

ANALYSE DES CRITERES D'IMPULSIONNALITE DES BRUITS
DANS LE CONTEXTE DES LIMITES REGLEMENTAIRES
D'EXPOSITION EN MILIEU DE TRAVAIL

Raymond Héту
Ecole d'orthophonie et d'audiologie
Université de Montréal
2375, Côte Ste-Catherine
Montréal, Québec, Canada, H3T 1A8

SOMMAIRE

Les effets nocifs des bruits impulsionnels sur l'audition font, depuis quelques années, l'objet d'un nombre croissant de travaux de recherche. Cependant, l'influence spécifique des différents paramètres physiques de ce type de bruit est encore très mal connue. C'est vraisemblablement la raison pour laquelle les limites d'exposition aux bruits impulsionnels en milieu de travail ne prennent généralement en compte qu'une ou deux des multiples caractéristiques physiques de ces bruits. C'est aussi pour cette raison que les procédures d'évaluation de l'exposition aux bruits impulsionnels sont complexes et difficiles d'application. Les différents critères d'impulsionnalité des bruits sont examinés tant en termes de controverses scientifiques que d'application pratique. Une approche globale mais provisoire est proposée dans une perspective de recherche appliquée.

SUMMARY

The auditory effects of impulse noise have gained considerable interest among hearing researchers during the last decade. But available evidence relating hearing damage risk to the various physical parameters of this kind of noise still form a fragmental body of knowledge. Because of this situation, occupational exposure limits are often proposed or set in terms of only one or two of the various relevant characteristics of impulse noises or in terms of arbitrary discontinuities in the physical parameters of noise. Also, procedures for the measurement of exposure to industrial impact noise are rather complex and unpractical. Scientific issues and practical problems raised by several empirical definitions of "impulsiveness" are discussed. A provisional integrated framework is proposed and implications for future research are discussed.

INTRODUCTION

Au cours de la dernière décennie, le nombre de recherches sur les effets auditifs des bruits à caractère impulsionnel s'est accru considérablement. Il est probable que l'énoncé suivant, largement diffusé depuis 1976, ait directement contribué à cet intérêt accru pour les bruits impulsionnels: "It is the noise peaks of short duration which damage the ear to a significant degree" (P. Bruel [1]). Cette hypothèse, bien que très simple dans sa formulation, soulève un très grand nombre de problèmes tout comme la majorité des définitions de l'"impulsionnalité" des bruits.

Ces problèmes sont de deux ordres; ils se posent

- d'une part, en termes de validité scientifique, à cause du manque de données rigoureuses mettant en relation le risque d'atteinte de l'audition et les divers paramètres physiques des expositions aux bruits à caractère impulsionnel;
- d'autre part, en termes de difficultés rencontrées dans l'application des limites réglementaires d'exposition et des procédures dosimétriques dérivées des critères scientifiques de nocivité de ces bruits.

On devine aisément la contradiction apparente entre le besoin de critères scientifiques rigoureux et précis donc nécessairement **complexes** et celui de limites d'exposition faciles d'application donc reposant sur des règles **simples**.

La démarche scientifique appliquée à l'étude des effets auditifs du bruit a consisté en général à tenter d'isoler l'influence des différents paramètres physiques des ambiances sonores. Les résultats de cette démarche conduisent forcément à établir des discontinuités entre des ensembles d'événements acoustiques plus ou moins distincts. C'est particulièrement le cas des définitions de l'"impulsionnalité" des bruits, concept qui suppose des distinctions nettes entre, par exemple, des bruits de "courtes durées" et des bruits non-stables, intermittents ou stables. Dans la pratique, ces distinctions ne sont pas toujours utiles et sont parfois totalement artificielles. Ou alors, les critères scientifiques de nocivité des bruits ont dû être simplifiés à un point tel que la validité des limites d'exposition résultantes peut être remise en cause.

Dans les paragraphes qui suivent, différents critères d'impulsionnalité des bruits sont analysés à la fois sous le rapport des controverses scientifiques et des problèmes pratiques qu'ils soulèvent. Ces critères se réfèrent aux principaux paramètres physiques des bruits impulsionnels, en particulier

- à la pression acoustique de crête
- au facteur de crête
- au temps de montée
- au temps de décroissance
- à la cadence de répétition.

En conclusion, une solution provisoire à la problématique soulevée par cette analyse est proposée; il s'agit d'une approche globale qui apparaît acceptable tant au plan scientifique que pratique dans le contexte de l'évaluation du risque d'atteintes auditives en milieu de travail bruyant.

ANALYSE DES CRITERES D'IMPULSIONNALITE DES BRUITS

1- Critères liés aux valeurs de pression de crête

Depuis plusieurs dizaines d'années déjà, on estime que le caractère nocif d'un bruit de courte durée, tel qu'un bruit d'arme à feu, est lié à sa pression acoustique de crête. Une discontinuité dans cette dimension suppose qu'une valeur **absolue** de pression de crête est susceptible de produire des effets traumatiques sur l'oreille, peu importe le nombre d'impulsions ou la durée d'exposition. Le concept de "niveau crête critique" est probablement adéquat pour décrire les effets de bruit dont le niveau de pression acoustique de crête (L_p) atteint 145 ou 150 dB (L_{in}) ou davantage [2]. A de tels niveaux, la tolérance mécanique des structures de l'oreille interne serait atteinte.

Toutefois, de tels L_p sont plutôt exceptionnels en milieu industriels. Le con-

cept de niveau crête critique s'applique dans ce contexte à des niveaux de bruit beaucoup plus faibles. En effet, l'exposition à quelques dizaines de bruits d'impact successifs (dont le temps de décroissance avoisine 0,5 sec) engendre une fatigue auditive importante lorsque le L_p des bruits atteint 125-130 dB (Lin). [3] Dans ces conditions, une augmentation d'à peine 3 dB du L_p entraîne un brusque accroissement de la fatigue auditive, c'est-à-dire un doublement du décalage temporaire des seuils d'audition [4].

La valeur en dB du "niveau crête critique" dépend des autres paramètres physiques des bruits impulsionnels; on doit donc considérer non pas une seule valeur absolue de pression de crête mais bien différents niveaux critiques en fonction des diverses caractéristiques des bruits impulsionnels.

Dans cette perspective, il faut certainement remettre en cause la validité scientifique des limites d'exposition au bruit fondées strictement sur une valeur crête des bruits de courtes durées. C'est le cas de règlements américains [5] et canadiens [6] stipulant que le L_p du bruit ne doit pas dépasser 140 dB (Lin). Dans la pratique, tout se passe comme si les pressions de crêtes inférieures à cette valeur étaient inoffensives quelle qu'en soit l'occurrence, en particulier si leur cadence de répétition est faible. Il n'est pas étonnant dans ce contexte que l'application de la réglementation (et malgré certains amendements récents [7]) donne lieu à des interprétations contradictoires au niveau métrologique, au point d'invalider les interventions des fonctionnaires chargés de leur application. Les résultats des procédures judiciaires intentées contre l'O.S.H.A. dans un cas maintenant célèbre d'exposition excessive à des bruits d'impact en font foi [8].

Des réserves semblables s'appliquent aux limites d'exposition aux bruits d'impact assorties d'une valeur seuil en termes des pressions de crête jugées nocives. C'est le cas notamment de la réglementation québécoise [9]: elle prévoit des limites d'exposition aux impacts dont le L_p atteint ou dépasse 120 dB (Lin). On estime ainsi que l'exposition à des bruits dont le L_p avoisinerait 110 ou 115 dB (Lin) serait pratiquement inoffensive, en particulier lorsque la mesure de la dose de bruit continu donne une valeur inférieure à 90 dBA.

Or, les résultats d'études de fatigue auditive montrent que tel n'est pas le cas, du moins pour l'exposition à des bruits d'impact dont le temps de décroissance s'approche d'une demi-seconde [10]; en effet, le L_p pour 1000 impacts par jour ne devrait alors pas dépasser 110 dB (Lin), soit un $L_{Aeq,8h}$ d'environ 80 dB. Pour 5000 impacts, le L_p devrait être limité à 100 dB (Lin), le $L_{Aeq,8h}$ correspondant étant alors inférieur à 80 dB.

En somme, des valeurs limites d'exposition ont été définies en des termes simples, c'est-à-dire en fonction de la valeur crête du bruit; elles sont d'application facile, en principe du moins, mais au détriment de la préservation de l'audition.

D'un point de vue métrologique, toute valeur limite d'exposition définie en termes de niveau de pression de crête pose de sérieux problèmes: en tout état de cause, elle suppose qu'il est possible de prendre en compte la variabilité importante des valeurs crêtes des bruits à un poste de travail. Il faut alors être en mesure de procéder à des analyses statistiques des pressions acoustiques instantanées [11-12], opération relativement complexe au plan technique et coûteuse au plan des procédures d'échantillonnage.

2. Critères liés au facteur de crête

Certains ont prétendu que le facteur de crête du bruit (i.e. le rapport de la pression de crête à la pression efficace) représente la variable critique pour déterminer le caractère nocif des bruits en milieu de travail. [1,13].

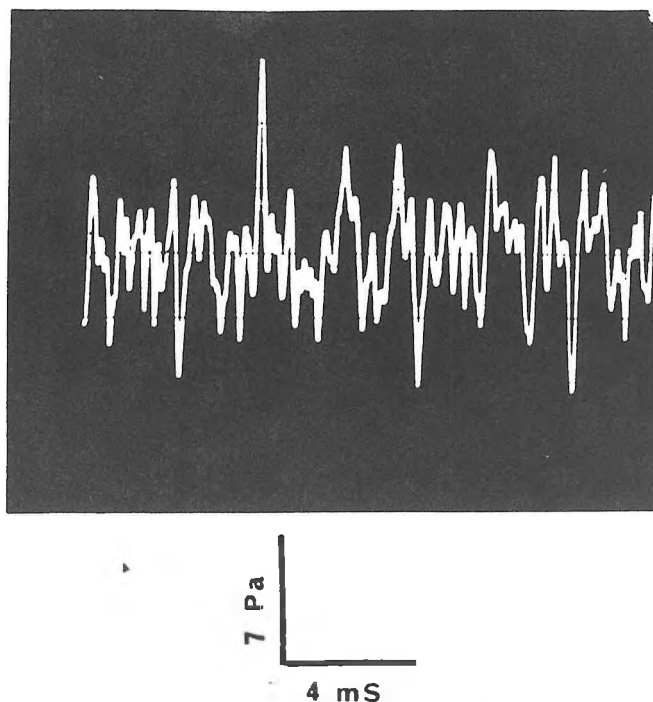


Figure 1: Variations de pression acoustique générées par un haut-fourneau électrique en début d'opération.

D'un point de vue pratique, le concept de facteur de crête peut éventuellement fournir une base pour distinguer les bruits stables des bruits impulsionnels de même que les composantes impulsionnelles et non-impulsionnelles d'un bruit industriel complexe.

Ce problème est illustré à la Fig. 1, représentant les fluctuations rapides de la pression acoustique générée par un haut-fourneau électrique. Supposons par exemple que l'on définisse l'impulsionnalité en référence au facteur de crête d'un bruit blanc continu; on pourrait adopter comme critère une différence supérieure à 10 dB entre le niveau de pression de crête et le niveau de pression efficace mesurée en constante "lente". Ainsi, pour l'exemple de la Fig. 1, le niveau de pression efficace en constante "lente" est de 100 dB; une seule fluctuation de pression serait alors considérée dans cet échantillon comme signal impulsionnel parce que dépassant 110 dB crête.

Cette approche a en outre le mérite de prendre en compte la contribution éventuelle du **bruit ambiant continu** qui accompagne généralement l'exposition à des bruits d'impact en milieu industriel. Cette prise en compte fait généralement défaut dans les limites réglementaires d'exposition aux bruits impulsionnels. A la limite, c'est-à-dire pour des cadences de répétition des impulsions inférieures ou égales à une par seconde, les bruits continus et les bruits impulsionnels sont évalués comme si l'oreille exposée les traitait séparément. En fait, il y a interaction entre ces deux types d'exposition lorsque le niveau des bruits impulsionnels s'approche du "niveau crête critique" et le niveau de bruit continu ambiant est élevé (e.g. 100 dBA). [14]

Ce dernier résultat est cependant en contradiction avec l'hypothèse rapportée plus haut, à l'effet que la nocivité d'une exposition au bruit est fonction du facteur de crête. A niveau de bruits d'impact constant (voisin du niveau critique), l'élévation du niveau de bruit ambiant a pour effet d'abaisser le facteur de crête; pourtant, il accuse l'effet du bruit impulsionnel, à tout le moins chez certains sujets plus sensibles aux effets de ce type de bruit. [14]

En deçà de tels niveaux-limites, l'effet de l'addition d'un bruit continu à une exposition à des bruits d'impact semble bien correspondre à la somme des effets de ces deux types de bruit présentés séparément. [14-15]

En somme, le concept de facteur de crête présente un intérêt pour la définition de l'impulsionnalité des bruits industriels. Toutefois, très peu de données scientifiques peuvent, à ce jour, être invoquées pour établir qu'un facteur de crête donné représente la transition entre un bruit inoffensif et un bruit nuisible pour l'audition. Il n'en demeure pas moins essentiel de prendre en compte la contribution du bruit continu ambiant dans la définition de limites d'exposition aux bruits impulsionnels.

3. Critères liés au temps de montée

On serait tenté de définir l'impulsionnalité de signaux acoustiques isolés par leur temps de montée. Cependant, dans l'état actuel des connaissances, aucune discontinuité n'a été mise en évidence entre un "court" et un "long" temps de montée représentant une nette aggravation du risque d'atteinte de l'audition. En fait, on ne dispose pas de résultats d'études ayant examiné de façon systématique l'effet du temps de montée de signaux impulsionnels, étant donnée la difficulté de contrôler la variation de ce paramètre même en laboratoire.

On peut toutefois considérer le temps de montée dans le domaine fréquentiel [16]. Plus le temps de montée du signal impulsionnel est court, plus sa distribution spectrale s'étend vers les hautes fréquences. Ainsi, l'influence de ce paramètre est prise en compte dans les critères de nocivité des bruits impulsionnels définis en termes d'énergie spectrale critique [2,17]. Une telle approche offre un cadre suffisamment large pour traiter sur une base commune un ensemble de signaux impulsionnels de caractéristiques physiques très variées.

Elle soulève en outre un problème méthodologique important dans la comparaison des effets des bruits impulsionnels à ceux des bruits continus. En effet, dans les études sur cette question, on néglige généralement de s'assurer que le contenu spectral des deux types de bruit soit identique (voir réf. [18-20]). Les chercheurs sont alors portés à exagérer le pouvoir nocif des bruits à caractère impulsionnel.

Cependant, le concept d'"énergie spectrale critique" a été développé sur la base d'études concernant les effets de signaux acoustiques caractéristiques des bruits d'arme à feu produits en champ non-réverbérant [2,17]. Les limites d'exposition qui en découlent sont probablement valables pour ce type de bruit; ce n'est vraisemblablement pas le cas pour les bruits d'impact tel que rencontrés en milieu industriel. Il faudra examiner les effets de ce dernier type de bruit dans cette perspective nouvelle. Ceci exige cependant la mise au point de nouveaux dispositifs de production de bruit en laboratoire permettant de contrôler le temps de montée et le contenu spectral des bruits.

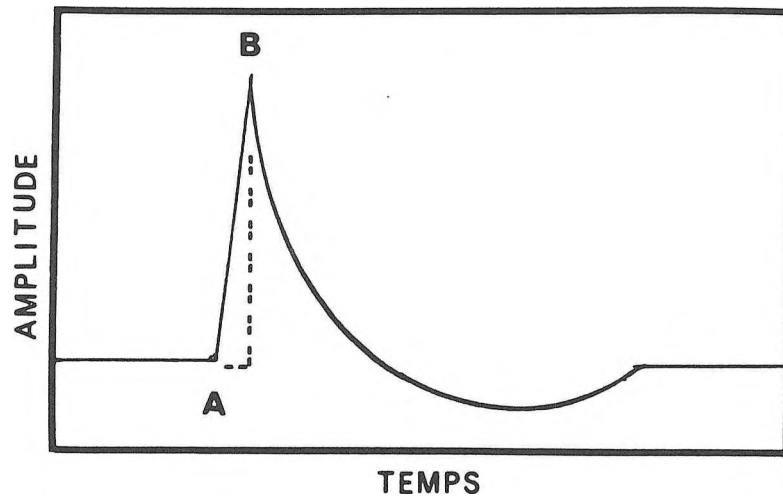


Figure 2: Schéma d'une onde sonore impulsionnelle d'après lequel le temps de montée est défini (temps écoulé entre les instants B et A).

Par ailleurs, la définition même du concept de temps de montée pose présentement un sérieux problème. On le définit comme le temps écoulé entre l'apparition de la variation acoustique et le moment auquel la pression de crête est atteinte [21]. Ceci s'applique très bien à des ondes de choc très simples telle qu'illustré à la Fig. 2; ce n'est pas le cas pour les bruits industriels. Si le caractère nocif du bruit était lié à la pente de la variation de pression acoustique dans le temps, cette définition conduirait à sous-estimer largement le risque d'atteinte en présence d'impulsions sonores réverbérées ou de bruits d'impact produits dans des structures complexes. En effet, dans ces conditions, il n'est pas rare que la pression maximale instantanée soit atteinte plusieurs millisecondes après la brusque fluctuation de pression initiale. Dans l'exemple illustré à la Fig. 3, la pression de crête est atteinte environ 45 millisecondes après le début du signal; cependant, la première fluctuation de pression acoustique atteint 130 dB (Lin) en moins de 60 microsecondes.

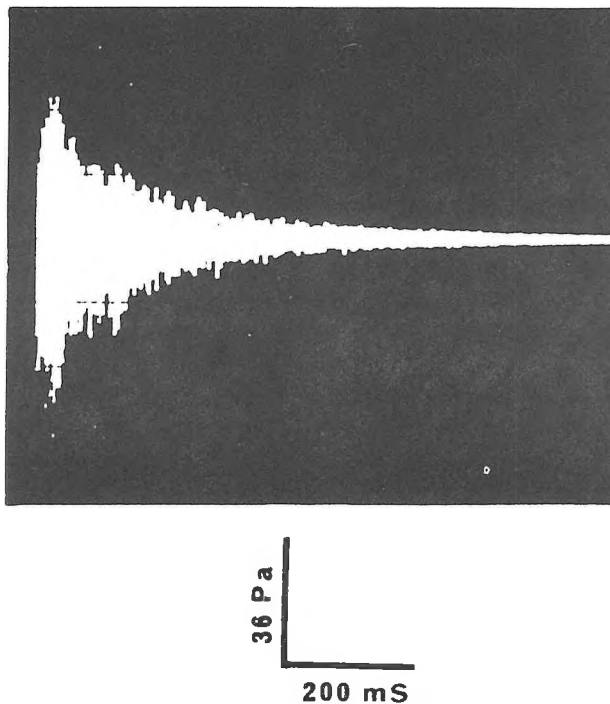


Figure 3: Oscillogramme d'un bruit d'impact produit par le choc de deux structures métalliques en champ réverbérant.

Il y a lieu de redéfinir le concept de temps de montée en fonction de la nature des bruits d'impact d'origine industrielle et d'examiner rigoureusement la contribution d'un tel facteur à la nocivité de ce type de bruit.

4. Critères liés au temps de décroissance ou à la durée unitaire

La norme ISO-1999 (1975) [22] concernant l'évaluation de l'exposition professionnelle au bruit réfère à des signaux acoustiques qui ont un caractère non-impulsionnel: "La présente Norme internationale n'est pas applicable aux bruits impulsifs, c'est-à-dire d'une durée inférieure à 1 seconde ou aux transitoires isolés de haut niveau et d'une durée très brève, provenant par exemple de coups de feu". Cette définition, utile pour limiter le champ d'application de la norme, sous-tend une discontinuité entre bruits intermittents et impulsionnels; on suppose probablement que les sons de durées inférieures à une seconde sont plus nocifs que des sons de plus longue durée comportant le même cumul d'énergie sonore. Cette démarcation, dictée par la prudence, ne représente pas nécessairement une définition valide de l'impulsionalité des bruits. Il faudra sans doute attendre encore quelques années avant que les résultats d'études expérimentales fournissant tous les fondements d'une telle définition.

Dans l'intervalle, les différents critères de nocivité des bruits impulsionnels fondés sur les résultats d'études de fatigue auditive [21,23,24,25,26] accordent une grande importance au facteur durée unitaire des impulsions. De fait, l'acquisition de la fatigue auditive est, à niveau de pression de crête constant, une fonction exponentielle de la durée unitaire des bruits d'impact [3]. Cependant, le recours à l'un ou à l'autre critère soulève de sérieux problèmes d'ordre théorique et pratique.

Au plan théorique, on note que le contenu spectral des bruits n'est pas pris en considération. Ils doivent donc être appliqués avec réserve aussi longtemps que l'influence de ce facteur important n'aura pas été pris en compte. Une telle omission remet d'autant plus en question leur validité que durée unitaire et nombre d'impulsions sont jugés comme des paramètres interchangeable. En effet, nombre et durée unitaire sont multipliés pour obtenir un seul paramètre correspondant à la durée d'exposition. Celle-ci, associée à la pression de crête, a servi à définir des doses limites de bruit impulsif [23-26]. Mais, il est improbable que l'augmentation du nombre d'impulsions soit effectivement équivalente du point de vue de la nocivité à l'augmentation de la durée unitaire; la distribution spectrale de l'énergie liée à un petit nombre d'impulsion de longue durée ne sera pas nécessairement équivalente à celle liée à un grand nombre d'impulsions de courte durée unitaire.

Au plan pratique, la mesure de la durée unitaire des bruits impulsionnels en milieu industriel pose des difficultés. Pour ce type d'ambiance sonore, on dispose d'au moins quatre définitions différentes de la durée des bruits impulsionnels [21,25,26,27]. A une exception près [26], elles réfèrent toutes à la durée de l'enveloppe d'une variation de pression acoustique assimilable à une **décroissance exponentielle**, comme l'illustre la Fig. 4.

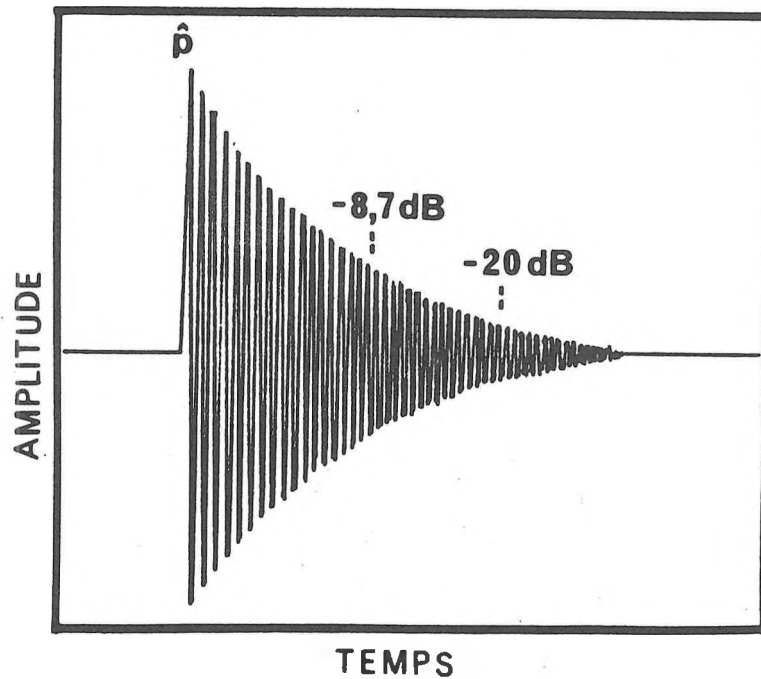


Figure 4: Schéma de l'onde de pression associée à un bruit impulsionnel produit en champ réverbérant. La durée de l'impulsion sonore est définie en termes de durée de l'enveloppe de variations de pression en-deçà de 8,7, de 10 ou de 20 dB de la pression de crête (P) [voir réf. 27,25 et 21,23,24 respectivement].

Or, en milieu industriel, à cause de la réverbération des locaux et des résonances complexes des structures soumises à des impacts mécaniques, les bruits impulsionnels ne peuvent pas être assimilés dans tous les cas à de **simples** décroissances exponentielles [3,28]. La Fig. 5 illustre cette situation. De sérieuses erreurs de mesure de la durée des bruits d'impact peuvent en résulter.

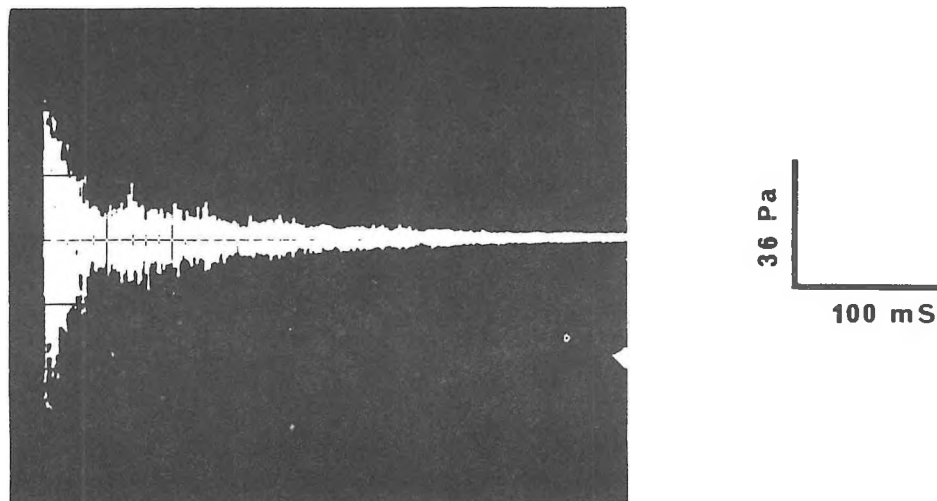


Figure 5: Oscillogramme d'un bruit d'impact illustrant un effet tardif de rebondissement de la structure soumise au choc.

Dans certaines situations, aucune décroissance de la pression sonore n'est observable durant plusieurs dizaines de millisecondes; c'est le cas du bruit produit par l'échappement d'une cisaille pneumatique tel qu'illustré à la Fig. 6. La valeur crête de 147 dB (Lin) est atteinte après 140 mS (ceci posant en outre le problème de la définition du temps de montée); la durée de l'enveloppe en-deça de 8,7 de 10 ou de 20 dB de la pression de crête ne rend pas nécessairement compte de l'effet qu'aurait eu un bruit de même durée à simple décroissance exponentielle.

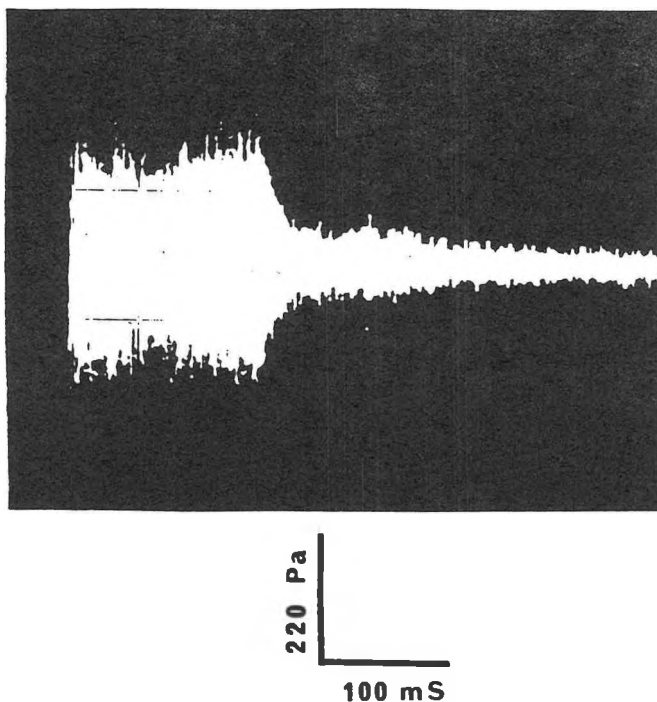


Figure 6: Oscillogramme du bruit produit par l'échappement d'une cisaille pneumatique.

En somme, la durée unitaire, bien que très importante dans la prédiction des effets auditifs des bruits impulsionnels, est très difficile à mesurer de façon fiable dans la pratique. Seul un traitement complexe des signaux acoustiques en laboratoire [29] permettrait, dans l'état actuel des choses, de quantifier ce paramètre de façon reproductible. Cela ne représente pas une solution adéquate à l'évaluation de milliers de postes de travail en milieu industriel.

La situation est en outre compliquée par le fait que les bruits d'impact peuvent apparaître à un rythme tel qu'ils se chevauchent dans le temps. Ce problème soulève la question de la cadence de répétition des bruits impulsionnels.

5. Critères liés à la cadence de répétition

Lorsque l'intervalle entre bruits d'impact successifs est inférieur au temps de décroissance de ces impacts, il y a chevauchement dans le temps entre les ondes de pression acoustique associées à chacun des bruits. Cette situation est illustrée à la Fig. 7. A la limite, l'intervalle pourrait être suffisamment court pour que des bruits impulsionnels soient assimilables à un bruit stable du point de vue de leur nocivité.

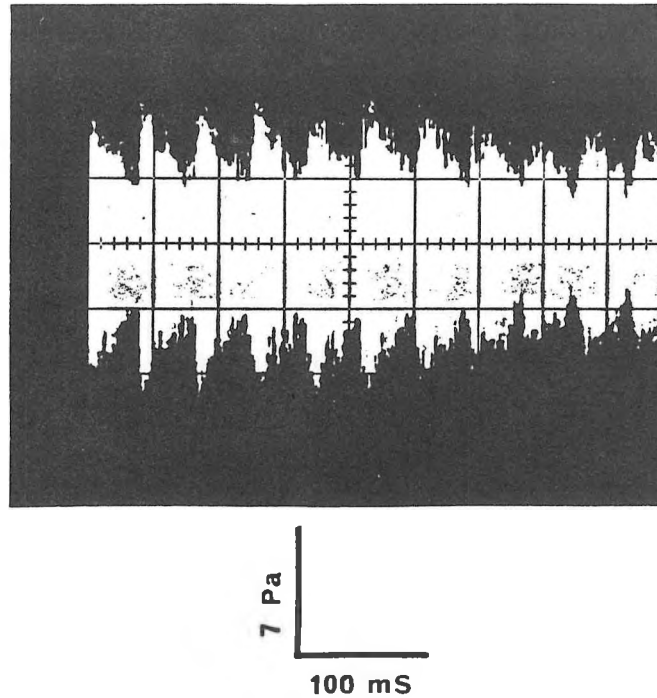


Figure 7: Oscillogramme du bruit d'un marteau piqueur illustrant le chevauchement des bruits impulsionnels dans le temps.

Quel serait le degré de chevauchement des bruits impulsionnels qui permettrait de considérer l'ambiance résultante comme un bruit continu? Cette question n'ayant pas fait l'objet d'expérimentations systématiques est encore sans réponse.

Au plan pratique, elle soulève un problème métrologique pour l'application des règlements concernant le bruit en milieu de travail. Certains auteurs [28,30] ont défini des classes de cadences de répétition en fonction de l'erreur de la mesure du cumul de l'énergie acoustique au moyen de sonomètres classiques. Sous diverses réserves, on peut établir certaines corrections systématiques et convenir d'un protocole simple d'enquête de bruit pour l'ensemble des ambiances sonores industrielles. D'autres auteurs font valoir que certains appareils à usage courant tels les dosimètres individuels peuvent très bien être utilisés dans toutes les situations sans même prévoir de correction [31]. Dans un cas comme dans l'autre, ces procédures comportent nécessairement une matière sujette à interprétation et par conséquent à conflits. Citons à nouveau le cas Collier-Keyworth [8]: l'usage d'un dosimètre individuel comme témoin d'une exposition excessive comportant des bruits d'impact à cadence de répétition relativement faible a été rejeté par la cour. On devine l'impasse à laquelle cette situation a conduit.

Dans une autre perspective, le problème de la cadence de répétition se pose à un niveau plus fondamental: les résultats d'études de fatigue auditive montrent bien que l'effet de la cadence est maximal entre 0,5 et 2 impulsions par seconde [3,16,32]; l'effet du bruit décroît nettement à des cadences inférieures et supérieures. C'est probablement la raison pour laquelle certaines limites d'exposition au bruit définissent les bruits d'impact en fonction d'une cadence de répétition inférieure à 1 par seconde [9]. Une telle proposition risque de sous-estimer très sérieusement le danger d'atteintes auditives; en effet, dans la pratique, une telle approche conduit à poser un postulat implicite invraisemblable à l'effet qu'en augmentant la cadence de répétition (donc la som-

me d'énergie acoustique) on diminue le risque d'atteinte auditive. En effet, une légère augmentation de la cadence (e.g. de 1 à 1,1 par seconde) ne se traduira pas par une augmentation sensible de la dose de bruit continu mesurée au moyen d'appareils classiques.

Or, les résultats des études épidémiologiques ont montré que le risque d'atteinte est fonction du cumul d'énergie acoustique [33]; cette relation semble valable également pour l'exposition aux bruits d'impact [34].

Il faudra certainement de nouvelles études pour trancher la question de la cadence de répétition. Dans l'intervalle, il est plus prudent d'adopter la position selon laquelle la nocivité de l'exposition aux bruits d'impact est fonction de l'énergie acoustique qu'elle comporte.

CONCLUSION

L'analyse qui précède montre les nombreux achoppements associés à l'effort pour traduire en des critères simples, pratiques et universels, des résultats d'études expérimentales. Le caractère impulsionnel des bruits est tantôt défini d'après des critères scientifiques difficiles d'application, tantôt d'après des règles relativement simples et pratiques mais d'une validité limitée ou douteuse. La solution de certains chercheurs a été de définir l'"impulsionnalité" en termes opératoires (e.g. bruit impulsif: changement de pression dans des gaz produit par une arme à feu en champ libre; bruit d'impact: bruit produit par le choc entre deux corps solides [27]). Bien que satisfaisant pour la recherche, cela ne constitue pas une approche intégrée et simple pour l'adoption et l'application de limites admissibles d'exposition en milieu de travail.

Une solution provisoire qui apparaît acceptable à la fois au plan théorique [34-35] et pratique, consiste à se référer à l'intégration temporelle du niveau de pression acoustique pondéré A; il s'agit de généraliser l'emploi des mesures du niveau continu équivalent de pression acoustique pondéré A ($L_{Aeq,T}$) [33] aux bruits à caractère impulsionnel.

Au plan métrologique, cette approche suppose l'utilisation d'un sonomètre intégrateur [voir par exemple réf. 36].

L'intérêt de cette approche est triple:

- elle repose sur des fondements scientifiques relativement acceptables, tant pour les bruits stables, intermittents ou non-stables que pour les bruits impulsionnels de niveaux crêtes inférieurs à 145 dB (Lin.) [37].
- elle s'applique à une majorité de conditions d'exposition en milieu de travail (il faudra bien entendu entreprendre de nouvelles études épidémiologiques pour en vérifier la validité dans une diversité de conditions)
- elle réfère à une seule relation dose-effet (ISO/DIS 1999-1984) [33] pour l'évaluation des risques d'altérations de l'audition.

Il est ainsi possible de s'affranchir des épineux problèmes de définitions de l'impulsionnalité des bruits et de proposer des limites acceptables d'exposition en milieu de travail.

Il s'agit bien d'une solution **provisoire** applicable dans l'immédiat. En effet, des résultats d'études épidémiologiques récentes ont montré que des bruits d'im-

pact pouvaient, dans certains cas, être légèrement plus nocifs que des bruits stables d'énergie équivalente [38-39]. Les conditions d'exposition pour lesquelles on dispose de telles données sont encore trop limitées pour préciser la nocivité relative des bruits impulsionnels par rapport à celle de bruits stables d'énergie équivalente. A moyen terme, on pourra envisager l'ajout d'un terme correctif au $L_{Aeq,T}$ (par exemple une majoration de 5 dBA [40]) pour rendre compte de la nocivité particulière des bruits impulsionnels.

A plus long terme, il faudra compter sur plusieurs années de recherche expérimentale afin de bien connaître les effets des divers paramètres physiques des bruits impulsionnels et de leurs interactions mutuelles. Il devrait alors être possible de définir des critères valides d'impulsionnalité du bruit et de les traduire en limites d'exposition facile d'application.

REFERENCES

- [1] BRUEL, P. (1976) Noise: Do we measure it correctly. Bruël & Kjaer Technical Review, no 1.
- [2] PRICE, G.R. (1981) Implications of a critical level in the ear for assessment of noise hazard at high intensities. J. Acoust. Soc. Am., 69: 171-177.
- [3] TREMOLIERES, C. & HETU, R. (1980) A multi-parametric study of impact noise-induced TTS. J. Acoust. Soc. Am., 68: 1652-1659.
- [4] BOUDREAU, V. (1980) Etude exploratoire des effets auditifs des bruits d'impact. Université de Montréal, Ecole d'orthophonie et d'audiologie, mémoire de maîtrise.
- [5] U.S. Department of Labor, O.S.H.A. (1971) Occupational Noise Exposure. (29 CFR, 1910.95).
- [6] Code canadien du travail. (1971) Règlement du Canada sur la lutte contre le bruit. Gazette du Canada, Partie II, Vol. 105, no 22, pp. 1936-1938.
- [7] U.S. Department of Labor, O.S.H.A. (1981) Occupational Noise Exposure; Hearing Conservation Amendment; Rule and Proposed Rule. Federal Register, vol. 46 (162).
- [8] Secretary of Labor V. Collier-Keyworth, OSHRC Docket, no 80-2848, June 28, 1982.
- [9] A.C.-3169 (1979) Règlement relatif à la Qualité du Milieu de Travail. (Decret 3845-80), Editeur Officiel du Québec.
- [10] HETU, R., BELZILE, S., FORGET, A.-M. & TETU, E. (1984) Exposure limits to impact noise: the relation between the peak level and the number of long duration impact noises. INTERNOISE-84.
- [11] ELANDSSON, B., HAKANSON, H., IVARSSON, A., KARLSSON, E. & NILSSON, P. (1980) Estimation of impulse noise from cumulative time distribution with a new sound pressure time analyzer. (Malmö Symposium), Scand. Audiol., Suppl. 12, 33-39.
- [12] SVENSSON, J. (1980) Rating of impulse noise through level distribution (Malmö Symposium), Scand. Audiol., Suppl. 12, 105-106.
- [13] VOIGT, P., GODENHJELM, B. & OSTLUND, E. (1980) Impulse noise-measurement and assessment of the risk of noise induced hearing loss. (Malmö Symposium), Scand. Audiol., Suppl. 12, 319-325.
- [14] HETU, R., & LAZURE, R. (1982) La dosimétrie des bruits d'impacts: effet de l'interaction dose d'impacts - dose de bruit continu. Montréal: Institut de Recherche en Santé et Sécurité du Travail, N/D-25-80-25.
- [15] HAMERNIK, R.P., HENDERSON, D. & SALVI, R. (1981) Potential for interaction of low-level impulse and continuous noise. Wright-Patterson Air Force Base, Ohio: Aerospace Medical Research Laboratory, AFAMRL-TR-80-68.

- [16] KRYTER, K.D. (1970) The Effects of Noise on Man. Academic Press, New York, pp. 18-20, 197-202.
- [17] PRICE, G.R. (1983) Relative hazard of weapons impulses. J. Acoust. Soc. Am., 73 (2): 556-566.
- [18] ARLINGER, S. & MELLBERG, P. (1980) A comparison of TTS caused by a noise band and by trains of clicks. (Malmö Symposium) Scand. Audiol., Suppl. 12, 242-248.
- [19] SALT, A.N., KONISHI, T. & COOK, R.O. (1981) comparison between the effects of continuous and impact noise on cochlear potentials in guinea pigs. J. Acoust. Soc. Am., 69: 1746-1752.
- [20] DAMONGEOT, A. (1983) Nocivité comparée des bruits stables et des bruits d'impact. INRS Cahier de Notes Documentaires, no 111, 183-197.
- [21] COLES, R.R.A., GARINTHER, G.R., HODGE, D.C., and RICE, C.G. (1968) Hazardous exposure to impulse noise. J. Acoust. Soc. Am., 43, 336-343.
- [22] Organisation Internationale de Normalisation. ISO-1999 (1975) Acoustique-Estimation de l'exposition au bruit durant le travail en vue de la protection de l'audition.
- [23] CHABA (1968) Proposed damage-risk criterion for impulse noise (gunfire). Report of Working Group 57, NAS-NRC Committee on Hearing, Bioacoustics and Biomechanics, Washington, D.C.
- [24] COLES, R.R.A. & RICE, C.G. (1970) Towards a criterion for impulse noise in industry. Ann. Occup. Hyg., 13: 43-50.
- [25] SMOORENBURG, G.F. (1980) Damage risk criteria for impulse noise. Institute for Perception T.N.O., The Netherlands.
- [26] PFANDER, F., BONGARTZ, H., BRINKMANN, H. & KIETZ, H. (1980). Danger of auditory impairment from impulse noise: A comparative study of the CHABA damage-risk criteria and those of the Federal Republic of Germany. J. Acoust. Soc. Am., 67: 628-633.
- [27] ATHERLEY, G.R.C., and MARTIN, A.M. (1971) Equivalent-continuous noise level as a measure of injury from impact and impulse noise. Ann. Occup. Hyg., 14, 11-28.
- [28] PASSCHIER-VERMEER, W. & BERG, van den R. (1980) Measurement of impulse noise at workplaces: relation between oscilloscopic measurements with ordinary sound level meter. (Malmö Symposium) Scand. Audiol., Suppl. 12, 85-98.
- [29] ATKINSON, R. & LAMB, P. (1980) Time history analysis of multi-impact noise. Noise Control Engineering, 15: 6-10.
- [30] MARTIN, A.M. & ATHERLEY, G.R. (1973) A method for the assesment of impact noise with respect to injury to hearing. Ann. Occup. Hyg., 16: 19-26.
- [31] KUNDERT, W.R. (1982) Dosimeters, impulsive noise and the OSHA hearing conservation amendment. Noise Control Engineering, 19: 74-79.

- [32] MURRAY, N.E. & REID, G. (1946) Temporary deafness due to gunfire. J. Otolaryngol. Otol., 61: 95-130.
- [33] ISO (1984) Acoustics-Determination of Occupational Noise Exposure and Estimation of Noise-Induced Hearing Impairment. Geneva: International Organization for Standardization, Draft ISO/DIS 1999 (Final Revision)
- [34] MARTIN, A. (1976) The equal energy concept applied to impulse noise. In D. Henderson, R.P. Hamernik, D.S. Dosanjh & J.H. Mills (eds.) Effects of Noise on Hearing. New York: Raven Press, pp. 421-453.
- [35] STEVIN, G.O. (1980) Analyse spectrale des bruits impulsifs en vue de la protection de l'audition. Revue d'Acoustique, 13(52): 35-44.
- [36] STEVIN, G.O. (1980) Sonomètre intégrateur universel pour la mesure des bruits impulsifs et continus. Revue d'Acoustique, 13(55): 241-244.
- [37] I.S.V.R. (1981) Results of the Workshop on Impulse noise and Auditory Hazard. Southampton: Institute of Sound and Vibration Research, Memorandum no 618.
- [38] SULKOWSKI, W.J. & LIPOWCZAN, A. (1982) Impulse noise-induced hearing loss in drop forge operators and the energy concept. Noise Control Engineering, 18: 24-29.
- [39] TAYLOR, W., LEMPERT, B., PELMEAR, P., HEMSTOCK, I. & KERSHAW, J. (1984) Noise levels and hearing thresholds in the drop forging industry. J. Acoust. Soc. Am., 76(3): 807-819.
- [40] DAMONGEOT, A., CATAYE, R. & FREIDINGER, M. (1983) Nocivité comparée des bruits stables et des bruits d'impact. I.N.R.S., Cahiers de Notes Documentaires, 111: 183-197.