

LE PIC PÉTROLIER : UN REGARD D'ÉCONOMISTE

Thierry Bréchet, Patrick Van Brusselen

De Boeck Supérieur | « Reflets et perspectives de la vie économique »

2007/4 Tome XLVI | pages 63 à 81

ISSN 0034-2971

ISBN 2-8041-5473-8

Article disponible en ligne à l'adresse :

<http://www.cairn.info/revue-reflets-et-perspectives-de-la-vie-economique-2007-4-page-63.htm>

!Pour citer cet article :

Thierry Bréchet, Patrick Van Brusselen, « Le pic pétrolier : un regard d'économiste », *Reflets et perspectives de la vie économique* 2007/4 (Tome XLVI), p. 63-81.
DOI 10.3917/rpve.464.0063

Distribution électronique Cairn.info pour De Boeck Supérieur.

© De Boeck Supérieur. Tous droits réservés pour tous pays.

La reproduction ou représentation de cet article, notamment par photocopie, n'est autorisée que dans les limites des conditions générales d'utilisation du site ou, le cas échéant, des conditions générales de la licence souscrite par votre établissement. Toute autre reproduction ou représentation, en tout ou partie, sous quelque forme et de quelque manière que ce soit, est interdite sauf accord préalable et écrit de l'éditeur, en dehors des cas prévus par la législation en vigueur en France. Il est précisé que son stockage dans une base de données est également interdit.

Le pic pétrolier : un regard d'économiste

Thierry Bréchet * et Patrick Van Brusselen **

Abstract – *This paper addresses the issue of the peaking of conventional oil production at the world level from an economist's standpoint. It presents basic stylized facts from the recent history of oil markets, showing how the energy context has evolved over the past thirty years. The issue of the possible peaking of world oil production is then presented and discussed in light of standard economic theory. We show that some of the basic tenets of the oil peak thesis should be considered with due caution. Finally, we present a numerical analysis of the possible economic effects of a permanent and sharp increase of the world price of oil. It suggests that our economies could be much less vulnerable to future oil price shocks than is often assumed.*

JEL codes: E6 ; F4 ; Q4

Keywords – *oil peak, natural resources, energy economics, economic growth.*

1 INTRODUCTION

Lors d'un meeting de l'*American Petroleum Institute*, en 1956, M.K. Hubbert, géophysicien, prédit que la production de pétrole aux États-Unis atteindrait son maximum aux alentours de 1970, puis qu'elle déclinerait. Lorsque l'on s'aperçut qu'il avait vu juste, il devint la figure de proue d'un mouvement prédisant le pic futur de production pétrolière à l'échelon mondial, pic annonçant « la fin du pétrole ». La courbe employée par Hubbert est dorénavant connue sous le nom de *Courbe de Hubbert*. Les discussions autour de ce pic pétrolier ont pris une ampleur certaine, la question qui taraude visiblement les gens étant la date à laquelle le pic pourrait survenir. Sur ce point, les avis divergent. Selon K.S. Deffeyes, professeur de géophysique à Princeton, ce pic a été atteint... le 16 décembre 2005¹. Pour d'autres

* Université catholique de Louvain, CORE et CRECIS, Louvain School of Management, Chaire Lhoist Berghmans « Entreprise, Economie, Environnement ».

** Économiste au Bureau fédéral du Plan. Les opinions exprimées dans cet article n'engagent en rien l'institution.

1. Son article est disponible, en anglais, à l'adresse suivante : <http://www.princeton.edu/hubbert/current-events-06-02.html>.

auteurs, il pourrait être atteint d'ici 2010, ou entre 2020 et 2303. Pour d'autres encore, il prend plutôt la forme d'un plateau en tôle ondulée. Néanmoins, tous s'attachent à ce pic, celui-ci étant le moment à partir duquel la production de pétrole – déclinante – ne pourra plus suivre la demande – toujours croissante.

Le fait que tant d'individus s'acharnent à tirer la sonnette d'alarme mérite que l'on se penche sur la question : sonnette, ou sonnettes ? Que veut dire que « le pétrole est sur le point de manquer » ? Le pic est-il une réalité et quelles seraient ses conséquences ? Le problème est-il le pic en lui-même, ou ce qui s'en suivrait ?

Le fait que le pétrole soit une ressource épuisable à l'échelle humaine est généralement bien admis. Pourtant, la notion de réserve disponible d'une ressource naturelle est loin d'être une notion triviale. Le débat sur le pic de pétrole est évidemment lié à celui sur les réserves. Mais ce débat est posé dans des termes qui sont souvent source de confusion, de telle sorte qu'il existe un hiatus entre les discours et la réalité des mécanismes en jeu. Est-ce un bon indicateur que de dire que les réserves prouvées correspondent, au rythme de consommation actuel, à 40 années de consommation ? Certainement pas, et ce pour au moins trois motifs. En premier lieu, la consommation n'est pas constante : elle est tendanciellement croissante à l'échelon mondial, mais elle est aussi susceptible d'être influencée par la technologie, les prix relatifs, le type et l'organisation des activités... Ensuite, la notion de réserve est une notion aléatoire (incertitude sur la taille des gisements connus et sur la possibilité de découvrir de nouveaux gisements) et technico-économique (elle dépend des technologies d'extraction, qui évoluent, et du contexte économique, notamment du prix de vente du pétrole). Enfin, dire qu'il reste T années de consommation signifie-t-il que le pétrole va soudainement disparaître à l'année $T+1$?

Il est piquant de constater que, aussi bien les discussions sur les réserves que celles sur le pic pétrolier constituent un quasi-monopole des géologues et géophysiciens. Pourtant, les différentes questions que l'on vient d'évoquer montrent que les économistes pourraient utilement contribuer au débat sur l'avenir du pétrole... ou sur « l'après-pétrole ». L'objet de cet article est donc de proposer une analyse d'économiste de la question du pic pétrolier.

Il semble difficile d'imaginer quelles pourraient être les évolutions à venir dans un monde *post-pétrole* sans se pencher sur l'histoire récente des liens entre évolution économique et pétrole. Entre les impacts dramatiques des chocs pétroliers de 1973-1974 et 1979-1980, ceux lénifiants du contre-choc de 1986 et la longue période de pétrole bon marché qui s'en est suivie, quels enseignements peut-on tirer sur les facultés d'adaptation de nos économies face à un pic pétrolier éventuel ? Ceci fera l'objet d'une première section.

La deuxième section présentera la thèse du pic pétrolier, telle qu'expliquée par ses promoteurs. Mais elle s'attachera aussi, et surtout, à décortiquer ces analyses pour mettre en évidence les questions soulevées par la probable raréfaction du pétrole dans les années à venir. L'envolée actuelle du cours du baril est-elle annonciatrice d'un pic ?² Le pic, si pic il y a, est-il si important ? À quoi peut-on s'attendre dans les années à venir ?

2. Au moment où cet article est rédigé, le baril de pétrole a atteint 80 \$, un record. Au même moment, le taux de change du dollar américain est passé au-dessus de la barre des 1,41 \$ pour un euro, un autre record qui minore l'impact du premier pour les économies européennes.

La troisième et dernière section complétera ces analyses par une évaluation numérique des impacts d'une hausse drastique et soutenue du cours du baril de pétrole sur l'économie mondiale. Pour cela, nous présenterons un certain nombre de résultats provenant d'un modèle macroéconomique mondial (Meyermans et Van Brusselen, 2001). La dimension mondiale du modèle nous permettra d'évaluer les impacts sur la zone euro compte tenu des interactions avec, notamment, les États-Unis et les pays producteurs de pétrole. Ces simulations montreront que nous ne sommes plus dans le monde qui prévalait à l'époque des deux premiers chocs pétroliers et que nos systèmes économiques sont devenus bien plus souples et résistants à une envolée des cours pétroliers. Nous verrons aussi que les impacts directs sont accompagnés d'impacts indirects qui peuvent être significatifs, notamment en termes d'évolution des termes de l'échange.

2 UNE PETITE HISTOIRE RÉCENTE DU PÉTROLE

Durant les trente dernières années, la manière dont nos sociétés ont consommé et appréhendé cette ressource particulière qu'est le pétrole a connu une évolution contrastée. Avant de se projeter dans l'avenir, avec toutes les incertitudes qui le caractérisent, il n'est pas inutile de jeter un œil sur l'histoire récente du pétrole. Cela nous permettra de mettre en évidence quelques faits frappants (et souvent ignorés) et d'en tirer quelques enseignements éventuellement utiles pour l'avenir³.

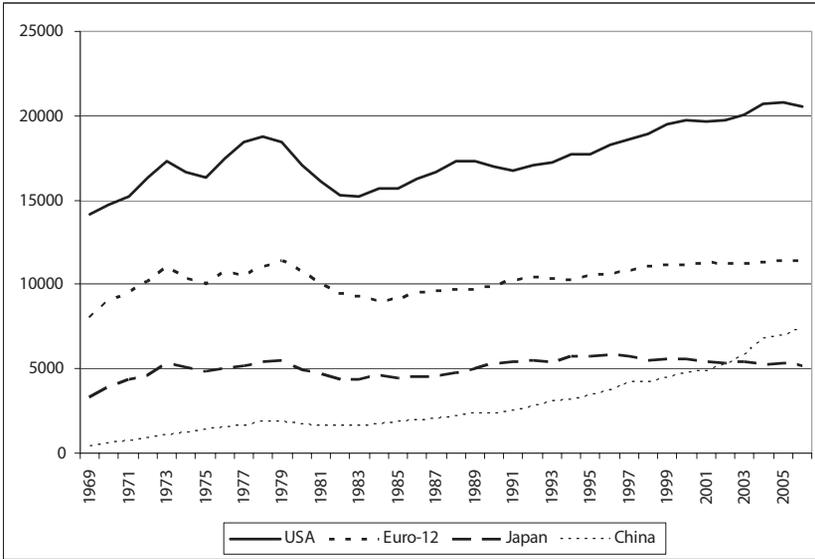
2.1 Les grandes évolutions

Les trois graphiques ci-dessous résument l'évolution de la question pétrolière depuis 1970. Ils représentent, respectivement, la consommation de pétrole, le cours du baril de Brent et l'intensité en pétrole du PIB dans quelques-unes des principales zones économiques du monde⁴.

En 1970, la consommation mondiale de pétrole était de l'ordre de 46 millions de barils par jour (mb/j). À cette époque, trois pays ou zones accaparaient 60 % de cette consommation : les États-Unis, l'actuelle zone Euro-12 et le Japon (graphique 1). Globalement, cette consommation avait triplé par rapport à 1950, vingt ans auparavant. En outre, durant la période, le pétrole a détrôné le charbon comme source principale d'énergie (nous reviendrons sur ce point).

-
3. Pour une analyse complémentaire de l'histoire récente du pétrole, voir Radanne (2005), chapitre 1.
 4. Bien que le baril ne soit pas une unité légale, il est largement utilisé dans la littérature. Un baril contient 42 gallons, soit environ 159 litres. En termes énergétiques, un baril équivaut à 7,33 tep (tonnes équivalent pétrole) ou 5,7 GJ (Giga Joules). Pour les clés de conversion, se reporter aux publications de l'Agence Internationale de l'Énergie.

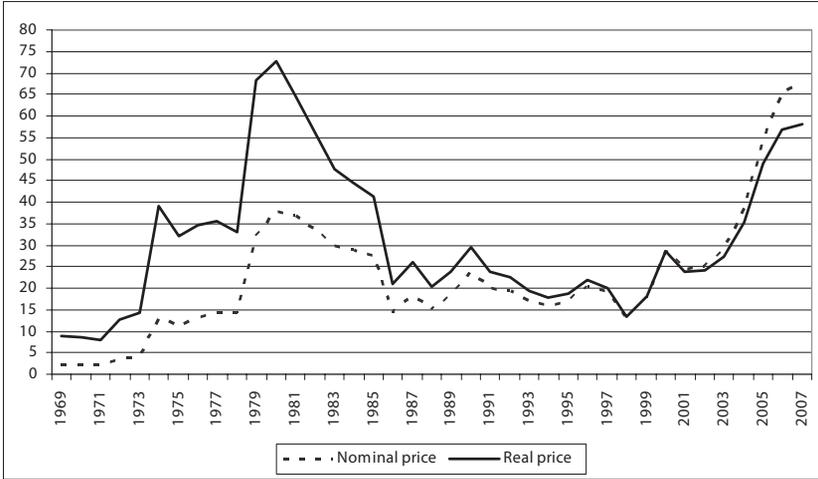
Graphique 1 : Évolution des consommations de pétrole (millions de barils par jour)



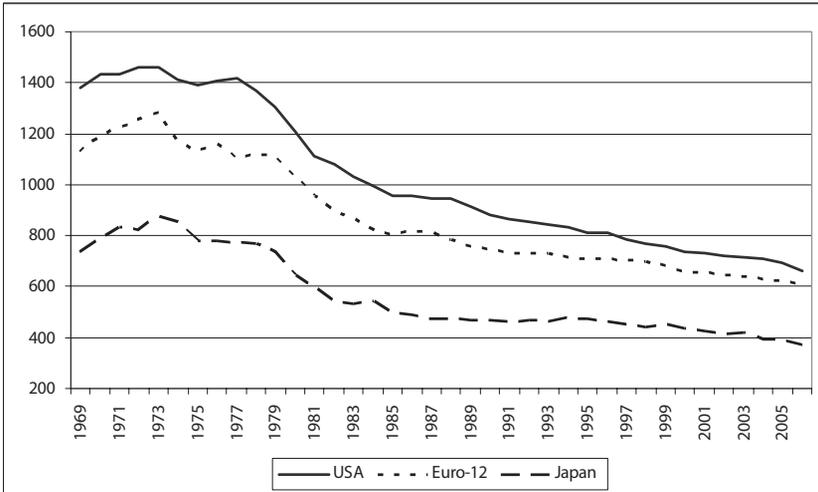
Ainsi que le montre le graphique 1, cette consommation de pétrole a connu une évolution contrastée depuis 1970. Sur l'ensemble de la période, on constate que la hausse de la consommation est quasiment constante depuis le contre-choc pétrolier de 1986, avec un rythme particulièrement rapide pour les États-Unis et la Chine. Les deux chocs pétroliers de 1973 et 1979 ont certes fortement réduit la consommation dans les pays industrialisés, mais cela n'a finalement représenté qu'une halte. L'explication de cette évolution est à trouver dans une croissance économique régulière, mais aussi dans des prix qui ont joué au yo-yo, ainsi que le montre le graphique 2, en terme nominal et en terme réel (c'est-à-dire corrigé de l'inflation). L'ampleur des chocs pétroliers est patente, avec le quadruplement du cours du baril en quelques mois en 1979/1980, l'amenant alors soudainement à plus de 70\$ (en dollars de 2000). Le contre-choc de 1986, avec ses prix très bas (20 \$, en dollars de 2000) qui ont persisté jusqu'au début des années 2000, explique la reprise de la consommation pétrolière à travers le monde. Néanmoins, tendanciellement, l'on constate que l'intensité du PIB en pétrole s'est réduite (graphique 3). Elle a baissé de près de moitié pour la zone Euro-12, et presque davantage encore aux États-Unis. La chute de l'intensité a été très marquée en réaction aux deux chocs pétroliers, puis nettement plus ténue. Le début des années 1990 a même révélé une pause dans cette évolution pour certains pays, en particulier la Belgique.

Cette évolution des intensités en pétrole reflète deux choses : l'évolution d'un progrès technique entraînant une réduction de l'intensité énergétique, quels que soient le combustible et les substitutions entre combustibles. Ici, ces substitutions ont fortement joué au détriment du pétrole et en faveur du gaz naturel, mais aussi de l'électricité (partiellement d'origine nucléaire), que ce soit dans l'industrie ou chez les ménages.

Graphique 2 : Évolution du cours du baril de pétrole (Brent, en dollars courants et constants)



Graphique 3 : Évolution des intensités en pétrole du PIB (milliers de barils par unité de PIB réel)



2.2 Quelques enseignements du passé susceptibles d'être utiles pour l'avenir

La prospective (méthode essentiellement qualitative) ou l'économétrie (méthode exclusivement quantitative) nous apprennent que le futur peut ne pas entièrement refléter le passé, mais qu'il peut aussi difficilement s'en affranchir complètement. Les ruptures sont possibles, et plusieurs viennent d'être mises en évidence ; cependant, ces changements n'ont pas mené à des bouleversements structurels fondamentaux dans la mesure où l'économie du pétrole leur a largement survécu. Néanmoins, du point de vue de l'utilisation qui est faite aujourd'hui du pétrole, les conclusions que l'on peut tirer des observations issues de ces 37 dernières années s'énoncent en trois points :

- 1) Les chocs pétroliers des années 1970 ont été des chocs inflationnistes et récessifs. Certes, le contexte géopolitique permettait aux pays de l'OPEP d'exercer une influence sur le prix du baril, mais l'absence de marché intégré des hydrocarbures et la jeunesse des infrastructures (transport et raffinage) expliquent aussi la violence du choc : le sevrage au pétrole ne peut pas se faire rapidement. La vision du monde, pour les pays industrialisés, a alors changé, l'idée de finitude faisant son apparition. Les réponses ont été multiples : diversification énergétique (promotion du gaz naturel et de l'électricité, lancement des programmes civils nucléaires) et politiques d'économie d'énergie. Ces chocs ont également eu un impact négatif important sur la croissance économique et ont provoqué des restructurations en chaîne, déclenchant des vagues de chômage massives dont nous héritons encore aujourd'hui.
- 2) Le contre-choc pétrolier de 1986 a révélé que les chocs ont un caractère *asymétrique* : entre 1986 et 1998, le prix du baril de pétrole est demeuré à la fois stable et bas (autour de 20 \$). La consommation de pétrole a repris son rythme ascendant mais l'intensité en pétrole n'est pas pour autant repartie à la hausse (même si elle s'est stabilisée certaines années). D'autres pressions sont en outre venues s'ajouter, notamment les pressions environnementales (voir Bréchet, 2007).
- 3) Fin des années 1990, le ton change à nouveau : le cours du baril est multiplié par un peu plus de 5 entre 1998 et 2007 (voir le graphique 2). Pourtant, sur la même période, la croissance économique reste relativement soutenue, à environ 2,1 % par an dans la zone Euro-12. L'envolée des cours du baril, qui fait les choux gras de la presse, semble donc n'avoir que peu d'effets macro-économiques aujourd'hui. La vulnérabilité de nos économies aux variations du cours du pétrole s'est largement amoindrie : intensité réduite d'un tiers grâce à la diversification et au progrès technique et cours du dollar favorable⁵.

Dans la durée, il ne faut donc négliger ni le progrès technique, ni l'ampleur des substitutions entre combustibles, ni l'ampleur des restructurations entre secteurs d'activité, tous des effets étant guidés par les hausses de prix du baril de pétrole.

5. Une nouvelle vulnérabilité qui n'est pas à négliger est celle liée au marché du carbone, dans le contexte du protocole de Kyoto. Voir Bréchet et Lussis (2006).

Ces ajustements ne sont évidemment pas indolores : ils entraînent des coûts pour certains, mais aussi des bénéfices pour d'autres. Les effets d'équilibre général sont en outre potentiellement très importants, notamment entre sphère physique et financière (importance des termes de l'échange).

Tous ces éléments d'analyse vont nous être utiles pour mieux comprendre les impacts possibles d'un pic pétrolier. Toutefois, il convient auparavant de mieux cerner ce que ce concept recouvre.

3 LA THÈSE DU PIC PÉTROLIER

Tout un chacun s'accorderait sans doute à reconnaître que le pétrole est, à l'échelle humaine, une ressource non renouvelable, et qu'il est donc légitime de se poser la question de son épuisement⁶. La définition d'une ressource épuisable et, partant, celle des réserves existantes, est néanmoins loin d'être triviale ou univoque. Elle est en tout cas loin d'être aussi intuitive que l'on pourrait le croire. Dans cette section, nous mettrons en évidence toute la difficulté de définir les réserves en montrant qu'elles dépendent de toute une série de facteurs. La thèse du pic pétrolier sera présentée et mise en perspective avec ce que l'analyse économique suggère. Enfin, nous mettrons en évidence les effets potentiels inhérents à une rareté croissante du pétrole.

3.1 Le pétrole est-il une ressource épuisable ?

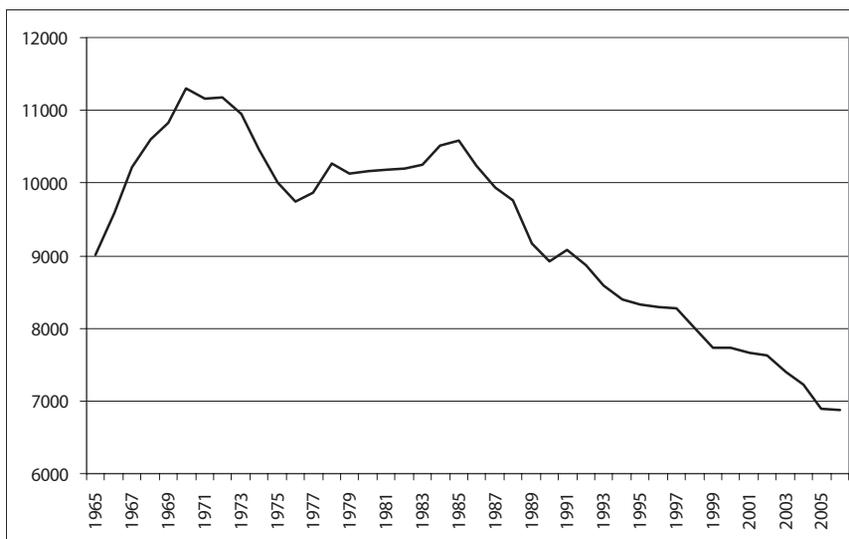
Considérons un gisement de pétrole. Du point de vue géologique, une fois le puits foré, ce gisement fournira une production qui sera d'abord croissante dans le temps, en raison d'une pression élevée et d'un accès facile à travers les couches sédimentaires les plus accessibles. Cependant, au fur et à mesure que le gisement s'épuisera, cette pression va s'amenuiser et l'on se retrouvera face à des situations géologiques plus contraignantes ; arrivera une phase de rendements décroissants, puis un moment où le volume de production déclinera en l'absence d'investissements supplémentaires. Les coûts fixes de prospection et de mise en service d'un forage étant très élevés, une fois le gisement opérationnel il est exploité à son maximum, c'est-à-dire tant que le pétrole peut être extrait... compte tenu des conditions particulières de coût d'accès au gisement. Ensuite, le puits est fermé. Un gisement sur le déclin perd ainsi *grasso modo* entre 5 % et 10 % de son volume de production par an, et il est généralement estimé qu'environ 35 % à 45 % du pétrole que contient un gisement peut être extrait dans des conditions technologiques et de prix constantes.

C'est à partir de cette réalité géologique que M.K. Hubbert a conçu sa prévision d'un pic de production pour l'économie américaine. Par agrégation, les pics

6. Certains soutiennent que l'origine du pétrole serait « abiogénique » et que cette ressource serait donc bien renouvelable, même à court-moyen terme. Voir notamment à ce sujet Glasby (2006).

locaux des différents gisements conduiraient à un pic global. Le graphique 4 montre la manière dont la production américaine de pétrole a effectivement connu un pic en 1970, puis a décliné ensuite. La question soulevée par les tenants du pic pétrolier est donc la suivante : à quand le déclin à l'échelle mondiale ? Dans toute cette littérature, le pic de production est perçu comme le début du déclin, déclin de la production de pétrole, et donc déclin de nos économies. Le pic, ce serait aussi pour certains le début de l'après-pétrole, un autre monde énergétique qui reste à inventer. La composante symbolique et émotionnelle de ce pic est donc forte. Les auteurs les plus censés font tout de même remarquer qu'atteindre le pic ne signifie pas que le pétrole va disparaître du jour au lendemain, mais ils expliquent que l'écart entre la demande (toujours croissante) et l'offre (déclinante) engendrera des pressions insoutenables.

Graphique 4 : Production de pétrole aux États-Unis (1000 Bbl / jour)



Une association internationale se charge de nous faire prendre conscience de ce proche déclin, l'*Association for Peak Oil and Gas* (ASPO), très active sur l'internet ⁷. Le tableau 1 présente les dernières prévisions d'offre et de demande effectuées par l'ASPO et les compare avec celles publiées par l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE). Nous reviendrons sur ce tableau.

7. Voir : Peak Oil News <http://www.peakoil.com> ; Hubbert Peak Oil Production (<http://www.hubbert-peak.com>) ; Wikipedia (http://en.wikipedia.org/wiki/Peak_oil) ; The oil drum (<http://www.theoil drum.com>) ; Peak oil Portal (<http://www.peakoilportal.com>) ; en français, Oleocene (<http://www.oleocene.org>) reprend des traductions des newsletters de l'ASPO.

**Tableau 1 : Prévisions d'offre et demande primaires de pétrole
(en millions de barils par jour)**

	ASPO (2007)				
	2000	2005	2010	2020	2030
Offre	76	82	93	78	67
Demande ⁽¹⁾	76	82	87	108	117
	AIE (2006)				
		2005	2010	2015	2030
Offre		83,6	91,3	99,3	116,3
Demande		83,6	91,3	99,3	116,3
⁽¹⁾ Demande : +1,5 % par an.					

Il est d'usage, dans ce débat, de distinguer les « optimistes » des « pessimistes ». Les premiers sont ceux qui ignorent la question et envisagent, dans leurs prévisions, une production de pétrole en croissance continue au cours des trente prochaines années ; ceci permettrait alors une expansion économique au rythme des tendances historiques, et des prix du pétrole qui resteraient eux aussi autour de leur moyenne historique. Ils n'expriment aucune crainte quant à un possible déclin des réserves pétrolières, supposant que les progrès technologiques permettront d'éviter toute tension sur l'offre : place aux biocarburants, à l'efficacité énergétique et à l'hydrogène. Les pessimistes sont généralement géologues ou ingénieurs... les optimistes sont bien souvent économistes.

La littérature économique, il faut le reconnaître, reste discrète sur cette question : le pic ne semble pas la préoccuper outre mesure.

L'économie des ressources naturelles épuisables s'appuie sur le modèle canonique de Hotelling (1931). Ce modèle décrit la manière dont doit être exploitée une ressource épuisable lorsque l'on cherche à en tirer le profit maximal. La ressource étant considérée par son propriétaire comme un actif, la règle d'arbitrage est d'exploiter celui-ci de manière à ce que le prix de vente évolue au même rythme que le taux d'intérêt, celui-ci représentant le coût d'opportunité d'un placement alternatif. Le prix est donc croissant, reflétant la rente de rareté de la ressource. Introduire des coûts d'exploitation ou du progrès technologique ne modifie pas fondamentalement cette règle, mais le profil temporel du prix peut ne plus être strictement croissant⁸.

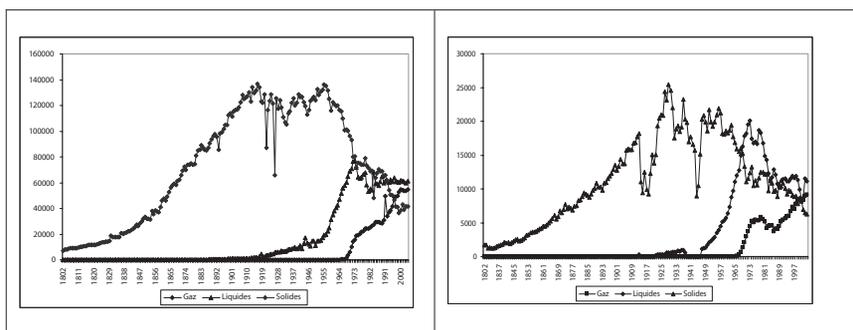
Un autre économiste a attaché son nom à la gestion des ressources épuisables, bien avant Hotelling, William S. Jevons. Interpellé par la Chambre des Communes sur les implications qu'aurait en Angleterre l'épuisement des réserves de charbon, Jevons livre en 1866 un ouvrage précurseur, *The Coal Question*⁹. Il y montre, statistiques à l'appui, que le progrès technique ne réduit pas la consommation de charbon. Il était donc pessimiste sur les possibilités de se soustraire à ce

8. Voir Rotillon (2007) pour une présentation accessible de l'économie des ressources naturelles.

9. Cet ouvrage est disponible sur internet : voir les références en bibliographie.

déclin annoncé. À la fin de son ouvrage, après avoir rappelé la magnificence de l'empire anglais, il termine ainsi : *But the maintenance of such a position is physically impossible. We have to make the momentous choice between brief greatness and longer continued mediocrity.* Son analyse mettait notamment en évidence ce qu'on appelle aujourd'hui *l'effet rebond*, c'est-à-dire l'influence des altérations de la demande sur les prix, lesquels ont à leur tour un effet sur la demande. Mais elle sous-estimait le rôle moteur de la croissance, celui du progrès technique et l'ampleur des substitutions entre combustibles qui allaient s'opérer dans le siècle suivant. Les graphiques 4 et 6 montrent la manière dont les consommations d'énergies fossiles ont évolué depuis 1802, en Angleterre et en Belgique, ainsi que la manière dont le pétrole a pris la place du charbon, puis le gaz celle du pétrole¹⁰.

Graphiques 5 et 6. Émissions de carbone en Angleterre (à gauche) et en Belgique (à droite), par combustible, de 1802 à 2004 (en milliers de tonnes de carbone ; source Marland *et al.*, 2007)



Parmi les analyses récentes, dans la littérature en économie de l'énergie, l'on pourra néanmoins relever les contributions suivantes. Tao et Li (2007) modélisent l'apparition du pic de production en Chine et l'attendent pour 2019. En 2040, la production aurait rejoint son niveau de 1990 tandis que la demande continuerait à croître de 2 à 3 % par an, 50 % de la demande domestique ne pouvant être satisfaite par la production chinoise. Pour autant qu'il soit pertinent, ce genre d'analyse à l'échelon national n'est pas pour autant généralisable à l'échelle globale, et c'est un point méthodologique sur lequel nous reviendrons. Greene *et al.* (2006) s'intéressent à la transition entre les productions conventionnelles et non conventionnelles, à nouveau à l'aide d'un modèle de simulation, mais intégrant cette fois-ci des mécanismes de prix. Ils montrent que la pression sur ces productions non conventionnelles deviendra très forte à partir de 2025 et qu'il n'est pas trop tôt pour s'y intéresser. Le facteur limitatif joué par les infrastructures, notamment, est mis en avant dans cet article. Guseo *et al.* (2007) présentent une modélisation plus com-

10. Chaque combustible fossile possède un taux d'émission de carbone déterminé (à titre indicatif, les taux d'émission en tCO_2/TJ sont, pour le gaz naturel, 56, pour le pétrole, 73, et pour le charbon, 94 ; le coefficient de conversion entre carbone et dioxyde de carbone est de 44/12). Les graphiques ne représentent donc pas les consommations de combustibles mais bien la manière dont ceux-ci se sont substitués dans le temps.

plexe tenant compte des interactions économiques et technologiques dans une approche statistique mêlant tendances lourdes et aléas stochastiques. Ils estiment que le pic pétrolier est survenu en 2007 et que l'épuisement sera atteint à 90 % en 2019.

3.2 Que peut-on tirer de toutes ces analyses ?

De nombreuses incertitudes entourent l'économie du pétrole et le concept essentiel de réserves de pétrole ; de plus, nombre d'analyses sur l'offre future de pétrole sont réalisées en équilibre partiel, c'est-à-dire sans tenir compte des interactions qui peuvent exister entre l'évolution de l'offre, de la demande, des prix et de la technologie. Ainsi, certaines évaluations avancées tant par l'AIE que par l'ASPO pêchent en ne tenant pas suffisamment compte du fait que tant l'offre que la demande sont influencées par les prix, lesquels dépendent... de l'offre, de la demande, et de l'évolution technologique, elle-même influencée par les prix. C'est tout le principe d'un équilibre de marché. En outre, cet équilibre de marché est lui-même influencé par l'équilibre sur d'autres marchés, ceux qui influencent, plus ou moins indirectement, l'offre et la demande de pétrole : la prospection et l'extraction, le raffinage, le secteur des transports, l'industrie, et aussi l'évolution technologique dans l'ensemble de ces secteurs. Elle-même est influencée par le prix du pétrole ou des biens et services qui en sont issus. Le tableau 1 de la section précédente a ainsi révélé que l'ASPO n'imaginait pas qu'un équilibre sur le marché du pétrole soit possible après le pic, ce qui est pour le moins troublant. Essayons de mettre un peu d'ordre dans tout cela.

Commençons par l'offre, et en particulier l'évaluation des réserves. La réserve est une notion à la fois technique, économique et aléatoire. Le montant des réserves disponibles est influencé par le cours du baril. D'abord, les technologies d'extraction, pour les puits existants, peuvent évoluer. Les taux de récupération actuels sont de l'ordre de 35 % du gisement ; le *Cambridge Energy Research Associates* (CERA) estime que les technologies les plus pointues (et les plus coûteuses) permettraient d'aller jusqu'à 60 % de récupération (Laffite et Saunier, 2006), ce qui représente une quantité de pétrole colossale. Ensuite, les réserves sont conditionnées par l'exploration et la découverte de nouveaux gisements. Lorsque le cours du baril augmente, les gisements les plus coûteux deviennent rentables et la recherche de nouveaux gisements est encouragée¹¹. Évidemment, même si la prospection et la mise en service des nouveaux gisements sont des facteurs à prendre en compte, l'offre est relativement rigide à court-moyen terme. Une fois qu'un gisement est découvert, il faut en général entre cinq et dix ans pour le rendre opérationnel, suivant les infrastructures locales existantes. Ainsi, même si, à l'échelle humaine, le pétrole est une ressource épuisable, le montant des réserves disponibles à une

11. Le prix de revient d'un baril actuel est de l'ordre de 7 \$ en moyenne (et de l'ordre de 2 \$ dans les Émirats) : autant dire que c'est un commerce qui génère une rente colossale lorsque ce même baril est vendu 80 \$. Il existe donc une marge importante d'accroissement des coûts de production avant que l'offre ne se tarisse par manque de rentabilité.

date donnée n'est donc pas fixé une fois pour toutes : il dépend de l'évolution des technologies d'extraction et du cours du baril.

À cette analyse technico-économique du concept de réserve, il convient d'ajouter un mot sur la dimension stratégique des chiffres annoncés par les producteurs. Il faut savoir qu'aucune autorité indépendante ne contrôle les évaluations des réserves qui sont publiées par les compagnies privées et, *a fortiori*, par les compagnies nationales. La fiabilité des chiffres avancés actuellement sur les réserves de pétrole peut donc être considérée comme très relative.

Du côté de la demande, le même type d'endogénéité est à prendre en compte. La demande est influencée par le prix du baril, et l'expérience des deux chocs pétroliers nous l'a bien montré (cf. la section précédente). Le progrès technologique, réduisant l'intensité énergétique, est également influencé par le prix du baril, mais il prend du temps et tend vers ses propres limites (notamment thermodynamiques, selon le principe de l'entropie).

Les effets possibles d'un pic pétrolier sur le secteur du transport sont particulièrement cruciaux et appellent à quelques commentaires particuliers. Ce secteur-ci est en effet fortement dépendant de l'approvisionnement en pétrole conventionnel (c'est-à-dire à faible contenu en soufre et à haute gravité API) ; or c'est justement ce type de pétrole conventionnel qui sera le premier frappé par le phénomène de pic pétrolier. Ceci pourrait remettre en cause l'essor rapide des échanges internationaux, tels que constatés au cours des dernières années. Il est peu probable que les progrès en termes d'efficacité énergétique parviennent à compenser le rythme actuel d'expansion du transport. Une réduction en niveau absolu du volume de la demande semble donc inévitable, ce qui ne signifie pas nécessairement une réduction du volume de transport mais, au moins, sa réorganisation vers des modes de transport moins énergivores (le train, le bateau) ou une réorganisation des chaînes d'approvisionnement (chaînes courtes).

Une approche plus économique de la question révèle donc à quel point les prédictions de l'ASPO sont mécanistes et peu robustes. Ceci ne signifie pas, évidemment, que le pétrole coulera à flots indéfiniment, mais les mécanismes en jeu et leurs impacts sont plus complexes que ceux présentés par les tenants du pic.

3.3 Pic ou pas pic : à quoi peut-on s'attendre ?

Le phénomène pic de production n'a, en tant que tel, aucune pertinence économique particulière. Ce qu'il convient de considérer est la satisfaction de la demande de pétrole et les coûts (directs et indirects) qui y sont associés. La rareté croissante du pétrole conventionnel dans les années à venir ne faisant guère de doute, il faut s'attendre à payer plus cher son énergie. À l'heure où cet article est rédigé, le baril de brut a dépassé les 80 \$, ce qui est parfois présenté par les médias comme un record et une catastrophe... alors que cela ramène simplement le prix du baril à son niveau de 1982 en termes réels (voir le graphique 2). En même temps, le dollar est à son plus bas historique par rapport à l'euro (1 € = 1,4 \$), ce qui limite la hausse effective du prix du baril pour le consommateur de la zone euro. Combien paierons-nous le baril dans dix ans ? Impossible à dire. Ce qui nous

semble certain est que l'on va passer d'un système économique basé sur des énergies relativement bon marché à une économie basée sur des énergies relativement plus onéreuses. Les motifs sont flagrants : un niveau de vie croissant, tant dans les pays industrialisés qu'au sein des nouveaux pays dits émergents¹², une demande d'énergie globalement croissante à l'échelle mondiale et des coûts d'accès croissants (exploration, extraction, raffinage, transport) à la ressource énergétique dont nous sommes actuellement les plus dépendants, le pétrole.

4 LES IMPACTS D'UNE HAUSSE DRASTIQUE DES PRIX PÉTROLIERS

Quels seraient les impacts d'une hausse importante et continue du cours du baril dans nos économies ? Les chocs pétroliers des années 1973-1974 et 1979-1980 ont eu des effets inflationnistes et récessifs marqués. Plus récemment, le choc pétrolier de 1991 (nettement plus modéré que ses prédécesseurs), consécutif à la première guerre du Golfe, ainsi que la hausse importante du prix du baril à laquelle on assiste depuis de 2001 semblent n'avoir que peu d'effets sur les principaux pays industrialisés.

La question qui se pose est celle des effets sur l'économie mondiale d'une hausse continue du prix du pétrole, suite à l'apparition d'un phénomène de pic pétrolier. Allons-nous assister à une répétition aggravée des effets des hausses des années 1970, ou pouvons-nous supposer que l'économie mondiale nous réservera de nouvelles surprises et de nouveaux enseignements en matière d'adaptation des systèmes économiques ? Face aux craintes que suscitent actuellement ce qui pourrait bien être les premières manifestations d'un phénomène de pic pétrolier mondial, il est indubitablement utile d'essayer de se livrer à une analyse prospective sur les réactions potentielles de l'économie mondiale face à une hausse continue du prix du pétrole.

Il est clair que le système économique devra s'adapter à l'évolution du prix du pétrole. Cette adaptation sera d'autant plus facile que la hausse du prix du pétrole sera graduelle. Le rythme d'accroissement du prix est donc crucial. Il est également clair qu'une hausse du prix de l'énergie imposera, d'une manière ou d'une autre, un nouvel équilibre entre offre et demande de pétrole, l'inconnue étant la nature des futurs ajustements, notamment les substitutions qui se produiront entre différents modes de production d'énergie, des substitutions qui apparaîtront entre différents types de combustibles énergétiques, et les innovations technologiques qui se manifesteront tant du côté de l'offre que du côté de la demande. Ainsi, un pic pétrolier mènera à moyen-long terme à des altérations importantes des structures économiques et des modes de consommation et de production (notamment en termes d'activités sectorielles). L'ampleur de ces changements structurels est évidemment difficile à prévoir, mais les coûts que subiront nos économies y sont étroitement liés.

12. La part des dépenses de transport dans le budget des ménages croît lorsque leur revenu augmente. En Belgique, chacun est probablement prêt à payer très cher son carburant pour pouvoir continuer à rouler avec sa (chère) voiture.

Pour réaliser notre analyse, nous avons utilisé un modèle macro-économétrique mondial représentant les principales zones économiques : la zone euro, les pays de l'Union européenne non-euro, les nouveaux pays membres de l'Union européenne, les États-Unis, le Japon et le reste du monde¹³. Dans notre analyse, le choc que nous introduisons sur le cours du pétrole a été calibré de façon à doubler le prix nominal du baril de brut (exprimé en \$ US) en cinq ans, ce qui l'amène à environ 150 \$ US en 2012. Nous supposons ensuite que le prix du baril reste constant en terme réel, ce qui signifie qu'il augmente au même rythme que l'inflation américaine. *Grosso modo*, cela correspond à un cours du baril qui serait 50 % plus élevé que le niveau qui a été atteint en 1980, en terme réel, soit un niveau encore jamais atteint. C'est aussi un choc bien plus important que celui du scénario « super spike » de Goldman Sachs qui, en évoquant en 2005 la possibilité d'un baril qui grimperait jusqu'à 105 \$, avait été répercuté par les médias comme un véritable scénario catastrophe.

Nous avons réalisé la simulation de ce choc sur le prix du pétrole selon deux configurations technologiques.

D'abord, avons évalué les réactions dans une situation où les principales économies mondiales subissent la hausse du prix du pétrole sans qu'il en résulte une amélioration de l'efficacité énergétique (pas de progrès technique endogène). Ceci illustre le cas d'économies ayant peu de capacité d'adaptation, ce qui est le cas à court terme.

Ensuite, nous avons évalué les réactions dans le cas de figure où ces mêmes économies bénéficient de changements structurels importants permettant une augmentation de la productivité marginale de l'énergie qui compense à long terme la hausse du prix du pétrole.

Ces deux variantes peuvent être vues comme représentant des cas polaires. Le premier cas illustre une économie peu adaptative, alors que le second cas illustre la réaction d'une économie flexible et s'adaptant rapidement au renchérissement du prix du baril.

4.1 Enseignements en cas d'absence d'adaptations technologiques

Le tableau 2 présente les résultats de cette simulation pour la zone euro. Ceux-ci sont exprimés en écart par rapport à une économie dans laquelle le cours du baril de pétrole resterait ce qu'il est aujourd'hui.

Au cas où l'économie mondiale se montrerait relativement peu apte à s'adapter rapidement à la hausse du prix du pétrole, notre analyse révèle que le pic pétrolier devrait avoir des effets récessifs généralisés, mais n'entraîner qu'une hausse modérée de l'inflation. L'activité économique serait réduite par la hausse de coût que représente pour les entreprises la hausse de la facture énergétique. Les entreprises, n'ayant pas de possibilité d'utiliser de nouveaux équipements moins con-

13. Pour une présentation détaillée du modèle, voir Meyermans et Van Brusselen (2001). Le scénario sous-jacent est celui du NIME *World Macroeconomic Outlook* publié en août 2007 ; voir www.nime.plan.be.

sommateurs d'énergie, ni la possibilité de substituer les produits pétroliers par d'autres sources d'énergie, et n'ayant pas non plus la possibilité de répercuter la hausse du prix de l'énergie en une hausse proportionnelle de leur prix de vente, se verraient contraintes de réduire leurs achats d'énergie, et donc leur niveau d'activité.

L'impact majeur sur l'activité d'une zone provient de l'effet du choc pétrolier sur les termes de l'échange. En effet, dans le modèle, le prix à l'importation est augmenté par la hausse du prix du baril, tandis que les prix à l'exportation diminuent en raison de la contraction de la demande mondiale. Par ailleurs, les pays importateurs voient une dépréciation de leur taux de change effectif afin de rééquilibrer leur compte extérieur courant à long terme.

**Tableau 2 : Principaux résultats pour la zone euro
(différences en % par rapport à la base)**

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
I. Offre et demande totales								
1. Consommation privée	-0,0	-0,1	-0,3	-0,5	-0,6	-0,8	-0,8	-0,8
2. Consommation publique	-0,0	-0,0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,4	-0,5
3. Formation brute de capital fixe	-0,0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3
4. Demande intérieure totale	-0,0	-0,1	-0,2	-0,4	-0,5	-0,6	-0,6	-0,6
5. Exportations	-0,0	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3
6. Importations	-0,0	-0,2	-0,8	-1,5	-2,7	-3,7	-4,4	-5,0
7. Produit Intérieur Brut	-0,0	-0,1	-0,0	0,0	0,2	0,5	0,8	1,1
8. Output du secteur privé	-0,0	-0,1	-0,2	-0,4	-0,5	-0,6	-0,6	-0,6
II. Indices de prix								
1. Consommation privée	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
4. Exportations	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,1	-0,1	-0,1
5. Importations	0,3	1,5	2,6	3,7	4,8	4,8	4,8	4,8
7. Prix de production du secteur privé	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
8. Prix du pétrole (euros/baril)	4,4	24,4	46,9	72,7	102,4	102,7	102,9	103,0
III. Environnement international								
1. Output extérieur effectif	-0,0	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3
2. Prix effectif extérieur	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
3. Compte extérieur courant	-5,5	-21,3	-35,5	-45,9	-54,7	-41,6	-35,8	-16,7
4. Termes de l'échange (PX/PM)	-0,3	-1,4	-2,5	-3,6	-4,6	-4,7	-4,7	-4,7
5. Prix du pétrole, niveau, \$US/bbl	79,4	93,1	109,1	127,9	150,0	153,1	156,4	159,9

Les différentes zones économiques ne peuvent pas compter sur le commerce extérieur pour prendre le relais de la demande intérieure dans la mesure où la hausse du prix du pétrole affecte les demandes intérieures de toutes les grandes zones économiques de façon semblable.

Le recyclage des pétrodollars par les pays producteurs de pétrole génère une demande qui s'adresse aux pays importateurs de pétrole (l'on pourrait appeler cela

l'*effet Dubai*). Cet effet vient bien tempérer la contraction de l'activité économique mondiale, mais sans la compenser entièrement. En fait, les pays producteurs souffrent de la contraction de l'activité économique dans les autres zones : leur volume d'exportations baisse, évidemment, mais le volume de leurs importations aussi. Ce qui compte pour les pays producteurs de pétrole, c'est l'évolution de leur compte courant, c'est-à-dire celle des volumes et des prix (les termes de l'échange). Suite au choc, on constate que leur compte courant est amélioré, mais qu'ils ne conservent néanmoins qu'une partie de la manne. L'*effet Dubai* reste donc limité.

Les effets du choc dans les différentes zones mondiales sont globalement homogènes (consommation privée et ensemble de la demande finale intérieure invariablement réduits), même s'il apparaît quelques nuances. Les effets sur le PIB sont plus contrastés en fonction de la sensibilité des importations à la hausse du prix du pétrole et des mouvements des taux de change effectifs. Mécaniquement, l'on constate que plus les importations se contractent suite à la hausse du prix du pétrole, plus les effets récessifs du choc sur le PIB sont contrebalancés. Ceci illustre bien à quel point la réduction de la dépendance énergétique contribue à améliorer la résilience d'une économie dans le contexte d'un pic pétrolier.

A long terme, la baisse des importations sera plus faible qu'à court-moyen terme, le niveau d'activité restera réduit par rapport à niveau de référence et, en conséquence, le PIB retrouvera son niveau de référence.

4.2 Enseignements en cas d'adaptations technologiques rapides

Au cas où l'économie mondiale se montrerait plus flexible et s'adapterait rapidement à la hausse du prix du pétrole par une plus grande efficacité énergétique, notre analyse montre que le pic pétrolier pourrait n'avoir que des effets négatifs limités et transitoires sur l'économie mondiale. Les résultats pour la zone euro sont repris dans le tableau 3. L'activité économique ne serait réduite qu'en raison des délais d'adaptation. Dans ce cas, les entreprises s'adapteraient au pic pétrolier en utilisant de nouveaux équipements moins consommateurs d'énergie et/ou en substituant les produits pétroliers par d'autres sources d'énergie moins onéreuses. On peut d'ailleurs penser qu'à terme, une telle adaptation relativement souple et rapide des modes de production et de consommation d'énergie devrait elle-même tempérer la hausse du prix du pétrole, de par la progression moins forte de la demande de pétrole qu'elle générerait¹⁴. La seule variable économique qui serait significativement et durablement affectée par le pic pétrolier serait donc les importations en volume des différentes zones économiques mondiales. En effet, les niveaux de production s'adapteraient à un contenu en énergie plus réduit, ce qui limiterait les importations de pétrole en volume. De ce fait, le pic pétrolier réduirait les importations sans réduire la demande (et l'offre) finale de biens et services, entraînant mécaniquement une hausse du PIB en volume.

14. Ce qui n'est pas le cas dans notre simulation.

**Tableau 3 : Principaux résultats pour la zone euro
(différences en % par rapport à la base)**

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
I. Offre et demande totales								
1. Consommation privée	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1
2. Consommation publique	-0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
3. Formation brute de capital fixe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2
4. Demande intérieure totale	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
5. Exportations	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
6. Importations	0,0	-0,1	-0,5	-1,1	-2,2	-3,2	-3,8	-4,4
7. Produit Intérieur Brut	0,0	0,1	0,2	0,4	0,8	1,2	1,5	1,8
8. Output du secteur privé	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
II. Indices de prix								
1. Consommation privée	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	-0,0	-0,0	-0,1
4. Exportations	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
5. Importations	0,3	1,5	2,6	3,7	4,8	4,8	4,8	4,8
7. Prix de production du secteur privé	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,0	-0,0	-0,0
8. Prix du pétrole (euros/baril)	4,4	24,5	47,1	72,9	102,8	102,9	103,0	103,1
VII. Environnement international								
1. Output extérieur effectif	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2
2. Prix effectif extérieur	0,0	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4
3. Compte extérieur courant	-5,3	-21,2	-35,1	-44,8	-52,5	-37,1	-26,0	10,1
4. Termes de l'échange (PX/PM)	-0,3	-1,4	-2,5	-3,5	-4,5	-4,5	-4,5	-4,5
5. Prix du pétrole, niveau, \$US/bbl	79,4	93,1	109,1	127,9	150,0	152,9	156,2	159,5

Dans ce scénario d'adaptation économique à une hausse du prix du pétrole, le volume de production de biens et services mondial ne devrait pas être affecté à long terme. Les pays importateurs d'énergie compenseraient l'effet récessif de la hausse de coût par une efficacité énergétique accrue et une baisse de leurs importations. Les pays exportateurs de pétrole bénéficieraient d'une hausse de leurs revenus d'exportation unitaires en valeur. Cependant, ils feraient face, en même temps, à une baisse de leurs exportations en volume, de sorte que leur revenu total resterait inchangé à long terme. De ce fait, le pic pétrolier ne leur rapporterait aucun gain net à long terme.

CONCLUSION

Le propos de l'analyse présentée ci-avant n'est nullement de remettre en cause la thèse de l'épuisement des réserves de pétrole. La question qui se pose à l'économiste n'est évidemment pas celle de la géologie du pétrole. Pour l'économiste, la

géologie n'est qu'une contrainte, tout comme l'est la technologie. La question fondamentale à laquelle il se doit de tenter d'apporter un éclairage est celle de l'impact de ces contraintes sur l'évolution des systèmes productifs et du bien-être. Cette question peut être exprimée simplement de la manière suivante : combien de pétrole souhaitons-nous consommer et quel prix sommes-nous prêts à payer pour cela ?

Notre analyse montre que même si la production de pétrole dit « conventionnel » a peut-être déjà atteint son pic, cela ne signifie cependant pas l'épuisement du pétrole, ni *a fortiori* l'épuisement de l'ensemble des ressources énergétiques mondiales. Cependant, il est clair qu'un pic de production, même limité au niveau du pétrole conventionnel, mènera à des tensions fortes sur les prix du pétrole et sur celui des autres ressources énergétiques, le rôle fondamental d'un prix étant d'équilibrer *de facto* l'offre et la demande, à tout moment. Les prix d'équilibre qui résulteront de ces interactions entre croissance économique, contraintes physiques d'exploration, d'extraction et de transformation des énergies fossiles et progrès technologiques auront des effets qui seront plus ou moins marqués sur les structures économiques et sur la croissance économique mondiale en fonction de la capacité d'adaptation des systèmes économiques.

La hausse inévitable du prix du pétrole mènera à des substitutions vers d'autres produits énergétiques, tout comme elle mènera à des structures de consommation moins énergivores. Ainsi, l'on peut imaginer que la hausse du prix du pétrole pourra permettre l'émergence d'autres produits énergétiques, même d'origine fossile, tel que le charbon liquéfié. Actuellement, avec le prix du baril autour des 80 \$US, il n'est pas clair que la production de charbon liquide soit déjà rentable ; cela pourrait être très différent avec un baril à plus de 100 \$US. De même, l'on a constaté que les différents chocs pétroliers survenus depuis 1973 ont provoqué l'apparition de technologies ou produits moins énergivores (voitures plus économiques, frigos de type AAA, ampoules électriques économiques, meilleure isolation thermique des bâtiments...). Ces tendances se verraient renforcées par une hausse continue du prix de l'énergie, et elles accéléreraient la baisse du contenu en énergie de la consommation privée. L'Histoire nous enseigne que toutes les grandes mutations énergétiques ont toujours été accompagnées de mutations sociales profondes. C'est ce que recouvre le concept de *transition énergétique*. Depuis deux siècles, nos sociétés dites industrialisées ont fonctionné à partir des combustibles fossiles (charbon, puis pétrole et gaz) : comment passer à autre chose ?, et quelles seront les conséquences de cette transition ? Face à un pic pétrolier, plus vite ces évolutions seront préparées et encouragées par les pouvoirs publics, plus la croissance économique sera protégée des possibles effets récessifs liés à la hausse du prix de l'énergie. Il importe donc à l'économiste d'exposer le plus clairement possible les choix qui se posent actuellement à nos systèmes économiques, afin de permettre aux acteurs institutionnels d'effectuer les choix nécessaires et en temps utile pour éviter des conséquences potentiellement lourdes à supporter pour la collectivité.

BIBLIOGRAPHIE

ASPO (2007), Newsletter n° 80, août 2007 (www.peakoil.net).

BP (2007), BP Statistical Review of World Energy, June 2007 (www.bp.com/statisticalreview).

- BRÉCHET, Thierry et Benoît LUSSIS (2006), "The contribution of the Clean Development Mechanism to national climate policies", *Journal of Policy Modeling*, 28(9), p. 981-994.
- BRÉCHET, Thierry (2007), « L'environnement dans tous ses états », *Regards Économiques*, 50, p. 26-31 (www.uclouvain.be/regards-economiques).
- DURAND, Bernard (2007), *Énergie et environnement, les risques et les enjeux d'une crise annoncée*, Paris, EDP Sciences.
- GLASBY, G.P. (2006), "Abiogenic origin of hydrocarbons : An historical overview", *Resource Geology*, 56, p. 83-96.
- GUSEO, R, DALLA VALLE A. & GUIDOLIN M. (2007), "World Oil Depletion Models : Price effects compared with strategic or technological interventions", *Technological Forecasting and Social Change*, 74(4), p. 452-469.
- GREENE, David, HOPSON, Janet & LI, Jia (2006), "Have we run out of oil yet ? Oil peaking analysis from an optimist's perspective", *Energy Policy*, 34(5), p. 515-531.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2006), *World Energy outlook 2006*, Paris, OECD/IEA.
- JEVONS, William S. (1866), *The Coal Question : An Inquiry Concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of Our Coal-Mines*, Macmillan and Co., London. (Second edition) ; accessible sur <http://www.econlib.org/library/YPD-Books/Jevons/jvnCQ.html>.
- KOLEV A. & RIESS A. (2007), "Energy, revival of a burning matter", *EIB Papers – European Investment Bank*, 12(1), p. 10-29.
- LAFITTE, Pierre et SAUNIER, Claude (2006), *Les apports de la science et de la technologie au développement durable : changement climatique et transition énergétique, dépasser la crise*, Office Parlementaire d'Évaluation des Choix Scientifiques et Technologiques, Rapport parlementaire n° 3425, juin, Paris.
- MARLAND, Gregg , BODEN, Tom et ANDRES, Robert J. (2007), *National CO₂ Emissions from Fossil-Fuel Burning, Cement Manufacture, and Gas Flaring : 1751-2004*, Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory (http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/tre_coun.htm#B, mise à jour en août 2007).
- MEYERMANS, Eric & VAN BRUSSELEN, Patrick (2001), "The NIME Model: A Macroeconometric World Model", Working Paper 03-01, Bureau fédéral du Plan (www.nime.plan.be).
- RADANNE, Pierre (2005), *Energies de ton siècle ! Des crises à la mutation*, Paris, Éditions Lignes de Repères.
- ROTILLON, Gilles (2007), *Economie des ressources naturelles*, Paris, La Découverte, coll. Repères.
- TAO, Zaipu & LI, Mingyu (2007), "System dynamics model of Hubbert Peak for China's oil", *Energy Policy*, 35(4), p. 2281-2286.
- UNITED STATES GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE (2007), *Crude oil Uncertainty about Future Oil Supply Makes It Important to Develop a Strategy for Addressing a Peak and Decline in Oil Production*, Report to Congressional Requesters (www.gao.gov).
- UNITED STATES NATIONAL PETROLEUM COUNCIL (2007), *Facing the hard truths about energy – A comprehensive view to 2030 of global oil and natural gas*, Version provisoire, 18 juillet.