Activité PC n°2 : Niveaux d'intensité sonore.

Le bruit ambiant est omniprésent. Voix, voitures dans la rue, ronflements des appareils électroniques autour de nous : tous ces éléments contribuent à perturber notre environnement acoustique.
Entre le décollage d'une fusée à 3 km et une dizaine de milliers de moustiques à un mètre, laquelle de ces situations est la plus bruyante ?

1. Le décollage de Saturn V à 3 km

Doc. 1 : **La puissance sonore de Saturn V**

Saturn V était le lanceur utilisé à la fin des années 1960 par la NASA pour envoyer des fusées dans l'espace. Ce lanceur a notamment contribué à la réussite de la mission Apollo 11 durant laquelle les deux hommes Neil Armstrong et Buzz Aldrin ont posé pour la première fois le pied sur la Lune. Au décollage, une partie de l'énergie s'est dissipée autour de la fusée, se propageant dans l'air de manière sphérique sous forme d'ondes sonores. La NASA estime à environ 350 MW la puissance dispersée sous forme d'ondes sonores lors du décollage.

Doc. 2: **Apollo 4 et le lanceur Saturn V**

Doc. 3 : **Propagation sphérique du son**

Lorsqu'une source sonore de puissance P émet dans toutes les directions dans un milieu matériel donné, on peut considérer que tout point de la sphère formée de surface S par l'onde sonore possède la même intensité sonore I égale à : $I = \frac{P}{S}$

Pour rappel, la surface d'une sphère est proportionnelle au carré de son rayon par la relation : $S = 4\pi \cdot r^2$

Doc. 4 : **Niveau d'intensité sonore**

Pour comparer les intensités sonores des bruits qui nous entourent, les acousticiens peuvent utiliser le niveau d'intensité sonore, noté L, et égal à :

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

Cette relation fait apparaître une intensité sonore de référence, notée I_0 égale à 10^{-12} W·m^{-2}. Réciproquement, on peut exprimer I en fonction de L :

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

Le niveau d'intensité sonore, qui s'exprime en décibel (dB), traduit le niveau sonore perçu par une oreille humaine normale.

1.1. Exprimer l'intensité sonore I en fonction de la puissance sonore P transportée par l'onde sonore et du rayon r, distance entre la source de l'onde sonore et le lieu de sa réception.

$I = \frac{P}{S}$ et $S = 4\pi \cdot r^2$

Donc, $I = \frac{P}{4\pi \cdot r^2}$

1.2. Déterminer le niveau d'intensité sonore produit par le décollage de Saturn V et perçu à 3 km du lieu de décollage.

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

Or, $I=\frac{P}{4\pi r^2}$

Donc, $L=10\log(\frac{P}{4\pi\cdot r^2\cdot I_0})$

$L=10\log(\frac{350\times 10^6}{4\pi\cdot(3\times 10^3)^2\times 1\times 10^{-12}})$ **= 125 dB**

Remarque :

Il est préférable d'éviter de faire des applications numériques intermédiaires car celles-ci augmentent généralement l'incertitude sur la valeur de la grandeur finale à calculer, étant donné que pour les calculs suivants, on travaillerait avec des valeurs intermédiaires arrondies.

Néanmoins, en devoir surveillé, on aurait accepté que le calcul de *L* se fasse en deux étapes :

1ère étape : calcul de *I* : $I=\frac{P}{4\pi\cdot r^2}=\frac{350\times 10^6}{4\pi\cdot(3\times 10^3)^2}$ = 3,09 W.m^{-2} (je conserve 3 chiffres significatifs pour ce calcul intermédiaire pour ne pas faire un arrondi trop grossier ; on pourrait d'ailleurs même en, conserver davantage étant donné qu'il s'agit d'un calcul intermédiaire)

2ème étape : calcul de *L* : $L=10\log(\frac{I}{I_0})$ = $10\log(\frac{3{,}09}{1\times 10^{-12}})$ = 125 dB

2. Une dizaine de milliers de moustiques à 1 m

Qui n'a jamais soupiré en percevant le bruit si caractéristique du moustique s'approcher de soi ? Impossible à surprendre en pleine journée lorsque le bruit ambiant le couvre, il s'avère nettement moins discret lorsque l'on s'apprête à s'endormir.

Ce bruit si désagréable possède un niveau d'intensité sonore égal à 35 dB lorsqu'il se trouve à un mètre de soi.

Doc. 5 : **L'additivité des intensités sonores**

Le bruit cumulé de plusieurs sources sonores se traduit par une augmentation de l'intensité sonore. L'intensité sonore totale I_t est égale à la somme des intensités sonores de chacune des sources sonores perçue :

$I_t = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$

Doc. 6 : Influence de l'augmentation de l'intensité sonore sur le niveau d'intensité sonore

L'augmentation du niveau d'intensité sonore n'est pas proportionnelle à l'augmentation de l'intensité sonore. En effet, si l'on double l'intensité sonore, le niveau sonore n'augmente que de 3 dB et si on multiplie l'intensité sonore par 10, le niveau sonore augmente de 10 dB. Le tableau suivant présente l'augmentation, en décibels (dB), du niveau sonore lorsque l'on multiplie par un facteur *n* l'intensité sonore :

Coefficient multiplicateur *n*	2	5	10	20	50	100	200	500
Augmentation du niveau d'intensité sonore	3,0 dB	7,0 dB	10,0 dB	13,0 dB	17,0 dB	20,0 dB	23,0 dB	27,0 dB

2.1. Si l'augmentation du niveau d'intensité sonore était proportionnelle à l'augmentation de l'intensité sonore, quelle serait le niveau d'intensité sonore perçu à un mètre d'une dizaine de milliers de moustiques ?

Le bruit provoqué par un seul moustique correspond à un niveau d'intensité sonore de 35 dB. Si l'augmentation du niveau d'intensité sonore était proportionnelle à l'augmentation de l'intensité sonore, le bruit provoqué par 10 000 moustiques serait égal à :

35 x 10 000 = **350 000 dB** !!!

Remarque : Ce niveau d'intensité sonore serait gigantesque. Pour rappel, le seuil de danger est de 90 dB et le seuil de douleur est égal à 120 dB.

2.2. À partir des informations du document 6, vérifier que l'augmentation du niveau d'intensité sonore n'est effectivement pas proportionnelle à l'augmentation de l'intensité sonore.

Lorsque l'intensité sonore est multipliée par 2, le niveau d'intensité sonore est augmenté de 3 dB, mais il n'est pas doublé. Si l'intensité sonore est multipliée par 10, le niveau d'intensité sonore augmente de 10 dB, mais il n'est pas multiplié par 10. L'augmentation du niveau d'intensité sonore n'est donc pas proportionnelle à l'augmentation de l'intensité sonore.

2.3. Calculer le niveau d'intensité sonore perçu à un mètre d'une dizaine de milliers de moustiques. *Il est possible d'arriver au résultat de plusieurs façons.*

Plusieurs méthodes possibles (d'autres raisonnements peuvent aussi être acceptés) :

Méthode 1 : **Méthode plus calculatoire**

Les intensités sonores s'additionnent. Donc l'intensité sonore I_{10000} du bruit provoqué par 10 000 moustiques vaut :

$I_{10000} = 10\,000 \times I_1$ où I_1 représente l'intensité sonore du bruit provoqué par un moustique

Or $I_1 = I_0 \cdot 10^{\frac{L_1}{10}} = I_0 \cdot 10^{\frac{35}{10}}$ car L_1 = 35 dB (pour un seul moustique)

Donc $I_{10000} = 10\,000 \times I_0 \cdot 10^{\frac{35}{10}}$

Par ailleurs $L_{10000} = 10\log\left(\frac{I_{10000}}{I_0}\right) = 10\log\left(\frac{10\,000 \times I_0 \cdot 10^{\frac{35}{10}}}{I_0}¿¿\right) = 10\log\left(10^{7,5}\right)¿¿$ = **75 dB**

Remarque :

10 000 = 10^4 et $10^{\frac{35}{10}}$ = $10^{3,5}$

et donc 10 000 x $10^{\frac{35}{10}}$ = $10^{4+3,5}$ = $10^{7,5}$

Méthode 2 : **Méthode utilisant les informations du tableau du doc. 6**

10 000 = 100 x 100

Or, à chaque fois que l'intensité sonore est multipliée par 100, le niveau sonore augmente de 20 dB. L'intensité sonore correspondant au bruit provoqué par 10 000 moustiques est multipliée par 10 000 (on peut aussi dire qu'elle est multipliée une première fois par 100, puis encore une fois par 100). Le niveau d'intensité sonore augmente donc 2 fois de 20 dB, soit au total de 40 dB.

Donc L_{10000} = 35 + 40 = **75 dB**

Remarque : On retrouve bien le même résultat qu'avec la méthode 1.

Autre remarque : Le niveau sonore correspond au bruit provoqué par 10 000 moustiques est très éloigné de la réponse trouvée à la question 1.1. Cela montre bien que le niveau sonore ne s'exprime pas selon une échelle linéaire (sinon l'augmentation du niveau d'intensité sonore serait proportionnelle à l'augmentation de l'intensité sonore, ce qui n'est manifestement pas le cas ! Et heureusement pour nos oreilles !).

2.4. Répondre à la question écrite en gras dans l'introduction de cette activité.

Le bruit du décollage d'une fusée perçu à 3 km est plus fort que celui provoqué par 10 000 moustiques situés à 1 m (125 dB > 75 dB).

2.5. Combien faudrait-il de moustiques, situés à un mètre de soi, pour qu'ils fassent autant de bruit qu'une fusée qui décolle à 3 km ?

Méthode 1 : **Méthode plus calculatoire**

Soit I_n l'intensité sonore du bruit provoqué par n moustiques dont le niveau d'intensité sonore serait égale à 125 dB. On peut donc écrire :

$$I_n = I_0 \cdot 10^{\frac{125}{10}} = I_0 \cdot 10^{12,5}$$

Par ailleurs l'intensité sonore I_1 du bruit provoqué par un moustique (L_1 = 35 dB) peut s'exprimer :

$$I_1 = I_0 \cdot 10^{\frac{35}{10}} = I_0 \cdot 10^{3,5}$$

Par ailleurs $I_n = n \cdot I_1$

donc $n = \frac{I_n}{I_1} = \frac{I_0 \cdot 10^{12,5}}{I_0 \cdot 10^{3,5}} = 10^9$

Il faudrait donc **1 milliard de moustiques** placés à 1 m pour entendre un bruit aussi fort que le décollage de Saturn V à 3 km.

Méthode 2 : **Méthode utilisant les informations du tableau du doc. 6**

L'écart des niveaux sonores provoqués par Saturn V à 3 km (125 dB) et celui d'un moustique placé à 1 m (35 dB) est de 90 dB.

D'après le tableau du document 6, chaque augmentation de 20 dB correspond à une multiplication de l'intensité sonore par 100 et une augmentation de 10 dB correspond à une multiplication de l'intensité sonore par 10.

Or, 90 = 20 + 20 + 20 + 20 + 10

Une augmentation de 90 dB correspond donc à une multiplication de l'intensité sonore égale à :

$100 \times 100 \times 100 \times 100 \times 10 = \mathbf{10^9}$

Or, pour que l'intensité sonore soit multipliée par 10^9, il faut 10^9, soit **1 milliard de moustiques**.

Remarque : On retrouve bien le même résultat qu'avec la méthode 1.

Exercices 1 page 253 et 4 page 255

À retenir :

Un son est une onde mécanique qui transporte l'**énergie** produite par la vibration d'un corps.

La puissance *P* d'un son produit par une source (en watt), représente la quantité d'énergie acoustique (en joule) délivrée par la source chaque **seconde**.

L'intensité sonore *I* est la **puissance par unité de surface** transportée par l'onde sonore. Elle s'exprime en **$W.m^{-2}$** et peut se calculer selon la relation :

$$\boxed{I = \frac{P}{S}}$$

avec *S* la surface sur laquelle se répartit la puissance *P*

Les valeurs des intensités sonores s'étalent sur une grande échelle d'ordres de grandeur. Le **niveau d'intensité sonore** *L* est exprimé en **décibels** (dB) sur une échelle **logarithmique** qui est plus proche des sensations auditives.

Pour comprendre les différences entre une échelle linéaire et une échelle logarithmique :
https://fr.khanacademy.org/math/algebra2/exponential-and-logarithmic-functions/logarithmic-scale/v/logarithmic-scale