



Université 20 août 1955-Skikda

Institut des Sciences
et Techniques Appliquées

Cours : Facteurs d'ambiance 1

Bruit et vibrations



Année universitaire: 2024/2025

Intervenante

Hanane OMEIRI (PhD en Sécurité Industrielle)

- **Fonction actuelle:** Enseignante à l'Institut des Sciences et Techniques Appliquées (ISTA) – Université du 20 Aout 1955, SKIKDA
- **E-mail professionnel:** h.omeiri@univ-skikda.dz
- **E-mail personnel:** hananeomeiri@yahoo.fr

Détails de la matière

- **Unité d'enseignement UEF 5** : Sécurité des installations et des équipements
- **Matière** : Facteurs d'ambiance 1 : bruit, vibration
- **Crédits** : 2
- **Coefficient** : 2
- **Volume horaire**: 22 heures
- **Mode d'évaluation** : Contrôle continu: 70%, Examen : 30%.

Objectifs de la matière

- ✓ Connaître les effets
- ✓ Savoir mesurer
- ✓ Comprendre la réglementation
- ✓ Savoir apporter des solutions pour réduire les risques liés aux facteurs d'ambiance bruit et vibration.

Contenu du cours

➤ Introduction

1. Bruit au travail

- Acoustique générale
- Grandeurs physiques du son
- Niveaux sonores et indices de bruit
- Effet du bruit sur l'homme
- Evaluation du risque bruit
- Lutte contre le bruit

2. Vibrations mécaniques

- Risques pour l'homme
- Sources vibratoires (main-bras, corps entier)
- Méthode normalisée d'évaluation de l'exposition aux vibrations
- Réglementation
- Moyens de prévention

➤ Conclusion

Introduction

- ❑ Si les accidents du travail sont en diminution, **les maladies professionnelles sont en augmentation**, notamment les cancers professionnels, les troubles musculo-squelettiques, allergiques et psychosomatiques ainsi que **la surdité professionnelle**.
- ❑ **Analyser, éliminer ou maîtriser** les facteurs ambiants dangereux est donc une nécessité pour **la prévention des maladies professionnelles**.
- ❑ **Facteur ambiant dangereux**: tout facteur présent sur **le lieu de travail** qui risque, dans toutes les conditions normales ou dans certaines d'entre elles, de **nuire** à la sécurité et à la santé d'un **travailleur** ou d'une autre personne.



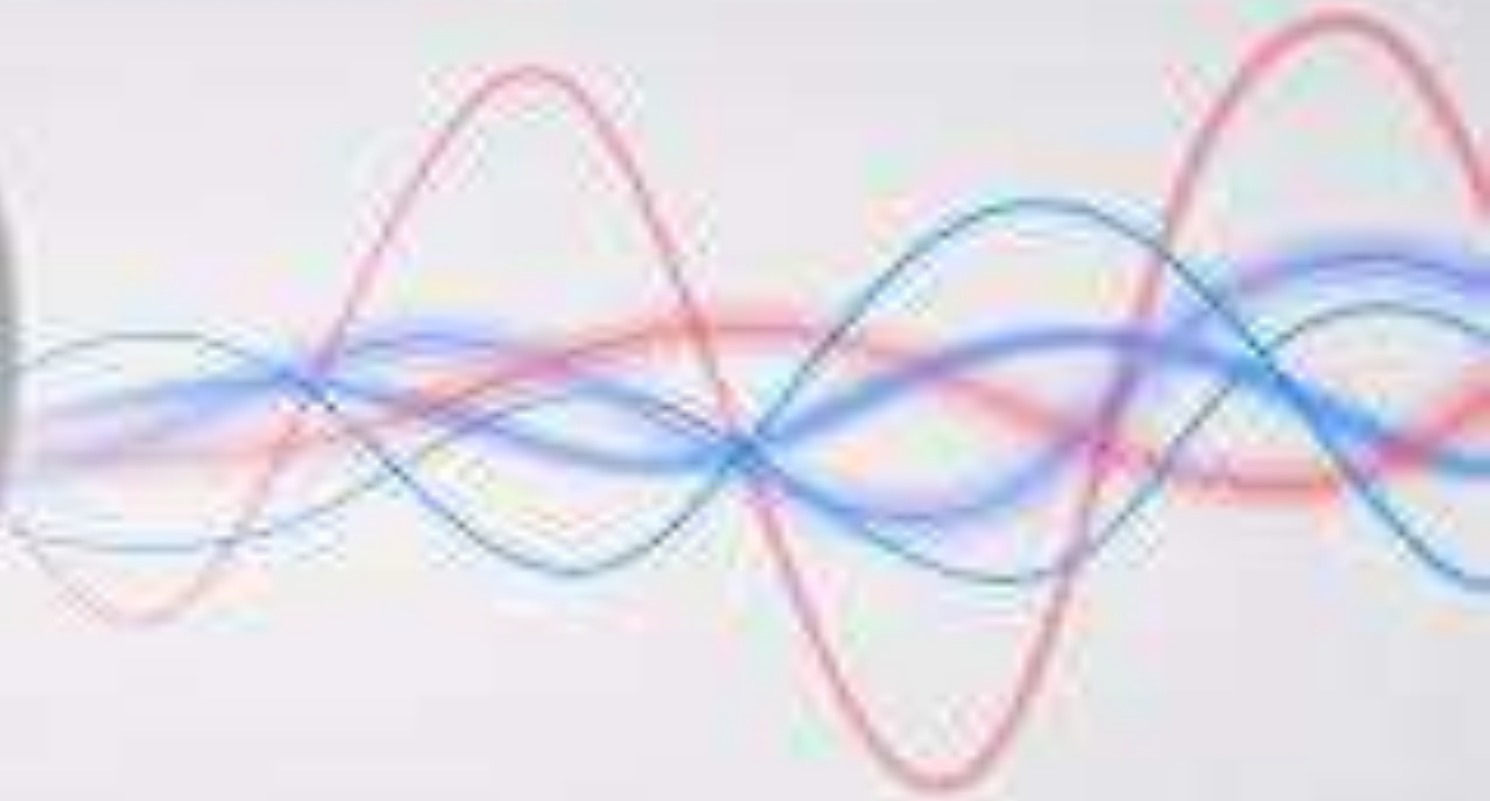
**Bruit
au
travail**



Bruit au travail

Le **bruit** est un **polluant** parmi les plus fréquents et les plus menaçants. Classé **quatrième** sur l'échelle des pollutions après celles de **l'eau**, de **l'air** et des **déchets solides**, le bruit ne cesse de prendre des dimensions alarmantes et devient parfois une véritable hantise. Présent dans la **quasi-totalité** des secteurs d'activité économique, le **bruit** en milieu professionnel est **en progression** avec les progrès sans cesse croissants des technologies et l'utilisation à outrance d'outillages et de machines sophistiqués.

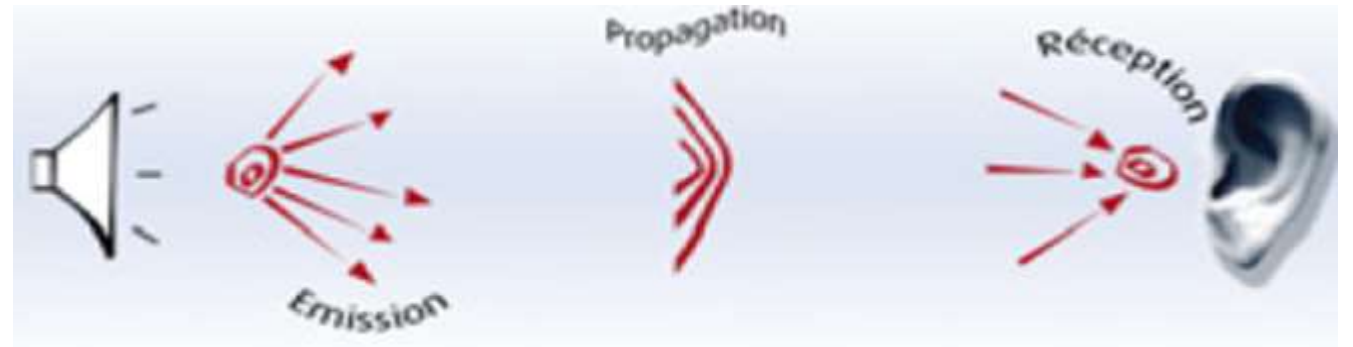
Acoustique générale



Acoustique générale

- ❑ L'acoustique est la science qui traite l'ensemble des phénomènes qui sont perçus par l'un de nos sens: l'ouïe, c'est une partie de la physique qui étudie les sons. Exp: acoustique musicale, acoustique architecturale et acoustique industrielle.
- ❑ Un son c'est la détection des vibrations de l'air (variations de pression de l'air) par l'oreille humaine.
- ❑ Un son ne peut exister qu'à travers les trois phases :

- Phase d'émission
- Phase de propagation
- Phase de réception



Remarque: le son se propage dans tout type de milieu : élastique, liquide, gazeux, air... Mais il ne se propage jamais dans le vide.

Expérience qui vérifie la propagation d'un son dans l'air

- Voici une expérience qui permet d'**observer**, et surtout d'**entendre**, la propagation d'un son. C'est l'expérience de la cloche à vide.
- Un réveil est placé sous une **cloche à vide** en verre.



Propagation du son émis par un réveil, dans l'air et dans le vide

Expérience qui vérifie la propagation d'un son dans l'air (Suite)

Cas 1

- On fait sonner le réveil. Les cloches vibrent et communiquent ces **vibrations** à l'air qui est sous la cloche, puis de **proche en proche vers la cloche en verre**, puis à **l'air qui se trouve en dehors de la cloche**.
- La sonnerie du réveil est alors **perceptible** à **l'extérieur** de la cloche par **l'oreille**.

Cas 2

- On fait le **vide** à l'intérieur de la cloche. Au fur et à mesure que le vide se fait sous la cloche, le son est de moins en moins perceptible.
- Au bout d'un certain temps, plus **aucun son n'est perceptible** par **l'oreille** à **l'extérieur** de la cloche.
- Pendant ce temps, les cloches du réveil **continuent à vibrer**. On peut les voir **bouger** !

Expérience qui vérifie la propagation d'un son dans l'air (Suite)

Explication : Lorsque le **vide** est atteint, il **n'y a plus de milieu matériel** sous la cloche (l'air est absent). Le son ne peut plus se propager car il n'existe plus de matière pour assurer ce déplacement.

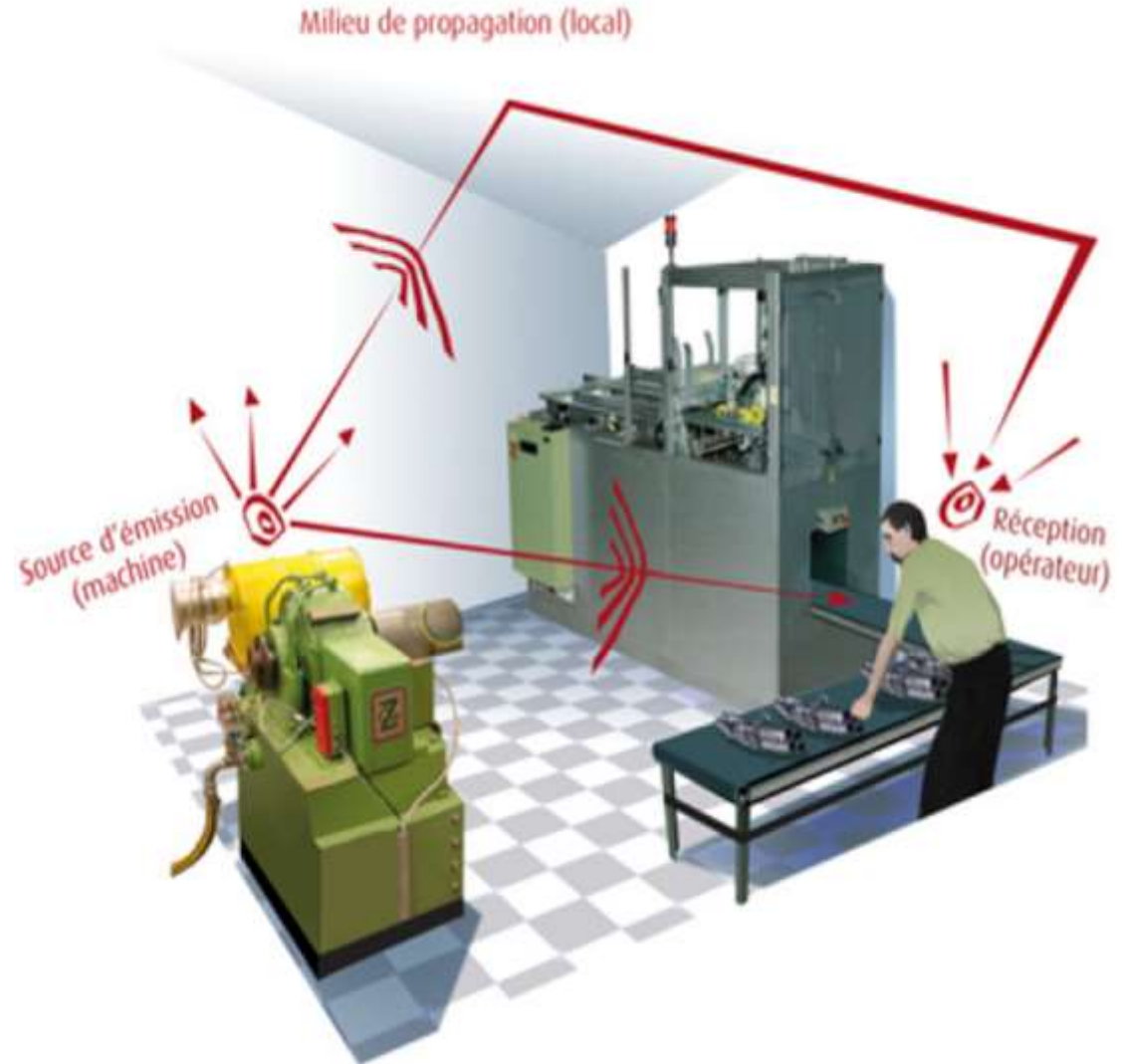
Conclusion de l'expérience

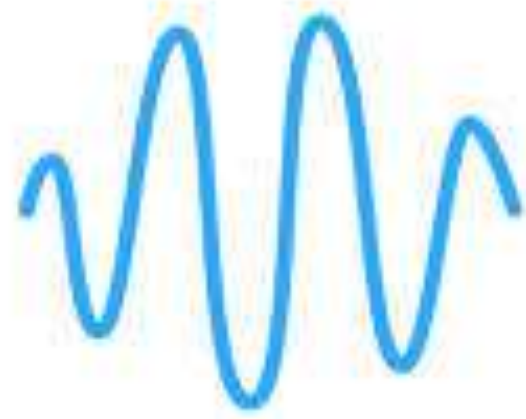
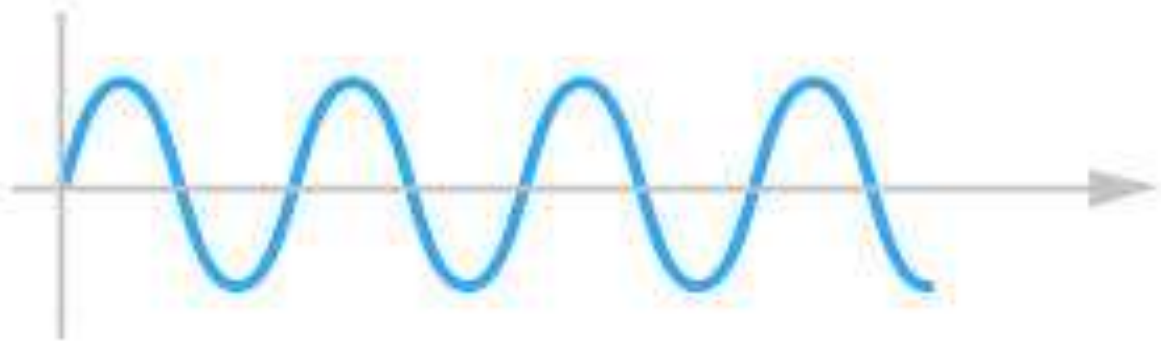
- **Sans un milieu matériel**, les signaux sonores **ne peuvent pas se propager**.
- Le son ne se propage pas lorsqu'il n'y a pas d'air, car il ne peut pas se propager dans le vide?

Emission, propagation et réception

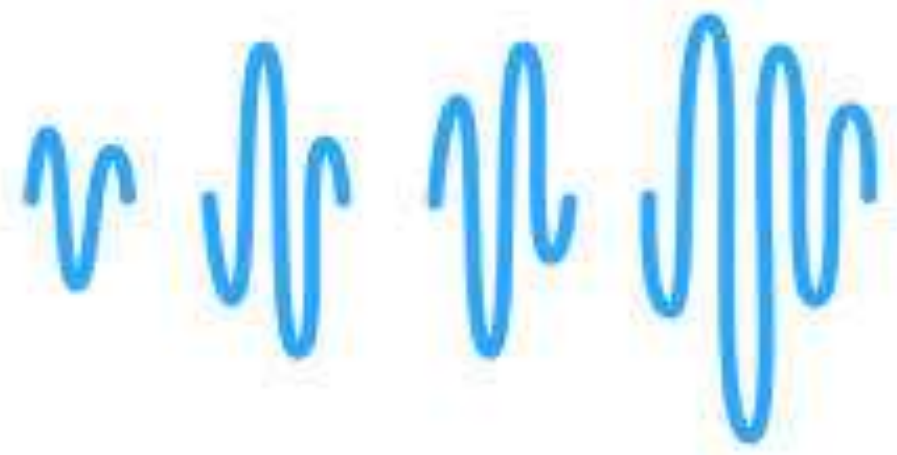
L'application **au milieu de travail** se décline ainsi:

- ❖ L'**émission** provient de sources très variées: **machines fixes ou mobiles, outils, installations diverses** (distribution de liquide ou de gaz, manipulation et convoyage de pièces...).
- ❖ La **propagation** s'effectue parfois **en plein air**, mais en général en **milieu confiné**, celui-ci étant a priori un local dont les parois et l'encombrement affectent la propagation.
- ❖ Le **récepteur** est **une personne exposée** (que l'on appellera un employé, un salarié, un opérateur, un travailleur...). Sa réception est peut être modifiée par la présence de protections éventuelles.





Grandeurs physiques du son



Grandeurs physiques du son: Pression acoustique

□ Les **mouvements** d'un corps vibrant, les **tourbillons** d'un échappement gazeux, etc..., perturbent l'atmosphère qui les entoure. **Les perturbations** se traduisent par **des contractions** et **des dilatations** de volumes d'air élémentaires. A ces variations de volume correspondent:

- Une **modification de pression** qui, au repos, est la **pression minimale détectée par l'oreille humaine**:

$$P_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ Pa. Pa} = 1 \text{ bar.}$$

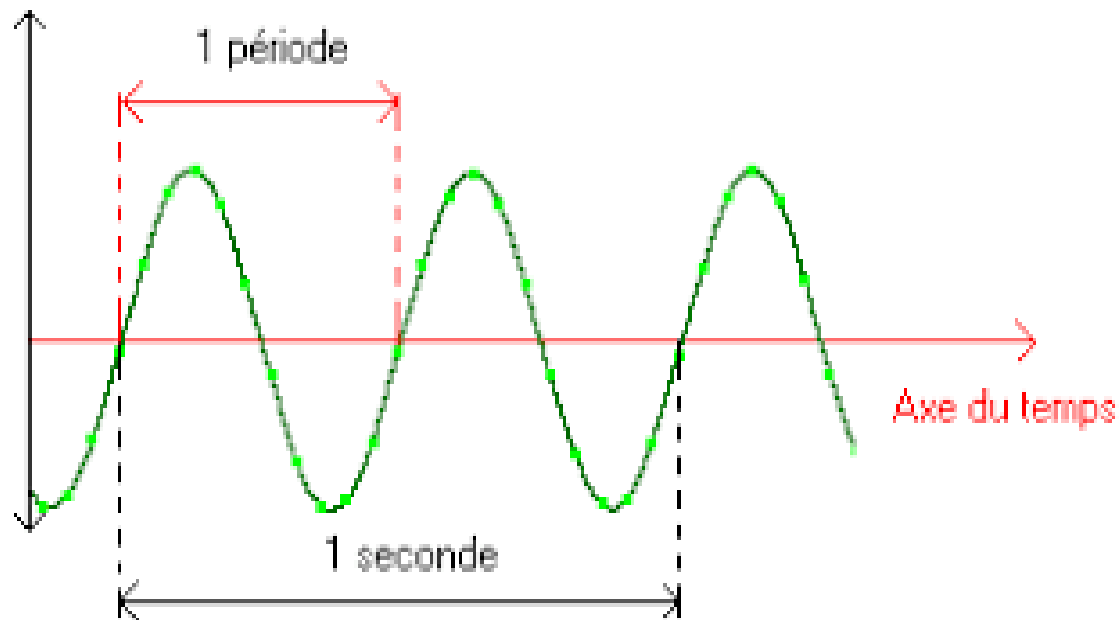
- Un **mouvement vibratoire** des particules de l'air.
- La **pression total** est $P(t)$. On appelle **pression acoustique** la quantité:

$$p(t) = P(t) - P_0$$

- La **pression acoustique** s'exprime en **pascales**.

Grandeurs physiques du son: Période et fréquence

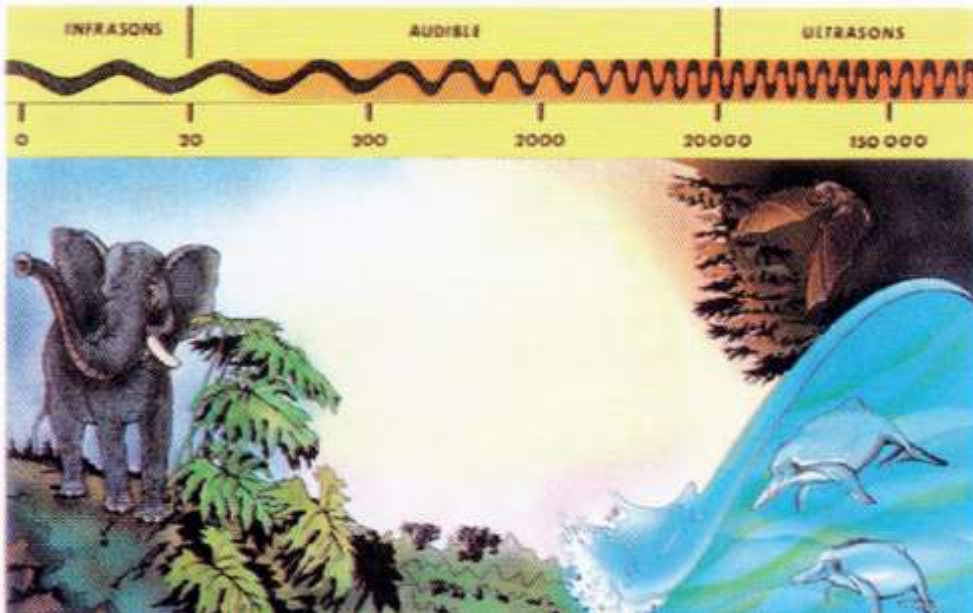
- Tant que la pression acoustique est caractérisée par une **vibration**, cela signifie qu'elle est **périodique (sinusoïdale)**.



La **période** est notée **T** et désigne **l'intervalle de temps** après lequel le phénomène **se répète**. C'est donc le temps qui s'écoule pour que la courbe fasse un motif. La période s'exprime en **secondes (s)**. La **fréquence** (notée **f**) est le nombre de fois ou le signal est reproduit par seconde. La fréquence s'exprime en **Hertz (Hz)**.

Grandeurs physiques du son: Domaine d'audibilité

- ✓ L'oreille humaine ne peut entendre les sons que s'ils sont compris dans un certain domaine de fréquence et de niveau sonore qui correspond à son champ auditif.
- ✓ Les sons trop graves, au dessous de 20 Hz ne sont pas perçus, c'est le domaine des infrasons.
- ✓ Les sont très aigus, au dessus de 20 KHz, ne sont pas perçus non plus, ce sont les ultrasons.
- ✓ Donc, les sons perçus par l'oreille humaine couvrent la plage de 20 Hz à 20 KHz.



infrasons	< 20 Hz
sons graves	20-200 Hz
sons médium	200-2000 Hz
sons aigus	2000-20 000 Hz
ultrasons	> 20 000 Hz

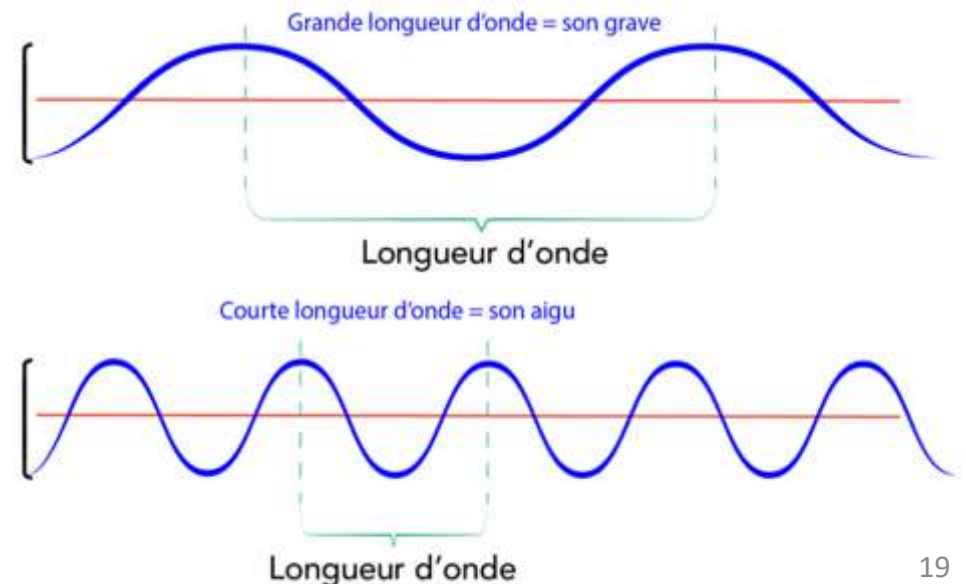
Grandeurs physiques du son: Vitesse des particules

- C'est la **vitesse** à laquelle les particules d'air, situées en un point A, se **déplacement** autour de leurs positions d'équilibre.
- La **célérité** du son (c): **vitesse** de déplacement du son dans un milieu:

$$c = f\lambda . \text{ m/s}$$

$$c = 20,05 \sqrt{T} . \text{ T: température en degré Kelvin.}$$

- La **longueur d'onde** (λ): la **distance** entre deux crêtes successive de pression, ce qui constitue un cycle. L'unité de λ est le mètre (**m**).



Grandeurs physiques du son: Intensité sonore

- La **propagation** du son s'effectue par **transfert d'énergie**, à la célérité c , d'une molécule à l'autre. La **quantité d'énergie** ainsi transmise par unité de temps autour d'une **surface unité** (1 m^2) normale à la direction de propagation est dénommée **intensité** de son, elle est exprimée en w/ m^2 .

$$I = \frac{p^2}{\rho \cdot c}$$

avec:

p (Pa) : *valeur efficace de la pression acoustique*

ρ (kg /m^3): *masse volumique du milieu de propagation*

c (m/s) : *célérité du son dans ce milieu*

Grandeurs physiques du son: Puissance acoustique

- C'est l'énergie libérée par unité de temps dans toutes les directions par une source sonore, elle s'exprime en watts (w). La relation entre la puissance acoustique et l'intensité acoustique est la suivante:

$$W = I S$$

avec:

S: surface

I: intensité

- Exp: pour une source sonore radiant uniformément dans toutes les directions, la surface S est égale à $4\pi r^2$ (la surface de la sphère entourant la source).

Les différents types du son

□ **Sons purs:** se sont les sons les plus simples. Ils sont caractérisés par vibration **régulière**. Le son pur n'est composé que **d'une seule fréquence**.

Exp: Un sifflement

□ **Les sons complexes:** les sons rencontrés généralement ne sont pas des sons purs. Les sons complexes sont caractérisés par des vibrations **irrégulières**. C'est l'addition de **plusieurs sons purs**. les sons complexes sont les sons naturels, comportant plusieurs sons pouvant être séparés lors d'une analyse spectrale.

Exp: Si deux personnes chantent à l'unisson, on distingue la voix de chacune d'entre elles grâce à sa richesse particulière en harmoniques.

Bruit

- ❑ **Bruit**: une vibration de l'air qui se propage et qui produit une sensation auditive (*son*) considérée comme désagréable ou gênante. Le bruit **n'a pas de fréquence bien définie**.
- ❑ Le bruit entre dans la catégorie des sons **complexes**.
- ❑ Ses caractéristiques sont: le **niveau sonore** et la **composition spectrale**.
- ❑ On peut distinguer deux types de bruit (classification faite **en termes d'émission**):
 - **Bruit aérien**: le bruit est directement généré dans l'air
 - **Bruit solidien**: le bruit est généré par un contact entre des pièces solides
- ❑ Le **décibel (dB)** est l'unité de mesure du **bruit**. C'est une unité de mesure relative, il exprime, en relation logarithmique, un rapport entre deux grandeurs sonores: une grandeur mesurée et une autre de référence

Quantification du bruit

- **Seuil d'audibilité:** L'appareil auditif traduit les variations de pression de l'air. L'**amplitude** de ces variations de pression se mesure en **Pascal (Pa)**. La limite de perception humaine correspond à une amplitude de **$2 \cdot 10^{-5}$ Pa**.

Bruit d'un moustique à 3 mètres de distance

- **Sensibilité:** La sensation humaine est liée à la différence **relative** des phénomènes physiques reçus plutôt qu'à leur valeur absolue: la sensibilité de l'homme par rapport à une **stimulation augmente** en proportion de la **multiplication** de celle-ci, et non pas en fonction de sa somme.

Le bruit émis par deux voitures ne sera pas perçue comme deux fois le bruit émis par une seule, mais comme **un peu plus** qu'une seule.

Quantification du bruit: Niveaux sonores

- ❖ **Niveau de pression acoustique (NPS)**: est une mesure relative de la pression acoustique, noté L_p (**pressure level**), exprimé en **décibels (notés dB)**, qui est défini par la relation :

$$L_P = 10 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)^2 = 20 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

P (Pa) : valeur efficace de la pression acoustique,
 P_0 : pression de référence égale à $2 \cdot 10^{-5}$ Pa dans l'air.

- ❖ **Niveau d'intensité acoustique (NIS)** est exprimé en **décibels** et est défini par la relation :

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

I (W / m^2) : valeur efficace de l'intensité acoustique,
 I_0 : intensité de référence égale à 10^{-12} W / m^2 en propagation aérienne.

- ❖ **Niveau de puissance acoustique d'une source sonore** est donné par la relation:

$$L_W = 10 \log \left(\frac{W}{W_0} \right)$$

W : valeur de la puissance acoustique dissipée par la source (en W)
 W_0 : valeur de la puissance acoustique de référence égale à 10^{-12} W = 10^{-9} mW.

Exemples

- **Exp 1:** calculer le NIS d'un bruit ayant une intensité sonore de 10^{-12}w/m^2 (seuil d'audibilité).

Solution:

- **Exp 2:** calculer le NIS d'un bruit ayant une intensité de 10w/m^2 (seuil de douleur).

Solution:

Quantification du bruit: Addition des niveaux sonores

- Soit n niveaux sonores ($L_i : i = 1, \dots, n$), le niveau sonore résultant (L) peut être calculé comme suit:

$$L = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) = 10 \log \left(\frac{\sum_{i=1}^n I_i}{I_0} \right) = 10 \log \left(\sum_{i=1}^n \frac{I_i}{I_0} \right)$$

Ou :

$$L = 10 \log \left(\sum_{i=1}^n 10^{\left(\frac{L_i}{10}\right)} \right)$$

On peut écrire donc :

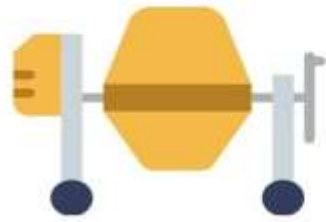
$$L_i = 10 \log \left(\frac{I_i}{I_0} \right) \Rightarrow \frac{I_i}{I_0} = 10^{\left(\frac{L_i}{10}\right)}$$

Si : $L_1 = L_2 = \dots = L_i = \dots = L_n$:

$$L = L_i + 10 \log(n)$$

Quantification du bruit: Addition des niveaux sonores

LES DÉCIBELS NE S'ADDITIONNENT PAS



Bétonnière
80 dB

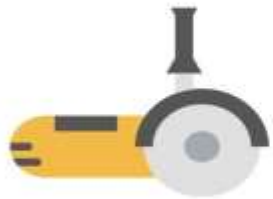
+



Perceuse
80 dB

=

~~160 dB~~
83 dB



Scie radiale
80 dB

+



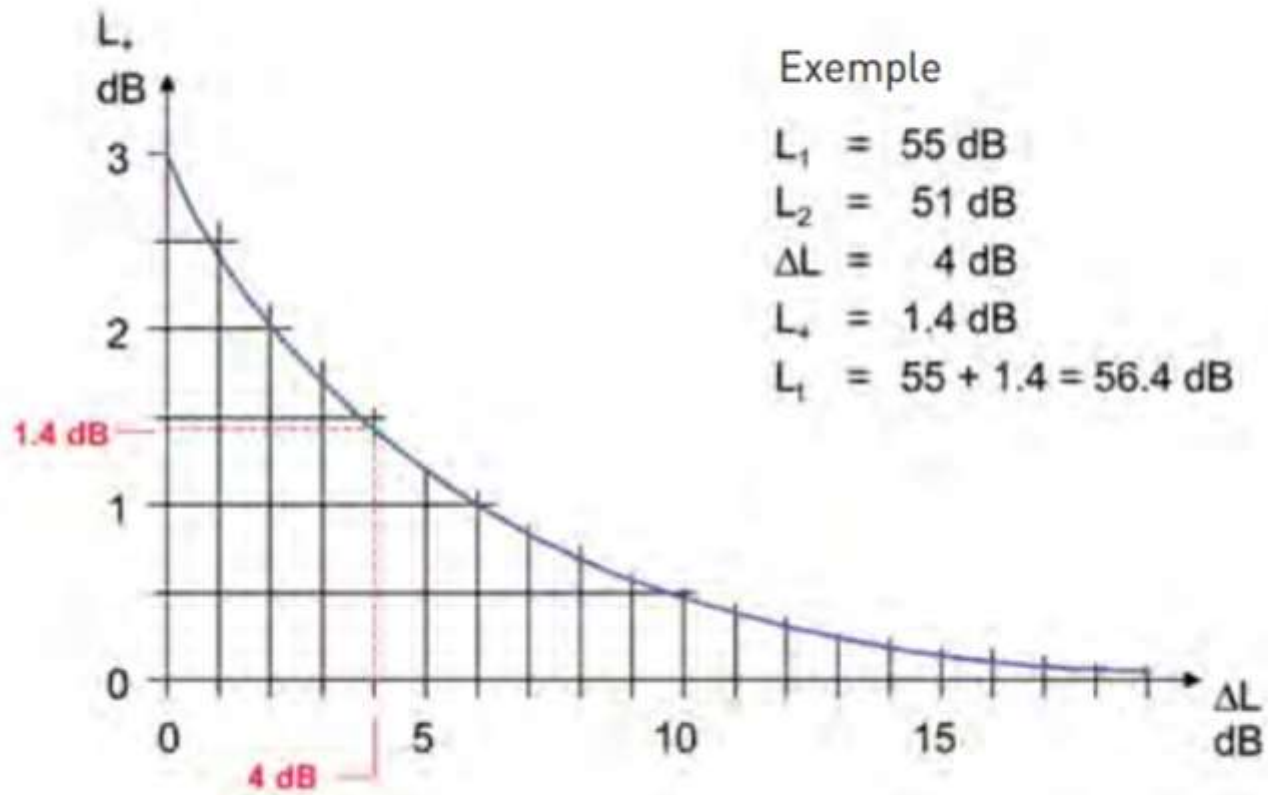
Marteau-piqueur
120 dB

=

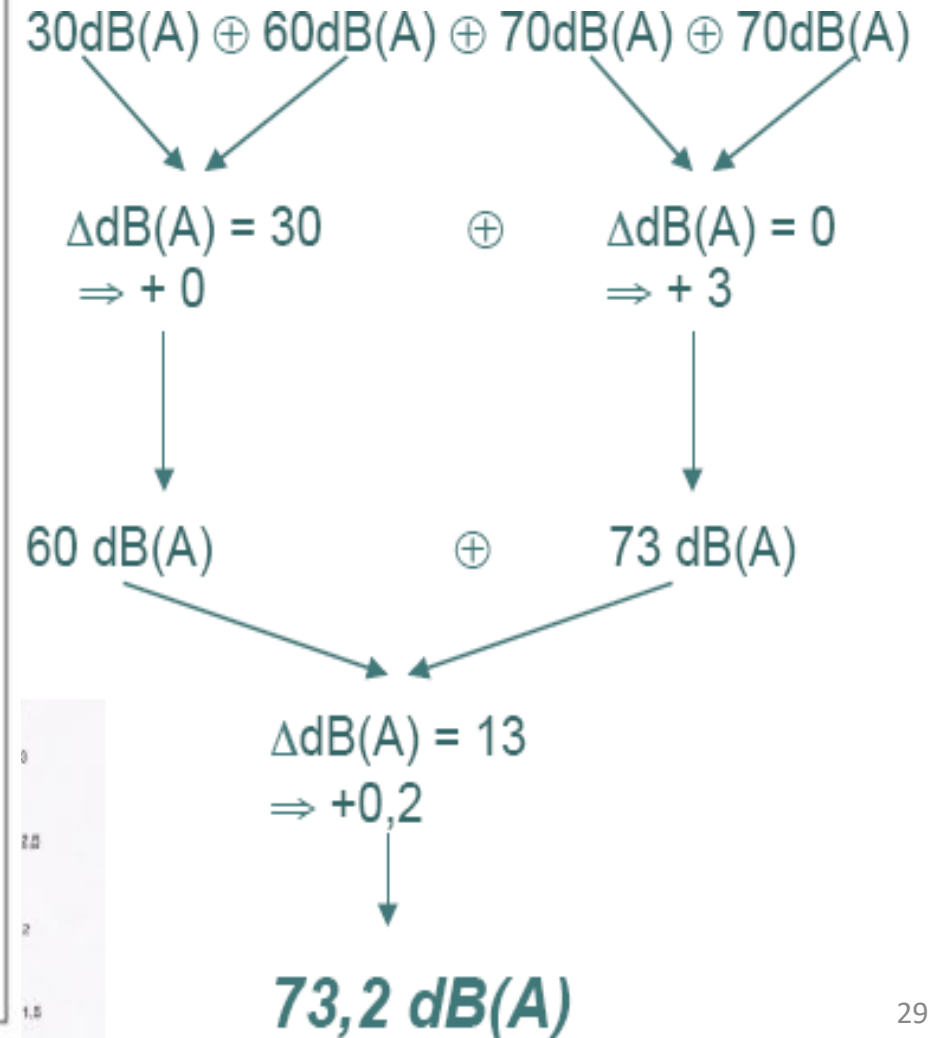
~~200 dB~~
120 dB

Quantification du bruit: Addition des niveaux sonores (méthode graphique)

Addition de niveaux dB



source : Bruël & Kjaer



Quantification du bruit: Addition des niveaux sonores (tableau d'addition)

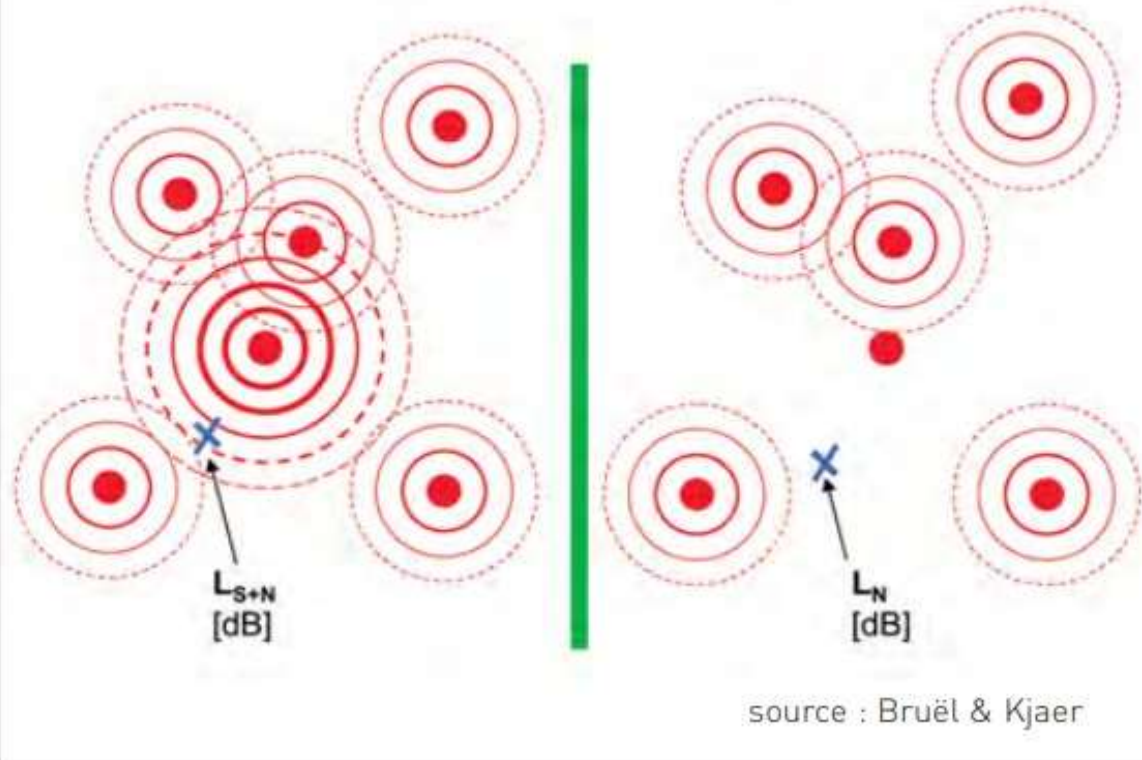
- Le **tableau** ci-dessous permet de trouver le niveau résultant de l'**addition** de deux bruits de niveaux différents:

Différence entre les deux niveaux en dB	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valeur à rajouter au niveau le plus élevé	3	2.6 (2.5)	2.1 (2)	1.8 (2)	1.5	1.2 (1)	1	0.8 (1)	0.6 (0.5)	0.5	0.4 (0.5)

- Remarque:** en pratique, si un bruit de niveau L1, dépasse de **10 dB** un autre bruit de niveau L2, le premier **masque** entièrement le deuxième.

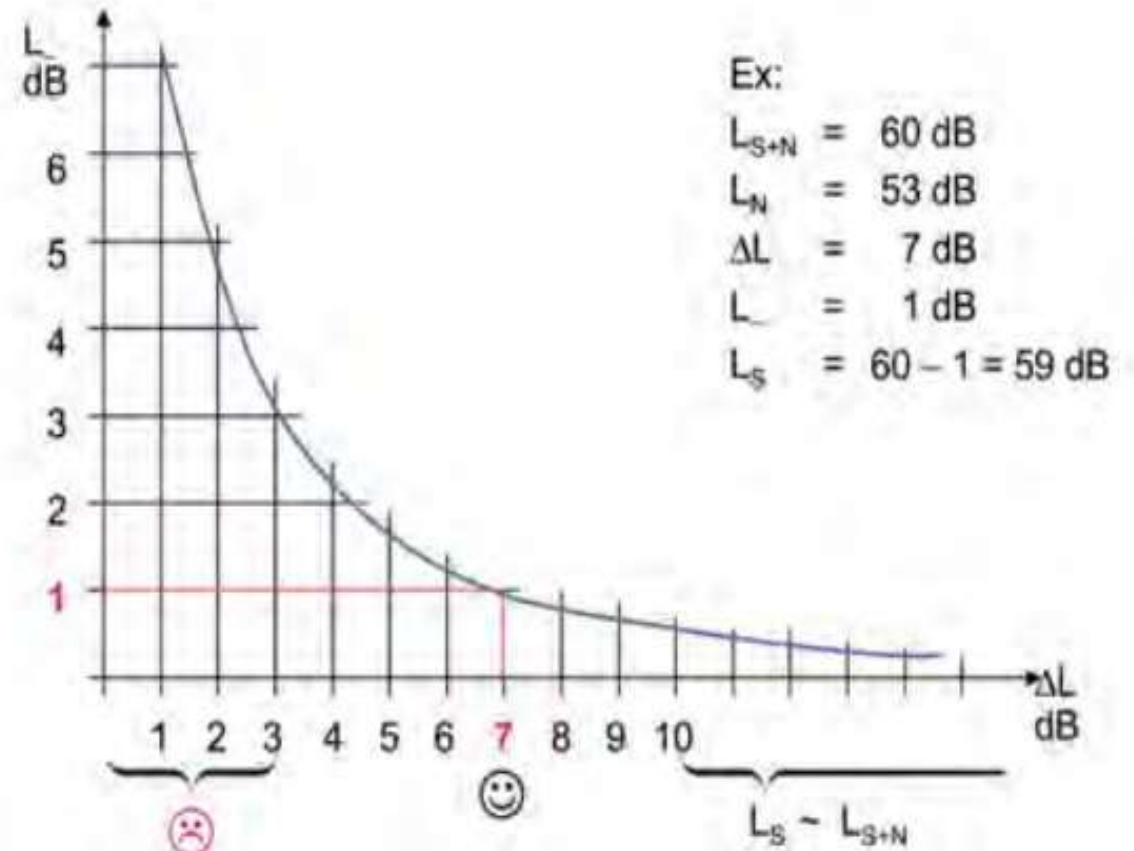
Quantification du bruit: Soustraction des niveaux sonores (méthode graphique)

Soustraction de niveaux sonores



On mesure ici, à un point d'observation, le niveau de pression acoustique de la source (S) et du bruit de fond (situation de gauche). On mesure ensuite le niveau de pression acoustique du bruit de fond B dont on déduit celui de la source S.

Soustraction de niveaux dB



Quantification du bruit: Soustraction des niveaux sonores (tableau de soustraction)

- Le **tableau** ci-dessous permet de trouver le niveau résultant de la **soustraction** de deux bruits de niveaux différents:

Différence entre les deux niveaux en dB	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valeur à retrancher du niveau le plus élevé	7	4	3	2	1.5	1	1	0.75 (1)	0.5	0.5

- Différence: ($\Delta L = 0$) le bruit de la machine arrêté est négligeable devant le bruit de fond.
- Différence: ($\Delta L > 10$) le bruit total est de la machine.

Quantification du bruit: Soustraction des niveaux sonores (Exemple)

- Dans un local le niveau sonore total est de 95 dB. On arrête une machine A, le niveau sonore tombe à 90 dB, quel est le niveau sonore de la machine A seulement dans le local?
- *Solution:*

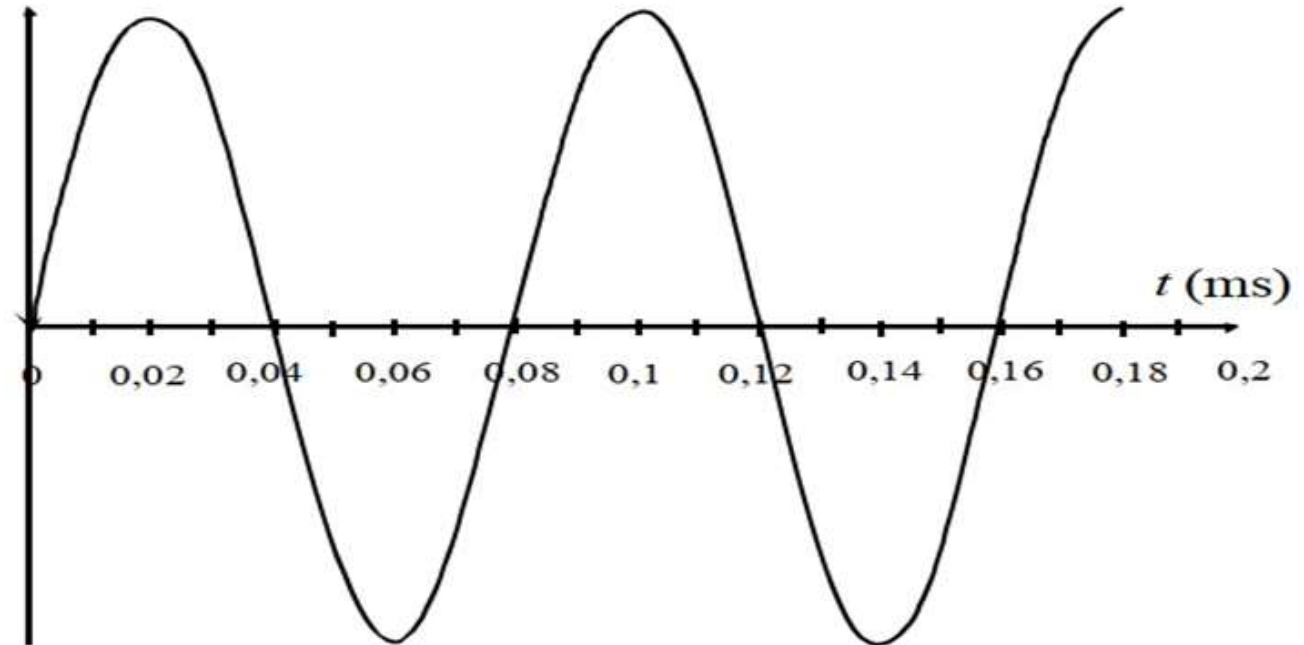
TD 1

Exercice 1:

Le graphique suivant représente l'oscillogramme d'une onde sonore se propageant dans le granit.

1. Déterminer graphiquement la période T de l'onde sonore.
2. En déduire sa fréquence puis calculer sa longueur d'onde λ sachant que la célérité du son dans le granit est $c = 3\,950$ m/s.

Amplitude de l'onde



Exercice 2:

- A quel niveau de pression sonore correspond une variation de pression de $2 \cdot 10^{-2}$ Pa?
- A quelle intensité sonore cette valeur correspond-t-elle?

TD 1

Exercice 3:

Trouver le niveau sonore en dB résultant de l'addition de deux sons de 60 dB et 66 dB:

- a. Par la méthode analytique.
- b. Par le tableau d'addition des dB.

Exercice 4: devoir de maison

Un bruit quelconque est donné par le spectre suivant:

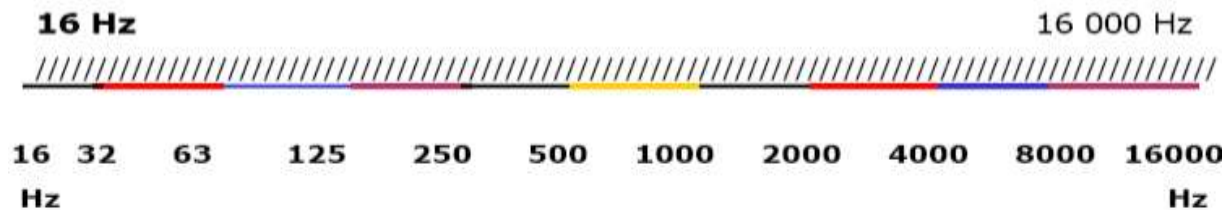
Fréquence en Hz	125	250	500	1000	2000	4000
NPS en dB	71	70	66	65	63	57

Calculer le NPS global de ce bruit.

Bruit au travail: Spectre sonore et bandes d'octave

L'oreille humaine est sensible à des variations de fréquences entre **20Hz** à **20 000 Hz** (oreille jeune et en bonne santé). Ce grand domaine de sensibilité est divisé en paquets de fréquences qui sont ordonnés de façon régulière pour l'oreille. Ce sont par exemple, les **octaves**. Quand on passe d'une octave à une autre, on a la sensation auditive que l'on a **doublé la hauteur du son**.

Octave:



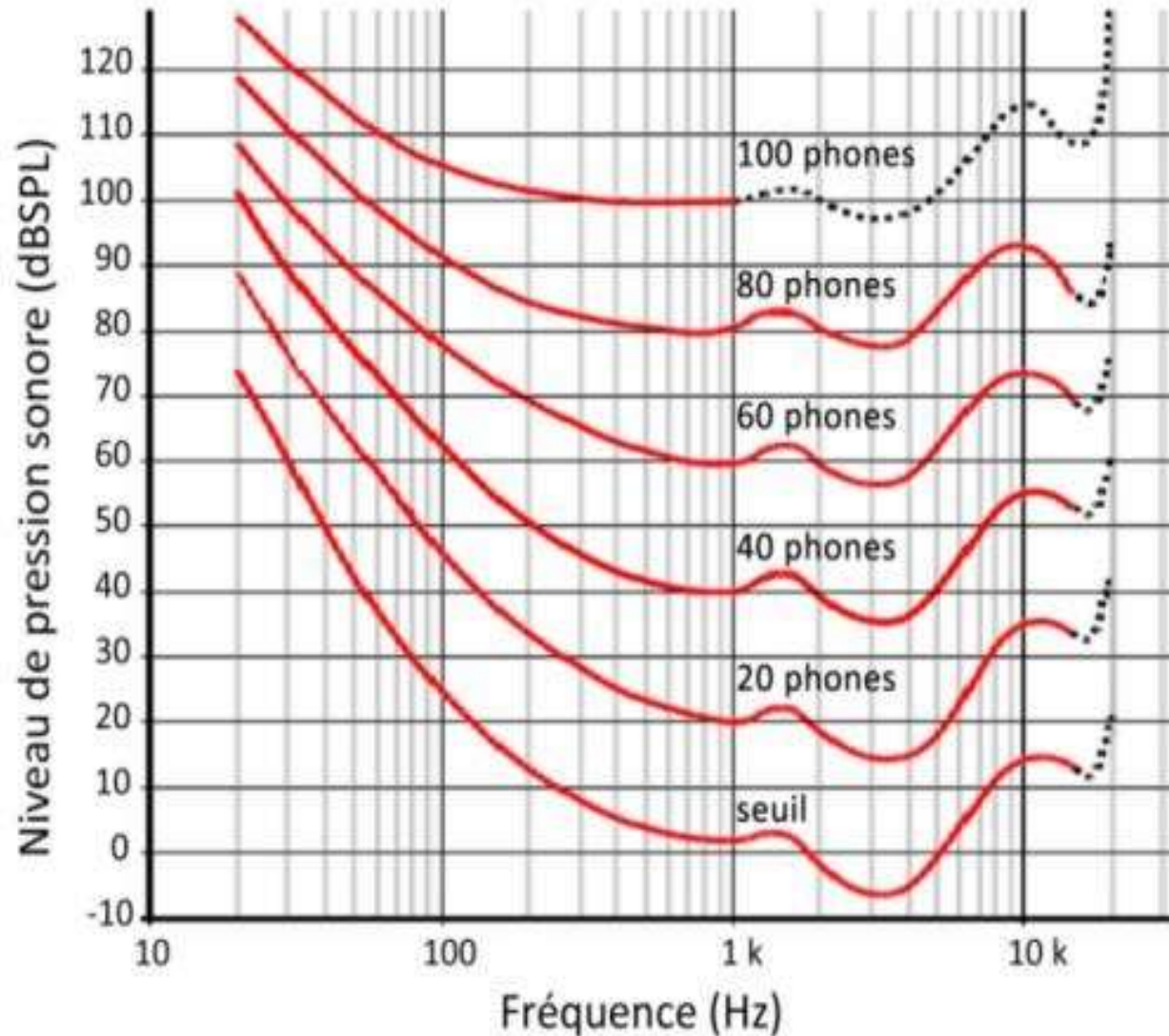
Fmini	Octave	Fmax
44	63	88
89	125	176
177	250	353
353	500	707
708	1k	1414
1415	2K	2828
2829	4K	5656
5657	8K	11313
11314	16K	20 000

Découpage en octaves (Hz)

Bruit au travail: pondérations fréquentielles

□ L'oreille humaine n'a pas la même sensibilité pour toutes les fréquences audibles (peu sensible aux fréquences très basses ou très élevées (raison physiologique)) : ainsi, un son de 50 dB et de fréquence 1000 Hz produit une sensation auditive plus forte qu'un son de 50 dB à la fréquence 100 Hz. Le niveau sonore doit donc être pondéré par un coefficient dépendant de la fréquence du son émis, afin de « pénaliser » les graves et les aigus par rapport aux médiums. Pour tenir compte de ces caractéristiques du système auditif, plusieurs pondérations fréquentielles ont été normalisées. Ces pondérations sont des filtres définis par bande de fréquence. Les plus couramment utilisées sont les pondérations A et C.

Bruit au travail: Courbes isosoniques



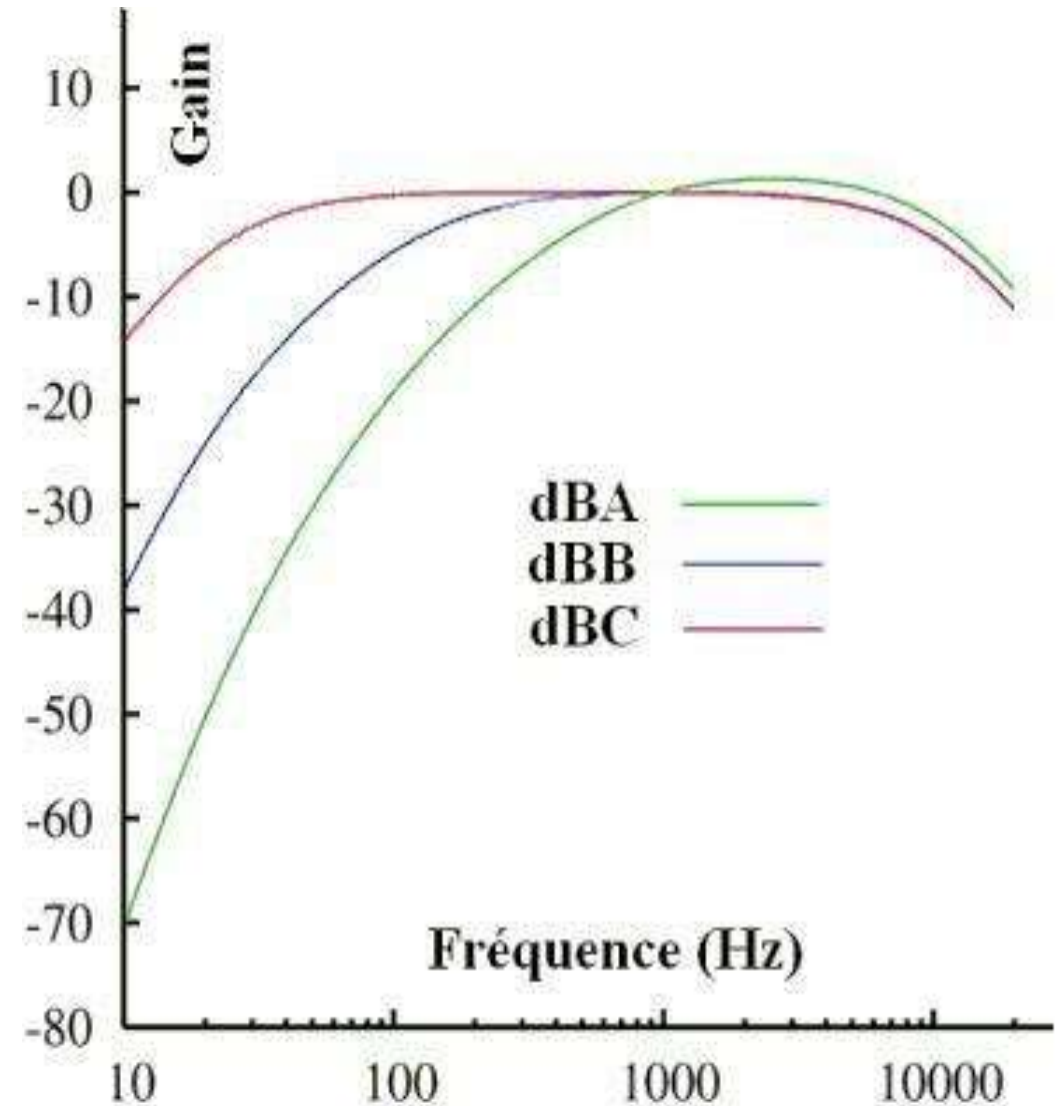
Les courbes d'égales sensations sonores ou bien les courbes isosoniques indiquent le niveau sonore nécessaire à chaque bande de fréquence pour obtenir la même sensation auditive qu'au son de 1000Hz (à 1000 Hz le niveau physique est égale au niveau physiologique)

Exemple: L'oreille ne peut détecter un son de 50 Hz que si le niveau de pression sonore de la source vaut environ 42 dB.

Bruit au travail: pondérations fréquentielles A, B et C

Le filtre de pondération sert à rapprocher la valeur physique à la valeur physiologique. Ces filtres peuvent être intercalés dans les appareils de mesure de bruit.

Le choix du filtre dépend du niveau sonore mesuré. Au départ, le filtre A était utilisé pour la mesure des niveaux sonores inférieurs à 55dB, le filtre B pour les niveaux compris entre 55 et 85 dB et enfin le filtre C au delà de ces niveaux. Les niveaux sonores ainsi calculés sont appelés: niveau de pression sonore pondéré A et sont exprimés en dB (A).



Bruit au travail: pondérations fréquentielles A

Le tableau ci-dessous donne les différentes corrections du filtre de pondération A pour chaque bande d'octave:

Fréquence en Hz	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Filtre de pondération (dB)	-39.4	-26.2	-16.1	-8.6	-3.2	0	1.2	+1	-1.1	-6.6

Bruit au travail: exemples

Exercice:

Déterminer le niveau de pression sonore global en dB (A) du spectre sonore suivant:

Fréquence en Hz	125	250	500	1000	2000	4000
NPS en dB	71	70	66	65	63	57

Solution:

Fréquence en Hz	125	250	500	1000	2000	4000
NPS en dB	71	70	66	65	63	57
Pondération A	-16.1	-8.6	-3.2	0	1.2	1
NPS dB (A)	54.9	61.4	62.8	65	64.2	58

Le niveau global pondéré A [ou en dB (A)]:

$$L = 10 \log \left(\sum_{i=1}^n 10^{\left(\frac{L_i}{10}\right)} \right) \quad \mathbf{L = 70 \text{ dB (A)}}$$

Bruit au travail: exemples



Effets du bruit sur l'homme



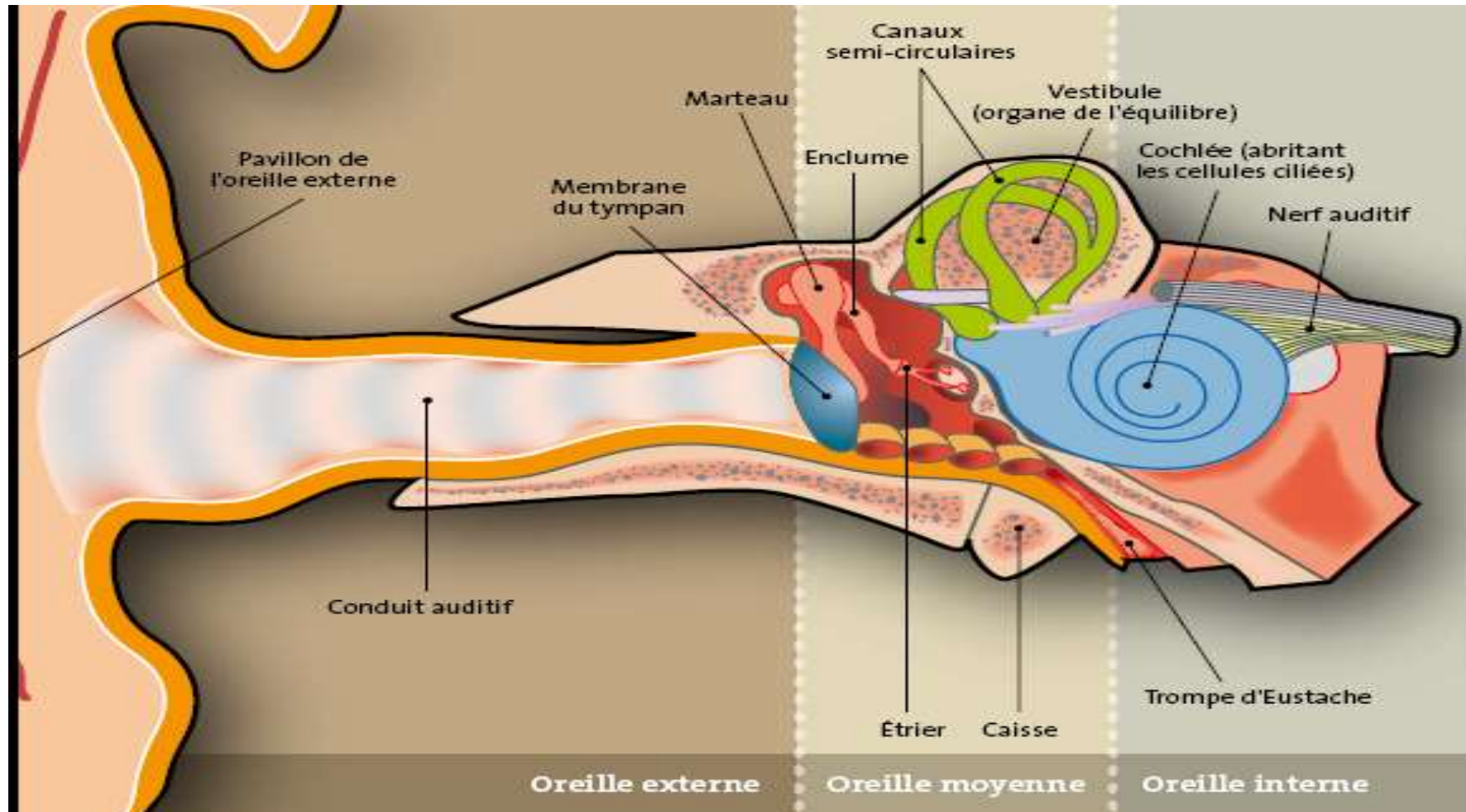
Effets du bruit sur l'homme

- L'exposition au bruit peut entraîner des effets **directs** et **indirects**. Selon **la durée** et **l'intensité** de l'exposition, les atteintes auditives peuvent être **aigues** ou **chroniques**, **réversibles** ou **irréversibles**. Quant aux atteintes indirectes, en général liées à une exposition chronique, elles sont attribuées à l'effet stressant du bruit. Néanmoins, le bruit a un **effet positif**: avec le bruit, on peut détecter la panne.

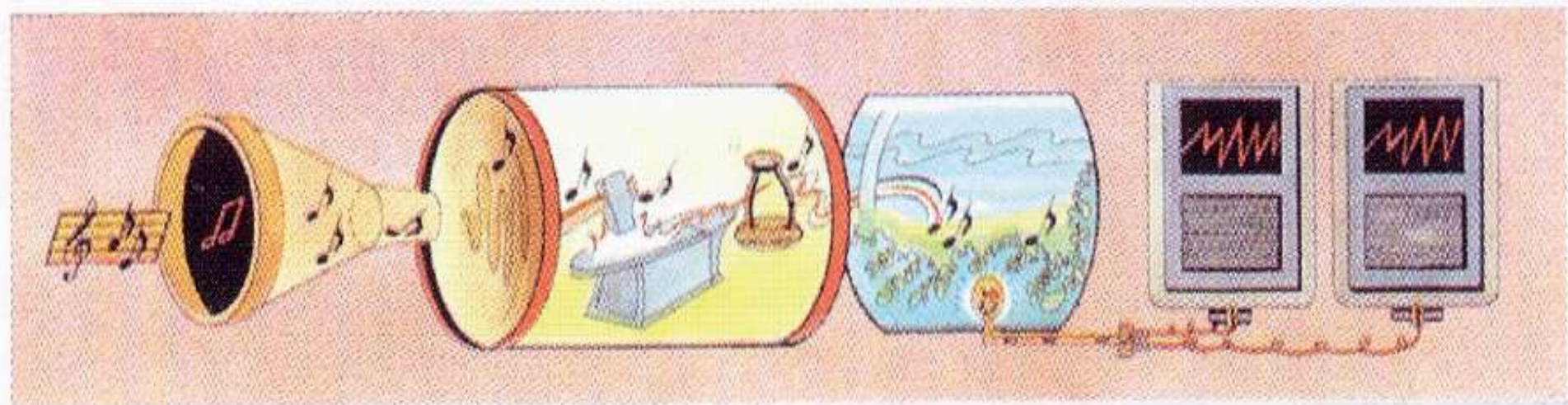
Effets du bruit sur l'homme : Structure de l'oreille

L'oreille : un bien précieux

15 000 cellules auditives



Effets du bruit sur l'homme : Structure de l'oreille



pavillon

tympan

osselets

limaçon

signaux électriques

(marteau enclume étrier)

transmis au cerveau

oreille externe

oreille moyenne

oreille interne

Effets du bruit sur l'homme : Structure de l'oreille

L'oreille est l'organe périphérique de l'audition. On y distingue trois parties bien différenciées :

>>> **l'oreille externe** est composée du pavillon et du conduit auditif. Elle collecte, localise, amplifie et dirige les ondes sonores vers le tympan, fine membrane qui vibre comme une peau de tambour.

>>> **L'oreille moyenne** est une cavité remplie d'air, comprise entre le tympan et l'oreille interne dont elle est séparée par la fenêtre ovale. Elle a pour fonction, à l'aide de la chaîne des osselets (marteau, enclume et étrier), de transformer mécaniquement les vibrations aériennes en vibrations solidiennes.

>>> **L'oreille interne** est le cœur du système auditif. Elle est constituée, d'une part, du vestibule, organe qui permet de garder notre équilibre dans l'espace, et d'autre part, d'une cavité remplie de liquide qui contient la cochlée ou limaçon. Au sein de la cochlée se trouve l'organe de Corti. Il s'agit

d'un élément important de l'ouïe, comprenant les cellules sensorielles de l'audition, appelées les cellules ciliées. Elles captent l'énergie acoustique et la transforment en influx nerveux. Les fibres du nerf auditif se chargent de transmettre l'information au cerveau. Le cortex cérébral interprète le message nerveux qu'il reçoit, et génère la sensation auditive, image perceptive du message sonore capté par l'oreille.

Le système auditif est achevé au septième mois de la vie intra-utérine, mais l'intégration du son nécessite des structures nerveuses qui ne sont pleinement en fonction qu'entre la première et la deuxième année.

Nos oreilles n'étant pas protégées, comme nos yeux, par des paupières, elles fonctionnent 24 heures sur 24. Ainsi, constamment en alerte, elles permettent la détection des dangers et donc la survie notamment la nuit. Nous sommes peut-être aujourd'hui en partie victimes des effets pervers de ce rôle privilégié.

Effet du bruit sur l'homme: Effets directs du bruit

- **La fatigue auditive:** Après un certain temps passé dans une ambiance bruyante, vous vous retrouvez tout à coup dans une ambiance tranquille. Les sons vous parviennent assourdis. Votre propre voix vous semble lointaine. Vous avez l'impression d'avoir les oreilles bouchées.
- ✓ C'est le premier stade de l'atteinte de l'ouïe. Il suffit d'une **exposition de quelques heures** à un bruit **intense** pour que cette fatigue s'installe provoquant une **baisse temporaire** de l'acuité auditif.
- ✓ La fonction auditif normale est **récupérée après** une période variant entre **12 et 36 heures** selon les individus et l'importance de l'exposition.
- ✓ Tant que la perte auditive reste **temporaire**, on parle de fatigue auditive.
- ✓ Si l'exposition se prolonge ou si le bruit est plus intense, la perte auditive ne sera plus entièrement récupérée.

Effet du bruit sur l'homme: Effets directs du bruit

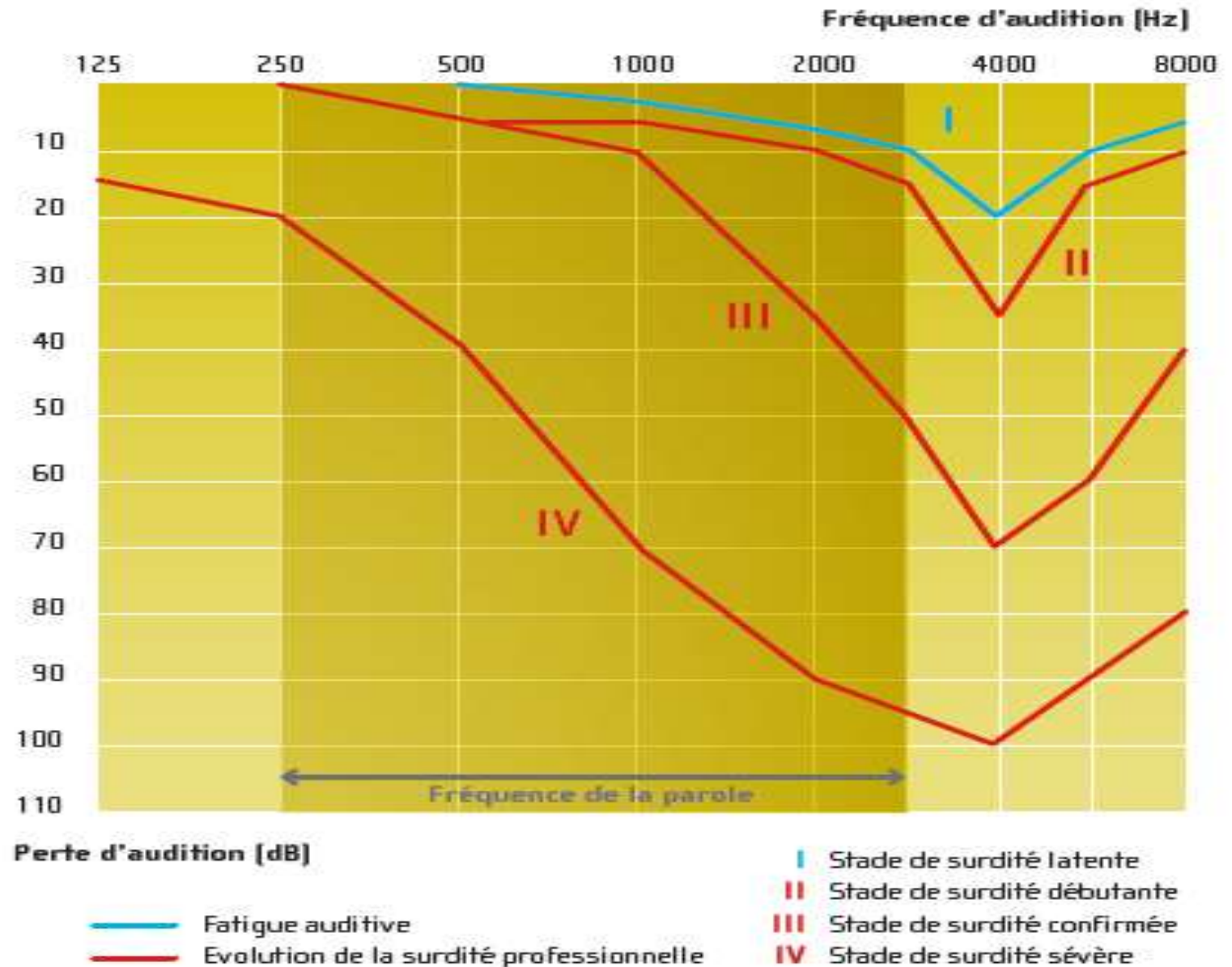
- **Le traumatisme acoustique:** il représente l'ensemble des **lésions** de l'appareil auditif provoquer **soudainement** par un **agent physique extérieur**. On retrouve à l'origine un **bruit intense, impulsif, une explosion**.
- ✓ Le sujet ressent en principe une **vive douleur**, éventuellement accompagnée d'**otorragies** (écoulement du sang par l'oreille), on pourra constater une **perforation tympanique**.

Effet du bruit sur l'homme: Effets directs du bruit

- **La surdité professionnelle:** c'est la conséquence d'une **exposition prolongée** à des **niveaux** de pression sonore **élevées**. Elle peut être due à un **traumatisme sonore**. Elle se traduit par un **déficit irréversible** de la perception auditive, elle évolue de façon **lente** et **insidieuse** (se dit de maladies à début progressif, et dont les symptômes n'apparaissent que lorsque l'affection a déjà évoluée).
- ✓ En effet, la perte d'audition passe **inaperçue au début** car elle apparaît d'abord dans les fréquences **aiguës** peu utilisées dans la vie courante, autour de **4000 à 6000 Hz**. Ce n'est que lorsqu'elle gagne progressivement les fréquences moyennes, celles de la conversation, que l'on s'en rend compte. Le besoin de faire **répéter son interlocuteur**, la nécessité **d'augmenter le volume de la télévision**, des **difficultés de compréhension** en groupe sont autant de signes imposant une **visite chez un ORL**.

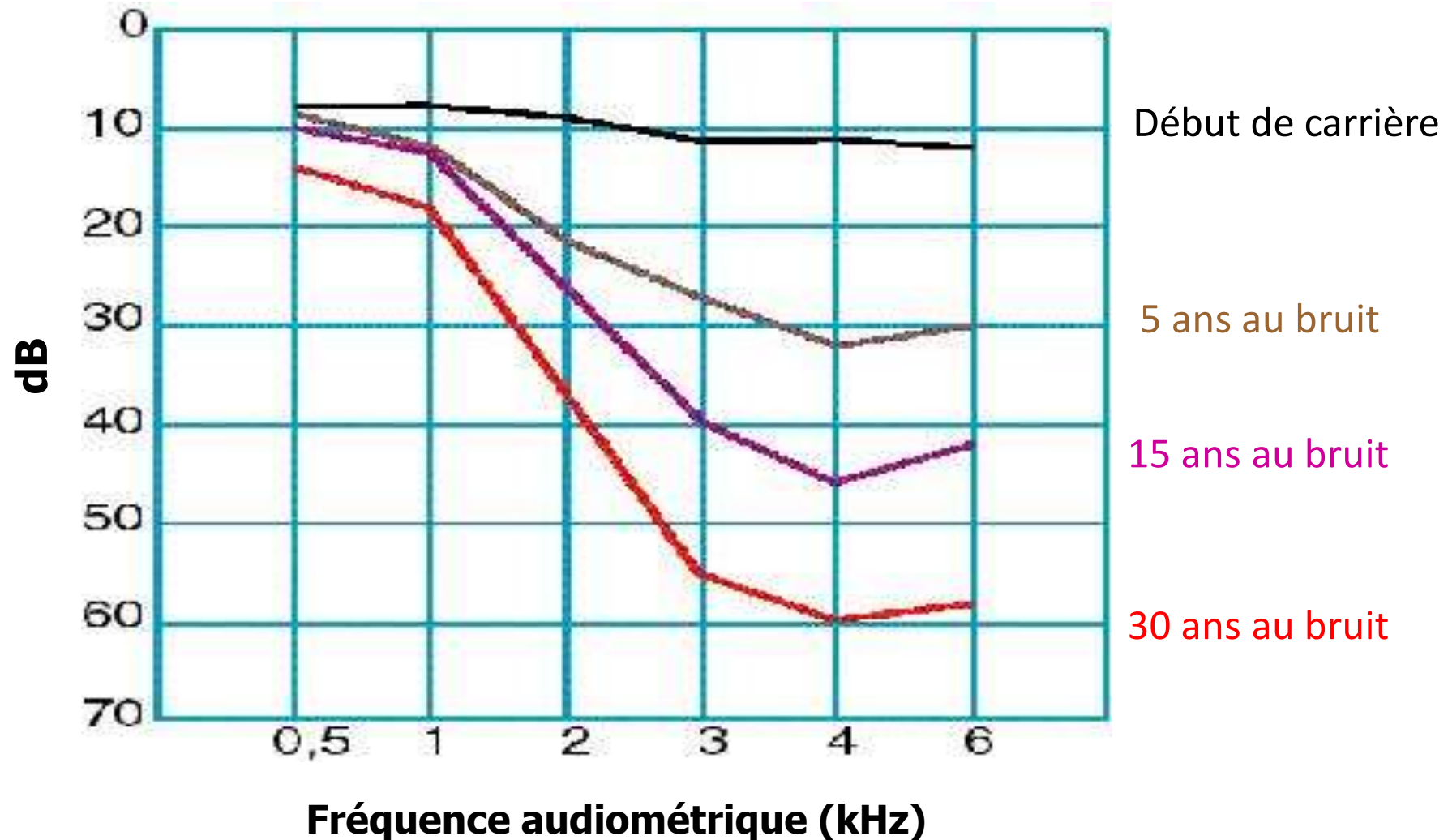
Effet du bruit sur l'homme: Effets directs du bruit

Evolution de la surdité professionnelle



Effet du bruit sur l'homme: Effets directs du bruit

Exemple : suivi durant 30 ans de l'audition d'un travailleur exposé à 95 dB(A)



Effet du bruit sur l'homme: Effet indirects du bruit

- **Le sommeil:** Il est perturbé avec **difficultés d'endormissement**. Il devient plus **léger** avec **réveils** dans la nuit.
- ✓ Raccourcissement de la durée totale du sommeil nocturne.
- ✓ Cette situation peut conduire le salarié à **la prise du médicament sédatif**, avec la possibilité de **répercussions** néfastes le lendemain **au travail: somnolence, baisse de vigilance** ce qui peut engendrer un accident de travail.
- **Accélération du rythme cardiaque:** Citons ici l'exemple d'un ouvrier du B.T.P devant un mur de béton. Son médecin de travail, à l'aide d'un pulsomètre, lui trouve, au cours de cette activité bruyante , un pouls de 120 pulsations par minute. Il lui demande alors d'effectuer le même travail **en portant un casque de protection anti bruit** et constate que **les chiffres tombent** de 100 pulsations par minute.
- **Augmentation de la tension artérielle et la tension musculaire:** Des augmentations **Brusques et répétées** de la tension artérielle. Pour la tension musculaire, elle se manifeste tout de même à la **fin de la journée** par une plus grande **fatigue**.
- **Augmentation des sécrétions digestives acides:** ils peuvent créer ou aggraver une **gastrite** ou même une **lésion ulcéreuse**.
- **Conséquences financières négatives pour l'entreprise**

Effet du bruit sur l'homme: Effet indirects du bruit

- **Effet de masque:** il y a un masque de son lorsque ce dernier cesse d'être perçu en présence d'un autre son:
- ✓ Les bruits industriels peuvent ainsi gêner la perception des signaux acoustiques de sécurité.
- ✓ Le masque de la voix humaine rend la communication entre travailleurs difficile ou impossible, ce qui est un facteur significatif de gêne, génératrice de l'accident de travail.
- ✓ Par son effet de masque, le bruit peut avoir des conséquences graves sur la sécurité des travailleurs: il peut couvrir la perception d'un ordre, d'un signal d'alarme, d'un cris avertissant... etc. Il favorise alors la survenance d'accidents ou d'incidents.

Effets du bruit sur l'homme

❑ **Remarque:** *il existe, en milieu de travail, d'autres agents, autres que le bruit qui peuvent entraîner ou aggraver une perte auditive, tels que :*

✓ **Les produits chimiques ototoxiques (solvants aromatiques, monoxyde de carbone, acide cyanhydrique, métaux lourds, ...).**

✓ **Les agents biologiques (streptococcus suis...).**



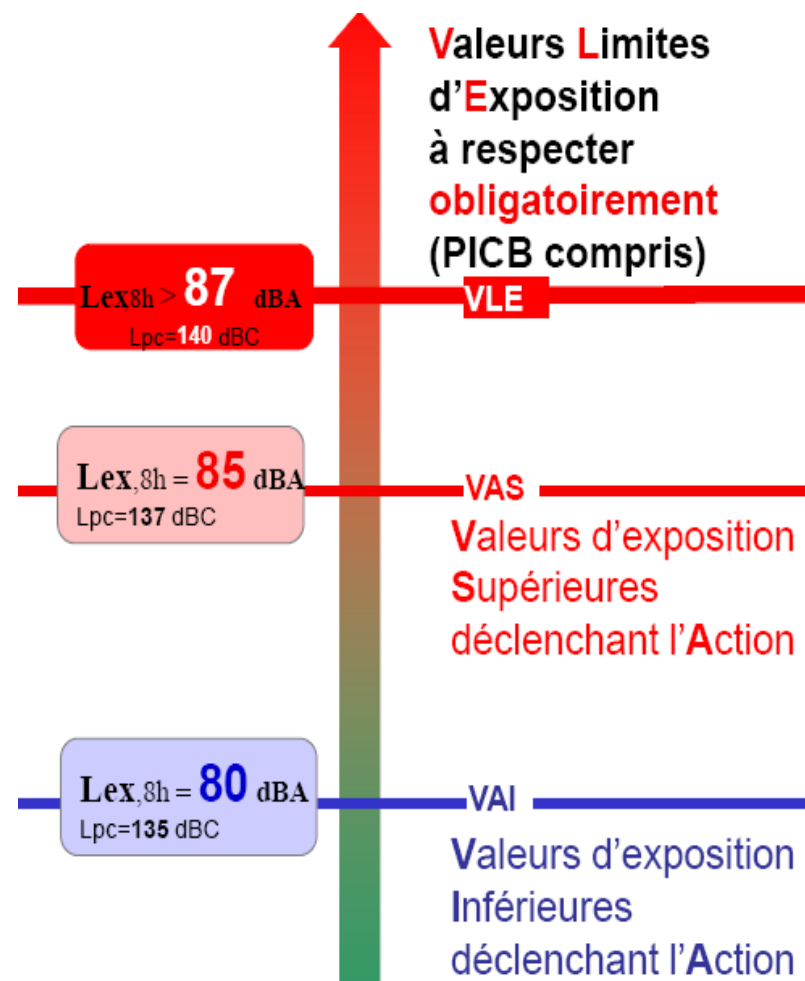
Evaluation du risque lié aux nuisances sonores



Bruit au travail: valeurs limites (réglementation)

Valeurs réglementaires relatives au bruit en milieu de travail

Valeurs d'exposition	Niveau d'exposition quotidienne au bruit L_{ex}	Niveau de pression acoustique de crête L_{pc}	Précisions article R4431-3 du Code du Travail
Valeur Limite d'Exposition (VLE)	87 dB (A)	140 dB (C)	Tient compte de l'atténuation des protections individuelles
Valeurs d'Exposition Supérieures déclenchant l'action de prévention	85 dB (A)	137 dB (C)	Ne tient pas compte de l'atténuation des protections individuelles
Valeurs d'Exposition Inférieures déclenchant l'action de prévention	80 dB (A)	135 dB (C)	Ne tient pas compte de l'atténuation des protections individuelles



Bruit au travail: valeurs limites (réglementation)

Les seuils d'exposition sonores selon la réglementation européenne

Seuils déclenchant l'action de prévention	Paramètres	Nouvelle réglementation	Actions de prévention
Valeur d'exposition inférieure	Exposition moyenne ($L_{Ex,8h}$)	80 dB (A)	<ul style="list-style-type: none">- Mise à disposition de PICB- Information et formation- Audiométrie préventive proposée
	Niveau de crête ($L_{p,c}$)	135 dB (C)	
Valeur d'exposition supérieure	Exposition moyenne ($L_{Ex,8h}$)	85 dB (A)	<ul style="list-style-type: none">- Mesures technique de réduction de l'exposition au bruit- Signalisation- Utilisation de PICB- Audiométrie périodique
	Niveau de crête ($L_{p,c}$)	137 dB (C)	
Valeur limite d'exposition (VLE en tenant compte des PICB)	Exposition moyenne ($L_{Ex,8h}$)	87 dB (A)	<ul style="list-style-type: none">- A ne dépasser en aucun cas- Mesures de réduction d'exposition sonore immédiate
	Niveau de crête ($L_{p,c}$)	140 dB (C)	

Bruit au travail: Evaluation des risques

❑ L'évaluation des risques est une **obligation** du chef d'entreprise, quelle que soit l'activité de l'entreprise, et même s'il n'y a pas d'exposition évidente au risque. L'objectif premier est donc d'évaluer les risques au sein d'une entreprise et de mettre en place des **mesures de prévention** adaptées lors de l'identification d'un risque.

❑ L'évaluation des niveaux de bruit et, si nécessaire, leurs mesurages sont planifiés et **réalisés** par des **personnes compétentes**. La méthodologie d'évaluation des risques se compose de trois étapes principales :

- ✓ L'analyse du poste de travail
- ✓ Les mesures au poste de travail
- ✓ L'interprétation des résultats: comparer les valeurs d'exposition estimées aux valeurs d'action et limite fixées par la réglementation.

Bruit au travail: Evaluation des risques

□ L'employeur recherche et identifie les travailleurs susceptibles d'être exposés au risque dû au bruit, procède à une estimation du bruit subi et le cas échéant, si l'estimation n'a pas permis de conclure à l'absence de risque, mesure le *niveau sonore d'exposition quotidienne* et éventuellement le *niveau acoustique de crête*. A ce titre, l'INRS propose plusieurs méthodes, devant être utilisées de manière conjointe : elles permettent de savoir si une évaluation du risque sans mesurage suffit ou si des mesures précises et conformes aux spécifications normalisées sont nécessaires.

1. Estimation sommaire du risque

2. Evaluation simplifiée

3. Mesurage d'exposition normalisé

Bruit au travail: Evaluation des risques

1. Estimation sommaire de l'exposition (tests) : elle ne nécessite ni mesures ni connaissances spécifiques. Cette méthode permet d'**identifier**, parmi différents groupes de travailleurs, quels sont **ceux** pour lesquels une **estimation** plus précise s'impose à travers différentes questions :

▪ Test 1: Questionnaire

- *Votre environnement de travail est-il trop bruyant ?*
- *Vous devez élever la voix pour parler avec un collègue situé à 1 m ?*
- *Vos oreilles bourdonnent pendant ou à la fin de votre journée de travail ?*
- *De retour chez vous, après une journée de travail, vous devez augmenter le volume de votre radio ou de votre téléviseur ?*
- *Après plusieurs années de travail, vous avez des difficultés à entendre les conversations dans les lieux bruyants (cantine, restaurant...)?*

Si vous avez répondu **oui** à au moins une de ces questions, alors le bruit sur votre lieu de travail représente peut-être un **risque** pour votre santé !

Bruit au travail: Evaluation des risques

■ Test 2 : Communication dans le bruit

Test	Interprétation en termes de niveau de risque	Exemples
Devoir crier ou avoir beaucoup de difficulté à se faire comprendre par une personne située à moins de 1 m de distance.	Niveau 2 = risque certain*	Atelier de menuiserie quand plusieurs machines à bois sont en marche
		Meuleuse,
Devoir crier ou avoir beaucoup de difficulté à se faire comprendre par une personne située à 2 m de distance.	Niveau 1 = risque incertain	Atelier d'usinage (de type fraisage)
		Perceuse
Pouvoir communiquer normalement avec une personne située à 0,5 m de distance.	Niveau 0 = certitude d'absence de risque	Atelier de montage sans machines bruyantes
		Rue animée avec circulation

* On peut considérer que ce test correspond à un niveau de bruit supérieur à 90 dB(A) environ.

Bruit au travail: Evaluation des risques

■ Données bibliographique d'exposition

Il est possible de consulter des **données d'exposition** au bruit professionnel. La base de données de la **SUVA** comprend **66 tableaux** de bruit, qui correspondent à autant de **secteurs d'activité** professionnelle. Après sélection d'un tableau, les informations sur le bruit sont fournies par **métier**. Chaque tableau est téléchargeable **gratuitement**. Pour y accéder: www.suva.ch/waswo/86005.

Secteur d'activité	Métier, poste de travail	Niveau de bruit L _{EX,8h} dB(A)
Fabrication de produits en ciments	Table vibrante	95
BTP	Foreuse	95
	Marteau pneumatique (utilisé plus de 8 h / jour)	90
	Conducteur Dumper	86
Fonderie	Démouleur	95 à 100
	Ébarbeur	100
	Mouleur	86
Construction mécanique	Forge	95
	Soudage	90
Automobile	Tôlier	90
Bois	Scieur	90
Plastique	Broyeur de déchets	95
	Extrudeur	90
Textile	Fileur open-end	95
	Bobineur	85 à 90
Boisson	Chaînes d'embouteillage	86 à 95
Musique, divertissement	Disc-jockey	95

Bruit au travail: Evaluation des risques

2. **Évaluation simplifiée de l'exposition** : l'évaluation simplifiée *s'applique lorsque l'exposition quotidienne au bruit peut être décomposée en plusieurs phases* distinctes de travail. C'est le cas lorsque le travail comprend différentes tâches, liées à des circonstances d'exposition spécifiques. Cette méthode permet d'estimer, pour *chaque phase bruyante, le niveau du bruit et la durée totale quotidienne, et d'obtenir 2 résultats* :
- Une estimation de l'exposition totale au bruit : *niveau d'exposition sonore quotidienne*
 - *Un classement des phases d'exposition selon leur contribution à l'exposition globale*, ce qui permet d'identifier les priorités à donner aux actions de réduction du risque, entre les diverses phases d'exposition.

Bruit au travail: Evaluation des risques

□ Calcul du niveau d'exposition quotidienne au bruit ($L_{EX, 8h} = L_{Aeq, 8h}$)

L'exposition au bruit d'un travailleur pendant la durée de son poste peut être **calculée** en combinant **plusieurs niveaux de pression acoustique équivalents** pendant des **périodes d'activités distinctes** (L_{Aeq, T_i}) pour obtenir le niveau de pression acoustique équivalent pendant toute la durée du poste grâce à l'équation suivante :

$$L_{EX, 8h} = L_{Aeq, T_d} + 10 \log \left(\frac{T_d}{T_0} \right) \quad T_0: \text{durée de référence} = 8 \text{ h}$$

L_{Aeq, T_d} : niveau de pression acoustique continu équivalent (pondéré A) déterminé sur la durée totale effective de la journée de travail (T_d)

$$L_{Aeq, T_d} = 10 \log \left(\frac{1}{T_d} \sum_{i=1}^n T_i \cdot 10^{\left(\frac{L_{Aeq, T_i}}{10} \right)} \right)$$

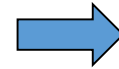
L_{Aeq, T_i} : niveau de pression acoustique continu équivalent déterminé sur la durée de la phase i (T_i). Remarque : $\sum T_i = T_d$

Bruit au travail: Evaluation des risques

□ Exemple: un travail comprenant deux phases

■ phase 1 = 80 dB(A) pendant 6 heures;

■ phase 2 = 90 dB(A) pendant 1 heure.



83 dB(A)

□ Remarque:

Si les niveaux d'exposition sonore quotidienne sont **sensiblement variables au cours d'une semaine**, on peut calculer leur valeur moyenne hebdomadaire par la relation :

$$L_{EX,8h} = 10 \log \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\left(\frac{L_{EX,8h_i}}{10} \right)} \right)$$

N: nombre de journées de travail dans la semaine,

$L_{EX, 8h_i}$: niveau d'exposition sonore quotidienne correspondant à la i -ème journée de travail.

TD 2

Exercice 1:

Sur une durée de 8 heures, un salarié est exposé à:

- ✓ 80 dB (A) pendant 1 heure
- ✓ 85 dB (A) pendant 4 heures
- ✓ 82.5 dB (A) pendant 3 heures

Trouver le niveau de pression acoustique continu équivalent pendant 8 heures.

Exercice 2:

Trouver le niveau d'exposition quotidienne pour:

- a. 93 dB (A) pendant 4 heures.
- b. 96 dB (A) pendant 2 heures.

Exercice 3 :

Calculer la valeur moyenne hebdomadaire de l'exposition d'un ouvrier qui travaille 3 fois par semaine.

- Jour 1:

- Phase 1 = 86 dB(A) pendant 1.5 h

- Phase 2 = 91 dB(A) pendant 0.5 h

- Phase 3 = 80 dB(A) pendant 4 h

- Jour 2: $L_{EX, 8h} = 83$ dB(A)

- Jour 3:

- Phase 1 = 95 dB(A) pendant 0.25 h

- Phase 2 = 84.5 dB (A) pendant 5 h