de combustibles utilisés pour les besoins de transport et de chauffage définies dans le scénario de l'ADEME.

Elle atteint 50€ constants en 2020, 80€ en 2030 et 325€ en 2050 (Figure 13). L'évolution obtenue de cette « valeur tutélaire » du carbone est très comparable aux résultats de la commission Quinet[xxi] qui l'a définie en 2008. Les experts l'avaient estimée à 56€ en 2020, 100 € en 2030 et à un niveau compris entre 200€ et 350€/tCO_2 en 2050.

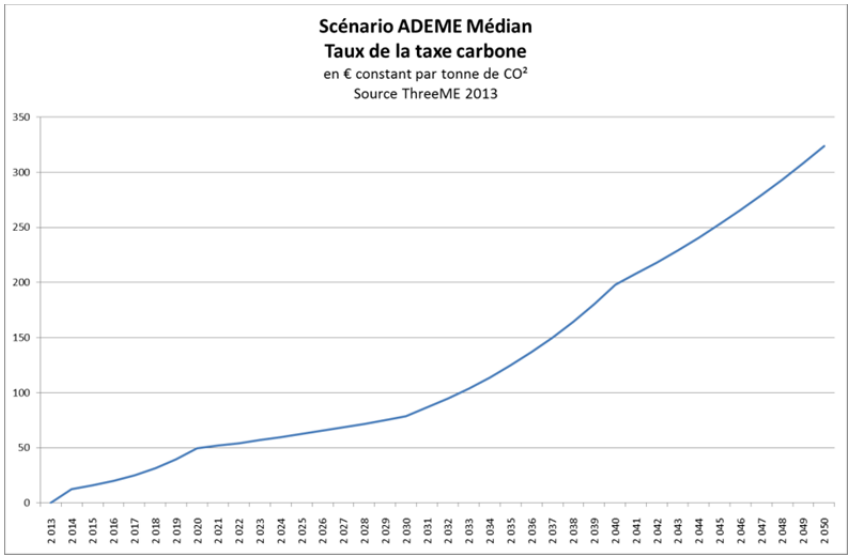

Figure 13

Un montant de 325€/tCO_2 peut sembler élevé à première vue. Pour mieux apprécier son importance, il faut le comparer avec le niveau de taxe qui pèse actuellement sur les carburants. Si l'on divise l'ensemble des recettes de taxe intérieure de consommation sur les produits pétroliers par les émissions de CO_2 générées par leur combustion, on constate que dès aujourd'hui, le taux implicite de taxe en euros par tonne de CO_2 s'élève à 243€/tCO_2 pour l'essence et à 157€ pour le diesel[xxii].

L'instauration d'une taxe carbone de 325€/tCO_2 reviendrait donc à tripler la TIPP sur le diesel en un demi-siècle ou presque. Plutôt que de payer 60c d'euros par litre, le consommateur aurait à payer deux euros par litre en 2050. Ce montant peut paraître faible dans l'hypothèse où, sur la même période, les recettes de la taxe seront entièrement redistribuées aux ménages ; que le revenu des

ménages aura doublé et que leur consommation de gaz naturel et de pétrole aura été divisé par un facteur 10. Ceci explique pourquoi leur facture diminuera malgré la hausse des taxes. A partir de 2020, l'effet volume l'emporte sur l'effet prix.

Si l'on ajoute aux recettes de la taxe carbone à proprement dite, les recettes prélevées sur l'électricité et la chaleur d'origine renouvelable, on obtient un taux de taxe d'environ 750€ par tonne équivalent pétrole. Le montant des taxes qui pèsent sur la chaleur représenterait ainsi 18% de son prix de vente en 2050 dans le scénario ADEME (figure 14).

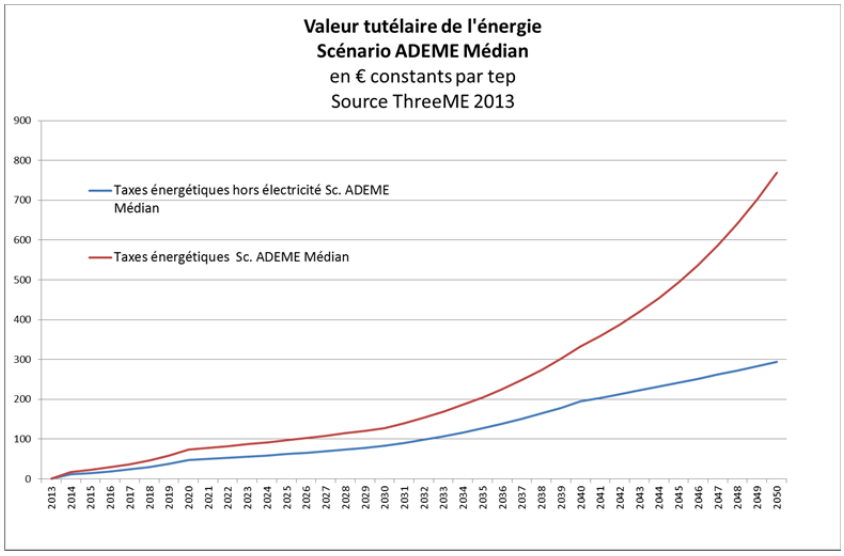

Figure 14

Les effets sur les finances publiques

La hausse de la fiscalité environnementale a une triple vertu : elle est incitative et exerce un effet d'entraînement positif sur l'économie, dans la mesure où l'essentiel des recettes sont redistribuées aux agents, elle permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre et enfin elle entraîne une réduction du ratio de la dette publique sur le PIB. Celui-ci diminue à la fois via une réduction du déficit, liée à l'augmentation du produit des taxes sur l'électricité et la chaleur, une diminution relative des dépenses, grâce à la résorption accélérée du chômage, mais aussi sous l'effet de l'augmentation accrue du revenu national.

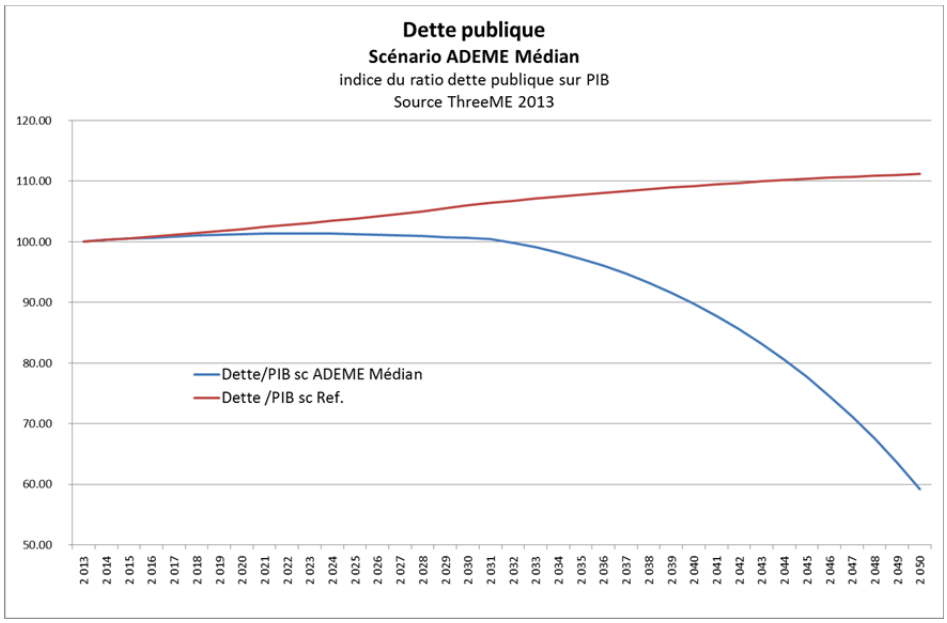

Figure 15 Base 100 en 2013

		2013	2014	2015	2020	2030	2040	2050
PIB en volume	(a)	0.00	0.5	0.8	1.4	1.9	2.8	3.1
Consommation	(a)	0.0	0.3	0.6	1.3	1.9	2.7	3.1
Investissement	(a)	0.0	3.7	4.9	5.6	5.9	6.6	7.3
Dépenses publiques	(a)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Exportations	(a)	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Importation	(a)	-0.1	0.8	1.1	0.8	0.4	-0.7	-0.7
Taux de chômage	(b)	0.0	-0.1	-0.2	-0.5	-0.7	-1.3	-1.5
Emploi	(a)	0.0	0.2	0.4	0.8	1.2	2.3	2.8
Déficit public	(c)	0.0	0.3	0.1	0.0	-0.5	-1.7	-3.9
Dette publique	(c)	0.0	0.0	-0.1	-0.6	-3.5	-12.4	-33.1
Déficit commercial	(c)	0.0	0.2	0.4	0.2	-0.1	-0.7	-1.1
PIB (indice)	(d)	113	116	119	131	158	190	229
Taux de la taxe carbone	(e)	0	13	16	50	79	198	324
Recette taxe carbone	(f)	0	4	5	14	18	30	32

Légende: écart par rapport au scénario de référence sauf pour (d); écart relatif pour (a);
(a) (b) en %; (c) en pourcentage du PIB; (d) indice = en 2006; (e) en Euros constants par tonne de CO2;
(f) en milliards d'Euros constants; (g) en millions; (h) en unité

Les résultats indiqués dans ce tableau sont relativement robustes. En effet, la modification des élasticités de substitution ou des élasticités prix de la demande, mentionnées plus haut, ne modifient presque pas l'écart en pourcentage entre les deux scénarios puisque ceux-ci sont affectés de la même manière. En niveau, on constate cependant une variation plus significative de la demande d'énergie. Toutefois elle n'excède jamais 7% de la cible de consommation d'énergie primaire fixée en 2050. Ce cas extrême se produit lorsque l'on réduit des deux tiers l'élasticité de substitution entre le travail et l'énergie.

Conclusion

La lutte contre le changement climatique entraîne un regain d'investissement, des créations d'emplois dans les filières vertes bien supérieures aux destructions de postes dans la branche des énergies fossiles et des filières énergivores et une nette contraction du déficit de la balance commerciale. A court et moyen terme, en dépit de la hausse des prix, elle débouche sur une augmentation de la demande qui rétroagit positivement sur l'offre, de sorte que le PIB est supérieur à ce qu'aurait été son niveau en 2050 dans le scénario de référence. Au bout du compte, la transition énergétique induit un gain équivalent aux revenus générés par deux années de croissance supplémentaires sur la période considérée, soit 3 points d'indice de PIB. La population active occupée augmenterait de 3%.

A terme, la somme cumulée des économies d'énergies et des suppléments de revenus induits (notamment via l'expansion de la masse salariale) couvre le principal de la dette et la charge d'intérêts liés au financement de la transition. Il y a création de valeur, comme l'atteste la hausse du revenu disponible des ménages, net du remboursement de leurs annuités et de leur facture énergétique. Le gain est donc durable.

Ce travail de modélisation montre que la transition énergétique n'est pas inéluctablement coûteuse, du seul fait de l'augmentation du prix de l'énergie à court et moyen terme. Par ailleurs, cela ne nuirait pas forcément au pouvoir d'achat des ménages et à la compétitivité des entreprises.

La décroissance de l'empreinte écologique et des émissions de gaz à effet de serre n'implique pas une diminution de l'activité économique. Un découplage PIB et émissions de CO_2 est possible Dès lors que l'on admet que la transition énergétique aura une incidence positive sur l'emploi, il est normal que le PIB, qui est égal à la somme des revenus distribués dans l'économie, soit plus élevé.

Le PIB n'est pas un indicateur de bien-être. Les pertes d'utilité (liées à la mobilité par exemple) ou les gains d'utilité (liés à la baisse du chômage involontaire par exemple) comme les externalités positives (réduction de la pollution, de la désertification des sols, des pertes de biodiversité et autres maux liés au réchauffement climatique) ou négatives, n'ont pas été monétarisées dans cet exercice. Par définition, les "externalités" ne donnent pas lieu à une transaction monétaire, elles ne sont donc pas (et ne doivent pas être) comptabilisées dans le PIB qui est un agrégat comptable qui n'enregistre que les échanges marchands. Un autre exercice devrait être mené pour évaluer et comptabiliser ces externalités dans un indicateur à créer.

.

[i] ADEME, « Contribution de l'ADEME à l'élaboration des visions énergétiques 2030-2050 », Rapport, juin 2013, 46p. http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?cid=96&m=3&id=85536&p1=02&p2=07&ref=17597

[ii] G. Callonnec, G. Landa, P. Maillet, F. Reynes, Y. Yeddir Tamsamani. *A full description of the Three-ME model: Multi-sector Macroeconomic Model for the Evaluation of Environmental and Energy policy*, OFCE, 2013. http://www.ofce.sciences-po.fr/pdf/documents/threeme/doc1.pdf

[iii] J. Robinson, "The Economics of Imperfect Competition, London: Mac Millan, 1933.
E.J. Chamberlain, The Theory of Monopolistic Competition, Cambridge, Mass.: Harvard University Press. 1933.

[iv] A. Okun, Prices and quantities: a macroeconomic Alnalysis, Oxford, Basil Blackwell. 1981.

[v] Reynès, F., 2010 "The Phillips curve as a more general model than the Wage Setting curve"
OFCE Working paper, n°28.

[vi] http://www.insee.fr/fr/themes/comptes-nationaux/default.asp?page=archives/archives_cnat_annu.htm

[vii] http://carlabelling.ademe.fr/

[viii] http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/donnees-densemble/1924/874/ensemble-comptes-transports.html

[ix] DGEMP, DIDEME, « Coûts de référence de la production électrique, Rapport, decembre 2003. 79 p.

[x] IN NUMERI, « Marchés, emplois et enjeu énergétique des activités liées à l'amélioration de l'efficacité énergétique et aux énergies renouvelables : situation 2008-2009_ perspectives 2010 ». Rapport ADEME, Octobre 2010, 379 p.

[xi] Cour des Comptes, « les coûts de la filière electronucléaire », Rapport Thématique, janvier 2012, 430 p.
http://www.ccomptes.fr/Publications/Publications/Les-couts-de-la-filiere-electro-nucleaire

[xii] Sénat, «Le coût réel de l'électricité afin d'en déterminer l'imputation aux différents agents économiques », Rapport du Sénat n°667, sous la présidence de L. Poniatowski, rap. J. Desessard, 11 juillet 2012, http://www.senat.fr/rap/r11-667-1/r11-667-11.pdf.

[xiii] L. Calvet, F. Marical, « Consommation de carburant : effet des prix à court et à long terme par type de population » Economie et Statistique, n° 446, 211, pp. 25-44.

[xiv] Gaël Callonnec, I. Sannié, « Evaluation of the economic and ecological effects of the French 'bonus malus' », paper 2273, ECEEE, june 2009. 9p.

[xv] Gaël Callonnec, « Effets des mesures d'efficacité énergétique dans le bâtiment », note ADEME/SEP, 07 mars 2011, 17p.

[xvi] Benoit Allibe, « Modélisation des consommations d'énergie du secteur résidentiel français à long terme », Thèse de doctorat soutenue le 26 novembre 2012, sous la direction de J.C. Hourcade, EHESS, CIRED. 361 p.

[xvii]OPEN, Observatoire Permanent de l'amélioration ENergétique du logement, «Analyse 2006 de l'offre et de la demande en matière d'efficacité énergétique dans les logements, Note de Synthèse », ADEME, BIIS et CAH, juillet 2008. 13 p.

[xviii] CEREN, « Effet des prix d el'énergie sur la structure des installations, les comportements et sur les consommations » ; étude 7104, Octobre 2008, 78 P.
[xix] http://www.worldenergyoutlook.org/publications/weo-2013/

[xx] Décision du Conseil constitutionnel du 29 décembre 2009 (2009-599 DC art 7, paragraphe 77 et suivant)
[xxi] Centre d'Analyse Stratégique, « La valeur tutélaire du carbone » (rapport Quinet), ed. La Documentation française, 2009, 422 p

[xxii] Gaël Callonnec, Matthieu Orphelin, et al. « Eléments d'analyse sur la Contribution Climat Energie. Synthèse des études de l'ADEME et du MEEDDAT », Rapport ADEME, 26 juin 2009, 193 p.

L'ADEME en bref

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'Agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en oeuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

L'ADEME est un établissement public sous tutelle du ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie et du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

ADEME
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

ADEME
20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

www.ademe.fr