

1. Session 2023 – Jour1 – Liban

EXERCICE 1 : UN « JET DE 7 MÈTRES » AU HANDBALL (11 POINTS)

Source : hbcnantes.com

Lors du match de handball opposant le club du HBC Nantes à l'US Ivry en 2020 au palais des sports de Beaulieu, le joueur nantais Valero Rivera se trouve face au gardien adverse pour un « jet de 7 mètres », le joueur étant placé à 7 mètres du but – l'équivalent du pénalty au football. Parmi les diverses options de tir qui s'offrent à lui, il choisit le lob, une trajectoire en cloche au-dessus du gardien avancé.

Les objectifs de l'exercice sont, dans une première partie, d'étudier le mouvement d'un ballon lors d'un tir similaire filmé, et dans une seconde partie, d'étudier quelques caractéristiques des ondes sonores perçues à l'intérieur du palais des sports.

Les deux parties de cet exercice sont indépendantes.

B. Étude des ondes sonores produites par le sifflet de l'arbitre

Lors d'un « jet de 7 mètres », l'arbitre est placé à proximité du but. Il donne un bref coup de sifflet pour indiquer au joueur qu'il peut déclencher son tir. Le niveau d'intensité sonore L perçu par l'arbitre, dont l'oreille est située à une distance de 15 cm du sifflet, est égal à 115 dB.

Données :

- le niveau d'intensité sonore, noté L , est lié à l'intensité sonore I par la relation :

$$L = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad \text{avec } L \text{ exprimé en dB, } I \text{ et } I_0 \text{ en } \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$$

et $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ (intensité sonore correspondant au seuil d'audibilité) ;

- une source S , émettant des ondes sonores de puissance P , est isotrope si elle émet la même quantité d'énergie dans toutes les directions. L'intensité sonore mesurée, notée I , dépend alors de la distance d selon la relation (ou d exprimée en m est la distance qui sépare le récepteur de la source) :

$$I = \frac{P}{4\pi \cdot d^2}$$

- durée limite d'exposition d'un individu sans protection avant dommages :

Niveau d'intensité sonore	Durée limite d'exposition
de 120 à 140 dB	quelques secondes suffisent à provoquer des dégâts irréversibles
107 dB	1 min par jour
101 dB	4 min par jour
95 dB	15 min par jour
92 dB	30 min par jour
86 dB	2h par jour
80 dB	8h par jour

D'après cochlea.org/bruit-attention-danger-!-protection

- Q.10.** Au cours d'un match, l'arbitre donne environ 200 coups de sifflet. La durée moyenne du coup de sifflet étant de 0,3 s, indiquer si l'arbitre encourt un risque auditif. Justifier.
- Q.11.** Proposer une solution simple que l'arbitre pourrait envisager pour se protéger. Nommer le type d'atténuation correspondant.
- Q.12.** Calculer l'intensité sonore I perçue par l'arbitre sans protection lors du coup de sifflet.
- Q.13.** Montrer que la puissance de la source sonore constituée par le sifflet est égale à $P = 8,9 \times 10^{-2} \text{ W}$.

Un spectateur proche du terrain est situé à 5,0 m de l'arbitre. On admet que le seul son parvenant à son oreille est celui émis par le sifflet, considéré comme une source isotrope.

- Q.14.** Déterminer le niveau d'intensité sonore que ce spectateur perçoit.
- Q.15.** Déterminer la valeur de l'atténuation correspondant à la différence de niveau d'intensité sonore perçue entre l'arbitre et le spectateur à 5,0 m. Quel nom donne-t-on à ce type d'atténuation ?

En réalité, le son produit par le sifflet se superpose au bruit ambiant. En dehors des « pics » de bruit produits par le public manifestant sa joie suite à un but marqué ou par les coups de sifflets de l'arbitre, le niveau d'intensité sonore dû au bruit ambiant, perçu par chaque spectateur, est égal à 75 dB. À 15 m de l'arbitre, l'intensité sonore due au son du sifflet a même valeur que celle due au bruit ambiant.

- Q.16.** Déterminer le niveau d'intensité sonore global perçu par un spectateur à cette distance.

EXERCICE C - NOS OREILLES ON Y TIENT !

Mots-clés : intensité sonore ; niveau d'intensité sonore ; atténuation

Le niveau d'intensité sonore est exprimé en décibels. L'échelle va de 0 à 120 dB. La limite de nocivité est située à 85 dB. Au-dessous, aucun risque auditif. Au-dessus, la nocivité augmente avec le niveau. On trouve des valeurs supérieures à 90 dB dans la vie professionnelle, les activités de loisirs (fêtes, sports mécaniques) et la musique. D'après <http://www.journee-audition.org/pdf/nos-oreilles.pdf>

On peut lire dans un guide d'information de la journée nationale de l'audition l'affirmation suivante : « vous êtes exposé à 85dB et plus si, dans une file de voiture, votre voisin entend votre autoradio toutes vitres fermées. »

L'objectif de cet exercice est de vérifier l'affirmation du guide d'information.

Donnée :

➤ Le niveau d'intensité sonore L est lié à l'intensité sonore I par la relation :

$$L = 10 \times \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

avec I_0 l'intensité sonore de référence en watt par mètre carré, L en décibels et I en watt par mètre carré.

Étude du son perçu par les conducteurs de deux voitures ayant les fenêtres baissées.

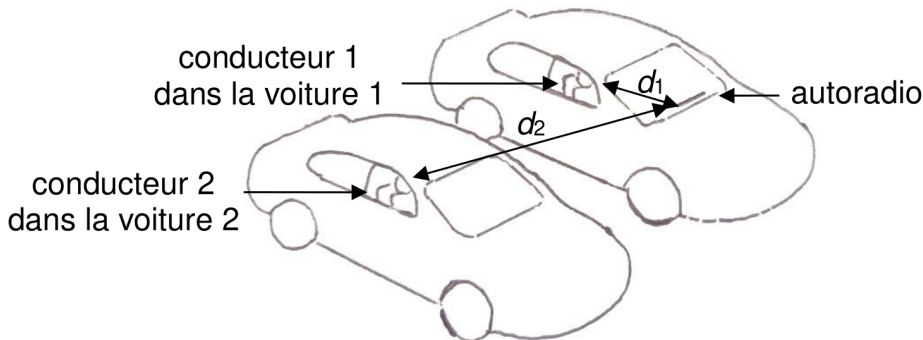


Figure 1. Schéma représentant les deux voitures côte à côte.

Dans la voiture 1, le conducteur 1 allume son autoradio. L'oreille du conducteur 1 est située à une distance d_1 égale à 1,0 m de l'autoradio. Les fenêtres de la voiture sont baissées.

Dans la voiture 2, les fenêtres sont également baissées. L'oreille du conducteur 2 est située à une distance d_2 égale à 3,1 m de l'autoradio de la première voiture.

Dans cette première partie, on considérera que l'atténuation de l'onde sonore ne dépend que de la distance entre la source et le récepteur et que la source est ponctuelle.

Donnée :

- Dans le modèle de l'atténuation géométrique et pour une source ponctuelle, l'intensité sonore I perçue à une distance d de la source est reliée à la puissance sonore P de cette source par la relation :

$$I = \frac{P}{4\pi d^2}$$

Avec P la puissance de l'onde sonore en watt et d la distance à la source en mètre.

1. Exprimer l'intensité sonore I_1 reçue par le conducteur 1 en fonction de la puissance sonore P et de d_1 puis exprimer l'intensité sonore I_2 reçue par le conducteur 2 en fonction de P et de d_2 .
2. À l'aide des données, montrer que l'atténuation géométrique $A_{géo}$ du conducteur 1 au conducteur 2 en décibels peut s'exprimer sous la forme :

$$A_{géo} = 10 \times \log\left(\frac{I_1}{I_2}\right)$$

3. Vérifier que l'atténuation $A_{géo}$ est égale à 9,8 dB.

Dans la suite, la valeur de l'atténuation $A_{géo}$ sera arrondie à 10 dB.

En plaçant son smartphone près de son oreille et en utilisant une application sonomètre, le conducteur 1 mesure un niveau d'intensité sonore $L_1 = (80 \pm 3)$ dB. Le conducteur 2 fait de même et mesure un niveau d'intensité sonore $L_2 = (68 \pm 3)$ dB.

4. À l'aide des mesures précédentes, calculer la valeur expérimentale A_{mesure} de l'atténuation géométrique.

Données :

- L'incertitude-type $u(A_{mesure})$ sur la grandeur A_{mesure} peut se calculer à partir de la relation :

$$u(A_{mesure}) = \sqrt{u(L_1)^2 + u(L_2)^2}$$

avec $u(x)$ désigne l'incertitude-type associée à la grandeur x

- Le z-score noté z , correspond à l'écart entre le résultat de la mesure x et la valeur de référence x_{ref} évalué en nombre d'incertitude-type.

$$z = \frac{|x - x_{ref}|}{u(x)}$$

Si le z-score z est inférieur à 2 alors x et x_{ref} sont considérés compatibles.

5. Calculer l'incertitude-type de l'atténuation A_{mesure} .
6. Comparer, en utilisant le z-score, l'atténuation $A_{géo}$ et l'atténuation mesurée A_{mesure} et conclure sur la compatibilité de ces deux valeurs.

Étude du son perçu par les conducteurs de deux voitures ayant les fenêtres fermées.

Dans cette partie, les deux conducteurs ferment entièrement leurs fenêtres et le conducteur 1 monte le volume de l'autoradio jusqu'à ce qu'il soit audible par le conducteur 2.

7. À l'atténuation géométrique $A_{géo}$ s'ajoute l'atténuation due à la fermeture des deux fenêtres $A_{fenêtres}$. Choisir la nature de cette nouvelle atténuation parmi les deux propositions suivantes :
- atténuation géométrique
 - atténuation par absorption

Données :

- $A_{fenêtres} = 18$ dB (pour les deux fenêtres)
 - Le conducteur 2 mesure maintenant un niveau d'intensité sonore L_2' égal à 63 dB.
8. Déterminer si le conducteur 1 est exposé à un niveau d'intensité sonore supérieur à la limite de nocivité.

3. Session 2019 – Asie – Les océans sous surveillance

Les océanographes ne peuvent plus s'en passer. De quoi ? Des satellites Jason ! Ces satellites altimétriques initiés par le lancement de Topex-Poseidon en 1992 puis de Jason 1 en 2001 et Jason 2 en 2008 donnent une cartographie évolutive de la surface des océans avec une précision meilleure que 5 cm.

Jason 3 permettra d'assurer au moins jusqu'en 2020 la continuité de ces mesures, capitales dans le contexte du réchauffement climatique. En 2020 et 2026, deux autres satellites Jason le rejoindront sur la même orbite : Jason-CS-A/Sentinel-6A et Jason-CS-B/Sentinel-6B.

Un radar embarqué sur le satellite émet verticalement des ondes radio sous forme de brèves impulsions. On mesure alors le temps de retour de l'onde émise par le satellite après réflexion sur la surface de la mer.

3. Détermination précise de l'orbite

Une détermination très précise de la position du satellite en orbite est une des conditions essentielles de la qualité des données altimétriques. Le système DORIS (Détermination d'Orbites et Radio positionnement Intégré par Satellite), basé sur l'effet Doppler, contribue en partie à ce délicat exercice d'orbitographie.

Le système DORIS comporte environ 60 stations réparties uniformément sur tout le globe, chaque station se compose d'une balise émettrice, d'une antenne réceptrice et d'un jeu de capteurs météorologiques. Les balises émettent en continu des signaux de différentes fréquences dont l'une vaut $f_0 = 401,250$ MHz.

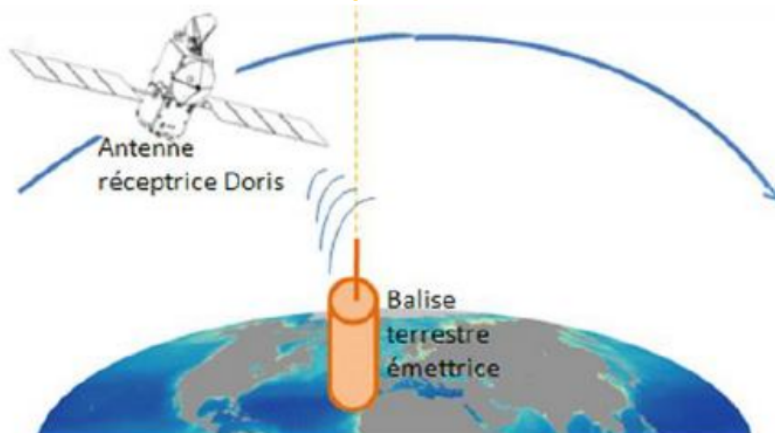
3.1. Compléter le document 1 « principe de l'effet Doppler » de l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE en faisant l'analogie avec les ondes sonores.

Document 1 « principe de l'effet Doppler »

Le satellite est à la **verticale** de la balise, c'est le point TCA (*Time of Closet Approach*)
La fréquence du signal reçu est **égale** à la fréquence du signal émis.

Le satellite **s'approche** de la balise :
La fréquence du signal reçu est _____ à la fréquence du signal émis.

Le satellite **s'éloigne** de la station terrestre :
La fréquence du signal reçu est _____ à la fréquence du signal émis.



3.2. La vitesse v d'un satellite est liée à la fréquence f_0 de l'onde électromagnétique émise par la balise et à la fréquence de l'onde reçue par le satellite f_r par la relation

$$f_r = f_0 \left(1 + \frac{v \times \cos(\theta)}{c} \right)$$

avec :

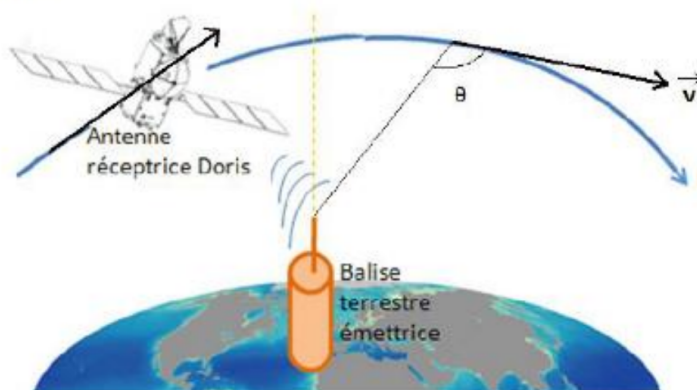
- c , la célérité des ondes électromagnétiques
- θ , angle que fait le vecteur vitesse avec la direction balise satellite (voir **figure 2** ci-après).

3.2.a. Exprimer la vitesse v du satellite en fonction de la variation de fréquence

$$\Delta f = f_r - f_0, \text{ de } f_0, c \text{ et } \cos(\theta)$$

3.2.b. Calculer la valeur de la vitesse v du satellite en km.s^{-1} pour une variation de fréquence $\Delta f = - 4,07 \text{ kHz}$ et un angle $\theta = 115^\circ$.

Figure 2



4. Session 2019 – Amérique du Nord – Newton car

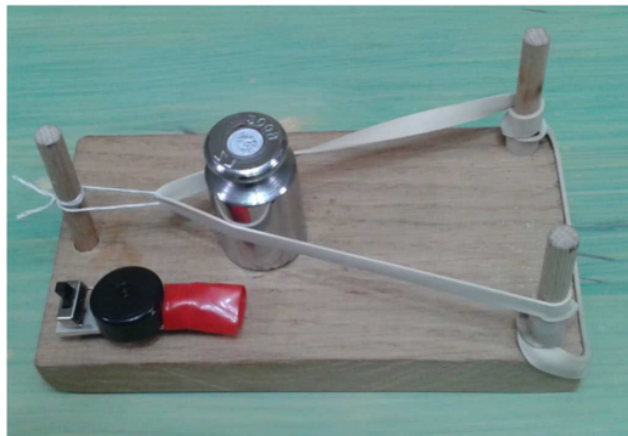
Le « Newton Car » challenge, impulsé par la NASA, est un défi scientifique qui peut être proposé aux élèves de lycée.

Une « Newton Car » est composée d'un chariot de bois équipé de trois plots permettant de maintenir un élastique étiré à l'aide d'une ficelle. Le chariot est positionné sur une série de pailles en plastique. Une masselotte est placée au niveau de la courbure de l'élastique. L'éjection de la masselotte met en mouvement le chariot.

3. Détermination de la vitesse du chariot en utilisant l'effet Doppler

On fixe un petit buzzer alimenté par une pile à l'avant du chariot après avoir raboté une partie du chariot pour que la masse du système ne change pas.

Document : dispositif avec buzzer



On réalise la même expérience que dans la partie 1.

3.1 Étude du son du buzzer quand la « Newton Car » est immobile.

On enregistre le son émis par le buzzer lorsque le dispositif est immobile. L'enregistrement du signal sonore obtenu est représenté sur la figure 1 et son analyse spectrale sur la figure 2.

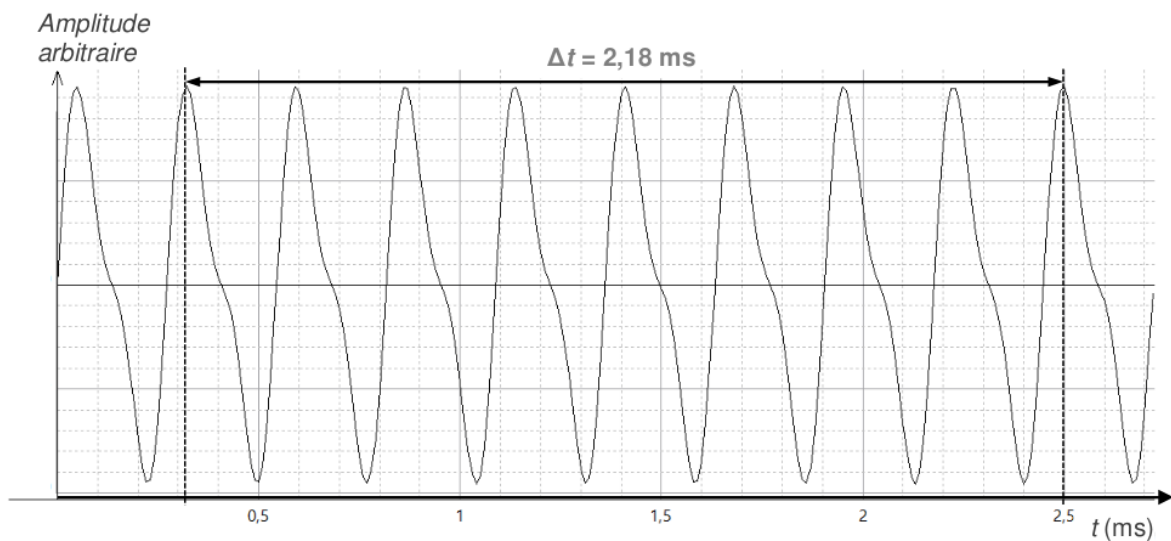


Figure 1 : enregistrement du signal sonore émis par le buzzer.

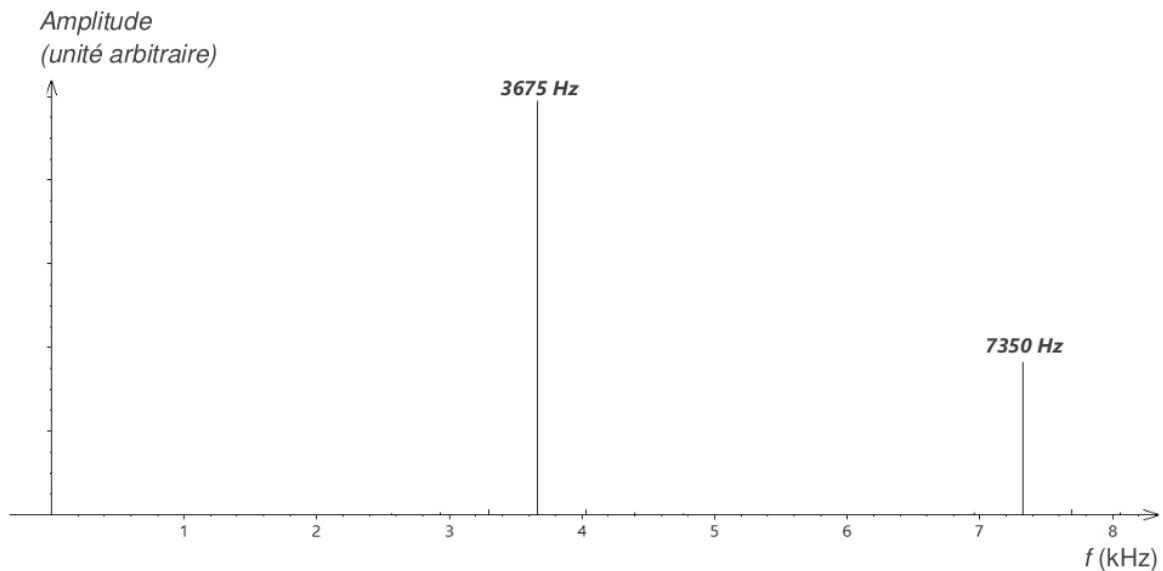


Figure 2 : spectre du signal sonore émis par le buzzer.

- 3.1.1. Comment appelle-t-on chacun des pics qui apparaît sur le spectre du signal ? Justifier.
- 3.1.2. Le son du buzzer est-il pur ou complexe ? Justifier.
- 3.1.3. À partir de l'enregistrement du signal (figure 1), déterminer la fréquence f_E du son émis par le buzzer. Cette fréquence est-elle en accord avec le spectre du signal sonore émis (figure 2) ?

3.2 Étude du son du buzzer quand la « Newton Car » est en mouvement.

On installe sur un support un microphone relié à un ordinateur pour permettre de faire l'acquisition du son du buzzer lorsque le chariot passe devant le microphone.

L'enregistrement est donné sur la figure 3.

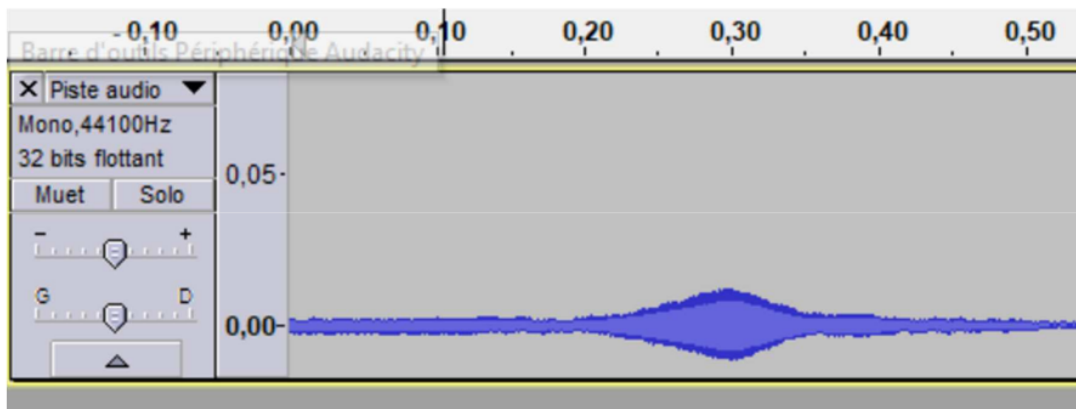


Figure 3

On sélectionne une première portion de signal correspondant à l'approche du chariot. L'analyse spectrale indique une fréquence $f_R = 3690$ Hz.

On sélectionne une deuxième portion de signal correspondant à l'éloignement du chariot. L'analyse spectrale indique une fréquence $f_R = 3658$ Hz.

Données :

- Si le récepteur s'approche de l'émetteur, la fréquence perçue est : $f'_R = f_E \cdot \left(\frac{v_{son}}{v_{son} - v_c} \right)$;
- Si le récepteur s'éloigne de l'émetteur, la fréquence perçue est : $f_R = f_E \cdot \left(\frac{v_{son}}{v_{son} + v_c} \right)$;
- f_E est la fréquence de l'onde émise par l'émetteur ;
- v_c est la vitesse du chariot par rapport au récepteur ;
- v_{son} est la vitesse de propagation du son dans l'air. Elle est donnée par la relation :

$$v_{son}(\theta^\circ\text{C}) = v_{son}(0^\circ\text{C}) \times \sqrt{1 + \frac{\theta}{273}}$$
 avec $v_{son}(0^\circ\text{C}) = 331 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ et θ la température en $^\circ\text{C}$.

3.2.1. Expliquer en quelques lignes en quoi consiste l'effet Doppler.

3.2.2. L'expérience se déroule à $25,0^\circ\text{C}$. Quelle est alors la valeur de la propagation du son dans l'air ?

3.2.3. Estimer la valeur de la vitesse du chariot en explicitant votre démarche.

5. Session 2018 – Métropole – Service et réception au Volley-Ball

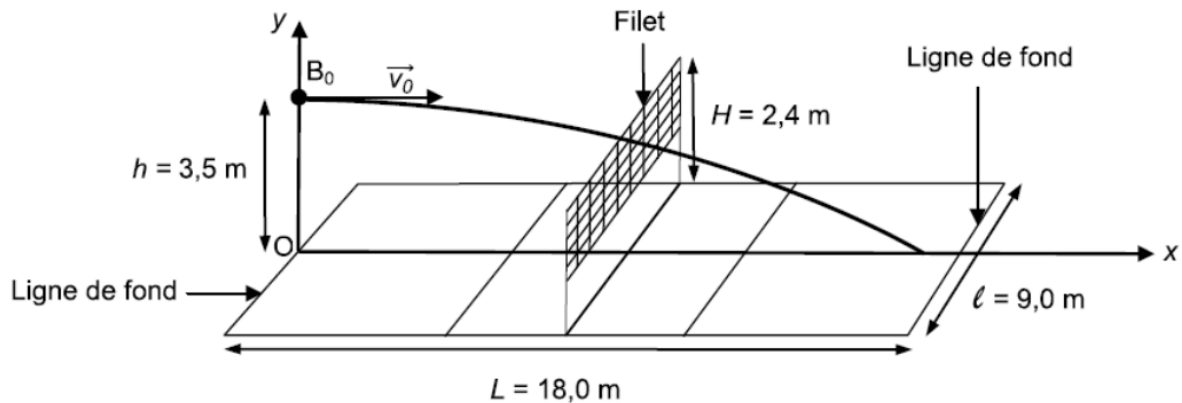
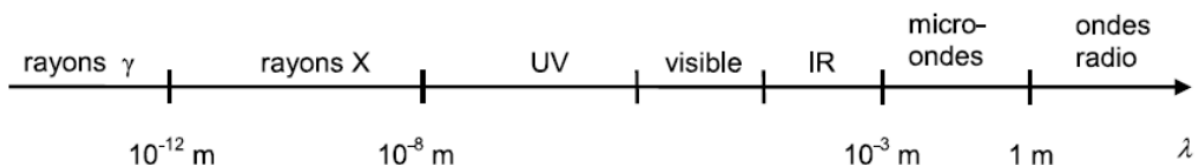


Figure 1. Dimensions du terrain de volley-ball et allure de la trajectoire du ballon.

Le but de cet exercice est de déterminer la valeur de la vitesse initiale du ballon, de vérifier la validité du service et d'étudier la réception du service par un joueur de l'équipe adverse. Pour cela, on étudie le mouvement du centre du ballon sans tenir compte de l'action de l'air, de la rotation du ballon sur lui-même et de ses déformations.

Données :

- le ballon de volley-ball a une masse $m = 260 \text{ g}$ et un rayon $r = 10 \text{ cm}$;
- intensité du champ de pesanteur : $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$;
- la valeur de la célérité c de la lumière dans le vide ou dans l'air est supposée connue du candidat ;
- domaines des ondes électromagnétiques en fonction de la longueur d'onde λ :



1. Mesure de la vitesse initiale du ballon

Afin d'évaluer les performances du serveur, on mesure la valeur de la vitesse initiale v_0 du ballon grâce à un radar portable (voir figure 2.), que l'on pointe en direction de la position de frappe B_0 .

Le manuel du radar portable indique que celui-ci envoie des ondes électromagnétiques haute fréquence ($3,47 \times 10^{10}$ Hz) et mesure la différence de fréquence entre l'onde émise et l'onde réfléchi sur un objet en mouvement.



1.1. Identifier le domaine des ondes électromagnétiques émises par ce radar portable. Justifier par un calcul.

1.2. Nommer le phénomène à l'origine de la différence de fréquence entre les ondes émises et reçues par le radar portable.

1.3. Le radar portable est positionné face au serveur et vise le ballon. La fréquence de l'onde reçue est-elle inférieure ou supérieure à celle de l'onde émise ? Justifier.

1.4. Dans les mêmes conditions de mesure que pour la question 1.3, le décalage Δf entre la fréquence $f_{\text{émise}}$ de l'onde émise et la fréquence $f_{\text{reçue}}$ de l'onde reçue vérifie la relation :

$$|\Delta f| = |f_{\text{reçue}} - f_{\text{émise}}| = \frac{2v_0 \cdot f_{\text{émise}}}{c}$$

Le décalage $|\Delta f|$ mesuré par le radar portable est 4,86 kHz.

En déduire la valeur de la vitesse du ballon. Vérifier l'accord avec l'indication de l'écran du radar portable de la figure 2.

6. Session 2023 – Amérique du Nord – Le BMX

A. Les signaux associés au départ de la course

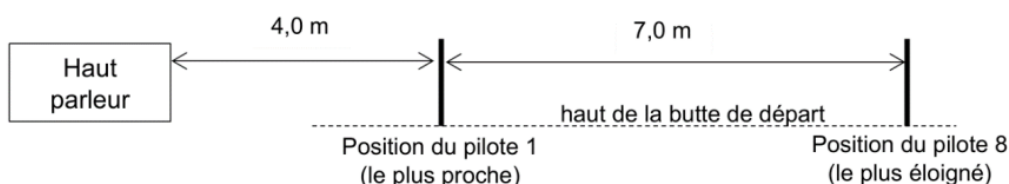
Une fois les pilotes bien positionnés sur la grille en haut de la butte, le starter lance la commande automatique de départ, qui comporte une série de 4 bips sonores synchronisés avec des feux (rouge, 1er orange, 2ème orange, vert). Au quatrième bip, qui coïncide avec le feu vert, la grille s'abaisse pour libérer les pilotes.

Lors de cette procédure, le cahier des charges de l'union cycliste internationale impose que le niveau d'intensité sonore soit initialement réglé pour que, malgré l'atténuation acoustique générée par leurs casques, les pilotes puissent tous entendre parfaitement les bips sonores. On considère qu'un son est parfaitement audible par le pilote à partir d'un niveau d'intensité sonore de l'ordre de 60 dB, sans dépasser 85 dB.

Données :

- célérité d'une onde sonore dans l'air à 20 °C : $c_{\text{son}} = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;
- célérité d'une onde lumineuse dans l'air : supposée connue ;
- fréquence des bips sonores : $f = 632 \text{ Hz}$.

Le haut-parleur délivrant les bips sonores est unique. Il est situé dans le prolongement de la ligne de départ à une distance $d = 4,0 \text{ m}$ sur la gauche du pilote le plus proche. Le pilote le plus éloigné se trouve alors 7,0 m plus à droite.



Le haut-parleur a été réglé de sorte que le niveau d'intensité sonore du son incident mesuré sur la paroi du casque du premier pilote soit $L_{i1} = 83$ dB.

L'atténuation par absorption, correspond à la différence entre le niveau d'intensité sonore L_i du son incident sur le casque et le niveau d'intensité sonore L_t du son transmis à l'intérieur de celui-ci. Pour la fréquence 632 Hz et les casques en fibre de carbone utilisés par les pilotes de haut niveau, cette atténuation est de l'ordre de 10 dB.

Q.1. Calculer le niveau d'intensité sonore L_{t1} transmis à l'intérieur du casque du premier pilote.

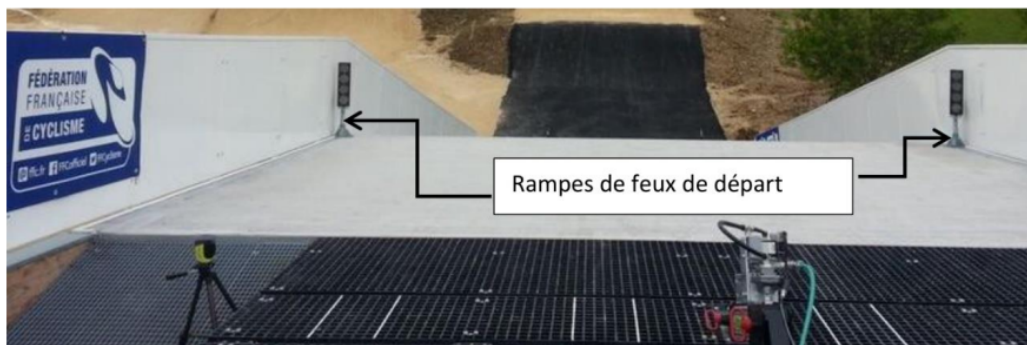
La relation entre L , le niveau d'intensité sonore à une distance d de la source et L' , le niveau sonore à une distance d' plus éloignée de cette source, est donnée par : $L' = L + 20 \cdot \log\left(\frac{d}{d'}\right)$

Q.2. Calculer le niveau d'intensité sonore L_{i8} du son incident sur le casque du huitième pilote, puis le niveau d'intensité sonore L_{t8} du son transmis correspondant. Commenter ce résultat.

Certaines buttes sont maintenant sonorisées avec deux haut-parleurs, disposés aux extrémités de la ligne de départ.

Q.3. Expliquer qualitativement pourquoi ce dispositif à double haut-parleur est plus équitable.

Deux rampes de feux lumineux sont installées à mi-pente de la butte de départ de part et d'autre du plan incliné de la descente :



Q.4. Justifier sans calcul l'intérêt pour les pilotes d'être davantage attentifs aux signaux lumineux qu'aux signaux sonores pour prendre le départ.