

Note sur l'A380 et le futur de l'aviation

Michel Wautelet
Université de Mons-Hainaut
michel.wautelet@umh.ac.be

Août 2007

Le 15 octobre 2007, la compagnie Airbus devrait livrer le premier A380 commercial à la compagnie Singapore Airlines. Le premier vol commercial devrait avoir lieu dix jours plus tard. Il s'agit là d'un événement majeur pour l'aviation mondiale. Avec le succès du récent salon du Bourget et les chiffres d'affaires du secteur de l'aviation, il est une preuve évidente de la très bonne santé actuelle du secteur de l'aviation commerciale.

Mais l'A380 n'est-il pas un beau mirage ? Et n'est-ce pas l'arbre magnifique qui cache une forêt peu réjouissante ?

C'est que plusieurs nuages commencent à menacer l'aviation. Il y a d'abord la contribution croissante du secteur aux changements climatiques. Certes, l'aviation est loin d'être le principal pollueur au niveau mondial. Tous les automobilistes polluent plus que tous les avions. Mais, avec la croissance prédite de l'aviation, la pollution par les avions va croître. Et ce ne sont pas les quelques améliorations techniques plausibles qui vont drastiquement modifier ce fait.

Autre menace autrement plus préoccupante : la fin annoncée du pétrole bon marché. C'est qu'il n'y a aucune alternative crédible au pétrole pour l'alimentation des avions, comme le démontre cette note. Ni les biocarburants, ni l'hydrogène, ni l'électricité, ni le solaire ne remplaceront le pétrole. C'est donc vers la fin inéluctable du secteur industriel majeur qu'est l'aviation que l'on se dirige. Pour quand ? Les avis divergent mais, selon les spécialistes, le pic du pétrole devrait avoir lieu vers 2010-2015, après quoi la production décroîtra inexorablement. Quant au prix du pétrole, il devrait augmenter dès avant, signifiant la fin du pétrole bon marché et, notamment, aussi de l'aviation.

Les conséquences en seront très importantes. Les activités directement (construction, aéroports,...) et indirectement (tourisme, horeca, commerces, ...) liées devront être réévaluées sérieusement.

Alors, plutôt que de se complaire dans des discours volontairement optimistes (et irresponsables) sur l'avenir du secteur, n'est-il pas temps de commencer à réfléchir au futur ?

Le but de cette note est de fournir des arguments scientifiques pour une telle réflexion. Prévenir pour ne pas avoir à guérir.

A380 : un beau mirage

Michel Wautelet, Université de Mons-Hainaut

Fin octobre 2007 devrait avoir lieu le premier vol commercial de l'A380. Nul doute qu'il sera en très bonne place dans l'histoire de l'aviation mondiale, car cet avion représente incontestablement un des sommets technologiques actuels. Néanmoins, lorsque l'on replace cet événement dans le contexte des changements climatiques et de l'épuisement des réserves pétrolières, on est en droit de se demander si l'A380 n'est pas le magnifique arbre qui cache une forêt moins accueillante. C'est que, malgré le fait que le secteur de l'aviation se porte très bien aujourd'hui, l'avenir est incertain.

Bien évidemment, un tel événement est, pour les promoteurs, l'occasion de mettre en avant les performances nouvelles de cet avion exceptionnel qu'est l'A380. Au-delà des discours, il est cependant utile de remettre ces performances en contexte.

L'A380 : un bijou technologique

Tout le monde est d'accord : l'A380 est un véritable bijou technologique. De nombreuses technologies nouvelles sont mises au service d'un vaste projet, axé sur une amélioration des performances d'un avion géant. Selon la compagnie Airbus (www.airbus.com), l'A380 est plus vert, plus propre, moins bruyant, plus intelligent que ses prédécesseurs.

Plus vert

A 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 à tous les stades de la vie de l'avion, 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.

Plus propre

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. En terme de rejets de CO₂, l'A380 produirait 75g de CO₂ par passager et par km. Ou, selon d'autres sources, moins de 3 litres de carburant par passager par 100 km parcouru¹.

Il convient de noter que ces valeurs se basent sur une occupation de 555 places². D'autres versions de l'A380 existent. Ainsi, les avions commandés par la compagnie Singapore Airline (qui aura l'honneur d'effectuer le premier vol commercial en octobre 2007) possèdent moins de 480 sièges, ce qui multiplie la consommation par passager de $555/480 = 1,15$, soit $75 \times 1,15 = 86$ g de CO₂ par passager et par km. Cela implique également que les avions de Singapore Airline consomment autant de carburant par siège que les autres gros avions actuels.

¹ Ces 2 chiffres sont, en fait, deux manières presque équivalentes de décrire la consommation d'un véhicule. En effet, une consommation de 1litre de carburant correspond à environ 22-26 g de CO₂ par km, selon le type de carburant (essence, diesel, kérosène).

² Les avions transportent aussi du fret. La manière dont les constructeurs comptent le fret dans la consommation par « passager » n'est pas claire..

Pour être complet, l'A380 est prévu pour emporter jusque 840 passagers dans la configuration à une classe ; ce qui diminue la consommation par passager³.

Tout ceci suppose évidemment que tous les sièges sont occupés.

Dans de nombreux commentaires, on compare la consommation par passager à celle des automobiles. On prétend alors que la consommation des avions est proche de celle des automobiles. Les calculs supposent implicitement un taux d'occupation des automobiles d'environ 2 passagers. Si elles étaient occupées par 4 passagers, la consommation par passager serait diminuée par 2, ce qui impliquerait une situation défavorable pour l'avion.

Moins bruyant

Toujours selon Airbus, l'A380 est beaucoup moins bruyant que ses concurrents : moitié moins de bruit au décollage. A l'intérieur aussi, la cabine serait moins bruyante que celle des autres avions.

Plus intelligent

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

Les performances techniques et environnementales de l'A380, pour exceptionnelles qu'elles soient, ne doivent cependant pas masquer le fait que, par rapport aux autres modes de transport, l'avion est et restera le moyen de se déplacer le moins écologiquement durable.

L'avion et les changements climatiques

Depuis les années 1960, l'aviation a fait de multiples progrès. Dans le domaine de la consommation, les moteurs actuels sont 40% moins gourmands en carburant que les plus vieux. Quant à la pollution, les suies et autre soufre ont été pratiquement éliminés. Mais l'aviation est aujourd'hui considérée comme un secteur « mûr », technologiquement. Ce qui implique notamment que les progrès ne seront plus aussi importants que par le passé. Ils seront aussi plus lents à venir et plus coûteux.

Aujourd'hui, les avions consomment environ 130 millions de tonnes de kérosène par an. Soit environ 185 milliards de litres ou environ 3,8 % du pétrole consommé mondialement. D'après les avionneurs, le nombre de passagers devrait doubler d'ici 2030. Il est aujourd'hui d'environ 10% de tous les passagers-km motorisés à travers le monde (pour 60% pour les automobiles).

Bien sûr, les gaz émis par les voitures au sol et les avions à haute altitude ne sont pas les mêmes. Et la chimie de l'atmosphère est complexe. D'après plusieurs études, malheureusement, les émissions à 10-11 km au-dessus du sol (altitude à laquelle volent les avions modernes) produisent de 3 à 4 fois plus de gaz à effet de serre qu'au sol. En pratique, cela signifierait qu'un passager qui effectue un vol aller-retour transatlantique (environ 12.000

³ Notons que la discussion porte sur les avions long courrier. Pour les autres, la consommation par passager et par km est plus importante (de l'ordre de 150g de CO₂ par passager et par km pour les court courrier).

km) contribue autant au changement climatique que s'il parcourait 36.000 km en voiture (en tenant compte des taux d'occupation moyen de l'avion et de la voiture), soit 2 ou 3 ans d'utilisation moyenne d'une automobile.

Comme mentionné précédemment, si les automobiles étaient utilisées avec le taux d'occupation optimum (comme les avions le sont souvent), un vol transatlantique aller-retour équivaldrait à 4 à 6 ans d'utilisation d'une voiture pleine.

Quant à la contribution globale aux changements climatiques, d'après ce qui précède, aujourd'hui, le rapport automobiles/avions est de $60/(10 \times 3) = 2/1$. L'avion contribue pour moitié moins que l'automobile. Ce rapport ne devrait guère changer dans le futur, car on considère qu'il y aura aussi croissance des automobiles au niveau mondial.

Aucun progrès technologique ne permettra de réduire sensiblement ces chiffres.

L'aviation et l'épuisement des ressources pétrolières

Un autre événement commence à (devrait) inquiéter le secteur de l'aviation : l'épuisement des ressources pétrolières. C'est inéluctable : que ce soit dans cinq, dix, vingt ou trente ans, le pétrole deviendra cher, avant d'être rare. Pour remplacer le pétrole dans l'aviation, il n'y a pas, aujourd'hui, d'alternative crédible.

Les solutions envisageables seraient : les biocarburants, l'hydrogène, l'électricité et le solaire.

Les biocarburants

On ne peut pas faire du kérosène à partir de la biomasse. Il faudrait donc remplacer le kérosène par autre chose. Ce qui, notamment, demanderait de concevoir des réacteurs différents. Même si on parvenait à construire de tels réacteurs, une solution serait d'utiliser des biocarburants contenant de l'éthanol. Mais il faut un volume (et un poids) supérieur à plus de 50% de celui du kérosène pour en 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, à cause de ces problèmes, l'aviation continuera à utiliser du kérosène pendant au moins 40 ans.

Et même si on parvient à fabriquer des carburants pour avions à base de biomasse, il faut tenir compte des possibilités de cette biomasse. On estime généralement qu'il n'y a pas assez de biomasse « durable » pour alimenter 10 % des véhicules terrestres actuels. Qui peut raisonnablement croire que les avions seront prioritaires dans l'utilisation des biocarburants ?

L'hydrogène

L'hydrogène semble une solution attrayante au remplacement du kérosène, car il n'émet pas de CO_2 , mais seulement de l'eau, H_2O . Malheureusement, il faut plus de 4 litres d'hydrogène liquide pour fournir la même énergie qu'1 litre de kérosène⁴. 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, dans des réservoirs spéciaux. Ceux-ci, pour éviter les pertes thermiques doivent avoir une forme proche de la sphère et, donc, ne peuvent être placés dans les ailes, comme dans les avions actuels. Ils

⁴ 1 litre de kérosène fournit une énergie d'environ 33 MJ. 1 litre d'hydrogène liquide pèse 70,8 g. 1 kg d'hydrogène libre environ 98 MJ. Donc 1 litre d'hydrogène liquide libère 7 MJ.

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.

A 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 électriques⁵, pour l'équivalent d'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.

L'électricité

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 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 des batteries⁶. 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 améliorer considérablement les batteries, on ne peut guère diminuer ce chiffre d'un facteur 10, en restant très optimiste.

L'énergie 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 de tels avions avec une ou plusieurs centaines de passagers.

En supposant (cas optimiste) que l'énergie fournie par les panneaux photovoltaïques soit la même que ce qui est fourni par le kérosène par passager, il faudrait environ 280 m² de panneaux par passager. Soit, pour un avion du type A380, une aile de 280x555 m² (ou 400 m x 400 m). Les aérogares devraient être étendues 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.

Comme on s'en aperçoit, il n'y a pas, dans l'après-pétrole, de solution de remplacement au kérosène (ou au pétrole) pour l'aviation commerciale.

⁵ Pour fournir la même énergie que le pétrole consommé annuellement au niveau mondial, il faudrait environ 5100 réacteurs nucléaires de 1 GW. Les avions consommant 3,8% du pétrole mondial, cela équivaut à $0,038 \times 5100 = 194 \sim 200$ réacteurs nucléaires.

⁶ Les batteries au nickel-cadmium fournissent environ 0,2 MJ/kg (le double des batteries au plomb de nos voitures), pour 47 MJ/kg pour l'essence (comparable au kérosène). D'où environ 250 fois moins d'énergie par kilo que le kérosène.

D'aujourd'hui à demain

Or, les échéances se rapprochent inexorablement. La fin du pétrole bon marché sera pour bien avant 2050. La tendance commence déjà à se marquer. Prétendre, comme le fait le secteur de l'aviation, que le transport aérien va continuer à croître jusqu'en 2050 (et doubler d'ici là), voire après, relève de la myopie.

Bien sûr, il est vraisemblable que, pendant quelques années encore, le secteur restera florissant. Les avions vieillissent, le transport par avions croît. Pour combien de temps encore ?

Aujourd'hui, le kérosène est beaucoup moins taxé que l'essence au particulier. Pour celui-ci, les taxes et accises représentent environ 2/3 du prix à la pompe. Si la même taxe était appliquée au billet d'avion transatlantique, cela représenterait une augmentation⁷ d'environ 336 € du billet aller-retour. Ce qui représenterait une augmentation de plus de 65% du billet d'avion⁸. Il en sera de même, non taxé, lorsque le prix du pétrole sera multiplié par 3. Quand le billet d'avion sera-t-il jugé trop cher par les passagers ?

Quoi qu'il en soit, il apparaît qu'il est temps de se poser la question de l'avenir de l'aviation et de ses conséquences. Ce n'est pas en niant les questions ou en remettant la discussion à plus tard que l'on évitera les clashes.

L'aviation représente une activité économique importante, directement (constructeurs, transporteurs, aéroports,...) et indirectement (tourisme, fret, recherche et développement,...). Les emplois directs et indirects de l'aviation sont importants. Il est temps d'y réfléchir.

Et notre vie en sera modifiée. Parmi de nombreux autres secteurs (il n'est pas de notre propos d'évaluer toutes les conséquences de la fin du pétrole dans l'aviation), mentionnons le tourisme de masse.

Certains prédisent que d'ici 2020, il y aura plus de 1,6 milliards de touristes internationaux (contre 850 millions en 2006), dont la plupart prendront l'avion. Le secteur du tourisme de nombreux pays dépend de l'avion. Ce sont des emplois dans l'horeca, les transports, la culture,... Que deviendront les emplois et l'infrastructure touristiques lorsque le pétrole 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 ?

En tout cas, il serait irresponsable de continuer à prévoir un avenir rose pour l'aviation commerciale. Ce n'est pas faire preuve de défaitisme, de catastrophisme de prédire la fin de l'aviation avant que les actuels A380 aient fini leur vie.

Bien entendu, le secteur de l'aviation restera encore florissant pendant quelques années, voire quelques décennies. Bien sûr, le puissant lobby de l'aérospatial, allié à celui du pétrole, ne manquera pas de passer sous silence et de minimiser cette vérité dérangeante.

Mais cela ne doit pas nous empêcher de penser à cet après-pétrole inéluctable. Car, au-delà des intérêts immédiats de chacun (y compris des nombreux citoyens utilisateurs de l'avion - dont moi-même), la fin prévisible de l'avion aura, à terme, des conséquences nombreuses,

⁷ 360 litres de kérosène x (2/3 x 1,4 €) = 336 €

⁸ En août 2007, le prix des billets aller-retour Paris – New York est d'environ 500 €

depuis le tourisme de masse, jusqu'au commerce mondial, en passant par l'économie des pays en voie de développement.

Même si, en 2007, l'avion est un moyen efficace et démocratique (pour combien de temps encore) de transport, soyons conscients de sa fragilité intrinsèque.

Prévenir pour ne pas avoir à guérir. C'est le but de cette note.

Pour en savoir plus

Sur les caractéristiques techniques de l'A380 : www.airbus.com

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, 32-38

Sur le pic du pétrole :

- P. Brocorens, *Pic du Pétrole et Pic du Gaz*, février 2007, disponible sur : www.aspo.be

Sur les alternatives au pétrole pour l'aviation :

- B. Daviss, cfr. Ci-avant

Les calculs présentés dans cette note utilisent des données dans : M. Wautelet, *Sciences, technologies et société*, 2^e ed, De Boeck, Bruxelles, 2005.