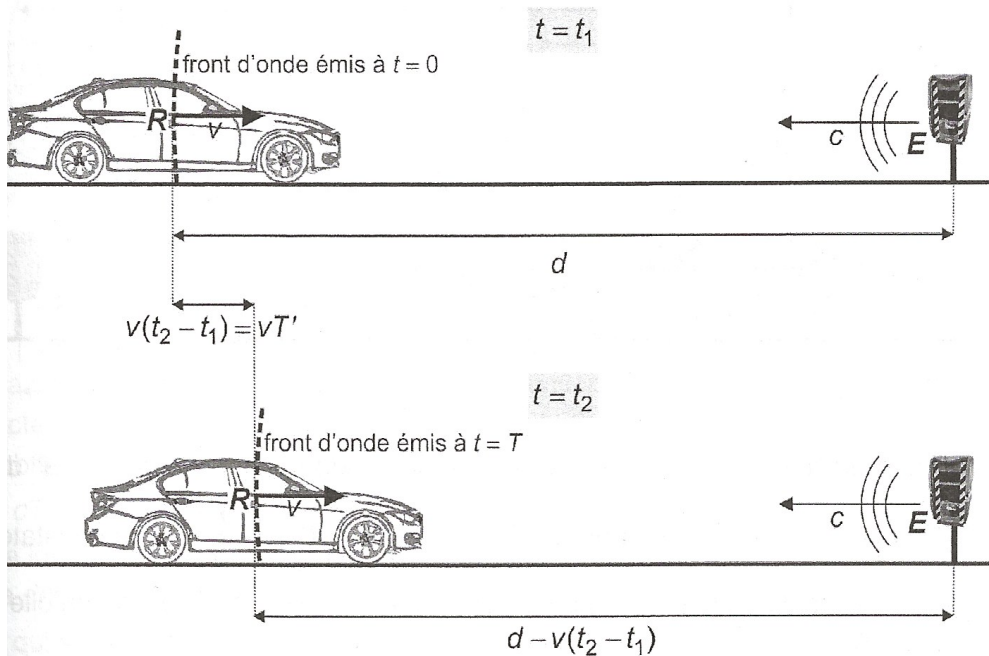
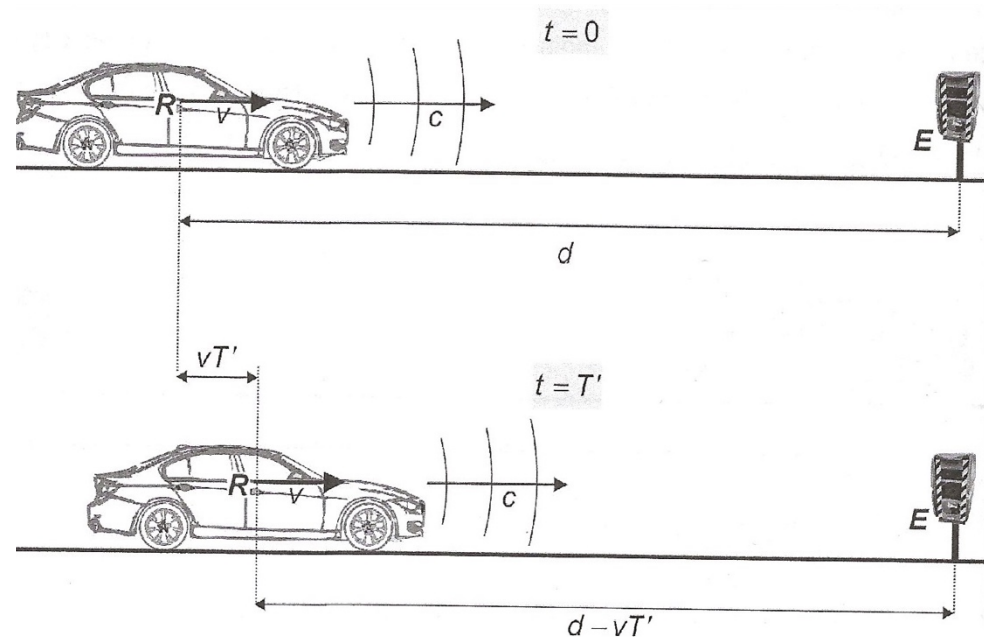


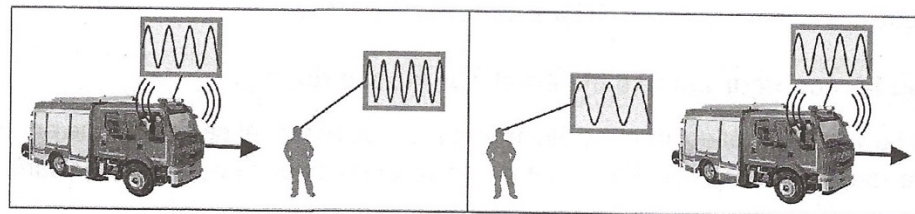
Effet Doppler – Emetteur fixe E et récepteur mobile R



Effet Doppler – Récepteur fixe E et émetteur mobile R



Dans le domaine des ondes **sonores**, le cas d'une source mobile est par exemple celui d'un camion de pompiers qui émet une sirène. Une personne immobile sur le bord de la route perçoit un son plus aigu si le camion se rapproche d'elle alors qu'elle perçoit un son plus grave lorsqu'il s'en éloigne.

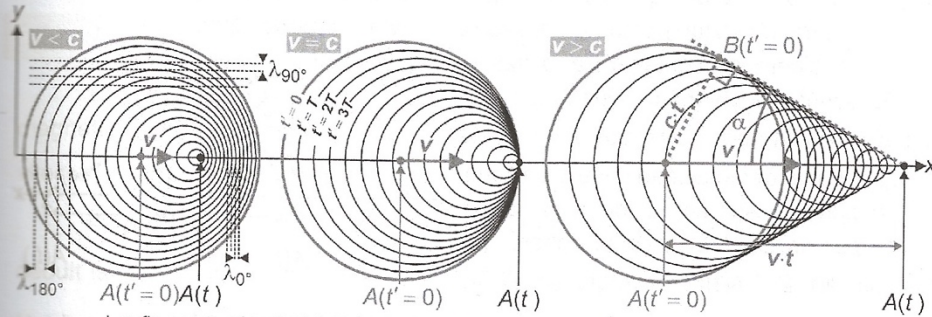


Pour aller plus loin : effet Doppler par émission d'ondes sphériques

Prenons maintenant le cas d'un avion, source sonore ponctuelle A se déplaçant à la vitesse $\vec{v} = v\vec{e}_x$ (avec $v > 0$), par rapport au référentiel \mathcal{R} où la vitesse de l'onde est c . L'avion émet des ondes sphériques de période $T' = 1/f'$ dans son propre référentiel. On peut appréhender l'effet Doppler en traçant à la date t fixée les fronts d'onde

émis antérieurement par la source à $t' = 0$, $t' = T'$, $t' = 2T'$, etc. Dans le plan $z = 0$ contenant l'avion, ses coordonnées à la date $t' \in [0, t]$ sont $\begin{cases} x_A = vt' \\ y_A = 0 \end{cases}$.

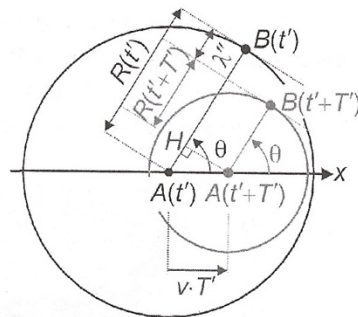
L'onde sphérique émise à t' se propageant à la célérité c par rapport à \mathcal{R} , son rayon à t fixé est $R(t') = c(t - t')$.



Les figures représentent à un instant t les fronts d'onde générés auparavant par l'avion.

Plaçons-nous dans le cas d'un vol *subsonique* : $v < c$.

La figure ci-contre dans le plan $z = 0$ permet de calculer la longueur d'onde λ'' dans la direction caractérisée par l'angle algébrique θ avec l'axe Ax . On obtient $\lambda'' = R(t') - R(t'+T') - A(t')H$, soit : $\lambda'' = cT' - vT' \cos \theta = \lambda'(1 - v \cos \theta / c)$, où $\lambda' = cT'$ est la longueur d'onde dans le référentiel de l'avion. On a donc $T'' = T'(1 - v \cos \theta / c)$. Pour un récepteur vers qui se dirige l'avion, $\lambda''_{90^\circ} = \lambda'(1 - v/c) < \lambda'$, et on retrouve $f'' = f' / (1 - v/c)$, alors que pour un récepteur de qui l'avion s'éloigne, $\lambda''_{180^\circ} = \lambda'(1 + v/c) > \lambda'$, et on retrouve $f'' = f' / (1 + v/c)$.



Enfin, dans la direction transversale au déplacement de l'avion, $\lambda''_{90^\circ} = \lambda'$: il n'y a pas d'effet Doppler. C'est ce qu'on observe sur la simulation ci-dessus où les fronts d'onde sont des sphères qui ne se coupent pas, rapprochées en avant de l'avion et éloignées en arrière.

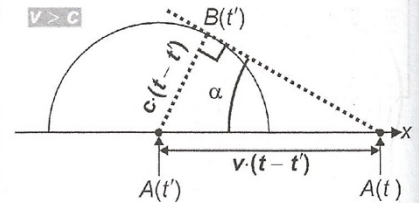
Le calcul effectué est rigoureux en tout point de l'axe Ax sur lequel se déplace l'avion car, en ce point, l'angle θ (0° ou 180°) est indépendant de la position de l'avion. Il est également hors de cet axe, c'est-à-dire pour θ différent de 0 et de 180° , en un point à l'infini, mais n'est qu'une approximation en un point à distance finie de l'avion, d'autant meilleure que le point est éloigné.

Plaçons-nous maintenant dans le cas d'un vol *supersonique* : $v > c$.

Les fronts d'onde sphériques se coupent et leur enveloppe à la date t est un cône (cône de Mach) comme on le voit sur la simulation. Le sommet de ce cône est la

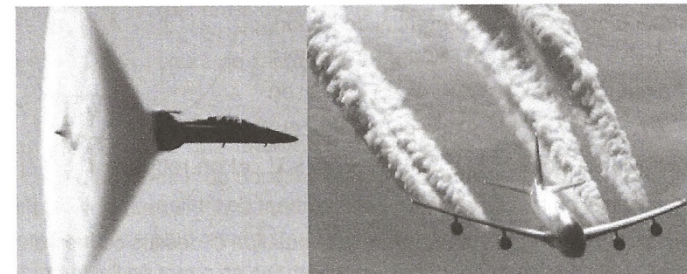
position de l'avion à t , et on note α son demi-angle au sommet. Contrairement au cas $v < c$ où les fronts d'onde arrivent progressivement (sans discontinuité) dans le récepteur, seuls les points à l'intérieur du cône reçoivent le son émis par l'avion. Prenons un récepteur $B(t' = 0)$ se trouvant sur le cône à la date t , et qui reçoit le front d'onde émis par l'avion à $t' = 0$. Il reçoit en même temps tous les fronts d'onde émis au voisinage de $t' = 0$, d'où une grande intensité sonore (onde de choc) qui correspond au « bang » caractéristique perçu au passage d'un avion supersonique.

Considérons maintenant à la date t l'onde sphérique de rayon $R(t') = c(t - t')$ générée en $A(t')$ à une date $t' < t$ quelconque. La tangente à cette sphère passant par la position $A(t)$ de l'avion à la date t passe par un point $B(t')$ de la sphère. Le triangle $A(t')B(t')A(t)$, rectangle en $B(t')$,



permet de trouver l'angle α : $\alpha = \arcsin \left[\frac{c(t-t')}{v(t-t')} \right]$, soit $\alpha = \arcsin \left[\frac{c}{v} \right]$. Cette angle, indépendant de t' , montre bien l'existence du cône de Mach.

Selon les conditions atmosphériques, la brusque variation de pression et de température peut entraîner la formation de cristaux de glace sur le cône de Mach, comme cela arrive, dans le cas subsonique, en bout d'aile où règne une forte dépression, et surtout en sortie des réacteurs.



Onde de choc.

Trainée de condensation.