

TAI Voix & Image

Le Bang Sonique



XXXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXXXXXX

28 Mai 2008
Groupe A
L1

Sommaire

EXPLICATION DU PHENOMENE	1
QU'EST CE QUE LE MUR DU SON ?	2
QU'EST CE QUE LE MACH ?	3
• Si $v < a$ ($MA < 1$) :	3
• Si $MA = 1$:	3
• Si $MA > 1$:	4
• CONES DE MACH :	4
CONCLUSION	5

Explication du phénomène

Afin de bien comprendre pourquoi on peut entendre un grand "bang" au passage de certains avions au dessus de nos têtes, il faut tout d'abord s'intéresser à la nature du son émis.

N'importe quel bruit est, comme vu en cours, une succession de *vibrations*. Ces vibrations sont en réalité les molécules d'air qui s'entrechoquent les unes contre les autres. Une *impulsion* (prenons pour exemple le son d'une corde de guitare) met en mouvement quelques molécules d'air. Ces molécules viennent frapper leurs voisines, qui frappent à leur tour leurs voisines, et c'est ainsi que se propage un son...

Ce son se déplace donc ainsi dans l'air. Il est important de noter que le son a une vitesse : celle des molécules qui s'entrechoquent les unes à la suite des autres :

En conditions normales, une onde se déplace à la vitesse d'environ **340 m.s⁻¹**.

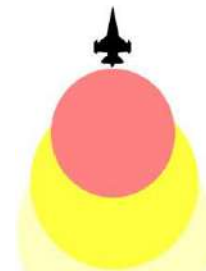
Quand un avion est en vol, il provoque la mise en mouvement de toutes les molécules d'air qu'il croise. Il "produit" donc un bruit. Pour la plupart des avions, ils volent moins vite que le son et les ondes sonores sont évacuées en avant de l'appareil (voir schéma). Mais quand un avion se rapproche de la vitesse fatidique des 340 m.s⁻¹, le son qu'il génère est "rattrapé" par l'appareil lui-même, ce qui crée un "mur" d'ondes juste devant son nez.



Quand l'avion est immobile sur la piste, les ondes sonores émises par ses réacteurs s'éloignent de lui à vitesse constante, de façon concentrique. Quand l'avion vole aussi vite que le son qu'il produit, il "rattrape" constamment les ondes sonores qu'il vient d'émettre. L'air dans lequel il évolue est donc très agité (puisque le son est un déplacement de l'air).

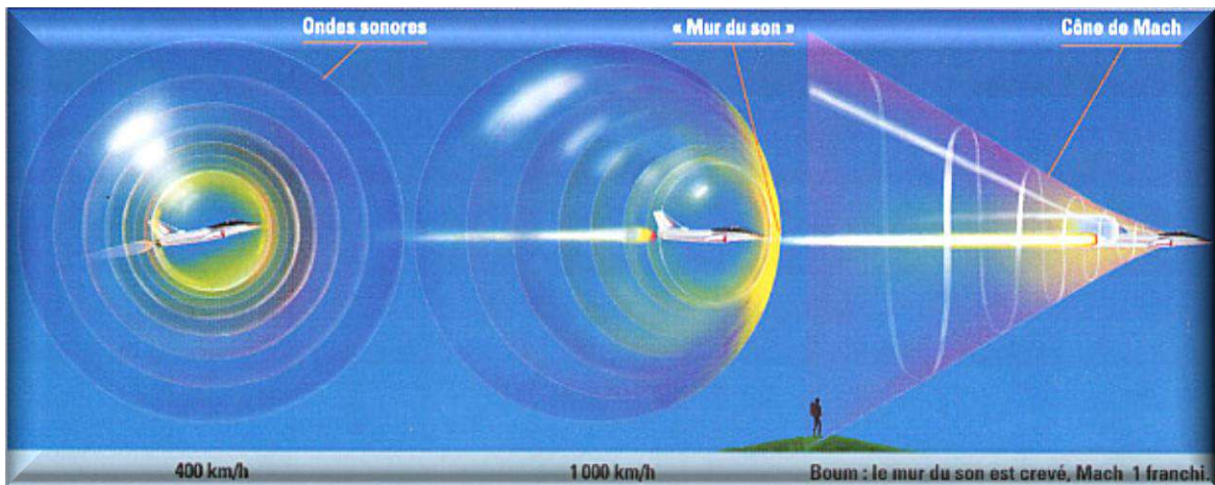


Lorsqu'il atteint la vitesse du son, le phénomène se produit : on n'entend plus l'avion s'approcher parce qu'il va plus vite que ses propres ondes sonores. Au lieu de se diffuser au devant de l'avion, les ondes sonores forment un cône derrière l'avion. Ce cône est une onde de choc : à son passage, on ressent un changement dans la pression de l'air : après le "Bang" caractéristique, le bruit des réacteurs nous parvient normalement.



Si l'avion veut franchir ce "mur", il faut qu'il accélère fortement. On entend alors ce gros "bang". Pendant ce temps, l'avion continue à fabriquer des ondes sonores, qui persistent à aller moins vite que lui. C'est pourquoi le "bang" du mur de son continue de se faire entendre tant que l'avion se déplace à vitesse supersonique.

Qu'est ce que le mur du son ?



On l'entend parfois, cet énorme "Bang" que font les avions supersoniques. C'est toujours très surprenant car on n'entend jamais le bruit des réacteurs avant. Ce n'est qu'après que l'on le perçoit bien, mais il est déjà passé...

On le sait tous, passer le mur du son, c'est aller plus vite que le son, c'est à dire 340 m/s. Mais pourquoi un tel bruit?

Le son est une onde qui se propage depuis la source à la façon des vagues créées par un caillou tombé dans l'eau. Comme dit précédemment, ce qui se propage, ce sont les oscillations des molécules d'air.

Le mur du son correspond à l'ensemble des phénomènes aérodynamiques qui se produisent quand un objet se déplace dans l'air avec une vitesse voisine de la célérité du son. Expliquons-nous :

Les ondes de choc rencontrées à la vitesse du son (appelé Mach 1, nous le verrons plus tard) forment devant l'appareil une véritable barrière d'air fortement comprimé à laquelle on a donné le nom de "Mur du son".

Le passage de ce mur (déclenchant ce fameux "bang") sont des ondes de choc se formant lorsque l'écoulement de l'air tout autour de l'avion atteint précisément la vitesse du son (qui varie elle-même en fonction de l'altitude et de la température).

*NB : vitesse évaluée à 1227 km/h en atmosphère standard (15°C) au niveau de la mer
1.065 km/h à 11 km du niveau de la mer
reste à peu près constante dans la stratosphère*

Qu'est ce que le Mach ?

Le nombre de Mach est un nombre sans dimension exprimant le rapport de la vitesse locale d'un fluide sur la vitesse du son dans ce même fluide (ici, l'air) :

$$\frac{v_{\text{locale}}}{v_{\text{son}}} \quad \text{soit} \quad M = \frac{a}{c}$$

où : a est la vitesse de l'objet
 c la vitesse locale du son.

Lorsqu'un objet solide (ici un avion) est en mouvement par rapport à un fluide (l'air), on peut associer à l'avion un nombre de Mach en considérant la vitesse relative de l'écoulement autour de lui.

On dit ainsi qu'il vole à Mach 1 si sa vitesse est égale à celle du son, à Mach 2 si sa vitesse représente deux fois celle du son, et ainsi de suite.

Il est nommé du physicien et philosophe autrichien *Ernst Mach*.

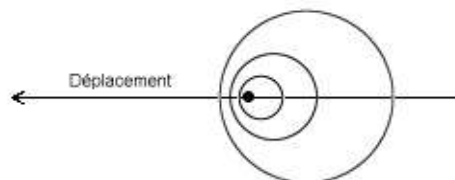
Le Mach mesure le rapport entre les forces issues du mouvement et de *compressibilité* du fluide.

La *vitesse de propagation* (ou *célérité*) du son représente la vitesse de propagation de tout ébranlement produit dans le milieu.

Il ne faut pas oublier que la vitesse varie en fonction de l'*altitude* et de la *température*.

Dans ce qui suit, un avion en mouvement uniforme à la vitesse v sera assimilé à un point.

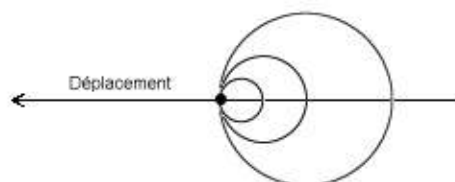
Écoulement subsonique



- Si $v < a$ ($Ma < 1$) :

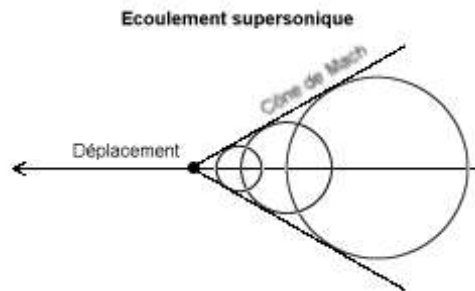
L'avion se trouve en permanence à l'intérieur des sphères de perturbation qui ont été créées précédemment. L'observateur fixe ressent le son très faible des premières sphères très dilatées, puis l'intensité augmente jusqu'à ce que l'avion soit le plus proche et diminue jusqu'à l'extinction.

Écoulement sonique



- Si $Ma = 1$:

L'avion colle en permanence l'avant de toutes les sphères créées. La superposition d'une multitude de petites perturbations crée une grosse perturbation qui augmente considérablement la résistance de l'air : c'est le mur du son.



- Si $Ma > 1$:

L'avion laisse toutes les sphères de perturbation derrière lui. Un raisonnement simple montre qu'elles sont toutes tangentes à un cône appelé cône de Mach. Hors du *cône de Mach*, à l'avant de l'avion, c'est le silence absolu car aucune perturbation n'a encore atteint l'observateur.

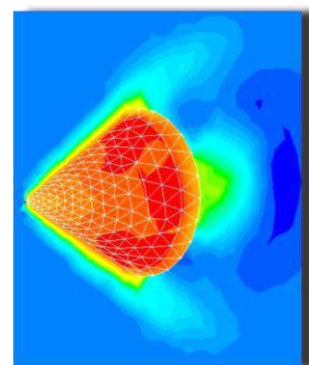
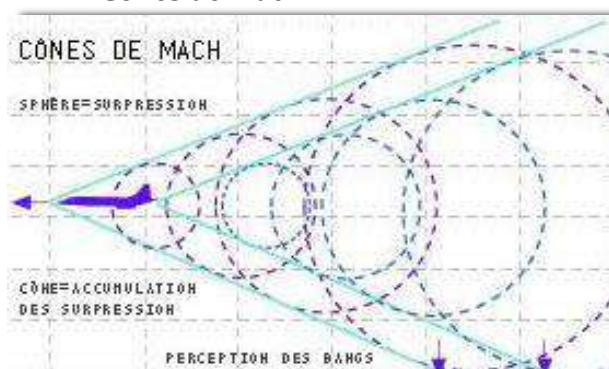
Finalement, on distingue généralement les quatre plages de vitesses suivantes :

$Ma < 0,94$: l'écoulement *subsonique*,
 $0,94 < Ma < 1,2$: l'écoulement *transsonique*,
 $1,2 < Ma < 5$: l'écoulement *supersonique*,
 $5 < Ma$: l'écoulement *hypersonique*.

On notera que l'on peut négliger la *compressibilité de l'air* pour les nombres de Mach inférieurs à 0,3 environ.

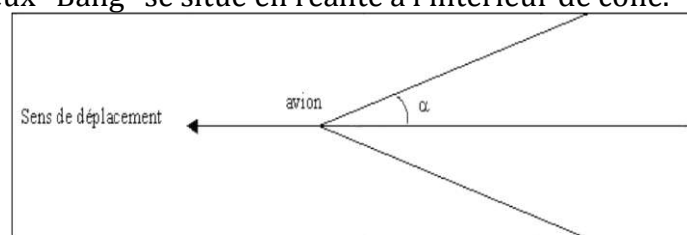
Après le passage du mur du son, le vol redevient normal, à condition que les formes du fuselage et de la voilure soient convenablement adaptées à la formation du cône : l'avant du fuselage doit être pointu, les bords d'attaque en lame de couteau. Une fois franchi le domaine transsonique (Mach 0,9 à Mach 1,1) les troubles disparaissent et on retrouve la simplicité des lois de l'aérodynamique, surtout de Mach 2 à Mach 4.

- Cônes de Mach :



On obtient donc le *Cône de Mach* est formé par les ondes sonores émises par l'avion qui le précède. Il correspond à un écoulement en trois dimensions engendré par l'avant de l'avion. Il faut savoir que le fameux "Bang" se situe en réalité à l'intérieur de cône.

Le demi-angle α : $\sin(\alpha) = \frac{1}{M}$



Conclusion



Même s'il a été démontré que dans certains cas particuliers le passage du mur du son peut être gênant pour l'homme et causer quelques légers dégâts matériels, en aucun cas il ne peut être considéré comme dangereux pour la santé humaine. Malheureusement la nappe de choc qui détermine la portion d'espace touchée par l'onde sonore est physiquement " incontrôlable " par l'homme. En effet les caractéristiques de propagation de l'onde sonore (que l'on visualise à travers la formation du *cône de Mach*) entraîne obligatoirement la création de bandes d'environ 70 km de large où le bang sera entendu.