Effet Doppler

Réf. DOPPLER2

I. PRESENTATION

1. Définition de l'effet Doppler (Wikipédia)

« L'effet Doppler ou effet Doppler-Fizeau est le décalage de fréquence d'une onde acoustique ou électromagnétique entre la mesure à l'émission et la mesure à la réception lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur varie au cours du temps. Si on désigne de façon générale ce phénomène physique sous le nom d'effet Doppler, on réserve le terme d'« effet Doppler-Fizeau » aux ondes lumineuses.
Cet effet fut présenté par Christian Doppler en 1842 dans l'article Sur la lumière colorée des étoiles doubles et de quelques autres astres du ciel (Über das farbige Licht der Doppelsterne und einige andere Gestirne des Himmels), confirmé sur les sons par le chercheur néerlandais Ballot (en utilisant des musiciens jouant une note calibrée sur un train de la ligne Utrecht-Amsterdam), et fut également proposé par Hippolyte Fizeau pour les ondes électromagnétiques en 1848. »

2. Composition et matériel complémentaire indispensable

a. Composition

- 1 banc composé de 2 rails, d'un boitier électronique, d'une fourche optique.
- 1 bloc secteur 230 V / 12 V AC
- 1 frein en caoutchouc
- 11 vis en plastique M4

b. Matériel complémentaire conseillé

• 1 récepteur ultrason	Réf. USONRCP
• 1 émetteur ultrasons	Réf. USONEMT
• 1 oscilloscope numérique 2 voies	Réf. OSCN30-V
• 1 capot de protection Doppler	Réf. CAPODOP
• 2 cavaliers ultrasons sur tige	Réf. USONCAV2
• 1 fourche optique avec affichage numérique	Réf. BEESPI

3. Principe & description

a. Principe

Le dispositif présenté ici permet d'étudier l'Effet Doppler dans le cadre d'ondes mécaniques, à l'aide de transducteurs à ultrasons.
Le dispositif consiste en un banc composé de 2 rails sur lesquels coulisse un mobile propulsé à l'aide de 2 élastiques type tendeurs. Une poignée crantée permet de régler l'allongement des élastiques et donc de propulser le mobile à une vitesse pouvant aller de quelques m/s à une dizaine de m/s.
Selon les positions de l'émetteur et du récepteur, il est possible de faire fonctionner le dispositif dans différentes configurations :

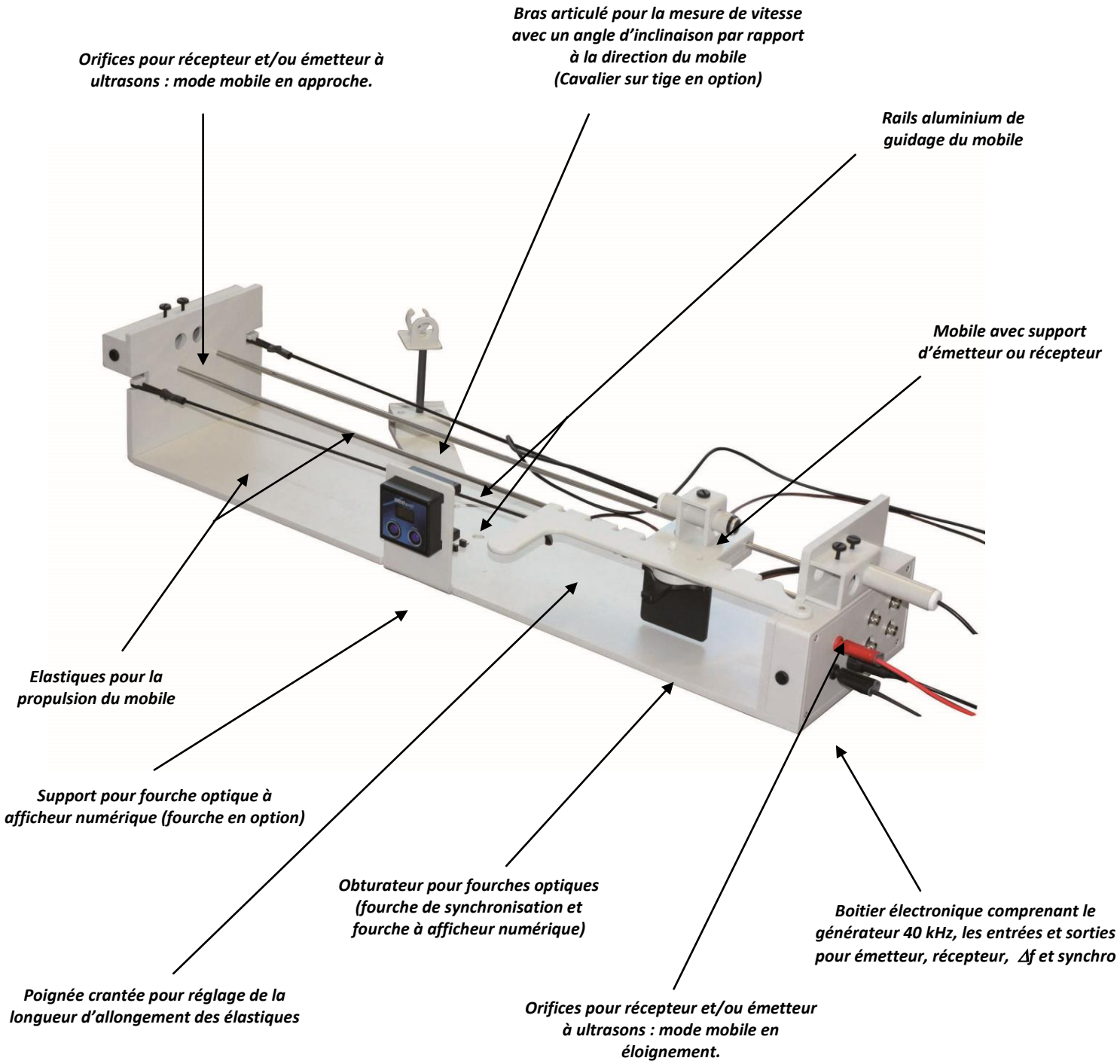
- réception d'ondes émises par une source en mouvement (s'approchant ou s'éloignant) dans l'axe du mouvement ou avec un angle d'inclinaison.
- Radar : émetteur et récepteur pointés vers le mobile, dans l'axe du mouvement ou avec un angle d'inclinaison.

Un boitier électronique situé à l'extrémité du banc fournit le générateur 40 kHz nécessaire au fonctionnement de l'émetteur ultrasons. Il suffit de connecter ensuite l'émetteur et le récepteur au dispositif et de visualiser à l'oscilloscope (ou l'aide d'une interface ExAO) le signal du récepteur (amplifié) et de l'émetteur, ou directement le signal correspondant au décalage en fréquence Δf.

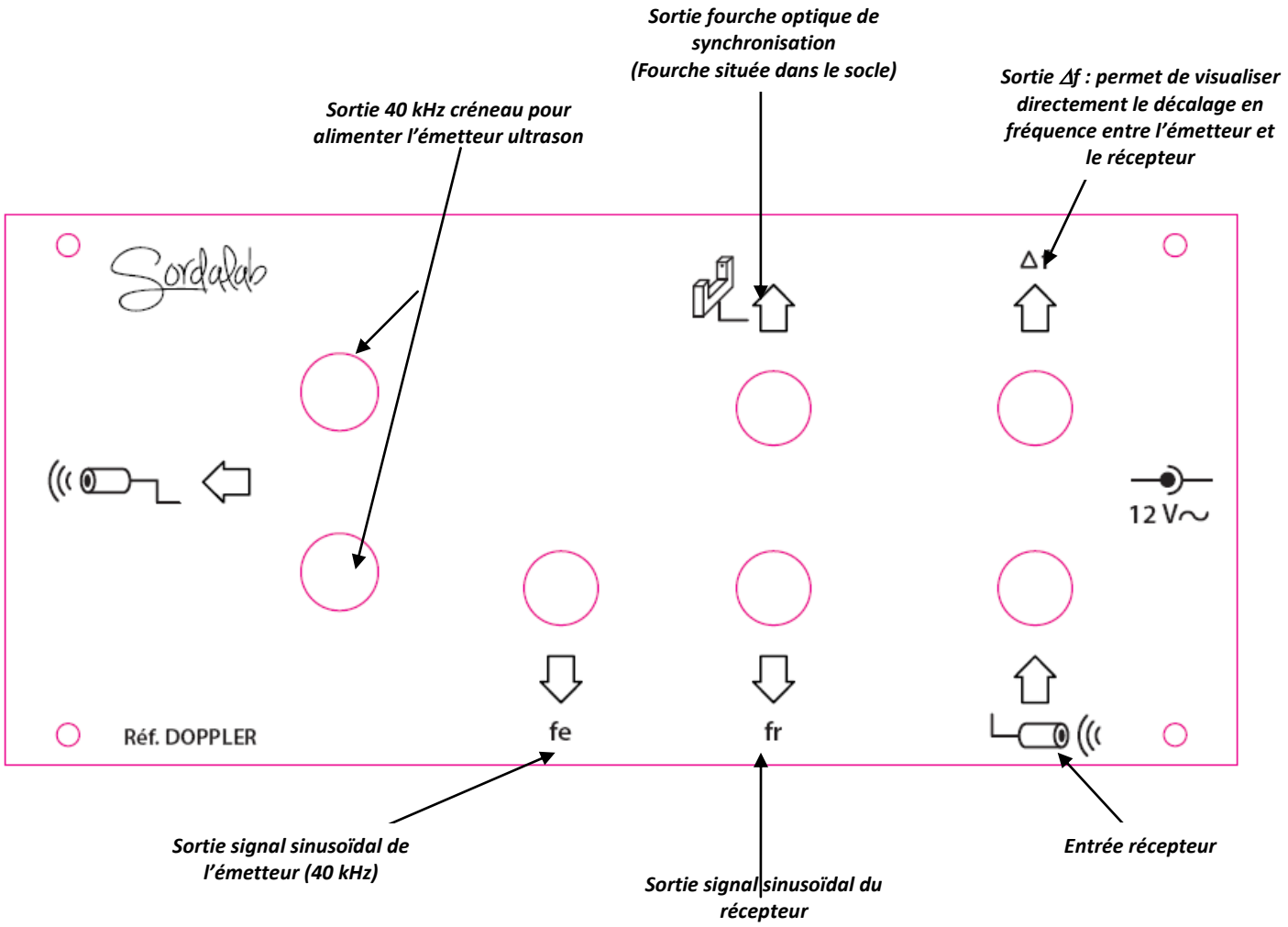
Afin de contrôler les vitesses déduites de ces signaux, il est possible de disposer une fourche optique à affichage (réf. BEESPI) sur le côté. Celle-ci donne la vitesse de passage du mobile au centre du banc.
Un frein en caoutchouc coulissant sur le banc permet de freiner efficacement le mobile avant que celui-ci n'atteigne l'extrémité du banc.

b. Description

i. Présentation générale



ii. Boitier électronique :



c. Sortie Δf

i. Intérêt et avantages

La sortie BNC notée « Δf » sur le boitier électronique permet de visualiser directement à l'oscilloscope un signal de fréquence égale au décalage Doppler $\Delta f = f_E - f_R$.
Très pratique et simple d'utilisation, elle permet de déterminer avec précision de faibles décalages en fréquence correspondant à des vitesses du mobile très lentes. Par exemple, pour une vitesse du mobile de 0,1 m/s, le décalage en fréquence pour un émetteur ultrason réglé à 40 000 Hz est de seulement 11,7 Hz. Un tel décalage est bien sûr imperceptible en comparant à l'oscilloscope le signal du récepteur à celui de l'émetteur.

ii. Inconvénients

L'inconvénient de ce signal est qu'il est généré électroniquement et constitue donc une « boîte noire » pour l'élève qui ne peut constater effectivement le décalage en fréquence en mesurant les périodes des signaux émetteur et récepteur.

iii. Principe de fonctionnement

Ce signal périodique de fréquence Δf est obtenu simplement en multipliant à l'aide d'un multiplieur AD633 le signal issu de l'émetteur et celui du récepteur, puis en filtrant les signaux de hautes fréquences (c'est-à-dire ceux autour de 80 kHz).

Supposons que :

- Le signal de l'émetteur ait pour forme : $S_E(t) = S_E.\cos(2\Delta.f_E.t)$
- Le signal du récepteur ait pour forme : $S_R(t) = S_R.\cos(2\Delta.f_R.t)$

A l'aide d'un simple multiplieur (AD633), on multiplie ces 2 signaux :

$S(t) = S_E(t) \times S_R(t) / 10$ (facteur 10 intrinsèque au composant AD633)
$S(t) = S_E \times S_R \times \cos(2\Delta.f_E.t) \times \cos(2\Delta.f_R.t)$

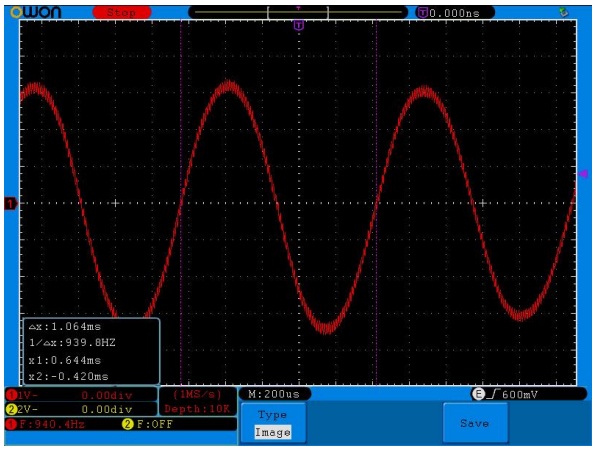
Rappel de trigonométrie : $\cos(a) \times \cos(b) = \dfrac{\cos(a+b) \times \cos(a-b)}{2}$

D'où finalement :

$$S(t) = \frac{S_E \times S_R}{20} \times \cos[2\pi(f_E + f_R)t] \times \cos[2\pi(f_R - f_E)t]$$

On obtient donc un signal modulé en amplitude avec une porteuse de fréquence voisine de 80 kHz ($f_E + f_R$) et un modulant de fréquence $\Delta f = f_E - f_R$.

A l'aide d'un filtre passe-bas (RC), on « extrait » le signal modulant de fréquence Δf. Ce filtre passe bas joue le même rôle que le détecteur de crête dans la « démodulation d'amplitude ».



Ci-contre le signal de la sortie Δf enregistré à l'oscilloscope. La fréquence est de 939,8 Hz ce qui correspond à une vitesse du mobile V_E = 8,01 m/s.

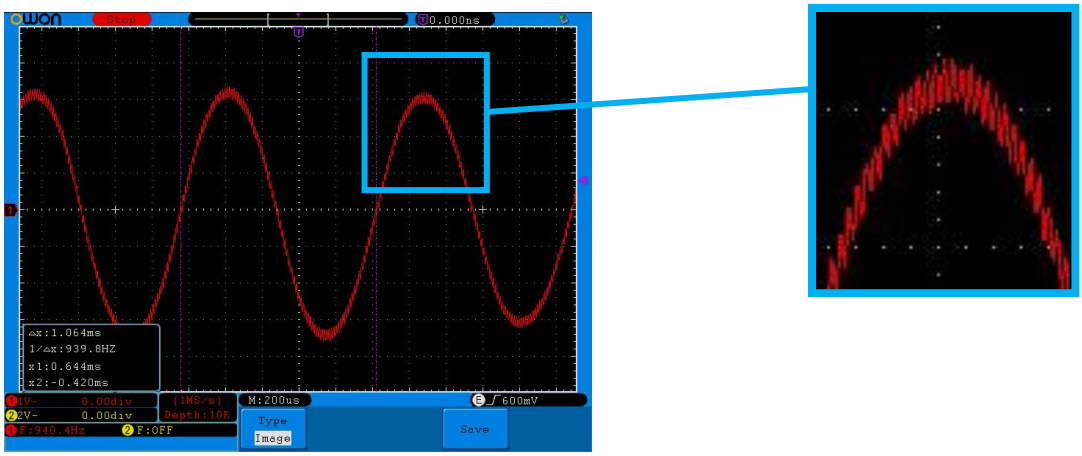
Zoom sur la courbe : on distingue le crénelage lié aux caractéristiques du filtre passe bas.

iv. Remarques sur le filtre passe bas et la qualité du signal

Le décalage en fréquence est fonction de la vitesse du mobile.
Pour un émetteur réglé à 40 kHz et une vitesse de 1 m/s, le décalage est de 117 Hz environ.
Pour une vitesse de 10 m/s ce décalage est 10 fois plus important, soit 1,17 KHz.

Le filtre passe bas doit filtrer la composante de fréquence avoisinant les 80 kHz (f_E+f_R) en atténuant le moins possible la composante de fréquence Δf (f_E-f_R). Or, on sait que pour réaliser une bonne démodulation d'amplitude avec un détecteur de crête, il faut idéalement avoir un facteur d'au moins 100 entre le signal modulant (celui qu'on souhaite récupérer : ici le Δf) et le signal de la porteuse (celui qu'on souhaite supprimer : proche de 80 kHz). Dans notre cas de figure, on a un rapport de 683 avec une vitesse de 1 m/s, mais de 68 seulement à 10 m/s. Il en résulte une déformation du signal à grande vitesse :

- Signal sinusoïdal dissymétrique qui tend même parfois vers le triangulaire au fur et à mesure qu'on augmente la vitesse du mobile et donc que le décalage en fréquence augmente.
- Crénelage, visible lorsqu'on zoome sur la courbe, ce qui donne de l'épaisseur à la courbe à l'oscilloscope.

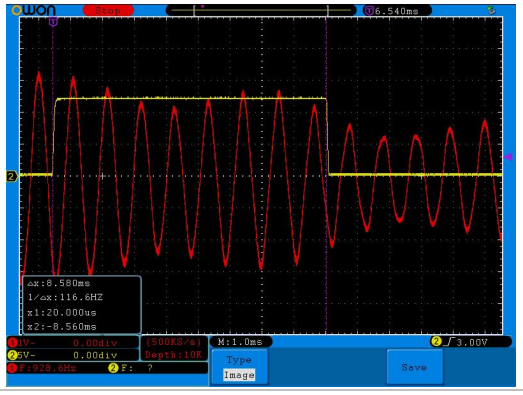


d. Sortie synchro

La sortie synchro sur BNC restitue le signal issu de la fourche optique située au centre dans la base du banc. Lorsque l'obturateur vertical placé sous le mobile coupe cette fourche, le niveau de tension passe d'environ 200 mV à environ 12 V. En déclenchant l'oscilloscope sur ce signal, on permet donc à l'oscilloscope de n'afficher les signaux qu'au moment du passage du mobile au centre du banc.

Il suffit donc de relier cette sortie sur une des entrées de l'oscilloscope (voie 1, voie 2, ou entrée trigger externe) et de déclencher l'oscilloscope sur cette voie avec un fonctionnement « MONOCOUP » pour n'afficher les signaux qu'au moment précis ou l'obturateur du mobile coupe la fourche optique.

Dans l'illustration ci-après, on a par exemple relié la sortie Δf sur la voie 1 (rouge) et la sortie synchro sur la voie 2 (jaune), et on a déclenché l'oscilloscope sur la voie 2 (front montant) : on visualise ainsi directement le décalage en fréquence (⊠f) et le passage de l'obturateur du mobile dans la fourche. Connaissant la largeur de l'obturateur (7 cm), on peut même ainsi en déduire avec précision la vitesse du mobile (7 cm divisé par la largeur en temps du créneau).



e. Caractéristiques techniques

- Alimentation : bloc secteur 230 V / 12 V alternatif
- Générateur pour émetteur ultrasons :
  - fréquence : 40 kHz +/- 3%
  - amplitude : +/-12 V
  - forme d'onde : créneau
- Dimensions (L x l x h) : 840 x 200 x 150 mm

f. Précautions d'utilisation

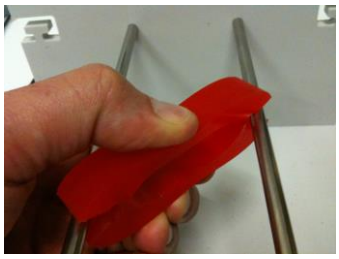
- **Ne jamais utiliser un autre adaptateur secteur que celui fourni avec le dispositif. Au cas où celui-ci ne fonctionnerait plus, le remplacer par un adaptateur de caractéristiques identiques.**
- **Ne jamais lancer le mobile sans avoir préalablement positionner le frein sur les rails. Dans le cas contraire, le choc du mobile à l'extrémité du banc pourrait endommager le dispositif ou l'émetteur situé sur le mobile.**
- **S'assurer que rien n'obstrue le mouvement du mobile le long des rails et écarter les mains avant d'actionner le levier cranté pour lancer le mobile.**

En aucun cas SORDALAB ne pourra être tenu pour responsable en cas de détérioration du matériel ou de blessure du manipulateur suite à un non respect des précautions listées ci-dessus.

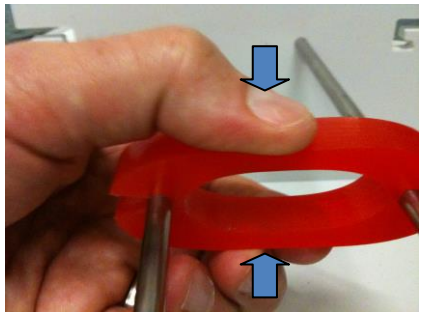
INSTALLATION ET UTILISATION

4. Installation du frein

A la première utilisation, procéder comme illustré ci-dessous.



IMPORTANT : Il est essentiel de repositionner le frein avant chaque lancer du mobile.
Pour procéder, pincer le frein en son milieu et faire coulisser le long des rails comme illustré ci-dessous.



5. Positionnement de l'émetteur et du récepteur aux extrémités du banc

Des orifices aux extrémités du banc permettent de fixer le récepteur et/ou l'émetteur. L'orifice côté rail est de diamètre inférieur à l'orifice extérieur de manière à bloquer les sondes ultrasons sans pour autant permettre que celles-ci dépassent. Ainsi le mobile ne peut les heurter en l'absence de frein.

Pour fixer l'émetteur/récepteur, dévisser la vis de blocage située sur le dessus et insérer l'émetteur/récepteur. Resserrer ensuite la vis de blocage.

S'assurer que le transducteur ultrason est bien centré dans l'orifice extérieur comme illustré sur la photo ci-dessous.

6. Positionnement de l'émetteur sur le mobile

Dévisser la vis située sur le dessus et enfiler l'émetteur dans le support. S'assurer que l'émetteur est bien centré sur le chariot (même longueur dépassant des 2 côtés).

Pour les expériences avec récepteur situé sur le bras articulé avec rapporteur, il est nécessaire de tourner l'émetteur. Pour ce faire, placer le chariot au milieu du banc, dévisser la vis située sous le chariot et aligner l'émetteur dans la direction du récepteur. Revisser la vis située sous le chariot.

7. Fixation des élastiques

Le dispositif Doppler est livré avec deux élastiques robustes (type tendeur) dont l'une des deux extrémités est déjà fixée sur le chariot. Pour lancer le mobile il ne reste plus qu'à attacher la boucle libre sur les ergots prévus à cet effet à l'extrémité du banc comme illustré ci-dessous.

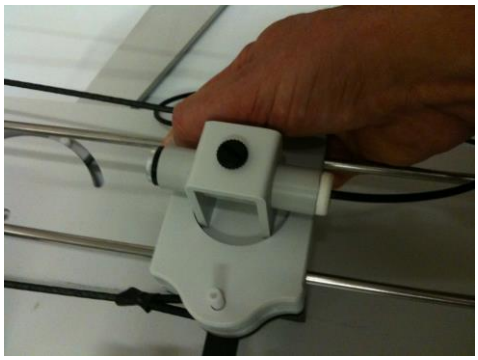
Remarque : les élastiques sont très robustes et sont prévus pour un très grand nombre de lancers. Toutefois, si ceux-ci venaient à être endommagés, il est possible de les changer. Veuillez contacter notre SAV pour connaître la référence des pièces détachées et la procédure à suivre.

8. Mise en place de la fourche optique à afficheur (optionnel)

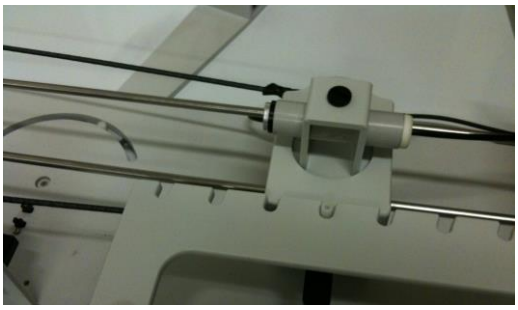
Il est possible d'utiliser la fourche optique à afficheur (réf. BEESPI, non fournie) pour contrôler la vitesse de passage du mobile au centre du banc. Une équerre située au centre du banc, sur le côté opposé du rapporteur d'angle, est prévue à cet effet. Coulisser simplement la fourche dans les deux fentes comme illustré ci-dessous.

9. Armement du mobile et lancer

Attacher les élastiques comme expliqué au point numéro 4.
Positionner le frein en caoutchouc juste après le rapporteur.
Tirer le mobile de manière à tendre les élastiques. Afin de ne pas endommager le support d'émetteur sur le mobile ou l'émetteur lui-même, il est conseillé de maintenir le mobile par la base comme illustré sur la photo ci-dessous.



Avec l'autre main positionner le levier cranté de manière à venir bloquer le mobile à l'aide de l'ergot placé sur le dessus du mobile.



Le levier est muni de 8 crans permettant de régler 8 vitesses. La vitesse maximale ne sera atteinte qu'au centre du banc, une fois que les élastiques auront retrouvé leur longueur à vide.

Pour lancer le mobile, il suffit de tirer sur la languette du levier pour libérer le mobile.
IMPORTANT : Avant de lancer le mobile, vérifier que le frein est correctement positionné !
Remarque : le dispositif est muni en dessous de butées antidérapantes de manière à éviter des mouvements de l'ensemble lors de la traction des élastiques et lors du lancement.

EXPERIENCE 1 : EMETTEUR MOBILE / RECEPTEUR FIXE

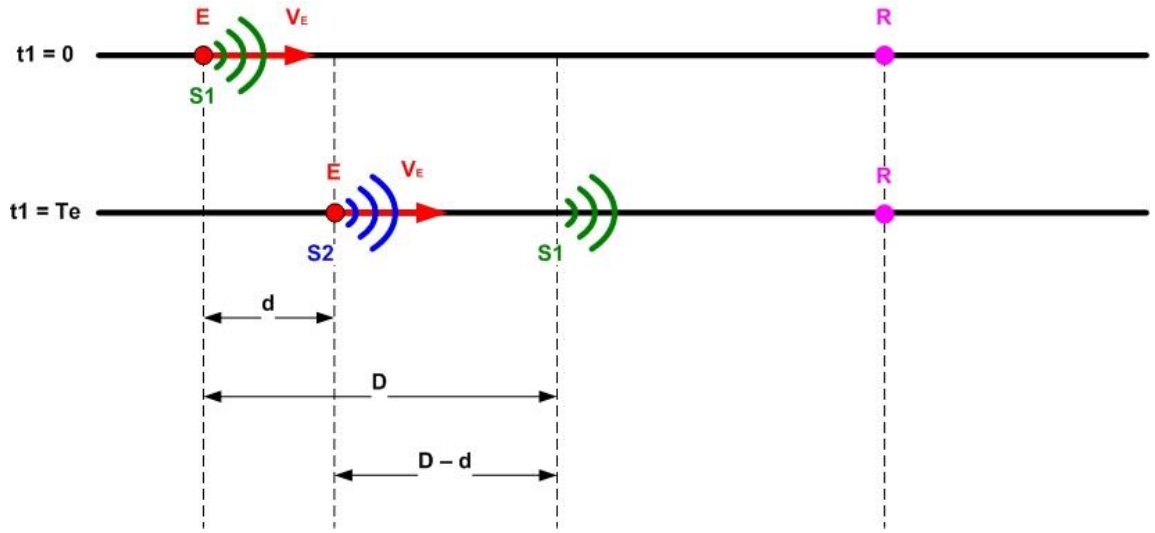
10. Expressions du décalage en fréquence

On considère dans le schéma ci-dessous une source émettrice « E » mobile par rapport à un récepteur « R » fixe. Cette source émet des « bips » sonore à intervalle de temps fixe T_e (période) et se déplace à vitesse constante V_e.

A l'instant t_1, l'émetteur émet un « bip » identifié « S_1 ».
A l'instant t_2, l'émetteur émet un second bip identifié « S_2 ».
Entre ces 2 instants, il s'est écoulé un temps $t_2-t_1=T_e$, et :

- la source s'est déplacé d'une distance $d = V_e.T_e$
- le premier bip a parcouru une distance D à la vitesse du son C, soit $D = C.T_e$

Les 2 bips voyagent ensuite à la même vitesse à une distance « D-d » l'un de l'autre.



Les 2 bips arriveront donc au niveau du récepteur avec un décalage en temps égal à :

$$T_r = \frac{D-d}{C} = \frac{C-V_e}{C}.T_e$$

La fréquence perçue au niveau du récepteur est donc :

$$\boxed{f_r = \frac{C}{C-V_e} f_e}$$

On démontrerait de même que dans le cas d'un **émetteur s'éloignant du récepteur**, la fréquence perçue au niveau du récepteur aurait pour expression (identique au signe du dénominateur près) :

$$\boxed{f_r = \frac{C}{C+V_e} f_e}$$

D'où un décalage Doppler donnée par l'expression :

$$\Delta f = f_r - f_e = \frac{V_e}{C \pm V_e} f_e = \frac{V_e}{C\left(1 \pm \frac{V_e}{C}\right)} \times f_e$$

Si on considère que la vitesse de l'émetteur est très inférieure à la vitesse du son (340 m/s), on a :

$$1 \pm \frac{V_e}{C} \approx 1$$

D'où finalement :

$$\boxed{\frac{\Delta f}{f} \approx \frac{V_e}{C}}$$

On voit bien de part cette expression l'intérêt d'avoir une vitesse V_e la plus grande possible.

Exemples : dans le cas d'ultrasons émis à 40 kHz, on a :

- Pour une vitesse $V_e = 1$ m/s : $\frac{\Delta f}{f} \approx \frac{1}{340} \approx \mathbf{0{,}3\%}$ soit un décalage doppler de 117 Hz.
- Pour une vitesse $V_e = 10$ m/s : $\frac{\Delta f}{f} \approx \frac{10}{340} \approx \mathbf{3\%}$ soit un décalage doppler de 1,17 kHz.

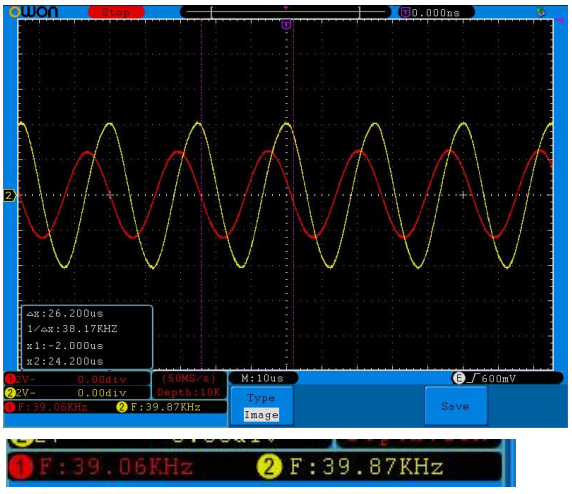
11. Forme d'onde perçue au niveau du récepteur

Dans cette configuration, le récepteur « capte » une simple onde mécanique de fréquence décalée par rapport à l'onde émise par l'émetteur. On visualise donc simplement à l'oscilloscope une sinusoïde de fréquence $f_R = f_E + \Delta f$ comme illustré ci-contre.

- **Courbe en jaune :** signal de l'émetteur de fréquence f_E = 39,87 kHz.
- **Courbe en rouge :** signal du récepteur de fréquence f_R = 39,06 kHz

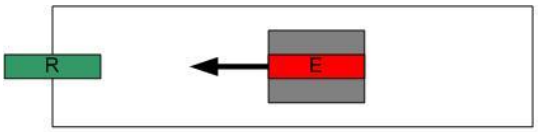
On en déduit le **décalage en fréquence** :
Δf = 0,81 kHz

Puis la **vitesse du mobile** (relation ci-dessus) : V_E = 6,90 m/s

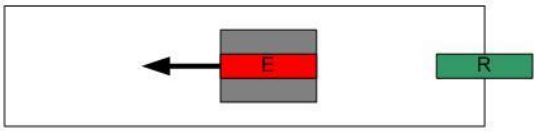


3. Configurations « émetteur/récepteur » possibles avec le dispositif

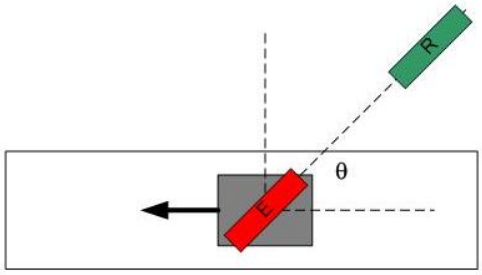
Il est possible de réaliser différentes configurations comme illustrées sur le schéma ci-après :



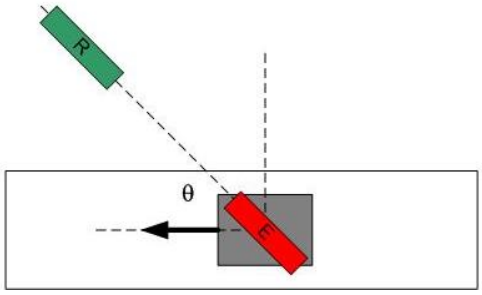
- Récepteur fixe dans l'axe du mouvement du mobile.
- Emetteur se rapprochant du récepteur.



- Récepteur fixe dans l'axe du mouvement du mobile.
- Emetteur s'éloignant du récepteur.



- Récepteur fixe à un angle θ par rapport à l'axe du mouvement du mobile.
- Emetteur s'éloignant du récepteur.



- Récepteur fixe à un angle θ par rapport à l'axe du mouvement du mobile.
- Emetteur se rapprochant du récepteur.

Ces différentes configurations peuvent illustrer les applications de l'effet Doppler :

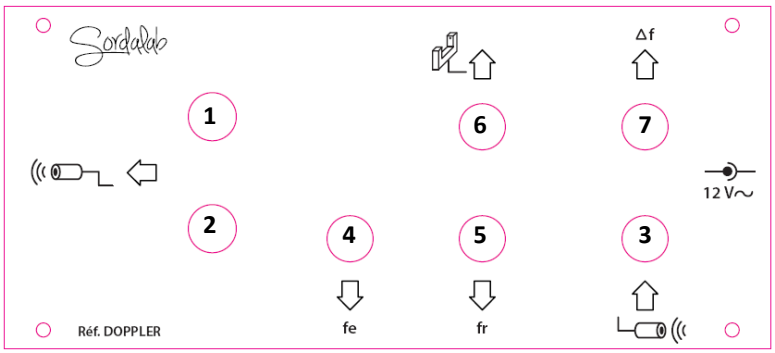
- Sirène d'ambulance passant devant un piéton,
- Redshift des galaxies lointaines,
- Mesure de vitesse radiale des étoiles,
- Etc...

4. Branchements et réglages

Plusieurs branchements sont possibles selon qu'on veuille mesurer le décalage Doppler en comparant les signaux émetteur et récepteur ou qu'on veuille mesurer directement le décalage en visualisant le signal issu de la sortie électronique Δf.

a. Visualisation signaux émetteur et récepteur

i. Branchements oscilloscope



1 & 2 : Emetteur ultrasons
3 : Récepteur ultrasons
4 : Oscilloscope / voie 1
5 : Oscilloscope / voie 2
6 : Oscilloscope / trigger externe
7 : -

ii. Réglages oscilloscope

Les réglages détaillés ci-après ne sont que purement indicatifs et ne constituent en aucun cas une règle. En effet, chaque oscilloscope étant différent, il se peut que les réglages indiqués ci-après ne soient pas appropriés.

a. Base de temps

La fréquence des ultrasons est de 40 kHz, ce qui correspond à une période de 25 µs. Une base de temps de 10 µs/div permettra de visualiser plusieurs périodes des signaux émetteur et récepteur.

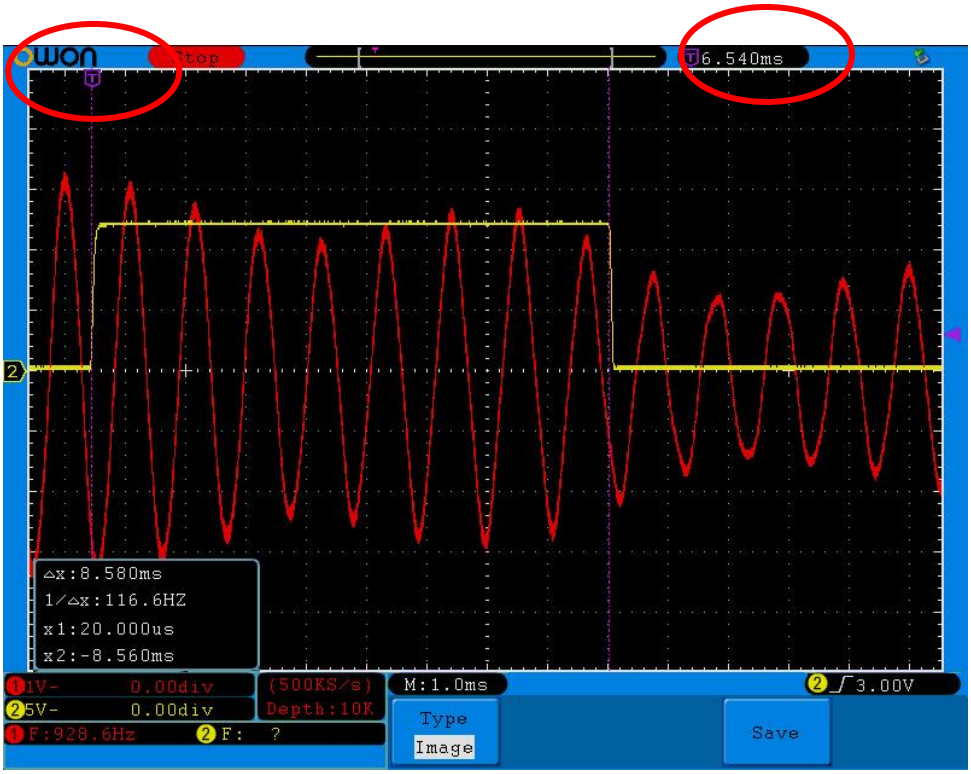
b. Sensibilité verticale

Les signaux émetteur et récepteur sont amplifiés de manière à permettre un bon niveau de tension sur les 2 voies lorsque le mobile est situé au milieu du banc.
On choisira une sensibilité verticale pour les 2 voies de 2 V/divisions.

c. Déclenchement

Afin de ne garder à l'écran que les signaux au moment du passage du mobile au centre du banc (obturateur passe dans la fourche optique), on relie la sortie « synchro » (schéma de fourche sur le boitier) au trigger externe de l'oscilloscope et on choisira un déclenchement « monocoup » sur cette voie.
On réglera également le niveau de déclenchement au-dessus de 500 mV ; en effet, lorsque la fourche n'est pas obstruée, la tension n'est pas à 0 V et peut atteindre environ 200 mV.
Il est préconisé également de régler le trigger externe sur DC et non AC.

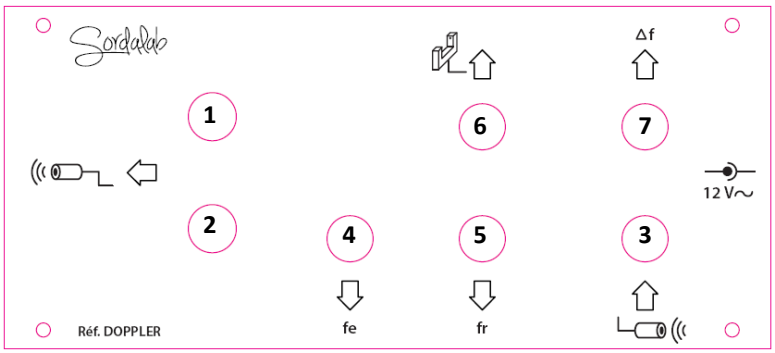
ATTENTION : sur certains oscilloscopes numérique, il est possible de retarder l'affichage par rapport au moment du déclenchement. Dans l'exemple ci-dessous, on a retardé l'affichage de 6,540 ms. Ainsi, l'instant du déclenchement (représenté par le « T » en violet en haut de la fenêtre) n'est pas situé au milieu de la fenêtre mais à gauche de la fenêtre.



Si ce décalage venait à être trop important, on afficherait alors les signaux émetteur et récepteur à un instant correspondant à une position du mobile bien après son passage dans la fourche optique (voire même à l'arrêt).

b. Visualisation de la sortie Δf

i. Branchements oscilloscope



1 & 2 : Emetteur ultrasons
3 : Récepteur ultrasons
4 : -
5 : -
6 : Oscilloscope / voie 2
7 : Oscilloscope / voie 1

ii. Réglages oscilloscope

Les réglages détaillés ci-après ne sont que purement indicatifs et ne constituent en aucun cas une règle. En effet, chaque oscilloscope étant différent, il se peut que les réglages indiqués ci-après ne soient pas appropriés.

a. Base de temps

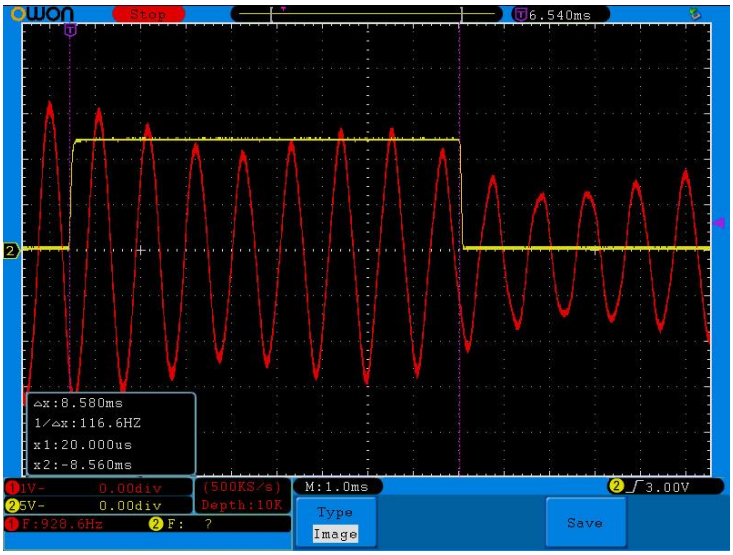
Pour une vitesse de 10 m/s, le décalage doppler est de 1,2 kHz environ, ce qui correspond à une période de 0,8 ms environ.
L'obturateur mesurant 7 cm, le temps de passage complet dans la fourche est d'environ 7 ms.
En réglant la base de temps sur 1 ms/division, on visualisera ainsi la totalité du créneau sur la voie 1 (fourche optique) et plus d'une dizaine de périodes du signal sur la voie 2 (Δf).

b. Sensibilité verticale

On choisira une sensibilité verticale pour la voie 1 (fourche) de 5 V/division et pour la voie 2 (Δf) de 1 V/division.

c. Déclenchement

On déclenche l'oscilloscope en « MONOCOUP » sur la voie 2 (fourche) avec un niveau de déclenchement (DC) d'au moins 500 mV.
On peut décaler l'affichage par rapport au déclenchement de quelques ms de manière à visualiser la totalité du créneau de la fourche comme illustré sur la capture ci-dessous.



EXPERIENCE 2 : RADAR AXIAL

12. Théorie : expression du décalage Doppler dans le cas du radar

Dans ce cas de figure, l'émetteur et le récepteur sont positionnés côte à côte et pointés vers le mobile en mouvement.

Supposons une onde émise par l'émetteur en direction du mobile avec une fréquence f_1.
Le mobile en mouvement avec une vitesse V perçoit une onde décalée avec une fréquence f_2 (premier décalage Doppler). D'après la démonstration ci-dessus, l'expression de f_2 est donnée par :

$$f_2 = \frac{f_1}{1 \pm \frac{V}{C}}$$

Le mobile se comporte donc comme une source en mouvement émettant à la fréquence f_2. Le récepteur fixe percevra donc une onde à nouveau décalée en fréquence de fréquence f_3 (second décalage Doppler) dont l'expression sera :

$$f_3 = \frac{f_2}{1 \pm \frac{V}{C}}$$

D'où finalement :

$$f_3 = \frac{f_1}{(1 \pm \frac{V}{C})^2}$$

Comme V << C, un développement limité donne :

$$f_3 = f_1 \times (1 \pm 2\frac{V}{C})$$

D'où le décalage en fréquence :

$$\boxed{\frac{\Delta f}{f} \approx 2\frac{V}{C}}$$

13. Forme d'onde perçue au niveau du récepteur fixe

Dans le cas du radar, le récepteur ne perçoit pas simplement une onde sinusoïdale mais l'onde résultante de la superposition de l'onde émise et de l'onde réfléchie.

Supposons que :

- l'onde émise ait pour signal : $S_1(t) = S_1.\cos(2\Delta.f_1.t)$
- l'onde réfléchie ait pour signal : $S_2(t) = S_2.\cos(2\Delta.f_2.t)$

Remarque : on ignore ici les termes de déphasage qui ne changent rien et complexifient l'expression.

L'onde résultante aura pour expression : $S(t) = S_1(t) + S_2(t) = S_1.\cos(2\Delta.f_1.t) + S_2.\cos(2\Delta.f_2.t)$

Pour simplifier, on supposera $S=S_1=S_2$, ce qui n'est bien entendu pas le cas, l'amplitude variant selon la distance du mobile au radar.

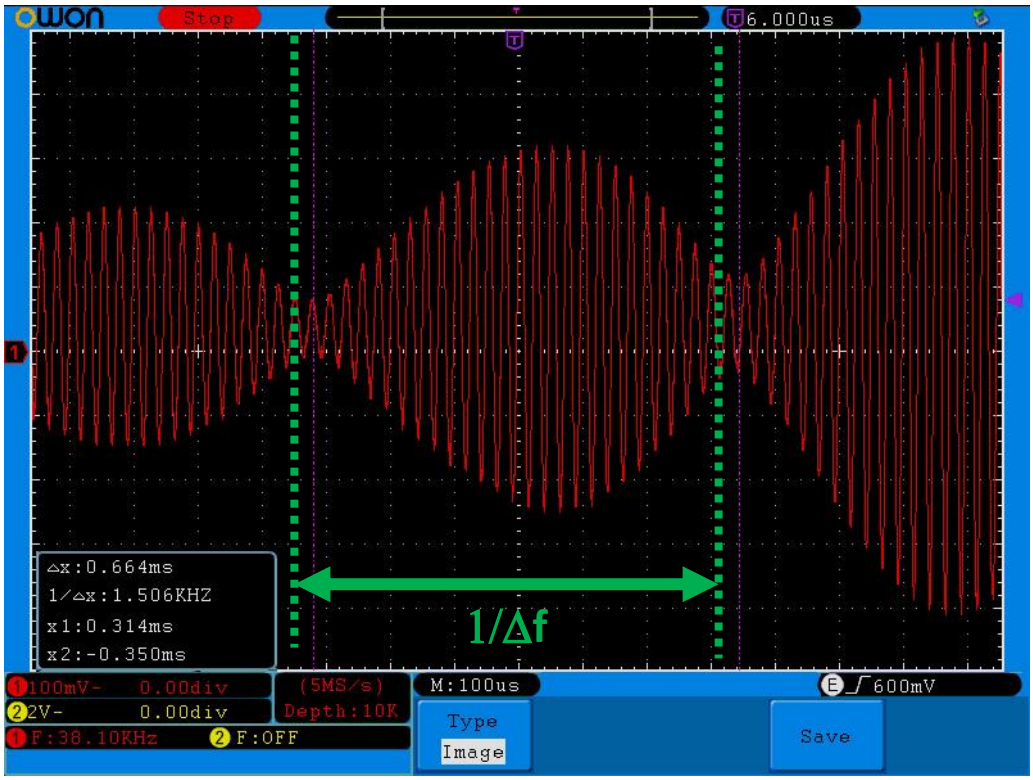
On a alors : $S(t) = S.[\cos(2\Delta.f_1.t) + \cos(2\Delta.f_2.t)]$

Rappel trigo : $\cos(p) + \cos(q) = 2 \times \cos(\frac{p+q}{2}) \times \cos(\frac{p-q}{2})$

D'où finalement : $$\boxed{S(t) = 2.S \times \cos(2\pi \frac{f_2 + f_1}{2} t) \times \cos(2\pi \frac{f_2 - f_1}{2} t)}$$

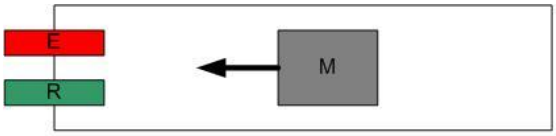
Cette expression se traduit à l'oscilloscope par un signal modulé dont la porteuse aurait une fréquence moyenne $\frac{f_2 + f_1}{2}$ et un modulant de fréquence $\Delta f/2$.

La capture d'oscilloscope ci-dessous illustre le phénomène. Le changement d'amplitude est simplement lié au fait que le mobile se rapproche du radar.



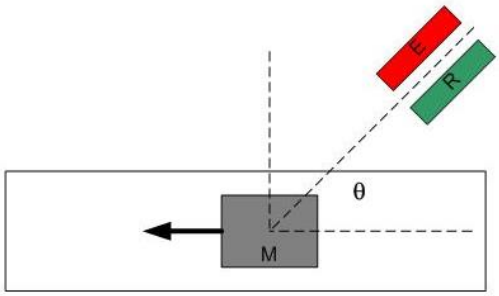
3. Configurations « radar » possibles avec le dispositif

Dans tous les cas de figures du mode radar, l'émetteur et le récepteur sont côte à côte.
Il est ensuite possible de réaliser différentes configurations comme illustrées sur le schéma ci-après :

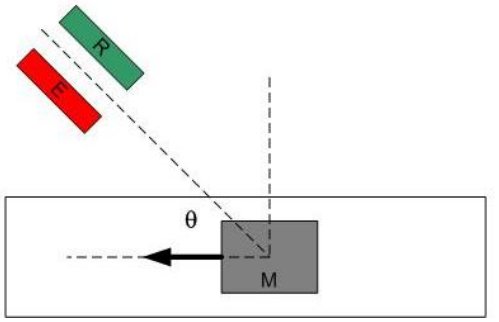


- Radar dans l'axe du mouvement du mobile.
- Mobile se rapprochant du radar.

- Radar dans l'axe du mouvement du mobile.
- Mobile s'éloignant du récepteur.



- Radar faisant un angle θ avec l'axe du mouvement du mobile.
- Mobile s'éloignant du radar.



- Radar faisant un angle θ avec l'axe du mouvement du mobile.
- Mobile se rapprochant du radar.

Ces différentes configurations peuvent illustrer les applications de l'effet Doppler :

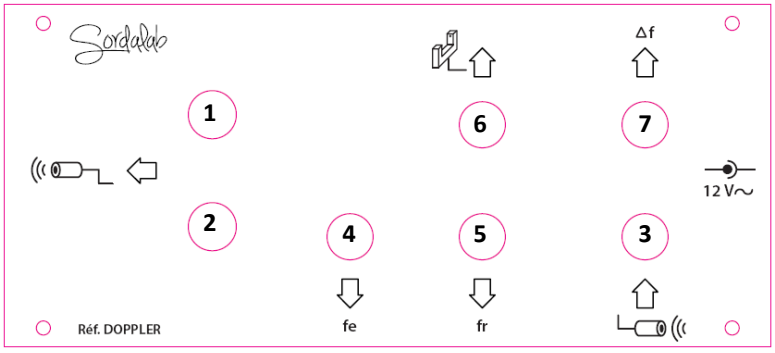
- Radar routier,
- Vélocimétrie,
- Etc…

4. Branchements et réglages

Plusieurs branchements sont possibles selon qu'on veuille mesurer le décalage Doppler en observant les battements ou qu'on veuille mesurer directement le décalage en visualisant le signal issu de la sortie électronique Δf.

a. Visualisation des battements

i. Branchements oscilloscope



1 & 2 : Emetteur ultrasons
3 : Récepteur ultrasons
4 : Oscilloscope / voie 2
5 : Oscilloscope / voie 1
6 : Oscilloscope / trigger externe
7 : -

ii. Réglages oscilloscope

Les réglages détaillés ci-après ne sont que purement indicatifs et ne constituent en aucun cas une règle. En effet, chaque oscilloscope étant différent, il se peut que les réglages indiqués ci-après ne soient pas appropriés.

a. Base de temps

Pour une vitesse de 10 m/s, le décalage doppler est de 1,2 kHz environ, ce qui correspond à une période de 0,8 ms environ.

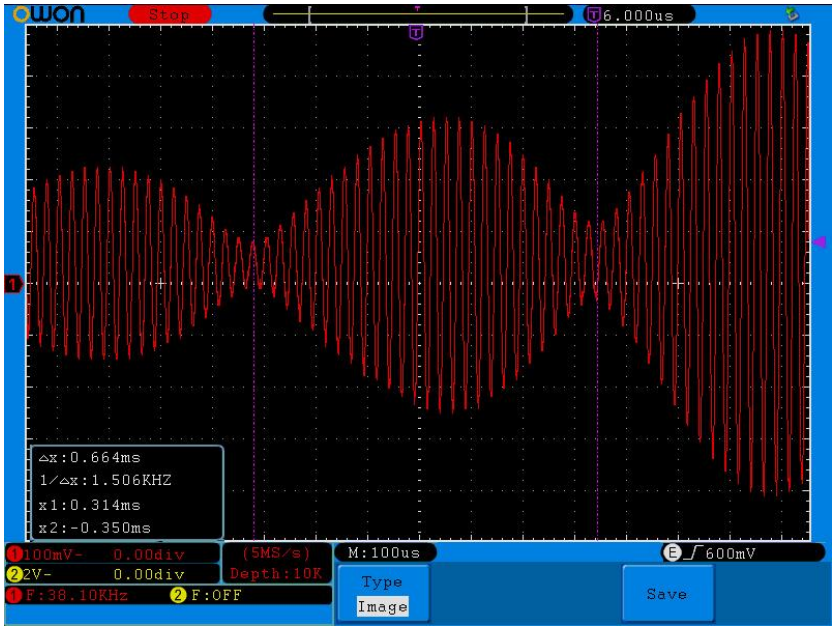
Un « lobe » des battements a pour largeur 1/Δf ; la largeur d'un lobe sera donc de 0,8 ms environ.
En choisissant une base de temps de 100 µs/division, un lobe représentera alors à l'écran environ 8 divisions.

b. Sensibilité verticale

Dans le cas du radar, l'onde effectue un aller-retour entre l'extrémité du banc et le mobile ; l'amplitude est par conséquent fortement atténuée.
On choisira une sensibilité verticale d'environ 100 mV/division.

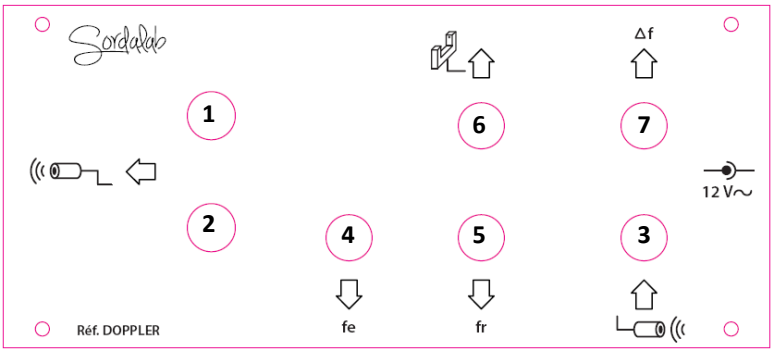
c. Déclenchement

On déclenche l'oscilloscope en mode « MONOCOUP » sur l'entrée « TRIGGER EXTERNE » avec un niveau de déclenchement supérieur à 500 mV.



b. Visualisation de la sortieΔf

i. Branchements oscilloscope



1 & 2 : Emetteur ultrasons
3 : Récepteur ultrasons
4 : -
5 : -
6 : Oscilloscope / voie 1
7 : Oscilloscope / voie 2

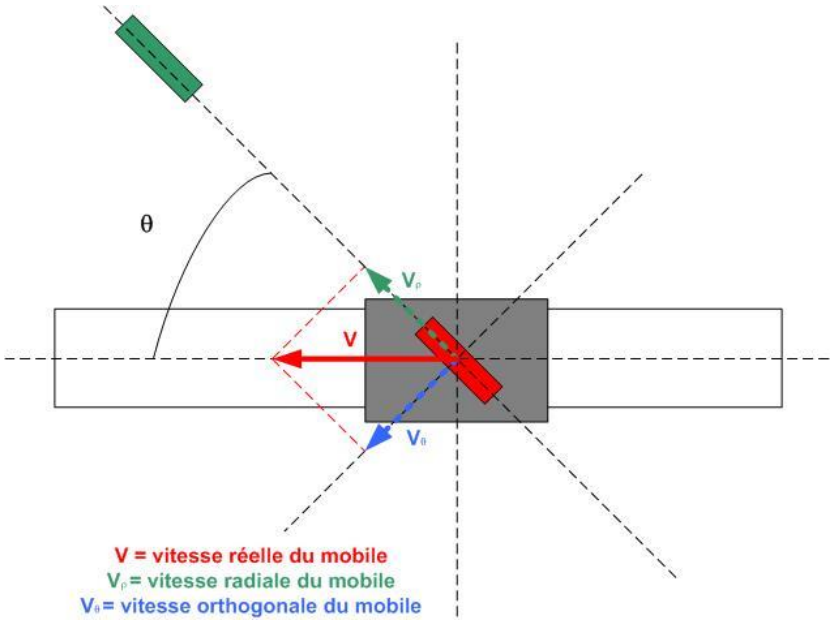
ii. Réglages oscilloscope

On effectuera les mêmes réglages que dans le mode « émetteur mobile / récepteur fixe ». Voir plus haut.

II. EXPERIENCE 3 : MESURE AVEC ANGLE

1. Théorie : expression du décalage Doppler dans la configuration avec angle

Lorsqu'on mesure le décalage Doppler avec un angle, que ce soit en mode « émetteur mobile / récepteur fixe » ou « radar », le principe reste le même.
Toutefois, ce décalage en fréquence n'est plus lié à la vitesse propre du mobile mais seulement à sa composante radiale, comme illustré ci-dessous.



En projetant simplement les angles, on détermine aisément les relations suivantes pour le décalage en fréquence Doppler :

Mode « émetteur mobile / récepteur fixe » : $$\frac{\Delta f}{f} \approx \frac{V \cdot \cos(\theta)}{C}$$

Mode « radar » : $$\frac{\Delta f}{f} \approx 2\frac{V \cdot \cos(\theta)}{C}$$

2. Expériences

Les expériences et réglages à réaliser sont identiques à tout ce qui a été explicité précédemment.
En raison des mesures imprécises de l'angle et du large cône d'émission des ultrasons, les mesures de vitesse par effet Doppler dans ces configurations avec angles sont beaucoup moins précises.

On peut toutefois vérifier aisément que le décalage en fréquence est nul pour un angle de 90° (vitesse radiale nulle) et obtenir des résultats satisfaisants pour des angles compris entre 0 et 40°.

III. IMPRECISIONS – FOURCHE OPTIQUE NUMERIQUE

Lorsqu'on compare les vitesses mesurées par effet Doppler et celles relevées sur la fourche optique numérique (réf. BEESPI, optionnel), on peut constater une légère différence.

Cette différence provient du fait que la mesure par effet Doppler est une mesure de vitesse instantanée (au moment où l'obturateur coupe la fourche optique) tandis que la mesure effectuée par la fourche optique numérique est une mesure de vitesse moyenne (il y a deux cellules sur cette fourche et celle-ci calcule la vitesse moyenne entre ces deux cellules).