



**Ministère du travail, de l'emploi et de l'insertion  
Ministère des solidarités et de la santé**

**CONCOURS EXTERNE ET INTERNE POUR LE RECRUTEMENT DES  
INSPECTEURS DU TRAVAIL**

**Année 2021**

**Mercredi 16 juin 2021**

**09h00 à 13h00 (horaires de métropole)**

**SCIENCES DE LA MATIERE OU DE LA VIE**

**EPREUVE 3 :**

Au choix du candidat, effectué au moment de son inscription, une composition portant sur un ou plusieurs sujets de sciences de la matière ou de la vie. Un dossier comportant 10 pages maximum est mis à disposition des candidats. La composition fait appel à des connaissances personnelles. Elle permet d'évaluer les connaissances, les qualités d'analyse et les qualités rédactionnelles (durée : quatre heures ; coefficient 3).

Les candidats devront traiter **au choix** l'un des deux sujets suivants :

1) Sujet de sciences de la matière.....pages 1 et 4

**OU**

2) Sujet de sciences de la vie.....pages 5 à 17

**Ce dossier contient 18 pages, y compris la présente.**

**Attention :** il est impératif de préciser en haut de votre copie, en toutes lettres, le sujet que vous avez choisi.

# Sujet de sciences de la matière

## Remarques préliminaires:

- 1) Pour l'exercice de Physique n°2 qui nécessite une application numérique, posez simplement les calculs sans les faire.
- 2) Les candidats traitent la partie Physique **ET** Chimie

## **CHIMIE**

### **Exercice de chimie n°1 : Equations chimiques**

Pondérer si nécessaire et donner le résultat des équations chimiques suivantes :

- 1) ...  $\text{NH}_3$  + ...  $\text{O}_2$  donnent ...  $\text{NO}$  + ...  $\text{H}_2\text{O}$
- 2) ...  $\text{CH}_4$  + ...  $\text{H}_2\text{O}$  donnent ...  $\text{CO}_2$  + ...  $\text{H}_2$
- 3) ...  $\text{CO}$  + ...  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  donnent ...  $\text{CO}_2$  + ...  $\text{Fe}$
- 4) ...  $\text{C}_8\text{H}_{18}$  + ...  $\text{NO}$  donnent ...  $\text{N}_2$  + ...  $\text{CO}_2$  + ...  $\text{H}_2\text{O}$
- 5) ...  $\text{Al}_2\text{O}_3$  + ...  $\text{Si}$  donnent ...  $\text{Al}$  + ...  $\text{SiO}_2$
- 6) ...  $\text{C}_2\text{H}_6$  + ...  $\text{O}_2$  donnent ...  $\text{CO}_2$  + ...  $\text{H}_2\text{O}$
- 7) ...  $\text{CuO}$  + ...  $\text{H}_2$  donnent ...  $\text{Cu}$  + ...  $\text{H}_2\text{O}$
- 8) ...  $\text{C}_7\text{H}_{16}$  + ...  $\text{O}_2$  donnent ...  $\text{CO}_2$  + ...  $\text{H}_2\text{O}$

### **Exercice de chimie n°2 : Dosage acido-basique**

On dose une solution d'acide chlorhydrique de concentration  $C_a$  par une solution d'hydroxyde de sodium de concentration  $C_b = 0,010 \text{ mol.L}^{-1}$ .

On place un volume  $V_a = 10 \text{ mL}$  de la solution d'acide chlorhydrique dans un bécher, on ajoute de l'eau distillée et on y fait couler, avec une burette graduée, la solution d'hydroxyde de sodium.

- 1) Ecrire l'équation de dosage.
- 2) Définir l'équivalence. En déduire une relation, à l'équivalence, permettant de calculer la concentration  $C_a$  de la solution d'acide chlorhydrique.
- 3) On a déterminé le volume de solution d'hydroxyde de sodium, à l'équivalence :  $V_{b \text{ eq}} = 13,6 \text{ mL}$ . Calculer la concentration de la solution d'acide chlorhydrique  $C_a$ .

### **Exercice de chimie n°3 : Précipité d'hydroxyde de magnésium**

A  $25^\circ\text{C}$ , on modifie le pH d'une solution aqueuse de  $10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$  de chlorure de magnésium, la variation du volume étant négligeable. A partir de  $\text{pH} = 9,5$ , on observe la formation d'un précipité.

- 1) Indiquer l'équation chimique correspondant à la formation de ce précipité.
- 2) Calculer le produit de solubilité de ce précipité.

Donnée : A  $25^\circ\text{C}$ , le produit ionique de l'eau est :  $K_e = 10^{-14}$ .

### **Exercice de chimie n°4 : Piles électrochimiques**

1) Une pile saline est constituée d'une anode en zinc, d'une cathode en  $\text{MnO}_2$  et d'un électrolyte gélifié contenant une solution de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  et/ou  $\text{ZnCl}_2$  en gel.

Elle associe les couples suivants :  $\text{Zn}^{2+} / \text{Zn}$  et  $\text{MnO}_2 / \text{MnO}(\text{OH})$ . Il y a une oxydation du zinc à l'anode et une réduction de l'oxyde de manganèse à la cathode.

Ecrire les équations des réactions qui se produisent aux électrodes quand la pile débite ainsi que l'équation-bilan.

2) Une pile alcaline est constituée d'une anode en zinc, d'une cathode en  $\text{MnO}_2$  et d'un électrolyte constitué d'un gel de  $\text{KOH}$ . Elle associe les couples suivants :  $\text{Zn}^{2+} / \text{Zn}$  et  $\text{MnO}_2 / \text{MnO}(\text{OH})$ .

Expliquer le terme « pile alcaline ».

3) Quelle est la principale différence entre une pile et un accumulateur ?

### **Exercice de chimie n°5 : Élément chimique**

Soit l'élément suivant de la classification périodique :  ${}_{28}^{58}\text{Ni}$

1) Quel est le nom de cet élément ?

2) A quelle famille appartient cet élément ?

3) Donner la structure électronique de cet élément.

4) Quel est le nombre de protons, de neutrons, d'électrons constituant cet élément ?

5) Quelle est la charge de l'ion de cet élément ?

## **PHYSIQUE**

### **Exercice de physique n°1 : Optique**

**Les deux questions sont indépendantes.**

1) Énoncer les 2 lois de la réflexion de Snell-Descartes et les 2 lois et de la réfraction de Snell-Descartes.

2) Un objet lumineux  $\overrightarrow{AB}$  est placé à 3,0 cm devant une lentille convergente mince de distance focale  $f = 5,0$  cm, perpendiculairement à son axe principal et tel que le point A est sur cet axe.

2) a) Construire l'image  $\overrightarrow{A'B'}$  de  $\overrightarrow{AB}$  sur un schéma réalisé en vraie grandeur.

2) b) Quelle est la distance de l'image à la lentille ?

2) c) Cette image peut-elle être formée sur un écran ? Justifier votre réponse.

2) d) Utiliser la relation de conjugaison de Descartes pour calculer la distance de l'image à la lentille.

2) e) Le résultat obtenu est-il en accord avec celui de la question précédente ?

2) f) Calculer le grandissement  $\gamma$ .

### **Exercice de physique n°2 : Thermodynamique**

Un gaz parfait diatomique ( $\gamma = 1,4$ ) décrit de façon réversible, sans changer d'état, un cycle de Carnot récepteur selon les caractéristiques suivantes (les valeurs numériques non données seront à calculer au 3) :  
 $n = 0,01$  mole.

Etat 1 $P_1 = 1000 \text{ hPa}$	Etat 2 $P_2 = 1,600.10^5 \text{ Pa}$	Etat 3 $P_3 = 0,920.10^5 \text{ Pa}$	Etat 4 $P_4 = 575 \text{ hPa}$
$V_1 = 0,24 \text{ L}$	$V_2 = ?$	$V_3 = 0,22 \text{ L}$	$V_4 = ?$
$T_1 = ?$	$T_2 = ?$	$T_3 = ?$	$T_4 = ?$

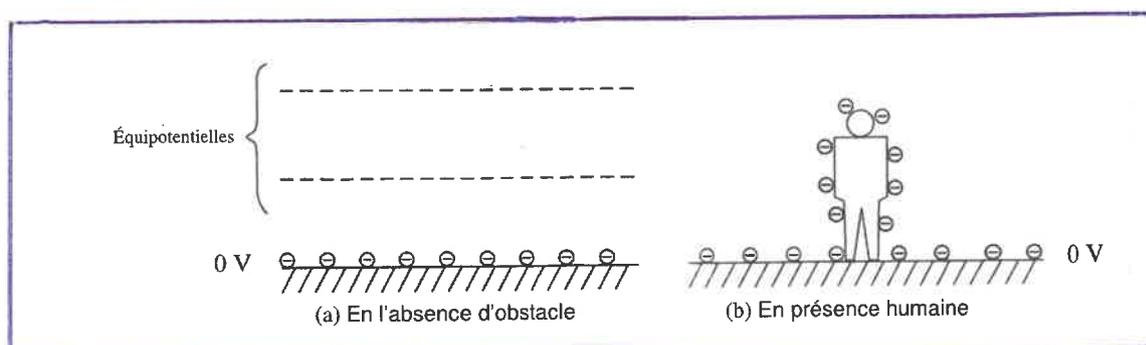
Transformations	1→2 : isotherme	2→3 : adiabatique	3→4 : isotherme	4→1 : adiabatique
-----------------	-----------------	-------------------	-----------------	-------------------

- 1) Donner une définition du gaz parfait (macroscopique ou microscopique).
- 2) Rappeler l'équation d'état des gaz parfaits en introduisant la constante des gaz parfaits :  $R = 8,3142 \text{ J.mole}^{-1}.\text{K}^{-1}$ . Indiquer les significations des différentes grandeurs avec leurs unités.
- 3) Calculer les valeurs des températures  $T_1$  et  $T_2$  et la valeur du volume  $V_2$ . On rappelle qu'il faut simplement poser les calculs sans les faire.
- 4) a) Montrer que le travail  $W$  mis en jeu pour la transformation 1→2 a pour expression :
 
$$W_{12} = - nRT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$
- 4) b) Ecrire les expressions littérales de l'énergie thermique  $Q$ , ou chaleur, mise en jeu pour les transformations 1→2 et 2→3.

### Exercice de physique n°3 : Electrostatique

On considère que la Terre et son atmosphère constituent les deux armatures d'un condensateur sphérique. L'armature terrestre est chargée négativement, l'atmosphère positivement. Au voisinage du sol, le champ électrique créé est de l'ordre de  $10^2 \text{ V.m}^{-1}$ .

- 1) On suppose conventionnellement que le sol est de potentiel nul. Reproduire la figure 1a sur votre copie et attribuer à chacune des équipotentielles sa valeur en volts, sachant qu'elles sont séparées d'un mètre. Représenter quelques lignes de champ électrique.



**Figure 1 – Déformation des surfaces équipotentielles**

- 2) Reproduire la figure 1b sur votre copie et représenter les mêmes équipotentielles que celles de la figure 1a, en tenant compte de la présence d'un homme. Représenter quelques lignes de champ électrique au voisinage de l'homme.

3) L'observation de ces lignes de champ permet-elle de déterminer les zones de faible ou de fort champ électrique ? Justifier votre réponse. Indiquer alors les zones de fort champ électrique.

4) On considère une charge ponctuelle  $q$ , placée en un point  $P$  et une charge ponctuelle  $q_0$  placée en  $M$ .

On pose  $\vec{r} = \overrightarrow{PM}$  et  $\|\vec{r}\| = r$  ( $r$  désigne donc une norme).

Donner l'expression vectorielle de la force subie par  $M$  en fonction de  $q$ ,  $q_0$ ,  $\overrightarrow{r_{PM}}$ ,  $r$  et  $\epsilon_0$  (loi de Coulomb).

5) Rappeler la définition du champ électrostatique  $\vec{E}$  et en déduire l'expression, issue de la loi de Coulomb, du champ créé par la charge ponctuelle  $q$  au point  $M$ .

#### **Exercice de physique n°4 : Mécanique**

Le dimanche 14 octobre 2012, Félix Baumgartner est entré dans l'histoire en s'élançant de la stratosphère à plus de 39 000 m d'altitude. Félix Baumgartner a sauté depuis la nacelle d'un ballon avec une vitesse initiale nulle. Au cours de la première phase de sa chute qui a duré quatre minutes et vingt secondes, il a atteint une vitesse de pointe de 1342 km.h<sup>-1</sup> ! Dans une seconde phase, il a ouvert son parachute. Au total, son saut depuis la stratosphère a duré neuf minutes et trois secondes.

On note :

- $m$  : Masse de Félix Baumgartner et de son équipement
- $G$  : constante de gravitation universelle
- $M_T$  : masse de la Terre :
- $R_T$  : rayon de la Terre

1) Donner, en fonction de  $G$ ,  $R_T$ ,  $H$ ,  $m$  et  $M_T$ , l'expression de la force d'attraction gravitationnelle exercée par la Terre sur Félix Baumgartner lorsqu'il s'élanche dans le vide à l'altitude  $H$ .

2) En assimilant le poids  $P$  à cette force d'attraction, déduire l'expression de l'intensité de la pesanteur  $g$ .

3) L'intensité de la pesanteur  $g$  reste-t-elle constante au cours de la chute ? Justifier votre réponse.

4) Lors de la première phase de la chute, on néglige l'action des frottements de l'air sur Félix Baumgartner. L'énergie mécanique se conserve-t-elle ? Justifier votre réponse en identifiant les formes d'énergie mises en jeu et leurs variations.

#### **Exercice de physique n°5 : Dualité onde-particule**

L'expérience de Compton consiste à envoyer un faisceau de rayons X sur une mince feuille de graphite.

1) Quelle est la nature des rayons X ? Comparer leurs longueurs d'onde à celles de la lumière visible.

2) On constate que des rayons X sont diffusés dans toutes les directions et que des électrons sont chassés de la cible. Les mesures montrent que les rayons X diffusés n'ont pas la même longueur d'onde que les rayons X incidents.

L'expérience est alors interprétée comme une collision entre deux particules avec conservation de l'énergie et de la quantité de mouvement du système qu'elles constituent.

Quelles sont les particules mises en jeu ?

3) Rappeler la relation de Louis de Broglie, liant la longueur d'onde de la radiation incidente et la quantité de mouvement d'une particule matérielle.

4) En quoi l'expérience constitue-t-elle une vérification de l'hypothèse d'Einstein sur la nature des rayons X ?

## Sujet de sciences de la vie

### LE BRUIT ET SES CONSEQUENCES SANITAIRES

Le **sujet** comprend 4 pages avec 33 questions et **1 annexe\*** à rendre avec la copie.

Il porte sur un **dossier documentaire** de 27 documents présentés sur 9 pages.

*Merci de bien vouloir vérifier que vous avez l'intégralité du sujet avant de composer et le cas échéant de vous adresser aux surveillants de salle pour l'obtenir.*

*Nous vous invitons à bien lire l'intégralité du sujet et du dossier avant de commencer à répondre aux questions.*

➤ **PARTIE 1 : DEFINITION DU BRUIT**

➤ **PARTIE 2 : LES EFFETS SANITAIRES DU BRUIT SUR L'AUDITION**

➤ **PARTIE 3 : LES EFFETS SANITAIRES EXTRA-AUDITIFS DU BRUIT**

## ➤ PARTIE 1 : DEFINITION DU BRUIT (documents 1 à 7)

- Q1 - Définir les 6 termes soulignés dans le document 1.
- Q2 - Indiquer le rôle respectif des organismes « EEA » et « OMS » évoqués dans le document 1.
- Q3 - Proposer une définition du bruit.
- Q4 - Montrer en quoi le bruit est un enjeu de santé publique.
- Q5 - Identifier les fonctions de l'organisme altérées par le bruit.
- Q6 - Préciser s'il existe chez l'Homme des facteurs aggravants.
- Q7 - Proposer 3 éléments de prévention des nuisances dues au bruit.
- Q8 - Identifier les éléments qui permettent de dire si l'évaluation du bruit se fait de manière objective ou subjective.
- Q9 - Citer les conséquences d'une exposition sonore anormalement élevée.
- Q10 - Justifier le mode de transport qui vous semble le plus nuisible d'un point de vue sonore.

## ➤ PARTIE 2 : LES EFFETS SANITAIRES DU BRUIT SUR L'AUDITION (documents 8 à 20)

- Q11\* - A l'aide du document 8, dont le schéma est reproduit en **annexe à rendre avec la copie\***, compléter les 8 légendes et les 3 zones délimitées par des barres rouges à l'aide des 11 termes suivants : *nerf auditif / cochlée / pavillon / tympan / oreille interne / oreille moyenne / oreille externe / marteau / enclume / étrier / conduit auditif.*
- Q12 - A l'aide des 2 textes du document 9, réaliser un schéma bilan, sous forme d'organigramme, de la transmission du message nerveux dans l'oreille.
- Pour pouvoir suivre l'évolution de l'audition d'un individu on réalise différents audiogrammes au cours de sa vie.
- Q13 - Analyser la courbe donnée dans le document 10.
- Q14 - Définir les 6 termes soulignés dans le document 11.
- Q15 - Citer les dégâts majeurs liés à une exposition sonore forte et répétée.
- Q16 - Analyser les courbes du document 12 et proposer une conclusion à cette étude.
- Q17 - Identifier les structures de l'oreille qui peuvent être endommagées par le bruit et entraîner une surdité.
- Q18 - Donner deux exemples, pris dans le monde professionnel, de causes responsables de traumatismes acoustiques.
- Q19 - Analyser la courbe du document 14. Puis, en déduire les causes de la gêne occasionnée.
- Q20 - Citer les professions les plus à risque et donner les recommandations pour ces professions à risque.

Q21 - Définir et donner le rôle de l'INRS.

Q22 - Proposer une conduite à tenir dans le cas d'un choc acoustique en centre d'appel :

- les mesures à prendre dans l'immédiat,
- les mesures de prévention et précautions à prendre pour que cela ne se reproduise plus.

Q23 - A l'aide du document 17, analyser les effets d'une exposition au bruit d'1 heure à 95 dB.

Q24 - Indiquer le type de microscopie utilisée pour obtenir les clichés des cellules ciliées du document 18.

Q25 - Décrire les deux types d'organisation de cellules ciliées.

Q26 - Définir les 5 termes soulignés dans le document 20.

Q27 - Représenter schématiquement les 5 phases du fonctionnement de l'organe de Corti.

➤ **PARTIE 3 : LES EFFETS SANITAIRES EXTRA-AUDITIFS DU BRUIT (documents 21 à 27)**

Q28 - A partir des documents 21, 22 et 23, réaliser un schéma bilan pour résumer les effets sanitaires extra-auditifs du bruit.

Q29 - Montrer en quoi le bruit favorise les accidents liés au travail.

Q30 - Identifier l'effet du bruit sur la qualité du sommeil nocturne.

Q31 - Analyser le document 25. En déduire la dose critique à ne pas dépasser afin de préserver son système cardio-vasculaire.

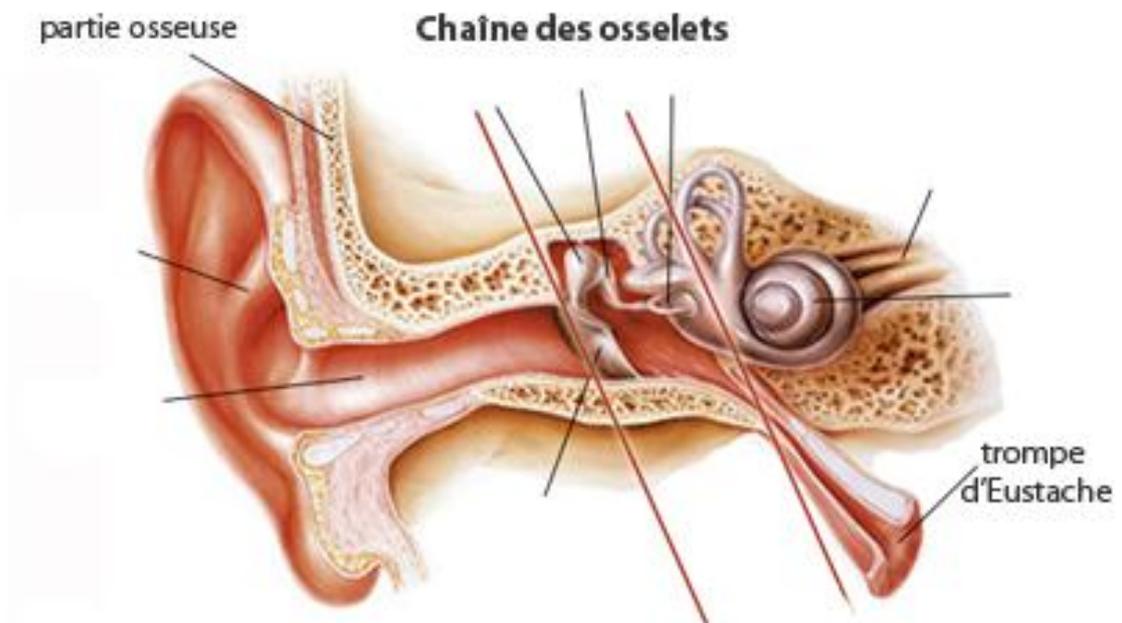
Q32 - Etablir une carte mentale (récapitulatif visuel) des différents effets de l'impact du bruit sur la santé.

Q33 - A l'aide d'un exemple concret, présenter les mesures à mettre en place dans le cadre d'une politique de prévention du bruit en milieu du travail.

ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE

ANNEXE 1 : Q11\*

Extrait du doc 6 : Schéma de l'oreille



# Dossier Documentaire

Comportant 27 documents sur 9 pages.

## ➤ PARTIE 1 : DÉFINITION DU BRUIT

### Doc 1 : La prise en compte de la pollution due au bruit

Un Européen sur cinq est victime de pollution sonore, une nuisance qui met la santé en danger, a prévenu l'Agence européenne de l'environnement (EEA), qui déplore l'incapacité de l'UE à respecter ses engagements sur ce sujet.

Les nuisances sonores, notamment la nuit, affectent la santé publique, le bruit pouvant troubler le sommeil, le métabolisme, les capacités cognitives et cardio-vasculaires des individus. Selon les chiffres mis en avant par l'agence européenne, quelques 113 millions de personnes souffrent de nuisances sonores liées à la circulation routière.

"L'objectif fixé pour 2020 de réduire la pollution sonore (...) ne sera pas atteint. (Elle) devrait augmenter en raison de la croissance urbaine future et de la demande accrue de mobilité", a relevé l'EEA dans un communiqué.

Le 10 octobre dernier, la direction régionale de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) pour l'Europe a publié de nouvelles lignes directrices sur le bruit dans l'environnement ; elles établissent clairement que le bruit est l'un des risques environnementaux majeurs pour la santé physique et mentale et le bien-être dans la Région européenne ». Cette nouvelle version du rapport de l'OMS Europe sur le bruit contient cinq nouveautés principales : des preuves des effets du bruit ambiant sur l'appareil cardiovasculaire et le métabolisme ; l'inclusion de nouvelles sources de bruit (éoliennes, loisirs), en plus du bruit dû aux trafics aérien, ferroviaire et routier ; le recours à une méthode normalisée pour évaluer les bases factuelles ; une analyse systématique des données scientifiques, définissant le lien entre l'exposition au bruit et le risque d'effets nocifs pour la santé ; ainsi que l'emploi d'indicateurs à long terme de l'exposition moyenne au bruit, afin de mieux prévoir les effets nocifs pour la santé.

### Doc 2 : Les risques sanitaires dus au bruit

Les risques sanitaires dus au bruit sont fonction du niveau sonore bien entendu, mais aussi de la durée d'écoute/d'exposition, et de la sensibilité de la personne (fatigue, malade). Il est à noter que la prise d'alcool, de drogue, de médicaments déforment la perception auditive et atténuent la sensation de douleur.

Le niveau sonore et la durée d'exposition déterminent ensemble une quantité d'énergie acoustique absorbée par l'oreille, et c'est cette quantité d'énergie qui permet de déterminer la dangerosité d'une exposition sonore.

### Doc 3 : Les facteurs individuels de la gêne due au bruit

Facteurs sociodémographiques	Facteurs d'attitude
Sexe, âge, niveau de formation, statut d'occupation du logement (propriétaire/locataire), dépendance professionnelle vis-à-vis de la source de bruit, usage de la source, histoire personnelle (parcours résidentiel), etc.	Sensibilité au bruit, représentation de la source (peur, utilité), capacité à surmonter le bruit, confiance dans l'action des pouvoirs publics, satisfaction par rapport au cadre de vie, activité en cours, etc.

### Doc 4 : Dose journalière d'exposition au bruit

#### Durée d'exposition journalière sans séquelles en fonction du niveau sonore

Source : Vademecum du bruit routier urbain, La relation bruit-santé, 2002

120 dB(A)	110 dB(A)	100 dB(A)	90 dB(A)	85 dB(A)
12 sec	2 mn	20 mn	3 heures	8 heures

On considère que le niveau d'intensité maximum sans danger pour une durée d'écoute de 8 heures est de 85 dB(A). Au-dessus de 85 dB(A), il y a des risques sanitaires.

### Doc 5 : Les caractéristiques du bruit et le champ auditif humain

Tout phénomène acoustique se caractérise par son intensité (en décibels - dB), sa répartition fréquentielle aussi appelée spectre (caractérisé par un ensemble de fréquences exprimées en hertz, Hz), ainsi que sa distribution temporelle et sa durée.

Le champ auditif humain s'étend approximativement de 20 à 20 000 Hz et de 0 dB à 120 dB (cf. figure 1). Dans la gamme des niveaux sonores de la vie courante (30 à 80 dB), l'oreille est moins sensible aux sons graves et aigus qu'aux sons médiums (500-2000 Hz) qui correspondent aux fréquences conversationnelles. Pour tenir compte de cette sensibilité différente de l'oreille selon les fréquences, une unité physiologique de mesure du niveau sonore a été créée : le décibel A ou dB(A) qui intègre une pondération des niveaux de bruit par bandes de fréquence (cf. figure 2). Dans les niveaux les plus élevés (> 80 dB), à l'inverse, l'oreille est davantage sensible aux sons graves. Des courbes de pondération spécifiques (filtre C) peuvent être utilisées.

Il existe en outre une grande variabilité interindividuelle quant à la perception du bruit.

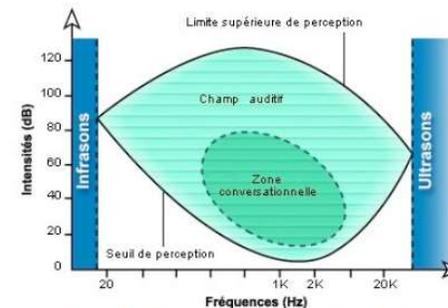
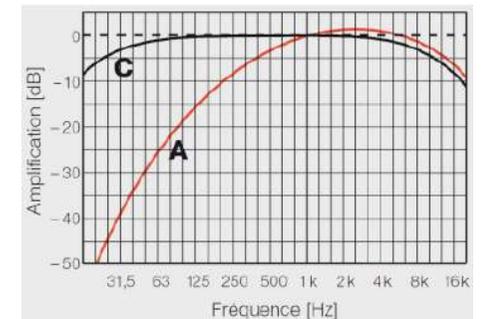


Figure 1 : Champ auditif humain (crédits : P. Minary)



## Doc 6 : Principales valeurs guides concernant les effets sanitaires du bruit

Effets sanitaires	Valeurs guide relatives aux effets sanitaires		
	Seuils retenus	Effets mesurés	Références
Santé en général	Lden, bruit routier = 53 dB(A) en extérieur (bruit incident) Lden, bruit ferroviaire = 54 dB(A) en extérieur (bruit incident) Lden, bruit aérien = 45 dB(A) en extérieur (bruit incident) Lden, bruit des éoliennes = 45 dB(A) en extérieur (bruit incident)	Santé en général	OMS 2018
Perturbations du sommeil	Ln, bruit routier = 45 dB(A) en extérieur (bruit incident) Ln, bruit ferroviaire = 44 dB(A) en extérieur (bruit incident) Ln, bruit aérien = 40 dB(A) en extérieur (bruit incident)	Perturbation du sommeil (autodéclaration)	OMS 2018
	LAmix = 35 dB(A) de nuit en intérieur	Modification de la structure du sommeil Activation de l'électro-encéphalogramme («arousal»)	OMS 2009
	LAmix = 42 dB(A) de nuit en intérieur	Eveil durant la nuit	OMS 2009
Gêne	Lden, bruit routier= 53 dB(A) en extérieur (bruit incident) Lden, bruit ferroviaire = 54 dB(A) en extérieur (bruit incident) Lden, bruit aérien = 45 dB(A) en extérieur (bruit incident) Lden, bruit des éoliennes = 45 dB(A) en extérieur (bruit incident)	Gêne exprimée	OMS 2018
	LAmix = 65 dB(A) en extérieur (bruit incident)	Gêne exprimée	Martin, Tarrero et al. 2006 <sup>21</sup>
Effets sur le système cardiovasculaire	Lden, bruit routier = 59 dB(A) en extérieur (bruit incident)	Cardiopathies ischémiques	OMS 2018
Diminution des performances scolaires	Lden, bruit aérien= 55 dB(A) en extérieur (bruit incident)	Diminution des performances cognitives et de la compréhension orale	OMS 2018
	Bruit de fond durant la classe (intérieur) = 35 dB(A)	Perturbation de l'intelligibilité de la parole	Ziegler J.C. et al. 2005 <sup>22</sup>
	LAmix = 50 dB(A) de jour en intérieur	Intelligibilité de la parole à 1 m	Afnor NF S31047
Effets sur l'audition	LAeq 24h = 70 dB(A) évalué en moyenne annuelle selon le principe d'égalité d'énergie (en intérieur comme en extérieur)	Risques auditifs	OMS 2018
	LAeq 1h = 85 dB(A) pour écoute de musique au casque ou dans lieux publics		
	Moins de 5 événements festifs par an avec LAeq 4h = 100 dB(A)		
	LAFmax = 110 dB(A) pour bruit industriel Lpeak,lin = 140 dB (adultes) Lpeak,lin = 120 dB (enfants)		

L'OMS a proposé en 2011 une méthodologie<sup>23</sup> pour estimer la morbidité liée au bruit de l'environnement. Celle-ci repose sur l'utilisation de l'indicateur synthétique des **années de vie en bonne santé perdues** (DALY en anglais pour « disability adjusted life years ») du fait de l'incapacité ou de la mortalité prématurée. Selon cette méthodologie, plus d'un million d'années de vie en bonne santé seraient perdues chaque année en Europe sous l'effet du bruit causé par les infrastructures de transport, principalement en raison des troubles du sommeil (903 000 DALY) et de la gêne (587 000 DALY). Le bruit des transports y

## Doc 7 : Gènes et problèmes de santé déclarés liés au bruit

La gêne liée au bruit n'est pas sans conséquence sur la santé, le comportement ou l'humeur des français. En effet, 28 % d'entre eux ont déjà été gênés par le bruit au point de se sentir très irritable (dont 12 % souvent), 26 % au point de ne pas trouver le sommeil ou de ne pas se rendormir (dont 8 % souvent), 26 % au point de ne pas pouvoir se concentrer sur leurs activités (dont 8 % souvent), 25 % au point d'être très fatigué (dont 10 % souvent) et 14 % au point de sortir de chez eux (Sofres 2010). Le fait de devoir suspendre sa conversation à cause du bruit est également une expérience vécue par 22 % des français (dont 7 % souvent) (Sofres 2010).

Enfin, conséquence plus rare mais relativement radicale, 15 % des français ont déjà été gênés par le bruit au point d'envisager de déménager (20 % dans l'agglomération parisienne) (Sofres 2010).

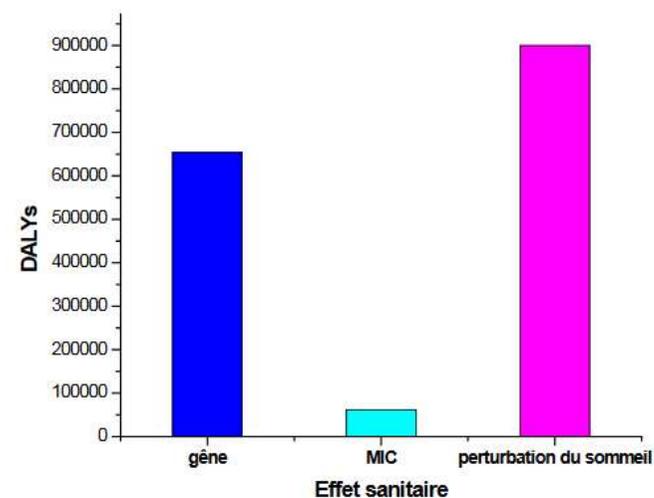
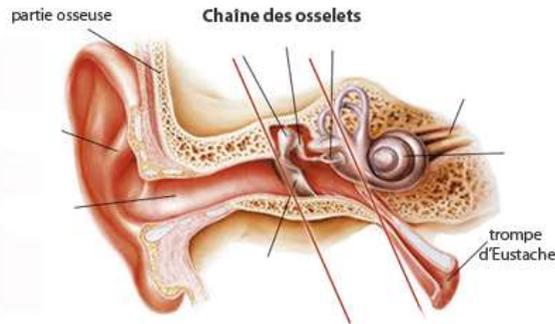


Figure 11 : Pertes d'années de vie en bonne santé (DALYs) pour les effets sanitaires suivants liés au bruit : gêne, maladies ischémiques du cœur (MIC) et perturbation du sommeil (source : OMS 2011)

➤ **PARTIE 2 : LES EFFETS SANITAIRES DU BRUIT SUR L'AUDITION**

**Doc 8 : Schéma de l'oreille**



L'oreille est composée de 3 parties distinctes :

- l'oreille externe (le pavillon) qui capte, concentre et amplifie les ondes sonores, le conduit auditif et le tympan qui renforce la résonance de certaines fréquences ;
- l'oreille moyenne, cavité osseuse remplie d'air, qui contient une chaîne de trois osselets (marteau, enclume et étrier) ; elle assure la transmission et l'amplification des vibrations sonores du tympan à la fenêtre ovale. L'aération de l'oreille interne se fait via la trompe d'Eustache et le nez ;
- l'oreille interne constituée de la cochlée et du vestibule qui assurent les fonctions d'audition proprement dite et de centre de l'équilibre spatial du corps.

**Doc 9 : Le fonctionnement de l'oreille**

Les ondes sonores parviennent sur le tympan, membrane qui rentre en résonance et transfère les vibrations à l'oreille moyenne.

Les vibrations de la fenêtre ovale sont transmises au liquide qui remplit l'oreille interne appelée périlymphe. Les ondes se propagent dans ce liquide à l'intérieur de la cochlée, structure enroulée et contenant en son centre un canal cochléaire. La propagation de l'onde dans la périlymphe exerce une pression sur les deux membranes du cana entre lesquelles sont intercalées des cellules ciliées.

Ces cellules ciliées sont des capteurs sensoriels c'est-à-dire des cellules nerveuses modifiées pour percevoir une modification de l'environnement et émettre un message nerveux.

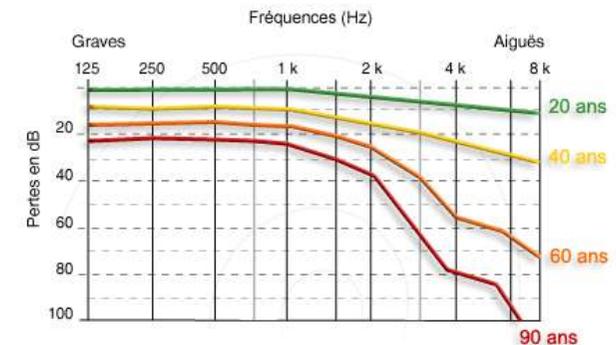
Les parties externe et moyenne interviennent dans la transmission et l'amplification des signaux sonores. La réception se fait dans l'oreille interne au niveau des cellules ciliées (de 30.000 à 40.000 cellules) organisées dans l'organe de Corti et baignant dans le liquide interne renfermé à l'intérieur de la cochlée. De par la disposition des cellules, la cochlée se comporte comme une série de filtres placés côte à côte et réglés sur des fréquences successives. Les cellules ciliées transforment la vibration du liquide dans lequel baignent les cils en une vibration électrique transmise au cerveau via le nerf auditif (composé des prolongements cellulaires).

Les informations codées sont traduites en sensations nerveuses dans la zone du cerveau appelée cortex. Par cet ensemble de mécanismes, l'oreille identifie et analyse les sons avec précision et finesse. La sensibilité n'est pas identique pour toutes les intensités sonores. La zone la plus sensible correspond à la gamme de fréquence de la voix (située entre 800 et 4.000 hertz).

La perception du bruit ambiant étant essentiel à notre survie (et ce, depuis les débuts de l'humanité et encore aujourd'hui : c'est un signal d'alarme), l'oreille n'a pas évolué. On perçoit toujours le bruit, pas besoin de se concentrer, ni d'y prêter attention. L'oreille est en alerte constante, même la nuit, elle ne « dort » jamais.

**Doc 10 : Audiogramme tonal enregistré chez le sujet « normo-entendant » : évolution au cours de la vie**

Chaque courbe représente la moyenne de la perte auditive en fonction de l'âge

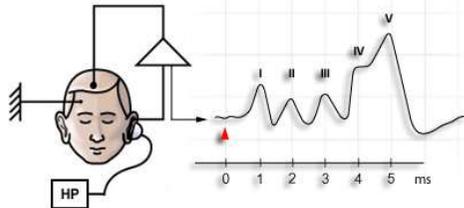


Doc 11 : Les potentiels auditifs

Les potentiels auditifs reflètent l'activité électrique des diverses structures nerveuses impliquées dans le codage des sons. Il existe différentes méthodes d'étude basées sur l'enregistrement des potentiels cochléaires ou ceux de la voie auditive centrale.

- **Enregistrement au niveau de la fenêtre ronde du potentiel cochléaire composite.**  
 Cette technique, applicable chez l'homme, est aussi appelée électrocochléogramme.

- **Enregistrement à distance des potentiels évoqués du tronc cérébral**



L'électrode placée à distance (sur le crâne) permet d'enregistrer 5 ondes majeures (I à V) : la première (I), avec une latence d' 1 ms, reflète toujours le potentiel du nerf auditif ; les autres, celles des noyaux relais du tronc cérébral.

Ces potentiels sont de faible amplitude (<  $\mu\text{V}$ ) et nécessitent un moyennage important (1000 à 2000 répétitions) pour être extraits du bruit de fond. Au delà de ces potentiels précoces, la même électrode permet d'enregistrer des potentiels tardifs provenant de l'activité du thalamo-cortex.

- **Oto-émissions acoustiques.**

Cette méthode objective permet d'évaluer le mécanisme actif (donc le bon fonctionnement) des cellules ciliées externes : c'est un test simple et rapide d'une des fonctions les plus fragiles de notre cochlée

Les incidences du son sur l'oreille peuvent se manifester à plusieurs niveaux . La surdité peut être provoquée soit par une atteinte à la chaîne d'osselets ou au tympan, soit par la destruction des cellules ciliées.

Le tympan et les osselets ont pour rôle d'amplifier le son et de protéger le dispositif perfectionné et très fragile de lecture des ondes sonores que sont les cellules ciliées. De ce fait, les atteintes au tympan et aux osselets vont surtout influencer l'amplification (que l'on peut corriger par des appareils auditifs). Par contre, les atteintes aux cellules ciliées sont beaucoup plus graves car ces dernières ne se régénèrent pas. Le système très fragile de lecture est alors irrémédiablement endommagé.

**ATTEINTE AU TYMPAN ET AUX OSSELETS**

Les ouvriers d'une carrière qui détachent des blocs de roche par des tirs d'explosifs doivent porter un casque de protection auditive. En effet, des bruits de niveau sonore très élevé (> 120 dB) peuvent provoquer des ruptures de tympan ou des luxations des osselets. Les lésions à ce niveau peuvent être irréversibles et compensées par le port d'une prothèse auditive.

**ATTEINTE AUX CELLULES CILIÉES**

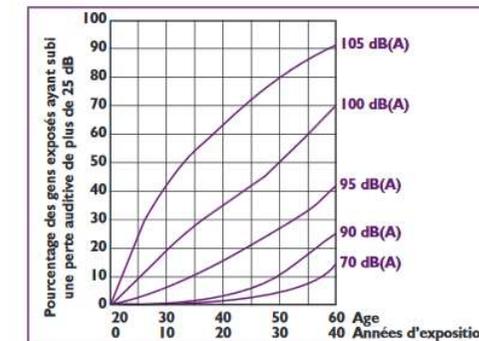
Les musiciens n'ayant jamais porté de bouchons auriculaires peuvent avoir à la fin de leur carrière **DES PROBLÈMES D'AUDITION**. En fait, l'exposition prolongée à des niveaux sonores intenses détruit peu à peu les cellules ciliées de l'oreille et conduit à une surdité irréversible.

Les cellules ciliées qui présentent une sensibilité aux sons aigus sont les premières à être atteintes. De plus, la perte d'audition étant le plus souvent graduelle, la prise de conscience intervient bien après l'apparition des séquelles, lorsque la surdité devient une gêne.

L'exposition répétée à des sons de niveau supérieur à 80 dB(A) induit des lésions aux cellules ciliées pouvant devenir irréversibles. Les cellules endommagées perdent en sensibilité et les sons ne sont plus distingués : aigus et graves se mélangent. Pour les malentendants, les sons et la parole deviennent inintelligibles, faute d'une sélectivité suffisante. Ce type de surdité est irréversible car les cellules ciliées, au nombre de 15.000 à la naissance, ne se régénèrent pas.

Les bruits impulsifs détruisent une parties des cellules ciliées mais peuvent également déchirer le tympan ou provoquer la luxation des osselets.

Dans le cas où l'oreille moyenne ou interne est endommagée, un traitement chirurgical permet la reconstruction du tympan ou la formation d'une prothèse d'osselets. Toutefois, les nuisances sonores ont généralement des effets sur l'oreille interne, difficilement accessible à la chirurgie.



Source: ISO 1999:1990

Certains métiers sont plus à risque que d'autres. Le paramètre critique pour les travailleurs est l'indice  $L_{Aeq,8h}$ . Pour des doses journalières de  $L_{Aeq,8h}$  inférieures à 75 dB(A), aucun risque de surdité n'est à craindre d'après la norme ISO 1999:1990.

Le tableau ci-contre présente le pourcentage de gens, exposés journalièrement à leur lieu de travail, ayant subi une perte auditive de plus de 25 dB, pour des niveaux sonores et des années d'exposition variables.

### Doc 13 : Les effets du bruit sur l'audition

Un bruit excessif peut provoquer deux types d'effet sur l'audition. Il diminue la capacité d'entendre le signal (effet énergétique) ou en gêne la compréhension (effets informationnels), par un masquage ou un parasitage.

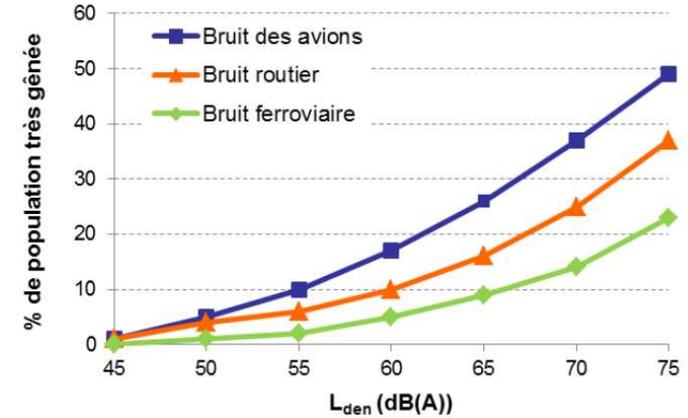
Les effets énergétiques résultent de la présence d'une quantité excessive d'énergie sonore au niveau de la cochlée. Ils entraînent une diminution de l'audition de façon temporaire (adaptation auditive ou fatigue auditive) ou permanente (traumatisme acoustique). L'adaptation auditive correspond à une diminution temporaire et transitoire de la sensibilité de l'oreille pendant la durée d'un bruit. Lorsque cette diminution de la sensibilité auditive persiste au-delà de la durée du bruit, on est confronté à une fatigue auditive. Ce phénomène peut perdurer pendant plusieurs jours et lors de bruits excessifs se transformer en déficit auditif permanent.

Les traumatismes acoustiques correspondent à une diminution définitive de la sensibilité auditive suite à un bruit excessif. Dans le cas d'une exposition de durée très brève à un bruit intense, il y a un traumatisme sonore aigu. Par contre, lors de l'exposition prolongée à des bruits élevés et continus, on assiste à une détérioration lente de l'ouïe (destruction des cellules ciliées de l'organe de Corti). La détérioration de l'ouïe ne cesse pas si la source de bruit est supprimée. Elle présente 4 stades successifs d'évolution :

- période d'adaptation (acouphène ou bourdonnements aigus et sensation de boules de coton, ce stade est réversible) ;
- période de latence (perte d'audition irréversible autour de la fréquence de 4.000 Hz) ;
- période d'état (gêne à l'audition de la voix humaine, la perte d'audition s'étend aux fréquences de 2.000 à 8.000 Hz) ;
- période d'aggravation (surdité importante avec des conséquences familiales, professionnelles et sociales).

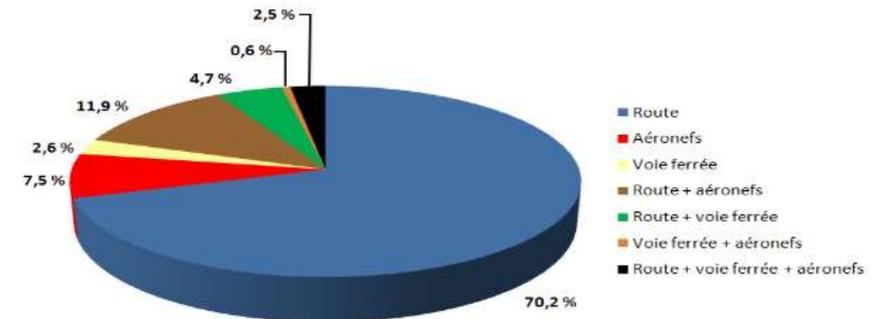
Il apparaît que pour un niveau d'exposition inférieur à 85 dB(A), aucun seuil auditif ne varie pendant les premières minutes d'exposition tandis que les niveaux légèrement supérieurs ou égaux à 85 dB(A) provoquent une fatigue auditive à court terme. Cette fatigue disparaît rapidement. Par contre, des niveaux plus élevés, une exposition prolongée, répétée fréquemment ou à des niveaux intenses peuvent provoquer des lésions de l'oreille interne et une surdité définitive.

### Doc 14 : Pourcentage de la population très gênée selon les niveaux d'exposition de bruit ( $L_{den}$ ) occasionnés par le trafic aérien, routier et ferroviaire



Source : commission européenne 2002, « Position paper on dose response relationship between transportation, noise and annoyance »

### Doc 15 : Origine des bruits de transports perçus



Base : 1 189 individus percevant du bruit dû aux transports

Source : (INRETS 2009).

## Doc 16 : Les différents types de surdité

L'exposition prolongée à des niveaux de bruits intenses détruit peu à peu les cellules ciliées de l'oreille interne. Elle conduit progressivement à une surdité irréversible. L'exposition à certains solvants, dits ototoxiques, peut amplifier ce phénomène. Aujourd'hui, on ne sait pas soigner la surdité. L'appareillage par des prothèses électroniques se contente d'amplifier l'acuité résiduelle, il ne restitue pas la fonction auditive dans son ensemble. Son efficacité reste donc limitée.

Stades de la surdité		
1 <sup>er</sup> stade	<b>surdité légère</b>	Le sujet ne se rend pas compte de sa perte auditive car les fréquences de la parole sont peu touchées.
2 <sup>�me</sup> stade	<b>surdité moyenne</b>	Les fréquences aigu�es de la conversation sont touchées, le sujet devient "dur d'oreille" et ne comprend plus distinctement ce qui se dit.
3 <sup>�me</sup> stade	<b>surdité profonde et irréversible</b>	Le sujet n'entend plus, ou très peu, ce qui se dit.*

\* Il existe d'autres surdités dont les causes sont sans rapport avec ce type d'exposition et qui peuvent, dans certains cas, être opérées ou corrigées.

La surdité peut être reconnue comme une maladie professionnelle selon des critères médicaux, professionnels et administratifs bien précis, qui sont stipulés dans le tableau n 42 des maladies professionnelles du régime général et le tableau n 46 du régime agricole. Le tableau n 42 a été modifié plusieurs fois, notamment en 1981 et en 2003, quand les conditions de reconnaissance ont été élargies. Si bien que le nombre de surdités reconnues s'est accru brutalement dans les années qui ont suivi.

**Un bruit soudain très intense**, par exemple lors d'une explosion, peut entraîner une surdité brutale, totale ou partielle. L'effet de souffle peut en effet entraîner une déchirure du tympan, mais aussi des lésions des cellules de la cochlée : c'est le traumatisme sonore aigu. Seule la surveillance de l'audition par le médecin du travail permet de détecter la sensibilité d'une personne au bruit et de faire les bilans des pertes auditives.

**Les chocs acoustiques** sont des  v nements électro-acoustiques rares et imprévisibles conduisant à des niveaux de bruit intenses (souvent courts) reçus dans les casques utilisés notamment par les opérateurs dans les centres d'appels téléphoniques. Ces dysfonctionnements proviennent généralement de mauvaises isolations (perturbations électromagnétiques / boucles de courant). Conduisant parfois à des traumatismes sonores reconnus comme accident du travail (hyperacousie, décalage temporaire du seuil de l'audition), ils sont insupportables pour les salariés. Le risque de choc acoustique concerne les opérateurs travaillant avec des casques téléphoniques.

L'INRS propose une série de mesures (allant de la prise en charge immédiate à la correction et à la prévention) permettant de prévenir le risque auditif et de rétablir des conditions de travail satisfaisantes.

## Doc 17 : Les défenses de l'organisme face à une exposition au bruit

LA DURÉE D'EXPOSITION tolérée quotidiennement par l'oreille, avant que des lésions irréversibles n'apparaissent, est fonction du niveau acoustique.

120 dB(A)	110 dB(A)	100 dB(A)	90 dB(A)	85 dB(A)
				
12 sec	2 min	20 min	3 heures	8 heures

Durée d'exposition journalière sans séquelles en fonction du niveau sonore

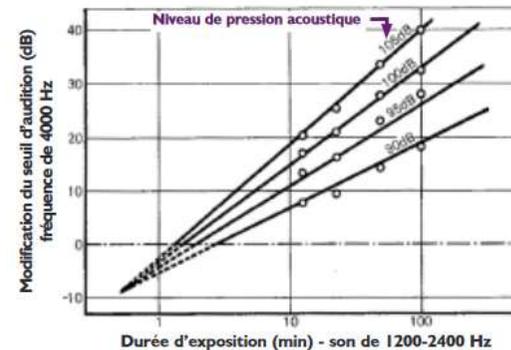
Afin de se faire une idée de la durée d'exposition tolérée quotidiennement, une règle simple consiste à diviser par 10 la durée maximum d'exposition journalière à chaque fois que le niveau acoustique augmente de 10 dB(A).

Après une longue exposition à un son intense, nous mettons un certain temps à percevoir à nouveau les conversations à voix normale. Cette perte d'audition temporaire est due au système de protection naturelle de l'oreille rendu possible grâce à certains muscles.

En se contractant, un muscle fixé sur le marteau et l'étrier rigidifie la chaîne des osselets et atténue de 10 à 20 dB les sons de plus de 80 dB dont les fréquences sont inférieures à 2.000 Hz. Ce muscle intervient en quelque sorte en tant que contrôle automatique du volume.

Un autre muscle étire le tympan vers l'intérieur pour le durcir et l'empêcher de vibrer excessivement lorsque le son est de trop grande amplitude.

Ces muscles agissent rapidement mais pas toujours assez vite que pour éviter les lésions. Ils ne peuvent protéger l'oreille contre des dommages provoqués par des sons de forte amplitude qu'à la condition que le volume sonore augmente de façon progressive.

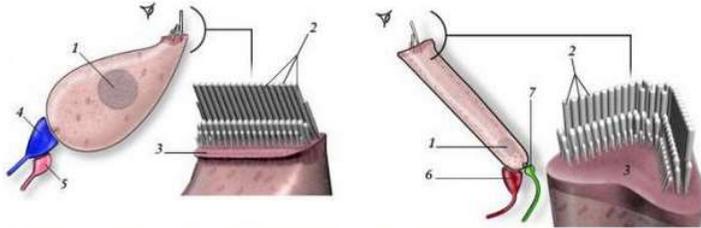


Après une période de récupération dans le calme, on entend à nouveau normalement car les muscles se sont détendus. Cependant, des cellules ciliées sont irr m diatement détruites même si elles n'affectent pas directement notre audition.

Le graphique ci-contre représente la perte temporaire d'audition en fonction de la durée et du niveau d'exposition, ceci juste après l'exposition.

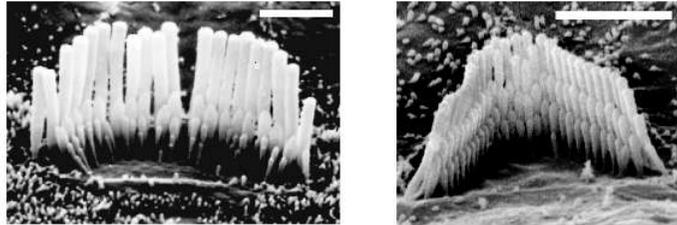
Source: Ward, Glorig & Sklar, 1959

## Doc 18 : Les cellules ciliées



1. Noyau, 2. Stéréocils, 3. Plaque cuticulaire, 4. Nerf auditif (neurone de type I), 5. Efférence latérale, 6. Efférence médiane, 7. Nerf auditif (neurone de type II)

### Organisation des stéréocils



## Doc 19 : Les effets du bruit sur les cellules ciliées

### Comment le bruit détruit-il les cellules ciliées ?

Un bruit excessif provoque une vibration anormale des liquides de l'oreille interne et affecte les minuscules cils des cellules neurosensorielles, les cellules de Corti.

Une contraction violente des myofilaments des cils due à un niveau sonore trop élevé peut provoquer leur froissement sans déchirure ni lésion irréversible. Cela se traduit par des sifflements, une sensation d'écho et d'oreille cotonneuse. L'oreille récupère toute seule après quelques instants de calme. Cela peut arriver après une soirée en discothèque.

Une exposition plus prolongée ou répétée peut engendrer une déchirure des myofilaments. Cela se traduit par des sifflements prolongés (acouphènes), 24 heures sur 24. Ces sifflements intolérables sont surtout perceptibles et gênants la nuit lorsque les bruits environnants ne parviennent plus à les masquer. Une réaction en urgence par le biais de vasodilatateurs, de minéraux (zinc, magnésium), de vitamine D et d'anti-inflammatoires peut favoriser une réparation in extremis des cils et on peut alors avoir la chance de faire disparaître le sifflement.

Au-delà du froissement ou de la déchirure des myofilaments, il peut y avoir arrachement du cil. Il y a perte d'intelligibilité définitive rendant la communication, l'échange avec les autres difficile voire impossible. Cet arrachement est irréversible. Il survient chez 10 à 15% des individus après une seule exposition d'une minute à un niveau sonore de 110 dB(A).

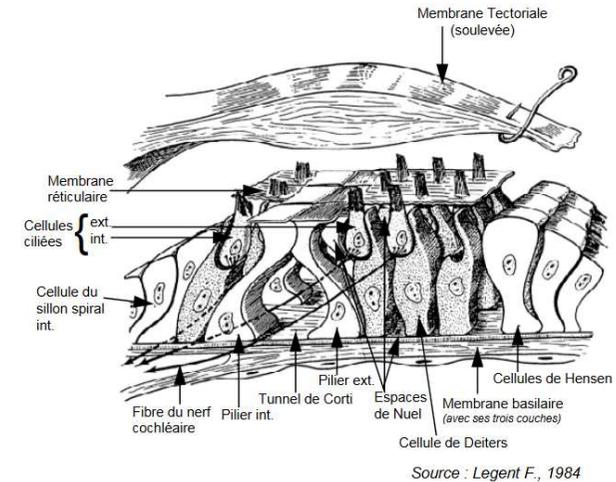
La musique amplifiée écoutée à un niveau sonore excessif met l'oreille en danger en détruisant les cellules ciliées. Une seconde suffit parfois pour provoquer la surdité.

A savoir que plus l'oreille est soumise jeune à des niveaux sonores importants, plus le risque de développer une surdité précoce est important.

De plus, le bruit peut représenter également un danger pour les fœtus. En effet, au cours des 3 derniers mois de grossesse, l'oreille interne du fœtus est particulièrement sensible. Les bruits riches en basses fréquences (inférieures à 250 Hz) traversent facilement les barrières naturelles qui protègent le fœtus (parois abdominales et utérines, placenta et liquide amniotique) et sont donc potentiellement dangereux pour l'ouïe des enfants à naître.

## Doc 20 : L'organe de Corti

L'organe de Corti, ainsi nommé car Alfonso Corti fut l'un des premiers anatomistes à en faire une description détaillée, est l'organe sensori-neuronal de la cochlée. Il est composé des cellules sensorielles ou cellules ciliées, des fibres nerveuses qui leur sont connectées et des structures annexes ou de support.



Source : Legent F., 1984

Le fonctionnement de l'organe de Corti, pour un son de faible intensité (parole par exemple) peut schématiquement se résumer en 5 phases :

- (1) Les vibrations sonores transmises à la périlymphe font onduler la membrane basilaire vers le haut et le bas. La tonotopie passive (onde propagée) mobilise la membrane basilaire de la base (sons aigus) à l'apex (sons graves) de la cochlée.
- (2) Les stéréocils des CCE, implantés dans la membrane tectoriale sont déplacés horizontalement : lorsque la membrane basilaire s'élève, les cils sont basculés vers l'extérieur et la CCE est dépolarisée (entrée des ions  $K^+$ ).
- (3) Les CCE excitées (dépolarisées) se contractent (électromotilité). Du fait du couplage étroit entre CCE, membrane basilaire et lame réticulaire, ce mécanisme actif fournit de l'énergie amplifiant la vibration initiale ; en même temps il joue un rôle de filtre sélectif (tonotopie active).
- (4) La CCI est excitée, probablement par un contact direct avec la bande de Hensen de la membrane tectoriale.
- (5) La synapse entre CCI et fibre du nerf auditif est activée et un message est envoyé au cerveau.

➤ **PARTIE 3 : LES EFFETS SANITAIRES EXTRA-AUDITIFS DU BRUIT**

**Doc 21 : Les effets extra-auditifs du bruit**

Le bruit peut aussi entraîner des effets néfastes pour d'autres fonctions que l'audition. Les effets non traumatiques du bruit se manifestent aux niveaux physiologique et émotionnel.

**Troubles cardiovasculaires**

Selon de nombreuses études, les troubles cardiovasculaires, en particulier l'hypertension, sont plus fréquents chez les travailleurs exposés au bruit. Ils ont tendance à augmenter avec l'ancienneté de ces travailleurs à un poste de travail bruyant. Il semble que ces troubles dépendent également du caractère prévisible ou non du bruit, du type d'activité exercée et d'autres facteurs de stress.

**Troubles du sommeil**

L'exposition au bruit pendant le travail a des conséquences négatives sur la qualité du sommeil. Par exemple, une exposition diurne de 12 heures à 85 dB(A) provoque une réduction du nombre et de la durée des cycles de sommeil ; si bien que le bruit interfère avec la fonction récupératrice du sommeil et peut entraîner une fatigue chronique. C'est d'autant plus vrai chez les personnes travaillant de nuit et devant dormir pendant la journée.

**Stress**

Le bruit peut aussi constituer un facteur de stress au travail dans la mesure où il est chronique, imprévisible et incontrôlable. La gêne liée au bruit est aussi associée à l'insatisfaction au travail, à l'irritabilité, à l'anxiété, voire à l'agressivité.

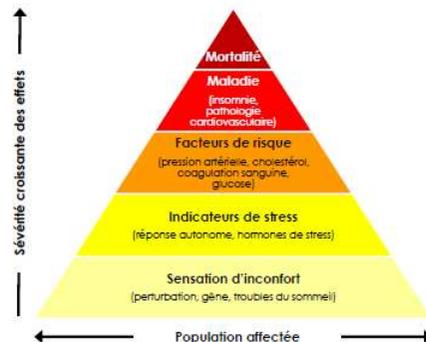
**Baisse des performances cognitives**

Enfin, le bruit détériore la performance des travailleurs dans les tâches cognitives, surtout lorsqu'elles sollicitent la mémoire à court terme. 45 à 55 dB(A) est un niveau sonore acceptable pour un travail nécessitant une attention soutenue.

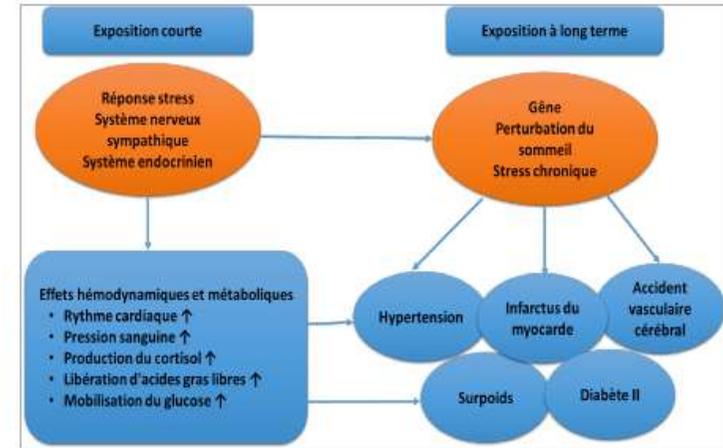
**Bruit et grossesse**

Si le bruit peut provoquer des surdités chez les travailleuses enceintes, il pourrait représenter également un danger pour les fœtus. En effet, au cours des 3 derniers mois de grossesse, l'oreille interne du fœtus est particulièrement sensible aux bruits riches en basses fréquences. Or les bruits inférieurs à 250 Hz traversent facilement les barrières naturelles qui protègent le fœtus (parois abdominales et utérines, placenta et liquide amniotique) et sont donc potentiellement dangereux pour l'audition des enfants à naître.

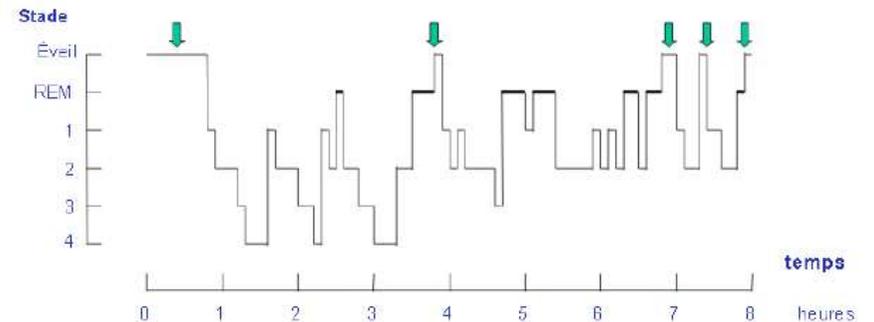
**Doc 22 : Schéma des effets extra-auditifs du bruit selon W.Babish, 2002**



**Doc 23 : Schéma des effets extra-auditifs à court terme et à long terme selon l'OMS, 2017**



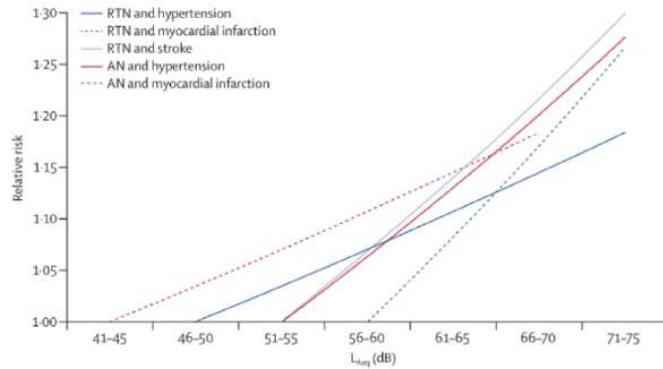
**Doc 24 : Illustration des effets du bruit nocturne sur la structure du sommeil**



Hypnogramme d'un jeune adulte lors d'une nuit perturbée par le bruit (l'efficacité du sommeil n'est ici que de 83%)  
Avec en ordonnées : REM : « rapid eye movements », abréviation pour REM sleep ou en français « sommeil avec mouvements oculaires rapides » souvent appelé « sommeil paradoxal » ; 1 à 4 : stades 1 à 4 de sommeil lent.

## Doc 25 : Relations dose-réponse entre exposition au bruit routier (RTN) ou aérien (AN) et maladies cardiovasculaires

Source : M. Basner et al. 2014



## Doc 26 : Synthèse des effets sanitaires du bruit

Effets « physiopathologiques »	Effets « psychosociaux »
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Perturbation du sommeil</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- modification de la structure interne du sommeil (diminution significative du temps passé dans les stades de sommeil à ondes lentes et du sommeil paradoxal, perturbation de l'architecture du sommeil ;</li> <li>- augmentation de la fragmentation du sommeil (augmentation significative du nombre de changements de stades et du nombre d'éveils de courte durée) ;</li> <li>- réduction du temps total de sommeil (plus longue durée d'endormissement, éveils nocturnes prolongés ou éveil précoce non suivi d'un nouvel endormissement).</li> </ul> </li> <li>• <b>Effets sur le système cardiovasculaire</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- hypertension artérielle ;</li> <li>- maladies cardiaques ischémiques (dont infarctus du myocarde) ;</li> <li>- accident vasculaire cérébral.</li> </ul> </li> <li>• <b>Effets sur le système endocrinien</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- sécrétion d'hormones liées au stress (adrénaline, noradrénaline et cortisol) ;</li> <li>- perturbation de la sécrétion d'hormones de croissance, de la ghréline, de la leptine, etc.</li> </ul> </li> <li>• <b>Effets sur le système immunitaire</b></li> <li>• <b>Effets sur la santé mentale</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Bien-être</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- gêne ;</li> <li>- (in)satisfaction environnementale ;</li> <li>- état de santé perçu ;</li> <li>- dépression et anxiété ;</li> <li>- stress ;</li> <li>- engagement dans la vie locale.</li> </ul> </li> <li>• <b>Performances cognitives / scolaires</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- compréhension de la lecture ;</li> <li>- compréhension de la parole ;</li> <li>- mémorisation ;</li> <li>- apprentissage ;</li> <li>- concentration et attention.</li> </ul> </li> <li>• <b>Interférences avec la communication</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Intelligibilité de la parole.</li> </ul> </li> <li>• <b>Attitudes et comportements</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- agressivité, apathie ;</li> <li>- diminution de la sensibilité et de l'intérêt à l'égard d'autrui.</li> </ul> </li> <li>• <b>Dimensions socio-territoriales</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- décote immobilière ;</li> <li>- dynamiques de population et polarisation sociale dans l'espace ;</li> <li>- sédimentation ou orientation fonctionnelle des tissus urbains ;</li> <li>- conflictualité locale et inégalités environnementales</li> </ul> </li> </ul>

## Doc 27 : Exemple de mise en place de politique de prévention du bruit

### Les premières lignes directrices pour le bruit des éoliennes

La direction régionale de l'OMS pour l'Europe a ainsi formulé des recommandations de deux types – fortes ou conditionnelles – en fonction du niveau de preuve scientifique. Il est par exemple recommandé de manière conditionnelle – et pour la première fois – de réduire les niveaux de bruit produits par les éoliennes, en dessous de 45 dB Lden. « Au-dessus de ce niveau, le bruit des éoliennes est associé à des effets néfastes sur la santé », précise le rapport. Pour les réduire, il est recommandé aux décideurs de « mettre en œuvre des mesures appropriées pour réduire l'exposition des populations au bruit des éoliennes ». Toutefois, les preuves scientifiques restent encore assez faibles.

### Des préconisations précises à destination des décideurs

Concernant les bruits des transports, de nouveaux indicateurs sont fixés : pour le bruit routier, l'OMS recommande fortement de réduire le bruit routier à 53 dB Lden et 45 dB L<sub>n</sub><sup>2</sup> ; le bruit ferroviaire à 54 dB Lden et 44 dB L<sub>n</sub> ; et le bruit aérien à 45 dB Lden et 40 dB L<sub>n</sub>.

Le président de Bruitparif, Didier Gonzalès, souligne que ce rapport « fixe clairement pour la première fois les niveaux d'exposition recommandés pour protéger la santé des riverains, et ce, source par source, et selon les indicateurs Lden et L<sub>n</sub> rendus obligatoires par la Commission européenne pour évaluer le bruit dans l'environnement. Les préconisations de l'OMS sont ainsi désormais plus précises et plus opérationnelles, ce qui est une excellente nouvelle ».

### SOURCES

Les documents utilisés ici sont issus des publications en ligne suivantes : INRS, INSERM, ANSES, IBGE, CNB, DARES, INVS, INRETS, OMS, Rev Med Suisse.