



No 46-2013

**L'effet net sur l'emploi de la transition
énergétique en France :**
Une analyse *input-output* du scénario négaWatt

Philippe Quirion

April 2013

[CIRE D Working Papers Series](#)

C.I.R.E.D.

Centre International de Recherches sur l'Environnement et le Développement

ENPC & CNRS (UMR 8568) / EHESS / AGROPARISTECH

/ CIRAD / MÉTÉO FRANCE

45 bis, avenue de la Belle Gabrielle

F-94736 Nogent sur Marne CEDEX

Tel : (33) 1 43 94 73 73 / Fax : (33) 1 43 94 73 70

www.centre-cired.fr

*L'effet net sur l'emploi de la transition énergétique en France :
Une analyse input-output du scénario négaWatt*

Résumé

Nous étudions l'impact sur l'emploi en France de la mise en œuvre du scénario de transition énergétique construit par l'Association négaWatt (2011), qui prévoit un développement massif des économies d'énergie (par le biais de mesures de sobriété et d'efficacité énergétiques) et des énergies renouvelables entre 2012 et 2050. Par rapport à 2010, ce scénario aboutit à une division par deux des émissions de CO₂ d'origine énergétique en France en 2030 et à une division par 16 en 2050, sans capture-stockage du CO₂, sans mise en œuvre de nouvelle centrale nucléaire et en fermant les centrales existantes au bout de 40 ans d'exploitation au maximum. Nous calculons l'effet sur l'emploi de la mise en œuvre de ce scénario en comparaison avec un scénario tendanciel qui prolonge les évolutions récentes et prend en compte les politiques déjà décidées. La méthode retenue pour calculer l'effet sur l'emploi de chaque scénario consiste à calculer le coût des principales options techniques et organisationnelles retenues, à ventiler ces coûts entre les 118 branches de l'économie française et à multiplier ces coûts par le contenu en emploi de chaque branche. Ce dernier élément est estimé par une analyse *input-output*, ce qui permet de comptabiliser les emplois générés par la production de l'ensemble des consommations intermédiaires. L'un des deux scénarios étant plus coûteux que l'autre, il faut prendre en compte l'effet négatif sur l'emploi du financement de ce surcoût. Pour cela, on fait l'hypothèse que ce surcoût est supporté par les ménages et que ces derniers diminuent en conséquence leur consommation du même montant et de manière homothétique. Ainsi, on évite de biaiser les résultats en faveur du scénario le plus coûteux. La mise en œuvre du scénario négaWatt aboutit à un effet positif sur l'emploi, de l'ordre de +240 000 emplois équivalent temps-plein en 2020 et 630 000 en 2030. Nous étudions la sensibilité des résultats aux hypothèses sur les prix de l'énergie importée, l'évolution de la productivité du travail, la répartition du coût entre ménages et administrations publiques, et enfin l'arbitrage consommation-épargne. L'effet sur l'emploi reste largement positif dans tous les cas.

Mots-clés: Emploi; politique climatique; transition énergétique; input-output; tableau entrées-sorties

*The net employment impact of energy transition in France:
An input-output analysis of the "negaWatt" scenario*

Summary

We study the impact on employment in France of the implementation of the energy transition scenario built by négaWatt (2011), which provides a massive development of energy savings (through measures of sufficiency and energy efficiency) and renewable energy between 2012 and 2050. Compared to 2010, this scenario results in a halving of CO₂ emissions from energy sources in France in 2030 and a division by 16 in 2050, without capture and storage of CO₂, without implementation of new nuclear power plant and closing existing plants after 40 years of operation at maximum. We calculate the effect on employment of the implementation of this scenario compared to a baseline scenario that extends recent developments and considers the policies already decided. The method used to calculate the effect on employment of each scenario is to calculate the cost of the main technical and organizational options used, to allocate these costs among the 118 branches of the French economy and multiply these costs by the employment content of each branch. The latter is estimated by input-output analysis, which enables the recording of jobs generated by the production of all inputs. One of two scenarios being more expensive than the other, one must take into account the negative effect on employment of funding such costs. For this, it is assumed that this additional cost is borne by households and that they decrease their consumption accordingly by the same amount. This avoids biasing the results in favour of the most expensive scenario. The implementation of négaWatt scenario leads to a positive effect on employment, on the order of 240 000 full-time equivalent jobs in 2020 and 630,000 in 2030. We study the sensitivity of results to assumptions on prices of imported energy, the evolution of labour productivity, the distribution of costs between households and governments, and finally the consumption-savings decision. The effect on employment is largely positive in all cases.

Keywords: Employment; jobs; climate policy; energy transition; input-output table.

L'effet net sur l'emploi de la transition énergétique en France :

Une analyse *input-output* du scénario négaWatt

Philippe Quirion¹

CIREC

29 mars 2013

Résumé

Nous étudions l'impact sur l'emploi en France de la mise en œuvre du scénario de transition énergétique construit par l'Association négaWatt (2011), qui prévoit un développement massif des économies d'énergie (par le biais de mesures de sobriété et d'efficacité énergétiques) et des énergies renouvelables entre 2012 et 2050. Par rapport à 2010, ce scénario aboutit à une division par deux des émissions de CO₂ d'origine énergétique en France en 2030 et à une division par 16 en 2050, sans capture-stockage du CO₂, sans mise en œuvre de nouvelle centrale nucléaire et en fermant les centrales existantes au bout de 40 ans d'exploitation au maximum. Nous calculons l'effet sur l'emploi de la mise en œuvre de ce scénario en comparaison avec un scénario tendanciel qui prolonge les évolutions récentes et prend en compte les politiques déjà décidées. La méthode retenue pour calculer l'effet sur l'emploi de chaque scénario consiste à calculer le coût des principales options techniques et organisationnelles retenues, à ventiler ces coûts entre les 118 branches de l'économie française et à multiplier ces coûts par le contenu en emploi de chaque branche. Ce dernier élément est estimé par une analyse *input-output*, ce qui permet de comptabiliser les emplois générés par la production de l'ensemble des consommations intermédiaires. L'un des deux scénarios étant plus coûteux que l'autre, il faut prendre en compte l'effet négatif sur l'emploi du financement de ce surcoût. Pour cela, on fait l'hypothèse que ce surcoût est supporté par les ménages et que ces derniers diminuent en conséquence leur consommation du même montant et de manière homothétique. Ainsi, on évite de biaiser les résultats en faveur du scénario le plus coûteux. La mise en œuvre du scénario négaWatt aboutit à un effet positif sur l'emploi, de l'ordre de +240 000 emplois équivalent temps-plein en 2020 et 630 000 en 2030. Nous étudions la sensibilité des résultats aux hypothèses sur les prix de l'énergie importée, l'évolution de la productivité du travail, la répartition du coût entre ménages et administrations publiques, et enfin l'arbitrage consommation-épargne. L'effet sur l'emploi reste largement positif dans tous les cas.

Mots-clés

Emploi ; politique climatique ; transition énergétique ; input-output ; tableau entrées-sorties

¹ Chargé de recherches au CNRS, Centre international de recherches sur l'environnement et le développement (CIREC).
Email : quirion@centre-cired.fr ; Site web : <http://www.centre-cired.fr/spip.php?article604> ;
Page Google Scholar : <http://scholar.google.fr/citations?hl=fr&user=BN9i2acAAAAJ>

INTRODUCTION	7
1. TOUR D'HORIZON DES ÉTUDES EXISTANTES	8
1.1. La création d'emplois liée aux politiques climatiques	9
1.2. Les études de contenu en emploi	10
1.3. Les modèles macroéconomiques et d'équilibre général.....	11
2. MÉTHODE, DONNÉES ET HYPOTHÈSES	12
2.1. Méthode.....	12
2.2. Données	16
2.2.1. Le scénario négaWatt	16
2.2.2. L'étude d'In Numeri pour l'Ademe.....	17
2.2.3. La comptabilité nationale	18
3. RÉSULTATS	19
3.1. Effet net agrégé sur l'emploi.....	19
3.2. Zooms sectoriels	21
3.2.1. Energies renouvelables	22
3.2.2. Bâtiment	22
3.2.3. Transports.....	23
3.2.4. Energies non renouvelables et réseaux d'énergie.....	25
4. ANALYSE DE SENSIBILITÉ	26
4.1. Présentation des variantes.....	26
4.1.1. Le prix des énergies fossiles importées	26
4.1.2. Le taux de progression de la productivité du travail.....	27
4.1.3. La répartition de l'effet induit entre la consommation des ménages et les autres éléments de la demande finale	28
4.1.4. Arbitrage consommation-épargne	28
4.2. Résultats des analyses de sensibilité.....	28
CONCLUSIONS.....	30
RÉFÉRENCES	33
ANNEXE. HYPOTHÈSES ET RÉSULTATS COMPLÉMENTAIRES.....	37

Introduction²

Suite à l'élection de François Hollande à la présidence de la République en mai 2012, la France a lancé un « débat national sur la transition énergétique » dont les recommandations serviront de base à une future loi de programmation pour la transition énergétique, prévue pour fin 2013. Du fait du niveau historiquement élevé du taux de chômage, la politique énergétique est, à tort ou à raison, jugée en partie en fonction de son impact sur l'emploi. Ainsi Henri Proglio, PDG d'EDF, a-t-il déclaré qu'en cas de sortie du nucléaire en France, « un million d'emplois seraient mis en péril³ », sur la base d'estimations pour le moins contestables (Quirion, 2012). Inversement, les partisans d'une sortie du nucléaire mettent en avant les créations d'emplois que ces politiques permettraient (Greenpeace International et al., 2012). Une partie de la divergence des résultats provient des différences dans le périmètre considéré : comme toute politique sectorielle, une politique énergétique crée nécessairement des emplois dans certaines activités et en détruit dans d'autres. Pour calculer l'effet net sur l'emploi, il est donc nécessaire de prendre en compte à la fois les créations et les destructions d'emplois, ce que nous faisons ici dans le cas de la France. De plus, pour calculer cet effet net, on ne peut se contenter de comparer les ratios « nombre d'emplois par énergie produite » ou « nombre d'emplois par unité de service énergétique produit » de différentes options, comme cela est souvent pratiqué (cf. par exemple Wei et al., 2010). En effet, comme le souligne Huntington (2009), les options techniques et organisationnelles les plus coûteuses créent typiquement plus d'emplois par unité d'énergie que les autres, mais leur surcoût sera forcément payé par des agents économiques qui réduiront en contrepartie d'autres dépenses, d'où une baisse de l'activité et un effet « induit » négatif sur l'emploi.

Différentes méthodes ont été utilisées pour étudier l'effet sur l'emploi des politiques énergétiques ou environnementales. Comme le montrent Berck et Hoffmann (2002), Finon et Pacudan (1996) ou Quirion (1999), un arbitrage est nécessaire entre la finesse dans la représentation des techniques mobilisées et la richesse des mécanismes économiques pris en compte. Notre approche combine une représentation fine des techniques mobilisées et la prise en compte des effets indirects et induits sur l'emploi, à travers l'utilisation d'un tableau entrées-sorties⁴ au niveau le plus désagrégé disponible pour la France (118 branches).

Parmi les quelques scénarios de transition énergétique élaborés pour la France ces dernières années, dont la plupart sont comparés par Mathy et al. (2011)⁵, nous avons retenu le scénario

² Ce travail a bénéficié d'une subvention de la Mission Interdisciplinarité du CNRS (Projets exploratoires premier soutien – Conséquences sociales et économiques des Nouvelles Technologies de l'Énergie), que nous remercions vivement. L'auteur est seul responsable des opinions et des éventuelles erreurs contenues dans ce texte.

³ "Sortie du nucléaire : «Un million d'emplois mis en péril», selon le PDG d'EDF". *Le Parisien*, 8 novembre 2011. <http://www.leparisien.fr/economie/sortie-du-nucleaire-un-million-d-emplois-mis-en-peril-selon-le-pdg-d-edf-08-11-2011-1709010.php>

⁴ En anglais *input-output table*, d'où le nom d'étude *input-output*.

⁵ A l'exception notable du scénario de l'Ademe (2012b), sorti ultérieurement.

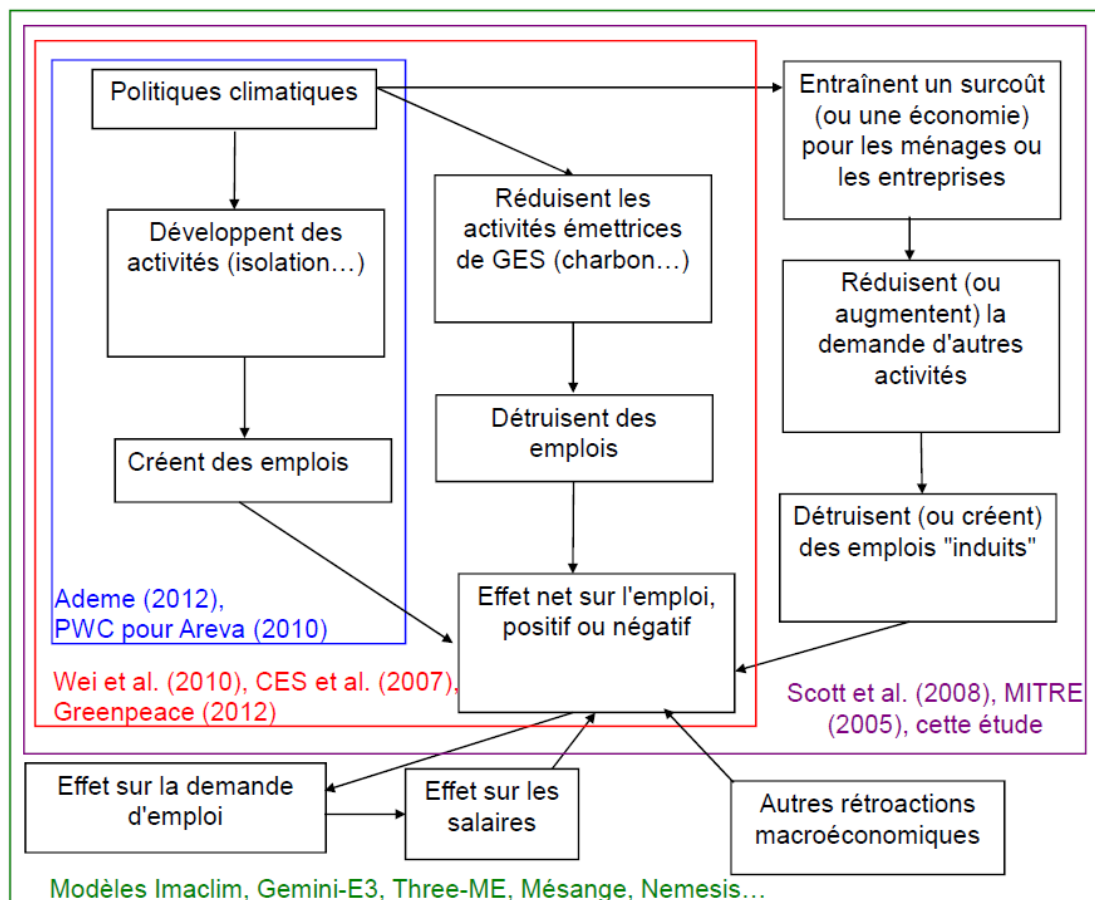
négaWatt, qui se prête bien à l'exercice car il offre une cohérence des flux énergétiques, un niveau élevé de détail sectoriel, l'explicitation des principaux déterminants physiques de la consommation d'énergie (surfaces chauffées, nombre de voyageurs.km...) et un pas de temps annuel.

La première partie de cette étude présente un tour d'horizon des études consacrées à l'impact sur l'emploi des politiques énergétiques et situe le présent article parmi ces études. La deuxième expose en détail la méthode retenue dans notre évaluation quantitative, dont les résultats sont présentés dans une troisième partie, elle-même suivie d'une analyse de sensibilité en quatrième partie, puis d'une conclusion. Une annexe détaille les hypothèses et présente des résultats complémentaires.

1. Tour d'horizon des études existantes

Les politiques énergétiques, comme toutes les politiques publiques, créent des emplois dans certains secteurs et en détruisent dans d'autres. Ces créations et destructions d'emplois passent par différents mécanismes, dont les principaux sont décrits dans la Figure 1.

Figure 1. Principaux mécanismes de créations et destructions d'emplois



Cette première partie présente les différents types d'études consacrées aux effets sur l'emploi des politiques énergétiques et climatiques. Les travaux passés en revue sont de nature très diverse. Certains, que nous présentons dans la partie 1.1, quantifient les emplois créés mais pas ceux détruits, donc ne visent pas à quantifier un effet net. Les études présentées dans les deux parties suivantes visent au contraire à calculer les effets nets sur l'emploi et prennent donc en compte aussi bien les créations que les destructions d'emplois. Cette dernière catégorie de travaux comprend les études de contenu en emploi (1.2) et les modèles macroéconomiques ou d'équilibre général (1.3).

1.1. La création d'emplois liée aux politiques climatiques

Dans la plupart des pays développés, des tentatives ont été faites pour calculer le nombre d'emplois générés par les activités de protection de l'environnement, les énergies renouvelables, l'efficacité énergétique, etc. Ces travaux, représentés par le filet bleu dans la figure 1, permettent d'analyser de manière très fine les activités étudiées. Parmi les nombreuses études de ce type, dans le champ de l'énergie, deux ont porté sur la France au cours des dernières années.

- ⇒ L'étude réalisée par PricewaterhouseCoopers (PWC, 2010) pour Areva quantifie les emplois dans la filière électronucléaire en 2009. Elle aboutit à 125 000 emplois directs (définis comme « spécifiquement dédiés à l'électronucléaire »), 114 000 emplois indirects (définis comme « soutenus par les commandes des entreprises fournisseurs en dehors de la filière ») et 171 000 emplois dits « induits » (définis comme « alimentés par les dépenses des employés, directs et indirects »). Soulignons que cette définition des « emplois induits » ne correspond en rien à l'effet « induit » sur l'emploi retenu dans la présente étude⁶.
- ⇒ L'étude réalisée par le bureau d'étude In Numeri pour l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe, 2012) quantifie les emplois directs créés dans les énergies renouvelables et les économies d'énergie en France entre 2006 et 2010. Elle effectue également des estimations pour 2011 et 2012. Pour 2010, cette étude estime à 309 000 équivalent temps plein les emplois créés, dont 126 000 dans l'amélioration de l'efficacité énergétique du secteur résidentiel, 78 000 dans les transports en commun et l'amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules et 106 000 dans les énergies renouvelables.

Bien que partielles, ces études sont riches d'enseignements. Ainsi, le chiffre de 125 000 emplois directs dans l'électronucléaire en 2009 est inférieur à celui calculé pour l'année 1982 (165 000 selon Donnadieu, 1984) alors que selon l'étude Ademe (2012), les emplois directs dans les énergies renouvelables et les économies d'énergie ont cru chaque année entre 2006 et 2010, avant de se stabiliser en 2011 et 2012.

⁶ Comme nous le verrons dans la troisième partie, nous raisonnons à dépense constante entre les scénarios ; aussi, les emplois « alimentés par les dépenses des employés » sont égaux entre les scénarios et donc négligés.

Par ailleurs, le nombre d'emplois directs est très proche dans l'électronucléaire et dans les renouvelables. En effet, les 125 000 emplois directs actuellement en France dans l'électronucléaire selon PWC correspondent à 118 000 emplois équivalent temps plein (ETP)⁷, soit seulement 11% de plus que les 106 000 emplois directs dans les renouvelables⁸.

1.2. Les études de contenu en emploi

Tandis que les études précédentes quantifient les emplois créés mais pas ceux détruits, les études de contenu en emploi n'ont pas cette limite. Elles calculent et comparent, pour diverses options techniques et organisationnelles, le contenu en emploi, notion qui revêt cependant un sens différent selon les études.

Certaines retiennent le nombre d'emplois par unité énergétique. Elles opèrent généralement cette quantification pour différentes techniques de production d'énergie et/ou pour différentes options permettant d'améliorer l'efficacité énergétique. Le filet rouge dans la figure 1 indique les mécanismes économiques pris en compte dans ces travaux.

L'étude réalisée pour la Confédération Européenne des Syndicats (CES et al., 2007) en constitue un exemple récent. Elle conclut que des politiques ambitieuses de réduction des émissions "*apportent une contribution positive à l'emploi global, car les activités économiques qu'il faudrait développer (isolation, énergies renouvelables, transports en commun...) ont un contenu en emploi beaucoup plus fort que celles dont il faudrait réduire le volume, c'est-à-dire avant tout la production d'énergies non renouvelables et les transports individuels*". "*Comparé au scénario tendanciel, le gain net global d'emplois sur le périmètre des secteurs couverts par l'étude⁹ serait de l'ordre de 1,5 %.*" (CES et al., 2008, p. 176).

Wei et al. (2010) synthétisent les études qui utilisent cette même méthode pour les Etats-Unis et aboutissent également à des résultats très positifs. Enfin, Rutovitz et Harris, de l'Université technologique de Sydney, l'ont appliqué pour les différentes régions du monde en calculant l'emploi dans le secteur énergétique dans un scénario de transition énergétique nommé *Energy [R]evolution* (Greenpeace International et al., 2012) et dans un scénario de référence. Pour la zone « Europe OCDE », le premier génère 600 000 emplois en plus en 2015 et en 2020, et 400 000 en plus en 2030.

Comme nous l'avons déjà mentionné dans l'introduction, la faiblesse de ces études est de présenter un biais en faveur des options techniques et organisationnelles les plus coûteuses : si une option coûte dix fois plus cher qu'une autre pour produire (ou éviter de consommer) un GWh, il est très probable qu'elle va créer plus d'emplois par GWh, car les salaires comptent

⁷ En France pour la dernière année disponible, le ratio est de 0,94 ETP pour un emploi, que ce soit pour l'ensemble de l'économie ou pour la branche « Production et distribution d'électricité, de gaz, de vapeur et d'air conditionné » (INSEE, 2012).

⁸ Soulignons que ce chiffre ne concerne pas que les énergies renouvelables destinées à produire de l'électricité, mais aussi celles qui fournissent de la chaleur et de la mobilité.

⁹ Il s'agit des secteurs suivants : transport, production d'électricité, industries intensives en énergie, bâtiment / construction.

pour environ deux tiers de la valeur ajoutée en France (Cotis, 2009). Or, des agents économiques (ménages, entreprises, administrations publiques...) vont nécessairement payer pour ce surcoût et vont par conséquent réduire d'autres consommations, d'où un effet induit négatif sur l'emploi¹⁰. Rien ne dit *a priori* que l'effet net sera toujours positif une fois cet effet induit pris en compte.

D'autres études (dont celle présentée dans ce document) s'affranchissent de ce biais en comparant le coût des différentes options et en estimant les emplois détruits par le financement des dépenses supplémentaires (filet violet dans la figure 1). La prise en compte de cet « effet revenu » nécessite de faire certaines hypothèses complémentaires : quels acteurs économiques vont supporter le surcoût, comment vont-ils modifier leur épargne et leur consommation en réponse à ce surcoût... Cette méthode nécessite aussi plus d'information, puisqu'il devient nécessaire de connaître, en plus des emplois générés par les technologies étudiées, le coût de ces dernières.

De nombreux travaux de ce type ont été menés, principalement en Amérique du Nord et en Europe. Mentionnons en particulier l'étude de Scott et al. (2008) sur l'impact des programmes d'efficacité énergétique aux Etats-Unis ainsi que l'étude MITRE sur le développement des énergies renouvelables en Europe (ESD et al., 2005). Toutes deux concluent à un impact net positif sur l'emploi, le contenu en emploi des dépenses d'efficacité énergétique et des énergies renouvelables étant supérieur à celui des dépenses que ces politiques réduisent, parmi lesquelles les filières des énergies non renouvelables.

1.3. Les modèles macroéconomiques et d'équilibre général

La principale limite des études de contenu en emploi présentées ci-dessus est de négliger les rétroactions macroéconomiques. Par exemple, en particulier si l'économie est proche du plein emploi, une politique qui accroît la demande de travail va pousser à la hausse les salaires, ce qui en retour pourra diminuer l'emploi ailleurs dans l'économie si les entreprises françaises perdent des parts de marché et/ou substituent du capital au travail. Autre exemple, si cette politique améliore la balance commerciale (en diminuant les importations de combustibles fossiles), certains mécanismes (en particulier les taux de change) peuvent ramener cette balance vers l'équilibre, réduisant les exportations ou augmentant les importations ; d'où, là encore, une réduction de l'effet initial positif sur l'emploi. Enfin, comme nous l'avons déjà mentionné, il est possible que les dépenses des ménages augmentent, d'où un effet keynésien qui renforce l'effet initial positif sur l'emploi. Les deux premiers exemples constituent des rétroactions négatives, la dernière une rétroaction positive.

Incorporer ces rétroactions impose de recourir à un modèle macroéconomique ou d'équilibre général (filet vert de la figure 1). Cette richesse se paye cependant d'une perte de finesse dans

¹⁰ Il est cependant possible que les dépenses des ménages augmentent, par exemple s'ils s'endettent auprès des banques pour réaliser des travaux de rénovation thermique de leurs logements, d'où une création monétaire. Nous n'incluons pas dans cette analyse de tels effets « keynésiens », présents dans les modèles macroéconomiques, mais nous les discutons dans la partie 1.3.

l'analyse des options techniques mobilisées par les politiques climatiques. Dans ces modèles, en effet, le secteur productif est représenté par une quinzaine de secteurs au maximum, contre 118 dans l'analyse présentée dans ce rapport. De plus, la complexité de ces modèles empêche les parties prenantes de comprendre l'ensemble des mécanismes en jeu.

Par ailleurs, il n'est pas absurde de supposer que les rétroactions macroéconomiques mentionnées ci-dessus ne jouent que faiblement. En particulier, il est peu probable que la hausse de l'emploi pousse significativement les salaires à la hausse dans le contexte de chômage massif que connaissent la France et l'Europe, contexte qui justifie l'analyse des politiques climatiques sous l'angle de leur impact sur l'emploi. A l'inverse, si l'économie était proche du plein emploi, une hausse de la demande de travail entraînerait forcément une augmentation significative des salaires. Cependant, étudier les politiques énergétique (et les politiques sectorielles en général) sous l'angle de leur impact sur l'emploi n'a de toute manière d'intérêt qu'en situation de chômage élevé. Par ailleurs, la France effectue la majorité de son commerce international avec les pays de la zone euro, ce qui limite fortement l'ajustement de la balance extérieure par les taux de change.

Enfin, les modèles macroéconomiques utilisés récemment pour évaluer les politiques climatiques¹¹ concluent à impact positif sur l'emploi, ce qui s'explique principalement par la substitution entre le travail et les autres facteurs de production, soit au sein de chaque branche, soit entre les branches. Autrement dit, cet effet positif sur l'emploi est principalement dû aux mêmes mécanismes que ceux présents dans les études de contenu en emploi décrits dans la partie précédente.

Pour toutes ces raisons, nous utilisons la méthode des études de contenu en emploi, dans sa seconde variante : nous mesurons le contenu en emploi en emplois par million d'euro dépensé.

2. Méthode, données et hypothèses

2.1. Méthode

La méthode retenue dans cette étude relève des études de contenu en emploi présentées dans la partie 1.2 ci-dessus. Elle reprend, en l'actualisant, le principe du modèle AVATAR construit à l'INSEE (Riffard, 1983) et du modèle DEFI élaboré par la Direction de la Prévision (aujourd'hui DG Trésor) du ministère des Finances (Péronnet et Rocherieux, 1983).

¹¹ Parmi les modèles macroéconomiques ou d'équilibre général de l'économie française, au moins cinq ont été récemment utilisés pour simuler une taxe sur les émissions de CO₂ ou la consommation d'énergie, dont les recettes seraient recyclées (au moins partiellement) sous la forme d'une baisse des cotisations sociales : GEMINI-E3-EMU (Bernard, 2007), IMACLIM-S (Combet et al., 2010), IMACLIM-R (Bibas et al., 2012), MESANGE (Klein et Simon, 2010) et THREE-ME (Callonnec et al., 2011). Tous ces modèles concluent à un effet net sur l'emploi positif. Il en est de même des modèles européens GEM-E3 (Kouvaritakis et al., 2002) et NEMESIS (Boitier et al., 2011).

Nous calculons un effet net sur l'emploi en France (les emplois créés et détruits à l'étranger ne sont pas comptabilisés), en appliquant la méthode suivante :

1. Pour les deux scénarios, le négaWatt et le tendancier¹², et pour chaque activité (construction de parc éoliens, maintenance de ces parcs, construction de nouvelles centrales nucléaires, construction d'infrastructures routières et ferroviaires, transport ferroviaire ou routier de voyageurs...), les indicateurs physiques (énergie produite, capacités installées dans l'année, trafic en nombre de voyageurs-km ou de véhicules-km...) sont extraits des tableaux de calcul des deux scénarios ou d'autres sources comme les Comptes des transports (ministère de l'Ecologie, 2012). Dans ce dernier cas, des hypothèses sont nécessaires pour passer des variables présentes dans le scénario négaWatt à celles des Comptes des transports, par exemple pour passer d'un nombre de véhicules-km en voiture à un nombre de voitures immatriculées. Ces hypothèses sont présentées en annexe.
2. Pour chaque activité, et pour chacune des années considérées, un coût unitaire est calculé (en euros par watt d'éolien installé, par tonne-kilomètre transportée...). La méthode retenue pour calculer ce coût unitaire varie selon l'activité, en fonction des sources disponibles. Le tableau A.1 en annexe synthétise les principales sources retenues. Sauf pour le solaire photovoltaïque et pour les centrales de type EPR¹³, nous supposons une stabilité du coût unitaire au cours du temps, ce qui revient à supposer que les gains de productivité sont identiques dans chaque secteur et que ces gains entraînent une hausse de la rémunération des facteurs de production dans la même proportion. Bien sûr, ces hypothèses sont contestables, mais elles ont l'avantage d'être simples et transparentes, et d'éviter le soupçon d'avoir été choisies de manière *ad hoc* pour chaque activité.
3. Ce coût unitaire est multiplié par l'activité de manière à calculer une demande monétaire, puis cette dernière est répartie dans une ou plusieurs des 118 branches de la Nomenclature économique de synthèse (NES) niveau 3¹⁴, sur la base d'expertises technico-économiques (tableau A.1 en annexe).
4. Pour chacune des 118 branches, nous calculons le contenu en emploi, c'est-à-dire le nombre d'emploi (équivalent temps plein) créé en France par million d'euros de demande finale. Soit N le vecteur de l'emploi intérieur par branche, Y le vecteur de la production

¹² Le scénario tendancier, également construit par l'association négaWatt (2011) vise à décrire ce qui se passerait en cas de poursuite des politiques existantes (le *business-as-usual*). Chaque variable du scénario négaWatt existe aussi dans le tendancier.

¹³ Le solaire photovoltaïque a connu une baisse des prix très rapide au cours des dernières années. Aussi, pour l'estimation des coûts jusqu'en 2020, nous retenons une estimation de l'association des professionnels du secteur en Europe (EPIA, 2012) et nous supposons ensuite une stabilité des coûts unitaires, comme pour les autres activités. Pour l'EPR, cf. Annexe.

¹⁴ http://www.insee.fr/fr/methodes/nomenclatures/nes2003/xls/nes2003_n1-3.xls (consulté le 14/12/2012). Pour être précis, dans le TES en 118 branches, certains branches de la NES niveau 3, qui en compte 114, sont subdivisées.

par branche, A la matrice des coefficients techniques tirée du TES¹⁵ et I la matrice identité. Nous calculons w , le vecteur des contenus en emploi direct et indirect par branche (en emplois équivalent temps plein par million d'euro de demande finale), par la formule suivante (cf. par exemple Husson, 1994) : $w = (I - A)^{-1} \cdot N / Y$. Cette méthode permet de prendre en compte, non seulement les emplois directs (par exemple, les emplois dans la branche automobile créés par l'achat d'un million d'euros d'automobiles) mais aussi toute la chaîne des emplois indirects (les emplois chez les équipementiers, chez les fournisseurs des équipementiers, chez les fournisseurs des fournisseurs, etc.), en se limitant aux emplois situés en France. Nous supposons une hausse de la productivité du travail et donc une baisse du contenu en emploi de 0,75% par an dans chacune de ces activités entre 2005 et 2030. Ce paramètre (qui fait l'objet d'une analyse de sensibilité) correspond au gain annuel moyen de productivité horaire du travail en France depuis 2005¹⁶.

5. Pour chaque activité et scénario, nous multiplions la demande monétaire adressée à chaque branche par le contenu en emploi de celle-ci. Cela permet de calculer, pour une année, une activité et un scénario, un **effet brut** sur l'emploi.
6. Pour chaque activité considérée, l'un des deux scénarios est plus coûteux que l'autre. Par exemple, les dépenses en éolien sont supérieures dans le scénario négaWatt mais les dépenses en fret routier supérieures dans le tendanciel. Aussi, on calcule le contenu en emploi moyen de la consommation des ménages et on suppose que le surcoût est payé par les ménages (en tant que contribuables, consommateurs ou actionnaires, peu importe), et que ces derniers réagissent à ce surcoût en réduisant leur consommation du même montant, et ce de manière homothétique à leur vecteur de consommation initial¹⁷. On calcule ainsi un effet "induit" sur l'emploi. Par rapport au scénario tendanciel, le scénario négaWatt entraîne à la fois des dépenses supplémentaires (énergies renouvelables, isolation, transports en commun...) et des économies (d'énergie en particulier). Si les premières sont plus élevées que les secondes, ce surcoût va entraîner une baisse de l'activité dans le reste de l'économie et donc des destructions d'emplois "induites". Dans le cas contraire, il y aura une économie globale et des créations d'emplois "induites". L'addition de l'**effet brut** et de cet **effet induit** donne un **effet net** sur l'emploi.
7. Pour les trois branches qui fournissent les énergies fossiles (pétrole, gaz et charbon), le contenu en emploi est très sensible au prix d'importation de ces énergies. Par exemple, en cas de hausse du prix du brut, le nombre d'emplois dans la filière « produits pétroliers » va rester fixe par litre de carburant vendu (en première approximation) mais diminuer par euro dépensé puisque la hausse sera répercutée à la pompe. Nous prenons en compte ce mécanisme en supposant que l'emploi ainsi que les marges de raffinage et de distribution

¹⁵ Cette matrice indique, pour chaque couple de branches i, j , le rapport entre la consommation intermédiaire de produit i par la branche j et la production de la branche j .

¹⁶ http://insee.fr/fr/themes/comptes-nationaux/tableau.asp?sous_theme=5.2.2&xml=t_6215 (consulté le 14/12/2012).

¹⁷ Sur ce point, nous présentons deux analyses de sensibilité dans la partie 4.

restent fixes mais que le montant des importations augmente proportionnellement à la hausse des énergies fossiles, d'où une baisse du contenu en emploi de ces trois branches. Pour le prix futur des énergies fossiles, dans la variante centrale, nous retenons les trajectoires du *World Energy Outlook 2012*, plus précisément le scénario *Current Policies* (Agence internationale de l'énergie, 2012). La partie 4 fournit une étude de sensibilité sur ce point et la Figure 8 présente l'évolution des prix des énergies fossiles.

Comme toutes les études *input-output*, celle-ci repose sur une série d'hypothèses discutables, comme toutes les hypothèses, mais qui présentent l'avantage d'être classiques (elles n'ont pas été choisies à dessein pour obtenir certains résultats) et transparentes. En particulier, on suppose que les coefficients techniques sont fixes (pour une année donnée) : dans les deux scénarios, un euro de dépense adressée à une branche générera le même nombre d'emplois directs et indirects. Autrement dit, les gains de productivité sont exogènes, ils ne dépendent pas des scénarios testés. De même, le taux d'importation dans chaque branche est fixe : on suppose qu'il n'y a ni délocalisations supplémentaires ni relocalisation par rapport à l'année de base. Or, le scénario négaWatt fait une hypothèse de relocalisation progressive de la production industrielle, afin d'assurer que les réductions d'émissions de CO₂ requises ne sont pas dues à une délocalisation des émissions (cf. Sato, 2012, pour une synthèse sur cette question). Dans cette étude, nous considérons que, aux horizons 2020 et 2030, cette relocalisation reste faible, qu'elle conduit à des créations d'emplois dans l'industrie principalement, et nous la négligeons donc. Ce choix d'hypothèses tend à minimiser la quantité d'emplois réellement créés dans le scénario négaWatt par rapport au tendanciel, sous réserve que la relocalisation prévue dans le scénario voie effectivement le jour.

Soulignons que faute de données suffisantes dans le domaine public, nous n'avons pas pu étudier l'effet sur l'emploi d'une partie des activités du scénario négaWatt, en particulier les économies d'énergie dans l'industrie et la conversion écologique de l'agriculture. Ce dernier secteur sera traité dans une étude ultérieure. Cependant, le fait qu'une partie des activités ne soient pas traitées ne biaise pas nos résultats dans un sens ou dans l'autre : des dépenses économisant l'énergie vont créer de l'emploi en plus, mais le financement de ces dépenses va en détruire (effet induit), d'où un effet net indéterminé, positif si le contenu en emploi de ces dépenses est supérieur à celui de la moyenne de la consommation des ménages, négatif sinon.

Soulignons enfin que dans le scénario négaWatt, une partie importante des économies d'énergie et de la baisse des émissions de gaz à effet de serre provient de la "sobriété", laquelle ne résulte pas de dépenses supplémentaires (hormis des dépenses de sensibilisation et d'information), contrairement aux deux autres volets de la "trilogie négaWatt", les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique. Ces comportements de sobriété peuvent provenir de politiques de type réglementaire (contrôle de la température dans les bureaux, baisse de la vitesse sur route...), fiscal (taxe sur la consommation d'énergie...) ou de sensibilisation. La sobriété détruit des emplois dans les branches qui fournissent l'énergie, mais réduit la facture énergétique, libérant du pouvoir d'achat qui sera dépensé dans d'autres branches, où il va créer des emplois. L'effet net sur l'emploi des actions de sobriété est alors positif si le contenu en

emploi des branches énergie est inférieur à celui de la consommation des ménages en moyenne (ce qui est le cas selon nos calculs), négatif dans le cas contraire.

Notre méthode repose sur l'hypothèse selon laquelle la demande finale agrégée est stable ; par exemple, si les pouvoirs publics financent un programme de rénovation des logements de dix milliards d'euros par an, les dépenses des ménages (et/ou d'autres dépenses des administrations publiques) vont diminuer du même montant. Autrement dit, nous supposons un multiplicateur fiscal de 1. La récente étude d'Olivier Blanchard (chef économiste au FMI) et de Daniel Leigh (2012) ¹⁸ conclut que le multiplicateur fiscal se situerait entre 0,9 et 1,7, une valeur supérieure à celle, proche de 0,5, qui résulte des modèles économiques utilisés par le FMI, l'Union européenne et l'OCDE. La valeur retenue dans notre étude est donc dans la fourchette des dernières études empiriques, contrairement à celle qui résulte des modèles économiques utilisés par les institutions internationales.

2.2. Données

Les trois principales sources de données utilisées sont le scénario négaWatt (2011), l'étude d'In Numeri pour l'Ademe (2012) et la comptabilité nationale française en base 2000 pour l'année 2005 établie par l'INSEE.

2.2.1. Le scénario négaWatt

L'association négaWatt, constituée en majorité d'experts de l'énergie, a réalisé à trois reprises (2003, 2006 et 2011) des scénarios énergétiques pour la France à l'horizon 2050, avec à chaque fois un scénario tendanciel correspondant. Ces scénarios sont bâtis selon une approche remontante (*bottom-up*), à partir des services énergétiques, répartis entre trois grandes catégories¹⁹ : chaleur, mobilité, électricité spécifique.

Un choix du « vecteur énergétique » le plus approprié (combustible solide, liquide ou gazeux, carburant, chaleur, électricité...) pour répondre à chaque besoin est ensuite effectué de façon à pouvoir remonter aux consommations en énergie finale, celle qui est délivrée aux consommateurs pour chacun de leurs usages. De même, on remonte ensuite des consommations finales aux consommations de ressources primaires (pétrole, gaz fossile, uranium, énergies renouvelables...) produites en France ou importées.

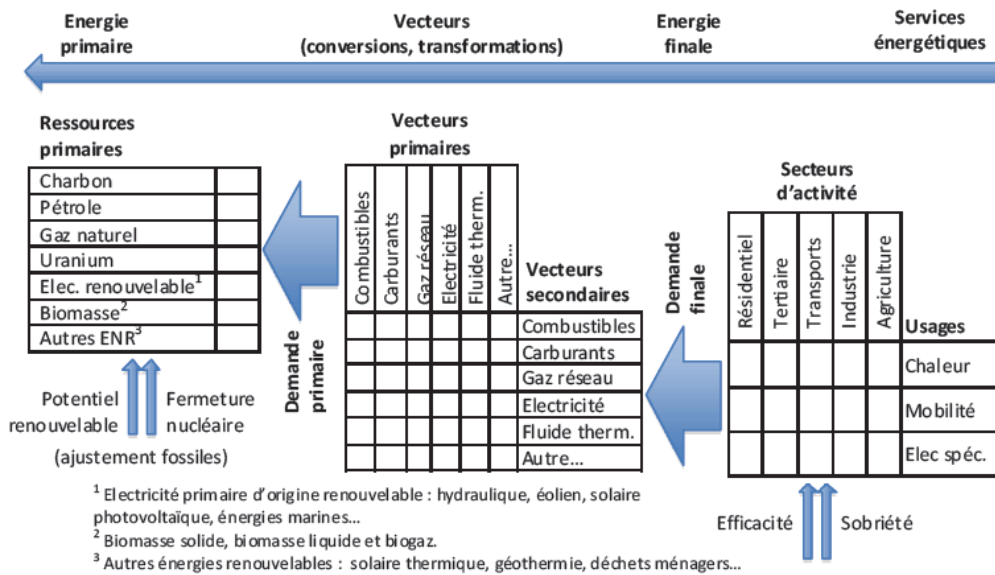
Ces consommations sont mises d'abord en face du potentiel de production des énergies renouvelables, en fonction de leur stade de développement filière par filière, puis du rythme de fermeture des réacteurs nucléaires. Enfin les énergies fossiles servent de variable d'ajustement pour fournir le complément de production et assurer l'équilibre entre offre et demande.

¹⁸ Cette étude a fait grand bruit car elle a été interprétée par la presse, de manière discutable, comme la reconnaissance par le FMI d'une « erreur de calcul » (cf. par exemple Bouillin et Neumann, 2013).

¹⁹ Les paragraphes qui suivent proviennent en grande partie du document de présentation produit par l'Association négaWatt (2011).

Pour l'électricité, cet équilibre ne doit pas être assuré seulement en moyenne sur l'année mais à tout instant : le croisement de courbes-type de répartition de la consommation selon les usages et de production selon les filières, intégrant le calcul dynamique de la contribution des filières « pilotables » (thermique à flamme, hydraulique de barrage...) et des différentes solutions de flexibilité comme l'effacement et le stockage, permet d'assurer un équilibre heure par heure pour chaque année jusqu'à 2050.

Figure 2. Démarche de modélisation du scénario négaWatt 2011



Source : Association négaWatt (2011, p. 6).

Pour l'alimentation, l'agriculture et l'usage des sols, le scénario négaWatt est lié au scénario Aferres2050 de Solagro (2013). Parmi les points d'interface :

- Afterres2050 fournit à négaWatt la quantité de biomasse mobilisée pour l'énergie ;
- Le scénario Aferres2050 complète négaWatt en matière d'agriculture et de forêt : il traite la majorité des gaz à effet de serre hors CO₂ (méthane et protoxyde d'azote d'origine agricole) et des puits de carbone (forêts et sols agricoles) ;
- Les besoins en matériaux (bois de construction, papier, paille...) sont définis à partir du scénario négaWatt (construction et rénovation des bâtiments) ;
- Inversement, la production d'engrais azotés et la consommation d'énergie de l'agriculture issues d'Afterres2050 sont des paramètres d'entrées du scénario négaWatt.

2.2.2. L'étude d'In Numeri pour l'Ademe

La deuxième source importante de données est constituée par l'étude d'In Numeri pour l'Ademe (2012), consacrée aux marchés et emplois liés à l'efficacité énergétique et aux énergies renouvelables, mentionnée dans la partie 1.1. Pour douze énergies renouvelables et

autant d'activités d'amélioration de l'efficacité énergétique, cette étude fournit une estimation des emplois directs, des marchés et de l'énergie produite ou économisée.

Nous n'utilisons pas ici les estimations des emplois directs de cette étude car la notion d'emplois directs qu'elle retient ne recoupe pas exactement celle que nous utilisons ici, à savoir un emploi dans la branche à laquelle la demande est directement adressée, par opposition aux emplois indirects, situés dans les branches qui produisent les consommations intermédiaires. Aussi, retenir ces estimations nous aurait fait courir le risque de comptabiliser certains emplois deux fois (une fois parmi les emplois directs, une fois parmi les emplois indirects) ou au contraire de ne pas les prendre en compte du tout. Cependant, là où c'était possible, nous avons comparé le nombre d'emplois directs estimé avec notre méthode et celui publié dans cette étude. Les résultats sont très proches (cf. partie 3.2.1), ce qui indique que notre méthode permet une estimation fiable du nombre d'emplois.

En revanche, nous utilisons largement les estimations du marché fournies par cette étude, qui nous permet d'obtenir des valeurs unitaires (par exemple la dépense par m² de solaire thermique installé dans l'année, répartie en dépense d'équipements et d'études-installation, et la dépense de maintenance par m² de solaire thermique en service).

2.2.3. La comptabilité nationale

La troisième source importante de données, la comptabilité nationale, est bien connue et appelle peu de commentaires. Nous utilisons principalement :

- le tableau entrées-sorties (TES) en base 2000 publié par l'INSEE²⁰ pour 2005, dans une version qui sépare les consommations intermédiaires importées de celles produites en France²¹ ;
- l'emploi intérieur total par branche (en équivalent temps plein) également publié par l'INSEE²².

L'année 2005 peut sembler ancienne, mais l'INSEE ne produit plus les TES en 118 branches. Les TES les plus détaillés pour les années plus récentes ne comptent que 64 branches. De plus, la plupart des modèles d'équilibre général utilisent 2004 (base GTAP 7) comme année de base.

²⁰ http://www.insee.fr/fr/themes/comptes-nationaux/default.asp?page=archives/archives_cnat_annu.htm (consulté le 14/12/2012).

²¹ Cette version du TES nous a été fournie par Michel Braibant (INSEE), que nous remercions vivement.

²² http://www.insee.fr/fr/themes/comptes-nationaux/default.asp?page=archives/archives_cnat_annu.htm (consulté le 14/12/2012).

3. Résultats

3.1. Effet net agrégé sur l'emploi

Comme indiqué dans la partie 2.1, l'effet net sur l'emploi correspond au solde des emplois créés, des emplois détruits et de l'effet induit, ceci pour le scénario négaWatt par rapport au tendanciel. Le tableau 1 ci-dessous présente cet effet net et sa décomposition, pour les années 2020, 2025 et 2030.

Les quatre premières lignes du tableau indiquent, à un niveau relativement agrégé²³, les principales activités où le niveau d'emploi est plus élevé dans le scénario négaWatt que dans le tendanciel. De manière peu surprenante, il s'agit des énergies renouvelables, de la rénovation thermique des bâtiments des modes de transports peu gourmands en énergie (ferroviaire, fluvial et transport routier de voyageur) et de la sensibilisation-information.

Les quatre lignes suivantes indiquent les principales activités où le niveau d'emploi est plus faible dans le scénario négaWatt que dans le tendanciel. Il s'agit des énergies non renouvelables (fossiles et nucléaire), des bâtiments neufs, du transport par route (fabrication d'automobiles, infrastructures routières, fret routier) et du transport aérien.

L'avant-dernière ligne présente l'effet induit sur l'emploi, qui est positif, ce qui signifie que les dépenses agrégées sont plus faibles dans le scénario négaWatt que dans le tendanciel : même si le premier entraîne bien sûr davantage de dépenses dans les énergies renouvelables, la rénovation thermique des bâtiments ou les transports en commun, il entraîne des économies encore plus importantes dans d'autres activités, comme le transport aérien ou le fret routier²⁴. Ces économies nettes libèrent du pouvoir d'achat chez les ménages, qui augmentent leurs dépenses de consommation de manière homothétique à leur consommation à l'année de base, d'où une hausse de l'emploi répartie dans l'ensemble de l'économie²⁵. La dernière ligne du tableau indique l'effet net, qui est simplement la somme des éléments précédents.

²³ Le tableau A.2 en annexe présente ces résultats de manière plus désagrégée.

²⁴ En annexe, le tableau A.1 présente les coûts unitaires retenus et le tableau A.3 la différence de coûts agrégés entre les deux scénarios. Il faut être prudent avant d'en conclure que le scénario négaWatt est moins coûteux que le tendanciel. D'une part, certaines dépenses d'efficacité énergétique (dans l'industrie, l'automobile, l'électricité spécifique...) n'ont pas été incluses, faute d'estimation disponible. Comme nous l'avons déjà mentionné, cela ne génère pas de biais systématique : inclure ces dépenses réduirait l'effet induit mais augmenterait l'effet brut sur l'emploi. L'effet net sur l'emploi d'une telle inclusion serait sans doute faible, le contenu en emploi des branches qui seraient mobilisé étant proche de la moyenne de la consommation des ménages.

D'autre part, une partie de la différence de coût entre les deux scénarios provient de la sobriété, qui génère des économies mais peu de dépenses monétaires. Par exemple, baisser la vitesse sur autoroute réduit la consommation de carburants sans entraîner de coût monétaire. La sobriété peut générer un coût (ou un bénéfice) non monétaire, par exemple en termes de temps ou de confort, mais cela n'a pas d'impact direct sur l'emploi.

²⁵ Nous ne prenons pas en compte l'effet « rebond » sur la consommation d'énergie que ce surcroît de consommation entraînerait car la différence de coût entre les deux scénarios n'est que de 0,5% du PIB en 2020. L'effet rebond serait du même ordre, autrement dit négligeable.

Tableau 1. Effet sur l'emploi du scénario négaWatt par rapport au tendanciel
en milliers d'emplois équivalent temps plein (ETP)

	2020	2025	2030
énergies renouvelables	187	249	335
rénovation des bâtiments	213	460	473
transports en commun, fret ferroviaire & fluvial	69	141	248
sensibilisation et information	6	6	5
énergies non renouvelables, réseaux gaz et électricité	-45	-108	-116
bâtiments neufs	-124	-279	-404
transport routier sauf transports en commun	-141	-243	-366
transport aérien	-27	-47	-72
effet induit	97	261	527
effet net sur l'emploi	235	439	632

Lecture : en cas de mise en œuvre du scénario négaWatt, en 2020, le nombre d'emplois dus à l'activité dans les énergies renouvelables serait supérieur de 187 000 à ce qu'il serait en cas de mise en œuvre du scénario tendanciel. Inversement, le nombre d'emplois dus au transport aérien serait inférieur de 27 000. Parce que le coût global est plus faible dans le scénario négaWatt, 97 000 emplois seraient créés par la réallocation des sommes économisées (effet induit). L'effet net global serait de + 235 000 emplois.

Parmi les activités créatrices d'emplois, la première est la rénovation thermique des logements, ce qui s'explique en partie par l'ampleur du programme de rénovation et en partie par le contenu en emploi élevé de la branche bâtiments. Les énergies renouvelables représentent le second gisement, suivies des modes de transports en développement : ferroviaire, fluvial et transport routier de voyageurs.

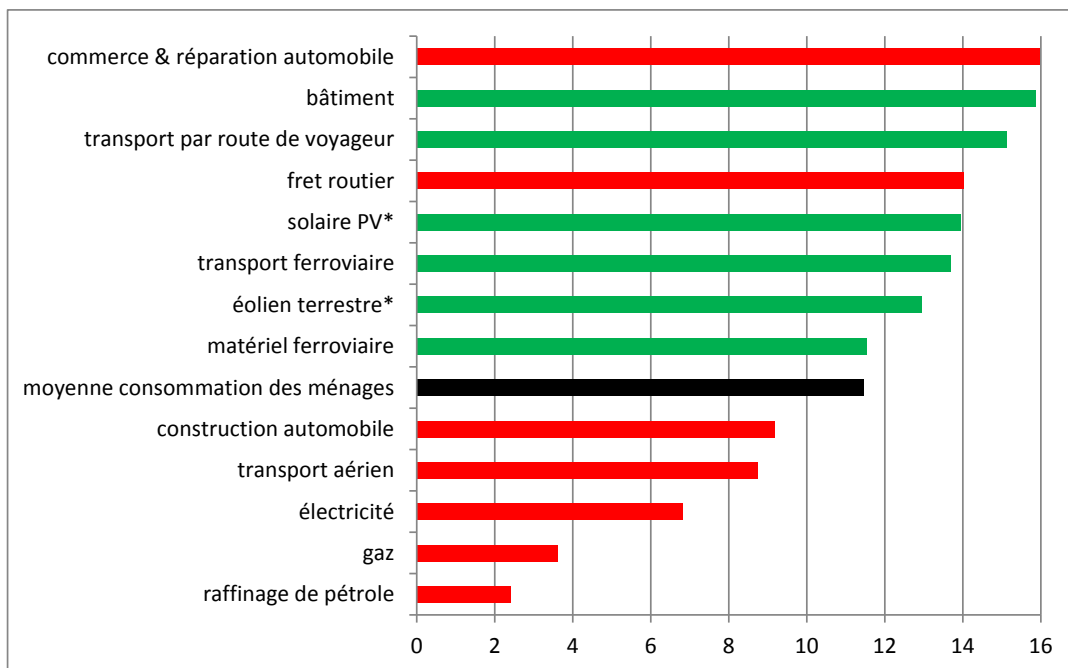
Les activités en décroissance ont été regroupées en six catégories. Tout d'abord, des emplois disparaissent bien sûr dans les énergies non renouvelables, qui sont remplacées par les économies d'énergie et les renouvelable. Néanmoins, ces pertes d'emplois restent inférieures aux créations d'emplois dans les renouvelables, qui présentent un contenu en emploi supérieur. Ensuite, des pertes d'emploi (par rapport au scénario tendanciel) ont lieu dans la construction de bâtiments neufs. En effet, le nombre de m² construits est plus faible que dans le scénario tendanciel du fait de la sobriété²⁶. Enfin, le transport routier (sauf transports en commun) et le transport aérien régressent.

Comme le montre la dernière ligne du tableau 1, le résultat net sur l'emploi est très positif. L'explication est simple : la plupart des branches dont l'activité se développe (en vert sur la Figure 3) présentent un contenu en emploi plus élevé que celles dont l'activité se réduit (en

²⁶ Dans le scénario négaWatt, même si la surface habitable par personne augmente légèrement (40,3 m² en 2050 contre 39,4 m² en 2010), cette hausse est plus faible que dans le tendanciel. Cf. <http://www.negawatt.org/batiment-p88.html#B1>

rouge sur la Figure 3). De plus, le contenu en emploi de la plupart de ces dernières est inférieur à celui de la consommation moyenne des ménages (en noir sur la Figure 3). Aussi, si par exemple les ménages réduisent leurs dépenses en gaz d'un million d'euros et que, conformément à nos hypothèses, ils augmentent leur consommation de ce même montant, et ce de manière homothétique entre les différentes branches de l'économie, l'effet net sur l'emploi sera égal à la différence de contenu en emploi entre la branche « gaz » et la moyenne de la consommation des ménages, soit $11,5 - 3,6 = 7,9$ emplois créés.

Figure 3. Contenu en emploi d'une sélection de branches en France en 2005
(emplois ETP/M€₂₀₀₅)



En rouge, les branches dont l'activité est plus faible dans le scénario négaWatt que dans le tendencial ; en vert celles dont l'activité est plus forte. Les branches signalées par * ne figurent pas dans la comptabilité nationale ; leur contenu en emploi est calculé comme une moyenne pondérée de celui des branches auxquelles ces activités font appel.

3.2. Zooms sectoriels

Ici, nous présentons les emplois, directs et indirects, générés par l'activité dans chacun des secteurs considérés, à la fois dans le scénario négaWatt et dans le tendencial. Il s'agit d'un effet brut, au sens où les chiffres présentés dans cette partie n'incluent pas l'effet induit, c'est-à-dire la destruction d'emplois générée par le financement des activités considérées ; cet effet induit est présenté de manière agrégé et non détaillé secteur par secteur. De plus, nous insistons sur le fait qu'il s'agit d'emplois directs et indirects : par exemple, une partie des emplois présentés dans la partie 3.2.2 ne se trouve pas dans la branche bâtiment mais chez les fournisseurs des entreprises du bâtiment.

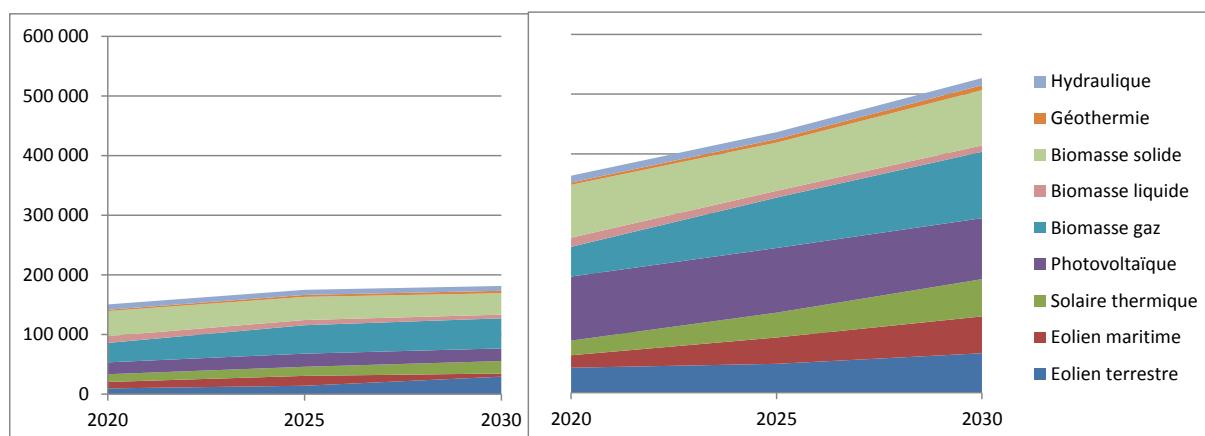
3.2.1. Energies renouvelables

Dès 2020, les emplois dans ce secteur font plus que doubler dans le scénario négaWatt par rapport au tendanciel (Figure 4). Dans le scénario négaWatt, les emplois sont répartis dans un grand nombre d'énergies renouvelables : principalement la biomasse solide et le photovoltaïque en 2020, puis une croissance de l'éolien maritime et de la biomasse sous forme de gaz et du solaire thermique à l'horizon 2030.

Afin de tester la fiabilité de notre méthode pour estimer les emplois directs, nous avons comparé, pour l'éolien terrestre et le photovoltaïque²⁷, le nombre d'emplois directs obtenus par notre méthode et celui estimé par l'Ademe (2012) pour l'année 2010 (dernière année pour laquelle des données définitives sont publiées). Les chiffres obtenus sont extrêmement proches : dans l'éolien terrestre, il y avait selon l'Ademe 11 668 emplois ETP directs en 2010 contre 11 379 selon notre estimation ; dans le photovoltaïque, 31 551 selon l'Ademe contre 31 280 selon notre estimation. Ces résultats montrent que notre méthode d'estimation des emplois, basée sur la comptabilité nationale, fournit des chiffres fiables puisque très proches de ceux publiés dans l'étude qui fait référence sur le sujet.

Figure 4. Emplois directs et indirects dus à l'activité dans les énergies renouvelables (ETP)

A gauche, scénario tendanciel ; à droite, scénario négaWatt



3.2.2. Bâtiment

Dans le résidentiel comme dans le tertiaire, deux effets s'opposent. D'une part, le scénario négaWatt est marqué par un plus grand nombre de rénovations thermiques, qui sont aussi plus ambitieuses, donc plus coûteuses. Il en découle un effet brut sur l'emploi positif. D'autre part, il prévoit moins de constructions, dans le résidentiel comme dans le tertiaire, d'où un effet

²⁷ Une telle comparaison n'est pas possible pour toutes les activités car certaines étaient balbutiantes ou inexistantes en 2010 et d'autres ne sont pas couvertes par l'étude Ademe.

opposé²⁸. Le premier effet domine et en 2025-2030, l'effet brut en comparaison avec le scénario tendanciel atteint environ 300 000 emplois, un chiffre proche de celui obtenu pour les renouvelables.

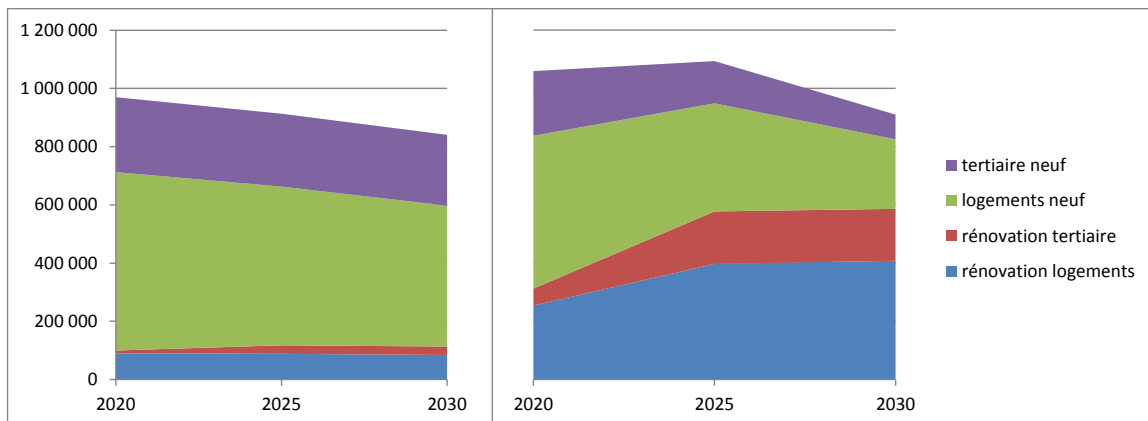
Précisons que les chiffres indiqués ici n'incluent pas la rénovation non thermique (travaux d'entretien, à but esthétique, d'isolation phonique, transformation de bureau en logement ou vice-versa...). En effet, il n'est pas évident de savoir si la mise en œuvre du scénario négaWatt accroîtrait ou réduirait ces travaux. En revanche, le chiffre de 450 €/m² retenu pour la rénovation thermique dans le scénario négaWatt inclut une part de travaux non directement liés à la thermique mais qui sont souvent nécessaires à l'occasion d'une rénovation thermique (mise aux normes de l'électricité, peintures...).

Notre approche sous-estime certainement les gains d'emplois dans le scénario négaWatt, car, le TES ne distinguant pas la rénovation de la construction neuve, nous supposons que ces deux activités présentent le même contenu en emploi (9 emplois directs et 7 indirects soit au total 16 emplois par million d'euros de demande finale). Or, une étude pour le SRCAE Rhône-Alpes estime qu'un programme de rénovation thermique créerait 13 emplois directs par million d'euros (CERA, 2011, p. 96) soit 4 de plus que dans notre estimation. En effet, par rapport à la construction neuve, le coût de la rénovation comporte une plus grande part de main-d'œuvre et une plus faible part de matériaux à faible contenu en emploi (béton, tuiles et briques, acier...).

Figure 5. Emplois directs et indirects dus à l'activité dans le bâtiment (ETP).

Les emplois dans la rénovation non thermique ne sont pas pris en compte.

A gauche, scénario tendanciel ; à droite, scénario négaWatt



3.2.3. Transports

Contrairement aux deux domaines précédents, l'effet brut est négatif dans les transports (Figure 6) : le développement des transports en commun et du fret ferroviaire et fluvial ne

²⁸ Certes, par m², le nombre d'emplois est légèrement supérieur dans le scénario négaWatt car la performance thermique des bâtiments neufs y est supérieure, mais cela ne compense pas le moindre nombre de m² construits.

compense pas complètement la baisse d'activité du fret routier, de l'aérien, des infrastructures routières et de l'automobile. Pourtant, le contenu en emploi des branches de transport qui se développent (transport en commun par route, transport ferroviaire, matériel ferroviaire...) est plus élevé que la moyenne, ce qui n'est pas le cas de toutes celles qui régressent. En particulier, le transport aérien et la construction automobile présentent un contenu en emploi bien inférieur à la moyenne. Cette baisse du nombre d'emplois dans les transports vient de ce qu'une partie de la baisse de l'activité de ces branches n'est pas compensée par du report modal : l'activité des transports, qu'on la mesure en unités physiques (tonnes-kilomètres et voyageurs-kilomètres) ou en euros, régresse du fait de la sobriété.

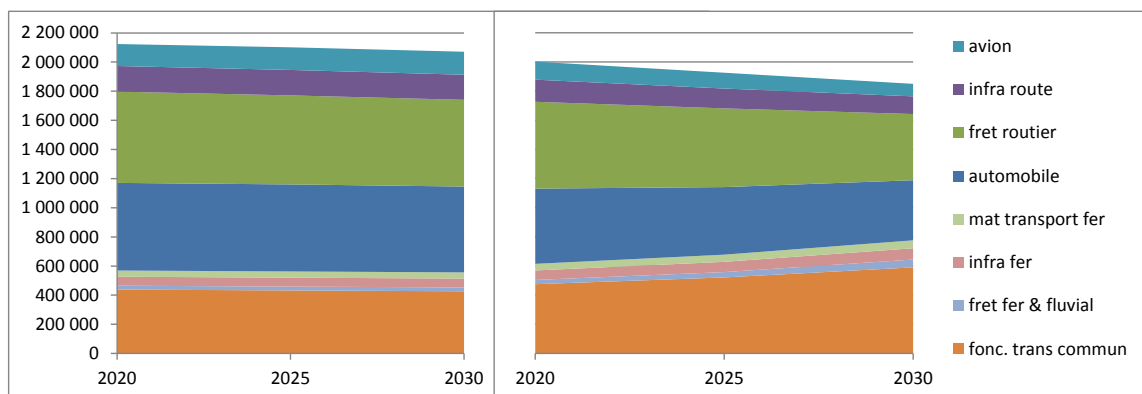
Cependant, il existe de bonnes raisons de penser que ces résultats surestiment les pertes d'emplois bruts dans le scénario négaWatt. D'une part, entre notre année de base (2005) et 2011, l'industrie automobile a perdu 22% de ses effectifs alors que la dépense des ménages en véhicules neufs augmentait de 5%, déduction faite de l'inflation²⁹. Aussi, le contenu en emploi de cette activité est certainement plus faible qu'en 2005 et par conséquent notre calcul surestime les pertes d'emploi dans ce secteur.

D'autre part, nous prenons en compte un surcoût de fabrication (et donc des emplois supplémentaires) pour les voitures électriques et hybrides rechargeables, mais pas pour les voitures à combustible liquide ou gazeux, faute d'estimation disponible. Or, la baisse de la consommation unitaire des véhicules passe par une baisse de la masse de ces véhicules mais aussi par la généralisation d'innovations techniques qui génèrent un surcoût de fabrication et des emplois supplémentaires. Pour cette raison, une étude récente (Cambridge Econometrics, 2013) conclut qu'une baisse des émissions unitaires des voitures et utilitaires légers aurait un impact largement positif sur l'emploi en Europe.

Enfin, les pertes dans le fret routier sont sans doute surestimées car nous supposons l'emploi proportionnel aux tonnes-km transportées, alors que ce ratio est plus faible pour les poids lourds que pour les utilitaires légers. Or, dans le scénario négaWatt, l'activité diminue beaucoup plus dans les premiers que dans les seconds. Malheureusement, nous sommes contraints par le manque de désagrégation du TES, qui ne distingue pas, dans le fret routier, transport à courte et à longue distance.

²⁹ INSEE, Emplois salariés trimestriels : Industrie automobile - Divisions : 29 ; INSEE, Consommation effective par produit, HC29A1A Voitures neuves.

Figure 6. Emplois directs et indirects dus à l'activité dans les transports (ETP)
 A gauche, scénario tendanciel ; à droite, scénario négaWatt



3.2.4. Energies non renouvelables et réseaux d'énergie

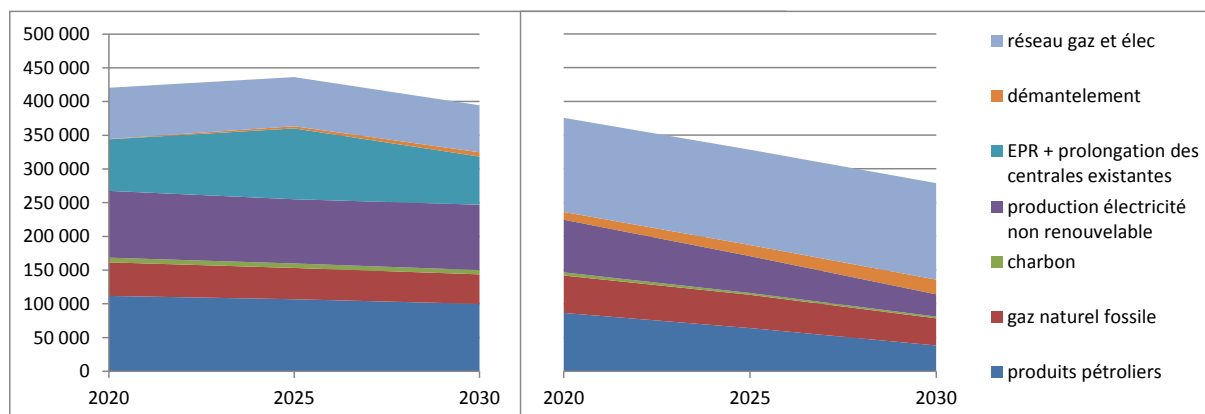
Naturellement, l'effet brut sur l'emploi est négatif pour les énergies non renouvelables, sauf temporairement pour le gaz naturel fossile dont la consommation, en 2020 et 2025, est légèrement supérieure dans le scénario négaWatt (Figure 7). De même, à l'horizon considéré, le démantèlement des centrales nucléaires crée davantage d'emplois dans ce scénario. Cependant, cela ne suffit pas à compenser les pertes d'emplois bruts dues à la non-construction des EPR³⁰, à l'absence d'investissements lourds pour accroître la durée de vie des autres centrales nucléaires et à la baisse de la consommation d'électricité, de produits pétroliers et de charbon.

En revanche, sous les hypothèses retenues ici, dans le scénario négaWatt, le coût d'investissement, et donc l'emploi brut, est légèrement supérieur dans le réseau de gaz³¹ et largement supérieur dans le réseau électrique (tableau A.1). En effet, ce dernier doit s'adapter pour transporter et distribuer la production issue des sources renouvelables. La baisse de la consommation d'électricité et en particulier celle de la demande en pointe, du fait d'un moindre recours au chauffage électrique à effet Joule, limite ce surcoût mais ne l'annule pas. Contrairement au coût d'investissement, le coût de fonctionnement des réseaux est quasiment identique entre les deux scénarios et n'est donc pas pris en compte.

³⁰ Dans la présente analyse, pour le scénario tendanciel, on suppose la mise en route d'un premier EPR en 2017 puis d'un par an à partir de 2023. Les autres centrales ferment progressivement pour maintenir la capacité nucléaire au même niveau et la dernière centrale pré-EPR ferme après 60 ans d'activité.

³¹ Le surcoût pour le réseau de gaz est modeste, mais le surcoût de l'injection du biogaz est comptabilisé dans les énergies renouvelables. Par ailleurs, la méthanation (production de méthane à partir de CO₂ et d'hydrogène) n'est pas comptabilisée car dans le scénario négaWatt, elle démarre à peine en 2030.

Figure 7. Emplois directs et indirects dus à l'activité dans les énergies non renouvelables et réseaux d'énergie (ETP). A gauche, scénario tendanciel ; à droite, scénario négaWatt



4. Analyse de sensibilité

4.1. Présentation des variantes

Nous avons conduit une analyse de sensibilité sur quatre hypothèses et paramètres :

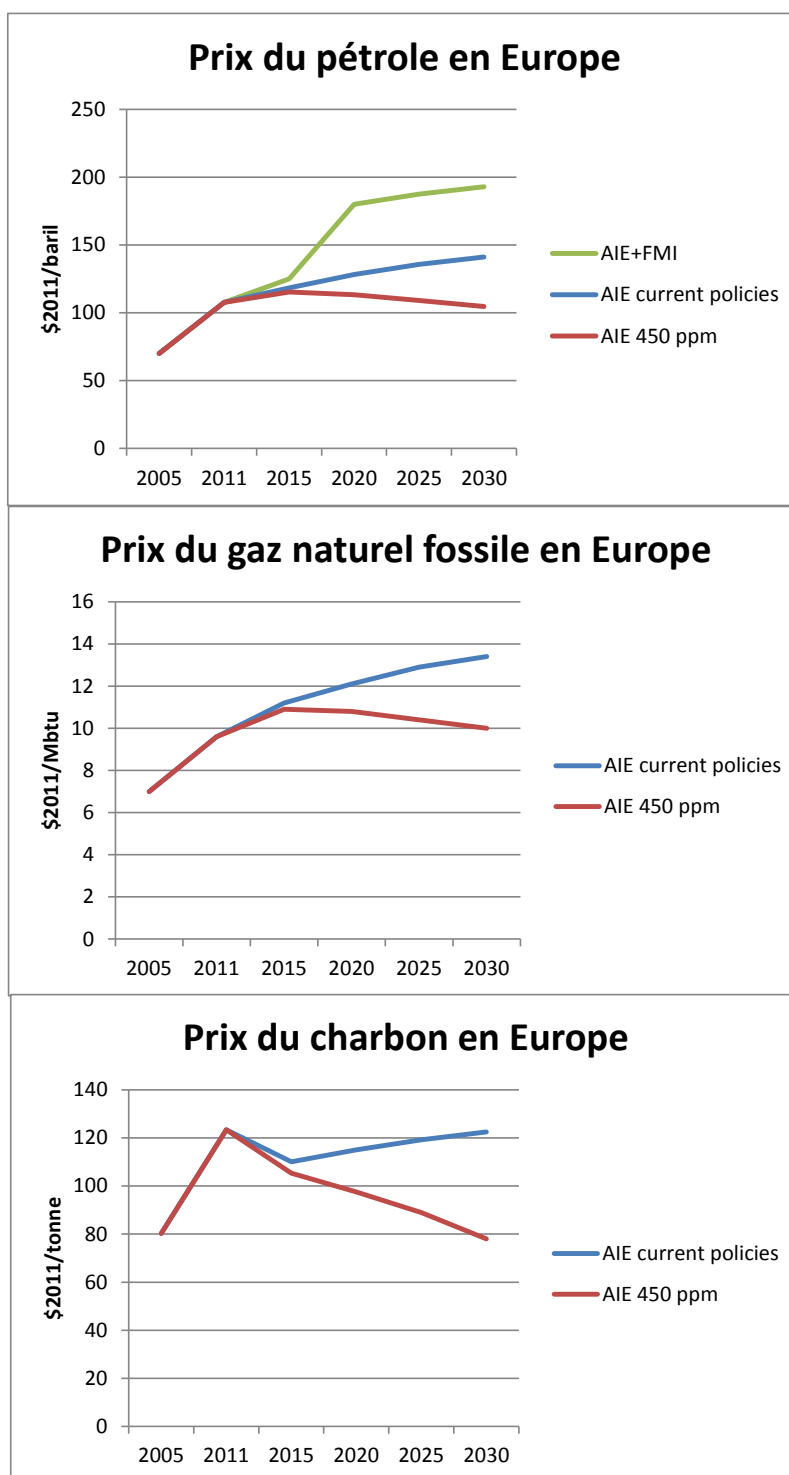
4.1.1. Le prix des énergies fossiles importées

Sur ce point, nous proposons deux variantes, présentées dans la Figure 8 ci-dessous.

Variante « AIE+FMI ». L'Agence internationale de l'énergie ayant généralement sous-estimé la hausse du prix du pétrole au cours des dernières années, nous supposons une hausse plus élevée de ce prix, reprenant le résultat d'une modélisation économétrique menée par sept économistes du FMI (Benes et al., 2012). Cette étude ne se poursuivant pas au-delà de 2020, nous supposons ensuite chaque année une hausse du même montant que dans le scénario « *Current policies* » du *World Energy Outlook* (Agence internationale de l'énergie, 2012). Pour le gaz et le charbon, nous reprenons le scénario « *Current policies* ».

Variante « prix différenciés ». Si la transition énergétique ne se limite pas à la France mais est généralisée à un grand nombre de pays, il en résultera une baisse des importations d'énergies fossiles et donc (la courbe d'offre étant croissante) du prix de ces énergies. Cette baisse est quantifiée dans le scénario « *450 ppm* » du *World Energy Outlook* (Agence internationale de l'énergie, 2012). Comme il est peu probable de voir la France mener pendant plusieurs décennies une politique opposée à celle du reste du monde, nous testons un scénario de prix différencié, qui reprend celui de scénario de l'AIE « *Current policies* » pour le scénario tendanciel, et celui du scénario de l'AIE « *450 ppm* » dans le cas du scénario négaWatt. Même si ces deux derniers scénarios diffèrent sur des points essentiels comme la place de la sobriété, du nucléaire et de la capture-stockage du CO₂, ils entraînent tous deux une baisse significative des importations d'énergies fossiles, ce qui est essentiel pour le point considéré.

Figure 8. Prix des énergies fossiles dans la variante centrale (courbes « AIE current policies ») et dans les analyses de sensibilité



4.1.2. Le taux de progression de la productivité du travail

Dans la variante centrale, nous supposons que la productivité du travail augmente chaque année de 0,75% par an, ce qui correspond à l'évolution moyenne observée entre 2005 et 2011. Or, cette hausse est déjà plus faible que celle constatée au cours des années et décennies

précédentes, et il existe de bonne raison de penser que la productivité du travail va augmenter encore moins vite dans les années qui viennent (Gadrey, 2012). Nous retenons donc une variante dans lequel elle n'augmente que deux fois moins, soit 0,375% par an.

4.1.3. La répartition de l'effet induit entre la consommation des ménages et les autres éléments de la demande finale

Nous l'avons vu, le scénario négaWatt entraîne un coût monétaire plus faible que le tendanciel, d'où un effet induit sur l'emploi positif. Dans la variante centrale, nous supposons que les ménages bénéficient de l'intégralité de la différence de coût entre les deux scénarios, que ce soit en tant que consommateurs, contribuables ou actionnaires. Les ménages utilisent ensuite ce montant pour accroître leur consommation, et répartissent cette consommation supplémentaire entre les branches de l'économie au prorata de leur consommation à l'année de base.

Dans une autre variante, nous supposons que la différence de coût est répartie, non au prorata de la seule consommation des ménages, mais au prorata de l'ensemble de ce que la comptabilité nationale baptise « emplois finals » (sauf les exportations), à savoir la consommation des ménages, les dépenses des administrations publiques, les institutions sans but lucratif au service des ménages et la formation brute de capital (investissements). Comme le contenu en emploi de cet agrégat est supérieur à celui de la consommation des ménages (13,4 contre 11,5), on peut en attendre un effet induit plus élevé.

4.1.4. Arbitrage consommation-épargne

Dans la variante centrale, nous supposons qu'entre les deux scénarios, les ménages font varier leur consommation mais non leur épargne. Dans cette variante, nous supposons qu'ils font varier leur épargne et leur consommation dans la même proportion. Autrement dit, alors que dans la variante centrale le montant d'épargne est constant, dans celle-ci c'est le taux d'épargne (le ratio épargne/revenu) qui est constant. A l'année de base, le taux d'épargne était de 11,6%, le reste du revenu disponible étant consommé. La variation de la consommation étant plus faible, il en est de même de l'effet induit.

4.2. Résultats des analyses de sensibilité

Les résultats de ces analyses de sensibilité, présentés dans la Figure 9 et le Tableau 2, montrent que l'effet net positif obtenu dans la variante centrale (cf. partie 3.1 ci-dessus) est robuste. Dans presque toutes les variantes, il est même supérieur à celui obtenu dans la variante centrale.

Figure 9. Effet net sur l'emploi du scénario négaWatt par rapport au tendanciel en milliers d'emplois équivalent temps plein (ETP) : résultat des analyses de sensibilité

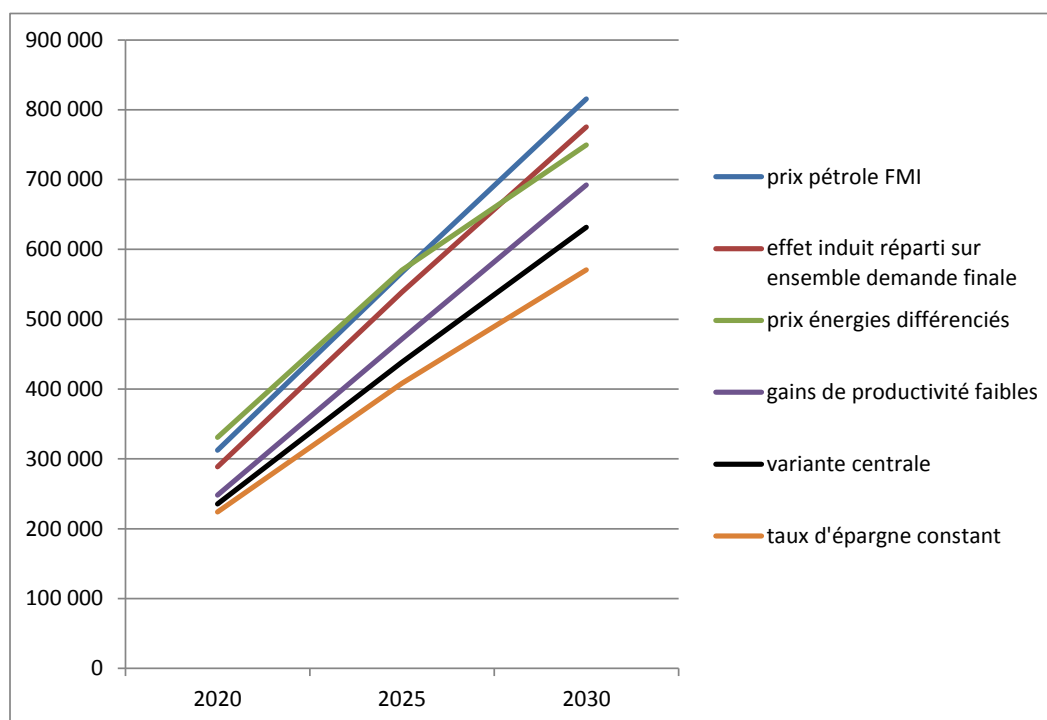


Tableau 2. Effet net sur l'emploi du scénario négaWatt par rapport au tendanciel : résultat des analyses de sensibilité en milliers d'emplois équivalent temps plein (ETP)

	2020	2025	2030
prix pétrole FMI	312	567	815
effet induit réparti sur ensemble demande finale	289	539	775
prix énergies différenciés	331	570	749
gains de productivité faibles	248	472	692
variante centrale	235	439	632
taux d'épargne constant	224	408	571

Si le prix du pétrole est plus élevé, comme dans la variante « prix pétrole FMI », la réduction de la consommation de produits pétroliers génère davantage d'économies monétaires. Par conséquent, l'effet induit et donc l'effet net sur l'emploi sont supérieurs. Bien sûr, cela ne signifie pas que l'emploi augmente avec le prix du pétrole ; c'est l'inverse qui se produit. Cependant, les pertes d'emplois dues à une hausse donnée du prix du pétrole seraient inférieures en cas de mise en œuvre du scénario négaWatt par rapport à ce qu'elles seraient en cas de mise en œuvre du scénario tendanciel. Le scénario négaWatt constitue ainsi une assurance contre une hausse imprévue du prix du pétrole. D'autres études (en particulier Rozenberg et al., 2010) aboutissent à la même conclusion avec des scénarios et un modèle économique différent.

Dans la variante « prix énergies différenciés », le prix des énergies fossiles importées est inférieur dans le scénario négaWatt (il correspond à la courbe « AIE 450 ppm » de la Figure 8) à ce qu'il est dans le scénario tendanciel (« AIE current policies » Figure 8) pour prendre en compte le fait qu'une demande plus faible réduirait le prix des énergies fossiles sur les marchés mondiaux. Par conséquent, dans cette variante, les économies monétaires, donc l'effet induit et enfin l'effet net sur l'emploi, sont supérieurs.

Lorsque l'effet induit est réparti sur l'ensemble de la demande finale et non sur la seule consommation des ménages, là encore, l'effet induit et donc l'effet net sur l'emploi sont supérieurs, du fait du contenu en emploi plus élevé de cet agrégat (cf. partie 4.1.3).

Si les gains de productivité sont plus faibles, davantage d'emplois sont créés pour un montant donné d'activité (en termes physiques) dans les renouvelables ou l'efficacité énergétique. Aussi, l'effet net sur l'emploi est supérieur. Très faible en 2020, cet effet devient significatif en 2030.

Au contraire, supposer un taux d'épargne constant plutôt qu'un montant d'épargne constant (cf. partie 4.1.4) réduit l'effet induit et donc l'effet net sur l'emploi, car une partie des sommes économisées est « neutralisée » sous forme d'épargne. Notons que dans notre approche, cette hausse de l'épargne n'accroît pas l'investissement, ce qui pourrait être le cas dans la réalité, réduisant l'écart par rapport à la variante centrale.

Globalement, le résultat en termes d'emplois net est robuste : par rapport à la variante centrale, il est au maximum supérieur de 40 % (en 2020 dans la variante « prix énergie différenciés ») et au minimum inférieur de 10 % (en 2020 dans la variante « taux d'épargne constant »).

Conclusions

Dans cette étude, nous quantifions l'effet net sur l'emploi d'une transition énergétique ambitieuse, en l'occurrence celle modélisée dans le scénario négaWatt, à l'aide d'une méthode simple et transparente : nous raisonnons à dépense agrégée constante, et considérons que la transition énergétique entraîne une réallocation de la demande entre les branches. Aussi, l'impact sur l'emploi dépend du contenu en emploi des branches qui se développent, relativement à celles qui régressent. Nous concluons que la mise en œuvre d'un tel scénario permettrait une création d'emplois importante, même en prenant en compte les emplois détruits dans les branches dont l'activité devrait décroître.

Nous montrons également que les résultats sont robustes à de nombreuses hypothèses, en particulier sur le prix des énergies importées, l'évolution de la productivité du travail ou l'arbitrage entre consommation et épargne. Selon les hypothèses, les créations d'emplois nettes vont de 220 000 à 330 000 en 2020 et de 570 000 à 820 000 en 2030 par rapport au scénario tendanciel.

Cette étude repose sur certaines hypothèses et méthodes naturellement contestables, mais qui ont déjà été utilisées par des dizaines de travaux antérieurs en Europe comme aux Etats-Unis. La méthode employée ne vaut que si un chômage important subsiste à l'horizon considéré ; dans le cas contraire, la demande de travail poussera les salaires à la hausse, ce qui pourrait réduire l'effet positif sur l'emploi identifié ici³². Cependant, c'est justement dans une telle situation de chômage élevé qu'il est particulièrement utile d'analyser les politiques climatiques sous l'angle de leur effet sur l'emploi car c'est là que le coût du chômage, pour les chômeurs et pour la collectivité, est le plus important. De nombreuses études ont montré que le chômage entraîne un coût bien au-delà de la perte de salaire : perte de lien social, souffrance psychologique... (cf. les références citées dans la note 91 de Masur et Posner, 2011). Quantifier ces coûts est difficile, ce qui explique qu'ils soient peu pris en compte dans les analyses coût-bénéfice. Pourtant, les études existantes aboutissent à des chiffres très importants. Sur cette base, Masur et Posner (2011) proposent de valoriser dans les analyses coût-bénéfice chaque emploi net pour un montant compris entre 35 000 et 100 000 dollars US. La création de 235 000 emplois supplémentaires (résultat de notre variante centrale en 2020) serait ainsi valorisée à hauteur de 11 à 31 milliards d'euros, soit plus que notre estimation de la différence de coût monétaire entre les deux scénarios (Cf. tableau A.3).

Les limites de cette étude sont de deux ordres. Premièrement, elle ne prend pas en compte les rétroactions macroéconomiques que l'on trouve dans les modèles d'équilibre général ou macroéconomiques, ce qui constitue le prix à payer pour bénéficier d'un niveau élevé de désagrégation (118 branches) et d'une plus grande transparence. Deuxièmement, et de manière symétrique, elle ne quantifie pas les emplois directs aussi finement qu'une étude technico-économique comme celle de l'Ademe (2012). Pour plusieurs activités parmi les plus importantes en termes de coût, cela sous-estime probablement le nombre d'emplois créés. En particulier, la rénovation thermique des logements présente sans doute un contenu en emploi supérieur à la construction neuve, mais le niveau de détail disponible dans le tableau entrées-sorties ne permet pas de prendre en compte cette différence. Cependant, nous considérons qu'elle procure un bon équilibre entre niveau de détail technique et exhaustivité des mécanismes économiques considérés.

Dans certaines branches de l'économie, la politique climatique entraîne une réduction de l'emploi par rapport au scénario tendanciel. Même si, comme nous l'avons vu, l'effet net global sur l'emploi est très positif, il importe de développer les dispositifs permettant l'adaptation et la sécurisation des travailleurs face aux mutations structurelles des compétences qui découleront des politiques climatiques, suivant en cela les recommandations formulées par la CES (2008) ou le Expert Group on New Skills for New Jobs (2010) auprès de la Commission européenne.

Enfin, au-delà du nombre d'emplois créés, la dimension qualitative des emplois est essentielle. Cependant, la qualité d'un emploi comporte de nombreux éléments : intérêt de

³² Encore qu'une telle hausse pourrait augmenter la propension à consommer et relancer ainsi la demande et donc l'emploi ; son effet net sur l'emploi n'est donc pas évident *a priori*.

l'emploi aux yeux des travailleurs, sécurité d'emploi, ergonomie, taux d'accidents du travail, existence de parcours qualifiants... Aussi, cette dimension demande des études spécifiques pour chacun des secteurs affectés par la transition énergétique.

Références

Ademe, 2010. *Marchés, emplois et enjeu énergétiques des activités liées à l'efficacité énergétique et aux énergies renouvelables : situation 2008-2009 – perspectives 2010*, Etude réalisée par la société In Numeri, octobre, version longue.

Ademe, 2012. *Marchés, emplois et enjeu énergétiques des activités liées à l'efficacité énergétique et aux énergies renouvelables : situation 2010-2011 – prévisions 2012*, Etude réalisée par la société In Numeri, novembre,

<http://www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=46E7BDD09B4C53E1B0DC4C65EDCE2BE81220963264150.pdf>

Ademe, 2012b. Contribution de l'ADEME à l'élaboration de visions énergétiques 2030-2050.

http://www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=CFF93E7A0F1601A54A623E0243FC9C41_tomcatlocal1352729355587.pdf

AIE (Agence internationale de l'énergie), 2012. *World energy Outlook*, IEA, Paris, novembre

Association négaWatt, 2011. *Scénario négaWatt 2011*. Dossier de synthèse. 17 octobre.

http://www.negawatt.org/telechargement/SnW11//Scenario_negaWatt_2011-Dossier_de_synthese-v20111017.pdf

Badr, M. and R. Benjamin, 2003. *Comparative cost of California central station electricity generation technologies*. California Energy Commission, June 5

Benes, J., M. Chauvet, O. Kamenik, M. Kumhof, D. Laxton, S. Mursula and J. Selody, 2012. *The Future of Oil: Geology versus Technology*. IMF Working Paper WP/12/109

<http://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2012/wp12109.pdf>

Berck, C. et S. Hoffmann (2002) "Assessing the employment impacts of environmental and natural resource policy", *Environmental and Resource Economics*, 22(1-2), juin 2002, pp. 133-156

Bernard, A., 2007. *La TVA sociale, pourquoi, comment, et après*, Rapport du Conseil Général des Ponts et Chaussées N° 004802-02

Blanchard, O. et D. Leigh, 2012. Are We Underestimating Short-Term Fiscal Multipliers? In *World Economic Outlook*, International Monetary Fund, October

Bibas, R., S. Mathy et M. Fink, 2012. *Building a low-carbon scenario for France*. CIRED, rapport pour le projet européen ENCI-LowCarb, <http://www.imaclim.centre-cired.fr/IMG/pdf/SCENARIO-A-BAT.pdf>

Boitier, B., A. Fougeyrollas, P. Le Mouël, L. Lemiale, F. Pratlong, P. Zagamé, avec la collaboration de D. Auverlot, E. Beeker et J. Buba, 2011. *Prospective économique et environnementale à l'horizon 2030 et évaluation économique de différents scénarios de réduction des GES en Europe*. Document de Travail Seureco-Erasme n°1/11.

http://www.erasme-team.eu/imgs/FCK/file/publications/SEURECO-ERASME_1_11.pdf

- Bouillin et Neumann, 2013. L'incroyable erreur des experts du FMI, *Marianne*, 18 janvier. http://www.marianne.net/L-incroyable-erreur-des-experts-du-FMI_a225822.html
- Callonnec, G., F. Reynès, Y. Tamsamani, 2011. Une évaluation macroéconomique et sectorielle de la fiscalité carbone en France. *Revue de l'OFCE*, 120, pp. 123-153
- Cambridge Econometrics and Ricardo-AEA, 2013. *An economic assessment of low carbon vehicles*. March. <http://www.ricardo-aea.com/cms/assets/MediaRelease/Economic-Assessment-Vehicles-FINAL2.pdf>
- CERA (Cellule économique Rhône-Alpes, Observatoire régional du BTP), 2011. *Analyse de l'offre et de la demande sur les marchés de l'éco-rénovation et plan d'actions pour le schéma régional climat air énergie*. Janvier. http://srcae.rhonealpes.fr/static/cms_page_media/24/eco_renovation_rhonealpes.pdf
- CES (Confédération européenne des syndicats), Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS), Social Development Agency (SDA), Syndex, Wuppertal Institute, 2007. *Changement climatique et emploi - Impact sur l'emploi du changement climatique et des mesures de réduction des émissions de CO₂ dans l'Union européenne à 25 à l'horizon 2030*, <http://www.syndex.fr/pdf/SXchangmtclimatique.pdf>
- Combet E., Ghersi F., Hourcade JC., Thubin C., "La fiscalité carbone au risque des enjeux d'équité", 2010, *Revue française d'économie*, Vol XXV, octobre
- Cotis, J.-P., 2009. Partage de la valeur ajoutée, partage des profits et écarts de rémunérations en France. Rapport au Président de la République, INSEE. http://www.insee.fr/fr/publications-et-services/dossiers_web/partage_va/rapport_partage_va.pdf
- Donnadieu, G., 1984. *Revue de l'énergie* N° 365, juin-juillet, pp. 305-317
- Enertech, 2010. *Coûts des premières rénovations « basse consommation » en France – Perspectives*. www.enertech.fr
- EPIA (European Photovoltaic industry Association), 2012. *Connecting the Sun*. Full report. http://www.connectingthesun.eu/wp-content/uploads/reports/Connecting_the_Sun_Full_Report.pdf
- ESD (Energy for Sustainable Development), 2005. *Meeting the targets & putting renewables to work*, MITRE Monitoring & modelling initiative on the targets for renewable energy, <http://mitre.energyprojects.net/>
- Expert Group on New Skills for New Jobs (2010) *New Skills for New Jobs: Action Now*. A report prepared for the European Commission. <http://ec.europa.eu/social/BlobServlet?docId=4505&langId=en>
- Finon D. et R. Pacudan, 1996. *Analyse des études de contenu en emploi des filières de production électrique et des options de maîtrise de la demande*, IEPE, Grenoble, février

- Gadrey, J. 2012. *PIB, croissance, politiques publiques, retraites (3)*. <http://alternatives-economiques.fr/blogs/gadrey/2013/03/12/pib-croissance-politiques-publiques-retraites-3/>
- Greenpeace International, European Renewable Energy Council and Global Wind Energy Council, 2012. *Energy Revolution 2012*. June 4, ISBN 978-90-73361-92-8 http://www.greenpeace.de/fileadmin/gpd/user_upload/themen/energie/18_gpi_e_r_full_repo_rt_no_ren_lr.pdf
- Grubler, A., 2010. The costs of the French nuclear scale-up: A case of negative learning by doing. *Energy Policy*. 38: 5174–5188
- Huntington, H.G., 2009. *Creating Jobs with 'Green' Power Sources*. Energy Modeling Forum, EMF OP 64. April. http://emf.stanford.edu/publications/emf_op_64_creating_jobs_with_green_power_sources/
- Husson M., 1994. "Le contenu en emploi de la demande finale", *Revue de l'IREES*, n° 14, pp. 49-83
- INSEE, 2012. *Comptes de la nation - Base 2005*, Tableaux 6.208D et 6.209D. http://www.insee.fr/fr/themes/theme.asp?theme=16&sous_theme=5.2.2
- IRENA, 2012. *Renewable energy technologies: cost analysis series. Volume 1 : Power sector. Issue3/5: Hydropower* http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/RE_Technologies_Cost_Analysis-HYDROPOWER.pdf
- Klein, C. and O. Simon, 2010. *Le modèle MÉSANGE nouvelle version ré-estimée en base 2000*. DGTPE Working paper 2010/02, March. <http://www.dgtpe.minefi.gouv.fr/etudes/doctrav/pdf/cahiers-2010-02.pdf>
- Kouvaritakis, N., L. Paroussos and D. Van Regemorter, 2002. *The macroeconomic evaluation of energy tax policies within the EU, with the GEM-E3-Europe model*, Study for the European Commission DG TAXUD Under the contract TAXUD/2002/DE/302, http://ec.europa.eu/taxation_customs/resources/documents/economictaxation_final_report.pdf
- Masur, J.S. and E.A. Posner, 2011. *Regulation, unemployment and cost-benefit analysis*. Chicago John M. Olin Law and Economics Working Paper n. 571. <http://www.law.uchicago.edu/files/file/571-359-jm-eap-regulation.pdf>
- Mathy S., M. Fink et R. Bibas, 2011. Quel rôle pour les scénarios Facteur 4 dans la construction de la décision publique ?, *Développement durable et territoire*, 2(1) <http://www.imaclim.centre-cired.fr/IMG/pdf/20110924-MathyFinkBibas-RoleF4ScenariosInPublicDecisionMaking.pdf>
- Ministère de l'Écologie, 2012. *Les comptes des transports en 2011 – séries longues*. Juin 2012, <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/publications/p/references/comptes-transports-2011.html>

Péronnet F. et F. Rocherieux, 1983. “Le modèle DEFI : débouchés, emplois, filières interindustrielles - Problématique, principaux concepts et applications”, *Économie et prévision*, n° 58, pp. 3-20, Paris

PWC (PricewaterhouseCoopers), 2010. *Le poids socio-économique de l'électronucléaire en France*. Etude pour AREVA.

http://www.pwc.fr/assets/files/pdf/2011/06/le_poids_socioeconomique_de_l_electronucleaire_en_france.pdf

Quirion, P. 1999. *Les conséquences sur l'emploi de la protection de l'environnement : l'apport des études de contenu en emploi*. Thèse de doctorat, Ecole des Mines de Paris, février

Quirion, P., 2012. Sortir du nucléaire: bon ou mauvais pour l'emploi? *Médiapart*, 21 novembre, <http://blogs.mediapart.fr/blog/philippe-quirion/211111/sortir-du-nucleaire-bon-ou-mauvais-pour-lemploi>

Riffard J.-P., 1983. “Un outil d'analyse du système productif: le modèle AVATAR”, *Courrier des statistiques*, n° 26, pp. 33-36

Rozenberg J., S. Hallegatte, A. Vogt-Schilb, O. Sassi, C. Guivarch, H. Waisman and J.-C. Hourcade, 2010. Climate policies as a hedge against the uncertainty on future oil supply. *Climatic Change* 101(3-4): 663-668

Rutovitz, J., S. Harris, 2012. *Calculating global energy sector jobs: 2012 methodology*. Prepared for Greenpeace International by the Institute for Sustainable Futures, University of Technology, Sydney.

Sato, M., 2012. *Embodied carbon in trade: a survey of the empirical literature*. Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment. Working Paper 77, <http://www2.lse.ac.uk/GranthamInstitute/publications/WorkingPapers/Papers/70-79/WP77-embodied-carbon-in-trade.pdf>

Scott, M., J. Roop, R. Schultz, D. Anderson et K. Cort, 2008. The impact of DOE building technology energy efficiency programs on U.S. employment, income, and investment, *Energy Economics*, 30: 2283–2301. doi:10.1016/j.eneco.2007.09.001

Solagro, 2013. *Afterres2050 : quelle utilisation des terres en 2050 en France ?* <http://www.solagro.org/site/393.html>

Wei, M., S. Patadia and D. M. Kammen, 2010. Putting renewable and energy efficiency to work: How many jobs can the clean energy industry generate in the US? *Energy Policy*, 38: 919–931

Annexe. Hypothèses et résultats complémentaires

Nous supposons une durée de vie de 20 ans pour les éoliennes et 30 pour les systèmes PV, sauf l'onduleur (15 ans). Dans le scénario tendanciel, nous supposons qu'un EPR est mis en service chaque année à partir de 2023, pour un coût inférieur de 25% aux 8,5 milliards d'euros aujourd'hui annoncés pour la tête de série de Flamanville, du fait de l'effet de série mis en avant par EDF. Il est fort possible que le coût définitif de Flamanville soit supérieur, et que l'effet de série ne se réalise pas, puisque depuis les années 1980, les coûts d'investissements (et les délais de construction) dans le nucléaire en France n'ont cessé d'augmenter (Grubler, 2010, figure 8), mais comme pour les prix du pétrole, nous choisissons des hypothèses conservatrices. Le tableau A.1 ci-dessous indique les autres données utilisées pour les coûts.

Tableau A.1. Principales données utilisées pour les coûts
(en 2011 sauf mention contraire, en euros constants de l'année 2011)

	Valeur	Unité	Source	NES 118 ⁺
Eolien terrestre : turbine	0,96	€/W	<i>Windpower monthly Special report</i> , June 2012 p. 10	E32
Eolien terrestre : fondations	0,195	€/W	idem	H02
Eolien terrestre : éléments électriques	0,105	€/W	Idem	F61
Eolien terrestre : installation	0,105	€/W	Idem	H02
Eolien terrestre : études et autorisations	0,203	€/W	Idem, +50% pour la France	N25
Eolien terrestre : opération et maintenance	18	€/MWh	Idem	N33
Eolien maritime : turbine	1,14	€/W	<i>Windpower monthly Special report</i> , June 2012 p. 10	E32
Eolien maritime : fondations	0,540	€/W	idem	H02
Eolien maritime : éléments électriques	0,60	€/W	Idem	F61
Eolien maritime : installation	0,45	€/W	Idem	H02
Eolien maritime : études et autorisations	0,27	€/W	Idem, +50% pour la France	N25
Eolien maritime : opération et maintenance	44	€/MWh	Idem	N33
Solaire thermique : équipements	720	€/m ²	Calcul d'après Ademe (2012)	E22
Solaire thermique : études et installation	334	€/m ²	Idem	H01
Solaire thermique : maintenance	26	€/m ²	Idem	J30
Solaire photovoltaïque : système complet	1,42*	€/W	EPIA (2012) fig 3	E32
Solaire photovoltaïque : onduleur	0,14*	€/W	Dires d'experts	E32
Solaire photovoltaïque : installation	1,16	€/W	Calcul d'après Ademe (2012)	H01
Solaire photovoltaïque : maintenance	2,9	c€/W	Calcul d'après Ademe (2010)	J30

Géothermie : équipements	4,5	c€/kWh	Dires d'experts et calcul d'après Ademe (2012)	E22
Géothermie : génie civil	4,5	c€/kWh	Dires d'experts et calcul d'après Ademe (2012)	H02
Géothermie : opération et maintenance	5	c€/kWh	Badr et Benjamin (2003)	E22
Hydraulique : équipements	2	€/W	IRENA (2012)	E32
Hydraulique : génie civil	2	€/W	IRENA (2012)	H02
Hydraulique : opération et maintenance	30	€/kW	IRENA (2012)	E32
Rénovation bâtiments (scénario négaWatt)	450	€/m ²	Calculs d'après Enertech (2010)	
<i>Dont isolation</i>	315	€/m ²	<i>Calculs d'après Enertech (2010) et Ademe (2012)</i>	<i>H01</i>
<i>Dont équipements chauffage ventilation</i>	53	€/m ²	<i>Calculs d'après Enertech (2010) et Ademe (2012)</i>	<i>E22</i>
<i>Dont installation chauffage ventilation</i>	45	€/m ²	<i>Calculs d'après Enertech (2010) et Ademe (2012)</i>	<i>E22</i>
<i>Dont distribution chauffage ventilation</i>	37	€/m ²	<i>Calculs d'après Enertech (2010) et Ademe (2012)</i>	<i>J30</i>
Rénovation bâtiments (scénario tendanciel ; même répartition que ci-dessus)	225	€/m ²	Dires d'experts	
Logements neuf (RT 2012)	1429	€/m ²	http://www.developpement-durable.gouv.fr/Le-cout-de-la-construction.html	H01
Logements neuf (RT 2020)	1500	€/m ²	Dires d'experts	H01
Tertiaire neuf (RT 2012)	1222	€/m ²	http://www.developpement-durable.gouv.fr/Le-cout-de-la-construction.html	H01
Tertiaire neuf (RT 2020)	1283	€/m ²	Dires d'experts	H01
Coût d'achat des voitures (hors marges de distribution)	4,2	c€/(vehicule.km)	Calcul d'après comptes des transports et comptes nationaux	D01
Dépense de commerce et réparation des voitures, et marges de distribution	6,8	c€/(vehicule.km)	Calcul d'après comptes des transports et comptes nationaux	J10
Surcoût des voitures électriques (en %)	70	%	Calcul d'après Cambridge Econometrics (2013)	E32
Surcoût des voitures hybrides rechargeables (en %)	50	%	Calcul d'après Cambridge Econometrics (2013)	E32
Coût infrastructures de transport ferroviaire urbaines	10	c€/(voy.-km)	Calcul d'après comptes des transports et Ademe (2012)	
<i>Dont travaux publics</i>	90%		<i>Calcul d'après Ademe (2012)</i>	<i>H02</i>
<i>Dont études</i>	10%		<i>Calcul d'après Ademe (2012)</i>	<i>N25</i>
Coût infrastructures de transport ferroviaire interurbaines	3,5	c€/(voy.-km)	Calcul d'après comptes des transports et Ademe (2012)	
<i>Dont travaux publics</i>	90%		<i>Calcul d'après Ademe (2012)</i>	<i>H02</i>

<i>Dont études</i>	10%		Calcul d'après Ademe (2012)	N25
Coût infrastructures routières	3,4	c€/voy.-km)	Calcul d'après comptes des transports et Ademe (2012)	
<i>Dont travaux publics</i>	90%		Calcul d'après Ademe (2012)	H02
<i>Dont études</i>	10%		Calcul d'après Ademe (2012)	N25
Coût matériel de transport ferroviaire	3,4	c€/voy.-km)	Calcul d'après comptes des transports et Ademe (2012)	
<i>Dont travaux publics</i>	90%		Calcul d'après Ademe (2012)	H02
<i>Dont études</i>	10%		Calcul d'après Ademe (2012)	N25
transport ferroviaire voyageurs exploitation des lignes	9,6	c€/voy.-km)	Calcul d'après comptes des transports et comptes nationaux	K01
bus/car exploitation des lignes	40	c€/voy.-km)	Calcul d'après comptes des transports et comptes nationaux	K02
Transport aérien de voyageurs	5,4	c€/voy.-km)	Calcul d'après comptes des transports et comptes nationaux	K05
Fret ferroviaire	4,5	c€/t.km)	Calcul d'après comptes des transports et comptes nationaux	K01
Fret routier	13,5	c€/t.km)	Calcul d'après comptes des transports et comptes nationaux	K03
Fret fluvial	9,5	c€/t.km)	Calcul d'après comptes des transports et comptes nationaux	K03
Equipement de stations-service au GNV (135/an)	500	K€/unité	Dires d'experts	H02
Fonctionnement des stations-service au GNV	180	K€/unité	Dires d'experts	J10
Construction centrale nucléaire EPR (sauf tête de série)	3,98	€/W	EDF	
<i>Dont génie civil</i>	40%		Dires d'experts	H02
<i>Dont chaudronnerie</i>	20%		Dires d'experts	E22
<i>Dont machines à usage spécifique</i>	20%		Dires d'experts	E27
<i>Dont moteurs et génératrices</i>	40%		Dires d'experts	E32
Démantèlement centrales nucléaires	0,75	€/W	Dires d'experts	H02
Extension de la durée de vie des centrales nucléaires, réparti sur 15 ans (même répartition des coûts construction)	50	G€	Cour des comptes (2012)	
Dépenses de sensibilisation et information	433	M€/an	Dires d'experts	

* Coût en 2020

+ Cf. http://www.insee.fr/fr/methodes/nomenclatures/nes2003/xls/nes2003_n1-3.xls

Tableau A.2. Effet sur l'emploi du scénario négaWatt par rapport au tendanciel, désagrégé en milliers d'emplois équivalent temps plein (ETP)

	2020	2025	2030
éolien terrestre	32	34	37
éolien maritime	10	28	56
solaire thermique	12	26	41
PV	87	86	81
biomasse solide	25	32	51
biomasse liquide	4	3	5
biomasse gazeuse	13	34	56
géothermie	2	3	4
hydraulique	3	3	4
rénovation logements	164	309	323
rénovation tertiaire	49	151	149
infrastructures ferroviaires	4	9	17
matériel ferroviaire	3	7	12
exploitation des transports en commun	37	89	164
stations gaz naturel véhicules	24	26	29
fret fer & fluvial	2	10	27
sensibilisation et information	6	6	5
logements neufs	-88	-174	-245
tertiaire neuf	-36	-105	-158
automobile	-85	-133	-173
infrastructures route	-25	-39	-52
avion	-27	-47	-72
fret routier	-31	-71	-141
produits pétroliers	-25	-43	-62
charbon	-2	-4	-4
production électricité non renouvelable	-21	-41	-64
EPR + prolongation centrales	-76	-105	-71
gaz naturel fossile	6	3	-4
démantèlement des centrales	11	13	15
réseau électricité & gaz	63	68	73
effet induit sur l'emploi	97	261	527
effet net sur l'emploi	235	439	632

Tableau A.3. Surcoût annuel du scénario négaWatt par rapport au tendanciel
en milliards d'euros 2011

	2020	2025	2030
énergies renouvelables	15	21	29
rénovation des bâtiments	14	32	35
transports en commun, fret ferroviaire & fluvial	3	9	18
sensibilisation et information	0,4	0,4	0,4
énergies non renouvelables, réseaux gaz et électricité	-22	-45	-69
bâtiments neufs	-8	-20	-30
transport routier sauf transports en commun	-9	-18	-29
transport aérien	-3	-6	-10
Surcoût total	-10	-26	-55