

Mots-clés : voix, acoustique physiologique

I – La voix : un émetteur de son

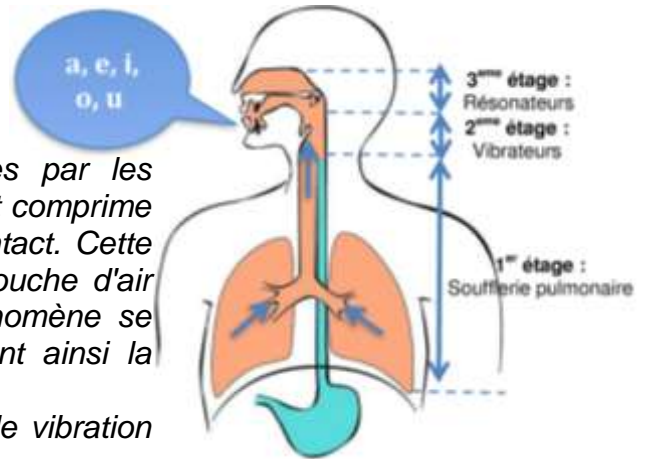
Document 1 Introduction sur le son

Les ondes sonores et ultrasonores sont produites par les vibrations périodiques d'un solide qui successivement comprime et détend la couche d'air avec laquelle il est en contact. Cette couche d'air comprime puis détend à son tour la couche d'air voisine avant de retrouver son état initial. Le phénomène se produit avec les couches d'air suivantes, permettant ainsi la propagation de l'onde.

La fréquence de l'onde correspond à la fréquence de vibration de sa source.

Il existe deux types de sons :

- pur ou simple auquel correspond à une **onde sinusoïdale** dont la **fréquence** et l'**amplitude maximale** sont constantes **au cours du temps**. Ex : diapason.
- complexe (la plupart des sons), car composé de **plusieurs sons purs de fréquences et d'amplitudes** différentes. Ex : instrument de musique.



Document 2 La formation de la voix

Elle est assurée par trois structures différentes :

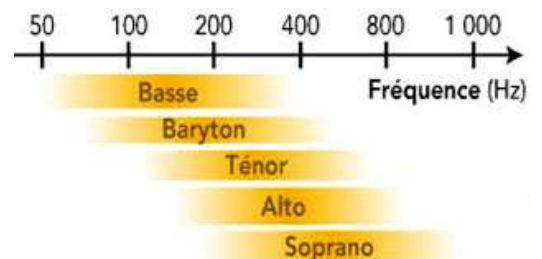
- L'**appareil respiratoire** produit le souffle. Les poumons expulsent l'air de leur cavité vers les cordes vocales par l'intermédiaire du diaphragme et de la trachée.
- Les **cordes vocales** (vibreurs laryngés), placées dans le larynx, produisent le son, car le passage de l'air provoque leur vibration qui se transmet à l'air. Leur fréquence dépend de leurs caractéristiques physiques (tension et épaisseur) et décroît avec la longueur des cordes.
- Les **espaces d'amplification et de résonance** que constituent la gorge, la bouche et le nez. Ils changent de volume et de forme grâce à l'action des muscles et peuvent ainsi modifier le son initialement émis par les cordes. **Les lèvres permettent sa modulation.**

Document 3 Les sensations auditives de la voix

Elles sont au nombre de quatre :

- la **hauteur**, liée à la **fréquence** des vibrations des cordes vocales (son grave ou aigu) en hertz (Hz) ;
- l'**intensité**, liée à l'**amplitude** des vibrations des cordes vocales (son fort ou faible) en décibel (dB) ;
- le **timbre**, lié aux harmoniques présents dans le son (« sombre » ou « clair ») ;
- la **tenue**, liée à la durée des cordes vocales (court ou long).

Le **registre** d'une voix correspond à l'étendue de son échelle vocale, de la note la plus grave à la plus aiguë.



II – L'oreille : un récepteur de son

Document 4 Constitution de l'oreille

L'oreille comporte trois parties :

- l'**oreille externe**, la seule partie en communication directe avec l'extérieur, est composée d'un pavillon et d'un conduit auditif et son rôle est de transmettre les sons (vibration de l'air) vers le tympan ;
- l'**oreille moyenne** possède un double rôle de protection et de transmission mécanique. Les vibrations du tympan sont transmises au marteau, à l'enclume et à l'étrier ;

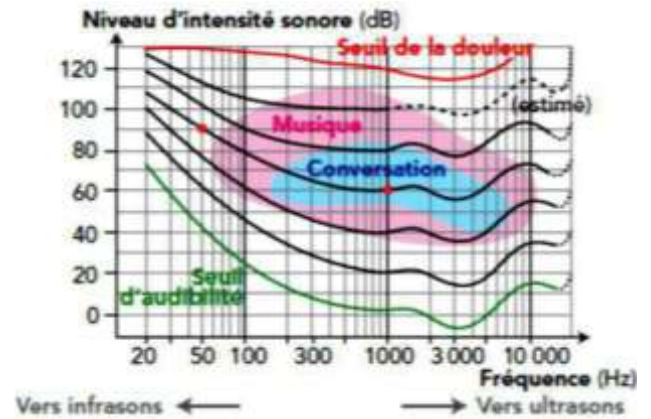
- l'oreille **interne**, la plus fragile de l'oreille, est constituée de quelques milliers de cellules ciliées qui convertissent les vibrations mécaniques en signaux électriques. C'est « notre capital auditif ».

Document 5 La sensibilité de l'oreille

L'oreille perçoit convenablement les sons dont le niveau d'intensité sonore est compris entre le seuil d'audibilité et le seuil de douleur. Sa sensibilité varie en fonction de la fréquence et peut être représentée par une série de courbes dites d'égale sensation auditive.

Ces courbes montrent, par exemple, qu'un son de 1 000 Hz dont le niveau d'intensité sonore est de 40 dB donne la même sensation d'intensité qu'un son de 30 Hz de 90 dB (points rouges).

Par ailleurs, la sensibilité de l'oreille diminue avec l'âge, ce qui conduit à des pertes auditives, à commencer dans le domaine des fréquences élevées.



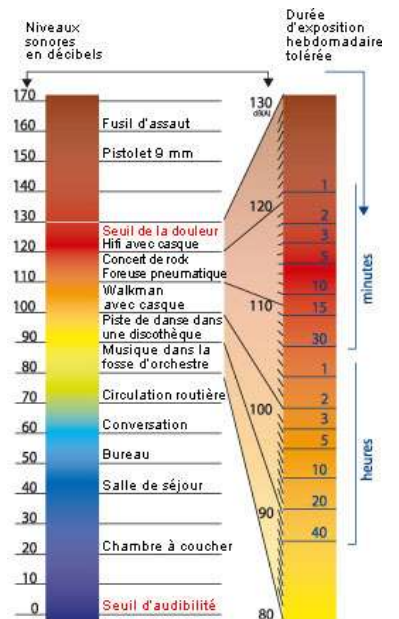
Document 6 Les dangers du bruit

Les sons deviennent nocifs lorsque leur intensité sonore (en dB) dépasse les possibilités de réception de l'oreille.

L'échelle va de 0 à 120 dB, mais certaines sources (avions, canons, fusées) émettent des sons d'un niveau supérieur. La réglementation limite à 100 dB le niveau de sortie des baladeurs et à 105 dB celui dans les lieux musicaux. La **limite de nocivité est située autour de 85-90 dB** et dépend de la fréquence des sons et de la durée d'exposition.

Après exposition prolongée à un niveau proche de 100 dB (soirée en discothèque), certaines perturbations, même invisibles, peuvent être classées par gravité croissante :

- aucun phénomène auditif particulier (cas le plus fréquent), mais, à coup sûr, quelques cellules ont été fragilisées ;
- phénomènes temporaires tels que des bourdonnements ou des sifflements (acouphènes) ;
- phénomènes de type acouphènes persistants et irréversibles, baisse sensible de l'audition.



III – Analyse et synthèse des documents

1. Sous la forme d'une chaîne, schématiser les principales étapes de la production d'un son par une voix, puis de la perception de la voix par l'oreille.
2. La réglementation actuelle pour protéger l'oreille des bruits paraît-elle suffisante ? Citer les critères indispensables à prendre en compte.
3. L'oreille est-elle un récepteur adapté à la voix ?

IV - Étude de la sensibilité de l'oreille humaine

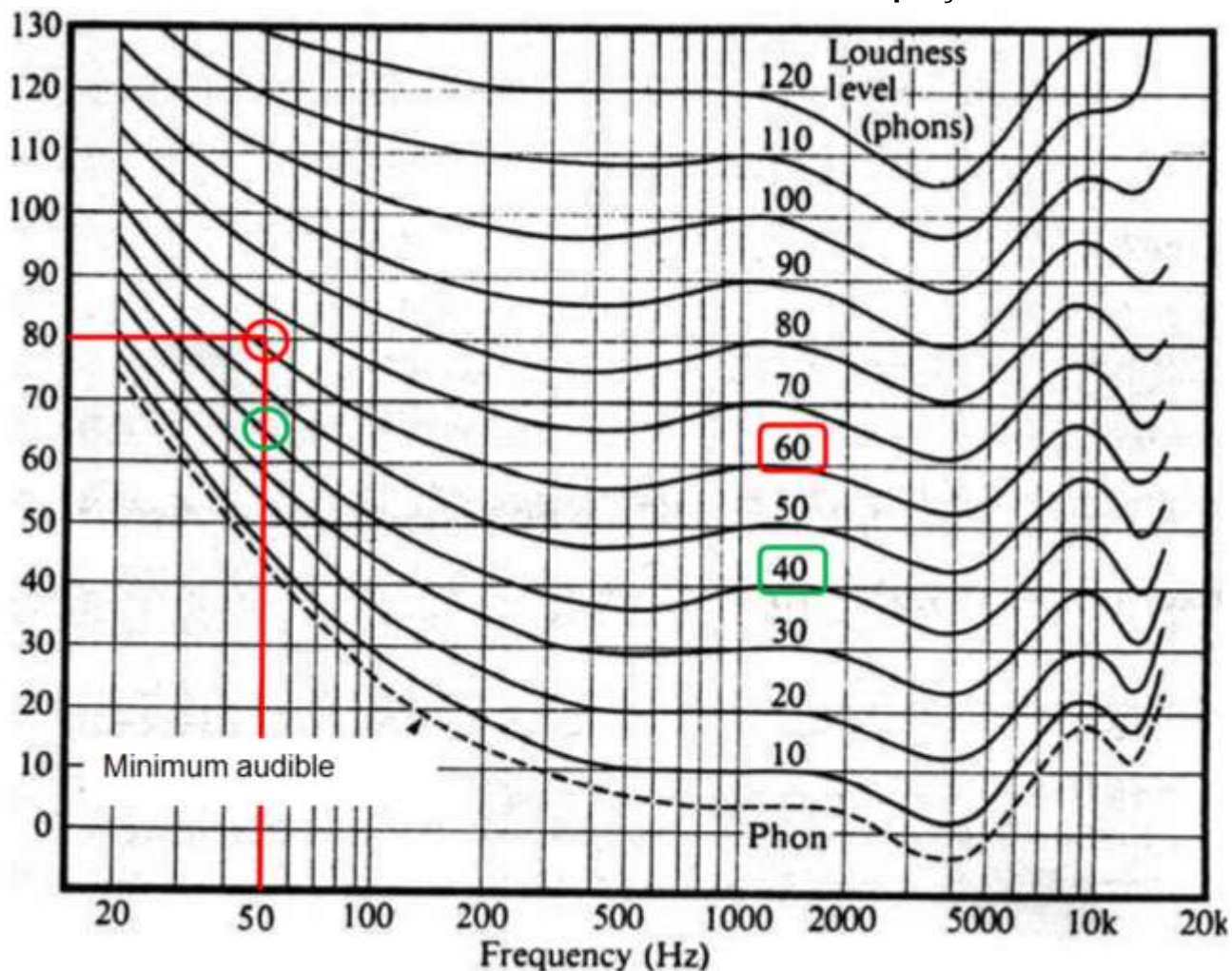
Document 1 Diagramme de Fletcher et Munson

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'auditeur. De plus, un son émis par une source avec un certain niveau sonore L, mesuré par un sonomètre, ne sera pas perçu par l'oreille avec ce même niveau sonore. Ces différentes caractéristiques sont résumées dans le diagramme précédent appelé diagramme de Fletcher et Munson. Celui-ci montre des courbes d'isotonie (même niveau sonore perçu par l'oreille) en fonction de la hauteur du son. La courbe de niveau 0 (Minimum audible) indique le niveau sonore minimal que doit posséder un son pour être audible.

Par exemple, un son de hauteur 50 Hz ne pourra être détecté par l'oreille que si son niveau sonore réel vaut environ 42 dB. De même, un son de niveau sonore réel 80 dB et de hauteur 50 Hz (exemple sur le graphique) ne sera perçu au niveau de l'oreille qu'avec un niveau sonore perçu de 60 dB (en rouge).

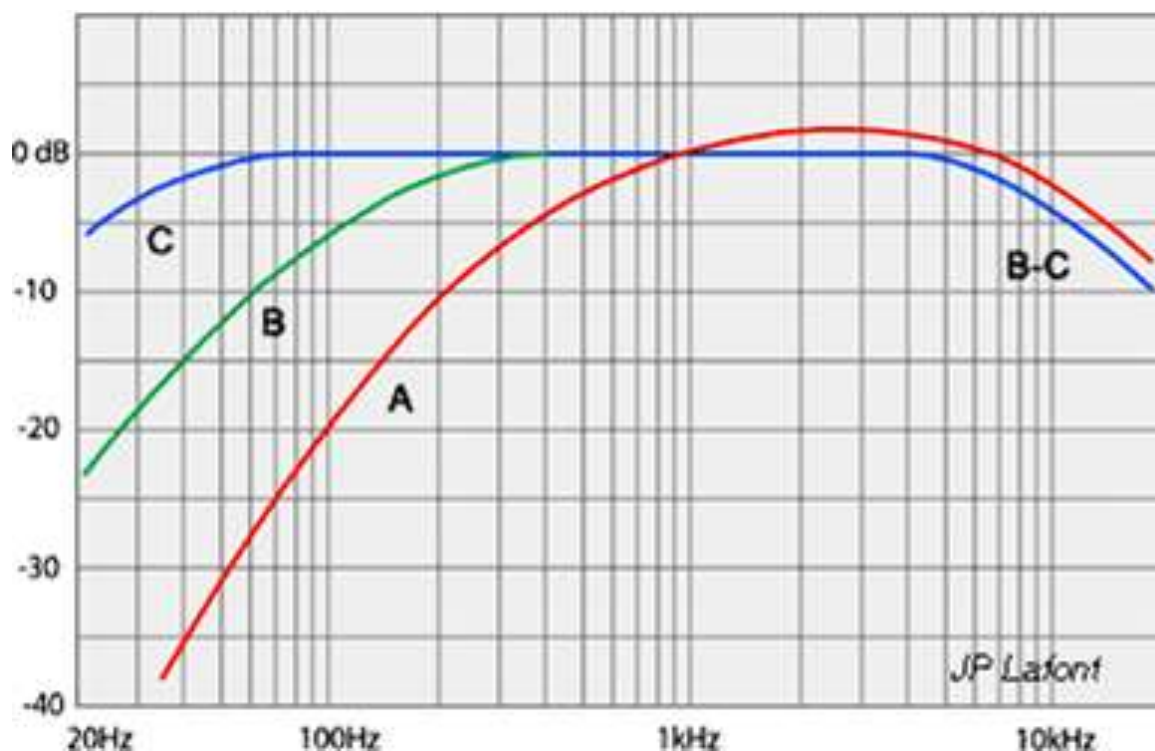
Niveau sonore en dB réel

Niveau sonore perçu



Document 2 Le sonomètre et ses filtres

L'appareil de mesure du niveau sonore en décibel s'appelle le sonomètre. Pour obtenir des résultats en accord avec les sensations auditives, on pondère les résultats par des filtres A, B ou C. On parle alors de dB(A), dB(B), dB(C). Les dB(A) sont les plus utilisés et cette pondération représente la gêne occasionnée par des bruits d'environ 40 dB. La pondération B est utilisée pour des bruits de l'ordre de 70 dB et la pondération C pour des niveaux supérieurs à 85 dB.

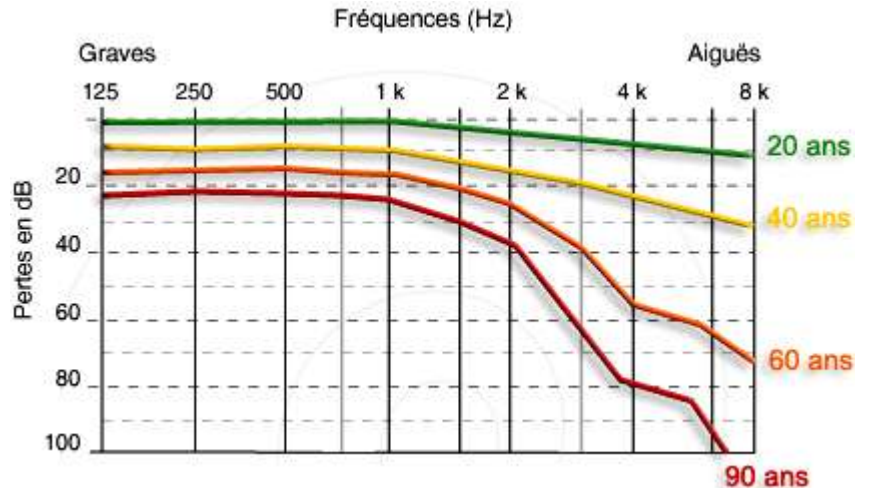


Exemple : en dB(A) pour une mesure à 50 Hz, on pondère la mesure du niveau sonore mesuré en retranchant environ 30 dB puisque le diagramme de Fletcher Munson montre qu'un son à 50 Hz doit posséder un niveau sonore réel d'environ 65 dB pour paraître 40 dB à l'oreille (en vert).

Document 3

Perte d'audition avec l'âge

La sensibilité auditive se dégrade avec l'âge.



Questions

- En analysant le diagramme de Fletcher et Munson, citer le domaine de fréquence pour lequel l'oreille humaine est la plus sensible.
- Pour un sujet de 20 ans, lequel de ces sons sera perçu le plus intensément :
 - Une basse jouant à 50 Hz avec un niveau sonore de 50 dB.
 - Un violon jouant à 4 kHz avec un niveau sonore de 40 dB.
 - Une trompette jouant à 8 kHz avec un niveau sonore de 40 dB.
- Le résultat précédent sera-t-il modifié pour un sujet de 60 ans ?
- Expliquer la différence entre les courbes de pondération des filtres dB(A) et les dB(C).
- En exploitant le diagramme de Fletcher et Munson, montrer que le coefficient de pondération en dB(B) pour 100 Hz est proche de - 10 dB.

V – Exercice : les ondes sonores et l'oreille

Document 1

Camille réalise les observations suivantes :

- Aucun signal sonore ne nous parvient du Soleil, alors qu'il s'y déroule en permanence de gigantesques explosions.
- Une bougie est placée devant un haut-parleur qui émet un son très grave. La flamme se rapproche et s'éloigne alternativement de la membrane du haut-parleur, mais elle n'oscille pas dans la direction perpendiculaire.

Document 2 Diagramme de Fletcher et seuil d'audibilité

Courbes de sensibilité de l'oreille en fonction du niveau et de la fréquence

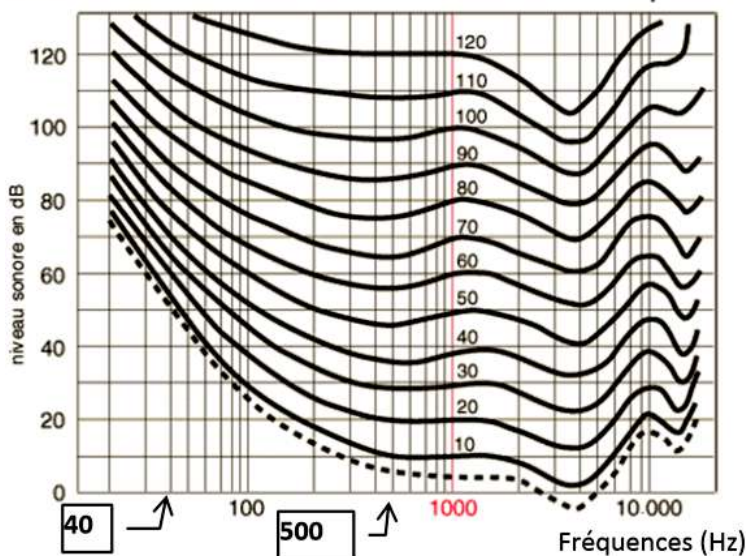


Figure 1

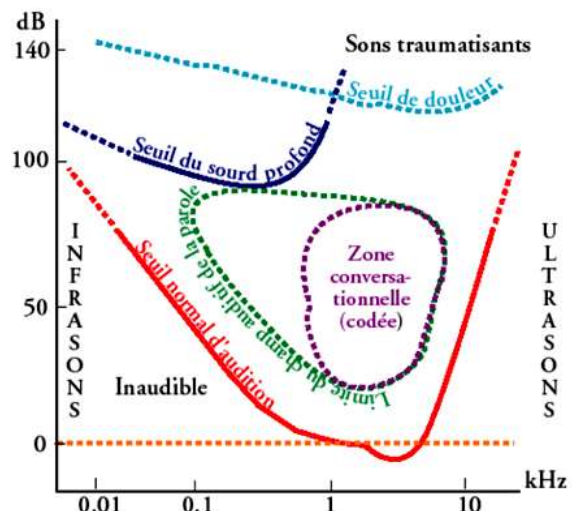


Figure 2

--- seuil d'audibilité

Le diagramme de Fletcher indique les courbes isosoniques qui correspondent aux niveaux d'intensité sonore perçue par l'oreille.

- Sur la figure 1 ci-dessous, on a le diagramme pour une personne « normale ».
- Sur figure 2 ci-dessous, on indique les limites de la parole et de la conversation.

Document 3 « J'entends quatre fois moins le son que le facteur. »



Donnée

- Intensité sonore de référence : $I_0 = 1,0 \cdot 10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$
- Le niveau d'intensité sonore L d'une source s'exprime par $L = 10 \times \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$ avec I , l'intensité sonore de la source, en watt par mètre carré.
- L'intensité sonore I à une distance d d'une source émettant dans toutes les directions est liée à la puissance P de cette source par : $I = \frac{P}{S}$ avec S , la surface de la sphère de rayon R avec $S = 4\pi d^2$.

Questions

1. Quelles sont les deux caractéristiques des ondes sonores qui découlent des observations du document 1 ?

2. Sensibilité de l'oreille humaine

En utilisant les documents 2 :

2.1 Que représente une courbe isosonique ?

2.2 Un son de fréquence 40 Hz et de niveau sonore 40 dB peut-il être entendu par une oreille humaine ?

2.3 Délimiter la zone de confort d'écoute d'une conversation entre deux individus ?

2.4 Pour quelles fréquences la sensibilité de l'oreille humaine est-elle la plus grande ?

2.5 On considère un son de fréquence 500 Hz et de niveau sonore 40 dB. Quel est le niveau sonore de fréquence 100 Hz donnant la même sensibilité auditive ?

2.6 À la télévision, les publicités nous paraissent souvent plus sonores que les films. Le niveau d'intensité sonore est pourtant réglementé. Certaines publicités jouent sur la sensibilité de l'oreille afin de paraître plus sonores, tout en respectant les normes en décibels. Expliquer comment une publicité peut paraître plus sonore tout en respectant la législation ?

3. Nuisance sonore

- Une usine bruyante est assimilée à une source sonore ponctuelle émettant des ondes sonores sphériques, de fréquence proche de 500 Hz et de niveau sonore $L = 130 \text{ dB}$.

- L'émission se fait sans atténuation et de façon identique dans toutes les directions de l'espace. Une habitation est située à une distance $d = 200 \text{ m}$ de cette usine (voir donnée).

3.1 La puissance émise par la source sonore est $P = 10 \text{ W}$. Quel est le niveau sonore L (en dB) à proximité directe de l'habitation ?

3.2 Est-ce tolérable ? Soyez critique.

3.3 À quelle distance de l'usine le son n'est-il plus perçu (dans ce cas $I = I_0$) ? On suppose qu'il n'y a pas d'amortissement du son lors de la propagation.

3.4 L'affirmation du cycliste est-elle juste ?