

Mots-clés : isolation phonique, chambre sourde

I – Chambre sourde

Document Isolation phonique

Les sons que nos oreilles perçoivent peut être dérangeants, voire dangereux pour notre audition. Parfois, il devient donc nécessaire de les atténuer ou même de les supprimer.

L'isolation phonique regroupe les techniques et les matériaux permettant d'atténuer le niveau sonore incident.

Sur le schéma ci-contre, une onde peut être à la fois réfléchi, absorbée et transmise et il est possible d'attribuer à un matériau différents coefficients (sans unité).

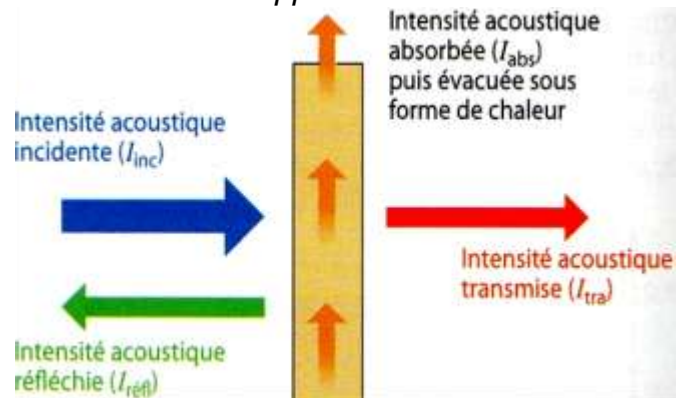
Coefficient de réflexion : $C_r = I_{réf} / I_{inc}$

Coefficient d'absorption : $C_a = I_{abs} / I_{inc}$

Coefficient de transmission : $C_t = I_{tra} / I_{inc}$

L'atténuation phonique se calcule comme la différence d'intensité sonore entre les intensités incidente et transmise :

$$A = I_{inc} - I_{tra} = - 10 \times \log(C_t)$$

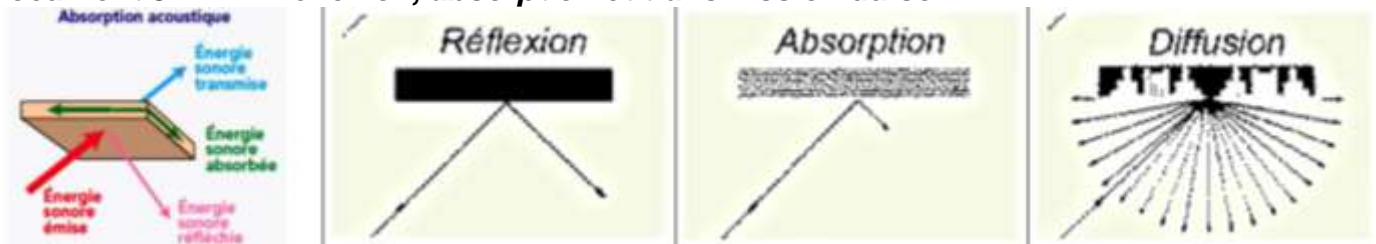


Document 2 Écho ou réverbération ?

L'écho est le phénomène acoustique qui consiste en une ou plusieurs répétitions distinctes d'un son. Il y a écho « simple » si la répétition du son est unique ou « multiple » si elle est au minimum double. Le phénomène d'écho est dû à un décalage temporel entre la perception directe du son et celle du même son après que celui-ci a subi une ou plusieurs réflexions sur une surface (flanc de montagne, mur d'une salle). Ce décalage est lié à la vitesse relativement lente du son (340 m.s^{-1}). Ainsi, pour un aller et retour de 34 m, il existe un décalage de 100 ms entre l'émission et la réception. Si ce décalage temporel reste faible, il n'y a pas de répétition, mais un simple prolongement du son émis : on parle de réverbération plus ou moins longue. Pour qu'il y ait un écho, le délai minimal entre le son émis et le son réfléchi doit dépasser 100 ms pour la musique et 40 ms pour la parole pour que l'auditeur les distingue. Ces deux sons décalés se superposant brouillent l'intelligibilité du morceau musical ou de texte énoncé. Ce phénomène représente un défaut ennuyeux dans les salles auquel il est possible de remédier en rendant certaines parois absorbantes, ou en brisant le parallélisme des certains murs.

Adapté d'après <http://www.larousse.fr/encyclopedie/musdico/>

Document 3 Réflexion, absorption et transmission du son



Lorsqu'une onde sonore rencontre un matériau, une partie de son intensité est réfléchi, une autre partie est transmise à travers le matériau tandis qu'une dernière partie est absorbée. Si l'obstacle est massif et de dimension largement supérieur à la longueur d'onde du son (canyon, montagne), le son est réfléchi en direction de l'émetteur. Généralement, l'angle de réflexion est égal à celui d'incidence par rapport au plan de l'obstacle, mais les irrégularités de surface peuvent conduire au phénomène de diffusion qui renvoie alors les ondes dans toutes les directions avec atténuation de leur amplitude. Dans la plupart des cas, un objet ne peut pas réfléchir complètement et parfaitement le son : une partie incomplète ou déformée du son est renvoyée par l'objet, le reste étant absorbée par la surface rencontrée.

Document 4 **Chambre sourde**

Vidéo : http://www.dailymotion.com/video/xcwqcq7_j-ai-teste-pour-vous-la-chambre-sou_tech

Les États-Unis détiennent le record de la salle la plus silencieuse au monde. 45 min, c'est le temps maximal pendant lequel il est possible d'y rester avant d'être envahi par des hallucinations. Cette pièce est une chambre anéchoïque ou chambre sourde. Son mur absorbe 99,9 % du son grâce à un mur acoustique fait de cônes en fibre de verre d'un mètre d'épaisseur, d'une double paroi d'acier et de 30 cm de béton. Les oreilles s'adaptant au silence, plus une salle est silencieuse, plus vous entendrez de choses normalement inaudibles hors de cette salle : tous vos bruits organiques. En bref, dans cette salle, vous êtes le son et c'est une expérience très déstabilisante. En effet, dans la vie courante, vous vous orientez à l'aide des sons que vous percevez lorsque vous marchez. Ici, vous ne disposez plus des indices habituels qui vous aident dans l'équilibre et le mouvement. S'asseoir sur une chaise devient nécessaire pour éviter les chutes.

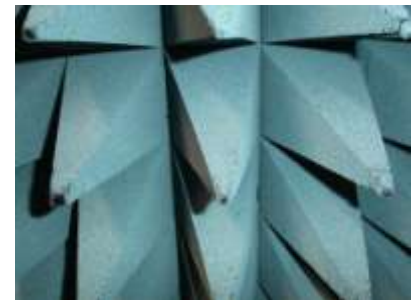


La chambre est utilisée pour mesurer les ondes acoustiques et électromagnétiques, vérifier la qualité sonore en général et, notamment, par les fabricants qui testent le niveau sonore de leurs produits comme des valves cardiaques, le son d'un écran de téléphone portable, machines à laver, etc.

La NASA dispose de sa propre chambre, placée dans une immense cuve à eau, car quelle plus belle chambre anéchoïque que l'espace ?

Document 5 **Structure des parois des chambres sourdes**

Ces chambres servent à certaines études d'acoustique. Leurs parois sont tapissées de dièdres absorbants (de forme pyramidale), disposés en chicane et, généralement, constitués de mousse de mélamine ou de laine de verre. L'onde sonore incidente qui arrive sur le dièdre, si elle n'est pas absorbée après une première réflexion, est réfléchi vers l'intérieur du dièdre et non vers la chambre sourde. L'onde est absorbée au fur et à mesure des multiples réflexions jusqu'à absorption totale.



II – Analyse de documents et synthèse

1. Citer le phénomène physique à l'origine de l'écho.
2. Citer la condition permettant de percevoir un écho.
3. Expliquer la différence existant entre écho et réverbération.
4. Une surface peut-elle réfléchir totalement un son ? Expliquer.
5. Citer le ou les procédé(s) qui permet(tent) de réduire la durée des échos dans une chambre sourde.
6. Dessiner un schéma permettant de visualiser les réflexions successives dans le dièdre.
7. Quelle est la principale propriété d'une chambre sourde ?
8. Présenter les différentes utilisations et avantages d'une chambre sourde.

III – Étude expérimentale : le casque anti-bruit

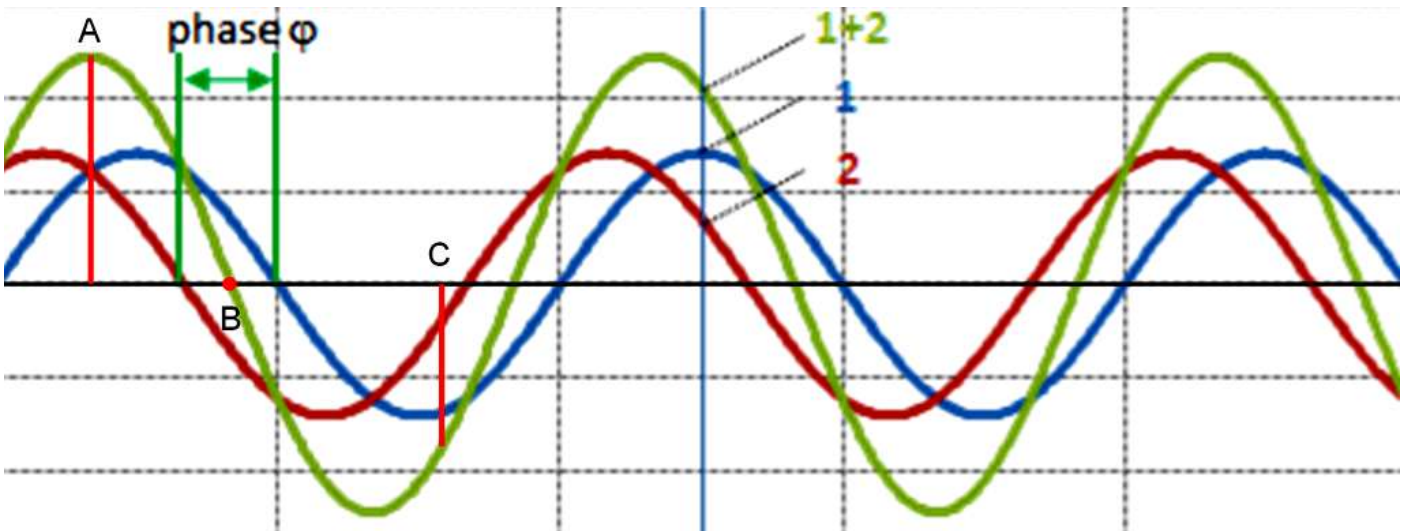
Document 1 **Histoire du casque anti-bruit**

Déjà en 1933, l'Américain Paul Lueg expliquait comment annuler des sons dans des tuyaux (en ajoutant exactement le même son, mais en opposition de phase) et il fut le premier à obtenir un brevet sur le contrôle actif du bruit. Chez Bose, le spécialiste des produits audio, les recherches ont débuté dans les années 1970. A l'époque, le fondateur de la société, le docteur Amar Bose, n'appréciait guère les nuisances sonores lorsqu'il effectuait des vols transatlantiques. Il est vrai que des volumes compris entre 60 et 90 dB sont particulièrement difficiles à supporter pour l'oreille humaine.

Document 2 Les ondes s'additionnent

Les ondes de même période peuvent être en phase, en opposition de phase ou simplement déphasées. Le niveau 0 sur le schéma correspond à l'axe noir.

Deux ondes sont en phase quand leurs maxima d'amplitude coïncident, en opposition de phase quand le maximum de l'une correspond au minimum de l'autre et déphasées lorsque les maxima sont décalés légèrement, ce qui est l'exemple du schéma ci-dessous.

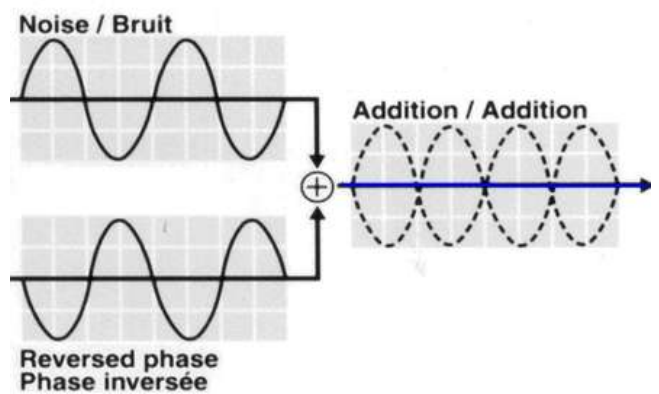


Document 3 Principe d'interférences

Quelques années plus tard, en 1986, un casque Bose à réduction de bruit est utilisé lors d'un tour du monde sans escale en avion léger (*The Voyager*) pour éviter aux pilotes une perte de l'ordre de 30 % de leurs capacités auditives.

Les procédés technologiques d'atténuation de bruit reposent tous sur un principe physique similaire. Un signal sonore peut être annulé par superposition du même signal, en inversion (ou en opposition) de phase. Autrement dit, quand on fait interférer deux ondes sonores, le bruit initial et celui créé en opposition de phase, on obtient du silence. En fait, la suppression de l'air due au bruit coïncide avec la dépression due au son ajouté et réciproquement. Le morceau de musique que l'on écoute ou le silence auquel on aspire n'en est que meilleur.

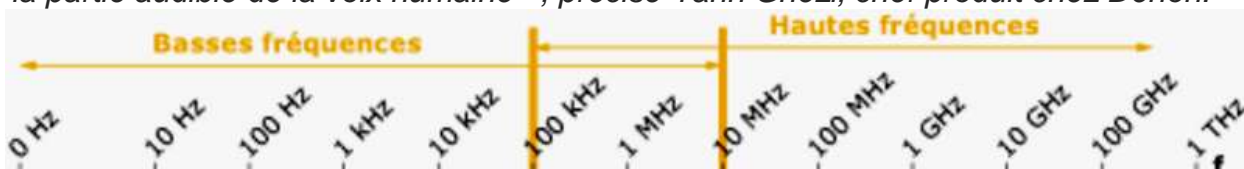
Noise canceling function Système anti-bruit



Document 4 Des micro-capteurs de bruit

« Il n'y a pas pour autant une suppression complète du bruit, car il y a un équilibre permanent à obtenir entre le confort, l'annulation du bruit et la qualité audio, précise Bertrand Nobilet, responsable communication chez Bose. La suppression complète des bruits extérieurs provoquerait de plus une perte de repère, ce qui n'est pas souhaitable. » Les systèmes antibruit des écouteurs reposent sur des composants électroniques. De minuscules microphones dans les oreillettes ont pour fonction de capter le bruit extérieur ambiant. Et un circuit électronique doté d'un DSP (Digital Signal Processor) se charge d'analyser les sons perçus par le microphone afin de déterminer le bruit indésirable et de générer un signal en opposition de phase.

La durée de calcul τ nécessaire pour créer l'onde antibruit et sa transduction (transfert vers la membrane du haut-parleur) posent certaines limitations qui font que les systèmes actuels réduisent considérablement le bruit (environ 25 à 30 dB) sans le supprimer totalement pour autant. Il s'avère que les systèmes antibruit agissent surtout dans les basses et très hautes fréquences. Ce qui tombe plutôt bien. « La partie médium est moins traitée, car elle correspond à la partie audible de la voix humaine », précise Yann Ghezi, chef produit chez Denon.



Étude préalable sur le document 2

1. Établir grâce à des mesures effectuées au niveau des repères A, B et C avec un décimètre que les amplitudes des ondes 1 et 2 s'additionnent pour donner la courbe résultante (1 + 2).
2. Réaliser un croquis rapide représentant deux ondes en phase et deux ondes en opposition de phase.
3. À quelle condition les deux ondes s'annulent-elles (amplitude nulle) en permanence ? Identifier ce cas sur l'un des croquis précédents en l'expliquant et en le justifiant.

Partie I : le casque parfait

- 1.1 Sur quel phénomène physique (ou principe) fonctionne le casque anti-bruit ?
- 1.2 Indiquer les deux ondes qui vont interagir.
- 1.3 Comment devez-vous placer ces ondes pour que leurs amplitudes s'annulent ? Justifier.

Application pratique

Grâce au logiciel Audacity, il est possible de mettre en application ce casque parfait. Réaliser l'expérience (voir **Fiche Logiciel Audacity**), observer et écouter, puis établir un compte-rendu expliquant le principe utilisé, sa réalisation pratique dans un casque (éléments nécessaires et fonction) et ses conséquences.

Partie II : le casque réel

- 2.1 À partir du document 3, expliquer pourquoi le casque parfait n'est pas le meilleur des modèles.
- 2.2 Pourquoi dans le casque réel les ondes ne sont-elles pas exactement en opposition de phase ? Comment s'appelle la durée qui les sépare ?
- 2.3 Quelle est la principale différence entre les casques parfait et réel dans le son final perçu ?

Application pratique

Grâce au logiciel Audacity, il est possible de mettre en application ce casque réel en créant des décalages entre l'onde initiale et l'onde inversée. Réaliser l'expérience (voir **Fiche Logiciel Audacity**), observer et écouter, puis établir un compte-rendu expliquant le principe utilisé et ses conséquences. Préciser l'influence du décalage τ sur l'atténuation.

Partie III : action d'un casque sur un son composé de deux fréquences

Le fichier 22.wav est un constitué d'un son pur de hauteur 220 Hz et d'un autre son pur de hauteur 1100 Hz.

- 3.1 D'après le document 4, sur quelles gammes de fréquences agit le casque antibruit ?
- 3.2 Théoriquement, comment le casque devrait agir sur les deux fréquences présentes dans le son étudié. Justifier.
- 3.3 En théorie, comment doit apparaître la tonalité du son (plus aigue ou plus grave) ?

Application pratique

Grâce au logiciel Audacity, il est possible d'étudier ce son composés de deux sons avec les casques parfait et réel. Réaliser l'expérience (voir **Fiche Logiciel Audacity**), observer et écouter, puis établir un compte-rendu sur les différences entre la perception entre les sons initial et atténué et l'influence de T_e . Conclure en termes d'efficacité du casque.

IV – Résolution de problème : à propos de la protection contre le bruit

Dans cet exercice on cherche à évaluer le niveau sonore auquel peut être exposé un ouvrier sur un chantier de construction et on présente une technologie innovante de lutte contre le bruit.

Les documents nécessaires sont regroupés en fin d'exercice.

1. Technologie « ANR ».

1.1 Nommer le phénomène ondulatoire utilisé par la technologie « ANR » pour réduire le bruit reçu.

1.2 Expliquer théoriquement et à l'aide de schémas simples comment ce phénomène peut annuler la perception d'une onde progressive sinusoïdale.

2. On considère un bruit extérieur, reçu par une personne sur un chantier, caractérisé par une intensité sonore $I_1 = 1,0 \times 10^{-3} \text{ W.m}^{-2}$ à la fréquence de 500 Hz.

- 2.1 Calculer le niveau sonore L_1 du son reçu par cette personne (sans casque).
- 2.2 En déduire le niveau sonore L_2 du son à travers un casque de protection « NoiseMaster® », puis calculer l'intensité sonore I_2 correspondante.
3. Sur un chantier de travaux publics, un ouvrier (sans casque) est placé à une distance $R = 1,0 \text{ m}$ d'un engin émettant un bruit de fréquence moyenne 125 Hz avec une puissance sonore $P = 15 \text{ mW}$.
- 3.1 Déterminer, en justifiant, si le bruit perçu par cet ouvrier présente un danger pour son système auditif.
- 3.2 L'ouvrier met son casque avec protection « NoiseMaster® ». Quel est alors le niveau sonore ressenti ? Le danger persiste-t-il ?
- 3.3 L'ouvrier retire son casque et s'éloigne pour se positionner à 10 m de l'engin. Cette opération est-elle plus efficace que celle décrite en 3.2. en termes de protection contre le bruit ?

Document 1 Quelques données

- Relation entre le niveau sonore L (dB) et intensité sonore I (W.m^{-2}) : $L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$ avec $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$, intensité sonore de référence.
- L'intensité sonore I à une distance R d'une source émettant dans toutes les directions est reliée à la puissance sonore P de cette source par la relation $I = \frac{P}{S}$ où S représente la surface de la sphère de rayon R ($S = 4\pi R^2$).

Document 2 Échelle de niveaux sonores

Niveau sonore (dB)	0	60	85	90	120
Effet sur l'auditeur	Limite d'audibilité	Bruit gênant	Seuil de risque	Seuil de danger	Seuil de douleur

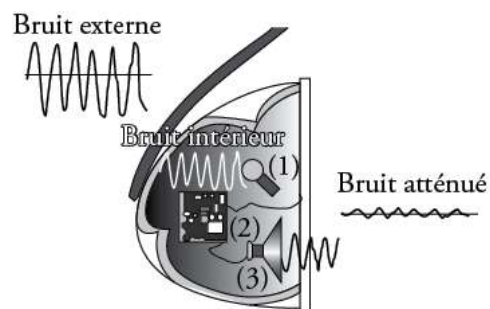
Document 3 Casque actif anti bruit

La société TechnoFirst® a développé la gamme de casques NoiseMaster® équipés de la technologie ANR® (Active Noise Reduction®).

La technologie ANR® repose sur un système électronique miniaturisé (2) placé à l'intérieur de la coquille du casque. Ce système est connecté d'une part à un petit microphone (1) qui capte le bruit ambiant et d'autre part à un petit haut-parleur (3) qui génère le « contre bruit » à proximité de l'oreille de façon à atténuer considérablement le bruit qui arrive au tympan.

Ce casque nécessite l'utilisation de piles électriques.

Source : www.technofirst.com



- (1) Microphone
 (2) Circuit électronique
 (3) Haut-parleur

Document TechnoFirst

Document 4 Les différents types de casques antibruit

Il existe deux types de casques antibruit : les casques passifs et les casques actifs.

Le graphe ci-dessous donne les atténuations des niveaux sonores apportés par ces deux types de casques. Pour un niveau sonore de bruit donné (courbe 1), la courbe 2 donne le niveau sonore après atténuation apportée par un casque passif et la courbe 3 celle apportée par un casque actif.

