

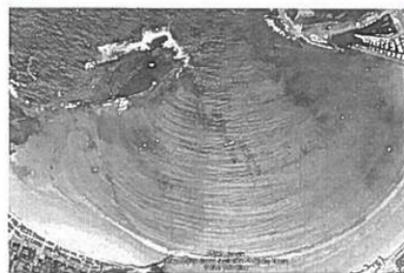
## Exercices type BAC du CH P1 – Propriétés des ondes

### DIFFRACTION

#### Exercice 1 :

1. Sur la photographie aérienne du document 3, quel phénomène peut-on observer ? Quelle est la condition nécessaire à son apparition ?
2. Citer un autre type d'onde pour laquelle on peut observer le même phénomène.

Document 3 : Photographie aérienne de l'arrivée de la houle dans une baie.



#### Exercice 2 :

La fréquence des signaux transmis par satellite pour la communication internet est de l'ordre de 20 GHz.

1. Quelle est la longueur d'onde de ces signaux ?
2. Ces signaux sont-ils susceptibles d'être significativement diffractés par des objets à la surface de la Terre tels que des immeubles ou des collines ?
3. En déduire quelle doit être l'orientation des antennes des relais terrestres par rapport aux satellites géostationnaires pour permettre la transmission internet.

#### Exercice 3 :

Un fil d'araignée, de diamètre inconnu noté  $a$ , est maintenu en position verticale et éclairé au moyen d'une source laser rouge de longueur d'onde  $\lambda = 615 \text{ nm}$ . Le fil est placé à quelques centimètres de la source laser et à une distance  $D$  assez éloignée d'un écran vertical. La figure de diffraction obtenue à l'écran est caractérisée par une tache centrale de largeur  $L$  et un angle de diffraction noté  $\theta$ .

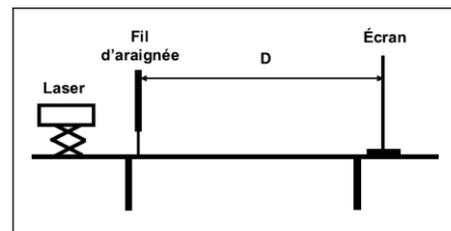
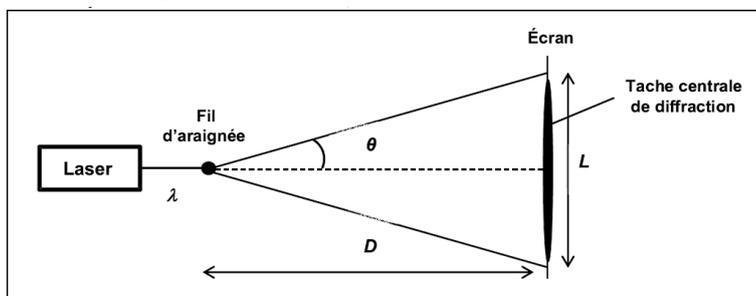


Schéma de l'expérience en vue de profil

#### Schéma de l'expérience en vue de dessus, sans souci d'échelle



1. Rappeler l'expression qui lie les grandeurs  $a$ ,  $\theta$  et  $\lambda$ . Sachant que  $\tan \theta \approx \theta$  pour les faibles valeurs de  $\theta$  en radian, démontrer que la largeur  $L$  de la tache centrale de diffraction admet pour expression littérale :  $L = \frac{2 \cdot \lambda \cdot D}{a}$
2. Calculer, en m puis en  $\mu\text{m}$ , le diamètre  $a$  du fil d'araignée analysé sachant que  $D = 2,00 \pm 0,01 \text{ m}$  et  $L = 18,8 \pm 0,4 \text{ cm}$ .

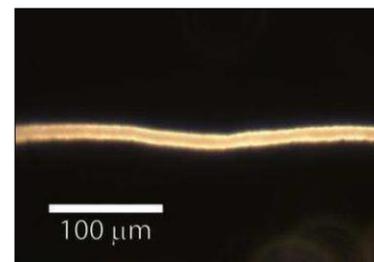
3. La source lumineuse étant un laser, on fera l'hypothèse que l'incertitude sur la longueur d'onde peut être négligée par rapport aux autres incertitudes. L'incertitude absolue  $U(a)$  associée à la mesure du diamètre  $a$  du fil d'araignée dépend uniquement des incertitudes absolues  $U(D)$  et  $U(L)$  associées aux distances  $D$  et  $L$  selon la relation suivante :

$$\left(\frac{U(a)}{a}\right)^2 = \left(\frac{U(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{U(L)}{L}\right)^2$$

Exprimer le résultat de la mesure expérimentale du diamètre  $a$  du fil d'araignée sous la forme d'un encadrement.

4. Le même fil d'araignée que celui étudié dans la partie précédente est maintenant observé et photographié à l'aide d'un microscope optique équipé d'un appareil photo numérique. Voici le cliché obtenu :

Déterminer le diamètre  $a$  du fil à partir du cliché ci-dessus et donner le résultat assorti de l'incertitude absolue  $U(a)$  associée à cette valeur. Dans cette mesure, on considère que :  $\frac{U(a)}{a} = \frac{U(d)}{d}$  avec  $d$  la valeur mesurée sur la photographie et  $U(d)$  l'incertitude absolue associée.

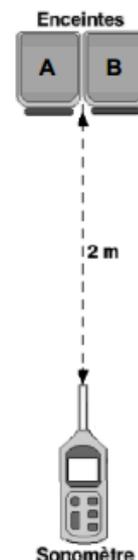


5. La mesure par diffraction du diamètre du fil d'araignée réalisée dans la partie précédente est-elle cohérente avec la mesure effectuée au microscope optique ? Détailler la réponse.
6. Quelle méthode est-il préférable d'utiliser pour réaliser cette mesure ? Justifier votre réponse.

## INTERFERENCES

### Exercice 4 :

Le dispositif expérimental représenté ci-contre est mis en place. À une distance de deux mètres face aux enceintes, le niveau d'intensité sonore du son émis par chaque enceinte, seule, est systématiquement ajusté à  $L_A = L_B = 50$  dB. Ce dispositif permet ainsi de mesurer l'influence de la fréquence de chaque signal et du déphasage entre les signaux sur le niveau d'intensité sonore  $L$  face aux deux enceintes à une distance de deux mètres. Les résultats de trois expériences sont regroupés dans le document 4 ci-après.



#### Document 4. Résultats des expériences

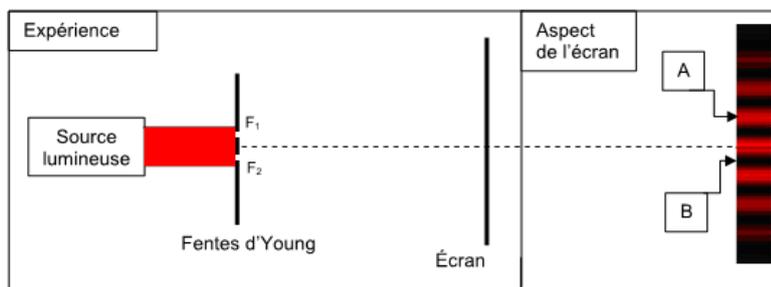
Expérience	1	2	3
Fréquence $f_B$ (Hz)	132	132	132
Fréquence $f_A$ (Hz)	198	132	132
Déphasage à l'émission des signaux produits par les enceintes A et B		en phase	en opposition de phase
$L$ (dB)	$53 \pm 1$	$56 \pm 1$	$44 \pm 1$

Remarque : Les incertitudes affichées dans ce document sont associées à des niveaux de confiance de 95%.

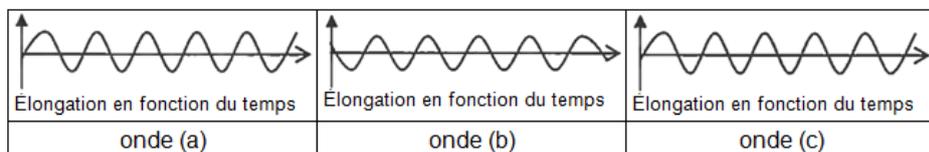
- Les intervalles de confiance associés aux mesures des niveaux d'intensité sonores lors des expériences 1,2 et 3 permettent-ils de conclure que les valeurs mesurées sont significativement différentes ? Justifier.
- On note  $I$  l'intensité sonore associée au niveau d'intensité sonore  $L$ . Pour quelle expérience l'intensité  $I$  du son est-elle la somme des intensités des sons issus de chaque enceinte prise séparément ? On justifiera la réponse par un calcul.
- Comme les ondes électromagnétiques, les ondes sonores peuvent donner lieu aux phénomènes de réflexion, réfraction, diffraction, interférences, etc.
  - Par comparaison avec les propriétés des ondes électromagnétiques monochromatiques, indiquer quel phénomène physique est responsable de la variation du niveau d'intensité sonore observée d'une expérience à l'autre dans le document 4. On apportera les précisions nécessaires permettant de justifier l'évolution du niveau d'intensité sonore.
  - Quelle expérience modélise un dispositif actif de réduction de bruit ? Justifier votre réponse.

### Exercice 5 :

Au début du XIXe siècle, Thomas Young éclaire deux fentes  $F_1, F_2$  fines et parallèles (appelés fentes d'Young) à l'aide d'une source lumineuse monochromatique. On observe sur un écran des franges brillantes et des franges sombres. L'aspect de l'écran est représenté ci-dessous.

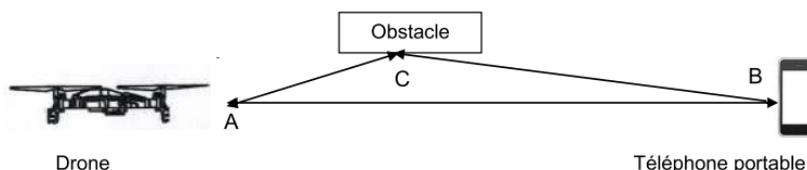


- Qualifier les interférences en A et en B.
- Ci-dessous sont représentées les évolutions temporelles de l'élongation de trois ondes (a), (b) et (c). Choisir en justifiant, les deux ondes qui interfèrent en A et les deux ondes qui interfèrent en B permettant de rendre compte du phénomène observé.



### Exercice 6 :

1. La superposition d'ondes ayant parcouru des chemins différents peut provoquer des interférences. À quelle condition obtient-on des interférences destructives ? Dans ce cas, quelle sera la conséquence sur la valeur de la puissance reçue ?

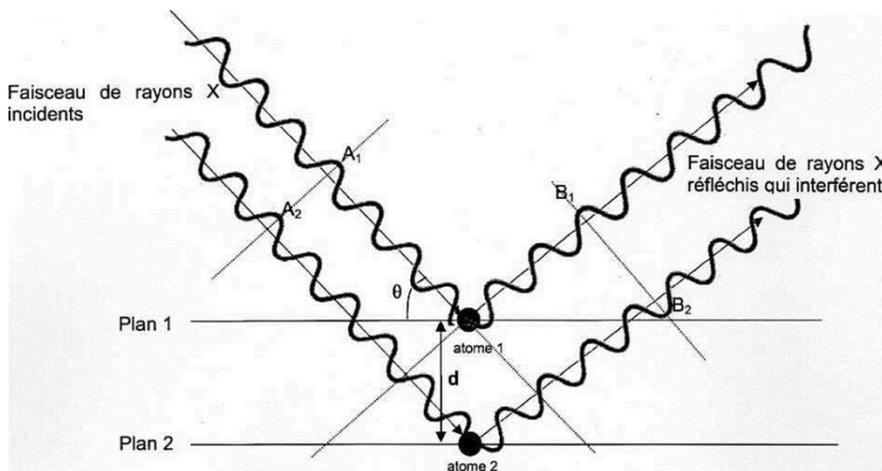


2.  $\tau_1$  et  $\tau_2$  représentent respectivement les durées du trajet de l'onde A-C-B et A-B entre le drone et le téléphone. On définit la durée  $\Delta t = \tau_1 - \tau_2$ . Parmi les 5 valeurs de  $\Delta t$  suivantes, indiquer celle(s) qui conduit (conduisent) à des interférences destructives. Justifier votre réponse.

- $T/2$ ,  $T$ ,  $k.T$ ,  $k.T + T/2$ ,  $k.T/2$   $k$  est un entier naturel

**Exercice 7 :**

Les rayons X sont utilisés pour explorer la matière et par exemple pour évaluer la distance  $d$  entre deux plans 1 et 2 voisins d'atomes dans un cristal. Lorsqu'on envoie un faisceau de rayons X de longueur d'onde  $\lambda$  sur un cristal, ils sont réfléchis par les atomes qui constituent le cristal. Les ondes réfléchies par les atomes interfèrent.



**Données :**

- la différence de parcours entre deux ondes incidentes qui se réfléchissent sur deux plans successifs est donnée par la relation :  $\delta = 2 d \cdot \sin \theta$ , où  $d$  est la distance entre deux atomes voisins et  $\theta$  l'angle entre le rayon et le plan.
- dans le cas d'interférences constructives, la différence de parcours vaut :  $\delta = k \cdot \lambda$ .
- dans le cas d'interférences destructives, la différence de parcours vaut :  $\delta = (k + \frac{1}{2}) \cdot \lambda$ .

où  $k$  est un nombre entier positif ou négatif et  $\lambda$  la longueur d'onde des ondes qui interfèrent

1 En exploitant le schéma précédent, préciser :

- Si les deux rayons incidents interfèrent avec les états vibratoires représentés en A1 et A2, on obtient des interférences constructives ou destructives.
- Si les deux rayons réfléchis interfèrent avec les états vibratoires représentés en B1 et B2, on obtient des interférences constructives ou destructives.
- Pourquoi les interférences ne sont pas de même nature entre A1/A2 et B1/B2.

2 Pour un angle  $\theta$  de  $10,4^\circ$  et une longueur d'onde de  $0,154 \text{ nm}$ , déterminer la valeur de  $d$  dans le cristal, dans le cas où l'on obtient des interférences constructives pour une différence de parcours minimale.

**DOPPLER**

**Exercice 8 :**

Le cinémomètre Doppler utilise une onde électromagnétique monochromatique. Il comprend essentiellement : un émetteur qui génère une onde de fréquence  $f_0 = 24,125 \text{ GHz}$ , un récepteur qui reçoit cette onde après réflexion sur la " cible " et une chaîne de traitement électronique qui compare le signal émis et le signal reçu. Si la " cible " visée a une vitesse non nulle par rapport au cinémomètre, l'appareil produit un signal périodique dont la fréquence, appelée « fréquence Doppler », est proportionnelle à la vitesse de la " cible " .

**Données :** Relation, en première approximation, entre la « fréquence Doppler » et la vitesse de la " cible " :

$$f_D = \frac{2 \cdot f_0 \cdot v_r}{c}$$

}

$f_D$  : fréquence Doppler

$f_0$  : fréquence de l'émetteur

$v_r$  : vitesse relative à la "cible" par rapport à l'émetteur

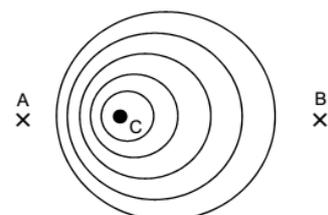
$c$  : vitesse de la lumière dans le vide

Célérité des ondes électromagnétiques dans le vide ou dans l'air :  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

1. Les cinémomètres Doppler utilisent l'effet Doppler. Expliquer en quelques lignes en quoi consiste ce phénomène.

Un cinémomètre Doppler immobile est utilisé pour mesurer la vitesse d'une " cible " qui s'approche de lui. Les ondes électromagnétiques émises sont réfléchies par la " cible " avant de revenir au cinémomètre.

2. La figure ci-contre modélise de manière très simplifiée l'allure des ondes réfléchies par cette "cible", notée C. Déterminer, en explicitant le raisonnement suivi, si le cinémomètre Doppler est situé au point A ou au point B.



3. Un cinémomètre Doppler est utilisé pour mesurer la vitesse des balles de tennis lors des principaux tournois internationaux comme celui de Roland Garros. Au cours de ce tournoi, lors d'un service, l'appareil mesure une fréquence Doppler de valeur  $f_D = 7416 \text{ Hz}$ .

- 3.1. Calculer la valeur de la vitesse de cette balle.
- 3.2. Ce résultat est-il cohérent avec celui affiché sur la photographie ci-dessous prise lors de ce service ?



**Exercice 9 :**

**Nature des précipitations**

L'onde électromagnétique émise par le radar a une fréquence  $f_{\text{émise}} = 3,0 \times 10^9$  Hz. La fréquence  $f_{\text{reçue}}$  de l'onde réfléchie vers l'émetteur dépend de la vitesse de chute des hydrométéores (goutte de pluie, grêlon...). Lorsque l'angle entre la direction dans laquelle le radar émet l'onde et la direction de chute des hydrométéores vaut  $\theta$  (figure 5), le décalage en fréquence  $\Delta f$  s'exprime

par la relation suivante : 
$$\Delta f = f_{\text{reçue}} - f_{\text{émise}} = \frac{2v \cos \theta}{c} \times f_{\text{émise}}$$

avec  $v$  vitesse des hydrométéores par rapport au radar et  $c$  la célérité de l'onde électromagnétique.

Pour  $\theta = 60^\circ$ , le radar mesure un décalage Doppler  $\Delta f = +200$  Hz en bord de piste. La vitesse d'un grêlon (supposé sphérique) dépend de son diamètre  $d$  selon la relation :

$$v = \sqrt{k \times \frac{d}{2}} \text{ avec } k = 3,8 \times 10^4 \text{ m.s}^{-2}.$$

Calculer le diamètre des grêlons.

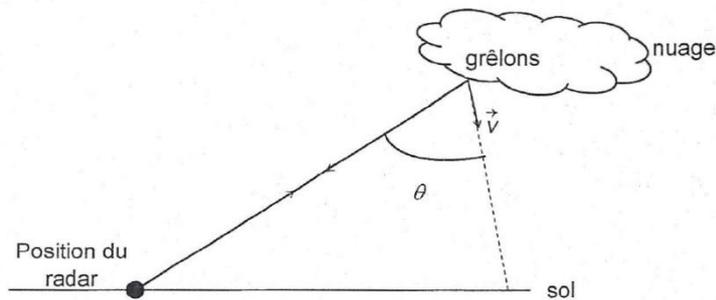


Figure 5. Orientation du radar météorologique.

**Exercice 10 :**

Lors de la répétition générale d'un ballet, Alice, la pianiste, ponctue la fin du 1er acte en jouant une série de La3 successifs au cours desquels Kilian, le danseur, effectue un saut appelé « grand jeté » en s'éloignant avec une vitesse estimée à  $3,03 \text{ m.s}^{-1}$ . Kilian a perçu des La3 successifs qui lui semblaient de hauteurs différentes et pense qu'Alice n'a pas joué la même note. Alice conteste et affirme qu'elle a bien joué la même note.

**Tableau du déroulement chronologique de la fin du premier acte**

Pianiste	Mi3	Si3	Ré3	La3	La3	La3	La3	La3	La3
Danseur	Immobile				Course d'élan et grand jeté				

La3 = La de l'octave 3

**Fréquence (en hertz) de quelques notes de la gamme tempérée**

Note	Do	Ré	Mi	Fa	Sol	La	Si
Octave 1	65	73	82	87	98	110	123
Octave 2	131	147	165	175	196	220	247
Octave 3	262	294	330	349	392	440	494

**L'effet Doppler**

L'effet Doppler est la modification de la fréquence d'une onde lorsque l'émetteur de cette onde et le récepteur sont en mouvement relatif.

Si le récepteur s'approche de l'émetteur, la fréquence perçue est : 
$$f_R = f_E \times \left( \frac{v_{\text{son}}}{v_{\text{son}} - v_R} \right)$$

Si le récepteur s'éloigne de l'émetteur, la fréquence perçue est : 
$$f_R = f_E \times \left( \frac{v_{\text{son}}}{v_{\text{son}} + v_R} \right)$$

$f_R$  est la fréquence de l'onde perçue par le récepteur ;  $f_E$  est la fréquence de l'onde émise par l'émetteur ;  $v_R$  est la vitesse du récepteur par rapport à l'émetteur ;  $v_{\text{son}}$  est la vitesse de propagation du son dans l'air. Elle est estimée à  $340 \text{ m.s}^{-1}$ .

**La loi de Weber-Fechner**

L'oreille humaine n'est capable de percevoir la différence de hauteur entre deux sons successifs que si la variation relative des fréquences entre ces deux sons, notée  $\frac{\Delta f}{f}$ , est supérieure ou égale à une certaine valeur appelée seuil différentiel relatif, Sdr.

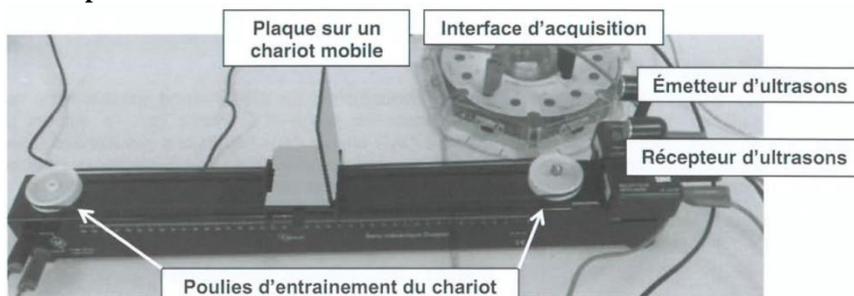
Pour une oreille entraînée, par exemple par plusieurs années d'études musicales, ce seuil vaut environ  $1/1000$  quelle que soit la fréquence du son.

1. Quelle est la fréquence des notes émises par le piano pendant le grand jeté de Kilian ?
2. Quelle est la fréquence des notes perçues par Kilian pendant son grand jeté ? Expliquer en détail votre raisonnement et votre calcul.
3. Sachant que Kilian a une oreille entraînée par des années d'études musicales, expliquer s'il peut percevoir cette différence de hauteur.
4. Expliquer l'origine du désaccord entre Alice et Kilian.

**Exercice 11 :**

Pour présenter le principe d'un LiDAR à effet Doppler qui mesure la vitesse des nuages, un professeur propose le dispositif expérimental photographié ci-après dans lequel le LiDAR est remplacé par un ensemble « émetteur - récepteur » d'ultrasons et le nuage est modélisé par une plaque fixée sur un chariot mobile. On suppose que la température de la salle est de 25°C.

**Photographie du dispositif expérimental :**



À l'aide de ce dispositif, le professeur a proposé aux élèves de réaliser deux expériences pour mesurer la vitesse de déplacement d'un objet.

Expérience n°1

Pour déterminer la valeur  $v$  de la vitesse de déplacement du chariot, Anna, à l'aide d'un chronomètre, mesure la durée mise par le chariot pour se déplacer d'une distance  $d = 30,0 \pm 0,5$  cm.

Elle réalise plusieurs chronométrages dont les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

Mesure n°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Durée $\tau$ (en s)	2,08	2,05	2,06	2,13	2,08	2,07	2,09	2,05	2,08	2,09

Dans les conditions de l'expérience :

L'écart-type sur la durée est  $\sigma_{n-1} = 2,35 \times 10^{-2}$  s

L'incertitude sur la durée se calcule avec la formule  $U(\tau) = \frac{2,26 \times \sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$ , où  $n$  est le nombre de mesures réalisées.

L'incertitude relative sur la valeur de la vitesse est  $\frac{U(v)}{v} = \sqrt{\left(\frac{U(\tau)}{\tau}\right)^2 + \left(\frac{U(d)}{d}\right)^2}$

Expérience n°2

Avec les mêmes réglages, Karim détermine la valeur de la vitesse  $v$  de déplacement du chariot à l'aide de l'effet Doppler. Disposant d'une interface d'acquisition et d'un logiciel de traitement, il mesure la fréquence reçue par le récepteur dans deux situations expérimentales :

Lorsque le chariot est immobile,  $f_1 = 42170$  Hz.

Lorsque le chariot est mouvement,  $f_2 = 42134$  Hz.

Dans les conditions de l'expérience :

Lors de la réflexion sur un obstacle en mouvement, la fréquence de l'onde reçue après réflexion est différente de celle de l'onde émise de fréquence  $f_{em}$ .

La valeur absolue de la variation de fréquence  $|\Delta f|$  est donnée par :  $|\Delta f| = \frac{2 \times v \times f_{em}}{c}$

Dans cette relation :  $v$  est la valeur de la vitesse de déplacement de l'obstacle par rapport à la source ;  $c$  est la célérité de l'onde.

1. Dans le cas de l'expérience n°1, déterminer la valeur de la vitesse de déplacement du chariot, notée  $v_{exp1}$  et exprimer le résultat en prenant en compte l'incertitude associée.

2. Lors de l'expérience n°2, le chariot se rapproche-t-il ou s'éloigne-t-il de l'ensemble « émetteur-récepteur ? Justifier.

3. L'incertitude relative sur la valeur de la vitesse déterminée dans l'expérience 2 est de 5 %. Les deux expériences donnent-elles des valeurs de vitesses compatibles ?

**Exercice 12 :**

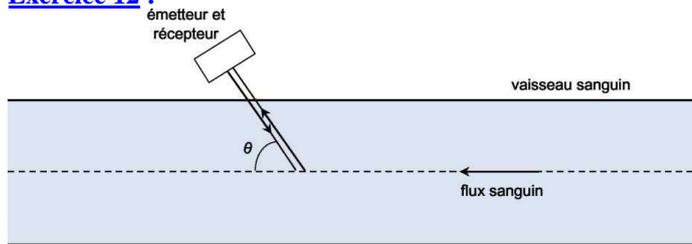


Figure 3. Principe de la mesure d'une vitesse d'écoulement sanguin par effet Doppler

L'onde ultrasonore émise, de fréquence  $f_E = 10 \text{ MHz}$ , se réfléchit sur les globules rouges qui sont animés d'une vitesse  $v$ . L'onde réfléchie est ensuite détectée par le récepteur.

La vitesse  $v$  des globules rouges dans le vaisseau sanguin est donnée par la relation  $v = \frac{v_{ultrason} \cdot \Delta f}{2 \cos \theta \cdot f_E}$  où  $\Delta f$  est le décalage en

fréquence entre l'onde émise et l'onde réfléchie,  $v_{ultrason} = 1,57 \times 10^3 \text{ m.s}^{-1}$  la célérité des ultrasons dans le sang et  $\theta = 45^\circ$  l'angle défini sur la figure 3.

1. Le décalage en fréquence mesuré par le récepteur est de 1,5 kHz. Identifier le(s) type(s) de vaisseaux sanguins dont il pourrait s'agir.
2. Pour les mêmes vaisseaux sanguins et dans les mêmes conditions de mesure, on augmente la fréquence des ultrasons émis  $f_E$ . Indiquer comment évolue le décalage en fréquence  $\Delta f$ . Justifier.

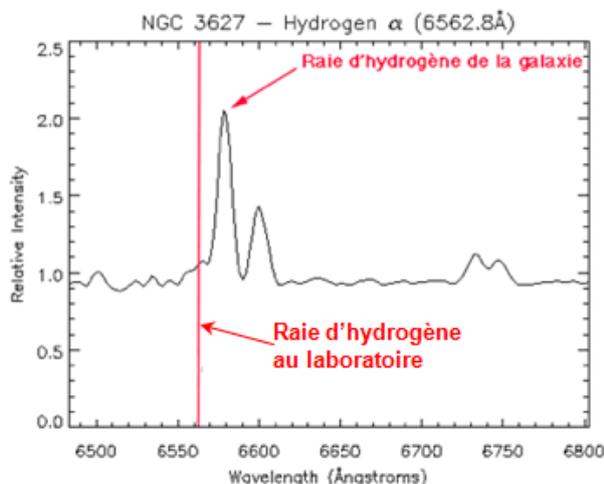
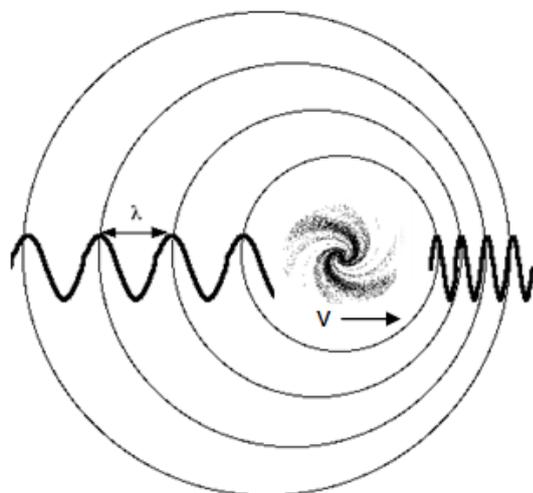
**Exercice 13 :**

**Document 3 : L'effet Doppler**

**L'effet Doppler** (ou Doppler-Fizeau) traduit le décalage de longueur d'onde (ou de fréquence) perçu par un observateur lorsque une onde est reçue en provenance d'un émetteur en mouvement par rapport à la situation où ce même corps est immobile.

Il peut être montré que ce décalage est proportionnel à la vitesse du corps et dépend du sens du mouvement. Si le corps s'éloigne, la longueur d'onde d'une lumière visible émise par ce corps est décalée vers le rouge (la fréquence diminue), s'il se rapproche, elle est décalée vers le bleu (la fréquence augmente).

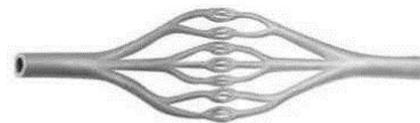
**Schéma général de l'effet Doppler Extrait du spectre d'émission de la galaxie NGC 3627**



Wavelength : longueur d'onde 1 Ångtröm = 0,1 nm

[http://bonnetbidaud.free.fr/pedagogie/hubble\\_law/index.html](http://bonnetbidaud.free.fr/pedagogie/hubble_law/index.html)

différents vaisseaux du lit vasculaire



vitesse de l'écoulement sanguin (cm/s)

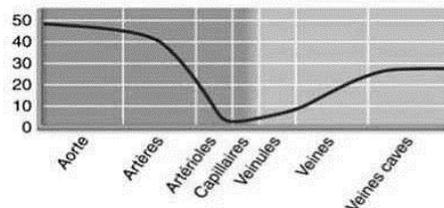
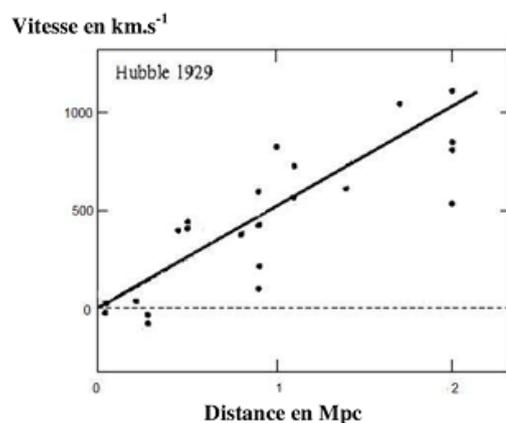


Figure 2. Vitesse moyenne du sang dans différents vaisseaux sanguins.

©2011 Pearson

## Document 4 : Résultats historiques de Edwin Hubble



Dès 1929, Edwin Hubble a remarqué que la vitesse à laquelle semblaient s'éloigner les galaxies qu'il observait était proportionnelle à leur distance à la Terre. La constante de proportionnalité a ensuite été appelée "constante de Hubble". La figure ci-dessus indique les premiers résultats obtenus par Edwin Hubble en 1929, pour des galaxies très proches (distance inférieure à 2 Mpc\*).

\* Le mégaparsec noté Mpc est une unité de longueur utilisée couramment en astronomie

1. L'effet Doppler est observé dans le cas des ondes sonores (par exemple une sirène d'ambulance en mouvement). Indiquer dans le cas d'une source sonore s'éloignant de l'observateur si le son perçu par celui-ci est plus aigu ou plus grave que le son perçu lorsque la source est immobile. Justifier la réponse.
2. La galaxie NGC 3627 s'éloigne-t-elle ou se rapproche-t-elle de la Terre ?
3. Commenter la phrase « Edwin Hubble a remarqué que la vitesse à laquelle semblaient s'éloigner les galaxies qu'il observait était proportionnelle à leur distance à la Terre ».