

Le transport aérien supersonique sera-t-il compatible avec la sécurité des passagers ?

Article de J. MAKOWSKI de Garrett Corporation à Los Angeles

La mise en service des premiers chemins de fer suscita un tollé général dans les milieux scientifiques. Les savants décrétèrent "ex cathedra" que l'organisme humain ne saurait supporter des vitesses supérieures à 60 km/h et que d'ailleurs, ces vitesses démesurées provoqueraient des catastrophes épouvantables. Arago lui-même promettait aux imprudents voyageurs des fluxions de poitrine, des pleurésies, des catarrhes (*discours à la Chambre des Députés, le 14 juin 1836*) et assurait en 1838 que les transports en wagons auraient pour résultat d'efféminer les troupes ! Nous assistons à la même levée de boucliers au seuil de l'ère supersonique. Une nuance cependant : les milieux cultivés d'aujourd'hui ont beaucoup appris et s'entendent à préciser pourquoi les passagers des appareils supersoniques n'ont aucune chance de survivre. En admettant même, affirment-ils, que l'on parvienne à maintenir la température de la cabine dans des limites raisonnables malgré l'échauffement cinétique de la cellule (plus de 300°C), les passagers seront menacés par un empoisonnement à l'ozone, car les couches élevées de l'atmosphère contiennent 50 à 100 fois plus d'ozone que l'organisme humain - selon les médecins - n'en peut supporter pendant une durée prolongée. Et si cela ne suffit pas à exterminer les passagers, le rayonnement cosmique se chargera de les achever, sans parler de la possibilité d'une décompression subite de la cabine qui ferait bouillir aussitôt le sang des voyageurs.

L'appareil supersonique ne volera-t-il pas à des altitudes supérieures à celles où se produit l'ébullition des liquides physiologiques (18.800 mètres) ? Les Cassandres de l'aéronautique ne manquent pas de mentionner les troubles nerveux et organiques que pourrait provoquer la succession hallucinante des temps locaux (arrivée deux heures avant le départ !). Enfin, le trafic supersonique nuirait même aux populations sédentaires. Ce ne serait peut-être pas une atteinte physique ou mentale, mais qui donc serait satisfait de voir les carreaux de ses fenêtres éclater sous l'onde de choc du bang transsonique ?

A lire toutes ces objections, on se doute bien qu'elles proviennent d'adversaires du transport aérien supersonique. Mais pour un ingénieur objectif, la suppression de tous ces dangers ne représentent qu'une partie des problèmes plus ou moins importants - et sans doute moins connus du grand public - qu'il faut résoudre avant la mise en service des appareils supersoniques commerciaux. Citons entre autres l'étude de la résistance des matériaux à haute température pour des cycles de contraintes longs ou courts ou les problèmes de stabilisation, etc. Le devoir de l'ingénieur, ce n'est pas de rechercher à tout prix n'importe quelle solution, mais bien de trouver une solution pratiquement utilisable et suffisamment économique.

1 - Pressurisation et climatisation.

C'est le système de conditionnement d'air qui assure la régulation de la pression, de la température et de la composition de l'air de la cabine. Dans la construction de ce système, il faut tenir compte d'un certain nombre de facteurs primordiaux : la température de l'atmosphère environnante, celle des diverses surfaces extérieures de l'avion, la pression et la température de l'air frais disponible, la nature et la répartition des sources de chaleur internes et enfin, les diverses causes possibles de contamination de l'air.

Si l'on considère l'évolution des moyens de transport depuis le "drakkar" de Leif Erickson ou la "Caravelle" de Christophe Colomb jusqu'à l'avion de ligne multiréacteur en passant par les "clippers" et les "Zeppelins", on peut noter avec un certain étonnement l'existence d'un facteur commun : les températures de surface et les températures d'environnement de tous ces véhicules, si différents soient-ils, se sont toujours répartis dans un étroit domaine qui va de - 50°C à + 40°C. Pour les avions de ligne actuels, la température de l'air dynamiquement accumulé varie de - 18°C à - 32°C. En revanche, la température du revêtement de l'appareil franco-britannique "Concorde" sera de + 150°C ; quant au modèle trisonique susceptible d'être construit par les Américains, il connaîtra des températures de + 315°C. Il est clair qu'un tel bond dans l'échelle des températures réserve de nombreux problèmes.

Le confort des passagers exige certaines valeurs de la température, de l'humidité et de la circulation de l'air ainsi qu'une température bien déterminée des parois de la cabine. On considère généralement que + 24°C représente une température idéale pour l'air de la cabine et les parois intérieures de celles-ci. Etant donné

que la température de la couche limite peut aller de + 150°C à + 315°C, l'ingénieur chargé de la climatisation n'aura pas la tâche facile. Il doit parvenir à évacuer les énormes quantités de chaleur qui pénètrent dans la cabine en provenance des couches superficielles de l'avion, comme d'ailleurs celles qui sont produites à l'intérieur de la cabine. Le problème est d'autant plus ardu qu'il n'y a pas de source froide naturelle assez importante.

Ce problème - comme la plupart des problèmes d'ailleurs - a plusieurs solutions. La plus simple, c'est d'obtenir un équilibre de température entre l'air de la cabine et les parois de celle-ci en utilisant des couches isolantes poreuses. L'air vicié s'écoule vers l'extérieur à travers ces couches et entraîne l'air chaud dû au frottement, sur le point de pénétrer dans la cabine. Cette méthode permet de réduire les contraintes thermiques du revêtement.

Reste le problème de l'évacuation de la chaleur : comme on ne dispose pas d'une quantité suffisante d'air froid, on peut tirer profit du débit carburant. Etant donné que les réacteurs d'un appareil supersonique ont une consommation élevée, le débit du carburant est considérable et il est par conséquent possible d'évacuer une grosse quantité de chaleur, sans que cela n'entraîne une augmentation sensible de la température du carburant. Malheureusement au bout d'un certain temps de vol, la température du carburant dépasse la température souhaitée pour la cabine ; il faut alors utiliser le système de climatisation pour porter la température de la cabine à un niveau plus élevé.

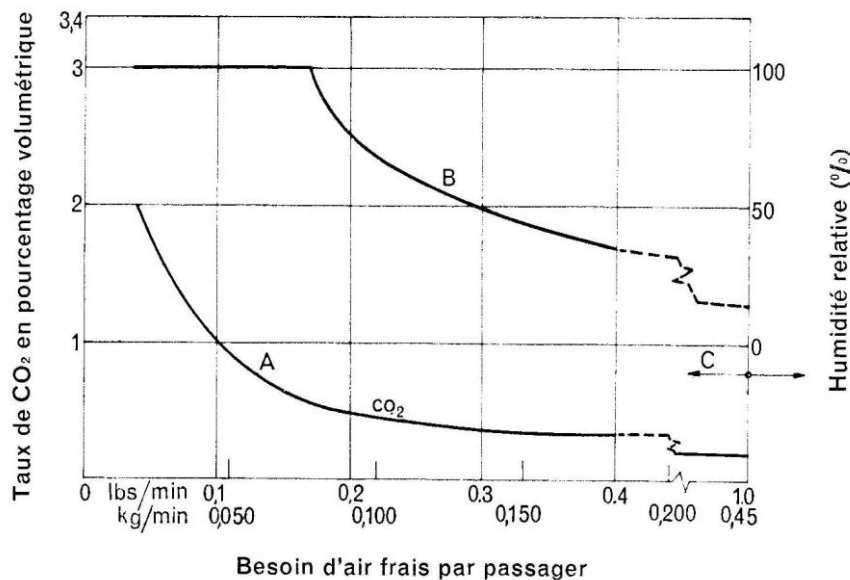
Une autre méthode consiste à utiliser des réservoirs thermiquement isolés qui contiennent du carburant préalablement refroidi au sol. Il suffit de refroidir jusqu'à - 18°C environ 10 à 20% de la quantité totale de carburant pour un vol sur une étape longue. Lorsque le carburant a rafraîchi l'air de la cabine grâce à un échangeur de chaleur (ce qui augmente sa température), il est mélangé avec le reste du carburant. Les frais qu'entraîne la réfrigération préalable sont vite amortis par le gain de poids que permet la suppression de certains éléments du système de bord.

Les deux installations que nous venons de décrire sont appelées généralement systèmes à air frais, car elles impliquent le renouvellement de l'air vicié par pompage de grosses quantités d'air frais. Cet air est refroidi avant son admission dans la cabine et à sa sortie, il refroidit les parois, assure l'aération et permet d'évacuer les mauvaises odeurs et la fumée des cigarettes. Pour éviter la stagnation d'odeurs désagréables, il faut un minimum de 0,45 kg d'air frais par minute et par passager.

La **figure 1** montre cependant qu'on peut se contenter d'une quantité bien inférieure si l'on tolère la présence d'odeurs désagréables et de fumée. Un débit d'air frais limité à 0,09 kg/mn par passager suffit à maintenir la concentration du gaz carbonique à un taux admissible (0,5%). L'utilisation d'une quantité restreinte d'air non vicié simplifie le problème de refroidissement de l'air chaud provenant de l'extérieur, mais on est alors amené à prévoir un recyclage de l'air de la cabine impliquant des opérations de filtrage, de rafraîchissement et de désodorisation. Or, on n'a pas encore réussi à mettre au point un dispositif d'élimination des odeurs donnant toute satisfaction tout en n'étant pas trop encombrant. Etant donné qu'un tel appareil doit - pour que son poids soit acceptable - fonctionner à la limite de ses possibilités, donc avec une forte probabilité de panne, les compagnies préfèrent adopter un système à air frais débitant au moins 0,45 kg/mn par passager et comportant le recyclage d'une faible masse d'air pour améliorer le rafraîchissement et la circulation de l'air en cabine.

On a fait également allusion à la trop grande sécheresse de l'air fourni par les systèmes de climatisation. Cela tient au degré hygrométrique pratiquement nul de l'air des couches supérieures de l'atmosphère. Mais à l'ère supersonique, les temps de vol seront si réduits que les passagers ne ressentiront probablement qu'à peine ce désagréable manque d'humidité. On pourra donc sans doute se passer d'un appareil de régulation hygrométrique.

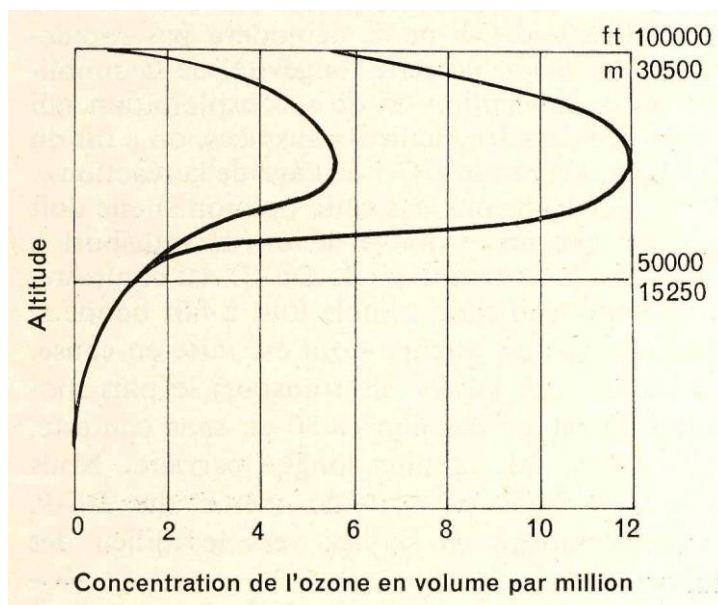
Figure 1 - Il suffit de 0,09 kg/mn (0,2 lb/mn) d'air frais par passager pour maintenir dans la cabine un taux admissible de CO₂. Mais l'élimination complète des odeurs et de la fumée demande 0,45 kg/mn (1 lb/mn) d'air frais par passager. La courbe A monte le taux de CO₂ en fonction de l'admission d'air frais, la courbe B représente l'humidité relative. Dans une cabine étanche où chaque passager dispose d'un volume de 1,98 m³ la concentration du gaz carbonique atteint en 3 heures, 3,4 volumes pour cent. L'axe d'ordonnée de droite sépare le domaine acceptable de celui où les odeurs et la fumée atteignent un niveau inacceptable



2 - Le danger de l'ozone.

L'action de différents facteurs dont le principal est le rayonnement ultra-violet du soleil engendre, dans les régions supérieures de l'atmosphère, une couche d'ozone à forte concentration que l'on rencontre entre 15 et 30 kilomètres d'altitude. Or c'est justement dans ce domaine qu'évolueront les appareils supersoniques. Comme le taux d'ozone y dépasse largement la concentration admissible (cf. Figure 2), il faut en éliminer la majeure partie avant d'admettre l'air dans la cabine. A bord des courriers à réaction actuels utilisant des niveaux de vol élevés, on trouve des concentrations de trois dix-millionièmes. Par contre, on ne peut pas détecter d'ozone à bord des bombardiers volant à haute altitude comme le B-52. Ce phénomène surprenant s'explique par l'instabilité de l'ozone (O_2) qui se décompose facilement en oxygène ordinaire (O_3) surtout sous l'influence de hautes températures ou de catalyseurs. Or, sur le B-52, l'air destiné à la pressurisation provient des compresseurs des réacteurs : il est donc très chaud. De plus, il passe dans le filtre catalytique chargé d'oxyder les vapeurs d'huile qui peuvent s'échapper des propulseurs par suite d'un manque d'étanchéité. Cette astuce technique permet donc d'éliminer du même coup et les vapeurs d'huile et de l'ozone. On voit qu'il n'est vraiment pas ni difficile ni onéreux de se débarrasser de ce gaz.

Figure 2 - Les deux courbes représentent le domaine où l'on trouve une concentration d'ozone admissible. Dans les appareils supersoniques, le taux d'ozone est supérieur à celui que l'on admet dans l'industrie ($1/10.000.000$). Mais la décomposition rapide de l'ozone réduit grandement le danger d'empoisonnement.

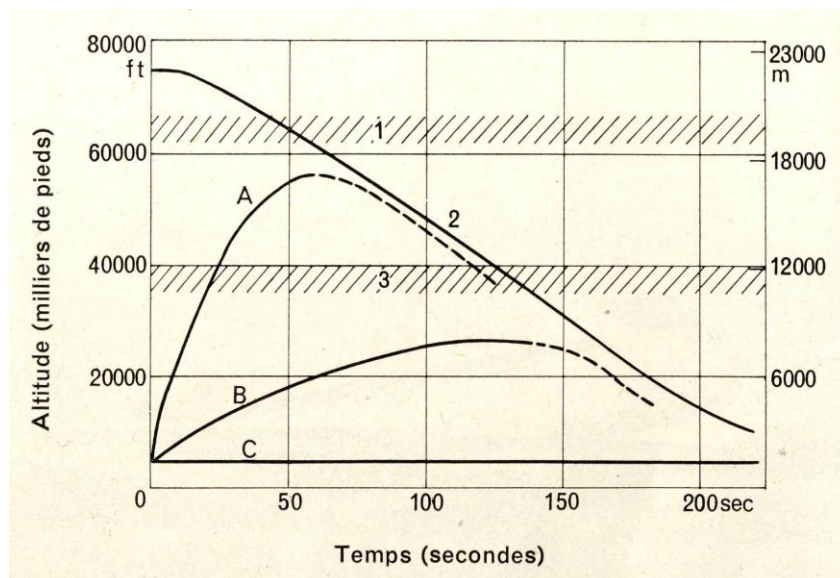


3 - La décompression accidentelle.

La décompression brutale de la cabine présente pour les avions pressurisés un danger redoutable, en particulier quand le temps nécessaire pour redescendre dans les basses couches de l'atmosphère dépasse le temps de survie possible. A bord des courriers à réaction actuels, chaque passager dispose d'un masque à oxygène qui est alimenté dès que la pression de l'air dans la cabine tombe à une valeur équivalente à celle qui règne à 4250 mètres. Mais cette installation de secours ne garantit pas une sécurité totale, car la décompression à 10 ou 11 kilomètres d'altitude entraîne la perte de conscience en dix secondes. Or, le passager est généralement pris au dépourvu par la catastrophe, si bien que ces dix secondes ne suffisent généralement pas pour ajuster le masque. Heureusement, il est tout de même possible de descendre de ces altitudes assez vite pour que l'on puisse sauver les passagers avec ou sans masque. Mais une décompression totale à 21.000 mètres signifie la mort certaine pour tous les occupants de l'appareil (à moins qu'ils ne portent une combinaison pressurisée). Il est donc indispensable que la construction même de l'appareil exclue la décompression brusque et totale. La cabine doit avoir une résistance très élevée et offrir le même degré de sécurité que les autres parties vitales de l'appareil (comme l'aile, par exemple).

Une autre possibilité consiste à donner à l'appareil une structure spéciale : toute fissure éventuelle de la cellule doit se limiter à une surface restreinte et prédéterminée de la cabine pressurisée. Il est donc tout à fait logique de donner aux fenêtres une dimension comparable à celle d'un trou qui peut se produire dans le revêtement. Si l'on adopte ce principe, il faut prévoir un système de conditionnement d'air capable d'assurer la survie des passagers en cas de perforation de la cabine et pendant toute la durée de la descente. La **Figure 3** montre comment varie la pression dans la cabine d'un avion (purement hypothétique) au cours d'une descente en détresse, en fonction de différentes surfaces de déchirures (l'alimentation en air est supposée constante). Certes, la décompression entraîne rarement la perte totale de l'appareil, mais aux vitesses supersoniques, elle est au moins aussi dangereuse qu'une défaillance d'un élément travaillant de la structure.

Figure 3 - Allure de la décompression pour différentes dimensions de déchirures dans la paroi de la cabine, l'alimentation en air frais étant supposée constante (68 kg/mn). Volume de la cabine 169 m³. **A** - Déchirure de 642 cm² ; **B** - Déchirure de 160 cm² ; **C** - Déchirure de 58 cm² ; **1** - Pression d'ébullition du sang ; **2** - Vitesse de descente en détresse 110 m/s ; **3** - Altitude maximale admissible pour l'usage du masque à oxygène.



4 - Le danger d'irradiation.

L'ionisation totale résultant du rayonnement cosmique est - en un lieu donné - une fonction de l'altitude. La dose de rayonnement reçue s'accroît également avec celle-ci car la couche d'air protectrice diminue. A 21.000 mètres d'altitude, l'intensité du rayonnement est trois fois plus grande qu'à 11.000 ou 12.000 mètres. Etant donné que l'on n'a constaté aucun effet nuisible de l'irradiation sur les passagers d'un appareil subsonique

volant à 12.000 mètres, il est évident qu'un vol à 21.000 mètres aux vitesses supersoniques sera tout aussi inoffensif puisque la durée se réduit pratiquement à un tiers.

Il existe cependant un autre danger : celui résultant des flux de protons qui se manifeste après les éruptions solaires. Alors que le rayonnement cosmique primaire est relativement constant en raison de son origine galactique, le rayonnement protonique se déclenche rapidement et avec une forte intensité. Une demi-heure après l'observation d'une éruption solaire (dans la mesure où celle-ci est effectivement suivie d'une émission protonique) le rayonnement commence à augmenter ; il peut atteindre en cinq ou six heures une intensité dix fois supérieure à la valeur normale du rayonnement primaire. Il faut d'ailleurs préciser que toute éruption solaire n'entraîne pas une émission de protons de forte intensité ; au contraire, une telle émission est un phénomène relativement rare.

De 1942 à 1960 on a enregistré moins de 60 éruptions suivies d'une forte émission protonique. On procède actuellement à des recherches qui devraient permettre une prévision à longue et courte échéances des rayonnements protoniques intenses qui, accompagnant les éruptions, semblent se répéter selon un cycle de onze ans. Même la méthode d'observation optique si imparfaite soit-elle, permet de lancer aux appareils en vol un avertissement général qui leur laisse le temps de redescendre à des altitudes moins dangereuses avant l'arrivée du rayonnement dans l'atmosphère. D'ailleurs les flux de protons subissent l'action du champ magnétique terrestre et ne se concentrent qu'au-dessus des régions polaires, épargnant les latitudes plus basses.

Les dangers d'irradiation sont beaucoup moins fréquents que les zones de tempête et d'orages et beaucoup plus facile à éviter que celles-ci. En général, l'intensité du rayonnement reste en dessous de la valeur critique ; on pense qu'une irradiation supérieure à cette valeur est inoffensive à condition d'être brève et occasionnelle. Mais en attendant une connaissance plus complète des effets du rayonnement protonique, il semble préférable d'éviter les zones suspectes en modifiant le plan de vol.

Il arrive aussi que de la poussière radioactive se dépose sur les appareils, en particulier aux entrées d'air. D'après ce que l'on connaît actuellement, le rayonnement dont elle est la source est très inférieur à la dose tolérable. La poussière radioactive est un sous-produit des expériences nucléaires et si les essais étaient poursuivis avec des bombes malpropres, ils pourraient représenter un jour un danger sérieux pour l'aviation. A ce sujet précisons que des filtres spéciaux relativement simples permettant de rendre inoffensives des quantités modérées d'éléments radioactifs.

5 - Le problème du bruit.

Presque tous les moyens de transport font du bruit : trains, autos, bateaux à moteurs, avions et même véhicules hippomobile. On peut cependant échapper à ce bruit en évitant de s'installer à proximité des gares, des autoroutes et des aéroports. Mais cela n'est hélas plus possible à l'ère supersonique. Ni les haies ni les près ni les bois ne peuvent amortir de bang transsonique. Cent passagers volant à Mach 2 troublent tout au long de leur route le repos de centaines de milliers d'hommes.

On étudie déjà les réactions du public aux effets secondaires fort désagréables du transport supersonique et l'on recherche le moyen de les atténuer. Pourtant on ne connaît encore qu'un seul remède efficace : tenir la source sonore aussi loin que possible des régions habitées. Cela amène à faire passer les routes aériennes au-dessus de régions inhabitées et à des altitudes aussi élevées que possible afin que le bruit soit fortement affaibli en arrivant au sol. Mais à quelle valeur peut-on considérer le niveau de bruit comme tolérable ? On en discute encore. Doit-on se tenir pour satisfait si le bang est assez atténué pour n'endommager aucun bâtiment ? Ou faut-il le réduire à un niveau assez bas pour ne pas réveiller les dormeurs ?

Aussi longtemps que l'on ne saura pas contrôler le bruit sonique, on sera obligé de voler à plus de 12.000 mètres, et cela même au-dessus de régions considérées comme déserte, car il peut toujours s'y trouver quelque nomade ou quelque voyageur dont on ne peut mettre la vie en danger. L'auteur de cet article a été le témoin d'une avalanche spectaculaire déclenchée de cette façon dans une montagne présumée inhabitée.

Pour résoudre les problèmes abordés ici et tous ceux qui peuvent se poser encore, il est indispensable de se persuader que l'avion supersonique est aussi radicalement différent des avions subsoniques que le "Mistral" l'est pour le chemin de fer départemental. Il faut donc créer des pistes, des installations aéroportuaires, des routes aériennes spécialement adaptées à ces caractéristiques de vol. De cette façon l'on parviendra à créer

un réseau de transport rapide, rentable et à gros débit bien plus vite que si l'on cherche à introduire à tout prix des appareils supersoniques dans le réseau classique qui est déjà surchargé.

Nous pensons avoir prouvé que le transport aérien supersonique ne pose aucun problème insoluble et nous pouvons répondre oui à la question que posait notre titre. Le transport aérien est parfaitement possible à Mach 2 et Mach 3.

Nous vous proposons maintenant un pari. A quelle date paraîtra notre futur article :

"Le transport hypersonique est-il compatible avec la sécurité des passagers ?"

+++++