

BRUIT, BTP ET GRENELLE DE L'ENVIRONNEMENT : PRÉVENTION ET GESTION

Roxane DESENDER, Édouard HOUDAN, Guillaume VIDAL

Élèves ingénieurs à l'ESTP, encadrés par Christiane MAJCHERCZYK (Expert de justice, Professeur à l'ESTP)
Synthèse du projet de recherche présenté à la journée innovation de l'ESTP le 16/5/2013

INTRODUCTION

Avec le développement des villes et de l'activité industrielle, le bruit est devenu une réelle pollution, touchant une très grande partie de la population. Il est d'ailleurs défini par les français comme étant la première source de nuisance (*sondage datant de 2009*).

La pollution sonore peut s'accompagner d'effets nocifs. Depuis 1982, la surdité est la plus répandue des maladies professionnelles. En 2001, le nombre de nouveaux cas de surdité du au milieu professionnel était d'environ 3500 par an, où l'activité du BTP est particulièrement concernée.

En effet, la réalisation de construction de bâtiments et d'infrastructures occasionne le plus souvent des nuisances sonores plus ou moins supportables, selon leur intensité, leur durée et le lieu concerné. Que ce soit pour le personnel de chantier ou pour le voisinage, les bruits doivent être pris en compte. À titre d'exemple, il s'avère que les ouvriers du BTP présentent un déficit auditif moyen de 20 dB, ce qui se traduit, outre la gêne générée, par de lourdes charges supplémentaires (indemnités, autres...). Les statistiques montrent également qu'un ouvrier sur deux travaillant dans le BTP part à la retraite handicapé, et pour beaucoup, il s'agit d'une surdité marquée qui atténue le seuil de douleur, voire supprime les signes d'alerte. Ceci peut avoir de graves conséquences car le seuil de fatigue apparaît vers 70dB mais à ce niveau certaines facultés intellectuelles s'amointrissent.

La prise de conscience des autorités, tant au plan national, qu'à l'échelle de l'Europe, des conséquences et des

coûts de ces nuisances sonores reste récente (*pas avant 1992*). Parfois même certaines entreprises n'en ont pas encore bien pris la pleine mesure. Ce problème mérite pourtant une très grande attention.

En France, plusieurs réglementations et orientations sont applicables. En particulier,

- La Directive du parlement et du conseil européen du 25 juin 2002, est relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement.
- L'Arrêté du 18 mars 2002, relatif aux émissions sonores dans l'environnement des matériels destinés à être utilisés à l'extérieur des bâtiments, révisé le 22 mai 2006.
- Le Chantier n°18 du Grenelle de l'Environnement.
- Le Code du travail.

Mais leur application, souvent fastidieuse, n'est pas toujours effective.

Cet article identifie les sources de bruits sur les chantiers, les dispositifs de prévention au niveau des matériels de chantier, et du chantier lui-même, répertorie les réglementations en vigueur et leurs récentes évolutions, met en lumière ce qui peut être encore amélioré, ceci dans l'intérêt de toutes les parties prenant part à un chantier.

Pour cela, en plus des documentations accessibles, des informations concrètes ont été recueillies lors de visites de chantiers, plus ou moins concernés par ce problème, et d'un laboratoire acoustique (CEBTP), spécialisé dans la détection et le danger des bruits de chantier. Ceci nous a permis de mieux appréhender la pertinence des normes en vigueur ainsi que celle des précautions prises en général.









LES SOURCES D'ÉMISSION DU BRUIT SUR LES CHANTIERS DU BTP, LEURS CONSÉQUENCES

Définition du bruit

Il peut être difficile de globaliser cette notion de gêne car elle est bien sûr très subjective. Ainsi un son comme une

musique qui peuvent paraître agréables pour certains qui ont choisi de l'écouter, pourront être ressentis comme désagréables par d'autres.

Arrêtons-nous un instant sur la définition d'un son : il s'agit d'une vibration mécanique qui se propage dans un milieu élastique, ici pour nous l'air où il se propage à 331m/s. Cette vibration se propage de part en part sous forme d'ondes acoustiques et entraîne une légère variation de la pression de l'air : la pression acoustique qu'entend notre oreille.

ECHELLE DES DÉCIBELS			
	Durée d'exposition hebdomadaire tolérée	 Fusée ARIANE	
180 dB			
160 dB			
140 dB			
120 dB	1 MIN à 120 dB	 Avion au décollage	Douloureux
100 dB	45 MIN à 105 dB 2H à 100 dB	 Concert amplifié Discothèque	Risque de surdité
80 dB	7H à 95 dB 20 H à 90 dB	 Balladeur à fort volume	Pénible
60 dB		 Imprimante	Fatigant / Supportable
40 dB		 Sonnerie de téléphone	Supportable / Agréable
20 dB		 Tic-Tac d'une montre	Agréable
		 Bruissement de feuilles	Calme

Pour caractériser le son, deux critères sont utilisés, sa fréquence et son intensité :

- **La fréquence** distingue les sons graves (16 Hz) des sons aigus (jusqu'à 20 000 Hz). A titre indicatif, la voix humaine se situe dans son registre normal autour de 4 000 Hz.
 - **L'intensité** distingue les sons forts des sons faibles et se mesure par la pression acoustique en décibels (souvent dB(A)), qui est une pondération qui permet de ne quantifier que les sons les mieux perçus, privilégiés par rapports aux bels puisqu'ils quantifient la plus petite variation audible par l'homme. Cette échelle est logarithmique. Cela veut dire par exemple que si un son est 100 fois plus fort qu'un autre, il y aura un écart 20 dB ($100=10^2$).
 - L'intensité prend aussi en compte la distance à la source : doubler la distance diminue l'intensité de 6 dB.
- On considère qu'au-delà de 85 dB, des conséquences apparaissent : surdité mais aussi stress, augmentation du rythme cardiaque, etc.

Santé

Le personnel de chantier du BTP est particulièrement affecté par le problème du bruit puisqu'il part à la retraite avec un déficit auditif moyen de 20 dB. C'est en effet une des professions les plus impactée, puisque c'est celle qui expose le plus les travailleurs au bruit.

Le risque de surdité dépend de nombreux facteurs comme la durée d'exposition, le niveau du son, la fréquence (plus le son est aigu plus il est nocif) mais aussi de l'environnement ! Du fait de la réverbération du bruit sur les murs, les ouvriers travaillant dans des endroits fermés sont les plus

exposés aux bruits des machines. Ils sont donc plus sujets à des troubles liés au bruit. Ce genre d'effet aggravant peut également se retrouver sur les chantiers de démolition ou de réhabilitation où l'on procède à des « grignotages » dans des enceintes fermées.

Pour le voisinage, le problème n'est pas le même, on parle plus de nuisances que de réels dangers, même si l'on retrouve toutes les maladies liées au stress : fatigue, irritabilité, augmentation du rythme cardiaque.

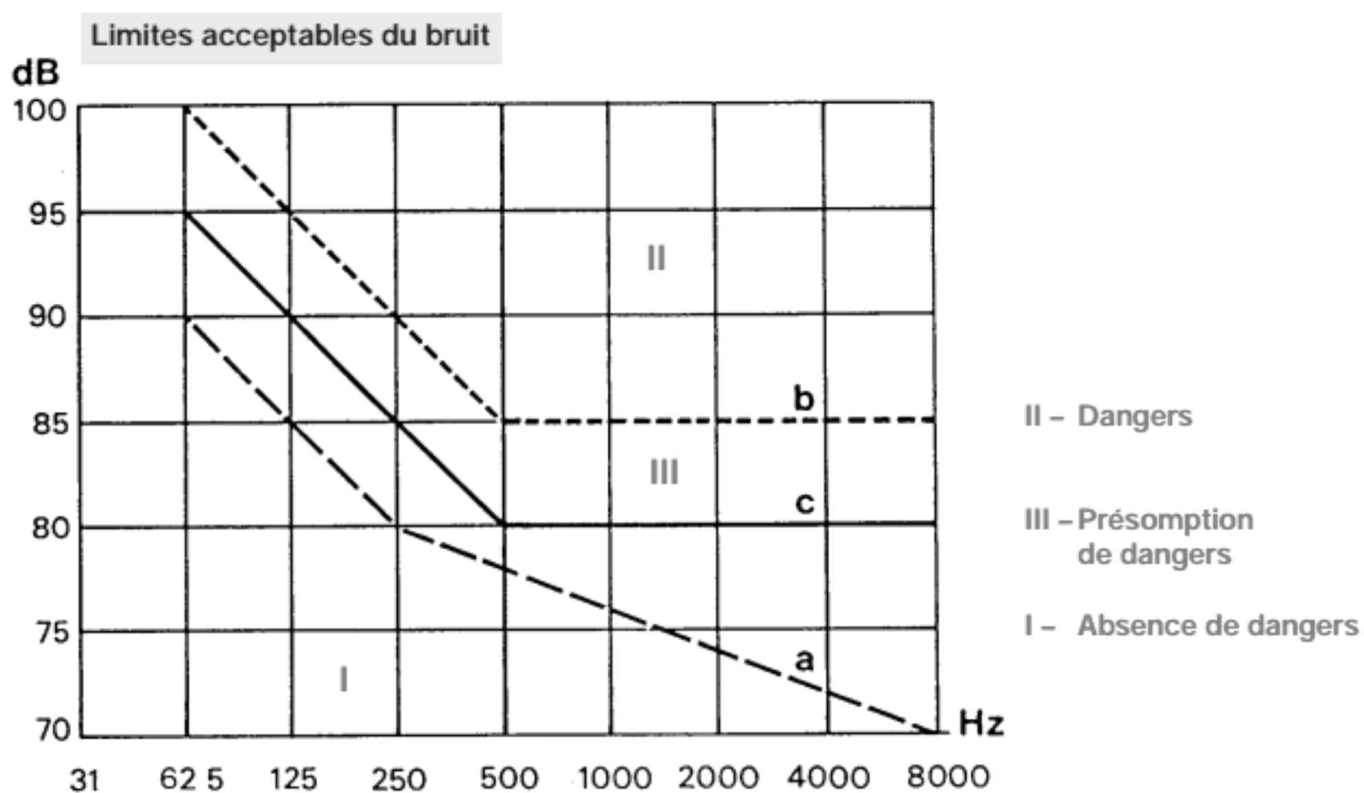
Causes de nuisances sonores sur les engins de chantier

Les sources de bruit sont très nombreuses et variées et il n'est pas toujours aisé de les identifier. Cependant, on commence à répertorier des causes usuelles de nuisances. Le bruit est très souvent provoqué par des fluctuations (aléatoires ou périodiques) :

- de contraintes,
- de forces,
- de débits massiques.

Niveaux de puissance en dB(A) pour différentes sources

Rouleaux compresseurs	71 à 88
Marteaux à vérins et soudeuses	76 à 98
Batteuses de pieux	89 à 105
Vibreurs	69 à 82
Scies	66 à 93
Machines de nettoyage des ballasts	115 à 122



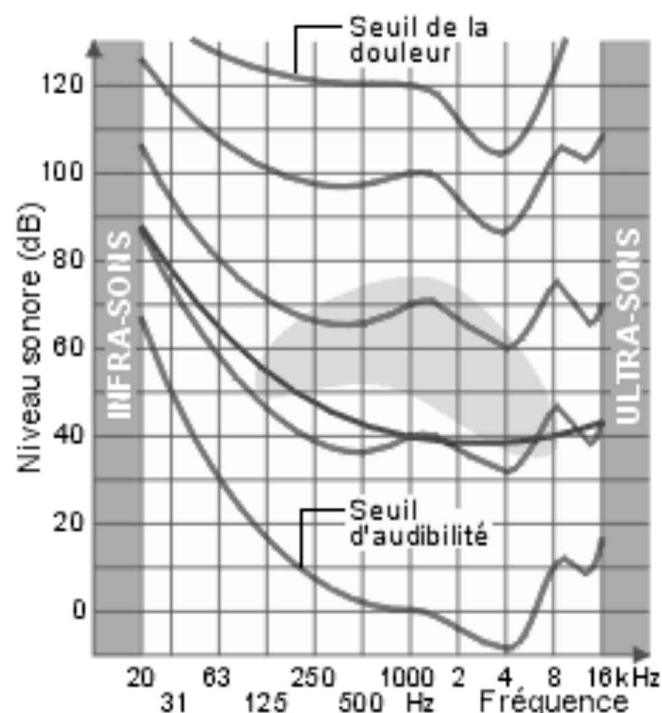
Le bruit peut se propager à l'extérieur par voie aérienne, par voie solidienne et par les pulsations de pression.

LES MOYENS DE MESURE, SONOMÉTRIE - CARTOGRAPHIE DU BRUIT

Sensibilité auditive et décibel

L'oreille humaine est capable aussi bien d'entendre un son de 10^{-5} Pa comme le bruit des feuilles d'arbres, comme un son de 100Pa comme le tonnerre. Mais l'oreille humaine peine à déterminer réellement un état sonore en fonction de ce qu'elle entend. Elle a du mal à déterminer les coordonnées d'un son en niveau sonore et en fréquence.

Pour que les mesures faites avec un appareil électronique correspondent au mieux avec les sensations ressenties par l'oreille, il a été nécessaire de créer des filtres qui reproduisent à l'identique les sensations de l'oreille. Il existe des courbes qui affichent une représentation de ces filtres en fonction des fréquences. Ce sont les courbes de pondération.



Pour tout point placé sur une des courbes rouges, la sensation ressentie par l'oreille sera la même !

Exemple, un son d'une fréquence de 4kHz et de 30 dB ne pourra être différencié d'un autre de fréquence 63Hz et 60dB.

Le filtre A correspond au comportement de l'oreille pour des niveaux sonores faibles : de 0 à 55dB (par exemple les bruits gênants sur le chantier).

Le filtre B correspond au comportement de l'oreille pour des niveaux sonores plus importants : de 55 à 85 dB.

Le filtre C correspond au comportement de l'oreille pour des niveaux sonores supérieurs à 85dB.

En réalité, le niveau sonore affiché par le sonomètre n'est pas exactement le niveau sonore mesuré mais celui que perçoit l'oreille afin d'afficher au mieux la gêne occasionnée.

Si on mesure un niveau sonore à l'aide du filtre A, on parlera de dB(A) en ajoutant des décibels suivant les bandes d'octaves ou tiers d'octave. Actuellement, le seul filtre utilisé pour évaluer la gêne occasionnée est le filtre A (sur un chantier la majorité des bruits étant des bruits dits gênants).

Addition des niveaux sonores

La sensation sonore n'est pas proportionnelle à l'énergie sonore reçue par l'oreille (si c'était le cas, la sensation provoquée par le bruit du tonnerre serait insupportable). Ces deux grandeurs sont reliées par une loi assez proche d'une loi logarithmique. C'est la raison pour laquelle une échelle logarithmique (celle du décibel) a été retenue pour exprimer le niveau sonore. Suivant cette échelle, le résultat de l'addition de deux niveaux sonores identiques n'est pas un niveau sonore double mais le niveau sonore augmenté de 3 décibels.

Les niveaux sonores ne s'additionnent pas comme des unités classiques. Ils se composent. Le bruit augmente de 3 dB chaque fois que son énergie double.

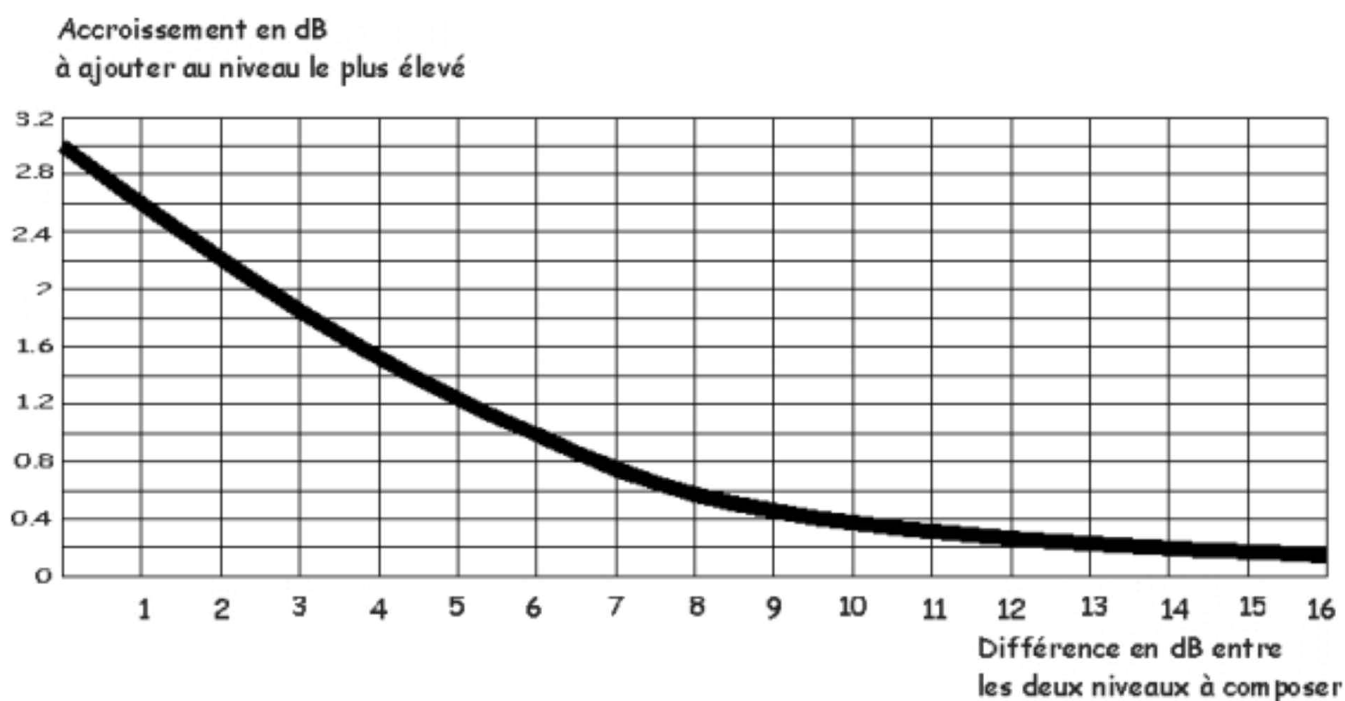
Exemple, L'addition de niveau sonore de machines :

1 machine	80 dB(a)
2 machines	83 dB(a)
3 machines	85 dB(a)
4 machines	86 dB(a)
5 machines	87 dB(a)
10 machines	90 dB(a)

Un son très intense, qui sera véritablement entendu, procure une sensation désagréable, puis douloureuse. Au-delà de 120 dB, Les tympons peuvent éclater.

Une méthode rapide de calcul serait d'utiliser des résultats expérimentaux. On peut lire les accroissements à ajouter au son le plus haut pour avoir le son réellement perçu sur la courbe abaque suivante :

Pour deux sons identiques, l'écart étant de zéro, on lit sur la courbe que l'accroissement en décibel est de 3dB. Pour deux sons espacés de 5dB, l'accroissement est de 1,2dB. Plus les sons sont éloignés, plus l'accroissement est faible.



Pourquoi mesurer le bruit ?

Nous pouvons voir qu'une grande partie des travailleurs du bâtiment ou de ses activités est exposée au bruit. C'est pour cela que ce secteur met en œuvre une politique de réglementation sur le bruit. Mais pour pouvoir appliquer ces normes, il faut encore pouvoir mesurer ce bruit.

Comment le mesurer



Dès lors que nous arrivons à percevoir les sources du bruit, nous possédons de nombreux moyens de le mesurer. On peut répertorier plusieurs logiciels comme Brüel et Kjaer, 01dB, logiciels ACOUBATSOUND, ODEON ou encore MITHRA. Il existe aussi plusieurs outils de mesures comme le sonomètre, le dosimètre ou exposimètre.

L'outil de mesure le plus utilisé et le plus abordable reste le sonomètre (10 000€).

Un Sonomètre est un instrument destiné à mesurer le niveau de pression acoustique. En Acoustique architecturale et en Sonorisation, il sert à évaluer la répartition des niveaux sonores dans les locaux.

Le sonomètre permet de mesurer un niveau de bruit, en décibels. On trouve parfois l'appellation *décibel mètre*.

Le sonomètre classique reste utilisé pour des mesures en un point donné, contrairement au Dosimètre de bruit appelé généralement Exposimètre, qui lui est porté par un salarié pendant une durée prolongée. Pour une bonne évaluation du niveau de l'exposition quotidienne, la durée doit être représentative de l'exposition sonore habituelle.



Logiciels acoustiques

L'ensemble des logiciels permettent entre autres les analyses suivantes :

- analyse des bruits routiers, industriels et ferroviaires,
- modélisation de salles de grand volume type amphithéâtres ou salles de concerts,
- cartographie de bruits intérieurs et extérieurs,
- calcul statistique pour édition d'analyse conforme à la norme,
- calcul des niveaux d'isolement dans les bâtiments,
- développement interne pour les analyses des temps de réverbération, de l'isolement, des parois, des écrans, des silencieux, etc.

Secteurs d'activité économique	Effectif total (en milliers)	Travailleurs exposés à plus de 85 dB(A)	
		Effectifs (en milliers)	%
Bâtiment, génie civil	1 214	371	31
Fonderie et travail des métaux	398	172	43
Construction mécanique	431	117	27

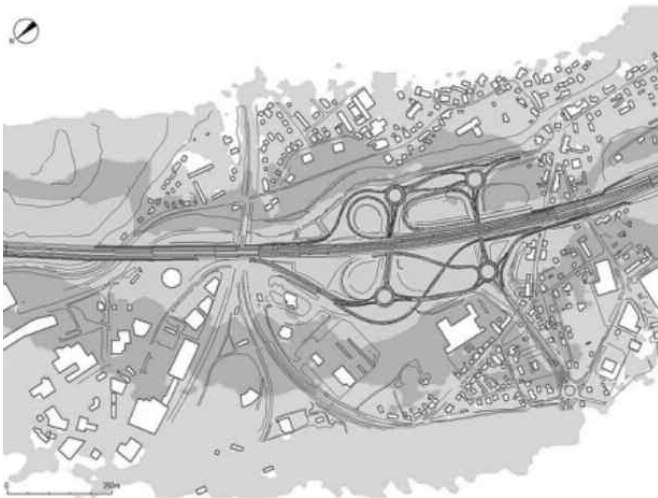
Études d'environnement acoustique

Les études d'environnement acoustique permettent de créer de nouveaux outils, plus facilement lisibles : les cartes isophones.

Les cartes isophones permettent une analyse facilitée lors de certaines études telles que :

- Mesures de bruit autour des grandes infrastructures de transport ou des sites industriels.
- Études d'impact acoustique.
- Conception acoustique des bâtiments.
- Plan de gêne sonore.

Carte isophone



Ces cartographies du bruit peuvent aussi bien être des cartographies géographiques (comme les exemples ci-dessus) que des cartographies temporelles (exemple ci-dessous). Dans tous les cas, l'utilisation d'une gamme de couleurs en fonction des niveaux sonores permet non seulement une lecture simple mais aussi de détecter les points sensiblement bruyants (en temps ou en localisation).

Application sur chantier

Dans de nombreux chantiers situés en ville, un des objectifs premiers est de diminuer les nuisances sonores.

Il est nécessaire pour l'entreprise de définir une méthodologie de travail, avec des règles à suivre pendant les phases d'exécution, afin de limiter au mieux la gêne pour le voisinage et assurer au maître d'ouvrage une gestion réelle des nuisances (vis-à-vis de l'entreprise, des riverains...).

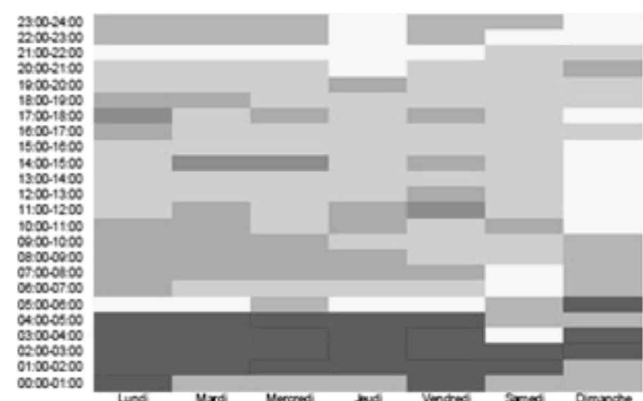
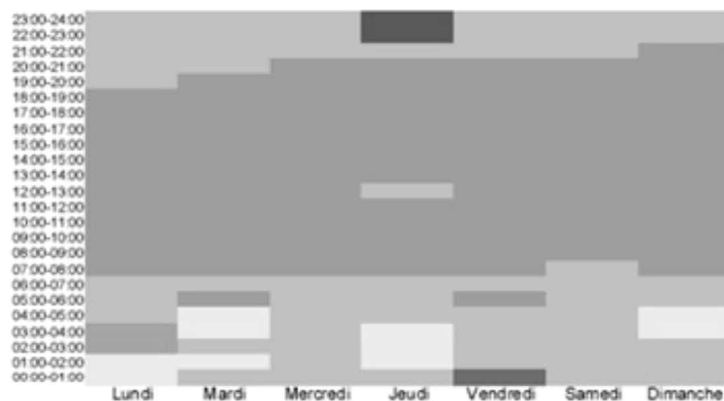


La problématique étant que les bruits et vibrations de chantier constituent un problème complexe et notamment :

- en termes de quantification des mécanismes générateurs émetteurs (outillages utilisés multiples, utilisations diverses,...),
- en termes de propagation entre émetteurs et récepteurs (locaux intérieurs aux immeubles voisins, parties extérieures des mêmes immeubles,...),
- mais aussi en termes de réponse acoustique des récepteurs (couplage et réponses variables des volumes excités dépendant de la nature des constructions,...).

Ainsi, **il n'existe pas de méthode de calcul qui permette une prévision fiable de ces problèmes.**

Pour évaluer au mieux l'impact du bruit sur un environnement, la technique la plus utilisée (dans le cadre de mesures de longue durée) est la répartition de sonomètres tout autour du chantier, et en divers points stratégiques comme par exemple en certains points proches d'habitations, d'écoles ou encore là où bon nombre des machines bruyantes opèrent. Après études des données observées, il est plus facile d'agir précisément.



sans donnée	<50 dB(A)	60 - 62,4 dB(A)	62,5 - 64,9 dB(A)	65 - 67,4 dB(A)	67,5 - 69,9 dB(A)	70 - 72,4 dB(A)	72,5 - 74,9 dB(A)	75 - 77,4 dB(A)	77,5 - 79,9 dB(A)	80 - 82,4 dB(A)	82,5 - 84,9 dB(A)	≥ 85 dB(A)

LA RÉGLEMENTATION NATIONALE ET EUROPÉENNE

En matière de bruit, les chantiers sont soumis à trois types de réglementations :

- le code du travail pour la protection des travailleurs,
- le code de la santé publique pour les bruits du voisinage,
- les directives européennes en ce qui concerne le matériel de chantier.

Le code du travail

Pour le code du travail, il y a trois seuils d'exposition au bruit importants :

A tous les niveaux, l'employeur a pour obligation d'évaluer les risques de les supprimer ou de les réduire au minimum. Il doit également consulter et faire participer les travailleurs à l'évaluation des risques, au choix des mesures de réduction et des protections individuelles.

Au-dessus de la valeur d'exposition inférieure, l'employeur doit mettre à disposition des protections individuelles, informer et former les travailleurs sur les risques qu'ils encourent, sur les protections individuelles qu'on leur fournit et sur la surveillance de leur santé. De plus, un examen audiométrique doit leur être proposé.

Au-dessus de la valeur d'exposition supérieure, l'employeur doit mettre en œuvre un programme de mesures de réduction d'exposition au bruit, signaler les endroits bruyants et limiter leur accès, veiller à ce que les protections individuelles soient utilisées et grâce au médecin du travail contrôler l'ouïe de ses employés.

Au-dessus de la valeur limite d'exposition, celle-ci ne doit être en aucun cas dépassée et si cela se produit il faut prendre des mesures de réduction d'exposition sonores immédiates.

Le code de la santé publique

Dans le cadre des chantiers, la loi est la suivante :

Si le bruit mentionné a pour origine un chantier de travaux publics ou privés, ou des travaux intéressant les bâtiments et leurs équipements soumis à une procédure de déclaration ou d'autorisation, l'atteinte à la tranquillité du voisinage ou à la santé de l'homme est caractérisée par l'une des circonstances suivantes :

1) Le non-respect des conditions fixées par les autorités compétentes en ce qui concerne soit la réalisation des travaux, soit l'utilisation ou l'exploitation de matériels ou d'équipements.

2) L'insuffisance de précautions appropriées pour limiter ce bruit.

3) Un comportement anormalement bruyant.

Concernant les bruits des chantiers, les maires des villes possèdent de nombreux moyens d'action dans ce domaine. Ces derniers peuvent en effet imposer des horaires de travaux à la maîtrise d'œuvre et faire des vérifications du matériel utilisé sur les chantiers. Si la collectivité est le maître d'ouvrage du chantier alors elle a le droit d'introduire dans le cahier des charges des dispositions relatives à l'utilisation de matériels moins bruyants. Et elle peut également mettre en place des moyens de surveillance des niveaux sonores en prévoyant des actions correctives rapides en cas de dépassement des limites fixées.

Les infractions peuvent être sanctionnées d'une amende de 5^e classe de 1 500 euros au plus, pour les bruits provenant de chantiers, cette amende étant aggravée en cas de récidive ce qui implique l'inscription au casier judiciaire. Le maire peut également prendre des sanctions administratives lorsque les bruits de voisinage proviennent de chantiers. L'exploitant ou le responsable de l'activité peut être mis en demeure par le maire de se mettre en conformité. Si, à l'expiration du délai fixé pour l'exécution, il n'a pas obtempéré à cette injonction, le maire peut prendre une ou plusieurs des mesures suivantes :

- consigner entre les mains d'un comptable public une somme correspondant au montant des travaux pour rendre l'exploitation conforme,
- faire procéder d'office, aux frais de l'exploitant ou du responsable de l'activité, à l'exécution des mesures prescrites,
- suspendre l'activité en cause.

Les directives européennes

Le matériel des chantiers est lui aussi soumis à une législation particulière.

L'arrêté du 18 mars 2002 soumet les matériels nouveaux mis sur le marché et destinés à être utilisés à l'extérieur des bâtiments à une réglementation de leurs émissions sonores.

Seuil d'exposition	Paramètres d'exposition au bruit	Réglementations	Actions déclenchées à chaque seuil
VAI : valeur d'exposition inférieure	Exposition moyenne (Lex, 8h) Niveau de crête (Lp, c)	80 dB 135 dB	Déclenche les actions de prévention
VAS : valeur d'exposition supérieure	Exposition moyenne Niveau de crête	85 dB 137 dB	Déclenche les actions correctives
VLE : valeur limite d'exposition	Exposition moyenne Niveau de crête	87 dB 140 dB	Limites en aucun cas dépassées

Cet arrêté, transcrit la directive européenne 2000/14/ CE du 8 mai 2000. Il a été modifié au niveau de l'article 5 le 22 mai 2006, concernant les niveaux admissibles de puissance acoustique des différents engins.

Il définit deux catégories :

- les matériels qui sont soumis uniquement au marquage du niveau sonore et à l'indication du niveau de puissance acoustique garanti,
- les matériels plus bruyants qui sont soumis à la fois à une limitation de l'émission sonore et à des procédures spécifiques d'évaluation de la conformité. On trouve parmi ceux-ci les grues à tour ou mobiles, les engins de terrassements, les motocompresseurs, les groupes électrogènes de puissance ou de soudage, les brise-béton et marteaux-piqueurs à main.

Pour qu'un engin soit conforme à la réglementation :

- Le marquage "CE" doit apparaître sur la machine.
- La déclaration CE de conformité, document doit être conservée par l'utilisateur. Pour les matériels soumis à autorisation française, il s'agit de l'attestation de conformité.
- Autre document indispensable, la notice utilisateur (données techniques). Les engins conformes sont facilement identifiables par une plaque indiquant le niveau de puissance acoustique garanti par le fabricant.

Tous ces documents doivent être fournis par le fabricant lors de l'achat des matériels.

- Pour maintenir la condition d'homologation, le propriétaire doit entretenir régulièrement sa machine.

Une contravention de troisième classe (jusqu'à 450 €) pour toute personne qui met en vente ou vend, loue, expose en vue de la vente, met à disposition ou cède, à quelque titre que ce soit, un objet ou un dispositif ne comportant pas le marquage "CE" ou le document de conformité à fournir au preneur, ou détient un objet ou un dispositif et qui ne peut produire sous huit jours le document de conformité.

Une contravention de cinquième classe (jusqu'à 1 500 €), pour toute personne qui utilise ou fait utiliser un objet ou un dispositif qui n'a pas fait l'objet d'une homologation, d'une attestation ou d'une déclaration, ou qui utilise ou fait utiliser, en connaissance de cause, un objet ou un dispositif ayant fait l'objet de l'une de ces procédures mais qui a subi des modifications rendant l'objet ou le dispositif non conforme. En cas de récidive, les amendes prévues pour les contraventions de la cinquième classe peuvent être doublées.

En cas de non-respect de la réglementation sur les émissions sonores des engins, le maire peut ordonner l'arrêt immédiat jusqu'à la mise en conformité des appareils en cause.

MOYENS DE PRÉVENTION, DE CORRECTION – EFFICACITÉ

Dans cette partie, nous érigons une liste non exhaustive des moyens mis en place pour traiter le problème du bruit sur les chantiers. Certains sont validés, d'autres sont

encore à l'état de test, et tous ont une efficacité plus ou moins satisfaisante. Une chose est certaine : le remède miracle n'existe pas encore.

Protection individuelle

Les PCIB (protecteurs individuels contre le bruit) sont très souvent indispensables et rendus obligatoires sur les chantiers. Leur choix et leur mise en place font suite à une concertation entre les médecins du travail, le préventeur (conducteur de travaux ou chargé de prévention sécurité santé) et les fabricants d'équipements de protection individuelle.

Le port de ces protections n'est pas toujours agréable et peut-être mal accueilli par les ouvriers. C'est pourquoi il nécessite d'être accompagné de réunions d'information et de conseils : l'acceptation du salarié est primordiale.

Leur technologie a été énormément améliorée ces dernières années. Dernièrement (2008), de nouveaux brevets concernant la modulation des fréquences à l'aide de filtres acoustiques ont été déposés. Ces systèmes s'adaptent particulièrement aux bouchons d'oreilles moulés sur mesure, protections aujourd'hui les plus mises en avant par les fabricants : c'est l'ère de la protection individuelle personnalisée. Ces bouchons sont beaucoup mieux accueillis par les ouvriers car, en plus de leur mode de fixation aux oreilles, ils facilitent la compréhension des paroles. Leur prix oscille autour de 100 €.

Le choix de la PCIB adaptée doit tenir compte de son atténuation, du niveau d'exposition lié aux tâches personnelles ou voisines du lieu de travail ainsi que des exigences de l'ouvrier. Il faut absolument garder à l'esprit que le but est de faire passer le niveau de bruit perçu sous les limites réglementaires et de préserver l'audition. Par exemple, il est inutile de proposer une PCIB de 30 dB(A) pour des travaux engendrant un niveau sonore de 90 dB(A) alors que le niveau d'exposition moyen ne doit pas dépasser 80 dB(A). L'ouvrier la considérerait alors comme une source d'inconfort et ne la porterait pas.

Attention donc, la PICB universelle n'existe pas : la mise en place de bouchons ne peut être qu'un palliatif. L'objectif principal est l'élaboration sur le chantier de protections universelles, soigneusement choisies.

Bâches acoustiques

Une bâche acoustique s'installe sur la clôture d'un chantier ou autour des engins bruyants. Elle permet de lutter contre les nuisances sonores. Elle a été conçue pour que le son ne passe ni en dessous ni au dessus des clôtures. Une fois mise en place, elle offre une réduction du bruit allant jusqu'à 75% soit une diminution immédiate de 20dB.

Ces bâches sont donc des instruments très utiles sur chantier et fortement utilisées lors de chantiers sensibles à la diminution des nuisances sonores. Cependant elles restent un outil assez cher : environ 140 euros/m². De plus, leurs poids et leur encombrement les empêchent d'être déplacées régulièrement : 2kg/m² pour des panneaux d'au minimum 7m².



Actions sur les engins de travail

Autre protection universelle possible : agir à la source du bruit. Il est aujourd'hui possible de diminuer le niveau sonore émis par les engins de chantier grâce à de nombreux procédés, ceci après avoir précisément identifié les origines des nuisances. Durant notre étude, nous nous sommes en particulier intéressés aux pelles hydrauliques, évoquées dans le travail de *Michael Bockhoff et Philippe Thoquenne*, « *Le bruit des pelles hydrauliques* ».

La source dominante est bien évidemment le moteur, suivi par le découplage et l'amortissement du capot. Pourtant, d'un point de vue économique, il est difficile d'agir sur le moteur, les performances doivent rester intactes, ou du moins ne pas entraîner la nécessité de pelles plus puissantes.



Dirigeons nous vers ce qui peut-être fait pour le pot d'échappement. Le choix d'un autre matériel peut être envisagé, ainsi qu'une autre conception ou encore une isolation acoustique par un doublage avec un matériau efficace comme une laine minérale.

Une diminution du bruit passant par les ouvertures peut être étudiée en optimisant la fonction silencieux du caisson situé à l'extérieur du radiateur de la pelle et en diminuant les sections d'entrées et de sorties d'air.

D'autres actions peuvent réduire les nuisances solidiennes générées par les composants dans le châssis et diffusées par le capot. Dans l'ordre d'importance, citons :

- l'optimisation du découplage entre la suppression des ponts phoniques (à la manière des ponts thermiques par des rupteurs),
- l'amortissement renforcé des parois du capot par des matériaux viscoélastiques (comme les polymères).

Ces matériaux ont un comportement situé entre celui d'un matériau élastique et d'un liquide newtonien : ils peuvent à la fois conserver et dissiper l'énergie.

L'application de ces solutions est en cours de test ou déjà faite, mais là encore il n'y a pas de solution miracle : la performance des machines doit être conservée.

CHANGEMENTS D'HABITUDES – COMPORTEMENTS RESPONSABLES

Le but ici n'est pas de lister tous les comportements pouvant améliorer la gestion du bruit des chantiers mais plutôt d'en cibler quelques-uns, de les étudier et de les critiquer. Ainsi le constat est que la bonne volonté est un bon départ mais n'est pas suffisante pour gérer efficacement les nuisances.

À cette liste, non exhaustive, peuvent être rajoutés le confinement des appareils, l'entretien régulier des engins utilisés, la réalisation des fondations avec des pieux forés au lieu de pieux battus, l'utilisation de banches serrées au moyen d'écrous à clé au lieu d'écrous à ailettes et du béton auto-plaçant, la réalisation de réservations correctement dimensionnées afin d'éviter les reprises ultérieures du

Comportement, habitude		
<p>Installation des bungalows contre les habitations pour couper le bruit</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Peu ou pas de surcoût - Gain allant jusqu'à 15 – 16 dB 	<ul style="list-style-type: none"> - Pas toujours réalisable - Non efficace pour les habitations voisines les plus hautes
<p>Planification accrue</p> <p><i>(formation des ouvriers, réservations pour éviter les repiquages, planificateurs sonores,...)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Peu ou pas de surcoût - Gain sur de nombreux bruits - De nombreux autres avantages !!! - Prendre plus de précautions au départ peut permettre d'éviter des allongements de planning 	<ul style="list-style-type: none"> - Pas toujours réalisable - Implication pas toujours évidente des ouvriers - Préparation plus longue = communication délicate avec le client 
<p>Choix de techniques de démolition moins bruyantes <i>(éviter les appareils pneumatiques)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Gains supérieurs à 20 dB. - Amélioration des conditions de travail 	<ul style="list-style-type: none"> - Surcoût <i>(*jusqu'à x8)</i> - Augmentation du temps de travail parfois conséquente <i>(*jusqu'à 3 fois plus long)</i> - Organisation différente <p><i>*données tours miroirs</i></p>
<p>Fonctionnement des engins en simultané</p>	<ul style="list-style-type: none"> - En augmentant les moyens matériels, on peut diviser la durée des travaux par deux en ayant simplement une augmentation du niveau sonore de 3 dB <i>(voir utilisation de la courbe ci-dessous)</i> - Gain de temps sur le planning 	<ul style="list-style-type: none"> - Surcoûts évidents - Retombées économiques pas nécessairement à la hauteur des espérances - Système qui ne peut s'appliquer systématiquement : petits chantiers, mauvaise résistance à l'augmentation des vibrations,... <i>(voir cas des tours miroirs)</i>

béton au marteau-piqueur, l'utilisation d'un maximum de matériaux préfabriqués en atelier, où le bruit est plus simple à gérer,...

Il faut également évoquer ici la nécessité d'avoir une bonne relation avec le voisinage proche du chantier : informer, souligner les efforts réalisés, ... car « bruit annoncé est à moitié pardonné ».

Le constat est évident : il est difficile d'avoir un comportement type face au bruit des chantiers, et c'est certainement pour cela qu'il est encore peu géré aujourd'hui. Le « copier-coller » d'un chantier à l'autre n'est pas possible, il faut à chaque fois adapter diverses solutions en fonction des difficultés rencontrées afin de diminuer au maximum les sources de bruits dangereux.

ILLUSTRATION DE LA MISE EN ŒUVRE DES MESURES SUR UN CHANTIER EN COURS

Visite du chantier d'Eiffage construction :

Rénovation de l'immeuble de bureaux

« Les Miroirs-Bâtiment C »

Budget initial du chantier 60 millions d'euros.

Maitre d'ouvrage : SIIC de Paris

Le 1^{er} Mars 2013



Le chantier du Bâtiment C des Miroirs est une rénovation totale. Il a en premier lieu fallu effectuer un curage préalable, c'est-à-dire détruire d'une part toutes les cloisons mais aussi d'autre part certains murs porteurs, certaines dalles et certains escaliers pour en reconstruire de nouveaux. Le désamiantage des locaux avait également dû être fait. En deuxième lieu, le bâtiment devait être entièrement aménagé, les plans architecturaux ayant totalement été changés. Des trous pour faire passer les divers réseaux ont également dû être exécutés.

L'arrivée des ingénieurs sur le chantier eut lieu le 10 avril 2012. **Au départ, aucune consigne concernant le bruit n'avait été donnée dans le cadre de la limitation des nuisances sonores.** Par la suite, la plus grosse contrainte à été de les limiter, à la fois pour le personnel mais aussi et surtout pour les voisins, professionnels ou riverains.

L'entreprise Saint-Gobain et la Société-Générale qui occupaient le même immeuble, se sont plaints de nombreuses fois.

Dispositifs contre le bruit

Conformément à la restriction sur le bruit de la ville de Courbevoie, **les horaires de travail ont du être aménagés.** En effet, les tâches les plus bruyantes devaient être effectuées uniquement entre 8 et 19 heures. Mais, la contrainte du voisinage était encore plus restrictive. Pour essayer de déranger au minimum le voisinage professionnel, le travail ne pouvait alors être fait uniquement durant les horaires suivants : en semaine de 8h à 9h ; de 12h à 14h ; de 18h à 19h, et le samedi matin avant midi.

De plus, certains jours où les membres des différentes entreprises de l'immeuble se réunissaient pour des événements importants comme des réunions, le travail bruyant était suspendu.

Pour la limitation du bruit, des **bâches acoustiques** en PVC ont du être utilisées. Chaque zone où l'on utilisait une machine fortement bruyante, devait être encloisonnée. Pour diminuer les nuisances, les démolitions des éléments verticaux ne se faisaient pas au marteau-piqueur mais via un **sciage** et avec la technique du **carottage**. En revanche pour les planchers, l'utilisation du marteau-piqueur était obligatoire.



Pour utiliser la scie, un rail est tout d'abord fixé sur le mur. Ce rail a pour fonction de guider la scie. Il est fixé avec des chevilles de 12. La carotteuse est elle aussi fixée au mur mais ne se déplace non pas de haut en bas mais de part en part du mur. Cette manipulation prend bien sûr beaucoup plus de temps que l'utilisation du marteau-piqueur.

Concernant les ouvriers, chacun avait des bouchons moulés. Mais le niveau de bruit étant trop important, (aggravé par l'enfermement qui faisait effet de caisse de résonance), tous les ouvriers étaient demandeurs de l'utilisation de gros casques, plus isolants. Ils avaient également pour consigne d'isoler les zones les plus bruyantes et de les éviter au maximum.

Les ingénieurs du chantier avaient pensé à utiliser le maximum de machines en même temps afin de diminuer le temps des émissions sonores. Mais cette solution a été vite

écartée car l'utilisation de plus de deux machines posait un problème : les contraintes engendrées par ces différentes machines utilisées en même temps risquaient de nuire à la structure du bâtiment. De plus cela imposait d'autres contraintes techniques : il aurait fallu déplacer de nombreuses fois les bâches acoustiques de dimensions 8 m par 5 et qui pesaient plus de 300kg. Il aurait également fallu beaucoup plus d'ouvriers pour travailler à beaucoup d'endroits à la fois. Les ingénieurs se sont donc résolus à utiliser seulement deux machines en même temps et espacées d'une distance suffisante sur le chantier.

Problèmes de ces nouvelles dispositions

Ces aménagements n'ont pas été sans conséquences. En effet, toutes ces techniques étaient beaucoup plus coûteuses et prenaient beaucoup plus de temps. **Par exemple, pour détruire un mur d'une surface de 25m² le sciage coûtait 500 euros par m² soit 12500 euros, et durait 3 jours. Une démolition traditionnelle au marteau-piqueur aurait coûté 1500 euros soit plus de 8 fois moins cher, et aurait duré trois fois moins de temps.**

Le chef de chantier et le conducteur de travaux ont estimé à **2 ou 3 mois** la perte de temps liée à la volonté de diminuer les nuisances sonores. Au lancement du projet, le chantier devait durer 8 mois.

Il a fallu demander aux ouvriers et aux membres du chantier de venir travailler le samedi matin. Ceci a également engendré un surcoût.

Les coûts supplémentaires liés à la diminution de l'impact du bruit n'étant pas prévus au départ, il a fallu qu'Eiffage négocie avec la maîtrise d'ouvrage pour déterminer à la charge de qui serait affecté ce surcoût. Un accord de principe entre les deux parties, répartissant les coûts a été finalement négocié.

L'organisation a elle aussi dû être changée. Il a fallu planifier les phases les plus bruyantes pendant les horaires autorisés et s'arranger pour combler les vides de temps avec d'autres phases moins bruyantes pour éviter une perte de rendement et donc une augmentation du retard que prenait le chantier.

L'idéal aurait été, avant de commencer le chantier, de mieux définir les contraintes et les prix, et de souvent opter pour la solution la plus contraignante en premier.



CONCLUSIONS ET PROSPECTIVES

Après avoir identifié ce qu'était réellement le bruit ainsi que ses différentes origines sur le chantier, nous avons abordé les moyens de le mesurer et de le prévoir, qui sont aujourd'hui des outils majeurs pour la conception et la bonne réalisation d'un projet de construction.

La prise de conscience de ce problème n'est pas uniquement due aux réglementations qui se succèdent et qui sont de plus en plus sévères depuis le début des années 90 (la dernière en date étant l'arrêté révisé le 22 mai 2006, relatif aux émissions sonores des machines). Elle est également due au constat d'une baisse de productivité certaine des ouvriers soumis à cette nuisance mal maîtrisée encore aujourd'hui.

Nous l'avons vu, des moyens de prévention et de correction sont aujourd'hui à la disposition du constructeur désireux de maîtriser au mieux cette gêne (protections individuelles, meilleure planification, comportements responsables,...). Cependant, nos diverses visites de chantiers nous l'ont confirmé, ces moyens ne peuvent pas être appliqués systématiquement, chaque projet a ses contraintes immuables auxquelles il ne peut déroger, un diagnostic systématique doit être envisagé afin d'élaborer un plan d'actions adapté.

Cependant il apparaît que la gestion des nuisances sonores sur les chantiers sera mieux maîtrisée à l'avenir par la recherche d'une meilleure productivité via le management éthique.



Par ailleurs, l'évolution des réglementations nationales et européennes implique que concepteurs et constructeurs contribuent au développement de solutions innovantes.

On peut citer ici à nouveau les protections auditives individuelles, qui font l'objet d'améliorations fréquentes avec un dernier brevet en date de 2008, ou encore les bâches acoustiques de plus en plus performantes. Sur le plan collectif, le renouvellement du parc des machines en cours et l'utilisation mieux maîtrisée des matériaux à base de polymères pour l'isolation de tout type d'outils sont des voies prometteuses.

Cependant, au-delà de toutes ces innovations il apparaît que l'étape amont de préparation minutieuse du chantier est incontournable.

BIBLIOGRAPHIE ET REMERCIEMENTS

Ouvrages

1. « Maîtrise du bruit des chantiers de construction des infrastructures de transports terrestres », Sétra et Cete Normandie-Centre, novembre 2011.
2. Philippe Guignouard – LASA, cours « Acoustique du bâtiment », dispensé à l'ESTP en B2 en 2013.
3. « Nuisances environnementales d'un centre de valorisation de mâchefers », par Jérôme FONTAINE, TFE Année 2007.
4. Mémoire technique de 01-dB « Chantier LANNEC RIVE GAUCHE, Système de surveillance vibro-acoustique » 08/07/2010

Publications

1. Martine Lochouarn, « La perte d'audition doit être prise en charge », Le Figaro, p12 n° du lundi 28 janvier 2013. J.Burillier, J.Abrial et S.Bloquet
2. Mireille Loizeau, Priscille Angot, Gilles Parard, « L'ouïe, un capital précieux », Prévention btp, p32 du n°158, novembre 2012.
3. Michael Bockhoff et Philippe Thocquenne, « Le bruit des pelles hydrauliques », CETIM-Informations, p43 du n°148, avril 1996.
4. Bernard Lugdunum, « Un chantier à moindre bruit ! », Travail et sécurité, p2 du n° 552, septembre 1996.
5. CIDB, « Le bruit des chantiers, éléments de bonne gestion sonore des chantiers », Revue de la médecine du travail, tome XXX, numéro 2, 2003.
6. Communiqué de presse de Bouygues construction du 15 avril 2009, « mesures choc pour lutter contre les bruits de chantier ».
7. « Une démarche intégrée pour des chantiers respectueux de l'environnement » de Corine Fillot et Catherine Legendre, du pôle d'ingénierie chargé en acoustique de la RATP, paru dans Echo Bruit n°123-124 03/2009

Conférences

1. Réalisation d'une carte de bruit prévisionnel du « Chantier de l'Hôtel de Région Midi-Pyrénées – Construction de la 3^e tranche » et mettre en place d'un observatoire de bruit. Par Blanchard De Valence avec Synesthésie Acoustique.
2. CIDB : « BRUITS DE CHANTIER La sensibilisation des différents intervenants d'un chantier » Le 09.11.2006 par Jacques Daliphard avec Bouygues Bâtiment.
3. Étude du CSTB « La prévision des nuisances sonores Approches quantitative et qualitative » Jacques MARTIN le 9 novembre 2006.

4. « Les réseaux de surveillance acoustique, prémices des Observatoires du bruit » - Mercredi 04 juin 2008 par Marc Laniray.
5. Étude de la RATP : « Une démarche intégrée pour des chantiers respectueux de l'environnement » par Corinne Fillot et Catherine Legendre du Pôle d'ingénierie en Acoustique et Vibrations – Département Communication.

Sites

1. « Coordinateur en matière de sécurité et de protection de la santé des travailleurs », fiche métier bossons futé, www.bossons-futé.fr, 14/10/2012
2. www.pointp.fr, fiche de l'oppbtp sur les maladies professionnelles liées au bruit, octobre 1999
3. <http://www.legrenelle-environnement.fr> conseil national du bruit, le 28/09/2007
4. <http://www.cnidep.com> le bruit sur le chantier, réglementation, 21/11/2012
5. <http://www.bruit.fr>, 21/11/2012 – 27/02/13
6. <http://www.developpement-durable.gouv.fr> fiche D5 chantier, 21/11/2012
7. <http://www.entreprises.ccip.fr> fiche pratique, le bruit émis sur les chantiers, 21/11/2012
8. <http://www.bafu.admin.ch> mesures contre le bruit des chantiers, 21/11/2012
9. <http://voyard.free.fr> notions d'acoustique, 21/11/2012
10. <http://www.bbri.be> cours d'environnement, M. Van Damme, 2007-2008
11. <http://www.cstb.fr> « Propice, pour minimiser la gêne causée par les chantiers », Marc Bourdeau, janvier 2007
12. <http://www.legifrance.gouv.fr> Le service public de la diffusion du droit, septembre 2012
13. <http://www.infobruit.com> bruits de chantier octobre 2012
14. <http://www.comlaw.gov.au> Work Health and Safety Codes Practice 2011, mars 2013
15. <http://www.osha.gov> Occupational noise exposure, février 2013
16. <http://www.legislation.gov.hk> Noise control ordinance, mars 2013
17. <http://www.sante.gouv.fr> bruits de voisinage, décembre 2012
18. www.synesthesie-acoustique.fr mesure du bruit 13 février 2013
19. <http://www.lemoniteur.fr/> Création d'une base de données du bruit 02/03/2013

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à adresser nos plus vifs remerciements à Mme Christiane MAJCHERCZYK, qui nous a soutenus tout au long de notre travail, et aux conseils avisés et exigeants, auxquels notre projet doit beaucoup. Nous témoignons également toute notre reconnaissance à M VIEGAS, pour nous avoir ouvert les portes du chantier des « Tours miroirs » et pour ses précieux renseignements, ainsi qu'à Mme MAILLET, pour nous avoir accueillis dans son laboratoire d'acoustique du CEBTP.