

Les avions survivront-ils au pétrole ?

Avec plus de 17 000 avions commerciaux, s'envolant au rythme d'environ 50 décollages par minute dans le monde, l'aviation représente aujourd'hui un secteur majeur de la société globalisée. En 2007, environ 2,2 milliards de passagers prirent l'air. Selon l'IATA, (*International Air Transport Association*), 35% - en valeur - des marchandises exportées le furent par avions. Les emplois directs et indirects qui en découlent sont très importants: plus de 32 millions dans le monde. Les quatre principaux constructeurs (*Boeing, Airbus, Bombardier* et *Embraer*) dépassent les 250 000 emplois directs - certains dans le militaire et le spatial. Les compagnies aériennes américaines emploient plus de 400 000 personnes. En Belgique, l'aéroport de Bruxelles National (Zaventem) occuperait environ 20 000 personnes. Celui de Charleroi concerne plus de 3 000 emplois directs et indirects.

La crise pétrolière du début 2008 a fait naître beaucoup d'inquiétudes. Faillites de plusieurs petites compagnies aériennes, retraits d'avions, suppressions de vols, pertes d'emplois sont les principales nouvelles du secteur. Et même si le marché des nouveaux avions semble florissant, les inquiétudes sont nombreuses pour le futur. Étant donné l'importance du secteur de l'aviation dans notre société, il est temps de se poser des questions majeures, sans tabous, si nous ne voulons pas aboutir, dans un avenir plus ou moins rapproché, à des catastrophes sociales et économiques. Parmi les questions essentielles, l'avenir du secteur dans l'ère de l'après-pétrole abondant et bon marché est particulièrement important. Les flottes actuelles pourront-elles être remplacées par des avions alimentés par autre chose que du pétrole ? Telle est la question à laquelle nous désirons apporter des éléments de réponse dans cet article.

Kérosène, pollution et changement climatique

Aujourd'hui, il est évident que le pétrole est essentiel au fonctionnement des avions: ils consomment environ 130 millions de tonnes de kérosène par an, soit plus ou moins 185 milliards de litres ou 3,8% du pétrole consommé mondialement. Ce qui correspond à 2% du CO₂ émis dans le monde, compte tenu du rôle du gaz naturel et du charbon. Outre ce CO₂, le kérosène émet des oxydes d'azote, qui contribuent aux changements climatiques. La chimie de l'atmosphère est complexe. D'après plusieurs études, les émissions à 10-11 km au-dessus du sol (altitude à laquelle volent les avions modernes) contribuent de 3 à 4 fois plus au changement climatique qu'au sol. En pratique, cela signifierait qu'un passager qui effectue un vol transatlantique aller-retour, soit environ 12 000 km, contribue autant au changement climatique que s'il parcourait 36 000 km en voiture, soit 2 ou 3 ans d'utilisation moyenne d'une automobile. Simultanément, la communication du secteur

développe l'idée d'un moyen de transport «vert». Ainsi, à l'occasion de son premier vol commercial, en octobre 2007, l'*Airbus A380* a été présenté comme plus vert, plus propre, moins bruyant, plus intelligent que ses prédécesseurs; ce qui est vrai.

Un avion «propre»

À tous les âges de la vie de l'avion, l'approche environnementale est mise en avant, dès la conception. *Airbus* est certifié *ISO 14001*, norme environnementale internationale. L'impact environnemental est estimé et minimisé depuis la conception, le transport des pièces détachées... jusqu'au démontage final de fin de vie. Et ce, en accord avec tous les partenaires et sous-traitants, dans de nombreux pays.

Toujours selon *Airbus*, l'*A380* est beaucoup moins bruyant que ses concurrents: moitié

Pour en
savoir plus
sur l'IATA
<http://www.iata.org>

moins de bruit au décollage, à l'intérieur aussi, la cabine serait moins bruyante que celle des autres avions.

L'A380 a été développé en collaboration avec une soixantaine de grands aéroports internationaux, afin d'améliorer la compatibilité des infrastructures au sol. Grâce à cela et à un concept de cabine, cela permet une amélioration des temps de charge/décharge des passagers et, ainsi, diminuer le temps passé au sol. Ajouté à la grande capacité de l'avion, ces progrès devraient, selon les constructeurs, augmenter le nombre de passagers et la rentabilité des aéroports.

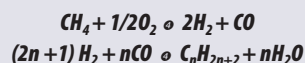
Grâce à une aérodynamique spécifique, à des matériaux nouveaux - composites, matériaux légers - à des réacteurs nouveaux, les constructeurs sont arrivés à un avion qui, d'après eux, consomme 17% de carburant en moins par siège que les autres gros avions actuels, soit moins de 3 litres de carburant par passager par 100 km parcouru. En terme de rejets de CO₂,

L'Airbus A380 prend son envol.



Le procédé Fisher-Tropsch

En 1925, deux chercheurs allemands, Franz Fisher et Hans Tropsch, mettent au point un procédé de «liquéfaction» de combustibles solides ou gazeux, permettant d'obtenir du carburant liquide à partir d'un carburant solide (comme le charbon) ou gazeux. La réaction chimique de base est la suivante:



Cette réaction requiert la présence de catalyseurs (fer ou cobalt). Le carburant ainsi obtenu est utilisé pour l'automobile et l'aviation.

Si les avantages du procédé sont nombreux (moins d'émissions de dioxyde de soufre, de dioxyde d'azote et de particules émises), le bilan CO₂ est cependant mauvais, le rendant impropre au remplacement du pétrole pour des raisons environnementales.

L'A380 produirait 75g de CO₂ par passager et par km. Ces valeurs se basent sur une occupation de 555 places, alors que d'autres versions de l'A380 existent. Ainsi, les avions commandés par la compagnie *Singapore Airline* - qui a effectué le premier vol commercial en octobre 2007 - possèdent moins de 480 sièges, ce qui porte la consommation par passager à 86 g de CO₂ par passager et par km lorsque tous les sièges sont occupés.

Ces performances, mises en avant par le secteur, ne doivent cependant pas masquer la réalité de l'aviation. Il suffit de prendre l'avion en dehors des périodes d'affluence pour se rendre compte que leur taux d'occupation est généralement relativement faible, d'où une consommation par passager et par km bien supérieure lorsque l'A380 est rempli.

Trois pistes possibles

Le secteur de l'aviation est évidemment conscient que son image de pollueur est mauvaise. Pour faire face à l'inévitable accroissement de la pollution atmosphérique, ainsi qu'à l'augmentation du prix du kérosène, le secteur a pour objectifs de réduire de 50% les émissions de CO₂, de 80% celles d'oxydes d'azote et de moitié les nuisances sonores d'ici 2020. Pour y arriver, il faudra agir sur les moteurs, les matériaux, l'aérodynamisme. Mais tout le monde est bien conscient du fait que, pendant encore quelques décennies, les avions dépendront du pétrole. Ainsi, l'IATA préconise de faire appel à 10% de carburants alternatifs en 2017 pour arriver à zéro émission de carbone en 2050.

Mais quid d'ici-là, dans l'après-pétrole bon marché, lorsque le pic du pétrole sera atteint et dépassé, et/ou l'après-Kyoto, lorsque les émissions de gaz à effet de serre devront être considérablement réduites ?

Trois voies sont envisagées, à des degrés de développement variables: la filière dite *Fisher-Tropsch*, les agrocarburants et l'hydrogène.

Du charbon «liquéfié»

Au cours de la Seconde Guerre mondiale, l'Allemagne, pauvre en pétrole et en colonies pétrolifères mais riche en charbon, a obtenu des quantités importantes de combustibles liquides à partir du charbon. Au début 1944, le Reich produisait 20 millions de litres par jour de combustibles à partir du charbon, ce qui représentait plus de 90% de ses besoins en essence pour l'aviation et plus de 50% du besoin total du pays en combustibles. Le procédé utilisé, dit synthèse ou procédé *Fisher-Tropsch*, repose sur la réduction

catalytique des oxydes de carbone par l'hydrogène en vue de les convertir en hydrocarbure. Aujourd'hui, en Afrique du Sud, environ un tiers des besoins en combustibles liquides sont satisfaits par cette technique de «liquéfaction» du charbon.

La synthèse *Fisher-Tropsch* peut également utiliser la biomasse comme produit de départ. On pourrait ainsi obtenir de grandes quantités de carburants liquides nécessaires, notamment, à l'aviation. Malheureusement, le procédé présente un bilan CO₂ très lourd. En examinant son cycle total, les émissions de CO₂ sont de 50 à 100% plus élevées que pour le kérosène actuel.

Tout le monde s'accorde dès lors sur le fait qu'il ne s'agit donc pas d'une solution valable sur le plan environnemental.

Les biocarburants dans les avions ?

Aujourd'hui, les alternatives les plus crédibles au kérosène sont les biocarburants. On ne peut pas faire du kérosène à partir de la biomasse que via le procédé «*Fisher-Tropsch*». Il faudra donc remplacer le kérosène par autre chose.

Une solution serait d'utiliser des biocarburants contenant de l'éthanol. Les moteurs actuels étant adaptés au kérosène, il faudrait alors en concevoir de nouveaux. Mais il faut un volume (et un poids) supérieur à plus de 50% de celui du kérosène pour obtenir la même énergie. D'où des réservoirs plus volumineux et un avion plus pesant, donc des réacteurs plus puissants. L'éthanol gèle à basse température, ce qui demanderait de chauffer les réservoirs. D'après une étude anglaise, en raison de ces problèmes, l'aviation continuera à utiliser du kérosène pendant au moins 40 ans. Les travaux sur les biocarburants dans l'aviation en sont à leurs débuts.

Le problème majeur des biocarburants n'est pas seulement celui des moteurs; ils doivent être produits en quantités suffisantes pour alimenter une partie substantielle de la flotte actuelle et future. C'est là que le bât blesse.

Les biocarburants de première génération, outre le fait qu'ils entrent en compétition avec la nourriture, sont notoirement insuffisants. En supposant que l'on puisse dédier 10% des terres arables et cultivées au niveau mondial aux biocarburants, la flotte actuelle en réclamerait plus du tiers, ce qui est inacceptable. Plus intéressants seraient les biocarburants de deuxième et, surtout, de troisième génération. Même s'il n'existe pas suffisamment de matière de base pour remplacer le kérosène par les biocarburants de deuxième génération, certains estiment qu'ils pourraient y contribuer pour 5 à 20%.

Les générations de biocarburants

On en distingue trois :

- **Les biocarburants de première génération** sont produits à partir de l'agriculture (maïs, blé, betteraves, cannes à sucre, soja, colza, céréales, etc.) par des techniques conventionnelles. Ces biocarburants entrent en compétition avec la nourriture.

- **Les biocarburants de deuxième génération** sont produits à partir de sources telles que des résidus de forêts et de l'agriculture (du bois, de la paille), des déchets ainsi que des plantes n'entrant pas en compétition avec la nourriture (*Jatropha*, le palmier *babassu*, etc.).

- **Les biocarburants de troisième génération** sont produits à partir d'algues, de *jatropha*, de *babassu*, etc.



Pour remplacer tout le kérosène utilisé dans l'aviation actuelle, il faudrait, par exemple, cultiver 1,4 million km² de *Jatropha* (photo ci-dessus), soit plus de deux fois la superficie de la France.

Beaucoup d'espoirs reposent sur les biocarburants de troisième génération, comme les micro-algues. Celles-ci, cultivées dans des bassins d'eau de mer, saturées en CO₂, bien éclairées, à température adéquate, peuvent fournir des quantités énormes d'huile par unité de surface (jusque 200 fois plus que les biocarburants de première génération). Les micro-algues ne sont pas cultivables partout dans le monde. Elles réclament aussi de grandes quantités de CO₂ que certains voient fournir par des centrales thermiques classiques (ce qui, globalement, en fait une source d'énergie émettrice de CO₂ !), et des conditions chimiques particulières. Selon *Boeing*, la culture de micro-algues sur une superficie équivalente à la Belgique serait suffisante pour remplacer le kérosène actuellement consommé dans l'aviation.

Tous les chercheurs sont loin d'être aussi optimistes et calculent plutôt une superficie d'environ 66 000 km², soit la superficie de l'Irlande.

On dénombre environ 160 espèces appartenant au genre Jatropha, espèces originaires d'Amérique centrale ou du Sud, les plus connues étant Jatropha curcas, un arbuste aux propriétés médicinales, originaire d'Amérique centrale et aujourd'hui répandu dans le monde entier. Son fruit est riche en une huile qui peut être utilisée pour produire du biocarburant, du savon ou des bougies.

Quoi qu'il en soit, les études sur les biocarburants pour avions ne sont pas encore suffisamment poussées pour représenter autre chose qu'un espoir.

Des avions à l'hydrogène

Une autre voie explorée est celle de l'hydrogène. L'hydrogène semble une solution attrayante au remplacement du kérosène car il n'émet pas de CO₂, mais seulement de l'eau, H₂O. Malheureusement, il faut plus de quatre litres d'hydrogène liquide pour fournir la même énergie qu'un litre de kérosène. D'où des réservoirs 4 fois plus volumineux. Cela ne manquerait pas de poser des problèmes de construction de l'avion.

D'autant plus que l'hydrogène liquide n'existe pas à température ordinaire. Il se liquéfie à 20 K (soit -253 °C). Les réservoirs doivent donc être isolés thermiquement. Pour éviter les pertes thermiques, ils doivent avoir une forme proche de la sphère et, donc, ne peuvent être placés dans les ailes, comme dans les avions actuels. Ils doivent être dans le fuselage. Ce qui requiert une plus grande cabine; d'où un moins bon aérodynamisme de l'avion et une consommation accrue. À quoi il faut ajouter que l'hydrogène est un gaz dangereux, car explosif. D'où des problèmes de sécurité, aussi bien de l'avion que des infrastructures au sol.

Comme l'hydrogène n'est pas présent naturellement dans la nature, il faut l'obtenir par électrolyse de l'eau (dans l'après-pétrole et gaz naturel). Ce qui demandera des centrales électriques équivalentes à environ 200 réacteurs nucléaires de 1 GW pour remplacer la flotte actuelle. De plus, l'hydrogène produit environ le triple de vapeur

d'eau que le kérosène quand il brûle. Dans la haute atmosphère, là où évoluent les gros avions actuels, cela produit des traînées importantes, contribuant aux changements climatiques.

L'hydrogène ne semble donc pas une alternative crédible au kérosène. Les quelques programmes de recherche sur l'hydrogène dans l'aviation concernent des avions supersoniques et stratosphériques, capables de joindre Paris à Sidney (Australie) en quatre heures.

D'autres pistes...

Pourquoi pas des avions électriques ?

Une autre voie serait l'électricité. Outre le fait que, dans ce cas, les moteurs seraient vraisemblablement plus proches de moteurs à hélice que des réacteurs actuels, l'électricité serait fournie soit par des piles à combustible, soit par des batteries. Concernant les piles à combustible, le problème est semblable, quantitativement, pour la fourniture de l'hydrogène, au cas des réservoirs d'hydrogène mentionnés précédemment.

Quant à la solution consistant à stocker l'électricité dans des batteries embarquées, elle est irréaliste, vu la masse et l'encombrement de celles-ci. Il faudrait, avec des batteries au nickel-cadmium, une masse égale à environ 250 fois le carburant embarqué aujourd'hui. Même si on parvenait à les améliorer considérablement, on ne peut guère diminuer ce chiffre d'un facteur 10, en restant très optimiste.

Et l'avion solaire ?

Dans les médias, on voit parfois quelques avions avec des ailes recouvertes de cellules photovoltaïques. Des ailes de quelques dizaines de mètres d'envergure, en matériaux ultra-légers, ne parviennent qu'à alimenter des avions légers, lorsque le Soleil luit. Personne n'envisage sérieusement des vols intercontinentaux avec une ou plusieurs centaines de passagers.

En supposant - cas optimiste - que l'énergie fournie par les panneaux photovoltaïques soit la même que celle fournie par le kérosène, il faudrait environ 280 m² de panneaux par passager. Soit, pour un avion du type A380, une aile de 400 x 400 m². Les aéroports devraient être étendus considérablement.

Quant à l'aérodynamisme, il y aurait de formidables défis à relever. Bien entendu, ces aires correspondent à des vols de jour, avec le Soleil à la verticale de l'avion. Il n'est pas question que ces avions volent de nuit, voire à l'aube ou au crépuscule.

Pour en savoir plus sur la pollution due aux avions

Centre pour un transport durable
cst.uwinnipeg.ca/index.html

B. Daviss, *Green sky thinking*, NewScientist, 24 february 2007, pp. 32-38.



Comme on s'en aperçoit, il n'y a pas, à moyen terme, de solution idéale de remplacement du kérosène (ou du pétrole) pour l'aviation commerciale. Peut-être, à long terme, les biocarburants de troisième génération représenteront-ils une solution partielle. Mais ne perdons pas de vue qu'il n'y a pas que l'aviation qui soit intéressée par ces biocarburants. Les secteurs du transport terrestre, de la chimie, du bâtiment, etc. sont concernés.

Au-delà des intérêts immédiats de chacun (y compris les nombreux citoyens utilisateurs de l'avion), la fin prévisible de l'avion comme moyen de transport démocratique aura des conséquences nombreuses et importantes, aussi bien pour notre mode de vie que pour l'emploi local, l'économie des pays en développement et le commerce mondial. L'aviation représente une activité économique majeure, offrant de nombreux emplois directs (constructeurs, transporteurs, aéroports) et indirects (tourisme, fret, recherche et développement). Les emplois directs et indirects de l'aviation sont importants.

Quel avenir pour l'aviation ?

Bien qu'il ne soit pas dans notre propos d'évaluer toutes les conséquences de la fin du pétrole dans les secteurs liés à l'aviation, mentionnons, à titre illustratif, le tourisme de masse. Certains prédisent que d'ici 2020, il y aura plus de 1,6 milliard de touristes internationaux (contre 850 millions en 2006), dont la plupart prendront l'avion. De nombreux pays ont un secteur du tourisme qui en dépend presque entièrement et qui est parfois le seul moyen de transport pour y accéder (pensons aux îles Canaries, à Madère).

Ce sont des emplois dans l'horeca, les transports, la culture. Que deviendront les emplois et l'infrastructure touristiques lorsque le pétrole bon marché ne sera plus là pour alimenter la flotte d'avions commerciaux ? Est-il raisonnable de prévoir que de nombreux nouveaux touristes chinois et indiens visiteront nos pays ?

Même si, en 2008, l'avion est toujours un moyen de transport efficace et démocratique, soyons conscients de sa fragilité intrinsèque. Il nous semble chimérique - et irresponsable - de continuer à prévoir un avenir rose pour l'aviation commerciale.

Et le temps presse, car le pic du pétrole est prévu pour 2010-2015 environ. Au-delà, la production pétrolière sera en déclin et le prix du pétrole probablement très élevé: l'Agence inter-

Les essais d'avions «verts»

Depuis quelques mois, plusieurs vols ont été effectués afin de montrer la possibilité d'utiliser d'autres carburants que le kérosène pur.

Au début 2008, Airbus a fait voler un A380 avec un réacteur alimenté au gaz liquéfié.

Un peu plus tard, Virgin Atlantic a fait voler un Boeing 747-300 avec un réacteur alimenté au kérosène avec 20% de biocarburant à base d'huile de babassu, une huile de palme et de noix de coco.

Début 2009, AirNew Zealand devrait faire de même avec un Boeing 737.

En 2009, c'est Continental Airlines qui devrait effectuer un vol avec un Boeing 737 au biocarburant de troisième génération.

nationale de l'énergie a plusieurs fois prévenu d'un risque de pénurie vers 2012 et, dans son dernier rapport paru en novembre 2008, elle vient de réviser à la hausse ses prévisions de prix du baril pour 2030: 200 dollars. Or, il faut plusieurs décennies pour remplacer une flotte d'avions par de nouveaux appareils.

Une récente étude allemande montre que les nettes améliorations ne voient le jour qu'avec de nouvelles générations d'avions. Après l'*A380* et le *Boeing 787*, qui présentent déjà des améliorations importantes, l'efficacité ne sera accrue qu'avec leurs successeurs, autrement dit vers 2020.

La part de ces appareils dans la flotte totale sera alors relativement faible. En supposant que tous les problèmes liés aux biocarburants de troisième génération (y compris le prix) puissent être résolus rapidement - ce qui demandera d'importants efforts de recherche et développement et un financement adéquat -, la flotte d'avions nouveaux ne serait pas renouvelée avant 2050, soit bien après que le pétrole soit devenu rare et hors de prix.

Face au passage imminent du pic pétrolier, et malgré les avertissements lancés par certains acteurs du monde énergétique (*Chevron*) et certaines compagnies aériennes (*Virgin*), la mobilisation est encore loin d'être à la hauteur du défi. Espérons que les acteurs économiques et politiques commencent à réfléchir au futur et envisagent des plans de transition et de soins palliatifs destinés à accompagner le déclin prévisible du secteur aérien afin de minimiser les dégâts sociaux.

Michel WAUTELET,
michel.wautelet@umh.ac.be
Damien DUVIVIER,
Patrick BROCORENS

Pour en savoir plus sur le pic du pétrole:

<http://www.aspo.be>

P. Brocorens,
Le Pic du pétrole, un tournant pour l'humanité.
Sommes-nous prêts ?

Chimie Nouvelle,
n° 97, p. 2,
mars 2008.

Certains calculs présentés dans cette note utilisent des données de Michel Wautelet, dans Sciences, technologies et société, 2^e édition, De Boeck, Bruxelles, 2005.