

Alternatives au pétrole, entre mythes et réalité

Alternatives to Oil : Between Myth and Reality

M. Wautelet¹

Notre société développée repose sur l'utilisation de pétrole abondant et bon marché. Celui-ci diminue. Afin de mieux appréhender les impacts de la fin du pétrole, on rappelle d'abord la notion de « pic du pétrole » et les incertitudes sur sa date. Ensuite, les alternatives au pétrole dans le secteur des transports (agrocarburants, électricité, hydrogène) sont présentées. Les impacts sur les transports futurs sont discutés.

Our developed society is predicated on the use of cheap, abundant oil. This is diminishing. In order to get a better grasp of the impacts of the end of oil, we first recall the “peak oil” concept and the uncertainties as to its date. Then, alternatives to oil in the transport sector (agrofuels, electricity, and hydrogen) are presented. The impacts on future transport are discussed.

Mots-clé : Pétrole, agrocarburants, électricité, hydrogène, transports, après-pétrole.

Keywords : Oil, agrofuels, electricity, hydrogen, transport, post-oil.

La crise pétrolière de 2007-2008 a révélé au public et aux décideurs ce que nombre de spécialistes dénoncent depuis plusieurs années : notre addiction au pétrole est fragile, et la fin du pétrole (et du gaz naturel) bon marché va entraîner des modifications importantes de notre mode de vie et du fonctionnement de la société occidentale (notamment).

Afin de mieux appréhender les impacts du « pic du pétrole », nous allons d'abord rappeler ce que l'on entend par « pic du pétrole », ainsi que les incertitudes sur sa date effective. Ensuite, nous rappellerons la place du pétrole dans la société. Après quoi, nous présenterons les alternatives au pétrole dans le secteur des transports et ce que cela implique.



Michel Wautelet — PHOTO F. DOR

¹ Université de Mons, Place du Parc, 20, 7000 Mons, Belgique - Michel.wautelet@umons.ac.be

Le pic du pétrole

Notre société développée repose, notamment, sur un pétrole **abondant** et **bon marché**. Or, de nombreux indices montrent que la production de pétrole est proche de son maximum et va bientôt entrer en déclin. Pour comprendre le problème, il convient d'examiner deux concepts majeurs : les réserves et la vitesse d'extraction du pétrole [1].

Les réserves de pétrole

Quand un champ de pétrole est découvert, les géologues estiment ses réserves en donnant une fourchette de trois valeurs :

- le minimum, appelé réserves prouvées (= 1P). Elles correspondent à la quantité de pétrole récupérable avec une probabilité d'au moins 90 % ;
- la valeur espérée, ou réserves prouvées + probables (= 2P), qui correspondent au pétrole que la compagnie espère récupérer et sur base de laquelle est décidée l'exploitation du gisement. Ces réserves ont une probabilité d'au moins 50 % ;
- la valeur maximale, ou réserves prouvées + probables + possibles (= 3P), ayant une probabilité d'au moins 10 %.

De nombreux malentendus concernant les réserves de pétrole proviennent de la présence de ces trois valeurs et du fait que de nombreux spécialistes n'en utilisent qu'une, sans toujours préciser de laquelle il s'agit.

Dans le public, les réserves sont estimées en « années », définies comme suit. Si les réserves actuelles (R) sont consommées au taux de production actuel (P), ces réserves seraient épuisées en $T = R/P$ années. « T » mesure les « réserves ». Aujourd'hui, elles sont estimées à environ quarante années. Si elles permettent de rassurer le public et les décideurs sur la non-urgence de prendre des décisions, ces réserves masquent cependant la réalité de la manière dont les réserves s'épuisent.

Découvertes et production du pétrole

On s'aperçoit que les découvertes ont culminé dans les années 1960, pour décliner depuis. Par contre, la production ne cesse de croître. A partir des années 1980, la production dépasse les découvertes de nouveaux gisements. Aujourd'hui, pour chaque baril (1 baril = 159 litres) découvert, ce sont deux à trois barils qui sont consommés. Le réservoir se vide.

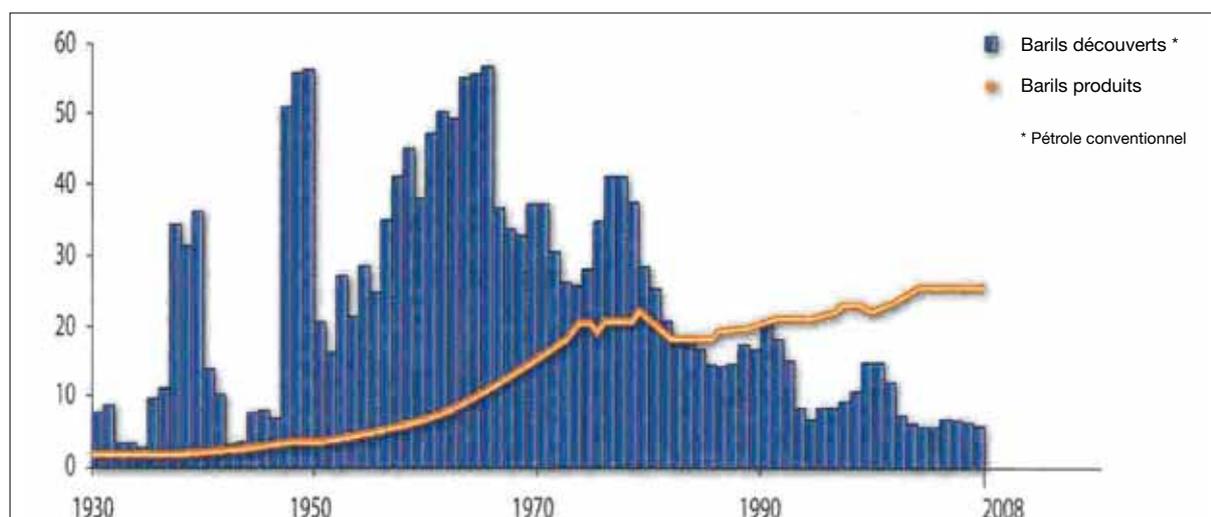


Fig 1. Comparaison des découvertes de pétrole de la production et de la consommation mondiale (en Gb/an) — SOURCE : ASPO

Le « pic du pétrole »

Si les réserves de pétrole sont un paramètre essentiel pour appréhender notre futur énergétique, un autre concerne la vitesse d'extraction du pétrole. Pour des raisons physiques, la production de pétrole d'un nouveau gisement est élevée lors des premiers forages, puis diminue ensuite progressivement (bien que la baisse de pression soit compensée par injection d'eau ou de gaz) jusque zéro sur une période qui peut s'étaler sur plusieurs dizaines d'années.

La production pétrolière d'un gisement ou d'un pays passe donc par un maximum avant de décliner ; ce maximum est appelé « **pic du pétrole** ». Ce schéma est valable aussi pour la planète. Or, du point de vue de l'économie, le moment où il n'y aura plus de pétrole importe peu. Ce qui compte, c'est le moment où il y en aura moins, car, passé le pic du pétrole, un déséquilibre croissant apparaîtra entre une demande qui augmente et une production qui diminue chaque année.

Le pic du pétrole se produit lorsque les réserves extractibles sont environ à moitié vides. Cette notion est extrêmement importante, car elle signifie qu'il restera encore énormément de pétrole lorsque la production mondiale commencera son déclin.

Comme le pic du pétrole est atteint lorsque les réserves sont environ à moitié vides, estimer sa date nécessite de connaître à la fois les réserves qui ont déjà été consommées et celles qui restent à consommer (les pétroles extra-lourds dont on n'a pas parlé, sont abondants, mais ils n'influencent que peu la date du pic ; ils ne font qu'atténuer le déclin). Les différents chiffres des réserves et différentes méthodologies expliquent en partie les grandes divergences concernant la date du pic pétrolier : de 2006 à 2030 [2 UKERC]. Des facteurs géopolitiques (guerres, nationalisations...), économiques, climatiques... influencent la date du pic. Ces facteurs sont difficiles à intégrer dans des prévisions à long terme.

Quoi qu'il en soit, nous allons irrémédiablement vers la fin du pétrole abondant et « bon marché ».

La discussion qui précède concerne la production mondiale de pétrole. Les pays exportateurs de pétrole (OPEP, Russie, et Mexique) consomment à présent

autant de pétrole que l'Europe, et leur consommation s'envole, stimulée par une économie en pleine croissance grâce aux pétrodollars. Comme ces pays sont désormais incapables (ou ne désirent pas) augmenter de manière substantielle leur production, la hausse de leur consommation se fait au détriment de leurs exportations. Cela conduit à un déclin rapide de leurs exportations (7% en moins entre 2006-2010).

Parallèlement au déclin des exportations mondiales, le nombre de pays importateurs augmente, les pays en déclin basculant de la catégorie exportateur vers la catégorie importateur. Il apparaît donc de plus en plus clairement que les grands consommateurs de pétrole, dont l'Europe, verront bientôt leur approvisionnement diminuer. En résumé, il devient clair que la fin du pétrole abondant et bon marché approche et que, d'ici 2050, la quantité de pétrole « économiquement disponible » va décroître de manière très importante.

Examinons maintenant le rôle du pétrole dans notre société occidentale développée.

Le pétrole dans notre société occidentale développée

Comme on s'en aperçoit sur la Figure 2, les utilisations du pétrole sont nombreuses : transports, énergie, pétrochimie, plastiques, engrais, etc. Au niveau mondial, environ 50% du pétrole est utilisé dans les transports. Et les transports reposent à 98% sur le pétrole. C'est dire l'importance actuelle du lien pétrole – transports. Il faut aussi ne pas oublier que le pétrole joue un rôle essentiel dans la construction des routes (bitume) et des ouvrages d'art (béton des ponts et tunnels, etc.).

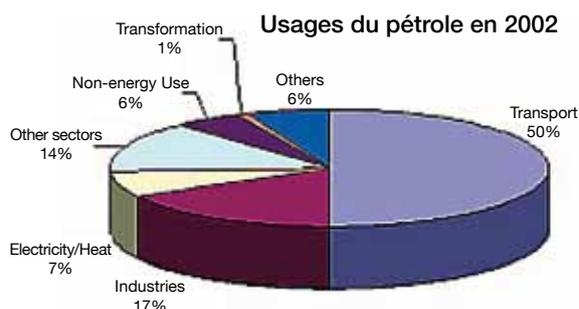


Fig. 2. Les utilisations mondiales du pétrole en 2002.

Les alternatives au pétrole

Remplacer le pétrole est une nécessité pour les quelques décennies qui suivent. Ce ne sera cependant pas facile. Pour se faire une idée, il faudrait plus de 5000 réacteurs nucléaires de 1 GW pour remplacer le pétrole consommé mondialement (et environ la même quantité pour le gaz naturel). C'est dire l'ampleur des défis qui se posent à nous.

Ici, il n'est pas de notre propos de passer en revue toutes les alternatives au pétrole. Le pétrole et les transports étant intimement liés aujourd'hui, nous examinerons les alternatives au pétrole dans le secteur des transports. Les principales alternatives au pétrole dans le domaine des transports sont les agrocarburants, l'électricité et l'hydrogène. Ici, nous ne considérons pas le cas du « charbon liquéfié » qui, s'il est une alternative techniquement réalisable, se révèle être un fort émetteur de CO₂ (donc irréaliste au vu des implications sur les changements climatiques).

Les agrocarburants

Remplacer l'essence de nos voitures par des agrocarburants semble a priori intéressant : peu de changements d'habitudes, moins de gaz à effet de serre (les

gaz émis sont ceux provenant de l'atmosphère via la synthèse chlorophyllienne). Mais les agrocarburants soulèvent plusieurs questions :

- les surfaces cultivées sont importantes. Pour les agrocarburants de première génération (obtenus à partir de produits de l'agriculture (maïs, blé, betteraves, cannes à sucre, soja, colza, céréales etc.) par des techniques conventionnelles, il faudrait utiliser des aires agricoles importantes. Pour remplacer 10% du carburant consommé dans les transports par des agrocarburants, il faudrait consacrer 9% de la surface agricole mondiale. Dans le cas de l'Europe des 15, cela monterait à 72% ;
- les agrocarburants de première génération entrent en compétition avec la nourriture ;
- ils serviraient principalement aux véhicules agricoles et aux transports en commun ;
- en tenant compte de toute la chaîne de production (engrais, culture, transports, eau, transformation, etc.), le rendement énergétique des agrocarburants donne lieu à des estimations variées et contradictoires ;
- les biocarburants de deuxième génération (produits à partir des résidus de forêts et de l'agricul-

ture (bois, paille), des déchets, ainsi que de plantes n'entrant pas en compétition avec la nourriture ne sont encore qu'au stade de la recherche ;

- il en est de même des biocarburants de troisième génération (dont les micro-algues chères au secteur de l'aviation) ;
- même optimisées pour offrir un rendement énergétique par hectare supérieur à celui du colza utilisé pour le biodiesel de première génération, ces plantes n'évacuent pas complètement la question des bilans d'émission de gaz à effet de serre pour lesquels il devient indispensable que les différents acteurs s'accordent sur une méthodologie de calcul acceptable par tous [3].

En résumé, les agrocarburants ne représentent pas une solution à court et moyen terme pour le secteur des transports. Tout au plus représenteront-ils un appoint au pétrole actuel (10% au niveau mondial).

Les véhicules électriques

Les véhicules électriques sont présentés comme devant d'abord aider à résoudre les nuisances et la pollution engendrées par nos véhicules, surtout en ville. Mais ce n'est pas la seule motivation.

Les principaux avantages sont environnementaux. Les véhicules électriques ne polluent pas l'air des villes (la pollution est au niveau de la production d'électricité) et ne sont pas bruyants. Ces véhicules soulèvent cependant des questions diverses :

- l'autonomie et la vitesse des voitures électriques sont limitées, au vu des capacités des batteries actuelles ;
- les temps de charge seront importants (plusieurs heures) ;
- les voitures électriques seront probablement des voitures de ville (ou pour courtes distances) ; ce qui peut se révéler important, vu les habitudes des consommateurs qui, en majorité, effectuent des trajets courts ;
- la quantité d'énergie pour les voitures électriques nécessitera soit de nombreuses centrales supplémentaires (environ l'équivalent de deux réacteurs nucléaires pour la Belgique en remplacement du parc automobile actuel) soit le développement de compteurs intelligents ;
- le développement des véhicules électriques ne se

conçoit pas sans la mise sur pied d'une infrastructure de prises dans les parkings privés, des entreprises, des villes, etc. ;

- vu le poids des batteries, ainsi que l'autonomie, il n'est aucunement question de voir des camions (notamment les transports internationaux) électriques ;
- il semble que, aujourd'hui, la durée de vie des batteries soit insuffisante pour un usage intensif requis dans les transports ;

Le coût des matières premières nécessaires à la fabrication des batteries est un paramètre non connu aujourd'hui.

Les véhicules à hydrogène

Une autre catégorie concerne les véhicules à hydrogène, alimentés par des piles à combustible (PAC). La voiture hydrogène est constituée d'un moteur électrique, d'une PAC et d'un réservoir d'hydrogène.

Si l'hydrogène est considéré par certains comme le vecteur énergétique propre de l'avenir, les défis à relever sont énormes :

- aujourd'hui, le matériau central de la PAC est le catalyseur, en platine (un matériau cher). Une PAC pour une petite voiture coûte environ 20 000 Euros. Des recherches ont lieu pour tenter de remplacer ce Pt par des matériaux moins onéreux ;
- aujourd'hui, la production d'hydrogène est assurée par ses principaux utilisateurs : raffineries pétrolières et usines d'engrais. Elle s'appuie sur divers procédés de décomposition d'hydrocarbures qui, en outre, sont émetteurs de CO₂ et autres GES. Il est donc impératif de passer à d'autres méthodes de synthèse de l'hydrogène ;
- la méthode alternative est l'électrolyse de l'eau. Mais, pour remplacer le parc automobile actuel par des véhicules à l'hydrogène, il faudrait construire l'équivalent de trois réacteurs nucléaires pour la Belgique ;
- une alternative financée par la Communauté européenne (projet HydroSOL) est de produire l'hydrogène à partir du rayonnement solaire, dans des centrales thermiques à très haute température ;
- le stockage de l'hydrogène dans les réservoirs des véhicules est un autre défi à relever. Une solution serait la liquéfaction de l'hydrogène (à - 253°C), d'où des réservoirs cryogéniques, et une baisse



de rendement par la liquéfaction (d'où un nombre plus important de centrales électriques). Dans ces conditions, il faudrait un réservoir de plus de 28 litres pour une autonomie de 100 kilomètres ;

- le stockage sous pression ou sur matériaux solides est aussi à l'étude dans les laboratoires ;
- la distribution de l'hydrogène est un autre problème non résolu.

L'hydrogène pourrait commencer à remplacer les hydrocarbures dans le transport et d'autres applications, à partir de 2020. A cette date, l'Europe espère couvrir 5% de ses besoins en énergie pour les transports par l'hydrogène.

Aujourd'hui, les problèmes à résoudre sont tellement importants que nul ne peut assurer que l'on y arrivera un jour.

Conclusions sur les alternatives au pétrole

Au vu de la discussion précédente, il apparaît que : à court et moyen terme (avant 2025), il n'y a aucune alternative crédible au pétrole dans le domaine des

transports de marchandises. Les agrocarburants sont insuffisants et en concurrence avec la nourriture. Les véhicules électriques sont trop peu performants et trop gourmands en électricité. L'hydrogène va demander des efforts de recherche et développement, ainsi que des efforts financiers et de construction importants, qui demanderont plusieurs décennies.

Il reste à espérer qu'une nouvelle crise pétrolière, avec hausse significative des prix et/ou diminution drastique de l'approvisionnement, n'aura pas lieu avant 2025.



Impacts sur les transports

Etant donné ce qui a été dit précédemment, il est évident que le « pic du pétrole » ne manquera pas d'avoir des conséquences sur les transports, à moyen et long terme. En particulier, si on peut imaginer des voitures particulières ou des camions légers électriques, **il n'y a aujourd'hui aucune alternative au pétrole dans le domaine des camions, notamment internationaux, à moyen terme (2025-2030)**. Le futur de ces transports va donc dépendre du contexte pétrolier géostratégique.

Il en est de même de l'aviation commerciale, pour laquelle ni les agrocarburants, ni l'hydrogène, ni surtout l'électricité, ne sont des alternatives crédibles, même à très long terme.

A long terme (2050), si les choses apparaissent moins claires, les alternatives ne sont pas beaucoup plus rassurantes. Même si certains, comme le Bureau belge du Plan, dans un rapport de début 2008 [4], parient sur le développement de l'hydrogène dans le transport de fret, par route. Selon ce rapport, en 2050, pour le

transport de fret, 90% des véhicules en Belgique circuleront avec des PAC ; 10% seront alimentés par des agrocarburants. L'hydrogène sera fourni par les éoliennes de la Mer du Nord, ce qui évitera les problèmes liés à leur liaison au réseau électrique. Il s'agit là, à mes yeux, d'un pari risqué.

Rien n'est en vue pour l'aviation.

Il semble donc que l'on s'oriente vers des transports différents selon la distance parcourue [5].

Nous ne considérons ici que le court et moyen terme, avant la généralisation (hypothétique) de l'hydrogène.

Transports intercontinentaux

Pour ceux-là, on s'oriente vers la fin du transport de fret par avion. Restera le transport maritime. Les secteurs concernés sont principalement ceux qui, aujourd'hui, réclament des transports rapides (fruits et

légumes, denrées comestibles et périssables, petits volumes). Le transport de courrier et petits paquets semble aussi condamné à moyen terme (au plus tard). Par contre, les transports plus volumineux, lents, qui sont faits par bateaux continueront (minerais, céréales, voitures, informatique, etc.).

Transports intracontinentaux

La fin du transport routier international (alimenté par le pétrole) et de l'aviation marque aussi le redéploiement du rail et du transport fluvial. Cela concerne la diminution des transports de denrées périssables (qui circulent entre pays par la route), mais aussi l'approvisionnement des usines et commerces en « flux tendu » international.

Le rail (et surtout le transport fluvial) étant plus lents que la route, ils concerneront des matériaux denses ou via containers.

Bien entendu, il ne s'agit pas non plus de livraisons à sa porte. Pour cela, il faudrait un réseau ferré aussi dense que le réseau routier ! Même s'il est exclu, pour diverses raisons, d'arriver à un tel réseau, des infrastructures coûteuses et lourdes devront être construites. Si on désire développer le transport par rail, on ne pourra pas se satisfaire du réseau ferré actuel. Il faudra construire de nouvelles lignes, en élargir d'autres, acquérir de nouveaux trains et wagons, etc... Les réseaux locaux, régionaux, nationaux et internationaux devront être reconnectés et, si possible, standardisés. L'actuelle disparité entre, notamment, les systèmes d'alimentations électriques des trains de nos pays européens disparaîtra peut-être. A part les chemins de fer aux-mêmes, ce sera toute l'infrastructure d'approvisionnement, de relais avec la route, qu'il faudra repenser, ensemble. Les industries auront sans doute intérêt à se connecter à une voie ferrée, à se regrouper près de noeuds ferroviaires.

Notons aussi que le redéploiement du rail aura des répercussions positives sur l'emploi, notamment de personnel non qualifié. Il en faudra pour construire et entretenir le réseau ferré.

Quant au transport fluvial, il se verrait utilisé pour les marchandises lourdes, encombrantes, avec des délais plus longs que le rail. Le transport fluvial va évidem-

ment requérir le creusement de canaux plus nombreux et plus profonds, des écluses adéquates... Il faudra aussi les entretenir mieux qu'ils ne le sont souvent aujourd'hui. Cela ne se fera pas en un jour, ni gratuitement. La transition vers ce nouveau mode de fonctionnement de l'économie demandera un financement adéquat, au moins aussi important que celui qui a conduit de la situation de 1835 à celle de 1960 ; et ce, dans un délai plus court. Car de grands travaux seront nécessaires pour y arriver. Et il faudra trouver des moyens originaux de financements, d'investissements.

Transports régionaux

Pour les moyennes distances (de quelques dizaines à une centaine de kilomètres), le recours au rail (pour les transports lourds), voire aux camions électriques (pour les marchandises légères) sont concevables. Comme pour le transport international par rail, il faudra construire de nouvelles lignes de chemin de fer, en élargir d'autres, réaffecter les petites lignes construites au début du vingtième siècle et désaffectées depuis, acquérir de nouveaux trains et wagons, etc... Les réseaux locaux, régionaux, nationaux et internationaux devront être reconnectés. Ce qui demandera du temps, de l'argent et de la main d'œuvre.

Transports locaux

C'est vraisemblablement au niveau local que les changements seront les moins dramatiques. Car c'est là que les livreurs à domicile, les camions pour courtes distances, entre producteur et consommateur local ou gare de distributions auront lieu. Les consommateurs ayant probablement moins recours à la voiture individuelle, le retour aux petits commerces sera peut-être possible, voire nécessaire. Pour le transport local, le recours à de petits véhicules électriques, voire aux agrocarburants, sera nécessaire. Avec, peut-être, un retour partiel au transport animal.

Questions non résolues (parmi beaucoup d'autres)

Quelques questions parmi d'autres :

- quelle part du volume du transport routier pourra-t-elle être dévolue aux autres moyens ?
- quels seront les secteurs économiques les plus directement touchés ?

Actuellement, le volume de marchandises transportées par camions est extrêmement important. Déterminer la partie transportable autrement n'est pas chose aisée. Cela dépend de nombreux facteurs :

- localisation géographique du fournisseur et du client (infrastructure locale, proximité d'installations intermodales, etc.) ;
- vitesse requise du transport ;
- habitudes des consommateurs (et des entreprises) ;
- nature de la marchandise ;
- volume des marchandises ;

- proximité d'une marchandise (fruits et légumes, carrière, etc.) ;
- etc.

Le secteur des transports de marchandises sera donc vraisemblablement un des secteurs les plus touchés par l'épuisement des ressources pétrolières. Avec toutes les conséquences que cela implique sur les nombreuses activités qui en découlent, depuis la mobilité jusqu'au commerce et aux industries.

Conclusions

La fin prévue du pétrole aura des conséquences importantes sur le fonctionnement de notre société développée. Dans cette communication, nous avons montré des conséquences prévisibles sur le secteur des transports. Les transports des personnes et des

marchandises seront drastiquement modifiés. En particulier, les transports routiers internationaux et par avion sont appelés à diminuer très fortement. Ceci « reste » à intégrer dans toute politique de mobilité, de commerce et industrielle.

Références

1. Pour des informations plus détaillées, voir :
 - a) BROCORENS P., WAUTELET M., *Pétrole : à quand le déclin ?* Athena, 238, 283—286 (2008) ;
 - b) www.aspo.be
2. UKERC, www.ukerc.ac.uk
3. REBUFAT F., *S'extraire du pétrole*, Research.eu, p. 22 (avril 2008)
4. *Accélérer la transition vers un développement durable*. Rapport fédéral sur le développement durable 2007. task force développement durable (Décembre 2007).
5. WAUTELET M., *Vivement 2050 ! Comment nous vivrons (peut-être) demain*, L'Harmattan, Paris (2007).