EXERCICE III. AUTOUR DE L'OREILLE (4 points)

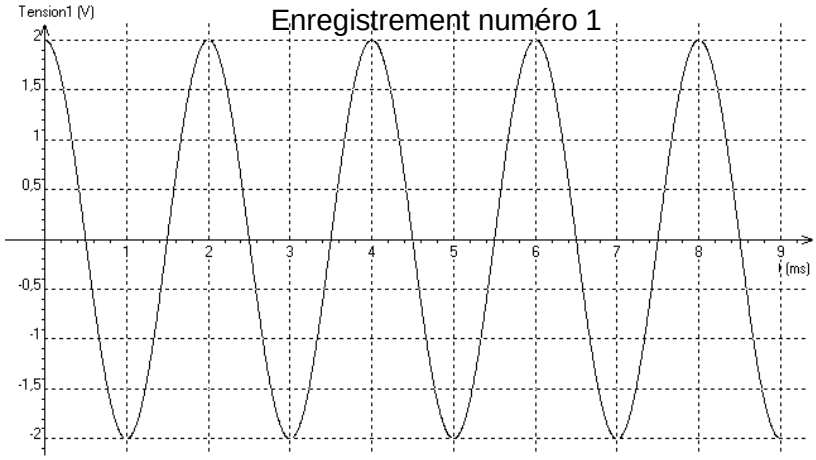
On se propose dans cet exercice de travailler sur le détecteur sonore que constitue l'oreille chez l'être humain. L'objectif étant de comprendre ses principales caractéristiques à travers des exemples simples.

1. Quelques caractéristiques du son

L'oreille sert à détecter les sons. Pour le musicien, le son possède 4 qualités ou paramètres que sont la hauteur, l'intensité, le timbre et la durée. Dans toute la suite de l'exercice, on ne s'intéressera qu'aux trois premiers paramètres à savoir la hauteur, l'intensité et le timbre d'un son.

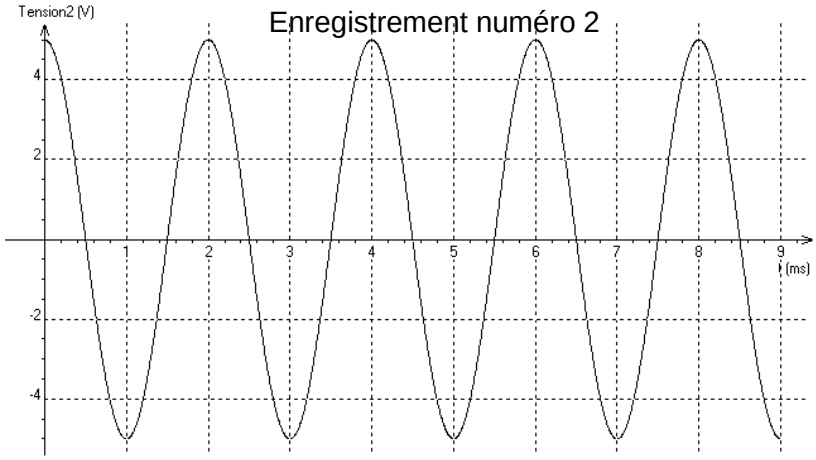
1.1. Donner la définition de la hauteur d'un son.

Le document qui suit présente l'enregistrement, à l'aide d'un logiciel d'acquisition adapté, du son produit par un haut-parleur alimenté par un générateur de fréquence.



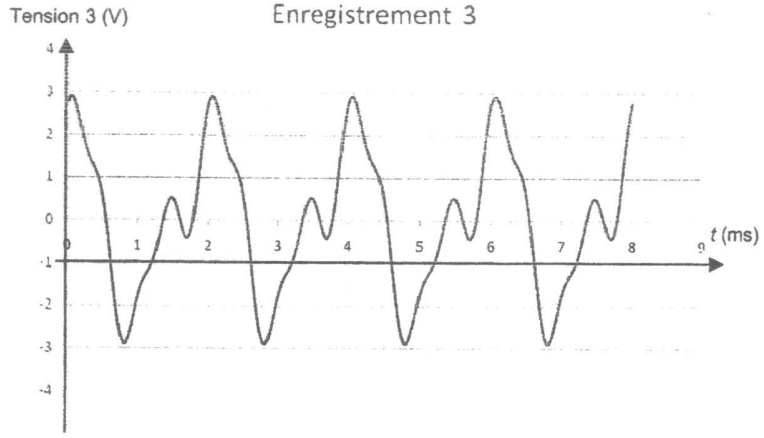
1.2. Déterminer la hauteur du son enregistré.

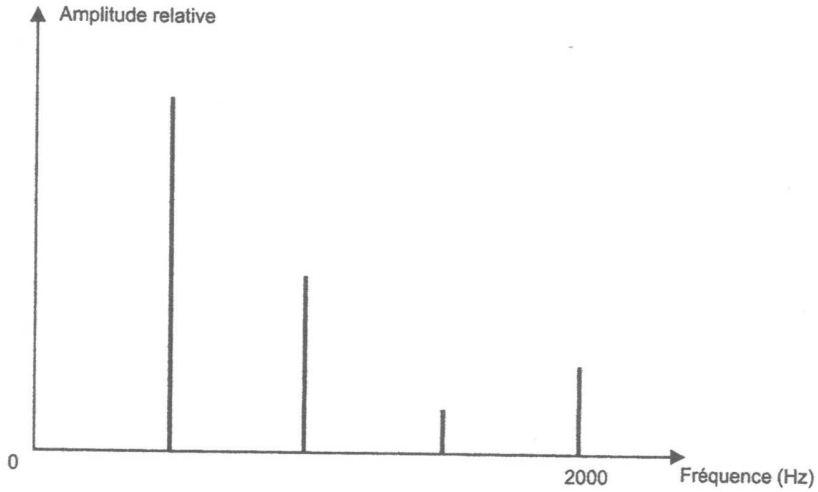
On effectue un autre enregistrement du son émis par le haut-parleur en modifiant un réglage au niveau du générateur de fréquences :



1.3. Quelle modification a effectué l'expérimentateur pour obtenir ce nouvel enregistrement ? Quel paramètre du son, parmi les trois proposés par l'énoncé, a varié dans ce nouvel enregistrement ? Justifier votre réponse.

Le document suivant présente l'enregistrement du son produit par un synthétiseur et son analyse spectrale :





1.4. En utilisant cette analyse spectrale et en justifiant la démarche, montrer que la valeur de la hauteur du son émis lors de cet enregistrement est identique à celle des enregistrements 1 et 2.

1.5. Quelle différence présente le son de l'enregistrement 3 par rapport aux enregistrements 1 et 2 ? Quel paramètre du son est ainsi mis en évidence ? justifier votre réponse.

2. Le détecteur oreille

Intensité sonore et niveau sonore

On s'intéresse maintenant aux caractéristiques de l'oreille quant à ses capacités à discerner la hauteur de deux sons, ainsi que la différence de niveau sonore entre deux sons.
On rappelle que l'intensité d'un son notée I est caractérisée par son niveau sonore noté L. la relation qui relie ces deux paramètres est la suivante :

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

Où I_0 est une intensité de référence à savoir l'intensité minimale que peut détecter une oreille humaine normale. On donne : $I_0 = 1{,}0.10^{-12}$ W.m^{-2}. Le niveau sonore I d'un son est donc en quelques sorte une comparaison par rapport à la référence I_0.

On considère un son dont le niveau sonore $L = 50$ dB.

2.1. Montrer en utilisant la définition du niveau sonore que l'intensité I du son correspondant vaut $I = 1{,}0.10^{-7}$ W.m^{-2}.

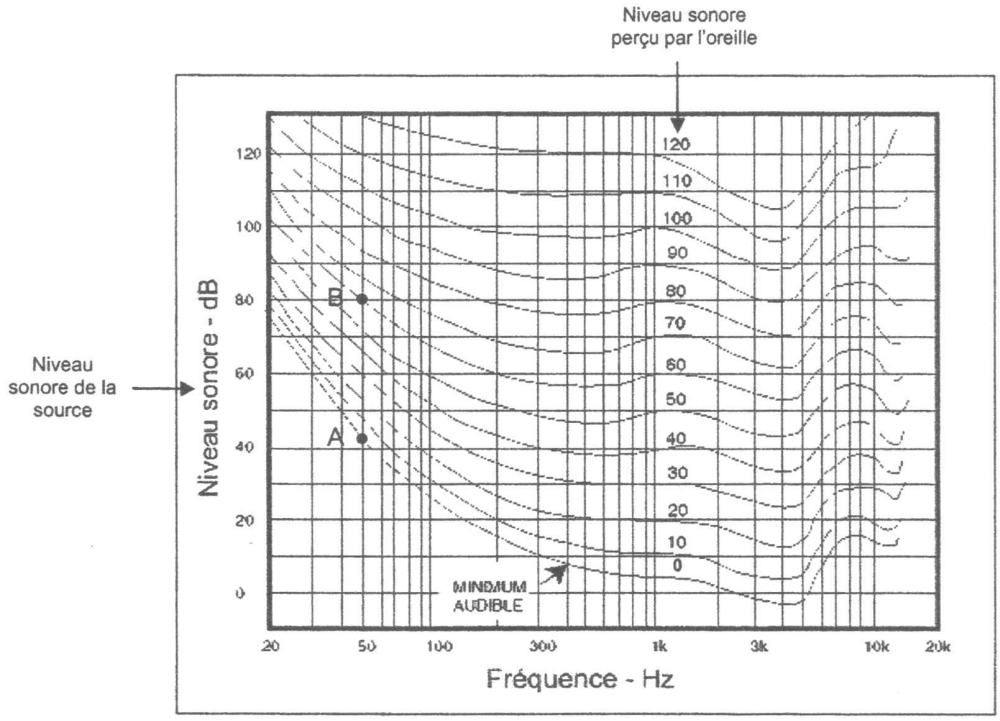
Superposition des sources sonores

On considère maintenant une source sonore d'intensité sonore I_1 et de niveau sonore L_1. Si l'on considère maintenant la superposition de deux sources sonores identiques à la précédente, il en résulte une intensité sonore I_2 double de la précédente soit $I_2 = 2\ I_1$. On note L_2 le niveau sonore résultant de la superposition de ces deux sources sonores identiques.

2.2. En utilisant la définition du niveau sonore, montrer que la relation entre les deux niveaux sonores L_1 et L_2 est : $L_2 = L_1 + 3$ dB.

2.3. La sensibilité de l'oreille

La sensibilité de l'oreille, c'est à dire sa capacité à entendre, ne sera pas la même selon la hauteur du son parvenant à l'oreille de l'auditeur. D'autre part, un son émis par une source avec un certain niveau sonore ne sera pas perçu par l'oreille avec ce même niveau sonore. Ces différentes caractéristiques sont résumées dans le diagramme suivant appelé diagramme de Fletcher et Munson.



Ce diagramme montre des courbes d'isotonie (même niveau sonore perçu par l'oreille) en fonction de la hauteur du son. La courbe de niveau 0, nommée sur ce graphe « MINIMUM AUDIBLE » indique le niveau sonore minimal que doit posséder un son pour que celui-ci puisse être audible.
Si l'on considère par exemple un son de hauteur 50 Hz, l'oreille ne pourra le détecter que si son niveau sonore vaut environ 42 dB. (point A sur le diagramme)
De même, un son de niveau sonore 80 dB et de hauteur 50 Hz ne sera perçu au niveau de l'oreille qu'avec un niveau sonore de 60 dB. (point B sur le diagramme)

2.3.1. *En analysant le diagramme de Fletcher et Munson, on constate à la lecture de l'axe des abscisses, que le domaine des fréquences audibles par l'oreille humaine se situe environ entre 20 Hz et 20 kHz.* Où se situent ce qu'on appelle couramment les sons aigus ? Même question concernant les sons graves ?

2.3.2. Sur le diagramme joint en annexe **à rendre avec la copie**, placer le point sur la courbe de niveau 0, qui permette de justifier que la sensibilité maximale de l'oreille se situe autour de 4000 Hz.

On considère deux sons de même niveau sonore 60 dB. L'un de fréquence 50 Hz et l'autre de fréquence 100 Hz.

2.3.3. En utilisant le diagramme de Fletcher et Munson, déterminer avec quel niveau sonore sera perçu chacun de ces sons par l'oreille. On montrera par un tracé sur le diagramme de Fletcher et Munson **joint en annexe**, les points représentatifs de ces deux sons.

2.3.4. Parmi ces deux sons, lequel sera perçu avec le plus d'intensité par l'oreille ?

Annexe de l'exercice III. À rendre avec la copie.

Questions 2.3.2. et 2.3.3.

Diagramme de Fletcher et Munson

