CAHIERS

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

DOCUMENTS DE TRAVAIL DE LA DG TRÉSOR

Numéro 2010/06 – Décembre 2010

Impacts macroéconomiques du Grenelle de l'Environnement

Philippe BRIARD
Pierre FERY
Elodie GALKO
Marie-Laure GUILLERMINET
Caroline KLEIN
Timothée OLLIVIER

TRÉSOR
DIRECTION GÉNÉRALE

IMPACTS MACROÉCONOMIQUES DU GRENELLE DE L'ENVIRONNEMENT

Philippe BRIARD*
Pierre FERY**
Élodie GALKO*
Marie-Laure GUILLERMINET**
Caroline KLEIN*
Timothée OLLIVIER**

Ce document de travail n'engage que ses auteurs[1]. L'objet de sa diffusion est de stimuler le débat et d'appeler commentaires et critiques[2].

* Au moment de la rédaction de ce document, **Philippe Briard**, **Elodie Galko, Marie-Laure Guillerminet** et **Caroline Klein** étaient en poste à la Direction Générale du Trésor du Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie (France)

** **Pierre Fery** et **Timothée Ollivier** sont en poste à la Direction Générale du Trésor du Ministère de l'Économie, de l'Industrie et de l'Emploi (France).

pierre.fery@dgtresor.gouv.fr : +33-1-44-87-73-86

timothee.ollivier@dgtresor.gouv.fr : +33-1-44-87-14-39

[1] Nous remercions Gaël Callonnec, Jean-Marc Gourdon, Jean-François Ouvrard, Jean-Jacques Becker et Olivier Tessier pour leurs commentaires et suggestions.
[2] L'ensemble de ces évaluations du Grenelle Environnement a débuté en 2008 et ne prend pas en compte l'intégralité des évolutions législatives survenues depuis.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ 4

ABSTRACT 4

SYNTHÈSE 5

CHAPITRE I : BILAN DES IMPACTS MACROÉCONOMIQUES DU GRENELLE DE L'ENVIRONNEMENT 6

1. Le programme d'investissement prévu dans le cadre du Grenelle de l'environnement 7

2. Choix de modélisation et scénarios Grenelle retenus 8

2.1 Le Modèle utilisé : le modèle macroéconomique Mésange 8

2.2 Description des dispositifs de soutien public 8

2.3 Hypothèses de comportements d'épargne et d'endettement des ménages et des entreprises 9

2.4 Prix de l'énergie 10

2.5 Prise en compte des avantages socio-économiques induits par les investissements en transport du Grenelle 10

2.6 Scénarios Grenelle retenus 10

3. Résultats 12

4. Conclusion 13

CHAPITRE 2 : VOLET RÉNOVATION THERMIQUE DES BÂTIMENTS 16

1. Description des dispositifs 17

1.1. Dispositifs qui concernent les ménages 17

1.2. Dispositifs qui concernent les entreprises 18

2. Hypothèses de modélisation 19

3. Résultats du scénario central 23

4. Résultats du scénario alternatif 25

Annexe 1 : hypothèses utilisées concernant la rénovation des bâtiments 29

Annexe 2 : impact sur différentes variables macroéconomiques dans le scénario 1 30

CHAPITRE 3 : VOLET ÉNERGIES RENOUVELABLES 31

1. Description des quatre scénarios retenus : les objectifs de production par filière 32

1.1. Le scénario « Grenelle » 33

1.2. Le scénario « variante Grenelle » 33

1.3. Le scénario « MDP » 34

1.4. Le scénario « nucléaire + ENR non électriques » 35

2. Les hypothèses de modélisation 37

2.1. Les investissements 37

2.2. Le financement des mesures 40

3. Résultats des quatre scénarios centraux....43

4. Tests de sensibilité....46
4.1. Variantes sur le niveau d'investissement....46
4.2. L'investissement évité en cycles combinés au gaz (CCG) est pris en compte dans les scénarios ..47
4.3. Variante sur les coûts d'investissement : l'effet d'apprentissage....47
4.4. Variante sur l'investissement des ménages qui sont contraints budgétairement....49
4.5. Variantes sur le niveau des dépenses publiques....51
4.6. Variante sur le financement : l'impôt plutôt que la CSPE. 54

5. Conclusions 57

Annexe 1 : La réduction de la dépendance énergétique....58

Annexe 2 : Hypothèses du scénario 1 (« Grenelle »)....60

Annexe 3. Détail des scénarios 62

Annexe 4. Détail des résultats macroéconomiques 65

CHAPITRE 4 : VOLET INVESTISSEMENT DANS LES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT 66

1. Les hypothèses retenues en matière d'investissement et de financement des projets 66
1.1. Méthodologie....66
1.2. Estimation des volumes d'investissement 68
1.3. Estimation des besoins de financement public....74
1.4. Intrants du modèle macroéconomique....77

2. Évaluation macroéconomique du scénario central....79
2.1. Choix et hypothèses de modélisation 79
2.2. Résultats des simulations pour le scénario central et les variantes de financement....82

3. Intégration d'éléments propres aux infrastructures de transports 84
3.1. Économies d'énergie....84
3.2. Gains structurels à long terme 87

4. Conclusion 91

Annexe 1 : Hypothèses d'inflation des coûts du BTP....92

Annexe 2 : Évaluation des économies d'énergie....95

Annexe 3 : Évaluation des gains structurels de croissance 101

Annexe 4 : Détails des impacts macroéconomiques....112

LEXIQUE....117

BIBLIOGRAPHIE 119

RÉSUMÉ

L'objectif du travail proposé est d'évaluer ex ante l'impact macroéconomique des investissements mis en œuvre dans le cadre du Grenelle de l'environnement, dans les domaines des transports, du bâtiment et des énergies renouvelables. L'étude, fondée sur le modèle macroéconomique Trésor-Insee Mésange, montre que les mesures du Grenelle de l'environnement ont un impact favorable sur le PIB et l'emploi à court terme du fait des effets multiplicateurs des investissements déclenchés. À moyen-long terme, le ralentissement puis l'arrêt des investissements, la hausse des prix, et celle des prélèvements obligatoires nécessaire au financement des investissements, annulent les gains économiques du Grenelle après 2020. Par la suite, l'impact relatif sur le PIB et l'emploi devient négatif.

Ces résultats font appel à plusieurs hypothèses, y compris de modélisation, et doivent être considérés avec prudence. En particulier, le Grenelle de l'environnement pourrait, à long terme, enclencher des effets positifs durables sur l'économie via un surcroît d'innovation par rapport à nos partenaires commerciaux qui améliorerait notre compétitivité hors-prix. Ces effets sont imparfaitement pris en compte ici : seuls les gains socioéconomiques induits par les infrastructures de transport ont pu être valorisés. Pour autant, ces gains ne suffisent pas à compenser l'effet macroéconomique négatif du Grenelle à long terme.

ABSTRACT

The present work provides an ex ante assessment of macroeconomic impact associated with the investments linked to the implementation of the "Grenelle de l'environnement". The Grenelle Law encompasses a greening investment program in transport, construction and renewable energies. The results are based on the French Treasury-INSEE macroeconomic model MESANGE. They show that these investments have a positive impact on GDP and employment in the short term thanks to the multiplier effects of the investments. In the medium and long term, the slowing down to a stop of these investments, as well as price rise and tax increases required to finance the related public expenditure, offset the economic benefits after 2020. The relative impact on GDP and employment becomes negative afterwards.

These findings rely on several assumptions, including modeling hypotheses, and need to be considered with caution. In particular, in the long term, the Grenelle investments could initiate sustainable benefits for the economy thanks to an increase in innovation relatively to trading partners that would enhance non price competitiveness. Because of valuation method difficulties, these effects are not fully taken into account in this study: only socio-economic gains induced by transport investments are valued in the calculations. Nonetheless, they are not sufficient to compensate for the long term macroeconomic negative effect of the Grenelle.

SYNTHÈSE

Dans le cadre du « paquet énergie-climat », la France a pris un certain nombre d'engagements : participer à l'objectif communautaire de réduction des émissions de gaz à effet de serre de 20 % en 2020 par rapport à 1990 avec d'une part l'objectif européen global de réduction de 21 % des émissions pour les installations soumises au système de quotas ETS et d'autre part un objectif national de réduction des émissions de 14 % en 2020 par rapport à 2005 pour le secteur hors ETS, porter à 23 % la part d'énergie produite à partir de sources renouvelables dans la consommation finale brute d'énergie à horizon 2020, et utiliser 10 % d'énergie d'origine renouvelable dans le secteur des transports. Pour faire face à ces engagements forts, **la France s'est lancée dans un programme ambitieux d'investissements dans les secteurs du bâtiment, des énergies renouvelables et des infrastructures de transports, initié suite au *Grenelle de l'environnement*.** Les objectifs ont été fixés dans le cadre des lois dites Grenelle 1 et Grenelle 2.

Un exercice d'évaluation ex ante de l'impact macroéconomique des investissements mis en œuvre dans le cadre du Grenelle de l'environnement (dans les domaines des transports, du bâtiment et des énergies renouvelables) a été conduit à l'aide du modèle macroéconomique Trésor-Insee Mésange. Cette analyse a été menée par rapport à un scénario de référence fictif, construit principalement sur l'idée que le Grenelle de l'environnement conduit à anticiper un certain nombre de dépenses d'investissements. Elle permet de tenir compte des répercussions sur l'ensemble de l'économie et sur les finances publiques des investissements publics et privés mis en jeu. Au-delà de l'effet temporaire lié à un surcroît de dépenses d'investissement, l'étude intègre les effets positifs sur l'activité induits par les économies d'énergie, mais aussi les effets de ce programme sur les autres secteurs de l'économie (stimulation ou éviction). En outre, elle prend en compte la contrainte budgétaire qui pèse sur les ménages et les pouvoirs publics qui doivent tous deux financer les investissements.

Les principaux résultats de l'étude sont les suivants :

(1) À court / moyen terme, la croissance et l'emploi sont stimulés par ces investissements et par la réduction des importations de combustibles fossiles auxquelles se substitue en partie la production nationale.

Jusqu'en 2020, les effets multiplicateurs de ces investissements dominent l'impact négatif du financement de leur coût sur l'économie. Le surcroît d'activité attendu est compris entre 0,4 % et 0,5 % la première année dans tous les scénarios, pour atteindre un maximum en 2014 entre 1,6 % et 1,9 %. En 2020, les quatre scénarios conduisent à un PIB plus élevé de 0,4 % à 0,8 % par rapport au scénario de référence. Selon les scénarios, l'économie compte entre 200 000 et 250 000 emplois supplémentaires au plus fort des dix premières années.

(2) Cependant, le net ralentissement puis l'arrêt des investissements, la hausse des prix et celle des prélèvements obligatoires nécessaires au financement des investissements annulent les gains économiques du Grenelle après 2020, par rapport au scénario de référence.

Les impacts sur le PIB et l'emploi deviennent négatifs à partir de 2021. La modification des hypothèses sur le prix de l'énergie et l'inclusion ou non des avantages socio-économiques générés par les investissements dans l'analyse ne modifient que légèrement ces résultats.

Comme tout exercice de simulation, **les résultats présentés font appel à plusieurs hypothèses, y compris de modélisation, et doivent donc être considérés avec prudence.** Ainsi, sauf en ce qui concerne l'effet de l'investissement accru en infrastructures de transport ferroviaire, n'est pas pris en compte le fait qu'à long terme, le Grenelle de l'environnement enclenchera des effets positifs durables s'il induit une accélération et un surcroît d'innovation par rapport à nos partenaires commerciaux, de telle sorte que la compétitivité-qualité de la France en soit sensiblement améliorée.

CHAPITRE I : BILAN DES IMPACTS MACROÉCONOMIQUES DU GRENELLE DE L'ENVIRONNEMENT

Dans le cadre du « paquet énergie-climat » (directives 2009/28/CE, 2009/29/CE et 2009/30/CE), la France a pris un certain nombre d'engagements :

- participer à l'objectif communautaire de réduction des émissions de gaz à effet de serre de 20 % en 2020 par rapport à 1990 avec d'une part l'objectif européen global de réduction de 21 % des émissions pour les installations soumises au système de quotas ETS et d'autre part un objectif national de réduction des émissions de 14 % en 2020 par rapport à 2005 pour le secteur hors ETS,
- porter à 23 % la part d'énergie produite à partir de sources renouvelables dans la consommation finale brute d'énergie à horizon 2020, utiliser 10 % d'énergie d'origine renouvelable dans le secteur des transports.

Pour faire face à ces engagements forts, la France s'est lancée dans un programme ambitieux d'investissements dans les secteurs du bâtiment, des énergies renouvelables et des infrastructures de transports, initié suite au *Grenelle de l'environnement*. Les objectifs ont été fixés dans le cadre de la loi n°2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement, dite loi Grenelle 1, et de la loi n°2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement, dite loi Grenelle 2.

Cette étude évalue l'impact, d'ordre macroéconomique, des principales composantes du Grenelle de l'environnement, dans les domaines des transports, du bâtiment et des énergies renouvelables à court et long terme. Cet impact a été évalué par rapport à un scénario de référence fictif, construit principalement sur l'idée que le Grenelle de l'environnement conduit à anticiper un certain nombre de dépenses d'investissements[3]. L'approche utilisée ici s'appuie sur un modèle macroéconomique Trésor-Insee. Elle permet de tenir compte des répercussions sur l'ensemble de l'économie et sur les finances publiques des investissements publics et privés mis en jeu. Au-delà de l'effet temporaire lié à un surcroît de dépenses d'investissement, l'étude intègre les effets positifs sur l'activité induits par les économies d'énergie, mais aussi les effets de ce programme sur les autres secteurs de l'économie (stimulation ou éviction). En outre, elle prend en compte la contrainte budgétaire qui pèse sur les ménages et les pouvoirs publics qui doivent tous deux financer les investissements. La prise en compte des effets macroéconomiques permet de donner un éclairage plus complet de l'impact du Grenelle que certaines études examinant uniquement les effets directs.

Selon nos analyses, entre 1,6 % et 1,9 % de PIB et entre 200 000 et 250 000 emplois supplémentaires seraient créés en 2014 en France grâce au Grenelle selon que le prix du pétrole est à 62, 80 ou 130 $/baril, et que l'on prend ou non en compte des gains de productivité dans l'économie. Ces simulations montrent qu'au-delà de 2020, le contrecoup financier des mesures relatives au Grenelle pèse durablement sur l'activité et l'emploi.

La première section de ce chapitre détaille la nature et les montants des investissements qui seront entrepris dans le cadre du Grenelle. La deuxième partie précise les dispositifs de financements associés à ces investissements et les principales hypothèses de modélisation retenues. Ces informations constituent les entrées du modèle. Trois secteurs, représentant la majorité des investissements induits par le Grenelle, sont étudiés plus en détail dans les trois chapitres suivants de ce document : bâtiment, énergies renouvelables (ENR) et transports. Les résultats macroéconomiques sont présentés dans la troisième section du présent chapitre. La dernière section conclut.

[3] Un autre scénario de référence pourrait être le sentier de croissance optimal qui permet d'atteindre les objectifs du paquet énergie-climat (notamment celui de réduire les émissions de gaz à effet de serre de 20 % en 2020 par rapport à 1990) au moindre coût. La mise en place d'une taxe carbone d'un niveau approprié pourrait être considérée comme l'instrument de cette politique optimale. Des travaux avec le modèle Mésange ont montré l'existence, sous réserve d'un recyclage adéquat des recettes de la taxe, d'un double dividende. La mise en place d'une telle taxe carbone créerait donc sur le long terme plus d'activité et d'emploi que dans un scénario tendanciel, proche de celui considéré dans les travaux présentés ici.

1. Le programme d'investissement prévu dans le cadre du Grenelle de l'environnement

La mise en place des mesures du Grenelle va déclencher une série d'investissements jusqu'en 2030[4], tant de la part des entreprises, des administrations publiques que des ménages. On peut **décomposer ainsi les investissements de ces trois catégories d'agents.**

Grâce aux mesures incitatives, **les ménages** investissent dans la rénovation des bâtiments et dans les constructions neuves du parc résidentiel privé (mesures d'efficacité énergétique et énergies renouvelables[5]). Par ailleurs, ils consomment des biocarburants en proportion de leurs consommations dans la consommation totale d'essence et de gazole, soit environ 10 % de la consommation totale de biocarburants.

De même, **les entreprises** investissent dans la rénovation des bâtiments du parc tertiaire privé et dans les constructions neuves, dans la production d'électricité à partir de sources renouvelables et consomment 90% des biocarburants, ce qui correspond au ratio de leurs consommations dans la consommation totale d'essence et de gazole[6].

Les administrations publiques (APU) investissent dans la rénovation du parc des logements sociaux et dans la construction neuve dans le parc tertiaire public. Elles réalisent également des investissements massifs dans la construction de nouvelles infrastructures de transport et le renouvellement des réseaux existants (lignes à grande vitesse, transport fluvial et transports collectifs urbains), les investissements routiers et aériens étant supposés très limités.

Si l'on cherche à décomposer les investissements du Grenelle, non pas par catégories d'agents, mais par secteurs, il convient d'être vigilant. En effet, la décomposition selon les trois volets bâtiment, ENR et transports peut conduire à des doubles comptes, en particulier du côté de l'équipement des logements. Par exemple, les constructions de logements neufs respectant la réglementation thermique et les bouquets de travaux prévus dans les logements anciens intègrent des équipements produisant de la chaleur à partir de sources renouvelables. Un travail spécifique a donc été réalisé pour passer des trois volets présentés séparément dans les chapitres suivants qui forment chacun un tout cohérent et ne peuvent donc être additionnés, à cette synthèse sur l'impact du Grenelle (voir encadré)[7].

L'enjeu de l'exercice est d'examiner les conséquences macroéconomiques du Grenelle, dans l'hypothèse où il est intégralement mis en œuvre, et non de discuter de l'atteinte de ses objectifs. Les prévisions des chroniques d'investissement sont issues de chiffrages provenant du MEEDDM, de l'exercice de programmation pluriannuelle des investissements (PPI) de production d'électricité de 2009 et de la loi n°2008-1425 de finances pour 2009 du 27 décembre 2008 (loi de finances 2009). Elles sont complétées par des estimations de la DG Trésor. Elles répondent aux objectifs fixés pour le bâtiment, les ENR et les transports donnés dans la loi Grenelle 1, dans la loi n°2008-1425 de finances pour 2009 du 27 décembre 2008 ou qui sont précisées dans le rapport final du Comité Opérationnel 10 du Grenelle de l'Environnement. Pour plus de détails, le lecteur se réfèrera aux volets bâtiment, ENR et transports du Grenelle des chapitres 2 à 4.

L'impact macroéconomique du Grenelle de l'environnement est analysé par différence avec un scénario de référence fictif[8]. Ainsi, le caractère additionnel ou non par rapport au scénario de référence élaboré a été établi. Chaque mesure a donc été analysée afin de préciser si elle aurait été mise en place en l'absence du Grenelle et selon quel calendrier.

Au total, sur 2009-2050, les trois volets du Grenelle génèrent un surcroît d'investissements d'environ 450 Md€ de 2009 par rapport au scénario de référence. Ces investissements sont concentrés sur la décennie 2010 et portés dans des proportions comparables par les ménages, les entreprises et les administrations publiques (graphique 1).

---

[4] Si l'on tient compte du renouvellement de certains équipements produisant de l'électricité d'origine renouvelable (solaires photovoltaïque sur bâti et éoliennes off-shore) et des infrastructures de transport (lignes ferroviaires à grande vitesse notamment), les investissements courent jusque vers respectivement 2050 et 2070.

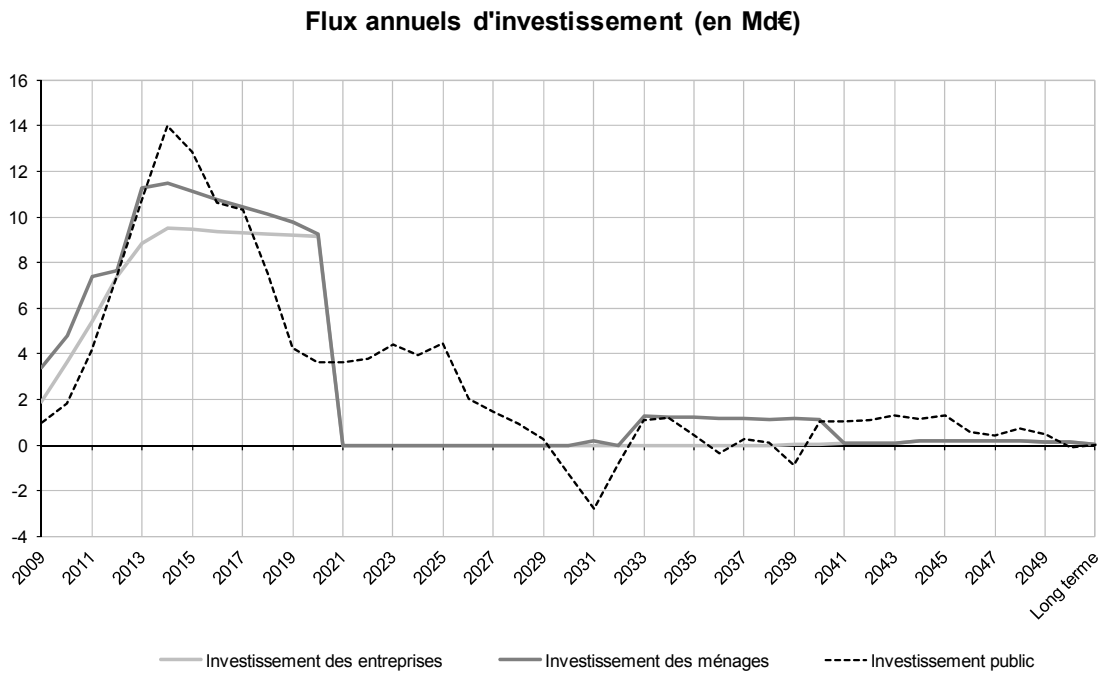
[5] Notamment, tous les investissements dans le photovoltaïque sur bâti sont supposés réalisés par les ménages.

[6] S'agissant des biocarburants, la consommation des administrations publiques est ici comptabilisée avec celle des entreprises.

[7] Ainsi, le volet bâtiment intègre les équipements liés à l'utilisation d'ENR. Le volet transports, envisagé ici uniquement sous l'angle des infrastructures, s'additionne aux deux autres volets. Par exemple, les coûts relatifs à l'incorporation de biocarburants dans les différentes motorisations sont pris en compte dans le volet ENR.

[8] Pour plus de détails sur la construction de ce scénario de référence, se reporter à la section 1 du chapitre 2, au Tableau 1 du chapitre 3 et à la sous-section 1.1.1 du chapitre 4.

Graphique 1 : impact ex ante des mesures sur l'investissement des ménages, des entreprises et des APU (écart en milliards d'euros 2009 par rapport au scénario de référence) entre 2009 et 2050



Source : Simulation Mésange, calculs DG, Trésor

Lecture : en 2014, l'investissement des entreprises est supérieur de 11,5 Md€ par rapport au scénario de référence sans Grenelle, l'investissement des ménages supérieur de 9,5 Md€ et l'investissement des administrations publiques supérieur de 14 Md€. L'investissement total supplémentaire se monte donc à 35 Md€.

2. Choix de modélisation et scénarios Grenelle retenus

2.1 Le Modèle utilisé : le modèle macroéconomique Mésange

Afin d'étudier l'impact des séquences d'investissements précédemment décrites, le modèle macroéconomique Mésange a été utilisé (Klein et Simon, 2010). Le modèle se caractérise par une dynamique keynésienne à court terme et un équilibre de long terme néoclassique. La France y est modélisée comme une petite économie ouverte à quatre principaux types d'agents économiques : les entreprises, les ménages, les administrations publiques et le reste du monde. La demande, l'offre et les prix étrangers sont donc supposés indépendants des choix économiques nationaux. Les taux d'intérêt, les taux de change de la monnaie nationale par rapport aux monnaies étrangères, la demande publique, la population active et l'évolution du progrès technique sont également exogènes dans le modèle.

Le modèle distingue trois branches : manufacturière, non manufacturière et non marchande. Un module énergie a été développé et intégré au secteur non manufacturier. Le secteur de l'énergie reste cependant peu détaillé. En particulier les contenus en emploi et en imports des différentes filières qui le composent (la filière des énergies renouvelables en particulier) sont supposés équivalents à ceux du secteur non manufacturier dans son ensemble. Dans le modèle, les investissements dans le secteur non manufacturier sont plus intensifs en main d'œuvre et moins intensif en importations que la moyenne des investissements dans l'ensemble de l'économie.

2.2 Description des dispositifs de soutien public

Pour financer leurs investissements, **les ménages** ont accès à une large palette de dispositifs financiers incitatifs et d'aides publiques. Citons notamment : 1) l'éco-prêt à taux zéro (les ménages peuvent bénéficier de prêts à taux zéro plafonnés à 30 000€ pour financer la rénovation de leur logement[9]) ; 2) le verdissement du prêt à taux zéro : ce dispositif permet aux ménages faisant l'acquisition d'un logement neuf répondant aux exigences thermiques du label BBC (bâtiment basse consommation) de bénéficier d'une majoration de

[9] Le crédit d'impôt développement durable n'est pas considéré dans cette étude car difficile à prendre en compte sans faire de double compte avec l'éco-prêt à taux zéro, à la fois pour les économies d'énergie et pour les investissements réalisés par les ménages.

leur capacité d'emprunt à taux nul ; 3) des crédits d'impôts pour les équipements photovoltaïque (PV) sur bâti ; 4) des tarifs de rachat de l'électricité produite à partir des installations solaire PV sur bâti, supérieurs au prix du marché de gros de l'électricité ; et 5) des réductions de taxe intérieure de consommation sur les produits pétroliers (TIC) pour les biocarburants.

Les entreprises peuvent financer leurs investissements à partir des dispositifs suivants : 1) le mécanisme des certificats d'économie d'énergie, attribués, en contrepartie d'économies effectivement réalisées, aux fournisseurs d'énergie ainsi qu'à toute personne morale dont l'action, additionnelle par rapport à son activité habituelle, permettra la réalisation d'économies d'énergie. Ce dispositif permet de financer des économies d'énergie très diffuses, notamment celles réalisées par les particuliers dans leur habitat. Le coût des certificats d'économie énergie est reporté dans le prix de l'énergie payé par les consommateurs finals et est modélisé comme une taxe sur l'énergie ; 2) l'amortissement accéléré qui permet aux entreprises d'amortir de manière plus rapide les immeubles présentant une qualité énergétique élevée. La première année, un amortissement exceptionnel de 25 % est autorisé, à la place des taux d'amortissement les plus couramment admis qui sont situés en pratique entre 2 à 5 %, selon les caractéristiques des bâtiments ; 3) les tarifs de rachat pour les sources renouvelables d'électricité, hydroélectricité, éolien terrestre et off-shore, biomasse et PV au sol[10]; et 4) la défiscalisation de TIC des biocarburants.

Le coût pour les finances publiques de ces différents dispositifs financiers (hors tarifs de rachat) est compensé (à hauteur de leur coût ex ante[11]) par une hausse à due proportion des prélèvements obligatoires. Les surcoûts liés aux tarifs de rachats sont quant à eux répercutés dans le prix de vente de l'électricité aux consommateurs finals (ménages et entreprises) sur les 15 ou 20 années suivantes, via la Contribution au Service Public de l'Électricité, ou CSPE[12]. Ce mécanisme est modélisé comme une hausse des taxes sur la consommation d'énergie des ménages et des entreprises.

Les investissements des **administrations publiques (État et collectivités territoriales)** dans la rénovation des logements sociaux sont également supposés être financés à hauteur de leur coût ex ante par une augmentation des prélèvements obligatoires, en déduisant les économies d'énergie qu'elles réalisent. Le financement des investissements de transport[13] est partagé entre les usagers des transports via la tarification des infrastructures nouvelles et les contribuables par une hausse des prélèvements.

Les impacts des investissements du Grenelle en termes de financement sont représentés dans le graphique 3, en fonction des prix de l'énergie.

2.3 Hypothèses de comportements d'épargne et d'endettement des ménages et des entreprises

Les ménages peuvent financer leur investissement dans le logement et dans les énergies renouvelables de deux façons : en puisant dans leurs ressources financières (en désépargnant ou en s'endettant) ou en réduisant partiellement leur investissement hors bâtiment ou ENR (essentiellement les dépenses en biens immobiliers). Nous faisons ici l'hypothèse que les ménages ne réduisent ni leurs consommations, ni leurs investissements hors logement ou ENR, mais ne les augmentent pas non plus par la suite au moment où ils perçoivent les économies de facture énergétique réalisées grâce à leurs investissements dans l'efficacité énergétique ou les installations renouvelables. Implicitement, les ménages lissent parfaitement leur consommation, réduisant leur épargne financière à court terme et l'augmentant à moyen terme. Nous supposons que l'aide est dimensionnée pour rendre le projet d'investissement juste rentable. L'investissement total des ménages augmente donc exactement du montant de leur investissement dans le logement et les ENR. D'autres hypothèses de comportement des ménages ont été testées dans les volets bâtiment et ENR (cf. pour plus de détails la section 2 du chapitre 2 et la sous-section 4.3 du chapitre 3).

Les entreprises financent leur investissement par l'endettement ou l'émission d'actions et ne substituent pas ces investissements à d'autres. Nous négligeons l'impact de ce surcroît d'investissement sur leurs contraintes de crédit et considérons que le coût de capital est inchangé.

---

[10] Les tarifs de rachat du PV sont ceux de l'arrêté du 10 juillet 2006 et n'ont pas été réactualisés par les arrêtés du 12 janvier 2010 et modificatif du 15 janvier 2010. Le tarif de rachat de la biomasse électrique est le tarif moyen résultant de l'appel d'offre « biomasse 2 » et n'a pas été réactualisé par l'arrêté du 28 décembre 2009 ni par le résultat de l'appel d'offre « biomasse 3 ».

[11] Par coût ou impact d'une mesure ex ante, on entend le coût ou l'impact de la mesure sans prendre en compte les effets du bouclage économique.

[12] Nous supposons ici que tous les surcoûts sont répercutés sans délai aux consommateurs, ce qui est une hypothèse simplificatrice notamment au vu de la contribution unitaire pour 2010 qui n'a pas évolué, le surcoût étant encore à la charge d'EDF (http://www.cre.fr/fr/espace_operateurs/service_public_de_l_electricite_cspe/montant).

[13] Nous avons tenu compte de l'effet créé par le pic d'investissement envisagé sur l'inflation des prix de la construction.

La hausse de l'investissement des APU est supposée ne pas induire d'éviction ni de l'investissement public, ni de l'investissement privé.

2.4 Prix de l'énergie

Des hypothèses de prix énergétiques sont nécessaires à deux titres : pour estimer la valeur des importations d'énergie évitées et/ou des exportations additionnelles, et pour mesurer le niveau des aides constituées par les tarifs de rachat[14]. En revanche, prenant les objectifs du Grenelle comme donnés, le prix n'influe pas sur le volume des investissements mis en œuvre ; c'est au moment de la réalisation des économies d'énergie que le prix du pétrole a un effet dans notre modélisation car les aides publiques sont calibrées pour rendre les investissements neutres ex ante. Nous supposons que la mise en place du Grenelle en France n'a pas d'impact sur le coût de l'énergie au niveau mondial. Les différents prix du pétrole, du gaz, du charbon et de l'électricité sont maintenus constants en valeur réelle à partir de 2009 (cf. tableau 1). Le taux de change a été pris égal à 1,5 $/€, niveau moyen au moment de l'étude.

Tableau 1 : hypothèses retenues sur les prix des énergies (trois scénarios, prix constants à partir de 2009)

Pétrole (en $\$_{2009}$/baril)	62	80	130
Fioul (en $€_{2009}$/MWh)	26,2	33,8	54,9
Gaz (en $\$_{2009}$/Million British thermal unit)	7,6	9,6	15
Charbon (en $\$_{2009}$/tonne)	63	73	106
Électricité sur le marché de gros (en $€_{2009}$/MWh)	60	73	110

Source : World Energy Outlook de l'AIE (2007, 2008) et estimations DG Trésor

2.5 Prise en compte des avantages socio-économiques induits par les investissements en transport du Grenelle

Les avantages socioéconomiques des projets d'infrastructure de transport envisagés sont supposés améliorer la productivité de l'économie française. Bien que l'hypothèse soit largement discutable, nous avons choisi d'illustrer deux hypothèses polaires : dans la première, la productivité globale des facteurs est inchangée, dans la seconde, maximaliste, l'intégralité des surplus économiques procurés aux usagers des transports est traitée comme une amélioration de la productivité globale des facteurs (voir pour plus de détails, la sous-section III.2 et l'annexe 3 du chapitre 4). En revanche, dans les volets bâtiment et ENR, les effets des investissements nationaux (création de nouvelles filières dans le secteur de l'énergie par exemple) sur le progrès technologique comme sa possible diffusion dans le reste de l'économie ne sont pas pris en compte, ceux-ci étant difficiles à évaluer.

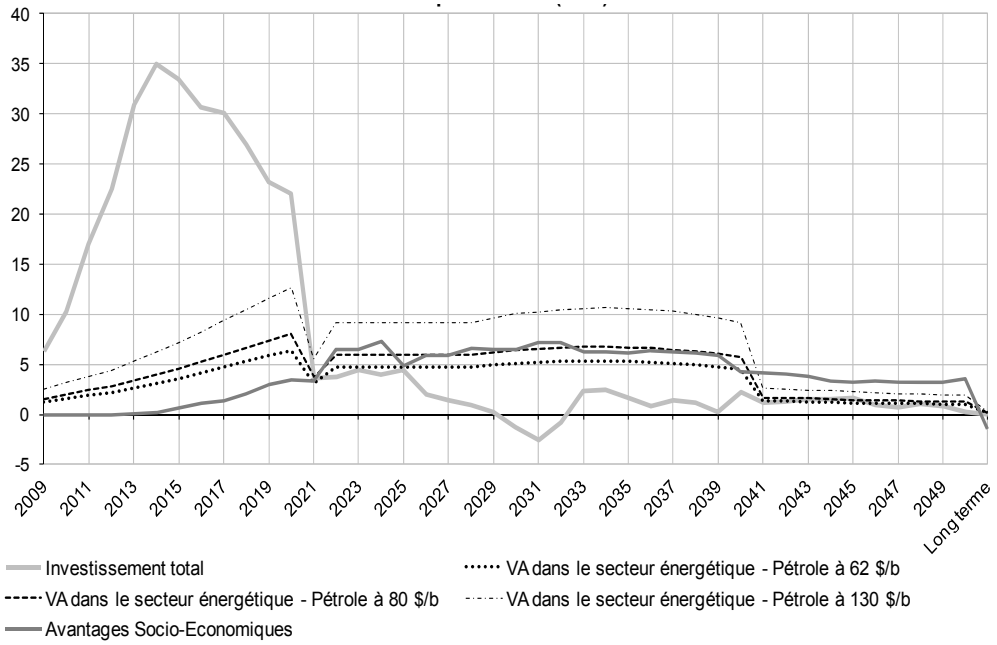
2.6 Scénarios Grenelle retenus

À partir de l'ensemble des hypothèses présentées précédemment, quatre « scénarios Grenelle » ont été construits en fonction du prix du pétrole (trois prix ont été testés : 62, 80 et 130$ le baril) et de l'inclusion ou non des effets des avantages socio-économiques sur la productivité globale des facteurs.

Les graphiques 2 et 3 présentent l'impact ex ante des quatre scénarios Grenelle retenus sur l'investissement, la production domestique d'énergie et les gains de productivité (graphique 2) ainsi que sur les dépenses publiques et la CSPE (graphique 3).

[14] Elles sont utiles également pour calculer les économies d'énergie réalisées par les APU.

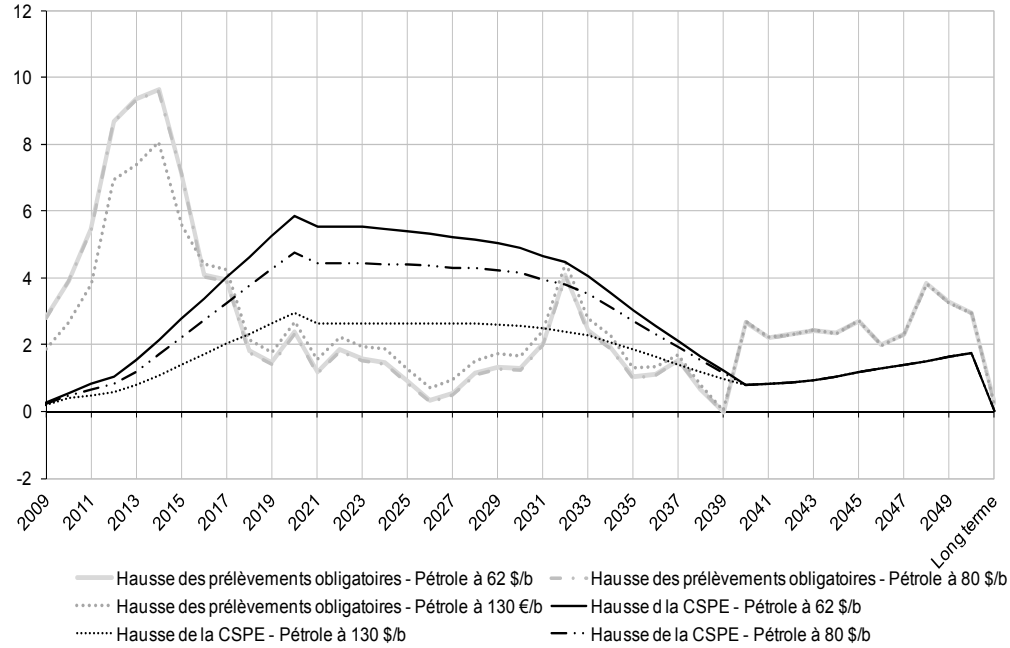
Graphique 2 : impact ex ante des mesures sur l'investissement, la production domestique d'énergie et les gains de productivité globale (écart en milliards d'euros par rapport au scénario de référence) entre 2009 et 2050



Source : Simulation Mésange, calculs DG, Trésor.

Lecture : en 2014, l'investissement total augmente de 35 Md€, alors que la valeur ajoutée dans le secteur de la production énergétique augmente de 3,1 Md€ (cas d'un pétrole à 62 $/baril) par rapport au scénario hors mesures Grenelle, 4 Md€ (cas d'un pétrole à 80 $/baril) ou 6,2 Md€ (cas d'un pétrole à 130 $/baril). Les gains de productivité pourraient se monter à 0,2 Md€ à cette date (scénario maximaliste).

Graphique 3 : impact ex ante des mesures sur les prélèvements obligatoires et la CSPE (écart en milliards d'euros par rapport au scénario de référence) entre 2009 et 2050



Source : Simulation Mésange, calculs DG, Trésor.

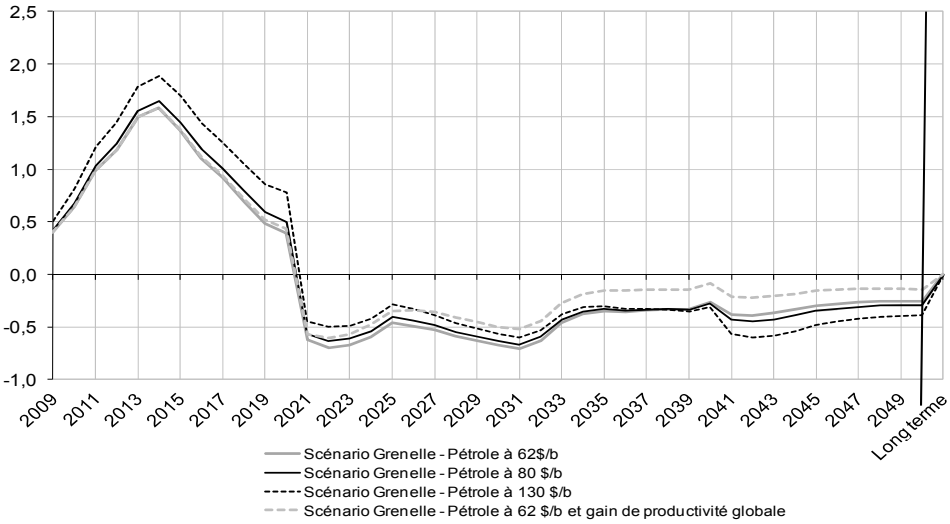
Lecture : en 2014, les financements par l'État augmentent d'environ 9,6 Md€ (cas d'un pétrole à 62 $/baril ou à 80 $/baril) ou de 8,1 Md€ (cas d'un pétrole à 130 $/baril), alors que les financements via la CSPE se montent à 2,1 Md€ (cas d'un pétrole à 62 $/baril), 1,7 Md€ (cas d'un pétrole à 80 $/baril) ou 1,1 Md€ (cas d'un pétrole à 130 $/baril).

3. Résultats

La modélisation des chroniques explicitées plus haut (investissements, réduction des importations[15], hausse des prélèvements, avantages socio-économiques) permet d'évaluer l'effet du Grenelle sur l'économie française à court, moyen et long terme. Les estimations sont représentées pour chacun des quatre scénarios mentionnés en fonction du prix du pétrole et de l'hypothèse sur les avantages socio-économiques. Elles doivent se lire comme l'effet sur l'économie de la mise en œuvre du Grenelle par rapport au scénario de référence dans lequel les mesures du Grenelle n'auraient pas été mises en œuvre ou l'auraient été plus tardivement (l'impact du Grenelle de l'environnement provient d'abord de la réalisation anticipée d'investissements publics et privés par rapport au scénario de référence).

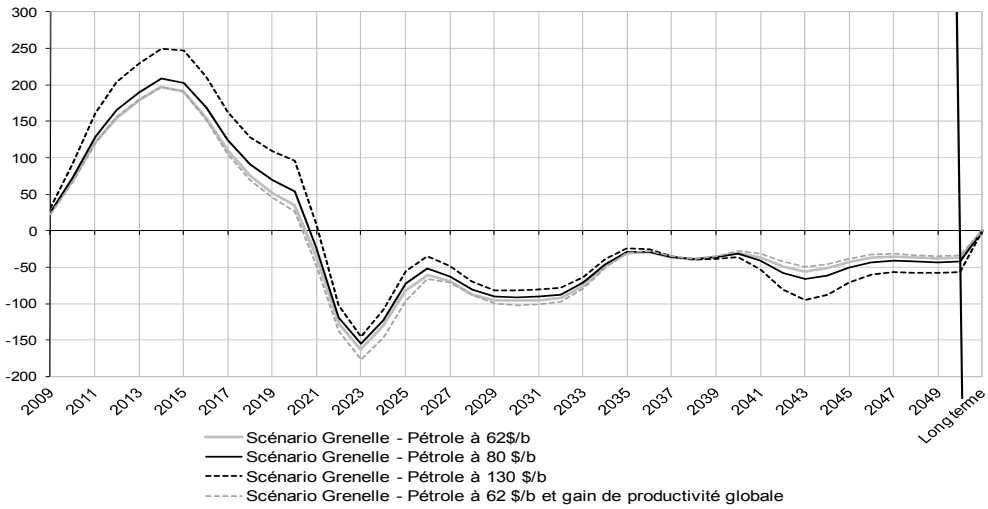
Les graphiques 4 et 5 représentent les effets du Grenelle sur le PIB et sur l'emploi sur 2009-2050.

Graphique 4 : impact sur le PIB (en % par rapport au scénario de référence) entre 2009 et 2050 et sur le long terme



Source : Simulation Mésange, calculs DG, Trésor.
Lecture : en 2014, le PIB est plus élevé de 1,6 % quand le prix du pétrole est à 62 $/baril avec ou sans prendre en compte les gains de productivité dans l'économie, de 1,7 % quand le prix du pétrole est à 80 $/baril et de 1,9 % quand le prix du pétrole est à 130 $/baril, par rapport au scénario de référence.

Graphique 5 : impact sur l'emploi (en milliers par rapport au scénario de référence) entre 2009 et 2050 et sur le long terme



Source : Simulation Mésange, calculs DG, Trésor
Lecture : en 2014, 198 000 emplois supplémentaires sont créés quand le prix du pétrole est à 62 $/baril, 208 000 quand le prix du pétrole est à 80 $/baril, 250 000 quand le prix du pétrole est à 130 $/baril, et 197 000 quand le prix du pétrole est 62 $/baril et que l'on prend en compte les gains de productivité dans l'économie, relativement au scénario de référence.

[15] Cf. encadré.

La première phase, expansionniste, du Grenelle s'étale sur la décennie 2010 et connaît un pic en 2014 que ce soit pour le PIB ou l'emploi. Au plus fort, entre 1,6 et 1,9 point de PIB et entre 200 000 et 250 000 emplois environ sont créés par le Grenelle à court terme (cf. le tableau 2 ci-après pour le détail). Le profil de ces gains reflète largement le profil des investissements réalisés par les APU, les ménages et les entreprises. Dès le court terme, la stimulation de l'économie liée à ces investissements est renforcée par la réduction des importations d'énergie réalisée au moyen des volets bâtiment et ENR du Grenelle mais contrebalancée par l'impact négatif des hausses de prélèvements. Si le prix du pétrole est très élevé (130 $), les gains en PIB et en emplois sont plus forts du fait d'économies d'importations plus importantes. Le profil des gains du Grenelle reste néanmoins inchangé ainsi que les ordres de grandeur. À court terme, les avantages socio-économiques ne sont pas perceptibles au niveau macroéconomique.

À partir de la décennie 2020, l'impact sur le PIB devient négatif. Les économies d'importations ne peuvent contrebalancer le fort ralentissement des investissements prévus par le Grenelle et le coût du financement des mesures. Tandis que l'effet des hausses de prélèvement s'amenuise avec le temps, la CSPE a un effet négatif sur le PIB maximal au début des années 2020. Au total, le PIB est dégradé de 0,5 à 0,7 point au plus bas en 2023 selon les scénarios, ce qui correspond au même moment à la suppression de 140 000 à 180 000 emplois en écart au scénario sans mise en œuvre du Grenelle. Les gains de productivité globale liés aux avantages socio-économiques (scénario 4) permettent de limiter la dégradation du PIB après l'arrêt des investissements. Ainsi le PIB est au pire dégradé de 0,6 point à moyen terme, au lieu de 0,7 point ; à long terme, les gains sont plus forts et 0,2 point de PIB sont regagnés par le biais d'une meilleure productivité de l'économie. Toutefois, l'effet sur l'emploi de ces gains de productivité est négatif : au plus bas, ce sont 14 000 emplois supprimés en plus des 163 000 du premier scénario.

À très long terme, par construction des scénarios d'investissement et de financement, l'économie retrouve son sentier de référence.

Tableau 2 : impacts macroéconomiques des quatre scénarios étudiés

En %, en écart par rapport au scénario de référence	2009	2010	2011	2013	2014	2018	2023	2028	2038	2048	LT
	PIB										
Scénario Grenelle – Pétrole à 62 $/b	0,4	0,6	1,0	1,5	1,6	0,7	-0,7	-0,6	-0,3	-0,25	0
Scénario Grenelle – Pétrole à 80 $/b	0,4	0,7	1,0	1,6	1,6	0,8	-0,6	-0,5	-0,3	-0,29	0
Scénario Grenelle – Pétrole à 130°$/b	0,5	0,8	1,2	1,8	1,9	1,0	-0,5	-0,5	-0,3	-0,40	0
Scénario Grenelle – Pétrole à 62 $/b et gain de productivité globale	0,4	0,6	1,0	1,5	1,6	0,7	-0,6	-0,4	-0,1	-0,14	0
	Emplois (milliers)										
Scénario Grenelle – Pétrole à 62 $/b	23	67	120	180	198	75	-163	-87	-39	-37	0
Scénario Grenelle – Pétrole à 80 $/b	24	73	128	189	208	91	-156	-81	-39	-42	0
Scénario Grenelle – Pétrole à 130°$/b	31	93	161	230	250	129	-145	-70	-40	-57	0
Scénario Grenelle – Pétrole à 62 $/b et gain de productivité globale	23	67	120	180	197	69	-176	-88	-38	-33	0

Source : simulation mésange, calculs DG, Trésor

4. Conclusion

Dans les quatre scénarios envisagés, les investissements des ménages, des entreprises et des administrations publiques sont massifs. Les investissements, réalisés principalement entre 2009 et 2020, représentent selon le scénario étudié entre 0,3 et 1,6 point de PIB chaque année.

À court / moyen terme, la croissance et l'emploi sont stimulés par ces investissements et par la réduction des importations de combustibles fossiles auxquelles se substitue en partie la production nationale. Jusqu'en 2020, les effets multiplicateurs de ces investissements dominent l'impact négatif du financement de leur coût sur l'économie. Le surcroît d'activité attendu est compris entre 0,4 % et 0,5 % la première année dans tous les scénarios, pour atteindre un maximum en 2014 entre 1,6 % et 1,9 %. En 2020, les quatre scénarios conduisent à un PIB plus élevé de 0,4 % à 0,8 % par rapport au scénario de référence. Selon les scénarios, **l'économie compte entre 200 000 et 250 000 emplois supplémentaires au plus fort des dix premières années.**

En revanche, le net ralentissement puis l'arrêt des investissements ainsi que la hausse des prix et des prélèvements obligatoires nécessaires à leur financement annulent les gains économiques du Grenelle après 2020, par rapport au scénario de référence. Les impacts sur le PIB et l'emploi deviennent négatifs à partir de 2021. La modification des hypothèses sur le prix de l'énergie et l'inclusion ou non dans l'analyse des avantages socio-économiques générés par les investissements dans le secteur des transports ne modifient que légèrement ces résultats

Comme tout exercice de simulation, les résultats présentés font appel à plusieurs hypothèses, à la fois sur les chroniques d'investissement anticipées et sur la modélisation des mécanismes macroéconomiques. Ils doivent donc être considérés avec prudence. En particulier, il n'est pas évident que les mécanismes incitatifs mobilisés soient bien calibrés pour générer les montants d'investissement prévus. Enfin, les modalités des financements publics du Grenelle, ainsi que les possibles effets d'apprentissage et gains de productivité jouent un rôle important sur les effets macroéconomiques à long terme. À cet horizon, le Grenelle de l'environnement pourrait enclencher des effets positifs durables s'il induit une accélération et un surcroît d'innovation par rapport à nos partenaires commerciaux, de telle sorte que la compétitivité de la France en soit sensiblement améliorée.

Encadré : Traitement des « double-comptes » entre les volets bâtiment et énergies renouvelables présentés dans les chapitres 2 et 3

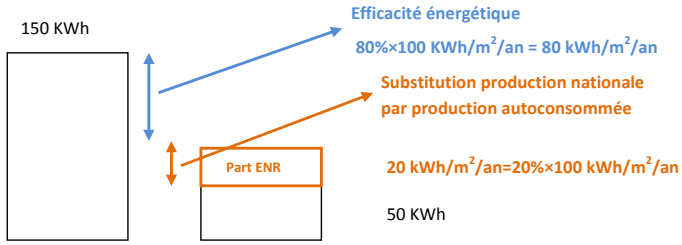
Les résultats présentés dans ce chapitre 1 résultent de l'agrégation des volets bâtiment, énergies renouvelables et transport du Grenelle de l'environnement (présentés respectivement dans les chapitres 2, 3 et 4 de ce document) qui ont, dans un premier temps, été étudiés séparément. Cette synthèse est donc la somme de ces trois volets. Certains investissements peuvent être présents simultanément dans deux volets différents. Dès lors il est nécessaire de faire attention à ne les comptabiliser qu'une fois lors de l'agrégation des trois volets. Le présent encadré explique comment a été traité ce problème.

À l'exception des installations photovoltaïques qui ne sont pas prises en compte dans le volet bâtiment, l'ensemble des autres équipements utilisant des énergies renouvelables sont inclus à la fois dans le volet ENR et dans le volet bâtiment. Pour éviter de compter deux fois l'investissement réalisé, le problème a été traité de la façon suivante :

1) Tous les coûts et dispositifs de financement des investissements dans les ENR thermiques sont attribués au volet bâtiment (et donc retirés du volet ENR), sachant que ceux du photovoltaïque sur bâti ne restent comptabilisés que dans le volet ENR.

2) Les économies d'énergie générées par les ENR dans les logements sont traitées de façon spécifique. Nous ne considérons pas les économies d'énergie nettes réalisées dans les logements mais distinguons les économies d'énergie liées à l'efficacité énergétique de celles liées à la substitution des moyens de chauffage dans les logements. Nous illustrons cette distinction à travers l'exemple ci-dessous.

Dans cet exemple, les économies d'énergie nettes réalisées se montent à 100 kWh/m^2/an. On suppose (comme l'ADEME) que 80 % des économies d'énergie sont dues à des travaux d'isolation du bâtiment et que 20 % proviennent de la substitution d'un équipement utilisant une source d'ENR à un équipement traditionnel fonctionnant à l'électricité ou à une énergie fossile. La part d'ENR augmente la production nationale d'énergie.



Les économies d'énergie liées à l'efficacité énergétique sont valorisées aux tarifs pour les consommateurs (ceux-ci sont présentés dans le chapitre 2).

La consommation d'énergie du secteur résidentiel-tertiaire diminue du fait de l'amélioration de la performance énergétique du parc de bâtiments (cf. annexe 1 du chapitre 2). Toute réduction de la consommation d'énergie engendre une réduction des importations de gaz et de fioul. La diminution des consommations d'électricité a en revanche un effet moindre sur le niveau des importations. Nous supposons que seules les économies d'électricité réalisées chez les ménages se traduisent par une réduction des importations d'électricité. L'électricité non consommée par les entreprises et les APU est exportée vers les pays voisins, la France conservant un avantage comparatif lié au nucléaire. Les économies d'énergie permises par le programme d'investissement dans les transports sont négligeables selon nos estimations et ne sont pas détaillées ici[16].

La production nationale d'énergie augmente du fait de la montée en puissance des ENR. La production d'électricité réalisée à partir de sources d'énergies non renouvelables diminue pour sa part de 43 %[17], soit le montant de la production additionnelle d'ENR par rapport au scénario de référence. Elle s'accompagne d'une réduction des importations de gaz, de produits pétroliers et de charbon ainsi que d'une augmentation des exportations d'électricité (détaillées en annexe 1 du chapitre 3). Cette augmentation de la production nationale d'énergie est prise en compte dans la modélisation.

[16] Se référer au chapitre 4 sur le volet transports pour la modélisation des économies d'énergie.

[17] Dans le secteur électrique, les ENR se substituent à 30 % à du nucléaire et à 40 % à du thermique. Rappelons que 20 % des équipements de chauffage utilisant des sources renouvelables se substituent à un chauffage électrique (cf. annexe 1 du chapitre 3 pour plus de détails). Ainsi, par rapport au scénario de référence, 5,3 Mtep sur 12,3 Mtep se substituent à de l'énergie nucléaire et thermique, soit 43 %. Le total des ENR en 2020 s'élève à 12,3 Mtep dans ces différents scénarios Grenelle car ils ne comptent que 1,8 Mtep additionnelles d'ENR thermiques par rapport au scénario de référence car on prend en compte dans le bâtiment l'accélération des normes du fait du Grenelle.

CHAPITRE 2 : VOLET RÉNOVATION THERMIQUE DES BÂTIMENTS

Philippe Briard, Elodie Galko et Caroline Klein

Les mesures de rénovation thermique des bâtiments engagées à la suite du Grenelle de l'environnement ou encore en projet mettent en jeu des montants importants et auront donc des impacts macroéconomiques significatifs. Dans ce chapitre, nous présentons les estimations d'impact sur le PIB et l'emploi de ces mesures ainsi que l'ensemble des hypothèses qui ont été nécessaires pour les réaliser.

Les bâtiments émettent en France 22 % des émissions de gaz à effet de serre en 2007. Contrairement aux émissions du secteur industriel qui ont diminué depuis 1990, les émissions des bâtiments sont stables. Face à ce constat, et afin d'atteindre les objectifs de réduction d'émission, le secteur du bâtiment a fait l'objet de travaux particuliers dans le cadre du Grenelle de l'environnement. Il est en effet généralement considéré que ce secteur contient un potentiel important de réductions d'émissions à bas coût.

Les lois Grenelle I et II fixent des objectifs quantifiés en termes de consommation d'énergie et d'émissions de gaz à effet de serre du parc bâti et la loi de finances pour 2009 instaure des dispositifs de soutien pour les atteindre. Parmi les mesures proposées, figure par exemple l'éco prêt à taux zéro destiné à financer des travaux importants de rénovation thermique des logements résidentiels.

L'évaluation proposée dans ce chapitre concerne l'ensemble du secteur du bâtiment. Elle s'appuie d'une part sur les prévisions d'investissements de rénovation thermique réalisées dans le cadre du Grenelle[18]. Elle s'appuie d'autre part sur les estimations de la DG Trésor concernant les dispositifs financiers prévus à l'origine par le Grenelle (éco-PTZ et PTZ vert pour les logements neufs). Ces prévisions supposent que les objectifs du Grenelle seront atteints en termes de rénovation des bâtiments et de construction de bâtiments neufs performants. L'hypothèse est donc de considérer que les dispositifs incitatifs ont été calibrés de sorte à remplir les objectifs.

L'ensemble des mesures prises en compte dans l'étude accroît l'investissement des ménages de 80,5 Md€[19] entre 2009 et 2020. Les investissements supplémentaires des entreprises devraient être de 44,4 Md€, ceux des administrations publiques (État et collectivités locales) de 12,6 Md€ (cf. graphique 1).

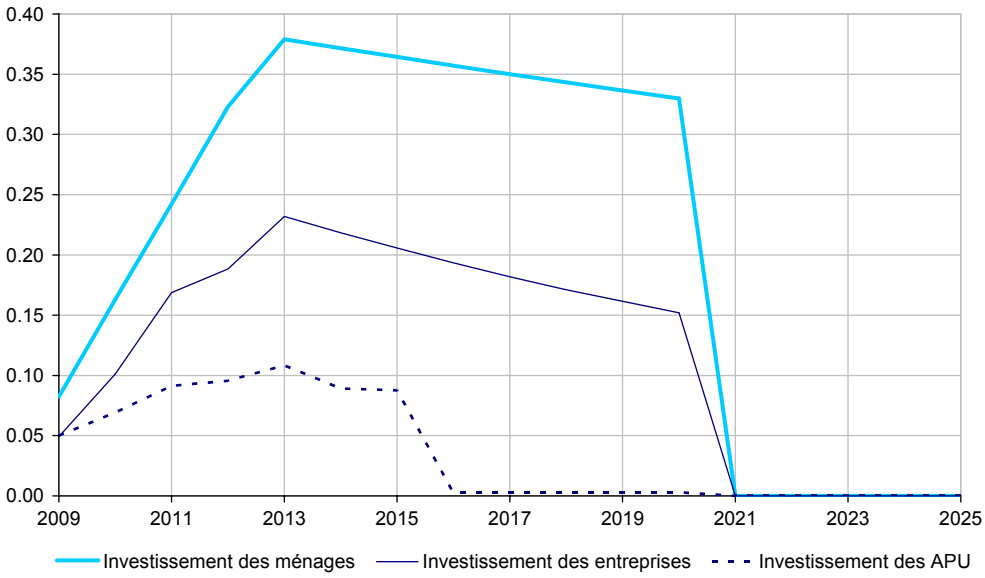
Selon les hypothèses retenues dans notre scénario central, l'ensemble de ces mesures augmenteraient le PIB à court et moyen terme mais le dégraderaient à partir de 2021. L'impact positif à court-moyen terme serait maximal en 2013 (le PIB est plus élevé de + 0,7 point par rapport au compte central, c'est-à-dire par rapport à un monde dans lesquels ces mesures n'auraient pas été mises en œuvre) ; après 2020, l'impact devient négatif et passe par un point bas à -0,6 point en 2022 (c'est-à-dire qu'en 2022, le PIB aurait été plus élevé de 0,6 point si les mesures de rénovation thermique du Grenelle n'avaient pas été mises en place) avant de revenir vers zéro : sur le long terme, l'impact macroéconomique serait nul car nous faisons l'hypothèse que le volet bâtiment du Grenelle ne fait qu'anticiper la mise en œuvre de normes énergétiques et donc ne modifie le cadre règlementaire et fiscal que temporairement. Concernant l'impact sur l'emploi, le nombre d'emplois créés directement par les investissements atteint 140 000 en 2013, mais les effets de bouclage et l'augmentation de l'imposition réduisent cet impact à environ 100 000 créations nettes. Ces résultats sont peu modifiés si l'on se fonde sur une hypothèse de prix de l'énergie différente. En revanche, si nous modifions notre hypothèse sur le comportement d'épargne et de consommation des ménages (hypothèse qui constitue une des principales sources de questionnement de cette évaluation), en considérant que les dépenses de rénovation thermique des ménages diminuent davantage leur consommation que dans notre scénario central, l'amplitude des impacts macroéconomiques, positifs avant 2020 et négatifs au-delà, est divisée par deux.

Les effets macroéconomiques des dispositifs du Grenelle sont générés essentiellement par les flux d'investissements et, dans une moindre mesure, par leur financement par l'État, à la fois à court terme (impact positif) et à moyen terme (impact négatif). Les économies d'énergie, bien qu'essentielles pour le budget des ménages et pour que ceux-ci réalisent effectivement leurs investissements d'isolation thermique, ont un impact macroéconomique diffus et comparativement très modéré, en particulier parce que les économies d'énergie entrent en jeu très progressivement.

[18] Ces prévisions d'investissements concernent la rénovation des bâtiments du parc résidentiel privé, du parc tertiaire privé et du parc de logements sociaux, et les constructions neuves dans le parc résidentiel privé et le parc tertiaire privé et public. Elles ont été compilées à partir de données du MEEDDM et de la DG Trésor.

[19] Tous les montants présentés dans ce chapitre sont en euros constants (euros 2008).

Graphique 1 : impact ex ante des mesures sur l'investissement des ménages, des entreprises et des APU (écart en point de PIB par rapport au scénario de référence) entre 2009 et 2025



Source : Simulation Mésange, calculs DG, Trésor

1. Description des dispositifs

1.1. Dispositifs qui concernent les ménages

Le mécanisme d'« **éco-prêt à taux zéro** » (éco-PTZ) offre aux ménages la possibilité de bénéficier d'un prêt à taux zéro sur 10 années, plafonné à 30 000 €, pour financer des travaux conséquents de rénovation thermique de leur logement. Il est ouvert à tous les ménages sans condition de ressources. Pour bénéficier de l'éco-prêt à taux zéro, il faut soit mettre en œuvre un « bouquet de travaux », soit améliorer la performance énergétique globale du logement. Un « bouquet de travaux » est un ensemble de travaux cohérents dont la réalisation simultanée apporte une amélioration sensible de l'efficacité énergétique du logement et doit être réalisé par un professionnel des travaux dans au moins deux des catégories suivantes :

- isolation performante de la toiture ;
- isolation performante des murs donnant sur l'extérieur ;
- isolation performante des fenêtres et portes donnant sur l'extérieur ;
- installation ou remplacement d'un chauffage ou d'une production d'eau chaude sanitaire ;
- installation d'un chauffage utilisant les énergies renouvelables ;
- installation d'une production d'eau chaude sanitaire utilisant les énergies renouvelables.

Tout comme pour les autres dispositifs de PTZ, les banques distribuant ce prêt bénéficient, pour leur rémunération, d'un crédit d'impôt étalé sur 5 ans. Les dépenses fiscales associées à l'éco-PTZ seront de 499 M€ en 2012 dans le scénario central. Le dispositif s'arrêtera en 2013, mais son coût pour l'État se prolongera jusqu'en 2025 (le coût atteint son apogée entre 2018 et 2021, avec un coût annuel de 2,1 Md€)[20].

La mise en œuvre du Grenelle a conduit également l'État à un **« verdissement du PTZ » :** à majorer le **PTZ pour l'acquisition** d'un logement neuf répondant au moins aux exigences thermiques du label Bâtiment Basse Consommation (BBC)[21]. Ce dispositif est valable jusqu'à l'année 2012 (incluse). À compter de 2013, la norme BBC entrant pleinement en vigueur (elle entre en vigueur à compter de 2012, mais il y a un décalage entre les dépôts des permis de construire et l'émergence des constructions), nous supposons que le dispositif de PTZ disparaît (il ne semble pas opportun de l'appliquer à des logements respectant simplement les normes en vigueur). Le verdissement du PTZ à l'acquisition va permettre aux ménages faisant l'acquisition d'un logement performant énergétiquement de bénéficier d'une majoration de leur capacité d'emprunt à taux nul (mécanisme de PTZ actuel). Dans nos simulations, nous supposons que la

[20] Calculs DG Trésor.
[21] Le PLF 2010 prévoit de prolonger l'existence du PTZ jusqu'à 2012, avec le prolongement de son doublement (lié au plan de relance) sur le 1er semestre 2010. Le bonus lié au respect de la norme BBC est inchangé.

majoration est plafonnée à 20 000 €, ce qui correspond au surcoût moyen d'un logement neuf ayant une performance énergétique très élevée (label BBC ou mieux). Le coût budgétaire de ce dispositif, étalé entre 2009 et 2017, est estimé à 16 M€ en 2012 et il atteint son maximum en 2014 à 44 M€.

Dans cette étude, nous n'avons pas pris en compte l'impact de la rénovation du dispositif de crédit d'impôt « développement durable ». Le dispositif, préexistant, a été rénové suite au Grenelle : il a d'abord été élargi aux propriétaires bailleurs, la liste des équipements qu'il couvre a par ailleurs été revue à l'aune de l'amélioration globale de leur performance énergétique. Ce processus de rénovation peut cependant être considéré comme une nécessaire adaptation du dispositif au regard des retours d'expérience anecdotiques dont on disposait alors. En outre, le crédit d'impôt est cumulable avec le dispositif d'éco-PTZ, il aurait donc été difficile de le prendre en compte sans faire de doubles comptes, à la fois pour les économies d'énergie et pour les investissements réalisés par les ménages.

La majoration du PTZ à l'acquisition est supposée s'arrêter en 2013, et le dispositif de l'éco-PTZ est supposé prendre fin en 2020[22]. Au-delà de 2020, les investissements des ménages ne sont plus différents de ceux de notre scénario de référence *business as usual,* scénario dans lequel aucune mesure du Grenelle de l'environnement n'aurait été mise en place ; nous supposons en effet que dans ce scénario, des normes contraignantes de consommation énergétique auraient été mises en place à terme si le Grenelle n'avait pas eu lieu. Le remboursement des emprunts associés au Grenelle se prolonge jusqu'en 2030. En 2029, les premiers équipements installés (en 2009) atteignent la fin de leur durée de vie[23] ; on suppose que les dates de renouvellement à partir de 2029 correspondent aux dates auxquelles ces équipements auraient été installés dans notre scénario *business as usual* : leur renouvellement n'est donc pas crédité au scénario Grenelle, ce qui réduit progressivement les économies d'énergie réalisées, en écart par rapport au scénario de référence. On ne prend pas en compte un éventuel effet d'apprentissage sur les coûts à long terme des technologies provoqué par les mesures du Grenelle, c'est-à-dire la possibilité que le Grenelle permettrait d'amener certaines technologies à un niveau de maturité plus important que dans le scénario *business as usual*. Cependant, les coûts des investissements diminuent jusqu'en 2020, en raison du progrès technologique (mondial), non provoqué par le Grenelle. Le Grenelle du bâtiment n'a pas d'impact de long terme, puisqu'aucun des dispositifs étudiés n'est permanent et que les équipements ne fournissent plus d'économies d'énergie après la fin de leur durée de vie.

La loi Grenelle I annonce une mise en place de la norme BBC à compter de 2012 et de la norme A+ à compter de 2020. Il est difficile d'estimer dans quelle mesure ces normes seront mises en place de façon plus précoce du fait du Grenelle. Nous n'avons donc pas pris en compte l'impact du Grenelle de l'environnement sur l'année de mise en place des normes de performance énergétique.

1.2. Dispositifs qui concernent les entreprises

Les entreprises vont bénéficier de la vente de certificats d'économie d'énergie et d'un dispositif d'amortissement accéléré pour leurs constructions neuves.

Le dispositif d'**amortissement accéléré** permet aux entreprises d'amortir de manière plus rapide les immeubles présentant une qualité énergétique élevée. La première année, un amortissement exceptionnel de 25 % serait autorisé, à la place des taux d'amortissement les plus couramment admis qui sont situés en pratique entre 2 à 5 %, selon les caractéristiques des bâtiments.

Le mécanisme des **certificats d'économies d'énergie** prend la forme d'un marché et s'appuie sur la création :

- d'une offre : les actions engagées au-delà d'une activité habituelle permettant de nouvelles économies d'énergie, notamment dans le résidentiel tertiaire, donneront lieu à l'attribution de certificats ;
- d'une demande : des obligations d'économies d'énergie seront imposées aux vendeurs d'énergie présents sur le marché de l'habitat et du tertiaire (distributeurs d'électricité, gaz, fioul et chaleur) ; ils s'en acquitteront en réalisant effectivement ces économies d'énergie ou en rachetant des certificats pour une quantité équivalente.

Ce dispositif est supposé exploiter des gisements d'économie d'énergie importants mais diffus notamment dans le résidentiel tertiaire. Dans la pratique, le mécanisme a rencontré peu de succès. La loi Grenelle II (article 27) propose donc d'étendre la portée du dispositif et de favoriser son industrialisation en prévision

[22] Actuellement, le dispositif tel qu'il est prévu par la loi de finances pour 2009 est supposé s'arrêter en 2012.
[23] On suppose une durée de vie de 20 ans pour les équipements de rénovation thermique installés chez les ménages, et 25 ans pour les rénovations dans le logement social et dans le tertiaire privé. On suppose une durée de vie des équipements de 30 ans dans le neuf (résidentiel et tertiaire).

d'une augmentation significative de l'objectif national d'économies d'énergie. Le périmètre des personnes soumises à obligation est ainsi étendu aux personnes vendant des carburants automobiles. Le dispositif des certificats d'économie d'énergie pourrait donc permettre aux entreprises possédant des bâtiments tertiaires d'y trouver des financements pour réaliser des travaux d'économies d'énergie. Les chiffrages supposent que les obligations pesant sur les obligés du dispositif sont multipliées par 5 par rapport aux obligations actuelles (il s'agit donc de réaliser 270 TWh d'économie d'énergie sur la période du 1er juillet 2009 au 30 juin 2012). Sur la période 2009-2020, cela fait porter un poids financier de 3,8 Md€ sur les entreprises soumises à obligation.

La loi Grenelle II (article 2) prévoit actuellement une obligation de rénovation des bâtiments tertiaires. Les travaux en cause devront être réalisés sur une période de huit ans, à compter du 1er janvier 2012. Un décret en Conseil d'État déterminera, d'une part, les catégories de bâtiments ou parties de bâtiments existant qui feront l'objet de cette obligation de travaux et, d'autre part, la nature et les modalités de l'obligation, ainsi que les caractéristiques thermiques ou la performance énergétique à respecter. Devant la diversité du parc de bâtiments existants, tant au niveau de la typologie que de l'état énergétique, ainsi que devant les contraintes financières et techniques, il ne s'agit pas d'imposer une performance énergétique identique pour tous les bâtiments concernés, mais d'imposer une progression équivalente optimisant le rapport coût des travaux par rapport au gain de consommation.

2. Hypothèses de modélisation

Le modèle macroéconométrique Mésange[24] est utilisé pour évaluer les impacts à différents horizons sur l'activité et l'emploi.

Les dépenses de rénovation énergétique générées par le mécanisme d'éco-PTZ sont réalisées par les ménages sur une base volontaire, et s'ajoutent aux dépenses similaires qui auraient été réalisées de toute façon par les ménages. Ce mécanisme permet de franchir le seuil de rentabilité de certains investissements. Étant donné d'une part leurs coûts et d'autre part les économies d'énergie qu'ils induisent, certains investissements ne sont pas rentables pour les ménages. La hausse nette de l'investissement des ménages s'explique alors par deux principaux mécanismes. D'une part, les ménages peuvent vouloir anticiper l'entrée en vigueur de normes contraignantes en profitant d'un mécanisme incitatif sensé s'achever en 2020. D'autre part, ces investissements supplémentaires qui réalisés seuls n'auraient pas été rentables peuvent tout de même l'être en raison d'économie d'échelle lorsqu'ils sont réalisés en supplément d'autres travaux de rénovation ou de construction qui auraient eu lieu de toute façon.

Si le prix de l'énergie demeure stable et assez bas[25] pendant la période étudiée, les investissements ne sont en moyenne pas rentables pour les ménages (la rentabilité étant mesurée à partir de la somme actualisée[26] des dépenses d'investissement et des économies d'énergie). Si le prix de l'énergie est élevé, les investissements sont tout juste rentables sur l'ensemble de la période (les économies d'énergie permises par les équipements générés par le Grenelle s'arrêtent en 2050). L'hypothèse que les ménages réalisent effectivement ces investissements implique donc que les ménages anticipent de futures normes, qu'ils ne sont pas parfaitement rationnels dans leurs investissements ou mal informés, ou qu'ils retirent une satisfaction morale de ces économies d'énergie (difficilement évaluable) qui compensent leur perte financière.

Comportement d'épargne et d'endettement des ménages

Confrontés à ces mécanismes de prêts, aux normes sur la rénovation et à leurs futures économies d'énergie, les ménages auront un comportement d'épargne et d'endettement difficile à prévoir[27]. Les études économiques empiriques de ces comportements n'aboutissent pas à des conclusions tranchées. Les ménages font face à une augmentation de leurs dépenses à court et moyen terme, liée au paiement des échéances des prêts à taux zéro ; ils réalisent des économies sur leurs dépenses énergétiques à moyen terme qui compensent en grande partie les dépenses initiales. Plutôt que de réduire leurs autres dépenses à court terme, des ménages rationnels, parfaitement informés et non-contraints devraient lisser dans le temps leur consommation grâce à l'épargne (selon la théorie du revenu permanent) ; en pratique, ce comportement ne se concrétise pas pour plusieurs raisons : une partie des ménages sont financièrement contraints (ils ne peuvent pas dépasser un certain niveau d'endettement) ; les ménages peuvent avoir une préférence forte

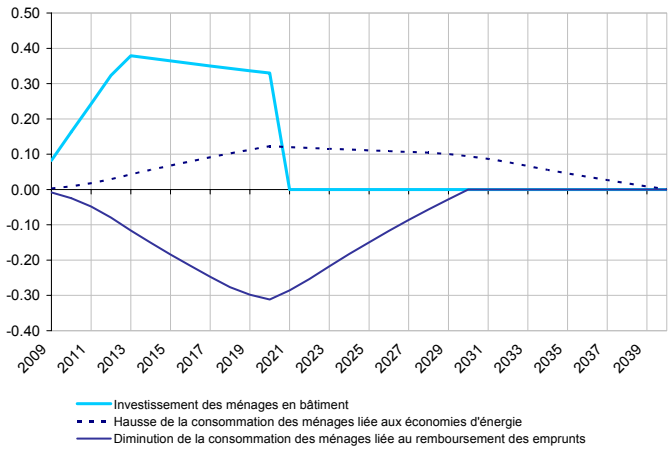
[24] Modèle Mésange version 2009, Caroline Klein, Olivier Simon, Document de travail de la DG Trésor, INSEE.
[25] Pétrole à 62 $ le baril dans le scénario de prix bas, et 130 $ dans le scénario de prix élevé ; cf. section suivante.
[26] Nous retenons un taux d'actualisation réel de 3 %.
[27] Dans cette étude, nous supposons que les normes et les dispositifs prévus sont suffisants pour générer les séries d'investissements décrites ici. En particulier, les ménages pourraient investir parce que cela peut être rentable à long terme pour eux (cela dépend notamment des prix futurs de l'énergie), mais surtout parce qu'ils anticipent à la fois des futures normes contraignantes et la fin des dispositifs incitatifs.

pour le présent qui les conduit à un lissage intertemporel faible de leur consommation ; enfin, ils peuvent être imparfaitement informés et non rationnels, et se baser sur des prévisions du prix de l'énergie différentes de celles retenues dans ce chapitre. Nous présentons donc trois scénarios différents sur le comportement d'épargne et d'investissement logement des ménages : le premier scénario est considéré comme le plus probable, les deux autres scénarios étant des cas extrêmes de comportement.

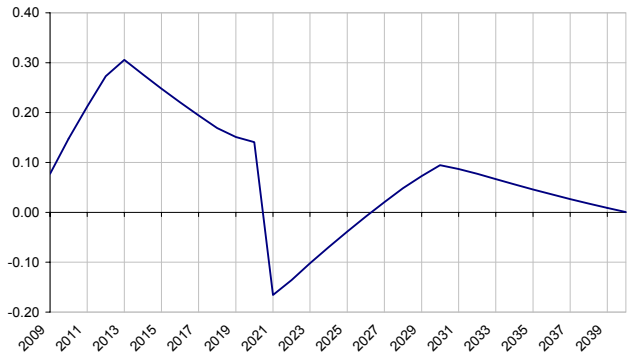
- dans le premier scénario (« scénario 1 : ménages ajustant leur consommation »), les flux monétaires liés aux économies d'énergie et aux remboursements des emprunts se répercutent directement et totalement sur les dépenses de consommation des ménages, à la baisse pour les paiements des mensualités d'emprunt et à la hausse pour les économies permises par la réduction de la consommation énergétique. Ainsi la consommation des ménages est plus faible à court terme et plus élevée à moyen terme, par rapport au scénario de référence[28] (voir graphique 2a et 2b).
- dans le second, (« scénario 2 : ménages ne modifiant pas leur consommation »), le paiement des mensualités d'emprunt et les économies d'énergie liés au Grenelle n'ont pas d'impacts directs sur la consommation des ménages et leurs investissements (hors investissements liés au Grenelle). Implicitement, les ménages lissent parfaitement leur consommation, réduisant leur épargne financière à court terme et l'augmentant à moyen terme (voir graphique 3a et 3b).
- le troisième scénario (« scénario 3 : ménages contraints financièrement ») fait l'hypothèse que les ménages sont totalement contraints sur leur niveau d'endettement. Ce sont alors les montants des emprunts, et non les mensualités d'emprunt étalées dans le temps, qui se répercutent directement sur la consommation des ménages. Ce scénario, moins réaliste que les deux précédents, a surtout une valeur analytique. Il correspond à des ménages qui ne peuvent pas augmenter leur quantité agrégée d'emprunt : les banques réduisent donc les crédits accordés aux ménages (crédits de consommation par exemple) en contrepartie des éco-PTZ et PTZ verts. La consommation est alors plus fortement réduite à court terme et plus fortement augmentée sur le moyen terme, par rapport au scénario 1 (voir graphique 4a et 4b).

Graphiques 2a et 2b : impact ex ante des mesures sur l'investissement et la consommation des ménages (écart en point de PIB par rapport au scénario de référence) lorsque les ménages ajustent leur consommation (scénario central)

2a. Investissement et impact des économies d'énergie et des remboursements d'emprunts sur la consommation des ménages.



2b. Impact net des mesures sur la demande des ménages (investissement et consommation).

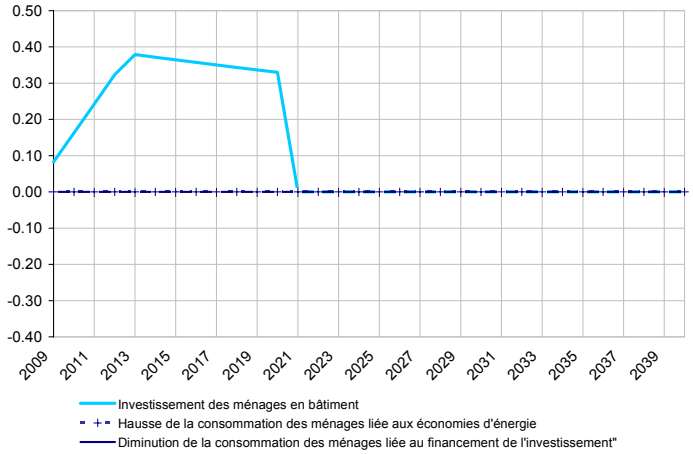


Lecture : lorsque les ménages ne sont pas contraints financièrement, la demande des ménages augmente du montant de leurs investissements et de leurs économies d'énergie nets de leurs remboursements d'emprunt.

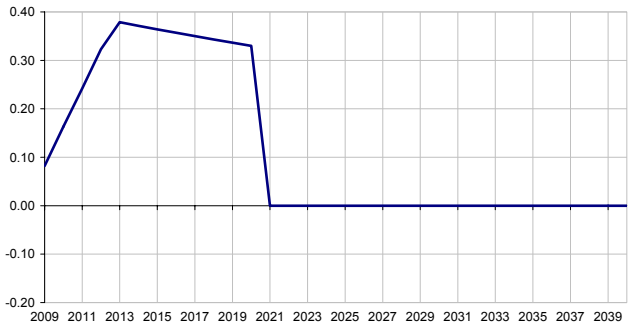
[28] Toutes les mesures étudiées ont bien sûr des effets indirects sur la consommation des ménages, en particulier via l'augmentation de l'activité et de l'emploi et les effets prix. Ces effets indirects sont pris en compte par le bouclage macroéconomique du modèle Mésange. Dans ces trois scénarios, nous indiquons les hypothèses sur le comportement d'épargne des ménages toutes choses égales par ailleurs.

Graphique 3a et 3b : impact ex ante des mesures sur l'investissement et la consommation des ménages (écart en point de PIB par rapport au scénario de référence) lorsque les ménages sont supposés lisser leur consommation (scénario 2)

3a. Investissement et impact des économies d'énergie et du financement de l'investissement sur la consommation des ménages.



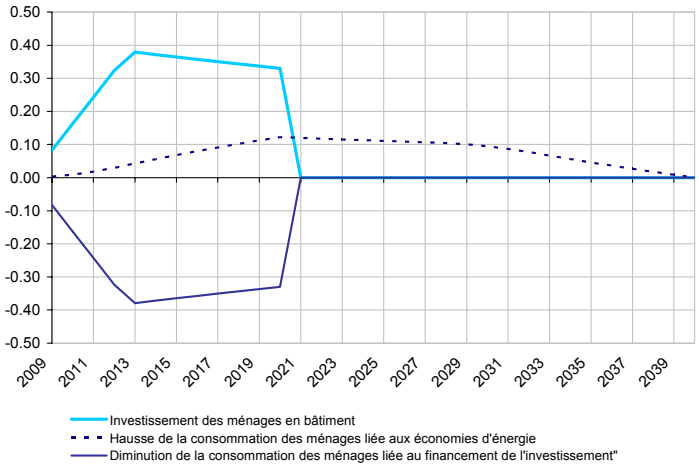
3b. Impact net des mesures sur la demande des ménages (investissement et consommation).



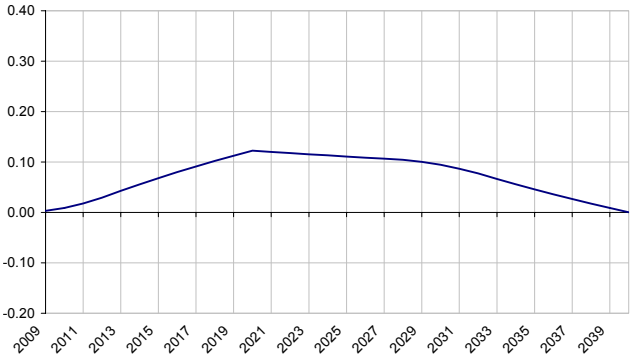
Lecture : lorsque les ménages ne modifient pas leur consommation, la demande des ménages augmente du montant de leur investissement.

Graphiques 4a et 4b : impact ex ante des mesures sur l'investissement et la consommation des ménages (écart en point de PIB par rapport au scénario de référence) lorsque les ménages sont supposés contraints financièrement (scénario 3)

3a. Investissement et impact des économies d'énergie et du financement de l'investissement sur la consommation des ménages.



3b. Impact net des mesures sur la demande des ménages (investissement et consommation).



Lecture : lorsque les ménages sont contraints financièrement, la demande des ménages augmente du montant de leurs économies d'énergie (le surcroît d'investissement se traduisant par une baisse de la consommation de même niveau).

Prix de l'énergie

La valeur des économies d'énergie réalisées par les ménages dépend des niveaux de prix de l'énergie. Nous prévoyons que le prix non régulé de l'énergie évoluera proportionnellement à celui du pétrole ; les prix de l'électricité et du gaz sont supposés toujours régulés mais, pour le gaz, en adéquation avec le prix du pétrole. Nous considérons que le prix de l'énergie est stabilisé à partir de 2009 et nous nous basons[29] sur un prix du pétrole à 62 $/baril.

Nous présenterons un test de sensibilité sur le prix de l'énergie en considérant, sous les hypothèses du scénario 1, un prix du pétrole égal à 130 $/baril à partir de 2009. Les impacts macroéconomiques sont alors très peu modifiés (cf. scénario 4).

[29] Le scénario à 62$/baril était le scénario central de l'AIE dans le World Energy Outlook au moment des travaux présentés ici. Il est généralement utilisé comme référence dans les évaluations de scénarios énergétiques en France.

Consommation et échanges extérieurs d'énergie

L'amélioration de la performance énergétique du parc de bâtiments permet une réduction de la consommation d'énergie du secteur résidentiel-tertiaire, et donc, pour les agents économiques concernés, libère du revenu qui sera utilisé pour un report vers la consommation d'autres biens ou le remboursement des emprunts contractés comme décrit plus haut[30].

Toute réduction de la consommation d'énergie est supposée correspondre pour 50% à du gaz, pour 30% à du fioul et pour 20% à de l'électricité (cf. annexe 1). Les moindres consommations de gaz et de fioul engendrent une réduction des importations de ces matières premières. La diminution des consommations d'électricité ont en revanche un effet moindre sur le niveau des importations. Nous supposons que les consommations d'électricité des ménages sont les seules responsables des importations d'électricité. Ainsi, seules les économies d'électricité réalisées chez les ménages se traduisent par une réduction des importations d'électricité. Sur la base de la part des importations dans la consommation domestique d'électricité, nous estimons que pour 100kWh d'électricité consommés chez les ménages, 7,5kWh d'électricité sont importés. Ainsi, quand 100kWh d'électricité sont économisés chez les ménages, les importations d'électricité diminuent de 7,5kWh. Les économies d'énergie des entreprises et des APU se traduisent en outre pour leur part par une hausse des exportations de l'électricité produite nationalement. Nous considérons en effet que l'électricité non consommée est exportée vers les pays voisins (la France conservant un avantage comparatif lié au nucléaire) ; ainsi, par rapport au scénario *business as usual*, la production domestique d'électricité est inchangée, la consommation domestique est réduite et les exportations augmentées.

En Union monétaire, une variation de la balance commerciale n'a pas en soi d'impact sur l'activité domestique ; l'amélioration de la balance commerciale permise par les mesures du Grenelle est associée à un effet positif lié au recyclage des économies dans la consommation des ménages.

Certificats d'économie énergie

Le coût des certificats d'économie énergie est reporté dans le prix de l'énergie payé par les consommateurs finaux (ménages et entreprises). Il est modélisé comme une taxe sur l'énergie. Ces certificats financent une partie des investissements réalisés par les entreprises.

Administrations publiques

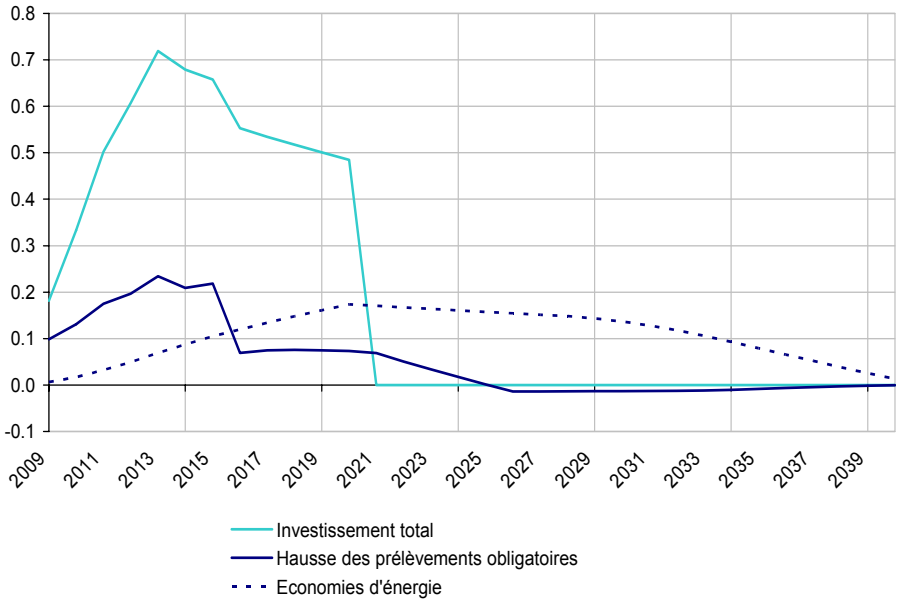
On fait l'hypothèse que le solde budgétaire n'est pas impacté par les mesures de rénovation thermique du Grenelle de l'environnement[31]. Les investissements des administrations publiques, y compris ceux associés à la rénovation des logements sociaux, ainsi que le coût public des dispositifs de crédits d'impôt, sont financés par une augmentation des prélèvements obligatoires (cf. graphique 5)[32]. Inversement, les économies d'énergie réalisées dans les bâtiments publics permettent une réduction de l'imposition.

[30] Concernant l'ampleur de l'« effet rebond », c'est-à-dire de la consommation supplémentaire d'énergie due à la réduction du coût marginal du chauffage, notre évaluation ne permet pas de la prévoir avec précision. Un effet rebond fort, par rapport à un effet rebond faible, correspond à des consommateurs qui consacrent plus de dépenses au chauffage et moins de dépenses au reste des biens de consommation : ceci n'a pas d'impact sur le niveau agrégé de la consommation. Dans notre modélisation, la consommation des ménages est anticipée, en tenant compte de leur contrainte de budget globale, dans son ensemble ainsi que selon quatre grands secteurs, mais sans un détail précis de la demande adressée à chacun des multiples secteurs économiques. Puisque l'impact macroéconomique de la consommation dépend principalement de son niveau agrégé, il n'est pas biaisé par l'effet rebond –à un effet du second ordre près lié aux proportions différentes des importations dans la consommation de chaque type de bien.

[31] Le financement est réalisé ex ante et ne réintègre pas l'impact sur les recettes publiques de la variation du PIB. Cet impact, ici positif à court terme et négatif à moyen terme, puisque le PIB est plus élevé à court terme et plus faible à moyen terme que dans le scénario *business as usual*, est faible et peut donc être négligé.

[32] Augmentation de tous les impôts existants à due proportion de leur niveau actuel.

Graphique 5 : impact ex ante des mesure sur l'investissement, les prélèvements obligatoires et les économies d'énergie des ménages, des entreprises et des APU (écart en point de PIB par rapport au scénario de référence) entre 2009 et 2040



Source : Simulation Mésange, calculs DG Trésor.
Note de lecture : la hausse des prélèvements obligatoires est calculée comme la somme des investissements des APU liés au volet bâtiment du Grenelle et du coût pour l'État des dispositifs destinés aux ménages et aux entreprises, nette des économies d'énergie faites par les APU.

3. Résultats du scénario central

Les impacts du scénario central sur le PIB et l'emploi sont présentés dans les graphiques 6 et 7, résumés dans le tableau 1, et présentés en détail en annexe 2. Les tests de sensibilité (scénarios 2 à 4) sont présentés dans la section 4 de ce chapitre.

À court terme, l'activité et l'emploi augmentent sous l'effet de l'investissement des ménages, des entreprises et des administrations publiques. Entre 2009 et 2013, la croissance est accrue chaque année en moyenne de 0,15 point et l'emploi de 20 000 personnes par an. Au bout de trois ans, il y a 65 000 emplois supplémentaires dans l'économie, et le PIB est plus élevé de 0,5 % par rapport à un scénario de référence.

Sur le moyen terme, après un effet maximal en 2013 (+ 0,7 point de PIB et + 95 000 emplois, dont 140 000 créés par les investissements), l'impact se réduit progressivement car les investissements provoqués par les dispositifs éco-PTZ se stabilisent ; l'impact devient négatif en 2021 avec l'arrêt des investissements éco-PTZ et la hausse des prélèvements obligatoires qui pèse progressivement sur l'activité. Au bout de 15 ans, en 2023, et par rapport à un scénario de référence sans dispositif, le PIB est réduit de 0,6 % et il y a 120 000 emplois en moins dans l'économie. Les économies d'énergie apparaissent très progressivement donc leur impact sur le PIB et l'emploi est étalé et peu visible à court terme ; les économies d'énergie atteignent leur niveau maximal en 2020, puis cet impact se réduit progressivement sous l'effet du bouclage macroéconomique.

Sur le long terme, le potentiel d'offre de l'économie n'est pas modifié, et les mécanismes mis en œuvre par le Grenelle disparaissent ; l'impact sur le long terme est donc nul à la fois sur l'activité et sur l'emploi.

Le profil de l'impact macroéconomique global peut s'expliquer en grande partie par le profil des investissements :

- En effet, les investissements générés par les dispositifs du Grenelle à partir de 2009 augmentent la demande ce qui engendre un impact fortement positif sur l'activité du fait d'effets multiplicateurs (la demande stimule l'investissement et l'emploi dans les entreprises qui créent à leur tour des sources de revenus stimulant la demande). Toutefois, une hausse de la demande provoque des tensions sur les prix et les salaires, qui limitent puis annulent ces effets positifs sur le PIB[33]. Ainsi l'impact engendré par une augmentation permanente des investissements reste positif mais revient à un niveau proche de 0 sur le long terme.
- L'arrêt des investissements vers 2020 provoque un choc négatif de demande et a donc un impact négatif sur le PIB à court terme (entre 2020 et 2025), qui s'annule sur le long terme.
- Les augmentations du niveau des prélèvements obligatoires et des économies d'énergie engendrent des impacts macroéconomiques de moindre amplitude et beaucoup moins heurtés. Celles-ci étant supposées s'annuler à très long terme, leurs impacts reviennent également vers 0 à cet horizon.

Tableau 1 : impacts macroéconomiques dans le scénario central (scénario 1)

En écart par rapport au scénario de référence

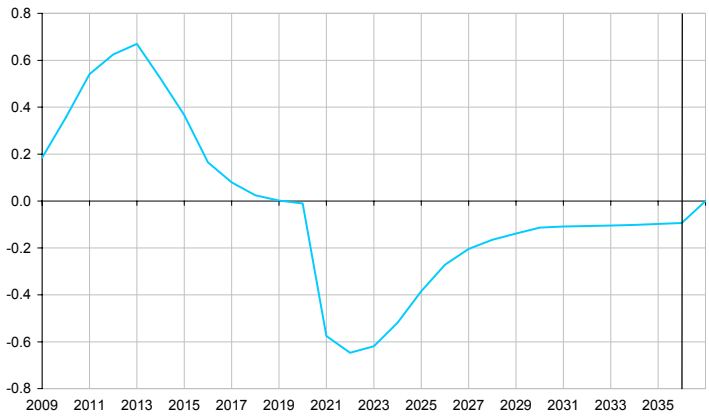
	2009	2010	2011	2013	2018	2023	Long terme
PIB (niveau du PIB, écart en %)	**+ 0,2**	**+ 0,4**	**+ 0,5**	**+ 0,7**	**+ 0,0**	**- 0,6**	**+ 0,0**
dont investissements	*+ 0,2*	*+ 0,4*	*+ 0,7*	*+ 0,9*	*+ 0,3*	*- 0,5*	*+ 0,0*
dont hausse de l'impôt générique	*- 0,0*	*- 0,1*	*- 0,1*	*- 0,2*	*- 0,1*	*- 0,1*	*+ 0,0*
dont impact du rachat des CEE via le prix de l'énergie	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,0*	*+ 0,0*
dont paiements des échéances d'emprunts	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,1*	*- 0,2*	*- 0,1*	*+ 0,0*
dont économies d'énergie	*+ 0,0*	*+ 0,0*	*+ 0,0*	*+ 0,0*	*+ 0,1*	*+ 0,1*	*+ 0,0*
Emplois (milliers)	**+ 10**	**+ 33**	**+ 64**	**+ 93**	**- 9**	**- 123**	**+ 0**
dont investissements	*+ 14*	*+ 49*	*+ 93*	*+ 142*	*+ 29*	*- 104*	*+ 0*
dont hausse de l'impôt générique	*- 4*	*- 14*	*- 24*	*- 38*	*- 17*	*- 13*	*+ 0*
dont impact du rachat des CEE via le prix de l'énergie	*- 0*	*- 1*	*- 2*	*- 2*	*- 1*	*+ 1*	*+ 0*
dont paiements des échéances d'emprunts	*- 0*	*- 2*	*- 5*	*- 13*	*- 30*	*- 16*	*+ 0*
dont économies d'énergie	*+ 0*	*+ 1*	*+ 2*	*+ 5*	*+ 11*	*+ 10*	*+ 0*

Source : Simulation Mésange, calculs DG Trésor.

Lecture : après 5 ans, en 2013, dans le scénario central (scénario 1), le PIB est plus élevé de 0,7 % par rapport au scénario de référence, et il y a 93 000 emplois de plus dans l'économie. Parmi ces 93 000 emplois, 142 000 sont engendrés par les investissements dans la rénovation thermique, mais 38 000 sont détruits par l'augmentation de l'imposition. La réduction de la consommation que provoquent les paiements des échéances d'emprunt se traduit par la destruction de 13 000 emplois en 2013.

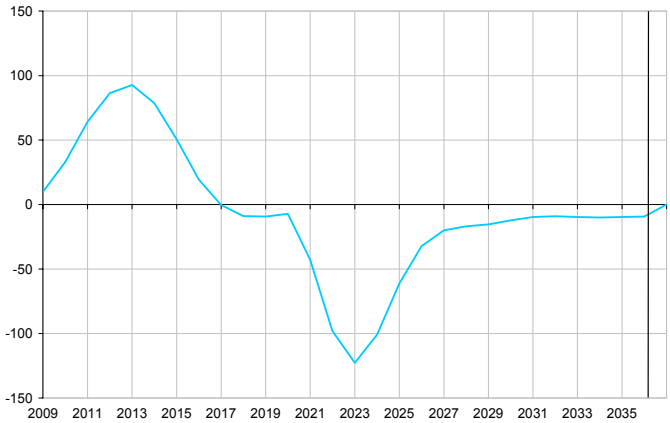
[33] Effet du bouclage macroéconomique. En particulier, la hausse des prix et des salaires, liée à la croissance de l'activité et de l'emploi, dégrade la compétitivité prix et a donc un impact négatif sur les exportations et plus généralement sur la balance commerciale.

Graphique 6 : impact sur le PIB (écart du PIB en niveau par rapport au scénario de référence) dans le scénario central, entre 2009 et 2036 et sur le long terme



Lecture : en 2011, le PIB est plus élevé de 0,5 % par rapport au scénario de référence.

Graphique 7 : impact sur l'emploi, en milliers, dans le scénario central, entre 2009 et 2036 et sur le long terme



Lecture : en 2011, l'économie compte 65 000 emplois de plus par rapport au scénario de référence.

4. Résultats du scénario alternatif

a) Un comportement d'épargne financière des ménages lissant totalement l'impact du Grenelle sur leur consommation ne modifie pas sensiblement les résultats.

Le deuxième scénario est construit sur l'hypothèse que la consommation des ménages n'est pas modifiée par leurs investissements dans la rénovation thermique. La différence d'impact par rapport au scénario 1 est relativement faible. Sous cette hypothèse, l'impact est plus élevé à court terme et moyen terme que dans le scénario central (+0,6 pt sur le PIB en 2011 contre +0,5 pt). L'impact est davantage négatif après 2023 (cf. Graphiques 8 et 9).

Tableau 2 : impacts macroéconomiques lorsque les ménages lissent leur consommation (scénario 2)

En écart par rapport au scénario de référence

	2009	2010	2011	2013	2018	2023	Long terme
PIB (niveau du PIB, écart en %)	**+ 0,2**	**+ 0,4**	**+ 0,6**	**+ 0,7**	**+ 0,2**	**- 0,6**	**+ 0,0**
dont investissements	*+ 0,2*	*+ 0,4*	*+ 0,7*	*+ 0,9*	*+ 0,3*	*- 0,5*	*+ 0,0*
dont hausse de l'impôt générique	*- 0,0*	*- 0,1*	*- 0,1*	*- 0,2*	*- 0,1*	*- 0,1*	*+ 0,0*
dont impact du rachat des CEE via le prix de l'énergie	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,0*	*+ 0,0*
Emplois (milliers)	**+ 10**	**+ 34**	**+ 67**	**+ 101**	**+ 10**	**- 117**	**+ 0**
dont investissements	*+ 14*	*+ 49*	*+ 93*	*+ 142*	*+ 29*	*- 104*	*+ 0*
dont hausse de l'impôt générique	*- 4*	*- 14*	*- 24*	*- 38*	*- 17*	*- 13*	*+ 0*
dont impact du rachat des CEE via le prix de l'énergie	*- 0*	*- 1*	*- 2*	*- 2*	*- 1*	*+ 1*	*+ 0*

Source : Simulation Mésange, calculs DG Trésor.
Lecture : après 5 ans, en 2013, dans le scénario 2, le PIB est plus élevé de 0,7 % par rapport au scénario de référence, et 101 000 emplois nets sont créés dans l'économie.

b) Sous l'hypothèse que les ménages sont totalement contraints sur leur niveau d'endettement, l'impact positif sur l'activité et l'emploi à court terme est fortement réduit.

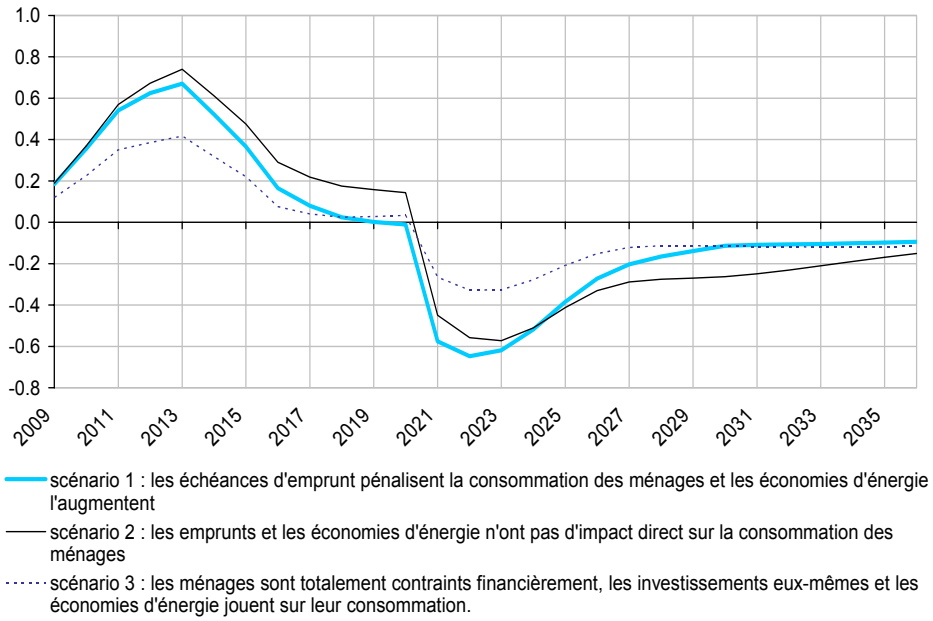
Tableau 3 : impacts macroéconomiques lorsque les ménages sont totalement contraints financièrement (scénario 3)

En écart par rapport au scénario de référence

	2009	2010	2011	2013	2018	2023	Long terme
PIB (niveau du PIB, écart en %)	**+ 0,1**	**+ 0,2**	**+ 0,4**	**+ 0,4**	**+ 0,0**	**- 0,3**	**+ 0,0**
dont investissements	*+ 0,2*	*+ 0,4*	*+ 0,7*	*+ 0,9*	*+ 0,3*	*- 0,5*	*+ 0,0*
dont hausse de l'impôt générique	*- 0,0*	*- 0,1*	*- 0,1*	*- 0,2*	*- 0,1*	*- 0,1*	*+ 0,0*
dont impact du rachat des CEE via le prix de l'énergie	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,0*	*+ 0,0*
dont financement des investissements	*- 0,1*	*- 0,2*	*- 0,2*	*- 0,4*	*- 0,2*	*+ 0,2*	*+ 0,0*
dont économies d'énergie	*+ 0,0*	*+ 0,0*	*+ 0,0*	*+ 0,0*	*+ 0,1*	*+ 0,1*	*+ 0,0*
Emplois (milliers)	**+ 6**	**+ 20**	**+ 41**	**+ 57**	**- 6**	**- 70**	**+ 0**
dont investissements	*+ 14*	*+ 49*	*+ 93*	*+ 142*	*+ 29*	*- 104*	*+ 0*
dont hausse de l'impôt générique	*- 4*	*- 14*	*- 24*	*- 38*	*- 17*	*- 13*	*+ 0*
dont impact du rachat des CEE via le prix de l'énergie	*- 0*	*- 1*	*- 2*	*- 2*	*- 1*	*+ 1*	*+ 0*
dont financement des investissements	*- 4*	*- 15*	*- 28*	*- 49*	*- 27*	*+ 37*	*+ 0*
dont économies d'énergie	*+ 0*	*+ 1*	*+ 2*	*+ 5*	*+ 11*	*+ 10*	*+ 0*

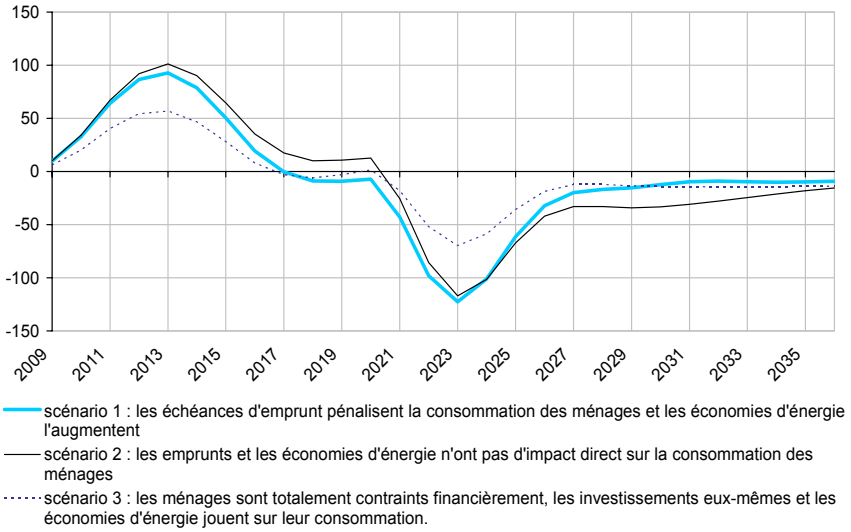
Source : Simulation Mésange, calculs DG Trésor.
Lecture : après 5 ans, en 2013, dans le scénario 3, le PIB est plus élevé de 0,4 % par rapport au scénario de référence, et 57 000 emplois nets sont créés dans l'économie.

Graphique 8 : impact sur le PIB selon les 3 hypothèses de comportement d'épargne (scénarios 1 à 3)



Source : Simulation Mésange, calculs DG Trésor.
Lecture : Dans les trois scénarios principaux, l'investissement augmente l'activité à court et moyen terme. En 2021, le niveau d'activité par rapport au scénario *business as usual* devient négatif suite à l'arrêt des investissements. L'impact atteint -0,6 pt en 2022 dans les deux premiers scénarios.

Graphique 9 : impact sur l'emploi selon les 3 hypothèses de comportement d'épargne (scénarios 1 à 3)

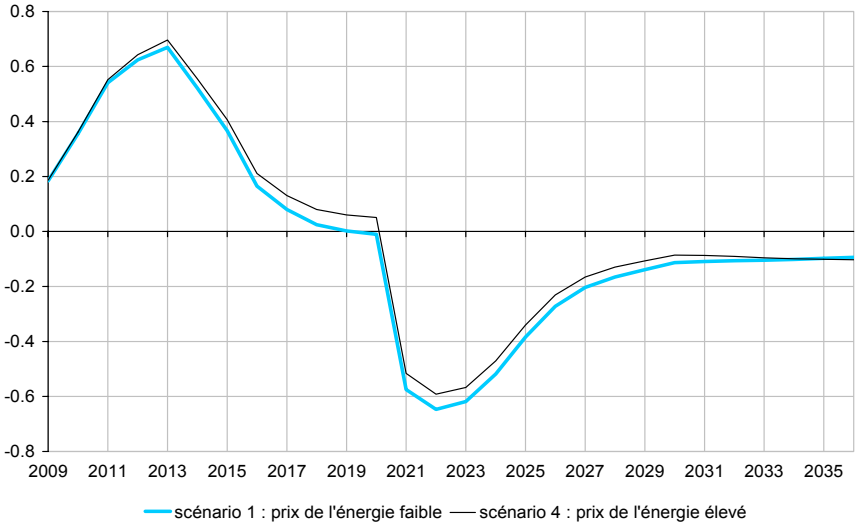


Source : Simulation Mésange, calculs DG Trésor.
Lecture : L'impact du Grenelle du bâtiment sur l'emploi suit globalement les variations de l'activité, même si des effets retard amènent à un effet agrégé négatif sur l'emploi dès 2018 dans les scénarios 1 et 3.

c) L'hypothèse d'un prix de l'énergie élevé conduit à un impact sur l'économie légèrement plus favorable à tous les horizons.

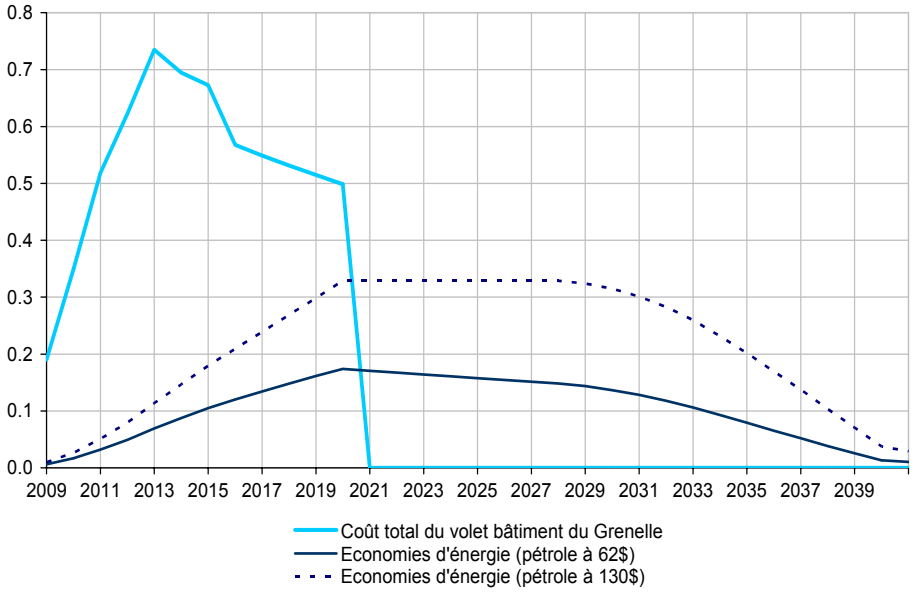
Par rapport à notre scénario central (scénario 1), le scénario 4 chiffre l'impact des mesures du volet bâtiment du Grenelle de l'environnement dans le cadre d'un prix de l'énergie élevé (pétrole à 130 $ le baril dès la première année). La différence entre les deux scénarios est très faible (cf. graphique 10), car, si les reports de consommation des ménages que permettent les économies d'énergie sont doublés, leur impact macroéconomique demeure globalement faible par rapport aux autres contributions, en particulier parce que les économies d'énergie n'apparaissent que progressivement. Le graphique 11 permet de comparer en termes de montants les quantités d'investissement et d'économies d'énergie liés au volet bâtiment du Grenelle. Il souligne l'importance de l'horizon auquel on se place, puisque les investissements connaissent leur pic en 2013, et les économies d'énergie plus tard, dans les années 2020.

Graphique 10 : impact sur le PIB des scénarios 1 et 4



Source : Simulation Mésange, calculs DG Trésor.
Lecture : L'impact sur l'activité est peu modifié dans un scénario à prix de l'énergie élevé (pétrole à 130 $\baril) par rapport au scénario central. En 2019, dans le scénario 4, le PIB est plus élevé de 0,1 point par rapport au scénario *business as usual*, alors que cet impact est nul dans le scénario central (scénario 1).

Graphique 11 : impact ex ante des mesure sur l'investissement et les économies d'énergie des ménages, des entreprises et des APU (écart en point de PIB par rapport au scénario de référence) selon le prix du pétrole retenu (62$ ou 130$le baril) entre 2009 et 2040



Source : Simulation Mésange, calculs DG Trésor.
Note de lecture : le coût du Grenelle est évalué comme la somme des investissements des ménages, entreprises et APU et de la valeur des certificats d'énergie.

Tableau 4 : impacts macroéconomiques lorsque le prix de l'énergie est élevé (scénario 4)

En écart par rapport au scénario de référence

	2009	2010	2011	2013	2018	2023	Long terme
PIB (niveau du PIB, écart en %)	**+ 0,2**	**+ 0,4**	**+ 0,6**	**+ 0,7**	**+ 0,1**	**- 0,6**	**+ 0,0**
dont investissements	*+ 0,2*	*+ 0,4*	*+ 0,7*	*+ 0,9*	*+ 0,3*	*- 0,5*	*+ 0,0*
dont hausse de l'impôt générique	*- 0,0*	*- 0,1*	*- 0,1*	*- 0,2*	*- 0,1*	*- 0,1*	*+ 0,0*
dont impact du rachat des CEE via le prix de l'énergie	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,0*	*+ 0,0*
dont paiements des échéances d'emprunts	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,1*	*- 0,2*	*- 0,1*	*+ 0,0*
dont économies d'énergie	*+ 0,0*	*+ 0,0*	*+ 0,0*	*+ 0,1*	*+ 0,1*	*+ 0,1*	*+ 0,0*
Emplois (milliers)	**+ 10**	**+ 34**	**+ 66**	**+ 96**	**- 1**	**- 116**	**+ 0**
dont investissements	*+ 14*	*+ 49*	*+ 93*	*+ 142*	*+ 29*	*- 104*	*+ 0*
dont hausse de l'impôt générique	*- 4*	*- 13*	*- 23*	*- 37*	*- 15*	*- 12*	*+ 0*
dont impact du rachat des CEE via le prix de l'énergie	*- 0*	*- 1*	*- 2*	*- 2*	*- 1*	*+ 1*	*+ 0*
dont paiements des échéances d'emprunts	*- 0*	*- 2*	*- 5*	*- 13*	*- 30*	*- 16*	*+ 0*
dont économies d'énergie	*+ 0*	*+ 1*	*+ 3*	*+ 8*	*+ 17*	*+ 15*	*+ 0*

Source : Simulation Mésange, calculs DG Trésor.
Lecture : après 5 ans, en 2013, dans le scénario 4, le PIB est plus élevé de 0,7 % par rapport au scénario de référence, et 96 000 emplois nets ont été créés dans l'économie.

Annexe 1 : hypothèses utilisées concernant la rénovation des bâtiments

Volet tertiaire public neuf et collectivités territoriales

Pour évaluer les économies d'énergie, on considère qu'à compter de 2012, la norme est au BBC et par conséquent, les surcoûts sont par rapport à cette norme, tout comme les économies d'énergie. À compter de 2012, les économies d'énergie des bâtiments BBC construits après 2012 sont donc non additionnelles, et celles des bâtiments A+ sont de 50 kWh/m2/an.

Pour les prix des énergies, on utilise les hypothèses suivantes (par kWh) :

- 6,5c€ TTC pour l'État et les EPA
- 5,3c€ HT pour les collectivités locales +10% de TVA.

Concernant les importations (gaz et fioul), on considère une répartition des économies d'énergie identique à celles des usages domestiques, à savoir :

gaz	50 %
fioul	30 %
électricité	20 %

Volet tertiaire privé neuf

Les entreprises bénéficient d'un dispositif d'amortissement accéléré qui s'éteint après 2013. Le surcoût est alors à la charge exclusive des entreprises.

On suppose un prix de l'énergie égal à 6,5 c€TTC/kWh pour valoriser les économies d'énergie.

Volet résidentiel privé neuf

On suppose que les ménages financent leurs surcoûts grâce à la majoration du PTZ pour l'acquisition d'un logement neuf.

Volet rénovation résidentiel privé

On suppose que les ménages financent leurs travaux à l'aide de l'éco-PTZ.

Volet rénovation social

L'objectif est de rénover les 800 000 logements avant 2016. Le coût de rénovation est supposé de 15 000 € par logement, soit 200 €/m2.

Nous considérons les modes de financement suivant comme étant assuré par l'État :

- subvention forfaitaire de l'État au taux de 20 %
- dégrèvement de taxe foncière
- subventions ADEME
- Office HLM

Une partie est à la charge des entreprises, via le mécanisme des certificats d'économie d'énergie.

On considère ici que les ménages ne bénéficient pas des économies d'énergie, qui reviennent à l'État. Les travaux sont à la charge de l'État et les ménages participent à leur financement via leur facture énergétique qui ne change pas.

Volet rénovation tertiaire privé

L'objectif est de rénover 3 160 000 m2 supplémentaires de 2009 à 2013, et à compter de 2013 de rénover 28 440 000 m2 chaque année. Le coût initial est supposé s'élever à 300 €/m2 de 2009 à 2013, puis diminuer progressivement de 5 % par an.

Le coût est supporté par les entreprises mais aussi par les fournisseurs d'énergie dans le cadre des certificats d'économie d'énergie.

Annexe 2 : impact sur différentes variables macroéconomiques dans le scénario 1

Écart au compte central en %	1 an	2 ans	3 ans	5 ans	10 ans	15 ans	20 ans	25 ans	LT
PIB en volume	0,2	0,4	0,5	0,7	0,0	-0,6	-0,2	-0,1	0,2
Consommation des ménages	0,0	0,0	0,1	0,2	-0,3	-0,8	-0,1	0,0	0,0
Investissement des SNF et EI	0,7	1,4	2,2	2,8	1,4	-0,7	-0,1	-0,1	0,7
Exportations	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,2	-0,1	0,1	0,1	0,0
Importations	0,1	0,2	0,4	0,6	0,2	-0,4	0,1	0,0	0,1
Emploi salarié (en milliers)	10	33	64	93	-11	-124	-17	-10	10
Balance commerciale (en pt de PIB)	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0

DÉCOMPOSITION :

Impact de l'augmentation des investissements

Écart au compte central en %	1 an	2 ans	3 ans	5 ans	10 ans	15 ans	20 ans	25 ans	LT
PIB en volume	0,2	0,4	0,7	0,9	0,3	-0,5	-0,3	-0,2	0,0
Consommation des ménages	0,1	0,2	0,4	0,7	0,3	-0,3	-0,1	-0,1	0,0
Investissement des SNF et EI	0,8	1,6	2,4	3,2	1,7	-0,6	-0,2	-0,2	0,0
Exportations	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,5	-0,5	-0,3	-0,2	0,0
Importations	0,2	0,4	0,7	1,0	0,7	0,0	0,2	0,1	0,0
Emploi salarié (en milliers)	14	49	93	142	29	-104	-33	-26	0
Balance commerciale (en pt de PIB)	0,0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,0

Hausse progressive annuelle de l'impôt générique

Écart au compte central en %	1 an	2 ans	3 ans	5 ans	10 ans	15 ans	20 ans	25 ans	LT
PIB en volume	-0,0	-0,1	-0,1	-0,2	-0,1	-0,1	-0,0	-0,0	0,0
Consommation des ménages	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,1	-0,1	-0,0	0,0	0,0
Investissement des SNF et EI	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,1	-0,1	-0,0	-0,0	0,0
Exportations	-0,0	-0,0	-0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,0	-0,0	0,0
Importations	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,0	-0,0	0,0	0,0	0,0
Emploi salarié (en milliers)	-4	-14	-24	-38	-17	-13	0	1	0
Balance commerciale (en pt de PIB)	0,0	0,0	0,0	0,1	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	0,0

Impact du rachat des CEE via le prix de l'énergie

Écart au compte central en %	1 an	2 ans	3 ans	5 ans	10 ans	15 ans	20 ans	25 ans	LT
PIB en volume	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	0,0	0,0	0,0
Consommation des ménages	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	0,0	0,0
Investissement des SNF et EI	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	0,0	0,0
Exportations	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Importations	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	0,0	-0,0	-0,0	0,0
Emploi salarié (en milliers)	-0	-1	-2	-2	-1	1	0	0	0
Balance commerciale (en pt de PIB)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,0	0,0	0,0	0,0

Impact variation consommation des ménages et variation des importations/exportations d'énergie

Écart au compte central en %	1 an	2 ans	3 ans	5 ans	10 ans	15 ans	20 ans	25 ans	LT
PIB en volume	-0,0	-0,0	-0,0	-0,1	-0,2	-0,0	0,1	0,1	0,0
Consommation des ménages	-0,0	-0,0	-0,1	-0,2	-0,5	-0,4	0,0	0,2	0,0
Investissement des SNF et EI	-0,0	-0,0	-0,0	-0,1	-0,2	-0,0	0,1	0,1	0,0
Exportations	0,0	0,0	0,1	0,2	0,4	0,5	0,4	0,0	0,0
Importations	-0,0	-0,1	-0,1	-0,2	-0,5	-0,4	-0,1	0,1	0,0
Emploi salarié (en milliers)	-0	-1	-3	-8	-19	-6	16	15	0
Balance commerciale (en pt de PIB)	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	0,2	0,2	0,1	0,0

CHAPITRE 3 : VOLET ÉNERGIES RENOUVELABLES

Philippe BRIARD, Marie-Laure GUILLERMINET, Caroline KLEIN

Lors du Conseil européen des 8 et 9 mars 2007, les 27 pays de l'Union Européenne (UE) se sont accordés sur l'objectif contraignant de porter à 20 % la part de l'énergie produite à partir de sources renouvelables dans la consommation finale brute d'énergie de l'UE à l'horizon 2020[34]. Suivant les préconisations du comité opérationnel 10 du « Grenelle Environnement » (le Comop 10), la loi n°2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement, dite loi Grenelle I, a fixé à 23 % la part d'énergies renouvelables (ENR) dans la consommation énergétique à atteindre en 2020, soit une production de 36 millions de tonnes équivalent pétrole (Mtep) contre 16 Mtep aujourd'hui. Cet objectif correspond à celui de la Directive européenne 2009/28/CE relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables du 23 avril 2009 qui détermine la répartition entre États membres de l'objectif fixé au niveau européen.

Les sources renouvelables sont utilisées dans la production de trois types d'énergie :

- **la chaleur** à partir d'équipements utilisant
  - de la biomasse sylvicole ou agricole (y compris le biogaz),
  - de l'incinération d'ordures ménagères (en faisant appel aux Unités d'Incinération d'Ordures Ménagères, UIOM),
  - de la géothermie,
  - des pompes à chaleur (y compris géothermiques),
  - des capteurs solaires thermiques (pour l'eau chaude sanitaire et / ou pour le chauffage avec un plancher solaire direct par exemple),
  - ainsi que la chaleur coproduite en même temps que l'électricité par les cogénérations à partir de biomasse et de biogaz ;
- **l'électricité** à partir d'éoliennes terrestres et maritimes, de panneaux photovoltaïques et de centrales solaires au sol, de barrages hydroélectriques, de centrales électriques ou de cogénérations à partir de biomasse et de biogaz ;
- **l'énergie consommée dans le secteur des transports** produite à partir de biocarburants.

Le Conseil européen de mars 2007 n'a pas spécifié d'objectif concernant les usages électrique et thermique de ces énergies mais a fixé un taux par État membre de 10 % d'incorporation des biocarburants dans la consommation d'essence et de gazole. Dans la Directive européenne 2009/28/CE, ce taux comprend également l'électricité produite à partir de sources renouvelables (article 3, alinéa 4-b) et consommée dans les transports.

Le respect de ces objectifs est techniquement très difficile (cf. la page 10 du rapport du Comop 10). Il nécessite un développement massif des investissements des ménages et des entreprises dans des moyens de production à partir de sources renouvelables qui, compte tenu des limites des gisements les plus productifs et de la faible rentabilité des autres filières renouvelables dans le cadre des technologies actuelles, suppose un soutien financier public et/ou des prix des énergies fossiles très élevés.

Le volet « ENR » du Grenelle[35] présente donc des enjeux économiques importants en raison des investissements et des coûts engagés mais aussi des transformations du secteur énergétique qu'il implique et de ses effets indirects sur l'économie française.

Ce chapitre propose une évaluation de l'impact macroéconomique de la mise en œuvre du volet « ENR » du Grenelle. L'évaluation s'appuie sur les préconisations du Comop 10 qui déterminent la répartition des investissements entre les différentes sources d'ENR. Les chroniques d'investissement à partir de 2009 permettant d'atteindre l'objectif fixé par le Grenelle sont issues des exercices de 2009 de Programmation Pluriannuelle des Investissements (PPI) de production d'électricité et de chaleur. Ces chroniques nous permettent d'établir un premier scénario d'investissement dit « Grenelle » dans lequel le financement des mesures de soutien à l'investissement et les variations du prix de l'énergie qu'elles impliquent sont également pris en compte.

[34] Ont également été fixés un objectif contraignant de réduction d'au moins 20 % des émissions de gaz à effet de serre d'ici à 2020 par rapport à 1990 et un objectif indicatif de baisse de la consommation d'énergie de 20 % par rapport au scénario tendanciel en 2020.

[35] Les mesures ENR du « Grenelle Environnement » dans les bâtiments, à l'exception du solaire photovoltaïque, sont également reprises dans le Plan Bâtiment. Le Plan Bâtiment a été lancé en janvier 2009 pour mettre en œuvre le Grenelle de l'environnement dans l'ensemble du secteur du bâtiment.

Il apparaît que l'objectif de 23 % d'ENR peut être atteint à un coût direct moindre pour les contribuables et les consommateurs par une répartition différente des investissements entre les sources d'ENR possibles. Nous constatons par exemple que, dans les estimations du Grenelle par la DG Trésor, le solaire thermique et le photovoltaïque représentent environ 6,6 % de la croissance des ENR (soit près de 1,23 Mtep) mais près de 50 % du coût total du programme Grenelle (15,6 milliards d'euros, Md€) entre 2009 et 2020. Pour cette raison, dans le prolongement du scénario « Grenelle » initial analysé par le Comop 10, nous avons élaboré deux autres scénarios plus efficients en termes de coûts mais permettant d'atteindre le même objectif[36]. Un quatrième scénario, dit « nucléaire + ENR non électriques », substituant aux ENR dans le secteur électrique des investissements dans le nucléaire, est construit à des fins de comparaison afin d'analyser le coût d'opportunité d'un investissement conséquent dans les ENR.

À partir des différents scénarios définis, nous simulons grâce au modèle macroéconométrique Mésange[37] l'impact sur l'économie française du surcroît d'investissements et de coûts liés au volet « ENR » du « Grenelle Environnement ». Il s'agit d'un exercice dans lequel les objectifs du Grenelle sont supposés effectivement réalisés : il ne cherche donc pas à savoir si les mesures incitatives, actuelles et envisagées, sont réellement suffisantes pour atteindre cet objectif de 23 % d'ENR à l'horizon 2020.

Il existe de nombreuses évaluations de l'effet du Grenelle et du développement des ENR sur l'économie française. L'ADEME - In Numeri (2008 et 2009), le Boston Consulting Group (2009), le projet européen MITRE (2005) et Quirion et Demailly pour la WWF (2009) proposent notamment des chiffrages fondés sur des calculs de contenus en emploi, approche insuffisante[38] car ne prenant pas en compte l'existence de rigidités sur le marché du travail et des effets de bouclage macroéconomique. Coe-Rexecode (2009) a pour sa part évalué l'impact macroéconomique du développement de deux filières ENR (éolienne et photovoltaïque). Il ressort ainsi que l'apport de notre étude est de couvrir la totalité des filières « ENR » en tenant compte de mécanismes souvent ignorés dans les études publiées sur le sujet : notre approche permet de considérer les différents effets d'éviction, de bouclage macroéconomique ainsi que le coût du financement des mesures du Grenelle. Toutefois, les effets des investissements nationaux (création de nouvelles filières dans le secteur de l'énergie par exemple) sur le progrès technologique comme sa possible diffusion dans le reste de l'économie ne sont pas pris en compte, ceux-ci étant difficiles à évaluer.

La première section de ce chapitre expose les scénarios et hypothèses retenus, ainsi que les choix de modélisation. Les deuxième et troisième sections présentent respectivement les résultats macroéconomiques des quatre scénarios et les tests de sensibilité. La dernière section conclut.

1. Description des quatre scénarios retenus : les objectifs de production par filière

Les données des PPI de production d'électricité et de chaleur nous ont permis de construire un premier scénario dit « Grenelle » qui recense l'ensemble des investissements en ENR prévus par le Grenelle.

Deux scénarios différents, « variante Grenelle » et « MDP », sont également envisagés. Les scénarios proposés permettraient d'atteindre le même objectif de 23 % d'ENR sur la base d'une répartition différente des investissements entre les sources d'ENR. Les choix de renforcer ou d'éliminer certaines filières dans ces deux scénarios reposent sur le classement relatif des filières entre elles donné par les coûts complets des différents modes de production d'énergie considérés (cf. le rapport de Pöyry de 2008, page 13) et par les coûts d'abattement des émissions de gaz à effet de serre grâce aux différentes filières ENR (cf. World Energy Outlook de l'AIE de 2009, page 284). Comme les coûts complets dimensionnent les aides des énergies renouvelables (subventions et tarifs garantis de rachat d'électricité imposé aux opérateurs), ces deux scénarios entraînent non seulement des investissements moindres en valeur pour les ménages et les entreprises, mais également des coûts de soutien moindres pour les consommateurs et les contribuables.

[36] D'autres institutions, par exemple le Centre d'Analyse Stratégique (CAS) ou le Syndicat des Énergies Renouvelables (SER), ont déjà présenté des scénarios différents du scénario « Grenelle » prévoyant un développement différencié pour chaque type de source d'énergie.
[37] Cf. Klein et Simon (2010), « Le modèle Mésange, nouvelle version réestimée en base 2000 », Document de travail de la DG Trésor.
[38] Cf. pour plus d'explications les pages 4 et 5 de la note de veille n°164 du CAS (2010).

Enfin, un quatrième scénario dit « nucléaire + ENR non électriques » intégrant la construction de deux nouveaux réacteurs pressurisés européens, EPR, en remplacement des énergies renouvelables électriques est également présenté. Ce choix se base également sur les coûts d'abattement des émissions de gaz à effet de serre des différentes filières du secteur électrique (cf. World Energy Outlook de l'AIE de 2009, page 284). Ce scénario, qui porte la part des énergies renouvelables dans la consommation énergétique à seulement 12 %, est modélisé à titre de comparaison.

Nous présentons les quatre scénarios étudiés en écart par rapport à un scénario de référence – tendanciel – qui intègre la contribution des ENR dans la consommation finale qui aurait été atteinte sans le Grenelle en prolongeant les tendances passées[39]. D'après nos hypothèses, une production additionnelle de 2 Mtep d'ENR thermiques aurait été atteinte en 2020 (contre 20 Mtep d'ENR prévues par la loi, cf. le tableau 1 pour la décomposition de cet objectif par filière).

1.1. Le scénario « Grenelle »

Le scénario 1, « Grenelle », est le scénario principal correspondant au scénario du Comop 10, à l'exception de l'hydraulique dont les perspectives de développement retenues sont celles de la PPI de production d'électricité[40]. Alors que pour 2020 le Comop 10 retient un objectif de production annuel de 7 térawatts-heure (TWh) pour un investissement total de 2 500 MW (cf. page 9 du rapport du Comop10), la PPI de production d'électricité retient une production annuelle de 3 TWh pour un investissement total de 3 000 MW (cf. page 70 du rapport de la PPI de production d'électricité). De plus, la production des filières électriques, ainsi que la chaleur coproduite par les cogénérations à partir de biomasse, a été calculée à partir du rapport de 2008 de la Direction Générale de l'Énergie et du Climat (DGEC), « *Synthèse publique de l'étude des coûts de référence de la production électrique* » : elle correspond mais n'est pas strictement égale à la production de chacune de ses filières du rapport du Comop 10.

À la différence du rapport du Comop 10, ce scénario et les suivants présentent de façon agrégée certaines filières[41] d'ENR thermiques ainsi que la chaleur coproduite par les centrales électriques à partir de biomasse, parce qu'elles sont développées dans le cadre du fonds « chaleur renouvelable » ou Fonds Chaleur, créé en décembre 2008 par l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie).

Enfin, différentes filières ne sont pas considérées ici, bien que contribuant à l'objectif déterminé dans le rapport du Comop 10 de 20 621 ktep en 2020, car elles sont développées dans une logique de recherche et développement et non de déploiement.

1.2. Le scénario « variante Grenelle »

Le scénario 2, « variante Grenelle », reste relativement proche du scénario « Grenelle ». Nous considérons que 1,35 Mtep solaires (thermique et photovoltaïque) prévues sont remplacées par environ 335 ktep hydrauliques supplémentaires, combinées à près de 506 ktep supplémentaires produites par des pompes à chaleur[42] (soit 74 000 appareils supplémentaires par an entre 2012 et 2020) et 506 ktep supplémentaires produites par des réseaux de chaleur[43] via le Fonds Chaleur.

Les technologies d'énergie solaire thermique et photovoltaïque présentent les coûts complets les plus élevés. Il est donc plus efficace en termes de coût de préférer à la production d'énergie solaire thermique et photovoltaïque (soit près de 1,23 Mtep en écart au scénario de référence) l'exploitation du potentiel hydraulique supplémentaire, ainsi que la production additionnelle à partir des pompes à chaleur et des réseaux de chaleur (via le Fonds Chaleur).

---

[39] Dans ce scénario de référence, aucune nouvelle politique en faveur des ENR n'est mise en œuvre et aucun nouvel investissement dans le nucléaire, autre que ceux déjà programmés, n'est réalisé.

[40] Les PPI de production d'électricité et de chaleur ont fait l'objet de deux arrêtés du 15 décembre 2009.

[41] Il s'agit de la biomasse (collectif et industrie), de la géothermie profonde et intermédiaire, du solaire collectif, de la part ENR des usines d'incinération d'ordures ménagères (UIOM), du bois DIB et du biogaz.

[42] Conformément au considérant 31 de la Directive 2009/28/CE, c'est l'énergie renouvelable qui est comptabilisée ici, i.e. l'énergie utilisable totale nette de l'énergie utilisée pour faire fonctionner les pompes à chaleur. Ce considérant énonce en effet que : « Les pompes à chaleur permettant l'usage de la chaleur (aérothermique, géothermique ou hydrothermique) à un niveau de température utile ont besoin d'électricité ou d'une autre énergie auxiliaire pour fonctionner. L'énergie utilisée pour faire fonctionner des pompes à chaleur devrait dès lors être décomptée de la chaleur utilisable totale. Seules devraient être prises en compte les pompes à chaleur dont le rendement dépasse significativement l'énergie primaire requise pour leur fonctionnement. »

[43] Nous ne tenons pas compte des contraintes liées à la biomasse mobilisable, ni aux périodes de demande de pointe dans le secteur électrique.

Par ailleurs, la PPI de production d'électricité (2009) signale un potentiel de développement de l'hydraulique de 7 TWh dans un scénario volontariste[44], alors qu'elle évalue le potentiel de développement de capacité de production de pointe entre 2 et 3 GW à l'horizon 2020. Ainsi nous considérons que la production de l'hydroélectricité augmente conformément au scénario volontariste jusqu'au montant estimé à 600 ktep, sans investissement supplémentaire (la puissance installée supplémentaire reste égale à 3 GW comme dans le scénario « Grenelle »).

1.3. Le scénario « MDP »

La France peut atteindre son objectif de production d'ENR en investissant à l'étranger plutôt que sur le territoire national. Le scénario 3, « MDP », explore cette opportunité.

La Directive européenne 2009/28/CE n'autorise le recours à des investissements réalisés à l'étranger que sous réserve de la consommation de cette énergie au sein de l'Union Européenne, i.e. sous réserve de son rapatriement en Europe. Cette contrainte implique notamment des interconnexions dont les coûts sont difficiles à mesurer. Cette option ne peut donc être évaluée ici.

Pour pouvoir étudier l'opportunité du recours à l'investissement à l'étranger, nous avons envisagé le recours à des mécanismes d'achat de garanties d'origine à l'extérieur de l'UE sur le modèle des mécanismes de développement propre (MDP) prévus par le protocole de Kyoto. Ce système permet, conformément à la Directive, la traçabilité des ENR à usages thermique ou électrique[45] et donc l'atteinte des objectifs de production d'ENR, mais n'impose pas en revanche l'importation physique de l'énergie produite (on peut ainsi en estimer les coûts et procéder à une évaluation).

En théorie, le recours aux garanties d'origine permet de relâcher la contrainte sur l'investissement et la production d'ENR en France tout en éliminant le risque d'une explosion des coûts associés à l'objectif très ambitieux fixé pour le développement des ENR : compte tenu de l'objectif de 23 % et de la mobilisation de toutes les filières ENR, le coût marginal de développement des énergies nouvelles en France est en effet très nettement supérieur au coût de développement de projets hors UE. L'intérêt d'un soutien à l'investissement dans les ENR en dehors de l'UE semble en revanche réduit du point de vue de la sécurité énergétique[46] et des effets d'entraînement sur l'économie domestique potentiellement liés à l'investissement.

Dans le scénario « MDP », les investissements du Grenelle les moins efficaces car les plus coûteux pour l'atteinte de l'objectif sur le plan national ne sont pas réalisés mais sont remplacés par des projets mobilisant des sources d'énergie renouvelables réalisés à l'étranger, pour un coût plus faible. L'État les finance à hauteur du surcoût pour en acquérir les garanties d'origine, atteignant ainsi indirectement l'objectif de 23 % d'ENR (la part des sources d'énergie renouvelables implantée sur le territoire national atteint alors presque 16 % de l'énergie finale consommée) :

- les garanties d'origine achetées dans le cadre des MDP représentent dans ce scénario 6,4 Mtep (soit près de 34 % de l'objectif de 23 % d'ENR dans le mix énergétique) en écart au scénario de référence ;

- en contrepartie, par rapport au scénario « Grenelle », sont exclues des développements sur le territoire français les technologies suivantes : le solaire thermique individuel, le solaire photovoltaïque, l'éolien maritime et la biomasse électrique qui comprend aussi la cogénération à partir de biomasse (électricité mais aussi chaleur coproduite) pour une production équivalente à 6,4 Mtep en écart au scénario de référence.

[44] Voir en pages 69 et 70 du rapport de la PPI de production d'électricité. Cependant, différents participants sont intervenus dans le Comop 10 pour souligner l'existence de réservoirs supérieurs à ceux mentionnés par le scénario « Grenelle » (600 ktep).
[45] D'après l'article 15 de la Directive 2009/28/CE.
[46] Dans certains cas, les énergies nouvelles ne présentent pas d'avantages, en termes de sécurité énergétique, par rapport aux sources d'énergies conventionnelles (par exemple lorsque l'éolien se substitue au nucléaire, ou porte atteinte à la sûreté du réseau).

1.4. Le scénario « nucléaire + ENR non électriques »

Dans le scénario 4, « nucléaire + ENR non électriques », la production supplémentaire d'électricité à partir d'ENR est remplacée en partie par de la production nucléaire, via deux nouvelles centrales EPR. Ces deux EPR construits pour entrer en service en 2016 et 2017 permettent de fournir une production moindre que celle des ENR du secteur électrique telle qu'envisagée dans le scénario « Grenelle ».

Le développement des ENR est alors uniquement réalisé pour les usages thermiques et les biocarburants ; les entreprises supportent 90 % de l'investissement pour produire des biocarburants[47], le reste des investissements étant supportés par les ménages. La production des ENR thermiques diminue parce la chaleur coproduite par les cogénérations à partir de biomasse n'est plus valorisée. Toutes les filières ENR électriques sont remplacées par du nucléaire. Les ENR atteignent alors près de 12 % de la consommation finale à l'horizon 2020 (soit 27 Mtep au total).

Ce scénario est construit à titre comparatif[48] afin de mesurer le coût d'opportunité d'un investissement conséquent en ENR.

[47] Nous supposons que la défiscalisation des biocarburants représente le coût d'investissement supplémentaire nécessaire pour les produire plutôt que de l'essence ou du gazole.

[48] En toute rigueur, il conviendrait de prendre également en compte le fait que le nucléaire peut conduire à des baisses du prix de marché de l'électricité, ou des hausses de dividendes pour l'État si EDF réalise ces investissements. Nous faisons néanmoins l'hypothèse ici que le renforcement du nucléaire n'aura pas d'impact sur le prix moyen de l'électricité. Nous avons fait une variante dans laquelle nous faisons l'hypothèse d'une baisse de prix moyen (en nous inspirant du cas de l'Exeltium, un consortium d'industriels électro-intensifs, qui aurait négocié un accès à 130 TWh pour un tarif de 42 € le MWh sur 24 ans d'après Les Echos du 21 septembre 2009) qui aboutit à des résultats de croissance à peine plus élevés. Nous ne la présentons pas ici.

Tableau 1 : objectif de production d'énergie non carbonée en 2020, dans le scénario 1 (« Grenelle ») et les trois autres scénarios

(en ktep)	Situation en 2006	Situation en 2020, selon le scénario du Grenelle	Supplément à réaliser Scénario 1 « Grenelle »	Supplément à réaliser Scénario 2 « variante Grenelle »	Supplément à réaliser Scénario 3 « MDP »	Supplément à réaliser Scénario 4 « Nucléaire + ENR non électriques »	Supplément réalisé dans le scénario de référence
Total *dont*	**15 962**	**36 552**	**20 590**	**20 590**	**20 590**	**17 424**	**2 036**
1. Chaleur	**9 662**	**19 745**	**10 083**	**10 295**	**6 900**	**7 700**	**2 036**
Bois individuel en milliers de logements	7 400 5,75	7 400 9,012	0 3,262	0 3,262	0 3,262	0 3,262	0 2,074
Pompe à chaleur individuelle (PAC) en milliers de logements	200 0,075	1 600 1,918	1 400 1,843	1 906 2,509	1 400 1,843	1 400 1,843	911 0,936
Solaire thermique individuel (eau chaude sanitaire) en milliers de logements	17 0,085	817 4,103	800 4,018	0	0	800 4,018	117 0,6
Fonds Chaleur *dont*	2 045	9 928	7 883	8 389	5 500	5 500	1 008
Biomasse chaleur cogénération	*0*	*2 383*	*2 383*	*2 383*	*0*	*0*	*0*
2. Électricité	**5 620**	**12 807**	**7 187**	**6 975**	**3 849**	**6 404**	**0**
Hydroélectricité	5 200 (25 000 MW)	5 458 (28 000 MW)	258	593 (3 000 MW)	258	0	0
Éolien terrestre et en mer	180 + 0 (1 600 + 0 MW)	3 771 + 1 599 (17 400 + 6 000 MW)	3 591 + 1 599	3 591 + 1 599	3 591 + 0	0	0
Solaire Photovoltaïque	0	547 (5 370 MW)	547	0	0	0	0
Biomasse dont biogaz et part ENR UIOM	240 (460 MW)	1 432 (2 310 MW)	1 192	1 192	0	0	0
Nucléaire	-	-	-	-	-	6 404 (2 900 MW)	-
3. Biocarburants	**680**	**4 000**	**3 320**	**3 320**	**3 320**	**3 320**	**0**
4. Production des projets mobilisant des sources d'ENR à l'étranger	**-**	**-**	**-**	**-**	**6 521**	**-**	**-**

Source : Simulation Mésange, calculs DG Trésor.
Lecture : Dans le scénario « Grenelle », entre 2006 et 2020, la production totale d'énergie renouvelable augmenterait de 20 590 ktep. La production de chaleur à partir d'ENR contribuerait à hauteur de 10 083 ktep à cet objectif, et s'agissant de la production de chaleur, la filière biomasse chaleur cogénération contribuerait pour 2 383 ktep.

2. Les hypothèses de modélisation

Les quatre scénarios sont simulés à l'aide du modèle MÉSANGE. Mésange est un modèle macroéconométrique à trois secteurs (marchand manufacturier, marchand non manufacturier et non marchand) utilisé pour évaluer l'impact de politiques économiques sur l'économie française. Le secteur de l'énergie, inclus dans le secteur non manufacturier du modèle, n'y est pas détaillé à un niveau fin notamment concernant le contenu en emploi et en imports dans les filières d'énergie renouvelable.

Les quatre scénarios font essentiellement intervenir les hypothèses suivantes.

- Les ménages et les entreprises investissent progressivement dans des moyens de production d'énergies renouvelables (cf. sous-section 2.1)[49]. Ces investissements se concentrent essentiellement dans le secteur non manufacturier, plus intensif en main d'œuvre et moins intensif en importations que la moyenne des investissements en France.
- La consommation d'énergie finale est supposée inchangée par rapport au scénario de référence : seules les techniques de production sont différentes. L'augmentation de la production nationale d'énergie à partir de sources d'énergie renouvelables s'accompagne d'une réduction des importations de gaz, de produits pétroliers et de charbon ainsi que d'une augmentation des exportations d'électricité ; la production d'électricité réalisée à partir de sources d'énergies non renouvelables est supposée diminuer d'environ 33 %[50] du montant de la production additionnelle d'ENR par rapport au scénario de référence. D'après nos hypothèses (détaillées en annexe 1), le volet « ENR » du Grenelle réduit donc la dépendance énergétique de la France et conduit à une hausse de la production française d'énergie.
- La hausse de la production nationale d'énergie se traduit par des créations d'emplois, hors effet de bouclage macroéconomique. De plus, l'intensité en main d'œuvre du secteur est élevée relativement à l'ensemble de l'économie[51].
- La mise en œuvre du Grenelle implique un certain nombre de mesures de soutien à l'investissement des ENR :
    - Des subventions et aides publiques diverses sont attribuées aux agents investissant dans les ENR (crédits d'impôt, réduction de taxe intérieure de consommation sur les produits pétroliers (TIC) et Fonds Chaleur). L'État finance ces dépenses via une hausse des recettes publiques (cf. sous-section 2.3).
    - Ces agents bénéficient également de tarifs garantis de rachat d'électricité produite à partir de sources renouvelables. Les surcoûts liés à ces tarifs sont répercutés dans le prix de vente de l'électricité aux consommateurs finals, via la Contribution au Service Public de l'Électricité, ou CSPE (cf. sous-section 2.2).

Afin de tester la robustesse de nos résultats, des tests de sensibilité ont été mis en œuvre. Ils sont présentés en section 4.

2.1. Les investissements

Nous avons conservé le scénario de montée en puissance des investissements dans le temps et par filière retenu dans les exercices de PPI de production d'électricité et de chaleur. L'investissement est considéré comme rentable pour les entreprises et pour les ménages (condition *sine qua non* de sa réalisation), grâce aux mesures de soutien aux énergies renouvelables : les crédits d'impôts d'une part et le prix de rachat garanti de l'électricité d'autre part (détaillées dans les parties 2.2 et 2.3).

On fait les hypothèses suivantes de répartition des investissements entre les ménages et les entreprises.

[49] En l'absence de données nous permettant de les intégrer dans nos scénarios, nous ne prenons pas en compte ici les investissements des collectivités territoriales, bien qu'ils soient mentionnés (article 33 alinéa 1) dans le projet de loi portant sur l'engagement national pour l'environnement (Grenelle II), texte enregistré à la Présidence du Sénat le 9 juillet 2009, cf. http://www.senat.fr/leg/pjl08-553.html. Ces investissements sont assimilés à ceux des entreprises.

[50] Dans le secteur électrique, les ENR se substituent à 30 % à du nucléaire et à 40 % à du thermique. Rappelons que 20 % des équipements de chauffage utilisant des sources renouvelables se substituent à un chauffage électrique (cf. Annexe 1 pour plus de détails). Ainsi, par rapport au scénario de référence, 6,27 Mtep sur 18,75 Mtep se substituent à de l'énergie nucléaire et thermique, soit 33 %.

[51] Dans le modèle, la productivité par tête de la production d'énergie correspond à la productivité par tête de l'activité marchande non manufacturière.

- **Les ménages** investissent dans les équipements thermiques, les équipements solaires photovoltaïques sur bâti et consomment 10 % des biocarburants, ce qui correspond au ratio de leurs consommations dans la consommation totale d'essence et de gazole. S'agissant des filières développées dans le cadre du Fonds Chaleur de l'ADEME, nous supposons que les ménages réalisent la totalité des investissements, à l'exception de la chaleur qui est coproduite par les centrales électriques à partir de biomasse construites par les entreprises. Sous cette hypothèse simplificatrice, les parts de production pour les ménages et les entreprises correspondent néanmoins globalement à celles du rapport du Comop 10.

Les ménages peuvent financer leur investissement dans les énergies renouvelables de deux façons, d'une part en puisant dans leurs ressources financières (en désépargnant ou en s'endettant), d'autre part en réduisant partiellement leur investissement hors ENR (essentiellement les dépenses en biens immobiliers). Nous faisons ici l'hypothèse que les ménages ne réduisent pas leur investissement hors ENR, mais ne l'augmentent pas non plus par la suite au moment où ils perçoivent les économies de facture énergétique réalisées grâce à leur installation renouvelable : précisément, nous supposons donc que l'aide (cf. la sous-section 2.2) est dimensionnée pour rendre le projet d'investissement juste rentable. L'investissement total des ménages augmente donc exactement du montant de leur investissement dans les ENR.

- **Les entreprises** investissent dans les sources renouvelables d'électricité (à l'exception simplificatrice du photovoltaïque sur bâti) qui comprennent l'hydraulique, l'éolien terrestre et off-shore, la biomasse et le photovoltaïque au sol. Elles consomment 90 % des biocarburants.

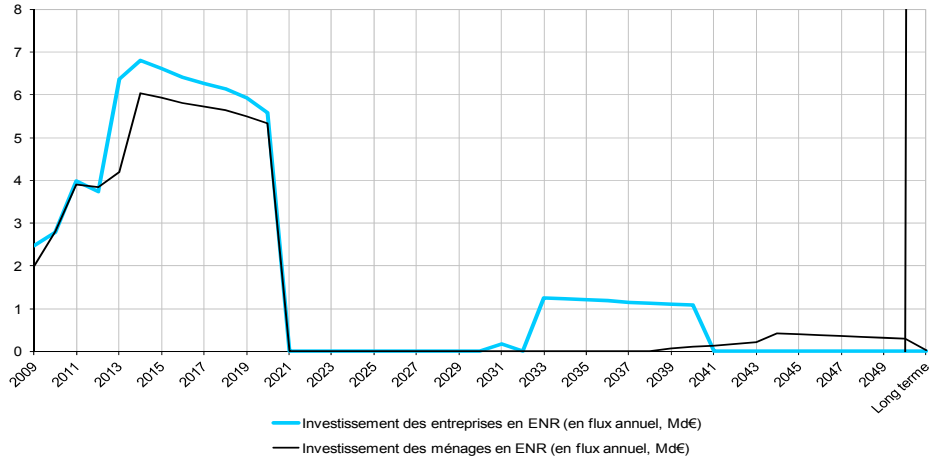
Les entreprises financent leur investissement par l'endettement ou l'émission d'actions et ne substituent pas ces investissements à d'autres. Nous négligeons l'impact de ce surcroît d'investissement sur leurs contraintes de crédit et considérons que le coût de capital est inchangé.

Les hypothèses sur les coûts d'investissement supportés par les ménages et les entreprises sont détaillées dans l'annexe 2. Elles sont réalisées à partir des données du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer (MEEDDM), et notamment du rapport de 2008 de la DGEC, « *Synthèse publique de l'étude des coûts de référence de la production électrique* ». Nous reprenons également la baisse de coûts dans les filières des ENR retenue dans ce chapitre. Cependant, cette hypothèse est sans doute optimiste : les évolutions observées sur certaines filières (comme le solaire thermique) montrent qu'une politique ambitieuse d'encouragement à l'investissement s'est parfois accompagnée d'une hausse du prix des technologies.

Pour l'énergie nucléaire, nous avons supposé que la durée de construction d'un EPR est égale à 8 ans et sa durée de vie est de 40 ans. Il est à ce stade très difficile d'évaluer le coût d'un EPR produit en série. Selon EDF, le coût d'investissement initial (construction et ingénierie) serait de 2 500 €/kW pour l'EPR de Flamanville pour la production en base (le coût affiché pour le deuxième EPR est encore supérieur). Toutefois, ces valeurs correspondent aux premières unités construites. Le coût des EPR ultérieurs devrait décroître sensiblement par un effet de série. À ce sujet, l'étude 2003 de la Direction générale de l'énergie et des matières premières, « *Coûts de référence de la production d'électricité* », indiquait, concernant les paliers antérieurs au N4 (type de réacteur), que « le surcoût de la première paire de tranches a été en moyenne de 25 % par rapport à la moyenne du palier ». En tenant compte de cette majoration de 25 % du coût évalué par EDF pour Flamanville (2 500 €/kW), nous obtenons un coût de 2 000 €. Nous lui avons ajouté les coûts liés aux aléas estimés à 100 €/kW, ainsi qu'un coût de démantèlement qui revient à 55 €/kW[52]. Ainsi cette étude a pris pour hypothèse un coût de construction et d'ingénierie de 2 155 €/kW. Enfin, nous avons également tenu compte des coûts de pré-exploitation estimés à 84 €/kW.

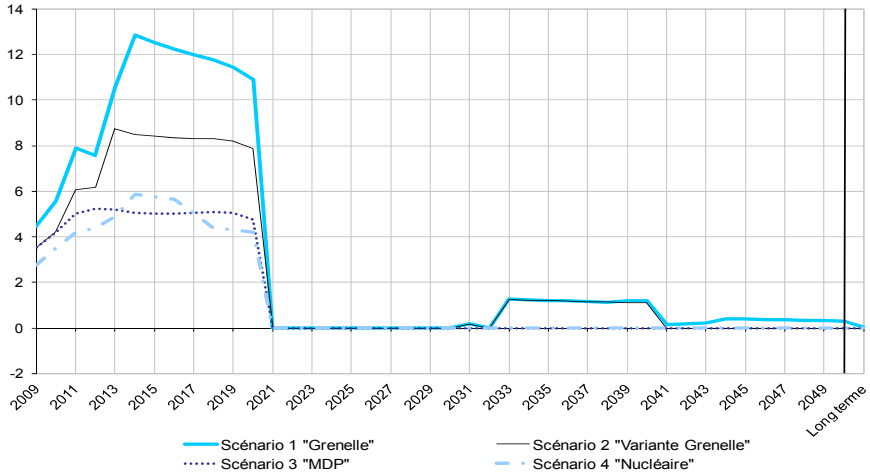
[52] Le démantèlement est supposé intervenir 50 ans après la mise en service. En toute logique, il serait donc préférable de le faire intervenir à cet horizon. Or la question du prolongement des centrales à 60 ans se pose actuellement (e.g. la Nuclear Regulatory Commission a déjà autorisé la prolongation de l'exploitation de certaines centrales à 40 puis 60 ans). Pour cette raison, nous avons préféré actualiser ces coûts et les intégrer au coût d'investissement. Son coût est supposé s'élever à 15 % de l'investissement initial et il est actualisé au taux de 3 %.

Graphique 1 : impact ex ante des mesures sur l'investissement des ménages et des entreprises (écart en milliards d'euros par rapport au scénario de référence) entre 2009 et 2050 pour le scénario « Grenelle »



Source : Simulation Mésange, calculs DG Trésor.
Lecture : en 2014, dans le scénario « Grenelle », les ménages investissent 6 Md€ et les entreprises 6,8 Md€ dans les ENR.

Graphique 2 : impact ex ante des mesures sur l'investissement (écart en milliards d'euros par rapport au scénario de référence) pour les quatre scénarios envisagés



Source : Simulation Mésange, calculs DG Trésor.
Lecture : en 2014, dans le scénario « Grenelle », l'investissement augmente de 12,8 Md€, dans le scénario « variante Grenelle » de 8,5 Md€, dans le scénario « MDP » de 5 Md€ et dans le scénario « Nucléaire + ENR non électriques » de 5,9 Md€.

De 2009 à 2020, dans les scénarios « Grenelle » et « variante Grenelle », l'investissement supplémentaire des ménages représente des flux annuels moyens compris entre 2,9 et 4,7 milliards d'euros par an ; celui des entreprises est compris entre 4,3 et 5,3 milliards d'euros. Dans le scénario « MDP », le flux moyen d'investissement des ménages est proche de celui du scénario « variante Grenelle » (2,3 Md€/an) et le flux moyen d'investissement des entreprises est inférieur environ de moitié à celui des deux premiers scénarios (2,5 Md€/an). Le flux moyen d'investissement du scénario « nucléaire + ENR non électriques » se situe entre ceux des deux premiers scénarios pour les ménages (3,8 Md€/an) et est évalué à 0,8 Md€/an pour les entreprises (voir le tableau 3 à la fin de la section 1 et l'annexe 2 pour plus de détails).

Au total en 2020, l'investissement total aura augmenté de 120 Md€ dans le scénario « Grenelle », de 87 Md€ dans le scénario « variante Grenelle », de 58 Md€ dans le scénario « MDP » et de 55 Md€ dans le scénario « Nucléaire + ENR non électriques » (voir graphique 2).

Au-delà de 2020, l'objectif étant atteint, les investissements s'interrompent. Toutefois, le renouvellement des équipements induit un regain d'investissement à plus long terme (à partir de 2029). Nous avons supposé que les baisses de coûts se poursuivent selon les rythmes supposés en 2020. Ainsi seules deux technologies, l'éolien off-shore et le photovoltaïque sur bâti, restent non rentables lors du renouvellement des équipements respectivement en 2029 et 2039 (la durée de vie du photovoltaïque étant de 30 ans). À ces dates apparaît une nouvelle vague d'investissement dans ces deux technologies, en différence par rapport

au scénario de référence. Ces deux technologies deviennent matures après 2050 et sont dès lors prises en compte dans le scénario de référence. Pour toutes les autres technologies, le scénario de référence les intègre lors de leur renouvellement en 2029 ou 2039 car elles sont devenues matures et n'ont donc plus besoin de soutien pour se développer. Sur le long terme, l'investissement est donc identique à celui du scénario de référence.

2.2. Le financement des mesures

2.2.1. Financement par les prix de l'électricité : la Contribution au Service Public de l'Électricité (CSPE)

- Évaluation des aides implicites via les tarifs de rachat

Le volet « ENR » du Grenelle aura un impact sur les prix de l'électricité en France via la hausse de la fiscalité électrique résultant des tarifs de rachat.

En effet, l'article 10 de la loi n°2000-108 du 10 février 2000 relative à la modernisation et au développement du service public de l'électricité prévoit que diverses installations puissent bénéficier de l'obligation d'achat, par Électricité de France (EDF) ou par les distributeurs non nationalisés, de l'électricité qu'elles produisent. Ce dispositif concerne les installations qui valorisent des déchets ménagers ou assimilés, visent l'alimentation d'un réseau de chaleur, utilisent des énergies renouvelables ou mettent en œuvre des techniques performantes en termes d'efficacité énergétique, telles que la cogénération.

Sous réserve de la nécessité de préserver le bon fonctionnement des réseaux et du respect de certaines conditions, EDF (ou l'un des distributeurs non nationalisés) est tenu de conclure un contrat pour l'achat de l'électricité bénéficiant de l'obligation d'achat, si les producteurs intéressés en font la demande. La durée de ces contrats est de 15 ans pour l'éolien terrestre et de 20 ans pour les autres filières concernées par le scénario « Grenelle », à savoir l'hydroélectricité, l'éolien off-shore, la biomasse électrique et le solaire photovoltaïque sur bâti et au sol.

Afin de rentabiliser l'investissement dans les ENR, les tarifs d'achat de l'électricité[53] conclus dans le cadre de l'obligation d'achat sont supérieurs au prix du marché de gros de l'électricité, supposé égal à 60 €/MWh, comme observé pour un prix du pétrole à 62 $/baril. Les surcoûts entre tarifs d'achat garantis et prix de gros sont dans un premier temps supportés par les opérateurs historiques, EDF ou les distributeurs non nationalisés.

Encadré : Hypothèses sur les prix internationaux de l'énergie

Des hypothèses de prix énergétiques sont nécessaires à deux titres : pour estimer l'impact des importations évitées et/ou des exportations additionnelles ; pour mesurer le niveau des aides constituées par les tarifs de rachat.

Nous faisons l'hypothèse que la mise en place d'énergies renouvelables en France n'a pas d'impact sur le coût de l'énergie au niveau mondial.

Dans les quatre scénarios, les prix du pétrole, du gaz, du charbon et de l'électricité sont conformes au scénario central du *World Energy Outlook* de l'AIE de 2007, mais sont maintenus ici constants en valeur réelle à partir de 2009 (cf. tableau 2). Dans les quatre scénarios étudiés, le prix du pétrole est ainsi supposé égal à 62 $$_{2009}$/baril sur l'ensemble de la période de simulation. Le taux de change est pris égal à 1,5 €/$.

Tableau 2 : hypothèses retenues sur les prix des énergies dans les quatre scénarios (constants à partir de 2009)

Pétrole	Gaz	Charbon	Électricité sur le marché de gros
62 $$_{2009}$/baril	7,6 $$_{2009}$/Million British thermal unit	63 $$_{2009}$ /tonne	60 €$_{2009}$/MWh
454 $$_{2009}$/tep	300 $$_{2009}$/tep	102 $$_{2009}$/tep	698 €$_{2009}$/tep

Source : World Energy Outlook de l'AIE (2007)

[53] Les tarifs d'achat de l'électricité sont différenciés selon les filières ENR, qui ne sont pas toutes au même degré de maturité. Ils sont fixés par les arrêtés des 10 juillet 2006 et 1er mars 2007 (cf. http://www.developpement-durable.gouv.fr/energie/renou/f1e_ren.htm). Pour la production d'électricité et la cogénération à partir de biomasse, nous avons retenu le prix moyen des 22 projets de centrales retenus par le MEEDDM à l'issue de l'appel d'offres « biomasse 2 » lancé le 9 décembre 2006. En effet, l'objectif fixé par cette filière dans les PPI précédentes n'a pas été atteint avec les tarifs d'achat existants. Il était justifié dans ce cas de lancer l'appel d'offre « biomasse 2 » dont le prix moyen est considéré alors comme celui permettant de rentabiliser ces projets d'investissement.

Instituée par la loi n°2003-8 du 3 janvier 2003, la contribution au service public de l'électricité (CSPE) vise à leur compenser ces surcoûts. Cette contribution est due par tous les consommateurs finals d'électricité au prorata des kWh consommés (sauf exceptions, exonération et/ou plafonnement) puis redistribuées aux opérateurs historiques en fonction des surcoûts supportés.

Il faut noter toutefois que le niveau fixé pour la CSPE est sujet à controverses. Les charges de CSPE se sont élevées en 2009 à 1,9 Md€[54], dont 50 % correspond aux surcoûts liés aux contrats d'achat, et pourraient plus que tripler à horizon 2020 si les objectifs Grenelle sont atteints et si les mesures publiques d'incitation sont maintenues aux niveaux retenus ici. Or le recouvrement des charges de CSPE pose déjà problème puisque la contribution qui serait nécessaire pour compenser les charges pour 2009, qui s'élève à 5,8 €/MWh, dépasse le plafond fixé par la loi du 10 février 2000[55]. La contribution unitaire pour 2009 ayant été fixée à 4,5 €/MWh, le déficit de recouvrement induira un défaut de compensation pour les opérateurs de service public qui ne sera comblé qu'à partir de 2011. De même, la contribution unitaire pour 2010[56] n'a pas évolué et le surcoût est encore à la charge d'EDF.

Dans nos scénarios, les surcoûts des énergies bénéficiant de tarifs d'achats sont répercutés au consommateur sur les 15 ou 20 années suivantes. Les tarifs d'achat garantis accroissent le prix de vente de l'électricité via la CSPE ; ce mécanisme est assimilé à une augmentation du prix de l'électricité et modélisé comme une hausse des taxes sur la consommation d'énergie des ménages et des entreprises.

Au-delà de 2020, seuls l'éolien off-shore et le photovoltaïque sur bâti, non rentables lors du renouvellement des équipements respectivement en 2029 et 2039, bénéficient encore de tarifs d'achat. Ces tarifs sont calculés chaque année à partir de la date du renouvellement de ces équipements pour tenir compte de la baisse des coûts d'investissement ; ainsi la rentabilité de ces équipements restent la même qu'initialement.

- Impact sur les tarifs de réseau

En raison de l'absence d'estimation précise, les prix de l'électricité tels que modélisés ici n'intègrent pas d'augmentation des Tarifs d'Utilisation des Réseaux Publics d'Électricité (TURPE) qui proviendrait de surcoûts de réseau (e.g. coût d'investissement dans de nouvelles lignes ou de renforcement du réseau existants) liés au caractère plus dispersé des technologies mises en place (comme par exemples le photovoltaïque et l'éolien[57]).

2.2.2. Financement par les prélèvements obligatoires

La mise en œuvre du volet « ENR » du Grenelle mobilise également des aides budgétaires sous la forme de crédits d'impôts[58], de défiscalisation des biocarburants (cf. pour plus de détails sur ces deux premiers financements publics la loi n°2008-1425 de finances pour 2009 du 27 décembre 2008) et d'abondement par l'État du Fonds Chaleur[59] ; ce dernier a été créé afin d'aider financièrement les entreprises, les collectivités et l'habitat collectif au développement de la production de chaleur à partir des énergies renouvelables (biomasse, géothermie, solaire …), par le remplacement d'installations ou la mise en place de nouveaux équipements.

Dans le scénario « MDP », nous supposons que l'État finance, via le budget, l'achat des garanties d'origine à un coût égal au surcoût de l'éolien terrestre, soit 25 €/MWh entre 2009 et 2020. Au-delà de 2020, ce surcoût diminue pour devenir nul à partir de 2029, en raison de la baisse des coûts de la technologie éolienne terrestre qui devient rentable à cette date.

Il convient de souligner que les aides publiques prises en compte ici sont uniquement celles qui ont un objectif de déploiement des différentes technologies. Nous n'y intégrons donc pas les aides liées à la recherche et développement, à savoir :

---

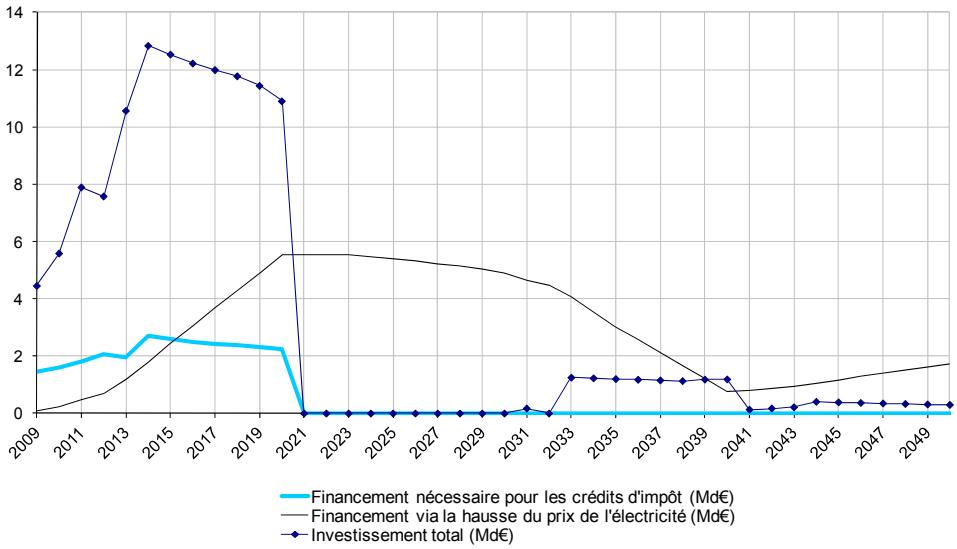
[54] Le montant total des charges de CSPE pour 2009 s'élève en fait à 2,2 Md€, dont 1,9Md correspond aux charges prévisionnelles et 0,3Md à la différence entre l'évaluation des charges et leur montant réel pour les années précédentes.
[55] L'article 5 de la loi 2000-108 du 10 février 2000 fixe ce plafond à 7% du tarif réglementé de vente 6kVA base hors abonnement, soit 5,5€/MWh depuis la révision tarifaire d'août 2009.
[56] Cf. http://www.cre.fr/fr/espace_operateurs/service_public_de_l_electricite_cspe/montant
[57] Même si cette dispersion reste maîtrisée dans le cas de l'éolien terrestre du fait de la création des zones de développement de l'éolien.
[58] Nous n'avons pas tenu compte des plafonds de crédits d'impôt développement durable. De plus, nous avons conservé les crédits d'impôt après 2012, et ce à taux constants, par simplification par rapport à une évaluation d'un report sur la mesure d'éco prêt à taux zéro.
[59] Le montant annuel des aides budgétaires du Fonds Chaleur est évalué, entre 2009 et 2011, à partir des données de la Direction du Budget et du MEEDDM (cf. le dossier de presse « Fonds Chaleur – Bilan et Perspectives » du 19 octobre 2009, http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=23403) et, à partir de 2012, sur la base de l'énergie la moins chère, à savoir la biomasse.

- 1 Md€ en matière de recherche sur le développement durable d'ici fin 2012 que l'État s'est engagé à mobiliser dans le cadre du fonds de soutien aux démonstrateurs industriels[60] dans les domaines énergie/bâtiment/transport ;
- 2,5 Md€ pour les énergies renouvelables et décarbonées dans le cadre des « dépenses d'avenir » votées en janvier 2010.

Dans le scénario « Grenelle », les mesures envisagées pour le volet « ENR » représentent un coût total pour les finances publiques de 26,1 Md€. Il varie entre 13,3 et 28,8 Md€ selon les différents scénarios.

Dans le modèle, l'ensemble des dépenses publiques ainsi calculées (crédits d'impôt, défiscalisation des biocarburants, abondement du Fonds Chaleur, achat des garanties d'origine) sont financées par une hausse de l'ensemble des prélèvements obligatoires existants à due proportion de leur poids actuel dans les recettes publiques[61].

Graphique 3 : impact ex ante des mesures sur l'investissement, les prélèvements obligatoires et les prix de l'électricité (écart en milliards d'euros par rapport au scénario de référence) entre 2009 et 2050



Source : Simulation Mésange, calculs DG Trésor.
Lecture : en 2014, dans le scénario « Grenelle », l'investissement augmente de 12,8 Md€, alors que les financements par l'État et via la CSPE se montent respectivement à 2,7 et 1,8 Md€. Cf. l'annexe 2 pour plus de détails sur ce scénario « Grenelle ».

En conclusion, on rappelle nos estimations d'investissement et de coût public, qui reposent sur des hypothèses similaires à celles de l'étude du BCG (2009) quant à la réalisation des objectifs du Grenelle.

[60] Créé fin 2008, ce fonds est doté de 400 M€ sur quatre ans.
[61] Le financement est réalisé ex ante et ne réintègre pas l'impact sur les recettes publiques de la variation du PIB. Cet impact, ici positif, apparaît au final comme très faible et est donc négligé.

Tableau 3 : caractéristiques des quatre scénarios, en valeurs annuelles moyennes (milliards d'euros 2008)

Valeur annuelle moyenne, en écart par rapport au scénario de référence

	2009-2014	2015-2020	2021-2028	2029-2050	2009-2050
	scénario 1 : Grenelle				
Flux d'investissements des entreprises	4,4	6,2	0,0	0,4	1,7
Flux d'investissements des ménages	3,8	5,7	0,0	0,1	1,4
Financement par une taxe sur l'énergie	0,8	4,0	5,4	2,3	2,9
Financement par l'impôt	1,9	2,4	0,0	0,0	0,6
Valeur ajoutée supplémentaire dans la production nationale d'électricité	1,4	4,0	4,5	1,8	2,6
	scénario 2 : « variante Grenelle »				
Flux d'investissements des entreprises	3,7	4,9	0,0	0,4	1,5
Flux d'investissements des ménages	2,5	3,4	0,0	0,0	0,8
Financement par une taxe sur l'énergie	0,5	2,4	3,1	1,3	1,7
Financement par l'impôt	1,2	1,1	0,0	0,0	0,3
Valeur ajoutée supplémentaire dans la production nationale d'électricité	1,4	3,9	4,4	1,7	2,5
	scénario 3 : « MDP »				
Flux d'investissements des entreprises	2,6	2,4	0,0	0,0	0,7
Flux d'investissements des ménages	2,1	2,6	0,0	0,0	0,7
Financement par une taxe sur l'énergie	0,3	0,8	0,8	0,1	0,3
Financement par l'impôt	1,6	2,2	0,8	0,0	0,7
Valeur ajoutée supplémentaire dans la production nationale d'électricité	1,2	2,7	2,7	0,8	1,5
Flux d'investissement à l'étranger	0,5	1,3	0,8	0	0
	scénario 4 : « nucléaire + ENR non électriques »				
Flux d'investissements des entreprises	1,1	0,5	0,0	0,0	0,2
Flux d'investissements des ménages	3,1	4,4	0,0	0,0	1,1
Financement par une taxe sur l'énergie	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Financement par l'impôt	1,5	1,6	0,0	0,0	0,4
Valeur ajoutée supplémentaire dans la production nationale d'électricité	0,8	3,4	3,7	2,7	2,7

Source : Simulation Mésange, calculs DG Trésor.

Lecture : En moyenne sur 2009–2014, dans le scénario 1 (« Grenelle »), le surplus d'investissement annuel moyen des entreprises, par rapport au scénario de référence, est de 4,4 milliards d'euros. Dans le scénario 2, l'investissement supplémentaire des entreprises est de 3,7 milliards d'euros par an, en moyenne entre 2009 et 2014. Cf. l'annexe 3 pour plus de détails.

3. Résultats des quatre scénarios centraux

Les estimations réalisées au moyen du modèle Mésange permettent de comparer les quatre scénarios présentés ci-dessus que l'on qualifiera de « centraux » dans la mesure où des variantes de modélisation seront présentées dans la partie 4 sur la base d'hypothèses alternatives (par rapport à l'hypothèse « centrale » présentée ci-dessus). Il résulte des estimations que, **parmi les trois premiers scénarios étudiés, le scénario 1 « Grenelle » est le plus favorable à moyen terme** (voir le tableau 4, et les graphiques 4 et 5). Dans ce scénario, par rapport au scénario de référence, le PIB est plus élevé de 0,4 % et l'économie compte 45 000 emplois supplémentaires après 10 ans. Le scénario 2 « variante Grenelle » donne quasiment les mêmes résultats à cette date mais produit un effet d'entraînement globalement plus faible sur la période 2009-2015. Le troisième scénario « MDP », qui fait intervenir des investissements dans des pays tiers, est le moins favorable en termes de PIB et d'emploi en France : + 0,2 % pour le PIB et 23 000 emplois supplémentaires après 10 ans. Enfin, dans le quatrième scénario « nucléaire + ENR non électriques », le PIB est augmenté de 0,3 % et l'emploi de 47 000 postes après 10 ans ; **ce scénario devient le scénario le plus favorable à partir de 2021**.

Tableau 4 : impacts macroéconomiques des quatre scénarios étudiés centraux

en % , en écart par rapport au scénario de référence	1 an 2009	2 ans 2010	3 ans 2011	5 ans 2013	10 ans 2018	15 ans 2023	20 ans 2028	30 ans 2038
	scénario 1 : « Grenelle »							
PIB	0,3	0,4	0,5	0,5	0,4	-0,3	-0,2	-0,2
Emplois (milliers)	16	43	68	71	45	-78	-29	-26
	scénario 2 : « variante Grenelle »							
PIB	0,2	0,3	0,4	0,5	0,4	-0,2	-0,1	-0,2
Emplois (milliers)	13	35	56	66	49	-45	-14	-23
	scénario 3 : « MDP »							
PIB	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	-0,2	-0,1	-0,1
Emplois (milliers)	12	33	49	41	23	-38	-13	-18
	scénario 4 : « nucléaire + ENR non électriques »							
PIB	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	-0,1	0,0	-0,1
Emplois (milliers)	10	28	43	37	47	-24	-1	-12

Source : Simulation Mésange, calculs DG Trésor.

Lecture : après 10 ans, en 2019, dans le scénario 1 (« Grenelle »), le PIB est plus élevé de 0,4 % par rapport au scénario de référence et il y a 45 000 emplois supplémentaires dans l'économie.

Dans ces quatre scénarios centraux, **l'effet prédominant entre 2009 et 2020 est celui des flux annuels d'investissement**, dont l'impact sur le PIB (entre + 0,3 % et + 0,4 % selon les scénarios) et l'emploi (entre 40 000 et 80 000 emplois selon les scénarios) est maximal autour de 2015 (voir résultats détaillés en annexe 4). À très court terme, l'impact du scénario 1 « Grenelle » est le plus fort, car il met en jeu les investissements les plus importants[62].

La hausse de la production domestique d'énergie, en lien avec la diminution des importations de matières premières énergétiques et l'augmentation des exportations d'électricité, a un impact positif sur le PIB et l'emploi qui monte progressivement en régime. Simultanément, la hausse de l'imposition et l'augmentation du coût de l'électricité (via sur la CSPE) pèsent sur le revenu des ménages et l'activité. À partir de 2019, le scénario 2 « variante Grenelle » est aussi favorable que le scénario Grenelle bien qu'il induise des niveaux d'investissement plus faibles car il évite les investissements les moins rentables et permet donc une moindre augmentation de l'impôt et de la facture électrique des consommateurs.

Au bout de douze ans, dans les trois premiers scénarios, la production d'énergies renouvelables atteint son niveau stationnaire ; l'impact positif sur le PIB est quasi nul en 2020, juste avant la forte réduction des flux d'investissement. À partir de 2020, l'impact macroéconomique des quatre scénarios devient négatif car les investissements s'arrêtent ; ne demeurent que les effets inflationnistes qu'ils ont générés (hausse des prix et des salaires en réaction à la hausse de la demande) et l'impact récessif de l'augmentation de l'imposition.

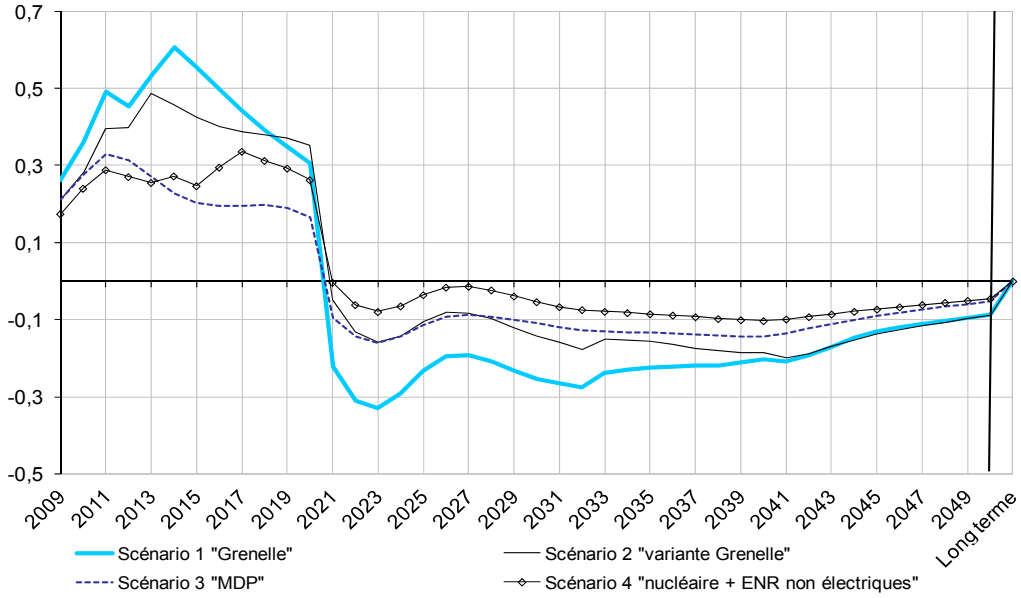
Cet impact négatif se prolonge en s'atténuant. Sur le très long terme, l'impact sera nul, car aucune modification n'est permanente (on revient vers le scénario de référence). La dynamique de moyen-long terme s'explique par la composition de différents impacts :

- l'augmentation de la valeur ajoutée dans la production d'électricité domestique, en lien avec la baisse des importations de matières premières énergétiques (effet positif qui s'atténue progressivement puis s'annule),
- l'augmentation de l'investissement dans le secteur de l'énergie, afin de maintenir les capacités de production en ENR et/ou en énergie nucléaire (effet positif qui s'atténue progressivement puis s'annule),

[62] En effet, l'impact macroéconomique d'un investissement ponctuel des entreprises est maximal à court terme, par son effet sur la demande ; cet effet se réduit rapidement : pour un investissement temporaire de 1 milliard d'euros au cours de l'année 1, l'impact sur le PIB est de + 0,9 milliard l'année 1, de + 0,1 milliard la seconde année, et il est quasiment nul les années suivantes. Ne demeure alors que l'effet offre des investissements, de moindre ampleur.

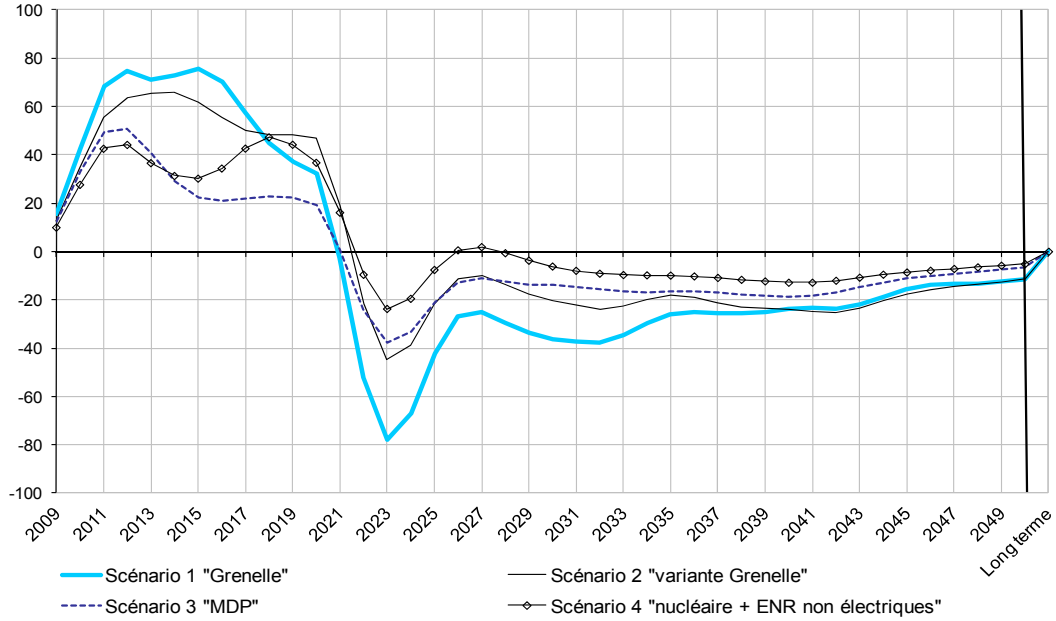
- l'augmentation des impôts et du prix de l'électricité via la CSPE dont l'ampleur n'est maximale qu'en 2020 (cf. graphique 3), et dont l'effet négatif prédomine sur le moyen-long terme s'atténue également sur le long terme puis s'annule.

Graphique 4 : impact sur le PIB des quatre scénarios, entre 2009 et 2050, et sur le long terme



Source : Simulation Mésange, calculs DG Trésor.
Lecture : En 2015, le PIB est plus élevé de 0,6 % dans le scénario « Grenelle », de 0,4 % dans le scénario « variante Grenelle », de 0,3 % dans le scénario « nucléaire + ENR non électriques » et de 0,2 % dans le scénario « MDP », par rapport au scénario de référence.

Graphique 5 : impact sur l'emploi des quatre scénarios, entre 2009 et 2050, et sur le long terme



Source : Simulation Mésange, calculs DG Trésor.
Lecture : En 2015, 76 000 emplois supplémentaires sont créés dans le scénario « Grenelle », 62 000 dans le scénario « variante Grenelle », 30 000 dans le scénario « nucléaire + ENR non électriques », et 23 000 dans le scénario « MDP », relativement au scénario de référence.

4. Tests de sensibilité

Les tests de sensibilité nous permettent d'appréhender la robustesse de nos résultats, lorsque les hypothèses de modélisation et de chiffrage des mesures simulées sont modifiées. En effet, un certain nombre de variables, centrales dans l'évaluation, sont mal connues et méritent d'être discutées.

Nous étudions la réponse de notre modélisation aux variantes suivantes :

- Modification du scénario de référence concernant la projection des investissements dans les ENR ;
- Prise en compte des investissements évités grâce aux investissements en ENR ;
- Effet d'apprentissage plus faible ;
- Contrainte budgétaire des ménages qui pèse sur leurs investissements ;
- Modification du niveau des subventions publiques, du fait d'un prix mondial de l'énergie plus élevé ou du pourcentage d'équipements réalisés sur bâti dans l'objectif assigné au solaire photovoltaïque ;
- Financement public par l'impôt plutôt que par la CSPE.

Les scénarios « Grenelle » et « variante Grenelle » restent les plus intéressants à moyen terme sous ces autres hypothèses de modélisation.

4.1. Variantes sur le niveau d'investissement

4.1.1. En écart par rapport au scénario de référence, et jusqu'en 2020 seulement, les résultats des scénarios sont plus favorables sur l'activité si une part des ENR programmés n'avait pas été réalisée sans le Grenelle

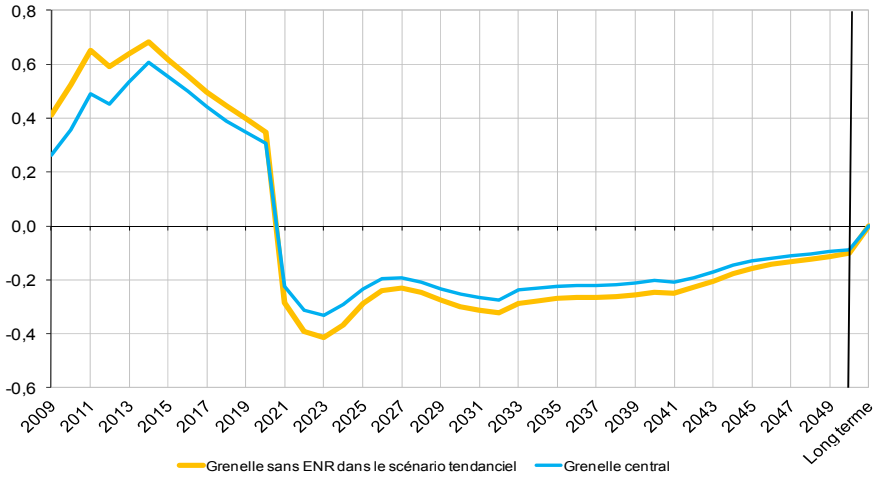
À priori, nous avons sous-estimé le scénario de référence : les investissements, voire la politique de soutien, aux ENR thermiques et aux biocarburants auraient pu être plus élevés même sans loi Grenelle. En revanche, les investissements électriques de ce scénario de référence sont probablement correctement estimés car nous nous sommes basés sur le rapport de 2006 « Programmation pluriannuelle des investissements de production électrique – Période 2005-2015 » pour l'établir.

Pour essayer d'analyser l'impact du choix de scénario de référence, nous avons testé *a contrario* le cas où aucun investissement dans les ENR thermiques n'est réalisé dans un scénario de référence alternatif (qui décrit ce qui se serait produit en l'absence du Grenelle).

Puisque les scénarios sont construits par différence au scénario de référence choisi, les investissements nécessaires pour atteindre le niveau de production d'énergie à l'horizon 2020, à savoir 20,6 Mtep dans les trois premiers scénarios et 17,4 Mtep dans le scénario « nucléaire + ENR non électriques », sont plus élevés que ceux présentés dans les scénarios centraux. Les soutiens publics et les économies d'importations d'énergie s'en trouvent également augmentés.

Le scénario « Grenelle » est alors légèrement plus positif à court terme et plus négatif à moyen terme.

Graphique 6 : impact sur le PIB dans le scénario « Grenelle » selon le scénario de référence choisi



Source : Simulation Mésange, calculs DG Trésor.
Lecture : En 2020, le PIB est plus élevé de 0,35 % dans le scénario « Grenelle », alors qu'il l'était de 0,31 % dans le scénario central « Grenelle », par rapport à un scénario de référence différent selon qu'il incorpore ou non des ENR thermiques.

4.2. L'investissement évité en cycles combinés au gaz (CCG) est pris en compte dans les scénarios

Dans ce test, nous nous intéressons à la diminution possible de l'investissement en CCG dans le secteur électrique[63]. Nous considérons que la réduction de l'usage du gaz dans le secteur électrique du fait du Grenelle pourrait induire une baisse des investissements dans les capacités conventionnelles fonctionnant au gaz. Il n'en va pas de même des centrales nucléaires, ou des centrales fonctionnant au charbon ou au fioul[64]. En effet, d'après la PPI de production d'électricité (2009) détaillée dans le rapport du RTE (2009), l'investissement en ENR ne réduit pas les besoins en nouvelles capacités nucléaires (i.e. les deux EPR de Flamanville et de Penly) mais devrait entraîner la réduction des durées de fonctionnement, voire l'arrêt de centrales fonctionnant au charbon.

Pour calculer l'investissement évité en CCG, nous avons pris l'investissement unitaire en CCG permettant de produire les économies d'importations en gaz réalisées dans le secteur électrique.

La baisse de l'investissement dans le secteur électrique hors ENR minore le surplus d'investissement total réalisés dans les quatre scénarios par rapport au scénario de référence (le montant d'investissement dans les ENR étant inchangé). Les soutiens publics et les économies d'importations d'énergie ne sont quant à eux pas modifiés.

Cette baisse des investissements dans l'électricité non renouvelable est négligeable au regard des surcroîts d'investissement dans les ENR. Dans le scénario « Grenelle », on peut ainsi estimer à 1,2 Md€ entre 2009 et 2014 la baisse de l'investissement des entreprises en CCG pour 49 Md€ investis dans les ENR au total. Dès lors, les résultats macroéconomiques ne sont pas significativement différents.

4.3. Variante sur les coûts d'investissement : l'effet d'apprentissage

Nous supposons dans ce test que l'effet d'apprentissage (sur la baisse des coûts et l'amélioration de la production du solaire photovoltaïque) est plus faible que celui supposé dans les scénarios centraux.

Dans les scénarios centraux, les coûts des ENR sont supposés diminuer sur toute la période d'observation, hypothèse que nous levons ici. Ainsi, de façon simplificatrice, nous supposons qu'au-delà de 2010[65], les prix des ENR sont constants et l'investissement dans les ENR reste non rentable. De plus, afin de garantir la production de 20,6 Mtep d'énergies renouvelables, les subventions publiques sont maintenues à leur niveau initial.

Si après 2020, les coûts des ENR ne baissaient pas assez pour que les équipements soient rentables et donc intégrés dans le scénario de référence, alors les investissements dans toutes les filières seraient reconduits[66] à la fin de leur durée de vie selon les mêmes chroniques d'investissement et les mêmes incitations observées entre 2009 et 2020. Nous ne simulons pas cet éventuel renouvellement du Grenelle et arrêtons notre test en 2030.

Sous cette hypothèse alternative, les quatre scénarios sont modélisés de nouveau et présentés ci-dessous. Comme les coûts sont plus importants dans ces scénarios alternatifs que dans les scénarios centraux, l'impact sur le PIB et l'emploi est plus négatif au moment du financement des mesures d'incitations à l'investissement. C'est donc à partir de 2017 et non 2019 que le scénario 2 « variante Grenelle » alternatif ainsi construit devient plus favorable que le scénario « Grenelle » alternatif.

---

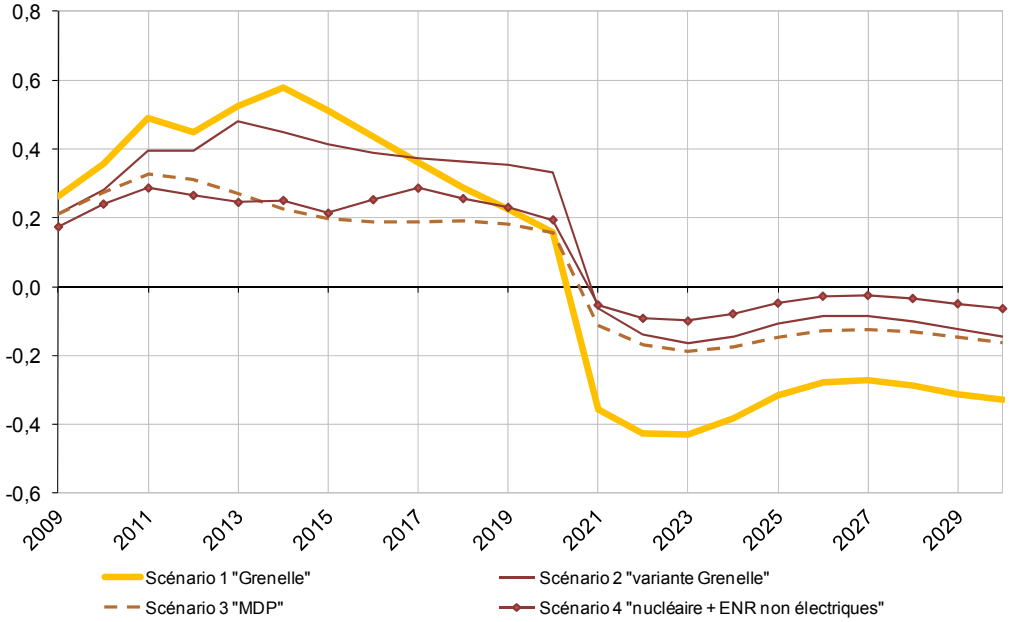
[63] La production d'ENR pourrait réduire l'investissement dans des nouvelles capacités conventionnelles. L'introduction des ENR peut en effet réduire les besoins en nouvelles capacités, mais elle peut aussi pour partie se traduire par une simple réduction des durées de fonctionnement des capacités installées, voire provoquer leur arrêt. Par exemple, la production d'énergie à partir des parcs d'éoliennes est intermittente et ne permet pas toujours de faire face à de fortes consommations. Une surcapacité de production basée sur les énergies fossiles resterait alors nécessaire pour gérer les risques qui pourraient en résulter.

[64] Parce que d'après RTE (2009), les ENR n'ont pas d'impact sur le fonctionnement des centrales de pointe, fonctionnant au fioul notamment, qui permettent de répondre à des pointes de consommation de quelques heures dans l'année, nous ne les avons pas prises en compte dans cet exercice.

[65] Certains crédits d'impôt baissent en 2010 et nous avons supposé que l'aide publique suit la baisse des coûts d'investissement.

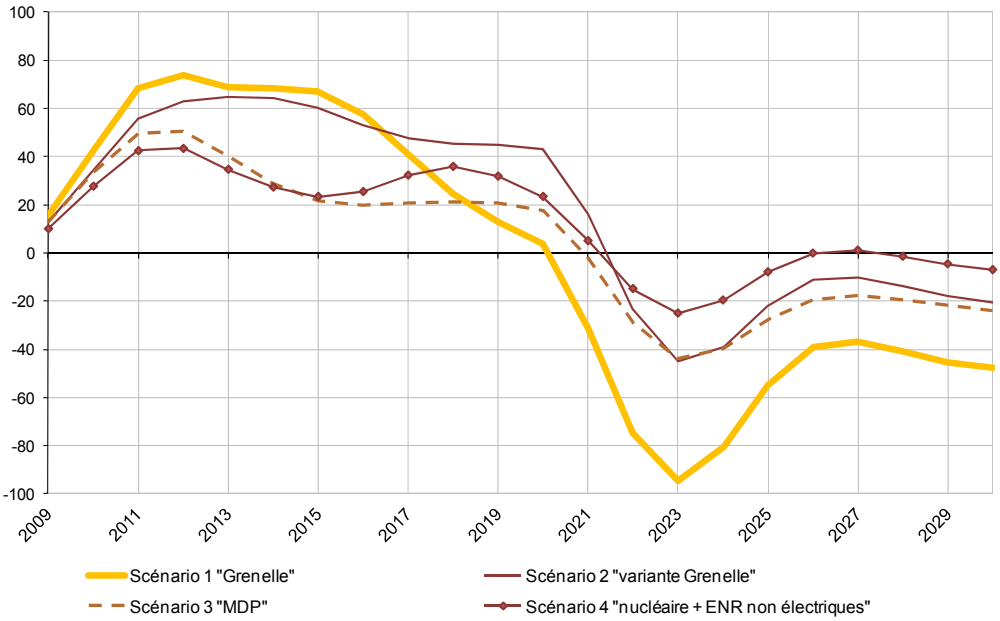
[66] Amigues et Moreaux (2009) montrent que le profil d'utilisation de la ressource renouvelable n'est pas monotone dans le cas où la contrainte de « mix » énergétique doit être satisfaite ab initio ou à une date ultérieure et où il n'y a pas de progrès technique : le sentier de production optimale d'énergie renouvelable décroît après avoir satisfait la contrainte de « mix » énergétique.

Graphique 7 : impact sur le PIB des quatre scénarios sous l'hypothèse alternative d'un effet d'apprentissage plus faible, entre 2009 et 2030



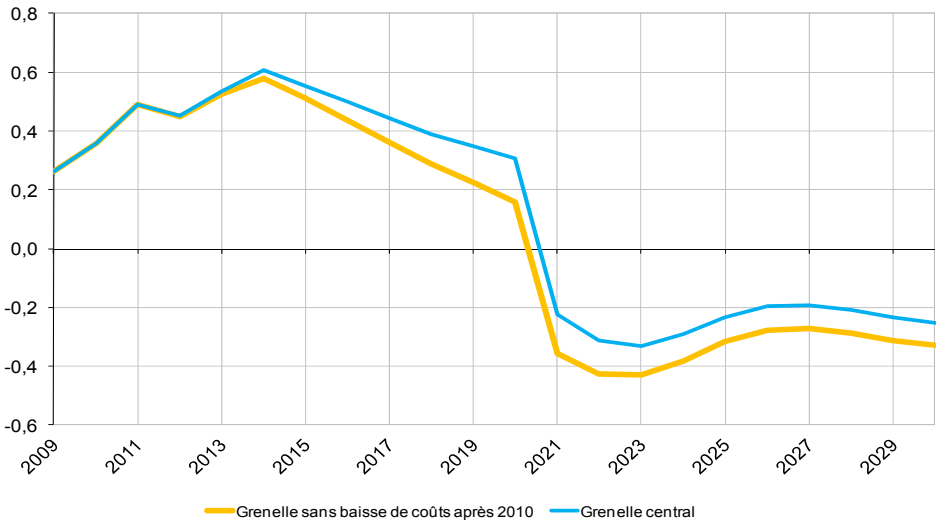
Source : Simulation Mésange, calculs DG Trésor.
Lecture : En 2015, le PIB est plus élevé de 0,5 % dans le scénario « Grenelle » alternatif, de 0,4 % dans le scénario « variante Grenelle » alternatif, de 0,2 % dans les scénarios « nucléaire + ENR non électriques » et « MDP » alternatifs, par rapport au scénario de référence.

Graphique 8 : impact sur l'emploi des quatre scénarios sous l'hypothèse alternative d'un effet d'apprentissage plus faible, entre 2009 et 2030



Source : Simulation Mésange, calculs DG Trésor.
Lecture : En 2015, 67 000 emplois supplémentaires sont créés dans le scénario « Grenelle » alternatif, 60 000 dans le scénario « variante Grenelle » alternatif, 23 000 dans le scénario « nucléaire + ENR non électriques » alternatif et 22 000 dans le scénario « MDP » alternatif, relativement au scénario de référence.

Graphique 9 : impact sur le PIB dans le scénario « Grenelle » sous les hypothèses centrale et alternative d'un effet d'apprentissage plus faible



Source : Simulation Mésange, calculs DG Trésor.
Lecture : En 2020, le PIB est plus élevé de 0,16 % dans le scénario « Grenelle » alternatif, alors qu'il l'était de 0,31 % dans le scénario « Grenelle » central, par rapport au scénario de référence.

4.4. Variante sur l'investissement des ménages qui sont contraints budgétairement

Dans les scénarios centraux, nous avons supposé que les ménages lissent leurs dépenses d'investissement dans les énergies renouvelables et n'ont donc pas de contrainte budgétaire. Nous relâchons cette hypothèse : sous une hypothèse alternative, les ménages réduisent partiellement leurs investissements hors ENR (essentiellement les dépenses en biens immobiliers) pour financer leurs investissements en ENR. Ils rattrapent ce défaut d'investissement par la suite grâce aux économies de facture énergétique réalisées grâce à leur installation renouvelable. Nous avons approximé les montants d'économies de facture énergétique réalisées, en supposant que l'investissement en ENR est juste rentable : la valeur actualisée (au taux de 4 %) des gains réalisés compense exactement le coût d'investissement net du crédit d'impôt.

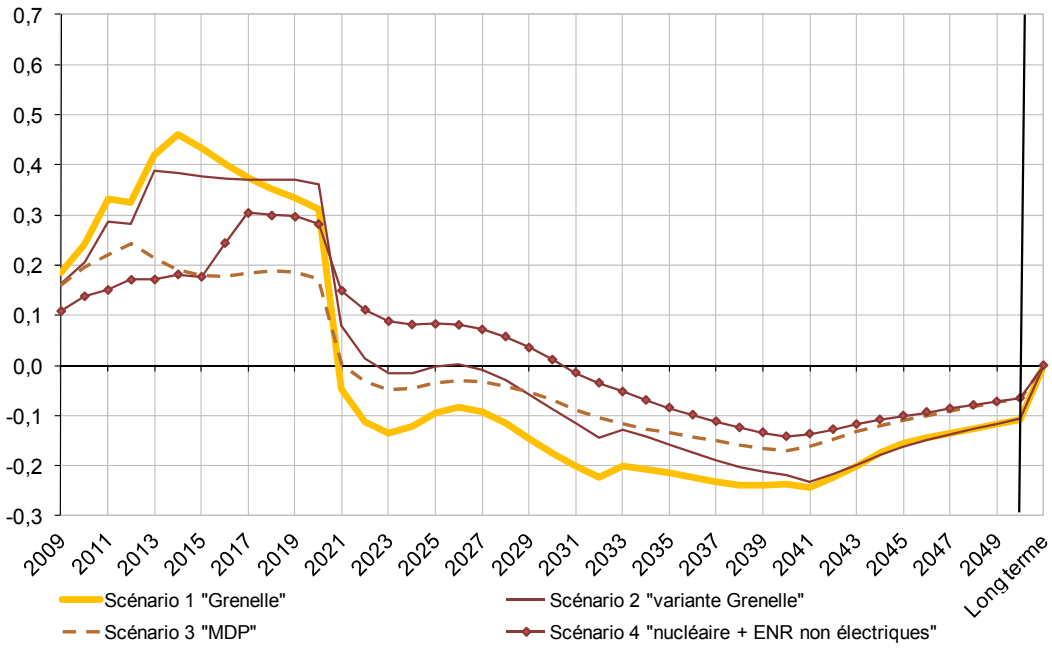
L'investissement initial des ménages est plus faible ce qui minimise l'effet positif d'entraînement à court terme. En revanche, la hausse de la demande générée par les économies d'énergie a tendance à limiter l'impact négatif de la baisse de l'investissement à l'horizon 10 ans. En d'autres termes, la courbe du scénario alternatif « Grenelle » du graphique 12 est plus plate. Le tableau 5 ci-dessous rassemble les résultats pour les quatre scénarios sous l'hypothèse alternative.

Tableau 5 : impacts macroéconomiques des quatre scénarios étudiés, sous l'hypothèse d'une contrainte budgétaire des ménages au moment de leur investissement

en % , en écart par rapport au scénario de référence	1 an 2009	2 ans 2010	3 ans 2011	5 ans 2013	10 ans 2018	15 ans 2023	20 ans 2028	30 ans 2038
	scénario 1 : « Grenelle »							
PIB	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	-0,1	-0,1	-0,2
Emplois (milliers)	11	28	45	52	40	-40	-18	-30
	scénario 2 : « variante Grenelle »							
PIB	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,0	0,0	-0,2
Emplois (milliers)	10	25	40	49	48	-18	-5	-27
	scénario 3 : « MDP »							
PIB	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2
Emplois (milliers)	9	24	34	30	22	-17	-6	-21
	scénario 4 : « nucléaire + ENR non électriques »							
PIB	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,1	0,1	-0,1
Emplois (milliers)	6	15	22	22	46	8	9	-16

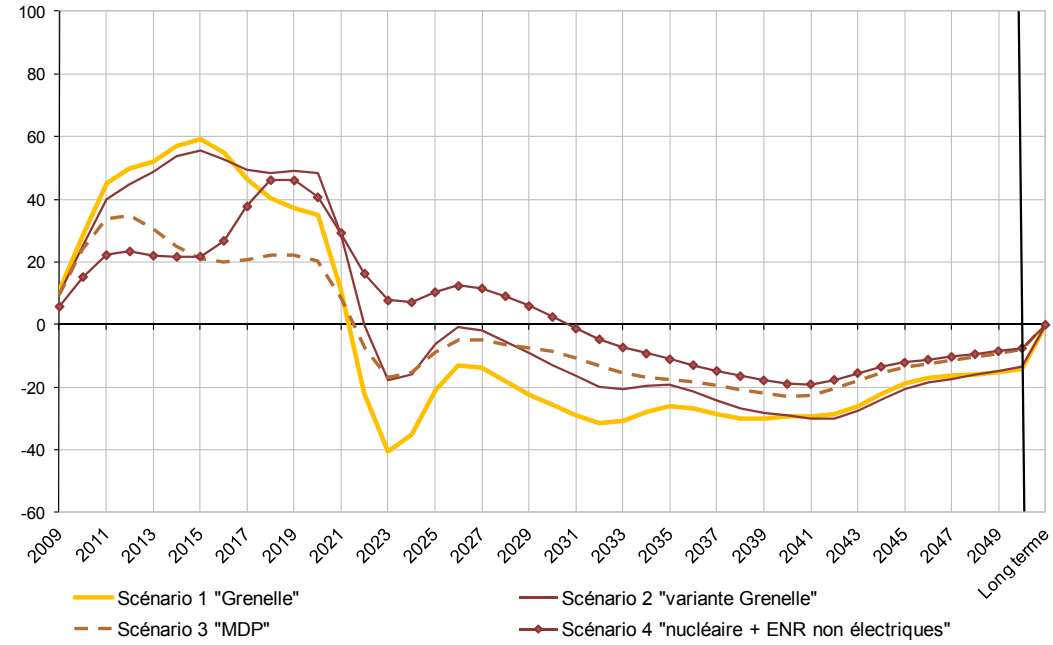
Source : Simulation Mésange, calculs DG Trésor.
Lecture : après 10 ans, en 2019, dans le scénario 1 (« Grenelle »), le PIB est plus élevé de 0,4 % par rapport au scénario de référence, et il y a 40 000 emplois supplémentaires dans l'économie.

Graphique 10 : impact sur le PIB des quatre scénarios sous l'hypothèse alternative d'une contrainte budgétaire des ménages, entre 2009 et 2050 et sur le long terme



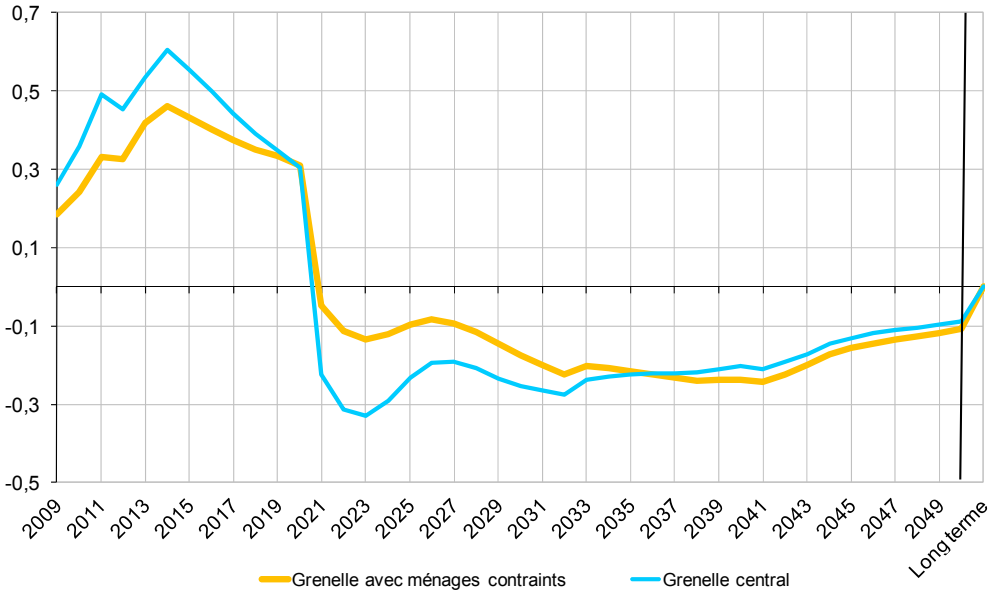
Source : Simulation Mésange, calculs DG Trésor.
Lecture : En 2015, le PIB est plus élevé de 0,4 % dans les scénarios alternatifs « Grenelle » et « variante Grenelle » et de 0,2 % dans les scénarios alternatifs « nucléaire + ENR non électriques » et « MDP », par rapport au scénario de référence.

Graphique 11 : impact sur l'emploi des quatre scénarios sous l'hypothèse alternative d'une contrainte budgétaire des ménages, entre 2009 et 2050 et sur le long terme



Source : Simulation Mésange, calculs DG Trésor.
Lecture : En 2015, 59 000 emplois supplémentaires sont créés dans le scénario « Grenelle » alternatif, 56 000 dans le scénario « variante Grenelle » alternatif, 22 000 dans le scénario « nucléaire + ENR non électriques » alternatif et 21 000 dans le scénario « MDP » alternatif, relativement au scénario de référence.

Graphique 12 : évolution du PIB dans le scénario « Grenelle » sous les hypothèses centrale et alternative d'une contrainte budgétaire des ménages



Source : Simulation Mésange, calculs DG Trésor.
Lecture : En 2020, le PIB est plus élevé de 0,31 % dans le scénario « Grenelle » alternatif, comme dans le scénario central « Grenelle », par rapport au scénario de référence.

4.5. Variantes sur le niveau des dépenses publiques

4.5.1. Un maintien des prix de l'énergie à un niveau plus élevé augmente les impacts positifs des scénarios à moyen terme, sans que la hiérarchie entre les différents scénarios ne soit affectée

Dans la sous-section 2.2, nous nous basons sur le scénario de prix du pétrole central de l'AIE (*World Energy Outlook* 2007), qui est généralement utilisé comme référence dans les évaluations de scénarios énergétiques en France. Nous avons construit le test de sensibilité en utilisant les prix (arrondis) en 2030 de l'AIE (*World Energy Outlook* 2008), beaucoup plus élevés : 130 $ /baril de pétrole[67], 595 $ par tep de gaz à partir de 2009, 171 $ par tep de charbon et 110 €/MWh d'électricité sur le marché de gros.

Les prix des matières premières énergétiques sont dans ce test supposés maintenus constants à ce niveau élevé tout au long de la période.

Tableau 6 : hypothèses retenues sur le prix des énergies dans le test

	Pétrole	Gaz	Charbon	Électricité sur le marché de gros
Test sur les prix des énergies	130 $$_{2009}$/baril	15 $$_{2009}$/Million British thermal unit	106 $$_{2009}$/tonne	110 €$_{2009}$/MWh
	953 $$_{2009}$/tep	595 $$_{2009}$/tep	171 $$_{2009}$/tep	1279 €$_{2009}$/tep

Source : Simulation Mésange, calculs DG Trésor.

Les résultats obtenus avec cette hypothèse alternative sont présentés dans le tableau 7 et dans les graphiques 14 à 16[68] : l'impact des scénarios sur le PIB et l'emploi est plus favorable que dans les scénarios centraux. L'ordre des scénarios, en termes d'impact sur le PIB et sur l'emploi, n'est pas modifié : le scénario

[67] Le baril de pétrole est précisément à 122 $ en 2030 pour l'AIE (World Energy Outlook 2008). Le prix de 130 $/baril correspondent également au prix du Brent de juillet 2008.
[68] Cette estimation ne prend pas en compte la réduction directe de la consommation des ménages en énergies fossiles et en électricité provoquée par un prix de l'énergie élevé. La prise en compte de cet effet ne provoquerait que des décalages du PIB et de l'emploi uniformes selon les scénarios, et ne modifierait donc pas leur positionnement relatif.

4 devient cependant plus favorable plus tardivement (après 2027 contre 2020 sous l'hypothèse centrale). Cette évolution est essentiellement provoquée par une augmentation de la valeur des importations d'énergie évitées. Notons que le scénario de référence utilisé dans cette variante est également différent de celui présenté en référence dans la section 3 : **les impacts macroéconomiques ne sont donc pas directement comparables avec ceux de la section 3.**

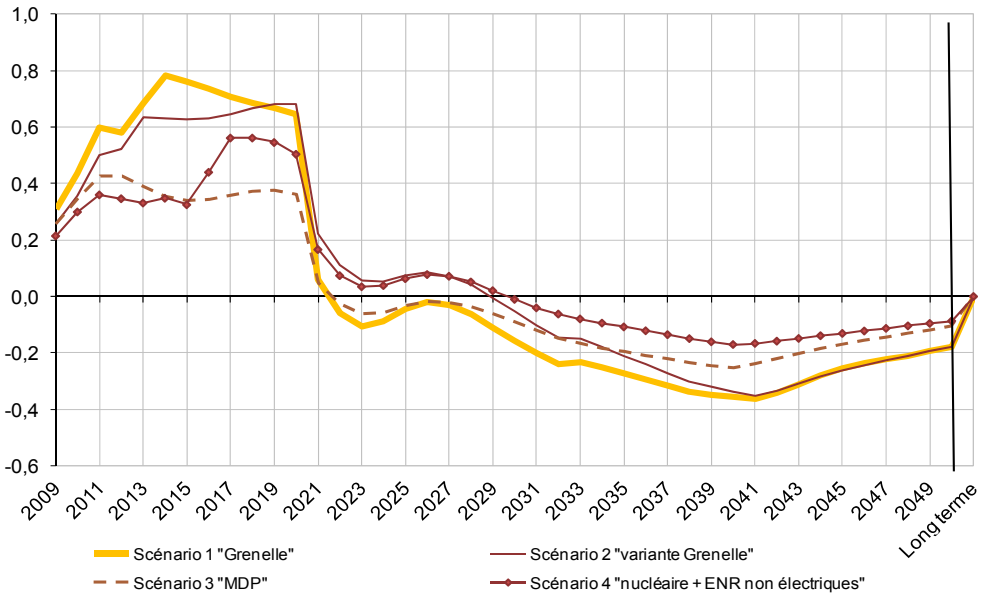
Au final, ce test de sensibilité montre que l'impact sur l'économie du Grenelle sera globalement plus positif à court et moyen terme si le prix des hydrocarbures et du charbon est élevé, et cela d'autant plus que la réduction des importations d'énergie fossile est importante.

Tableau 7 : impacts macroéconomiques des quatre scénarios étudiés, sous l'hypothèse alternative d'une énergie plus chère

en %, en écart par rapport au scénario de référence	1 an 2009	2 ans 2010	3 ans 2011	5 ans 2013	10 ans 2018	15 ans 2023	20 ans 2028	30 ans 2038
	scénario 1 : « Grenelle »							
PIB	0,3	0,4	0,6	0,7	0,7	-0,1	-0,1	-0,3
Emplois (milliers)	19	53	85	95	92	-43	-7	-44
	scénario 2 : « variante Grenelle »							
PIB	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,1	0,0	-0,3
Emplois (milliers)	16	44	72	89	94	-12	7	-41
	scénario 3 : « MDP »							
PIB	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	-0,1	0,0	-0,2
Emplois (milliers)	16	43	66	61	50	-24	-4	-32
	scénario 4 : « nucléaire + ENR non électriques »							
PIB	0,2	0,3	0,4	0,3	0,6	0,0	0,1	-0,1
Emplois (milliers)	13	36	55	49	89	-9	11	-19

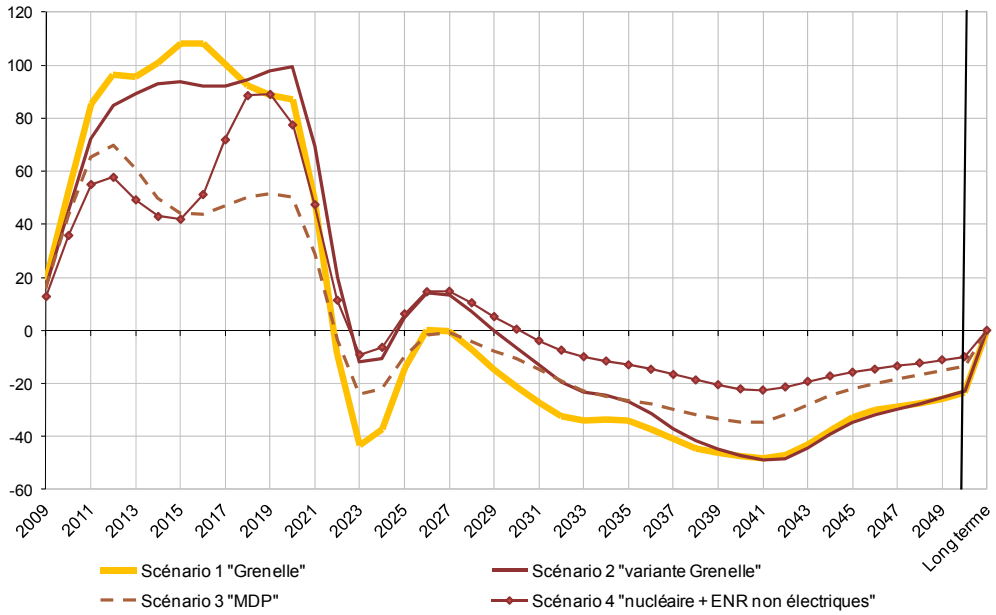
Source : Simulation Mésange, calculs DG Trésor.
Lecture : après 10 ans, en 2019, dans le scénario 1 (« Grenelle »), le PIB est plus élevé de 0,7 % par rapport au scénario de référence, et il y a 92 000 emplois supplémentaires dans l'économie.

Graphique 13 : évolution du PIB dans les quatre scénarios sous l'hypothèse alternative d'une énergie plus chère, entre 2009 et 2050 et sur le long terme



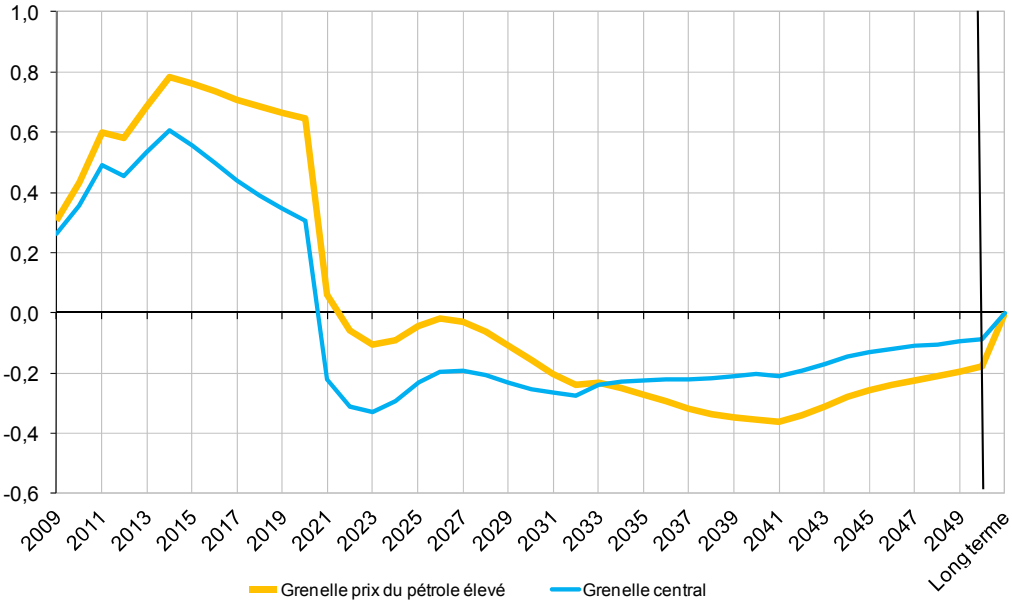
Source : Simulation Mésange, calculs DG Trésor.
Lecture : Sous l'hypothèse d'un prix de l'énergie plus élevé (pétrole à 130 $\baril), en 2020, le PIB est plus élevé de 0,8 % dans le scénario « Grenelle » alternatif, de 0,6 % dans le scénario « variante Grenelle » alternatif, de 0,3 % dans les scénarios alternatifs « nucléaire + ENR non électriques » et « MDP », par rapport au scénario de référence alternatif.

Graphique 14 : impact sur l'emploi des quatre scénarios sous l'hypothèse alternative d'une énergie plus chère, entre 2009 et 2050 et sur le long terme



Source : Simulation Mésange, calculs DG Trésor.
Lecture : Sous l'hypothèse d'un prix de l'énergie plus élevé, en 2015, 108 000 emplois supplémentaires sont créés dans le scénario « Grenelle » alternatif, 94 000 dans le scénario « variante Grenelle » alternatif, et respectivement 44 000 et 42 000 dans les scénarios alternatifs « MDP » et « nucléaire + ENR non électriques », relativement au scénario de référence alternatif.

Graphique 15 : évolution du PIB dans le scénario « Grenelle » sous les hypothèses centrale et alternative d'une énergie plus chère



Source : Simulation Mésange, calculs DG Trésor.
Lecture : Sous l'hypothèse d'un prix de l'énergie plus élevé, en 2020, le PIB est plus élevé de 0,64 % dans le scénario « Grenelle » alternatif, alors qu'il l'était de 0,31 % dans le scénario central « Grenelle », par rapport à leur scénario de référence respectif.

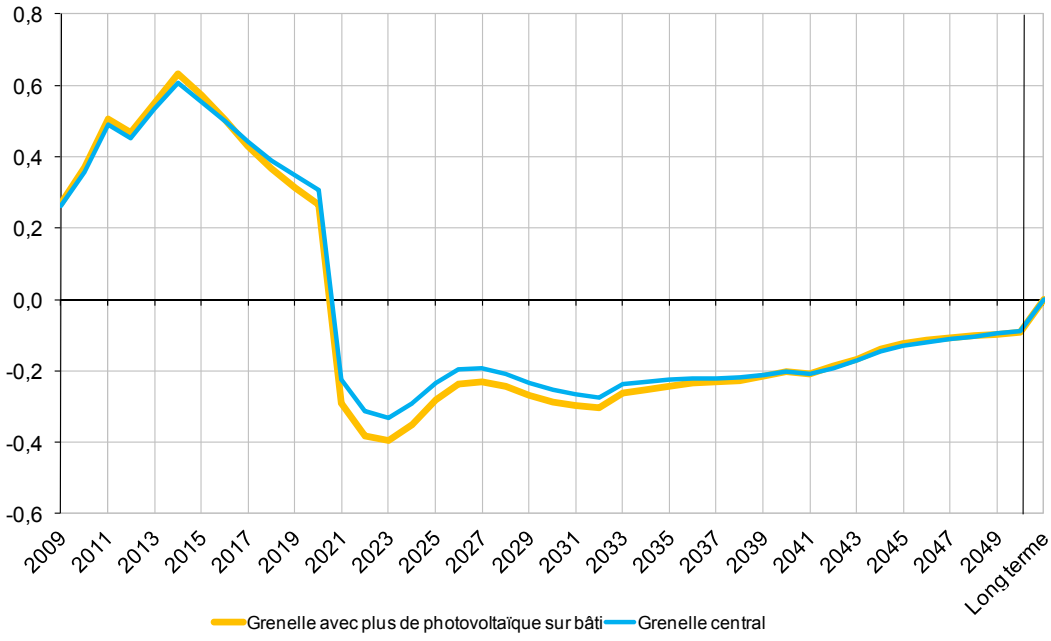
4.5.2. Le scénario « Grenelle » est légèrement plus favorable à court terme si une plus grande part du solaire photovoltaïque est réalisée sur bâti

Nous avons supposé que 50 % des investissements en solaire photovoltaïque étaient réalisés par les ménages par intégration dans la toiture. Cet équipement est financé via les tarifs de rachat mais également par un crédit d'impôt.

Si une grande partie du solaire photovoltaïque était réalisé sur bâti, à proportion de 90 %, il y aurait plus de dépenses publiques, crédit d'impôt et CSPE. Ce test analyse l'impact sur l'économie de cette augmentation de la part du solaire photovoltaïque sur bâti (hypothèse alternative).

L'impact macroéconomique du scénario « Grenelle » alternatif est légèrement plus favorable jusqu'en 2016 que dans le scénario central. Toutefois, la hausse du coût de financement des mesures induit une baisse de l'activité et de l'emploi plus prononcée à moyen et long terme.

Graphique 16 : évolution du PIB dans le scénario « Grenelle » sous les hypothèses centrale et alternative d'une part de photovoltaïque sur bâti plus importante



Source : Simulation Mésange, calculs DG Trésor.
Lecture : Sous l'hypothèse d'un pourcentage plus élevé d'équipements solaires photovoltaïques sur bâti, en 2020, le PIB est plus élevé de 0,26 % dans le scénario « Grenelle » alternatif, alors qu'il l'était de 0,31 % dans le scénario central « Grenelle », par rapport au scénario de référence.

4.6. Variante sur le financement : l'impôt plutôt que la CSPE

Ce test contribue au débat sur le choix du financement du développement des ENR électriques [69]. Nous nous intéressons ici à l'opportunité de recourir à une taxe ciblée sur l'énergie (la CSPE ici) plutôt qu'à une hausse uniforme de l'ensemble des prélèvements obligatoires.

Nous testons l'hypothèse alternative sur le financement du coût public : ce coût serait financé exclusivement par l'impôt. Sous cette hypothèse alternative, l'impact négatif du financement est plus important (cf. le tableau 8 et les graphiques 17 à 19). En effet, la CSPE s'apparente ici à une taxe sur la consommation d'énergie en volume et a pour effet d'augmenter le prix de l'énergie dans l'économie. Ce type de taxe a un impact moins négatif sur l'économie que la majorité des impôts car il pèse sur un type de bien en grande partie importé et pour lequel il existe des possibilités de substitutions.

[69] Pour plus de détails, voir Favard et al. (2002).

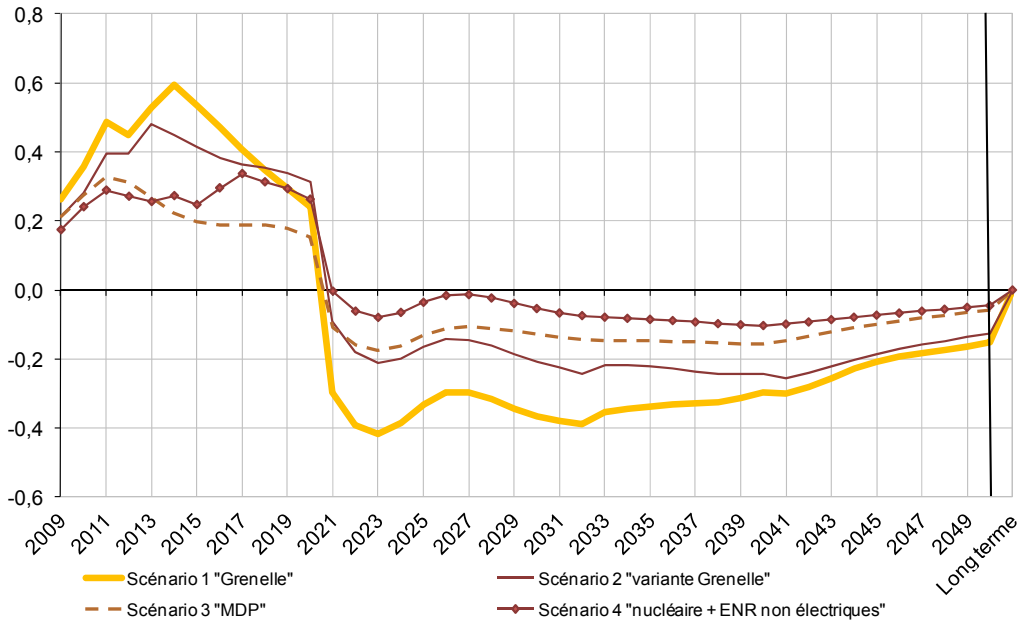
En termes d'impact macroéconomique, la position relative du scénario 1 « Grenelle » alternatif, scénario pour lequel le coût public est le plus important, se dégrade par rapport aux autres scénarios. En particulier, l'impact sur le PIB atteint son point bas à -0,4 % autour de 2023 et 97 000 emplois seraient détruits.

Tableau 8 : impacts macroéconomiques des quatre scénarios sous l'hypothèse alternative d'un financement intégral par l'impôt plutôt que par la CSPE

en % , en écart par rapport au scénario de référence	1 an 2009	2 ans 2010	3 ans 2011	5 ans 2013	10 ans 2018	15 ans 2023	20 ans 2028	30 ans 2038
	scénario 1 : « Grenelle »							
PIB	0,3	0,4	0,5	0,5	0,3	-0,4	-0,3	-0,3
Emplois (milliers)	15	42	68	69	35	-97	-51	-43
	scénario 2 : « variante Grenelle »							
PIB	0,2	0,3	0,4	0,5	0,4	-0,2	-0,2	-0,2
Emplois (milliers)	13	34	55	64	42	-56	-26	-33
	scénario 3 : « MDP »							
PIB	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	-0,2	-0,1	-0,2
Emplois (milliers)	12	33	49	40	21	-41	-16	-20
	scénario 4 : « nucléaire + ENR non électriques »							
PIB	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	-0,1	0,0	-0,1
Emplois (milliers)	10	28	43	37	47	-24	-1	-12

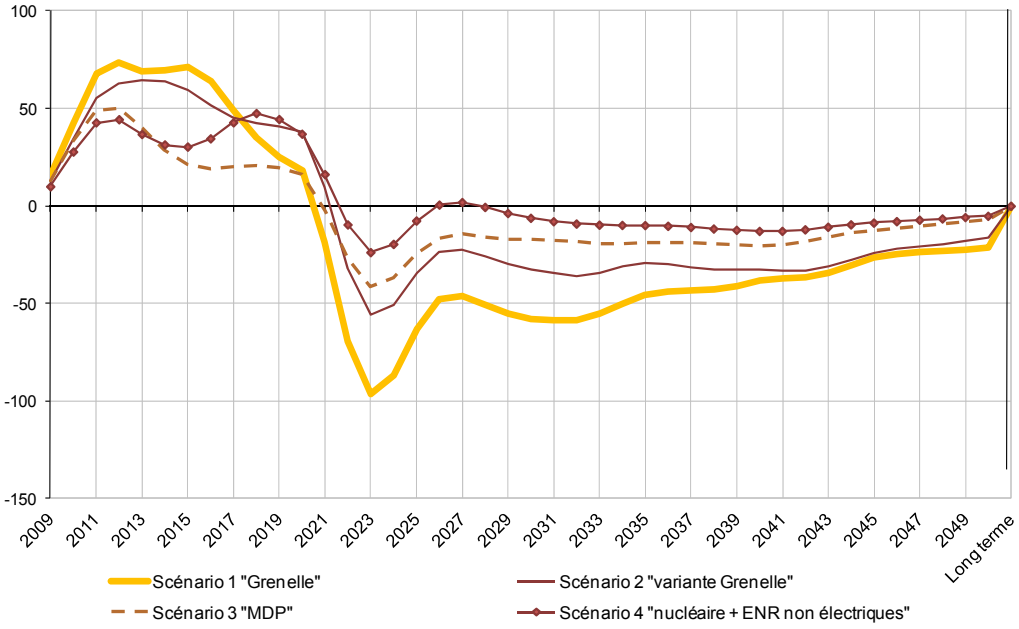
Source : Simulation Mésange, calculs DG Trésor.
Lecture : après 10 ans, en 2019, dans le scénario 1 (« Grenelle ») alternatif, le PIB est plus élevé de 0,3 % par rapport au scénario de référence et il y a 35 000 emplois supplémentaires dans l'économie.

Graphique 17 : impact sur le PIB des quatre scénarios sous l'hypothèse alternative d'un financement exclusif par l'impôt, entre 2009 et 2050 et sur le long terme



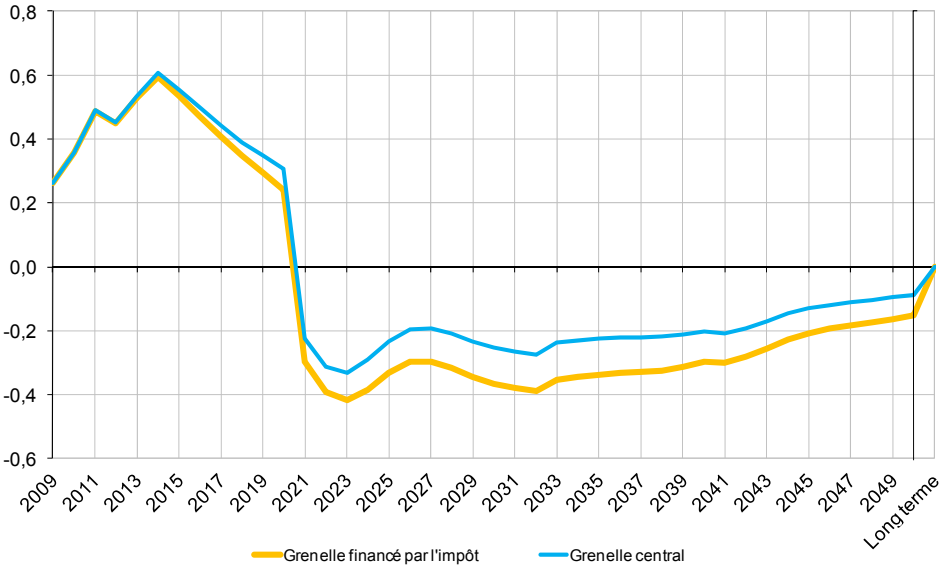
Source : Simulation Mésange, calculs DG Trésor.
Lecture : En 2015, le PIB est plus élevé de 0,5 % dans le scénario « Grenelle » alternatif, de 0,4 % dans le scénario « variante Grenelle » alternatif et de 0,2 % dans les scénarios alternatifs « nucléaire + ENR non électriques » et « MDP », par rapport au scénario de référence.

Graphique 18 : impact sur l'emploi des quatre scénarios sous l'hypothèse alternative d'un financement exclusif par l'impôt, entre 2009 et 2050 et sur le long terme



Source : Simulation Mésange, calculs DG Trésor.
Lecture : En 2015, 71 000 emplois supplémentaires sont créés dans le scénario « Grenelle » alternatif, 59 000 dans le scénario « variante Grenelle » alternatif, 30 000 dans le scénario « nucléaire + ENR non électriques » alternatif et 21 000 dans le scénario « MDP » alternatif, relativement au scénario de référence.

Graphique 19 : évolution du PIB dans le scénario « Grenelle » sous les hypothèses centrale et alternative d'un financement exclusif par l'impôt



Source : Simulation Mésange, calculs DG Trésor.
Lecture : Sous l'hypothèse alternative d'un financement exclusif par les impôts, en 2020, le PIB est plus élevé de 0,24 % dans le scénario « Grenelle », alors qu'il l'était de 0,31 % sous l'hypothèse centrale, par rapport au scénario de référence.

5. Conclusions

Dans les quatre scénarios envisagés, les investissements des ménages et des entreprises sont massifs. Les investissements en ENR, réalisés principalement entre 2009 et 2020, représentent, selon le scénario étudié, entre 0,14 et 0,73 point de PIB chaque année.

À court / moyen terme, malgré la stimulation provoquée par ces investissements et la substitution aux importations des combustibles fossiles, l'impact macroéconomique est finalement faible lorsque l'on tient compte des effets de bouclage et du financement des investissements. Jusqu'en 2020, il est dominé par les effets multiplicateurs de l'investissement. Le surcroît de croissance attendu est faible : 0,2 % la première année dans tous les scénarios, puis 0,1 % par an après la mise en œuvre du Grenelle dans les deux scénarios à fort investissement contre une relative stabilité du PIB dans les deux autres. Ces quatre scénarios conduisent à un PIB plus élevé de 0,2 % à 0,4 % en 2020 par rapport au scénario de référence. Le scénario 3 « MDP » envisageant l'utilisation d'investissements à l'étranger a priori moins coûteux (sur le modèle des « mécanismes de développement propre » – MDP – prévus par le protocole de Kyoto) conduit à un accroissement plus faible du PIB.

Selon les scénarios, **l'économie compte entre 20 000 et 70 000 emplois supplémentaires les dix premières années.**

Après 2020, l'activité et l'emploi sont au contraire réduits par l'arrêt des investissements et l'effet du bouclage macroéconomique (hausse des prix, hausses d'impôt). Le scénario 4 « nucléaire + ENR non électriques » conduit au résultat le moins défavorable.

Le scénario 2 « variante Grenelle » induit les impacts macroéconomiques maximums. Les investissements sont réalisés en France de la manière la plus efficace ; le résultat apparaît nettement plus favorable à celui du scénario 1 « Grenelle » dès 2020 et il ne lui est que légèrement inférieur auparavant. En effet, il nécessite relativement moins d'investissements, dont l'impact sur l'économie est positif à court terme mais négatif à moyen terme, du fait de son financement.

Comme tout exercice de simulation, les résultats présentés font appel à plusieurs hypothèses, à la fois sur les chroniques d'investissement anticipées et sur la modélisation des mécanismes macroéconomiques, et doivent être considérés avec prudence. En particulier, il n'est pas évident que les mécanismes incitatifs mobilisés soient bien calibrés pour générer les montants d'investissement prévus. Ensuite, les résultats sur la balance courante reposent sur des hypothèses sensibles de prix de l'énergie et d'évolution de la production nationale. Enfin, les modalités des financements publics du Grenelle ainsi que les possibles effets d'apprentissage jouent un rôle important sur les effets macroéconomiques à long terme.

Annexe 1 : La réduction de la dépendance énergétique

Nous faisons l'hypothèse que les ENR vont se substituer à des importations d'énergies fossiles et réduire la dépendance énergétique de la France. Les importations totales en France se montent par exemple à près de 138 Mtep en 2008, dont 89,6 Mtep en produits pétroliers dans leur ensemble, 13,4 Mtep en charbon (houille, lignite, produits de récupération, coke et produits agglomérés), 38,8 Mtep en gaz naturel, 0,4 Mtep d'ENR thermiques et de déchets et 4,2 Mtep d'exportation pour l'électricité[70].

Les coefficients de réduction de la dépendance énergétique traduisent les économies d'importation d'énergies fossiles et les exportations supplémentaires d'électricité permises par le développement de sources d'énergies alternatives.

La répartition des consommations des ménages pour le chauffage et l'eau sanitaire est la suivante (source ADEME, données CEREN) :

Gaz	50 %
Fioul domestique (produits pétroliers)	30 %
Électricité	20 %

Pour la chaleur, 1 ktep d'ENR remplace directement 1 ktep d'énergie fossile utilisée directement comme moyen de chauffage[71] à une exception près : le bois individuel (coefficient de 0,36, la réduction d'énergie n'étant obtenue que pour les primo acquisitions et non pour les renouvellements d'appareils de chauffage au bois). Si l'équipement ENR remplace un chauffage électrique, alors 1 ktep d'ENR remplace 2 ktep de gaz et 2,86 ktep de charbon[72], énergies fossiles utilisées comme entrants dans la production d'électricité. Notons enfin que si les pompes à chaleur permettent de générer 1 400 ktep d'ENR supplémentaires, elles consomment 50 % de cette énergie générée en électricité (pour une pompe à chaleur éligible au crédit d'impôt, i.e. ayant un coefficient de performance, ou COP, égal à 3)[73].

Pour l'électricité, en comparant les deux bilans énergétiques pour 2020, Vision « Centrale » et Variante « EnR Haut », nous constatons que l'ensemble des ENR remplacent pour 30 % du nucléaire[74], pour 40 % des énergies fossiles[75] (20 % de charbon et 80 % de gaz), et augmentent de 30 % les exportations d'électricité de la France (source RTE, 2009). De plus, les énergies fossiles entrent comme input dans la production d'électricité : 1 ktep d'ENR remplace 2 ktep de gaz et 2,86 ktep de charbon, énergies fossiles utilisées dans la production.

En 2020, la réduction des importations d'énergie fossile permise par le Grenelle est de 64 Mtep (dont un supplément d'exportations d'électricité d'un peu plus de 2 Mtep), soit 46 % du niveau des importations en 2008. La réduction de la dépendance énergétique est donc sensible.

---

[70] Source : Service de l'observation et des statistiques, MEEDDM, cf. http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Repere.pdf

[71] Par simplification, nous supposons donc implicitement que tous les équipements ont un rendement de 100%.

[72] Source : Commissariat général au développement durable, MEEDDM.

[73] La quantité de chaleur fournie par une PAC est égale à la somme de la quantité de chaleur prélevée dans l'environnement et à la quantité d'énergie électrique utilisée par la PAC. Le COP est égal au rapport entre la quantité de chaleur produite et la quantité d'énergie consommée ; il est généralement compris entre 2 et 4 et supérieur à 3 (plus exactement 3,3 pour pouvoir bénéficier du crédit d'impôt) pour une pompe performante.

[74] Les hypothèses retenues par RTE dans la trajectoire probable à moyen terme - jusqu'en 2015 - sont les suivantes. Le parc nucléaire est composé de 58 Réacteurs à Eau Pressurisée, répartis en trois paliers techniques standardisés. Le prototype RNR (réacteur à neutrons rapides) est définitivement arrêté en 2009. La durée des centrales est de 40 ans (les premiers déclassements n'interviendraient pas avant 2020), mais il n'est pas exclu qu'elle soit allongée à 60 ans. Des modifications de puissance unitaire des groupes existants sont envisagées, mais certaines ne pourraient être mises en œuvre qu'après 2015. L'EPR de Flamanville devrait être mis en service en 2012, et celui de Penly en 2017.

[75] Par hypothèse dans la trajectoire probable à moyen terme - jusqu'en 2015, sur les 15,6 GW de puissance exploitable au 1er janvier 2009, 3 600 MW de charbon s'arrêteront définitivement entre 2013 et 2015 et 750 MW de fioul s'arrêteront en 2015 ou seront convertis en cycles combinés au gaz. En revanche, s'y ajouteront 20 300 MW de cycles combinés au gaz, dont 4 300 MW mis en service entre 2009 et 2013, 555 MW de fioul mis en service en 2009 et 2010 et 800 MW de charbon.

Tableau 9 : coefficients de réduction de la dépendance énergétique

Énergie	1 ktep renouvelable remplace x ktep d'énergies fossiles et permet d'exporter y ktep d'électricité supplémentaire
1. Chaleur	
Bois individuel (*)	0,23 ktep de gaz 0,11 ktep de produits pétroliers 0,02 ktep de charbon 0,004 ktep d'électricité
Solaire thermique individuel	0,63 ktep de gaz 0,3 ktep de produits pétroliers 0,05 ktep de charbon 0,01 ktep d'électricité
Fonds Chaleur	
PAC individuelle (**)	0,31 ktep de gaz 0,3 ktep de produits pétroliers -0,07 ktep de charbon -0,09 ktep d'électricité
2. Électricité (**)	
Hydraulique	0,64 ktep de gaz 0,23 ktep de charbon 0,3 ktep d'électricité
Eolien (terrestre et maritime)	
Photovoltaïque	
Biomasse dont biogaz	
3. Biocarburants (***)	0,75 ktep de produits pétroliers

Pour rappel, pour l'électricité produite à partir de nucléaire, le coefficient de substitution est 0,260606 tep/MWh et toutes les autres formes d'électricité (production par une centrale thermique classique, hydraulique, éolienne, marémotrice, photovoltaïque, etc., échanges avec l'étranger, consommation) sont comptabilisées selon la méthode du contenu énergétique, avec le coefficient 0,086 tep/MWh (source : DGEC).

(*) Il faut tenir compte du pourcentage d'énergie économisée par l'installation des inserts/chaudières à bois individuels de 36 %.

(**) La quantité de chaleur fournie par la PAC est égale à la somme de la quantité de chaleur prélevée dans l'environnement et à la quantité d'énergie électrique utilisée par la PAC (Qe). Le COP est égal au rapport entre la quantité de chaleur produite (Qutile) et la quantité d'énergie consommée (Qe) ; il est généralement compris entre 2 et 4 et il est ici supérieur à 3 : COP = Qutile/Qe = 1+Qenr/Qe. La quantité d'énergie électrique utilisée par la PAC (Qe) est donc égale à : Qe=Qenr/(COP-1). Ainsi 1 ktep d'ENR pour le compte de la PAC nécessite 0,5 ktep d'électricité.

Finalement, 1 ktep d'ENR pour le compte de la PAC remplace, côté importations, 0,38 ktep de gaz et 0,3 ktep de produits pétroliers, mais nécessite d'importer 0,11 ktep de charbon et 0,1 ktep d'électricité.

(***) D'après l'ADEME, 2002 :

	Énergie non renouvelable mobilisée en MJ par MJ de produits
Essence	1,15
Éthanol blé	0,489
Gazole	1,09
EMHV colza	0,334

1 ktep d'éthanol permet donc d'économiser 1,15-0,489 = 0,661 ktep de produits pétroliers.

1 ktep d'EMHV colza permet donc d'économiser 1,09-0,334 = 0,756 ktep de produits pétroliers.

Nous supposons enfin que les biocarburants remplacent pour 10 % de l'essence et 90 % du gazole.

Lecture : 1 ktep produit dans le cadre du Fonds Chaleur de l'ADEME permet d'économiser 0,63 ktep d'importations de gaz, 0,3 ktep d'importations de produits pétroliers, 0,05 ktep d'importations de charbon et d'exporter 0,01 ktep d'électricité supplémentaire.

Annexe 2 : Hypothèses du scénario 1 (« Grenelle »)

Tableau 10 : hypothèses sur les coûts d'investissement et les aides pour les filières produisant de la chaleur et de l'électricité

	Durée de vie (ans)	Durée de construction (ans)	Coût d'investissement (Chaleur : €/appareil ; Électricité : €/MW)	Baisse du coût d'investissement par an	Taux du crédit d'impôt[76] (%)	Coût de pose (en % du coût d'investissement)	Tarif de rachat (€/MWh)	Durée annuelle d'exploitation (heures)
	Chaleur							
Bois individuel	20	1	3 000	3 %		20		
- Primo-acquisitions (55 % de l'investissement annuel)					50			
- Nouvelle acquisition (45 % de l'investissement annuel)					40 en 2009 25 de 2010 à 2020			
Pompes à chaleur (COP = 3)	20	2,4	9 000		40 en 2009 25 de 2010 à 2020	20		
Solaire thermique	20	4,0	6 000	400 € jusqu'en 2013 200 € après 2013		20		
	Électricité							
Nucléaire	40	8	2 155 les frais de pré-exploitation la 1ère année 15 % les 3 1ères années 85 % les 5 années suivantes					8760 (avec un taux de disponibilité de 85 %)
Cycles combinés au gaz	25	2	750 jusqu'en 2019 700 dès 2020					8760 (avec un taux de disponibilité de 92 %)
Petite hydroélectricité	30	3	2 100 10 % la 1ère année 30 % la 2ème année 60 % la 3ème année				75	Entre 1 000 et 2 300
Biomasse électrique	20	1	3 000				128[77]	6 000
Éolien	20	1		2 % à partir de 2012				
- Terrestre			1 300				82	2 400
- En mer			2 600				130	3 100
Solaire photovoltaïque							[78]	1 kW installé produit 1 MWh par an jusqu'en 2012, puis 1,2 MWh par an
- Sur bâti (50 % de l'investissement annuel)			6 750	5 %	50		550	
- Au sol (50 % de l'investissement annuel)			3 800	4 % à partir de 2012			300	

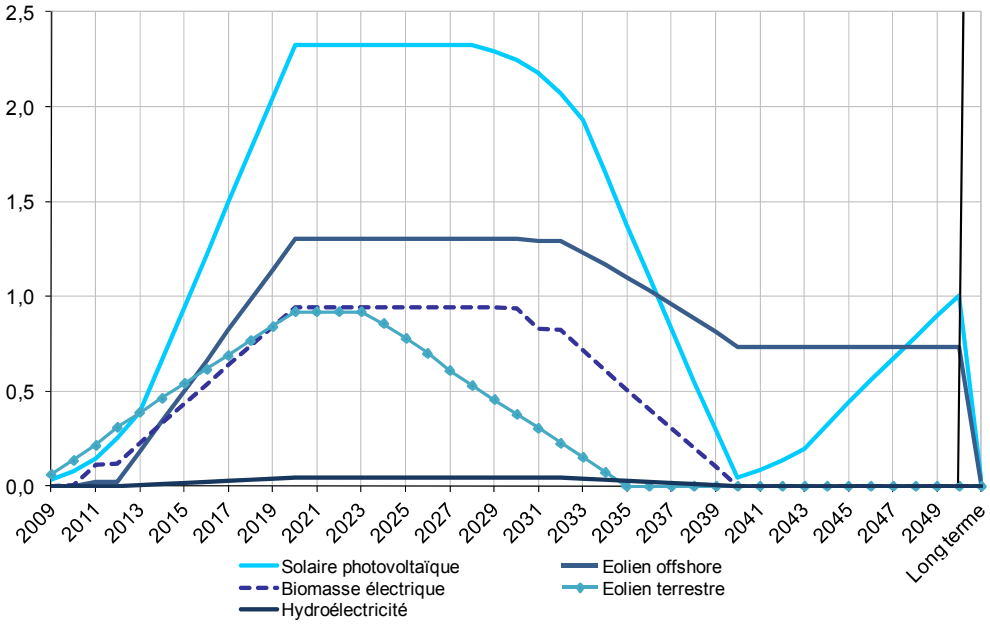
Source : DGEC, MEEDDM, loi n°2008-1425 de finances pour 2009 du 27 décembre 2008, arrêtés des 10 juillet 2006 et 1er mars 2007, appel d'offres « biomasse 2 » lancé le 9 décembre 2006, calculs DG Trésor

[76] Nous n'avons pas pris en compte les plafonds des dépenses pour calculer les crédits d'impôt.

[77] Nous n'avons pris en compte ni le nouvel arrêté tarifaire du 28 décembre 2009, qui fixe les tarifs entre 125 et 155 €/MWh, ni le résultat de l'appel d'offre « Biomasse 3 » dont le prix moyen communiqué par la CRE le 15 mars 2010 est de 145 €/MWh. Le tarif de rachat que nous avons retenu est donc plutôt un minorant.

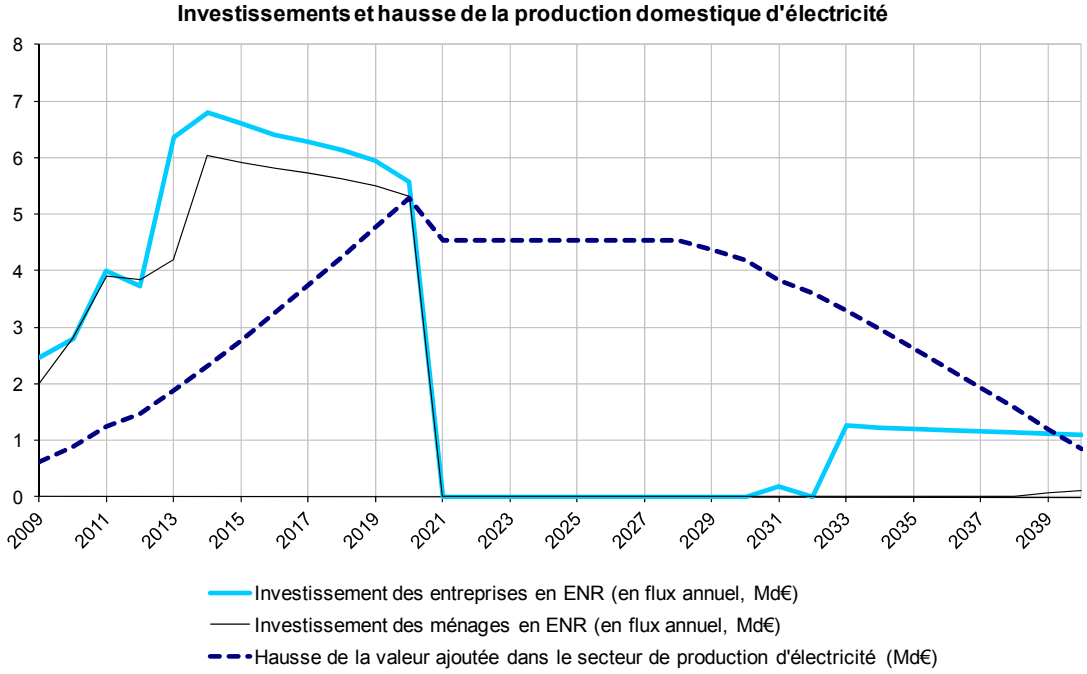
[78] Nous n'avons pas pris en compte l'arrêté des 12 janvier, abrogé par l'arrêté du 31 août 2010 et modifié par les arrêtés des 15 janvier 2010 et 16 mars 2010, concernant les tarifs de rachat de l'énergie produite par le solaire photovoltaïque. Ces arrêtés créent un troisième tarif, dit « d'intégration simplifiée », et modifient les formules d'indexation des tarifs.

Graphique 20 : les flux de CSPE par filière du secteur électrique (en Md€).



Source : Simulation Mésange, calculs DG Trésor.
Lecture : En 2020, la CSPE consacrée au financement du solaire photovoltaïque s'élève à 2,3 milliards d'euros.

Graphique 21 : les flux d'investissements, financement et impact sur la valeur ajoutée du secteur énergétique national.



Source : Simulation Mésange, calculs DG Trésor.
Lecture : En 2020, en écart par rapport au scénario de référence, l'investissement supplémentaire des entreprises consacré à l'augmentation des capacités de production d'énergies renouvelables est de 5,6 milliards d'euros ; l'investissement des ménages dans ce domaine est de 5,3 milliards d'euros ; la valeur ajoutée nationale dans le secteur de l'énergie est plus importante de 5,8 milliards d'euros.

Annexe 3. Détail des scénarios

Le scénario 1 « Grenelle »

(en flux annuel, Md€)	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Investissement des entreprises	2,46	2,79	3,99	3,74	6,37	6,80	6,61	6,40	6,27	6,14	5,94	5,58	0,00	0,00	0,00
Investissement des ménages	1,99	2,80	3,90	3,84	4,20	6,04	5,92	5,82	5,72	5,64	5,51	5,32	0,00	0,00	0,00
Revenus issus de la CSPE	0,09	0,22	0,50	0,71	1,19	1,81	2,43	3,05	3,67	4,29	4,91	5,53	5,53	5,53	5,53
Crédits d'impôt	1,46	1,60	1,81	2,08	1,97	2,72	2,61	2,48	2,43	2,38	2,32	2,23	0,00	0,00	0,00
Réduction importations de gaz (Mtep)	0,35	0,80	1,64	2,16	3,06	4,01	4,99	5,98	7,00	8,04	9,10	10,16	10,16	10,16	10,16
“ ” produits pétroliers (Mtep)	1,64	1,95	2,21	2,34	2,57	2,82	3,07	3,49	3,91	4,35	4,79	5,24	2,76	2,76	2,76
Réduction du charbon importé (Mtep)	0,07	0,16	0,30	0,41	0,59	0,79	0,98	1,18	1,38	1,58	1,78	1,98	1,98	1,98	1,98
Hausse des exportations d'électricité (Mtep)	0,08	0,17	0,33	0,45	0,66	0,88	1,09	1,31	1,53	1,75	1,98	2,20	2,20	2,20	2,20

(en flux annuel, Md€)	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Investissement des entreprises	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	1,25	1,23	1,20	1,18	1,16	1,13
Investissement des ménages	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Revenus issus de la CSPE	5,47	5,39	5,31	5,22	5,14	5,04	4,91	4,65	4,46	4,07	3,55	3,02	2,57	2,11	1,66
Crédits d'impôt	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Réduction importations de gaz (Mtep)	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	9,81	9,37	8,56	8,05	7,32	6,55	5,77	4,96	4,13	3,27
“ ” produits pétroliers (Mtep)	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	2,67	2,55	2,29	2,15	1,92	1,68	1,42	1,15	0,88	0,59
Réduction du charbon importé (Mtep)	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,91	1,83	1,70	1,60	1,47	1,34	1,21	1,08	0,95	0,82
Hausse des exportations d'électricité (Mtep)	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,12	2,03	1,89	1,78	1,64	1,51	1,38	1,25	1,12	0,99

(en flux annuel, Md€)	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	LT
Investissement des entreprises	1,11	1,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Investissement des ménages	0,07	0,10	0,14	0,18	0,22	0,41	0,39	0,37	0,35	0,34	0,32	0,30	0,03
Revenus issus de la CSPE	1,21	0,78	0,82	0,87	0,93	1,05	1,17	1,29	1,41	1,52	1,63	1,74	0,02
Crédits d'impôt	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Réduction importations de gaz (Mtep)	2,41	1,53	1,53	1,52	1,49	1,45	1,41	1,37	1,33	1,28	1,24	1,20	0,18
“ ” produits pétroliers (Mtep)	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Réduction du charbon importé (Mtep)	0,68	0,55	0,55	0,54	0,53	0,52	0,50	0,49	0,47	0,46	0,44	0,43	0,06
Hausse des exportations d'électricité (Mtep)	0,85	0,72	0,72	0,71	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,58	0,56	0,08

Le scénario 2 « variante Grenelle »

(en flux annuel, Md€)	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Investissement des entreprises	2,24	2,45	3,52	3,09	5,57	5,29	5,17	5,03	4,96	4,89	4,75	4,44	0,00	0,00	0,00
Investissement des ménages	1,29	1,77	2,56	3,09	3,17	3,20	3,24	3,30	3,37	3,44	3,46	3,43	0,00	0,00	0,00
Revenus issus de la CSPE	0,06	0,14	0,35	0,45	0,81	1,16	1,51	1,86	2,21	2,56	2,92	3,27	3,27	3,27	3,27
Crédits d'impôt	1,12	1,09	1,14	1,30	1,22	1,07	1,05	1,00	1,04	1,08	1,10	1,09	0,00	0,00	0,00
Réduction importations de gaz (Mtep)	0,34	0,76	1,57	2,11	3,04	3,97	4,93	5,90	6,90	7,92	8,96	9,99	9,99	9,99	9,99
“ ” produits pétroliers (Mtep)	1,63	1,94	2,19	2,35	2,59	2,85	3,11	3,53	3,96	4,40	4,85	5,30	2,82	2,82	2,82
Réduction du charbon importé (Mtep)	0,07	0,15	0,29	0,39	0,57	0,76	0,94	1,13	1,32	1,51	1,70	1,89	1,89	1,89	1,89
Hausse des exportations d'électricité (Mtep)	0,08	0,17	0,32	0,42	0,63	0,84	1,04	1,25	1,46	1,67	1,88	2,08	2,08	2,08	2,08

(en flux annuel, Md€)	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Investissement des entreprises	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	1,25	1,23	1,20	1,18	1,16	1,13
Investissement des ménages	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Revenus issus de la CSPE	3,20	3,13	3,05	2,96	2,88	2,80	2,72	2,53	2,45	2,19	1,93	1,68	1,49	1,31	1,12
Crédits d'impôt	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Réduction importations de gaz (Mtep)	9,99	9,99	9,99	9,99	9,99	9,65	9,23	8,43	7,90	7,14	6,38	5,60	4,80	3,97	3,13
‘’ ‘’ produits pétroliers (Mtep)	2,82	2,82	2,82	2,82	2,82	2,74	2,62	2,37	2,21	1,96	1,71	1,45	1,18	0,89	0,60
Réduction du charbon importé (Mtep)	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,82	1,74	1,60	1,50	1,38	1,26	1,14	1,01	0,89	0,76
Hausse des exportations d'électricité (Mtep)	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,01	1,92	1,78	1,67	1,54	1,42	1,29	1,17	1,04	0,91

(en flux annuel, Md€)	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	LT
Investissement des entreprises	1,11	1,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Investissement des ménages	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Revenus issus de la CSPE	0,93	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,00
Crédits d'impôt	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Réduction importations de gaz (Mtep)	2,27	1,40	1,40	1,40	1,36	1,31	1,26	1,21	1,17	1,12	1,07	1,02	0,00
‘’ ‘’ produits pétroliers (Mtep)	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Réduction du charbon importé (Mtep)	0,63	0,50	0,50	0,50	0,48	0,47	0,45	0,43	0,42	0,40	0,38	0,37	0,00
Hausse des exportations d'électricité (Mtep)	0,78	0,66	0,66	0,66	0,64	0,61	0,59	0,57	0,55	0,52	0,50	0,48	0,00

Le scénario 3 « MDP » (avec investissements à l’étranger)

(en flux annuel, Md€)	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Investissement des entreprises	2,24	2,40	2,46	3,05	2,90	2,70	2,62	2,51	2,48	2,44	2,33	2,06	0,00	0,00	0,00
Investissement des ménages	1,29	1,77	2,56	2,19	2,29	2,35	2,41	2,49	2,57	2,66	2,71	2,69	0,00	0,00	0,00
Revenus issus de la CSPE	0,06	0,14	0,22	0,31	0,39	0,47	0,56	0,64	0,72	0,80	0,88	0,96	0,96	0,96	0,96
Crédits d'impôt	1,26	1,37	1,57	1,81	1,70	1,70	1,83	1,93	2,11	2,29	2,45	2,59	0,83	0,82	0,81
Réduction importations de gaz (Mtep)	0,34	0,76	1,31	1,80	2,28	2,79	3,32	3,86	4,43	5,03	5,63	6,24	6,24	6,24	6,24
‘’ ‘’ produits pétroliers (Mtep)	1,64	1,94	2,13	2,27	2,42	2,58	2,75	3,09	3,43	3,78	4,14	4,50	2,02	2,02	2,02
Réduction du charbon importé (Mtep)	0,07	0,15	0,23	0,33	0,41	0,49	0,58	0,66	0,75	0,84	0,94	1,03	1,03	1,03	1,03
Hausse des exportations d'électricité (Mtep)	0,08	0,16	0,25	0,36	0,45	0,54	0,63	0,72	0,81	0,91	1,00	1,09	1,09	1,09	1,09

(en flux annuel, Md€)	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Investissement des entreprises	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Investissement des ménages	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Revenus issus de la CSPE	0,90	0,83	0,75	0,65	0,58	0,50	0,42	0,35	0,27	0,19	0,11	0,03	0,02	0,02	0,01
Crédits d'impôt	0,80	0,78	0,75	0,72	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Réduction importations de gaz (Mtep)	6,24	6,24	6,24	6,24	6,24	5,90	5,48	4,93	4,44	3,98	3,49	2,98	2,46	1,91	1,34
‘’ ‘’ produits pétroliers (Mtep)	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	1,93	1,81	1,63	1,49	1,33	1,17	1,00	0,82	0,62	0,42
Réduction du charbon importé (Mtep)	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	0,96	0,88	0,79	0,70	0,63	0,55	0,47	0,39	0,31	0,23
Hausse des exportations d'électricité (Mtep)	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,02	0,93	0,84	0,74	0,66	0,57	0,49	0,41	0,33	0,24

(en flux annuel, Md€)	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	LT
Investissement des entreprises	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Investissement des ménages	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Revenus issus de la CSPE	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Crédits d'impôt	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Réduction importations de gaz (Mtep)	0,75	0,17	0,17	0,17	0,14	0,12	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02	0,00	0,00
‘’ ‘’ produits pétroliers (Mtep)	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Réduction du charbon importé (Mtep)	0,14	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
Hausse des exportations d'électricité (Mtep)	0,16	0,08	0,08	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00

Le scénario 4 « nucléaire + ENR non électrique »

(en flux annuel, Md€)	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Investissement des entreprises	0,99	1,07	0,79	1,18	1,49	1,33	1,28	1,21	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Investissement des ménages	1,77	2,46	3,43	3,20	3,40	4,53	4,48	4,44	4,41	4,39	4,32	4,19	0,00	0,00	0,00
Revenus issus de la CSPE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Crédits d'impôt	1,31	1,38	1,50	1,67	1,46	1,76	1,70	1,61	1,61	1,60	1,57	1,53	0,00	0,00	0,00
Réduction importations de gaz (Mtep)	0,19	0,43	0,78	1,03	1,32	1,65	2,00	4,43	6,87	7,29	7,72	8,16	8,16	8,16	8,16
‘’ ‘’ produits pétroliers (Mtep)	1,64	1,94	2,12	2,25	2,40	2,57	2,75	3,08	3,43	3,79	4,16	4,52	2,04	2,04	2,04
Réduction du charbon importé (Mtep)	0,01	0,03	0,05	0,06	0,08	0,09	0,11	0,87	1,62	1,65	1,67	1,70	1,70	1,70	1,70
Hausse des exportations d'électricité (Mtep)	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,97	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93

(en flux annuel, Md€)	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Investissement des entreprises	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Investissement des ménages	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Revenus issus de la CSPE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Crédits d'impôt	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Réduction importations de gaz (Mtep)	8,16	8,16	8,16	8,16	8,16	7,97	7,73	7,37	7,12	6,84	6,51	6,15	5,78	5,38	4,96
‘’ ‘’ produits pétroliers (Mtep)	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	1,95	1,84	1,66	1,53	1,38	1,21	1,03	0,84	0,64	0,43
Réduction du charbon importé (Mtep)	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,68	1,67	1,65	1,63	1,62	1,60	1,58	1,56	1,54	1,51
Hausse des exportations d'électricité (Mtep)	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	1,92

(en flux annuel, Md€)	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	LT
Investissement des entreprises	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Investissement des ménages	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Revenus issus de la CSPE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Crédits d'impôt	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Réduction importations de gaz (Mtep)	4,53	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	0,00
‘’ ‘’ produits pétroliers (Mtep)	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Réduction du charbon importé (Mtep)	1,49	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	0,00
Hausse des exportations d'électricité (Mtep)	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	0,00

Annexe 4. Détail des résultats macroéconomiques

Tableau 11 : impacts macroéconomiques des quatre scénarios étudiés, hypothèse centrale

en %, en écart par rapport au scénario de référence	1 an 2009	2 ans 2010	3 ans 2011	5 ans 2013	10 ans 2018	15 ans 2023	20 ans 2028	25 ans 2033	40 ans 2048	LT
scénario 1 « Grenelle »										
PIB	**+ 0,3**	**+ 0,4**	**+ 0,5**	**+ 0,5**	**+ 0,4**	**- 0,3**	**- 0,2**	**- 0,2**	**- 0,1**	**+ 0,0**
dont investissements	*+ 0,2*	*+ 0,2*	*+ 0,3*	*+ 0,4*	*+ 0,3*	*- 0,2*	*- 0,1*	*- 0,1*	*- 0,0*	*+ 0,0*
dont hausse de l'impôt générique	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,1*	*- 0,1*	*- 0,1*	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,0*	*+ 0,0*
dont hausse du coût de l'énergie	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,1*	*- 0,1*	*- 0,1*	*- 0,1*	*+ 0,0*	*+ 0,0*
dont hausse de la production locale d'énergie	*+ 0,0*	*+ 0,1*	*+ 0,1*	*+ 0,1*	*+ 0,2*	*+ 0,2*	*+ 0,1*	*- 0,0*	*- 0,1*	*+ 0,0*
Emplois (milliers)	**+ 16**	**+ 43**	**+ 68**	**+ 71**	**+ 45**	**- 78**	**- 29**	**- 35**	**- 13**	**+ 0**
dont investissements	*+ 12*	*+ 32*	*+ 49*	*+ 53*	*+ 37*	*- 49*	*- 17*	*- 12*	*- 2*	*+ 0*
dont hausse de l'impôt générique	*- 3*	*- 10*	*- 15*	*- 19*	*- 22*	*- 3*	*- 2*	*- 1*	*- 0*	*+ 0*
dont hausse du coût de l'énergie	*- 0*	*- 1*	*- 1*	*- 5*	*- 21*	*- 26*	*- 19*	*- 12*	*+ 1*	*+ 0*
dont hausse de la production locale d'énergie	*+ 3*	*+ 9*	*+ 16*	*+ 21*	*+ 38*	*+ 23*	*+ 14*	*- 5*	*- 12*	*+ 0*
scénario 2 : « variante Grenelle »										
PIB	**+ 0,2**	**+ 0,3**	**+ 0,4**	**+ 0,5**	**+ 0,4**	**- 0,2**	**- 0,1**	**- 0,1**	**- 0,1**	**+ 0,0**
dont investissements	*+ 0,1*	*+ 0,2*	*+ 0,3*	*+ 0,3*	*+ 0,2*	*- 0,1*	*- 0,1*	*- 0,0*	*- 0,0*	*+ 0,0*
dont hausse de l'impôt générique	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,1*	*- 0,1*	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,0*	*+ 0,0*
dont hausse du coût de l'énergie	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,1*	*- 0,1*	*- 0,1*	*- 0,0*	*+ 0,0*	*+ 0,0*
dont hausse de la production locale d'énergie	*+ 0,0*	*+ 0,1*	*+ 0,1*	*+ 0,1*	*+ 0,2*	*+ 0,2*	*+ 0,1*	*- 0,0*	*- 0,1*	*+ 0,0*
Emplois (milliers)	**+ 13**	**+ 35**	**+ 56**	**+ 66**	**+ 49**	**- 45**	**- 14**	**- 23**	**- 14**	**+ 0**
dont investissements	*+ 10*	*+ 25*	*+ 39*	*+ 44*	*+ 26*	*- 36*	*- 12*	*- 8*	*- 2*	*+ 0*
dont hausse de l'impôt générique	*- 2*	*- 7*	*- 10*	*- 12*	*- 9*	*- 2*	*- 1*	*- 1*	*- 0*	*+ 0*
dont hausse du coût de l'énergie	*- 0*	*- 0*	*- 1*	*- 3*	*- 12*	*- 15*	*- 10*	*- 6*	*+ 1*	*+ 0*
dont hausse de la production locale d'énergie	*+ 3*	*+ 9*	*+ 15*	*+ 21*	*+ 37*	*+ 23*	*+ 14*	*- 5*	*- 12*	*+ 0*
scénario 3 : « MDP »										
PIB	**+ 0,2**	**+ 0,3**	**+ 0,3**	**+ 0,3**	**+ 0,2**	**- 0,2**	**- 0,1**	**- 0,1**	**- 0,1**	**+ 0,0**
dont investissements	*+ 0,1*	*+ 0,2*	*+ 0,2*	*+ 0,2*	*+ 0,1*	*- 0,1*	*- 0,1*	*- 0,1*	*- 0,0*	*+ 0,0*
dont hausse de l'impôt générique	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,1*	*- 0,1*	*- 0,1*	*- 0,1*	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,0*	*+ 0,0*
dont hausse du coût de l'énergie	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,0*	*+ 0,0*	*+ 0,0*
dont hausse de la production locale d'énergie	*+ 0,0*	*+ 0,1*	*+ 0,1*	*+ 0,1*	*+ 0,2*	*+ 0,1*	*+ 0,0*	*- 0,0*	*- 0,1*	*+ 0,0*
Emplois (milliers)	**+ 12**	**+ 33**	**+ 49**	**+ 41**	**+ 23**	**- 38**	**- 13**	**- 17**	**- 8**	**+ 0**
dont investissements	*+ 10*	*+ 25*	*+ 36*	*+ 30*	*+ 15*	*- 23*	*- 8*	*- 7*	*- 1*	*+ 0*
dont hausse de l'impôt générique	*- 3*	*- 8*	*- 13*	*- 16*	*- 18*	*- 9*	*- 7*	*- 1*	*- 0*	*+ 0*
dont hausse du coût de l'énergie	*- 0*	*- 0*	*- 1*	*- 2*	*- 4*	*- 4*	*- 2*	*- 0*	*+ 1*	*+ 0*
dont hausse de la production locale d'énergie	*+ 3*	*+ 9*	*+ 15*	*+ 18*	*+ 24*	*+ 11*	*+ 7*	*- 6*	*- 8*	*+ 0*
scénario 4 « nucléaire + ENR non électriques »										
PIB	**+ 0,2**	**+ 0,2**	**+ 0,3**	**+ 0,3**	**+ 0,3**	**- 0,1**	**- 0,0**	**- 0,1**	**- 0,1**	**+ 0,0**
dont investissements	*+ 0,1*	*+ 0,1*	*+ 0,2*	*+ 0,2*	*+ 0,1*	*- 0,1*	*- 0,1*	*- 0,0*	*- 0,0*	*+ 0,0*
dont hausse de l'impôt générique	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,1*	*- 0,1*	*- 0,1*	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,0*	*- 0,0*	*+ 0,0*
dont hausse du coût de l'énergie	*+ 0,0*	*+ 0,0*	*+ 0,0*	*+ 0,0*	*+ 0,0*	*+ 0,0*	*+ 0,0*	*+ 0,0*	*+ 0,0*	*+ 0,0*
dont hausse de la production locale d'énergie	*+ 0,0*	*+ 0,1*	*+ 0,1*	*+ 0,1*	*+ 0,3*	*+ 0,1*	*+ 0,1*	*+ 0,0*	*- 0,0*	*+ 0,0*
Emplois (milliers)	**+ 10**	**+ 28**	**+ 43**	**+ 37**	**+ 47**	**- 24**	**- 1**	**- 10**	**- 6**	**+ 0**
dont investissements	*+ 7*	*+ 18*	*+ 27*	*+ 24*	*+ 8*	*- 20*	*- 7*	*- 5*	*- 0*	*+ 0*
dont hausse de l'impôt générique	*- 3*	*- 9*	*- 13*	*- 15*	*- 14*	*- 2*	*- 1*	*- 1*	*- 0*	*+ 0*
dont hausse du coût de l'énergie	*+ 0*	*+ 0*	*+ 0*	*+ 0*	*+ 0*	*+ 0*	*+ 0*	*+ 0*	*+ 0*	*+ 0*
dont hausse de la production locale d'énergie	*+ 3*	*+ 7*	*+ 12*	*+ 12*	*+ 44*	*+ 16*	*+ 12*	*+ 0*	*- 6*	*+ 0*

Lecture : après 10 ans, dans le scénario Grenelle, le PIB est plus élevé de 0,4 % par rapport au scénario de référence ; la contribution au PIB de la hausse de l'investissement est de + 0,3 %. L'emploi total est plus élevé de 45 000, la contribution de la hausse de l'investissement étant de 37 000 emplois.

CHAPITRE 4 : VOLET INVESTISSEMENT DANS LES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT

Pierre FERY, Caroline KLEIN

Dans le cadre du « Grenelle de l'Environnement », le Président de la République a annoncé un programme très ambitieux d'investissement dans les infrastructures de transport. Après une décennie d'investissements relativement modestes[79], et relativement constants d'une année sur l'autre, l'orientation donnée par la loi n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement, dite loi Grenelle I, constitue une importante accélération de l'investissement public dans le secteur des transports[80].

Le Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer (MEEDDM) justifie cette orientation par le fait que ces investissements publics constituent une « bonne » dépense, qui soutiendra la croissance et l'emploi à court et moyen termes, et qui contribuera aux objectifs nationaux de réduction des émissions de CO_2 à moyen et long termes. Sans préjuger de la rentabilité socio-économique des projets du Grenelle, dont on notera toutefois qu'elle n'a, pour la plupart des projets, pas fait l'objet d'évaluation en amont des annonces, ce chapitre examine les conséquences d'un tel programme d'investissement sur l'activité économique de la France.

La première section expose les hypothèses retenues en matière de montant et de calendrier des investissements, et des besoins de financement public. La deuxième section expose les résultats d'évaluation du scénario central, dit scénario Grenelle, tandis que la troisième section présente diverses variantes d'évaluation prenant en compte les gains spécifiques attendus du volet « transport » du Grenelle, tant en termes d'économies d'énergie que d'avantages socio-économiques au sens large.

1. Les hypothèses retenues en matière d'investissement et de financement des projets

La loi Grenelle I comporte différentes mesures dans le secteur des transports :

- des orientations en matière d'investissement : projets d'infrastructures et d'entretien des réseaux (transports ferroviaires, fluviaux, urbains), limitation des investissements aériens et routiers, amélioration de la compétitivité des ports maritimes ;
- des mesures de soutien au développement de certains services : autoroutes ferroviaires et autoroutes de la mer, création d'opérateurs ferroviaires de proximité ;
- l'encouragement de bonnes pratiques : covoiturage et éco-partage, plan de déplacements urbains, plan de déplacements d'entreprise, formation des conducteurs de poids lourds à l'éco-conduite ;
- des mesures de régulation sectorielle (navigation aérienne pour lutter contre les nuisances sonores, agence de régulation des activités ferroviaires, …) et d'orientation de la demande (éco-pastille pour les véhicules particuliers) ;
- des orientations en matière de recherche et développement dans les secteurs aérien et routier ;
- la mise en œuvre d'une écotaxe sur les poids lourds, annoncée dans la loi à partir de 2011.

Ce chapitre ne traite que des mesures relatives aux dépenses d'investissement dans les infrastructures. La taxe kilométrique sur les poids lourds (éco-redevance) est intégrée au modèle comme une source de financement de la puissance publique. Les autres mesures (soutien à certains services de transport, encouragement des bonnes pratiques, régulation sectorielle, etc.) ne sont pas prises en compte. L'impact diffus de ces mesures les rend en effet difficilement quantifiables dans le cadre d'une évaluation macroéconomique.

1.1. Méthodologie

1.1.1. Construction du scénario tendanciel de référence

L'impact macroéconomique du Grenelle de l'environnement est analysé par différence avec le scénario de référence qui aurait eu lieu en l'absence du Grenelle. Dans une approche réaliste, le scénario de référence est supposé prendre en compte une certaine réorientation des investissements vers les modes respectueux de l'environnement mais avec une ampleur moindre et un calendrier moins resserré que le scénario Grenelle.

Ainsi, pour chacun des projets d'investissement explicitement mentionnés dans la loi Grenelle I, il a été déterminé son caractère « additionnel » par rapport au scénario de référence : ce projet aurait-il été réalisé

[79] Environ 19,5 Md€$_{08}$/an tous modes confondus sur 2000-2008, contre 22,3 Md€$_{08}$/an sur 1990-1999.
[80] Les calculs réalisés pour la présente étude prévoient 25,9 Md€$_{08}$/an sur la période 2009-2020.

de toute façon, et l'aurait-il été à la même date et dans les mêmes conditions ? Selon la réponse apportée, le Grenelle, soit joue un rôle d'accélérateur pour le projet considéré, soit accroît le volume d'investissement par rapport au scénario de référence.

Les montants et les dates de mise en service retenus dans la présente étude se conforment scrupuleusement aux données recueillies auprès du MEEDDM et des établissements publics concernés. Dans le scénario pris comme référence, des hypothèses plus prudentes ont été retenues du fait i) de la requalification de nombreux partenariats public-privé (PPP) en dette publique sous contrainte du Pacte de stabilité et de croissance qui conduirait à annuler des projets et ii) d'une révision probable à la baisse des programmes d'investissements locaux en particulier en transports collectifs, en raison des conséquences insoutenables du point de vue politique sur le niveau de la fiscalité locale.

Outre les grands projets connus et relativement bien définis, l'investissement dans les infrastructures de transport recouvre également des agrégats de dépenses difficiles à délimiter car portant sur de nombreuses opérations de faible ampleur et d'impact diffus sur le territoire. Financées dans le cadre des Contrats de Projets État-Région (CPER) ou intégralement à la charge des collectivités locales, ces opérations sont de nature très diverse[81] et il semble illusoire de chercher à les détailler toutes dans la présente étude. Il est supposé ici que la plupart de ces investissements restent inchangés en volume, entre le scénario de référence et le scénario Grenelle[82]. Leurs montants sont estimés d'après les volumes globaux observés sur la période 1990-2008, déduction faite des grands projets nommément identifiés.

1.1.2. Étalement des travaux dans le temps

En fonction de la durée présumée des travaux, des profils types d'étalement de l'investissement (en cloche) ont été retenus (voir tableau illustratif ci-dessous ; des calculs comparables ont été réalisés pour des durées plus longues).

Tableau 1 : échéancier des investissements (en pourcentage du volume d'investissement)

Durée des travaux (années)	1	2	3	4	5	6	7
2	50 %	50 %					
3	25 %	50 %	25 %				
4	15 %	25 %	30 %	30 %			
5	15 %	20 %	20 %	25 %	20 %		
6	10 %	15 %	20 %	25 %	20 %	10 %	
7	5 %	10 %	20 %	20 %	20 %	15 %	10 %

Source : DG Trésor

Des tests montrent que l'échéancier retenu ici entraîne peu de différence par rapport à une répartition des coûts que l'on aurait supposée uniforme sur la durée des travaux.

1.1.3. Prise en compte des dépenses de renouvellement

Aux dépenses d'investissement initiales des projets viennent s'ajouter des investissements de renouvellement, qui s'échelonnent sur la durée de vie des ouvrages. Ces dépenses sont parmi les plus difficiles à estimer, tant en montant qu'en échelonnement temporel, car elles dépendent des lois de fatigue des composants de l'infrastructure et de la politique d'entretien annuel mise en œuvre (dont l'absence peut accélérer considérablement le besoin de renouvellement). Par ailleurs, les projets passés, dans le domaine ferroviaire, n'offrent que peu de retour d'expérience puisque la plupart n'ont pas encore subi de renouvellement.

Faute d'une évaluation fiable des montants et des calendriers de ces dépenses pour chaque projet, il est supposé que les dépenses de renouvellement représentent en moyenne 30 % de l'investissement initial et interviennent en moyenne au bout de 20 ans de service de l'infrastructure (un investissement de 1 €$_{08}$ à l'année N engendre une dépense de renouvellement égale à 0,3 €$_{08}$ à l'année N+20, pour solde de tout compte).

[81] Par exemple, aménagements du réseau routier secondaire, réfection de chaussées aéroportuaires, relevage de vitesse sur voies ferrées, modernisation d'écluses, modernisation de systèmes de signalisation, de contrôle ou de commande des réseaux de transports, etc.

[82] Cette hypothèse pourrait résulter d'un bilan neutre entre les effets d'extension des réseaux (augmentation du linéaire à maintenir et renouveler) et les effets liés à la modernisation des installations (modération des besoins et réduction des fréquences de renouvellement permises par les gains de performance des équipements et des matériaux).

1.1.4. Dérive du coût des projets

Les bilans *ex post* imposés par l'article 14 de la LOTI[83] montrent une tendance systématique des études préalables à sous-estimer les coûts de réalisation des infrastructures de transport. Ce phénomène, qui vaut pour tous les types d'infrastructures, provient schématiquement de deux effets :

- un effet volume, par lequel l'avancement du projet tend à accroître le volume d'investissement par divers ajouts ou modifications décidés pour prendre en compte les attentes de l'ensemble des acteurs (mesures de protection environnementale, gares nouvelles non prévues initialement, renforcement de certains équipements…),
- un effet prix dû à une inflation rapide des prix dans le secteur du BTP.

S'agissant de l'investissement, seul l'effet volume est ici pris en compte. On le chiffre comme un surcroît moyen de +10 % par rapport aux estimations actuelles des projets (voir Annexe 1). Les dérives inflationnistes des coûts sont prises en compte par ailleurs dans le financement des projets (voir § 1.4.4).

1.2. Estimation des volumes d'investissement

Les montants des projets sont évalués en s'appuyant sur l'information disponible à la date de la présente étude (printemps 2009). Les dates de démarrage et les durées des travaux sont indicatives. Les dépenses d'investissement sont ramenées en euros valeur janvier 2008. Le déflateur retenu est l'indice TP01 (indice de travaux publics, tous corps de métier, base 100 en 1975). Cette section détaille les investissements dans les 3 domaines principaux que sont le ferroviaire, le transport collectif urbain et le routier et donne des indications sur les modalités retenues pour les simulations concernant le maritime, le fluvial et l'aérien.

1.2.1. Investissements ferroviaires

En matière d'investissements ferroviaires, la loi Grenelle I prévoit (art. 12) :

- le lancement de 2000 km de Lignes à Grande Vitesse (LGV) d'ici à 2020, assorti d'une liste indicative de projets ;
- l'étude de 2500 km supplémentaires pour une réalisation au-delà de 2020, assorti là-aussi d'une liste indicative de projets évoqués par les acteurs locaux ;
- l'accélération du programme de régénération et la modernisation du réseau ferroviaire ;
- l'aménagement des deux principaux axes Nord-Sud du réseau pour permettre la circulation de trains longs d'au moins 1000 m ;
- l'adaptation des infrastructures à la mise en place d'un réseau d'autoroutes ferroviaires, et la construction de plateformes intermodales de fret ferroviaire.

Le tableau de la page suivante dresse la liste des projets pris comme hypothèse de la présente étude, selon chacun des deux scénarios, Grenelle et référence. Les estimations de coûts et de mise en service s'appuient sur un document interne du MEEDDM, transmis aux ministères financiers en décembre 2007. Les informations ont été mises à jour par les auteurs en fonction de l'avancement connu des différents projets. La liste des LGV au-delà de 2020 est donnée à titre indicatif afin de compléter le scénario sur le moyen terme.

On fait l'hypothèse que les LGV prévues d'ici 2020 auraient pour la plupart été réalisées dans le scénario de référence, mais dans un calendrier moins rapide. Les projets prévus au-delà de 2020 sont supposés absents en référence, à l'exception du Lyon-Turin qui fait l'objet d'un accord international avec l'Italie (accord de Turin, 2001) et de Paris-Clermont-Lyon qui est l'une des options envisagées pour remédier à la congestion prévisible de l'axe ferroviaire Paris-Lyon. Ces deux projets sont toutefois supposés attendre un niveau suffisant de saturation des infrastructures existantes.

Par rapport au scénario de référence, le Grenelle consiste donc à avancer dans le temps un certain nombre de projets et à en réaliser d'autres en supplément de ce qui apparaîtrait nécessaire.

Les coûts des projets portent uniquement sur l'infrastructure. Les besoins en matériel roulant sont chiffrés par ailleurs, à partir d'un ratio de 0,24 M€ HT d'investissement en rames de type TGV pour 1 M€ HT d'investissement en infrastructures. Ce ratio est déduit du programme de LGV réalisé depuis 1981 et correspond à un besoin d'acquisition d'environ 35 nouvelles rames par an dans le scénario Grenelle et 15 dans le scénario de référence[84].

[83] Loi d'orientation des transports intérieurs, du 30 décembre 1982.
[84] À titre de comparaison, la branche Voyages France Europe de la SNCF prévoit un programme d'acquisition sur les 15 prochaines années de près de 500 rames nouvelles, dont environ 200 liées uniquement aux nouveaux projets de desserte. Les ordres de grandeur retenus ici sont donc cohérents avec les prévisions de la SNCF.

Tableau 2 : programme d'investissement ferroviaire sur la période 2010-2040, suite au Grenelle de l'environnement

Projets	Loi Grenelle 1			Mode de réalisation	Longueur (km)	Scénario Grenelle				Scénario de référence			
	soumis par le Gouvernement	ajoutés par le Parlement	avant 2020			Coût (M€ HT)	Date de valeur	Début travaux	Durée travaux	Coût (M€ HT)	Date de valeur	Début travaux	Durée travaux
Régénération du réseau (accélération)	x			MOP	-	1198 / an	2008	_	_	1198 / an	2008	_	_
Aménagement axes Nord-Sud pour trains longs (1000 m)	x			MOP	-	220	2008	2011	2	220	2008	2011	2
Aménagement pour réseau AF à haute fréquence	x			MOP	-	100	2008	2011	2	100	2008	2011	2
LGV Perpignan Figueras	x			DSP*	44	944	2003	2005	4	944	2003	2005	4
LGV Rhin Rhône branche Est phase 1	x			MOP*	140	2 380	2007	2006	6	2 380	2007	2006	6
LGV Tours-Bordeaux (SEA)	x		x	DSP*	302	5 710	2006	2011	7	5 710	2006	2013	7
LGV Contournement Nîmes Montpellier	x		x	CP*	80	1 190	2005	2010	5	1 190	2005	2011	5
LGV Montpellier Perpignan	x		x	CP	160	3 200	2004	2015	5	0	2004	2015	5
LGV Bretagne Pays de Loire	x		x	CP*	182	2 380	2004	2011	5	2 380	2004	2015	5
LGV Est européenne phase 2	x		x	MOP*	106	2 010	2008	2010	5	2 010	2008	2016	5
LGV Rhin Rhône branche Est phase 2	x		x	CP	50	870	2007	2011	5	870	2007	2018	5
LGV Interconnexion Sud Ile-de-France	x		x	CP	30	2 100	2007	2013	5	2 100	2007	2020	5
LGV Provence Alpes Côte d'Azur	x		x	CP	220	15 300	2007	2018	8	0	2007	2018	8
LGV Bordeaux Toulouse (SEA)	x		x	CP	250	2 950	2004	2013	6	0	2004	2013	6
LGV Bordeaux Hendaye (SEA)	x		x	CP	280	4 050	2004	2013	6	0	2004	2013	6
LGV Rhin Rhône branche Sud	x		x	CP	160	3 000	2007	2014	6	3 000	2007	2025	6
LGV Rhin Rhône branche Ouest	x		x	CP	95	2 500	2007	2014	6	0	2007	2014	6
LGV Poitiers Limoges		x	x	CP	125	1 300	2005	2019	6	0	2005	2019	6
LGV Lyon Turin (section commune Fr-It)		x		CP	80	9 200	2006	2014	10	9 200	2006	2030	10
LGV Lyon Turin (accès français 1ère phase)		x	x	CP	200	6 770	2007	2014	6	6 770	2007	2020	6
LGV Paris Clermont-Ferrand Lyon		x		CP	570	10 370	2008	2020	8	10 370	2008	2025	8
LGV Nantes Lyon ("barreau Est-Ouest")		x		CP	350	7 000	2008	2025	6	0	2008	2025	6
LGV Toulouse Narbonne		x		CP	130	1 910	2008	2025	6	0	2008	2025	6
LGV Toulouse Pau ("barreau Béarn-Bigorre")		x		CP	177	2 047	2008	2030	6	0	2008	2030	6
LGV Paris Amiens Calais		x		CP	223	4 160	2008	2025	6	0	2008	2025	6
LGV Le Mans Nantes	Projets listés à titre indicatif			CP	128	2 180	2008	2025	6	0	2008	2025	6
LGV Finistère (Rennes Brest/Quimper)				CP	235	2 700	2008	2030	6	0	2008	2030	6
LGV Paris Rouen Caen/Le Havre				CP	225	4 130	2008	2020	6	0	2008	2020	6
LGV Luxembourg Nancy Montbéliard				CP	239	4 000	2008	2020	6	0	2008	2020	6
CDG Express				DSP*	32	1 050	2008	2010	6	1 050	2008	2010	6
Contournement de Lyon (CFAL) section nord				CP	56	1 551	2007	2014	5	1 551	2007	2014	5
Contournement de Lyon (CFAL) section sud				CP	48	1 019	2007	2021	5	1 019	2007	2030	5
Equipement du réseau ferré en GSM-R				CP*	14 000	1 000	courant	2010	3	1 000	courant	2010	3
Investissements ferrés autres				MOP	-	700 / an	2007	_	_	500 / an	2007	_	_
Matériels TGV				Privé	-	1072 / an	2008	_	_	447 / an	2008	_	_
LGV Grenelle 1ère phase (avant 2020)					2 240	66 971	2008			25 920	2008		
LGV Grenelle 2ème phase (après 2020)					2 357	67 023	2008			29 995	2008		
Autres investissements de développement ou modernisation					-	42 725	2008			42 725	2008		
Investissements ferrés non individualisés					-	21 428	2008			20 408	2008		
Matériels TGV						32 159	2008			13 420	2008		
TOTAL (€2008)						230 307				132 468			

Source : hypothèses et calculs DG Trésor, 2009, d'après données MEEDDM

Lecture :

- les investissements marqués d'une croix (x) sont répertoriés explicitement dans la loi Grenelle I. On indique ici s'ils ont été proposés par le Gouvernement ou ajoutés lors des débats parlementaires, et si la loi prévoit de les engager avant 2020. Les autres investissements sont sous-entendus dans la loi (notamment les projets de LGV listés ici à titre indicatif pour atteindre l'objectif légal de 2500 km de réseau à grande vitesse engagés après 2020).

- le mode de réalisation peut être la maîtrise d'ouvrage publique (MOP), la concession (DSP, délégation de service public), le contrat de partenariat (CP) ou l'initiative privée (achat des rames de TGV). L'astérisque signale lorsque le choix du mode de réalisation est définitif.

- pour chaque investissement, on indique le coût hors TVA (avec l'année de valeur), le calendrier et la durée des travaux retenus dans le scénario Grenelle et dans le scénario de référence. Les cases en couleur signalent les différences entre le scénario de référence et le scénario Grenelle.

- les 5 dernières lignes avant le total récapitulent les montants d'investissement par grande catégorie.

- exemple de lecture : le projet de LGV Montpellier-Perpignan a été inscrit par le Gouvernement dans la loi Grenelle I pour être engagé avant 2020. Il est envisagé de le réaliser en contrat de partenariat (hypothèse non définitive à ce jour). D'une longueur de 160 km, son coût est estimé à 3200 M€ HT (valeur 2004). Dans le scénario Grenelle, les travaux sont prévus pour commencer en 2015 et durer 5 ans. Ce projet n'est pas retenu dans le scénario de référence.

1.2.2. Investissements dans les transports collectifs urbains (TCU)

En matière d'investissements dans les transports urbains, la loi Grenelle I prévoit (art. 13 et 14) :

- l'extension des réseaux des transports collectifs en site propre (TCSP) de province et d'outre-mer, de 329 à 1800 km en 15 ans ;
- en Île-de-France, un programme renforcé de transports collectifs visant à accroître la fluidité des déplacements, dont un projet de rocade structurante par métro automatique ;
- le prolongement de la ligne EOLE vers Mantes ;
- des investissements de décongestion de la ligne 13 du métro parisien.

Le tableau suivant dresse la liste des projets de transports collectifs urbains pris comme hypothèse de la présente étude. Les estimations de coûts et de mise en service proviennent de la Direction du Budget et ont été mises à jour par les auteurs.

Tableau 3 : programme d'investissement en transports collectifs urbains sur la période 2010-2040, suite au Grenelle de l'environnement

Projets	Mode de réalisation	Longueur (km)	Scénario Grenelle				Scénario de référence			
			Coût travaux (M€ HT)	Cond. éco.	Début travaux	Durée travaux	Coût travaux (M€ HT)	Cond. éco.	Début travaux	Durée travaux
TCSP de province - Appel à projets 1ère phase	DSP	546	7 005	courant	2009	9	7 005	courant	2 009	16
TCSP de province - Appel à projets phases ultérieures	DSP	800	16 000	courant	2012	13	0	_	_	_
Rocade IdF métro automatique (projet Gd Paris / Arc	CP	130 / 50	16 000	2007	2012	10	9 000	2007	2 015	10
Prolongement EOLE vers la Normandie	MOP	8	2 000	2007	2014	5	2 000	2007	2 020	5
Rénovation ligne 13 du métro parisien	MOP	24,3	250	2007	2008	3	250	2007	2 008	3
Autres grands projets Ile-de-France (Gd Paris ou SDRIF)	MOP	?	16 750	2008	2008	25	16 750	2008	2 008	40
Rénovation et développement des matériels roulants en IdF	MOP/Privé	_	9 500	2008	2008	10	9 500	2008	2 008	20
Autres investissements TCU province et IdF	MOP	_	1000 / an	2008	_	_	1000 / an	2008	_	_
TCSP de province		1 346	29 915	2008			8 713	2008		
Grands projets pour l'Ile-de-France			44 451	2008			28 823	2008		
Matériel roulant d'Ile-de-France			9 500	2008			9 500	2008		
Investissements TC non individualisés			30 000	2008			30 000	2008		
TOTAL (€2008)			113 866				77 036			

NB : les sous-totaux calculés ici comprennent les dépenses de renouvellement des projets qui interviendront avant 2040, mais pas au-delà.

Source : calculs DG Trésor 2009
Lecture : Les cases en couleur indiquent les modifications supposées dans le scénario de référence par rapport au scénario Grenelle :

- Il est supposé que, dans le scénario de référence, l'extension des lignes de TCSP en province aurait été plus limitée ; en première approche, on a retenu les projets relativement mûrs recensés début 2009, lors de la 1ère vague d'appel à projets pour une subvention de l'État ; les projets envisagés à plus longue échéance dans le scénario Grenelle sont exclus du scénario de référence en raison de la forte probabilité que les collectivités locales n'aient pas les marges de manœuvre politiques pour augmenter la fiscalité locale en lien avec ces futurs besoins de financement.
- S'agissant des projets franciliens, on fait l'hypothèse qu'ils auraient peu ou prou tous été réalisés en référence mais dans un calendrier plus étalé. Au lieu de la rocade métro ambitieuse de 130 km prévue par le schéma directeur de la Région Capitale, on suppose qu'il aurait été réalisé une rocade métro en proche banlieue (projet Arc Express porté initialement par la RATP). Le prolongement d'EOLE est supposé démarrer plus tard, et les autres investissements sont étalés sur 40 ans au lieu de 25.
- Enfin, le niveau annuel des autres investissements non individualisés est supposé identique dans les deux scénarios, soit environ 500 M€$_{08}$ pour l'Île-de-France et 500 M€$_{08}$ pour la province.

1.2.3. Investissements routiers

La loi Grenelle I impose que l'augmentation des capacités routières reste limitée au traitement des points de congestion, des problèmes de sécurité ou des besoins d'intérêt local.

S'agissant des projets identifiables, on a supposé que seuls ceux ayant fait l'objet d'une déclaration d'utilité publique seront réalisés dans les deux scénarios :

- liaison L2 à Marseille,
- élargissement à 2x3 voies de la route des Landes (A63),
- A150 Rouen – Yvetot,
- grand contournement ouest de Strasbourg (A355),
- élargissement de A9 au droit de Montpellier,
- A831 Fontenay-le-Comte – Rochefort,
- A45 Lyon – Saint-Etienne,
- aménagement de la RN88 entre Albi et l'autoroute A75.

Le montant des autres investissements sur le réseau routier (national et local) est supposé égal à 11,6 Md€$_{08}$ par an dans le scénario Grenelle et à 13 Md€$_{08}$ dans le scénario de référence. À titre de comparaison, l'ensemble des investissements routiers réalisés par l'État, les collectivités et les sociétés

d'autoroute s'est élevé à 14,8 Md€$_{08}$ par an sur la période 1990-2008 mais à seulement 13,5 Md€$_{08}$ sur la période 2000-2008 et 12,6 Md€$_{08}$ pour la première année depuis le Grenelle de l'environnement (2008). Les hypothèses retenues reviennent à considérer que le réseau routier est arrivé à maturité et que le niveau d'investissement de l'année 2008 constitue le volume nécessaire pour assurer le renouvellement, la modernisation et la mise en sécurité du patrimoine existant[85].

Dans le scénario Grenelle, on suppose donc une diminution de 1,4 Md€$_{08}$/an par rapport au scénario de référence, et cela pendant 30 années. Cette hypothèse résulte d'une certaine volonté de stabiliser le niveau d'investissement mais en le réorientant pour partie vers le domaine ferroviaire : l'économie ainsi générée de 42 Md€$_{08}$ sur les investissements routiers est à peu près égale au surcroît d'investissement envisagé sur les LGV de 1ère phase dans le scénario Grenelle par rapport au scénario de référence[86].

1.2.4. Investissements dans les autres modes de transports (maritime, fluvial, aérien)

- En matière d'investissements maritimes, la loi Grenelle I prévoit que l'État accompagnera le développement des capacités portuaires et créera les conditions d'une desserte terrestre efficace des grands ports maritimes français. En l'absence de précisions sur les projets d'investissements des ports, il est supposé que le niveau d'investissement passé (en moyenne 370 M€$_{08}$ par an entre 1990 et 2008) sera reconduit, ce qui est relativement ambitieux dans la mesure où les chiffres passés comprennent de grands projets comme Port 2000 et Fos 2XL. Étant donné le déficit de compétitivité reconnu des ports français par rapport à leurs concurrents européens, il est supposé que le même niveau d'effort aurait été accompli dans le scénario de référence.

Par ailleurs, les projets d'autoroutes de la mer, plusieurs fois cités dans le projet de loi, ne sont pas considérés ici comme de l'investissement dans le secteur transport.

- En matière d'investissements fluviaux, la loi Grenelle I annonce la réalisation du canal à grand gabarit Seine-Nord-Europe, pour un coût de l'ordre de 4 milliards d'euros, et la poursuite des études d'une liaison fluviale à grand gabarit entre les bassins de la Saône et de la Moselle en vue d'un débat public en 2012.

À cet égard, le présent travail reconsidère ces hypothèses : il suppose que les travaux du canal Seine-Nord-Europe démarreront en 2011 dans le scénario Grenelle, et que ce projet n'aurait pas été réalisé dans la situation de référence, compte tenu de la faible rentabilité du projet *ex ante*. Le projet de canal Saône-Moselle n'est, quant à lui, pris en compte dans aucun des scénarios.

Dans les deux scénarios, il est supposé que le reste des investissements sur le réseau fluvial représente environ 100 M€$_{08}$ par an.

- Dans le domaine aérien, la loi Grenelle I préconise de limiter les investissements aéroportuaires. Sont cités le système de navigation européen SESAR, auquel la France contribuera à hauteur de 200 M€ sur 7 ans, ainsi que des objectifs de recherche en vue de réduire les émissions de CO_2 et les nuisances sonores.

On suppose ici que le volume d'investissement en infrastructures aéroportuaires ou de navigation aérienne sera réduit, dans le scénario Grenelle, à 760 M€$_{08}$ par an, contre 960 M€$_{08}$ en moyenne annuelle sur 1990-2008. Le niveau du scénario de référence est supposé inchangé par rapport à la tendance passée.

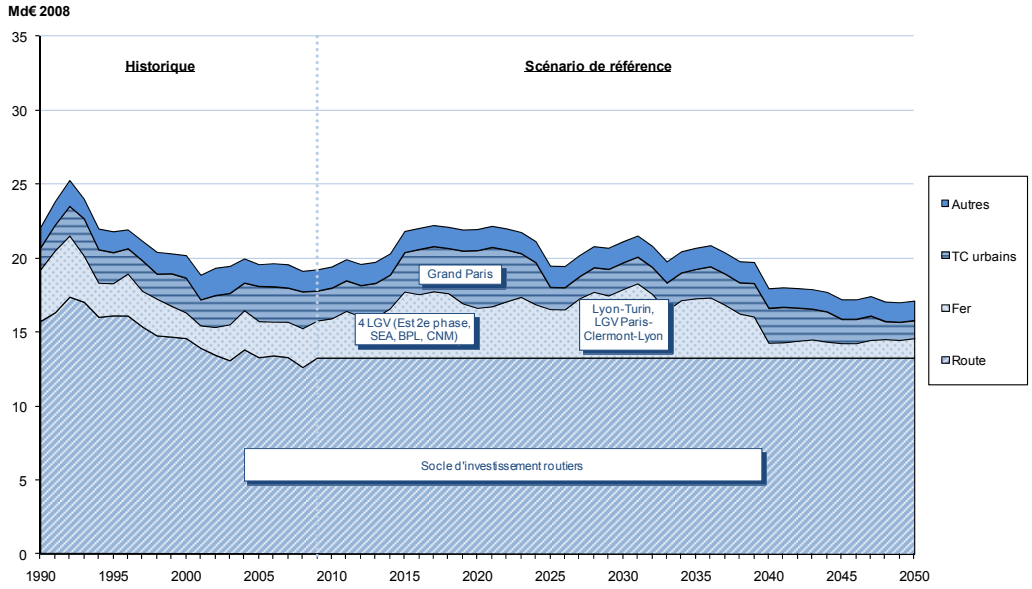
[85] En dépit du transfert par l'État aux Départements de la gestion de 18000 km de routes nationales, il est fait l'hypothèse que les collectivités n'augmenteront pas les budgets consacrés à ce linéaire de route. Ainsi, on considère une stabilité globale du volume d'investissements routiers.

[86] Cela revient à financer les LGV supplémentaires prévues d'ici 2020 par une réduction des dépenses routières jusqu'en 2039.

1.2.5. Comparaison des scénarios d'investissements envisagés

Les graphiques suivants résument les constructions du 1.2. et illustrent les tendances passées d'investissement dans les infrastructures de transport.

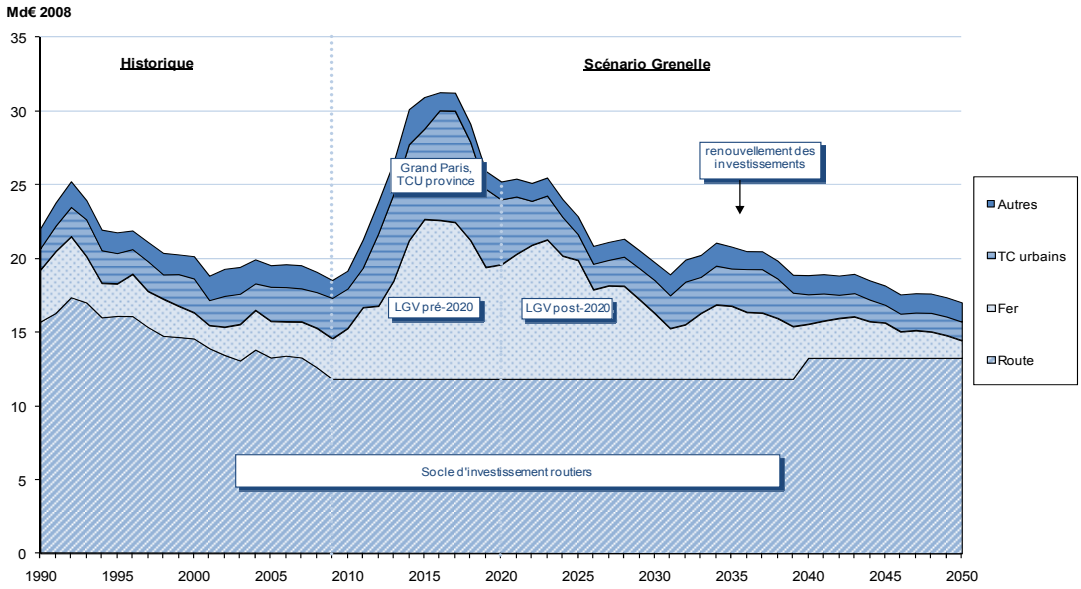
Graphique 1 : séquence d'investissement dans les infrastructures de transport (scénario de référence, en Md€$_{2008}$)



Source : calculs DG Trésor, 2009

Si les hypothèses prises pour le scénario de référence conduisent à un rattrapage du niveau d'investissement des années 1990, le scénario Grenelle constitue quant à lui un pic d'investissement important, orienté tout particulièrement vers le réseau ferré.

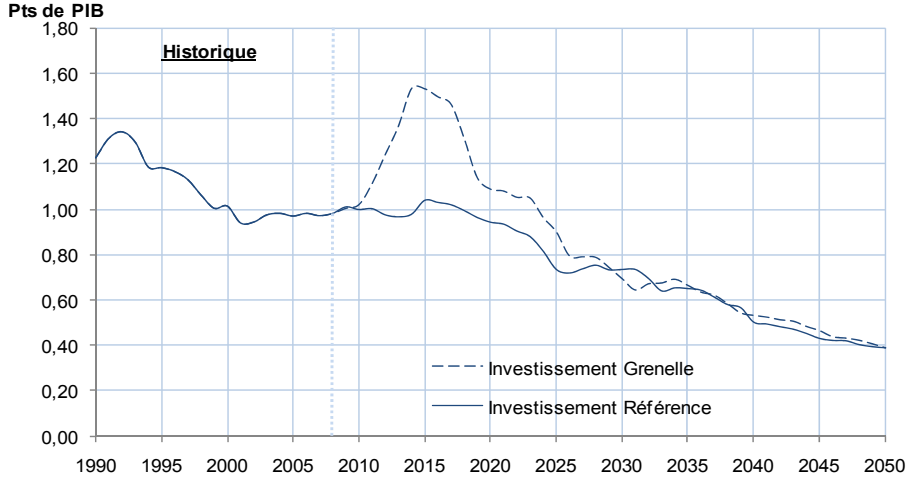
Graphique 2 : séquence d'investissement dans les infrastructures de transport (scénario « Grenelle », en Md€$_{2008}$)



Source : calculs DG Trésor, 2009

Mises côte à côte, les séquences d'investissement des deux scénarios se rejoignent vers 2030. Rapportés au volume du PIB national les deux séquences décroissent à long terme, notamment car les investissements réalisés au-delà de 2030 ne sont pas encore connus. À cet horizon, tous les réseaux de transport ayant atteint leur maturité, il ne devrait toutefois plus être nécessaire de leur consacrer une fraction de la richesse nationale aussi importante que par le passé.

Graphique 3 : comparaison des volumes d'investissement dans les infrastructures de transport entre le scénario « Grenelle » et le scénario de référence (en points de PIB)



Source : calculs DG Trésor, 2009

Le tableau ci-dessous résume le chiffrage des deux scénarios[87], par catégorie d'infrastructures. On se limite ici aux années 2009-2039 pour lesquelles on détient les informations les plus pertinentes.

Tableau 4 : volumes d'investissements en infrastructures de transport observés sur le passé, estimés sur les scénarios de référence et le scénario Grenelle (en Md€$_{2008}$)

	Historique		Scénario de référence		Scénario Grenelle		Grenelle - Référence	
(moyennes annuelles, Md€ 2008)	1990-1999	2000-2008	2009-2020	2021-2039	2009-2020	2021-2039	2009-2020	2021-2039
Réseau routier								
Réseau non concédé	12,6	11,3	11,2	11,2	10,3	10,3	-0,9	-0,9
dont réseau départ. et local	*9,7*	*9,7*	*9,5*	*9,5*	*9,1*	*9,1*	*-0,4*	*-0,4*
dont réseau national	*2,9*	*1,7*	*1,7*	*1,7*	*1,2*	*1,3*	*-0,5*	*-0,5*
Réseau concédé	3,4	2,2	2,1	2,1	1,5	1,5	-0,6	-0,6
Total	**16,0**	**13,5**	**13,3**	**13,3**	**11,8**	**11,8**	**-1,4**	**-1,4**
Réseau ferré principal								
Réseau grande vitesse	1,3	0,9	1,4	2,0	5,0	3,8	3,6	1,7
Réseau principal hors LGV	1,6	1,4	2,1	1,7	2,3	1,9	0,2	0,2
Total	**2,9**	**2,2**	**3,5**	**3,8**	**7,3**	**5,7**	**3,8**	**1,9**
Transports collectifs urbains								
Réseau ferré Ile de France	0,5	0,3	0,5	0,5	0,8	0,5	0,3	0,0
RATP	0,7	0,5	1,1	0,9	2,1	1,0	1,0	0,1
TCU de province	0,8	1,4	1,0	0,7	2,2	1,0	1,3	0,4
Total	**2,0**	**2,2**	**2,6**	**2,1**	**5,2**	**2,5**	**2,5**	**0,4**
Autres infrastructures								
Ports maritimes	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,0	0,0
Aéroports et navigation aérienne	0,9	1,1	1,0	1,0	0,8	0,8	-0,2	-0,2
Voies navigables et ports fluviaux	0,1	0,2	0,1	0,1	0,5	0,2	0,4	0,1
Total	**1,4**	**1,6**	**1,4**	**1,4**	**1,6**	**1,3**	**0,2**	**-0,1**
Total des investissements	**22,3**	**19,5**	**20,8**	**20,6**	**25,9**	**21,3**	**5,1**	**0,7**

Sources : historique = Comptes Transports de la Nation 2008 (CCTN, 2008) ; projections sur la période 2009-2039 = calculs DG Trésor ; données hors matériels roulants ferroviaires.

- Les montants considérés dans le scénario Grenelle s'inscrivent en très forte hausse par rapport à la tendance de 2000-2008 (+6,4 Md€$_{08}$ par an d'ici 2020, soit +33%) et par rapport au scénario de référence : ce sont plus de 5 Md€$_{08}$ qui seront dépensés en plus chaque année sur 2009-2020 en raison du Grenelle.
  - Les investissements routiers continuent à décliner, actant ainsi l'arrêt des projets visant l'achèvement du maillage du réseau national.
  - À l'inverse, les investissements ferroviaires sont multipliés par plus de 3, avec le retour à un niveau élevé d'investissement sur le réseau classique (dont la régénération des voies) et surtout le boom des projets de lignes nouvelles à grande vitesse.

[87] Les volumes d'investissement sont donnés à titre indicatif mais seul le différentiel entre les scénarios Grenelle et de référence a un impact dans la modélisation.

- Du côté des transports collectifs urbains, la région Île-de-France bénéficie d'un rattrapage vigoureux des investissements sur le réseau ferré et le réseau RATP, tandis qu'en province, le boom des TCSP continue jusque vers 2020.
- Dans les autres secteurs, un ralentissement des investissements est prévu dans le domaine aéronautique, une relative stabilité des investissements portuaires et un pic d'investissement sur le réseau fluvial, principalement dû à la réalisation du canal Seine-Nord-Europe.
- Sur la période 2021-2039, apparaissent les premiers investissements de renouvellement de projets mis en service avant 2020, en particulier sur le réseau ferré à grande vitesse.

♦ À l'inverse, le scénario de référence prévoit une hausse modérée des investissements en infrastructures, permettant de retrouver le niveau observé à la fin des années 1990. L'affectation des budgets s'inscrit dans la continuité des tendances historiques. Toutefois, ne pouvant ignorer l'émergence des préoccupations environnementales, le surcroît d'investissement par rapport aux dernières années est orienté de manière préférentielle vers le mode ferroviaire et les transports collectifs d'Île-de-France.

- Outre les LGV dont l'avancement laisse présager d'une mise en chantier prochaine, deux projets de grande ampleur, la LGV Lyon-Turin et une LGV Paris-Clermont-Lyon, voient le jour au-delà de 2020.
- Les transports collectifs urbains sont supposés sortir progressivement du pic d'investissement actuel dans les réseaux de tramway et de bus en site propre, en raison des contraintes de financement qui s'imposeront aux collectivités selon notre hypothèse.
- Enfin, le niveau d'investissement dans les ports, les aéroports et les voies navigables reste globalement inchangé.

1.3. Estimation des besoins de financement public

1.3.1. Méthodologie

Les besoins de financement public sont déduits des volumes d'investissement en tenant en compte de trois aspects :

- le montage contractuel, qui permet ou non de recourir au préfinancement privé et d'étaler dans le temps la dépense publique,
- la sous-estimation initiale des coûts, attendue sinon prévisible, et qui présente un caractère quasi-systématique si l'on juge par les bilans *a posteriori* des projets passés,
- le partage du financement entre usagers et contribuables, via l'affectation des recettes de tarification au financement des projets.

La présente étude se limite au financement des dépenses d'investissement dans les infrastructures et ne considère pas les dépenses d'exploitation et d'entretien additionnelles qui seront suscitées par ce programme d'investissement. En particulier, dans les transports collectifs urbains, où les recettes de trafic sont loin de couvrir les coûts de fonctionnement, il s'agit d'une hypothèse conduisant à minorer significativement les besoins réels de financement public dans les années à venir.

1.3.2. Impact du mode de réalisation

Les infrastructures de transport peuvent être réalisées suivant trois modes contractuels :

- le marché public (qui est régit par la loi sur la Maîtrise d'Ouvrage Publique), dont le paiement par la puissance publique intervient à mesure des travaux de construction,
- la concession (ou Délégation de Service Public), dont le financement repose d'abord sur les recettes d'exploitation (péages versés par les usagers) et peut être abondé par une subvention publique, que l'on suppose ici versée à mesure des travaux de construction,
- le contrat de partenariat (CP), qui suppose le paiement, par la puissance publique au partenaire privé, d'un loyer annuel d'exploitation sur toute la durée du contrat à compter de l'exploitation. Comme dans le cas des concessions, le contrat de partenariat peut donner lieu au versement d'une subvention publique initiale, ce qui allège d'autant le besoin d'endettement du partenaire privé.

Pour les projets situés dans un avenir proche (CDG-Express, LGV SEA, canal Seine-Nord…), le type de montage pris comme hypothèse est celui communiqué par le MEEDDM.

Pour les projets plus lointains, on suppose généralement un recours au contrat de partenariat, compte tenu du renforcement très net de ce mode contractuel comme montage privilégié par la puissance publique. Cette hypothèse est confortée par le fait que nombre des projets envisagés semblent à première vue insuffisamment rentables pour attirer des candidats à la concession. Qui plus est, la réalisation des premiers projets en contrat de partenariat, en grevant le budget de l'État par les loyers d'exploitation, renforcera la contrainte budgétaire dans le futur et incitera à réaliser également les projets ultérieurs en contrat de partenariat.

S'agissant des investissements non individualisés, on suppose qu'ils sont tous assimilables à des investissements réalisés en maîtrise d'ouvrage publique, soit par l'État ou les collectivités locales, soit par leurs établissements publics. Cela signifie que la part de financement public, une fois déduit l'autofinancement par les recettes de trafic, est supposée versée au prorata de l'échéancier des travaux.

1.3.3. Impact des partenariats public-privé sur le coût des projets pour la collectivité

Les partenariats public-privé (CP ou concession) sont couramment justifiés par le gain d'efficacité et la meilleure maîtrise des risques qu'ils procurent par rapport à la maîtrise d'ouvrage publique (MOP). Le MEEDDM table sur une diminution des coûts de réalisation de 10 % à 15 %[88]. Toutefois, les retours d'expérience, notamment sur les Private Finance Initiative anglo-saxons, ne semblent pas dégager un gain aussi systématique (Predali, 2007).

À l'inverse, le recours au préfinancement privé, qui est l'un des facteurs de succès du PPP, conduit à renchérir le coût de financement, du fait que le capital privé mobilisé pour payer les travaux est rémunéré plus cher que le taux auquel peut se financer la puissance publique. Le bilan des deux effets (réduction du coût d'investissement, surcoût financier) doit être examiné en fonction des caractéristiques de chaque projet et le montage en contrat de partenariat peut ressortir tantôt plus cher, tantôt moins onéreux pour la collectivité qu'une réalisation en MOP. La période actuelle de crise des liquidités sur le marché des prêts à long terme est d'ailleurs marquée par une forte dégradation de la compétitivité des PPP.

Faute de pouvoir conclure sur les avantages quantitatifs de la MOP et des PPP, on ne suppose ici aucun avantage financier systématique à l'un ou l'autre des types de montage possibles. Quel que soit le montage retenu, les projets sont évalués au même coût (pas de gain d'efficacité du privé) et supposés supporter le même coût financier (pas de prime de risque du privé), si la dépense est étalée dans le temps (via l'emprunt sur les projets en MOP, via la rémunération du partenaire privé sur les projets en contrat de partenariat). En d'autres termes, **on suppose que, hormis le calendrier de versement des financements publics, il est indifférent de réaliser les projets en contrat de partenariat ou en MOP.**

1.3.4. Inflation des prix du BTP

Les prix des projets seront affectés par deux facteurs (voir Annexe 1) :

- une inflation du secteur du BTP durablement supérieure à l'inflation de la moyenne de l'économie,
- des risques ponctuels d'inflation des prix liés au choc d'investissement que représente le Grenelle.

Concernant l'inflation tendancielle du secteur du BTP, une analyse historique nous conduit à retenir une dérive supplémentaire des coûts de 15 % : sur les 12 dernières années, l'inflation dans le secteur du BTP s'est montée à 3,52 % par an, tandis que l'inflation moyenne n'était que de 1,69 % (IPCH). Cette hypothèse a pour conséquence notable de renchérir les projets du scénario de référence. En effet, plus un projet est retardé dans le temps, plus il coûte cher, ce qui a pour conséquence de réduire le différentiel de financement de l'investissement entre les deux scénarios.

L'effet inflationniste du Grenelle, dû au surcroît de demande qui sera adressé au marché du BTP (+33 %) semble, quant à lui, inévitable. Il convient donc de l'expliciter au moment où l'on cherche à estimer les besoins de financement ex ante. On estime que pour 1 % d'investissement en plus, les coûts de financement des projets augmentent de 0,14 %[89] (voir Annexe 1).

1.3.5. Répartition des coûts entre usagers et contribuables

Une certaine part des dépenses seront financées par la tarification des infrastructures, dans le respect toutefois des objectifs de transfert modal (modération des hausses tarifaires afin de conserver le caractère incitatif du signal prix). Si des hausses tarifaires sont vraisemblables sur certains projets, on suppose toutefois que, en moyenne, le coût des transports pour l'usager restera inchangé. De même, on suppose que la consommation globale des ménages en transport n'est pas modifiée du fait du Grenelle. Aussi, à un niveau agrégé, la part d'autofinancement du scénario Grenelle est supposée ne pas provenir d'un effet prix (pas de hausse des coûts de transport) ou d'un effet volume (pas de hausse du trafic relativement au scénario de référence), mais seulement de la substitution entre modes. Par exemple, alors que les coûts de transport supportés par les usagers routiers retournent pour une part au budget de l'État et des collectivités via la TIPP, les coûts supportés par les usagers ferroviaires retournent directement au financement des projets via les mécanismes de tarification adoptés par RFF. La différence d'autofinancement des scénarios Grenelle et référence s'explique ainsi par le fait que la contribution des usagers des transports transite plus ou moins par la fiscalité ou par la tarification.

[88] Source : entretien avec la Mission d'expertise des partenariats public-privé du MEEDDM (MIEPPP), nov. 2008.
[89] Symétriquement, on suppose que pour 1 % d'investissement en moins, le coût de financement baisse de 0,14 %.

La part d'autofinancement des investissements considérés varie très fortement d'un projet à l'autre : elle est exceptionnellement élevée dans le cas du projet de TGV SEA (environ 50 %), mais nulle s'agissant des projets de transport urbains[90].

La présente étude s'appuie sur les hypothèses du MEEDDM et de RFF. Sur les projets pour lesquels on ne dispose d'aucune information de cet ordre, on crée arbitrairement les catégories suivantes qui sont associées à des parts d'autofinancement standard :

Tableau 5 : part d'autofinancement des projets (si non connue, un pourcentage du coût du projet)

	Part d'autofinancement
LGV très rentable	25%
LGV rentable	15%
LGV peu rentable	5%
TCSP	0%

Source : DG Trésor

Pour les projets de LGV avant 2020, les hypothèses retenues conduisent à une part moyenne d'autofinancement de 20 %. Pour les LGV postérieures à 2020, cette part tombe à 9 %. Tous les projets de transports collectifs urbains sont supposés présenter un autofinancement nul.

S'agissant des projets routiers identifiés, ils sont supposés présenter un autofinancement de 50 % ou 75 % selon les cas lorsqu'ils sont réalisés en concession, et un autofinancement nul lorsqu'ils sont réalisés en contrat de partenariat sans recettes de péage (L2, centres d'entretien routier). Le canal Seine-Nord-Europe est supposé dégager 10 % d'autofinancement, tandis que cette part est estimée à 15 % pour les investissements portuaires et fluviaux, et à 80 % pour les investissements aéroportuaires. Le reste des investissements, réalisé en maîtrise d'ouvrage publique, est supposé ne dégager aucune recette de tarification propre.

Avec les hypothèses ci-dessus, les recettes provenant des usagers des transports demeurent cependant faibles par rapport aux besoins de financement. Elles représentent environ 4,7 % du programme d'investissement dans le scénario de référence et 6,2 % dans le scénario Grenelle[91]. Si l'on ne considère que le différentiel d'investissement entre le scénario Grenelle et le scénario de référence, cette part d'autofinancement monte à 7 %, du fait d'une part plus importante de LGV dans le total considéré (mais des LGV faiblement rentables).

Par ailleurs, le fait de retarder certains projets dans le scénario de référence est supposé avoir un effet bénéfique sur leur autofinancement, le trafic escompté devant être naturellement plus élevé à la mise en service. Ainsi, hormis pour l'investissement routier et les projets de TCSP, on suppose que la part d'autofinancement augmente de 1 point par année de décalage par rapport au scénario Grenelle.

En définitive, l'ensemble des besoins de financement non couverts par les recettes de trafics sont, par hypothèse, imputés à la puissance publique, qu'il s'agisse de financements apportés par l'État, par les collectivités territoriales ou par l'Union européenne[92].

[90] Par exemple, en Ile de France, la tarification ne finance pas l'investissement et finance seulement 41 % des coûts de fonctionnement (source : rapport d'activité du STIF, 2007).
[91] Ces chiffres résultent de l'agrégation des montants d'autofinancement, projet par projet.
[92] Les subventions européennes ne concernent a priori que quelques projets transfrontaliers et sont minimes par rapport au reste des financements publics. Le budget de l'Union européenne étant abondé à hauteur de 16 % par l'État français, ces subventions sont assimilées à un financement par l'État. L'approximation ainsi faite reste négligeable au regard des incertitudes qui pèsent sur le niveau d'autofinancement des projets.

1.3.6. Coût de financement des projets

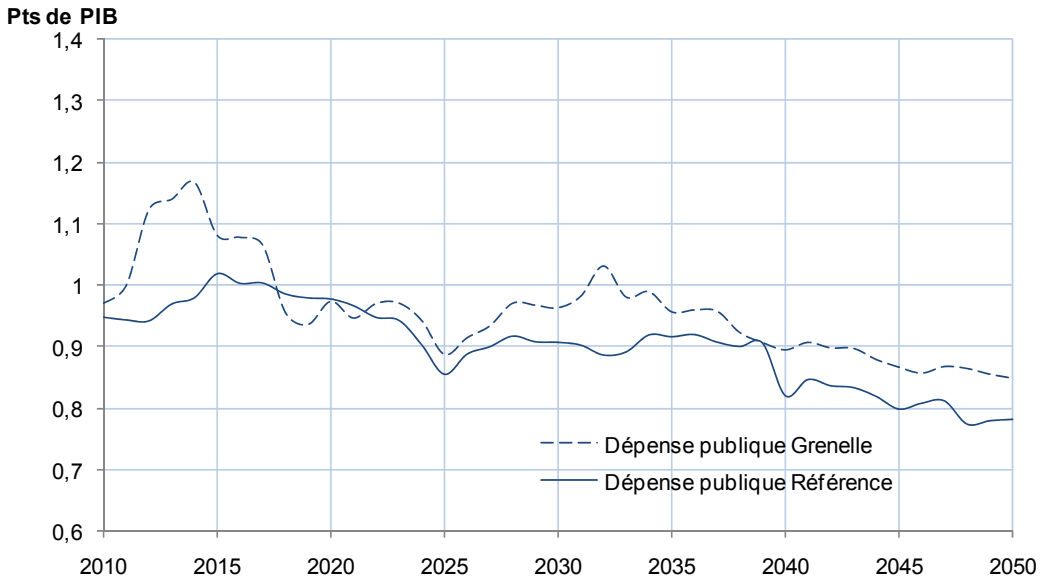
Comme expliqué *supra*, le coût de financement est supposé identique pour tous les projets quel que soit leur mode de réalisation (MOP, CP ou DSP) et quel que soit le maître d'ouvrage du projet (État ou collectivité territoriale).

Lorsque la dépense publique est étalée dans le temps (via l'endettement ou via un contrat de partenariat), on suppose que les frais financiers sont ceux de l'État (sans distinction entre l'État, les collectivités locales, ou le partenaire privé). L'État est supposé emprunter au taux d'intérêt des obligations assimilables du Trésor de maturité 10 ans (OAT 10) et rembourser à échéance de 10 ans (hypothèse arbitraire qui consiste à décorréler la durée d'emprunt de la durée de retour sur investissement des projets financés). Le taux moyen des OAT 10 sur les 12 dernières années s'établit à 4,34 %. Cumulés sur 10 ans, les intérêts conduisent alors à un coût financier de 25,4 %.

1.3.7. Comparaison des séquences de financement dans les deux scénarios (référence et Grenelle)

Compte tenu de l'étalement des dépenses permis par le recours aux partenariats public-privé, le pic d'investissement observé entre 2010 et 2030 se traduit par un pic de financement public plus faible (de l'ordre de 4 Mds€$_{08}$, soit 0,2 points de PIB). Le reste des dépenses additionnelles est reporté dans le temps, étalé sur la durée d'exploitation des projets. Au total, le scénario Grenelle induit 120 Mds€$_{08}$ de dépenses publiques supplémentaires entre 2010 et 2079 (fin des paiements).

Graphique 4 : dépenses publiques dans le scénario de référence et le scénario « Grenelle » (en points de PIB)



Source : calculs DG Trésor

1.4. Intrants du modèle macroéconomique

Le volet « infrastructures de transport » du Grenelle se traduit par un surplus d'investissement par rapport au scénario de référence de 145 Mds€$_{08}$ hors route et 101 Mds€$_{08}$ avec routes entre 2010 et 2067 (fin des derniers chantiers de renouvellement). Le surcoût pour les dépenses publiques s'élève à 171 Mds€$_{08}$ hors routes et 111 Mds€$_{08}$ avec les routes entre 2010 et 2079 (fin des paiements)[93]. Il induit une hausse de l'investissement de 4,4 points de PIB en cumulé sur la période par rapport au scénario de référence.

[93] On notera que les volumes de dépenses publiques décroissent à long terme moins vite que les volumes d'investissement. Cela est dû à l'existence d'une inflation plus rapide dans le secteur du BTP que l'inflation globale des prix à la consommation : toutes choses égales par ailleurs, financer un kilomètre de LGV en 2030 coûte plus cher que le financer en 2020.

Tableau 6 : récapitulatif des volumes d'investissement (y compris matériels roulants ferroviaires) et de dépenses publiques dans le scénario de référence et le scénario « Grenelle », sur la période 2009-2039 et sur la période 2009-2079 (en Md€$_{2008}$)

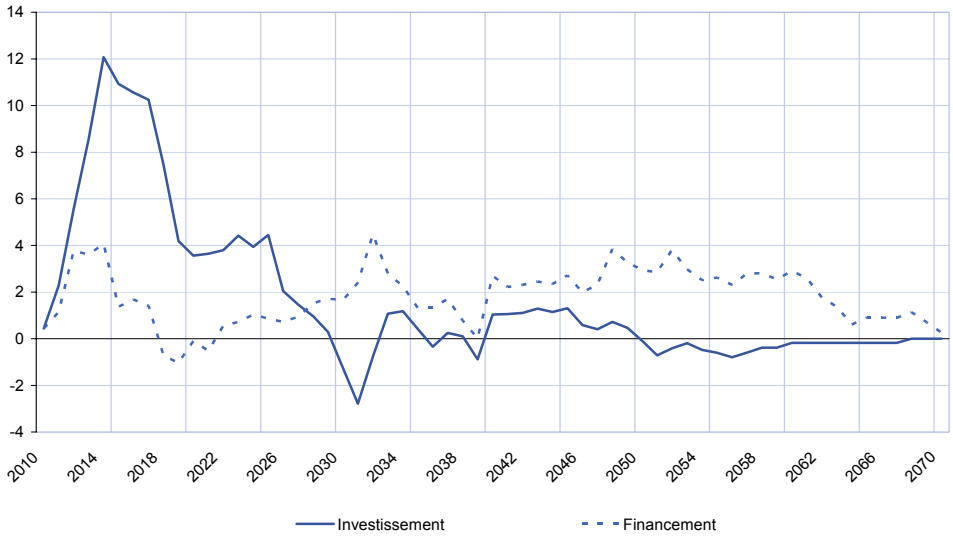
Période	Investissements Md€$_{2008}$			Financements publics Md€$_{2008}$		
2009-2039	**Grenelle**	**Référence**	**Différence**	**Grenelle**	**Référence**	**Différence**
Route	367	411	-44	494	554	-60
Ferroviaire	232	129	103	153	98	55
Urbain	124	85	39	146	102	44
Autres	44	44	0	27	24	2
Total	**766**	**669**	**98**	**820**	**778**	**42**

Période	Investissements Md€$_{2008}$			Financements publics Md€$_{2008}$		
2009-2079	**Grenelle**	**Référence**	**Différence**	**Grenelle**	**Référence**	**Différence**
Route	898	942	-44	1848	1909	-60
Ferroviaire	276	163	113	324	196	128
Urbain	171	138	33	278	240	38
Autres	96	96	0	79	74	5
Total	**1440**	**1339**	**101**	**2529**	**2418**	**111**

Source : calculs DG Trésor

Les chroniques différentielles d'investissement et de financement entre les deux scénarios figurent sur les graphiques suivants. Le retour au scénario de référence n'intervient qu'à très long terme, montrant par là combien les décisions d'aujourd'hui affectent l'avenir sur une longue période[94]. En effet, alors que les dépenses d'investissement s'alignent à peu près dans les deux scénarios à partir de 2035, le coût pour les finances publiques reste durablement plus élevé dans le scénario Grenelle que dans le scénario de référence, contrepartie du relativement faible apport public initial lors des chantiers de construction (effet des PPP).

Graphique 5 : différentiels d'investissement et de besoin de financement public entre le scénario Grenelle et le scénario de référence entre 2009 et 2070 (en Md€$_{2008}$)

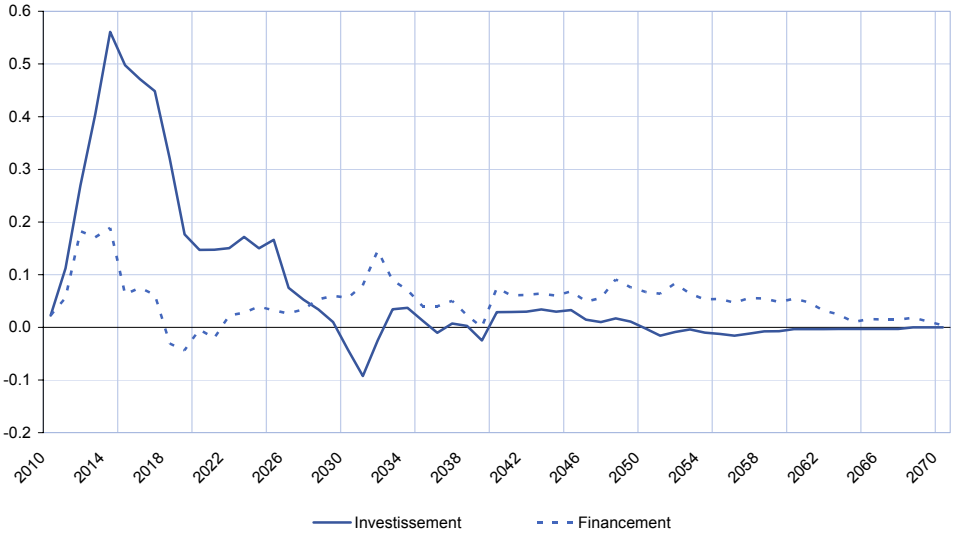


Source : calculs DG Trésor, 2009

Lecture : Le surcroît de dépenses d'investissement atteint un pic en 2014 à 12,1Md€ et le surcroît de financement public en 2032 pour 4,5 Md€.

[94] Ce phénomène est particulièrement visible sur la séquence des paiements, du fait des nombreux contrats de partenariat qui conduisent à repousser la dépense publique sur toute la durée de vie des projets.

Graphique 6 : différentiels d'investissement et de besoin de financement public entre le scénario Grenelle et le scénario de référence entre 2009 et 2070 (en points de PIB)



Source : calculs DG Trésor
Lecture : Le surcroît de dépenses d'investissement atteint un pic en 2014 à 0,56 point de PIB et le surcroît de financement public en 2032 pour 0,15 point de PIB.

En matière d'investissement, le Grenelle se traduit par un pic d'investissement entre 2010 et 2030. Le cumul des projets de LGV sur la période 2010-2020 renforce l'ampleur de ce pic par rapport à un scénario de référence dans lequel plusieurs projets sont décalés ou ne sont pas réalisés. À partir de 2030, le contrecoup que l'on attendrait (moins d'investissement dans le scénario Grenelle que dans le scénario de référence) est annihilé par l'apparition des premiers investissements de renouvellement.

En matière de financement, l'accélération des projets du scénario Grenelle crée un surcroît de dépenses sur la période 2010-2020, qui est dû principalement au versement des subventions publiques durant la phase de construction des projets réalisés en concession (type LGV Tours-Bordeaux) et en maîtrise d'ouvrage publique (LGV Est 2ème phase, TCSP). Ce premier pic de financement est d'ampleur bien moindre que le pic d'investissement car les montages en contrat de partenariat conduisent à reporter bien plus tard les dépenses publiques. Il disparaît ensuite à mesure que sont lancés les projets du scénario de référence.

Comme pour les investissements, un surcroît de financement réapparaît sur la période 2030-2040, à l'occasion des dépenses de renouvellement des investissements en maîtrise d'ouvrage publique[95]. À partir de 2040, deux phénomènes se conjuguent pour maintenir un niveau élevé de dépenses publiques :

- d'une part, le retour au niveau de référence des investissements courants non individualisés, dont 1,4 Mds€$_{08}$ supplémentaires par an pour les seuls investissements routiers,
- d'autre part, la poursuite du paiement des loyers de tous les contrats de partenariat mis en service dans les années précédentes.

2. Évaluation macroéconomique du scénario central

2.1. Choix et hypothèses de modélisation

L'évaluation macroéconomique du scénario d'investissement du Grenelle est réalisée à l'aide du modèle macroéconométrique Mésange. Le modèle décrit trois branches : manufacturière, non manufacturière[96] et non marchande, et quatre secteurs institutionnels : entreprises, ménages, administrations publiques et services financiers. Le secteur des transports n'est donc pas détaillé mais est inclus dans le secteur non manufacturier. La France est considérée comme une « petite » économie ouverte sur le monde, c'est-à-dire que le reste du monde est totalement exogène (la demande et l'offre internationales sont indépendantes des choix économiques nationaux).

2.1.1. Hypothèses sur les interactions macroéconomiques

[95] Le point singulier observé pour l'année 2032 résulte des hypothèses un peu rigides de calendrier (conjonction de nombreuses sources de dépenses cette année-là) mais il est probable que, dans la réalité, la puissance publique ferait en sorte d'étaler cette pointe sur les années avoisinantes.
[96] Pour les besoins d'analyse, il est possible d'isoler au sein du secteur non manufacturier la production d'énergie des autres services marchands.

On simule une hausse de l'investissement public en supposant qu'elle n'induit pas d'éviction ni de l'investissement public, ni de l'investissement privé. Il s'agit d'une hypothèse favorable au scénario Grenelle.

L'investissement public lié au volet « transports » du Grenelle a un effet direct et positif sur le niveau d'activité. Les dépenses d'investissement portent à environ 80 % sur des produits non manufacturés et à 20 % sur des produits manufacturés. Confrontées à une hausse de la demande publique, les entreprises augmentent leurs capacités de production via l'investissement et l'emploi. L'augmentation de la demande d'emploi se traduit par l'accroissement des salaires et de la consommation. Cet effet d'entraînement est toutefois limité par l'augmentation des importations et des prix[97]. En effet, une partie du surcroît de demande est importée et la hausse des salaires conduit à une hausse des coûts de production et des prix. Finalement, l'impact positif de la hausse de l'investissement sur l'activité s'atténue en moyenne 4 ans après sa réalisation.

Par ailleurs, les apports de subvention publique sont supposés suffisants pour donner aux projets de PPP (concession ou contrat de partenariat) une rentabilité équivalente pour les investisseurs privés à celles d'autres projets à l'échelle internationale, de sorte qu'il n'y a pas d'effet d'éviction sur l'investissement privé. Le volume d'investissement privé nécessité par le scénario Grenelle est lui-même supposé marginal par rapport aux besoins d'investissement privé à l'échelle internationale.

2.1.2. Impact sectoriel du programme d'investissement

On suppose que le volet « transport » du Grenelle de l'environnement n'augmente pas la consommation des ménages et des entreprises en transport mais agit uniquement, au sein de la consommation de transport, sur le type de transport utilisés (report modal). Au-delà des effets sur l'activité et l'emploi générés pendant leur construction, la modification des parts modales pourrait en effet se traduire par des modifications du coût de production moyen des services de transport et du prix moyen supporté par les usagers. Par suite, la compétitivité du secteur des transports s'en trouverait modifiée ce qui induirait des variations de la consommation de transports et de la compétitivité d'autres secteurs de l'économie.

Dans un souci de simplification, le scénario de base ne tient compte d'aucun effet de ce type et se concentre sur l'impact sur l'activité des surinvestissements induits par le Grenelle. En effet, l'impact du scénario Grenelle sur le prix des transports est difficilement prévisible. Au moins trois effets sont possibles :

- Le secteur des transports étant traditionnellement non rentable et largement subventionné par la collectivité, la politique de tarification poursuit généralement d'autres objectifs que la couverture du coût complet et vise plutôt à orienter la demande de transport vers les modes les plus pertinents d'un point de vue socioéconomique (ex : sous-tarification des TCSP). En particulier, les prix sont généralement alignés sur les coûts marginaux de circulation d'une unité de trafic supplémentaire, sauf si la disposition à payer des usagers permet d'escompter un surcroît de recettes sans dégrader trop le niveau de trafic.

- Toutefois, le surcroît d'investissement est tel qu'il pourrait nécessiter une augmentation globale des prix afin que les usagers contribuent plus largement au financement des projets. Ce besoin est d'autant plus fort que le calendrier envisagé par la loi Grenelle I est resserré. Cette hypothèse de tarification des projets du Grenelle est implicite dans le niveau d'autofinancement que l'on a supposé plus haut (voir 1.4.5).

- Enfin, à trafic équivalent, les modes de transport présentent des coûts unitaires différents : le service nécessaire pour acheminer un voyageur.kilomètre en avion est globalement plus coûteux que celui nécessaire pour acheminer un voyageur.kilomètre en train ; à l'inverse, un trajet effectué en voiture coûte financièrement moins cher à la collectivité que le même trajet accompli en métro. Les reports de trafics attendus dans le scénario Grenelle (route → TCSP, avion → rail) devraient ainsi opérer une redistribution des usagers entre des modes de transports de coût différent, redistribution dont le résultat est ambigu faute de données suffisantes pour calculer le bilan.

Une hausse des prix dans le secteur des transports suite au Grenelle est donc possible : elle viendrait grever le budget des ménages, diminuer la demande adressée aux autres secteurs économiques et en augmenter les coûts de production. **Faute de certitude et afin de ne pas pénaliser le scénario Grenelle par rapport au scénario de référence, les niveaux de prix et de la demande dans le secteur des transports sont ici supposés semblables dans les deux cas**. À titre d'illustration, le cas d'une hausse des prix dans le secteur des transports est simulé comme un scénario de financement alternatif.

[97] Contrairement au paragraphe 1.4.4 qui s'intéressait à l'effet inflationniste du choc d'investissement sur le niveau des dépenses publiques, on s'intéresse ici à l'effet inflationniste du choc d'investissement sur le niveau des prix dans tous les secteurs de l'économie. Les deux phénomènes ont la même cause mais sont traités indépendamment dans notre modélisation. Il n'y a donc pas de double compte.

La présente étude traite toutefois, dans des scénarios annexes, de l'impact des économies d'énergie (3.1) et des avantages socioéconomiques (3.2) liés au volet transport du Grenelle.

2.1.3. Mode de financement des dépenses publiques

La puissance publique dispose de plusieurs types de ressources pour financer ses dépenses : on choisit ici de se concentrer sur la fiscalité[98]. On fait l'hypothèse que les surcroîts de dépenses annuels sont financés par une hausse concomitante des recettes fiscales.

Le financement de l'investissement peut se traduire par une hausse uniforme des prélèvements obligatoires ou le recours à des instruments plus spécifiques au secteur des transports : TIPP, éco-redevance poids lourds (à partir de 2012), versement transport... Du point de vue de la modélisation, la différence entre les instruments fiscaux tient à leur impact spécifique sur les différents secteurs économiques.

Dans le scénario central (n°1), l'investissement est financé par une hausse de l'ensemble des prélèvements obligatoires au prorata de leur poids dans les recettes publiques (« prélèvement générique »). Dans les scénarios n°2, n°3 et n°4, d'autres modes de financement sont envisagés[99] :

Tableau 7 : présentation des différents scénarios simulés

Scénario « Grenelle » n°1	financement par une hausse du prélèvement générique
Scénario n°2	financement par - une hausse du prélèvement générique - une taxe poids lourds (taxe sur les consommations d'énergie des entreprises) de 1 Md€/an à partir de 2012
Scénario n°3	financement par - une hausse du prélèvement générique - une hausse du versement transport (taxe sur la masse salariale) de 1 Md€/an à partir de 2012
Scénario n°4	financement par - une hausse du prélèvement générique - une hausse de la tarification dans le secteur des transports pour un montant de 1 Md€/an à partir de 2012

Source : hypothèses DG Trésor ; en cumulé sur la période de financement, le montant annuel de 1 Md€ représente 57 % du surcroît de dépenses publiques dues au Grenelle.

On suppose que les modes de financement alternatifs rapportent 1Md€ en 2012. Leurs recettes augmentent ensuite au même taux de croissance que le PIB dans le scénario central et représentent donc des recettes publiques permanentes de 0,05 point de PIB. Du point de vue économique, les instruments fiscaux ont des impacts différenciés sur l'économie. La taxe poids lourds (scénario n°2) est supposée peser sur la consommation en énergie des entreprises en volume[100]. Le versement transport (scénario n°3), qui est assis sur la masse salariale, est modélisé comme une hausse du coût du travail supporté par les employeurs. Enfin, la hausse des prix pratiqués dans le secteur des transports (scénario n°4) se concrétise dans le modèle comme une hausse des prix dans le secteur non manufacturier qui pèse sur le pouvoir d'achat des ménages[101].

[98] On laisse de côté l'endettement ou la mise en vente de biens publics, telle la privatisation des autoroutes (dont les produits de cession en 2005 ont été, à ce jour, intégralement consommés) ou la cession de participations dans les sociétés du secteur (SNCF, RFF, ADP, ports…). Concernant l'endettement, compte tenu des nombreux contrats de partenariat public-privé prévus, on peut d'ailleurs considérer que le report des dépenses dans le temps qu'offrirait un recours à l'endettement est déjà largement mis à profit grâce à ces contrats.

[99] Les recettes spécifiques au secteur des transports (taxe poids lourds, versement transport, hausse des prix) sont supposées croître annuellement comme le PIB potentiel.

[100] On ne quantifie pas ici les effets qui joueraient sur les économies d'énergie du fait de cette taxe au regard de la faiblesse des ordres de grandeur considérés.

[101] Pour mémoire, dans le scénario de référence, les prix des transports sont supposés stables, la partie autofinancée des projets étant supposée provenir des recettes de tarification à prix constants.

2.2. Résultats des simulations pour le scénario central et les variantes de financement

2.2.1. Impact sur le PIB et l'emploi du scénario Grenelle (financement par une hausse uniforme des prélèvements obligatoires)

L'augmentation des prélèvements obligatoires à court terme annule l'effet d'entraînement de l'investissement public : le multiplicateur de l'investissement est unitaire sur les quatre premières années. Ensuite, la hausse des salaires, induite par les tensions causées sur le marché du travail, et la hausse des prélèvements obligatoires pèsent sur l'activité, tandis que les effets positifs liés aux investissements passés s'essoufflent. L'impact du volet « transport » du Grenelle est négatif dès 2019 et atteint un point bas en 2031 : à cette date le PIB est réduit de 0,35 point. À très long terme (au-delà de 2079, fin du financement du Grenelle), l'impact des mesures évaluées ici est nul.[102]

Tableau 8 : impact sur le PIB et l'emploi du scénario central (le surplus d'investissement lié au Grenelle est financé par une hausse des prélèvements au prorata de leur poids dans les recettes publiques).

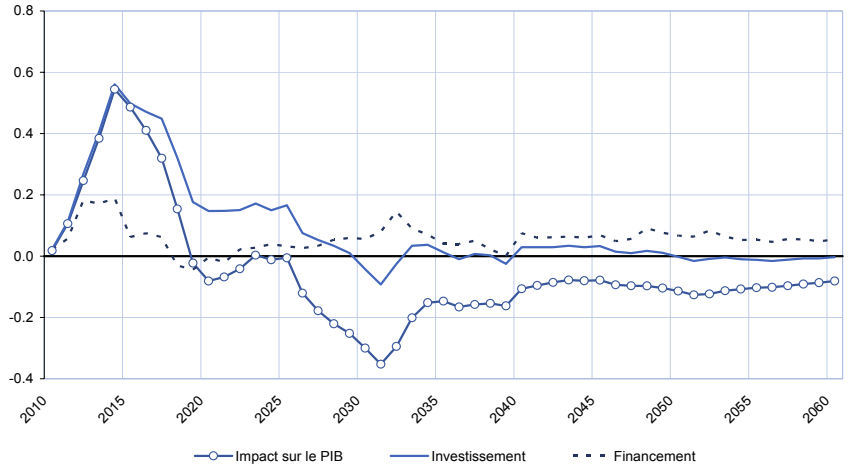
En écart par rapport au scénario de référence

	1 an	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	Long terme
PIB (niveau du PIB, écart en %)	**0,0**	**0,1**	**0,5**	**0,0**	**-0,3**	**-0,1**	**0,0**
dont investissements	*0,03*	*0,13*	*0,70*	*-0,01*	*-0,20*	*-0,01*	*0,00*
dont hausse de l'impôt générique	*-0,01*	*-0,02*	*-0,15*	*-0,01*	*-0,06*	*-0,07*	*0,00*
Emplois (milliers)	**1**	**6**	**57**	**-2**	**-42**	**-14**	**0**
dont investissements	*1*	*10*	*91*	*-2*	*-32*	*-2*	*0*
dont hausse de l'impôt générique	*-1*	*-4*	*-34*	*0*	*-10*	*-12*	*0*

Source : calculs DG Trésor

Lecture : après 5 ans, dans le scénario central, le PIB est plus élevé de 0,5 % par rapport au scénario de référence, et il y a 57 000 emplois de plus dans l'économie. Parmi ces 57 000 emplois, 91 000 sont engendrés par les investissements, mais 34 000 sont détruits par l'augmentation des impôts.

Graphique 7 : impact sur le PIB du scénario « Grenelle » (en % par rapport au scénario de référence) entre 2009 et 2060

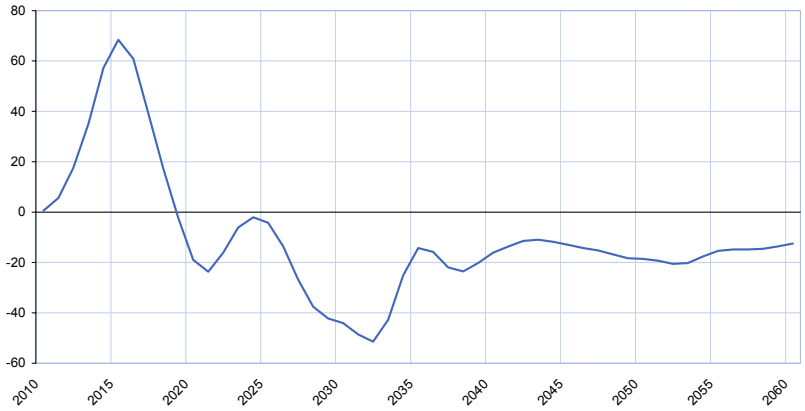


Source : calculs DG Trésor.

Lecture : En 2014, le surinvestissement lié au Grenelle atteint un pic à 0,56 point de PIB. À la même date, l'impact positif du Grenelle (tel qu'il est décrit dans le scénario de base) sur l'activité est maximal : le PIB est augmenté de 0,54 %.

[102] Les impacts sur les principales variables macroéconomiques de chaque scénario sont disponibles dans l'annexe 4.

Graphique 8 : impact sur l'emploi du scénario « Grenelle » (en milliers par rapport au compte central) entre 2009 et 2060

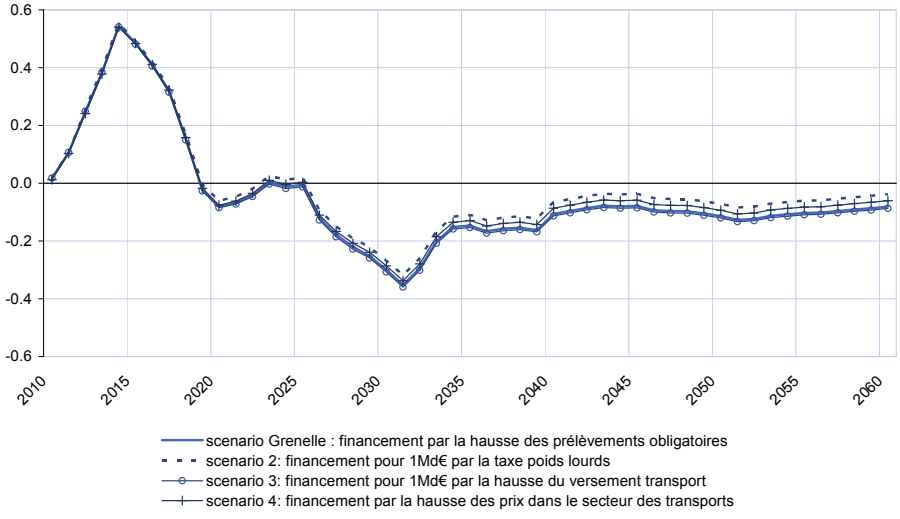


Source : calculs DG Trésor
Lecture : En 2015, l'impact positif du Grenelle (tel qu'il est décrit dans le scénario de base) sur l'emploi est maximal : + 68 000 emplois

2.2.2. Impact d'une modification des modes de financement

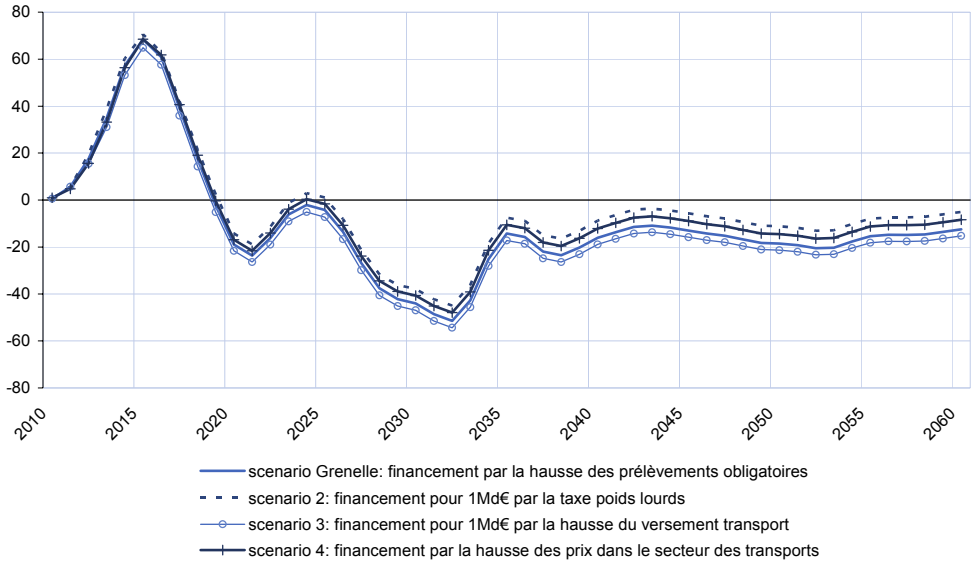
Modifier le mode de financement ne modifie pas sensiblement l'effet du Grenelle sur l'activité (notamment du fait de notre hypothèse sur la taille des financements alternatifs). Des écarts significatifs s'observent uniquement à très long terme (voir graphiques et détail en annexe).

Graphique 9 : impact sur le PIB des différents scénarios envisagés (en % par rapport au scénario de référence)



Source : calculs DG Trésor
Lecture : En 2031, le volet transport du Grenelle lorsqu'il est financé par une hausse uniforme de tous les prélèvements obligatoires se traduit par une baisse du PIB de 0,35 % contre 0,32 % lorsqu'il est financé pour 0,05 point de PIB par la création d'une taxe poids lourds.

Graphique 10 : impact sur l'emploi des différents scénarios envisagés (en % par rapport au scénario de référence)



Source : calculs DG Trésor
Lecture : En 2032, le volet transport du Grenelle lorsqu'il est financé par une hausse uniforme de tous les prélèvements obligatoires se traduit par la destruction de 51 000 emplois contre 54 000 emplois lorsqu'il est financé pour 0,05 point de PIB par une hausse du versement transport.

Le recours à une taxe poids lourds est l'option la plus favorable à l'activité. Cette taxe est moins distorsive que les impôts qui pèsent sur les facteurs de production (travail et capital) car elle est supposée peser sur la consommation d'énergie des entreprises dans le secteur des transports, facteur de production qui est importé et pour lequel il existe des substituts (report modal). La taxe se traduit donc par deux types d'effets. D'une part, elle accroit le coût des consommations intermédiaires en énergie des entreprises et donc les prix de consommation. D'autre part, elle diminue la dépendance de l'économie française vis-à-vis du reste du monde, améliore la balance commerciale et grâce au signal prix incite les entreprises à utiliser des moyens de transports moins énergivores.

La hausse du versement transport est en revanche l'option la plus défavorable à l'emploi. En pesant sur la masse salariale, le versement transport se traduit par une hausse du coût du travail et donc, à niveau de demande inchangé, par une augmentation du chômage. Le processus de négociation salariale conduit ensuite à une diminution des salaires qui ne compense qu'imparfaitement la hausse du coût et la dégradation de la compétitivité qu'elle induit.

3. Intégration d'éléments propres aux infrastructures de transports

Afin d'évaluer l'impact structurel du volet « transport » du Grenelle, on doit considérer les effets économiques du report modal qu'il induit. L'impact sur la demande et sur les prix dans le secteur des transports n'est pas abordé ici (voir 2.1.2). En revanche, deux types d'effets peuvent être intégrés dans les évaluations macroéconomiques : les gains en économies d'énergie d'une part et les gains socioéconomiques d'autre part. Cette partie présente les hypothèses de modélisation retenues pour ces deux types d'effets ainsi que les résultats des simulations. Compte tenu des difficultés de l'exercice, l'objectif est de susciter le débat et de donner des ordres de grandeur.

3.1. Économies d'énergie

Le programme d'infrastructures du Grenelle de l'environnement est supposé avoir un effet bénéfique sur la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre de la France. Une part des trafics de voyageurs et de marchandises devraient se reporter des modes de transports fortement consommateurs de produits pétroliers (route, aérien) vers des modes moins énergivores et plus respectueux de l'environnement (rail, TCSP, fleuve). À terme, le scénario Grenelle devrait ainsi permettre des économies d'énergie, par l'effet de substitution entre des modes plus ou moins gourmands, et des économies de pétrole, par l'effet de substitution entre les sources d'énergie.

3.1.1. Estimation des économies d'énergie et de pétrole engendrées par les investissements du Grenelle

Un bilan énergétique en phase d'exploitation – économies d'énergie liées aux trafics, tous types d'énergie confondus, et économies d'hydrocarbures – a été réalisé pour chaque projet. L'impact des projets est évalué à partir du bilan des émissions de CO_2 qui sont valorisées dans les calculs de rentabilité socio-économique de chaque projet (voir Annexe 2).

On se limite ici aux projets d'investissements sur les modes ferroviaires, fluviaux et de transport collectif urbain. En effet, le bilan énergétique des investissements routiers, aériens et maritimes est ambigu. Par exemple, un projet routier, en tant qu'il améliore la fluidité de circulation des véhicules, contribue à réduire la consommation d'énergie moyenne des véhicules. Toutefois, l'amélioration des conditions de circulation augmente sa compétitivité vis-à-vis des autres modes entraînant un surcroît de trafic sur la route. La combinaison des deux effets est ambiguë sur le bilan énergétique. On suppose donc ici que l'effet est neutre, ce qui semble d'autant plus acceptable que l'essentiel des investissements routiers envisagés par la présente étude sont destinés à maintenir en état le réseau existant, ni plus ni moins. Des considérations analogues nous conduisent à négliger l'impact énergétique des investissements aériens et maritimes.

La validité de cette méthode de calcul par les émissions de CO_2 évitées a été testée par comparaison avec les scénarios présentés par la Direction Générale de l'Énergie et du Climat (DGEC) pour l'horizon 2020. Les résultats sont les suivants :

Tableau 9 : bilan énergétique pour l'année 2020 suite à la mise en œuvre du volet « transport » du Grenelle par rapport au scénario de référence (en Mtep)

	Estimation à partir des données DGEC	Estimation projet par projet, par la méthode des gains de CO_2
Évolution de la consommation de pétrole (a)	-1,21 Mtep	-1,22 Mtep
Évolution de la consommation globale d'énergie (b)	-0,89 Mtep	-0,71 Mtep
dont consommation d'énergie par les voyageurs	*-0,24 Mtep*	*-0,57 Mtep*
dont consommation d'énergie par les marchandises	*-0,64 Mtep*	*-0,14 Mtep*
Impact sur la consommation d'énergie hors pétrole (b) - (a)	0,33 Mtep	0,51 Mtep

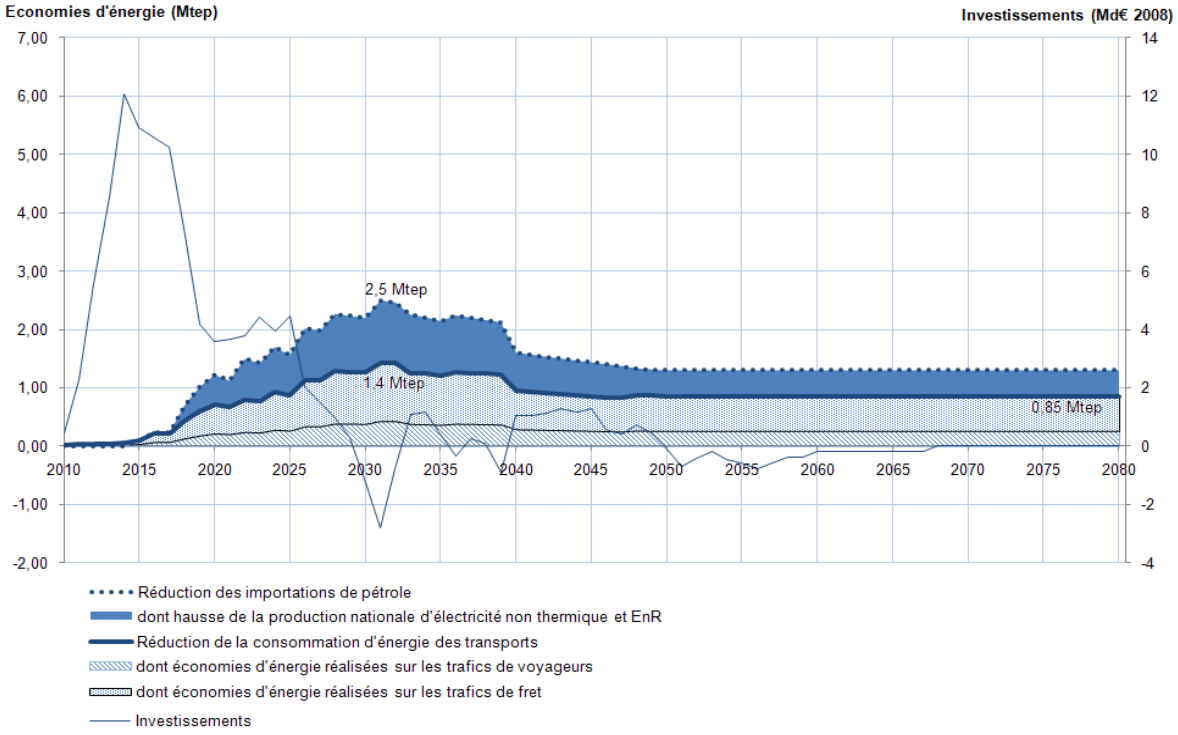
Sources : DGEC, calculs DG Trésor
Lecture : les projections de la Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC) pour l'année 2020 estiment à 1,21 Mtep la réduction des consommations de pétrole dues à la réalisation du programme d'infrastructures de transport du Grenelle. Cette réduction provient pour 0,89 Mtep d'une diminution de la consommation globale d'énergie des transports et pour 0,33 Mtep d'un phénomène de substitution entre le pétrole et les autres sources d'énergie.

Si les ordres de grandeur sont à peu près cohérents pour les économies de pétrole et d'énergie, la répartition entre trafics de voyageurs et trafics de marchandises est inversée entre les deux approches. Cela tient au fait que nos hypothèses prévoient un nombre bien supérieur de projets dédiés aux voyageurs (LGV, TCSP) que de projets dédiés au fret, et que l'approche projet par projet appréhende mal les effets – relativement incertains[103] – d'une hausse de la compétitivité des modes ferroviaires et fluviaux pour le transport de fret.

Pour les besoins de la modélisation macroéconomique, on retient la méthode projet par projet dont le principal mérite est de fournir une séquence annuelle des économies d'énergie. Toutefois, la répartition de ces économies entre ménages et entreprises est supposée analogue à la répartition voyageurs/marchandises issue des projections de la DGEC pour l'horizon 2020. Le graphique suivant fournit une représentation de ces différentes séquences.

[103] L'objectif affiché par la loi Grenelle I en matière de transport de fret, soit une part modale de 25 % pour les modes non routiers à l'horizon 2020, paraît d'ailleurs assez improbable à bon nombre d'observateurs.

Graphique 11 : hypothèses d'économies d'énergie dues au programme d'infrastructures de transport du Grenelle (en millions de tep)



Source : calculs DG Trésor
Lecture : En 2032, les importations de pétrole sont réduites de 2,5 Mtep mais la consommation énergétique des transports n'est réduite que de 1,4 Mtep. La différence correspond à une hausse de la production à partir des autres sources d'énergie (effets de substitution pétrole/biocarburants et pétrole/électricité). La séquence d'investissement est figurée pour mémoire.

Les économies d'énergie entre le scénario Grenelle et le scénario de référence surviennent à mesure que les investissements entrent en service. Le différentiel atteint un maximum (1,42 Mtep économisées) en 2032, soit à la mise en service de tous les investissements du Grenelle et décroît ensuite jusqu'à un niveau plancher (0,85 Mtep). Le gain à long terme est plus faible que le gain obtenu à la mise en service des investissements du Grenelle car :

- d'une part, la mise en service progressive des derniers investissements du scénario de référence réduit les écarts d'économies d'énergie entre les deux scénarios ;
- d'autre part, les économies d'énergie réalisées grâce aux LGV et aux TCSP s'amenuisent à mesure que le mode routier bénéficie du développement des motorisations « vertes » (biocarburants, véhicules électriques). Bien que présent dans les deux scénarios, Grenelle et référence, ce phénomène concerne toutefois des volumes de trafic routier plus importants dans le scénario de référence, de sorte que le bénéfice tiré des nouvelles motorisations y est plus fort que dans le scénario Grenelle.

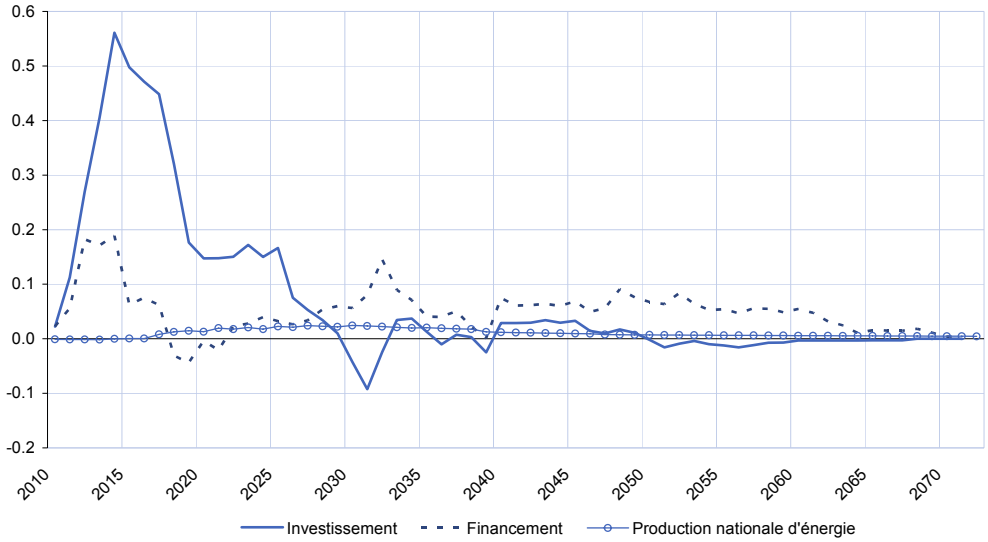
Au-delà de 2050 subsistent les économies d'énergie engendrées par tous les projets réalisés dans le scénario Grenelle mais non réalisés dans le scénario de référence. En matière d'économies d'énergie et de pétrole, on fait ici l'hypothèse que le programme du Grenelle ne constitue donc pas une simple accélération des gains qui auraient été obtenus à long terme mais bien un changement de trajectoire énergétique, ce qui constitue une hypothèse favorable au Grenelle sur le long terme. Le gain énergétique à long terme (0,85 Mtep) est cependant de faible ampleur par rapport à la consommation totale d'énergie du secteur transports, qui est actuellement de l'ordre de 53 Mtep (source : observatoire de l'énergie).

3.1.2. Résultats du scénario central avec prise en compte des économies d'énergie

Le volet « transport » du Grenelle, grâce au report modal qu'il implique, exige d'une part d'augmenter la part nationale de production d'énergie et permet d'autre part de réduire les consommations d'énergie dans le secteur des transports.

La consommation d'électricité produite nationalement se substitue à de la consommation d'hydrocarbures. Ceci se traduit par une réduction des importations d'énergie et une amélioration de la balance commerciale. Par ailleurs, comme les consommations de pétrole se réduisent davantage que la consommation d'énergie, la production nationale d'énergie augmente (en l'occurrence la production d'électricité). Cela implique une hausse de l'emploi et de l'investissement domestiques. Toutefois, en raison de la faiblesse des effets du volet « transport » du Grenelle sur la production nationale d'énergie, l'impact macroéconomique est non significatif. Les gains en termes d'importations d'hydrocarbures représentent en effet au maximum 0,02 point de PIB ce qui est négligeable au niveau macroéconomique (voir graphique 12).

Graphique 12 : dépenses d'investissement, coût de financement et hausse de la production nationale d'énergie induits par le volet « transport » du Grenelle (en point de PIB)



Source : calculs DG Trésor

Les économies d'énergie devraient induire une baisse des coûts dans le secteur des transports : cette baisse de coût pourrait se traduire par une hausse des marges ou une baisse des prix. On suppose ici que l'effet sur le prix est nul. En effet, de manière générale, l'impact du volet « transport » du Grenelle sur le prix du service est ambigu, ce qui nous invite à ne pas formuler d'hypothèses sur ce point (voir 2.1.2). De plus, l'ampleur des économies ne permettrait pas d'observer un impact macroéconomique significatif. On retiendra donc surtout que les économies d'énergie permises par le volet « transports » du Grenelle améliorent le solde de la balance commerciale et augmentent marginalement la production nationale d'énergie.

3.2. Gains structurels à long terme

3.2.1. Hypothèses de modélisation

Bien que l'hypothèse soit largement discutable (voir annexe 3), les avantages socioéconomiques des usagers sont supposés se traduire intégralement en gain de PIB. L'objectif est d'illustrer, à partir d'un cas polaire, l'impact théorique maximal du programme d'investissement du Grenelle.

Ces avantages sont estimés à partir du coût d'investissement et de la rentabilité attendue de chaque projet. Lorsque la rentabilité n'est pas connue – par exemple, parce que l'étude n'a pas encore été menée par le maître d'ouvrage du projet – des taux de rentabilité interne (TRI) sont attribués aux projets (présentés dans le tableau 10 et détaillés dans l'annexe 3). Les TRI sont globalement optimistes puisque certains projets d'ores-et-déjà bien connus, tels la nouvelle ligne ferroviaire Lyon-Turin ou le canal Seine-Nord-Europe, seront probablement moins rentables que ce qui est supposé ici. Selon de premières simulations de RFF, seuls 4 projets de LGV sur les 12 prévus au titre des 2500 km supplémentaires après 2020 dépasseraient 4 % de rentabilité socioéconomique (contre 5 % supposé ici).

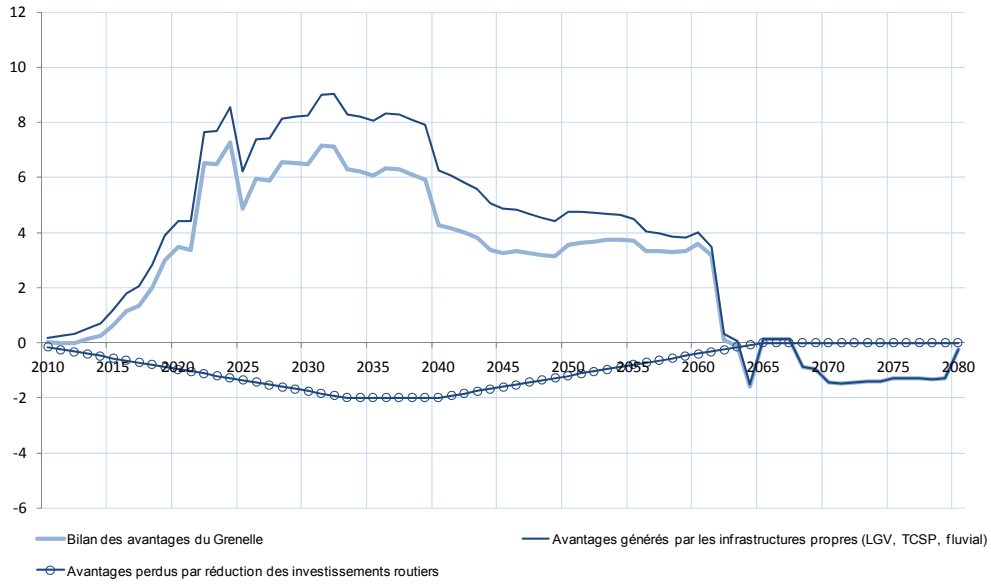
Tableau 10 : TRI des investissements projetés (si non connus, en pourcentage du montant de l'investissement)

Mode de transport	TRI	Justification de l'hypothèse
Fer	5 %	Moyenne des TRI des LGV en phase d'études préliminaires et de résultats de travaux exploratoires de RFF
TCSP	8 %	Valeur intermédiaire entre le TRI des projets ferroviaires et celui des projets routiers
Route	10 %	Minoration du TRI moyen estimé ex post sur 11 projets routiers
Autre	4 %	Taux d'actualisation public pris par convention

Afin de prendre en compte l'amélioration possible de la rentabilité des projets dans le scénario de référence, du fait d'une meilleure adéquation à la demande de transport, on suppose que le TRI s'améliore de 0,2 point (valeur purement conventionnelle) par année de décalage entre le scénario de référence et le scénario Grenelle. Enfin, lorsque la durée de vie des investissements n'est pas connue, les avantages socioéconomiques y afférents sont supposés durer 25 ans.

En définitive, le graphique suivant représente la séquence des avantages socioéconomiques estimés du programme d'infrastructures de transport du Grenelle. L'impact est positif, dès 2010, jusque 2060-2065 ce qui correspond à la période d'extinction des avantages pour de nombreux projets. Au-delà, les avantages économiques des projets mis en œuvre dans le cadre du Grenelle s'annulent tandis que les avantages économiques des projets mis en œuvre plus tardivement dans le scénario de référence persistent : ceci conduit à un différentiel négatif entre le scénario Grenelle et le scénario de référence. On notera que la réduction temporaire des investissements routiers dans le scénario Grenelle a un impact négatif significatif mais pas majoritaire par rapport aux avantages attendus des investissements consacrés aux autres modes.

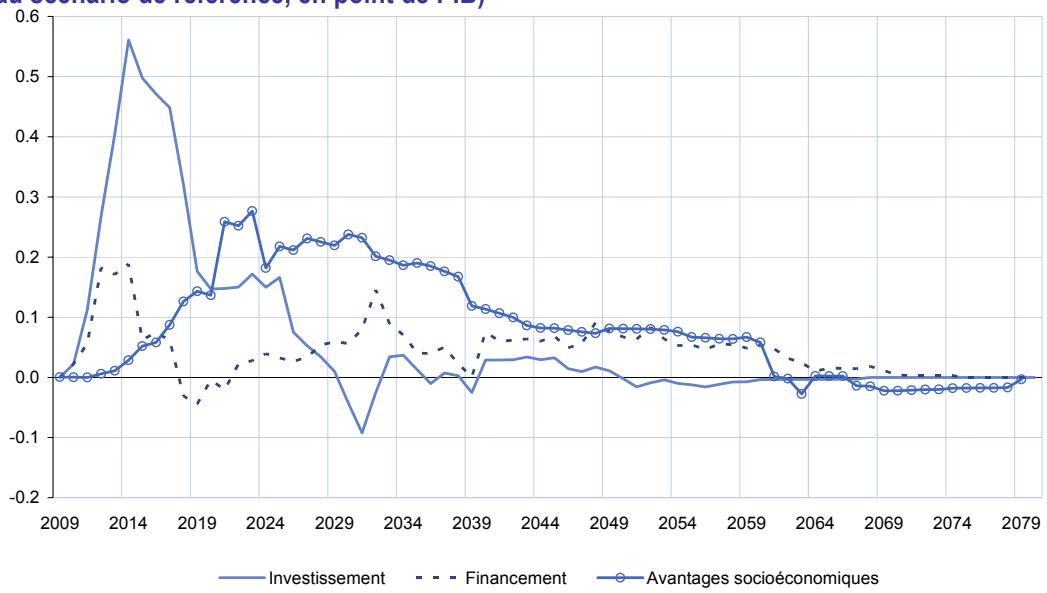
Graphique 13 : mesure des avantages socioéconomiques du scénario Grenelle (en Md€2008, relativement au scénario de référence)



Source : calculs DG Trésor. Lecture : les avantages socioéconomiques créés par le volet transport du Grenelle représentent en 2035 environ 6,1 Md€$_{2008}$.

On voit donc qu'au total, dans le cadre du volet « transport » du Grenelle, les avantages socioéconomiques sont globalement supérieurs à ceux qui auraient prévalu en l'absence du scénario Grenelle mais deviennent nuls à très long terme. Contrairement aux économies d'énergie, les ASE sont significatifs d'un point de vue macroéconomique : en 2024, ils représentent un gain de 0,28 point de PIB sur l'année.

Graphique 14 : dépenses d'investissement, besoin de financement public et avantages socioéconomiques (en écart au scénario de référence, en point de PIB)



Source : calculs DG Trésor

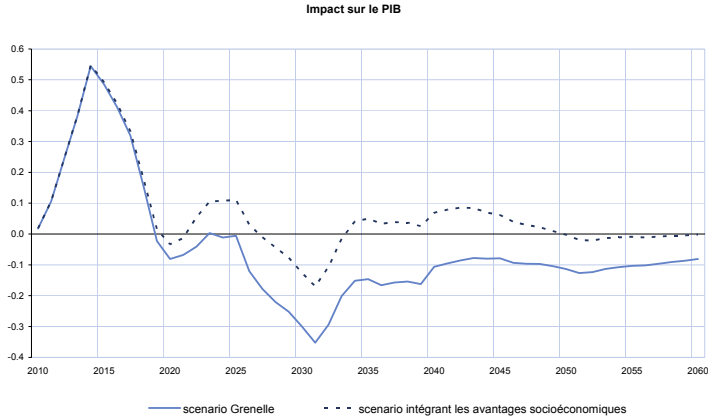
3.2.2. Résultats du scénario central avec prise en compte des avantages socioéconomiques comme des gains de productivité

On fait l'hypothèse que les avantages socioéconomiques consistent essentiellement en des gains de temps pour les salariés et les transports de marchandises (voir annexe 3). On considère ici que les avantages socioéconomiques ont pour effet d'augmenter la productivité du travail plutôt que de tenter de les traduire en des baisses de coûts de production qu'il serait vain de quantifier (notamment la répartition de ces baisses entre les différents facteurs de production). Dans le modèle Mésange, le progrès technique, qui détermine le niveau de croissance de l'économie, porte uniquement sur le travail (progrès technique neutre au sens d'Harrod).

Dans la mesure où les gains d'avantages socioéconomiques du fait du Grenelle sont supposés se concrétiser uniquement sur la durée de vie des infrastructures et s'annuler à long terme, le volet « transport » du Grenelle ne permet pas d'augmenter structurellement ou durablement la productivité du travail par rapport au scénario de référence[104]. La hausse de la productivité du travail est donc temporaire et se concentre entre 2013 et 2032 au moment de la mise en service des nouvelles infrastructures, pour atteindre un pic en 2024 puis un palier entre 2025 et 2031 autour de 0,2 points de PIB environ puis décroître progressivement (voir graphique 14).

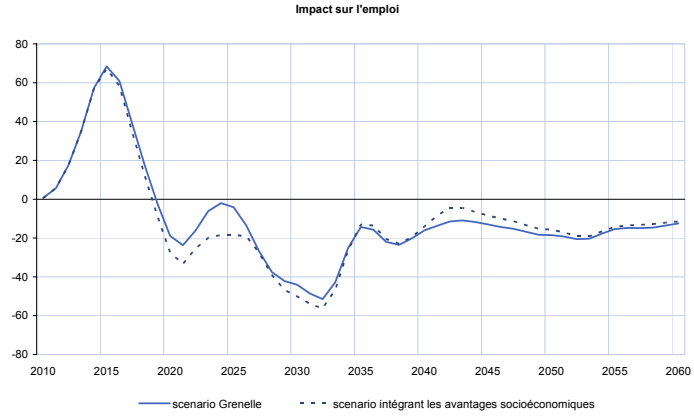
[104] Les graphiques 15 et 16 montrent un impact résiduel en 2060 mais celui-ci disparaît effectivement au-delà.

Graphique 15 : impact sur le PIB du volet transport du Grenelle lorsque les avantages socio-économiques sont intégrés à l'évaluation (en % en écart au scénario de référence)



Source : calculs DG Trésor
Lecture : En 2031, suite à la mise en œuvre du volet transport du Grenelle, le PIB est réduit de 0,17 %. Sans les avantages socioéconomiques, le PIB serait réduit de 0,35 %.

Graphique 16 : impact sur l'emploi du volet transport du Grenelle lorsque les avantages socio-économiques sont intégrés à l'évaluation (en milliers en écart au scénario de référence)



Source : calculs DG Trésor
Lecture : En 2032, le volet transport du Grenelle se traduit par la destruction de 56 000 emplois lorsque l'amélioration de la productivité du travail est prise en compte (contre 49 000 lorsque elle est supposée nulle).

Tableau 11 : impact sur le PIB et l'emploi du scénario intégrant les ASE (le surplus d'investissement lié au Grenelle est financé par une hausse des prélèvements au prorata de leur poids dans les recettes publiques et augmente la productivité du travail dans l'économie)

En écart par rapport au scénario de référence

	1 an	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	Long terme
PIB (niveau du PIB, écart en %)	0,0	0,1	0,5	0,0	-0,1	0,0	0,0
dont investissements	*0,03*	*0,13*	*0,70*	*-0,01*	*-0,20*	*-0,01*	*0,00*
dont hausse de l'impôt générique	*-0,01*	*-0,02*	*-0,15*	*-0,01*	*-0,06*	*-0,07*	*0,00*
dont amélioration de la productivité du travail	*0,00*	*0,00*	*0,00*	*0,04*	*0,17*	*0,08*	*0,00*
Emplois (milliers)	1	6	57	-9	-47	-12	0
dont investissements	*1*	*10*	*91*	*-2*	*-32*	*-2*	*0*
dont hausse de l'impôt générique	*-1*	*-4*	*-34*	*0*	*-10*	*-12*	*0*
dont amélioration de la productivité du travail	*0*	*0*	*0*	*-7*	*-5*	*2*	*0*

Lecture : après 20 ans, dans le scénario central, le PIB est réduit de 0,1 % par rapport au scénario de référence et 47 000 emplois sont détruits. Parmi ces 47 000 emplois, 32 000 sont détruits par la baisse des investissements dans les infrastructures de transport, 10 000 par l'augmentation de l'imposition et 5 000 emplois sont perdus par l'augmentation de la productivité du travail.

À court terme, une augmentation de la productivité permet aux entreprises d'économiser le travail : le niveau de production étant inchangé, les entreprises licencient une partie de leurs effectifs. Par ailleurs, les salaires s'indexent avec retard sur le niveau de productivité, ce qui ralentit la hausse des coûts de production à court terme. L'impact des avantages économiques des projets est finalement positif sur l'activité grâce à une amélioration de la compétitivité, mais pèse sur l'emploi.

À moyen terme, la hausse du chômage modérant les prétentions salariales et la diminution des prix stimulant l'activité, les entreprises augmentent leur demande de travail. Alors, l'effet sur l'emploi devient nul et l'effet sur l'activité positif. Finalement, les avantages socioéconomiques - tels que modélisés ici - soutiennent l'activité et permettent d'annuler, au bout de 20 ans environ, l'impact négatif du financement du Grenelle. En revanche, ils accentuent les destructions d'emploi entre 2020 et 2035.

Tableau 12 : impact sur le PIB et l'emploi des effets structurels du Grenelle, c'est-à-dire lorsque l'on intègre les avantages socioéconomiques (différentiel entre tableau 11 et le tableau 8)

En écart par rapport au scénario de référence. En centième de point de PIB

	1 an	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	Long terme
PIB (niveau du PIB, écart en centième de %)	0	0	0	4	17	8	0
Emplois (milliers)	0	0	0	-7	-5	2	0

Lecture : sous réserve que les avantages socioéconomiques des projets de transport augmentent la productivité du travail, les effets structurels du Grenelle (hors effets keynésiens) augmentent le PIB de 0,17 % et détruisent 5 000 emplois en 2030.

4. Conclusion

Notre évaluation du volet « transport » du Grenelle repose sur des hypothèses (très) optimistes tant sur les coûts de financement[105] et le niveau d'autofinancement des projets[106] que sur le montant des avantages socioéconomiques qu'elles induisent[107]. Les effets macroéconomiques à attendre des mesures envisagées sont donc certainement plus faibles que ceux présentés ici.

En premier lieu, l'étude se limite au financement des dépenses d'investissement dans les infrastructures et ne considère pas les dépenses d'exploitation et d'entretien additionnelles qui seront suscitées par ce programme d'investissement. En deuxième lieu, on suppose que le coût du service de transport n'augmente pas en raison du Grenelle. Dans le cas contraire, le Grenelle entraînerait des effets de substitution sur la consommation des ménages, une hausse des coûts de production dans les secteurs utilisateurs et une diminution de la compétitivité prix des entreprises domestiques. En troisième lieu, les avantages socioéconomiques et leurs effets positifs sur l'activité sont sans doute surestimés puisque, d'une part, ils se fondent sur des taux de rentabilités des projets relativement optimistes dans les secteurs encouragés pour le Grenelle (le ferroviaire par exemple) et faibles dans les secteurs défavorisés par le Grenelle (le routier) et, d'autre part, ils sont comptabilisés majoritairement comme des gains structurels pour l'économie française.

Sous ces hypothèses, l'impact du programme d'infrastructures de transports du Grenelle sera bénéfique à court terme, apportant de l'ordre de 0,5 point de croissance et 60 000 emplois supplémentaires à horizon de 5 ans. Les hausses de salaires induites du fait des tensions causées sur le marché du travail conjuguées au coût du financement pour les dépenses publiques atténuent toutefois rapidement cet effet positif, qui disparaît avant 10 ans. À moyen-long terme (20 ans), l'activité sera diminuée de 0,1 point de PIB et l'on détruira 50 000 emplois par rapport au scénario de référence. Si l'impact sur le PIB devrait disparaître à partir de 2035, la perte d'emplois ne devrait se résorber que très lentement et s'éteindre avec les dernières dépenses publiques (prévues ici pour 2079).

[105] Notamment, les dépenses d'exploitation supplémentaires ne sont pas prises en considération.
[106] Le besoin de financement public est probablement minoré.
[107] L'hypothèse que tous les avantages socio-économiques des infrastructures se transforment en gain de productivité pour l'économie française est une hypothèse maximaliste, qui ignore la possibilité d'une transformation en gain de pur bien-être pour les individus.

Annexe 1 : Hypothèses d'inflation des coûts du BTP

Les volumes d'investissement et les coûts de réalisation des projets peuvent dériver sensiblement de ceux évalués dans les études *ex ante*. L'évolution des prix du secteur du BTP en particulier peut s'éloigner de l'inflation des prix dans l'ensemble de l'économie[108], ceci en raison de deux principaux phénomènes :

- une inflation des prix du secteur du BTP durablement plus élevée que l'IPCH (tendance de long terme observée sur le passé),
- une inflation ponctuelle des prix du BTP engendrée par le surcroît de demande adressé au secteur (choc positif d'investissement du Grenelle de l'environnement).

Sous estimation des coûts des projets : l'enseignement des expériences passées

Les bilans *ex post* imposés par l'article 14 de la LOTI[109] montrent une tendance systématique des études préalables à sous-estimer les coûts de réalisation des infrastructures de transport. Ce phénomène vaut pour les infrastructures tant routières que ferroviaires ou de transport collectif urbain. Les raisons principales sont :

- des modifications des projets, notamment après la déclaration d'utilité publique (DUP);

Ce risque diminue si le délai écoulé entre la DUP et les travaux reste court. Le rythme de réalisation des projets imposé par la loi Grenelle I (démarrage des travaux avant 2020 pour 2000 km de LGV) place le programme d'investissement plutôt dans ce cas de figure.

- une inflation plus forte que prévue des prix du génie civil ;

La faible croissance des prix du génie civil observée dans les années 1990 (2 % environ) ne s'est pas maintenue (voir la courbe des indices TP01 représentée plus bas). Sur certains chantiers concomitants (LGV Nord, LGV Île-de-France et LGV Rhône-Alpes), il a par ailleurs été démontré une entente entre les acteurs du marché conduisant à majorer le prix des projets.

- un durcissement des contraintes environnementales.

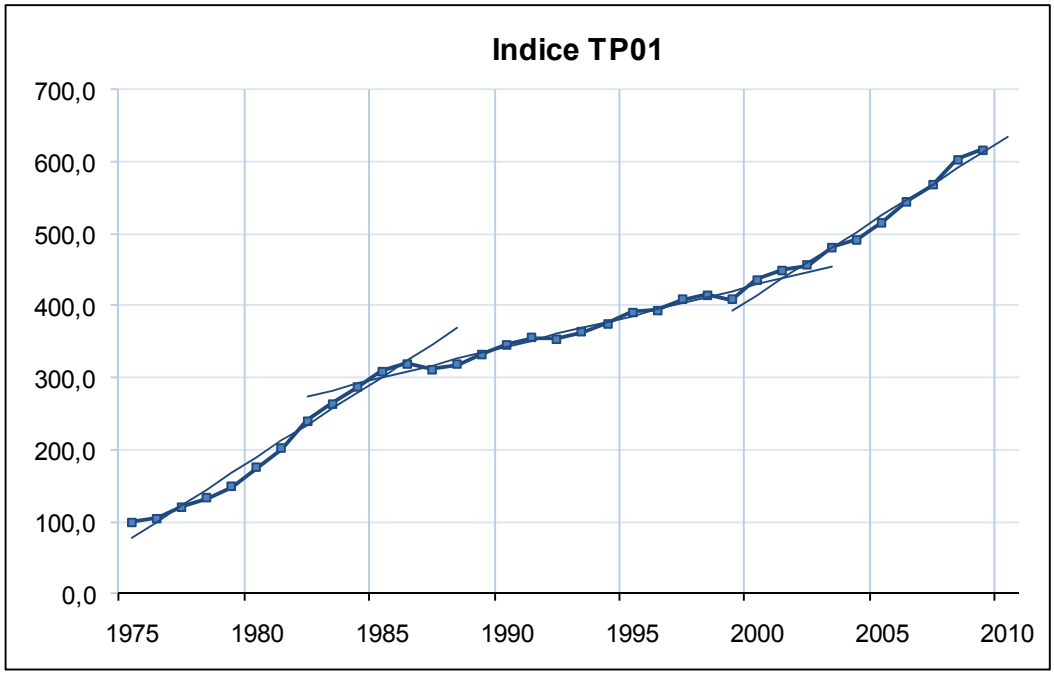
Sur la période d'étude des grands projets d'infrastructures (au minimum 10 ans), le renforcement progressif de la législation environnementale a conduit à multiplier les mesures d'atténuation ou de compensation des nuisances (déviations de tracé, écrans anti-bruit, passages à faune, reconstitution de milieux naturels protégés, etc.). Les objectifs environnementaux du Grenelle risquent de renforcer encore ces aspects sur les projets à venir.

La littérature académique confirme, sur la base d'échantillons statistiquement représentatifs, les biais optimistes observés en France. Flyvbjerg *et al*. (2003) estiment ainsi que 80 % à 90 % des projets d'infrastructure de transport coûtent en définitive plus cher que les estimations initiales. Sur le panel étudié (258 projets dans 20 pays différents), les surcoûts moyens sont de +20 % pour les projets routiers, +34 % pour les ouvrages fixes (tunnels et ponts) et +45 % pour les projets ferroviaires. Les bilans LOTI en France conduisent à des chiffres similaires (+5 % à +25 % sur les LGV, -4 % à +82 % sur les autoroutes avec une moyenne à +30 %).

Étant donné les incertitudes pesant à ce stade sur une large part des investissements envisagés, l'hypothèse d'une sous-estimation des coûts apparaît hautement probable. Les retours issus des bilans LOTI fournissent une fourchette des dérives à attendre pour les projets à moyen et long terme. On retiendra ainsi que les estimations initiales de coûts sont entachées d'un biais optimiste, supposé en moyenne égal à 25 % tous projets confondus. Ce biais se décompose en un effet volume (surcroît d'investissement) et un effet prix (surcroît du coût de l'investissement), qu'il convient de distinguer.

L'indice TP01 (indice de travaux publics[110]) est choisi pour approximer les prix dans le BTP et étudier l'effet prix de la sous estimation *ex ante* du coût des projets.

[108] L'inflation des prix est ici mesurée par l'indice harmonisé des prix à la consommation (IPCH).
[109] Loi d'orientation des transports intérieurs, du 30 décembre 1982.
[110] Indice base 100 en 1975, couvrant tous les corps de métier du BTP mais n'intégrant pas les marges des entreprises.



L'analyse rétrospective de l'indice TP01 montre trois phases de croissance différentes :

- de 1975 au milieu des années 80 : +12 %/an
- du milieu des années 80 jusqu'en 2000 : +2 %/an
- de 2000 à 2007 : +4 %/an

Pour les années futures, l'évolution des prix du BTP est sujette à caution. Au vu des volumes d'investissement passés, il n'y a pas de relation probante entre l'indice TP01 et le volume d'investissement en infrastructures[111]. Les phases de forte inflation paraissent essentiellement liées aux chocs pétroliers et à l'inflation des matières premières.

Compte tenu de la raréfaction des ressources (pétrole, matières premières) à bon marché, il est possible que l'indice TP01 continue sa progression à un rythme soutenu. On retient ici une progression annuelle de 3,52 %, qui correspond à la moyenne observée sur les 12 dernières années. Par comparaison, la dérive annuelle moyenne de l'IPCH sur les 12 dernières années est égale à 1,69 %. Si, par exemple, il s'écoulait 8 ans entre la décision d'utilité publique d'un projet (DUP) et l'achèvement des travaux, ce différentiel d'inflation entre le secteur du BTP et l'ensemble de l'économie se traduirait par un surcoût d'environ 15 % par rapport à l'estimation de niveau DUP.

Pour résumer, on suppose donc dans la présente étude que les projets à venir connaîtront un surcoût moyen de 25 % par rapport aux estimations actuelles, dont +10 % dus à un surcroît du volume d'investissement et +15 % dus à l'inflation tendancielle du secteur.

Inflation ponctuelle due au choc de demande

En dépit des annonces politiques, l'effort considérable d'investissement du Grenelle ne constitue pas aujourd'hui une programmation fiable des projets permettant au secteur du BTP d'anticiper les besoins et surtout le calendrier des travaux. Il est donc probable que ce pic d'investissement affectera à la hausse le coût des projets, indépendamment des effets susmentionnés (puis à la baisse lorsque le volume d'investissement retombera, après le pic).

Afin d'étudier la sensibilité du coût des projets au pic de demande qu'implique le Grenelle, on établit les volumes de demande adressés à chaque secteur de l'économie. Pour cela, on décompose les projets par poste de dépense à l'aide des bases de données de coûts possédées par la SNCF et par la Direction des Routes du MEEDDM sur les projets passés (source : SETRA). Bien qu'un projet de LGV diffère

[111] Cet argument est discutable. Dans un travail plus approfondi, il conviendrait peut-être de rechercher une relation entre TP01 et accélération des investissements publics, la formation des prix des travaux publics pouvant également dépendre de la prévisibilité des carnets de commande (hors effet d'entente illicite sur les prix).

sensiblement d'un projet d'autoroute, de canal ou de TCSP, on propose de retenir la décomposition ci-dessous :

Poste de dépense	Part du total H.T.	Secteur majoritaire auquel s'adresse la demande
Études et direction des travaux	10 %	Services marchands
Acquisitions foncières et dégagements d'emprise	12 %	Services marchands
Terrassements	22 %	Construction
Ouvrages d'art	22 %	Construction
Assainissement, drainage	6 %	Construction
Rétablissement de réseaux	5 %	Construction
Équipements	20 %	Industrie
Environnement	3 %	Services marchands
Total	100 %	

Source : calculs DG Trésor, à partir de données fournies par le SETRA

Selon les secteurs concernés, on détermine l'impact d'une forte hausse de la demande sur les prix :

- On estime que le différentiel de demande de services marchands (25 % du total de l'investissement) dû au Grenelle n'est pas de nature à accroître significativement les prix de ce secteur. Hormis quelques compétences rares (ex : ouvrages d'art exceptionnels), les compétences en ingénierie et maîtrise d'œuvre sont nombreuses sur le marché français et la concurrence bien établie. La hausse locale des prix du foncier concerné par des acquisitions en vue de réaliser les projets devrait par ailleurs rester marginale, compte tenu des dispositions réglementaires en matière d'expropriation.
- La même hypothèse - pas de hausse importante des prix - est faite concernant la construction (55 % du total) : le secteur des Travaux Publics est bien développé en France, avec trois multinationales de premier plan (Vinci, Bouygues, Eiffage) capables de réorganiser leurs capacités de production entre l'international et le territoire français, et de nombreuses PME locales polyvalentes qui sauront passer sans grande difficulté des chantiers routiers actuels aux futurs chantiers ferroviaires.
- S'agissant des équipements nécessaires aux infrastructures (20 % du total), une hausse des prix due au Grenelle est possible mais incertaine :
    - le marché des matériaux est disparate : peu concurrentiel sur les granulats (provenance de carrières locales et caractéristiques bien spécifiques), il l'est beaucoup plus sur les ciments et l'acier (marchés mondialisés) ;
    - les entreprises spécialisées (en particulier de pose de voies ferrées) sont peu nombreuses et nécessitent une bonne visibilité de leur carnet de commandes pour réaliser les investissements nécessaires à l'augmentation des cadences de production ;
    - les équipements de signalisation, télécommunications, clôtures, etc. relèvent plutôt de secteurs industriels où la concurrence est bien établie.

  Étant donné son poids relatif dans le coût global, une hausse des prix sur ce segment induirait une hausse significative du prix global d'un projet.

Une note interne à la DG Trésor avait cherché à évaluer en 2005 l'impact de la programmation du CIADT de 2003[112] sur le secteur des travaux publics. Elle estimait que l'impact sur les prix serait notable sans être majeur, et chiffrait l'élasticité de court terme des prix à la demande à 0,2. Dans la mesure où la commande publique représente environ 70 % de l'activité des travaux publics, **les prix du secteur présentent donc une élasticité au niveau d'investissement public de 0,14. Ce chiffre est retenu ici pour simuler l'impact annuel sur les prix des variations annuelles du montant d'investissement.**

[112] Programme d'investissement en infrastructures de transport, comparable à celui du Grenelle de l'environnement même si d'ampleur moindre. La plupart des projets non routiers annoncés lors du CIADT de 2003 et non réalisés à ce jour ont d'ailleurs été repris dans la loi Grenelle I.

Annexe 2 : Évaluation des économies d'énergie

Le programme d'infrastructures du Grenelle de l'environnement est supposé avoir un effet bénéfique sur la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre de la France. Une part des trafics de voyageurs et de marchandises devraient se reporter des modes de transports fortement consommateurs de produits pétroliers (route, aérien) vers des modes moins énergivores et plus respectueux de l'environnement (rail, TCSP, fleuve).

Trois effets sont attendus :

- une augmentation ponctuelle de la consommation d'énergie lors des chantiers de construction,
- une réduction durable de la consommation d'énergie des transports, en phase de fonctionnement des projets, due à la réorientation d'une partie de la demande de transport vers des modes moins énergivores,
- le remplacement d'une part de la consommation d'hydrocarbures (et de biocarburants) par de l'électricité.

La modélisation macroéconomique des dépenses d'investissements intègre déjà l'effet initial sur la demande d'énergie des chantiers de construction. Les deux autres effets n'apparaissent pas directement dans le modèle et doivent être évalués par ailleurs. La réduction de la consommation d'hydrocarbures, produits importés, au profit de l'électricité devrait contribuer à réduire les importations françaises, augmenter la production nationale d'énergie et donc avoir un impact macroéconomique positif. L'impact d'une réduction de la consommation d'énergie est lui plus ambigu dans la mesure où elle se traduit, d'une part, par une baisse des importations d'hydrocarbures, une réduction de la facture énergétique à volume de production constant permettant des gains de compétitivité, mais d'autre part, par une baisse de la production d'énergie ce qui entraîne une baisse de l'emploi dans ce secteur.

1) Consommations énergétiques des modes de transport

Le bilan énergétique du programme d'infrastructures de transport du Grenelle est effectué ici en tenant compte d'hypothèses sur la consommation unitaire des différents modes de transport, sur l'évolution technologique des motorisations et sur la pénétration des nouvelles sources d'énergie (biocarburants, véhicules électriques). On retient les hypothèses suivantes :

Consommations unitaires actuelles

	Voyageurs (tonnes équivalent pétrole par million de passagers-kilomètres ; tep/Mp.km)	Fret (tonnes équivalent pétrole par million de tonnes-kilomètres ; tep/Mt.km)
Fer interurbain	18	18
Route, en milieu interurbain	33	48
Aérien	80	-
Fleuve	-	20
TCSP (RER, métro, tramways)	18	-
Route en milieu (péri) urbain	58	176

Source : ADEME (2008) « Efficacités énergétique et environnementale des modes de transport ».

Par ailleurs, on suppose que la consommation unitaire de chaque mode évolue dans le temps en fonction d'un facteur de progrès technique propre à chacun.

Mode de transport	Facteur de progrès énergétique
Ferroviaire, voyageurs et fret	0,6 %/an
Route VP, urbain et interurbain	1,0 %/an
Route PL	1,4 %/an
Aérien	2,0 %/an
Fluvial	1,0 %/an
TCSP	0,8 %/an

Source : Calculs DG Trésor à partir des données MEEDDM/SOeS

Ces facteurs d'évolution annuelle sont supposés égaux aux tendances observées sur les 10 dernières années[113]. Ces facteurs sont appliqués jusqu'en 2020, puis on suppose, par convention, que les consommations énergétiques unitaires restent constantes au-delà (à technologie identique). Pour le mode routier toutefois, la part de biocarburants dans les motorisations traditionnelles est supposée augmenter au cours du temps[114] et ces motorisations (essence/diesel + biocarburants) sont supposées laisser peu à peu la place aux véhicules électriques. La consommation unitaire des véhicules électriques est, elle, supposée égale à 17 tep/Mp.km[115] et ne pas varier dans le temps.

(Hypothèses arbitraires, ne reflétant pas nécessairement l'avis du MEEDDM)	En 2010	En 2020	En 2030	En 2050 et au-delà
Incorporation de biocarburants dans les moteurs traditionnels	7%	10 %	20 %	40 %
Part des véhicules électriques dans les transports VP urbains	1 %	20 %	50 %	100 %
Part des véhicules électriques dans les transports VP interurbains	0 %	5 %	20 %	50 %

Source : hypothèses DG Trésor

Enfin, les économies réalisées sur la consommation d'hydrocarbures sont estimées à partir du contenu moyen de chaque énergie en produits pétroliers. On retient comme hypothèses que :

- le mode ferroviaire est alimenté, pour une part, en énergie électrique suivant le mix français moyen (environ 10 % d'électricité d'origine thermique) et, pour l'autre part, en carburant diesel (ce qui concerne 45 % des TER et 12 % des trains de fret), soit un contenu global en produits pétroliers voisin de 16 % ; on néglige ici l'accroissement du trafic TER diesel qui sera induit par les projets de LGV ;
- les véhicules routiers traditionnels devraient intégrer une part croissante de biocarburants (voir tableau ci-dessus) ;
- les modes aérien et fluvial sont supposés conserver le kérosène et le fioul comme uniques sources d'énergie ;
- les projets de transport collectif en site propre (TCSP) programmés sont supposés alimentés exclusivement en énergie électrique suivant le mix énergétique français moyen (10 % d'origine thermique) ; il s'agit d'une hypothèse simplificatrice qui omet la part de bus en site propre prévus dans les projets du scénario Grenelle.

2) Bilan énergétique par projet

[113] Source des données : MEEDDM/SOeS.
[114] Pour simplifier, on suppose que les biocarburants présentent la même consommation unitaire que l'essence ou le diesel mais, à la différence de ces deux énergies, sont intégralement produits sur le territoire français, c'est-à-dire que leur incorporation permet de réduire le déficit du commerce extérieur de la France.
[115] Soit 25 kWh pour 100 km en supposant un taux de remplissage égal à 1,25 passager par véhicule.

Suite aux chocs pétroliers de 1973 et 1979, le ministère des transports avait développé une méthode d'évaluation du bilan énergétique des infrastructures de transport, qui s'intéressait tant à la phase de chantier qu'à la phase de fonctionnement des infrastructures. À notre connaissance, cette méthode est rapidement tombée en désuétude et les coefficients de calculs fournis alors (1986) sont aujourd'hui obsolètes compte tenu des évolutions technologiques. À quelques rares exceptions près, les maîtres d'ouvrage ne réalisent donc plus de bilan énergétique complet de leurs projets – même si le Grenelle de l'environnement pourrait les inciter à réactiver cette pratique.

À titre d'exemple, Réseau Ferré de France (RFF) a réalisé une évaluation des consommations d'énergie des trafics concernés par le projet de LGV Tours-Bordeaux, qui donne les résultats suivants :

Bilan énergétique des trafics du programme LGV Tours-Bordeaux

	Trafics ferroviaires additionnels		Économies d'énergie (ktep)		
	Voyageurs (Gp.km)	Fret (Gt.km)	Voyageurs	Fret	Total
2016	1,9	0,4	49,6	20,9	70,4
2036	6,6	3,0	196,5	140,5	328,8
Cumul sur 50 ans	330,4	146,8	10 078,5	6 823,7	16 902,2

Source : dossier d'enquête d'utilité publique de la LGV Sud Europe Atlantique, section Tours-Angoulême, RFF, octobre 2007

Ce bilan est partiel puisqu'il néglige la consommation d'énergie du chantier et de l'exploitation courante de l'infrastructure, ainsi que les économies d'énergie réalisées par les autres modes de transport bénéficiant d'une décongestion. Notons également que ce bilan énergétique ne distingue pas les évolutions par type d'énergie[116]. Toutefois, il fournit des ordres de grandeur appréciables pour notre étude.

Faute d'études de trafic sur la plupart des projets, il semble illusoire d'estimer un bilan énergétique, tant dans le scénario Grenelle que dans notre scénario de référence, à partir des prévisions de trafics reportés de chaque mode et des trafics induits. À défaut, on approxime le bilan énergétique à partir des économies de CO_2 valorisées dans le bilan socioéconomique des projets. Le cas de la LGV Tours-Bordeaux montre que l'approximation est acceptable, faute de mieux :

Extrait du bilan socioéconomique du programme LGV Tours-Bordeaux

(M€ 2006)	Voyageurs	Fret	Total
Économie de gaz à effet de serre (CO_2)	1 026	116	1 142

Source : dossier d'enquête d'utilité publique de la LGV Sud Europe Atlantique, section Tours-Angoulême, RFF, oct 2007

En effet, sous les deux hypothèses que (i) le CO_2 a été valorisé dans l'étude ci-dessus à 30,6$€_{2006}$/t[117] et (ii) le coefficient moyen d'émission des sources d'énergie du secteur transports est égal à 3 tCO_2/tep[118], les économies de CO_2 valorisées dans le bilan de la LGV Tours-Bordeaux (1 142M$€_{2006}$) correspondent à une économie de 12,4 Mtep. Ce chiffre est du même ordre de grandeur que celui du bilan énergétique tiré de l'analyse des trafics (16,9 Mtep). Toutefois, si l'on tenait compte de tous les trafics concernés par la variation de consommation énergétique (notamment des trafics induits), le facteur d'émissions moyen à appliquer au

[116] En particulier, le report des trafics routiers vers le TGV devraient se traduire non seulement par une diminution globale de la consommation énergétique, le train étant plus efficace énergétiquement que la voiture, mais aussi par une réduction de la consommation de pétrole. Cette économie de pétrole devrait même être supérieure à l'économie globale d'énergie dans la mesure où les trafics reportés seront désormais acheminés grâce à l'énergie électrique, dont le contenu en énergie d'origine pétrolière est faible.

[117] Cette hypothèse est tirée de l'instruction cadre du 25 mars 2004 relative à l'évaluation économique des grands projets d'infrastructures qui recommandait de considérer une valeur du carbone égale à 100 $€_{2000}$/t, soit 27,3 $€_{2000}$/tCO_2 en appliquant le rapport des masses volumiques (12/44).

[118] Cette hypothèse repose sur l'observation que le pétrole est largement majoritaire parmi les sources d'énergie des transports et que son coefficient d'émission est voisin de 3 : 2,9 pour l'essence, 2,6 pour le GPL, 3,1 pour le gazole, 3,0 pour le kérosène, 3,1 pour le pétrole brut. Toutefois, si l'on s'intéressait à la décomposition par mode de transport, il faudrait tenir compte des niveaux de trafic et utiliser des facteurs d'émissions (y/c fabrication) beaucoup plus divers : de l'ordre 200 gCO_2/pkm pour la voiture individuelle, 110 gCO_2/tkm pour les poids lourds, 3 gCO_2/pkm pour le TGV, 38 gCO_2/pkm pour les TER, 7 gCO_2/pkm pour le fret ferroviaire, etc. (calculs d'après ADEME, 2007). Devant la complexité de la tâche, la méthode simplifiée nous semble préférable et l'usage d'un coefficient unique tCO_2/tep plus robuste.

projet serait supérieur à 3 tCO_2/tep (voir encadré) et, par conséquent, l'estimation des économies d'énergie serait encore minorée[119].

Facteur d'émission moyen

Notons R_x, le trafic reporté du mode x vers le projet de LGV auquel on s'intéresse, et I_x le trafic induit sur chaque mode x du fait de la capacité additionnelle. I_x est dû soit à de la capacité créée par le projet, soit à de la capacité libérée sur les autres modes par les trafics qui se sont reportés. Par ailleurs, on note e_x la consommation énergétique unitaire du mode x et p_x le facteur d'émission de la source d'énergie correspondante. Le niveau d'émission du mode x par unité de trafic est ainsi $e_x.p_x$.

Le trafic du projet provient de reports du mode ferroviaire classique (x = GL), du mode routier (x = r) et du mode aérien (x = a) ainsi que du trafic ferroviaire induit (x = f). Des trafics nouveaux apparaissent sur les modes bénéficiant du report (x = GL, r ou a) Le bilan des émissions de CO_2 peut s'écrire :

$$\Delta CO_2 = R_{GL}(e_f.p_f - e_{GL}.p_{GL}) + R_r(e_f.p_f - e_r.p_r) + R_a(e_f.p_f - e_a.p_a) + I_f e_f.p_f + I_{GL}e_{GL}.p_{GL} + I_r e_r.p_r + I_a e_a.p_a$$

$$= (R_{GL}+R_r+R_a+I_f).e_f.p_f - (R_{GL} - I_{GL}).e_{GL}.p_{GL} - (R_r - I_r).e_r.p_r - (R_a - I_a).e_a.\ p_a \ \leq\ 0$$

En première approche, les émissions par voyageur.km du TGV et des trains classiques sont identiques ($e_f.p_f = e_{GL}.p_{GL}$), de sorte que le bilan se simplifie en :

$$\Delta CO_2 = (R_r+R_a+I_f+I_{GL}).e_f.p_f - (R_r - I_r).e_r.p_r - (R_a - I_a).e_a.p_a \ \leq\ 0$$

De même, le bilan des consommations énergétiques s'écrit :

$$\Delta E = (R_r+R_a+I_f+I_{GL}).e_f - (R_r - I_r).e_r - (R_a - I_a).e_a \ \leq\ 0$$

Le facteur d'émission moyen associé à ce projet est alors $<p> = \Delta C / \Delta E$, et l'on constate qu'il s'agit d'une moyenne pondérée des facteurs d'émission p_f, p_r et p_a où les pondérations dépendent des variations de trafic sur chaque mode et des consommations énergétiques unitaires de chaque mode. **Si l'on observe que $p_f \leq p_r \approx p_a$, alors le facteur d'émission moyen de la réduction d'énergie est supérieur au facteur d'émission des seuls trafics routiers ou aériens : la réduction des émissions de CO_2 est proportionnellement plus importante que la réduction de la consommation énergétique.**

Au demeurant, ces deux bilans (énergie ou émissions de CO_2) ne peuvent être intégrés tels que dans notre modélisation puisqu'ils considèrent comme scénario de référence un avenir dans lequel le projet de LGV Tours-Bordeaux n'est pas réalisé et non pas, comme nous le faisons, réalisé plus tardivement. Faute de concordance entre notre scénario de référence et ceux retenus pour les études de chaque projet, un tel bilan s'avère donc inutilisable ici, sauf à estimer un second bilan énergétique pour le même projet considéré dans notre situation de référence par rapport à la situation de référence de RFF. Schématiquement, on peut représenter cela ainsi :

Bilan calculés		Scénario que l'on compare		Scénario auquel on compare	
I (RFF)	=	Scénario Grenelle	-	Scénario de référence de RFF	
II (intermédiaire)	=	Notre scénario de référence	-	Scénario de référence de RFF	
III (celui qui nous intéresse)	=	Scénario Grenelle	-	Notre scénario de référence	= Bilan I – Bilan II

Pour chaque projet, il convient donc de calculer deux bilans et d'en prendre la différence. Compte tenu de la masse de données considérable que cela nécessiterait si l'on partait des prévisions de trafic, on opte ici pour le calcul simplifié à partir du seul bilan des émissions de CO_2.

En pratique, on suppose que la part des bénéfices socioéconomiques due à des économies de CO_2 est en moyenne de 5 % et l'on fait les deux hypothèses énoncées plus haut à propos du projet de LGV Tours-Bordeaux afin d'en déduire les économies d'énergie. On postule ici que le calcul à partir des émissions de CO_2 conduit au bilan de la seule source d'énergie « pétrole » (par opposition à l'électricité nucléaire et aux EnR, qui sont supposées ne pas émettre de CO_2). Le bilan énergétique global, toutes énergies confondues, est ensuite déduit à partir du ratio moyen d'hydrocarbures dans les sources d'énergie de chaque mode de transport[120].

Sous réserve de disposer du taux de rentabilité socioéconomique de chaque projet d'investissement (voir annexe 3), tant dans le scénario Grenelle que dans notre scénario de référence, il est ainsi possible de

[119] On pourrait d'ailleurs s'interroger sur la cohérence des données fournies dans le dossier DUP de la LGV SEA.

[120] Ce calcul suppose de nombreuses hypothèses sur la part des sources d'énergie mises en jeu selon l'origine des trafics et les types de projets considérés, mais n'apporte pas d'éléments supplémentaires méritant d'être exposés ici.

chiffrer approximativement les économies d'énergie et d'hydrocarbures obtenues dans chaque scénario. Il convient toutefois de vérifier que les résultats de cette approche désagrégée concordent avec ceux d'une approche plus globale.

3) Bilan énergétique global du Grenelle

Le MEEDDM a fait réaliser en 2008 deux études prospectives des scénarios énergétiques tendanciel et Grenelle pour la France jusqu'en 2020/2030 (Enerdata, 2008a et 2008b). Dans le secteur des transports, les résultats de ces deux études ne sont pas directement comparables car ils portent sur des périmètres légèrement différents[121], si bien qu'on ne peut les utiliser directement dans la présente étude. Par ailleurs, l'étude « Grenelle » chiffre globalement l'impact des mesures du secteur transport sans distinguer précisément les effets de reports modaux résultant du programme d'infrastructures nouvelles, des effets liés aux gains d'efficacité énergétique des transports (modernisation des flottes de véhicules, progrès des motorisations, optimisation de l'usage).

À partir de ces deux études et d'éléments complémentaires communiqués par le MEEDDM, et sans préjuger de la validité de ces données, on tente ici un bilan désagrégé du Grenelle par grand type de mesures. Ces mesures peuvent être classées en trois catégories :

- celles qui visent à substituer au pétrole des sources d'énergie moins polluantes (ex : incorporation de biocarburants),
- celles qui visent à réduire la consommation unitaire de produits pétroliers (ex : mesures favorables à une meilleure performance énergétique des véhicules),
- enfin, celles contribuant aux deux effets à la fois, réduction et substitution, comme c'est le cas des mesures permettant un report modal de la route ou de l'aérien vers un mode plus efficace énergétiquement (effet de réduction) et consommant moins de pétrole à quantité d'énergie donnée (effet de substitution).

[121] En particulier, dans l'évaluation du MEEDDM, les transports internationaux sont exclus du champ d'évaluation du Grenelle, en raison du fait que la comptabilisation de leurs émissions de CO_2 suit une règle différente de celle des transports domestiques.

Mesure	Hypothèses de modélisation retenues par Enerdata	Source	Économies de CO2 en 2020 (MtCO2)	Économies d'énergie en 2020 (Mtep)	Économies de pétrole en 2020 (Mtep)
Incorporation de biocarburants	7 % en 2010 et 10 % en 2020	RMS 2009*	3,82	0	1,27
- Bonus-malus - Prime à la casse - Étiquette CO2 - Mise en œuvre du règlement européen sur le CO2 des véhicules	Pas de distinction entre les impacts de ces différentes mesures	RMS 2009*	6,05	2,02	2,02
- Régénération du réseau ferré - Aménagements trains longs - Autoroutes ferroviaires - Opérateurs ferroviaires de proximité - Fret à grande vitesse - Autorité de Régulation Ferroviaire	RFF : 8,2 Gtkm reportés vers le rail en 2020	Enerdata (2008b)	0,74	0,25	0,32
Canal Seine-Nord	Loi Grenelle : 4,5 Gtkm reportés vers la voie d'eau en 2020	Enerdata (2008b)	0,38	0,13	0,18
- Pas d'augmentation des capacités routières - Taxe poids lourds	SESP : 1 Gtkm reportés vers le rail en 2020	Enerdata (2008b)	0,09	0,03	0,04
Effort de recherche sur l'aéronautique civile	-50 % sur les consommations spécifiques des vols intérieurs en 2020	Enerdata (2008b)	1,13	0,38	0,38
Reports modaux vers le rail	RFF : +2,3 Gpkm sur le train, -2,4 Gpkm sur l'avion et -1,1 Gpkm sur la route, en 2020	Enerdata (2008b)	0,37	0,12	0,21
Report modal vers les TCSP	SESP : 3 Gpkm en 2020	Enerdata (2008b)	0,36	0,12	0,15
Autres mesures pour atteindre 25 % de fret non routier (autoroutes de la mer, développt des ports…)	8 Gtkm reportés vers le rail en 2020	Enerdata (2008b)	0,72	0,24	0,32
		Total	13,65	3,28	4,88

* Rapport de la France au titre du paragraphe 2 de l'article 3 de la décision n°280/2004/CE du Parlement européen et du Conseil du 11 février 2004 relative au mécanisme pour surveiller les émissions de gaz à effet de serre dans la Communauté et mettre en œuvre le protocole de Kyoto - Actualisation 2009, MEEDDM/DGEC

NB : En grisé, les informations fournies par la Direction Générale de l'Énergie et du Climat (DGEC) du MEEDDM. On ne fait ici que reprendre les prévisions de trafic en dépit des sérieux doutes qui entachent certaines de ces prévisions (par exemple, la perspective de 25 % de fret non routier en 2020). Les autres chiffres sont issus de calculs DG Trésor à partir des hypothèses de consommations unitaires exposées plus haut. Sont soulignés ceux retenus pour l'évaluation du programme d'infrastructures de transport du scénario Grenelle.

En définitive, on obtient que les mesures « transports » du Grenelle de l'environnement contribueront à la réduction de la consommation énergétique en 2020 pour 3,28 Mtep et à la réduction des importations de pétrole en 2020 pour 4,88 Mtep. Ces chiffres concordent avec les totaux disponibles auprès de la DGEC[122] qui conduisent respectivement à 3,30 Mtep et 4,58 Mtep.

Si l'on se limite au seul programme d'infrastructures, celles-ci devraient contribuer à la réduction de la consommation énergétique en 2020 pour 0,89 Mtep et à la réduction des importations de pétrole en 2020 pour 1,21 Mtep. Par comparaison, l'approche projet par projet donne respectivement 0,71 Mtep pour les économies d'énergie et 1,22 Mtep pour les économies d'hydrocarbures.

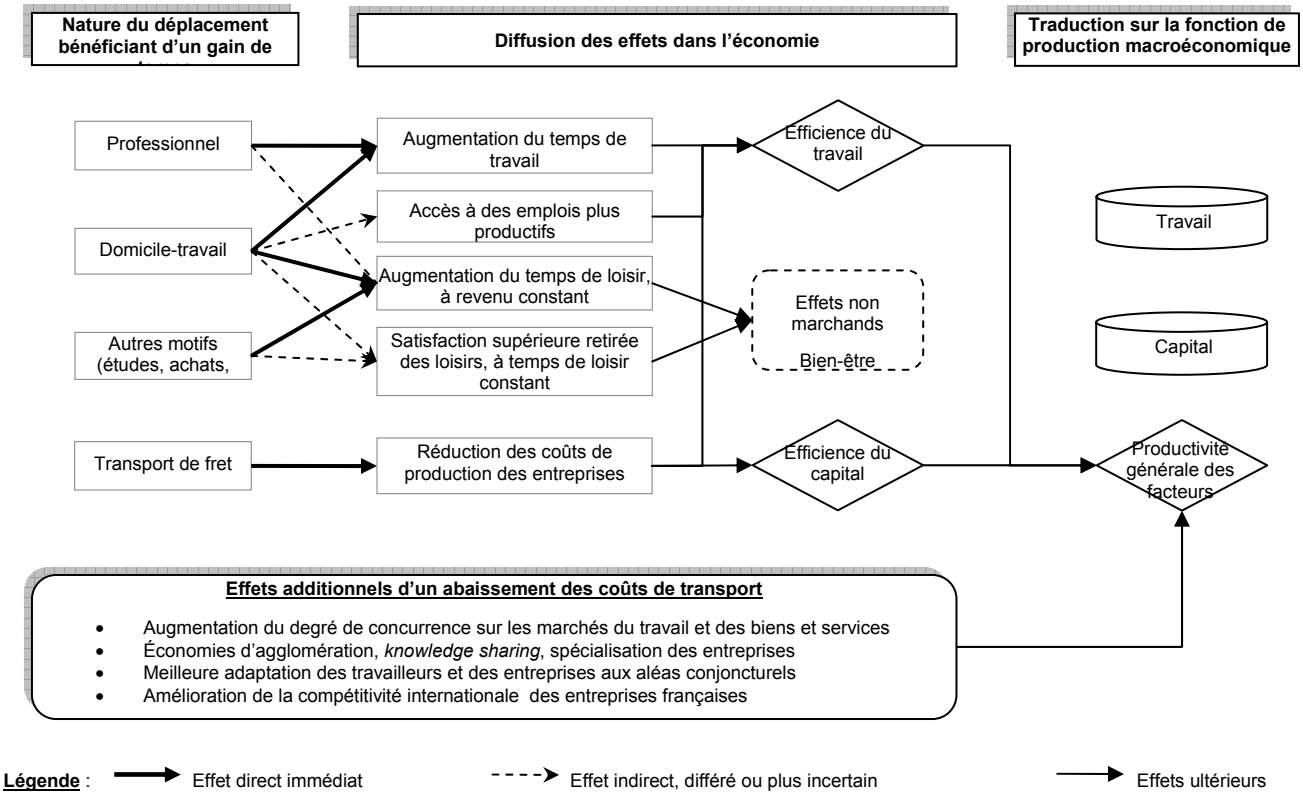
L'extension au-delà de 2020 du bilan énergétique « Transports » du Grenelle n'a pas été menée à bien par les services du MEEDDM, si bien qu'il est impossible de comparer les deux approches pour d'autres dates. C'est pourtant au-delà de cette date que la plupart des projets d'infrastructures prendront leur plein effet.

[122] Voir, pour le scénario Grenelle : Essai d'évaluation de la situation énergétique de la France à l'horizon 2020 du fait de l'application et de l'atteinte des objectifs du projet de loi « Grenelle de l'environnement » - Document de synthèse, R. Lavergne, 22/10/2008, et pour le scénario de référence : Scénario énergétique de référence DGEMP-OE(2008) - Rapport de synthèse, DGEMP, R. Lavergne, 2 avril 2008.

Annexe 3 : Évaluation des gains structurels de croissance

L'analyse économique établit que l'amélioration du système de transport (réduction des coûts de déplacement, diminution des effets de frontière, développement de l'offre de transport, gains de temps) peut contribuer à la croissance économique (notamment en améliorant le fonctionnement des marchés du travail via un meilleur appariement entre demandeurs et offreurs d'emploi, la fiabilité du transport de marchandises, le niveau de la concurrence sur le marché des biens).

Illustration des effets économiques liés aux gains de temps



On s'intéresse ici à quantifier ces effets en phase de fonctionnement des investissements du Grenelle, étant acquis que l'activité économique générée par les chantiers est déjà prise en compte dans le modèle macroéconomique utilisé pour la présente étude. Faute de pouvoir conclure sur la nature des gains structurels liés aux projets, on se contente d'une illustration par deux cas polaires : soit tous les avantages socio-économiques se traduisent en gain de croissance potentielle (partie III.2), soit aucun (partie II.2).

1) Une approche économétrique de la contribution du stock d'infrastructures de transport à la croissance est trop périlleuse[123]

En se fondant sur une revue de la littérature, le rapport Eddington (2006) établit que :

- Le lien entre transport et croissance économique est reconnu.
- Son amplitude n'est pas mesurable en général. Elle varie dans le temps et dans l'espace. L'élasticité de la production au stock d'infrastructures serait une fonction décroissante du stock d'infrastructures (rendements d'échelle décroissants). Il retient, pour les pays développés, une élasticité du PIB au stock de capital public égale à 0,2.
- Ce lien n'est pas univoque. Il existe une causalité dans les deux sens : lorsqu'un potentiel d'activité existe, l'infrastructure de transport favorise son développement en abaissant les barrières physiques aux échanges ; en retour, la croissance stimule les échanges et fait naître de nouveaux besoins en infrastructures.

[123] L'essentiel de cette section s'appuie sur des travaux du MEEDDM ayant conduit à l'article de Fabien Duprez (2008), « Que sait-on des interactions entre les transports et l'économie ? » in Madiès T. et Prager J.-C. : Innovation et compétitivité des régions, Rapport du CAE, n° 77, La Documentation française.

Les multiples études empiriques menées à la suite des travaux précurseurs d'Aschauer (1989) aboutissent à des coefficients d'élasticité hautement variables aussi bien dans le temps que dans l'espace. Duprez (2008) rapporte les résultats de diverses études économétriques tentant d'estimer l'élasticité du PIB au stock de capital public ou au stock d'infrastructures. On notera :

Source	Méthode	Élasticité considérée	Valeur
Nadiri et Mamueas (1998)	- fonction de coût trans-log - séries chronologiques US 1950-1991, décomposée en 35 secteurs économiques (1470 observations)	élasticité moyenne de la production au stock d'autoroutes	1950-1991 : 0,08 1980-1991 : 0,04
Fritsch (1999)	- fonction de production Cobb-Douglas - séries départementales FR 1988 et 1991	élasticité du PIB marchand des départements français à la dotation en routes nationales	0,08
Stephan (2001)	- fonction de production Cobb-Douglas - séries régionales FR 1978-1992 (21 régions) et allemandes 1970-1995 (11 Länder) (total = 601 observations)	élasticité de la productivité régionale du travail au ratio « stock d'infrastructures routières/travail », pour les deux pays groupés	0,11

Devant l'hétérogénéité des résultats empiriques disponibles la littérature, Didier et Prud'homme (2007) concluent que : « Toutes ces analyses soulignent les limites d'une approche globale de la contribution des infrastructures de transport à la croissance. […] Mieux vaut utiliser une approche spécifique à chaque projet ».

En France, les enseignements des bilans LOTI[124] autoroutiers ou de lignes à grande vitesse (LGV) confirment qu'il n'y a pas de relation automatique entre la réalisation des infrastructures de transport et le développement régional. Celles-ci agissent essentiellement comme un catalyseur des phénomènes préexistants sur le territoire, en favorisant la polarisation des activités humaines (voir notamment Offner, 1993, et Plassard, 2003). Si des avantages économiques peuvent effectivement être attribués aux projets d'infrastructures, comme il ressort des analyses coûts-avantages des projets (*cf. infra*), ceux-ci ne bénéficient pas systématiquement aux territoires traversés, mais se diffusent plus largement dans l'économie. Il est donc difficile d'établir par des modèles économétriques une corrélation entre la réalisation d'un projet donné et la croissance du PIB du territoire concerné.

Dans ce qui suit, l'approche développée privilégie ainsi l'analyse des surplus économiques directs engendrés par les infrastructures de transport, projet par projet.

2) Une analyse au cas par cas des surplus économiques et socioéconomiques des projets est privilégiée ici

En France, l'évaluation des projets d'infrastructures fait réglementairement l'objet d'une analyse coûts-avantages, qui s'attache à valoriser les avantages socioéconomiques du projet. L'évaluation tient compte des avantages directs, c'est à dire du surplus des usagers (gains de temps, consommation de carburant, frais d'entretien des véhicules, variations de taxes spécifiques, …) et des autres acteurs directement concernés (ex : variations de recettes des opérateurs de transports) ainsi que des externalités non marchandes qui affectent la collectivité (sécurité, pollution locale, pollution atmosphérique, bruit).

Les avantages socioéconomiques des projets recouvrent des gains économiques, qui se traduisent directement en gains de croissance (tels une part des gains de temps qui vont pouvoir servir à augmenter la productivité des entreprises par exemple), mais aussi des gains d'utilité sans effets tangibles immédiats sur le PIB (augmentation des temps de loisirs…). Afin d'intégrer ces avantages socioéconomiques à notre évaluation macroéconomique, nous devons donc distinguer les gains économiques des projets des autres gains socioéconomiques. Cette problématique est illustrée par une discussion sur les gains de temps, qui représentent une composante majeure des avantages imputés aux infrastructures de transport dans la suite du texte (voir 3/).

À partir du bilan socioéconomique de chaque projet, il est possible théoriquement de quantifier les différents types d'avantages et, selon leur nature, de décider dans quelle mesure ils contribuent ou non à la croissance de l'économie. On illustre plus bas comment les différents avantages sont pris en compte dans notre modélisation (voir 4/) : quelle que soit la posture théorique adoptée, la contribution d'un projet

[124] Bilan imposé par la loi n° 82-1153 du 30 décembre 1982 d'orientation des transports intérieurs (LOTI) pour les grandes infrastructures de transport. Ces bilans sont établis 3 à 5 ans après la mise en service.

d'infrastructure de transport à la croissance économique semble pouvoir s'exprimer comme une fraction des avantages socioéconomiques attendus dudit projet

Faute de données permettant d'estimer précisément chaque type d'avantage attendu de chaque projet, **on retient ici l'hypothèse que l'ensemble du surplus des usagers des transports (gain de temps, de confort, etc.) se traduit comme un gain économique, via une amélioration de la productivité générale des facteurs.** Ce scénario correspond donc à un cas majorant (voir 3/) là où le scénario sans prise en compte des avantages socioéconomiques correspond à un scénario minorant. Le calcul pratique du surplus des usagers pour chaque type de projet est détaillé dans la dernière section (voir 5/).

3) Assimiler l'ensemble des gains socioéconomiques à des gains structurels de croissance revient à faire une hypothèse maximaliste – illustration par le cas des gains de temps[125]

Afin d'illustrer cette hypothèse, on se concentre ici sur le premier bénéfice non monétaire d'une amélioration du système de transport, à savoir la diminution du temps pris par le déplacement des personnes et des biens en distinguant les gains économiques des gains socioéconomiques. Dans la plupart des projets, les gains de temps représentent en effet l'essentiel des avantages non monétaires générés.

Le temps disponible dans une journée étant limité, on considère que les individus réalisent un arbitrage entre le temps consacré au travail et le temps consacré au loisir. La valeur *économique* des gains de temps correspond à la *production* marginale créée par les activités qui sont désormais rendues possibles dans le temps libéré (concept de PIB), alors que leur valeur *socioéconomique*, elle, correspond à la variation d'*utilité* marginale procurée aux agents économiques (concept de bien-être).

Dans le cas où le gain de temps serait utilisé pour accroître la durée de travail.

- Le gain économique est supposé égal à la productivité marginale du salarié, c'est à dire, en concurrence parfaite, à son coût salarial brut (on se place à court terme, à capital inchangé et avant bouclage macroéconomique) ;
- Le gain socioéconomique est plus difficilement mesurable : comme l'indique le rapport Boiteux, il dépend de l'utilité ou de la pénibilité relatives du travail, des transports et du loisir. Dans un souci de simplification, on approxime le gain socioéconomique par le salaire horaire, valeur à l'équilibre dans un cadre théorique simple du renoncement à une heure de loisir pour une heure de travail. Dans le cas où le gain de temps est intégralement consacré au travail, le gain est égal au salaire horaire brut, le différentiel entre salaire brut et salaire net étant *in fine* reversé aux ménages via les prestations sociales.

Par conséquent, lorsqu'un gain de temps est intégralement utilisé pour accroître la quantité de travail, le gain économique (à court terme) est exactement égal au gain socioéconomique (à court terme).

Dans le cas où le gain de temps serait utilisé en loisir :

- Le gain économique peut être considéré comme nul, du fait que le surcroît de loisir n'engendre pas d'augmentation de la consommation (le revenu des agents restant inchangé) ;
- En revanche, le gain socioéconomique, lui, n'est pas nul (sinon l'individu aurait choisi de consacrer ce temps à travailler pour bénéficier d'un surcroît de revenu). En pratique, le gain socioéconomique d'un surcroît de loisir dépend du type d'activité auquel est consacré le loisir et de la présence ou non d'externalités liées à cette activité (ex : congestion estivale sur les plages, plaisir à partager des moments entre amis…). Sous l'hypothèse que les individus optimisent leur fonction d'utilité en arbitrant entre un surcroît de revenu et un surcroît de temps de loisir, on considère ici que le gain socioéconomique d'un surcroît de temps de loisir est exactement égal à leur salaire horaire net.

Si le gain de temps procuré par une amélioration du système de transport est pour partie utilisé à travailler et pour partie consacré aux loisirs, il faut alors sommer les gains économiques (respectivement socioéconomiques) de chaque usage du gain de temps. Détaillons plus précisément les différents types de déplacements concernés afin de préciser les gains en PIB et bien-être.

[125] Cette section emprunte largement à une note interne de la DG Trésor qui, en 2004, réfléchissait au lien possible entre l'analyse coûts-bénéfices (approche microéconomique) et l'effet sur le PIB (approche macroéconomique).

Les déplacements professionnels

On considère dans ce paragraphe les déplacements professionnels, c'est-à-dire les trajets d'un lieu de travail à un autre lieu de travail. D'après le rapport Boiteux (2001), ces déplacements représentent environ 10% du total des déplacements de voyageurs.

Pour ces déplacements, il est raisonnable de penser que le gain de temps procuré par une amélioration du système de transport est entièrement utilisé pour le travail. Dans ce cas, comme établi précédemment, le gain économique et le gain socioéconomique sont égaux au coût horaire du travail.

Les déplacements domicile-travail

L'enquête nationale « transports et déplacements 2007-2008 » estiment à 21 % la part des déplacements domicile-travail. Elle confirme par ailleurs la conjecture de Zahavi selon laquelle le temps de trajet domicile-travail reste stable, et ce malgré l'augmentation de la vitesse moyenne des transports constatée au cours des dernières décennies. Ainsi, le gain de temps procuré sur un trajet domicile-travail serait en quelque sorte réinvesti dans les transports : les agents préfèreraient accroître la longueur de leurs déplacements, plutôt que d'utiliser le temps gagné pour se consacrer à d'autres activités que le transport, qu'elles soient productives ou non.

Ce phénomène tiendrait à deux effets, la compétition salariale sur le marché du travail d'une part (voir par exemple Poulit, 2002, ou Prudhomme, 2002), et l'étalement urbain d'autre part.

- L'augmentation de la vitesse de transport donne accès à un bassin d'emplois plus étendu dans le même temps de trajet, donc en moyenne à des emplois mieux rémunérés car pouvant mieux correspondre à la qualification de chacun. En augmentant le degré d'accessibilité au marché du travail, un gain de temps domicile-travail contribue ainsi à élever la productivité des salariés par un meilleur appariement entre compétences et emplois. Dans la mesure où l'impact d'un projet de transport reste marginal à l'échelle du marché du travail français, cet effet peut être valorisé (aux sens économique et socioéconomique) au niveau de la productivité marginale du travail, c'est-à-dire comme le coût salarial horaire brut.

- Le deuxième effet tient à l'extension des zones résidentielles vers la périphérie des agglomérations. L'augmentation de la vitesse de transport permet aux salariés de s'installer plus loin de leur lieu de travail et donc d'occuper des zones résidentielles qui leur procurent un bien-être supérieur de leur temps de loisir. L'accession au pavillon individuel avec jardin constitue l'exemple type de ce phénomène. En première approche, on estime que la valeur économique de cet effet est nulle (i.e. le bien-être supérieur retiré du temps de loisir n'entraîne pas de gain de productivité du temps de travail) et que sa valeur socioéconomique est identique à celle que procurerait un surcroît de loisir, c'est-à-dire égale au salaire net.

Par pure convention[126], on supposera que seule la moitié des gains de temps sur les trajets domicile-travail est utilisée à des fins productives, l'autre moitié étant dédiée au loisir ou à habiter plus loin. Sous cette hypothèse, la valeur économique d'un gain temps domicile-travail serait donc la moitié du salaire horaire brut. La valeur socioéconomique serait, elle, égale à la moitié du salaire horaire brut plus la moitié du salaire horaire net.

Les autres motifs de déplacements

Les autres motifs de déplacement, qui ne supposent pas directement un arbitrage entre travail et loisir, sont plus compliqués à valoriser d'un point de vue économique et socio-économique. Ils regroupent[127] :

- les déplacements domicile-études (11 %), accomplis par les enfants scolarisés et les étudiants, éventuellement accompagnés de leurs parents ; le temps gagné y sert essentiellement à un surcroît de loisir pour une population ne disposant, en première approche, d'aucun revenu mais il peut aussi donner accès à des établissements de formation de meilleure qualité, contribuant ainsi à une meilleure productivité de la population active future ;

- les déplacements domicile-commerces (20 %), qui ont pour objet l'achat et la consommation de biens ; les gains de temps sur ces déplacements n'engendrent pas nécessairement un surcroît de consommation, ceux-ci n'augmentant pas le revenu des ménages ; toutefois, en élargissant les

[126] Les études sur les conséquences des infrastructures de transport sur les choix de logement n'ont pas donné de résultats clairs (voir par exemple Rouwendal et van der Vlist, 2002), et ne permettent donc pas de quantifier l'importance relative de ces deux phénomènes.

[127] Les proportions de chaque catégorie de déplacements sont tirées des résultats de l'enquête nationale transport-déplacements 2007-2008 (source : Insee Première, N° 1252, juillet 2009).

bassins de chalandise, l'augmentation de la vitesse de transport peut accroître marginalement le degré de concurrence entre les commerces[128] ;

- enfin, les autres déplacements pour motifs personnels (démarches administratives, visites à des proches, loisirs, etc.) présentent des valeurs économique et socioéconomique hautement variables selon le motif.

Si ces déplacements sont accomplis en jour ouvrable, par exemple dans la chaîne des déplacements quotidiens (ex : circuit domicile-travail-courses-domicile), on estime que leur valeur est au plus égale à celle des déplacements domicile-travail. S'ils sont accomplis en jour chômé, leur valeur économique est probablement plus proche de celle du temps de loisir. Faute de mieux, on suppose que ces déplacements sont valorisés comme la moitié des déplacements domicile-travail.

Les déplacements de marchandises

La valorisation économique des gains de temps du transport de marchandises comprend le gain du transporteur (baisse du coût de transport), estimé par méthode comptable pour la route à 4 € par tonne*heure économisée[129], et le gain pour le chargeur (gains de fiabilité, effets d'une diminution des temps de transport sur l'organisation logistique). Ce dernier est plus délicat à obtenir, et on procède en général à des enquêtes en préférences déclarées ou révélées. Les différentes études en Europe concordent et une valeur moyenne par route de 0,45 € par tonne et par heure économisée est proposée par le rapport Boiteux (2001). Ce chiffrage, qui fait partie de la fourchette basse des études menées en Europe, doit par ailleurs être modulé en fonction de la valeur de la marchandise.

La décomposition du surplus entre transporteur et chargeur ne vaut qu'à court terme, puisque dans un cadre de concurrence parfaite, tout le surplus est finalement capté par les consommateurs, via la baisse des prix. On suppose que le gain économique est alors égal au gain socioéconomique.

En définitive

Si l'on se réfère au rapport Boiteux de 2001, les valeurs socioéconomiques préconisées dans la méthodologie française diffèrent peu des valeurs auxquelles conduirait le raisonnement ci-dessus. Elles se fondent en effet sur des hypothèses légèrement différentes : en urbain, l'usage des gains de temps est supposé partagé entre travail et loisir dans des proportions différentes de celles retenues ici, tandis qu'en interurbain, les valeurs tutélaires sont définies par mode de transport et non par motif de déplacement, et résultent des modèles de comportement des usagers (valeurs révélées par les choix modaux). Par ailleurs, le rapport Boiteux (2001) ne proposant pas de valorisation strictement économique, la comparaison des valeurs économiques des gains de temps est impossible.

Sous les hypothèses faites ici, la valeur économique des gains de temps est en moyenne inférieure à leur valeur socioéconomique. Considérer l'intégralité des gains socioéconomiques comme des gains économiques conduit donc à surestimer l'impact potentiel des projets de transports sur le PIB.

4) <u>L'analyse du bilan socioéconomique permet de déterminer et mesurer les gains économiques nets pour l'économie d'une infrastructure de transport.</u>

Le bilan socioéconomique d'une infrastructure de transport prend en compte des coûts monétaires et des avantages socioéconomiques monétarisés. Les coûts et les avantages sont traditionnellement présentés par catégorie d'acteur économique. Le tableau ci-dessous présente la structure type du bilan, modulo quelques adaptations éventuelles pour tenir compte des spécificités de chaque mode.

[128] La méthodologie française d'évaluation économique des projets de transport se place toutefois dans le cadre théorique de la concurrence pure et parfaite, ce qui revient à négliger cet effet sur le degré de concurrence.
[129] Source : estimation DG Trésor à partir de J.-C. Méteyer (2001), « Commentaires sur la diversité des valeurs du temps en transport de marchandises », *Notes de synthèse du SES*, MEEDDM, jan-fév 2001.

	Acteurs économiques concernés Coûts et avantages pris en compte dans le bilan	État et collectivités	Opérateur de transport	Usagers	Autres opérateurs	Riverains et tiers	Bilan agrégé
Bilan financier	Coûts d'investissement		-				-
	Coûts de fonctionnement de l'infrastructure		-				-
	Coûts de fonctionnement des véhicules		-				-
	Recettes de trafic et produits d'exploitation		+	-			0
	Subventions publiques	-	+				0
Effets collatéraux	Variation de coût de fonctionn[t] des autres modes				+		+
	Variation des recettes de trafic des autres modes			+	-		0
	Variation de taxes (TIPP, TAT,…)	+/-	+/-	+/-	+/-		?
	Coût d'opportunité des fonds publics					-	-
Avantages socioéconomiques	Gain de temps, de confort, de régularité			+			+
	Décongestion des autres services de transport					+	+
	Amélioration de la sécurité					+	+
	Pollution atmosphérique locale					+	+
	Gaz à effet de serre					+/-	+/-
	Nuisances acoustiques					+	+
	Bilan par acteur	-	ε	+	-	-	+

Dans ce bilan, les transferts monétaires internes au secteur des transports, recettes de trafic et subventions publiques par exemple, sont neutres sur le résultat final. Seuls ont un impact sur le bilan agrégé les variations de coûts (impact généralement négatif) et les avantages socioéconomiques (impact généralement positif[130]).

Les coûts monétaires

Si l'on élargit la perspective, en passant du secteur des transports à l'ensemble de l'économie française, tous les coûts monétaires sont en fait des transferts entre secteurs économiques (on néglige ici les effets sur la balance commerciale).

- Par construction, notre modèle de l'économie française prend en compte les coûts d'investissement dans le secteur transport et la diffusion de leurs effets au reste de l'économie.
- Par ailleurs, les variations de coûts de fonctionnement (exploitation, entretien, maintenance) sont supposés neutres à l'échelle du secteur transport : les surcroîts de coûts sur certains modes sont supposés être exactement compensés par les baisses de coûts de fonctionnement des autres modes. On suppose ainsi qu'il n'y a pas de déformation du secteur transport par rapport aux autres secteurs économiques, hypothèse cohérente avec celles faites par ailleurs sur l'évolution des prix et de la demande dans le secteur transport (voir 0).

S'agissant du coût d'opportunité des fonds publics (COFP) qui s'applique aux transferts entre la puissance publique et les autres agents économiques, ses effets sont déjà pris en compte dans notre modèle. En effet, les équations décrivant la réaction des ménages et des entreprises à une variation de la fiscalité internalisent l'effet distorsif de l'impôt sur les comportements économiques. Quantitativement, l'effet reproduit par le modèle macroéconométrique Mésange est très proche du coefficient 1,3 retenu par le MEEDDM dans ses évaluations de projet.

Les avantages socioéconomiques

Parmi les éléments figurant au bilan socioéconomique des projets, il ne reste ainsi que les avantages socioéconomiques qui sont, dans notre scénario central, ignorés par le modèle.

[130] Même si, sur certains postes, les effets de rebond (induction de trafic) peuvent parfois conduire à des avantages négatifs, par exemple s'agissant de certaines externalités environnementales (augmentation de la pollution ou du bruit).

- Au vu de la discussion précédente (voir 3/), il nous paraît légitime de supposer que les gains de temps se traduisent en une amélioration de la productivité générales des facteurs (PGF).
- La question est moins tranchée en ce qui concerne les gains de confort (voyager assis plutôt que debout serré) et les gains de régularité/fiabilité du temps de transport. Faute de pouvoir les distinguer des gains de temps, on propose, dans une approche maximaliste, de les comptabiliser de la même manière que les gains de temps.
- Enfin, s'agissant des autres gains (sécurité des transports, réduction de la pollution locale, réduction des nuisances sonores et des gaz à effet de serre), on fait l'hypothèse qu'ils induisent essentiellement des gains de confort et de bien-être, et l'on fait abstraction de leurs impacts, éventuels mais incertains, sur la productivité du travail. Notons toutefois que la réduction des émissions de CO_2 est indirectement analysée dans notre approche de la consommation énergétique des transports et que cet effet est extrêmement faible (voir 0 et l'annexe 2).

Pour résumer, **notre évaluation des gains structurels du programme d'infrastructures du Grenelle pour la croissance repose sur les avantages socioéconomiques retirés par les usagers des transports (essentiellement des gains de temps). Il s'agit d'une hypothèse maximaliste dans la mesure où tous les avantages des usagers n'engendrent pas nécessairement de gain économique.**

5) <u>Estimation des avantages socioéconomiques retirés par les usagers des projets de transport</u>

L'approche française ne comptabilise pas tous les avantages socioéconomiques des projets de transports

Dans la méthodologie française (instruction cadre du 25 mars 2004 relative aux méthodes d'évaluation des projets d'infrastructures de transports), l'évaluation est limitée aux avantages socioéconomiques directs des usagers et aux externalités non marchandes. Elle se place ainsi dans le cadre théorique de la concurrence pure et parfaite en ne comptabilisant pas les effets additionnels qui seraient liés à des imperfections de marché.

Au Royaume-Uni, le rapport du SACTRA (1999) est venu nuancer cette approche, arguant que les imperfections de marché sont nombreuses, aussi bien dans le secteur des transports que dans les secteurs utilisateurs des transports. Une amélioration des infrastructures de transports réduisant ces imperfections, devrait permettre des gains socioéconomiques supplémentaires. Le Department for Transport (DfT) britannique a par la suite proposé une méthode de calcul de deux catégories d'effets socioéconomiques additionnels à inclure dans l'analyse coûts-avantages : les impacts sur les marchés en situation de concurrence imparfaite et les effets d'agglomération. Pour un projet-type, le DfT estime que ces deux effets majorent le surplus des usagers respectivement d'environ 5 % et 10 %.

Il est donc possible que les avantages socioéconomiques comptabilisés dans la méthodologie française sous-estiment les avantages socioéconomiques réels des infrastructures

Calcul des avantages socioéconomiques des usagers à partir du TRI

On schématise le bilan socioéconomique d'un projet par l'équation suivante :

$$VAN(i) = -\sum_{t=-d+1}^{0} \frac{I_t}{(1+i)^t} + \sum_{t=1}^{T} \frac{(\Delta R_t - \Delta C_t) + (AU_t - \Delta R_t) + AEX_t}{(1+i)^t}$$

avec

$VAN(i)$ valeur actuelle nette de l'investissement

$-I = -\sum_{t=-d+1}^{0} \frac{I_t}{(1+i)^t}$ montant de l'investissement initial, en valeur actualisée, y compris coût d'opportunité des fonds publics s'il y a lieu (octroi d'une subvention publique)

ΔR variation des transferts entre les usagers et l'ensemble [opérateurs de transport + puissance publique] ; il s'agit pour l'essentiel de recettes de trafic

ΔC variation des coûts de fonctionnement dans le secteur transport (sur le projet et sur les modes concurrents)

AU avantages des usagers des transports (usagers du projet et des autres modes) ; ils comprennent pour l'essentiel des gains de temps, des gains de confort, des gains de régularité et des gains de fréquence (par exemple dans le cas des transports collectifs)

AEX avantages environnementaux et externalités diverses dont bénéficient les riverains et la collectivité ; ils comprennent des gains de sécurité (baisse de l'accidentologie), des réductions de la pollution atmosphérique locale, des gains sur les gaz à effet de serre et des réductions des nuisances sonores

d durée de construction

T durée d'exploitation du projet

t indice de l'année à laquelle sont comptés les différents flux socioéconomiques

En vertu du raisonnement exposé précédemment, on cherche à quantifier les avantages retirés par les usagers des transports[131]. Si l'on connaît approximativement les coûts de réalisation des projets du Grenelle (*I*, voir annexe 1), on ne connaît cependant pas nécessairement la valeur des autres composantes du bilan socioéconomiques (les avantages socioéconomiques en particulier).

Le calcul est donc effectué « à l'envers » : on utilise (ou l'on suppose) la valeur du taux de rentabilité interne socioéconomique (*TRI*) pour calculer le surplus annuel global à partir du coût d'investissement. Le TRI étant le taux d'actualisation qui annule la VAN, on a $VAN(TRI) = 0$. Par simplification, on suppose que les avantages générés chaque année par le projet restent constants (en euros constant) de sorte que :

$$VAN(i) = -\sum_{t=-d+1}^{0} \frac{I_t}{(1+i)^t} + \left(\sum_{t=1}^{T} \frac{1}{(1+i)^t}\right)\left[(\Delta R - \Delta C) + (AU - \Delta R) + AEX\right]$$

$$VAN(i) = -I + \beta(i)\left[(\Delta R - \Delta C) + (AU - \Delta R) + AEX\right]$$

avec $\beta(i) = \sum_{t=1}^{T} \frac{1}{(1+i)^t}$, qui est un facteur de sommation actuarielle des bénéfices annuels attendus sur la durée d'exploitation (le taux *i* peut éventuellement être ajusté pour tenir compte, de manière approximative, de la progression annuelle des avantages du projet)[132].

Le surplus annuel global procuré par le projet peut donc être approximé par l'équation :

$$(\Delta R - \Delta C) + (AU - \Delta R) + AEX = \frac{I}{\beta(TRI)}$$

Il reste alors à déterminer la part prise par le surplus net des usagers (AU-ΔR) dans le surplus global (AU-ΔC) + AEX. Les données obtenues du MEEDDM pour plusieurs types d'infrastructures existantes permettent de la quantifier approximativement.

[131] Ici la somme des surplus bruts est supposée égale à la somme des surplus nets : les variations de dépenses de transport des usagers restent neutres à l'échelle du secteur dans tous les scénarios envisagés $\Sigma\Delta R=0$. Dans nos scénarios, en effet, les usagers se contentent de substituer des transports ferroviaires et urbains au transport routier. En toute rigueur, il conviendrait de vérifier cette hypothèse à l'aide d'un modèle national des trafics.

[132] L'approximation faite ici est négligeable par rapport aux autres sources d'incertitude pesant sur les résultats du calcul. Il serait possible de raffiner en supposant que les avantages annuels progressent tous avec le même taux de croissance α, mais cela reviendrait simplement à intégrer ce facteur de croissance dans le terme de sommation actuarielle $\beta(i,\alpha) = \sum_{t=1}^{T} \frac{(1+\alpha)^t}{(1+i)^t}$.

Parts relatives des avantages de trois catégories d'agents économiques dans le surplus global d'un projet de transport – Estimations à partir de projets réalisés ou en cours d'études

Type d'infrastructure	Surplus des opérateurs et de la puissance publique (ΔR-ΔC)	Surplus des usagers (AU-ΔR)	Surplus des tiers *AEX*	Échantillon
LGV	43 %	54 %	3 %	5 LGV
TCSP	-17 %	112 %	5 %	15 (BHNS, tram et métro)
Autoroutes	54 %	41 %	5 %	études *ex ante* du SNIT (~15 projets)

Source : MEEDDM (CGEDD, CGDD, SETRA)

Les parts relatives des avantages constatés sur les projets en service ne reflètent toutefois pas exactement ce qu'elles seront sur les projets futurs. En effet, il est communément admis que les projets futurs présentent des rentabilités inférieures à celles des projets déjà réalisés et, en particulier, que leur capacité d'autofinancement sera moindre que par le passé (selon le principe des rendements décroissants appliqué aux investissements dans les secteurs de réseau). Afin de tenir compte des hypothèses d'autofinancement prises par ailleurs (voir 0), les estimations historiques sont donc corrigées comme suit.

Hypothèses de répartition des surplus retenues dans notre étude

Type d'infrastructure	Surplus des opérateurs et de la puissance publique (ΔR-ΔC)	Surplus des usagers (AU-ΔR)	Surplus des tiers *AEX*	Commentaire
LGV	26 %	70 %	4 %	Réduction de la capacité d'autofinancement à 25 %
TCSP	-15 %	110 %	5 %	Même structure que par le passé (autofinancement négatif)
Autoroutes	40 %	53 %	7 %	Réduction de la capacité d'autofinancement à 50 %
Autres (routes, fer classique, fluvial, aérien…)	10 %	80 %	10 %	Investissements majoritairement de renouvellement ou de modernisation, sans grande rentabilité

Source : hypothèses DG Trésor

Les hypothèses retenues pour les LGV et les autoroutes proviennent d'une réévaluation du surplus des opérateurs et de la puissance publique. Ce surplus est en effet calculé à partir des hypothèses prises par ailleurs sur la capacité d'autofinancement (CAF) des nouveaux projets, selon la formule :

$$CAF = \frac{\beta(i) \times (\Delta R_t - \Delta C_t)}{I}$$

où i est le coût moyen pondéré du capital pour les opérateurs de transport du secteur[133]. Les parts relatives du surplus des usagers et des externalités environnementales sont ensuite ajustées en conséquence, en conservant le même rapport entre les deux quantités.

S'agissant des TCSP, aucune correction n'est apportée à l'exception de l'arrondi. Enfin, s'agissant de tous les autres investissements, on a pris une hypothèse arbitraire reposant sur les considérations que :

- à l'exception du secteur aérien, les projets présentent généralement un autofinancement faible, et
- si ces projets sont décidés dans l'esprit du Grenelle, leur impact environnemental doit être relativement bon, d'où l'octroi d'une prime aux avantages environnementaux *AEX* par rapport aux autres types de projets.

Finalement, la valeur du TRI permet de déduire celle du surplus des usagers à partir des montants d'investissement.

Estimation de la valeur du TRI de chacun des projets.

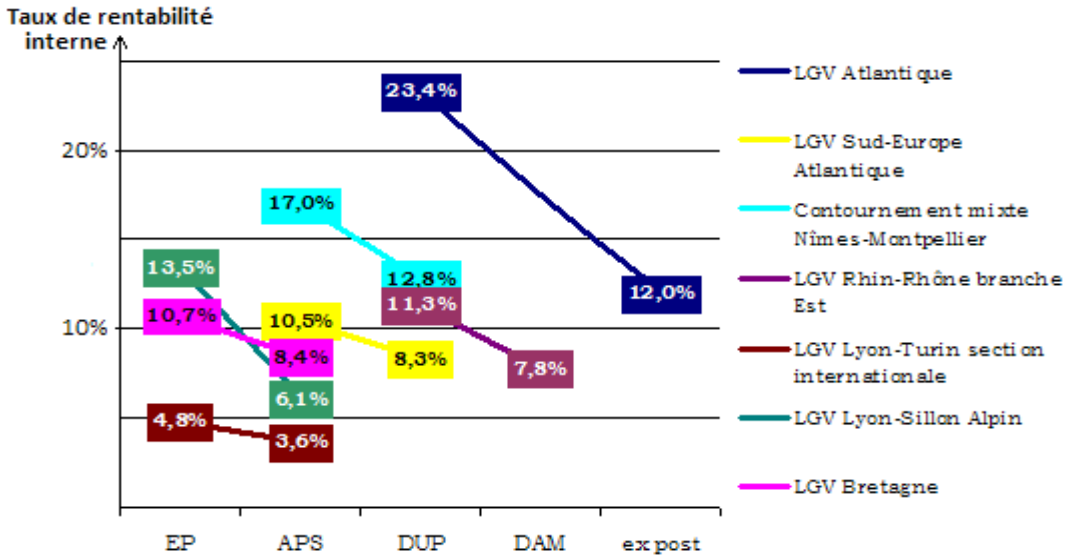
Un certain nombre d'études menées par les maîtres d'ouvrage des projets du volet Transport du Grenelle a déjà été réalisé ; ces dernières fournissent une estimation du TRI. Il convient toutefois d'avoir à l'esprit que les prévisions de TRI sont sujettes à caution. En effet, le bilan des infrastructures de transport mises en service par le passé montre trois phénomènes :

[133] Le coût moyen pondéré du capital est supposé représenter l'objectif de rentabilité minimum pour l'opérateur de transport. Dans nos calculs, ce taux est diminué de l'inflation pour tenir compte du fait que le calcul du bilan financier de l'opérateur s'effectue en euros courants et non en euros constants comme dans les bilans socioéconomiques.

- En premier lieu, il y a une dégradation systématique du TRI des projets au fur et à mesure de l'avancement des études. L'affinage des études conduit en effet systématiquement à ré-estimer à la hausse les coûts de construction et d'exploitation (modifications du projet, durcissement des contraintes environnementales, inflation des prix du génie civil) et, bien souvent, à revoir à la baisse les prévisions de trafic. *A posteriori*, les projets ferroviaires présentent d'ailleurs systématiquement des trafics inférieurs aux prévisions initiales (croissance du PIB plus faible que prévue, concurrence accrue des *low-cost* aériennes, stagnation relative du coût d'usage de la route relativement à d'autre modes de transport).
- Ensuite, les projets successifs présentent une rentabilité décroissante. À étape similaire de l'instruction, les projets futurs sont moins rentables que les projets passés en raison de la présence de rendements décroissants dans les réseaux de transport. C'est d'ailleurs ce phénomène qui fait considérer par certains observateurs que, hormis quelques besoins ponctuels dans les goulots d'étranglement, le réseau des transports français est arrivé à maturité.
- Néanmoins, la fourchette d'évolution des TRI entre les études *ex ante* et les bilans *ex post* se resserre depuis quelques années. En effet, d'une part, les progrès méthodologiques permettent d'estimer avec plus de fiabilité la rentabilité effective finale des projets et, d'autre part, le TRI s'avère par construction moins sensible aux revalorisations des coûts et avantages lorsqu'il est déjà bas.

Le graphique suivant, réalisé en 2005, illustre ces trois phénomènes (dans le cas des projets ferroviaires).

Panorama des évolutions récentes des TRI de projets ferroviaires



Source : DG Trésor, à partir de données RFF
Note de lecture : EP = études préliminaires, APS = avant-projet sommaire, DUP = déclaration d'utilité publique, DAM = décision d'approbation ministérielle, ex post = bilan LOTI réalisé 3 à 5 ans après la mise en service du projet

Lorsque la rentabilité est connue d'après une étude de niveau EP (études préliminaires) ou supérieur, on adopte cette information. Lorsque la rentabilité n'est pas connue – par exemple, parce que l'étude n'a pas encore été menée par le maître d'ouvrage du projet – on suppose dans notre étude que les projets présentent les taux de rentabilité interne (TRI) suivants :

TRI socio-économique des investissements projetés, si inconnu faute d'études

Mode de transport	TRI
Fer	5 %
TCSP	8 %
Route	10 %
Autre	4 %

Source : hypothèses DG Trésor

Pour le mode ferroviaire, l'hypothèse résulte de premiers travaux prospectifs menés par RFF. Pour le mode routier, l'hypothèse résulte d'une minoration des TRI évalués *ex post* par le CGEDD sur 11 projets routiers et qui conduisaient à une moyenne de 12 %. Pour les projets de TCSP, le TRI est supposé compris entre celui des projets routiers et celui des projets ferroviaires. Quant aux autres projets, par convention, le TRI est supposé égal au taux d'actualisation public, dans la mesure où ils ne devraient jamais être réalisés si leur TRI lui était inférieur.

En définitive, on se fonde sur une hypothèse de TRI pour chaque projet, hypothèse dont on déduit le surplus net des usagers. Pour estimer la valeur totale du surplus engendré par le volet Transport du Grenelle, on agrège les résultats obtenus projet par projet. Ce surplus est ensuite assimilé à un gain économique, qui est à son tour considéré comme un gain de productivité améliorant la croissance potentielle.

Annexe 4 : Détails des impacts macroéconomiques

Tableau 13 : impact sur les principales variables macroéconomique du scénario central (le surplus d'investissement lié au Grenelle est financé par une hausse des prélèvements au prorata de leur poids dans les recettes publiques)

En écart par rapport au scénario de référence

	1 an	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	Long terme
PIB en volume	0,0	0,1	0,5	0,0	-0,3	-0,1	0,0
VA du secteur marchand	0,0	0,1	0,6	-0,1	-0,3	-0,1	0,0
Consommation des ménages	0,0	0,0	0,2	0,1	-0,2	-0,1	0,0
Investissement	0,1	0,6	3,3	0,8	-0,2	-0,1	0,0
Investissement des SNF et EI	0,0	0,1	0,7	-0,2	-0,3	-0,1	0,0
Exportations	0,0	0,0	-0,1	-0,4	-0,3	0,0	0,0
Importations	0,0	0,1	0,6	0,3	0,0	0,0	0,0
Revenu disponible réel des ménages	0,0	0,0	0,1	0,2	-0,2	-0,1	0,0
Taux d'épargne	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Prix de la consommation des ménages	0,0	0,0	0,4	0,9	0,7	0,1	0,0
Prix de production	0,0	0,0	0,4	1,0	0,7	0,1	0,0
Prix de production marchande	0,0	0,0	0,4	1,0	0,7	0,1	0,0
Prix des exportations	0,0	0,0	0,3	0,7	0,5	0,1	0,0
Prix des importations	0,0	0,0	0,2	0,4	0,4	0,1	0,0
Salaire réel net	0,0	0,0	0,1	0,3	-0,1	-0,1	0,0
Coût réel du travail	0,0	0,1	0,4	0,1	-0,1	-0,1	0,0
Emploi salarié (en milliers)	1	6	57	-2	-42	-14	0
Taux de chômage	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,2	0,1	0,0
Balance commerciale (en pts de PIB)	0,0	0,0	-0,2	-0,1	0,0	0,0	0,0

Lecture : après 5 ans, dans le scénario central, le PIB est plus élevé de 0,5 % par rapport au scénario de référence, et il y a 57 000 emplois de plus dans l'économie.

Tableau 14 : impact sur les principales variables macroéconomique du scénario 2: surplus d'investissement lié au Grenelle, financé par une hausse des prélèvements au prorata de leur poids dans les recettes publiques et l'instauration d'une taxe poids lourds

En écart par rapport au scénario de référence

	1 an	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	Long terme
PIB en volume	0,0	0,1	0,6	0,0	-0,2	0,0	0,0
VA du secteur marchand	0,0	0,1	0,6	-0,1	-0,3	0,0	0,1
Consommation des ménages	0,0	0,0	0,2	0,2	-0,2	-0,1	0,0
Investissement	0,1	0,6	3,3	0,8	-0,2	-0,1	0,0
Investissement des SNF et EI	0,0	0,1	0,7	-0,2	-0,3	-0,1	0,0
Exportations	0,0	0,0	-0,1	-0,4	-0,2	0,0	0,0
Importations	0,0	0,1	0,6	0,3	0,0	0,0	0,0
Revenu disponible réel des ménages	0,0	0,0	0,2	0,2	-0,1	-0,1	0,0
Taux d'épargne	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Prix de la consommation des ménages	0,0	0,0	0,4	0,9	0,6	0,0	-0,1
Prix de production	0,0	0,0	0,5	1,0	0,6	0,0	-0,1
Prix de production marchande	0,0	0,0	0,5	1,0	0,7	0,0	-0,1
Prix des exportations	0,0	0,0	0,3	0,7	0,4	0,0	-0,1
Prix des importations	0,0	0,0	0,2	0,4	0,3	0,0	-0,1
Salaire réel net	0,0	0,0	0,2	0,3	-0,1	-0,1	0,0
Coût réel du travail	0,0	0,1	0,4	0,1	-0,1	0,0	0,0
Emploi salarié (en milliers)	1	6	60	2	-36	-6	8
Taux de chômage	0	0	0	0	0	0	0
Balance commerciale (en pts de PIB)	0,0	0,0	-0,2	-0,1	0,0	0,0	0,0

Lecture : après 5 ans, dans le scénario central, le PIB est plus élevé de 0,6 % par rapport au scénario de référence, et il y a 60 000 emplois de plus dans l'économie.

Tableau 15 : impact sur les principales variables macroéconomique du scénario 3 : surplus d'investissement lié au Grenelle, financé par une hausse des prélèvements au prorata de leur poids dans les recettes publiques et une hausse du versement transport (cotisations sociales employeurs)

En écart par rapport au scénario de référence

	1 an	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	Long terme
PIB en volume	0,0	0,1	0,5	0,0	-0,3	-0,1	0,0
VA du secteur marchand	0,0	0,1	0,6	-0,1	-0,3	-0,1	0,0
Consommation des ménages	0,0	0,0	0,2	0,1	-0,2	-0,1	0,0
Investissement	0,1	0,6	3,3	0,8	-0,2	-0,1	0,0
Investissement des SNF et EI	0,0	0,1	0,7	-0,2	-0,3	-0,1	0,0
Exportations	0,0	0,0	-0,1	-0,4	-0,3	0,0	0,0
Importations	0,0	0,1	0,6	0,3	0,0	0,0	0,0
Revenu disponible réel des ménages	0,0	0,0	0,1	0,2	-0,2	-0,1	0,0
Taux d'épargne	0,0	0,0	0,3	0,9	0,7	0,0	0,0
Prix de la consommation des ménages	0,0	0,0	0,4	0,9	0,7	0,1	0,0
Prix de production	0,0	0,0	0,5	1,0	0,7	0,1	0,0
Prix de production marchande	0,0	0,0	0,4	1,0	0,8	0,1	0,0
Prix des exportations	0,0	0,0	0,3	0,7	0,5	0,1	0,0
Prix des importations	0,0	0,0	0,2	0,5	0,4	0,1	0,0
Salaire réel net	0,0	0,0	0,1	0,3	-0,2	-0,2	0,0
Coût réel du travail	0,0	0,1	0,4	0,2	-0,1	0,0	0,0
Emploi salarié (en milliers)	1	6	53	-5	-45	-16	-3
Taux de chômage	0	0	0	0	0	0	0
Balance commerciale (en pts de PIB)	0,0	0,0	-0,2	-0,1	-0,1	0,0	0,0

Lecture : après 5 ans, dans le scénario central, le PIB est plus élevé de 0,5 % par rapport au scénario de référence, et il y a 53 000 emplois de plus dans l'économie.

Tableau 16 : impact sur les principales variables macroéconomique du scénario 4 : surplus d'investissement lié au Grenelle, financé par une hausse des prélèvements au prorata de leur poids dans les recettes publiques et d'une hausse des prix dans le secteur des transports

En écart par rapport au scénario de référence

	1 an	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	Long terme
PIB en volume	0,0	0,1	0,5	0,0	-0,2	-0,1	0,0
VA du secteur marchand	0,0	0,1	0,6	-0,1	-0,3	-0,1	0,0
Consommation des ménages	0,0	0,0	0,2	0,1	-0,2	-0,1	0,0
Investissement	0,1	0,6	3,3	0,8	-0,1	-0,1	0,0
Investissement des SNF et EI	0,0	0,1	0,7	-0,2	-0,3	-0,1	0,0
Exportations	0,0	0,0	-0,1	-0,4	-0,2	0,0	0,0
Importations	0,0	0,1	0,6	0,3	0,0	0,0	0,0
Revenu disponible réel des ménages	0,0	0,0	0,1	0,2	-0,2	-0,1	0,0
Taux d'épargne	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Prix de la consommation des ménages	0,1	0,1	0,5	0,9	0,7	0,1	0,0
Prix de production	0,0	0,1	0,5	1,0	0,7	0,0	-0,1
Prix de production marchande	0,0	0,0	0,4	1,0	0,7	0,0	-0,1
Prix des exportations	0,0	0,0	0,3	0,7	0,4	0,0	0,0
Prix des importations	0,0	0,0	0,2	0,4	0,3	0,0	0,0
Salaire réel net	0,0	0,0	0,1	0,3	-0,2	-0,1	0,0
Coût réel du travail	0,0	0,1	0,4	0,1	-0,1	0,0	0,0
Emploi salarié (en milliers)	1	5	56	0	-39	-9	4
Taux de chômage	0	0	0	0	0	0	0
Balance commerciale (en pts de PIB)	0,0	0,0	-0,2	-0,1	0,0	0,0	0,0

Lecture : après 5 ans, dans le scénario central, le PIB est plus élevé de 0,5 % par rapport au scénario de référence, et il y a 56 000 emplois de plus dans l'économie.

Tableau 17 : impact sur les principales variables macroéconomique du scénario intégrant les avantages socioéconomiques : surplus d'investissement lié au Grenelle, financé par une hausse des prélèvements au prorata de leur poids dans les recettes publiques, avec une augmentation de la productivité liée aux avantages socioéconomiques

En écart par rapport au scénario de référence

	1 an	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	Long terme
PIB en volume	0,0	0,1	0,5	0,0	-0,1	0,0	0,0
VA du secteur marchand	0,0	0,1	0,6	-0,1	-0,1	0,0	0,0
Consommation des ménages	0,0	0,0	0,2	0,1	-0,1	-0,1	0,0
Investissement	0,1	0,6	3,3	0,8	0,0	-0,1	0,0
Investissement des SNF et EI	0,0	0,1	0,7	-0,1	-0,2	0,0	0,0
Exportations	0,0	0,0	-0,1	-0,3	-0,1	0,0	0,0
Importations	0,0	0,1	0,6	0,3	0,0	-0,1	0,0
Revenu disponible réel des ménages	0,0	0,0	0,1	0,2	-0,1	-0,1	0,0
Taux d'épargne	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Prix de la consommation des ménages	0,0	0,0	0,4	0,8	0,3	-0,1	0,0
Prix de production	0,0	0,0	0,4	0,9	0,3	-0,1	0,0
Prix de production marchande	0,0	0,0	0,4	0,9	0,3	-0,1	0,0
Prix des exportations	0,0	0,0	0,3	0,6	0,2	-0,1	0,0
Prix des importations	0,0	0,0	0,2	0,4	0,2	0,0	0,0
Salaire réel net	0,0	0,0	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0
Coût réel du travail	0,0	0,1	0,4	0,1	0,0	0,1	0,0
Emploi salarié (en milliers)	1	6	57	-9	-47	-12	0
Taux de chômage	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,2	0,0	0,0
Balance commerciale (en pts de PIB)	0,0	0,0	-0,2	-0,1	0,0	0,0	0,0

Lecture : après 5 ans, dans le scénario central, le PIB est plus élevé de 0,5 % par rapport au scénario de référence, et il y a 57 000 emplois de plus dans l'économie.

LEXIQUE

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

AIE : Agence Internationale de l'Énergie

BCG : the Boston Consulting Group

BTP : bâtiments et travaux publics ; secteur économique de la construction

CAS : Centre d'Analyse Stratégique

Comop 10 : Comité opérationnel n°10 « Énergies Renouvelables » du « Grenelle de l'environnement »

CPER : contrat de projet État-Région

CSPE : Contribution au Service Public de l'Électricité

DGEC/DGEMP : Direction générale de l'énergie et du climat (anciennement Direction générale de l'énergie et des matières premières)

DUP : déclaration d'utilité publique ; procédure administrative nécessaire à l'expropriation

ENR : énergies renouvelables

EPR : réacteur pressurisé européen

IPCH : indice des prix à la consommation harmonisé

LGV : ligne ferroviaire à grande vitesse

LOTI : loi n°82-1153 du 30 décembre 1982 d'orientation des transports intérieurs

MDP : « mécanismes de développement propre » prévus par le protocole de Kyoto

MEEDDM : Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

MOP : maîtrise d'ouvrage publique (par opposition aux PPP qui peuvent déléguer tout ou partie de la maîtrise d'ouvrage à un partenaire privé)

OAT : obligation assimilable du Trésor, mode d'endettement principal de l'État

PGF : productivité générale des facteurs (paramètre fondamental du modèle macroéconomique)

PIB : produit intérieur brut

p.km : passager.kilomètre, unité de mesure des trafics de voyageurs

PPP : partenariat public-privé ; forme de contrat par lequel la puissance publique délègue une mission de service public à un partenaire privé ; ces contrats englobent notamment les concessions (ou délégation de service public, DSP) et les contrats de partenariat (CP)

RFF : Réseau Ferré de France, entreprise publique gestionnaire du réseau ferré national

SNCF : Société Nationale des Chemins de fer Français, entreprise publique opérateur majoritaire des services ferroviaires en France

SNF et EI : sociétés non financières et entreprises individuelles

TCSP/TCU : transport collectif en site propre (métros, tramways, bus à haut niveau de service…) / transport collectif urbain (englobe les TCSP)

tCO_2 : tonne équivalent CO_2 ; unité de mesure des quantités de gaz à effet de serre

tep : tonne équivalent pétrole ; unité correspondant au pouvoir calorifique d'une tonne de pétrole ; 1 tep = 41,855 GJ = 11 628 kWh. Par convention le coefficient de substitution est égal à

- 0,260606 tep/MWh pour l'électricité produite par une centrale nucléaire,
- 0,86 tep/MWh pour l'électricité produite par une centrale à géothermie
- 0,086 tep/MWh pour toutes les autres formes d'électricité (production par une centrale thermique classique, hydraulique, éolienne, marémotrice, photovoltaïque, etc., échanges avec l'étranger, consommation),

cf. http://www.developpement-durable.gouv.fr/energie/politiqu/textes/nouv-meth-bilan.htm

TER : transport express régional (majoritairement par rail)

t.km : tonne.kilomètre, unité de mesure des trafics de marchandises

TP01 : indice de prix des travaux publics, index général tous travaux

TRI : taux de rentabilité interne

UE : Union Européenne

VAN : valeur actuelle nette

BIBLIOGRAPHIE

ADEME - Mission Interministérielle de l'Effet de Serre (2007), « Guide des facteurs d'émissions, Version 5.0, Calcul des facteurs d'émissions et sources bibliographiques utilisées », Bilan Carbone « entreprises » et « collectivités, rapport

ADEME et BIO Intelligence Service (2010), « Analyses de cycle de vie appliquées aux biocarburants de première génération consommés en France », synthèse

ADEME et In Numeri (2009), « Marchés, emplois et enjeu énergétique des activités liées aux énergies renouvelables et à l'efficacité énergétique _ Situation 2007-2008 et perspectives 2009 », rapport, cf. http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?sort=-1&cid=96&m=3&id=65792&ref=&nocache=yes&p1=111

ADEME et In Numeri (2008), « Marchés, emplois et enjeu énergétique des activités liées aux énergies renouvelables et à l'efficacité énergétique : Situation 2006-2007 _ Perspectives 2012 », rapport

ADEME - MEEDDM (2009), « Fonds Chaleur – Bilan et Perspectives », dossier de presse du 19 octobre, cf. http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Invitation_conf_Fonds_Chaleur-1_cle63e6ef-1.pdf

AIE (2008), « World Energy Outlook », rapport, http://www.worldenergyoutlook.org/2008.asp

AIE (2007), « World Energy Outlook », rapport, http://www.worldenergyoutlook.org/2007.asp

Amigues J.-P. et M. Moreaux (2009), « Quand faut-il simultanément taxer certaines énergies et en subventionner d'autres ? », présentation au Séminaire « Économie de l'Environnement et des Ressources Naturelles », EUREQua, Université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne, cf. http://eurequa.univ-paris1.fr/semenviro/Moreaux.pdf

Aschauer D. A. (1989), « Is public expenditure productive? », *Journal of Monetary Economics*, vol. 23, pp. 177-200

BCG (2009), « Réflexions sur le portefeuille de mesures Grenelle Environnement », présentation, cf. http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Etude_BCG_cle0f419a.pdf

Boiteux M. et al. (2001), « Transports : choix des investissements et coût des nuisances », Rapport du Commissariat général au Plan, La Documentation française, Paris

CAS (2010), « Analyse – la croissance verte : quels impacts sur l'emploi et les métiers ? », Note de veille n°164, cf. http://www.strategie.gouv.fr/IMG/pdf/NoteVeille164.pdf

CGDD (2009), « La facture énergétique de la France en 2008 », Chiffres et statistiques n°43, http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/CS__facture_energ_france_2008_43_cle72d311.pdf

CGDD (2009), « Rapport annuel au Parlement sur la mise en œuvre des engagements du Grenelle Environnement », Repères, http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/03_cle7af97d-5_1_.pdf

Comop 10 du « Grenelle de l'environnement » (2008) « Plan de développement des énergies renouvelables à haute qualité environnementale _ 2008 - 2012 – 2020 », rapport, cf. http://www.legrenelle-environnement.gouv.fr/grenelle-environnement/IMG/pdf/rapport_final_comop_10.pdf

Didier M. et R. Prud'homme (2007), « Infrastructures de transport, mobilité et croissance », Rapport du CAE n°69, La Documentation française, Paris

DGEC (2009), « Programmation pluriannuelle des investissements de production d'électricité », rapport, cf. http://www.developpement-durable.gouv.fr/energie/politiqu/rev-ppi-pip.htm, Arrêté du 15 décembre 2009 relatif à la programmation pluriannuelle des investissements de production d'électricité, cf. http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do;jsessionid=5BA12C0674318E4E2902B7D0B262D79A.tpdjo09v_2?cidTexte=JORFTEXT000021645812&dateTexte=20100219

DGEC (2009), « Programmation pluriannuelle des investissements de production de chaleur », rapport, cf. http://www.developpement-durable.gouv.fr/energie/politiqu/rev-ppi-pip.htm, Arrêté du 15 décembre 2009 relatif à la programmation pluriannuelle des investissements de production de chaleur, cf. http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do;jsessionid=5BA12C0674318E4E2902B7D0B262D79A.tpdjo09v_2?cidTexte=JORFTEXT000021645823&dateTexte=20100219

DGEC (2008), « Synthèse publique de l'étude des coûts de référence de la production électrique », rapport, cf. http://www.developpement-durable.gouv.fr/energie/electric/cout-ref-synthese2008.pdf

DGEMP- DIDEME (2003), « Coûts de référence de la production d'électricité », rapport

Directive 2009/28/CE du Parlement Européen et du Conseil, du 23 avril 2009, relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables et modifiant puis abrogeant les directives 2001/77/CE et 2003/30/CE, cf. http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:fr:PDF

Duprez F. (2008), « Que sait-on des interactions entre les transports et l'économie ? », in Madiès T. et J.-C. Prager, *Innovation et compétitivité des régions,* Rapport du CAE n° 77, La Documentation française, Paris

Eddington R. (2006), "The Eddington Transport Study, Main Report: Transport's role in sustaining the UK's productivity and competitiveness", Crown, London

Enerdata (2008a), « Scénario énergétique de référence pour la France à l'horizon 2020/2030 », rapport final du 9 avril

Enerdata (2008b), « Du scénario tendanciel aux scénarios « Grenelle » », rapport final du 8 septembre

Favard P., F. Mirabel et J.-C. Poudou (2002), « Funding for Universal Service Obligations in Electricity Sector: the case of green power development », Cahier de Recherche du CREDEN n°02.07.33, cf. http://www.laser.univ-montp1.fr/Cahiers/WPL060202.pdf

Flyvbjerg B., M. K. Holm et S. Buhl (2003), "How common and how large are cost overruns in transport infrastructure projects?", *Transport Reviews*, vol. 23, n° 1, pp. 71-88

Fritsch B. (1999), « La contribution des infrastructures de transport au développement des régions françaises », Presses de l'école nationale des Ponts et chaussées, Paris

Jara-Diaz S. R. (1986), "One the Relation Between Users' Benefits and the Economic Effects of Transportation Activities", *Journal of Regional Science*, vol. 26, n° 2, pp. 379-391

Klein C. et O. Simon (2010), « Le modèle Mésange, nouvelle version réestimée en base 2000 », Cahier de la DGTPE, cf. http://www.finances.gouv.fr/directions_services/dgtpe/etudes/doctrav/doctrav.htm

MITRE (2005), "Meeting the targets and putting renewables to work", rapport d'ensemble du projet européen Monitoring & modeling initiative on the targets for renewable energy, cf. http://mitre.energyprojects.net/

Nadiri M. I. et T. P. Mamuneas (1998), "Contribution of Highway Capital to Output and Productivity Growth in the US Economy and Industries", mimeo

Newberry D. M. (1998), "Efficiency benefits of transport reductions", rapport pour la Standing Advisory Committee for Trunk Road Assessment (SACTRA)

Offner J.-M. (1993), « Les effets structurants du transport : mythe politique, mystification scientifique », *L'Espace géographique*, n° 3, pp. 233-242

Plassard F. (2003), « Transport et territoire », La Documentation française, Paris

Prud'homme R. (2002), « Transport et développement économique », rapport à la CEMT préparé pour la table ronde 119, OCDE

Poulit J. (2002), « Urbanisme et transport : la mobilité, source de progrès économique et environnemental », acte du forum *Pour une mobilité durable*

Pöyry (2008), « Compliance costs for meeting the 20 % renewable energy target in 2020 », rapport

Predali F. (2007), « Le financement des infrastructures de transport avec des PPP », rapport de l'IAURIF

Quirion P. et D. Demailly (2009), « - 30 % de CO2 = + 684000 emplois. L'équation gagnante pour la France », étude pour WWF, cf. http://www.centre-cired.fr/perso/quirion/quirion_emploi_wwf.pdf

Rouwendal J. et A. Van der Vlist (2002), "A Dynamic Model of Commutes", Tinbergen Institute Discussion Paper

RTE (2009), « Bilan prévisionnel de l'équilibre offre-demande d'électricité en France », rapport, http://www.rte-france.com/uploads/media/pdf_zip/nos-activit-s/bilan_complet_2009.pdf.

SACTRA (1999), "Transport and the Economy", rapport pour le Department of the Environment, Transport and Regions (DETR)

Stephan A. (2001), "Essays on the Contribution of Public Infrastructure to Private Production and its Political Economy", thèse, Humboldt-Universität zu Berlin

Zahavi Y. et J. M. Ryan (1980), "Stability of travel components over time", *Transportation Research Record*, n° 750, pp. 19-26

Zahavi Y. et A. Talvitie (1980), "Regularities in travel time and money expenditures", *Transportation Research Record*, n° 750, pp. 13-19