

Connaissances de base

Écoulement stationnaire des fluides compressibles

Écoulement avec variation du volume

Pour les gaz, on fait la distinction entre écoulement à volume constant (incompressible) et écoulement avec modification du volume (compressible). Pour l'écoulement incompressible de gaz, on observe, comme pour l'écoulement d'un liquide, les processus d'écoulement.

En cas de modifications plus importantes de la pression et de la température du fluide sous forme gazeuse, on ne peut plus négliger les rapports de corrélation qui existent entre la pression, la température et le volume. Cet écoulement est qualifié de compressible. Le rapport suivant s'applique ici pour les gaz idéaux:

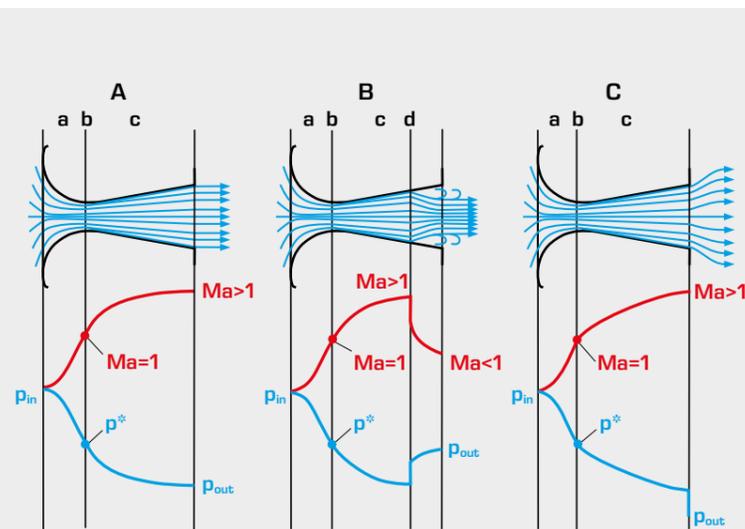
$$p \cdot V = m \cdot R \cdot T$$

Dans ce contexte on parle aussi de "écoulements compressibles", alors que ce sont les fluides qui sont compressibles – pas les écoulements.

Lorsque la vitesse d'un écoulement gazeux est supérieure à Ma 0,3, ce dernier doit être considéré comme compressible. Pour l'air, cela correspond à environ 100m/s à 1bar et 0°C. Les pressions dynamiques qui se forment ici dans l'écoulement sont de 60mbar au maximum.

En dessous de ces valeurs limites, on peut considérer avec une bonne approximation un écoulement de gaz comme étant un fluide incompressible. L'écoulement dans une soufflante ou l'écoulement autour d'une voiture peuvent être par exemple considérés comme incompressibles. Sur les turbocompresseurs, les turbines à gaz ou à vapeur, les buses, les avions rapides ou les fusées, il faut considérer au contraire l'écoulement comme étant compressible.

Écoulement compressible dans le domaine technique



Écoulements traversant une buse convergente-divergente (buse Laval) pour diverses contre-pressions

- A** buse "adaptée" avec rapport de pression optimal. Une vitesse supersonique est mesurée à la sortie de la buse.
B il se forme un choc de compression dans la partie divergente de la buse, suivie d'une vitesse subsonique. On observe des pertes d'écoulement causées par le décollement d'écoulement.
C post-expansion avec propagation du faisceau derrière la sortie de la buse. On assiste à des pertes d'écoulement.

a zone convergente, **b** section la plus étroite, **c** zone divergente,
d choc de compression, **p*** rapport de pression critique, **Ma** nombre de Mach;
 courbe de vitesse, évolution de pression

Écoulement d'ultrasons

Les propriétés des écoulements d'ultrasons se distinguent fortement des écoulements de vitesse subsonique et sont donc des phénomènes particulièrement intéressants.

Alors que les écoulements d'infrasons sont accélérés par une réduction de la coupe transversale et décélérés dès l'augmentation de cette coupe transversale, on observe le comportement inverse sur les écoulements d'ultrasons.

Sur les écoulements d'ultrasons, une variation de la coupe transversale peut causer de faibles chocs de compression, alors que sur les écoulements subsoniques, ce sont les séparations d'écoulement qui constituent un danger.

D'un point de vue général, la vitesse supersonique est réduite par des chocs de compression. Un choc de compression entraîne une réduction brusque de la vitesse, suivie d'une augmentation toute aussi rapide de la pression et de la température. On distingue entre les chocs de compression obliques et droites. Un choc oblique réduit brusquement la vitesse, sans passer dans le domaine des infrasons. Par opposition, un choc droit est toujours suivi d'une vitesse subsonique.

Pour réduire les pertes des diffuseurs d'ultrasons à un minimum, on associe plusieurs chocs de compression obliques, suivi d'un choc de compression droite.

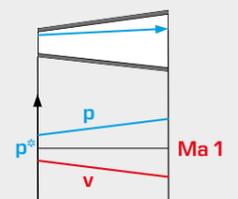
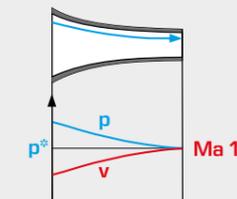
Buse

L'écoulement est accéléré, la pression diminue

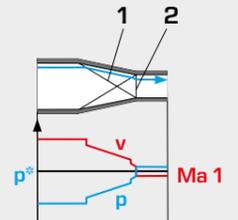
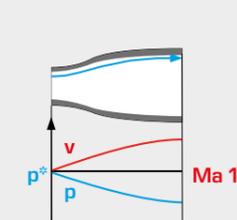
Diffuseur

L'écoulement est décéléré la pression augmente

Plage des infrasons
Ma < 1



Plage des ultrasons
Ma > 1



Évolution de pression et de vitesse

v vitesse, **p** pression, **p*** rapport de pression critique,
1 choc de compression oblique, **2** choc de compression droite

Vitesse du son mesurée dans les gaz

$$c = \sqrt{\kappa R T}$$

c vitesse du son, **κ** exposant adiabatique,
R constante du gaz, **T** température

Expression de la vitesse en nombre de Mach

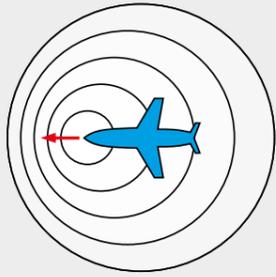
$$Ma = \frac{v}{c}$$

Ma nombre de Mach, **v** vitesse du fluide,
c vitesse du son

Connaissances de base

Écoulement stationnaire des fluides compressibles

Écoulement autour de corps et déplacement à la vitesse supersonique

Infrasons
Ma < 1

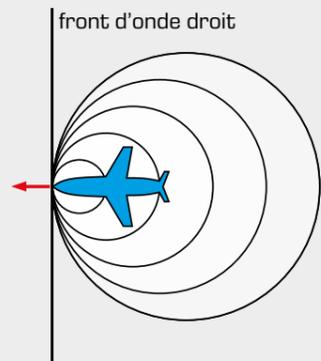
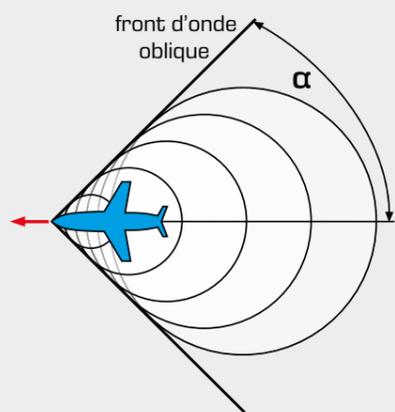
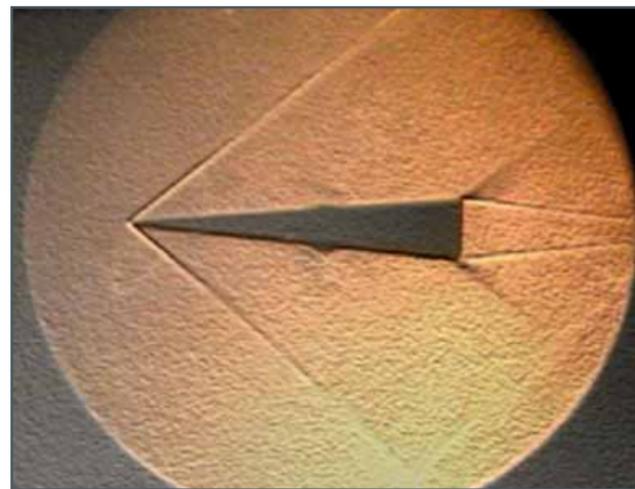
À une vitesse subsonique, le son émis par le corps se propage vers l'avant, ce qui n'est pas le cas dans la plage des ultrasons. Ici, les ondes sonores forment un front commun de forme conique, le cône de Mach. L'angle d'ouverture du cône est à l'origine du nombre de Mach.

Angle du cône de Mach

$$\sin \alpha = \frac{1}{Ma}$$

Ma nombre de Mach, α angle de Mach

Un exemple typique d'un front d'onde est le "bang supersonique" d'un avion circulant à une vitesse supersonique. Ici, le front d'onde surprend l'observateur par sa variation brusque de la pression, que ce dernier perçoit comme un bang.

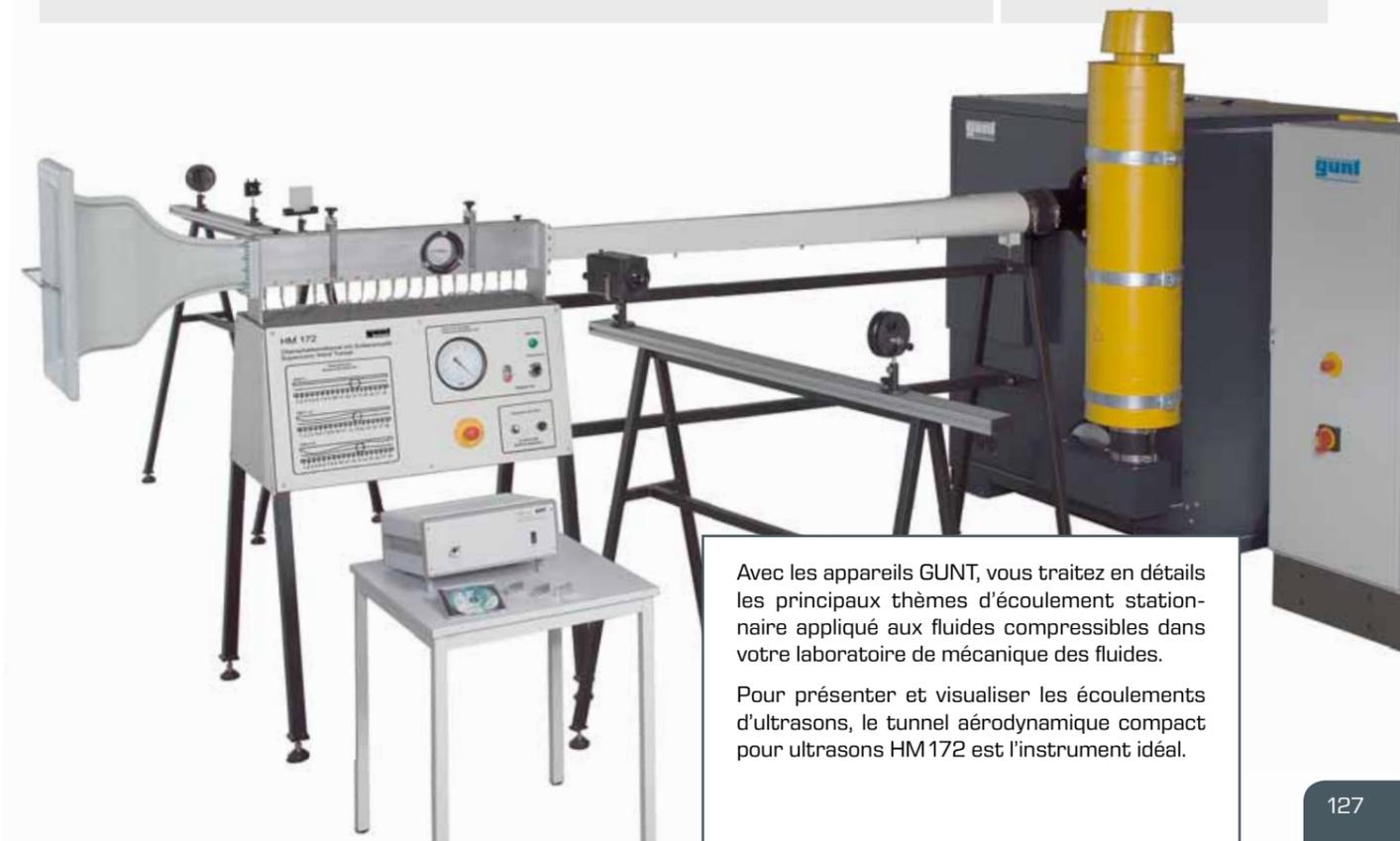
Vitesse du son
Ma = 1Ultrasons
Ma > 1

Fronts d'onde obliques (cône de Mach) sur un corps de résistance conique à Ma=1,59

Propagation des ondes sonores à différente vitesse de la source sonore dans un milieu

Le tableau montre un extrait du programme pédagogique classique en école d'ingénieur. Les appareils GUNT couvrent dans une très large mesure ces contenus didactiques.

Contenus didactiques de l'écoulement stationnaire des fluides compressibles	Produits GUNT
Évolution de pression et de vitesse dans l'écoulement dans un tuyau	HM 230
Théorème de Bernoulli sur les fluides gazeux	HM 230
Propagations aux embouchures Rapport de pression critique Vitesse critique	HM 260, HM 261
Vitesse du son	HM 261, HM 230, HM 172
Écoulement maximum d'une masse	HM 261, HM 230, HM 260
Écoulement mesuré sur des buses avec extension Comportement de la buse Laval à contre-pression variable	HM 260, HM 261
Déplacement à la vitesse du son	HM 172
Propagation de l'écoulement dans une fente et un labyrinthe	



Avec les appareils GUNT, vous traitez en détails les principaux thèmes d'écoulement stationnaire appliqué aux fluides compressibles dans votre laboratoire de mécanique des fluides.

Pour présenter et visualiser les écoulements d'ultrasons, le tunnel aérodynamique compact pour ultrasons HM 172 est l'instrument idéal.