

# ANALYSES ET ENJEUX

## Negatep/Negawatt : quel scénario énergétique ?

Jacques MASUREL<sup>(1)</sup>

Les exercices de prospective dans le domaine de l'énergie et de la lutte contre le réchauffement climatique se sont multipliés ces dernières années à la faveur de l'ambitieuse loi sur l'énergie de 2005 qui vise à une division par quatre – le « facteur 4 » – des rejets de gaz à effet de serre en 2050.

La Commission Énergies 2050, qui vient de clôturer ses travaux (dont la synthèse rédigée par Jacques Percebois et Claude Mandil est disponible en ligne<sup>(2)</sup>), s'est efforcée de comparer les principaux scénarios disponibles. Elle en a sélectionné huit. Parmi ces scénarios, deux, qualifiés de « toutes énergies », ont été considérés comme ayant une portée générale : le scénario Negawatt dont le dossier de synthèse est disponible en ligne<sup>(3)</sup> et le scénario Negatep de « Sauvons le Climat » qui fait l'objet de la présentation ci-dessous. Ces deux options constatent que pour atteindre le « facteur 4 » il faut à fois s'attaquer à tous les grands secteurs émetteurs de CO<sub>2</sub>, améliorer l'efficacité énergétique et développer les énergies renouvelables.

À la différence du scénario Negawatt, Negatep insiste sur la nécessité de substituer l'électricité aux combustibles fossiles, que ce soit dans les usages fixes (habitat et tertiaire) ou les usages mobiles (transports), une contrainte qui se traduit par une forte augmentation de la part de l'électricité dans le « mix énergétique ». Ce scénario réaliste, compte tenu de l'augmentation de la consommation d'électricité, s'oppose également à Negawatt sur les moyens de produire cette électricité. Negawatt envisage un recours massif aux énergies renouvelables. Pour faire face à l'intermittence de l'éolien et du solaire photovoltaïque, les auteurs de ce scénario prévoient de doubler ces sources d'énergies par des centrales à gaz (éventuellement pourvues de dispositifs de captage du CO<sub>2</sub>) et des techniques de stockage de l'électricité, même si l'efficacité de ces techniques reste à démontrer<sup>(4)</sup>. Pour sa part, Negatep considère que la limite acceptable d'énergies intermittentes par les réseaux électriques est limitée et que l'essentiel de la production électrique prévue par le scénario Negawatt sera de ce fait assuré par des centrales à gaz rejetant du CO<sub>2</sub>.

La figure 1, extraite de la présentation du scénario Negawatt, illustre bien la philosophie de ce schéma puisque la diminution de la consommation, pour atteindre le « facteur 4 », repose en grande partie sur la sobriété et sur l'augmentation de l'efficacité énergétique, c'est à dire sur des potentialités de progrès, des trajectoires, des espoirs d'avenir, des estimations. La philosophie de Negatep (figure 9) repose également sur des économies réalisées grâce à l'efficacité énergétique grandissante, mais elle considère que l'électricité qui aura notamment à se substituer au gaz et au pétrole verra son rôle considérablement augmenter. Ces différences conduisent Negawatt à préconiser la mise en place d'une économie administrée où l'on s'ingéniera à s'affranchir du jeu des coûts et des prix pour atteindre, avec les moyens prévus, les objectifs envisagés. Negatep, plus pragmatique, se méfie des effets pervers de réglementations contraignantes et, bien qu'il y ait

urgence, refuse la mise en place d'un réseau de règlements et d'interdictions. Le mécanisme des prix, qui permet d'orienter librement les choix et susciter une réaction équilibrée des usagers, a sa préférence. À titre d'exemple, une taxe globale prélevée sur les sources de carburants fossiles lui semblerait plus efficace que des mesures autoritaires fondées sur des statistiques souvent discutables<sup>(5)</sup>.

Negawatt et Negatep se retrouvent, par contre, sur la nécessité de poursuivre les efforts de recherche. Avec une population de sept milliards d'humains et bientôt de neuf sur la planète, l'un et l'autre admettent que si l'on exclut le progrès technique, l'avenir du monde sera rapidement bouché. Nos moyens financiers étant limités, il convient donc d'être réaliste et rigoureux dans l'allocation des moyens et notamment de ne pas confondre expérimentations en vraie grandeur et création d'emplois.

(1) Association « Sauvons le climat ».

(2) [http://www.economie.gouv.fr/files/2-e2050\\_SYNTHESEpresidentsM.pdf](http://www.economie.gouv.fr/files/2-e2050_SYNTHESEpresidentsM.pdf)

(3) [http://www.negawatt.org/telechargement/SnW11/Scenario\\_negaWatt\\_2011-Dossier\\_de\\_synthese-v20111017.pdf](http://www.negawatt.org/telechargement/SnW11/Scenario_negaWatt_2011-Dossier_de_synthese-v20111017.pdf)

(4) Voir étude sur [www.sauvonsleclimat.org](http://www.sauvonsleclimat.org) : « Intermittence et foisonnement de l'électricité éolienne en Europe de l'Ouest. Qu'attendre du stockage de l'électricité intermittente sous forme d'hydrogène ? ».

(5) Au besoin, on détaxera pour des usages ou des situations particulières mais, quoi qu'il en soit, le coût de perception d'un tel système sera faible.

## Le scénario Negatep de Sauvons le Climat, un scénario de lutte contre le réchauffement climatique

par Pierre Bacher et Claude Acket<sup>(6)</sup>

### Les points forts de ce scénario

L'objectif mondial de limiter l'augmentation de la température moyenne de la terre à environ 2 °C implique de diviser en moyenne par 2 les émissions de gaz à effet de serre d'ici 2050. Les objectifs par pays dépendent de leurs taux d'émission respectifs actuels, et pour la France, c'est une division par 4 des émissions de gaz carbonique qu'il s'agit de réaliser, ce qui revient à diviser par 4 la consommation de combustibles fossiles (ce facteur est voisin de 6 pour l'Allemagne).

Outre les économies d'énergie, notamment dans le bâtiment et les transports, sans lesquelles le « facteur 4 » serait inaccessible, il faut remplacer le plus possible les combustibles fossiles par des sources d'énergie non émettrices de gaz carbonique et pour cela :

- supprimer pratiquement le pétrole et le gaz dans le résidentiel et le tertiaire. Les moyens existent, en

combinant une meilleure isolation, les énergies renouvelables chaleur associées ou non à des pompes à chaleur, et l'électricité directe exploitée intelligemment ;

- réduire très fortement le pétrole pour les transports. Il s'agit là d'une double révolution : repenser la mobilité (transports en commun, fret) et remplacer le pétrole par l'électricité, soit directement dans des véhicules hybrides rechargeables ou électriques, soit en apportant tout ou partie de l'énergie nécessaire à la synthèse des biocarburants<sup>(7)</sup> ;
- limiter sérieusement les combustibles fossiles dans l'industrie. Ceci implique notamment des modifications de procédés (et donc des investissements lourds) ;
- augmenter fortement la part de l'électricité dans le mix énergétique, maintenir la part du nucléaire dans la production d'électricité et, tant que des moyens économiques de stockage d'électricité<sup>(8)</sup> n'auront pas été développés, limiter la part des électricités intermittentes au niveau que le réseau électrique peut supporter sans augmenter les capacités des centrales à gaz.

Le résultat de l'ensemble de ces actions est porté sur les figures 2 et 3.

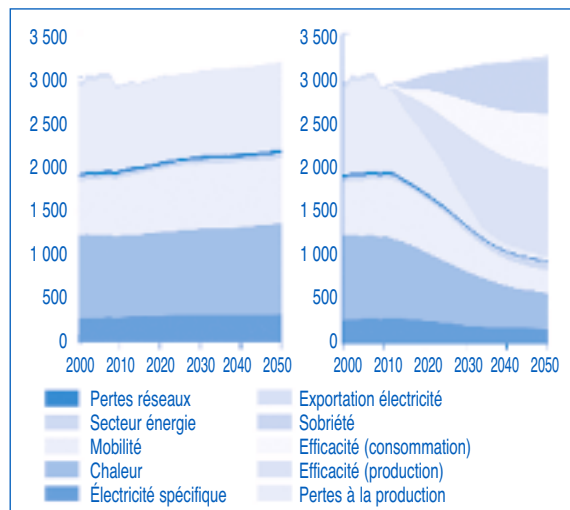


Figure 1. Évolution comparée des consommations énergétiques finales par usages entre le scénario tendanciel et le scénario négaWatt (en TWh).

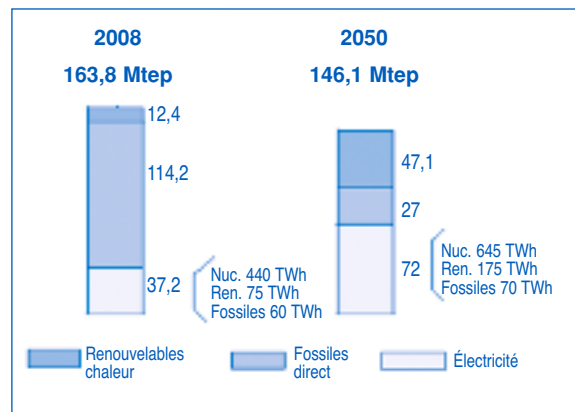


Figure 2. Passage de la situation en énergie finale en 2008 aux projections de Negatep pour 2050. Les énergies sont en Mtep, la production d'électricité en TWh.

(6) Membres du Conseil Scientifique de Sauvons le Climat.

(7) Cf. l'étude de Sauvons le Climat intitulée « Réflexion sur la biomasse énergétique » <http://www.sauvonsleclimat.org/production-denergie/energies-renouvelables-sporadiques/reflexions-sur-la-biomasse-energetique.html>

(8) À la différence du gaz naturel, l'électricité ne se stocke pas, du moins à grande échelle et dans des conditions économiques. La production doit donc à tout moment équilibrer la consommation.

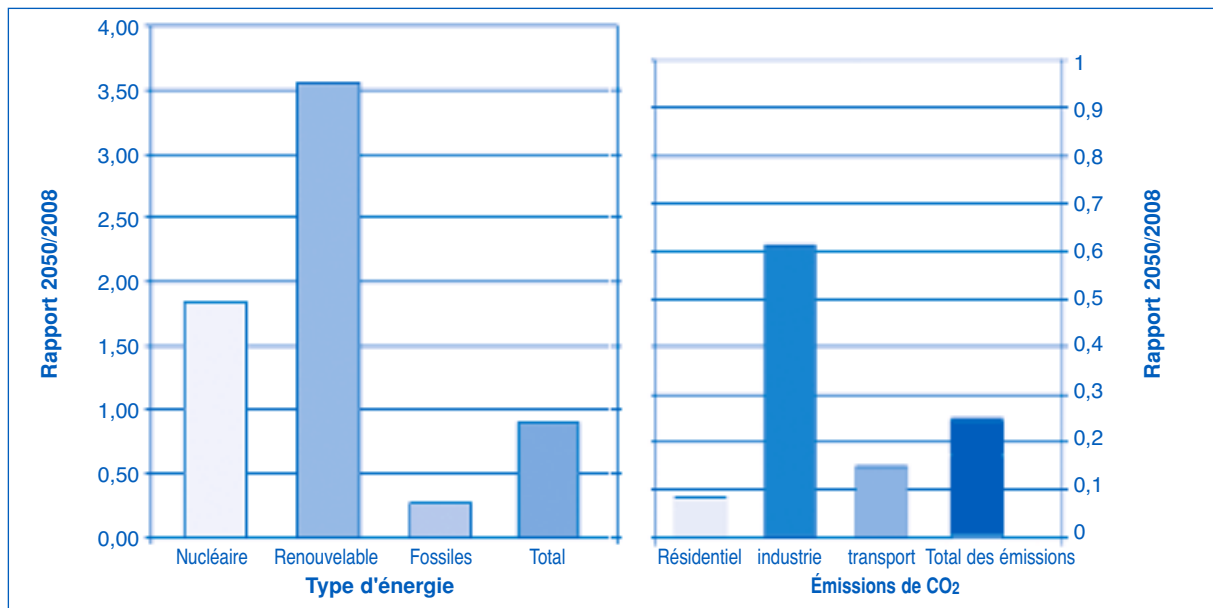


Figure 3.

Rapport des consommations d'énergie finale et de certaines émissions de CO2 aux quantités prévues pour 2050 par Négatep.

### Introduction : limiter le réchauffement climatique, « Sortir des fossiles »

#### Quelques repères mondiaux

Pour répondre aux besoins énergétiques, la production mondiale annuelle était, en 2008, de 12,3 GTep (12,3 milliards de tonnes équivalent pétrole) (voir figure 4)<sup>(9)</sup>.

Il faut souligner que derrière cette vision globale mondiale se cachent de fortes inégalités. Ainsi, si la moyenne mondiale est de 1,8 tep par habitant et par

an, elle dépasse 9 pour un Nord-Américain (USA, Canada) et atteint 4,3 en France, 4,1 en Allemagne.

Plus de 80 % de la fourniture énergétique viennent des combustibles fossiles, d'où l'importance des rejets de gaz carbonique, qui sont en moyenne de 4,9 tonnes par habitant et par an. Le classement des pays selon la production par habitant peut se retrouver modifié au niveau du classement des rejets, selon la part relative occupée par les combustibles fossiles. Ainsi, **la comparaison entre la France et l'Allemagne est très instructive : pour sensiblement la même production par habitant, les rejets allemands sont 50 % plus élevés.**

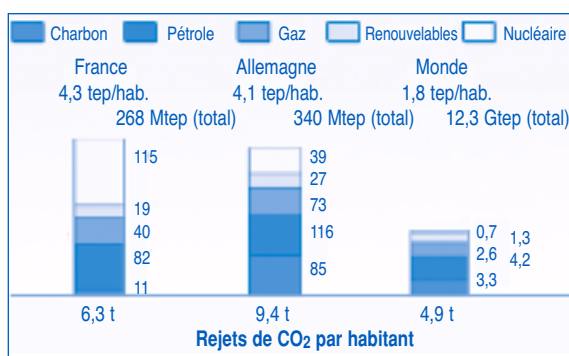


Figure 4.

Situation actuelle énergie primaire (2008).

(9) Nous utiliserons généralement comme unité d'énergie la tonne d'équivalent pétrole (tep) et ses multiples (Mtep et Gtep). Dans certains domaines, le kWh et ses multiples (MWh, TWh) peuvent être utilisés et dans ce cas, pour faciliter la lecture, nous donnons les quantités dans les deux unités. **Rappel : 1 tep = 41,86 GJ = 11,6 MWh.**

(10) Le stock des quantités de combustibles fossiles récupérables est nécessairement fini. En dépit de nouvelles découvertes, de progrès technologiques permettant d'augmenter le taux de récupération, les quantités annuellement produites doivent un jour passer par un maximum (pic ou plateau) avant de décroître inexorablement, ceci quels que soient ces progrès et le prix accepté par le consommateur. Pour le premier combustible fossile, le pétrole, le peak oil est déjà proche. Selon certains géologues, la position du pic du gaz serait décalée de 10 ans par rapport à celle du pétrole et celle du charbon interviendrait dans la seconde moitié du siècle. Économiquement parlant, c'est la position du pic qui est importante, car l'écart croissant entre demande et offre produit une augmentation des prix nécessairement déstabilisatrice.

Pour le futur, toutes les modélisations prédisent, pour 2100, une élévation des températures mondiales. **Pour limiter cette élévation à 2 °C, valeur considérée par le GIEC comme celle qu'il serait prudent de ne pas dépasser, il faudrait que les émissions mondiales soient divisées par un facteur 2 d'ici 2050<sup>(11)</sup>. Ce facteur 2 mondial se traduit en moyenne par un facteur proche de 4 pour les pays « riches ».**

## Le cas de la France

Pour la France, la figure 5 fait clairement apparaître les postes sur lesquels il faut agir.

Les transports dépendent pratiquement à 100 % du pétrole, comme le montre le tableau 1 ; ils sont donc en quasi-totalité sources de rejets de gaz carbonique.

La corrélation entre consommation et rejets est moindre pour les usages fixes (l'ensemble du secteur résidentiel/tertiaire et celui de l'industrie) qui, par l'usage de l'électricité, font relativement moins appel indirectement aux combustibles fossiles.

Les fossiles consommés sont responsables de près de 421 Mt de CO<sub>2</sub> émis. Très globalement, pour

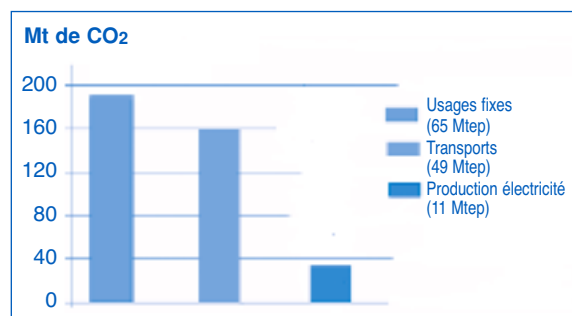


Figure 5. Origine des émissions de CO<sub>2</sub> en France, en millions de tonnes par an, et usage des combustibles fossiles consommés (en Mtep).

diviser ces rejets par 4, il faut diviser par 4 la consommation d'énergies fossiles et la ramener dans une fourchette de 30 à 40 Mtep.

Pour réduire les émissions, on peut agir dans deux directions complémentaires : diminuer notre consommation d'énergie chaque fois que c'est possible, et utiliser des sources d'énergie n'émettant pas de gaz à effet de serre, c'est-à-dire limiter le plus possible l'utilisation des combustibles fossiles<sup>(12)</sup>. Ceci est conforme à la loi d'orientation sur l'énergie de 2005, qui définit quatre grands axes d'action :

- Économiser l'énergie.
- « Décarboner » l'énergie utilisée.
- Développer les énergies renouvelables.
- Maintenir le nucléaire pour la production d'électricité.

Les trois premiers axes ont été confirmés et précisés par le Grenelle de l'environnement, sans toutefois accompagner les choix d'évaluations coûts/bénéfices, pourtant prévus par la loi. Le nucléaire ayant été placé par le gouvernement en dehors des sujets à traiter par le Grenelle, celui-ci, sans doute à titre de représailles, a préféré « oublier » que l'électricité pouvait jouer un rôle majeur dans le remplacement des combustibles fossiles, tant pour les usages fixes de l'énergie que dans les transports.

Le scénario Negatep, prenant en compte la compétitivité des entreprises nationales, le budget de l'État, et surtout les besoins des citoyens/consommateurs, cherche aussi à optimiser les coûts. **Négatep, en sus d'efforts importants mais raisonnables de maîtrise de l'énergie et d'un fort développement des énergies renouvelables thermiques, fait une place de choix à l'électricité pour se substituer aux combustibles fossiles, dans la mesure où elle est produite par des sources non émettrices de gaz carbonique** : le nucléaire, et les renouvelables dans des conditions financièrement et techniquement raisonnables.

Tableau 1.

France 2008 : bilan en énergie finale en Mtep.  
Appel direct au charbon, pétrole, gaz, renouvelables thermiques (Ren.th).  
L'électricité (Électr) fait elle-même appel au nucléaire, aux renouvelables électriques et aux fossiles.

|                        | Charbon (Mtep) | Pétrole (Mtep) | Gaz (Mtep) | Electr. (Mtep) | Ren. Th. (Mtep) | Total (Mtep) | Total (%) |
|------------------------|----------------|----------------|------------|----------------|-----------------|--------------|-----------|
| Industrie              | 5,7            | 5,1            | 13,7       | 11,6           | 1,3             | 37,4         | 23        |
| Résidentiel/ tertiaire | 0,4            | 13,2           | 25         | 23,9           | 8,9             | 71,4         | 44        |
| Agriculture            |                | 3,4            | 0,3        | 0,6            | 0,1             | 4,4          | 2         |
| Transports             |                | 46,9           |            | 1              | 2               | 49,9         | 31        |
| Total                  | 6,1            | 68,6           | 39,1       | 37,2           | 12,3            | 163,1        | 100       |

(11) Pour 7 milliards d'habitants, les émissions de CO<sub>2</sub> atteignaient 34 milliards de tonnes en 2008. Il faudrait les ramener à 17 milliards de tonnes en 2050. Pour 9 milliards d'habitants, cela signifie 1,9 tonne/hab., soit une division par 2,7 par habitant.

(12) La séquestration du gaz carbonique est en cours de développement, mais sans doute loin d'une application généralisée. Dans ces conditions, Negatep ne l'a pas retenue.

À partir de la situation actuelle, Negatep examine, dans le scénario dit de « référence » (ou tendanciel, ou dans la continuité), ce qui pourrait se passer en l'absence de politique volontariste de lutte contre les émissions de gaz carbonique. À partir de cette référence, il examine ensuite comment maîtriser des besoins pour réduire la consommation finale puis, constatant que ces mesures de réductions sont insuffisantes pour approcher le facteur 4, propose des sources alternatives d'énergie (renouvelables thermiques et électriques) non émettrices de gaz carbonique.

### Le « scénario de référence »

**Le scénario de référence est une extrapolation à l'horizon 2050 de celui publié en 2008 par la DGEMP<sup>(13)</sup> (maintenant la DGEC<sup>(14)</sup>) et allant jusqu'en 2030.**

Une évidence : l'avenir se prépare aujourd'hui. Mais les grandes décisions stratégiques d'investissement, de choix dans les domaines de la R&D, ne peuvent se faire à partir du seul point de départ de la situation actuelle, comme celle d'une année de référence. Il faut aussi anticiper l'avenir. Cette vision de l'avenir repose sur des scénarios. Parmi ces scénarios, celui dit de référence part des évolutions observées au cours des quelques dizaines d'années passées, en prenant toutefois en compte les décisions – du type règlements, lois – déjà prises, qui peuvent modifier les trajectoires.

Le scénario de référence proposé par la Direction Générale de l'Énergie et des Matières Premières (DGEMP) et l'observatoire de l'énergie (OE) en 2008<sup>(15)</sup> correspond à cette approche. Il est établi tous les 4 ans. Il vise spécifiquement l'année 2030, et nous l'extrapolons à 2050, année cible du facteur 4.

Ce scénario représente la situation énergétique de la France, « *si aucune politique ou mesure nouvelle, autre que celles déjà en place ou décidées au 1<sup>er</sup> janvier 2008, n'était prise, en particulier, pas de mesures nouvelles qui pourraient ressortir des suites du Grenelle de l'environnement* ». Il suppose aussi l'absence de grave crise mondiale dans l'approvisionnement des combustibles fossiles et le maintien des prix de ces combustibles à des valeurs voisines des actuelles.

Ce scénario fait passer la consommation d'énergie finale de 162 Mtep en 2006 à 184 Mtep en 2020 et 226 en 2050, sans modification importante de la part des énergies fossiles. La répartition entre secteurs est donnée dans le tableau 2 et illustrée par la figure 6.

Tableau 2.  
Consommation finale énergétique, hors branche énergie (DGEMP 2020-2030 et extrapolation à 2050).

| Mtep                     | 2006         | 2020         | 2030         | 2050       |
|--------------------------|--------------|--------------|--------------|------------|
| Industrie                | 37,4         | 41,7         | 44,8         | 51         |
| Résidentiel/tertiaire    | 70,6         | 81,2         | 84,4         | 90,6       |
| Agriculture              | 2,9          | 4,3          | 4,6          | 5,2        |
| Transports               | 50,8         | 56,9         | 64,3         | 79,1       |
| <b>Total énergétique</b> | <b>161,7</b> | <b>184,1</b> | <b>198,1</b> | <b>226</b> |

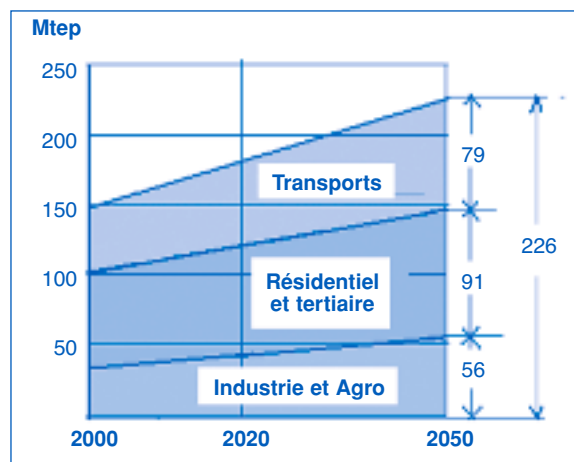


Figure 6.  
Énergies finales en Mtep  
selon le scénario de référence, DGEMP 2008.

Hors production électrique, la part des combustibles fossiles, mesurée en énergie finale, passe de 113 Mtep à 138 Mtep soit + 23 %, qui se traduiraient par plus de 23 % de rejets de gaz carbonique, car la part du pétrole des transports augmente de 50 %.

La consommation électrique passe de 430 TWh à 742 TWh, soit + 72 %. Si ce supplément de 312 TWh était produit par du charbon, les rejets annuels de gaz carbonique seraient augmentés de 276 millions de tonnes. Ils le seraient de 103 millions de tonnes si ce supplément d'électricité était produit à partir du gaz avec cycle combiné.

Globalement, **le scénario de référence conduit à une augmentation significative des rejets de gaz carbonique, montrant la nécessité de corriger les trajectoires d'évolution des consommations et productions énergétiques, d'où le scénario Négatep.**

(13) Direction Générale de l'Énergie et des Matières Premières.

(14) Direction Générale Énergie et Climat.

(15) Scénario énergétique de référence DGEMP-OE 2008.



## La maîtrise des besoins

Négatep vise à améliorer l'efficacité énergétique sans renoncer à l'efficacité économique. Les différentes méthodes de réduction des émissions de gaz à effet de serre doivent être évaluées en termes de coût de la tonne de CO<sub>2</sub> évitée, et les mesures minimisant ce coût doivent être favorisées.

### Secteurs résidentiel et tertiaire

L'isolation des bâtiments anciens doit être prioritaire, mais il est préférable, pour le même coût, de diviser par 2 la consommation individuelle de un million de logements que de diviser par 4 celle de seulement 250 000.

Pour ces deux secteurs très voisins, Négatep vise à supprimer pratiquement l'usage du pétrole et du gaz en combinant l'isolation, les énergies renouvelables thermiques (biomasse, solaire) et l'électricité associée ou non aux pompes à chaleur.

Pour le secteur résidentiel, les déperditions thermiques qui peuvent dépasser 300 kWh/m<sup>2</sup>.an pour certains logements anciens, sont à ce jour en moyenne de 210 kWh/m<sup>2</sup>.an. Négatep retient 50 kWh/m<sup>2</sup>.an en énergie finale pour le neuf<sup>(16)</sup>, et 100 pour l'ancien. **Négatep considère en effet que l'imposition de normes de plus en plus sévères et coûteuses peut être globalement contreproductive, en absorbant des moyens financiers qui seraient plus efficaces utilisés autrement.** Par exemple, il faut compter un surcoût d'environ 5 000 € pour réduire la demande de 20 à 10 MWh/an par logement<sup>(17)</sup>, soit un gain de 10 MWh/an par logement, mais plus de 20 000 € pour la réduire de 20 à 5 MWh/an, soit un gain de 15 MWh/an par logement. Le prix du MWh économisé est près de 3 fois plus élevé dans le deuxième cas ; et le prix marginal, pour passer de 10 à 5 MWh/an près de 6 fois plus élevé.

Selon Négatep, l'économie due à l'isolation sur les logements existants atteindrait 12 Mtep. En prenant en compte les logements neufs, la consommation due au chauffage de l'habitat passe de 33 à 25 Mtep.

Aux économies résultant de l'isolation, il faut en ajouter d'autres, comme celles provenant du remplacement de moyens de chauffage (par exemple, par des chaudières à condensation, chaudières à bois performantes) dont on peut attendre près de 3 Mtep d'économies d'énergie.

L'amélioration de l'efficacité des installations de chauffage doit être encouragée.

À l'exception du chauffage, Négatep ne prévoit pas de grands changements des besoins de l'habitat.

- Pour l'ECS (eau chaude sanitaire), alors que le scénario de référence prévoit un accroissement de 1 % par an, la sobriété devrait permettre la stabilisation en dépit des améliorations de qualité de vie sanitaire dans de nombreux logements anciens.
- Pour les besoins spécifiques d'électricité, si certains besoins sont en baisse (produits blancs, éclairage...), d'autres sont en hausse (produits bruns...) et donc globalement les besoins devraient rester sensiblement constants par logement.

Pour le secteur tertiaire, le scénario de référence prévoit environ 32 Mtep pour 2050. Aux mêmes techniques classiques de maîtrise de l'énergie utilisées pour l'habitat devrait s'ajouter la gestion de l'intermittence dans l'occupation de nombreux locaux. Compte tenu de ces éléments qualitatifs, nous admettons que les besoins du secteur tertiaire pourraient se stabiliser à leur niveau actuel, soit environ 23 Mtep.

### Secteurs industriel et agro-alimentaire

Négatep prévoit le maintien de la consommation des secteurs industriels et alimentaires à leur niveau de 2006, grâce à un gain d'efficacité énergétique de 25 %.

L'extrapolation du scénario de référence aboutit à 56 Mtep en 2050 (hors besoins nouveaux liés au développement d'une industrie des biocarburants). L'industrie a fait un gros effort, après les chocs pétroliers des années 70, pour améliorer son efficacité énergétique d'environ 25 %. Même si le plus facile a été fait, l'objectif retenu est une nouvelle amélioration équivalente d'ici 2050. **La consommation totale des industries traditionnelles en 2050 serait alors pratiquement stabilisée au niveau de 2006.** Nous verrons plus loin qu'il y aurait lieu d'y ajouter les besoins d'énergie d'une nouvelle industrie, celle de la synthèse de biocarburants.

### Secteurs des transports

Grâce au développement des transports en commun, à l'amélioration des rendements des moteurs, particulièrement par l'usage croissant de motorisation électrique, la consommation du secteur des transports devrait être diminuée de 20 % par rapport à 2008.

Le transport des biens et des personnes utilise aujourd'hui presque exclusivement le pétrole et il n'existe pas, à court terme, de véritables énergies

(16) La réglementation thermique RT 2012 se base malheureusement sur l'énergie primaire et non sur l'énergie finale. Ceci pousse à favoriser le chauffage au gaz, fort émetteur de gaz carbonique. Or l'isolation thermique n'agit que sur l'énergie finale. Il serait préférable de faire référence à cette dernière et, en parallèle, comme le recommande l'OPECS, d'imposer des limites sur les rejets de gaz carbonique associés au mode de chauffage choisi.

(17) Rapport n° 004834-01 au Conseil Général des Ponts et Chaussées « Les économies et substitutions d'énergie dans les bâtiments » – J. Orselli – (février 2008). Ce rapport distingue une rénovation « diffuse » et une rénovation « lourde ». Les données utilisées ici proviennent de ce rapport.

disponibles pour une substitution massive. À moyen et long termes, comme nous le verrons au § *Zoom sur les transports*, les biocarburants peuvent en partie se substituer au pétrole, mais ceci ne modifie pas les besoins en combustibles liquides. Par contre, le développement de la motorisation électrique peut, pour répondre aux mêmes besoins de déplacement, faire appel à moins d'énergie finale du fait des écarts de rendements entre moteurs thermiques et moteurs électriques.

Certes, des progrès technologiques importants ont permis d'améliorer fortement l'efficacité des moteurs automobiles. Mais cette amélioration a été plus que compensée par l'imposition de normes plus sévères de sécurité et anti-pollution hors CO<sub>2</sub>, par l'orientation du public vers des véhicules plus puissants et par l'augmentation du trafic automobile. Seules les mesures gouvernementales en faveur des voitures à bas rejets de CO<sub>2</sub> (bonus-malus) ont récemment contribué à inverser la tendance.

Le scénario de référence, conduit à 79 Mtep en 2050. Par rapport à cette tendance, on peut espérer la poursuite et la généralisation des progrès technologiques<sup>(18)</sup>. Mais **il faudrait surtout compter sur la mise en valeur des transports en commun et une modification du comportement de chacun pour permettre de réduire les besoins des 50 Mtep actuels à 40, soit à la moitié de la valeur tendancielle.**

Contrairement au cas des secteurs résidentiel et tertiaire, il est très difficile, pour le secteur des transports, d'évaluer les coûts liés à la diminution des besoins : les progrès technologiques ont probablement un coût (le coût de la tonne de pétrole évitée par l'opération bonus-malus est très élevé), le changement des comportements individuels peut permettre d'économiser de l'argent (conduite « sage », covoiturage), les investissements dans les transports en commun sont très lourds, mais ne doivent pas être imputés à la seule recherche d'économies d'énergie, et il en va de même pour l'aménagement de la cité, etc.

#### Récapitulatif de la maîtrise des besoins (voir figure 6)

**Grâce à l'amélioration de l'efficacité énergétique, la consommation finale pourrait diminuer de 35 % par rapport au scénario tendanciel, et de 8 % par rapport à 2008.**

Au total, en 2050, la consommation finale de 149 Mtep serait un peu inférieure à l'actuelle de 163 (soit - 8 %). Compte tenu de l'augmentation prévue de la population, la baisse serait de 15 % par habitant par rapport à 2008.

Les mesures d'économies proprement dites représenteraient près de 77 Mtep d'énergie finale par rapport au scénario de référence qui prévoyait une consommation de 226 Mtep. Par habitant, la baisse par rapport à la référence atteindrait pratiquement 40 %.

## Les sources d'énergie décarbonées alternatives

### Énergies renouvelables thermiques

**La production de chaleur grâce aux énergies renouvelables sera multipliée par 4 par rapport à 2008.**

**Les énergies renouvelables trouvent leur place de prédilection dans le domaine de la production de chaleur.**

Le bois, les cultures à but énergétique et les divers déchets agricoles et ménagers, qui fournissent déjà près de 10 Mtep, pourraient facilement en fournir directement plus du double, et davantage avec le développement de la production de biocarburants. Au total, Negatep retient une fourchette de 30 à 35 Mtep.

Les biocarburants de seconde génération sont issus des résidus d'origine forestière (taillis, produits de première éclaircie, etc.), d'origine agricole (pailles des céréales, etc.), et des sous-produits des industries associées, ainsi que de cultures dédiées annuelles comme les taillis ou encore d'autres plantes moins connues comme le miscanthus. La production nette de 15 Mtep est obtenue à partir de 22,5 Mtep de biomasse et de 7,5 Mtep d'électricité (énergie externe non carbonée pour accroître la valorisation du carbone de la biomasse).

*Nota : Affectation des terres*

**La destination première de la biomasse restant la nourriture, il faut que cet accroissement des usages énergétiques s'inscrive dans une gestion équilibrée des terres, face au dilemme : « manger ou se chauffer, se déplacer ou manger... ».**

Globalement, l'affectation générale des terres entre forêts, terres cultivées et prairies est peu modifiée. On a retenu :

- une réduction des surfaces de prairies : - 2 Mha ;
- un accroissement des terrains artificialisés : + 1 Mha ;
- une affectation pour les bioproduits : + 2 Mha.

- Le solaire thermique pourrait facilement fournir les trois quarts de l'eau chaude sanitaire et une partie limitée du chauffage des maisons individuelles. Au total, il pourrait apporter une contribution de 3 à 5 Mtep.

(18) Dans la continuité, notamment l'injection directe et haute pression, la distribution variable, l'accroissement de la puissance spécifique, l'adaptation des moteurs aux besoins réels (Downsizing).

- Un fort développement est à prévoir pour la géothermie de surface (ou géosolaire) et l'aérothermie, basées sur l'utilisation de pompes à chaleur. La contribution peut être estimée à 9,8 Mtep : 7 tirés du sol ou de l'air, et 2,8 apportés indirectement par l'électricité des pompes à chaleur (COP : 3.5).
- La géothermie semi-profonde ou profonde (à partir des aquifères), encore peu développée (0,2 Mtep) devrait s'étendre légèrement.

### Récapitulatif Renouvelables chaleur

**Au total, ce sont environ 45 Mtep de chaleur qui pourraient être produits par les renouvelables, à partager entre les différents secteurs.**

### Électricité

**Négatep s'appuie sur les transferts d'utilisation de l'énergie vers une électricité décarbonée pour obtenir la division par 4 des émissions de CO<sub>2</sub> par la France. De ce fait, la consommation d'électricité augmente de plus de 50 %, la production nucléaire étant augmentée de 45 %, et la production électrique d'origine renouvelable étant triplée. L'électricité produite par des centrales à gaz est maintenue à son niveau pour faire face à l'intermittence de l'éolien et du photovoltaïque dont les productions sont supposées dépasser significativement les propositions du Grenelle.**

**Pour ne pas contribuer aux rejets de CO<sub>2</sub>, l'électricité doit être produite à partir de sources d'énergies non carbonées : énergie nucléaire et énergies renouvelables. Le maintien à grande échelle de combustibles fossiles imposerait la séquestration du gaz carbonique (CSC).**

- Le nucléaire produit aujourd'hui près de 80 % de notre électricité. Techniquement et économiquement, cette proportion pourrait être conservée, par exemple en remplaçant, d'ici 2050, les réacteurs actuels au fur et à mesure de leur fin de vie par des EPR<sup>(19)</sup>. Ceci pose évidemment des problèmes tels que l'ouverture éventuelle de nouveaux sites et le démantèlement des centrales arrivées en fin de vie<sup>(20)</sup>, la mise en œuvre du stockage définitif des déchets à vie longue, l'approvisionnement en uranium. Sans parler des questions d'acceptabilité sociale qui affectent tous les grands projets d'infrastructure, aussi bien dans le secteur de l'énergie que dans celui des transports.

- Les fossiles et la CSC. La CSC (Capture, Stockage du gaz Carbonique) est à ce jour dans une phase de recherche préindustrielle. Elle sera probablement indispensable dans les pays qui font largement appel au charbon et au gaz, et ainsi les Allemands l'ont retenue à partir de 2030. Le scénario Négatep ne retient pas cette option pour la France. **Elle est coûteuse et moyennement efficace, car auto-consommatrice d'énergie et non exempte de rejets par pertes.**

**Pour Négatep, le gaz naturel est appelé à remplacer le charbon et le pétrole pour faire face aux fluctuations de l'éolien, et aussi pour assurer pendant un nombre limité d'heures (pics de consommation hivernale) le complément de puissance nécessaire au réseau électrique.** Mais, comme il n'est pas prévu de CSC (qui serait en outre inadapté à un fonctionnement intermittent) la contrainte sur les rejets de CO<sub>2</sub> conduit par contre-coup à limiter la capacité de l'éolien (voir § *Un zoom sur la production électrique*).

- Les énergies renouvelables. La France s'est engagée au niveau européen à faire appel aux énergies renouvelables pour 20 % de son énergie en 2020<sup>(21)</sup>. En allant au-delà de cet engagement, le Grenelle de l'environnement a prévu 23 %, dont un fort développement de l'électricité renouvelable.

– L'énergie renouvelable la plus importante en France est l'hydraulique avec une production annuelle moyenne de 64 TWh obtenue à partir des 25 GW de puissance installée. L'hydraulique joue un rôle essentiel dans la stabilité du réseau face aux variations rapides, dont journalières, de l'équilibre entre les besoins et la production. Mais les limites sont atteintes puisque, à ce jour, l'hydraulique ne suffit pas et les variations de charge des sources, comme le nucléaire<sup>(22)</sup> et les fossiles, sont aussi nécessaires.

Les capacités de nouveaux équipements hydrauliques d'ici 2050 semblent limitées (1 GW supplémentaire par rapport à 2010, en favorisant les STEP).

– Le bois et les déchets carbonés peuvent contribuer à la production d'électricité, notamment dans des installations de cogénération (chaleur et électricité). Ceci pourrait fournir environ 11 TWh.

– Pour l'éolien, le Grenelle de l'environnement prévoit l'installation de 19 GW terrestres et 6 GW « offshore » d'ici 2020, le tout devant produire 62 TWh, soit 5,3 Mtep. Deux facteurs, l'intermittence et le coût, vont limiter le développement de l'éolien

(19) Comme nous n'entrevoions pas de tension significative sur le marché de l'uranium mondial avant 2050, nous ne retenons pas pour 2050 un développement significatif à l'échelle industrielle des réacteurs de 4<sup>e</sup> génération du type surgénérateurs.

(20) Les dernières unités de la série N4 de 1 500 MW ont été mises en service entre 1996 et 2000, et les derniers de la série P4 en 1992 et 1993. Il faudra tenir compte des durées de vie finalement retenues (40/50/60 ans ?).

(21) Dans le cadre de la formule des 3 fois 20 en 2020.

(22) Le nucléaire est souvent présenté comme ne pouvant fonctionner qu'en base à puissance constante. En fait, le nucléaire participe, dès à présent pour une large part, aux plus grandes variations journalières des besoins. Cette capacité de variabilité pourra être étendue à l'avenir.



pour aller bien au-delà de ces engagements. Négatep n'a donc retenu pour 2050 que 31 GW de puissance installée et une production annuelle de 75 TWh.

– **L'électricité d'origine solaire photovoltaïque** souffre du même inconvénient d'intermittence que l'électricité éolienne, mais avec une meilleure prévisibilité et une amplitude plus faible des variations brusques. Mais elle **est encore beaucoup trop chère et devra faire de gros progrès pour être compétitive avec les autres énergies**. Le Grenelle de l'environnement a fixé comme objectif 5,4 GW en 2020, produisant 5.8 TWh. Fin 2011, plus de 2 GW étaient déjà installés. Mais en prenant en compte une file d'attente de raccordement qui atteint 1,7 GW, soit un rythme actuel de plus de 1,2 GW installé par an, cet objectif de 5,4 sera sûrement dépassé<sup>(23)</sup>. Le scénario Négatep retient 20 TWh en 2050, ce chiffre étant très incertain à cause de son impact financier. Sans aides, ce serait zéro.

Récapitulatif électricité renouvelable

**Au total, on peut penser que l'électricité renouvelable pourrait, en France en 2050, fournir 175 TWh, près de 3 fois son niveau actuel.**

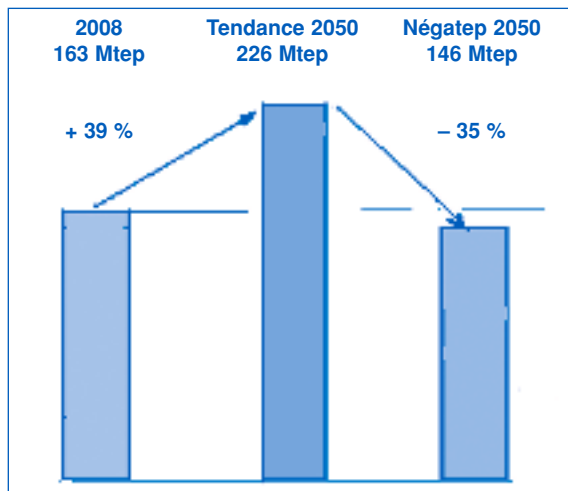


Figure 7.

Évolution des besoins en énergie finale de 2008 à 2050.

Le bilan Negatep

Le bilan énergie finale Negatep 2050

La mise en commun de l'analyse des besoins et celle des possibilités de production conduit au remontage présenté dans le tableau 3 et les figures 7 et 8.

Zoom sur l'ensemble habitat et tertiaire

Le scénario Negatep met l'accent sur la rénovation de l'ancien mais écarte les solutions extrêmes d'économies d'énergie très coûteuses aussi bien dans l'ancien (rénovation) que dans le neuf qui freineraient globalement les développements.

**Les combustibles fossiles disparaissent presque en totalité, puisqu'ils passent de 39 Mtep en 2008 à 4 Mtep (46 TWh) en 2050, ce dernier ne faisant appel qu'au gaz. Ils ont été remplacés par les renouvelables thermiques (+ 10 Mtep) et par une utilisation intelligente de l'électricité (pompes à chaleur et chauffage direct effaçable aux heures de pointe).**

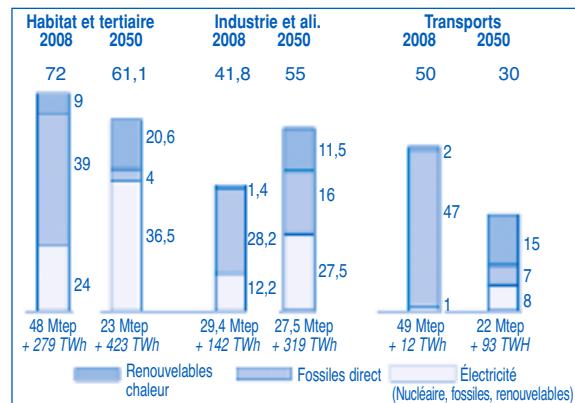


Figure 8.

Négatep : récapitulatif des consommations finales totales en Mtep et décomposition en Mtep chaleur + électricité en TWh.

Tableau 3. Bilan global énergies finales en 2008, dans la continuité (référence) et pour Négatep.

|                       | Combustibles fossiles (Mtep) |      |        | Électricité (Mtep) |      |        | Renouvelables chaleur (Mtep) |      |            |
|-----------------------|------------------------------|------|--------|--------------------|------|--------|------------------------------|------|------------|
|                       | 2008                         | Réf. | Négat. | 2008               | Réf. | Négat. | 2008                         | Réf. | Négat.     |
| Résidentiel/Tertiaire | 39                           | 35   | 4      | 24                 | 44   | 36,5   | 9                            | 11   | 20,6       |
| Industrie/Alimentaire | 28,2                         | 33   | 16     | 12,2               | 18   | 27,5*  | 1,4                          | 4    | 11,5*      |
| Transports            | 47                           | 70   | 7      | 1                  | 2,3  | 8      | 2                            | 7    | 15 (bioc.) |
| Total                 | 114                          | 138  | 27     | 37,2               | 64,3 | 72     | 12,4                         | 22   | 47,1       |

\* dont 7,5 Mtep de biomasse et 7,5 Mtep d'électricité utilisée comme sources d'énergie pour la synthèse du biocarburant.

(23) Dans un contexte spéculatif, avec un coût de rachat de l'électricité pouvant atteindre 10 fois celui du marché, situation non soutenable à terme.

Parmi les renouvelables thermiques, la biomasse sous forme de bois de feu qui représentait 8,4 Mtep de 2008, varie peu (9 Mtep en 2050), baissant au niveau du chauffage individuel du fait du fort accroissement des rendements des foyers bois, mais par contre augmentant fortement dans le chauffage collectif (réseaux de chaleur). Les écarts significatifs viennent surtout des pompes à chaleur (géothermie de surface et aérothermie) et à moindre titre du solaire (ECS et un peu de chauffage des locaux).

## Zoom sur l'industrie et l'agro-alimentaire

Dans les secteurs industriel et agroalimentaire, l'amélioration de l'efficacité énergétique devrait se poursuivre, même si le plus facile a été fait suite aux chocs pétroliers. Ces améliorations d'efficacité misent notamment sur le recyclage. Elles seraient poussées par l'augmentation du coût de l'énergie et d'une éventuelle taxe carbone (ou équivalent). Ceci devrait permettre de stabiliser les besoins « traditionnels » (40 Mtep) au niveau actuel, en dépit de l'accroissement des quantités produites.

Il faut retenir que le basculement déjà entamé ces dernières années vers l'électrification des procédés, y compris pour la fabrication des matériaux de base, devrait s'accroître.

Les énergies renouvelables chaleur devraient également voir leur part augmenter pour passer de 1,4 Mtep en 2008 à 4 Mtep en 2050.

**À ces besoins viennent s'ajouter ceux d'une industrie nouvelle de synthèse de biocarburants, appelant 15 Mtep (§ Zoom sur les transports). Ceci explique que, globalement, le poste industrie augmente.**

## Zoom sur les transports

Dans le domaine du transport, Negatep considère que les mesures d'économie d'énergie et d'efficacité énergétique doivent permettre, d'ici 2050, de réduire les besoins à 40 Mtep.

Mais, comment remplacer le pétrole qui satisfait aujourd'hui l'essentiel des besoins ?

Negatep écarte le remplacement par des combustibles liquides synthétiques produits à partir de combustibles fossiles ainsi qu'une contribution importante des biocarburants de première génération qui sont en compétition avec les besoins alimentaires. **Restent potentiellement disponibles les biocarburants de seconde génération et les motorisations électriques.**

- Les biocarburants de seconde génération valorisent la totalité de la masse ligno-cellulosique, mais avec un rendement de procédé de 50 %. L'énergie consommée doit être non carbonée, fournie soit par la biomasse elle-même (autoconsommation), soit par de l'électricité, soit par un mélange des deux. Au total, compte tenu de la disponibilité limitée de la biomasse, Negatep retient une production finale de 15 Mtep de biocarburants, obtenue à partir de 22,5 Mtep de biomasse (dont 7,5 pour fournir de l'énergie) et 7,5 Mtep d'électricité (87 TWh).

- L'utilisation de l'électricité peut être directe, dans les transports en commun (35 TWh), mais aussi s'étendre aux transports individuels grâce au développement des batteries pour les véhicules 100 % électriques ou hybrides rechargeables (58 TWh).

## Le bilan global énergie primaire Negatep

**Alors que la consommation mesurée en énergie finale a baissé de 10 % entre 2008 et 2050, le total d'énergie primaire n'a pratiquement pas bougé (voir figure 9).** Ce paradoxe évident est la conséquence directe de la prise en compte du rendement de la transformation de l'énergie thermique en énergie électrique (pour simplifier le rendement de Carnot).

La forte augmentation absolue de la consommation d'électricité apparaît clairement sur la figure 8 des énergies finales. Elle est destinée, dans le cadre de Negatep, à remplacer l'usage thermique de combustibles fossiles, avec rejets de gaz carbonique, par une énergie électrique décarbonée. Ce supplément de consommation électrique est en partie issu des renouvelables, donc non affectée par l'effet « Carnot »<sup>(24)</sup>, mais aussi par le nucléaire directement affecté par cet effet<sup>(25)</sup>.

Pour l'électricité, le passage de la consommation à la production tient compte de la consommation des

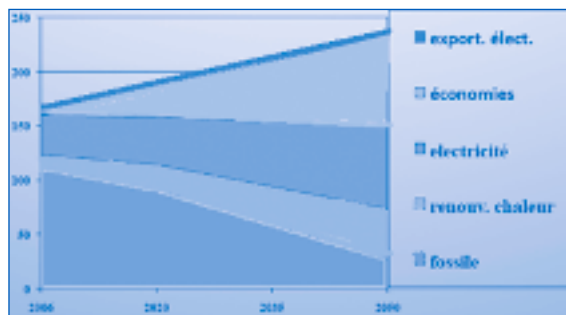


Figure 9.

Negatep : l'approche progressive du facteur 4 en Mtep.

(24) Le physicien français Sadi Carnot a montré que toute production d'électricité grâce à une source de chaleur conduisait à des pertes thermiques importantes. Ainsi, le rendement de Carnot pour la production d'électricité des réacteurs nucléaires est-il de l'ordre de 33 %. Les centrales à gaz permettent d'obtenir des rendements électriques de 60 %. Les calories rejetées par ces centrales dites thermiques peuvent être récupérées sous forme de chaleur dans le cadre d'une cogénération d'électricité et de chaleur.

(25) Si 1 MWh thermique équivaut à 0,086 tep (1 tep = 41,86 GJ = 11,6 MWh), 1 MWh électrique produit par un renouvelable sera comptabilisé aussi par 0,086 tep. Par contre, 1 MWh électrique produit dans une centrale au charbon de rendement 0,4 sera comptabilisé 0,215 tep et 1 MWh électrique de nucléaire type PWR sera comptabilisé 0,26 tep.

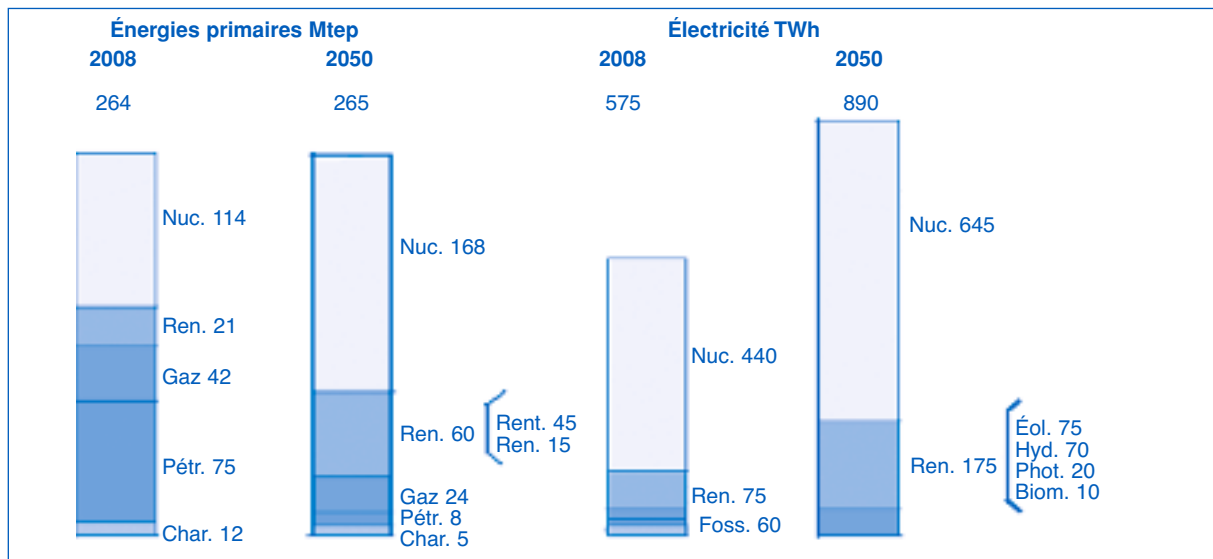


Figure 10.

Le remontage Négatep 2050 au niveau de l'énergie primaire en Mtep, et au niveau du vecteur électricité en TWh.

auxiliaires, des pertes en ligne et, pour 2008 seulement, du bilan export/import (supposé équilibré en 2050) ainsi que la consommation spécifique de l'usine d'enrichissement d'uranium (supposé négligeable en 2050 avec la nouvelle technologie de centrifugation).

### Un zoom sur la production électrique

#### Le scénario Négatep conduit à une forte augmentation de la consommation d'électricité.

La production brute de 890 TWh est obtenue à partir de :

- Nucléaire : 645 TWh (440 TWh en 2010)  
Puissance installée en 2050 : 93 GW (63 GW en 2008),
- Énergies renouvelables : 175 TWh (75 TWh en 2010)  
Puissances installées en 2050 :
  - Éolien : 31 GW (5,6 GW fin 2010)
  - Photovoltaïque : 18 GW (1 GW fin 2010)
  - Biomasse : 3 GW
  - Hydraulique 26 GW (25 GW en 2008)
- Fossiles : 70 TWh (60 en 2010)  
Puissance installée : 20 GW (de gaz)

#### Équilibre électrique et suivi réseau

Le bilan global en énergie doit être complété par l'analyse de la puissance instantanée, et non pas celle des moyennes calculées sur des périodes plus ou moins longues puisque l'électricité ne se stocke pas, du moins à grande échelle.

La question de l'équilibre réseau n'est pas nouvelle et est à ce jour évidemment résolue.

Si toutes les données de consommation et de production évoluaient proportionnellement, par exemple par une multiplication par deux, la question ne se poserait pas en termes nouveaux. Nous aurions une simple translation de toutes les courbes de puissances en fonction du temps et il n'y aurait pas de changement significatif.

Mais ce n'est pas le cas, car ni l'hydraulique, ni les fossiles ne peuvent fortement augmenter : l'hydraulique, faute d'équipements nouveaux et les fossiles, pour ne pas accroître les rejets de gaz carbonique. **À ces limitations s'ajoute un élément fortement perturbateur : la présence de plus en plus significative des nouvelles énergies renouvelables (ENR) intermittentes ou fortement fluctuantes.**

Les ENR délivrent une puissance effective qui peut varier de 38 500 (25 000 pour l'éolien et 13 500 pour le photovoltaïque) à 1 500 MW, soit une plage de 37 000 MW. Il appartient aux autres installations de production d'électricité de compenser ces variations, qui s'additionnent aux fluctuations des besoins journaliers qui sont de l'ordre de 20 000 MW (été comme hiver, mais pas autour du même niveau moyen). **Ceci suppose un élargissement de la variabilité de puissance demandée au nucléaire et un rôle spécifique dévolu au gaz, parallèle à celui déjà rempli par l'hydraulique** (de lacs, d'éclusées et de STEP), **pour suivre au plus près les fluctuations rapides de l'éolien** (facteur 2 à 3 en quelques heures). Toutefois, ceci a ses limites et l'importance relative de ces dernières sources ENR est limitée à 10 % en énergie et environ 25 % en puissance installée.

*Nota* : Le gaz a aussi un rôle complémentaire spécifique de réponse aux besoins momentanés lors des pointes de puissance hivernales.

## Bilan en énergies fossiles et en rejets de gaz carbonique

Comme le montre le tableau 4, l'appel aux énergies fossiles passerait de 134 Mtep en 2008 à 37 Mtep en 2050. Ceci conduirait à des rejets totaux de gaz carbonique de 115 millions de tonnes par an, soit environ, annuellement, 1,7 tonne/habitant.

Tableau 4.  
Bilan global, en 2050, de l'appel aux combustibles fossiles en Mtep et rejets de gaz carbonique en millions de tonnes.

|                                       | Charbon | Pétrole   | Gaz      | Total   |
|---------------------------------------|---------|-----------|----------|---------|
| Résidentiel et tertiaire              |         |           | 4 Mtep   | 4 Mtep  |
| Industrie et agroalimentaire          | 5 Mtep  | 1 Mtep    | 10 Mtep  | 16 Mtep |
| Transports                            |         | 7 Mtep    |          | 7 Mtep  |
| Production d'électricité              |         |           | 10* Mtep | 10 Mtep |
| Total                                 | 5 Mtep  | 8 Mtep    | 24 Mtep  | 37 Mtep |
| Rejets CO <sub>2</sub> en M de tonnes | 21,4 Mt | 29,3** Mt | 65,1 Mt  | 115 Mt  |

\* Pour produire 6 Mtep d'électricité (rendement des centrales à cycle combiné de 60 %)  
\*\* Majoré de 10 %, pour tenir compte des émissions du secteur pétrolier (raffinage, divers)

**Globalement, l'objectif premier de Négatep de limiter les rejets de gaz carbonique, en approchant le facteur 4, est atteint.**

Ceci est obtenu :

- **par des économies d'énergie** : 35 % en énergie finale par rapport au scénario de référence.
- **par un fort développement des énergies renouvelables thermiques** : de 12.4 en 2008 à 47.1 Mtep en 2050.
- **par un fort accroissement de l'emploi d'électricité** : de 440 en 2008 à 890 TWh en 2050 en données à la production.
- **pour cette électricité, un fort développement des renouvelables** : (de 75 en 2008 à 175 TWh en 2050), surtout marqué pour l'éolien.
- **par le maintien du rôle majeur rempli par le nucléaire** : de 440 en 2008 à 645 TWh en 2050, et de sa prédominance relative : 72 % de la production électrique.

## Incertitudes

**Négatep 2010 est un scénario, il n'est pas une prédiction. Il repose sur un certain nombre d'hypothèses qui peuvent ne pas se confirmer, tant dans les domaines économiques que sociétaux et technologiques.**

Dans le domaine économique, les sommes en jeu sont considérables : il s'agit de remplacer plus de 90 Mtep/an de pétrole et de gaz, émetteurs de CO<sub>2</sub>, par des économies d'énergie et des énergies non carbonées. En tablant sur un prix moyen sur la période 2010-2050 de ces énergies (incluant le prix du CO<sub>2</sub>) de 1 000 €/tep<sup>(26)</sup>, il faut, sur la seule année 2050, avoir réussi à transférer 90 milliards € des industries pétrolières et gazières vers les nouveaux secteurs

d'activité. On conçoit que la plus grande incertitude règne sur la capacité de notre société à gérer une telle transition. Et ceci d'autant plus que la France n'est pas seule au monde et que les mesures à prendre doivent s'intégrer dans le contexte européen et mondial. Quoi qu'il en soit, il est essentiel de rechercher systématiquement les voies les plus économiques parmi lesquelles **l'électricité doit avoir une place de choix. Le refus du développement des usages de l'électricité, tel que manifesté par le Grenelle de l'environnement sans aucune justification économique, entraînerait un surcoût très important pour la collectivité.**

Pour chiffrer globalement le coût de la seule part de l'électricité, nous avons appliqué à la France les résultats de l'étude de l'*European Climate Foundation*<sup>(27)</sup>.

Nous obtenons sur la période 2010-2050 :

- pour un scénario proche de Négatep, un coût d'investissement de 370 G€, soit environ 9 G€/an, et un coût complet (investissement + combustibles et exploitation sur la période) de 700 G€ ;
- pour un scénario misant sur 60 % d'énergies renouvelables, un coût d'investissement de 690 G€ (milliards d'Euros) et un coût complet de 1 220 G€.

Dans le domaine sociétal, il est porteur d'incertitudes majeures : comment persuader les citoyens électeurs qu'il faut accepter aujourd'hui une taxe carbone pour mieux anticiper les hausses futures de prix des énergies fossiles ? Comment les inciter à investir pour réduire leurs consommations, à modifier leurs comportements ? Comment les convaincre que les risques liés à l'énergie nucléaire sont bien maîtrisés et que ses avantages dépassent largement ses inconvénients ?

Dans le domaine technologique : les batteries permettront-elles le développement de la mobilité ? Les procédés de synthèse de biocarburants seront-ils abordables ? Le solaire photovoltaïque deviendra-t-il une source majeure d'électricité ? Saura-t-on stocker de grandes quantités d'électricité ?

## Conclusion

**La plupart de ces questions justifient des efforts majeurs de recherche et développement, tant en France qu'au niveau européen. Mais on dispose d'ores et déjà, pour la plupart des usages fixes de l'énergie et pour la production d'électricité, des technologies nécessaires pour atteindre le facteur 4, mais ce n'est pas le cas pour la mobilité. Le scénario Négatep, comme tous les autres scénarios utilisés par les uns et les autres, repose sur des leviers multiples qu'il convient d'activer au sein d'une stratégie cohérente portant simultanément sur les investissements à effectuer, sur les mesures incitatives et sur le développement de nouvelles filières qu'il convient de structurer.**

(26) Correspondant par exemple pour le pétrole à 100 €/bl et 100 €/t CO<sub>2</sub>.

(27) Suggestions/contributions pour la refonte de la politique énergétique européenne : comparaison du scénario ECF « Roadmap 2050 » et du scénario Négatep – Cl. Acket, P. Bacher ([www.sauvonsleclimat.org](http://www.sauvonsleclimat.org)).