

L'évaluation de l'exposition aux bruits professionnels : une démarche progressive à trois niveaux

Determination of occupational noise exposure : a progressive approach combining three levels of analysis

Jean-Pierre Arz, Léon Thiéry

Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS)
Rue du Morvan
CS 60027
54519 Vandœuvre lès Nancy CEDEX
France
E-mail : jean-pierre.arz@inrs.fr

Résumé

Cet article présente comment estimer et mesurer l'exposition professionnelle au bruit, en combinant trois niveaux d'évaluation de complexité croissante :

- l'estimation sommaire qui ne nécessite aucune mesure,
- l'évaluation simplifiée (points d'exposition) qui nécessite des mesurages légers et
- le mesurage normalisé selon la norme ISO 9612 (2009). Ces différentes méthodes sont présentées, avec les outils facilitant leur mise en œuvre dans la pratique industrielle.

Abstract

This article presents how to estimate and measure the occupational noise exposure by combining three evaluation levels of increasing complexity :

- the elementary assessment which does not require any measurement,
- the simple evaluation (exposure points) which only requires minimum measurements and
- the standardized measurement according to the ISO 9612 (2009) standard. These different methods are presented together with some relevant tools intended to facilitate their use in industrial practice.



La réglementation relative à la prévention des risques liés à l'exposition aux bruits professionnels [1, 2] impose «d'évaluer, et si nécessaire, de mesurer» les niveaux de bruit afin d'apprécier le risque puis de mettre en œuvre des mesures de prévention collective et individuelle en cas de dépassement des seuils d'actions réglementaires. Lorsque des mesurages sont effectués, ils doivent être conformes aux spécifications normalisées [3]. Depuis 2009, tel que publié au Journal Officiel [4], la norme applicable en la matière est la norme NF EN ISO 9612 (2009) [5] qui remplace et annule la norme NF S 31-084 [6] datant de 2002. Étant donné que la norme européenne EN ISO 9612 transpose à l'identique la norme internationale ISO 9612 et que le Comité européen de normalisation a précisé qu'elle doit se substituer aux normes nationales antérieures éventuelles, cette évolution de la normalisation permet d'harmoniser les méthodes de mesurage de l'exposition au bruit en milieu professionnel.

En plus de cette évolution de la normalisation, l'application pratique de la réglementation pose plusieurs questions. Quand une évaluation est envisagée, comment choisir la méthode à appliquer ? Que doit-on attendre d'une évaluation simplifiée et quelles en sont ses limites ? Quand des mesures normalisées sont effectuées, comment optimiser leur mise en œuvre, qui reste assez complexe et coûteuse, pour obtenir la précision souhaitée du résultat ?

C'est dans ce contexte et dans le but d'aider les préventeurs à évaluer le risque lié au bruit que l'INRS (Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles) a proposé une démarche progressive d'évaluation [7]. Cette démarche est basée sur trois niveaux d'évaluation de complexité croissante :

- L'estimation sommaire qui ne nécessite aucune mesure. Elle vise à identifier les situations où le risque est certain (celles où des actions de prévention doivent être mises en œuvre prioritairement) et les situations où l'absence de risque est considérée comme certaine ;
- L'évaluation simplifiée qui demande des mesurages légers. Elle quantifie l'exposition résultant de plusieurs phases d'exposition par une méthode simple d'utilisation (méthode des points d'exposition). Elle permet notamment de montrer sur quelles phases il est prioritaire d'agir pour réduire l'exposition ;
- Le mesurage normalisé, qui doit être conforme aux spécifications de la norme NF EN ISO 9612 (2009). Par cette méthode, on détermine le niveau d'exposition quotidienne au bruit $L_{EX,8h}$ et l'incertitude élargie U qui lui est associée ;

Cet article a pour objet de présenter cette démarche d'évaluation en trois niveaux (que résume le diagramme de la figure 1) et d'introduire différents outils pratiques élaborés pour faciliter sa mise en œuvre.

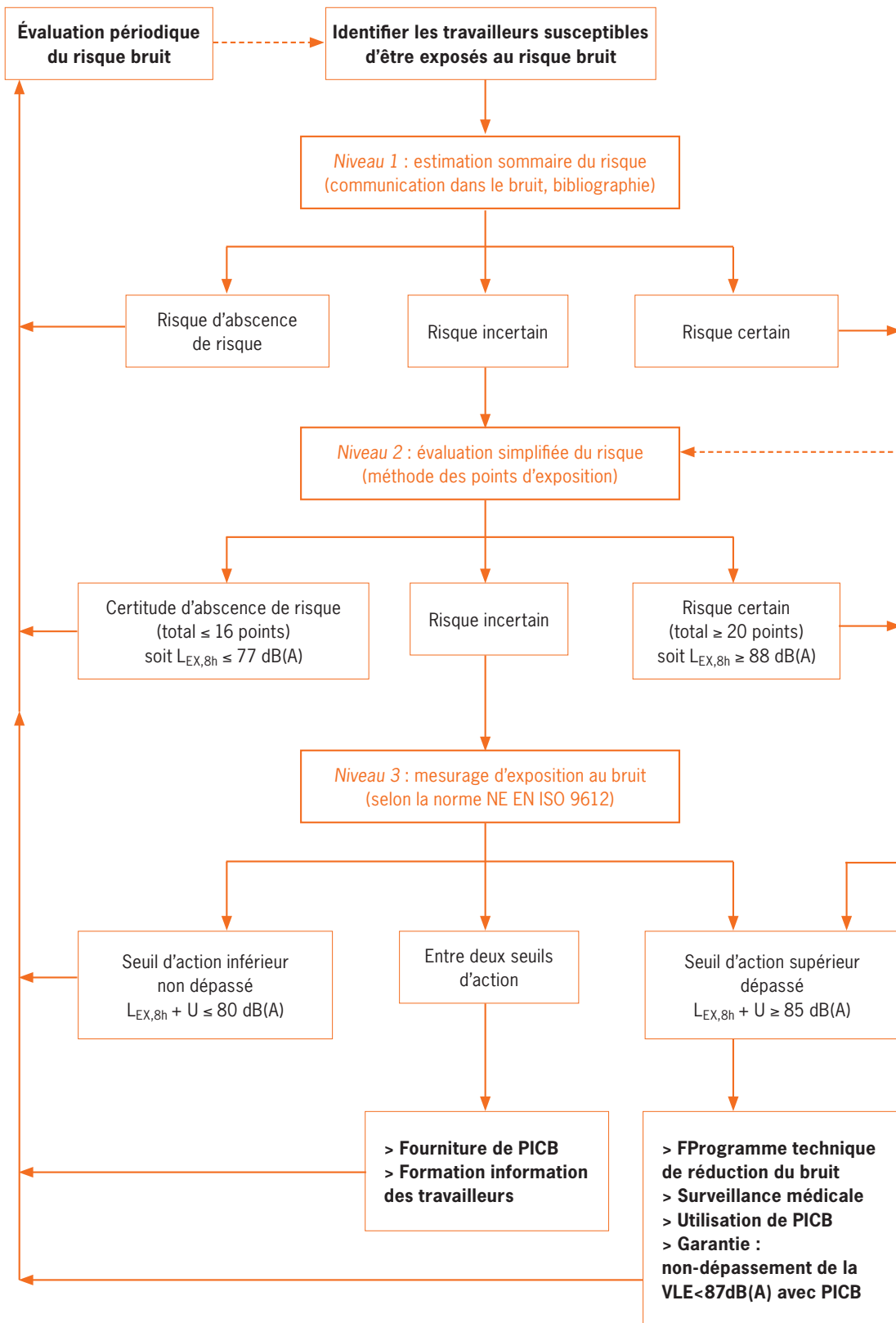


Fig. 1 : Diagramme montrant comment l'évaluation du risque lié à l'exposition au bruit professionnel peut être effectuée en adaptant graduellement les méthodes disponibles. © INRS 2009. Tiré de [7].

Dans la réglementation relative à la prévention du risque lié à l'exposition au bruit professionnel, trois indicateurs métrologiques sont utilisés : le niveau d'exposition quotidienne au bruit $L_{EX,8h}$, le niveau de pression acoustique de crête $L_{p,Cpeak}$, le niveau d'exposition au bruit « effectif » tenant compte du port éventuel d'un protecteur individuel contre le bruit (PICB). Ce texte traite de l'évaluation et du mesurage du premier indicateur, $L_{EX,8h}$ (pour les deux autres indicateurs, quelques spécifications ou recommandations sont données en annexe).

La réglementation décline des exigences d'actions [1] pour réduire l'exposition au bruit dès lors que le niveau $L_{EX,8h}$ dépasse un premier seuil de 80 dB(A). D'autres exigences sont définies à partir du dépassement d'un deuxième seuil de 85 dB(A) [1].

Premier niveau : estimation sommaire

L'objectif de l'estimation de premier niveau, qui ne nécessite pas d'effectuer des mesurages, est de classer sommairement les travailleurs d'une entreprise en identifiant ceux qui sont concernés par deux situations d'exposition extrêmes : les cas de risque certain et les cas où l'absence de risque est certaine.

Les propositions d'actions qui découlent d'un tel classement sont les suivantes :

- en cas de certitude d'absence de risque, une évaluation plus approfondie n'est pas nécessaire ;
- en cas de risque certain, la priorité sera accordée aux actions de réduction du risque de préférence aux actions d'évaluation ou de mesurage de l'exposition des travailleurs concernés ;
- tous les autres cas non classés dans les deux groupes précédents feront l'objet d'une évaluation de deuxième ou de troisième niveau.

Pour établir un tel classement, deux moyens sont proposés : a) un test portant sur la communication par la parole dans du bruit et b) la connaissance des praticiens en acoustique industrielle.

Le premier moyen vise les travailleurs susceptibles d'être exposés : en les questionnant sur leurs possibilités de communication par la parole dans du bruit, un classement en niveau de risque est possible [8]. Le tableau 1 indique les trois tests proposés et les interprétations qui leur sont associées.

L'inconvénient majeur de cette méthode est qu'elle est uniquement valable pour un niveau de bruit stable se prolongeant durant toute la journée de travail. De plus, si des phases nettement plus bruyantes que les autres et de durée brève sont susceptibles de se produire, le diagnostic éventuel de « certitude d'absence de risque » doit être rejeté. Qualifiées « d'événement acoustique rare », ces phases résultent notamment de chocs métalliques intenses, de détente d'air comprimé, etc., et en présence de tels événements, aucune estimation sommaire ne peut être validée, une évaluation plus précise s'impose.

Le second moyen de classement s'appuie sur les connaissances des experts et praticiens en acoustique industrielle dans le domaine des mesurages d'exposition. Si des mesurages ont été effectués antérieurement dans un secteur professionnel ou un métier analogue, leur connaissance facilitera la définition du périmètre dans lequel des mesures précises resteront nécessaires. De plus, des résultats de mesures de bruit relatives à des secteurs professionnels et des métiers spécifiques sont disponibles dorénavant sur internet. C'est le cas de données collectées et mises à jour par la caisse nationale suisse d'assurance accident (la SUVA) [9, 10]. Disponibles sous forme de tableaux, ces données sont accessibles à tout public.

Bien entendu, même si elles peuvent suffire pour identifier les situations « extrêmes », les informations collectées par ces moyens d'estimations restent sommaires et indicatives. Dans de nombreuses situations, le classement en niveau de risque sera incertain, imposant la mise en œuvre de l'une ou l'autre des deux autres méthodes d'évaluation plus précises présentées ci-dessous.

Second niveau : méthode des points d'exposition

Alors que l'estimation de premier niveau ne comportait aucun mesurage, l'évaluation de second niveau s'appuie sur des mesurages, qui restent toutefois simples et limités en nombre et en durée, sans commune mesure avec les exigences des mesurages normalisés. L'objectif de la méthode des points d'exposition est de fournir une estimation quantifiée du niveau de risque lié au bruit en hiérarchisant les différentes phases d'exposition selon leur contribution au risque.

Test	Niveau de risque	Interprétation*
« Devoir crier pour se faire comprendre par une personne située à moins de 1 m de distance »	2	Risque certain
« Devoir crier ou avoir beaucoup de difficulté à se faire comprendre par une personne située à 2 m de distance »	1	Risque incertain
« Pouvoir communiquer normalement avec une personne située à 0,5 m de distance »	0	Certitude d'absence de risque
* pour un bruit se prolongeant durant toute la journée de travail		

Tabl. 1 : Tests sur la communication par la parole dans le bruit

Définition

L'évaluation simplifiée repose sur trois étapes principales. La première est l'analyse du travail dans le but de déterminer les tâches ou phases d'exposition les plus bruyantes, chacune étant liée à des circonstances d'exposition au bruit spécifiques et supposées stables. La deuxième étape est d'évaluer le niveau de bruit et la durée quotidienne de chaque phase. Les mesurages peuvent être limités à des périodes courtes, représentatives. Quand le travail et les circonstances de l'exposition sont fluctuants, la méthode des points peut être appliquée en estimant un intervalle borné par les valeurs minimale et maximale des niveaux de bruit. Enfin, la dernière étape consiste à cumuler les doses de bruit liées à chaque phase. C'est sur cet aspect que de la méthode des points d'exposition présente un intérêt : la dose totale est obtenue directement en faisant la somme arithmétique des doses de chaque phase (elle évite ainsi la complexité mathématique des combinaisons de décibels et de durées).

Cette méthode est préconisée par l'organisme de prévention britannique Health and Safety Executive [11].

La méthode des points d'exposition s'appuie sur la définition de l'exposition sonore suivante :

$$E_{A,T} = \int_0^T p_A(t)^2 dt \tag{1}$$

où la durée T est exprimée en heures et E_{A,T} en Pa².h. Avec T₀ = 8 h, on en déduit la relation liant E_{A,T} au niveau de pression acoustique continu équivalent correspondant, L_{p,A,eqT} :

$$E_{A,T} = (8xp_0^2) \cdot (T/T_0) \cdot 10^{0,1 \cdot (L_{p,A,eqT} - 120)} \tag{2}$$

où p₀ = 20 µPa.

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	1 000	510	250	130	60	32	21	11	2
96	1 300	640	320	160	80	40	27	13	3
97	1 600	800	400	200	100	50	33	17	3
98	2 000	1 000	510	250	130	60	40	21	4
99	2 500	1 300	640	320	160	80	50	27	5
100	3 200	1 600	800	400	200	100	70	33	7
101	4 000	2 000	1 000	500	250	130	80	40	8
102	5 100	2 500	1 300	630	320	160	110	50	11
103	6 400	3 200	1 600	800	400	200	130	70	13
104	8 000	4 000	2 000	1 000	500	250	170	80	17
105	10 000	5 100	2 500	1 300	630	320	210	110	21
106	13 000	6 400	3 200	1 600	800	400	270	130	27
107	16 000	8 000	4 000	2 000	1 000	500	330	170	33
108	20 000	10 000	5 000	2 500	1 300	630	420	210	40
109	25 000	13 000	6 400	3 200	1 600	790	530	270	50
110	32 000	16 000	8 000	4 000	2 000	1 000	670	330	70
111	40 000	20 000	10 000	5 000	2 500	1 300	840	420	80
112	51 000	25 000	13 000	6 300	3 200	1 600	1 100	530	110
113	64 000	32 000	16 000	8 000	4 000	2 000	1 300	670	130
114	80 000	40 000	20 000	10 000	5 000	2 500	1 700	840	170
115	100 000	51 000	25 000	13 000	6 300	3 200	2 100	1 100	210
116	125 000	64 000	32 000	16 000	8 000	4 000	2 700	1 300	270
117	160 000	80 000	40 000	20 000	10 000	5 000	3 300	1 700	330
118	200 000	100 000	50 000	25 000	13 000	6 300	4 200	2 100	420
119	255 000	125 000	64 000	32 000	16 000	8 000	5 300	2 600	530
120	320 000	160 000	80 000	40 000	20 000	10 000	6 700	3 300	670

Tabl. 2 : Points d'exposition pour différents niveaux de bruit et différentes durées. © INRS 2009. Tiré de [7]

Les équations (1) et (2) sont conformes à la définition fournie dans la norme ISO 1999 [12], en utilisant l'heure et non la seconde comme unité de temps. La valeur de $E_{A,T}$ caractérise donc l'exposition au bruit liée à une phase de durée T et de niveau de bruit $L_{p,A,eqT}$.

Considérons le seuil d'action réglementaire supérieur, défini par le niveau de bruit de 85 dB(A) pour 8 h. À ce seuil, l'équation (2) donne la valeur $E_{A,T} = 1,0119 \text{ Pa}^2 \cdot \text{h}$. Par convention, on définit le nombre de points d'exposition comme étant égal à $100 \times E_{A,T}$ si bien que le seuil d'action réglementaire supérieur équivaut à 101,19 points. La méthode des points peut être appliquée en arrondissant le résultat à 100 (et en considérant qu'un point d'exposition correspond donc à un centième de $\text{Pa}^2 \cdot \text{h}$). De la même manière, le seuil d'action réglementaire inférieur, défini par le niveau de bruit de 80 dB(A) pour 8 h, équivaut à 32 points.

Utilisation

La définition des points d'exposition conduit à des valeurs telles que celles du tableau 2, page précédente, (pour simplifier le tableau, les nombres de points ont été arrondis ; cet arrondi n'induit jamais d'erreur supérieure à 5 % en points). Un code de couleur indique la position d'une phase d'exposition par rapport aux seuils réglementaires : les points d'exposition correspondant à un dépassement du seuil supérieur sont indiqués sur fond rouge, les points d'exposition correspondant à une valeur plus basse que le seuil inférieur sont indiqués sur fond vert, la situation intermédiaire est indiquée par un fond orange.

Tel que le présente l'exemple de la figure 2, l'exposition quotidienne résultant de plusieurs phases est évaluée simplement en lisant dans le tableau le nombre de points correspondant au niveau de bruit et à la durée de chaque phase, puis en les additionnant. Enfin on doit localiser dans la colonne «8 h» le nombre de points le plus proche du total et lire le niveau de bruit correspondant, qui est alors une estimation du niveau $L_{EX,8h}$.

Interprétation

L'interprétation du résultat d'une évaluation par la méthode des points d'exposition doit être précisée. Il s'agit d'une méthode simplifiée, qui ne peut en aucun cas fournir un résultat «au dB près». Nous proposons qu'à moins de 3 dB d'un seuil d'action réglementaire, aucune conclusion ne soit tirée d'une telle évaluation. En effet, à proximité d'un seuil, seul le mesurage normalisé permettra de contrôler la précision du résultat et de conclure au dépassement -ou non dépassement - du seuil.

La méthode des points d'exposition présente un intérêt majeur : il est de permettre de hiérarchiser simplement les phases d'exposition. Ceci est illustré par l'exemple des données du tableau 3. Il concerne un tourneur de pièces mécaniques, dont le travail comprend trois tâches principales : le tournage, les contrôles, le nettoyage de la machine (effectué à l'aide d'une soufflette à jet d'air comprimé). À partir du niveau de bruit et de la durée de chaque tâche, le nombre de points correspondant à chaque tâche a été obtenu grâce au tableau 2. Le total s'élève à 202 points. Dans le tableau 2, la valeur la plus proche de ce total est 200 points et correspond à $L_{EX,8h} = 88 \text{ dB(A)}$. Le résultat de l'évaluation dépasse donc le seuil d'action supérieur. La contribution de chaque tâche, indiquée sur le tableau 3 en nombre de points et en pourcentage, montre que c'est la tâche de nettoyage qui apporte la contribution majeure dans l'exposition quotidienne à ce poste (54 % du total), bien que sa durée quotidienne ne soit que de 5 min. Cette phase s'avère très significative, et une action simple telle que la mise en place de soufflettes silencieuses peut diminuer l'exposition de manière importante. L'effet potentiel d'une action corrective peut d'ailleurs être estimé simplement. Dans l'exemple proposé, supposons que l'utilisation d'une soufflette silencieuse diminue le niveau sonore du nettoyage à une valeur de 90 dB(A). Un nouveau calcul montre immédiatement que le total est réduit à 95 points, correspondant à un niveau $L_{EX,8h}$ inférieur à 85 dB(A).

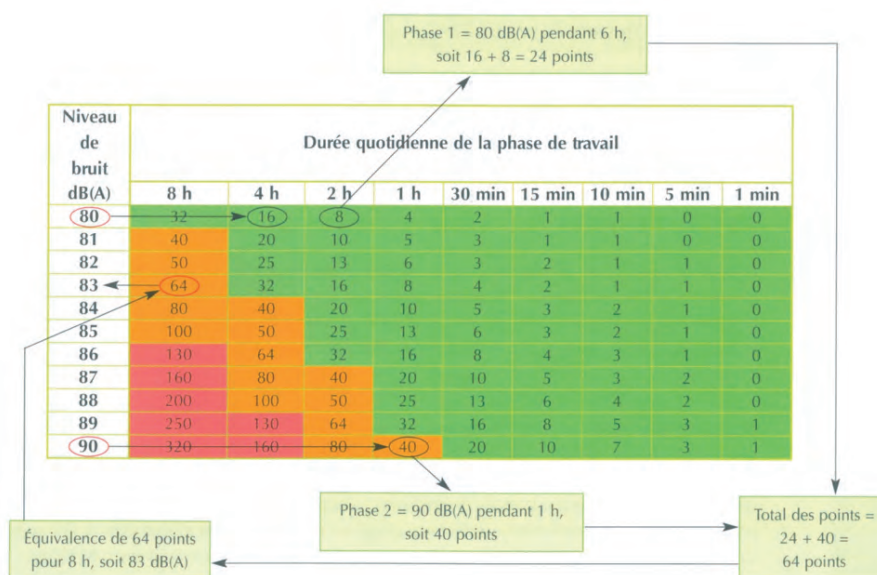


Fig. 2 : Illustration de l'utilisation du tableau des "points d'exposition" pour combiner deux phases d'exposition dont le total (64 points) équivaut à une exposition de 8 h à 83 dB(A). © INRS 2009. Tiré de [7]

Phase de travail	Niveau $L_{p,A,eq,T,m}$ dB(A)	Durée quotidienne T_m	Points d'exposition*	Contribution de chaque phase à l'exposition totale
Tournage	85	7h	88	44%
Contrôles	80	55 min	4	2%
Nettoyage du tour par soufflette à air comprimé	105	5 min	110	54%
Total		8h	202	100%
Equivalence sur 8 h du nombre de points en dB(A)			88 dB(A)	

* L'équivalence en points d'exposition d'une exposition partielle (niveau de bruit et durée) provient du tableau 2.

Tabl. 3 : Exemple illustrant l'application de la méthode des points d'exposition. © INRS 2009. Tiré de [7]

Ainsi, en plus de sa simplicité, la méthode des points apporte un intérêt indéniable pour faciliter la communication avec les entreprises. Cependant la méthode des points d'exposition ne peut pas fournir un résultat très précis et dès qu'un seuil d'action réglementaire devient proche, le mesurage normalisé s'impose.

Troisième niveau : le mesurage normalisé

Quand les méthodes précédentes laissent subsister un doute sur la présence du risque, quand des résultats de précision contrôlée doivent être réalisés, le mesurage normalisé permet de conclure au dépassement - ou non dépassement - d'un seuil d'action réglementaire. Dans ce cas, la réglementation impose que les mesures d'exposition au bruit professionnel soient conformes aux prescriptions normalisées. En 2009, une évolution importante dans la normalisation est intervenue ; les nouveautés métrologiques et pratiques qui en résultent sont présentées ci-dessous.

Norme applicable : NF EN ISO 9612 (2009)

La norme internationale ISO 9612 fournit une méthode d'expertise pour déterminer l'exposition au bruit en milieu professionnel. Publiée en 2009, elle a été transposée à l'identique en norme européenne et française et remplace depuis mai 2009 la norme française NF S 31-084 (2002).

Le tableau 4 compare brièvement les deux normes et montre que des similitudes fortes existent dans les principes métrologiques ; toutefois la norme ISO 9612 apporte des nouveautés sur plusieurs spécifications métrologiques qu'il faut prendre en compte.

La méthode de mesure normalisée a pour but de déterminer le niveau d'exposition quotidienne au bruit. Elle comprend cinq étapes :

- Analyse du travail. Le travail de la population concernée par le mesurage doit être décrit, afin de mettre en relief la production, les procédés, l'organisation, les travailleurs concernés et leur activité. Il faut identifier les événements bruyants qui contribuent le plus à l'exposition au bruit et s'assurer qu'ils sont pris en compte dans le plan de mesurage.
- Sélection d'une stratégie de mesurage. Trois stratégies sont disponibles : mesurage basé sur les tâches, mesurage basé sur la fonction ou le métier, mesurage basé sur des journées entières.
- Réalisation des mesurages.
- Traitement des erreurs et évaluation de l'incertitude.
- Calculs et présentation des résultats.

Quelques points clés de cette méthode normalisée sont présentés ci-après.

Similitudes :
Domaine d'application limité au mesurage du niveau d'exposition quotidienne au bruit
Contrôle de la représentativité des échantillons du bruit par l'analyse du travail
Proposition d'un questionnaire facilitant la détection des événements bruyants importants susceptibles de se produire
Proposition de trois stratégies de mesurage (par tâches, par métier ou fonction, par journées entières)
Traitement des résultats incluant une estimation de l'incertitude de mesure
Nouveautés introduites par la norme ISO 9612 :
Définition d'une journée nominale prenant en compte tout ce qui détermine l'exposition au bruit professionnel
Analyse du travail requise dans tous les cas, même lors de mesurages par journées entières
Modification de l'effort de mesurage : réduction en cas d'approche par tâche et par fonction, accroissement en cas d'approche par journées entières
Traitement plus complet de l'évaluation de l'incertitude de mesure
Diffusion avec la norme d'une calculatrice facilitant l'obtention des résultats
Expression des résultats : présentation séparée du niveau d'exposition LEX,8h et de son incertitude élargie U

Tabl. 4 : Principales similitudes et différences entre la norme ISO 9612 (2009) et la norme française antérieure NF S 31-084 (2002) annulée en mai 2009

Analyse du travail et choix d'une stratégie de mesure

L'analyse du travail doit aboutir à la définition d'une journée nominale de travail, afin de procurer «une vue d'ensemble sur tous les facteurs susceptibles d'influencer l'exposition au bruit» et d'assurer leur prise en compte dans les périodes de mesurage. C'est le cas en particulier des «événements acoustiques rares» : ils doivent être détectés (la norme propose un questionnaire dans ce but) afin d'assurer leur prise en compte dans le plan de mesurage. Des groupes d'exposition homogène au bruit sont définis. Ils regroupent les travailleurs effectuant le même travail et qui sont exposés à des bruits similaires au cours de leur journée de travail.

La sélection d'une stratégie de mesurage dépend de divers facteurs : la complexité des situations de travail, le nombre de travailleurs à contrôler, le matériel de mesure disponible. La norme guide ce choix en s'appuyant sur plusieurs critères : la mobilité du poste de travail, la possibilité d'identifier des tâches répétitives, leur complexité, la prévisibilité du travail. Quand les situations de travail sont très prévisibles, que les tâches sont longues et récurrentes, la méthode par tâche est recommandée. À l'inverse, quand les conditions d'exposition sont inconnues ou susceptibles de varier d'un jour à l'autre, le mesurage par journées entières s'impose. La stratégie par fonction (ou métier) est applicable lorsque les tâches sont nombreuses et se répètent de manière analogue d'une journée de travail à l'autre pour une fonction ou pour un métier donné.

Mise en œuvre du mesurage

Pour chaque stratégie, un nombre de mesurages minimum est spécifié. Les spécifications portent sur la durée et le nombre de mesures, sur leur répartition parmi les travailleurs d'un même groupe d'exposition homogène. Quand les résultats des mesures sont trop dispersés, la norme impose d'effectuer des mesures supplémentaires afin de réduire l'incertitude U du niveau d'exposition $L_{EX,8h}$. Par rapport aux spécifications métrologiques antérieures, la modification la plus substantielle concerne le mesurage par journées entières. Dans l'ancienne norme NF S 31-084, ce mesurage effectué en continu était qualifié de systématique et devait s'étendre au minimum sur une journée de travail. Avec la nouvelle norme, le mesurage doit englober au minimum 3 journées de travail (et 2 de plus si un écart supérieur à 3 dB(A) apparaît entre les 3 journées mesurées). Cette nouvelle exigence est justifiée par la prise en compte des variations d'exposition qui interviennent entre journées de travail.

Lors de la mise en œuvre du mesurage et de la validation des résultats, différentes spécifications visent à éviter les artefacts de mesure, notamment en cas d'usage d'un exposimètre. Les spécifications normalisées antérieures relatives à la position du microphone lors de mesure d'exposition sont reprises (notamment le maintien du microphone de mesure à moins de 40 cm de la tête de l'opérateur en cas d'usage d'un sonomètre intégrateur).

Ces dispositions tendent vers un but : éviter les possibilités d'erreurs systématiques lors des mesurages.

Expression du résultat

Pour chaque stratégie de mesurage, la norme indique en détail comment analyser les résultats et comment estimer l'incertitude U associée au niveau d'exposition $L_{EX,8h}$. L'évaluation de l'incertitude de mesure est l'un des points cruciaux de la démarche de mesure de l'exposition. D'une part, elle est difficile à évaluer parce que les différents facteurs d'incertitudes sont difficiles à maîtriser. D'autre part, l'équilibre reste difficile à trouver entre la réduction de l'incertitude de mesure - qui peut passer par un accroissement du nombre de mesures - et le maintien à un niveau raisonnable de l'effort de mesure. Sur ces questions, la norme apporte une aide précieuse.

Les calculs d'incertitudes sont relativement complexes, basés sur une approche statistique élaborée pour répondre à deux types de difficultés :

- la non linéarité de l'équation normalisée définissant le niveau de bruit moyen selon le critère de l'énergie, qui s'impose lorsque les valeurs mesurées fournissent N valeurs (logarithmiques) du niveau de bruit $L_{A,eqT}$,
- la nécessité de fournir une méthode à la fois simple à utiliser et fiable (c'est-à-dire non biaisée statistiquement) même lorsque le nombre de valeurs mesurées $L_{A,eqT}$ est réduit (à moins de 10 valeurs par exemple).

Cette approche statistique a été présentée ailleurs [13]. Dans la norme, plusieurs exemples sont fournis pour montrer le déroulement des calculs.

Le résultat doit faire apparaître d'une part le niveau d'exposition quotidienne au bruit $L_{EX,8h}$ et d'autre part son incertitude élargie U (il est souhaitable que le mesurage soit effectué dans des conditions susceptibles de minimiser l'incertitude U , ce qui est envisageable en appliquant une démarche guidée par les outils accompagnant la norme). Pour comparer ce résultat aux seuils d'actions réglementaires, il convient d'additionner $L_{EX,8h}$ et U afin de prouver le non dépassement d'un seuil avec le niveau de confiance de 95 %. Ceci constitue une différence importante par rapport à l'ancienne norme NF S 31-084. En effet, dans l'ancienne norme, l'incertitude était incluse dans l'expression du niveau d'exposition $L_{EX,8h}$, si bien que le non dépassement d'un seuil réglementaire était évalué en comparant directement la valeur du $L_{EX,8h}$ au seuil réglementaire.

Outils disponibles facilitant le mesurage normalisé

Afin que la relative complexité de la norme NF EN ISO 9612 ne soit pas un frein à sa mise en œuvre, deux outils spécifiques sont disponibles. Le premier est une brochure [7] adaptée aux exigences métrologiques de la norme NF EN ISO 9612 et qui détaille davantage la démarche progressive présentée ici, en l'illustrant avec des exemples caractéristiques. Le deuxième outil est une calculatrice (fichier Excel) qui effectue tous les calculs en suivant les trois stratégies de mesure de la norme. Cette calculatrice, qui a été élaborée et validée par le groupe de travail international chargé d'élaborer le projet de norme ISO 9612, est fournie par l'AFNOR en même temps que le texte de la norme NF EN ISO 9612. Elle est par ailleurs téléchargeable librement sur le site de l'INRS [14].

ISO 9612 Evaluation des incertitudes de mesure (Annexe C)
Mesurage basé sur la fonction ou sur une journée entière

Pour saisir les données : n'utiliser que les cellules jaunes

Valeurs mesurées	Niveaux de bruit (dB)	Paramètres	Calculs (Références ISO)
$L_{p,AeqT,1}$	88.1	T_0 (h) = 8	(Eq. C.8) $L_{EX,8h} = 88,2$
$L_{p,AeqT,2}$	86.1	Durée totale effective de la journée de travail (en h)	(Eq. 11) $L_{p,AeqT_e} = 88,4$
$L_{p,AeqT,3}$	89.7	$T_e = 7,5$	(Eq. C.12) $u_1 = 2,00$
$L_{p,AeqT,4}$	86.5	Incertitude type due aux instruments de mesure (Tableau C.5)	(Tableau C.4 pour N et u_1) $c_1 * u_1 = 1,38$
$L_{p,AeqT,5}$	91.1	$u_2 = 1,5$	Incertitude type composée
$L_{p,AeqT,6}$	86.7	Incertitude type due au choix des positions de mesure	Sources d'incertitude
$L_{p,AeqT,7}$		$u_3 = 1$	1) Niveaux de bruit $(c_1 * u_1)^2 = 1,90$
$L_{p,AeqT,8}$			2) Instrumentation Q2 $(u_2)^2 = 2,25$
$L_{p,AeqT,9}$			3) Position du microphone QC $(u_3)^2 = 1$
$L_{p,AeqT,10}$			Somme (C.9) $u^2(L_{EX,8h}) = 5,15$
$L_{p,AeqT,11}$			$u(L_{EX,8h}) = 2,3$
$L_{p,AeqT,12}$			$U(L_{EX,8h}) = 1,85 * u(L_{EX,8h}) = 3,7$
$L_{p,AeqT,13}$			
$L_{p,AeqT,14}$			
$L_{p,AeqT,15}$			
$L_{p,AeqT,16}$			
$L_{p,AeqT,17}$			
$L_{p,AeqT,18}$			
$L_{p,AeqT,19}$			
$L_{p,AeqT,20}$			
Nombre de valeurs mesurées	N = 6	Niveau d'exposition quotidienne au bruit	88,2 dB
		Incertitude élargie	3,7 dB

Fig. 3 : Exemple de résultats fournis par la calculette accompagnant la norme ISO 9612

A titre d'exemple, la figure 3 présente la feuille de calcul lorsque la stratégie de mesurage par métier (ou par journée entière) a été appliquée. Après saisie de 6 valeurs mesurées ($L_{p,AeqT,j}$ dans la colonne de gauche), puis indication de la durée effective de travail quotidien T_e et de l'incertitude u_2 liée au type d'appareil de mesure utilisé, le résultat principal du mesurage apparaît, indiquant le niveau d'exposition quotidienne au bruit $L_{EX,8h}$ et son incertitude élargie U . Outre l'absence de manègements d'équations complexes, l'usage de cette calculette offre un avantage important quand le résultat indique une incertitude U jugée trop élevée. En effet, il est possible de savoir exactement d'où provient l'incertitude U parmi tous les facteurs en cause. Sur l'exemple de la figure 3, la partie droite de la feuille consacrée aux calculs de l'incertitude-type composée présente les trois sources d'incertitudes : les niveaux de bruit, l'instrumentation, la position du microphone. Dans le cas présenté ici, c'est l'instrumentation qui est le facteur prépondérant d'incertitude ($u_2^2=2,25$). Par conséquent, augmenter le nombre de mesures pour diminuer l'incertitude élargie U n'aura dans ce cas qu'un effet limité. Pour quantifier cet effet, il suffit de saisir le cas idéal où les mesures de $L_{p,AeqT,j}$ (3 au minimum) ont une valeur identique : le terme u_1 devient alors nul. Pourtant, même dans ce cas idéal, l'incertitude élargie U vaut encore 3 dB.

L'utilisation de la calculette comporte donc un intérêt complémentaire : elle permet de simuler l'impact d'une modification de l'un des paramètres du mesurage, par exemple la diminution du niveau de bruit d'une phase particulièrement bruyante ou la réduction de la durée

quotidienne d'un événement bruyant important. Le résultat de ces simulations est immédiat et permet de quantifier l'impact de la modification autant sur le niveau de bruit $L_{EX,8h}$ que sur l'incertitude U qui lui est associée. En cas d'usage de la stratégie de mesurage basée sur les tâches, les résultats permettent d'identifier la tâche qui apporte la contribution majeure dans le résultat $L_{EX,8h}$, de prendre en compte une incertitude d'estimation de la durée des tâches et de comparer le poids des facteurs d'incertitude liés à chacune des tâches.

Conclusion

La parution en 2009 de la norme NF EN ISO 9612 permet une harmonisation des méthodes de mesurage de l'exposition au bruit en milieu professionnel. Pour faciliter son utilisation pratique, il est préférable de l'insérer dans une démarche d'évaluation du risque lié au bruit professionnel comprenant deux étapes antérieures : une estimation sommaire, visant à délimiter parmi les travailleurs le périmètre de ceux qui doivent faire l'objet d'un contrôle, puis une évaluation simplifiée, montrant aisément par la méthode des points d'exposition si une situation d'exposition s'approche d'un seuil réglementaire. Par ailleurs plusieurs outils pratiques, du type documents ou calculatrices, sont disponibles. Ils visent à faciliter la mise en œuvre de l'évaluation du risque lié au bruit professionnel et à fournir des éléments susceptibles d'inciter et d'aider les entreprises à mettre en œuvre des actions visant la réduction de ce risque.

Références bibliographiques

- [1] Directive européenne 2003/10/CE du 6 février 2003 concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus au bruit. Journal officiel de l'Union européenne, L42, 38-44, 2003
- [2] Décret n° 2006-892 du 19 juillet 2006 relatif aux prescriptions de sécurité et de santé applicables en cas d'exposition des travailleurs aux risques dus au bruit et modifiant le code du travail. Journal Officiel de la République Française, 20 juillet 2006
- [3] Arrêté du 19 juillet 2006 pris pour l'application des articles R. 231-126, R. 231-128 et R. 231-129 du code du travail. Journal Officiel de la République Française, 20 juillet 2006
- [4] Journal Officiel de la République Française n°0117 du 21 mai 2009 page 8547 texte n° 113. Avis relatif à l'homologation et à l'annulation de normes. NOR: ECF0910073V
- [5] NF EN ISO 9612 – Acoustique - Détermination de l'exposition au bruit en milieu de travail - Méthode d'expertise. AFNOR, 2009
- [6] NF S 31-084. Acoustique - Méthode de mesurage des niveaux d'exposition au bruit en milieu de travail. AFNOR, 2002
- [7] Thiéry L., Canetto P. Evaluer et mesurer l'exposition professionnelle au bruit. INRS (Paris), ED 6035, 2009
- [8] Webster J. C. Communicating in noise, 1978-1983. In Proceedings of the Fourth International Congress on Noise as a Public Health Problem (G. Rossi, Ed., Milan, 1983)
- [9] Hohmann B. W. Appréciation simple de l'exposition au bruit professionnel à l'aide de bases de données. Acoustique et Techniques, Nos 54-55, 2008
- [10] Lien vers la base de données bruit de la SUVA : www.suva.ch/waswo/86005
- [11] Controlling noise at work – The Control of Noise at Work, Regulations 2005. Guidance on Regulations, HSE Books (ISBN 0 7176 6164 4, 2005)
- [12] ISO 1999, Acoustics – Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment. International Organization for Standardization, Geneva, 1990
- [13] Thiéry L., Ognedal T. Note about the Statistical Background of the Methods Used in ISO/DIS 9612 to Estimate the Uncertainty of Occupational Noise Exposure Measurements. Acta Acustica united with Acustica, 94, 331-334, 2008
- [14] Calcuette ISO 9612 : fichier Excel diffusé avec la norme pour réaliser les calculs : [<http://www.inrs.fr/accueil/produits/mediatheque/doc/outils.html?refINRS=outil24>].
- [15] Kusy A. Affaiblissement acoustique in situ des protecteurs individuels contre le bruit – Etude bibliographique. Hygiène et sécurité du travail – Cahiers de notes documentaires 2008 ; 212 : 43-59
- [16] Kusy A., Châtilion J. Real-world attenuation of custom-moulded earplugs: Results from industrial in situ F-MIRE measurements. Applied Acoustics, Vol. 73, 639-647, 2012
- [17] Canetto P., Voix J. Hearing protectors « real world » performance and the European Directive 2003/10/EC, International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE) 2009, Vol. 15, No. 2, 221-226
- [18] Application de la réglementation sur le bruit et usage de protecteurs individuels contre le bruit (PICB). INRS, Fiche pratique de sécurité, ED133, 2012
- [19] Calcuette PICB : fichier Excel pour réaliser les calculs d'affaiblissement de PICB selon la recommandation de l'ED133 : [<http://www.inrs.fr/accueil/produits/mediatheque/doc/outils.html?refINRS=outil22>]

Annexe : deux questions métrologiques spécifiques

Mesures de $L_{p,Cpeak}$

La norme NF EN ISO 9612 est centrée sur le mesurage du niveau $L_{EX,8h}$ et ne prétend pas traiter du mesurage des niveaux de pression acoustique de crête, $L_{p,Cpeak}$ et encore moins de l'interprétation du résultat par rapport aux seuils réglementaires de 135 et 137 dB(C). Cependant elle contient deux spécifications importantes :

- L'analyse du travail doit détecter la présence d'événements bruyants importants et le plan de mesurage doit assurer leur prise en compte. Il est important d'identifier les sources de bruit et les tâches qui donnent les niveaux de pression acoustique de crête les plus élevés pour déterminer correctement $L_{p,Cpeak}$ et $L_{p,AeqT}$.
- En cas d'usage d'un exposimètre, les mesurages doivent être validés afin d'exclure les fausses contributions, artefacts de mesure éventuels (chocs, cris ou sifflements sur le microphone) et les niveaux de crête élevés doivent faire l'objet d'une enquête et de commentaires dans le rapport.

Bien entendu, beaucoup de questions demeurent posées. Il reste difficile de valider sans observations de terrain l'interprétation d'un dépassement de seuil constaté en niveau de pression acoustique de crête quand il n'y a pas, simultanément, un dépassement de seuil en niveau $L_{EX,8h}$. Toutefois, de telles situations sont peu fréquentes.

Le cas des PICB

La question métrologique qui se pose en cas de port d'un protecteur individuel contre le bruit (PICB) découle de l'obligation de non dépassement de la valeur limite d'exposition fixée par $L_{EX,8h} = 87$ dB(A) protecteur inclus. Ce critère doit être évalué compte tenu du bruit auquel un salarié est exposé et de l'affaiblissement acoustique que lui procure le PICB porté, ce qui demeure complexe pour les raisons suivantes.

Pour qu'une évaluation soit exacte, il faudrait disposer simultanément de deux grandeurs :

- l'affaiblissement acoustique réellement procuré au travailleur qui porte un PICB spécifié, exprimé par bandes d'octave ;
- la composition fréquentielle (par bandes d'octaves) du bruit auquel un travailleur est exposé durant sa journée de travail.

Or en situation réelle de travail, ces deux grandeurs ne sont généralement pas connues. L'affaiblissement acoustique affiché par les fabricants de PICB surestime en général l'affaiblissement procuré dans des conditions réelles de travail, voir par exemple [15, 16]. La perte d'affaiblissement dépend de plusieurs facteurs : le type de PICB, la durée du port, le soin que le travailleur met à s'équiper et sa formation au port de PICB. Quant au bruit d'exposition, il est rarement mesuré par bande d'octaves sur des intervalles de temps représentatifs d'une journée de travail. Différentes méthodes sont proposées au niveau international pour répondre à ces difficultés, mais aucun consensus n'a été trouvé à ce jour [17].

Pour tenir compte de ces difficultés, l'INRS a proposé une méthode simple [18] permettant de vérifier le respect du non dépassement de la VLE de 87 dB(A) PICB inclus. Cette méthode indique comment le niveau du bruit effectif, compte tenu du port d'un PICB, peut être estimé en signalant qu'une calculette spécifique est disponible [19], utilisable dans les 3 cas de mesures de bruit possibles (mesures par bande d'octave, mesures du niveau acoustique équivalent simultanément en pondération A et en pondération C, mesure du niveau acoustique équivalent pondéré A uniquement).