EXERCICES. LES ONDES SONORES

Donnée pour tous les exercices :

intensité acoustique de référence (minimum audible) : $I_0 = 1,0 \times 10^{-12}\ W.m^{-2}$

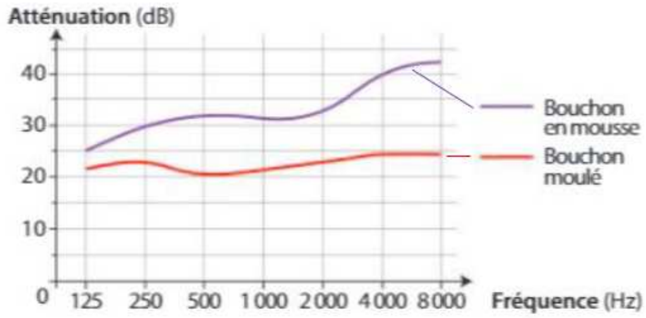
Exercice 1. Un concert de musique

Un concert est donné avec deux violons. Les niveaux d'intensité sonore produits séparément par chacun des deux instruments à 5 mètres sont respectivement de 70 dB et 76 dB.

1. Calculer les intensités sonores reçues à 5 m de chacun des violonistes lorsqu'il joue seul.
2. Calculer le niveau d'intensité sonore à 5 m des violonistes jouant simultanément.
3. Combien de violonistes produisant chacun un son de niveau d'intensité sonore 70 dB faudrait-il pour que le niveau mesuré au même endroit soit de 90 dB ?

Exercice 2. Des bouchons de protection

Les bouchons anti-bruit sont utilisés pour limiter le niveau d'intensité sonore tout en gardant la qualité du son. Le graphique ci-contre représente les courbes d'atténuation d'un bouchon en mousse et d'un bouchon moulé.



1. Pour quel type de bouchon la fréquence a-t-elle le plus d'influence sur l'atténuation ?
2. Avec quel type de bouchon, le son perçu est plus grave que le son émis ?
3. Indique, pour les deux situations suivantes, le type de bouchon antibruit le mieux adapté :
   a) le son d'un avion au décollage perçu avec un niveau d'intensité sonore de 140 dB
   b) lors d'un concert où le niveau perçu est d'environ 100 dB

Exercice 3. Atténuation géométrique

À une distance de 2,0 m d'une enceinte, le niveau d'intensité sonore est de 110 dB.

1. Calculer l'intensité sonore à 2,0 m et en déduire la puissance acoustique de l'enceinte.
2. Calculer la distance minimale à laquelle il faut se placer pour le niveau d'intensité sonore soit inférieur à 85 dB.

Exercice 4. L'atténuation géométrique en formule

1. Montrer que, lorsqu'on passe d'une distance d_1 à une distance $d_2 > d_1$, l'atténuation géométrique en décibel est donnée par : $A_{d_1 \to d_2} = 20log\left(\frac{d_2}{d_1}\right)$. Rappel : $log(a^n) = n \times log(a)$
2. Calculer l'atténuation géométrique lorsque la distance est : **a)** doublée **b)** multipliée par 10.

Exercice 5. Rendement d'une enceinte

Pour déterminer le rendement de ses enceintes, un particulier mesure à 10 m d'elles un niveau d'intensité sonore de 80 dB. Le rendement d'une enceinte s'exprime en $dB.W^{-1}.m^{-1}$: c'est le niveau d'intensité sonore à 1,0 m des enceintes lorsque la puissance électrique alimentant les enceintes est de 1,0 W.

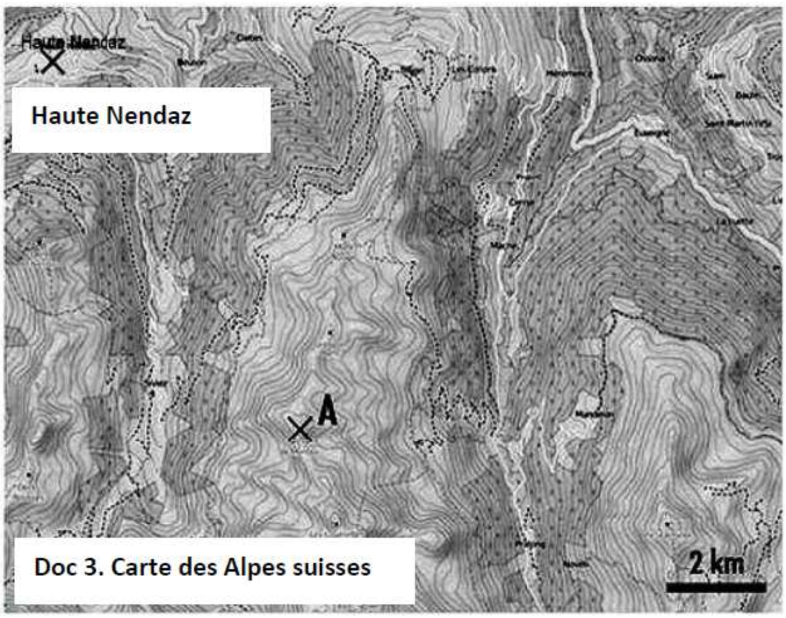
1. Calculer le niveau d'intensité sonore à 1,0 m des enceintes.
2. Sachant que la puissance électrique alimentant les enceintes est de 16 W, en déduire le modèle d'enceinte du particulier parmi ceux proposés ci-contre.

Exercice 6. Festival de musique

Chaque année, au mois de juillet, se déroule le festival international du cor des Alpes à Haute Nendaz, en Suisse. Cet instrument folklorique était jadis utilisé par les bergers pour communiquer entre eux.

Doc 1. Le cor des Alpes
Un cor des Alpes est fait d'une seule pièce de bois, un tube recourbé à son extrémité et mesurant environ 3,4 m. Pour en jouer, le musicien souffle dans une embouchure. La note la plus grave est atteinte lorsque la longueur d'onde de l'onde sonore associée à la note est égale à deux fois la longueur du cor.

Doc 2. Formule de l'intensité sonore
Pour une source isotrope (c'est-à-dire émettant la même énergie dans toutes les directions) de puissance P, l'intensité sonore au point M à la distance d de la source est donnée par : $I = \frac{P}{4\pi d^2}$ avec I en W.m^{-2} ; P en W ; d en m

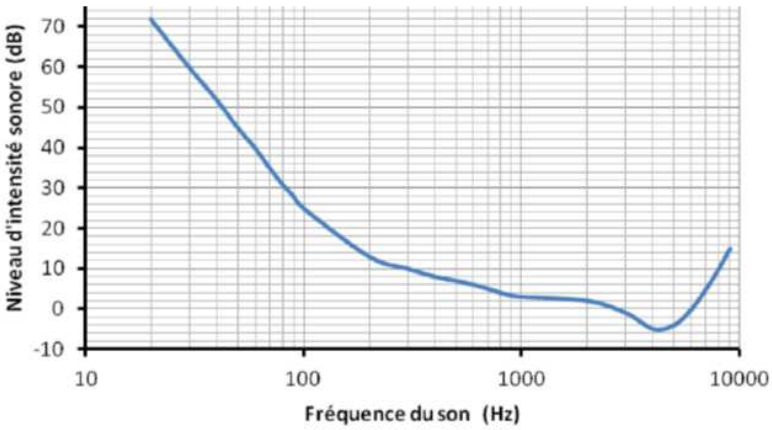


Doc 3. Carte des Alpes suisses

Doc 4. Célérités du son dans l'air en fonction de la température θ

θ	10°C	20°C	30°C	40°C
célérité $m.s^{-1}$	337	343	349	355

Doc 5. Seuil d'audibilité humaine en fonction de la fréquence



Contexte :
Un berger, situé au sommet d'une colline (point A sur la carte du **Doc 3**) joue la note la plus grave de son cor des Alpes. Le niveau d'intensité sonore est alors de 100 dB à un mètre de l'instrument. On souhaite savoir si on peut l'entendre à Haute Nendaz. Pour cela, répondre aux questions suivantes en s'aidant des documents et dans l'hypothèse d'une émission isotrope et en négligeant les phénomènes d'amortissement et de dissipation d'énergie.

1. Calculer l'intensité sonore de l'instrument reçue à 1 mètre puis à Haute Nendaz.
2. Calculer le niveau d'intensité sonore perçu à Haute Nendaz.
3. À l'aide des **Doc 1** et **2**, déterminer la fréquence du son émis par l'instrument.
4. Le son peut-il être entendu à Haute Nendaz ?

Correction :

Exercice 1 :

Exercice. Un concert de musique

Un concert est donné avec deux violons. Les niveaux d'intensité sonore produits séparément par chacun des deux instruments à 5 mètres sont respectivement de 70 dB et 76 dB.

1. Calculer les intensités sonores reçues à 5 m de chacun des violonistes lorsqu'il joue seul.
2. Calculer le niveau d'intensité sonore à 5 m des violonistes jouant simultanément.
3. Combien de violonistes produisant chacun un son de niveau d'intensité sonore 70 dB faudrait-il pour que le niveau mesuré au même endroit soit de 90 dB ?

décibel (dB)

$$L = 10 \times \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad W.m^{-2}$$

$$I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}\ W.m^{-2}$$

$$I = I_0 \times 10^{\frac{L}{10}}$$

1.

$$I_{1v} = I_0 \times 10^{\frac{L_v}{10}} = 1{,}0 \times 10^{-12} \times 10^{\frac{70}{10}} = 1{,}0 \times 10^{-5}\ W.m^{-2}$$

$$I_{1V} = I_0 \times 10^{\frac{L_V}{10}} = 1{,}0 \times 10^{-12} \times 10^{\frac{76}{10}} = 4{,}0 \times 10^{-5}\ W.m^{-2}$$

2. $\rightarrow I_E = I_{1v} + I_{1V} = 5{,}0 \times 10^{-5}\ W.m^{-2}$ $\quad \rightarrow \boldsymbol{L_E} = 10 \times \log\left(\frac{5{,}0 \times 10^{-5}}{1{,}0 \times 10^{-12}}\right) = \boldsymbol{77dB}$

3.

1ère méthode :

$$\left.\begin{aligned} I_{1v} &= 1{,}0 \times 10^{-5}\ W.m^{-2} \\ I_{xv} &= I_0 \times 10^{\frac{L_{xv}}{10}} = 1{,}0 \times 10^{-12} \times 10^{\frac{90}{10}} = 1{,}0 \times 10^{-3}\ W.m^{-2} \end{aligned}\right\} \quad \boldsymbol{x} = \frac{I_{xv}}{I_{1v}} = \frac{1{,}0 \times 10^{-3}}{1{,}0 \times 10^{-5}} = \boldsymbol{10^2}$$

2ème méthode :

$$\boldsymbol{L_{xv}} = 10\log\left(\frac{I_{xv}}{I_0}\right) = 10\log\left(\overset{a}{\boldsymbol{x}} \times \overset{b}{\frac{I_{1v}}{I_0}}\right) = 10\log\boldsymbol{x} + 10\log\left(\frac{I_{1v}}{I_0}\right)$$

$$\log(a \times b) = \log(a) + \log(b)$$

$$10\log\boldsymbol{x} = L_{xv} - L_{1v}$$

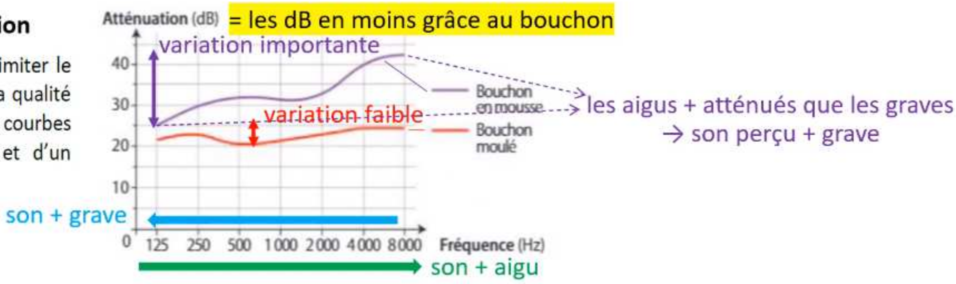
$$\log\boldsymbol{x} = \frac{L_{xv} - L_{1v}}{10}$$

$$10^{\log x} = 10^{\frac{L_{xv} - L_{1v}}{10}} \qquad \rightarrow \boldsymbol{x} = 10^{\frac{90-70}{10}} = \boldsymbol{10^2}$$

Exercice 2 :

Exercice. Des bouchons de protection

Les bouchons anti-bruit sont utilisés pour limiter le niveau d'intensité sonore tout en gardant la qualité du son. Le graphique ci-contre représente les courbes d'atténuation d'un bouchon en mousse et d'un bouchon moulé.



1. Pour quel type de bouchon la fréquence a-t-elle le plus d'influence sur l'atténuation ? → bouchon mousse
2. Avec quel type de bouchon, le son perçu est plus grave que le son émis ? → bouchon mousse
3. Indiquer, pour les deux situations suivantes, le type de bouchon antibruit le mieux adapté :
   a) le son d'un avion au décollage perçu avec un niveau d'intensité sonore de 140 dB → bouchon mousse
   b) lors d'un concert où le niveau perçu est d'environ 100 dB → bouchon moulé

bouchons en mousse

bouchons moulés

Exercice 3 :

Exercice. Atténuation géométrique

À une distance de 2,0 m d'une enceinte, le niveau d'intensité sonore est de 110 dB.

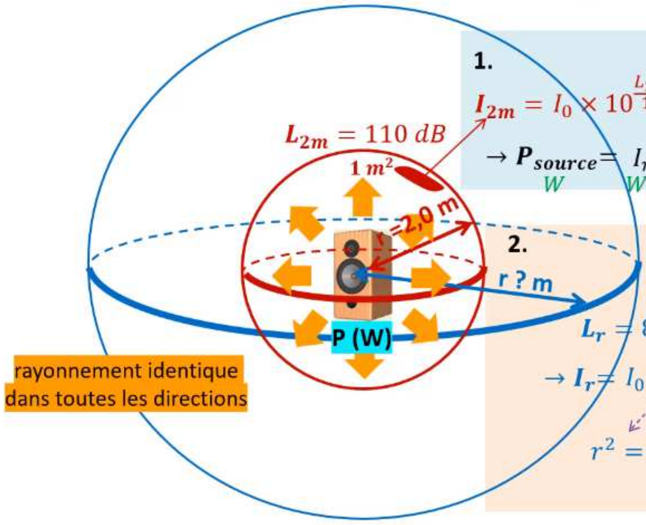
1. Calculer l'intensité sonore à 2,0 m et en déduire la puissance acoustique de l'enceinte.
2. Calculer la distance minimale à laquelle il faut se placer pour le niveau d'intensité sonore soit inférieur à 85 dB.

décibel (dB)

$$L = 10 \times log\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad W.m^{-2}$$

$I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}\ W.m^{-2}$

$$I = I_0 \times 10^{\frac{L}{10}}$$



1.

$$I_{2m} = I_0 \times 10^{\frac{L_{2m}}{10}} = 1{,}0 \times 10^{-12} \times 10^{\frac{110}{10}} = 1{,}0 \times 10^{-1}\ W.m^{-2}$$

$$\rightarrow P_{source} = I_r \times S_{sphère} = I_r \times 4\pi r^2 = 1{,}0 \times 10^{-1} \times 4\pi(2{,}0)^2 = 5{,}0\ W$$

$W \quad W.m^{-2} \quad m^2$

2.

$L_r = 85\ dB$

$$\rightarrow I_r = I_0 \times 10^{\frac{L_r}{10}} = 1{,}0 \times 10^{-12} \times 10^{\frac{85}{10}} = 3{,}2 \times 10^{-4}\ W.m^{-2}$$

$$r^2 = \frac{P_{source}}{4\pi I_r} \quad \rightarrow r = \sqrt{\frac{P_{source}}{4\pi I_r}} = \sqrt{\frac{5{,}0}{4\pi \times 3{,}2 \times 10^{-4}}} = 35\ m$$

Exercice 4 :

Exercice. Atténuation géométrique en formule

1. Montrer que, lorsqu'on passe d'une distance d_1 à une distance $d_2 > d_1$, l'atténuation géométrique en décibel est donnée par : $A_{d_1 \rightarrow d_2} = 20log\left(\frac{d_2}{d_1}\right)$. Rappel : $log(a^n) = n \times log(a)$
2. Calculer l'atténuation géométrique lorsque la distance est : **a)** doublée **b)** multipliée par 10.

décibel (dB)

$$L = 10 \times log\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad W.m^{-2}$$

$I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}\ W.m^{-2}$

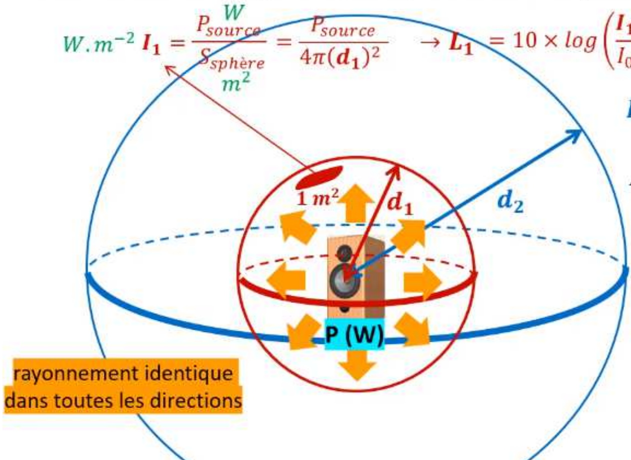
$$log\left(\frac{a}{b}\right) = log(a) - log(b)$$

$$log\ a^n = n\ log(a)$$

$$W.m^{-2}\ I_1 = \frac{P_{source}}{S_{sphère}} = \frac{P_{source}}{4\pi(d_1)^2} \quad \rightarrow L_1 = 10 \times log\left(\frac{I_1}{I_0}\right) = 10 \times log\left(\frac{P_{source}}{4\pi(d_1)^2 \times I_0}\right)$$

$W \quad m^2$

$$L_2 = 10 \times log\left(\frac{P_{source}}{4\pi(d_2)^2 \times I_0}\right)$$



$$A_{d_1 \rightarrow d_2} = L_1 - L_2 = 10 \times log\left(\underbrace{\frac{P_{source}}{4\pi(d_1)^2 \times I_0}}_{a}\right) - 10 \times log\left(\underbrace{\frac{P_{source}}{4\pi(d_2)^2 \times I_0}}_{b}\right)$$

$$A_{d_1 \rightarrow d_2} = 10 \times log\left(\frac{P_{source}}{4\pi(d_1)^2 \times I_0} \times \frac{4\pi(d_2)^2 \times I_0}{P_{source}}\right)$$

$$A_{d_1 \rightarrow d_2} = 10 \times log\left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2$$

$$A_{d_1 \rightarrow d_2} = 20 \times log\left(\frac{d_2}{d_1}\right)$$

a) distance doublée : $A_{d_1 \rightarrow d_2} = 20 \times log\left(\frac{2 \times d_1}{d_1}\right) = 20log2 = 6\ dB$

b) distance x10 : $A_{d_1 \rightarrow d_2} = 20 \times log\left(\frac{10 \times d_1}{d_1}\right) = 20log10 = 20\ dB$

Exercice 5 :

Exercice. Rendement d'une enceinte

Pour déterminer le rendement de ses enceintes, un particulier mesure à 10 m d'elles un niveau d'intensité sonore de 80 dB. Le rendement d'une enceinte s'exprime en $dB.W^{-1}.m^{-1}$: c'est le niveau d'intensité sonore à 1,0 m des enceintes lorsque la puissance électrique alimentant les enceintes est de 1,0 W.

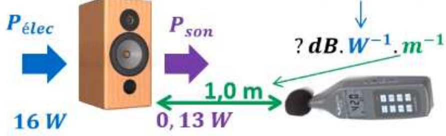
1. Calculer le niveau d'intensité sonore à 1,0 m des enceintes.
2. Sachant que la puissance électrique alimentant les enceintes est de 16 W, en déduire le modèle d'enceinte du particulier parmi ceux proposés ci-contre.

décibel (dB) $L = 10 \times log\left(\frac{I}{I_0}\right)$ $W.m^{-2}$

$I_0 = 1,0 \times 10^{-12}\ W.m^{-2}$

$I = I_0 \times 10^{\frac{L}{10}}$

par $Watt$ électrique consommé !

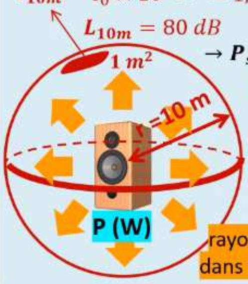


pour 16 W électrique consommé !

1.

$I_{10m} = I_0 \times 10^{\frac{L_{10m}}{10}} = 1,0 \times 10^{-12} \times 10^{\frac{80}{10}} = 1,0 \times 10^{-4}\ W.m^{-2}$

$L_{10m} = 80\ dB$



$\rightarrow P_{source} = I_r \times S_{sphère} = I_r \times 4\pi r^2 = 1,0 \times 10^{-4} \times 4\pi(10)^2 = 0,13\ W$

$W \quad W.m^{-2} \quad m^2$

$I_{1m} = \frac{P_{source}}{4\pi r^2} = \frac{0,13}{4\pi(1,0)^2} = 1,0 \times 10^{-2}\ W.m^{-2}$

$\rightarrow L_{1m} = 10 \times log\left(\frac{1,0 \times 10^{-2}}{1,0 \times 10^{-12}}\right) = \mathbf{1,0 \times 10^2 dB}$

rayonnement identique dans toutes les directions

2.

pour 1 W électrique consommé :

$P'_{source} = \frac{0,13}{16} = 8,1\ mW$

$I'_{1m} = \frac{8,1 \times 10^{-3}}{4\pi(1,0)^2} = 6,4 \times 10^{-4}\ W.m^{-2}$

$\rightarrow L'_{1m} = 10 \times log\left(\frac{6,4 \times 10^{-4}}{1,0 \times 10^{-12}}\right) = \mathbf{88\ dB}$

→ rendement : $\mathbf{88\ dB.W^{-1}.m^{-1}}$

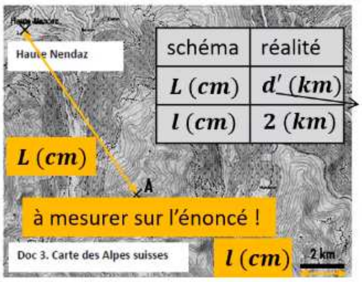
Exercice 6 :

Exercice. Un festival de musique

Chaque année, au mois de juillet, se déroule le festival international du cor des Alpes à Haute Nendaz, en Suisse. Cet instrument folklorique était jadis utilisé par les bergers pour communiquer entre eux.

Doc 1. Le cor des Alpes
Un cor des Alpes est fait d'une seule pièce de bois, un tube recourbé à son extrémité et mesurant environ 3,4 m. Pour en jouer, le musicien souffle dans une embouchure. La note la plus grave est atteinte lorsque la longueur d'onde de l'onde sonore associée à la note est égale à deux fois la longueur du cor.

Doc 2. Formule de l'intensité sonore
Pour une source isotrope (c'est-à-dire émettant la même énergie dans toutes les directions) de puissance P, l'intensité sonore au point M à la distance d de la source est donnée par : $I = \frac{P}{4\pi d^2}$ avec I en $W.m^{-2}$; P en W ; d en m



Doc 3. Carte des Alpes suisses

schéma	réalité
$L\ (cm)$	$d'\ (km)$
$l\ (cm)$	$2\ (km)$

$L\ (cm)$ à mesurer sur l'énoncé ! $l\ (cm)$

Doc 4. Célérités du son dans l'air en fonction de la température θ

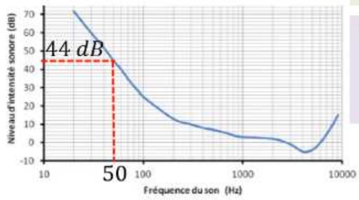
θ	10°C	20°C	30°C	40°C
célérité $m.s^{-1}$	337	343	349	355

décibel (dB) $L = 10 \times log\left(\frac{I}{I_0}\right)$ $W.m^{-2}$

$I_0 = 1,0 \times 10^{-12}\ W.m^{-2}$

$I = I_0 \times 10^{\frac{L}{10}}$

Doc 5. Seuil d'audibilité humaine en fonction de la fréquence



Contexte :
Un berger, situé au sommet d'une colline (point A sur la carte du **Doc 3**) joue la note la plus grave de son cor des Alpes. Le niveau d'intensité sonore est alors de 100 dB à un mètre de l'instrument. On souhaite savoir si on peut l'entendre à Haute Nendaz. Pour cela, répondre aux questions suivantes en s'aidant des documents et dans l'hypothèse d'une émission isotrope et en négligeant les phénomènes d'amortissement et de dissipation d'énergie.

1. Calculer l'intensité sonore de l'instrument reçue à 1 mètre puis à Haute Nendaz.
2. Calculer le niveau d'intensité sonore perçu à Haute Nendaz.
3. À l'aide des **Doc 1** et **2**, déterminer la fréquence du son émis par l'instrument.
4. Le son peut-il être entendu à Haute Nendaz ?

1. $I_{1m} = I_0 \times 10^{\frac{L_{1m}}{10}} = 1,0 \times 10^{-12} \times 10^{\frac{100}{10}} = \mathbf{1,0 \times 10^{-2}\ W.m^{-2}}$

2. $\rightarrow P = I \times 4\pi d^2 = 1,0 \times 10^{-2} \times 4\pi \times (1,0)^2 = 0,13\ W$

$W \quad W.m^{-2} \quad m^2$

$d' = \frac{L \times 2}{l}$

$d' = 8,9\ km$

$I_{d'} = \frac{P}{4\pi(d')^2} = \frac{0,13}{4\pi(8,9 \times 10^3)^2} = 1,3 \times 10^{-10}\ W.m^{-2}$

$\rightarrow L_{d'} = 10 \times log\left(\frac{1,3 \times 10^{-10}}{1,0 \times 10^{-12}}\right) = \mathbf{21\ dB}$

3. Doc1 → $\lambda = 2 \times 3,4 = 6,8\ m$ à 20°C en juillet à la montagne!

$v_{son} = \frac{\lambda}{T} = \lambda \times f \rightarrow f = \frac{v_{son}}{\lambda} = \frac{343}{6,8} = \mathbf{50\ Hz}$

$m.s^{-1} \quad m \quad s$

4.

$21\ dB < 44\ dB$ **→ le son n'est pas audible à Haute Nendaz !**