

## Évaluer et mesurer l'exposition professionnelle au bruit

## L'Institut national de recherche et de sécurité (INRS)

Dans le domaine de la prévention des risques professionnels, l'INRS est un organisme scientifique et technique qui travaille, au plan institutionnel, avec la CNAMTS, les Carsat, Cram, CGSS et plus ponctuellement pour les services de l'État ainsi que pour tout autre organisme s'occupant de prévention des risques professionnels.

Il développe un ensemble de savoir-faire pluridisciplinaires qu'il met à la disposition de tous ceux qui, en entreprise, sont chargés de la prévention : chef d'entreprise, médecin du travail, CHSCT, salariés.

Face à la complexité des problèmes, l'Institut dispose de compétences scientifiques, techniques et médicales couvrant une très grande variété de disciplines, toutes au service de la maîtrise des risques professionnels.

Ainsi, l'INRS élabore et diffuse des documents intéressant l'hygiène et la sécurité du travail : publications (périodiques ou non), affiches, audiovisuels, multimédias, site Internet... Les publications de l'INRS sont distribuées par les Carsat. Pour les obtenir, adressez-vous au service Prévention de la caisse régionale ou de la caisse générale de votre circonscription, dont l'adresse est mentionnée en fin de brochure.

L'INRS est une association sans but lucratif (loi 1901) constituée sous l'égide de la CNAMTS et soumise au contrôle financier de l'État. Géré par un conseil d'administration constitué à parité d'un collège représentant les employeurs et d'un collège représentant les salariés, il est présidé alternativement par un représentant de chacun des deux collèges. Son financement est assuré en quasi-totalité par le Fonds national de prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles.

### **Les caisses d'assurance retraite et de la santé au travail (Carsat), les caisses régionales d'assurance maladie (Cram) et caisses générales de sécurité sociale (CGSS)**

Les caisses d'assurance retraite et de la santé au travail, les caisses régionales d'assurance maladie et les caisses générales de sécurité sociale disposent, pour participer à la diminution des risques professionnels dans leur région, d'un service Prévention composé d'ingénieurs-conseils et de contrôleurs de sécurité. Spécifiquement formés aux disciplines de la prévention des risques professionnels et s'appuyant sur l'expérience quotidienne de l'entreprise, ils sont en mesure de conseiller et, sous certaines conditions, de soutenir les acteurs de l'entreprise (direction, médecin du travail, CHSCT, etc.) dans la mise en œuvre des démarches et outils de prévention les mieux adaptés à chaque situation. Ils assurent la mise à disposition de tous les documents édités par l'INRS.

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'INRS, de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite.

Il en est de même pour la traduction, l'adaptation ou la transformation, l'arrangement ou la reproduction, par un art ou un procédé quelconque (article L. 122-4 du code de la propriété intellectuelle). La violation des droits d'auteur constitue une contrefaçon punie d'un emprisonnement de trois ans et d'une amende de 300 000 euros (article L. 335-2 et suivants du code de la propriété intellectuelle).

# Évaluer et mesurer l'exposition professionnelle au bruit

L. Thiéry et P. Canetto

En collaboration avec  
les membres suivants de la commission AFNOR  
« Acoustique des lieux de travail » :  
M. Asselineau, N. Berne, D. Brassens,  
B. Corlay, J.-M. Dautin, C. Meyer-Bisch

# Sommaire

<b>Introduction</b>	<b>7</b>
<b>1. Réglementation et normalisation</b>	<b>9</b>
1.1. Rappel de la réglementation	9
1.2. Norme de mesurage de référence	12
1.3. Qui peut faire les mesures?	12
<b>2. Notions d'acoustique liées à l'exposition</b>	<b>13</b>
2.1. De l'émission du bruit à l'exposition	13
2.2. Niveaux de bruit et pondération en fréquence	15
2.3. De $L_{p,A,eqTe}$ à $L_{EX,8h}$	17
2.4. La règle des 3 dB	17
2.5. Exposition sonore et « points d'exposition »	18
2.6. Les « cartes de bruit » : quelle information?	20
2.7. Travaux imposant l'usage d'un casque de communication	21
2.8. L'affaiblissement acoustique des PICB	22
2.9. Comment s'y retrouver dans les appareils de mesure?	23
<b>3. Méthodologie générale</b>	<b>25</b>
3.1. Adopter une démarche en trois niveaux	25
3.2. Identifier la population susceptible d'être exposée	26
3.3. S'appuyer sur l'évaluation des risques de l'entreprise	27
<b>4. Estimation sommaire du risque</b>	<b>28</b>
4.1. Quand appliquer une estimation sommaire?	28
4.2. Test de communication dans le bruit	28
4.3. Données bibliographiques d'exposition	29
<b>5. Évaluation simplifiée du risque</b>	<b>30</b>
5.1. Quand appliquer une évaluation simplifiée?	30
5.2. Calcul simplifié d'exposition sonore partielle	30
5.3. Intérêt pour hiérarchiser les phases d'exposition	32
5.4. Le cas des événements acoustiques rares	33
5.5. Interprétation du résultat de l'évaluation simplifiée	34
5.6. Résultats de mesures antérieures	34
5.7. Que faire d'une carte de bruit?	35
<b>6. Mesurage normalisé de l'exposition</b>	<b>36</b>
6.1. Quand appliquer le mesurage normalisé?	36
6.2. La norme de référence: NF EN ISO 9612	36
6.3. Analyse du travail: préparation du plan de mesurage	37
6.3.1. Nature des informations à rechercher	37
6.3.2. Définition d'une journée nominale	37
6.3.3. Nature et durée des tâches	37

6.3.4. Pauses et durée totale de travail	38
6.3.5. Événements acoustiques rares	39
6.3.6. Groupes d'exposition homogène	40
6.4. Sélection de la méthode de mesurage	40
6.5. Planification des mesurages	41
6.5.1. Mesurage par tâche	41
6.5.2. Mesurage par métier	42
6.5.3. Mesurage par journée complète	43
6.5.4. Mesurage sur une semaine: $L_{EX,40h}$	43
6.6. Choix d'appareils de mesure	44
6.7. Réalisation des mesures	44
6.7.1. Vérification de l'appareillage	44
6.7.2. Durée d'intégration élémentaire	44
6.7.3. Position du microphone de mesure	45
6.7.4. Recommandations utiles durant les mesures	45
6.7.5. Que faire si les résultats sont trop dispersés?	46
6.7.6. Préparer les solutions	46
6.7.7. Précautions à prendre après les mesures	46
6.7.8. Valider le mesurage des niveaux de crête $L_{p,C,peak}$	47
<b>7. Exploiter et comprendre les résultats</b>	<b>48</b>
7.1. Utiliser la calculatrice NF EN ISO 9612	48
7.2. $L_{EX,8h}$ et U : dépassement des seuils d'actions réglementaires?	48
7.3. Analyser les niveaux crête, $L_{p,C,peak}$	49
7.4. Contrôler l'incertitude U associée au $L_{EX,8h}$	50
7.4.1. Éviter les erreurs systématiques	50
7.4.2. Les sources d'incertitude de mesure	51
7.4.3. Identifier le facteur d'incertitude prépondérant	51
7.4.4. Les sources de bruit « non pertinentes » (voix, radio, etc.)	52
7.5. Comment lire les séries chronologiques mesurées?	53
7.6. Quelles orientations pour réduire l'exposition?	54
7.7. Présenter et analyser le rapport de mesure	54
<b>8. Exemples pour des situations différentes</b>	<b>55</b>
8.1. Exemple d'estimation sommaire: risque pour des ouilleurs	55
8.2. Exemple d'estimation par les points d'exposition: usage de machines portatives très bruyantes	55
8.3. Exemple de mesurage par tâche: conducteurs de lignes de fabrication continue	56
8.4. Exemple de mesurage par métier: un groupe de fraiseurs	59
8.5. Exemple de mesurage par journée: régleurs de machines automatiques	61
8.6. Exemple d'évaluation de l'exposition hebdomadaire	63
<b>Foire aux questions</b>	<b>66</b>
<b>Pour en savoir plus</b>	<b>68</b>
<b>Annexes</b>	<b>70</b>
Annexe 1. Termes d'acoustique	70
Annexe 2. Fiche de préparation du mesurage de bruit dans une entreprise	72
<b>Glossaire</b>	<b>74</b>

# Introduction

Le bruit constitue une nuisance présente dans de nombreux secteurs professionnels. Une exposition à des niveaux sonores élevés pouvant affecter le système auditif, la réglementation impose aux employeurs la mise en œuvre de différentes mesures visant à protéger les travailleurs exposés. Ces mesures sont de nature technique ou organisationnelle : réduction du bruit par modification des caractéristiques acoustiques des locaux, par changement de méthodes de travail, par choix d'équipements moins bruyants, par modification de l'organisation du travail, par mise en place de systèmes de réduction du bruit. Elles visent aussi l'information des travailleurs, leur surveillance médicale et l'usage en dernier recours de protecteurs individuels contre le bruit. La mise en œuvre de ces mesures est progressive, selon le dépassement de deux seuils d'actions réglementaires.

Pour apprécier le dépassement ou non-dépassement d'un seuil d'action réglementaire, la première obligation de l'employeur est d'évaluer et, si nécessaire, de mesurer les niveaux de bruit auxquels les travailleurs sont exposés.

Cette brochure a pour objet de **guider l'évaluation des niveaux de bruit et la pratique du mesurage d'exposition au bruit en suivant une démarche progressive**. Elle fournit des outils permettant de distinguer quand une évaluation du risque sans mesurage peut suffire, et quand des mesures précises et conformes aux spécifications normalisées sont nécessaires.

## À qui s'adresse cette brochure ?

Elle s'adresse en premier lieu aux techniciens ayant en charge l'évaluation et le mesurage du risque bruit, au sein des entreprises bruyantes elles-mêmes, dans les services de médecine du

travail, ainsi que dans les sociétés de service en acoustique industrielle. En second lieu, elle s'adresse aux employeurs, aux médecins du travail, aux membres des CHSCT, etc., qui pourront y trouver des précisions sur les méthodes utilisées pour évaluer le risque lié au bruit professionnel, ainsi que des éléments utiles pour comprendre les résultats de cette évaluation. Pour faciliter la lecture de ce document, chaque chapitre est doté d'un résumé destiné à guider le lecteur dans sa recherche d'information.

## Évaluation du risque et autres actions de réduction des risques dus au bruit

**L'évaluation du risque n'est qu'une partie des actions de prévention visant à supprimer ou à réduire au minimum le risque lié au bruit.** Cette brochure ne traitant que de l'évaluation du risque, on se référera à divers documents (voir rubrique « Pour en savoir plus ») pour obtenir des précisions sur d'autres actions :

- Comment aborder la réduction du bruit en entreprise ?
- Parmi les solutions techniques de réduction du bruit, que choisir ?

L'utilisation de protecteurs individuels contre le bruit (PICB) est une solution de dernier recours pour réduire le risque lié à l'exposition au bruit, mais elle reste souvent nécessaire. Son efficacité repose notamment sur un choix adapté du PICB et sur la formation des travailleurs. En cas de port de PICB, des mesurages du bruit peuvent être nécessaires pour attester du non-dépassement de la valeur limite d'exposition (VLE) réglementaire. Cette attestation pose divers problèmes qui sont évoqués ici accompagnés de quelques conseils pratiques.

## L'exposition au bruit professionnel constitue-t-elle un risque important ?

Les données statistiques illustrent la permanence de l'exposition à des niveaux sonores élevés. Une enquête effectuée par le ministère du Travail a montré que l'exposition à des « bruits nocifs » pendant plus de 20 heures par semaine concernait près de 7% des salariés en 2003 (enquête SUMER). Définis comme des bruits dépassant le seuil de 85 dB(A) ou comportant des chocs et impulsions, ces bruits nocifs sont susceptibles de porter atteinte au système auditif. **Les atteintes auditives sont progressives.** Quand les niveaux de bruit sont très élevés et

que l'exposition se prolonge au fil des ans, le **risque** devient très important et **peut conduire à une surdité**, phénomène irréversible qui a un coût humain considérable et entraîne un handicap social largement sous-estimé actuellement. Les surdités peuvent **être reconnues comme maladies professionnelles**, selon les critères du tableau 42. Dans ce cas, pour les entreprises, le coût financier direct d'une surdité professionnelle reconnue s'élève en moyenne à 94 000 €. La *figure 1* rappelle le nombre annuel de surdités professionnelles reconnues (la pointe de 2005 est liée à l'élargissement des critères du tableau 42 intervenu deux ans avant). Pour la personne devenue sourde, ce coût n'est pas chiffrable, mais elle subit un handicap social grave.

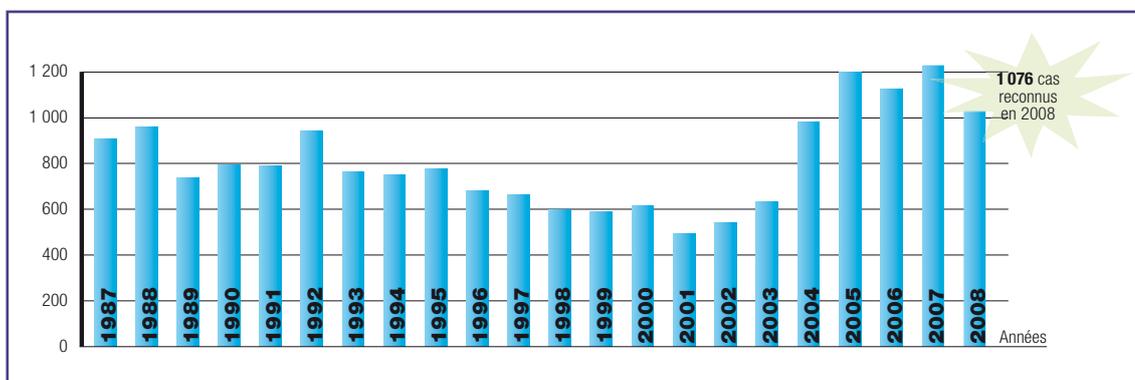


Figure 1. Nombre de surdités professionnelles reconnues comme maladie professionnelle (tableau n° 42, source : CNAMTS, régime général).

Un résumé de la réglementation relative à la protection des travailleurs contre le bruit est présenté afin de situer l'évaluation et le mesurage du bruit dans son contexte et de rappeler les mesures de prévention et de réduction des risques. Une norme internationale nouvelle traite du mesurage de l'exposition au bruit. C'est à cette norme que la législation se référera en 2009. Ses bases métrologiques sont présentées brièvement.

## 1.1. Rappel de la réglementation

Les exigences réglementaires concernant le bruit au travail s'étendent à trois aspects : l'émission du bruit des machines, les caractéristiques acoustiques du local, la protection des travailleurs exposés.

- Les **machines** doivent être conçues de telle sorte qu'elles émettent le niveau de bruit le plus bas possible ; une information relative au niveau du bruit émis doit en outre être fournie.
- Les **locaux de travail** doivent être dotés de performances acoustiques minimales dès lors que les machines qui y seront installées sont susceptibles d'exposer les travailleurs à plus de 85 dB(A).
- Les **entreprises** doivent protéger les travailleurs exposés au bruit en mettant en œuvre un ensemble d'actions de prévention. Rappelées dans la *figure 2*, ces actions sont définies en cas de dépassement de seuils d'exposition.

Pour des informations détaillées sur ces trois aspects, se référer à un aide-mémoire juridique sur le bruit (*voir la rubrique « Pour en savoir plus »*).

### Seuils d'actions

Les seuils d'actions réglementaires s'appuient sur deux paramètres physiques relatifs au bruit auquel le travailleur est exposé :

- le niveau d'exposition quotidienne au bruit  $L_{EX,8h}$  ; exprimé en dB(A) et représentant la « dose journalière » de bruit reçu ;
- le niveau de pression acoustique de crête  $L_{p,C,peak}$  ; exprimé en dB(C) et indiquant le niveau maximal instantané du bruit.

Par « seuil d'action », il faut comprendre qu'en cas de dépassement du seuil, l'action prescrite s'impose.

**La réglementation est progressive. Elle spécifie deux seuils d'actions**, un seuil d'action inférieur, un seuil d'action supérieur. Leur appellation officielle est la suivante : « valeur d'exposition inférieure déclenchant l'action de prévention » et « valeur d'exposition supérieure déclenchant l'action de prévention ». Ces seuils ont été spécifiés à la fois en dose journalière de bruit ( $L_{EX,8h}$ ) et en niveau de pression acoustique de crête ( $L_{p,C,peak}$ ). Les actions que déclenchent les dépassements de seuils sont résumées dans la *figure 2*.

L'objet central de cette brochure est d'évaluer ou de mesurer les niveaux d'exposition au bruit en vue de savoir si un seuil d'action est dépassé ou non.

## Valeur limite d'exposition

La réglementation spécifique, en outre, une valeur limite d'exposition (VLE) qui ne doit être dépassée en aucun cas. À la différence des seuils d'actions, l'exposition à comparer à la VLE doit prendre en compte l'atténuation des protecteurs individuels contre le bruit (PICB). C'est ce que traduit la notion de « bruit effectif ».

L'évaluation du niveau de bruit effectif, compte tenu du port d'un PICB, pose différentes questions qui sont résumées dans le chapitre 2.8.

## Nature des actions de prévention du risque lié au bruit

Les exigences réglementaires en fonction des seuils sont résumées dans la *figure 2*.

<b>Quel que soit le niveau</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Évaluation du risque</li><li>– Suppression ou réduction au minimum du risque, en particulier à la source</li><li>– Consultation et participation des travailleurs pour l'évaluation des risques, les mesures de réduction, le choix des PICB</li><li>– Bruit dans les locaux de repos réduit à un niveau compatible avec leur fonction</li></ul>
<b>Au-dessus du seuil d'action inférieur</b> $L_{EX,8h} > 80$ dB(A) $L_{p,C,peak} > 135$ dB(C)	<ul style="list-style-type: none"><li>– Mise à disposition des PICB</li><li>– Information et formation des travailleurs (sur les risques liés au bruit, sur les mesures et les moyens de prévention collective et individuelle, sur l'usage des PICB, etc.)</li><li>– Examens audiométriques préventifs proposés</li></ul>
<b>Au-dessus du seuil d'action supérieur</b> $L_{EX,8h} > 85$ dB(A) $L_{p,C,peak} > 137$ dB(C)	<ul style="list-style-type: none"><li>– Mise en œuvre d'un programme de mesures techniques de réduction d'exposition au bruit</li><li>– Signalisation des lieux de travail bruyants et limitation d'accès</li><li>– Utilisation des PICB</li><li>– Examens audiométriques périodiques (surveillance médicale renforcée)</li></ul>
<b>Au-dessus de la valeur limite d'exposition (VLE)</b> (compte tenu de l'atténuation du PICB) $L_{EX,8h} > 87$ dB(A) $L_{p,C,peak} > 140$ dB(C)	<ul style="list-style-type: none"><li>– À ne dépasser en aucun cas; mesures de réduction d'exposition sonore immédiate</li></ul>

*Figure 2. Résumé des principales exigences réglementaires liées à l'exposition au bruit au travail.*

## Évaluation des risques liés à l'exposition au bruit

Que dit le code du travail à ce sujet ?

### Article R. 4433-1

L'employeur évalue et, si nécessaire, mesure les niveaux de bruit auxquels les travailleurs sont exposés.

Cette évaluation et ce mesurage ont pour but :

1. de déterminer les paramètres physiques définis à l'article R. 4431-1 ( $L_{p,C,peak}$  ;  $L_{EX,8h}$  ; éventuellement  $L_{EX,40h}$ ) ;
2. de constater si, dans une situation donnée, les valeurs d'exposition fixées à l'article R. 4431-2 sont dépassées (cf. les seuils d'actions de la *figure 2*).

### Article R. 4433-2

L'évaluation des niveaux de bruit et, si nécessaire, leur mesurage sont planifiés et réalisés par des personnes compétentes, avec le concours, le cas échéant, du service de santé au travail.

Ils sont réalisés à des intervalles appropriés, notamment lorsqu'une modification des installations ou des modes de travail est susceptible d'entraîner une élévation des niveaux de bruit.

En cas de mesurage, celui-ci est renouvelé au moins tous les cinq ans.

Pour préciser les conditions du mesurage des niveaux de bruit, l'article R. 4433-7 renvoie à un arrêté. Cet arrêté (daté du 19 juillet 2006) spécifie notamment qu'en cas de mesurages effectués pour apprécier le dépassement éventuel des seuils d'actions réglementaires, il faut :

- appliquer les prescriptions normalisées relatives aux mesurages des niveaux d'exposition au bruit en milieu professionnel ;
- adapter aux conditions existantes les méthodes et appareillages utilisés ;
- évaluer les résultats en « prenant en compte l'incertitude de mesure déterminée conformément aux pratiques de la métrologie ».

D'autres spécifications, relatives notamment aux résultats et à leur communication, s'appliquent également. Elles ne sont pas évoquées ici. Pour une présentation exhaustive de la réglementation, se référer à un aide-mémoire juridique (voir « Pour en savoir plus »).

### **Remarque relative à l'application des seuils d'actions exprimés en niveau de crête $L_{p,C,peak}$**

Cette question est très peu développée dans la présente brochure, contrairement à l'évaluation et au mesurage liés à l'application des seuils d'actions exprimés en  $L_{EX,8h}$ . Ceci découle de raisons métrologiques. Dans le cas des mesures du niveau de pression acoustique de crête, la difficulté majeure réside dans la validation du mesurage (question traitée ici) ; ensuite, la comparaison du résultat aux seuils d'actions reste simple (même si subsistent des problèmes métrologiques complexes qui ne relèvent pas de la pratique de terrain). Dans le cas du niveau d'exposition quotidienne au bruit  $L_{EX,8h}$ , c'est très différent, car la totalité du processus de mesure, depuis sa préparation jusqu'à l'interprétation, fait l'objet de spécifications normalisées qui sont présentées ici en détail.

## 1.2. Norme de mesurage de référence

La réglementation spécifie (par un arrêté du 19 juillet 2006) que les mesurages d'exposition doivent être effectués selon les prescriptions de la norme NF S 31-084, « Méthode de mesurage des niveaux d'exposition au bruit en milieu de travail ».

Cependant, en mars 2009 a été publiée une norme internationale sur le même sujet, la **norme NF EN ISO 9612**. En Europe, cette norme a été applicable dès sa parution et a offert l'avantage d'harmoniser les pratiques métrologiques liées à l'application de la directive 2003/10/CE. En France, un arrêté ministériel spécifiera à quelle date la norme NF EN ISO 9612 se substituera à la norme NF S 31-084. Ce guide a été rédigé sur la base des spécifications de la norme NF EN ISO 9612 (2009), compte tenu de sa récente publication.

Les principes métrologiques des deux **normes NF S 31-084 (2002) et NF EN ISO 9612 (2009)** sont semblables. Toutefois, une comparaison de ces deux normes permet d'évoquer brièvement leurs similitudes et leurs différences.

Les **similitudes** portent sur les aspects suivants :

- domaine d'application limité aux mesures d'exposition ; l'évaluation du bruit effectif, compte tenu du port d'un protecteur individuel contre le bruit, est exclue de cette norme de mesure<sup>1</sup> ;
- contrôle de la représentativité des échantillons du bruit par une analyse du travail ;
- proposition de trois méthodes de mesurage :
  - par tâche,
  - par métier (ou fonction),
  - par journée entière ;
- traitement des résultats incluant une estimation de l'incertitude de mesure.

La **norme NF EN ISO 9612 introduit des nouveautés** sur plusieurs points, par rapport à la norme NF S 31-084 :

- définition d'une journée nominale tenant compte de tout ce qui détermine l'exposition au bruit professionnel ;
- réduction de l'effort de mesurage en cas d'approche par tâche et par fonction ;
- accroissement de l'effort de mesurage en cas d'approche par journée entière (mesurage systématique) ;
- traitement plus complet de l'évaluation de l'incertitude de mesure ;
- diffusion avec la norme d'une calculette rendant très aisée son application pratique.

## 1.3. Qui peut faire les mesures ?

L'évaluation du risque bruit est du ressort de l'employeur, qui peut faire effectuer les mesurages par les moyens de l'entreprise, par le service de santé au travail ou par un prestataire extérieur. Si le mesurage est effectué suite à une demande de l'inspection du travail, le recours à un organisme accrédité est impératif. Cette accréditation est délivrée par le Comité français d'accréditation (COFRAC) ou par un organisme européen équivalent (depuis 2006, il n'existe plus d'agrément spécifique délivré par le ministère du Travail pour le mesurage du bruit en milieu professionnel).

*1. Voir dans le chapitre 2.8. des précisions relatives à l'application de la législation en cas d'usage d'un protecteur individuel contre le bruit et aux normes de référence à ce sujet.*

Ce chapitre résume les notions de base et définit les indicateurs utilisés lors des mesures d'exposition au bruit professionnel. Il introduit les points d'exposition, base d'une méthode d'évaluation simplifiée du risque. Il fournit des explications sur plusieurs sujets : les cartes de bruit, les PICB, les appareils de mesure du bruit.

## 2.1. De l'émission du bruit à l'exposition

Il est important de prendre en compte la différence entre une mesure de niveau de bruit ponctuelle et une mesure d'exposition. Dans ce but, il faut clarifier ce qui caractérise les notions de bruit émis et de bruit ambiant, puis les distinguer de la notion d'exposition au bruit professionnel.

La notion de **bruit émis** s'applique aux **sources de bruit**. En milieu professionnel, on peut distinguer les sources de bruit selon leur nature : les machines et équipements de travail fixes, les équipements annexes (climatisation, ventilation, production d'énergie, systèmes de transferts, etc.), les engins mobiles, les signaux (voix, signaux d'alarme, etc.), les opérations manuelles bruyantes (martelage, etc.). Durant une journée de travail, l'utilisation de ces machines et sources de bruit peut être permanente ou intermittente, ce qui entraîne de fortes variations du bruit émis. Entre sources de bruit, la composition spectrale du bruit émis peut être variable : bruit très aigu (sonneries, sifflements, échappements d'air comprimé), ou au contraire très grave, riche en basses fréquences (compresseurs, etc.).

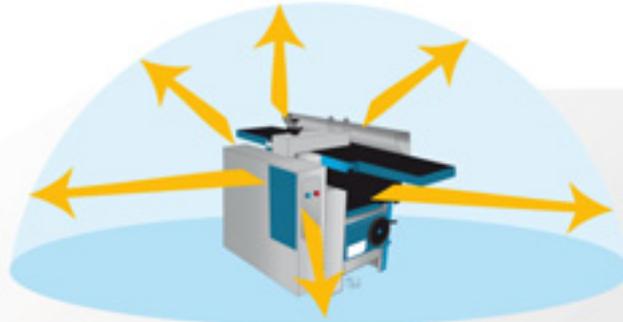
Le bruit émis par une machine fait l'objet d'une déclaration par le fabricant de la machine. Le niveau de bruit déclaré résulte d'une mesure effectuée dans un espace ouvert, en l'absence de toute autre source de bruit et sans effet du local (*voir figure 3a page suivante*). Un code d'essai spécifie le mode de fonctionnement de la machine lors de cette mesure. L'intérêt de la valeur déclarée du bruit émis par les machines est de comparer les émissions de bruit entre machines d'une même famille et d'inciter, lors d'un achat, au choix de la machine la moins bruyante. Quand la machine est installée dans un atelier, ses conditions réelles d'utilisation ne sont plus comparables à celles du code d'essai, ce qui rend inutilisable la valeur de bruit déclarée pour évaluer l'exposition réelle des travailleurs.

Le **bruit ambiant** est toujours lié à **un point fixé**. Il se définit par l'effet en ce point du bruit émis par toutes les machines et les sources de bruit d'un atelier, pendant un intervalle de temps relativement court (*voir figure 3b page suivante*).

Il prend aussi en compte l'effet du local de travail : quand le bruit émis par les machines se réfléchit sur un mur ou sur le plafond, l'effet du local est d'amplifier le bruit émis. Cet effet est important si le local est réverbérant ; pour l'éviter, il faut au contraire que le local soit absorbant (« local sourd »).

La notion d'**exposition au bruit** est liée au **travail réel d'une personne lors d'une journée** de travail. Elle est donc très différente des notions de bruit émis et de bruit ambiant, car le travail réel impose généralement des déplacements. De plus, la notion de temps intervient : l'exposition doit tenir compte des variations en temps du bruit reçu à chaque emplacement de travail (variations provoquées par les différents modes d'utilisation des machines), puis combiner le bruit reçu lors des différentes phases ou emplacements de travail, au prorata de leur durée quotidienne (*voir figure 3c page suivante*).

a) **Le bruit émis par une machine** est la valeur déclarée par son fabricant. Il est mesuré dans un espace ouvert (sans effet du local), quand la machine effectue un travail fixé par un code d'essai. Cette donnée sert à qualifier les équipements pour choisir, éventuellement, le plus silencieux mais n'est pas utilisable pour évaluer une exposition.<sup>2</sup>



b) **Le bruit ambiant** est le bruit en un point fixe spécifié d'un atelier, à un instant donné. Il résulte de l'effet cumulé en ce point du bruit émis par chaque machine et de l'effet du local (qui amplifie plus ou moins le bruit émis).



c) **L'exposition** est la « dose journalière » de bruit reçu par une personne. Elle combine les différents bruits reçus par la personne à tous ses emplacements de travail, au prorata du temps passé à chacun d'eux durant une journée de travail.

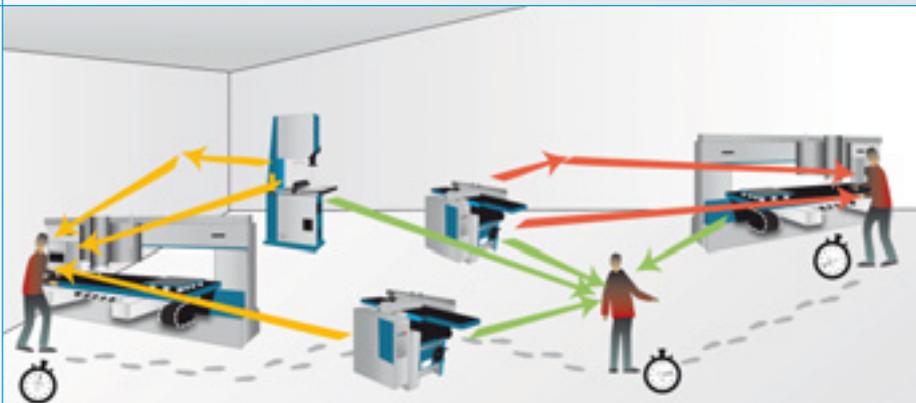


Figure 3. Illustration des différences entre les notions de bruit émis, de bruit ambiant et d'exposition au bruit professionnel.

2. On ne peut pas utiliser les niveaux de bruit émis par une machine pour évaluer le risque lié au bruit. Les valeurs affichées du bruit émis par une machine peuvent être utiles pour comparer le bruit émis de plusieurs machines semblables. Mais les conditions de mesurage du bruit émis sont très différentes de celles d'un usage réel de la machine (absence de toute autre machine, aucun effet du local, fonctionnement selon un code d'essai spécifique). On doit distinguer en conséquence : le bruit émis par une machine ; le bruit ambiant mesuré à un endroit spécifié, résultant de l'effet de plusieurs machines et du local à cet endroit ; le bruit auquel une personne est exposée, qui cumule les effets de toutes les sources de bruit à tous les emplacements de travail que cette personne occupe durant une journée.

## 2.2. Niveaux de bruit et pondération en fréquence

### Niveau de pression acoustique continu équivalent $L_{p,A,eqT}$

Le bruit se caractérise à chaque instant  $t$  par le niveau de pression acoustique instantané,  $L_p(t)$ , exprimé en décibels. Pour prendre en compte les variations de  $L_p(t)$  durant le temps de travail, on définit une durée  $T$  (quelques minutes, une heure ou 8 heures par exemple) et on évalue le niveau du bruit pendant  $T$  selon une moyenne en énergie. C'est ce qu'indique le niveau acoustique continu équivalent mesuré durant  $T$ , noté  $L_{p,A,eqT}$  (voir en annexe 1 les définitions et équations relatives aux niveaux de bruit).

La figure 4 montre deux exemples très différents de bruit reçu par des opérateurs. Dans le premier cas, il s'agit d'un fraiseur dont le travail se déroule en poste fixe : il est exposé à un bruit qui varie relativement peu durant la période observée. Dans le second cas, il s'agit d'un monteur dont les tâches habituelles sont très variées : le niveau de bruit reçu est très fluctuant ; de plus la phase de travail présentée ici comprend 10 minutes de rivetage, tâche extrêmement bruyante qui apparaît nettement sur le diagramme.

Ces deux exemples montrent des séries chronologiques de bruit reçu pendant une durée de mesure  $T$  égale ici à 100 minutes. On en déduit le niveau acoustique continu équivalent calculé sur la durée  $T$  des mesures,  $L_{p,A,eqT}$ , dont la valeur a été indiquée sur chaque exemple. La durée  $T$  est désignée par « durée d'intégration du bruit » car le mesurage d'un niveau de bruit  $L_{p,A,eqT}$  s'effectue par intégration durant l'intervalle de temps  $T$ .

Dans le cas du mesurage de séries chronologiques de bruit (comme celles des exemples de la figure 4), une durée d'intégration élémentaire (notée  $dt$ ) est fixée avant le début des mesures. Elle est

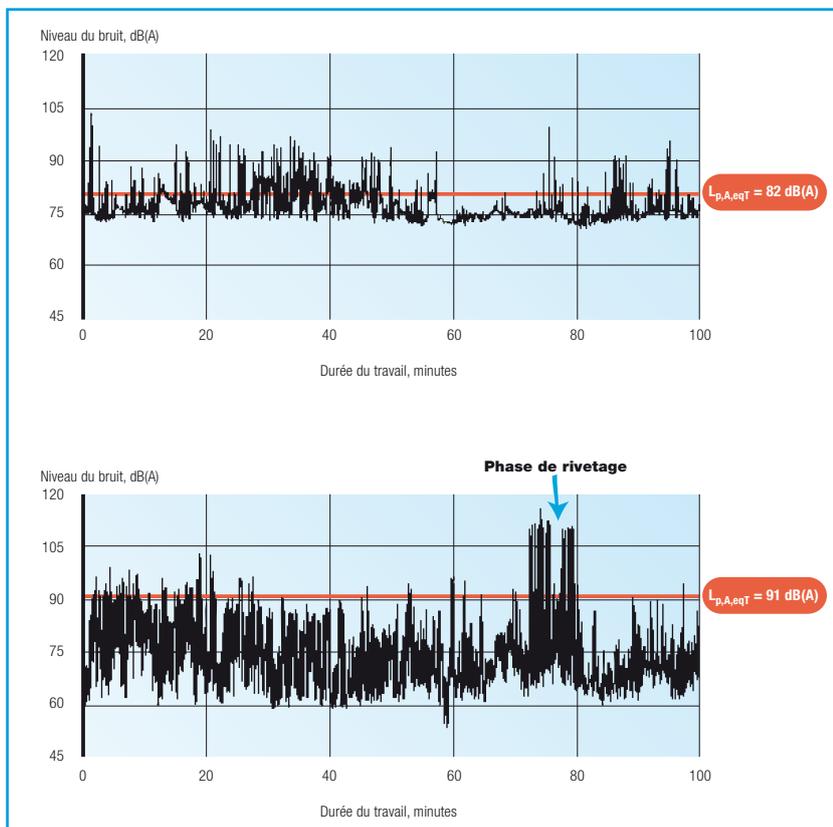


Figure 4. Exemples de niveaux de bruit reçus par deux travailleurs lors d'une période de travail d'une durée de 1 h 40. Le diagramme supérieur concerne le bruit reçu par un fraiseur, exposé à un niveau de bruit peu variable. Le diagramme inférieur concerne le bruit reçu par un monteur d'ensembles mécaniques complexes ; il montre une phase d'exposition à un niveau de bruit excédant 105 dB(A) durant 10 minutes, liée à une tâche très bruyante, le rivetage.

appliquée au mesurage des niveaux de bruit élémentaires  $L_{p,A,eq,dt}$  successifs qui composent la série chronologique. La durée d'intégration élémentaire  $dt$  peut être choisie parmi plusieurs valeurs, telles que par exemple 125 ms, 1 s ou 1 min.

La *figure 5* donne des exemples de niveaux de bruit  $L_{p,A,eqT}$  pour des opérations couramment réalisées (dans ces exemples, la durée d'intégration  $T$  est d'environ une minute).

	Meulage	Marteau-piqueur	Poste de conduite de poids lourd	Sciage de bois	Ponçage de bois	Perçage	Rabotage	Soufflette à air comprimé
$L_{p,A,eqT}$ dB(A)	100 à 105	105	80 à 85	95 à 100	85 à 90	90 à 95	95 à 100	100 à 105

Figure 5. Exemples de niveaux  $L_{p,A,eq,T}$  de bruits industriels courants.

### Niveau de pression acoustique de crête $L_{p,C,peak}$

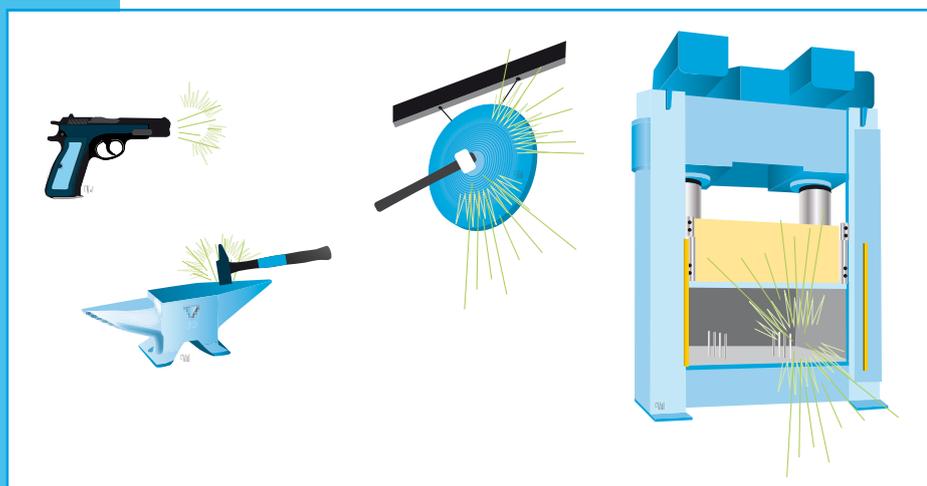


Figure 6. Exemples de sources de bruits impulsifs.

Les chocs métalliques intenses, les tirs et d'autres opérations très bruyantes mais brèves produisent des bruits impulsifs. Ils résultent de sources de bruit telles que celles de la *figure 6*. Un indicateur d'exposition complémentaire au bruit moyen est alors à prendre en compte : c'est le niveau de pression acoustique de crête, noté  $L_{p,C,peak}$ . Mesuré en dB(C), il indique la valeur maximale de la pression acoustique instantanée  $L_p(t)$  observable durant une période de temps représentative de la journée de travail.

### Pondération A, pondération C

L'oreille humaine n'est pas sensible de la même façon aux sons de basse fréquence ou à ceux de haute fréquence. Pour prendre en compte cette caractéristique dans les appareils de mesure du niveau de bruit, plusieurs pondérations des niveaux mesurés par bandes de fréquences ont été normalisées :

- la **pondération A** : cette courbe est calquée sur la sensibilité moyenne de l'oreille humaine aux niveaux de bruit courants et doit être utilisée lors des mesures d'exposition pour estimer le niveau acoustique continu équivalent pondéré A, noté  $L_{p,A,eqT}$  ;
- la **pondération C** : cette courbe, calquée sur la sensibilité moyenne de l'oreille humaine aux niveaux de bruit élevés, est quasiment linéaire dans la partie principale du champ auditif de l'homme. Elle doit être utilisée pour le mesurage des niveaux de pression acoustique de crête,  $L_{p,C,peak}$ . Par ailleurs, la pondération C peut être utilisée pour évaluer l'exposition au bruit en cas d'usage d'un protecteur individuel contre le bruit (PICB).

## 2.3. De $L_{p,A,eqT_e}$ à $L_{EX,8h}$

D'une entreprise à l'autre et parfois au sein d'une même entreprise, l'amplitude des journées de travail varie entre groupes de travailleurs. Or la dose quotidienne de bruit dépend du niveau moyen du bruit  $L_{p,A,eqT_e}$  et de la durée quotidienne effective de travail,  $T_e$ . Pour tenir compte de ces faits, le critère légal a été rendu indépendant des différences de durée quotidienne du travail. Il « normalise » par une durée de référence fixée à 8 heures la dose quotidienne de bruit reçu. C'est ce qui conduit au « niveau d'exposition quotidienne au bruit » noté  $L_{EX,8h}$ , exprimé en dB(A) et évalué en trois étapes :

- détermination de la durée totale effective  $T_e$  de la journée de travail de chaque groupe ;
- estimation ou mesure du niveau de pression acoustique continu équivalent  $L_{p,A,eqT_e}$  pour la totalité de la journée de travail (éventuellement dans chaque tâche ou phase de travail) ;
- « normalisation » de la dose de bruit que définissent  $T_e$  et  $L_{p,A,eqT_e}$  en appliquant la durée de référence réglementaire de 8 heures afin d'obtenir le niveau d'exposition quotidienne au bruit  $L_{EX,8h}$  ; seul ce niveau  $L_{EX,8h}$  est comparable aux seuils d'actions réglementaires (voir figure 7).

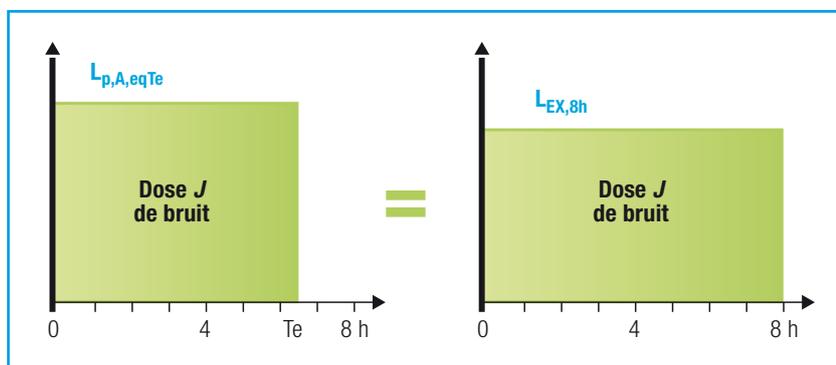


Figure 7. Le niveau d'exposition quotidienne au bruit « normalisé » par une durée de référence de 8 heures la dose quotidienne de bruit, définie par le niveau du bruit  $L_{p,A,eqT_e}$  et la durée totale effective  $T_e$  de la journée de travail [dans l'exemple,  $T_e = 6 \text{ h } 30$  et  $L_{EX,8h} = L_{p,A,eqT_e} - 0,9 \text{ dB(A)}$ ].

## 2.4. La règle des 3 dB

**Addition de décibels : « 90 dB + 90 dB = 93 dB »**

De par leur nature logarithmique, les niveaux de bruit en décibels ne s'ajoutent pas linéairement. Ils sont combinés en sommant les énergies de chacun. Ce calcul donne la règle suivante : « Quand l'énergie acoustique est doublée, le niveau augmente de 3 dB. »

Ce critère s'applique aussi aux doses quotidiennes de bruit, définies par un niveau de bruit et une durée d'exposition. Dans ce cas, la règle peut s'énoncer ainsi : « Si le niveau du bruit est accru de 3 dB, la dose de bruit reste inchangée si la durée d'exposition est réduite de moitié. »

Avec une dose de bruit spécifiée par le niveau de bruit de 80 dB(A) et la durée de 8 heures, on peut déduire de ce critère d'équivalence les valeurs de la figure 8 (voir page suivante). Il montre que la dose de bruit correspondant au seuil d'action inférieur (soit 80 dB(A) pour 8 heures) peut être atteinte en 15 minutes si le niveau du bruit s'élève à 95 dB(A).

Notez cependant que l'équivalence de la figure 8 repose sur une hypothèse importante : en dehors de la durée d'exposition spécifiée, la personne n'est pas exposée au bruit. L'intérêt de ce tableau est de fournir une durée maximale d'exposition à un niveau de bruit spécifié pour rester conforme à un seuil d'action.

En général, il faudra combiner différents niveaux de bruit et différentes durées d'exposition en vue d'estimer la dose totale de bruit. C'est précisément l'objet de la méthode des points d'exposition (voir chapitre 2.5).

Niveau sonore en dB(A)	Durée d'exposition maximale
80	8 h
83	4 h
86	2 h
89	1 h
92	30 min
95	15 min
98	7,5 min

Figure 8. Correspondance entre le niveau du bruit et la durée maximale d'exposition, afin de respecter la valeur d'exposition inférieure définie par la réglementation (en l'absence de toute exposition au bruit en dehors de la durée spécifiée).

## 2.5. Exposition sonore et « points d'exposition »

Quand le travail d'une personne exposée au bruit comprend plusieurs phases, l'estimation du niveau de bruit global reste difficile parce que les décibels ne s'additionnent pas simplement. La méthode « des points d'exposition » permet de contourner cette difficulté. Sa mise en œuvre est très simple, dès lors que l'on dispose d'une estimation des niveaux de bruit et des durées quotidiennes de chaque phase de travail.

Cette **méthode** est **basée sur l'exposition sonore** (notée  $E_{A,T}$  et exprimée en  $\text{Pa}^2 \cdot \text{h}$ ). La variable  $E_{A,T}$  définit la dose du bruit cumulée pendant une durée  $T$ . Son intérêt est de pouvoir s'additionner de manière classique, dès lors que l'exposition résulte de plusieurs phases de travail. Les points d'exposition s'en déduisent, selon une relation indiquée en annexe 1. L'usage de cette méthode est préconisé par l'organisme britannique homologue de l'INRS, le HSE (Health and Safety Executive).

En pratique, cette méthode impose pour chaque phase de travail d'estimer son niveau de bruit en dB(A) et sa durée totale quotidienne. Ces deux données définissent l'exposition de cette phase de travail, qui sera représentée par un nombre de points. On utilise pour cela le tableau à deux entrées (le niveau et la durée) de la *figure 9* : il indique le nombre de points d'exposition correspondant à cette phase de travail. Après addition des points de toutes les phases de travail, leur total lu dans la colonne « 8 h » donne une estimation à 0,5 dB près du niveau global d'exposition quotidienne au bruit  $L_{EX,8h}$ .

Les points d'exposition peuvent s'additionner (ou se soustraire) selon la durée souhaitée. Ainsi une exposition à 86 dB(A) de durée égale à 7 heures sera décomposée en (8 h – 1 h), soit (130 – 16) = 114 points d'exposition.

Dans la *figure 9*, le code couleur a la signification suivante :

- **zone verte** : la dose de bruit équivalente à 80 dB(A) durant 8 heures n'est pas dépassée;
- **zone rouge** : la dose de bruit équivalente à 85 dB(A) durant 8 heures est atteinte ou dépassée;
- **zone orange** : la dose de bruit est intermédiaire entre les deux précédentes.

Notez que l'usage de ce tableau pour une seule phase de bruit suppose que l'exposition au bruit liée aux autres phases de travail soit négligeable. Sinon, il faut estimer l'exposition sonore de chaque phase et additionner leur nombre de points.

Figure 9. Points d'exposition pour différents niveaux de bruit et différentes durées.

Niveau de bruit dB(A)	Durée quotidienne de la phase de travail								
	8 h	4 h	2 h	1 h	30 min	15 min	10 min	5 min	1 min
75	10	5	3	1	1	0	0	0	0
76	13	6	3	2	1	0	0	0	0
77	16	8	4	2	1	1	0	0	0
78	20	10	5	3	1	1	0	0	0
79	25	13	6	3	2	1	1	0	0
80	32	16	8	4	2	1	1	0	0
81	40	20	10	5	3	1	1	0	0
82	50	25	13	6	3	2	1	1	0
83	64	32	16	8	4	2	1	1	0
84	80	40	20	10	5	3	2	1	0
85	100	50	25	13	6	3	2	1	0
86	130	64	32	16	8	4	3	1	0
87	160	80	40	20	10	5	3	2	0
88	200	100	50	25	13	6	4	2	0
89	250	130	64	32	16	8	5	3	1
90	320	160	80	40	20	10	7	3	1
91	400	200	100	50	25	13	8	4	1
92	510	250	130	64	32	16	11	5	1
93	640	320	160	80	40	20	13	7	1
94	800	400	200	100	50	25	17	8	2
95	1000	510	250	130	60	32	21	11	2
96	1300	640	320	160	80	40	27	13	3
97	1600	800	400	200	100	50	33	17	3
98	2000	1000	510	250	130	60	40	21	4
99	2500	1300	640	320	160	80	50	27	5
100	3200	1600	800	400	200	100	70	33	7
101	4000	2000	1000	500	250	130	80	40	8
102	5100	2500	1300	630	320	160	110	50	11
103	6400	3200	1600	800	400	200	130	70	13
104	8000	4000	2000	1000	500	250	170	80	17
105	10000	5100	2500	1300	630	320	210	110	21
106	13000	6400	3200	1600	800	400	270	130	27
107	16000	8000	4000	2000	1000	500	330	170	33
108	20000	10000	5000	2500	1300	630	420	210	40
109	25000	13000	6400	3200	1600	790	530	270	50
110	32000	16000	8000	4000	2000	1000	670	330	70
111	40000	20000	10000	5000	2500	1300	840	420	80
112	51000	25000	13000	6300	3200	1600	1100	530	110
113	64000	32000	16000	8000	4000	2000	1300	670	130
114	80000	40000	20000	10000	5000	2500	1700	840	170
115	100000	51000	25000	13000	6300	3200	2100	1100	210
116	125000	64000	32000	16000	8000	4000	2700	1300	270
117	160000	80000	40000	20000	10000	5000	3300	1700	330
118	200000	100000	50000	25000	13000	6300	4200	2100	420
119	255000	125000	64000	32000	16000	8000	5300	2600	530
120	320000	160000	80000	40000	20000	10000	6700	3300	670

Note : Pour simplifier le tableau, le nombre de points a été arrondi. Cet arrondi n'induit jamais d'erreur supérieure à 5 % en points, soit moins de 0,5 dB sur le niveau du bruit.

Ce tableau permet d'estimer l'impact d'un événement acoustique de niveau très élevé mais de courte durée. *Exemple*: Quel est l'équivalent sur 8 h d'une exposition durant 5 min à 115 dB(A)? Le tableau indique que ceci correspond à 1 100 points. Dans la colonne 8 h, le nombre de points le plus proche est de 1 000, correspondant à 95 dB(A). On en déduit donc le résultat: 115 dB(A) durant 5 min équivalent à 95 dB(A) durant 8 h.

## 2.6. Les « cartes de bruit » : quelle information ?

Une information relative au bruit et reportée sur une carte peut donner une « carte de bruit ». Dans les grandes agglomérations, la réglementation oblige à dresser des cartes du bruit urbain. Pour rendre comparables entre elles les cartes du bruit urbain de différentes villes, des normes spécifient les emplacements des points de mesures, la durée des mesures, etc.

Pour le bruit sur les lieux de travail, contrairement au bruit urbain, aucune norme ne spécifie comment établir une carte de bruit. Dans ces conditions, n'importe quelle information relative au bruit peut être reportée sur un plan d'atelier et l'on peut citer plusieurs de ces informations :

le bruit mesuré près de chaque machine, ce qui permet de localiser les machines les plus bruyantes ;

le bruit mesuré dans les allées ;

le bruit mesuré à chaque point d'un maillage de l'atelier au pas de 5 m ;

le report sur un plan d'atelier de niveaux de bruit mesurés à des emplacements de travail fixes et bien localisés.

Sur ces cartes, les niveaux sonores peuvent être indiqués par des chiffres situés sur le plan aux endroits où ils ont été mesurés, ou par un code couleur échelonné en fonction du niveau, par exemple du bleu vers le rouge lorsque le niveau va croissant (*voir figure 10*).

En milieu professionnel, aucune obligation réglementaire ne demande l'établissement de cartes de bruit. Si une carte de bruit est réalisée, aucune norme ne spécifiant la nature des informations reproduites, il faut impérativement indiquer la nature des informations fournies : position précise des points de mesure, durée de mesure, nature des mesures de bruit.

Si l'on s'intéresse à l'exposition des travailleurs au bruit, une **carte est généralement très mal adaptée pour représenter les niveaux d'exposition**. Il y a deux raisons majeures à ce fait :

■ l'exposition des travailleurs doit prendre en compte les variations des circonstances quotidiennes du travail et du bruit reçu, liées aux déplacements et aux divers modes de fonctionnements des machines et des sources de bruit. Une carte de bruit, basée sur des mesures sonométriques classiques (effectuées en points fixes avec des durées de mesures de quelques minutes) et fournissant un cliché « instantané » du bruit, ne reflète pas les variations quotidiennes d'exposition au bruit ;

■ si la carte de bruit a été tracée à partir du bruit mesuré dans les allées de l'atelier, les niveaux de bruit dans les allées peuvent être inférieurs de 5 voire 10 dB(A) au bruit qu'un opérateur reçoit au poste de conduite situé à proximité immédiate d'une machine bruyante. Cette sous-estimation résulte des lois de la propagation acoustique.

Ces deux raisons peuvent être commentées à l'aide de la *figure 10*, qui illustre un exemple provenant de l'étude d'un atelier réel. Dans cet atelier, tous les travailleurs ayant plusieurs tâches à effectuer à des emplacements différents, l'exposition quotidienne d'aucun d'entre eux ne peut résulter de la lecture des cartes présentées. Quant à la carte de bruit en couleur (tracée avec un maillage de 1 m), elle montre qu'un éloignement à 2 m de distance des machines (représentées par les carrés noirs) réduit le bruit de 5 dB(A) voire plus.

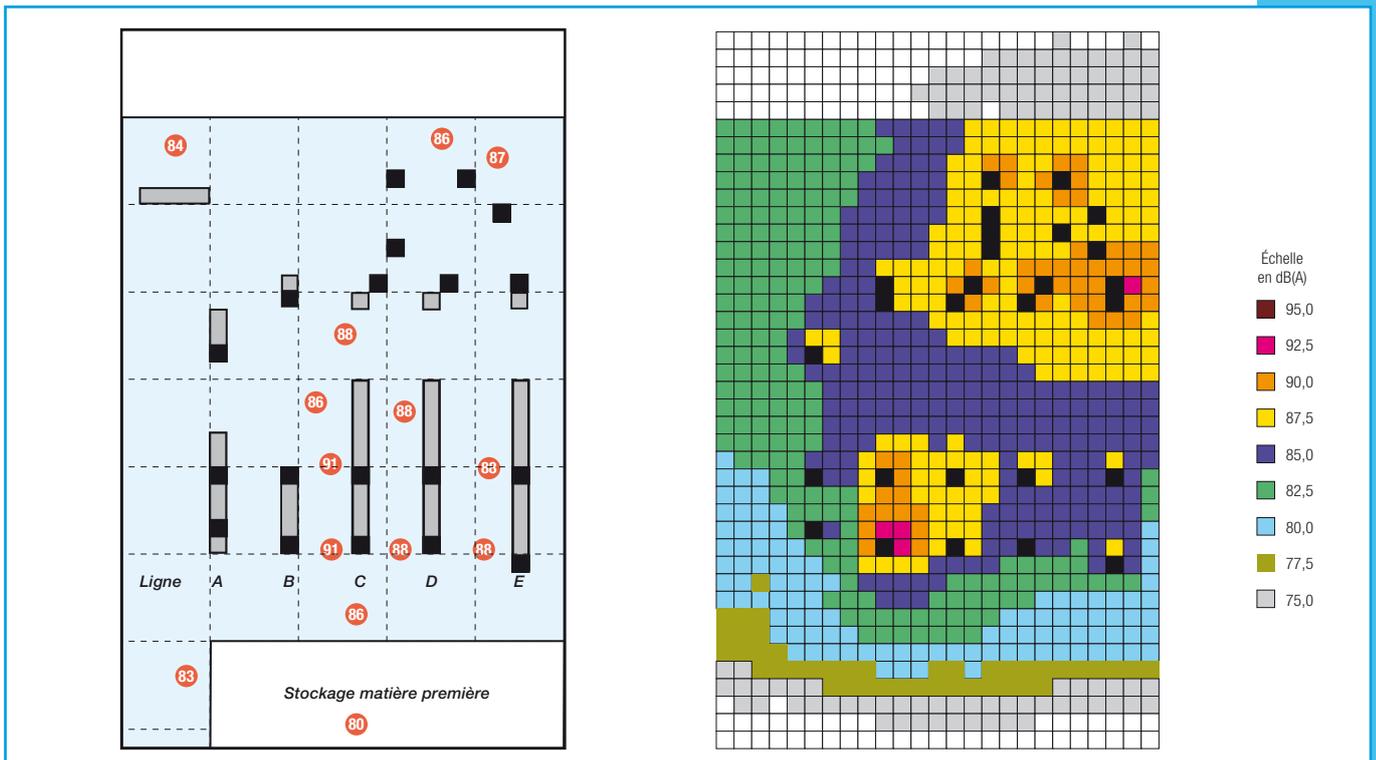


Figure 10. Illustration présentant deux cartes de bruit du même atelier. À gauche, sur un plan d'atelier montrant l'implantation des lignes de production ont été reportés les niveaux du bruit ambiant  $L_{p,A,eqT}$  en dB(A), mesurés durant quelques minutes à des emplacements fixes de travail. À droite, une carte en couleur illustre le résultat d'un calcul d'acoustique prévisionnel appliqué à cet atelier (les machines correspondent aux carrés noirs et le bruit est calculé dans chaque carré de 1 m de côté; source : INRS).

Il ne faut donc pas assimiler une « carte du bruit d'un atelier » à une « carte d'exposition au bruit pour les travailleurs présents dans cet atelier ». Si ce type de représentation est utile comme support de communication et d'analyse, ne serait-ce que pour localiser les sources les plus bruyantes, son interprétation doit rester dans les limites des hypothèses qui ont conduit à sa construction.

## 2.7. Travaux imposant l'usage d'un casque de communication

Dans des secteurs professionnels tels que les centres d'appels, certains services de logistique, certains métiers du son, des travailleurs portent tout au long de leur journée de travail un casque de communication. Dans ces situations, il est possible que l'exposition au bruit résulte de façon prépondérante du niveau de bruit qu'ils reçoivent par le casque de communication. L'évaluation de l'exposition au bruit ne peut donc pas être effectuée par la métrologie classique, comme c'est le cas à l'aide d'un microphone de mesure placé à environ 20 cm de l'oreille.

L'évaluation de l'exposition peut s'appuyer sur d'autres méthodes normalisées<sup>3</sup>, mais la mise en œuvre de ces méthodes est complexe et impose l'intervention d'un organisme de mesure spécialisé.

### 3. Signalons deux méthodes normalisées :

- la méthode MIRE (Microphone In Real Ear, microphone placé dans une oreille réelle), qui consiste à placer un microphone miniature dans le conduit auditif du sujet ;
- une technique de mesure par substitution : à l'aide d'un mannequin comprenant un système électronique de simulation de l'oreille humaine, on peut mesurer le bruit reçu sous un casque d'écoute.

## 2.8. L'affaiblissement acoustique des PICB

Le port d'un protecteur individuel contre le bruit (PICB) est un **moyen de dernier recours**, par rapport aux mesures techniques de réduction collective des risques liés à l'exposition au bruit professionnel. Dans ce cas, la réglementation impose de ne jamais dépasser la valeur limite d'exposition (VLE) fixée par le niveau de 87 dB(A), compte tenu de l'affaiblissement acoustique du PICB.

Pour caractériser l'exposition au bruit d'un travailleur qui porte un PICB, on utilise la **notion de bruit effectif**. Le niveau du bruit effectif ne doit jamais dépasser la VLE de 87 dB(A). Mais comment estimer le niveau du bruit effectif ?

**L'estimation du niveau du bruit effectif pose deux difficultés.** Il s'agit de soustraire au niveau d'exposition quotidienne au bruit l'affaiblissement acoustique dont bénéficie le travailleur équipé du PICB :

- la première difficulté vient du fait que pour soustraire exactement de telles valeurs, il faudrait tenir compte de la composition fréquentielle du bruit d'exposition, qui reste généralement inconnue ;
- la seconde difficulté vient du fait que l'affaiblissement acoustique dont on peut bénéficier par le port d'un PICB en situation réelle n'est pas connu ; on ne dispose que des valeurs d'affaiblissement acoustique déclarées, disponibles sur les emballages des PICB.

La réglementation s'appuie sur une **norme (ISO 4869-2)** qui indique comment calculer des indices simplifiés d'affaiblissement acoustique (valeurs H, M, L et SNR), permettant de fournir une réponse approximative pour lever la première difficulté.

Par ailleurs, **l'utilisation directe des valeurs d'affaiblissement acoustique déclarées des PICB pose un problème d'importance.** Ces valeurs résultent de mesures normalisées effectuées en laboratoire dans des conditions « idéales ». Elles permettent de comparer les performances maximales des différents PICB. Mais au travail, **dans les conditions réelles d'utilisation, l'affaiblissement acoustique** réellement procuré par le port **d'un PICB peut être nettement inférieur aux valeurs déclarées.** Ceci a été largement mis en évidence dans différentes études internationales ayant évalué l'affaiblissement *in situ*, ainsi que l'a montré une bibliographie récente<sup>4</sup>. Les raisons de la « perte » d'affaiblissement acoustique sont multiples :

- les contraintes du travail, qui imposent des déplacements et des mouvements de la tête ;
- les facteurs humains, qui laissent place à une mauvaise mise en place du PICB ;
- la qualité du PICB, qui peut présenter des disparités de fabrication et se dégrader dans le temps ;
- le bruit reçu en situation réelle de travail, qui est nécessairement très différent (dans sa composition spectrale, sa variabilité en temps, etc.) du bruit généré lors des essais de laboratoire.

En pratique, ceci conduit à la **conclusion suivante** : par rapport aux valeurs déclarées, l'affaiblissement acoustique réellement procuré à un travailleur peut être estimé inférieur de 5 à 15 dB environ, selon les types de PICB et la façon de s'équiper. Compte tenu de ce fait et afin d'éviter de croire à un niveau de protection qui serait illusoire, l'INRS propose de calculer le niveau du bruit effectif selon une recommandation spécifique.

4. La référence de cette étude a été indiquée dans la rubrique « Pour en savoir plus ».

### Usage de PICB : recommandation de l'INRS

La recommandation de l'INRS a été présentée dans la collection « Fiches pratiques de sécurité » et a pour titre *Application de la réglementation sur le bruit et usage de protecteurs individuels contre le bruit (PICB). Recommandation de l'INRS* (réf. INRS ED 133). Son usage pratique s'effectue à l'aide d'une calculatrice (sous Excel), téléchargeable sur le site INRS (voir l'adresse complète à la rubrique « Pour en savoir plus »). Se référer à la fiche pratique relative aux PICB et à la calculatrice qui l'accompagne pour estimer le niveau du bruit effectif et appliquer la réglementation sur le bruit en cas d'usage d'un PICB.

Dans la présente brochure, centrée sur le mesurage de l'exposition au bruit, il faut souligner que le non-dépassement de la VLE de 87 dB(A) compte tenu du port d'un PICB n'annule pas la mise en œuvre des actions de prévention rappelées en 1.1 et imposées par le dépassement des seuils d'action réglementaires de 80 et 85 dB(A), mesurés en  $L_{EX,8h}$  sans prise en compte des PICB.

Toutefois, lors du mesurage du bruit d'exposition, la prise en compte de la VLE avec les PICB suggère **deux recommandations** :

- prévoir la réalisation de mesures du niveau de pression acoustique continu équivalent simultanément en pondération A et en pondération C, parce que la connaissance de ces deux valeurs est demandée dans la méthode normalisée (ISO 4869-2) d'estimation du bruit effectif;
- lorsque le PICB est porté uniquement lors d'activités particulièrement bruyantes, prévoir de scinder la journée en différentes phases pour réaliser le mesurage d'exposition. En effet, les phases de travail avec port de PICB doivent être identifiées spécifiquement afin de pouvoir estimer le bruit effectif, compte tenu du port du PICB, lors de ces phases d'activités.

## 2.9. Comment s'y retrouver dans les appareils de mesure ?

Le mesurage de l'exposition professionnelle au bruit peut être effectué avec des sonomètres intégrateurs ou avec des exposimètres. Ces appareils intègrent les variations du bruit durant le temps et se distinguent par leurs caractéristiques métrologiques.

Les **exposimètres** (ou dosimètres) sont autonomes et portés en permanence par le travailleur exposé au bruit durant une journée de travail. Leur usage est indispensable pour contrôler des opérateurs très mobiles. La plupart des exposimètres sont livrés avec un logiciel permettant de visualiser et d'analyser toute la série chronologique du bruit mesuré, ce qui est très utile pour valider le résultat global de la mesure. Avec des dosimètres simples, ne restituant que le niveau de bruit global, toute validation du résultat par examen de la série chronologique est impossible.

Les **sonomètres intégrateurs** sont des appareils dédiés à l'analyse du bruit, ayant des fonctions de mesure multiples. Ils sont plus précis que les exposimètres, mais leur mise en œuvre impose la présence d'un technicien qui doit veiller, durant la totalité du temps de mesurage, à maintenir le microphone de mesure à moins de 40 cm de la tête du travailleur.

Les sonomètres non intégrateurs ne doivent pas être utilisés pour des mesures d'exposition.

**Faut-il choisir un appareil de mesure qui est doté de la pondération A et de la pondération C ?** Cette question doit être clarifiée :

- tous les appareils de mesures actuels de type exposimètre et sonomètre intégrateurs disposent de la pondération A pour mesurer le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A et

de la pondération C pour mesurer simultanément le niveau de pression acoustique de crête. Ils permettent donc d'effectuer tous les mesurages requis par les seuils d'action réglementaires spécifiés par  $L_{EX,8h}$  et  $L_{p,C,peak}$  :

■ la valeur limite d'exposition compte tenu du port d'un PICB s'apprécie si le niveau de pression acoustique continu équivalent a été mesuré également en pondération C ou si l'on dispose d'une information relative au contenu spectral du bruit (indiquée par l'écart  $L_{p,C,eqT} - L_{p,A,eqT}$ ). Les niveaux acoustiques continus équivalents mesurés en pondération C et en pondération A, notés ici  $L_{p,C,eqT}$  et  $L_{p,A,eqT}$  sont utiles pour appliquer la méthode HML ou SNR d'estimation du bruit effectif.

La question posée concerne donc le mesurage du niveau de pression acoustique continu équivalent : il est souhaitable de mesurer le niveau continu équivalent simultanément en pondération A et en pondération C en cas d'usage d'un PICB, afin d'estimer le niveau du bruit effectif et de montrer le non-dépassement de la valeur limite d'exposition réglementaire de 87 dB(A) compte tenu du port d'un protecteur individuel contre le bruit.

Le mesurage du niveau de pression acoustique continu équivalent à la fois en pondération A et en pondération C est possible avec différents sonomètres intégrateurs, ainsi qu'avec certains exposimètres récents. Leur achat est donc conseillé. En cas d'usage d'exposimètres anciens, seule la pondération A est disponible pour ce mesurage : l'application de la VLE avec un PICB reste possible, mais l'estimation du bruit effectif est peu précise avec ce type d'appareil.

L'évaluation et le mesurage de l'exposition au bruit professionnel commencent avec ce chapitre. Il introduit les trois méthodes disponibles, qui sont présentées respectivement dans les chapitres 4, 5 et 6. L'objectif est de montrer comment ces trois méthodes s'articulent, puis d'identifier la population des travailleurs concernés par le risque bruit.

## 3.1. Adopter une démarche en trois niveaux

Le mesurage des niveaux d'exposition au bruit professionnel est une opération qui peut être longue et complexe. Aussi est-il recommandé d'**appliquer une approche qui combine trois méthodes, allant d'une estimation rudimentaire au mesurage précis**, normalisé.

Les méthodes simplifiées permettent d'identifier les situations « certaines » : celles où de manière évidente il n'y a pas de risque, et celles où le risque est certain. Dans ce dernier cas, l'énergie disponible peut être plus judicieusement employée à diminuer le risque qu'à le quantifier de façon fine.

En revanche, dans les situations où il y a doute, près des seuils d'action réglementaires, il est indispensable de quantifier précisément le risque. Il en est de même si le mesurage est effectué sur demande de l'inspection du travail.

Sur la base de ces principes, **trois méthodes d'estimation** sont proposées :

- **L'estimation sommaire du risque** : sans aucune mesure, elle se fonde sur un questionnaire relatif aux possibilités de communiquer dans le bruit, très simple d'emploi, ou sur des informations bibliographiques ;
- **L'évaluation simplifiée** : quand on dispose d'une indication sur les niveaux de bruit et sur les durées des phases d'exposition, une méthode fournit immédiatement une idée sur l'ampleur du risque bruit, celle des « points d'exposition » ;
- **Le mesurage d'exposition normalisé** : cette méthode est conforme à la norme de mesurage et doit être appliquée quand un résultat précis est nécessaire. Elle impose le mesurage d'échantillons représentatifs et spécifie comment estimer l'incertitude du résultat.

Dans une entreprise spécifiée, il est recommandé d'utiliser ces trois méthodes de façon conjointe, afin d'économiser les efforts de mesurage. Cette recommandation vise à réserver les moyens disponibles pour le mesurage quand les deux premières méthodes ne permettent pas de conclure.

Ces trois méthodes se complètent selon le schéma de la *figure 11 (voir page suivante)*. L'estimation sommaire du risque fait l'objet du chapitre 4. L'évaluation simplifiée est présentée au chapitre 5. Le mesurage normalisé fait l'objet du chapitre 6 (préparation et réalisation des mesures) puis du chapitre 7 (comprendre et exploiter les résultats des mesures).

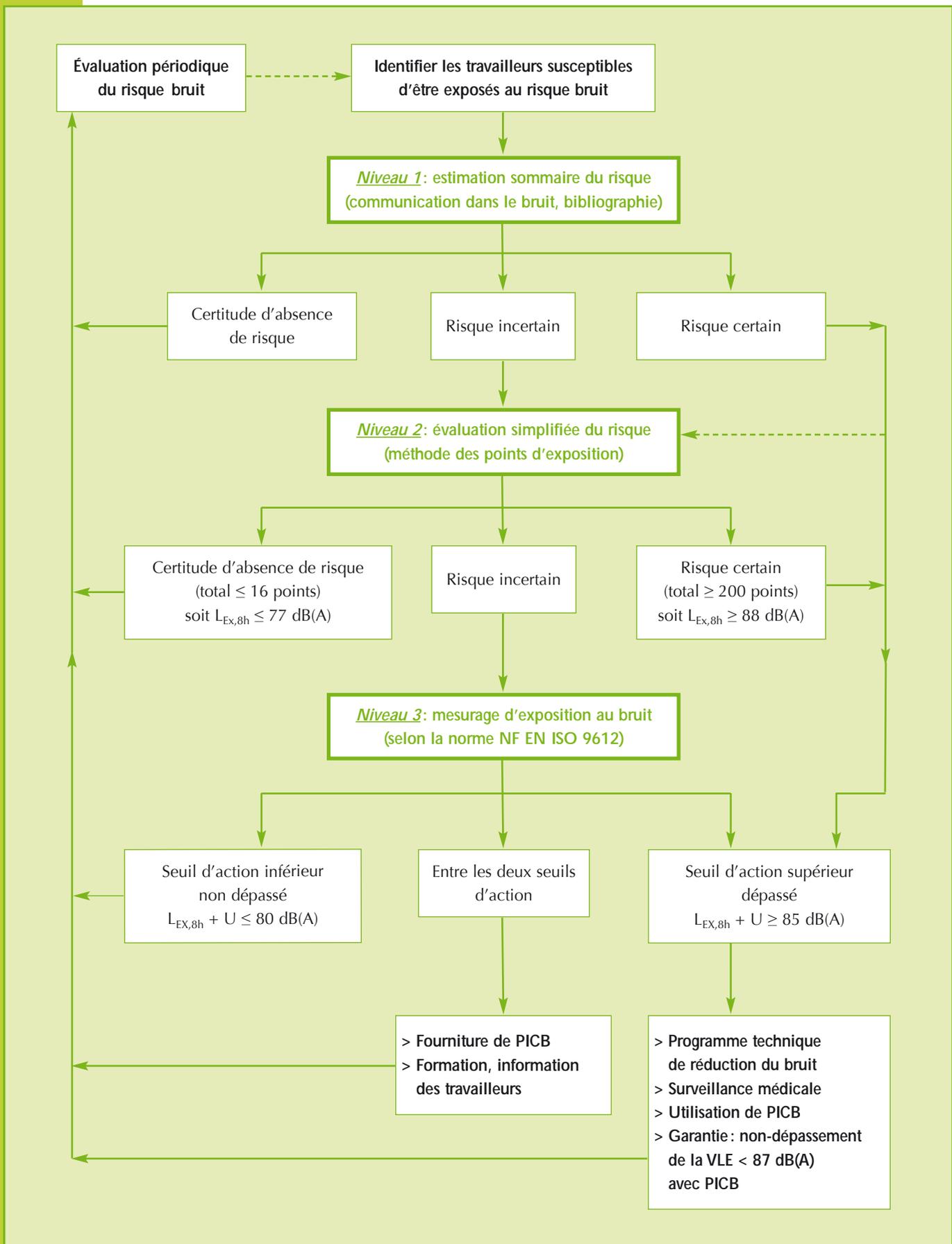


Figure 11. Diagramme montrant comment l'évaluation du risque peut se faire en adaptant graduellement les méthodes disponibles.

## 3.2. Identifier la population susceptible d'être exposée

Avant de quantifier le niveau de risque lié au bruit, il faut identifier quels sont les travailleurs susceptibles d'être exposés. Ensuite, il faut identifier parmi eux ceux qui doivent faire l'objet d'une évaluation ou d'un mesurage des niveaux de bruit auxquels ils sont exposés. Afin de faciliter cette identification, il est recommandé d'appliquer un critère de non-exposition certaine.

### Critère de non-exposition certaine

Il cumule deux conditions simultanées :

- communication aisée à voix normale entre collègues de travail situés à 1 m de distance ;
- absence d'événements acoustiques rares et intenses sur le lieu de travail (chocs métalliques, détonations d'air comprimé, alarmes à fort niveau, etc.).

Dans cette phase d'identification, on veillera à n'oublier personne. Il pourra être judicieux d'appliquer ces critères aux personnes présentes de façon non permanente dans les ateliers ou les lieux de travail bruyants (agents de maintenance ou d'entretien, maîtrise d'atelier, personnels affectés aux tâches annexes, etc.).

Par ailleurs, le constat par le médecin du travail d'atteintes auditives anormales parmi un groupe de travailleurs peut inciter à objectiver le risque lié au bruit auquel ce groupe est exposé.

## 3.3. S'appuyer sur l'évaluation des risques de l'entreprise

L'évaluation globale des risques professionnels présents dans une entreprise est une obligation légale qui inclut le risque bruit. Elle conduit l'employeur à rédiger le « document unique » qui doit être mis à jour annuellement ou suite aux aménagements importants modifiant les conditions de travail.

Ces mises à jour annuelles sont des occasions pour évaluer le risque lié au bruit au regard de l'organisation du travail et de ses modifications. Bien évidemment, la fiche d'entreprise établie par le médecin du travail offre aussi une occasion pour évaluer le risque lié au bruit professionnel.

**En cas de mesurage des niveaux de bruit, la réglementation impose qu'il soit renouvelé au moins tous les cinq ans.** Quand la population exposée au bruit dans une entreprise est nombreuse, cette disposition ne signifie pas qu'il faille contrôler toute la population en même temps, puis ne rien faire ensuite durant cinq ans. Il est préférable, au contraire, de scinder la population à contrôler en plusieurs groupes et de répartir sur cinq années le contrôle des différents groupes. Il vaut mieux effectuer année par année un bilan fiable limité à quelques groupes, plutôt que d'effectuer un bilan global une fois tous les cinq ans.

Ce chapitre montre comment estimer l'ampleur du risque bruit, sans mesures ni connaissances spécifiques sur le bruit, à l'aide de tests de communication dans le bruit et en consultant des données disponibles. Cette première méthode d'estimation est sommaire, mais peut identifier, parmi différents groupes de travailleurs, quels sont ceux pour lesquels une estimation plus précise s'impose.

## 4.1. Quand appliquer une estimation sommaire ?

Quand on ne connaît rien du risque lié à l'exposition professionnelle au bruit, il est recommandé de commencer par une estimation sommaire. Elle est qualifiée de « sommaire » parce qu'elle n'implique la réalisation d'aucune mesure du bruit professionnel. Elle s'appuie sur des questions relatives à la possibilité de communiquer entre collègues dans le bruit, ou sur des données bibliographiques, informations qui suffisent souvent pour distinguer les situations de risque certain des situations sans risque. Bien entendu, entre ces deux cas, quand le risque est incertain, une méthode d'évaluation du risque plus précise sera indispensable.

## 4.2. Test de communication dans le bruit

Un test très simple, basé sur la possibilité de communiquer dans le bruit, peut fournir une idée approximative du niveau du risque lié au bruit. Il dépend de la distance entre deux interlocuteurs et du niveau de la voix.

Ce test permet d'identifier les situations de risque certain et celles où l'absence de risque peut être considérée comme certaine.

Figure 12. Test basé sur la possibilité de communiquer dans le bruit, afin d'évaluer l'ampleur du risque 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, discothèque
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.

La qualification du niveau de risque mentionnée à la *figure 12* correspond à des situations d'exposition au bruit permanentes ou quasi permanentes durant la journée de travail. Qu'en est-il si un bruit intense n'est pas émis de façon permanente ou si la durée d'exposition quotidienne au bruit est partielle ?

Si le bruit intense est du type « événement acoustique », tel que du martelage ou l'usage ponctuel de certaines machines extrêmement bruyantes (broyeurs, marteaux-piqueurs, etc.), même si la durée quotidienne d'utilisation de ces sources de bruit est limitée à quelques minutes, il faut considérer que le risque est certain. De tels événements peuvent générer des niveaux de bruit de 105 dB(A) et si la durée d'exposition à ce niveau se prolonge durant 15 minutes par jour, le tableau de la *figure 9* (voir p. 19) montre que ceci conduit à 320 points, ce qui équivaut à 90 dB(A) durant 8 heures, soit un niveau de risque certain.

Toutefois, si une phase bruyante qui serait classée en niveau de risque certain par le test précédent ne comprend aucun événement acoustique rare et reste limitée en durée quotidienne à moins de 10 % du temps, alors le risque peut être réduit et considéré comme incertain.

### 4.3. Données bibliographiques d'exposition

Il est possible aujourd'hui de consulter des données d'exposition au bruit professionnel, par secteur d'activité et par métier. C'est le cas du tableau de la *figure 13*, qui reproduit des informations extraites d'une base de données d'exposition au bruit, élaborée et mise à jour par la caisse nationale suisse d'assurance accident, la SUVA. Cette base de données sur le bruit professionnel est accessible à tout public.

La **base de données de la SUVA** comprend **66 tableaux de niveaux 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](http://www.suva.ch/waswo/86005).

Bien entendu, les valeurs de ces tableaux sont indicatives. Elles ne prétendent pas refléter la diversité des conditions d'exposition au bruit d'un métier spécifié. Mais combinées avec un questionnaire sur la possibilité de communiquer dans le bruit, ces informations peuvent être utilisées pour établir une estimation sommaire du risque.

*Figure 13. Exemples de données indicatives sur l'exposition au bruit par métier, pour quelques secteurs d'activité (source : SUVA, Suisse).*

Secteur d'activité	Métier, poste de travail	Niveau de bruit L <sub>EX,8h</sub> 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

La deuxième méthode d'évaluation du risque bruit est basée sur des points d'exposition. Elle est applicable lorsque le travail peut être décomposé en plusieurs phases d'exposition, chacune étant caractérisée par un niveau de bruit et une durée quotidienne. Il s'agit d'une méthode simplifiée, aisée à mettre en œuvre, applicable avec des données initiales limitées. Elle fournit cependant un résultat qui permet immédiatement de savoir si des mesures d'exposition précises sont nécessaires (objet du chapitre 6).

## 5.1. Quand appliquer une évaluation simplifiée ?

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.

L'application de l'évaluation simplifiée impose d'estimer, pour chaque phase bruyante, deux grandeurs : le niveau du bruit et la durée totale quotidienne. Elle permet alors d'en déduire très simplement **deux résultats** :

- une **estimation de l'exposition totale au bruit** ;
- 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.

L'évaluation simplifiée peut être utilisée aussi lorsqu'une variable caractéristique d'une phase bruyante (son niveau de bruit ou sa durée quotidienne) est inconnue, imprécise ou très difficile à évaluer. Dans ce cas, en fixant *a priori* un critère de risque spécifié (par exemple 85 dB(A) pour 8 heures), l'évaluation simplifiée permet d'indiquer la valeur maximale de la variable inconnue compatible avec le respect du critère de risque spécifié.

Cette évaluation reste « simplifiée ». Elle fournit un résultat sans requérir les calculs complexes de la méthode normalisée, sans estimer son incertitude. Il faudra en tenir compte dans l'interprétation du résultat : à proximité immédiate des seuils d'actions réglementaires de 80 et 85 dB(A), l'évaluation simplifiée sera insuffisante pour conclure au dépassement (ou non-dépassement) des seuils d'actions, le mesurage d'exposition au bruit selon la méthode normalisée s'imposera.

## 5.2. Calcul simplifié d'exposition sonore partielle

Quand la journée de travail d'un opérateur comprend plusieurs phases d'exposition au bruit, l'évaluation simplifiée du risque bruit par la méthode des points d'exposition s'applique selon les étapes suivantes :

- décomposer la journée de travail en plusieurs phases d'exposition ;
- estimer pour chaque phase de travail un niveau de bruit en dB(A) et une durée totale quotidienne ;

- lire dans le tableau de la *figure 9* (voir p. 19) les points correspondants au niveau et à la durée de chaque phase ;
- additionner les points de toutes les phases de travail ;
- trouver dans la colonne « 8 h » le nombre de points le plus proche ; le niveau de bruit global  $L_{p,A,eq,8h}$  est celui indiqué dans la colonne de gauche.

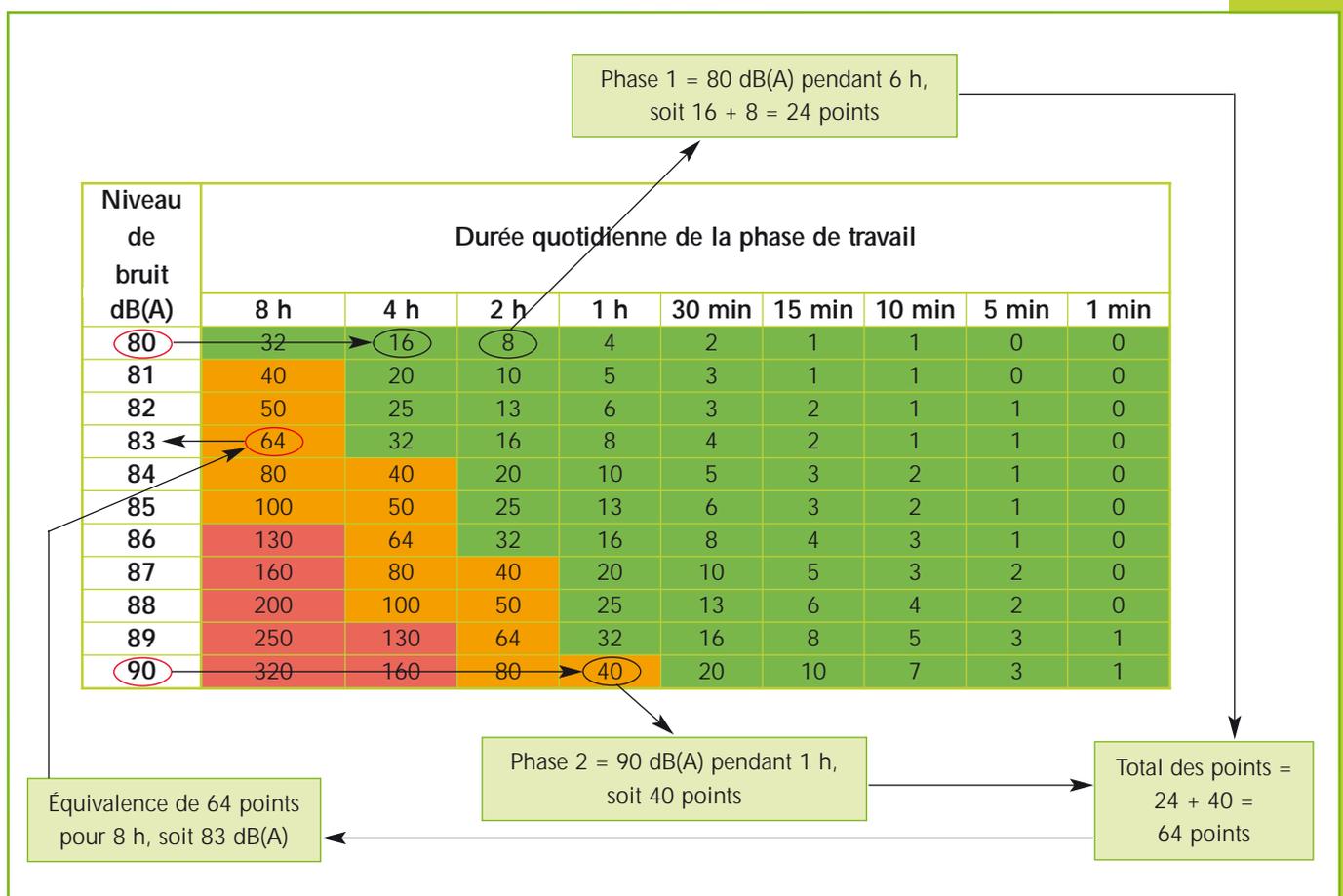
La *figure 14* fournit un **exemple**, avec un travail comprenant deux phases d'exposition :

- phase 1 = 80 dB(A) pendant 6 heures ;
- phase 2 = 90 dB(A) pendant 1 heure.

Pour calculer les points de la phase 1, il faut combiner les durées disponibles sur le tableau afin d'arriver à 6 heures. Sur une ligne spécifiée, toutes les additions et soustractions de durées (et de leurs équivalents en points d'exposition) sont possibles. Dans cet exemple, on considère que 6 h = 4 h + 2 h, et leur équivalence en points a été indiquée sur la figure, soit 16 + 8 = 24 points. On détermine de même que la phase 2 contribue pour 40 points. Le cumul des points des deux phases s'élève à 64, ce qui équivaut sur 8 heures à 83 dB(A).

**Bilan :**

- les deux phases de travail de cet opérateur entraînent une exposition sur 8 heures dont le niveau est estimé égal à 83 dB(A) ;
- la phase 2, bien que de durée limitée à 1 heure, apporte une contribution à l'exposition totale de cet opérateur supérieure à celle de la phase 1.



*Figure 14. Illustration de l'utilisation du tableau des « points d'exposition » (voir chapitre 2.5) pour combiner deux phases d'exposition. Phase 1 : 6 heures à 80 dB(A). Phase 2 : 1 heure à 90 dB(A). Bilan global : ceci équivaut à une exposition de 8 heures à 83 dB(A).*

### 5.3. Intérêt pour hiérarchiser les phases d'exposition

L'intérêt majeur du calcul simplifié de l'exposition sonore partielle est de quantifier simplement le poids respectif de plusieurs phases d'exposition, ce qui permet d'orienter les actions correctives. En effet, entre chaque phase, leur nombre de points d'exposition est comparable immédiatement. De plus, il est possible de simuler l'impact d'une action de correction.

Illustrons l'intérêt de cette démarche par l'exemple d'un atelier de menuiserie. Dans cet atelier, tous les travailleurs utilisent les machines suivantes : une corroyeuse, des scies de plusieurs types, une toupe, des ponceuses. Leur bilan d'exposition a été établi en distinguant la phase la plus bruyante, l'usage de la corroyeuse, ce qui conduit aux valeurs de la figure 15.

Figure 15. Évaluation simplifiée de l'exposition au bruit d'un groupe de menuisiers.

Phase de travail	Niveau $L_{p,A,eqT,m}$ dB(A)	Durée quotidienne $T_m$	Points d'exposition*	Contribution de chaque phase à l'exposition totale
Corroyage	96	40 min	107	52 %
Usage des autres machines à bois	88	3 h	75	36 %
Assemblages	82	3 h 20	21	10 %
Approvisionnement et nettoyages	80	1 h	4	2 %
<b>Total</b>		<b>8 h</b>	<b>207</b>	<b>100 %</b>
<b>Équivalence sur 8 h du nombre de points en dB(A)</b>			<b>88 dB(A)</b>	

\* L'équivalence en points d'exposition d'une exposition partielle (niveau de bruit et durée) provient de la figure 9 p. 19.

Le bilan d'exposition du tableau de la figure 15 s'élève à 207 points, soit un niveau de bruit équivalent à 88 dB(A) durant 8 heures. Les contributions des phases montrent que l'usage de la corroyeuse explique plus de la moitié de la dose quotidienne de bruit, alors que cette machine n'est utilisée que durant 40 minutes par jour.

C'est donc sur la phase de corroyage qu'il convient d'agir en premier lieu pour réduire l'exposition de ce groupe de travailleurs. L'évaluation simplifiée fait clairement apparaître les priorités qu'il convient d'accorder aux actions de réduction du bruit. De plus, une action de correction peut être simulée, afin de quantifier son impact prévisible dans l'exposition quotidienne des travailleurs concernés.

Supposons que la corroyeuse soit remplacée par une machine plus récente, réduisant le bruit de cette phase de travail de 10 dB(A). Son niveau de bruit s'élèverait à 86 dB(A) au lieu de 96 dB(A) actuellement. Quel gain d'exposition peut-on prévoir d'un tel changement? L'évaluation simplifiée fournit le résultat : avec l'encoffrement, la phase de corroyage correspond à 86 dB(A) pendant 40 minutes, soit 11 points au lieu de 107 précédemment. Le bilan global est réduit d'autant et s'élève donc à 111 points. On peut donc prévoir que ce changement ramènerait l'exposition de ces travailleurs à 85 dB(A).

## 5.4. Le cas des événements acoustiques rares

L'intérêt d'une évaluation simplifiée apparaît **aussi quand le travail comporte une action qui génère un bruit très intense mais demeure épisodique**, avec une durée cumulée limitée à quelques minutes par jour.

C'est le cas en présence de chocs métalliques sporadiques intenses, de détonations d'air comprimé et de diverses activités susceptibles de générer des événements acoustiques rares (une liste est fournie au chapitre 6.3.5). Ces « événements » ont un trait commun : leur quantification est difficile, autant en niveau de bruit qu'en durée quotidienne. De plus, étant rares lors d'une journée de travail, ils risquent d'être oubliés dans l'estimation du risque lié au bruit.

L'évaluation simplifiée permet de quantifier leur impact dans un bilan global d'exposition au bruit. Elle permet en outre de quantifier la sous-estimation de l'exposition qui résulterait d'un mesurage du bruit trop rapide et ignorant la présence d'événements acoustiques rares.

La *figure 16* illustre l'intérêt de l'évaluation simplifiée avec un **exemple** de ce type. Dans un **atelier de construction mécanique**, le travail quotidien des tourneurs est schématisé par trois tâches : le tournage, le contrôle dimensionnel des pièces et le nettoyage de leur machine à l'aide d'une **soufflette à jet d'air comprimé**. Le nettoyage est effectué plusieurs fois par jour, sa durée quotidienne étant estimée à 5 minutes. Les niveaux de bruit et les durées des phases ont fourni les valeurs indiquées sur la *figure 16*. Dans cet exemple, les 5 minutes d'usage de la soufflette de nettoyage génèrent 54 % de la dose totale de bruit à ce poste. Cette tâche annexe contribue plus que la tâche principale à l'exposition totale au bruit.

*Figure 16. Évaluation simplifiée de l'impact d'un événement acoustique rare, celui que provoque l'usage d'une soufflette à jet d'air comprimé.*

Phase de travail	Niveau $L_{p,A,eqT,m}$ dB(A)	Durée quotidienne $T_m$	Points d'exposition*	Contribution de chaque phase à l'exposition totale
Tournage	85	7 h	88	44 %
Contrôles	80	55 min	4	2 %
Nettoyage du tour par soufflette à air comprimé	105	5 min	110	54 %
<b>Total</b>		<b>8 h</b>	<b>202</b>	<b>100 %</b>
<b>Équivalence sur 8 h du nombre de points en dB(A)</b>			<b>88 dB(A)</b>	

\* L'équivalence en points d'exposition d'une exposition partielle (niveau de bruit et durée) provient de la figure 9 p. 19.

Cet exemple permet de tirer **deux conclusions** :

- une évaluation de l'exposition qui ignorerait les 5 minutes de nettoyage fournirait 92 points au lieu de 202 points, soit 85 dB(A) au lieu de 88 dB(A) en équivalent sur 8 heures. La sous-estimation de l'exposition quotidienne à ce poste serait de 3 dB(A) ;
- la réduction de l'exposition au bruit doit prioritairement être ciblée sur la phase de nettoyage : changer de mode opératoire ou changer d'outillage [il existe des soufflettes à jet d'air comprimé insonorisées qui génèrent un niveau de bruit réduit de 10 à 15 dB(A)]. Supposons que la soufflette soit remplacée par un aspirateur générant 90 dB(A) au lieu de 105 dB(A). Dans ce cas, l'évaluation

simplifiée montre que le nettoyage se réduit à 3 points au lieu de 110. Ceci conduit à un bilan global de 95 points, équivalent de 85 dB(A) pour 8 heures. L'action corrective permettrait un gain de 3 dB(A) sur le niveau de bruit quotidien à ce poste.

Quand les données utiles pour dresser ce bilan (niveaux de bruit ou durées des événements) sont très imprécises, une autre utilisation de la méthode d'évaluation simplifiée peut être mise en œuvre. Prendre des estimations minimales et maximales pour dresser deux bilans d'exposition et ainsi borner les limites possibles de l'exposition globale. En l'attente de données plus précises, une telle information peut s'avérer fort utile.

## 5.5. Interprétation du résultat de l'évaluation simplifiée

Le résultat d'une évaluation simplifiée peut-il être interprété en termes de non-dépassement ou de dépassement des seuils d'actions réglementaires? La nature même de cette évaluation interdit toute interprétation définitive.

Cependant, on propose ci-après des **critères d'interprétation basés sur des valeurs indicatives**. Les valeurs sont dotées d'une marge d'erreur qui pourrait être élargie selon une appréciation à apporter au cas par cas.

Critère	Interprétation
Nombre total de points $\leq 16$ [soit $L_{Ex,8h} \leq 77$ dB(A)]	Quasi-certitude d'absence de risque
Nombre total de points $\geq 200$ [soit $L_{Ex,8h} \geq 88$ dB(A)]	Risque quasi certain

Si le nombre total quotidien de points est compris entre 16 et 200, le résultat de l'évaluation simplifiée est proche, à 3 dB(A) près, des deux seuils d'actions réglementaires (80 et 85 dB(A) équivalent respectivement à 32 et 100 points). Dans ce cas, des mesures précises s'imposent pour garantir le non-dépassement des seuils d'actions.

Un autre critère peut être proposé quand le nombre de points est supérieur à 200 et que des PICB sont utilisés pour réduire le risque. Toutefois, ce troisième critère ne définit plus une clé d'interprétation mais spécifie une action impérative :

Critère	Action
Nombre total de points $\geq 1000$ [soit $L_{Ex,8h} \geq 95$ dB(A)] avec usage de PICB pour réduire le risque	Assurer la conformité avec la VLE de 87 dB(A) compte tenu du PICB, en vérifiant que son port est correct et effectif.

## 5.6. Résultats de mesures antérieures

Si des mesures d'exposition au bruit ont été effectuées antérieurement, il est clair que les résultats disponibles peuvent être fort utiles dans la démarche d'évaluation simplifiée du risque.

Il est nécessaire de veiller à tenir compte des changements intervenus dans le contenu du travail ou l'organisation de la production.

## 5.7. Que faire d'une carte de bruit ?

Les limites des cartes de bruit en milieu professionnel ont été soulignées (*voir chapitre 2.6*). Aucune méthode normalisée ne spécifiant comment construire une telle carte, il est donc impossible d'interpréter l'information délivrée par une carte de bruit en termes de niveaux d'exposition des travailleurs au bruit.

Toutefois, s'il s'avère qu'une carte de bruit indique un niveau de bruit ambiant mesuré dans les allées d'un atelier, les lois de propagation du bruit permettent d'affirmer que les travailleurs situés près des machines bruyantes sont exposés à un niveau supérieur aux niveaux mesurés dans les allées.

De ce critère découle la règle suivante, qui peut être utilisée pour une évaluation simplifiée du risque : « Si le bruit mesuré dans les allées (ou les zones) excède 85 dB(A), alors les travailleurs sont exposés à leur poste de travail près des machines à un niveau de bruit qui excède 85 dB(A) ; pour eux, le risque bruit est certain si leur exposition à cet emplacement de travail est permanente. » Si le niveau de bruit mesuré dans les allées est inférieur à 85 dB(A), il est impossible d'en déduire une quantification du niveau du risque bruit pour les travailleurs sur machines.

Quand il est nécessaire de déterminer par mesurage le niveau d'exposition quotidienne au bruit, la méthode à appliquer est normalisée. Elle comporte plusieurs étapes, qui sont décrites dans ce chapitre : analyse du travail, sélection d'une stratégie de mesure, réalisation des mesures. La dernière étape, celle de l'analyse des résultats des mesures, fait l'objet du chapitre 7.

## 6.1. Quand appliquer le mesurage normalisé ?

Alors que les méthodes d'évaluation présentées antérieurement ne fournissent que des estimations du risque, le mesurage normalisé s'applique dès que le niveau d'exposition quotidienne au bruit est susceptible d'être **proche des seuils d'actions réglementaires**. Dans ce cas, seules des mesures effectuées dans les conditions normalisées permettront de conclure au non-dépassement des seuils d'actions réglementaires, définis par les niveaux d'exposition quotidienne au bruit de 80 et 85 dB(A) ou par les niveaux de pression acoustique de crête de 135 et 137 dB(C). La norme de mesure garantit que les mesures sont effectuées partout dans des conditions comparables et qu'elles fournissent un résultat dont l'incertitude est connue.

## 6.2. La norme de référence : NF EN ISO 9612

La norme de référence pour déterminer l'exposition au bruit en milieu de travail est la norme NF EN ISO 9612 (2009). Elle comprend **cinq étapes successives de mise en œuvre du mesurage** :

- analyser le travail ;
- sélectionner une des trois stratégies de mesure : par tâche, par métier (ou fonction), par journée ;
- planifier et réaliser les mesures ;
- contrôler les erreurs et les incertitudes de mesure ;
- calculer et présenter le résultat avec son incertitude.

### Spécification ou recommandation ?

La norme NF EN ISO 9612 contient des spécifications et des recommandations. Les spécifications sont à appliquer strictement alors que les recommandations sont utiles sans être impératives. Pour bien distinguer les spécifications des recommandations, tout le chapitre 6, traitant du mesurage selon la norme NF EN ISO 9612, a été rédigé selon le code suivant :

■ **spécifications** de la norme NF EN ISO 9612 : dans tous les passages du texte où l'on parle de « spécification » et quand le texte est rédigé à l'impératif (« il faut déterminer... », « l'analyse doit déterminer... »), il s'agit d'une spécification de la norme NF EN ISO 9612. Parfois, le texte reproduira une citation intégrale entre guillemets du texte de la norme NF EN ISO 9612. Ces spécifications sont d'application impérative ;

■ **recommandations** : le texte indiquera par exemple « il est souhaitable de faire... », « il est possible de... ». Contrairement aux spécifications, ces recommandations constituent des conseils ou des suggestions et n'ont pas de caractère impératif. Les recommandations citées ici émanent dans la plupart des cas de la norme NF EN ISO 9612 et quelquefois de la pratique métrologique de l'INRS.

## 6.3. Analyse du travail : préparation du plan de mesurage

### 6.3.1. Nature des informations à rechercher

La norme exige une analyse du travail « dans tous les cas ». L'analyse du travail « doit fournir les informations nécessaires » pour :

- décrire les activités de l'entreprise et les métiers des travailleurs ;
- définir si nécessaire des groupes d'exposition homogène ;
- déterminer une journée nominale pour chaque groupe de travailleurs ;
- identifier les événements acoustiques rares et intenses éventuels ;
- choisir une des trois stratégies de mesure et établir un plan de mesure.

Qui associer à cette phase d'analyse ? La norme demande de consulter à la fois les travailleurs concernés et l'encadrement, afin de déterminer avec eux une journée nominale.

### 6.3.2. Définition d'une journée nominale

Définir une journée nominale est impératif. « Une journée nominale, comprenant des périodes de travail et des pauses, doit être déterminée en consultation avec les travailleurs et l'encadrement. Le travail doit être étudié afin d'**obtenir une vue d'ensemble** et une compréhension **de tous les facteurs susceptibles d'influencer l'exposition au bruit.** »

Définie comme la journée de travail au cours de laquelle l'exposition au bruit sera mesurée, la journée nominale est « déterminée par l'analyse du travail ». Il peut s'agir, par exemple, « d'une journée type représentant le travail réalisé sur plusieurs jours » ou de « la journée présentant l'exposition au bruit la plus élevée ».

La norme liste les **facteurs qui sont à examiner** :

- les tâches (avec leur nature et leur durée) ;
- les sources principales de bruit et les emplacements de travail bruyants ;
- l'organisation du travail et les événements acoustiques rares, entraînant des modifications dans l'exposition au bruit ;
- les pauses et temps de travail hors milieu bruyant (ainsi que la décision sur leur prise en compte ou non dans la journée nominale, voir en 6.3.4).

Les **informations** relatives à ces facteurs doivent être **insérées dans le rapport de mesure**. La norme ajoute que « tous les indicateurs qui caractérisent le travail en termes de bruit doivent être identifiés, quantifiés et consignés » et cite plusieurs de ces indicateurs : le type de production en cours, les matériaux, les machines et leurs réglages, etc.

Si le bruit varie d'un jour à l'autre, comment comprendre la notion de journée nominale ? Elle ne peut être calquée sur une journée « habituelle » de travail. Dans ce cas, la norme précise que « la journée nominale peut être définie à partir des situations de travail sur plusieurs jours ». Une autre possibilité est d'évaluer le bruit durant une semaine sur la base de mesures effectuées lors de chaque journée.

### 6.3.3. Nature et durée des tâches

S'il est envisagé d'utiliser la stratégie du mesurage par tâche, l'analyse du travail doit aboutir à préciser la nature et la durée quotidienne des tâches. Comment arriver à cet objectif ?

En se référant à la journée nominale, le travail effectué doit être divisé en un nombre limité de tâches représentatives. Il faut veiller à la prise en compte de tous les bruits significatifs. Dans chaque tâche, le travail doit être similaire et le niveau de bruit répétitif et représentatif. Pour un groupe spécifié de travailleurs, il est souhaitable que le nombre des tâches ne soit ni trop réduit, ni trop élevé. Il peut être de cinq environ.

Mais peut-on assimiler une journée de travail à une tâche unique? La norme précise que « chaque tâche doit être définie de telle sorte que  $L_{p,A,eqT}$  présente une bonne répétabilité » et qu'il est « nécessaire de s'assurer que toutes les contributions pertinentes au bruit sont incluses ». Dans la quasi-totalité des cas pratiques, le respect de ces spécifications dans la définition d'une tâche entraîne l'impossibilité d'étendre une tâche unique à une journée de travail entière.

La durée quotidienne totale de chaque tâche doit être déterminée. Comment? Par interview des travailleurs et de la maîtrise, par l'observation et la collecte d'informations sur le processus de travail et sur les activités aux postes de travail proches, etc. La durée des tâches peut être variable d'un jour à l'autre. Ce fait est inhérent à certaines situations de travail. Dans ce cas, la norme suggère les **deux possibilités** suivantes.

#### ■ Traiter la durée comme une variable

Il faut estimer plusieurs valeurs des durées quotidiennes de chaque tâche, en suivant l'une ou l'autre des recommandations suivantes :

- considérer différentes journées de travail puis estimer pour chacune de ces journées les durées totales quotidiennes des tâches ;
- évaluer une durée minimale, une durée maximale et la durée la plus fréquente des tâches.

Ensuite, on saisira toutes les durées estimées. Avec la calculatrice qui accompagne la norme (présentée au chapitre 7.1), la saisie de plusieurs durées par tâche a été prévue et ne pose aucune difficulté. Dans ce cas, le résultat inclut un terme d'incertitude associé à la durée des tâches.

#### ■ Revoir la définition de la journée nominale

L'autre alternative est de définir la journée nominale en prenant en compte une durée moyenne par tâche, estimée sur un ensemble représentatif de journées de travail. Dans ce cas, la durée n'étant plus considérée comme variable lors de la saisie des données, elle n'est associée à aucune incertitude.

### 6.3.4. Pauses et durée totale de travail

Les pauses sont comprises ici comme des temps de repos pendant lesquels les travailleurs ne sont pas exposés à des niveaux sonores élevés. Les pauses ont un intérêt important pour le repos auditif des travailleurs exposés et la préservation de leur audition. Elles font partie intégrante de l'activité de travail et à ce titre elles interviennent dans l'évaluation de l'exposition sonore quotidienne. La question reste de savoir de quelle manière on les prend en compte au niveau de la méthodologie de mesurage.

La première possibilité est de considérer les pauses comme une phase de travail et d'inclure cette phase dans la définition de la journée nominale, impliquant d'étendre le mesurage à cette phase. Dans ce cas, l'estimation du niveau d'exposition quotidienne  $L_{EX,8h}$  sera correcte si la durée quotidienne effective de travail  $T_e$  prend également en compte les pauses. Mais cette procédure peut générer une incertitude élevée, due à l'écart important entre les niveaux sonores mesurés lors des pauses et les niveaux sonores mesurés lors du travail.

Il est donc préférable de considérer les pauses comme une phase, hors journée de travail. Avec cette seconde possibilité, la journée nominale et les mesurages n'incluent plus les pauses. Mais le résultat

final  $L_{EX,8h}$  doit être estimé avec une durée de travail effective  $T_e$  corrigée en conséquence, en lui soustrayant la durée des pauses<sup>5</sup>.

La validité de cette démarche suppose que le niveau du bruit  $L_{p,A,eqT}$  soit inférieur d'au moins 10 dB(A) pendant la pause à celui qu'il est en phase de travail.

### 6.3.5. Événements acoustiques rares

Lors de la préparation du mesurage, il faut identifier les événements acoustiques rares. Leur impact possible dans un bilan d'exposition au bruit professionnel peut être très important, ainsi que le montre la méthode des points d'exposition (*voir chapitre 5.4*).

Pour assurer que les événements significatifs sont bien identifiés, la norme fournit une liste indicative de questions, qui est reproduite dans l'encadré ci-dessous. Une personne connaissant l'entreprise ou l'atelier bruyant à contrôler saura y répondre par « oui » ou par « non ».

Quand des événements acoustiques rares ont été identifiés lors de la préparation du mesurage, il faut ensuite assurer qu'ils seront bien pris en compte dans le mesurage :

- la journée nominale doit inclure ces événements ;
- les mesurages doivent être planifiés pour assurer leur prise en compte.

En présence d'événements acoustiques rares, il est recommandé de sélectionner la stratégie du mesurage par tâches : en identifiant ces événements à une tâche, il est possible de mieux contrôler leur impact dans le niveau du bruit moyen et dans l'incertitude qui lui sera associée.

#### Liste de questions proposée par la norme afin d'identifier la présence d'événements acoustiques rares

##### Ces situations de travail peuvent-elles se produire ?

- Emploi de soufflettes à jet d'air comprimé
- Détentes d'air comprimé
- Martelage
- Chocs intenses
- Usage occasionnel de machines et d'outils très bruyants
- Passage de véhicules bruyants

##### Des opérations très bruyantes peuvent-elles se produire durant des phases particulières ?

- En début de poste
- En fin de poste
- Lors des phases de réglages, d'approvisionnement
- Lors des activités de démarrage et d'arrêt ou pendant la production
- Lors des phases de nettoyage
- Autres

##### Existe-t-il des activités très bruyantes au niveau des postes de travail voisins ?

- Nature
- Postes de travail exposés

5. Quand les pauses sont incluses dans le mesurage, le niveau de bruit mesuré  $L_{p,A,eqT_e}$  est légèrement réduit mais  $T_e$  est la durée totale de la journée de travail ; quand les pauses sont exclues,  $L_{p,A,eqT_e}$  est légèrement accru mais  $T_e$  est raccourci, puisqu'il s'agit de la durée de travail hors pauses. La relation qui lie  $L_{EX,8h}$  à  $L_{p,A,eqT_e}$  et à  $T_e$  (rappelée en annexe) montre que les deux effets s'annulent quand le résultat final est exprimé par  $L_{EX,8h}$ .

### 6.3.6. Groupes d'exposition homogène

Quand on peut supposer que des travailleurs sont exposés au bruit dans des conditions équivalentes durant leur journée de travail, la norme suggère de constituer un groupe d'exposition homogène (GEH). L'intérêt des GEH est de réduire l'effort de mesure à un échantillon représentatif de tous les travailleurs du groupe.

Comment procéder pour composer des GEH? Il faut partir des données générales sur l'entreprise telles que les effectifs, la production, l'organisation du travail, puis décomposer l'entreprise en autant d'entités que nécessaire pour cerner les caractéristiques principales des situations d'exposition au bruit, y compris les phases d'exposition intenses et brèves. Il convient de regrouper ensuite les travailleurs selon leurs métiers ou leurs tâches principales – quand ils sont exposés de façon analogue à des sources de bruit semblables dans un même lieu, des travailleurs constituent un GEH – et, enfin, de vérifier que tous les travailleurs ont bien été affectés à un groupe d'exposition. Il est recommandé d'associer les travailleurs et la maîtrise à la validation des GEH.

La composition de GEH est toujours délicate, aucune méthode ne peut être valide partout. Dans les grands ateliers, il est souhaitable de limiter la taille des GEH à 40 personnes. Au-delà de cet effectif, la norme recommande de définir plusieurs GEH.

Une fiche récapitulative des caractéristiques des GEH est proposée (*voir annexe 2*).

## 6.4. Sélection de la méthode de mesurage

Trois méthodes de mesures sont disponibles : le mesurage par tâche, par métier (ou fonction), par journée entière.

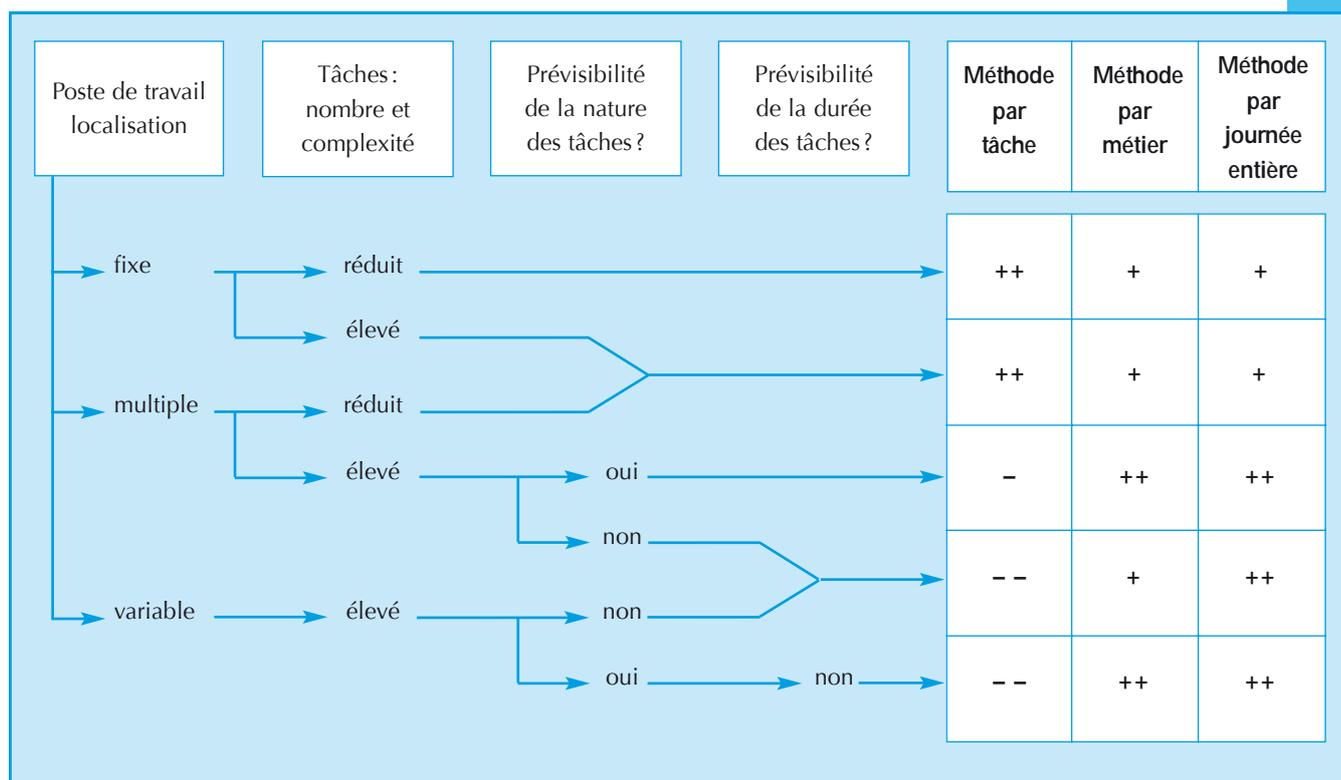
Ces méthodes se définissent en relation aux circonstances de l'exposition au bruit et aux hypothèses appliquées pour contrôler la représentativité des mesures. En cas d'approche par tâche, on suppose que ces circonstances restent identiques quand différents travailleurs effectuent une tâche spécifiée. En cas d'approche par métier (ou fonction), on suppose que les circonstances de l'exposition sont comparables entre travailleurs de même métier et d'un jour à l'autre. En cas de mesurage par journée entière, aucune hypothèse n'est appliquée.

Comment sélectionner une méthode de mesure adaptée? Ce choix dépend notamment de la complexité des situations de travail et des moyens de mesure disponibles.

Pour guider ce choix, on peut tenir compte de plusieurs éléments :

- la **méthode par tâche** demande une analyse détaillée du travail et l'estimation des durées quotidiennes des tâches. Cet investissement dans l'analyse permet de réduire l'effort de mesure. Cette méthode est adaptée quand les tâches sont peu nombreuses, prévisibles et bien localisées, ainsi qu'en cas d'usage non permanent de PICB ;
  - la **méthode par métier (ou fonction)** est adaptée si le travail se répète d'un jour à l'autre et comprend des tâches multiples de durée imprévisible ;
  - la **méthode par journée entière** est particulièrement adaptée quand le travail n'est pas prévisible, qu'il est très varié, impose beaucoup de déplacements et change d'un jour à l'autre.
- Ceci aboutit à des recommandations qui sont résumées sur le diagramme de la *figure 17*.

Figure 17. Diagramme résumant les recommandations utiles au choix d'une stratégie de mesure en fonction des caractéristiques du travail.



Codage de la sélection : ++ = stratégie recommandée ; + = stratégie utilisable ; - = stratégie inadaptée ; -- = stratégie inapplicable

## 6.5. Planification des mesurages

La planification des mesurages répond aux questions suivantes :

- Combien faut-il effectuer de mesures ?
- Quelle doit être la durée de chaque mesure ?
- Comment répartir les mesures parmi les travailleurs et durant le temps de travail ?

Les spécifications normalisées dépendent de la stratégie de mesure choisie.

### 6.5.1. Mesurage par tâche

Des mesurages du bruit spécifiques à chaque tâche doivent être prévus. Ils doivent être séparés afin de « couvrir les variations du niveau de bruit au sein de chaque tâche dans le temps, dans l'espace et dans les conditions de travail ». Si plusieurs travailleurs sont concernés par une même tâche, il est recommandé de répartir les mesures parmi plusieurs travailleurs.

Le nombre minimal de mesures est de trois pour chaque tâche.

Toutefois, des mesures supplémentaires sont nécessaires si les résultats sont trop dispersés. Quand trois mesures ont été réalisées et que leurs résultats diffèrent de plus de 3 dB(A), il faudra effectuer trois mesures supplémentaires (ou revoir le plan de mesure en scindant la tâche, en accroissant la durée de mesure) afin de réduire l'incertitude du résultat final.

La durée élémentaire de chaque mesure doit être au moins de 5 minutes ; elle doit être suffisante pour assurer que le niveau du bruit mesuré  $L_{p,A,eqT,m}$  soit représentatif de l'ensemble de la tâche. Si le bruit durant une tâche est cyclique, « chaque mesure doit durer au moins trois cycles bien définis et la durée d'une mesure ne peut en aucun cas être inférieure à 5 minutes ». Si le bruit fluctue de façon aléatoire durant une tâche, « la durée de chaque mesure doit être suffisamment longue pour assurer que la valeur mesurée  $L_{p,A,eqT,m}$  est représentative de l'ensemble de la tâche ».

En conséquence, la durée de mesure totale par tâche ne peut jamais être inférieure à  $3 \times 5$  minutes, soit 15 minutes.

### 6.5.2. Mesurage par métier

Le plan de mesurage par métier (ou par fonction) est fondé sur une répartition aléatoire des échantillons de bruit, durant la journée nominale de travail et parmi les membres du groupe d'exposition.

L'élaboration du plan de mesurage impose de connaître le nombre de travailleurs composant chaque groupe d'exposition (noté G). Appliquer les quatre étapes suivantes pour définir le nombre, la durée et la répartition des mesures :

- durée totale de mesure : déterminer en premier lieu la durée totale minimale de mesure, à prévoir en fonction de l'effectif G du GEH selon la *figure 18* ;
- nombre de mesures : il doit être de cinq au minimum<sup>6</sup> ; choisir ce nombre en relation avec la durée des mesures, car leur produit doit égaler la durée totale fixée à l'étape 1 ;
- durée de chaque mesure : sélectionner une durée de mesure suffisante pour que chaque mesurage soit représentatif, puis combiner cette durée avec le nombre de mesures ; le produit (durée x nombre de mesures) doit égaler la durée totale fixée à l'étape 1 ;
- répartition des mesures : prévoir de répartir les mesures « de manière aléatoire parmi les membres du groupe et parmi la durée de la journée de travail ».

Nombre des travailleurs G du groupe d'exposition homogène	Durée totale minimale de mesure à répartir parmi les membres du groupe
$G \leq 5$	5 h
$5 < G \leq 15$	$5 \text{ h} + (G - 5) \times 0,5 \text{ h}$
$15 < G \leq 40$	$10 \text{ h} + (G - 15) \times 0,25 \text{ h}$
$G > 40$	17 h ou scinder le groupe

*Figure 18. Durée totale minimale de mesure (= nombre de mesures x durée de chaque mesure) à appliquer à un groupe d'exposition homogène comprenant G travailleurs.*

Voici un exemple de plan de mesurage concernant un groupe de travailleurs de même métier et composé de quatre personnes. La *figure 18* impose de prévoir dans ce groupe des mesures dont la durée totale doit être, au minimum, de 5 heures. Compte tenu du matériel de mesure disponible, cinq mesures d'une durée élémentaire de 1 heure seront réalisées.

Comment gérer le caractère aléatoire de la répartition des mesures ? La norme ne répond pas explicitement mais l'exigence d'une répartition aléatoire entraîne, à l'évidence, l'interdiction d'un regroupement de toutes les mesures, soit dans le temps, soit sur un seul membre du groupe des travailleurs concernés. On veillera au contraire à disperser le plus possible les mesures, à la fois durant la journée nominale de travail et parmi les membres du GEH, compte tenu de contraintes pratiques.

<sup>6</sup>. Il peut être judicieux de prévoir d'emblée un nombre de mesures plus élevé (dix par exemple), car la norme recommande d'effectuer plus de cinq mesures si l'écart entre valeur mesurée maximale et minimale est supérieur à 6 dB(A), afin de réduire l'incertitude U du résultat final.

### 6.5.3. Mesurage par journée complète

« Lorsque cette stratégie de mesurage est utilisée, il est nécessaire de s'assurer que les jours choisis sont représentatifs de ce qui est défini comme la situation de travail pertinente » pour évaluer l'exposition au bruit.

Chaque mesure doit durer pendant la totalité d'une journée de travail. Si cela n'est pas faisable pour des raisons pratiques, « il convient d'effectuer les mesurages sur une partie de la journée aussi importante que possible couvrant toutes les périodes significatives d'exposition au bruit ».

Le nombre de mesures doit être au minimum de trois. Toutefois, au terme de trois journées complètes de mesurage, si les résultats diffèrent de plus de 3 dB(A), la norme impose d'effectuer le mesurage de deux journées complètes supplémentaires.

Ce type de mesurage s'effectue en équipant les travailleurs d'un exposimètre. Ceci ouvre des possibilités d'artefacts de mesure (les cris ou les chocs mécaniques sur le microphone de mesure) qu'il faut éviter. Pour limiter ces possibilités, lors de la préparation et de la réalisation des mesurages, il est recommandé :

- d'informer les travailleurs du but du mesurage et de leur expliquer la conduite à tenir pour éviter ces artefacts ;
- d'observer le travail effectué lors des mesurages ;
- d'effectuer des mesures de bruit ponctuelles complémentaires.

Au terme des mesurages, la norme recommande de valider les résultats par une analyse des séries chronologiques (*voir chapitre 6.7.7*).

### 6.5.4. Mesurage sur une semaine : $L_{EX,40h}$

Quand les circonstances de l'exposition au bruit changent d'un jour à l'autre en entraînant des variations notables entre journées, la réglementation prévoit la possibilité d'utiliser le niveau d'exposition hebdomadaire au bruit.

Pour estimer le niveau d'exposition hebdomadaire au bruit, deux techniques sont disponibles :

- le mesurage par tâche, qui sera basé sur une analyse du travail effectué au cours d'une semaine conduisant à une définition des tâches et de leur durée hebdomadaire ; dans ce cas, il est souhaitable de prévoir de répartir les mesurages durant la semaine ;
- le mesurage du niveau d'exposition quotidienne de chacun des jours travaillés de la semaine.

La planification des mesurages devra être prévue en conséquence du choix de la technique qui sera mise en œuvre.

## 6.6. Choix d'appareils de mesure

La norme NF EN ISO 9612 spécifie que les mesures d'exposition doivent être effectuées soit avec un exposimètre, soit avec un sonomètre intégrateur (*voir chapitre 2.9*). Cette spécification exclut les sonomètres simples, non intégrateurs.

Elle précise que les exposimètres peuvent être employés dans toutes les situations d'exposition. Elle ajoute que les exposimètres sont préférables pour des mesures de longue durée lorsqu'il s'agit de

contrôler un travailleur dont le poste de travail est très mobile ou ayant un travail complexe et imprévisible. Afin d'éviter les fausses contributions, liées par exemple à des chocs sur le microphone ou à des courants d'air, il est recommandé d'équiper le microphone d'une bonnette antivent.

Les sonomètres intégrateurs peuvent être utilisés pour contrôler des travailleurs dont le poste de travail est relativement fixe.

## 6.7. Réalisation des mesures

### 6.7.1. Vérification de l'appareillage

Sur le site des mesures, une vérification de l'appareillage doit être effectuée avant et après chaque série quotidienne de mesures. Cette vérification s'effectue à l'aide d'un calibre acoustique. Elle consiste à comparer la valeur mesurée par l'appareil de mesure à la valeur de référence fournie par le calibre au début de chaque série quotidienne de mesurages. En fin de journée de mesures, on doit effectuer la même vérification. Si un écart supérieur à 0,5 dB apparaît entre le début et la fin des mesurages, les mesures effectuées lors de cette journée doivent être annulées.

### 6.7.2. Durée d'intégration élémentaire

Lorsque le mesurage est réalisé à l'aide d'un appareil doté de mémoire, les mesures peuvent être constituées de séries chronologiques. Avant de débiter l'acquisition d'une série chronologique, il faut sélectionner une durée d'intégration élémentaire  $dt$  parmi celles qui sont disponibles avec l'appareil utilisé (elles peuvent être de 125 ms, 1 s, 10 s ou 1 min par exemple). Comment choisir la valeur du paramètre  $dt$ ? Ce choix est sans effet sur le niveau de bruit  $L_{p,A,eqT}$  global de la série chronologique de durée  $T$ . Par contre, les variations des niveaux de bruit élémentaires seront d'autant plus visibles que  $dt$  sera petit. Il en découle la recommandation suivante : fixer la durée d'intégration élémentaire  $dt$  à la valeur de 1 s, afin de bien faire apparaître les variations de bruit et de rendre plus aisée l'identification d'éventuels artefacts de mesure (voir chapitre 6.7.7).

### 6.7.3. Position du microphone de mesure

Durant des mesures d'exposition au bruit, la position du microphone doit respecter les spécifications normalisées suivantes.



Figure 19. Placement normalisé du microphone de mesure lors de mesures par exposimètre.

#### En cas d'usage d'un exposimètre

Le microphone doit être situé sur l'épaule à au moins 10 cm de l'oreille (voir photo ci-contre).

Afin d'éviter des artefacts de mesure, la norme demande de ne faire débiter le mesurage qu'après la mise en place de l'exposimètre ; de même le mesurage doit être arrêté avant le retrait de l'appareil. Il est souhaitable de protéger le microphone de mesure par une bonnette antivent.

Le travailleur contrôlé doit être informé du but du mesurage et recevoir les consignes suivantes : effectuer son travail normalement, ne pas toucher à l'appareil durant toute la mesure.



### En cas d'usage d'un sonomètre intégrateur

Le microphone doit rester positionné durant toute la durée du mesurage « à une distance comprise entre 10 cm et 40 cm de l'oreille » de la personne contrôlée (voir photo ci-contre).

*Figure 20. Lors de mesures sonométriques, le microphone de mesure doit être maintenu à moins de 40 cm de distance de l'oreille.*

#### 6.7.4. Recommandations utiles durant les mesures

Dans le cas des mesures effectuées à l'aide d'un exposimètre, il convient d'observer l'activité des travailleurs contrôlés, afin d'être en mesure d'interpréter les variations éventuelles des niveaux mesurés et de contrôler l'absence de cris dans le microphone ou celle d'autres artefacts de mesure.

Dans le cas des mesures effectuées à l'aide d'un sonomètre intégrateur, il faut vérifier que le travail réel lors des périodes de mesurage reflète bien les circonstances de l'exposition au bruit spécifiées par la journée nominale.

#### 6.7.5. Que faire si les résultats sont trop dispersés ?

Si les mesures fournissent des résultats trop différents, l'incertitude du résultat final sera très élevée. Pour l'éviter, la norme demande d'examiner l'écart entre la valeur maximale et la valeur minimale des résultats, puis de poursuivre le mesurage au-delà du nombre de mesures minimal requis si cet écart dépasse une valeur spécifiée.

Les valeurs spécifiées par la norme sont les suivantes :

- en cas de mesurage par tâche, si les trois premières mesures d'une tâche s'écartent de plus de 3 dB(A), effectuer au moins trois mesures supplémentaires pour cette tâche<sup>7</sup> ;
- en cas de mesurage par métier, si les cinq premières mesures s'écartent de plus de 6 dB(A), poursuivre le mesurage ;
- en cas de mesurage par journée entière, si les trois premières mesures s'écartent de plus de 3 dB(A), effectuer au moins deux mesures supplémentaires.

#### 6.7.6. Préparer les solutions

Les phases d'analyse du travail, de mesurages et les observations du travail réel constituent autant d'occasions pour collecter des informations telles que la présence d'événements acoustiques rares, l'usage de modes opératoires particulièrement bruyants, l'exposition à des bruits intenses lors de la récupération d'incidents de production, la présence de bruits inutiles, etc. Ces observations peuvent

<sup>7</sup> En cas de mesurage par tâche, si les écarts entre valeurs mesurées ne concernent qu'une tâche nettement moins bruyante que les autres, on peut montrer qu'augmenter le nombre de mesures pour cette tâche peu bruyante peut parfois ne pas avoir d'effet. Cela dépend du poids respectif des différents termes d'incertitude (voir chapitre 8.3 : cet aspect est illustré avec l'exemple des conducteurs).

être mises à profit pour identifier des solutions simples de réduction du risque lié au bruit (par exemple : utiliser des soufflettes insonorisées, supprimer les chocs entre pièces métalliques, éloigner l'opérateur de la source de bruit). Il est donc recommandé de collecter précisément toutes les informations susceptibles de préparer les actions de réduction du risque bruit.

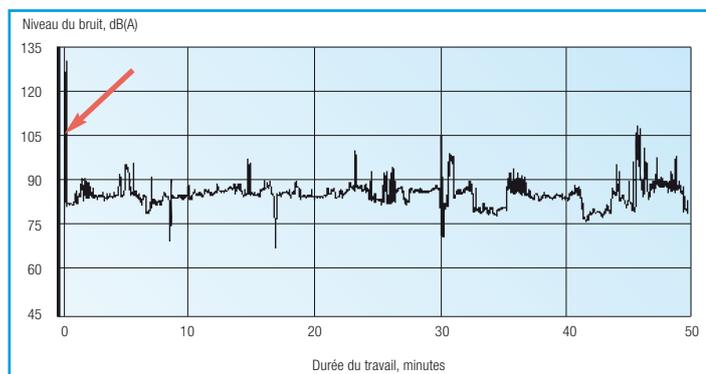
### 6.7.7. Précautions à prendre après les mesures

#### Vérifier l'absence d'artefacts de mesure

En cas d'usage d'un exposimètre, un risque existe que de fausses contributions soient incluses dans les séries de bruit mesuré. Or la norme précise explicitement<sup>8</sup> qu'« il faut veiller à éviter les fausses contributions ». Il est donc nécessaire de vérifier la qualité du mesurage en examinant la série chronologique du bruit mesuré. Il est souhaitable d'effectuer cette vérification autant que possible sur site, dès la fin du mesurage.

Un exemple d'artefact de mesure est donné sur la *figure 21*. Lors de la fixation du microphone de mesure sur le col du vêtement du travailleur, l'exposimètre était déjà en marche. En analysant *a posteriori* les résultats, une pointe est apparue dans la série mesurée. Un zoom sur le début de la mesure montre qu'elle a duré 2 secondes et se situe dans les 30 premières secondes de mesurage, lors de la pose du microphone. Il s'agit donc d'un choc ou d'un frottement qui s'est produit à ce moment. 2 secondes d'artefact de mesure sur un mesurage qui a duré 5 heures a pour conséquence un accroissement du niveau de bruit  $L_{p,A,eqT}$  de 3,6 dB(A) !

Si des artefacts ont été identifiés dans des séries chronologiques, il est possible de les couper lors de l'analyse des résultats mais en signalant ce fait dans le rapport de mesure.



*Figure 21. Illustration d'un artefact de mesure. Indiqué par la flèche, cet artefact s'est produit juste après la mise en marche de l'appareil, lors de la pose du microphone. Pour éviter ce type de fausse contribution, la norme demande que l'exposimètre soit mis en mode acquisition après la mise en place du microphone. De même, en fin de mesurage, elle demande que l'exposimètre soit arrêté avant de déposer le microphone de mesure. Pour cela, utiliser les modes départ et arrêt programmés.*

#### Contrôler l'absence de saturation de l'appareil de mesure

Dans des ateliers très bruyants, en présence de chocs métalliques intenses ou lors de certaines opérations manuelles très bruyantes, le système de mesure peut être saturé, avec le risque de fournir un résultat erroné. Le contrôle de l'absence de saturation est aisé en cas d'usage d'un sonomètre intégrateur. En cas de mesure par exposimètre, il est recommandé d'examiner la série chronologique pour savoir à quel moment la saturation s'est produite durant le temps de travail, puis de tenter autant que possible d'en identifier la cause et de renouveler éventuellement le mesurage.

#### Que faire en présence d'un niveau de bruit très supérieur aux autres ?

Il est possible que les résultats des mesures effectuées parmi un groupe d'exposition spécifié comprennent une valeur nettement plus élevée que les autres (de 5 à 10 dB(A), voire plus). Que faire dans

8. La norme NF EN ISO 9612 fournit cette spécification dans le paragraphe 12.3, relatif à la conduite des mesurages en cas d'instrument porté par le travailleur.

cette éventualité? Si une explication découle du travail effectué, on peut s'interroger : quelle est la fréquence et la durée quotidienne moyenne de l'opération qui est en cause? On examinera ensuite l'opportunité d'isoler cette opération dans le plan de mesure, en l'identifiant comme une tâche et en complétant les mesures en conséquence. Si aucune cause n'est identifiée, il est recommandé d'accroître le nombre des mesures afin d'assurer une meilleure représentativité des périodes de mesure.

#### **Que faire en présence d'un niveau de bruit très inférieur aux autres?**

Dans un ensemble de mesures peut figurer un résultat nettement inférieur aux autres, par exemple une valeur à 80 dB(A) quand les autres sont voisines de 90 dB(A). Cette valeur accroît fortement l'incertitude liée au bruit, sans changer beaucoup le niveau du bruit  $L_{EX,8h}$ . Si son origine est expliquée par un temps de pause, il est possible de ne pas retenir cette valeur dans le calcul du niveau de bruit, à condition d'appliquer les spécifications relatives à la gestion des pauses (*voir chapitre 6.3.4*).

#### **6.7.8. Valider le mesurage des niveaux de crête $L_{p,C,peak}$**

Le mesurage du niveau de pression acoustique de crête  $L_{p,C,peak}$  en dB pondéré C s'effectue simultanément au mesurage du niveau acoustique continu équivalent  $L_{p,A,eqT}$  en dB pondéré A avec quasiment tous les appareils utilisables aujourd'hui. Pour la détermination correcte de  $L_{p,C,peak}$  (ainsi que celle de  $L_{p,A,eqT}$ ), il est nécessaire de vérifier que les sources de bruit et les tâches qui créent « des pointes » de bruit ont bien été prises en compte dans le mesurage.

Si des niveaux de crête élevés ont été mesurés à l'aide d'un exposimètre, la norme précise « qu'ils doivent faire l'objet d'une enquête, d'un rapport et de commentaires ».

Après réalisation des mesurages selon les spécifications normalisées, de nombreux résultats doivent être fournis. Afin d'éviter tout calcul inutile, ce chapitre présente en premier lieu une calculette qui indique immédiatement tous les résultats souhaitables. L'interprétation des résultats est posée en termes de dépassement des seuils d'actions réglementaires, exprimés en  $L_{EX,8h}$  et en  $L_{p,C,peak}$ . La méthode d'estimation de l'incertitude associée à  $L_{EX,8h}$  est présentée ensuite, afin de savoir quoi faire si une réduction de son amplitude était souhaitée. On montre enfin comment extraire des mesures d'exposition au bruit les indications utiles aux actions de réduction du risque.

## 7.1. Utiliser la calculette NF EN ISO 9612

L'analyse des résultats de mesures d'exposition conformes à la norme NF EN ISO 9612 étant relativement complexe, une calculette sous Excel a été développée spécifiquement. Son usage est vivement recommandé : il évite tous les calculs. Les résultats indiquent  $L_{EX,8h}$  et son incertitude élargie  $U$ , pour les trois stratégies de mesurage. Ils sont immédiatement disponibles dès que la saisie des données est complète. Cette calculette est téléchargeable sur le site de l'INRS (voir l'adresse à la rubrique « Pour en savoir plus »).

Diffusée avec la norme ISO elle-même, cette calculette fournit des résultats conformes à la norme, sans besoin de connaître les bases des calculs effectués.

L'utilisation de cette calculette et l'interprétation des résultats disponibles sont présentés ici à travers trois exemples. Calqués sur les trois stratégies de mesurage normalisées, ces exemples sont les suivants :

- mesurage par tâche : exemple des conducteurs de lignes de fabrication ;
- mesurage par métier : exemple du groupe des fraiseurs ;
- mesurage par journée entière : exemple des régleurs.

La présentation de ces exemples fait l'objet du chapitre 8 (*voir respectivement : 8.3, 8.4, 8.5*). Afin de savoir comment saisir les données mesurées et comment analyser tous les résultats disponibles à l'aide de cette calculette, se référer à ces exemples.

## 7.2. $L_{EX,8h}$ et $U$ : dépassement des seuils d'actions réglementaires ?

Les résultats des mesures d'exposition au bruit professionnel fournissent le niveau de bruit  $L_{p,A,eqTe}$  qui exprime la dose du bruit reçue pendant la durée totale effective  $T_e$  d'une journée de travail. Après normalisation de cette dose par la durée de référence de 8 heures, on en déduit le niveau d'exposition quotidienne au bruit,  $L_{EX,8h}$  qui est estimé avec une incertitude  $U$ .

### Comparer les résultats aux seuils d'actions réglementaires

Pour comparer ces résultats aux seuils d'actions réglementaires de 80 et 85 dB(A), faut-il ou non additionner  $U$  au résultat estimé,  $L_{EX,8h}$  ?

Pour répondre clairement à cette question, trois rappels sont nécessaires.

- Que dit la législation ? « L'évaluation des résultats de mesure prend en compte l'incertitude de mesure déterminée conformément aux pratiques de la métrologie. »
- Que dit la norme NF EN ISO 9612 ? Après rappel de la conformité de ses spécifications au *Guide d'évaluation des incertitudes de mesures (GUM)*, elle spécifie que l'incertitude  $U$  associée à  $L_{EX,8h}$  est « un intervalle de confiance unilatéral de 95 % ». Elle précise qu'il faut fournir les deux valeurs estimées,  $L_{EX,8h}$  et  $U$ .
- Dès lors que l'interprétation des résultats mesurés vise à prouver le non-dépassement d'un seuil, le critère statistique appliqué habituellement est fourni par la borne supérieure de l'intervalle de confiance unilatéral à 95 %. Ici c'est bien de cet objectif qu'il s'agit. En clair, c'est la valeur estimée par  $(L_{EX,8h} + U)$  qui est à comparer aux seuils d'actions réglementaires pour prouver (à 95 %) le non-dépassement.

**Conclusion :** la comparaison aux seuils d'actions réglementaires doit s'effectuer en considérant comme résultat du mesurage la valeur estimée par  $(L_{EX,8h} + U)$ .

**Note :** Il est évident que l'ajout de  $U$  à  $L_{EX,8h}$  est pénalisant. Mais toute mesure comprend une incertitude, ce qui signifie que « la valeur vraie » reste inconnue. Cette problématique s'impose aussi au mesurage de l'exposition professionnelle au bruit. Et pour être certain (au niveau de confiance de 95 %) du non-dépassement d'un seuil, il ne serait pas conforme aux bonnes pratiques de la métrologie d'ignorer  $U$  et de substituer  $L_{EX,8h}$  à la borne supérieure de l'intervalle de confiance estimée par  $(L_{EX,8h} + U)$  lors de la comparaison aux seuils d'actions réglementaires.

**En cas de port d'un PICB,** il ne faut jamais dépasser la VLE de 87 dB(A), en tenant compte du bruit auquel le travailleur est exposé et en soustrayant l'affaiblissement acoustique que procure le protecteur individuel contre le bruit (PICB). Il a déjà été signalé que ce calcul est complexe, pour des raisons liées au bruit et parce que les valeurs d'affaiblissement acoustique affichées avec le PICB surestiment l'affaiblissement dont on peut bénéficier en situation réelle de travail (*voir chapitre 2.8 pour obtenir des précisions à ce sujet*). Toutefois, un rappel s'impose : le non-dépassement de la VLE de 87 dB(A) compte tenu du port d'un PICB n'annule pas la mise en œuvre des actions imposées par le dépassement des seuils d'action réglementaires de 80 et 85 dB(A), mesurés en  $L_{EX,8h}$  sans prise en compte des PICB.

### 7.3. Analyser les niveaux crête, $L_{p,C,peak}$

Lors des mesures d'exposition, le mesurage des niveaux de pression acoustique de crête a pour objet de savoir si les seuils d'actions réglementaires, définis par  $L_{p,C,peak} = 135$  et  $137$  dB(C) sont dépassés. Compte tenu des difficultés métrologiques liées au mesurage des niveaux  $L_{p,C,peak}$ , l'analyse peut être menée en appliquant simultanément les deux critères réglementaires, celui qui s'appuie sur  $L_{p,C,peak}$  et celui qui s'appuie sur  $L_{EX,8h}$ .

L'analyse des niveaux de crête est particulièrement décisive lorsque le mesurage indique la présence d'un dépassement de seuil constaté en niveau crête sans qu'il y ait, simultanément, dépassement de seuil exprimé en  $L_{EX,8h}$ .

Quand les mesures ont été effectuées à l'aide d'un exposimètre, la norme contient plusieurs exigences :

- vérifier en premier lieu l'absence d'artefact et de saturation de l'appareil de mesure, afin de valider le mesurage des niveaux de crête;
- réaliser une enquête afin de commenter dans le rapport de mesure ce qui provoque l'apparition de niveaux sonores de crête élevés.

Quand le mesurage a été validé, l'interprétation des résultats exprimés en niveau de pression acoustique de crête doit être menée en indiquant la valeur maximale parmi l'ensemble des mesures effectuées dans un groupe spécifié de travailleurs. Cette valeur est à comparer aux deux seuils d'actions réglementaires définis par les valeurs  $L_{p,C,peak}$  de 135 et 137 dB(C).

**Note :** La norme NF EN ISO 9612 ne fournit aucune valeur d'incertitude à associer au mesurage des niveaux de pression acoustique de crête en milieu professionnel. Il y a plusieurs raisons à ce fait, notamment le manque de données scientifiques et la non-reproductibilité des impulsions de bruit en milieu professionnel. Elle précise toutefois que « dans la plupart des cas, on peut s'attendre à ce que cette incertitude soit plus élevée » que l'incertitude  $U$  associée au niveau  $L_{EX,8h}$ .

## 7.4. Contrôler l'incertitude $U$ associée au $L_{EX,8h}$

Compte tenu du fait que le résultat fourni par  $(L_{EX,8h} + U)$  peut être comparé aux seuils d'actions réglementaires, on examine ici deux questions liées aux erreurs et incertitudes de mesures :

Comment éviter les erreurs systématiques, susceptibles de surestimer (ou de sous-estimer) la valeur de  $L_{EX,8h}$  ?

Comment identifier sur quoi agir lorsque la valeur de  $U$  fournie par la calculette est jugée trop élevée ?

### 7.4.1. Éviter les erreurs systématiques

Quand des bruits significatifs ne sont pas pris en compte dans le mesurage, ou, au contraire, quand le mesurage comprend des artefacts et des fausses contributions (cris, etc.), on parle d'erreur de mesure. L'effet de telles erreurs est d'induire une sous-estimation systématique du niveau de bruit ou une surestimation systématique.

Il faut **éviter les possibilités d'erreurs systématiques** et la norme spécifie comment faire : **en respectant le mode opératoire normalisé**, notamment sur les trois points suivants :

- respecter la position correcte du microphone de mesure. Il doit être placé à moins de 40 cm de l'oreille du travailleur durant tout le mesurage (*voir chapitre 6.7.3*);
- éviter les fausses contributions au bruit mesuré, provenant par exemple d'impacts ou de jets d'air sur le microphone de mesure. L'usage d'une boule antivibratoire est recommandé. Quand les mesures sont effectuées avec un exposimètre, il faut supprimer des séries mesurées ces fausses contributions (cris, etc.) avant d'énoncer le résultat;
- contrôler l'absence d'omissions dans l'analyse du travail. Le mesurage doit prendre en compte tout ce qui apporte une contribution significative à l'exposition au bruit, notamment les événements acoustiques rares.

Ce type d'erreur peut facilement conduire à des écarts significatifs. Un exemple en a été donné dans la *figure 21* : lors de la pose d'un exposimètre, un artefact a entraîné une surestimation de 3,6 dB(A) du niveau acoustique continu équivalent mesuré durant 5 heures.

### 7.4.2. Les sources d'incertitude de mesure

Contrairement aux erreurs ayant un effet systématique, on utilise ci-après le terme d'incertitude pour qualifier l'effet aléatoire de fluctuations inhérentes au processus qu'on mesure. La norme NF EN ISO 9612 impose de prendre en compte quatre sources d'incertitudes.

■ **Les variations du travail quotidien et des conditions d'exposition:** incertitude sur le niveau du bruit  
Ces variations sont naturelles et ont une ampleur qui dépend de la complexité des situations de travail. Elles induisent une incertitude d'échantillonnage du niveau de bruit, liée au nombre des mesures et à la dispersion des résultats. La calculette quantifie cette incertitude dès que les niveaux du bruit mesurés sont saisis. Si l'incertitude est trop élevée, il faut effectuer plus de mesures. Si un facteur nouveau (apparu lors des mesures) explique les variations constatées, on examinera s'il faut modifier le plan de mesurage initial pour contrôler ce facteur par des mesures supplémentaires.

■ **Les variations dans l'exécution des tâches:** incertitude sur la durée de chaque tâche  
En cas d'approche du mesurage par tâche, il est fréquent que la durée des tâches soit difficile à estimer ou variable d'un jour à l'autre. Rien ne s'oppose à traiter explicitement la durée d'une tâche comme une variable (voir les indications données en 6.3.3 à ce sujet). Dans ce cas, une durée moyenne et son incertitude sont estimées par la calculette, à partir de toutes les valeurs saisies. Notez que l'incertitude associée à la durée se réduit généralement en accroissant le nombre des valeurs saisies.

■ **Les instruments de mesure et leur étalonnage**

L'incertitude due aux instruments de mesure dépend du type d'instrument utilisé et de sa classe de précision. Le tableau ci-dessous fournit les valeurs normalisées à appliquer.

Type d'instrument	Incertitude type, dB
Sonomètre intégrateur de classe 1 (selon CEI 61672-1)	0,7
Exposimètre (conforme à CEI 61252)	1,5
Sonomètre intégrateur de classe 2 (selon CEI 61672-1)	1,5

Figure 22. Incertitude liée au type d'instrument de mesure utilisé.

■ **La position du microphone de mesure**

Lors de mesures d'exposition, le microphone de mesure doit être placé à une distance comprise entre 10 et 40 cm de l'oreille du travailleur contrôlé. Même quand cette spécification est respectée, la norme considère qu'une incertitude subsiste malgré tout: elle est due aux effets d'écran et de réflexion créés par le corps de l'opérateur quand celui-ci est situé à proximité immédiate de sa machine. La valeur d'incertitude imposée par la norme pour ce facteur est de 1,0 dB. Elle s'applique à tous les types de mesurage (par sonométrie et par exposimétrie). La calculette a intégré sa prise en compte dans le résultat final, sans besoin d'une saisie spécifique.

### 7.4.3. Identifier le facteur d'incertitude prépondérant

La calculette fournit deux résultats principaux: le niveau d'exposition quotidienne au bruit  $L_{EX,8h}$  et son incertitude associée  $U$ . Si la valeur de  $U$  est jugée trop élevée, il est recommandé d'examiner les résultats détaillés fournis par la calculette afin d'identifier le facteur prépondérant parmi les quatre termes d'incertitude que considère la norme:

- les niveaux de bruit;
- la durée des tâches (si le mesurage a été effectué par tâche);

- les instruments de mesure;
- la position du microphone de mesure.

Dans les résultats de la calculette, la valeur quadratique des contributions de ces termes a été indiquée, ainsi que leur somme notée  $u^2(L_{EX,8h})$ . Ce sont ces termes quadratiques qu'il faut comparer puis analyser pour confirmer l'intérêt de réduire l'un d'eux compte tenu de la valeur des autres termes.

La méthode à appliquer est illustrée à travers deux exemples présentés au chapitre 8 :

- celui des conducteurs de ligne, dans le cas d'un mesurage par tâche (voir chapitre 8.3);
- celui des fraiseurs, dans le cas d'un mesurage par métier (voir chapitre 8.4).

Se référer à ces deux exemples pour découvrir comment la calculette présente les résultats détaillés et comment ils peuvent être analysés.

**Note sur les plus petites valeurs possibles de U :**

Il est possible qu'un mesurage fournisse une incertitude élargie U supérieure à 5 dB(A) par exemple. Si la valeur de U est jugée trop élevée, une façon de réduire U est d'accroître le nombre des mesures afin d'obtenir une meilleure précision. Toutefois, une telle démarche a une limite qu'il est utile de connaître: elle est déterminée par la plus petite valeur de U possible, liée à un processus de mesure de précision maximum. Cette valeur s'obtient quand les termes d'incertitude relatifs au niveau de bruit et à la durée des tâches sont nuls. Le tableau de la figure 23 indique le résultat. L'usage de ce tableau est le suivant :

- si l'incertitude U d'un processus de mesure est très supérieure à la valeur indiquée dans le tableau, accroître (même modérément) le nombre de mesures sera utile pour réduire U ;
- si l'incertitude U du processus de mesure est à peine supérieure à la valeur du tableau, il n'est pas utile de tenter de réduire U par la réalisation de mesures supplémentaires.

Figure 23. Valeurs les plus petites possibles de l'incertitude élargie U associée à  $L_{EX,8h}$ .

Stratégie de mesurage	Appareillage	
	Exposimètre ou sonomètre intégrateur de classe 2	Sonomètre intégrateur de classe 1
Par tâche	$U \geq 1,9^* \text{ dB(A)}$	$U \geq 1,3^* \text{ dB(A)}$
Par métier ou journée entière	$U \geq 3,0 \text{ dB(A)}$	$U \geq 2,0 \text{ dB(A)}$

\* En cas de mesurage par tâche, la valeur minimale de U dépend du nombre de tâches, de leurs niveaux de bruit et durées respectives (ici, trois tâches ont été considérées, de même durée et avec des niveaux de bruit différents de 3 dB).

**7.4.4. Les sources de bruit « non pertinentes » (voix, radio, etc.)**

En présence de certaines sources de bruit, telles que des bruits de voix, la radio, des alarmes d'atelier, etc., l'évaluation de l'exposition au bruit professionnel pose des difficultés: faut-il les inclure ou les exclure lors de l'évaluation du niveau d'exposition quotidienne au bruit?

La norme préconise de déterminer si leur présence « fait partie des conditions normales de travail ». Si oui, ces sources seront incluses dans le mesurage. Si non, elles seront considérées comme des sources « non pertinentes » de bruit. En présence d'une contribution jugée non pertinente par la personne chargée des mesurages, la norme précise que « cette contribution peut être exclue des données mesurées à condition d'en faire état dans le rapport ».

## 7.5. Comment lire les séries chronologiques mesurées ?

À l'aide d'instruments de mesure dotés de mémoire, les mesurages sont couramment restitués sous forme de séries chronologiques. La lecture de ces séries est généralement riche en information, à condition de disposer de quelques clés de lecture, utiles pour valider le résultat global ou analyser les variations du bruit.

Une série chronologique de bruit est mesurée par la technique des « Leq courts ». Elle consiste à mesurer le bruit pendant un temps bref, noté  $dt$  ( $dt = 1$  s ou 1 min par exemple) et à renouveler le mesurage de façon continue durant une période  $T$  ( $T = 30$  min, 1 h, 7 h, par exemple). Pendant la durée élémentaire  $dt$ , on mesure généralement le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A, noté  $L_{p,A,eq,dt}$  et exprimé en dB(A). Mais il peut s'agir aussi d'un niveau équivalent pondéré C, exprimé en dB(C). Dans les résultats, il convient de repérer la durée totale de la mesure  $T$ , la durée d'intégration élémentaire  $dt$  utilisée, la nature de la pondération fréquentielle utilisée, A ou C.

L'intérêt majeur de ces séries est d'illustrer les variations du bruit élémentaire  $L_{p,A,eq,dt}$  durant la période observée  $T$ . Mais l'amplitude des variations du bruit qui apparaît sur la série peut être nettement réduite si la durée d'intégration élémentaire  $dt$  est accrue, et inversement. Cela ne change pas le résultat global  $L_{p,A,eqT}$  mais gomme, ou au contraire met en évidence, les variations du bruit, ainsi que l'illustre la figure 24.

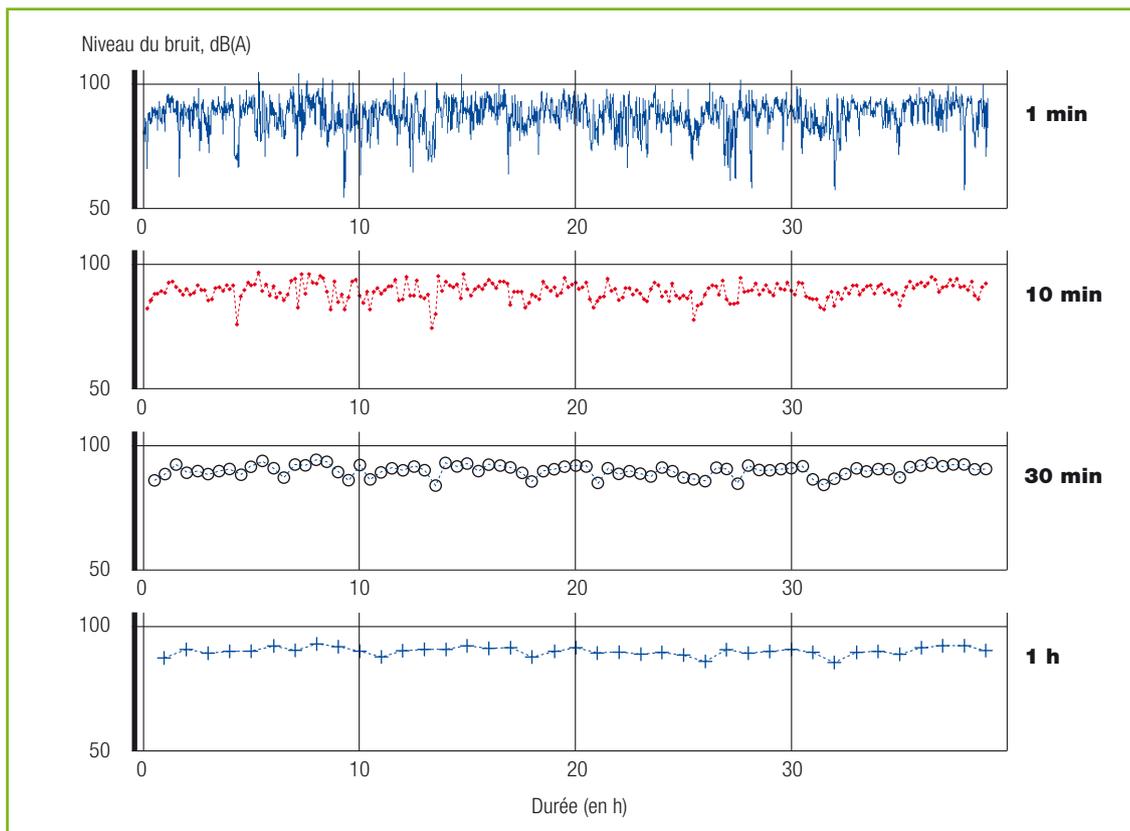


Figure 24. Exemple illustrant l'effet de la durée d'intégration sur une série chronologique de bruit. Les mesures de bruit ont été représentées ici avec quatre durées d'intégration différentes comprises entre 1 minute et 1 heure, selon les indications à droite de chaque graphe (données extraites d'une étude ayant évalué l'exposition au bruit d'un groupe de régleurs avec une durée cumulée de mesurages spécifique à cette étude, s'élevant à 39 heures).

Quand des variations notables du bruit sont mises en évidence, la série chronologique permet aisément de savoir à quel moment précis elles se produisent et quelles sont leurs durées. Ces deux informations sont utiles pour identifier dans le processus de travail ce qui provoque ces variations notables du niveau de bruit. Si cette analyse identifie un événement acoustique rare, l'impact d'un tel événement dans le niveau d'exposition quotidienne au bruit peut être estimé en appliquant la méthode des points (voir chapitre 5.4).

## 7.6. Quelles orientations pour réduire l'exposition ?

Les résultats du mesurage de l'exposition au bruit permettent, à l'évidence, de hiérarchiser les différentes situations d'exposition, comparativement aux seuils d'actions. Mais dans certains cas, on peut se demander si ces mesures donnent des informations suffisantes pour définir une action de réduction du bruit. D'autres mesures sont généralement nécessaires, portant sur les sources de bruit, sur les caractéristiques du local de travail. Quoi qu'il en soit, **l'identification des situations à traiter en priorité est essentielle** dans la recherche de solutions.

**Par exemple :**

- lorsqu'une opération manuelle particulièrement bruyante domine dans le bilan d'exposition,
  - lorsque certains modes opératoires créant un surcroît d'exposition ont été mis en évidence mais pourraient être évités (chocs métalliques, surveillance d'une machine automatique bruyante en restant en permanence à proximité immédiate même si ce n'est pas indispensable, etc.),
- il ne faut pas hésiter à mettre en œuvre des solutions de substitution de ces modes opératoires. Ensuite, d'autres actions de réduction doivent être combinées, selon une démarche et des propositions illustrées dans les autres brochures de l'INRS citées en référence.

## 7.7. Présenter et analyser le rapport de mesure

Le rapport de mesure doit fournir de nombreuses informations. Leur liste, qui s'étend sur deux pages dans la norme, comprend notamment :

- **des informations générales** : nom de l'entreprise, identification des travailleurs ou des groupes dont l'exposition a été déterminée ;
- **l'analyse du travail** : description des activités professionnelles, de la journée nominale, des groupes d'exposition éventuels ; stratégie de mesurage employée ;
- **les instruments de mesure utilisés** : identification, vérifications d'étalonnage ;
- **les mesurages** : description du travail effectué lors des mesurages avec des précisions en cas d'écart par rapport aux conditions normales de travail, description des sources de bruit, caractéristiques des mesures (position, durée, nombre), résultats de chaque mesurage ;
- **les résultats** (arrondis à la première décimale) :  $L_{p,A,eqT}$  ;  $L_{EX,8h}$  ;  $U$  ;  $L_{p,C,peak}$ .

# Exemples pour des situations différentes

Ce chapitre illustre par des exemples toutes les méthodes d'estimation et de mesurage : estimation sommaire (les outilleurs), la méthode des points d'exposition (machines portatives), le mesurage par tâche (conducteurs de lignes automatiques), le mesurage par métier (fraiseurs), le mesurage par journée entière (régleurs). Quelques précisions sont données en outre en cas d'évaluation hebdomadaire.

## 8.1. Exemple d'estimation sommaire : risque pour des outilleurs

Dans un atelier de construction mécanique où les secteurs les plus bruyants font l'objet d'actions de prévention du risque bruit, le médecin du travail s'interroge : alors que le secteur de l'outillage est nettement moins bruyant, peut-on être certain qu'il n'y a aucun risque lié au bruit pour les travailleurs du secteur outillage ?

Sans faire de mesures, il décide de consulter la base de données de la Suva (*voir chapitre 4.3*). Dans le secteur professionnel intitulé « ateliers de construction mécanique », une rubrique « outillage » donne des informations pour deux métiers : outilleur et aiguiser d'outils. Les niveaux de bruit correspondant indiqués en  $L_{EX,8h}$  s'élèvent à 80 et à 83 dB(A).

Ne connaissant pas l'origine de ces valeurs et s'interrogeant sur la similitude des métiers, il poursuit l'analyse en appliquant les tests de communication dans le bruit (*voir chapitre 4.2*). Le résultat est le suivant : il n'y a pas besoin de crier pour se faire comprendre à moins de 1 mètre de distance entre collègues de l'outillage, mais le bruit est généralement suffisamment gênant pour empêcher de communiquer normalement même à 0,5 mètre de distance.

En appliquant l'interprétation fournie avec le test lui-même (*voir figure 12 p. 28*), le médecin déduit de cette analyse le résultat suivant : bien que moins bruyant que d'autres secteurs d'activité, l'outillage doit être classé en « risque incertain ». Ce diagnostic confirme les informations trouvées dans la base de données de la Suva. Dans ces conditions, le médecin du travail décide d'inclure les travailleurs de l'outillage dans la prochaine campagne de mesures d'exposition au bruit.

## 8.2. Exemple d'estimation par les points d'exposition : usage de machines portatives très bruyantes

Sur un chantier du bâtiment, les circonstances de l'exposition au bruit se modifient selon l'avancée du chantier. Les sources de bruit et les machines utilisées changent, les travailleurs sont très mobiles, certaines opérations très bruyantes mais épisodiques génèrent du bruit à beaucoup de postes de travail qui resteraient peu bruyants sans ces opérations, etc.

Dans ces conditions, il est décidé de clarifier la situation en commençant par appliquer une évaluation simplifiée du risque (selon la méthode des points d'exposition présentée au chapitre 5). Dans un premier temps, on applique la méthode en considérant les tâches très bruyantes. On veut savoir quelle doit être la durée maximale quotidienne d'une tâche très bruyante, compatible avec le non-dépassement du seuil d'action réglementaire de 85 dB(A) pour 8 heures.

Considérons dans le second œuvre du bâtiment le **métier de poseur de cloisons légères** sur des structures métalliques. La tâche très bruyante est le **tronçonnage des profilés métalliques** qui composent la structure des cloisons. Le tronçonnage est effectué parfois **avec un outil portatif** à main du type **meule**: dans ces conditions, on estime que le niveau de bruit du tronçonnage s'élève à environ 105 dB(A), avec une durée de tronçonnage d'un profilé d'environ 20 secondes.

À l'aide de ces données, l'estimation simplifiée se base sur la méthode des points d'exposition (*voir chapitre 2, tableau de la figure 9 p. 19*), selon les étapes suivantes :

- le seuil d'action de 85 dB(A) pour 8 heures correspond à 100 points d'exposition (cf. ligne « 85 dB(A) », colonne « 8 heures »);
- sachant que la phase très bruyante expose à 105 dB(A), à quelle durée totale quotidienne maximale correspond le critère 85 dB(A) pour 8 heures, soit 100 points d'exposition ? La réponse se trouve en suivant la ligne « 105 dB(A) », jusqu'à trouver un nombre de points le plus proche possible de 100. La *figure 9* montre qu'on y arrive avec 5 minutes.

On en conclut qu'une durée de 5 minutes d'exposition à un bruit de 105 dB(A) équivaut sur 8 heures à une exposition à 85 dB(A). Compte tenu de la durée élémentaire du tronçonnage d'un profilé estimée à 20 secondes, ce critère correspond au tronçonnage d'environ 15 profilés par jour ( $15 \times 20 \text{ s} = 300 \text{ s} = 5 \text{ min}$ ).

Durant une journée habituelle de travail, les poseurs de cloisons ont besoin de tronçonner nettement plus de profilés que 15 par jour. L'évaluation simplifiée montre qu'ils sont exposés à un risque qui excède le critère de 85 dB(A) pour 8 heures, du seul fait de cette tâche particulièrement bruyante.

### 8.3. Exemple de mesurage par tâche : conducteurs de lignes de fabrication continue

#### Analyse du travail

Dans un atelier d'extrusion de plastique, plusieurs lignes de production automatisées sont pilotées par un groupe de 10 conducteurs. Leur travail comprend trois tâches principales : le chargement des extrudeuses, les réglages des lignes de production et les contrôles du produit fini en sortie de ligne. Aucune exposition à des événements acoustiques rares n'a été signalée. La durée quotidienne des trois tâches dépend de la production et peut varier d'un jour à l'autre.

La durée totale effective de travail est de 7 h 30, en incluant 30 minutes de pause.

#### Sélection de la stratégie de mesure

Les conducteurs sont mobiles dans l'atelier et effectuent un nombre réduit de tâches déterminées par la conduite de lignes. On sélectionne donc la stratégie de mesurage par tâche, en distinguant trois tâches (chargements, réglages, contrôles) et en excluant des mesurages les 30 minutes de pause.

La durée totale effective de travail hors pauses s'élève donc à 7 heures. Pour évaluer la durée quotidienne des tâches, il a été demandé à trois conducteurs d'estimer en fin de poste la durée totale de chaque tâche, compte tenu de la production effectuée, cela durant une journée de travail sélectionnée avec la maîtrise. Les résultats sont indiqués à la figure 25.

	Tâche 1 : chargements	Tâche 2 : réglages	Tâche 3 : contrôles
Conducteur 1	4 heures	2 heures	1 heure
Conducteur 1	2 h 30	2 h 30	2 heures
Conducteur 3	3 heures	2 h 20	1 h 40

Figure 25. Évaluation des durées quotidiennes des tâches.

### Organisation des mesures

Elles seront effectuées à l'aide d'un sonomètre intégrateur. En cas d'approche par tâche, la norme impose au minimum trois mesures par tâche et une durée de mesurage minimale de 5 minutes. Compte tenu du contenu du travail, la durée de mesure de 5 minutes est apparue suffisante pour représenter le bruit reçu durant la tâche. Trois conducteurs volontaires feront l'objet de mesurages. Lors des mesurages, le microphone de mesure sera maintenu à 40 cm de l'oreille du conducteur s'il reste en poste fixe (quand il surveille une ligne) ; quand le conducteur se déplace, le technicien de mesure suivra à une distance aussi petite que possible le conducteur, vu l'organisation de l'atelier et le travail effectué.

### Niveaux de bruit mesurés

- **Appareillage** : sonomètre intégrateur de classe 1 ; incertitude liée à l'instrument de mesure  $u_2 = 0,7$  dB(A).
- **Niveaux acoustiques continus équivalents** :
  - tâche 1, chargements : 89, 95 et 91 dB(A) ; leur écart étant supérieur à 3 dB, trois mesures supplémentaires sont effectuées : 86, 92 et 88 dB(A) ;
  - tâche 2, réglages : 85, 86, 88 dB(A) ;
  - tâche 3, contrôles : 81, 79, 82 dB(A).
- **Niveaux de pression acoustique de crête** : les valeurs de crête les plus élevées mesurées par tâche sont respectivement de 138, 120, 115 dB(C).

La figure 26 représente la feuille de saisie des données pour cet exemple.

**ISO 9612 Évaluation des incertitudes de mesure (annexe C)**

Données Méthode par tâches

Résultats liés à la saisie des données

Niveau de bruit  $L_{EX,8h}$  (dB)  
**88,6**

Tâches définies

Nombre  
**3**

Durée totale (h)  
**7,0**

Nom de la tâche	Tâche 1		Tâche 2		Tâche 3	
	Chargement		Réglages		Contrôles	
Échantillon numéro	Niveau de bruit (dB)	Durée (h)	Niveau de bruit (dB)	Durée (h)	Niveau de bruit (dB)	Durée (h)
1	89	4	85	2	81	1
2	95	2,5	86	2,5	79	2
3	91	3	88	2,3	82	1,7
4	86					
5	92					
6	88					
Instrument de mesure	$u_2$ 0,7		$u_2$ 0,7		$u_2$ 0,7	

1) Saisir le nom de la tâche.

2) Saisir pour chaque tâche les niveaux de bruit mesurés.

3) Saisir les durées, pour les 3 opérateurs, de la tâche.

4) Saisir l'incertitude liée à l'instrument de mesure.

Nombre de valeurs mesurées : 6 (Tâche 1), 3 (Tâche 2), 3 (Tâche 3)

$L_{p,A,eqT,m}$  : niveau moyen : 91,2 (Tâche 1), 86,5 (Tâche 2), 80,8 (Tâche 3)  
Incertitude type  $u_{1a}$  : 1,3 (Tâche 1), 0,9 (Tâche 2), 0,9 (Tâche 3)

$T_m$  : durée de la tâche m (h) : 3,2 (Tâche 1), 2,3 (Tâche 2), 1,6 (Tâche 3)  
Incertitude type  $u_{1b}$  : 0,4 (Tâche 1), 0,1 (Tâche 2), 0,3 (Tâche 3)

Figure 26. Présentation des quatre étapes de saisie des données en cas de mesurage par tâches.

## Analyse des résultats

Dès que les données sont saisies sur la calculette, les résultats apparaissent comme sur la *figure 27*. Les résultats principaux sont indiqués dans le bandeau supérieur de cette figure :

- niveau d'exposition quotidienne au bruit  $L_{EX,8h} = 88,2$  dB(A);
- incertitude élargie associée à  $L_{EX,8h} = 2,5$  dB(A).

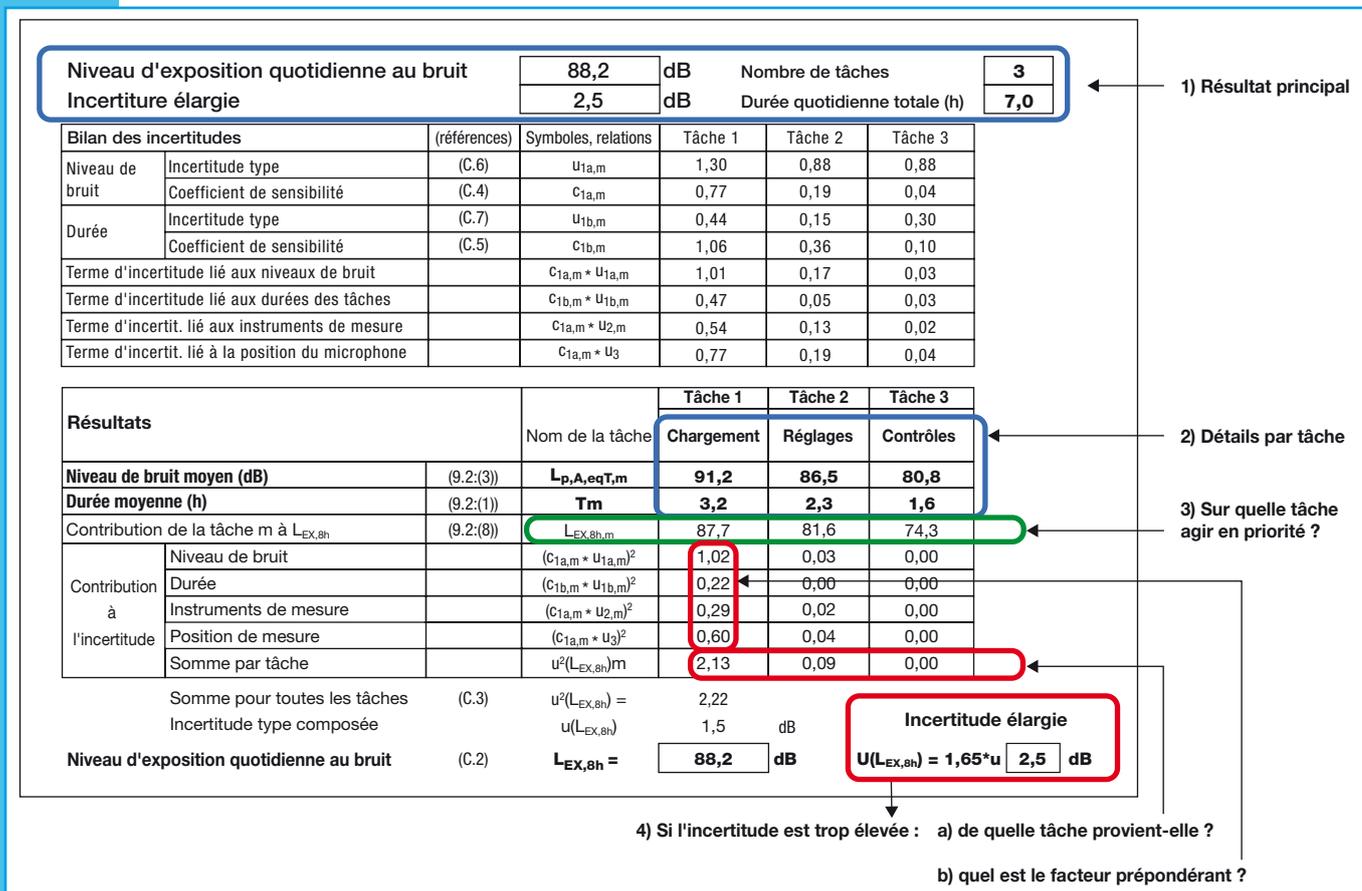


Figure 27. Analyse des résultats du mesurage par tâche. Localisation du résultat principal et des résultats complémentaires.

### Bilan :

Le niveau  $L_{EX,8h}$  avec son incertitude dépassent le seuil supérieur d'action réglementaire de 85 dB(A). La valeur la plus élevée du niveau de crête  $L_{p,C,peak}$  mesurée dépasse également le seuil supérieur d'action réglementaire de 137 dB(C).

Pour réduire le risque à ce poste de travail, on peut s'interroger: sur quelle tâche faudrait-il agir en premier lieu? La zone entourée de vert indique que le niveau d'exposition partiel  $L_{EX,8h,m}$  est maximum pour la tâche 1, avec  $L_{EX,8h,m} = 87,7$  dB(A). C'est donc sur la tâche 1 que les actions de réduction du risque doivent porter en priorité.

L'incertitude  $U$  s'élève ici à 2,5 dB(A). Pourrait-on envisager de réduire  $U$  en complétant les mesures effectuées? Pour répondre à cette question, il faut analyser la partie des résultats qui a été entourée de rouge sur la *figure 27*. L'incertitude provient quasi exclusivement ici de la tâche 1 (terme quadratique s'élevant à 2,13 sur un total de 2,22). Le facteur prépondérant d'incertitude dans la tâche 1 est lié aux niveaux de bruit (1,02 sur 2,13). Si le nombre de mesures du bruit pour cette tâche était accru au-delà des six valeurs déjà mesurées, ce terme diminuerait probablement mais compte tenu de la contribution des autres termes, l'effet resterait limité. On en déduit qu'il serait assez difficile de réduire cette incertitude en accroissant le nombre de mesures.

Cet exemple peut illustrer l'intérêt de la spécification normalisée suivante: «Faire au minimum trois mesures par tâche et prévoir trois mesures supplémentaires si les résultats des trois premières mesures s'écartent de plus de 3 dB(A).» Les trois premières mesures de la tâche 1 s'écartent de 6 dB(A) (leur maximum est de 95 dB(A), le minimum de 89 dB(A)). Que se serait-il passé si le mesurage de la tâche 1 avait été arrêté après trois mesures? Sur la calculette, il suffit d'annuler la saisie des trois dernières valeurs mesurées. Le résultat apparaît:  $L_{EX,8h} = 89,2$  dB(A), incertitude élargie associée  $U = 3,0$  dB(A). En accroissant de trois à six le nombre des mesures de cette tâche, le  $L_{EX,8h}$  et l'incertitude associée sont donc réduits respectivement de 1 et de 0,6 dB(A). Pour la tâche la plus bruyante, cet exemple montre l'intérêt de la spécification de la norme.

### Interprétation et recommandations pratiques

- Le niveau d'exposition quotidienne au bruit est estimé à  $L_{EX,8h} = 88,2$  dB(A) avec une incertitude élargie  $U$  de 2,5 dB(A).
- Le seuil supérieur d'action réglementaire est dépassé à ce poste; ce constat a été établi avec l'indicateur  $L_{EX,8h} = 85$  dB(A) et avec l'indicateur  $L_{p,C,peak} = 137$  dB(C).
- L'incertitude de 2,5 dB(A) provient de plusieurs facteurs liés à la tâche 1, la plus bruyante, et ne pourrait pas être beaucoup réduite par un accroissement du nombre de mesures.
- La réduction du bruit à ce poste de travail doit être ciblée prioritairement sur la tâche 1, la phase de chargement.
- Le port de PICB doit être effectif.

## 8.4. Exemple de mesurage par métier: un groupe de fraiseurs

### Analyse du travail

Dans une grande entreprise de construction mécanique, un atelier est dédié au fraisage. Il regroupe quinze fraiseurs qui sont affectés aux différentes fraiseuses selon les besoins de production. Chaque fraiseur effectue des tâches multiples (mise en place de l'outillage et des pièces, réglages, fraisage d'ébauche et de finition, contrôles, nettoyage) sans durées spécifiées pour ces tâches. La production est organisée en deux postes (matin et après-midi).

La durée totale effective d'une journée de travail est de 7 h 30.

### Sélection de la stratégie de mesure

Ces opérateurs sont polyvalents et effectuent des tâches nombreuses et complexes, liées à leur métier de fraiseur. En conséquence, le mesurage est prévu par métier.

Le groupe des fraiseurs comprenant quinze personnes, la durée totale minimum de mesurage spécifiée par la norme s'élève à 10 heures. Il faut prévoir de répartir le plus possible les mesures dans le temps de travail et parmi les membres du groupe.

### Réalisation des mesures

On dispose d'un seul exposimètre. Pour arriver à un total de 10 heures, on prévoit de réaliser dix mesures de une heure chacune. Compte tenu de contraintes pratiques, les dix mesures seront réparties sur deux jours, en prévoyant deux mesures lors du poste du matin et trois lors de celui de



## Interprétation et recommandations pratiques

■ Le niveau  $L_{EX,8h}$  estimé compte tenu de son incertitude  $U$  dépasse le seuil d'action réglementaire de 85 dB(A).

■ L'incertitude totale provient principalement de l'appareillage de mesure et très peu des écarts entre les niveaux de bruit mesurés. On en déduit qu'il ne serait pas utile de tenter de diminuer l'incertitude  $U$  en effectuant des mesures complémentaires aux dix valeurs déjà mesurées. Si les mesures étaient effectuées avec un sonomètre intégrateur de classe 1 au lieu d'un exposimètre, la valeur de  $U$  passerait de 3,5 à 2,7 dB(A). Mais le service de médecine du travail qui a effectué ces mesures ne dispose que d'exposimètres.

■ Pour réduire le risque de pertes d'audition auquel les fraiseurs sont soumis, des mesures complémentaires ponctuelles seront réalisées afin de quantifier les niveaux et durées quotidiennes de deux tâches manuelles repérées comme très bruyantes : le martelage éventuel pour brider les pièces à usiner, l'usage d'une soufflette à jet d'air comprimé pour évacuer les derniers copeaux lors du nettoyage des machines. On examinera aussi les alternatives moins bruyantes à ces modes opératoires.

## 8.5. Exemple de mesurage par journée : régleurs de machines automatiques

### Analyse du travail

Un atelier de fabrication de petites pièces en aluminium comprend plusieurs lignes de production automatisées, composées de presses à découper, à emboutir et à former. Il s'agit d'une production en très grande série qui est assurée en mode normal par les conducteurs de lignes et par un groupe de neuf régleurs pour toutes les opérations demandant une maîtrise technique des machines (réglages, gestion des changements de productions, récupération d'incidents de fabrication, etc.). On s'intéresse ici aux régleurs uniquement : leur travail consiste à intervenir sur toutes les machines de l'atelier, à la demande des conducteurs, ainsi qu'à assurer des tâches de maintenance préventive. Leur travail est réparti sur trois postes (matin, après-midi, nuit).

La durée cumulée de travail dépend des semaines considérées, selon la rotation des opérateurs entre les postes de jour et de nuit. Mais la durée moyenne est fixée à 35 heures, soit 7 heures par jour en moyenne. C'est la durée quotidienne moyenne qui doit être saisie ici.

### Sélection de la stratégie de mesure

Les régleurs sont très mobiles et effectuent un nombre élevé de tâches imprévisibles et différentes d'un jour à l'autre. Dans ces conditions, on choisit la stratégie de mesurage sur des journées entières, soit ici plusieurs postes de 8 heures.

### Organisation des mesures

Avec cette stratégie, la norme impose de mesurer l'exposition durant au moins trois journées entières de travail. La maîtrise d'atelier ayant spécifié que le poste de nuit était moins bruyant que les deux postes de jour et qu'il y avait peu de différences dans le nombre de lignes en production entre le matin et l'après-midi, on prévoit de réaliser les trois mesures en continu durant le poste de l'après-midi, de 13 heures à 21 heures (conditions défavorables compte tenu de l'exclusion du poste de nuit). En disposant d'un exposimètre, les mesures seront effectuées à trois dates différentes et sur trois régleurs différents.

## Niveaux de bruit mesurés

**Appareil de mesure:** exposimètre de classe 2 ; incertitude liée à l'instrument = 1,5 dB(A).

Les trois valeurs mesurées,  $L_{p,A,eqTe}$  en dB(A) sont les suivantes : 89,1 ; 92,4 ; 89,8 dB(A). Ces valeurs diffèrent de plus de 3 dB(A). Le technicien chargé des mesures de bruit a examiné les séries chronologiques mesurées et interviewé les régleurs : aucun artefact de mesure n'a été enregistré (pas de cri dans le microphone, etc.), la valeur mesurée la plus élevée est liée à une intervention particulièrement longue sur une machine en marche, mais qui fait partie du travail normal. Dans ce cas, la norme impose d'effectuer au moins deux mesures supplémentaires ; elles fourniront les résultats suivants :  $L_{p,A,eqTe} = 91,2$  et 90,4 dB(A).

**Niveaux de pression acoustique de crête:** la valeur la plus élevée s'élève à 141 dB(C) et fut mesurée lors de la seconde journée.

## Analyse des résultats

En cas d'usage de la stratégie de mesure par journée entière, la saisie des valeurs s'effectue sur la même feuille que celle utilisée dans l'exemple précédent (les fraiseurs), celle dont l'onglet est « métier ou journées entières ».

Quand les trois premières valeurs mesurées sont saisies, le résultat de la feuille de calcul est  $L_{EX,8h} = 90,1$  dB(A) avec une incertitude élargie  $U = 7,3$  dB(A).

Quand les deux résultats supplémentaires sont saisis, on arrive à la *figure 30*:

- niveau d'exposition quotidienne au bruit  $L_{EX,8h} = 90,2$  dB(A) ;
- incertitude élargie  $U = 3,3$  dB(A) ;
- facteur prépondérant d'incertitude : l'instrumentation (cf.  $(u_2)^2 = 2,25$  sur un total  $u^2(L_{EX,8h}) = 4,09$ ).

ISO 9612 Évaluation des incertitudes de mesure (annexe C) Méthode basée sur la fonction ou sur une journée entière				
Pour saisir les données : n'utiliser que les cellules jaunes.		Calculs (références ISO)		
Valeurs mesurées	Niveaux de bruit (dB)	Paramètres		
	$L_{p,A,eqT,1}$	$T_0$ (h) =	(Eq. C.8) $L_{EX,8h} =$	
	$L_{p,A,eqT,2}$	Durée totale effective de la journée de travail (en h)	(Eq. 11) $L_{p,A,eqT} =$	
	$L_{p,A,eqT,3}$	$T_e =$	(Eq. C.12) $u_1 =$	
	$L_{p,A,eqT,4}$	Incertitude type due aux instruments de mesure (tableau C.5)	(tableau C.4 pour N et $u_1$ ) $c_1 * u_1 =$	
	$L_{p,A,eqT,5}$	$u_2 =$	<b>Incertitude-type composée</b>	
	$L_{p,A,eqT,6}$	Incertitude type due au choix des positions de mesure	Sources d'incertitude	
	$L_{p,A,eqT,7}$	$u_3 =$	1) Niveaux de bruit $(c_1 * u_1)^2 =$	
	$L_{p,A,eqT,8}$		2) Instrument $Q_2$ $(u_2)^2 =$	
	$L_{p,A,eqT,9}$		3) Position du microphone $Q_3$ $(u_3)^2 =$	
	$L_{p,A,eqT,10}$		Somme (C.9) $u^2(L_{EX,8h}) =$	
	$L_{p,A,eqT,11}$		$u(L_{EX,8h}) =$	
	$L_{p,A,eqT,12}$		$U = 1,65 * u$	<b><math>U(L_{EX,8h}) =</math></b>
	$L_{p,A,eqT,13}$			
	$L_{p,A,eqT,14}$			
	$L_{p,A,eqT,15}$			
	$L_{p,A,eqT,16}$			
	$L_{p,A,eqT,17}$			
	$L_{p,A,eqT,18}$			
	$L_{p,A,eqT,19}$			
$L_{p,A,eqT,20}$				
Nombre de valeurs mesurées	$N =$	Niveau d'exposition quotidienne au bruit	<b>90,2</b> dB	
		Incertitude élargie	<b>3,3</b> dB	

Figure 30. Exemple des régleurs. Saisie des données et résultats avec la calculatrice.

## Interprétation et recommandations pratiques

- Le niveau  $L_{EX,8h}$  estimé dépasse le seuil supérieur d'action réglementaire de 85 dB(A). Le dépassement de ce seuil a été constaté également par les mesures des niveaux de crête.
- L'incertitude totale sur  $L_{EX,8h}$  s'élève à 3,3 dB(A) et provient principalement de l'appareillage de mesure, dès lors que cinq mesures sont effectuées.
- Si l'obligation de la norme d'effectuer deux mesures supplémentaires n'avait pas été respectée, le niveau  $L_{EX,8h}$  aurait été estimé par une valeur très proche s'élevant à 90,7 dB(A), mais avec une incertitude élargie s'élevant à 7,3 dB(A) au lieu de 3,3 dB(A). L'ampleur de cette valeur d'incertitude illustre l'intérêt des deux mesures supplémentaires demandées par la norme.
- Pour réduire le risque de pertes auditives auquel ce groupe est exposé, il est nécessaire que les régleurs portent un PICB durant toutes les interventions qu'ils doivent effectuer sur des machines en marche ou à proximité de machines très bruyantes et que des actions de réduction collective du risque soient mises en œuvre.

## 8.6. Exemple d'évaluation de l'exposition hebdomadaire

L'évaluation de l'exposition hebdomadaire se justifie dès lors que les niveaux d'exposition fluctuent significativement d'une journée sur l'autre. Deux procédures de mesures peuvent être utilisées pour une évaluation hebdomadaire, l'approche par tâche ou l'approche par journée entière.

Ces procédures doivent être mises en œuvre de la même façon que lors d'une évaluation de l'exposition quotidienne. Toutefois l'évaluation hebdomadaire à l'aide de la calculette impose la prise en compte de quelques spécificités, qui sont explicitées ci-après et illustrées d'un exemple, ceci pour les deux stratégies envisageables. Le principe de base est d'estimer la durée hebdomadaire des tâches ou de travail par leur valeur moyenne quotidienne équivalente.

### Évaluation hebdomadaire basée sur l'approche par tâche

#### *Procédure à appliquer:*

- Caractéristiques de la journée nominale: elles doivent être définies en référence à une semaine, afin de spécifier en conséquence la nature et la durée des tâches.
- Durée des tâches: estimer la durée cumulée totale durant la semaine de chaque tâche  $m$ , notée  $T_m(\text{hebdo})$ , et exprimée en heures.
- Calculer la durée moyenne quotidienne équivalente de chaque tâche:  
 $T_m(\text{quotid}) = T_m(\text{hebdo}) / 5$ .
- Mesurages: les réaliser conformément aux spécifications du chapitre 6.
- Saisie et analyse des résultats avec la calculette (saisie par tâches): indiquer les niveaux de bruit mesurés pour chaque tâche puis la durée moyenne quotidienne équivalente de chaque tâche,  $T_m(\text{quotid})$ .

#### *Exemple:*

Des agents contrôlent une installation de production d'énergie par des rondes qui sont définies sur la base d'une semaine, mais changent d'un jour à l'autre. Leur travail a été scindé en quatre grandes tâches principales (contrôles, trajets, maintenance préventive, intervention). L'évaluation des durées cumulées durant une semaine des quatre tâches a fourni les valeurs du tableau de la *figure 31*.

Les niveaux de bruit  $L_{p,A,eq,T_m}$  et les durées quotidiennes équivalentes  $T_m(\text{quotid})$  ont été saisies sur la calculatrice pour chaque tâche, ainsi que l'incertitude liée à l'appareillage de mesure (0,7 dB(A), en cas d'usage d'un sonomètre intégrateur).

Tâche m	Contrôles	Trajets	Maintenance	Intervention	Durée totale
Durée hebdomadaire cumulée $T_m(\text{hebdo}), h$	10 h	10 h	7 h	8 h	35 h
Durée moyenne quotidienne équivalente $T_m(\text{quotid}), h$	2 h	2 h	1,4 h	1,6 h	7 h
Niveaux de bruit mesurés $L_{p,A,eqT,m}$ dB(A)	82 ; 86 ; 87,2 ; 83 ; 84,1 ; 83,5	82,4 ; 82,2 ; 81,5	86,5 ; 92,4 ; 89,3 ; 93,2 ; 87,8 ; 86,2	89 ; 91,2 ; 87,2 ; 84,5 ; 87 ; 89	/

Figure 31. Exemple de données utiles pour évaluer l'exposition hebdomadaire en cas d'approche par tâche.

Pour cet exemple, le résultat de l'évaluation hebdomadaire est le suivant :

- niveau d'exposition hebdomadaire au bruit (noté  $L_{EX,8h}$ ) = 86,4 dB(A) ;
- incertitude élargie  $U = 1,5$  dB(A).

### Évaluation hebdomadaire basée sur l'approche par journée entière

#### Procédure à appliquer :

- Caractéristiques des journées considérées : toutes les journées travaillées durant la semaine (pour la personne ou le groupe d'exposition) doivent faire l'objet d'un mesurage du bruit.
- Résultat du mesurage d'exposition lors d'une journée  $x$  :  $L_{p,A,eqT,x}$  en dB(A).
- Durée hebdomadaire effective de travail  $T_e(\text{hebdo})$ , en heures : estimer sa valeur par le cumul des durées effectives  $T_e(x)$  de chaque journée travaillée durant la semaine.
- Calculer la durée de travail effective moyenne quotidienne équivalente :  
 $T_e(\text{quotid}) = T_e(\text{hebdo}) / 5$ .
- Saisie et analyse des résultats avec la calculatrice (saisie par journées) : indiquer les valeurs mesurées  $L_{p,A,eqT,x}$  puis la durée de travail effective moyenne quotidienne équivalente  $T_e(\text{quotid})$ .

#### Exemple :

Des opérateurs de maintenance font leur travail en trois journées de 12 heures, afin de placer en fin de semaines les opérations spécifiques qu'ils doivent effectuer. Les mesurages ont été effectués par exposimétrie lors de trois journées de travail. Ils ont fourni la série initiale des niveaux de bruit indiqués sur le tableau de la figure 32.

		Jour 1	Jour 2	Jour 3
Durée effective quotidienne de travail $T_e(x)$ , h		12 heures	12 heures	12 heures
Niveaux de bruit mesurés $L_{p,A,eqT,x}$ dB(A)	Série initiale	84,5	89,3	86,7
	Seconde série	87,2	85,3	90,1

Figure 32. Exemple de données utiles pour évaluer l'exposition hebdomadaire en cas d'approche par journée entière.

On déduit de ces données que  $T_e(\text{hebdo}) = 3 \times 12 = 36$  h. Ceci équivaut à une durée de travail effective moyenne quotidienne  $T_e(\text{quotid}) = 36 / 5 = 7,2$  h.

La série initiale des niveaux de bruit mesurés a été saisie sur la calculette. Avec la durée de travail effective moyenne  $T_e(\text{quotid}) = 7,2$  h et l'incertitude associée à l'appareillage de 1,5 dB(A) (liée à l'usage d'un exposimètre), le résultat initial est le suivant :

- niveau d'exposition hebdomadaire au bruit (noté  $L_{EX,8h}$ ) = 86,8 dB(A);
- incertitude élargie  $U = 12,7$  dB(A).

La série initiale fournissant une incertitude  $U$  estimée trop élevée, on poursuit le mesurage dans ce groupe d'opérateurs. Une seconde série comprenant trois nouvelles mesures d'exposition est effectuée dans les mêmes conditions que la série initiale.

Quand les résultats des deux séries mesurées sont saisis, on obtient l'estimation suivante :

- niveau d'exposition hebdomadaire au bruit = 87,2 dB(A);
- incertitude élargie  $U = 3,9$  dB(A).

Cet exemple montre qu'avec un nombre de mesure aussi réduit que trois, il est possible d'obtenir une incertitude  $U$  très élevée, dès que les écarts sur les niveaux de bruit entre journées s'élèvent à 5 dB(A). Pour réduire  $U$ , la première stratégie envisageable est celle de l'exemple cité : accroître le nombre de mesures. Toutefois, **s'il est possible de trouver dans le travail lui-même une explication aux différences d'exposition constatées entre journées, une autre stratégie est préférable : celle de l'approche par tâche**, qui peut être conçue pour prendre en compte, dans le mesurage du bruit, le facteur expliquant les différences entre journées de travail.

# Foire aux questions



## **1. Les mesures d'exposition sont-elles obligatoires ?**

Non. L'obligation réglementaire s'applique « à l'évaluation et, si nécessaire, au mesurage » des niveaux de bruit auxquels les travailleurs sont exposés. L'évaluation peut s'effectuer sans mesures d'exposition normalisées (voir chapitres 4 et 5). Cependant, le mesurage normalisé s'applique si l'estimation conduit à un résultat proche des seuils réglementaires.

## **2. Faut-il mesurer le bruit tous les deux ans ?**

Non. En cas de mesurage du bruit, il doit être renouvelé « au moins tous les cinq ans ». Toutefois, « lorsqu'une modification des installations ou des modes de travail est susceptible d'entraîner une élévation des niveaux de bruit », le mesurage doit être renouvelé (code du travail, articles R. 4433-1 et R. 4433-2).

## **3. Quand l'intervention est réduite en durée, quels résultats attendre de mesures de bruit ?**

Si les conditions d'intervention sont incompatibles avec les contraintes de la norme de mesure (analyse du travail, choix de stratégie et effort de mesurage), il faut expliquer que des mesurages réduits peuvent être réalisés. Les résultats fourniront uniquement une estimation du risque bruit et il sera impossible de les utiliser pour attester de la conformité aux seuils réglementaires.

## **4. Après une intervention de la CRAM, y a-t-il encore besoin de mesures de bruit ?**

Tout dépend du contenu et du champ de l'intervention de la CRAM. Il est possible que les mesures aient été ciblées sur des postes de travail sur machines très bruyantes, en vue de suggérer des solutions de réduction du bruit. Si c'est le cas, une démarche plus globale de mesurage de l'exposition sur tous les postes de travail exposés reste nécessaire.

## **5. Est-ce que je peux effectuer moi-même le mesurage ?**

Oui. Mais si « mesurage » est compris (comme dans cette brochure) par « mesures normalisées, précises », cela suppose des moyens et une compétence métrologique. Ne pas oublier que l'exposition au bruit peut aussi être « évaluée » (sans mesures normalisées), en appliquant une estimation sommaire ou une évaluation simplifiée (voir chapitres 4 et 5).

## **6. Un organisme agréé doit-il être sollicité ?**

Dans le domaine du mesurage du bruit professionnel, l'agrément que délivrait le ministère du Travail jusqu'en 2006 a été supprimé. Dorénavant, il s'agit d'organismes accrédités (par le COFRAC ou un organisme d'accréditation similaire européen). Le recours à un organisme de mesure exerçant son activité dans le cadre de cette accréditation n'est requis que si le mesurage est effectué suite à une demande de l'inspection du travail.

### **7. Peut-on exclure du mesurage les agents exposés au bruit de façon intermittente ?**

Cette question concerne les agents d'entretien, de maintenance, de maîtrise, etc. La réponse à cette question dépend du niveau de bruit et du temps de présence dans l'atelier de ces agents. Appliquer la méthode d'évaluation simplifiée du risque (*voir chapitre 5*) pour obtenir une réponse circonstanciée.

### **8. Une personne ayant un travail très spécifique a fait l'objet d'un mesurage d'exposition au bruit en continu durant une journée. Comment interpréter son résultat ?**

Les circonstances du travail de cette personne ne permettant pas d'exclure des variations d'un jour à l'autre, le mesurage lors d'une seule journée ne peut être utilisé que pour une évaluation simplifiée du risque (*voir chapitre 5*). Si le résultat est proche d'un seuil d'action réglementaire, il faudra poursuivre le mesurage lors de deux autres journées de travail, afin de respecter la norme et de fournir un résultat doté d'une incertitude, interprétable en termes de non-dépassement d'un seuil d'action réglementaire.

### **9. Faut-il inclure les pauses dans les périodes de mesure ?**

Si les mesures sont effectuées à l'aide d'un sonomètre, non. Si un exposimètre est utilisé, on peut les inclure ou les exclure, mais dans les deux cas, voir les spécifications données au chapitre 6.3.4, afin que le résultat final soit cohérent avec le choix effectué.

### **10. Faut-il prévoir l'achat d'appareils mesurant le bruit en pondération A et en C ?**

Cette question se pose quand on veut disposer d'une estimation précise du bruit auquel un travailleur reste exposé alors qu'il porte un protecteur individuel contre le bruit. C'est souhaitable mais pas indispensable. Pour en savoir plus, consulter les précisions données à ce sujet au chapitre 2.8.

### **11. Suffit-il de porter des PICB ?**

Non. Porter un protecteur individuel contre le bruit (PICB) est un moyen de réduire le risque au plan individuel. Ce moyen de dernier recours n'annule pas la mise en œuvre des actions collectives de réduction du risque bruit, fixées par la loi en cas de dépassement de seuils d'actions. De plus, l'efficacité réelle d'un PICB est souvent surestimée (*voir sur ce point les précisions données au chapitre 2.8*).

### **12. Bruits gênants : que faire ?**

Les effets du bruit ne se limitent pas aux atteintes auditives et au risque de surdité. Dans le secteur tertiaire notamment peuvent exister des effets de stress, de perturbation des communications ou de manque de confidentialité entre locaux. Dans ce cas, les mesures d'exposition qui font l'objet de cette brochure sont insuffisantes. Pour traiter des questions de ce type, d'autres approches méthodologiques sont nécessaires (*voir la rubrique « Pour en savoir plus »*).

### **13. Que faire avec les ultrasons ?**

En milieu industriel, certains appareils de soudage ou de nettoyage fonctionnent avec des fréquences comprises en 15 kHz et 40 kHz. Il s'agit d'ultrasons proches du domaine audible. Sur leurs effets, les limites d'exposition, les moyens de réduire les risques, se référer aux documents cités en bibliographie.

# Pour en savoir plus

## Outils disponibles sur Internet

**Calculettes Excel téléchargeables à l'adresse**  
[www.inrs.fr/actus/calculettesbruit.html](http://www.inrs.fr/actus/calculettesbruit.html)

- Calculette liée à l'usage de la norme NF EN ISO 9612
- Application de la VLE en cas d'usage d'un PICB
- Calculs d'exposition sonore partielle

### Sites web

- Accès direct au dossier sur le bruit mis en ligne sur le site de l'INRS : [www.inrs.fr/dossiers/bruit.html](http://www.inrs.fr/dossiers/bruit.html)
- Centre d'information et de documentation sur le bruit : [www.cidb.org](http://www.cidb.org)
- AFNOR : [www.afnor.org](http://www.afnor.org)
- Base de données sur l'exposition aux bruits de la SUVA : [www.suva.ch/waswo/86005](http://www.suva.ch/waswo/86005)
- Portail dédié à l'acoustique (produits, matériels de mesure, etc.) : [www.dbstop.com](http://www.dbstop.com)

## Références bibliographiques

*Parmi les références ci-dessous, celles éditées par l'INRS sont disponibles en format papier dans les CRAM et les CGS et sont téléchargeables en pdf sur le site [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr) en tapant leur référence dans le moteur de recherche.*

### Norme de mesure de l'exposition au bruit professionnel

NF EN ISO 9612, *Acoustique. Détermination de l'exposition au bruit en milieu de travail. Méthode d'expertise*, 2009

### Réglementation

- *Le bruit*, INRS, coll. « Aide-mémoire juridique », TJ 16
- *Les maladies professionnelles. Guide d'accès aux tableaux du régime général et du régime agricole de la Sécurité sociale*, INRS, ED 835

### Réduction du bruit

- *Techniques de réduction du bruit en entreprise. Quelles solutions, comment choisir*, INRS, ED 962
- *Techniques de réduction du bruit en entreprise. Exemples de réalisation*, INRS, ED 997

## Protecteurs individuels contre le bruit

- *Application de la réglementation sur le bruit et usage de protecteurs individuels contre le bruit (PICB). Recommandation de l'INRS, INRS, coll. « Fiche pratique de sécurité », ED 133*
- *Affaiblissement acoustique in situ des protecteurs individuels contre le bruit. Étude bibliographique, INRS, ND 2295 (article issu de la revue Hygiène et sécurité du travail)*
- *Les équipements de protection individuelle de l'ouïe. Choix et utilisation, INRS, ED 868*
- *Norme NF EN 4869-2, Acoustique. Protecteurs individuels contre le bruit. Estimation des niveaux de pression acoustique pondérés A en cas d'utilisation de PICB*
- *Norme NF EN 458, Acoustique. Protecteurs individuels contre le bruit. Recommandations relatives à la sélection, à l'utilisation, aux précautions d'emploi et à l'entretien. Document guide*

## Autres documents

- *Exposition aux risques et aux pénibilité du travail de 1994 à 2003. Premiers résultats de l'enquête SUMER 2003, INRS, TF 137 (article issu de la revue Documents pour le médecin du travail), uniquement disponible en pdf téléchargeable sur le site [www.dmt-prevention.fr](http://www.dmt-prevention.fr)*
- *Limites d'exposition aux infrasons et aux ultrasons. Étude bibliographique, INRS, ND 2250 (article issu de la revue Hygiène et sécurité du travail)*
- *Effets non traumatiques du bruit sur la santé, la sécurité et l'efficacité de l'homme au travail. Étude bibliographique, INRS, ND 1954 (article issu de la revue Hygiène et sécurité du travail), uniquement disponible en pdf téléchargeable sur le site [www.hst.fr](http://www.hst.fr)*

# Annexe 1. Termes d'acoustique

Les définitions des grandeurs utilisées lors des mesures d'exposition au bruit professionnel sont rappelées, ainsi que leurs relations.

## Niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A, $L_{p,A,eqT}$

Valeur du niveau de pression acoustique d'un son stable qui, au cours d'une période de durée spécifiée T, a la même pression quadratique moyenne que le son considéré, dont le niveau varie durant T. Il s'exprime en dB(A):

$$L_{p,A,eqT} = 10 \lg \frac{1}{T} \int_0^T \frac{p_A(t)^2}{p_0^2} dt$$

où:

$p_A(t)$  est la valeur à l'instant t de la pression acoustique pondérée A;

$p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Pa.

Quand le niveau du bruit est mesuré en pondération C, le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré C est noté  $L_{p,C,eqT}$ .

Quand la durée totale effective d'une journée de travail est notée  $T_e$ , la dose de bruit reçue par un travailleur s'exprime par la valeur de  $L_{p,A,eqT_e}$ .

## Niveau d'exposition quotidienne au bruit, $L_{EX,8h}$

Pour tenir compte des diverses amplitudes des journées de travail, la dose de bruit reçue lors d'une journée de travail est normalisée par une durée arbitraire, fixée égale à 8 heures, afin d'obtenir  $L_{EX,8h}$ , niveau de bruit comparable aux seuils réglementaires. Le niveau d'exposition quotidienne au bruit s'exprime en dB(A):

$$L_{EX,8h} = L_{p,A,eqT_e} + 10 \lg (T_e / 8)$$

où:

$T_e$  est la durée totale effective de la journée de travail, exprimée en heures;

$L_{p,A,eqT_e}$  est le niveau de pression acoustique continu équivalent du bruit pendant  $T_e$ .

*Note:* La grandeur  $L_{EX,8h}$  a deux appellations: « niveau d'exposition quotidienne au bruit » (réglementation européenne) ou « niveau d'exposition au bruit rapporté à une journée de travail de 8 heures » (norme NF EN ISO 9612). Ceci ne change en rien son contenu métrologique.

## Niveau de pression acoustique de crête pondéré C, $L_{p,C,peak}$

Pendant une durée d'observation T qui doit être spécifié, niveau maximal de la pression acoustique instantanée mesuré en pondération C. Il s'exprime en dB(C).

## Pondération A et pondération C

Courbes normalisées de pondération en fréquence, à sélectionner sur l'appareil de mesure du bruit avant de débiter le mesurage. La pondération A, calquée sur la courbe de sensibilité de l'oreille humaine aux niveaux de bruit courants, doit être utilisée dans toutes les mesures nécessaires à l'évaluation de  $L_{EX,8h}$ . La pondération C, calquée sur la sensibilité moyenne de l'oreille humaine aux niveaux de bruit élevés, donne quasiment le même poids à toutes les fréquences comprises entre 100 et 4000 Hz. Elle doit être utilisée pour les mesures de  $L_{p,C,peak}$ . En cas d'usage d'un protecteur individuel contre

Le bruit (PICB), le niveau continu équivalent mesuré en pondération C est utile pour évaluer l'exposition au bruit compte tenu du port du PICB.

## Exposition sonore, $E_{A,T}$

Valeur de l'intégrale de la pression acoustique quadratique pondérée A, pendant une durée T exprimée en heures. Elle s'exprime en  $\text{Pa}^2 \cdot \text{h}$ :

$$E_{A,T} = \int_0^T p_A(t)^2 dt$$

Si T est exprimé en heures (et avec  $T_0 = 8 \text{ h}$ ), les relations liant  $E_{A,T}$  et  $L_{p,A,eqT}$  sont:

$$E_{A,T} = (0,32 \cdot 10^{-8}) \times T / T_0 \times 10^{0,1 \times L_{p,A,eqT}}$$

$$L_{p,A,eqT} = 10 \lg [(E_{A,T} / 0,32 \cdot 10^{-8}) \times T_0 / T]$$

## Point d'exposition

Un point d'exposition vaut un centième de  $\text{Pa}^2 \cdot \text{h}$ .

*Note:* 100 points équivalent quasiment à l'exposition sonore à un bruit de niveau de 85 dB(A) durant 8 h ( $E_{A,8h}(85 \text{ dB}) = 1,012 \text{ Pa}^2 \cdot \text{h}$ ).

## Exposition décomposée en tâches

$$L_{p,A,eqTe} = 10 \lg \frac{1}{T_e} \sum_{m=1}^M T_m \times 10^{0,1 \times L_{p,A,eqT,m}}$$

où:

M est le nombre de tâches;

$L_{p,A,eqT,m}$  le niveau acoustique continu équivalent de la tâche m;

$T_m$  la durée (en heures) de la tâche m;

$T_e$  la durée totale (en h) des M tâches.

Contribution d'une tâche m au niveau d'exposition quotidienne au bruit  $L_{EX,8h,m}$ :

$$L_{EX,8h,m} = 10 \lg [(T_m / 8) 10^{0,1 \times L_{p,A,eqT,m}}]$$

## Niveau d'exposition hebdomadaire

$$L_{EX,40h} = 10 \lg \frac{1}{5} \sum_{x=1}^X 10^{0,1 \times L_{EX,8h(x)}}$$

où:

X est le nombre de journées travaillées;

$L_{EX,8h(x)}$  le niveau d'exposition quotidienne au bruit de la journée x.

## Annexe 2. Fiche de préparation du mesurage de bruit dans une entreprise

Dans les entreprises ou ateliers comprenant un nombre élevé de travailleurs, le mesurage peut être prévu après analyse du travail, conduisant éventuellement à un regroupement de travailleurs dans des groupes d'exposition homogènes (GEH).

Pour faciliter la réalisation des mesurages, une

fiche récapitulant les caractéristiques principales de l'exposition au bruit est proposée, mentionnant également la stratégie de mesurage envisagée.

Quand ce tableau est renseigné, vérifier que le total des effectifs indiqués correspond bien à l'effectif total exposé au bruit dans l'entreprise.

## Récapitulatif des circonstances de l'exposition au bruit dans une entreprise

Entreprise : ..... Date : .....

Métiers, fonctions ou tâches			Présence possible d'événements acoustiques ? Opérations très bruyantes lors de phases particulières ? Activités très bruyantes à des postes de travail voisins ?					Prévision du mesurage					
			Numéro de l'opérateur ou du GEH	Désignation (durée <sup>(a)</sup> )	Effectif total <sup>(b)</sup>	Machines Sources sonores	Nature	Période d'apparition	Durée	Fréquence quotidienne	Type <sup>(c)</sup>	Durée	Période

- a) En cas d'approche par tâche, indiquer la désignation et la durée totale quotidienne de chaque tâche.  
b) Si le travail est organisé en plusieurs postes (3 x 8 h, etc.), indiquer l'effectif tous postes compris.  
c) Stratégie sélectionnée (mesurage par tâche, par métier ou par journée entière)

**Validation de la fiche de préparation du mesurage :**

# Glossaire

Ce glossaire indique dans quels chapitres trouver plus d'informations.

## Artefact de mesure

Phénomène non lié à l'objet mesuré mais qui affecte son résultat: frottement du microphone, mouvement de câble, cris délibérés dans le microphone.

*Voir chapitre 6.7.7.*

## Bruit ambiant

Niveau de bruit reçu en un point donné à un moment donné.

*Voir chapitre 2.1.*

## Bruit émis (par une machine)

Bruit émis par une machine seule, mesuré en l'absence de toute interférence provenant d'autres machines et sans réflexions du bruit sur les parois d'un local, quand la machine fonctionne dans des conditions spécifiées par un code d'essai.

*Voir chapitre 2.1.*

## Bruit impulsionnel

Bruit atteignant un niveau très élevé pendant une durée très courte (inférieure à la seconde).

*Voir chapitre 2.2.*

## Carte de bruit

Représentation spatiale de la répartition des niveaux de bruit. Peut être appliquée à des bruits dont la nature reste à spécifier (bruit émis, bruit ambiant, etc.).

*Voir chapitre 2.6.*

## Dosimètre

*Voir Exposimètre.*

*Voir chapitre 2.9.*

## Durée effective de travail, $T_e$

Durée d'une journée habituelle de travail. Cette durée inclut généralement les pauses. Éventuellement, une durée de travail effectif hors pause peut être spécifiée.

*Voir chapitre 6.3.4.*

## Durée d'intégration, T

Durée de mesure T appliquée au mesurage d'un niveau de pression acoustique continu équivalent durant T. Cette durée est généralement de plusieurs minutes, et peut atteindre 8 heures en cas de mesurage sur une journée entière.

*Voir chapitre 2.2.*

## Durée d'intégration élémentaire, dt

Quand des mesures sont effectuées en continu durant un intervalle de temps T pour fournir une série chronologique du bruit, la durée dt est la durée d'intégration de chaque mesure élémentaire  $L_{p,A,eqdt}$  composant la série de durée T. La valeur de dt peut être fixée à une seconde (ou une minute) si la série chronologique T dure plusieurs heures.

*Voir chapitres 2.2, 6.7.2, 7.5.*

## Événement acoustique rare

Phénomène très bruyant et généralement de faible durée.

*Voir chapitre 6.3.5.*

## Exposimètre

Appareil de mesure porté par un travailleur et permettant de mesurer son exposition au bruit sur une longue durée.

*Voir chapitre 2.9.*

### Exposition sonore, $E_{A,T}$

Valeur indiquant la dose de bruit reçue pendant une durée  $T$ . Exprimée en  $\text{Pa}^2\cdot\text{h}$ , l'exposition sonore s'additionne (ou se soustrait) simplement (contrairement aux niveaux de bruit en décibels exprimés sur une échelle logarithmique).

Voir chapitre 2.5.

### Groupe d'exposition homogène, GEH

Groupe de travailleurs effectuant le même travail et exposés au bruit dans des circonstances similaires, durant leur journée de travail.

Voir chapitre 6.3.6.

### Journée nominale

Journée type de travail, au cours de laquelle sera évaluée l'exposition au bruit. Déterminée par analyse du travail, la journée nominale doit prendre en compte tous les facteurs susceptibles d'influencer l'exposition au bruit.

Voir chapitre 6.3.2.

### $L_{EX,8h}$ — Niveau d'exposition quotidienne au bruit

Niveau de bruit qui combine, durant une journée de travail, l'exposition sonore liée à chaque phase de travail. Ramené à une durée de référence de 8 heures, ce niveau est comparable aux *seuils d'actions* réglementaires.

Voir chapitre 2.3.

### $L_{EX,40h}$ — Niveau d'exposition hebdomadaire au bruit

Niveau de bruit qui combine, durant une semaine de travail, l'exposition sonore liée à chaque journée de travail et ramené à une durée de référence de 40 heures.

Voir chapitre 6.5.4.

### $L_{p,A,eqT}$ — Niveau de pression acoustique continu équivalent durant T

Niveau de bruit « moyen » sur une durée de mesure  $T$ , prenant en compte les variations instantanées du bruit pendant la durée  $T$  spécifiée, mesuré avec la *pondération A*.

Voir chapitre 2.2.

### $L_{p,A,eqTe}$

Niveau de pression acoustique continu équivalent *pondéré A* mesuré ou évalué sur la *durée effective d'une journée travail*  $T_e$ .

Voir chapitre 2.3.

### $L_{p,C,peak}$ — Niveau de pression acoustique de crête

Niveau de pression acoustique instantané maximum, pendant un intervalle de temps spécifié, mesuré en *pondération C*.

Voir chapitre 2.2.

### PICB

Voir *Protecteur individuel contre le bruit*.

Voir chapitre 2.8.

### Point d'exposition

Unité de base à utiliser pour calculer l'*exposition sonore*.

Voir chapitre 2.5.

### Pondération A

Correction fréquentielle appliquée au mesurage d'un niveau de bruit et calquée sur la sensibilité moyenne de l'oreille humaine aux bruits de niveau courant.

Voir chapitre 2.2.

### Pondération C

Correction fréquentielle appliquée au mesurage d'un niveau de bruit et calquée sur la sensibilité moyenne de l'oreille humaine aux bruits de niveau élevé.

Voir chapitre 2.2.

### Protecteur individuel contre le bruit

Équipement de protection individuelle qui obture le conduit auditif (bouchon, serre-tête, etc.).

Voir chapitre 2.8.

### Série chronologique (de bruit)

Tracé de l'évolution du niveau de bruit mesuré  $L_{p,A,eqdt}$  en fonction du temps de travail. Les variations de la série dépendent de la *durée d'intégration élémentaire dt*.

Voir chapitre 7.5.

### Seuils d'actions

Valeurs réglementaires d'exposition à partir desquelles certaines actions de prévention sont requises. Elles ne prennent pas en compte l'atténuation des *PICB*.

*Voir chapitre 1.1.*

### Sonomètre

Appareil de mesure utilisé par un technicien pour évaluer une exposition au bruit sur une courte durée.

*Voir chapitre 2.9.*

### T<sub>e</sub>

Durée quotidienne effective de travail.

*Voir chapitre 2.3.*

### U

Incertitude de mesure (de l'anglais *uncertainty*).

*Voir chapitre 7.2.*

### VLE — Valeur limite d'exposition

Valeur réglementaire d'exposition à ne dépasser en aucun cas, prenant en compte l'atténuation de l'exposition au bruit procurée par le port d'un *PICB*.

*Voir chapitre 1.1.*

Pour obtenir en prêt les audiovisuels et multimédias et pour commander les brochures et les affiches de l'INRS, adressez-vous au service Prévention de votre Carsat, Cram ou CGSS.

## Services Prévention des Carsat et des Cram

### Carsat ALSACE-MOSELLE

(67 Bas-Rhin)  
14 rue Adolphe-Seyboth  
CS 10392  
67010 Strasbourg cedex  
tél. 03 88 14 33 00  
fax 03 88 23 54 13  
prevention.documentation@carsat-am.fr  
www.carsat-alsacemoselle.fr

(57 Moselle)  
3 place du Roi-George  
BP 31062  
57036 Metz cedex 1  
tél. 03 87 66 86 22  
fax 03 87 55 98 65  
www.carsat-alsacemoselle.fr

(68 Haut-Rhin)  
11 avenue De-Lattre-de-Tassigny  
BP 70488  
68018 Colmar cedex  
tél. 03 88 14 33 02  
fax 03 89 21 62 21  
www.carsat-alsacemoselle.fr

### Carsat AQUITAINE

(24 Dordogne, 33 Gironde,  
40 Landes, 47 Lot-et-Garonne,  
64 Pyrénées-Atlantiques)  
80 avenue de la Jallère  
33053 Bordeaux cedex  
tél. 05 56 11 64 36  
fax 05 57 57 70 04  
documentation.prevention@carsat-aquitaine.fr  
www.carsat-aquitaine.fr

### Carsat AUVERGNE

(03 Allier, 15 Cantal, 43 Haute-Loire,  
63 Puy-de-Dôme)  
48-50 boulevard Lafayette  
63058 Clermont-Ferrand cedex 1  
tél. 04 73 42 70 76  
fax 04 73 42 70 15  
preven.carsat@orange.fr  
www.carsat-auvergne.fr

### Carsat BOURGOGNE et FRANCHE-COMTÉ

(21 Côte-d'Or, 25 Doubs, 39 Jura,  
58 Nièvre, 70 Haute-Saône,  
71 Saône-et-Loire, 89 Yonne,  
90 Territoire de Belfort)  
ZAE Cap-Nord, 38 rue de Cracovie  
21044 Dijon cedex  
tél. 08 21 10 21 21  
fax 03 80 70 52 89  
prevention@carsat-bfc.fr  
www.carsat-bfc.fr

### Carsat BRETAGNE

(22 Côtes-d'Armor, 29 Finistère,  
35 Ille-et-Vilaine, 56 Morbihan)  
236 rue de Châteaugiron  
35030 Rennes cedex  
tél. 02 99 26 74 63  
fax 02 99 26 70 48  
drpcdi@carsat-bretagne.fr  
www.carsat-bretagne.fr

### Carsat CENTRE

(18 Cher, 28 Eure-et-Loir, 36 Indre,  
37 Indre-et-Loire, 41 Loir-et-Cher, 45 Loiret)  
36 rue Xaintrailles  
45033 Orléans cedex 1  
tél. 02 38 81 50 00  
fax 02 38 79 70 29  
prev@carsat-centre.fr  
www.carsat-centre.fr

### Carsat CENTRE-OUEST

(16 Charente, 17 Charente-Maritime,  
19 Corrèze, 23 Creuse, 79 Deux-Sèvres,  
86 Vienne, 87 Haute-Vienne)  
37 avenue du président René-Coty  
87048 Limoges cedex  
tél. 05 55 45 39 04  
fax 05 55 45 71 45  
cirp@carsat-centreouest.fr  
www.carsat-centreouest.fr

### Cram ÎLE-DE-FRANCE

(75 Paris, 77 Seine-et-Marne,  
78 Yvelines, 91 Essonne,  
92 Hauts-de-Seine, 93 Seine-Saint-Denis,  
94 Val-de-Marne, 95 Val-d'Oise)  
17-19 place de l'Argonne  
75019 Paris  
tél. 01 40 05 32 64  
fax 01 40 05 38 84  
prevention.atmp@cramif.cnamts.fr  
www.cramif.fr

### Carsat LANGUEDOC-ROUSSILLON

(11 Aude, 30 Gard, 34 Hérault,  
48 Lozère, 66 Pyrénées-Orientales)  
29 cours Gambetta  
34068 Montpellier cedex 2  
tél. 04 67 12 95 55  
fax 04 67 12 95 56  
prevdoc@carsat-lr.fr  
www.carsat-lr.fr

### Carsat MIDI-PYRÉNÉES

(09 Ariège, 12 Aveyron, 31 Haute-Garonne,  
32 Gers, 46 Lot, 65 Hautes-Pyrénées,  
81 Tarn, 82 Tarn-et-Garonne)  
2 rue Georges-Vivent  
31065 Toulouse cedex 9  
tél. 0820 904 231 (0,118 €/min)  
fax 05 62 14 88 24  
doc.prev@carsat-mp.fr  
www.carsat-mp.fr

### Carsat NORD-EST

(08 Ardennes, 10 Aube, 51 Marne,  
52 Haute-Marne, 54 Meurthe-et-Moselle,  
55 Meuse, 88 Vosges)  
81 à 85 rue de Metz  
54073 Nancy cedex  
tél. 03 83 34 49 02  
fax 03 83 34 48 70  
documentation.prevention@carsat-nordest.fr  
www.carsat-nordest.fr

### Carsat NORD-PICARDIE

(02 Aisne, 59 Nord, 60 Oise,  
62 Pas-de-Calais, 80 Somme)  
11 allée Vauban  
59662 Villeneuve-d'Ascq cedex  
tél. 03 20 05 60 28  
fax 03 20 05 79 30  
bedprevention@carsat-nordpicardie.fr  
www.carsat-nordpicardie.fr

### Carsat NORMANDIE

(14 Calvados, 27 Eure, 50 Manche,  
61 Orne, 76 Seine-Maritime)  
Avenue du Grand-Cours, 2022 X  
76028 Rouen cedex  
tél. 02 35 03 58 22  
fax 02 35 03 60 76  
prevention@carsat-normandie.fr  
www.carsat-normandie.fr

### Carsat PAYS DE LA LOIRE

(44 Loire-Atlantique, 49 Maine-et-Loire,  
53 Mayenne, 72 Sarthe, 85 Vendée)  
2 place de Bretagne  
44932 Nantes cedex 9  
tél. 02 51 72 84 08  
fax 02 51 82 31 62  
documentation.rp@carsat-pl.fr  
www.carsat-pl.fr

### Carsat RHÔNE-ALPES

(01 Ain, 07 Ardèche, 26 Drôme, 38 Isère,  
42 Loire, 69 Rhône, 73 Savoie,  
74 Haute-Savoie)  
26 rue d'Aubigny  
69436 Lyon cedex 3  
tél. 04 72 91 96 96  
fax 04 72 91 97 09  
preventionrp@carsat-ra.fr  
www.carsat-ra.fr

### Carsat SUD-EST

(04 Alpes-de-Haute-Provence,  
05 Hautes-Alpes, 06 Alpes-Maritimes,  
13 Bouches-du-Rhône, 2A Corse-du-Sud,  
2B Haute-Corse, 83 Var, 84 Vaucluse)  
35 rue George  
13386 Marseille cedex 5  
tél. 04 91 85 85 36  
fax 04 91 85 75 66  
documentation.prevention@carsat-sudest.fr  
www.carsat-sudest.fr

## Services Prévention des CGSS

### CGSS GUADELOUPE

Immeuble CGRR, Rue Paul-Lacavé, 97110 Pointe-à-Pitre  
tél. 05 90 21 46 00 – fax 05 90 21 46 13  
lina.palmont@cgss-guadeloupe.fr

### CGSS GUYANE

Espace Turenne Radamonthe, route de Raban,  
BP 7015, 97307 Cayenne cedex  
tél. 05 94 29 83 04 – fax 05 94 29 83 01

### CGSS LA RÉUNION

4 boulevard Doret, 97704 Saint-Denis Messag cedex 9  
tél. 02 62 90 47 00 – fax 02 62 90 47 01  
prevention@cgss-reunion.fr

### CGSS MARTINIQUE

Quartier Place-d'Armes, 97210 Le Lamentin cedex 2  
tél. 05 96 66 51 31 et 05 96 66 51 32 – fax 05 96 51 81 54  
prevention972@cgss-martinique.fr  
www.cgss-martinique.fr

Ce guide est un document de référence pour évaluer et mesurer le risque lié à l'exposition au bruit au travail. Il a été rédigé à l'intention des techniciens chargés d'évaluer le risque lié au bruit professionnel, au sein des entreprises bruyantes, dans les services de médecine du travail, dans les sociétés de service en acoustique industrielle. L'évaluation du risque y est traitée en référence à la réglementation, qui définit des seuils d'actions et impose aux entreprises de réduire le risque lorsque des dépassements de seuils sont constatés.

Après un rappel de la réglementation et de quelques notions d'acoustiques liées à l'exposition professionnelle au bruit, ce guide présente une démarche progressive d'évaluation du risque. Il propose en premier lieu deux méthodes d'estimation simplifiées du risque, utiles pour identifier quels sont les travailleurs qui doivent, parmi la population exposée au bruit, faire l'objet de mesures d'exposition précises. Il montre ensuite comment effectuer des mesures d'exposition au bruit professionnel dans des conditions conformes à la normalisation. Les principales spécifications de la norme de mesure applicable sont rappelées. Des indications pratiques sont fournies pour guider l'analyse des résultats, pour estimer leur incertitude et en déduire une interprétation, en termes de dépassement – ou non-dépassement – des seuils d'actions réglementaires. Des exemples illustrent l'ensemble des méthodes d'estimation et de mesurage.



Institut national de recherche et de sécurité  
pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles  
65, boulevard Richard-Lenoir 75011 Paris • Tél. 01 40 44 30 00  
www.inrs.fr • e-mail : info@inrs.fr

**Édition INRS ED 6035**

1<sup>re</sup> édition (2009) • réimpression mars 2013 • 3 000 ex. • ISBN 978-2-7389-1748-5

