

Direction des Études et Synthèses Économiques

G 2009 / 09

**Prix du pétrole et croissance potentielle
à long terme**

**Guy LALANNE, Erwan POULIQUEN
et Olivier SIMON**

Document de travail



Institut National de la Statistique et des Études Économiques

INSTITUT NATIONAL DE LA STATISTIQUE ET DES ÉTUDES ÉCONOMIQUES

*Série des documents de travail
de la Direction des Études et Synthèses Économiques*

G 2009 / 09

Prix du pétrole et croissance potentielle à long terme

**Guy LALANNE, Erwan POULIQUEN
et Olivier SIMON ***

SEPTEMBRE 2009

Ce document de travail reprend une contribution à paraître dans un rapport du Conseil d'Analyse Économique, consacré aux évolutions des prix de l'énergie.

Nous remercions Antoine d'Autume, Éric Dubois et Pierre Joly pour les commentaires enrichissants qu'ils ont apportés à cette contribution. Nous tenons aussi à remercier Jean-Jacques Becker, Didier Blanchet, Hélène Erkel-Rousse, Pierre-Alain Pionnier et Hélène Thélot pour leur aide précieuse.

* Département des Études Économiques d'Ensemble - Division « Croissance et Politiques Macroéconomiques »
Timbre G220 - 15, bd Gabriel Péri - BP 100 - 92244 MALAKOFF CEDEX

Prix du pétrole et croissance potentielle à long terme

Résumé

Le but de ce papier est d'évaluer l'impact de la hausse attendue du prix du pétrole sur la croissance à long terme de l'économie française. Cet exercice de croissance potentielle a été réalisé en modélisant l'économie en équilibre général à l'aide de fonctions de production à élasticités de substitution constantes, incluant le facteur énergie aux côtés des habituels facteurs capital et travail. De plus, les effets de structure sectorielle sont pris en compte au moyen d'une décomposition de l'économie en quatre secteurs (industrie, construction, services marchands et agriculture).

En l'absence d'évolution du prix du pétrole, l'évaluation aboutirait à un potentiel de croissance de 2 % par an environ. Les scénarios de hausse du prix du pétrole envisagés conduisent à un déficit de croissance compris entre 0,1 et 0,6 point par an à moyen terme par rapport au scénario à prix du pétrole constant. Une part importante de l'effet du renchérissement du prix du pétrole sur la croissance française à long terme passerait par un impact défavorable sur l'industrie, fortement consommatrice d'énergie mais aussi moteur du progrès technique.

Mots-clés : Croissance potentielle, croissance déséquilibrée, prix du pétrole

Oil price and potential output growth in the long run

Abstract

The goal of this paper is to gauge the impact of the expected oil price increase on the potential output growth of the French economy in the long run. This potential output exercise is conducted using CES (Constant Elasticity of Substitution) production functions featuring three factors: capital, labour and energy. Moreover, the sectoral composition of the economy is taken into account through a breaking down of the economy into four sectors (manufacturing industry, construction, market services, and agriculture).

The model yields a potential output of growth of about 2 % per year in the absence of oil price variations. The various scenarios of oil price increases result in a shortage of growth between 0.1 and 0.6 % per year in the medium run with respect to the constant oil price scenario. The major part of this growth shortage channels through a negative impact on the manufacturing sector, which is highly energy-intensive and also the engine of technical progress.

Keywords: Potential output growth, Unbalanced growth, Oil price

Classification JEL : E10, O41, Q43

Sommaire

Introduction	5
I - Modèle à un secteur : effet modéré d'un prix du pétrole élevé.....	7
<i>I.1 Projection de référence à prix du pétrole constant</i>	7
<i>I.2 Fonctionnement du modèle : les effets d'une hausse régulière du prix de l'énergie</i>	9
<i>I.3 Une illustration à partir des scénarios du rapport Syrota</i>	10
II - Une modélisation désagrégée se traduit par des effets plus marqués	13
Conclusion.....	17
Bibliographie	18
Annexe 1 Modèle à un secteur	19
Annexe 2 Hypothèses de projection	21
Annexe 3 Modèle pluri-sectoriel	22
Annexe 4 Étude de sensibilité : variantes et hypothèses alternatives .	25

Introduction

Si les cours du baril de pétrole ont récemment baissé de manière spectaculaire, la perspective d'un prix de l'énergie élevé à moyen et long termes reste fortement probable, notamment en raison de la prévision d'un pic de production pétrolière dans un avenir plus ou moins proche.

Le but de cette contribution est d'évaluer l'impact de la hausse attendue du prix du pétrole sur la croissance à long terme de l'économie française. En l'absence d'évolution du prix du pétrole, l'évaluation aboutirait, sous les hypothèses retenues, à un potentiel de croissance de 2 % par an environ en s'abstrayant des fluctuations de court terme émanant de la demande. Les scénarios de hausse du prix du pétrole envisagés conduisent à une perte de croissance par rapport à ce scénario de base comprise entre 0,1 et 0,6 point par an à moyen terme. Une part importante de l'effet du renchérissement du prix du pétrole sur la croissance française à long terme passerait par un impact défavorable sur l'industrie, fortement consommatrice d'énergie mais aussi moteur du progrès technique. Au total, les différents scénarios envisagés induiraient une perte *cumulée* de valeur ajoutée sur l'ensemble de la période comprise entre 1,4 et 7,3 %.

Cet exercice de croissance potentielle a été réalisé en modélisant l'économie à l'aide de fonctions de production à élasticités de substitution constantes incluant le facteur énergie, aux côtés des habituels facteurs capital et travail. Alliant souplesse et simplicité, les différentes modélisations testées rendent ainsi compte des évolutions de la consommation intermédiaire d'énergie dans la production. Une première étape de modélisation considérant l'économie au niveau agrégé est complétée par le développement d'un modèle sectoriel de croissance potentielle permettant d'évaluer les impacts différenciés d'un prix de l'énergie durablement élevé sur les grands secteurs de l'économie (industrie, services, agriculture et construction).

Les hypothèses de projection ont été choisies pour être les plus consensuelles possibles et les résultats obtenus concernant les scénarios à prix du pétrole constant en découlent. La particularité et l'intérêt de cette étude résident dans la prise en compte rigoureuse de l'évolution du prix du pétrole et de son impact sur la structure sectorielle de l'économie française à long terme.

Il convient de souligner que cet exercice, comme tous les calculs de croissance potentielle, s'appuie sur un raisonnement à fonction de production constante. En particulier, on s'abstrait d'une réflexion sur les questions de modifications structurelles des comportements énergétiques et environnementaux.

I - Modèle à un secteur : effet modéré d'un prix du pétrole élevé

1.1 Projection de référence à prix du pétrole constant

La croissance potentielle peut être définie comme la croissance soutenable à un horizon de moyen-long terme, c'est-à-dire avec une utilisation "normale" des facteurs de production (au sens où elle n'engendre pas de mécanismes inflationnistes). Par conséquent, la croissance potentielle est entièrement déterminée par les facteurs d'offre et s'abstrait des fluctuations engendrées par la demande.

Les exercices de croissance potentielle privilégient traditionnellement deux approches alternatives¹. La première est une approche statistique, qui vise à extraire la composante tendancielle de la série historique de PIB, au moyen d'un filtre de Hodrick-Prescott par exemple. La seconde approche, pouvant être qualifiée de « structurelle », repose sur une fonction de production de l'économie. C'est celle qui est retenue ici. Elle présente l'avantage d'offrir un cadre de comptabilité de la croissance potentielle en fonction de ses déterminants (facteurs de production, productivité globale des facteurs). De plus, elle se prête à la réalisation de scénarios alternatifs selon la valeur de paramètres importants, ce que l'approche statistique ne permet guère.

Dans la littérature traitant de l'impact des variations du prix du pétrole sur la croissance potentielle, trois facteurs de production sont généralement distingués : le travail, le capital et les consommations intermédiaires en énergie. Les manières de combiner ces facteurs au sein d'une fonction de production de l'économie sont diverses. Elles reposent notamment sur les hypothèses adoptées concernant la substitution entre les facteurs. Rasche et Tatom (1977), dans un des premiers travaux sur ce sujet, considèrent par exemple une fonction de Cobb-Douglas multifactorielle. Cette hypothèse, qui revient à supposer une élasticité de substitution unitaire entre les facteurs, est reprise par l'OCDE (2008) dans son évaluation rétrospective de l'effet sur l'offre des variations du prix du pétrole. Il paraît toutefois plus réaliste de supposer que l'élasticité de substitution entre les facteurs est inférieure à 1 et de s'orienter alors vers des fonctions CES (*Constant Elasticity of Substitution*²). Van der Werf (2008) offre un tour d'horizon de la littérature consacrée à l'estimation de fonctions de production incluant le facteur énergie. Suivant ses notations et afin d'étudier la sensibilité des résultats à la forme fonctionnelle retenue, on considère quatre fonctions de production distinctes : (KL)E, (KE)L, (KLE) et KLE où la notation (KL)E désigne une fonction CES emboîtée dans laquelle le capital et le travail sont combinés sous la forme d'une fonction de Cobb-Douglas, leur agrégat étant combiné ensuite à l'énergie. (KE)L désigne une fonction CES emboîtée dans laquelle le capital et l'énergie sont combinés dans un premier temps avec une élasticité de substitution constante. Les deux facteurs combinés dans un premier temps sont plus substituables entre eux qu'avec le troisième. (KLE) désigne une fonction CES où l'élasticité de substitution est la même entre les trois facteurs et KLE une fonction de Cobb-Douglas multifactorielle..

Dans toute la suite, on s'intéresse à la croissance potentielle de la valeur ajoutée marchande. Les services administrés sont donc retirés du champ de l'étude. L'estimation des élasticités de substitution entre les facteurs sur l'ensemble de l'économie marchande (tableau 1) conduit à des valeurs du même ordre de grandeur que celles figurant dans la littérature, par exemple Van der Werf (2008) ou dans le modèle d'équilibre général Gemini-E3 décrit dans Bernard *et al.* (2008). La contrainte à 0,4 retenue pour l'élasticité de substitution entre les facteurs dans la fonction CES symétrique (KLE) est conforme à Edenhofer *et al.* (2005).

Ces formes fonctionnelles fixées pour tout l'horizon de projection excluent de probables changements structurels de l'économie, par exemple des modifications du panier énergétique ou des considérations de soutenabilité environnementale. Ces questions

¹ Pour une présentation plus détaillée et une discussion de la notion de croissance potentielle, le lecteur pourra se référer à Le Bihan, Sterdyniak et Cour (1997).

² Fonction de production à élasticité de substitution constante. Son expression formelle est fournie en annexe 1.

importantes méritent à elles seules un traitement particulier largement au-delà de l'ambition de cette contribution. Il faut garder en mémoire cette limite lors de l'interprétation des résultats.

Étant donné le choix d'une fonction de production, la résolution du programme des entreprises permet d'écrire les demandes de facteurs en fonction de leurs coûts relatifs. La fonction de production s'exprime alors en fonction des facteurs usuels - travail et capital - et du prix réel de l'énergie, c'est-à-dire du prix de l'énergie déflaté par le prix de la valeur ajoutée (annexe 1). Le volume de consommations intermédiaires en énergie se détermine de la même façon. La valeur ajoutée de l'économie s'en déduit en retirant de la production le volume d'énergie consommée. Elle dépend des facteurs travail et capital ainsi que du prix réel de l'énergie. Dans la suite de l'étude, le prix réel de l'énergie sera considéré comme exogène³.

Tableau 1. Élasticités de substitution intervenant dans les différentes fonctions de production considérées

Fonction de production	Élasticités de substitution	Méthode d'estimation	Précisions
(KL)E	$\sigma_{KL} = 1$ $\sigma_{(KL)E} = 0,44$	contraint par hypothèse calibré	- valeur moyenne calculée sur 1988, 1995 et 2002
(KE)L	$\sigma_{KE} = 0,23$ $\sigma_{(KE)L} = 0,36$	estimé par MCO en différence estimé par MCO en différence	$R^2 = 0,47$; T de Student = 4,1. $R^2 = 0,15$; T de Student = 1,9.
(KLE)	$\sigma_{KLE} = 0,4$	calibré	d'après Van der Werf (2008)
KLE	$\sigma_{KLE} = 1$	contraint par hypothèse	-

Note : les estimations sont effectuées sur données annuelles, sur la période 1987-2008. Le détail des relations estimées est présenté en annexe 1.

Source : Insee, comptes nationaux annuels - base 2000, calculs des auteurs.

À ce stade, il est possible d'effectuer un calcul de croissance potentielle standard, sans impact des variations du prix réel de l'énergie, c'est-à-dire suivant un scénario prolongeant à l'identique le prix réel de l'énergie de 2009 jusqu'en 2050 (horizon choisi car il correspond à celui des projections de population active réalisées par l'Insee). En raison de la dynamique des scénarios de prix de l'énergie qui seront envisagés dans la suite, on distingue trois horizons d'étude : 2009-2015, 2016-2030 et 2031-2050.

Dans un cadre où le prix réel de l'énergie est constant, la valeur ajoutée peut s'exprimer sous une forme qui ne fait apparaître que les quantités potentielles de travail et de capital. L'offre de travail est calculée à partir des dernières projections de population active de l'Insee (Coudin, 2007) en prenant en compte l'articulation des observations du passé récent (années 2006 à 2008) avec les projections. La population en emploi est obtenue en y appliquant un taux de chômage structurel. Le stock de capital, quant à lui, découle d'une relation d'accumulation standard dans laquelle le taux d'investissement et le taux de dépréciation sont constants à long terme. La présentation des hypothèses portant sur les quantités potentielles de facteurs est détaillée en annexe 2.

Avec les hypothèses de projection retenues, les différentes formes de fonction de production conduisent à une croissance potentielle qui se situerait, à court-moyen terme comme à long terme, aux alentours de 1,9 % par an (tableau 2)⁴. Un tel exercice n'a qu'une valeur

³ Cette hypothèse est également utilisée par Le Barbanchon (2007) dans son étude sur l'impact des variations du prix du pétrole sur l'activité à l'aide d'un modèle d'équilibre général intertemporel stochastique (DSGE). Elle correspond au cas d'une petite économie ouverte qui ne peut influencer à elle seule le prix réel de l'énergie.

⁴ La crise financière actuelle diminue dans une certaine mesure la croissance potentielle à court terme du fait du prolongement auto-régressif de la composante cyclique de la production. Néanmoins, la croissance potentielle pour 2009 reste positive selon notre modèle car les déterminants de l'offre, seuls pertinents pour la croissance potentielle, n'y sont pas fortement affectés. Par exemple, le capital n'est pas spécifique à une entreprise. Le stock

indicative. Il vise surtout à donner un cadre de départ afin d'étudier ensuite l'impact de la hausse du prix du pétrole. Néanmoins, les valeurs obtenues sont du même ordre de grandeur que ceux des calculs prospectifs de croissance potentielle antérieurs⁵.

Tableau 2. Croissance potentielle dans le modèle à un secteur (en %)

	2009-2015	2016-2030	2031-2050
Croissance potentielle dans le modèle à un secteur	[1,8 ; 2,0]	[1,7 ; 1,9]	[1,8 ; 2,0]

Note de lecture : en moyenne sur la période 2009-2015, la croissance potentielle s'établit entre 1,8 % et 2,0 % par an suivant la forme de fonction de production retenue.

Source : Insee, comptes nationaux annuels - base 2000, calculs des auteurs.

1.2 Fonctionnement du modèle : les effets d'une hausse régulière du prix de l'énergie

Pour mieux analyser les effets d'un renchérissement des cours pétroliers tels qu'ils sont retracés par le modèle, on évalue dans un premier temps l'impact d'une hausse régulière du prix du pétrole. On présente ensuite, à titre d'illustration, les conclusions auxquelles aboutit cette modélisation en termes de croissance potentielle sous les différents scénarios de prix du pétrole proposés par le rapport « Perspectives énergétiques de la France à l'horizon 2020-2050 » (Conseil d'Analyse Stratégique, 2008).

Dans un premier temps, on suppose donc une augmentation régulière et soutenue du prix réel du pétrole se traduisant par une multiplication par 4,5 du prix réel des consommations intermédiaires énergétiques à l'horizon 2050. Par commodité, cette hausse sera dénommée « scénario 1 » dans la suite et sera comparée à un « scénario 0 »⁶ correspondant à un prix réel de l'énergie constant à partir de 2009.

La projection du prix de l'énergie résultant de celle du prix du pétrole est effectuée en modélisant la relation liant le prix réel de l'énergie au prix réel du baril de pétrole, tous deux déflatés par le prix de la valeur ajoutée. La modélisation adoptée, inspirée par le modèle Mésange (Klein et Simon, 2009), est celle d'un processus à correction d'erreur dans lequel, à long terme, le prix réel de l'énergie s'indexe imparfaitement au prix réel du pétrole.

Face à la hausse du prix de l'énergie, l'économie réagit en diminuant sa consommation énergétique, ce qui induit une baisse du PIB toutes choses égales par ailleurs. L'impact sur la croissance est d'autant plus fort que l'énergie est complémentaire aux autres facteurs de production. En effet, lorsque la complémentarité est importante, il est plus difficile de substituer du travail ou du capital au facteur énergie.

Dans un tel scénario d'évolution des prix réels énergétiques et en reprenant les hypothèses de la projection standard (partie I.1) relatives au travail, au capital et à la productivité des facteurs de production, la croissance potentielle se dégraderait progressivement, faiblement dès le court-moyen terme puis de façon plus marquée à long terme, de 0,11 à 0,25 point suivant les fonctions de production considérées (cf. tableau 3 de la partie I.3, ligne « scénario 1 »). L'impact d'une hausse du prix du pétrole d'ampleur différente mais de forme analogue peut être obtenue en utilisant les propriétés de linéarité (en logarithme) approchée du modèle.

total de capital ne diminue donc pas du fait de faillites alors qu'en réalité cet effet joue certainement sur la croissance potentielle à moyen terme.

⁵ Coupet (2006), qui se fonde aussi sur les projections de population active de Coudin (2007), obtient également une croissance potentielle de 1,9 % par an à long terme. Voir aussi Carone *et al.* (2006) pour un exercice de croissance potentielle reposant sur des projections de population active plus anciennes.

⁶ Ce scénario correspond à celui qui a été utilisé dans l'exercice « standard » de croissance potentielle présenté dans la partie 1.1.

1.3 Une illustration à partir des scénarios du rapport Syrota

Les scénarios prospectifs concernant l'évolution future des prix de l'énergie et, en particulier, celui du baril de pétrole sont nombreux. Ils proviennent notamment de l'Agence internationale de l'énergie, du Conseil mondial de l'énergie ou encore de sociétés pétrolières. En France, la Commission Énergie, mise en place par le Conseil d'Analyse Stratégique et présidée par Jean Syrota, a proposé plusieurs scénarios envisageables de prix de l'énergie dans le cadre du rapport sur les « Perspectives énergétiques de la France à l'horizon 2020-2025 » (Syrota, 2008). S'ils diffèrent sur les dynamiques et les niveaux atteints, la plupart de ces scénarios s'accordent pour prévoir une hausse durable du prix du pétrole dans les décennies à venir. Cette hausse serait le résultat de deux types de facteurs⁷. Le premier est un facteur de long terme, lié à la prime de rareté attachée au pétrole (Hotelling, 1931). L'épuisement progressif des ressources pétrolières conduirait à une augmentation graduelle du prix des produits pétroliers (égale au taux d'intérêt réel) : cette hausse anticipée du prix permet aux producteurs d'égaliser les rendements de la stratégie consistant à extraire le pétrole immédiatement et de celle consistant à en retarder l'extraction. Le second facteur est relatif au court-moyen terme : le prix du pétrole pourrait augmenter fortement dans le cadre d'une phase de forte expansion économique liée à la croissance structurelle des pays émergents d'Asie. Le rapport Syrota (2008)⁸ fait l'hypothèse d'un baril dont le prix serait compris entre 50 et 80 dollars sur la période 2006-2015 (en dollars constants de 2006), augmenterait fortement pour atteindre 100-150 dollars entre 2015 et 2030 et diminuerait ensuite pour se situer à une valeur de long terme de 100 dollars en 2050, qui correspondrait, à cet horizon temporel, aux coûts marginaux de production des autres énergies fossiles.

En se fondant sur les prévisions conjoncturelles disponibles, on fait ici l'hypothèse d'un prix du baril de pétrole aux alentours de 55 dollars pour l'année 2009. À partir du cadre du rapport Syrota ainsi actualisé, sous l'hypothèse d'un taux de change de l'euro par rapport au dollar constant à sa valeur de 2008, on construit trois scénarios de projection du prix du pétrole sur la période 2009-2015. Dans ces trois scénarios le prix du baril de pétrole atteindrait une valeur constante de long terme de 100 dollars.

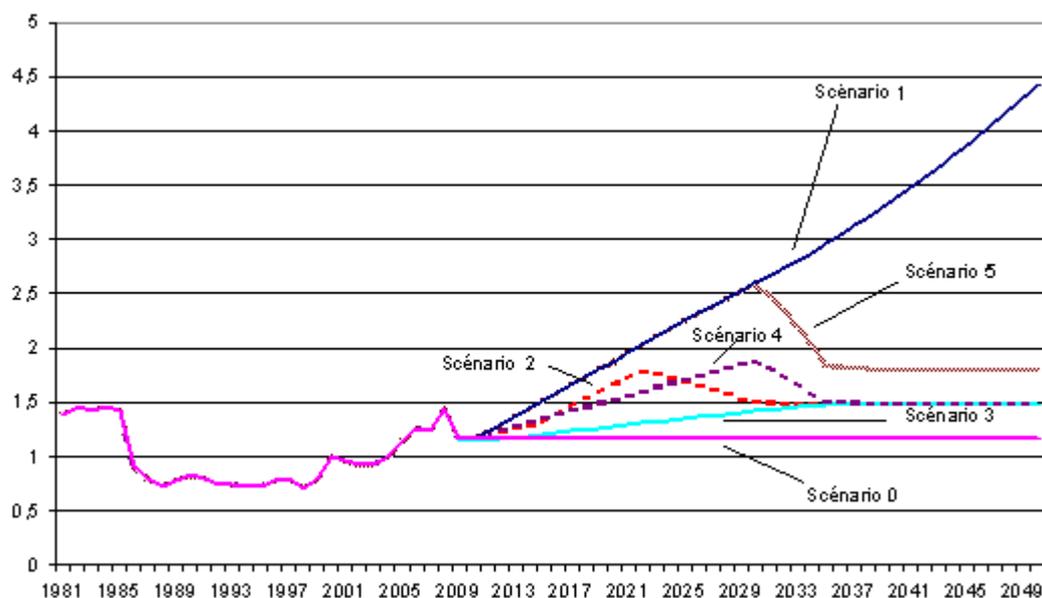
Dans deux des trois scénarios, le baril atteindrait une valeur maximale (respectivement 150 dollars dans le scénario 2 et 165 dollars dans le scénario 4) à l'horizon 2025-2030 avant de rejoindre son niveau de long terme⁹. Dans le scénario 3, le prix du baril aboutirait à cette valeur de long terme par une augmentation régulière. En marge de ce cadre défini par le rapport Syrota, on introduit en outre un scénario supplémentaire, plus pessimiste (scénario 5) dans lequel le baril atteindrait un niveau de long terme supérieur à 100 dollars, en passant par une très forte poussée en 2030. On en déduit les dynamiques respectives du prix réel de l'énergie (cf. *supra*) dans l'ensemble de ces scénarios (graphique 1) à l'aide d'une modélisation à correction d'erreur. À long terme, dans les scénarios inspirés du rapport Syrota, le prix réel de l'énergie s'établirait à un niveau 1,5 fois supérieur à son niveau de 2000. Ce niveau est comparable à celui qui a prévalu au début des années 1980, après le deuxième choc pétrolier mais se situe au-delà de la moyenne observée sur la période 1981-2008. Les poussées du prix du pétrole des scénarios 2 et 4 obtenus à partir des hypothèses du rapport Syrota correspondent à des hausses du prix réel de l'énergie bien supérieures à celles observées lors du dernier choc pétrolier de 2008.

⁷ Pour un traitement plus complet de cette question, on peut se reporter à Hamilton (2008).

⁸ Pour plus de détails sur les justifications de ces projections, on peut consulter le rapport d'étude du Groupe 2 de la Commission Énergie (Perspectives de l'offre et de la demande mondiales). Lien : http://www.strategie.gouv.fr/IMG/pdf/G2_Synthese_annexes_28.11.06.pdf

⁹ Si un niveau de 145 dollars a déjà été atteint en moyenne journalière le 14 juillet 2008, un niveau annuel de 150 dollars demeure néanmoins élevé au regard des évolutions passées (graphique 1).

Graphique 1. Prix réel (déflaté par le prix de valeur ajoutée) des consommations intermédiaires énergétiques dans les cinq scénarios de prix du pétrole étudiés (indice valant 1 en 2000)



Source : Insee, comptes nationaux annuels - base 2000, calculs des auteurs.

Une croissance progressive du prix réel de l'énergie, sans pic pétrolier (scénario 3), n'aurait aucun impact significatif à court-moyen terme sur la croissance potentielle (tableau 3). À long terme, ce scénario amputerait très faiblement la croissance potentielle, jusqu'à 0,02 point de croissance suivant la fonction de production considérée.

Tableau 3. Impact des différents scénarios de prix énergétique sur la croissance potentielle

	2009-2015	2016-2030	2031-2050
Impact sur la croissance potentielle (écart au scénario 0, en points de %) :			
- Scénario 1	[-0,05 ; -0,03]	[-0,17 ; -0,07]	[-0,25 ; -0,11]
- Scénario 2	[-0,02 ; 0,00]	[-0,02 ; -0,01]	0,00
- Scénario 3	0,00	[-0,02 ; -0,01]	[-0,02 ; 0,00]
- Scénario 4	[-0,02 ; -0,01]	[-0,06 ; -0,03]	[0,01 ; 0,03]
- Scénario 5	[-0,05 ; -0,03]	[-0,17 ; -0,07]	[0,03 ; 0,08]

Note de lecture : En moyenne sur 2009-2015, le scénario 4 conduirait à un déficit de croissance moyen de 0,01 à 0,02 point par an par rapport au scénario 0, suivant les fonctions de production considérées.

Source : calculs des auteurs.

A *contrario*, un scénario de pic pétrolier à l'horizon 2025-2030 aurait un impact plus nuancé sur l'économie française (scénarios 2, 4 et 5). Dès le court terme, la croissance potentielle serait diminuée chaque année de 0,01 à 0,05 point, puis de 0,03 à 0,17 point par an sur la période 2016-2030. Dans le cas où le pic serait suivi d'une diminution du prix relatif de l'énergie vers son niveau de long terme, cette diminution serait d'autant plus forte que le niveau du pic était plus haut, ce qui contribuerait à augmenter la croissance en conséquence. Au-delà de 2030, la sortie d'un pic pétrolier favoriserait ainsi la croissance annuelle de 0,01 à 0,08 point dans les scénarios qui envisagent les pics pétroliers les plus forts.

L'impact des hausses du prix de l'énergie présente ici un ordre de grandeur cohérent avec les résultats rétrospectifs disponibles dans la littérature, par exemple OCDE (2008) ou Lalanne et Simon (2009). En particulier, l'OCDE (2008) évalue l'impact sur la croissance

potentielle de la hausse réelle du prix du pétrole observée lors des vingt dernières années. La fonction de production utilisée est, comme on l'a déjà mentionné, une fonction de Cobb-Douglas multifactorielle. Pour cette hausse du prix réel du pétrole (déflaté par le prix de PIB), qui s'élevait à 170 %, l'impact sur la croissance potentielle était évalué à un déficit de 0,06 point de croissance en moyenne par an pour la zone euro.

D'autre part, les effets sont robustes aux différentes fonctions de production considérées¹⁰, c'est-à-dire aux hypothèses effectuées sur les élasticités de substitution entre les facteurs. De manière générale, ces impacts peuvent paraître faibles en première approche. Toutefois, sur l'ensemble de la période, ces différences de régime de croissance potentielle induisent un déficit cumulé de valeur ajoutée non négligeable.

Ainsi, par rapport au scénario 0, un scénario de hausse régulière du prix de l'énergie mais sans pic pétrolier (scénario 3), engendrerait d'ici 2050 un déficit cumulé de richesse produite¹¹ situé entre 0,1 et 0,2 % (tableau 4). Si le prix de l'énergie devait atteindre un pic plus ou moins fort à l'horizon 2025-2030, alors ce déficit pourrait atteindre jusqu'à 1,2 %, selon l'ampleur du pic. Le déficit cumulé est le plus important dans le scénario 1, où il peut atteindre jusqu'à 3,4 % (graphique 2).

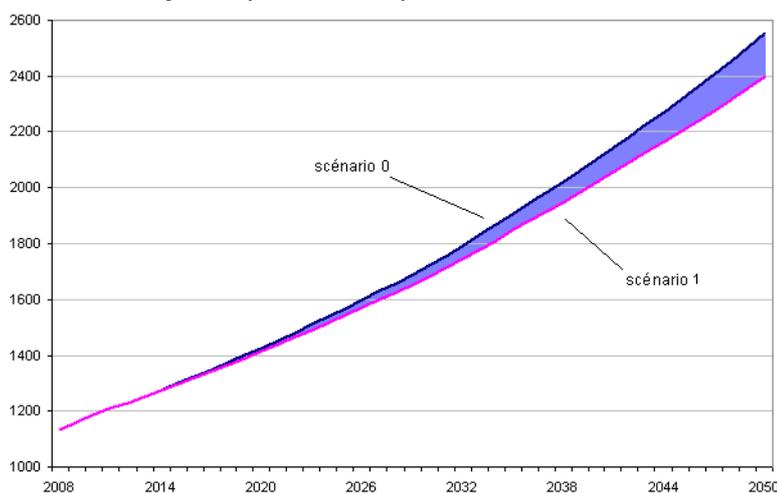
Tableau 4. Impact des différents scénarios de prix énergétique sur la valeur ajoutée cumulée dans le modèle à un secteur

Valeur ajoutée cumulée (déviations par rapport au scénario 0, en %) :	2009-2050
- Scénario 1	[-3,4 ; -1,5]
- Scénario 2	[-0,4 ; -0,2]
- Scénario 3	[-0,2 ; -0,1]
- Scénario 4	[-0,5 ; -0,2]
- Scénario 5	[-1,2 ; -0,6]

Note de lecture : Dans le scénario 2, le déficit cumulé de valeur ajoutée s'établit entre 0,2 et 0,4 % par an par rapport au scénario 0.

Source : calculs des auteurs.

Graphique 2. Valeur ajoutée dans les scénarios 0 et 1 et déficit cumulé de valeur ajoutée (zone ombrée) entre 2008 et 2050



Source : calculs des auteurs.

¹⁰ Y compris lorsque la forme fonctionnelle est de type Cobb-Douglas intégrale, permettant une substitution parfaite entre les facteurs travail, capital et énergie.

¹¹ Il s'agit de l'aire située entre les deux courbes du graphique 2 (pour le cas du scénario 1), soit la part de valeur ajoutée totale produite entre 2009 et 2050 qui est amputée par la hausse du prix de l'énergie. La séquence de l'évolution du prix du pétrole étant différente entre les scénarios, la comparaison des niveaux de valeur ajoutée à une date est moins pertinente que le déficit cumulé pour refléter la perte de revenu.

II - Une modélisation désagrégée se traduit par des effets plus marqués

Si l'analyse précédente prolongeait les exercices habituels de croissance potentielle pour y introduire l'énergie en tant que facteur supplémentaire, elle n'en évaluait pas les conséquences sur les grands secteurs de l'économie. Or, une hausse des prix de l'énergie les affectera différemment selon qu'ils sont plus ou moins intenses en énergie. Pour évaluer ces effets sectoriels, on complète donc l'approche précédente par l'étude d'un modèle pluri-sectoriel de l'économie française, dont l'esprit est fondé sur les modèles de croissance déséquilibrée (Baumol, 1967). À notre connaissance, l'étude de la croissance potentielle à un niveau sectoriel est un sujet très peu traité dans la littérature. Lorsqu'il l'est, il s'agit le plus souvent d'une analyse en équilibre partiel, sans prendre en compte les interactions entre les secteurs, par exemple dans Van Ark (1995) ou Scarpetta *et al.* (2000). Cependant les effets résultant des déformations sectorielles peuvent être notables, comme le montre la suite.

D'après les résultats de la partie précédente, le choix d'une forme fonctionnelle semble avoir un impact modéré, à la fois sur la croissance potentielle et sur les effets de la hausse des prix de l'énergie. Par conséquent, on se concentre ici sur la forme (KL)E décrite plus haut. Cette forme présente l'avantage de mieux rendre compte des évolutions passées¹². Quatre secteurs sont considérés : l'agriculture, l'industrie, la construction et les services marchands. Au sein de chaque secteur, la modélisation est analogue à celle expliquée dans la partie 1. Les élasticités de substitution entre les facteurs de production, ainsi que les taux de croissance de la productivité de l'agrégat capital-travail et de l'énergie, sont estimés de la même façon que dans la partie 1 pour chaque secteur (annexe 3, notamment tableau 10). L'exercice nécessite une hypothèse supplémentaire sur la demande pour déterminer la composition sectorielle de l'économie. La structure détaillée et la résolution du modèle pluri-sectoriel sont décrites dans l'annexe 3.

Dans le cadre d'un exercice standard de croissance potentielle, c'est-à-dire sans impact des variations du prix réel de l'énergie, les résultats obtenus à l'aide du modèle pluri-sectoriel sont proches de ceux présentés précédemment (tableau 5). La valeur ajoutée accélère légèrement au cours de la période car la part en volume de l'industrie dans la valeur ajoutée croît de manière modérée. Cet effet vient de l'hypothèse retenue à propos du système de demande. On suppose que celui-ci est de type Cobb-Douglas, c'est-à-dire que les parts budgétaires sont constantes en valeur¹³. La part en valeur de l'industrie dans la production étant constante et le progrès technique étant élevé dans ce secteur, le prix relatif du bien produit dans l'industrie diminue, ce qui fait légèrement augmenter sa part en volume. On constate en outre que l'industrie est le secteur le plus intensif en énergie. En revanche, le capital et le travail sont mobilisés essentiellement dans les services marchands.

L'utilisation du modèle pluri-sectoriel permet d'évaluer, dans le cadre de cet exercice de croissance potentielle standard, la déformation des secteurs au cours du temps. En vertu de l'hypothèse retenue sur le système de demande, le poids en valeur de chaque secteur dans la production totale demeure constant sur toute la période de prévision. En revanche, l'emploi des facteurs de production varie selon les secteurs. Les secteurs dont la productivité de l'agrégat capital-travail est élevée deviennent moins intensifs en capital et en travail. C'est le cas de l'agriculture et de l'industrie (tableau 5). Les secteurs où le travail et le capital ont le taux de croissance de la productivité le plus faible deviennent en revanche plus intensifs en ces facteurs. De même, les secteurs les moins consommateurs d'énergie - la construction et les services marchands - voient leur intensité énergétique diminuer par rapport aux autres secteurs.

¹² À ce sujet, voir Van Der Werf (2008).

¹³ Outre sa simplicité, cette hypothèse permet de comparer les résultats du modèle pluri-sectoriel à ceux du modèle à un seul secteur, dans lequel la structure est intrinsèquement constante à long terme. Le modèle a également été simulé avec des hypothèses alternatives concernant le système de demande, notamment avec des parts de demande constantes en volume. Cette hypothèse conduit mécaniquement à un progrès technique qui converge plus rapidement vers le plus faible des progrès techniques sectoriels (annexe 4).

Tableau 5. Taux de croissance de la valeur ajoutée dans le modèle pluri-sectoriel et répartition des facteurs de production entre secteurs

	2009-2015	2016-2030	2031-2050
Taux de croissance de la valeur ajoutée	1,7%	1,7%	1,9%
Répartition des facteurs de production entre les secteurs :			
Emploi			
Agriculture	4,1%	4,0%	3,9%
Industrie	20,2%	19,7%	18,8%
Construction	9,1%	9,3%	9,5%
Services marchands	66,5%	67,0%	67,8%
Capital			
Agriculture	2,4%	2,3%	2,3%
Industrie	14,7%	14,3%	13,6%
Construction	6,4%	6,5%	6,6%
Services marchands	76,5%	76,9%	77,5%
Énergie			
Agriculture	3,2%	3,6%	4,3%
Industrie	65,0%	67,8%	71,8%
Construction	4,6%	3,7%	2,6%
Services marchands	27,2%	24,9%	21,3%

Note de lecture : dans le modèle pluri-sectoriel, la croissance potentielle s'établit à 1,7 % par an sur la période 2009-2015. Sur cette période, l'emploi agricole représente 4,1 % de l'emploi total et l'énergie constitue 3,2 % du total de l'énergie consommée dans le secteur agricole (la différence éventuelle entre le tout et la somme de ses parties est dû à l'arrondi à la première décimale).

Source : calculs des auteurs.

Réitérons maintenant sur ce modèle désagrégé les mêmes simulations de variations des prix énergétiques que celles effectuées à l'aide du modèle à un secteur. Tout d'abord, on considère à nouveau une hausse régulière du prix réel de l'énergie afin d'identifier les mécanismes supplémentaires inclus dans le modèle désagrégé. Ensuite, on évalue l'impact des scénarios du rapport Syrota sur la croissance potentielle à l'aune de cette seconde modélisation.

L'ampleur des effets est notablement supérieure que dans les simulations réalisées à l'aide du modèle à un seul secteur. Le modèle pluri-sectoriel capte l'impact des variations du prix de l'énergie dans la composition sectorielle de la valeur ajoutée, en plus de l'effet dépressif général du renchérissement du prix de l'énergie sur l'économie. L'industrie est un secteur qui se caractérise à la fois par une utilisation intensive de l'énergie (tableau 5) et par une substitution limitée entre l'énergie et les autres facteurs de production (cf. annexe 3). Lorsque le prix relatif de l'énergie augmente, les coûts de production de ce secteur assez captif vis-à-vis de l'énergie s'élèvent, ce qui entraîne une diminution de la contribution industrielle à la valeur ajoutée totale en volume (tableau 6). L'industrie étant en outre le secteur au progrès technique le plus rapide (sous l'hypothèse de productivités globales des facteurs prolongées constantes), la diminution de sa part dans la valeur ajoutée en volume tend à réduire le progrès technique moyen de l'économie et, par conséquent, la croissance elle-même.

Tableau 6. Impact des différents scénarios de prix énergétique sur la part de l'industrie dans la valeur ajoutée en volume

	2009-2015	2016-2030	2031-2050
Scénario 0	27%	30%	36%
<i>Écart par rapport au scénario 0</i>			
- Scénario 1	-2%	-6%	-13%
- Scénario 2	-2%	-4%	-4%
- Scénario 3	-1%	-3%	-4%
- Scénario 4	-2%	-4%	-5%
- Scénario 5	-2%	-6%	-6%

Note de lecture : en moyenne sur la période 2009-2015, la part en volume de l'industrie dans la valeur ajoutée est de 27 % dans le scénario 0 et de 25 % dans le scénario 2.

Source : calculs des auteurs.

Ainsi, la déformation sectorielle est un facteur supplémentaire de la réduction des consommations intermédiaires provoquée par une hausse du prix relatif de l'énergie. Ce mécanisme s'appuie sur l'hypothèse de productivités prolongées constantes au niveau sectoriel. Dans l'approche agrégée, la productivité est également prolongée constante et son évolution sur la période de projection ne prend donc pas en compte la déformation sectorielle au détriment de l'industrie (cf. annexe 3 pour les ordres de grandeur des croissances des productivités sectorielles).

Une hausse régulière et soutenue du prix relatif de l'énergie (le « scénario 1 ») conduirait à un effet négatif, de plus en plus défavorable au cours du temps, sur la croissance potentielle (tableau 7). En effet, le renchérissement du prix du pétrole diminuerait la part de l'industrie relativement au scénario de référence, ce qui se traduirait par une croissance agrégée de la productivité globale des facteurs plus faible. Ceci pèserait sur la croissance potentielle. Comme pour le modèle à un secteur, une hausse deux fois plus marquée du prix du pétrole aurait un impact deux fois plus élevé sur la croissance, en utilisant la linéarité approchée en logarithme du modèle plurisectoriel.

On examine désormais l'impact des quatre scénarios de prix du pétrole issus du rapport Syrota dans le modèle pluri-sectoriel. L'effet de chaque scénario sur la croissance moyenne est présenté dans le tableau 7.

Tableau 7. Impact des différents scénarios de prix énergétique sur la croissance potentielle dans le modèle pluri-sectoriel

	2009-2015	2016-2030	2031-2050
Croissance potentielle (scénario 0)	1,7 %	1,7 %	1,9 %
<i>Impact sur la croissance potentielle (écart au scénario 0, en points de %) :</i>			
- Scénario 1	-0,12	-0,32	-0,63
- Scénario 2	-0,05	-0,09	-0,06
- Scénario 3	-0,01	-0,07	-0,08
- Scénario 4	-0,06	-0,18	0,00
- Scénario 5	-0,12	-0,32	0,00

Note de lecture : Dans le modèle pluri-sectoriel et en moyenne sur 2009-2015, le scénario 2 conduit à un déficit de croissance de 0,05 point par an par rapport au scénario 0.

Source : calculs des auteurs.

Le scénario 2 d'un pic pétrolier précoce (aux alentours de 2030) se traduit par un impact relativement constant sur la croissance au cours de la période de simulation (tableau 7). Dans le modèle à un seul secteur, au contraire, ce scénario avait un impact uniquement concentré sur les deux premières sous-périodes. Désormais, la baisse de la part de l'industrie dans la valeur ajoutée induite en début de période se répercute durablement sur la

croissance, alors même que le prix relatif de l'énergie décroît dans le scénario 2 entre 2031 et 2050.

Le scénario 3 de hausse progressive du prix du pétrole jusqu'à un niveau de long terme de 100 dollars le baril conduit à un effet sur la croissance de plus en plus défavorable au cours du temps. Son ampleur est plus modérée entre 2016 et 2030, notamment parce que l'absence de pic pétrolier évite alors la baisse significative de la part de l'industrie dans la valeur ajoutée.

Le scénario 4, qui suppose un pic pétrolier plus tardif mais plus élevé que dans le scénario 2, se traduit par un effet limité sur la croissance au-delà de 2030. Cela s'explique par un prix du pétrole qui baisse vers son niveau de long terme plus tardivement que dans le scénario 2. Le scénario 5 présente le même profil que le scénario 4 mais les effets sont plus marqués puisque le prix du pétrole y est toujours plus élevé.

Pour compléter la comparaison avec le modèle à un secteur, le tableau 8 présente l'impact cumulé sur la valeur ajoutée dans les différents scénarios, entre 2009 et 2050. Les effets sont ici non négligeables, le scénario 3, le plus favorable, prévoyant une perte cumulée de valeur ajoutée qui s'élève à 1,4 % et le scénario 1, qui fait l'hypothèse d'une croissance continue des prix du pétrole, tablant sur une perte cumulée de 7,3 %.

Tableau 8. Impact des différents scénarios de prix énergétique sur la valeur ajoutée cumulée dans le modèle pluri-sectoriel

Valeur ajoutée cumulée (déviations par rapport au scénario 0, en %) :	2009-2050
- Scénario 1	-7,3 %
- Scénario 2	-1,8 %
- Scénario 3	-1,4 %
- Scénario 4	-2,0 %
- Scénario 5	-3,6 %

Note de lecture : Dans le modèle pluri-sectoriel et dans le scénario 2, la valeur ajoutée cumulée entre 2009 et 2050 est de 1,8 % inférieure à celle cumulée dans le scénario 0.

Source : calculs des auteurs.

Conclusion

Cette étude met en évidence la perte de croissance potentielle qu'entraînerait pour l'économie française une hausse importante du prix du pétrole. Elle montre également l'intérêt d'une modélisation désagrégée par secteurs. D'une part, cette modélisation illustre l'incertitude qui entoure l'estimation des paramètres importants pour évaluer l'impact des prix de l'énergie sur la croissance. D'autre part, elle suggère que l'impact d'une hausse entretenue du prix du pétrole peut avoir des effets sur la croissance de plus en plus notables. En effet, le poids des secteurs dont les gains de productivité sont les plus élevés diminue progressivement car ce sont aussi les plus intenses en énergie et les moins à même de substituer du capital ou du travail à de l'énergie.

Cette étude montre en outre que, même dans l'hypothèse la plus défavorable quant à l'impact des prix de l'énergie sur la croissance potentielle, la perte de croissance resterait modeste (de l'ordre de 0,1 à 0,3 point par an) en cas de doublement du prix réel du pétrole d'ici 2050. La perte de croissance serait évidemment plus significative en cas d'augmentation plus marquée des cours pétroliers.

Les chiffres avancés dans cette contribution sont à considérer à titre indicatif, avec toute la prudence qui s'impose compte tenu de la multiplicité des hypothèses nécessaires au déroulement de ce genre d'évaluation. Il convient de noter en particulier que ces exercices sont effectués à productivités des facteurs constantes. Il s'agit d'une limite traditionnelle de ce type d'exercice au même titre que les incertitudes inhérentes aux hypothèses de projection de population active. L'introduction du facteur énergétique amène à mettre en garde sur la non-modélisation d'autres aspects comportementaux dont on pressent qu'ils pourraient avoir une grande importance dans l'avenir :

- les modifications structurelles de l'économie à même de modifier la substitution entre énergie, capital et travail ;
- l'émergence de sources d'énergie alternatives modifiant la dépendance du prix de l'énergie au prix du pétrole.

Enfin, les contraintes de soutenabilité environnementale pourraient rendre incontournables des modifications radicales du panier énergétique ou des changements des combinaisons productives dans les décennies à venir. L'exercice présenté ici revêt donc un caractère inévitablement formel, qu'il convient de garder à l'esprit pour convenablement interpréter les résultats des évaluations présentées.

Bibliographie

- Baumol W., « Macroeconomics of Unbalanced Growth: The Anatomy of Urban Crisis », *American Economic Review*, 57(3), p. 415-426, 1967.
- Beffy P.-O. et Fourcade N., « Le ralentissement de la productivité du travail au cours des années 1990 : l'impact des politiques d'emploi », *Économie et Statistique* n°376-377, 2004.
- Bernard A., Drouet L. et Vielle M., « GEMINI-E3, A General Equilibrium Model of International-National Interactions between Economy, Energy and the Environment, V5.2 », note technique disponible sur le site de Gemini-E3 (<http://gemini-e3.epfl.ch/>), 2008.
- Carone G., Denis C., McMorro K., Mourre G. et Röger W., « Long-term labour productivity and GDP Projections for the EU25 Member States: A production function framework », *Commission Européenne DG-Ecfin Economic Paper* n°253, 2006.
- Coudin E., « Projections de population active 2006-2050 », *Insee Résultats* n° 63, avril 2007.
- Coupet M., « Révisions de la croissance potentielle de l'économie française à moyen-long terme », *Trésor-Éco* n°2, 2006.
- Endenhofer O., Bauer N. et Kriegler E., « The impact of technological change on climate protection and welfare: insights from the model MIND », *Ecological Economics* 54, 277-292, 2005.
- Fontagné L. et Lorenzi J.-H., « Désindustrialisation, délocalisations », *Rapport du CAE*, 2005.
- Hamilton J.D., « Understanding Crude Oil Prices », *NBER Working Paper* n°14492, 2008.
- Hotelling, H., « The Economics of Exhaustible Resources », *Journal of Political Economy*, vol. 39, 1931, p. 137-175.
- Klein C. et Simon O., « Le modèle Mésange : présentation de la nouvelle version réestimée », *Document de travail de la DGTPPE et de l'Insee*, à paraître, 2009.
- Lalanne G. et Simon O., « Prix du pétrole, cours de l'euro et croissance », *L'Économie Française Édition 2009*, Insee références.
- Le Barbanchon T., « The changing response to oil price shocks in France: a DSGE type approach », *Document de travail de l'Insee/DESE*, G2007/07, 2007.
- Le Bihan H., Sterdyniak H. et Cour Ph., « La notion de croissance potentielle », *Économie internationale*, n°69, 1997.
- OCDE, « Conséquences pour la politique économique des incertitudes du côté de l'offre », *Perspectives économiques de l'OCDE*, vol. 83, Chapitre 3, 2008.
- Rasche R. et Tatom J., « Energy Resources and Potential GNP », *Federal Reserve Bank of Saint-Louis Review*, vol. 59, 1977.
- Scarpetta S., Bassanini A., Pilat D. et Schreyer P. « Economic Growth in OECD Area: Recent Trends at the Aggregate and Sectoral Level », document de travail de l'OCDE n°248, 2000.
- Syrota J., « Perspectives énergétiques de la France à l'horizon 2020-2050 », *Rapports et Documents du Centre d'Analyse Stratégique* n°12, 2008.
- Van Ark B., « Sectoral growth accounting and structural change in postwar Europe », GGDC Research Memorandum 199523, Groningen Growth and Development Centre, University of Groningen, 1995.
- Van der Werf E., « Production functions for climate policy modeling: An empirical analysis », *Energy Economics* vol. 30, p. 2964-2979, 2008.

Annexe 1 Modèle à un secteur

À titre d'exemple, la fonction de production considérée dans cette annexe est de type (KL)E.

Le calcul de la croissance potentielle de l'économie française s'appuie sur la définition et l'estimation d'une fonction de production néoclassique de type CES (*Constant Elasticity of Substitution*), incluant les facteurs travail (L) et capital (K), ainsi que les consommations intermédiaires en énergie (E), selon un emboîtement « (KL)E » :

$$Q = \left[\delta (A_E E)^{(\sigma-1)/\sigma} + (1-\delta) (A_Z Z)^{(\sigma-1)/\sigma} \right]^{\sigma/(\sigma-1)} \quad (1)$$

avec la combinaison entre travail et capital modélisée selon une fonction de type Cobb-Douglas :

$$Z = K^\alpha L^{1-\alpha} \quad (2)$$

où K est le stock de capital en début de période, L le nombre d'emplois en équivalent temps plein et α la part du capital dans la valeur ajoutée, estimée sur le passé. σ représente l'élasticité de substitution entre l'énergie et la combinaison des facteurs travail et capital. Le progrès technique associé à chaque facteur est défini en fonction d'une tendance temporelle :

$$A_E = A_E^0 e^{a_E t} \quad \text{et} \quad A_Z = A_Z^0 e^{a_Z t}$$

où t désigne le temps exprimé en années, a_E et a_Z les taux de croissance du progrès technique, supposés constants et où δ , A_E^0 et A_Z^0 sont des constantes.

La résolution du programme du producteur conduit notamment aux deux relations suivantes, déduites des conditions du premier ordre, où les demandes de facteurs sont exprimées en fonction de leurs prix relatifs :

$$\ln(E/Q) = \sigma \ln \delta + (\sigma - 1) \ln(A_E) + \sigma \ln(P_Q/P_E) \quad (3)$$

$$\ln(Z/Q) = \sigma \ln(1 - \delta) + (\sigma - 1) \ln(A_Z) + \sigma \ln(P_Q/P_Z) \quad (4)$$

où $\ln(\cdot)$ désigne le logarithme népérien.

Les équations (3) et (4) permettent d'estimer σ , a_E et a_Z . Le système étant sous-identifié, on ne peut estimer individuellement δ , A_E^0 et A_Z^0 . À l'aide des relations (3) et (4)-(3) dans lesquelles on remplace A_E et A_Z par leurs expressions, on définit les paramètres suivants :

$$c2 = \sigma \ln(1 - \delta) + (\sigma - 1) \ln(A_Z^0) \quad (5)$$

$$c3 = \sigma \ln\left(\frac{1 - \delta}{\delta}\right) + (\sigma - 1) \ln\left(\frac{A_Z^0}{A_E^0}\right) \quad (6)$$

En substituant les coefficients estimés dans l'équation (1), on obtient la fonction de production :

$$Q = e^{c_2/(\sigma-1)} \left[e^{-c_3} (e^{(a_E - a_Z)t})^{\sigma-1} (P_Z/P_E)^{\sigma-1} + 1 \right]^{\sigma/(\sigma-1)} e^{a_Z t} Z \quad (7)$$

À partir de (3), les consommations intermédiaires en énergie sont alors données par :

$$E = e^{-c_3} (e^{(a_E - a_Z)t})^{\sigma-1} (P_Z/P_E)^\sigma e^{a_Z t} Z \quad (8)$$

La valeur ajoutée en volume est définie comme la production diminuée des consommations intermédiaires¹⁴. On a donc :

$$VA = Q - E \quad (9)$$

La relation entre les taux de croissance peut être approchée par la relation suivante :

$$\dot{Q}_t = \rho_{t-1} \dot{E}_t + (1 - \rho_{t-1}) \dot{VA}_t \quad (10)$$

où \dot{G}_t représente le taux de croissance au temps t de la grandeur G et $\rho_{t-1} = (E/Q)_{t-1}$ la part en volume de l'énergie employée dans la production à la période précédente. On peut donc en déduire le taux de croissance de la valeur ajoutée :

$$\dot{VA}_t = \frac{\dot{Q}_t - \rho_{t-1} \dot{E}_t}{1 - \rho_{t-1}} \quad (11)$$

La croissance potentielle correspond donc à celle de la valeur ajoutée, comme dans le cadre de la comptabilité nationale. Une alternative aurait été de calculer la croissance potentielle du pouvoir d'achat national brut, c'est-à-dire la valeur ajoutée exprimée en unité de bien final. Cet autre concept aboutirait à un impact de hausses du prix du pétrole sur la croissance plus défavorable. En effet, le prix de production contient, en plus du prix de valeur ajoutée, le prix de l'énergie.

On présente ci dessous les principaux résultats de l'estimation de la fonction de production retenue ici (tableau 9).

Tableau 9. Élasticité de substitution entre E et (KL) et taux de croissance à long terme de la productivité des facteurs

Élasticité de substitution entre E et (KL) : σ	Productivité de l'agrégat capital-travail : a_Z	Productivité de l'énergie : a_E
0,44	1,2%	0,4%

¹⁴ Les projections de croissance potentielle sont effectuées sur les volumes exprimés en prix constants de 2008 au sens de la comptabilité nationale, ce qui permet d'additionner les volumes sans encombre. Ceci ne signifie pas que les prix relatifs restent fixes sur la période de projection.

Annexe 2

Hypothèses de projection

Cette annexe détaille les hypothèses utilisées pour la projection des variables du modèle à un secteur et du modèle pluri-sectoriel. Il s'agit de poser des hypothèses sur les quantités potentielles de facteurs et sur leur productivité, à court terme (2009-2015) et à moyen-long terme (2015-2050). Pour l'articulation entre ces deux horizons temporels, on s'inspire de la méthodologie employée par la Commission européenne dans ses exercices de croissance potentielle (Carone *et al.*, 2006).

Le travail. La population active, considérée comme exogène, provient des dernières projections de l'Insee (Coudin, 2007) en prenant en compte l'articulation des observations du passé récent (années 2006 à 2008) avec les projections. Afin de déterminer la quantité de travail potentielle, le stock de population active est multiplié par un taux de chômage structurel. À court-moyen terme, on utilise la projection du Nairu (taux de chômage n'accéléralant pas l'inflation) pour la France publiée par l'OCDE. Le taux de chômage s'y stabilise à 8% en 2010. On le suppose ensuite constant sur le reste de la période (sauf mention contraire - voir annexe 4).

Le capital. La dynamique du capital repose sur une relation d'accumulation standard (annexe 3). À court-moyen terme, les taux d'investissement et de dépréciation du capital suivent une dynamique qui prolonge celle des années précédentes (processus auto-régressifs d'ordre 3). À partir de 2015, ils se stabilisent à leur valeur de long terme. Le taux d'investissement vaut alors 23,8 % et le taux de dépréciation 4,5 %. La faiblesse du taux de dépréciation par rapport à d'autres valeurs rencontrées dans la littérature (de l'ordre de 10 %) s'explique par le fait que l'on considère le capital marchand y compris le capital immobilier, dont le taux de déclassement est particulièrement faible.

Composante cyclique. La composante cyclique de la production est calculée sur le passé comme la différence entre la production observée et la production potentielle prédite par le modèle. Elle est prolongée à court-moyen terme par un processus auto-régressif d'ordre 3 puis elle est supposée constante à long terme.

Annexe 3 Modèle pluri-sectoriel

Dans le modèle pluri-sectoriel, chaque secteur¹⁵ fait l'objet d'une modélisation analogue à celle effectuée dans le modèle à un seul secteur. La fonction de production de chaque secteur est ainsi modélisée comme une fonction CES :

$$Q_i = [\delta_i (A_{Ei} E_i)^{(\sigma_i-1)/\sigma_i} + (1-\delta_i) (A_{Zi} Z_i)^{(\sigma_i-1)/\sigma_i}]^{\sigma_i/(\sigma_i-1)}$$

où l'agrégat capital-travail forme une fonction de type Cobb-Douglas :

$$Z_i = K_i^{\alpha_i} L_i^{1-\alpha_i}$$

Les paramètres (σ_i , a_{Zi} , a_{Ei} , c_{2i} , c_{3i}) sont estimés de la même façon que pour la fonction de production englobant l'ensemble de l'économie marchande (annexe 1). Leurs valeurs estimées figurent dans le tableau 10. Pour l'industrie, le taux de croissance estimé de la productivité de l'agrégat capital-travail est cohérent avec l'étude de Beffy et Fourcade (2004). Les autres paramètres peuvent difficilement être comparés à d'autres estimations, faute de publications antérieures présentant des estimations de même type (à notre connaissance).

Comme attendu, l'élasticité de substitution estimée dans le modèle agrégé est supérieure (tableau 9) aux élasticités sectorielles estimées dans le modèle multi-sectoriel (tableau 10). Dans chaque secteur, l'élasticité rend compte de la baisse de l'intensité énergétique suite à un renchérissement du prix de ce facteur. L'élasticité agrégée rend compte, en plus de ce mouvement au sein de chaque secteur, de la baisse relative de la taille des secteurs intensifs en énergie. Il n'est donc pas contradictoire d'obtenir des élasticités sectorielles de substitution entre l'agrégat capital-travail et l'énergie qui soient toutes inférieures à l'élasticité estimée au niveau agrégé.

Tableau 10. Élasticités de substitution entre E et (KL) et taux de croissance à long terme de la productivité des facteurs dans le modèle désagrégé : valeurs et méthodes d'estimation

	Élasticité de substitution entre E et (KL) : σ_i <i>Estimation MCO en niveau</i>	Productivité de l'agrégat capital-travail : a_{Zi} <i>Moyenne</i>	Productivité de l'énergie : a_{Ei} <i>Estimation MCO en niveau</i>
Agriculture	0,29 <i>écart-type = 0,050</i>	3,4 % <i>écart-type = 0,009</i>	0,2 % <i>écart-type = 0,002</i>
Industrie	0,12 <i>écart-type = 0,030</i>	2,4 % <i>écart-type = 0,003</i>	0,3 % <i>écart-type = 0,001</i>
Construction	0,18 <i>écart-type = 0,120</i>	0,0 % <i>écart-type = 0,005</i>	0,3 % <i>écart-type = 0,002</i>
Services marchands	0,20 <i>écart-type = 0,080</i>	0,5 % <i>écart-type = 0,002</i>	0,0 % <i>écart-type = 0,001</i>

Note : les estimations sont effectuées sur données annuelles, sur la période 1987-2008.

Source : Insee, comptes nationaux annuels - base 2000, calculs des auteurs.

Lorsque les coefficients α_i diffèrent entre les secteurs, le modèle ne peut être résolu analytiquement et la projection est réalisée en utilisant une simulation numérique. À chaque date, les inconnues du modèle sont au nombre de $5N + 4$ (où N est le nombre de secteurs, ici $N = 4$) à savoir pour chaque secteur : la quantité de travail, de capital, d'énergie, le prix

¹⁵ Il s'agit de branches au sens de la comptabilité nationale.

P_{Qi} du bien i , l'indice de prix du facteur Z_i noté P_{Zi} ainsi que la rémunération du travail W (supposée homogène dans tous les secteurs), la rémunération du capital R , la production totale Q et le prix de production totale P_Q . Pour que la structure sectorielle de la production soit déterminée, il est nécessaire de fixer la structure de la demande adressée à l'économie domestique¹⁶. L'hypothèse centrale est de fixer les parts en valeur à leur niveau observé en 2008, ce qui correspond à une fonction d'utilité d'un consommateur représentatif de type Cobb-Douglas (la dépendance temporelle est introduite dans l'équation suivante à titre didactique) :

$$\frac{P_{Qi} Q_{it}}{P_{Qt} Q_t} = \lambda_i$$

Les demandes de facteurs sont obtenues comme dans le modèle à un seul secteur. La demande de capital est donnée par l'expression suivante :

$$R = \frac{\alpha_i P_{Qi} Q_i}{K_i} \left(e^{-c_{3i}} \left(\frac{P_{Zi}}{P_E} \right)^{\sigma_i - 1} e^{(a_{Ei} - a_{Zi})(\sigma_i - 1)t} + 1 \right)^{-1}$$

En utilisant la définition des λ_i , on peut réécrire :

$$RK_i = \alpha_i \lambda_i P_Q Q \left(e^{-c_{3i}} \left(\frac{P_{Zi}}{P_E} \right)^{\sigma_i - 1} e^{(a_{Ei} - a_{Zi})(\sigma_i - 1)t} + 1 \right)^{-1} \quad (\text{S1-S4})$$

où l'indice de prix P_{Zi} du facteur Z_i est donné par la relation comptable suivante :

$$P_{Zi} Z_i = RK_i + WL_i \quad (\text{S5-S8})$$

De la même façon, on obtient la demande de travail et d'énergie :

$$WL_i = (1 - \alpha_i) \lambda_i P_Q Q \left(e^{-c_{3i}} \left(\frac{P_{Zi}}{P_E} \right)^{\sigma_i - 1} e^{(a_{Ei} - a_{Zi})(\sigma_i - 1)t} + 1 \right)^{-1} \quad (\text{S9-S12})$$

$$E_i = \left(e^{-c_{3i}} \left(\frac{P_{Zi}}{P_E} \right)^{\sigma_i} e^{(a_{Ei} - a_{Zi})(\sigma_i - 1)t} \right) e^{a_{Zi}t} K_i^{\alpha_i} L_i^{1 - \alpha_i} \quad (\text{S13-S16})$$

Ensuite le prix du bien est déterminé par l'équilibre sur les marchés des biens :

$$\lambda_i P_Q Q = P_{Qi} Q_i = P_{Qi} e^{\frac{c_{2i}}{\sigma_i - 1}} e^{a_{Zi}t} K_i^{\alpha_i} L_i^{1 - \alpha_i} \left(e^{-c_{3i}} \left(\frac{P_{Zi}}{P_E} \right)^{\sigma_i - 1} e^{(a_{Ei} - a_{Zi})(\sigma_i - 1)t} + 1 \right)^{\frac{\sigma_i - 1}{\sigma_i}} \quad (\text{S17-S20})$$

Le salaire et la rémunération du capital sont donnés par l'équilibre sur les marchés des facteurs :

$$L = \sum_i L_i \quad \text{et} \quad K = \sum_i K_i \quad (\text{S21-S22})$$

où L et K sont prédéterminés (L est la population totale en emploi, supposée exogène, tandis que K résulte de l'accumulation du capital réalisée à la période précédente).

Le prix de la production totale est donné par :

$$\sum_i \lambda_i P_Q / P_{Qi} = 1 \quad (\text{S23})$$

¹⁶ Il ne s'agit pas directement de la composition de la demande domestique car interviennent ici les échanges extérieurs, à même de modifier la demande adressée à l'économie française.

En fixant comme numéraire le prix de la valeur ajoutée ($P_{VA} = 1$), le bouclage du modèle donne :

$$P_Q Q = VA + P_E E \text{ et } Q = VA + E$$

En combinant ces deux relations, on obtient la dernière équation du modèle :

$$(P_Q - 1)Q = (P_E - 1)E \quad (\text{S24})$$

Les équations (S1)-(S24) résolvent l'équilibre intra-temporel du modèle et permettent d'obtenir la croissance de la valeur ajoutée à progrès technique, prix de l'énergie, paramètres technologiques et offres de travail et de capital donnés. La dynamique du modèle est obtenue par une relation d'accumulation de capital standard, où l'on suppose un taux d'investissement constant :

$$K = \lambda.VA_{-1} + (1 - \delta).K_{-1}$$

Annexe 4

Étude de sensibilité : variantes et hypothèses alternatives

Quelques variantes usuelles ont été réalisées afin de vérifier les propriétés des modèles construits. La fonction de production retenue ici est du type (KL)E.

Le premier jeu de variantes effectué consiste à faire l'hypothèse d'une réduction progressive du Nairu de son niveau actuel jusqu'à 5 % en 2050. L'effet moyen obtenu est identique dans les modèles uni- et pluri-sectoriels et correspond à un gain moyen de 0,1 point de croissance annuelle (tableau 11).

Le deuxième jeu de variantes consiste à diminuer tous les taux de croissance de la productivité des facteurs de 10 %. Encore une fois, les deux modèles donnent les mêmes résultats. Cette réduction de la croissance de la productivité entraîne un déficit de croissance de 0,2 point de croissance en moyenne par an.

Enfin la dernière variante concerne uniquement le modèle pluri-sectoriel. Les parts de demande adressée à chaque secteur sont supposées constantes en volume et non plus en valeur. Ce changement d'hypothèse induit un déficit de croissance élevé et croissant au cours du temps. Sous cette hypothèse, une part croissante de la production et de la valeur ajoutée en valeur se concentre dans les secteurs où la productivité croît le plus faiblement car les prix des biens produits dans les secteurs à progrès technique rapide chutent. Par conséquent, le progrès technique moyen dans l'économie converge peu à peu vers le plus faible des progrès techniques sectoriels. La réalité se situe probablement entre les deux hypothèses polaires présentées ici : parts constantes en volume ou en valeur. L'hypothèse de parts constantes en valeur paraît néanmoins plus réaliste en première approche et mieux fondée sur le plan théorique.

Tableau 11. Écart de croissance potentielle dans les différentes variantes par rapport au scénario central (en points de croissance par an)

	2009-2015	2016-2030	2031-2050
Nairu			
<i>Modèle à un secteur</i>	0,0	0,1	0,1
<i>Modèle pluri-sectoriel</i>	0,0	0,1	0,1
Productivité			
<i>Modèle à un secteur</i>	-0,2	-0,2	-0,2
<i>Modèle pluri-sectoriel</i>	-0,2	-0,2	-0,2
Demande			
<i>Modèle pluri-sectoriel</i>	-0,2	-0,4	-0,6

Note de lecture : Par rapport au scénario central, une réduction progressive du Nairu conduit à une hausse de la croissance potentielle de 0,1 point par an sur la période 2031-2050, ce pour les deux modèles. Source : calculs des auteurs.

G 9001	J. FAYOLLE et M. FLEURBAEY Accumulation, profitabilité et endettement des entreprises		Macro-economic import functions with imperfect competition - An application to the E.C. Trade	G 9311	J. BOURDIEU - B. COLIN-SEDILLOT Les décisions de financement des entreprises françaises : une évaluation empirique des théories de la structure optimale du capital		analyse économique des politiques française et allemande
G 9002	H. ROUSSE Détection et effets de la multicolinéarité dans les modèles linéaires ordinaires - Un prolongement de la réflexion de BELSLEY, KUH et WELSCH	G 9203	I. STAPIC Les échanges internationaux de services de la France dans le cadre des négociations multilatérales du GATT Juin 1992 (1ère version) Novembre 1992 (version finale)	G 9312	L. BLOCH - B. CŒURÉ Q de Tobin marginal et transmission des chocs financiers	G 9412	J. BOURDIEU - B. CŒURÉ - B. COLIN-SEDILLOT Investissement, incertitude et irréversibilité Quelques développements récents de la théorie de l'investissement
G 9003	P. RALLE et J. TOUJAS-BERNATE Indexation des salaires : la rupture de 1983	G 9204	P. SEVESTRE L'économétrie sur données individuelles-temporelles. Une note introductive	G 9313	Equipes Amadeus (INSEE), Banque de France, Méric (DP) Présentation des propriétés des principaux modèles macroéconomiques du Service Public	G 9413	B. DORMONT - M. PAUCHET L'évaluation de l'élasticité emploi-salaire dépendelle des structures de qualification ?
G 9004	D. GUELLEC et P. RALLE Compétitivité, croissance et innovation de produit	G 9205	H. ERKEL-ROUSSE Le commerce extérieur et l'environnement international dans le modèle AMADEUS (réestimation 1992)	G 9314	B. CREPON - E. DUGUET Research & Development, competition and innovation	G 9414	I. KABLA Le Choix de breveter une invention
G 9005	P. RALLE et J. TOUJAS-BERNATE Les conséquences de la désindexation. Analyse dans une maquette prix-salaires	G 9206	N. GREENAN et D. GUELLEC Coordination within the firm and endogenous growth	G 9315	B. DORMONT Quelle est l'influence du coût du travail sur l'emploi ?	G 9501	J. BOURDIEU - B. CŒURÉ - B. SEDILLOT Irreversible Investment and Uncertainty : When is there a Value of Waiting ?
G 9101	Equipe AMADEUS Le modèle AMADEUS - Première partie - Présentation générale	G 9207	A. MAGNIER et J. TOUJAS-BERNATE Technology and trade : empirical evidences for the major five industrialized countries	G 9316	D. BLANCHET - C. BROUSSE Deux études sur l'âge de la retraite	G 9502	L. BLOCH - B. CŒURÉ Imperfections du marché du crédit, investissements des entreprises et cycle économique
G 9102	J.L. BRILLET Le modèle AMADEUS - Deuxième partie - Propriétés variantielles	G 9208	B. CREPON, E. DUGUET, D. ENCAOUA et P. MOHNEN Cooperative, non cooperative R & D and optimal patent life	G 9317	D. BLANCHET Répartition du travail dans une population hétérogène : deux notes	G 9503	D. GOUX - E. MAURIN Les transformations de la demande de travail par qualification en France Une étude sur la période 1970-1993
G 9103	D. GUELLEC et P. RALLE Endogenous growth and product innovation	G 9209	B. CREPON et E. DUGUET Research and development, competition and innovation : an application of pseudo maximum likelihood methods to Poisson models with heterogeneity	G 9318	D. EYSSARTIER - N. PONTY AMADEUS - an annual macro-economic model for the medium and long term	G 9504	N. GREENAN Technologie, changement organisationnel, qualifications et emploi : une étude empirique sur l'industrie manufacturière
G 9104	H. ROUSSE Le modèle AMADEUS - Troisième partie - Le commerce extérieur et l'environnement international	G 9301	J. TOUJAS-BERNATE Commerce international et concurrence imparfaite : développements récents et implications pour la politique commerciale	G 9319	G. CETTE - Ph. CUNÉO - D. EYSSARTIER - J. GAUTIÉ Les effets sur l'emploi d'un abaissement du coût du travail des jeunes	G 9505	D. GOUX - E. MAURIN Persistence des hiérarchies sectorielles de salaires: un réexamen sur données françaises
G 9105	H. ROUSSE Effets de demande et d'offre dans les résultats du commerce extérieur manufacturé de la France au cours des deux dernières décennies	G 9302	Ch. CASES Durées de chômage et comportements d'offre de travail : une revue de la littérature	G 9401	D. BLANCHET Les structures par âge importent-elles ?	G 9505	D. GOUX - E. MAURIN Bis Persistence of inter-industry wages differentials: a reexamination on matched worker-firm panel data
G 9106	B. CREPON Innovation, taille et concentration : causalités et dynamiques	G 9303	H. ERKEL-ROUSSE Union économique et monétaire : le débat économique	G 9402	J. GAUTIÉ Le chômage des jeunes en France : problème de formation ou phénomène de file d'attente ? Quelques éléments du débat	G 9506	S. JACOBZONE Les liens entre RMI et chômage, une mise en perspective <i>NON PARU - article sorti dans Economie et Prévision n° 122 (1996) - pages 95 à 113</i>
G 9107	B. AMABLE et D. GUELLEC Un panorama des théories de la croissance endogène	G 9304	N. GREENAN - D. GUELLEC / G. BROUSSAUDIER - L. MIOTTI Innovation organisationnelle, dynamisme technologique et performances des entreprises	G 9403	P. QUIRION Les déchets en France : éléments statistiques et économiques	G 9507	G. CETTE - S. MAHFOUZ Le partage primaire du revenu Constat descriptif sur longue période
G 9108	M. GLAUDE et M. MOUTARDIER Une évaluation du coût direct de l'enfant de 1979 à 1989	G 9305	P. JAILLARD Le traité de Maastricht : présentation juridique et historique	G 9404	D. LADIRAY - M. GRUN-REHOMME Lissage par moyennes mobiles - Le problème des extrémités de série	G 9601	Banque de France - CEPREMAP - Direction de la Prévision - Erasme - INSEE - OFCE Structures et propriétés de cinq modèles macroéconomiques français
G 9109	P. RALLE et alii France - Allemagne : performances économiques comparées	G 9306	J.L. BRILLET Micro-DMS : présentation et propriétés	G 9405	V. MAILLARD Théorie et pratique de la correction des effets de jours ouvrables	G 9602	Rapport d'activité de la DESE de l'année 1995
G 9110	J.L. BRILLET Micro-DMS NON PARU	G 9307	J.L. BRILLET Micro-DMS - variantes : les tableaux	G 9406	F. ROSENWALD La décision d'investir	G 9603	J. BOURDIEU - A. DRAZNIKS L'octroi de crédit aux PME : une analyse à partir d'informations bancaires
G 9111	A. MAGNIER Effets accélérateur et multiplicateur en France depuis 1970 : quelques résultats empiriques	G 9308	S. JACOBZONE Les grands réseaux publics français dans une perspective européenne	G 9407	S. JACOBZONE Les apports de l'économie industrielle pour définir la stratégie économique de l'hôpital public	G 9604	A. TOPIOL-BENSAÏD Les implantations japonaises en France
G 9112	B. CREPON et G. DUREAU Investissement en recherche-développement : analyse de causalités dans un modèle d'accélérateur généralisé	G 9309	L. BLOCH - B. CŒURE Profitabilité de l'investissement productif et transmission des chocs financiers	G 9408	L. BLOCH, J. BOURDIEU, B. COLIN-SEDILLOT, G. LONGUEVILLE Du défaut de paiement au dépôt de bilan : les banquiers face aux PME en difficulté	G 9605	P. GENIER - S. JACOBZONE Comportements de prévention, consommation d'alcool et tabagie : peut-on parler d'une gestion globale du capital santé ? <i>Une modélisation microéconométrique empirique</i>
G 9113	J.L. BRILLET, H. ERKEL-ROUSSE, J. TOUJAS-BERNATE "France-Allemagne Couplées" - Deux économies vues par une maquette macro-économétrique	G 9310	J. BOURDIEU - B. COLIN-SEDILLOT Les théories sur la structure optimal du capital : quelques points de repère	G 9409	D. EYSSARTIER, P. MAIRE Impacts macro-économiques de mesures d'aide au logement - quelques éléments d'évaluation	G 9606	C. DOZ - F. LENGART Factor analysis and unobserved component models: an application to the study of French business surveys
G 9201	W.J. ADAMS, B. CREPON, D. ENCAOUA Choix technologiques et stratégies de dissuasion d'entrée	G 9311	J. BOURDIEU - B. COLIN-SEDILLOT Les théories sur la structure optimal du capital : quelques points de repère	G 9410	F. ROSENWALD Suivi conjoncturel de l'investissement	G 9607	N. GREENAN - D. GUELLEC La théorie coopérative de la firme
G 9202	J. OLIVEIRA-MARTINS, J. TOUJAS-BERNATE			G 9411	C. DEFEUILLEY - Ph. QUIRION Les déchets d'emballages ménagers : une		

G 9608	N. GREENAN - D. GUELLEC Technological innovation and employment reallocation
G 9609	Ph. COUR - F. RUPPRECHT L'intégration asymétrique au sein du continent américain : un essai de modélisation
G 9610	S. DUCHENE - G. FORGEOT - A. JACQUOT Analyse des évolutions récentes de la productivité apparente du travail
G 9611	X. BONNET - S. MAHFOUZ The influence of different specifications of wages-prices spirals on the measure of the NAIRU : the case of France
G 9612	PH. COUR - E. DUBOIS, S. MAHFOUZ, J. PISANI-FERRY The cost of fiscal retrenchment revisited: how strong is the evidence ?
G 9613	A. JACQUOT Les flexions des taux d'activité sont-elles seulement conjoncturelles ?
G 9614	ZHANG Yingxiang - SONG Xueqing Lexique macroéconomique Français-Chinois
G 9701	J.L. SCHNEIDER La taxe professionnelle : éléments de cadrage économique
G 9702	J.L. SCHNEIDER Transition et stabilité politique d'un système redistributif
G 9703	D. GOUX - E. MAURIN Train or Pay: Does it Reduce Inequalities to Encourage Firms to Train their Workers?
G 9704	P. GENIER Deux contributions sur dépendance et équité
G 9705	E. DUGUET - N. IUNG R & D Investment, Patent Life and Patent Value An Econometric Analysis at the Firm Level
G 9706	M. HOUEBINE - A. TOPIOL-BENSAÏD Les entreprises internationales en France : une analyse à partir de données individuelles
G 9707	M. HOUEBINE Polarisation des activités et spécialisation des départements en France
G 9708	E. DUGUET - N. GREENAN Le biais technologique : une analyse sur données individuelles
G 9709	J.L. BRILLET Analyzing a small French ECM Model
G 9710	J.L. BRILLET Formalizing the transition process : scenarios for capital accumulation
G 9711	G. FORGEOT - J. GAUTÉ Insertion professionnelle des jeunes et processus de déclassement
G 9712	E. DUBOIS High Real Interest Rates: the Consequence of a Saving Investment Disequilibrium or of an insufficient Credibility of Monetary Authorities?
G 9713	Bilan des activités de la Direction des Etudes et Synthèses Economiques - 1996

G 9714	F. LEQUILLER Does the French Consumer Price Index Overstate Inflation?
G 9715	X. BONNET Peut-on mettre en évidence les rigidités à la baisse des salaires nominaux ? Une étude sur quelques grands pays de l'OCDE
G 9716	N. IUNG - F. RUPPRECHT Productivité de la recherche et rendements d'échelle dans le secteur pharmaceutique français
G 9717	E. DUGUET - I. KABLA Appropriation strategy and the motivations to use the patent system in France - An econometric analysis at the firm level
G 9718	L.P. PELÉ - P. RALLE Âge de la retraite : les aspects incitatifs du régime général
G 9719	ZHANG Yingxiang - SONG Xueqing Lexique macroéconomique français-chinois, chinois-français
G 9720	M. HOUEBINE - J.L. SCHNEIDER Mesurer l'influence de la fiscalité sur la localisation des entreprises
G 9721	A. MOUROUGANE Crédibilité, indépendance et politique monétaire Une revue de la littérature
G 9722	P. AUGERAUD - L. BRIOT Les données comptables d'entreprises Le système intermédiaire d'entreprises Passage des données individuelles aux données sectorielles
G 9723	P. AUGERAUD - J.E. CHAPRON Using Business Accounts for Compiling National Accounts: the French Experience
G 9724	P. AUGERAUD Les comptes d'entreprise par activités - Le passage aux comptes - De la comptabilité d'entreprise à la comptabilité nationale - A <i>paraître</i>
G 9801	H. MICHAUDON - C. PRIGENT Présentation du modèle AMADEUS
G 9802	J. ACCARDO Une étude de comptabilité générationnelle pour la France en 1996
G 9803	X. BONNET - S. DUCHÊNE Apports et limites de la modélisation « Real Business Cycles »
G 9804	C. BARLET - C. DUGUET - D. ENCAOUA - J. PRADEL The Commercial Success of Innovations An econometric analysis at the firm level in French manufacturing
G 9805	P. CAHUC - Ch. GIANELLA - D. GOUX - A. ZILBERBERG Equalizing Wage Differences and Bargaining Power - Evidence from a Panel of French Firms
G 9806	J. ACCARDO - M. JLASSI La productivité globale des facteurs entre 1975 et 1996

G 9807	Bilan des activités de la Direction des Etudes et Synthèses Economiques - 1997
G 9808	A. MOUROUGANE Can a Conservative Governor Conduct an Accommodative Monetary Policy ?
G 9809	X. BONNET - E. DUBOIS - L. FAUVET Asymétrie des inflations relatives et menus costs : tests sur l'inflation française
G 9810	E. DUGUET - N. IUNG Sales and Advertising with Spillovers at the firm level: Estimation of a Dynamic Structural Model on Panel Data
G 9811	J.P. BERTHIER Congestion urbaine : un modèle de trafic de pointe à courbe débit-vitesse et demande élastique
G 9812	C. PRIGENT La part des salaires dans la valeur ajoutée : une approche macroéconomique
G 9813	A.Th. AERTS L'évolution de la part des salaires dans la valeur ajoutée en France reflète-t-elle les évolutions individuelles sur la période 1979-1994 ?
G 9814	B. SALANIÉ Guide pratique des séries non-stationnaires
G 9901	S. DUCHÊNE - A. JACQUOT Une croissance plus riche en emplois depuis le début de la décennie ? Une analyse en comparaison internationale
G 9902	Ch. COLIN Modélisation des carrières dans Destinie
G 9903	Ch. COLIN Evolution de la dispersion des salaires : un essai de prospective par microsimulation
G 9904	B. CREPON - N. IUNG Innovation, emploi et performances
G 9905	B. CREPON - Ch. GIANELLA Wages inequalities in France 1969-1992 An application of quantile regression techniques
G 9906	C. BONNET - R. MAHIEU Microsimulation techniques applied to inter-generational transfers - Pensions in a dynamic framework: the case of France
G 9907	F. ROSENWALD L'impact des contraintes financières dans la décision d'investissement
G 9908	Bilan des activités de la DESE - 1998
G 9909	J.P. ZOYEM Contrat d'insertion et sortie du RMI Evaluation des effets d'une politique sociale
G 9910	Ch. COLIN - FI. LEGROS - R. MAHIEU Bilans contributifs comparés des régimes de retraite du secteur privé et de la fonction publique
G 9911	G. LAROQUE - B. SALANIÉ Une décomposition du non-emploi en France
G 9912	B. SALANIÉ Une maquette analytique de long terme du marché du travail
G 9912	Ch. GIANELLA
Bis	Une estimation de l'élasticité de l'emploi peu qualifié à son coût
G 9913	Division « Redistribution et Politiques Sociales » Le modèle de microsimulation dynamique DESTINIE
G 9914	E. DUGUET Macro-commandes SAS pour l'économétrie des panels et des variables qualitatives
G 9915	R. DUHAUTOIS Evolution des flux d'emplois en France entre 1990 et 1996 : une étude empirique à partir du fichier des bénéficiaires réels normaux (BRN)
G 9916	J.Y. FOURNIER Extraction du cycle des affaires : la méthode de Baxter et King
G 9917	B. CRÉPON - R. DESPLATZ - J. MAIRESSE Estimating price cost margins, scale economies and workers' bargaining power at the firm level
G 9918	Ch. GIANELLA - Ph. LAGARDE Productivity of hours in the aggregate production function: an evaluation on a panel of French firms from the manufacturing sector
G 9919	S. AUDRIC - P. GIVORD - C. PROST Evolution de l'emploi et des coûts par qualification entre 1982 et 1996
G 2000/01	R. MAHIEU Les déterminants des dépenses de santé : une approche macroéconomique
G 2000/02	C. ALLARD-PRIGENT - H. GUILMEAU - A. QUINET The real exchange rate as the relative price of nontradables in terms of tradables: theoretical investigation and empirical study on French data
G 2000/03	J.-Y. FOURNIER L'approximation du filtre passe-bande proposée par Christiano et Fitzgerald
G 2000/04	Bilan des activités de la DESE - 1999
G 2000/05	B. CREPON - F. ROSENWALD Investissement et contraintes de financement : le poids du cycle Une estimation sur données françaises
G 2000/06	A. FLIPO Les comportements matrimoniaux de fait
G 2000/07	R. MAHIEU - B. SÉDILLOT Microsimulations of the retirement decision: a supply side approach
G 2000/08	C. AUDENIS - C. PROST Déficit conjoncturel : une prise en compte des conjonctures passées
G 2000/09	R. MAHIEU - B. SÉDILLOT Equivalent patrimonial de la rente et souscription de retraite complémentaire
G 2000/10	R. DUHAUTOIS Ralentissement de l'investissement : petites ou grandes entreprises ? industrie ou tertiaire ?
G 2000/11	G. LAROQUE - B. SALANIÉ Temps partiel féminin et incitations financières à l'emploi
G2000/12	Ch. GIANELLA Local unemployment and wages

G2000/13	B. CREPON - Th. HECKEL - Informatisation en France : une évaluation à partir de données individuelles - Computerization in France: an evaluation based on individual company data
G2001/01	F. LEQUILLER - La nouvelle économie et la mesure de la croissance du PIB - The new economy and the measurement of GDP growth
G2001/02	S. AUDRIC La reprise de la croissance de l'emploi profite-t-elle aussi aux non-diplômés ?
G2001/03	I. BRAUN-LEMAIRE Evolution et répartition du surplus de productivité
G2001/04	A. BEAUDU - Th. HECKEL Le canal du crédit fonctionne-t-il en Europe ? Une étude de l'hétérogénéité des comportements d'investissement à partir de données de bilan agrégées
G2001/05	C. AUDENIS - P. BISCOURP - N. FOURCADE - O. LOISEL Testing the augmented Solow growth model : An empirical reassessment using panel data
G2001/06	R. MAHIEU - B. SÉDILLOT Départ à la retraite, irréversibilité et incertitude
G2001/07	Bilan des activités de la DESE - 2000
G2001/08	J. Ph. GAUDEMET Les dispositifs d'acquisition à titre facultatif d'annuités viagères de retraite
G2001/09	B. CRÉPON - Ch. GIANELLA Fiscalité, coût d'usage du capital et demande de facteurs : une analyse sur données individuelles
G2001/10	B. CRÉPON - R. DESPLATZ Evaluation des effets des dispositifs d'allègements de charges sociales sur les bas salaires
G2001/11	J.-Y. FOURNIER Comparaison des salaires des secteurs public et privé
G2001/12	J.-P. BERTHIER - C. JAULENT R. CONVENEVOLE - S. PISANI Une méthodologie de comparaison entre consommations intermédiaires de source fiscale et de comptabilité nationale
G2001/13	P. BISCOURP - Ch. GIANELLA Substitution and complementarity between capital, skilled and less skilled workers: an analysis at the firm level in the French manufacturing industry
G2001/14	I. ROBERT-BOBEE Modelling demographic behaviours in the French microsimulation model Destinie: An analysis of future change in completed fertility
G2001/15	J.-P. ZOYEM Diagnostic sur la pauvreté et calendrier de revenus : le cas du "Panel européen des ménages"
G2001/16	J.-Y. FOURNIER - P. GIVORD La réduction des taux d'activité aux âges extrêmes, une spécificité française ?

G2001/17	C. AUDENIS - P. BISCOURP - N. RIEDINGER Existe-t-il une asymétrie dans la transmission du prix du brut aux prix des carburants ?
G2002/01	F. MAGNIEN - J.-L. TAVERNIER - D. THESMAR Les statistiques internationales de PIB par habitant en standard de pouvoir d'achat : une analyse des résultats
G2002/02	Bilan des activités de la DESE - 2001
G2002/03	B. SÉDILLOT - E. WALRAET La cessation d'activité au sein des couples : y a-t-il interdépendance des choix ?
G2002/04	G. BRILHAULT - Rétropolation des séries de FBCF et calcul du capital fixe en SEC-95 dans les comptes nationaux français - Retropolation of the investment series (GFCF) and estimation of fixed capital stocks on the ESA-95 basis for the French balance sheets
G2002/05	P. BISCOURP - B. CRÉPON - T. HECKEL - N. RIEDINGER How do firms respond to cheaper computers? Microeconomic evidence for France based on a production function approach
G2002/06	C. AUDENIS - J. DERUYON - N. FOURCADE L'impact des nouvelles technologies de l'information et de la communication sur l'économie française - un bouclage macro-économique
G2002/07	J. BARDAJI - B. SÉDILLOT - E. WALRAET Évaluation de trois réformes du Régime Général d'assurance vieillesse à l'aide du modèle de microsimulation DESTINIE
G2002/08	J.-P. BERTHIER Réflexions sur les différentes notions de volume dans les comptes nationaux : comptes aux prix d'une année fixe ou aux prix de l'année précédente, séries chaînées
G2002/09	F. HILD Les soldes d'opinion résumant-ils au mieux les réponses des entreprises aux enquêtes de conjoncture ?
G2002/10	I. ROBERT-BOBÉE Les comportements démographiques dans le modèle de microsimulation Destinie - Une comparaison des estimations issues des enquêtes Jeunes et Carrières 1997 et Histoire Familiale 1999
G2002/11	J.-P. ZOYEM La dynamique des bas revenus : une analyse des entrées-sorties de pauvreté
G2002/12	F. HILD Prévisions d'inflation pour la France
G2002/13	M. LECLAIR Réduction du temps de travail et tensions sur les facteurs de production
G2002/14	E. WALRAET - A. VINCENT - Analyse de la redistribution intragénérationnelle dans le système de retraite des salariés du privé - Une approche par microsimulation - Intragenerational distributional analysis in the french private sector pension scheme - A microsimulation approach

G2002/15	P. CHONE - D. LE BLANC - I. ROBERT-BOBEE Offre de travail féminine et garde des jeunes enfants
G2002/16	F. MAUREL - S. GREGOIR Les indices de compétitivité des pays : interprétation et limites
G2003/01	N. RIEDINGER - E. HAUVY Le coût de dépollution atmosphérique pour les entreprises françaises : Une estimation à partir de données individuelles
G2003/02	P. BISCOURP et F. KRAMARZ Création d'emplois, destruction d'emplois et internationalisation des entreprises industrielles françaises : une analyse sur la période 1986-1992
G2003/03	Bilan des activités de la DESE - 2002
G2003/04	P.-O. BEFFY - J. DERUYON - N. FOURCADE - S. GREGOIR - N. LAÏB - B. MONFORT Évolutions démographiques et croissance : une projection macro-économique à l'horizon 2020
G2003/05	P. AUBERT La situation des salariés de plus de cinquante ans dans le secteur privé
G2003/06	P. AUBERT - B. CRÉPON Age, salaire et productivité La productivité des salariés décline-t-elle en fin de carrière ?
G2003/07	H. BARON - P.O. BEFFY - N. FOURCADE - R. MAHIEU Le ralentissement de la productivité du travail au cours des années 1990
G2003/08	P.-O. BEFFY - B. MONFORT Patrimoine des ménages, dynamique d'allocation et comportement de consommation
G2003/09	P. BISCOURP - N. FOURCADE Peut-on mettre en évidence l'existence de rigidités à la baisse des salaires à partir de données individuelles ? Le cas de la France à la fin des années 90
G2003/10	M. LECLAIR - P. PETIT Présence syndicale dans les firmes : quel impact sur les inégalités salariales entre les hommes et les femmes ?
G2003/11	P.-O. BEFFY - X. BONNET - M. DARRACQ- PARIES - B. MONFORT MZE: a small macro-model for the euro area
G2004/01	P. AUBERT - M. LECLAIR La compétitivité exprimée dans les enquêtes trimestrielles sur la situation et les perspectives dans l'industrie
G2004/02	M. DUÉE - C. REBILLARD La dépendance des personnes âgées : une projection à long terme
G2004/03	S. RASPILLER - N. RIEDINGER Régulation environnementale et choix de localisation des groupes français
G2004/04	A. NABOULET - S. RASPILLER Les déterminants de la décision d'investir : une approche par les perceptions subjectives des firmes

G2004/05	N. RAGACHE La déclaration des enfants par les couples non mariés est-elle fiscalement optimale ?
G2004/06	M. DUÉE L'impact du chômage des parents sur le devenir scolaire des enfants
G2004/07	P. AUBERT - E. CAROLI - M. ROGER New Technologies, Workplace Organisation and the Age Structure of the Workforce: Firm-Level Evidence
G2004/08	E. DUGUET - C. LELARGE Les brevets accroissent-ils les incitations privées à innover ? Un examen microéconométrique
G2004/09	S. RASPILLER - P. SILLARD Affiliating versus Subcontracting: the Case of Multinationals
G2004/10	J. BOISSINOT - C. L'ANGEVIN - B. MONFORT Public Debt Sustainability: Some Results on the French Case
G2004/11	S. ANANIAN - P. AUBERT Travailleurs âgés, nouvelles technologies et changements organisationnels : un réexamen à partir de l'enquête « REPONSE »
G2004/12	X. BONNET - H. PONCET Structures de revenus et propensions différentes à consommer - Vers une équation de consommation des ménages plus robuste en prévision pour la France
G2004/13	C. PICART Évaluer la rentabilité des sociétés non financières
G2004/14	J. BARDAJI - B. SÉDILLOT - E. WALRAET Les retraites du secteur public : projections à l'horizon 2040 à l'aide du modèle de microsimulation DESTINIE
G2005/01	S. BUFFETEAU - P. GODEFROY Conditions de départ en retraite selon l'âge de fin d'études : analyse prospective pour les générations 1945 à 1974
G2005/02	C. AFSA - S. BUFFETEAU L'évolution de l'activité féminine en France : une approche par pseudo-panel
G2005/03	P. AUBERT - P. SILLARD Délocalisations et réductions d'effectifs dans l'industrie française
G2005/04	M. LECLAIR - S. ROUX Mesure et utilisation des emplois instables dans les entreprises
G2005/05	C. L'ANGEVIN - S. SERRAVALLE Performances à l'exportation de la France et de l'Allemagne - Une analyse par secteur et destination géographique
G2005/06	Bilan des activités de la Direction des Études et Synthèses Économiques - 2004
G2005/07	S. RASPILLER La concurrence fiscale : principaux enseignements de l'analyse économique
G2005/08	C. L'ANGEVIN - N. LAÏB Éducation et croissance en France et dans un panel de 21 pays de l'OCDE
G2005/09	N. FERRARI Prévoir l'investissement des entreprises

	Un indicateur des révisions dans l'enquête de conjoncture sur les investissements dans l'industrie.
G2005/10	P.-O. BEFFY - C. L'ANGEVIN Chômage et boucle prix-salaires : apport d'un modèle « qualifiés/peu qualifiés »
G2005/11	B. HEITZ A two-states Markov-switching model of inflation in France and the USA: credible target VS inflation spiral
G2005/12	O. BIAU - H. ERKEL-ROUSSE - N. FERRARI Réponses individuelles aux enquêtes de conjoncture et prévision macroéconomiques : Exemple de la prévision de la production manufacturière
G2005/13	P. AUBERT - D. BLANCHET - D. BLAU The labour market after age 50: some elements of a Franco-American comparison
G2005/14	D. BLANCHET - T. DEBRAND - P. DOURGNON - P. POLLET L'enquête SHARE : présentation et premiers résultats de l'édition française
G2005/15	M. DUÉE La modélisation des comportements démographiques dans le modèle de microsimulation DESTINIE
G2005/16	H. RAOUI - S. ROUX Étude de simulation sur la participation versée aux salariés par les entreprises
G2006/01	C. BONNET - S. BUFFETEAU - P. GODEFROY Disparités de retraite de droit direct entre hommes et femmes : quelles évolutions ?
G2006/02	C. PICART Les gazelles en France
G2006/03	P. AUBERT - B. CRÉPON - P. ZAMORA Le rendement apparent de la formation continue dans les entreprises : effets sur la productivité et les salaires
G2006/04	J.-F. OUVRARD - R. RATHELOT Demographic change and unemployment: what do macroeconomic models predict?
G2006/05	D. BLANCHET - J.-F. OUVRARD Indicateurs d'engagements implicites des systèmes de retraite : chiffrages, propriétés analytiques et réactions à des chocs démographiques types
G2006/06	G. BIAU - O. BIAU - L. ROUVIERE Nonparametric Forecasting of the Manufacturing Output Growth with Firm-level Survey Data
G2006/07	C. AFSA - P. GIVORD Le rôle des conditions de travail dans les absences pour maladie
G2006/08	P. SILLARD - C. L'ANGEVIN - S. SERRAVALLE Performances comparées à l'exportation de la France et de ses principaux partenaires Une analyse structurelle sur 12 ans
G2006/09	X. BOUTIN - S. QUANTIN Une méthodologie d'évaluation comptable du coût du capital des entreprises françaises : 1984-2002

G2006/10	C. AFSA L'estimation d'un coût implicite de la pénibilité du travail chez les travailleurs âgés
G2006/11	C. LELARGE Les entreprises (industrielles) françaises sont-elles à la frontière technologique ?
G2006/12	O. BIAU - N. FERRARI Théorie de l'opinion Faut-il pondérer les réponses individuelles ?
G2006/13	A. KOUBI - S. ROUX Une réinterprétation de la relation entre productivité et inégalités salariales dans les entreprises
G2006/14	R. RATHELOT - P. SILLARD The impact of local taxes on plants location decision
G2006/15	L. GONZALEZ - C. PICART Diversification, recentrage et poids des activités de support dans les groupes (1993-2000)
G2007/01	D. SRAER Allègements de cotisations patronales et dynamique salariale
G2007/02	V. ALBOUY - L. LEQUIEN Les rendements non monétaires de l'éducation : le cas de la santé
G2007/03	D. BLANCHET - T. DEBRAND Aspiration à la retraite, santé et satisfaction au travail : une comparaison européenne
G2007/04	M. BARLET - L. CRUSSON Quel impact des variations du prix du pétrole sur la croissance française ?
G2007/05	C. PICART Flux d'emploi et de main-d'œuvre en France : un réexamen
G2007/06	V. ALBOUY - C. TAVAN Massification et démocratisation de l'enseignement supérieur en France
G2007/07	T. LE BARBANCHON The Changing response to oil price shocks in France : a DSGE type approach
G2007/08	T. CHANEY - D. SRAER - D. THESMAR Collateral Value and Corporate Investment Evidence from the French Real Estate Market
G2007/09	J. BOISSINOT Consumption over the Life Cycle: Facts for France
G2007/10	C. AFSA Interpréter les variables de satisfaction : l'exemple de la durée du travail
G2007/11	R. RATHELOT - P. SILLARD Zones Franches Urbaines : quels effets sur l'emploi salarié et les créations d'établissements ?
G2007/12	V. ALBOUY - B. CRÉPON Aléa moral en santé : une évaluation dans le cadre du modèle causal de Rubin
G2008/01	C. PICART Les PME françaises : rentables mais peu dynamiques

G2008/02	P. BISCOURP - X. BOUTIN - T. VERGÉ The Effects of Retail Regulations on Prices Evidence from the Loi Galland
G2008/03	Y. BARBESOL - A. BRIANT Économies d'agglomération et productivité des entreprises : estimation sur données individuelles françaises
G2008/04	D. BLANCHET - F. LE GALLO Les projections démographiques : principaux mécanismes et retour sur l'expérience française
G2008/05	D. BLANCHET - F. TOUTLEMONDE Évolutions démographiques et déformation du cycle de vie active : quelles relations ?
G2008/06	M. BARLET - D. BLANCHET - L. CRUSSON Internationalisation et flux d'emplois : que dit une approche comptable ?
G2008/07	C. LELARGE - D. SRAER - D. THESMAR Entrepreneurship and Credit Constraints - Evidence from a French Loan Guarantee Program
G2008/08	X. BOUTIN - L. JANIN Are Prices Really Affected by Mergers?
G2008/09	M. BARLET - A. BRIANT - L. CRUSSON Concentration géographique dans l'industrie manufacturière et dans les services en France : une approche par un indicateur en continu
G2008/10	M. BEFFY - É. COUDIN - R. RATHELOT Who is confronted to insecure labor market histories? Some evidence based on the French labor market transition
G2008/11	M. ROGER - E. WALRAET Social Security and Well-Being of the Elderly: the Case of France
G2008/12	C. AFSA Analyser les composantes du bien-être et de son évolution Une approche empirique sur données individuelles
G2008/13	M. BARLET - D. BLANCHET - T. LE BARBANCHON Microsimuler le marché du travail : un prototype
G2009/01	P.-A. PIONNIER Le partage de la valeur ajoutée en France, 1949-2007
G2009/02	Laurent CLAVEL - Christelle MINODIER A Monthly Indicator of the French Business Climate
G2009/03	H. ERKEL-ROUSSE - C. MINODIER Do Business Tendency Surveys in Industry and Services Help in Forecasting GDP Growth? A Real-Time Analysis on French Data
G2009/04	P. GIVORD - L. WILNER Les contrats temporaires : trappe ou marche-pied vers l'emploi stable ?
G2009/05	G. LALANNE - P.-A. PIONNIER - O. SIMON Le partage des fruits de la croissance de 1950 à 2008 : une approche par les comptes de surplus
G2009/06	L. DAVEZIES - X. D'HAULTFOEUILLE Faut-il pondérer ?... Ou l'éternelle question de l'économètre confronté à des données d'enquête

G2009/07	S. QUANTIN - S. RASPILLER - S. SERRAVALLE Commerce intragroupe, fiscalité et prix de transferts : une analyse sur données françaises
G2009/08	M. CLERC - V. MARCUS Élasticités-prix des consommations énergétiques des ménages
G2009/09	G. LALANNE - E. POULIQUEN - O. SIMON Prix du pétrole et croissance potentielle à long terme