

Nuisances sonores des travaux de fondations : mesures et prévention

F. ROCHER-LACOSTE

Université Paris Est
Laboratoire central
des ponts et chaussées
Division Mécanique des sols,
des roches et de géologie
de l'ingénieur
58, bd Lefebvre
75015 Paris
frederic.rocher-lacoste@lcp.fr

Résumé

Les chantiers de construction (bâtiments, ouvrages d'art, travaux routiers et ferroviaires...) occupent une place très importante dans l'activité économique nationale et internationale. Et pourtant, ces chantiers créent, dans leur voisinage, des niveaux sonores supérieurs à 80 dB(A). Il n'est donc pas étonnant que le bruit occasionné par les chantiers, en particulier en milieu urbain, soit l'une des nuisances les plus fréquemment citées par les riverains.

A partir d'études expérimentales en vraie grandeur de l'impact sonore et plus particulièrement d'une analyse des bruits engendrés par le fonçage des pieux avec un vibreur, un marteau ou un trépideur, cet article tente de mieux faire comprendre les phénomènes acoustiques liés à la technique du vibrofonçage et de proposer des solutions pour en diminuer les nuisances.

Mots-clés : bruit de chantier, vibrofonçage, battage, acoustique.

Noise of foundation works: measures and prevention

Abstract

The activity related to construction sites is one of the most important from an economic point of view. These sites are creating in their neighbourhood, equivalent sound levels that are often higher than 80 dB (A). In urban areas, the construction noise is one of the most frequently cited nuisances.

From full-scale experimental studies of the sound generated and especially an analysis of noise caused by pile driving with a vibrator, a hydraulic hammer or a pneumatic hammer, this article attempts to understand phenomena related to vibratory driving and to propose solutions to reduce nuisances.

Key words: construction noise, vibratory driving, impact driving, acoustics.

NDLR : Les discussions sur cet article sont acceptées jusqu'au 30 novembre 2009.

Introduction

Contrairement à beaucoup d'autres problèmes relatifs à l'environnement, la pollution par le bruit continue à se développer et génère un nombre croissant de plaintes de la part des personnes qui y sont exposées. La croissance des nuisances sonores est dommageable parce qu'elle a des effets négatifs sur la santé à la fois directs et cumulés. Elle affecte toutes les générations, et a des implications socioculturelles, physiques et économiques.

La perception des vibrations associée au bruit ambiant peut augmenter l'effet de nuisance sur ce que ressent le riverain. Sur un chantier de vibrofonçage, une grande partie des bruits est générée par le matériel auxiliaire : mâts de guidage, chaînes, élingues, groupes hydrauliques, guides métalliques, moteurs des engins de levage... Ce niveau sonore peut être diminué par des moyens assez simples : utilisation de palplanches pincées, de lubrifiants dans les griffes libres, de plaques de frottement non métalliques sur les guides (bois, matières synthétiques...), de groupes insonorisés, isolation acoustique des élingues, câbles et chaînes de sécurité (enrobage par matériau isolant : mousse, caoutchouc...).

En plus du bruit sourd du battage, les moutons diésels, à la différence des marteaux hydrauliques, rejettent dans l'atmosphère des fumées noires ainsi qu'une fine pluie d'huile suivant l'âge des matériels et la qualité de leur entretien.

On s'intéresse ici aux bruits de chantier et plus particulièrement aux ondes sonores qui se propagent dans l'air et qui sont engendrées par le fonçage des pieux (métalliques et en béton armé) avec un vibrateur, un marteau ou un trépideur. Pour ce faire, une étude expérimentale en vraie grandeur de l'impact acoustique a été réalisée sur cinq sites (Verberie, Vesoul, Fréjus, Monchy Saint-Éloi, Limelette).

Le bruit et sa perception

Le bruit dans l'environnement est défini comme le bruit émis simultanément par l'ensemble des sources sonores. Les sources principales de bruit dans l'environnement incluent les trafics aérien, routier et ferroviaire, les industries, les chantiers de construction et les travaux publics, et le voisinage (tondeuses, cris, animaux familiers...). Les sources principales de bruit à l'intérieur des bâtiments d'habitation ou de bureaux sont les systèmes de ventilation, les machines de bureau, les appareils ménagers et le voisinage (la musique, la voix, les pas...).

Physiquement, il n'y a aucune distinction entre le son et le bruit. Le son est une perception sensorielle et la configuration complexe des ondes sonores est désignée par les termes de : bruit, musique, chant, cri... Le bruit quant à lui, est défini comme un son indésirable (Berglund *et al.*, 1999).

La plupart des bruits de l'environnement peuvent être décrits par plusieurs mesures simples. Les mesures qui quantifient le bruit prennent en compte le contenu fréquentiel des bruits, les niveaux de pression acoustique globaux ainsi que leurs variations dans le temps.

La pression acoustique due aux vibrations d'un bruit est l'amplitude de la variation de la pression autour de la pression atmosphérique moyenne. Le niveau de pression acoustique est un rapport de deux puissances. Il est donné en décibels par la formule :

$$L_p = 10 \text{Log} \left[\frac{p^2}{p_0^2} \right] \quad (1)$$

où :

p est la pression acoustique efficace en pascals ;

p_0 est la pression acoustique de référence qui est égale à 20 μPa et qui correspond approximativement à la plus petite pression acoustique que l'oreille peut percevoir.

L'intervalle des niveaux acoustiques que les auditeurs humains peuvent détecter est très large... Par exemple, une augmentation de 3 dB(A) correspond au doublement de la puissance sonore. En conséquence, ces niveaux ne peuvent pas être ajoutés ou ramenés à une moyenne arithmétique. La figure 1 présente une échelle simplifiée de différents types de bruit exprimés en décibel.

Dans l'Union européenne, environ 40 % de la population est exposée au bruit du trafic routier, ce qui équivaut à un niveau de pression acoustique excédant 55 dB(A) pendant la journée, et 20 % sont exposés à des niveaux excédant 65 dB(A). Lorsque tous les bruits de transport sont réunis, on estime que plus de la moitié des citoyens de l'Union européenne vit dans des zones qui ne leur assurent pas un minimum de confort acoustique. Pendant la nuit, plus de 30 % de la population sont exposés à des niveaux de pression acoustique excédant 55 dB(A), ce qui perturbe leur sommeil (Fig. 2). La nuisance sonore est également très importante dans les villes des pays en voie de développement. Elle est due principalement au trafic routier et dans les zones de trafic routier intense, les niveaux de pression acoustique pendant 24 heures peuvent atteindre 75-80 dB(A).

Les bruits de chantier ne sont pas des bruits permanents (Fig. 3) comme le bruit de trafic mais ils peuvent atteindre ponctuellement, pendant la durée des travaux des niveaux sonores de 80 à 100 dB(A). On observe qu'un bruit impulsionnel est plus péniblement ressenti qu'un bruit régulier de même niveau sonore. De ce fait, un chantier de vibrofonçage sera perçu comme moins agressif qu'un chantier de battage.

Les normes et circulaire de référence françaises pour la caractérisation et la mesure des bruits sont :

- NF S31-110 - Caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement - Grandeurs fondamentales et méthodes générales d'évaluation ;
- NF S31-010 - Caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement - Méthodes particulières de mesurage ;
- circulaire n° 97-110 du 12/12/1997 relative à la prise en compte du bruit dans la construction de routes nouvelles ou l'aménagement de routes existantes du réseau national ;
- NF EN ISO 3744 - Détermination des niveaux de puissance acoustique émis par les sources de bruit à partir de la pression acoustique ;
- NF EN 996/A2 - Prescriptions de sécurité. Matériel de battage.

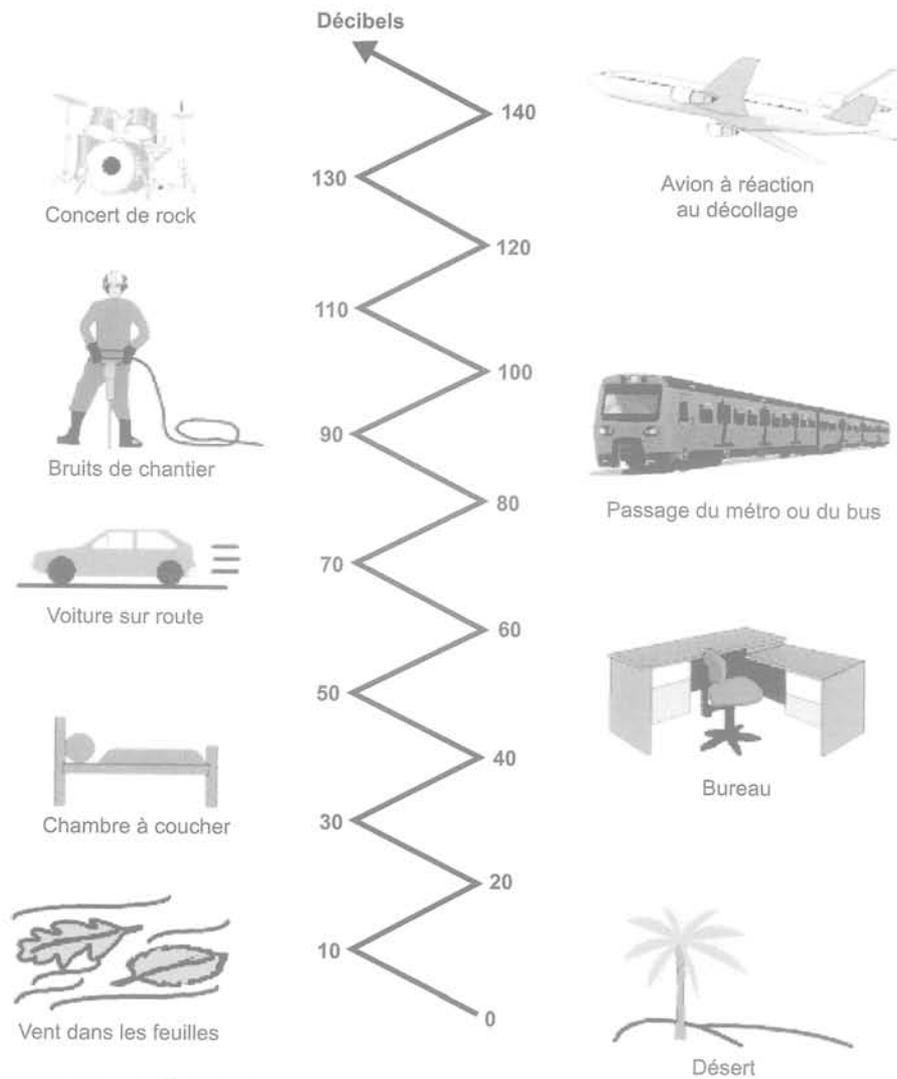


FIG. 1 Échelle du bruit en décibels [dB(A)].
Noise scale in dB (A).

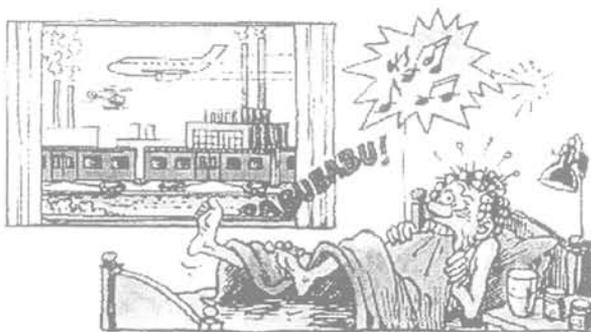


FIG. 2 La perception du bruit (Brüel et Kjaer, 2000).
Perception of noise.



FIG. 3 Les bruits de chantier sont multisources
(Brüel et Kjaer, 2000).
Construction noises are multisources.

3

Le bruit du chantier de vibrofonçage

Le ressenti des bruits générés par les chantiers est lié à un sentiment de nuisances. Un chantier pour être furtif doit être réalisé sans gêner les riverains ; c'est dans cette problématique que s'est inscrite cette étude sur les bruits de chantier dus au fonçage par vibration de pieux métalliques ou en béton armé préfabriqué.

3:1

Niveau de puissance acoustique

On caractérise les engins de chantier par leur puissance acoustique. Elle s'exprime en décibels. La connaissance de cette valeur permet de déterminer le niveau sonore d'un engin à une distance donnée. La méthode de calcul proposée par Mériel et Bonhomme (1997) sépare le cas des sources fixes des sources mobi-

TABEAU I Valeurs relevées par famille d'engins ou de matériels (Mériel et Bonhomme, 1997).
 Values measured by machine or equipment families.

N°	Nom de l'engin	Nombre d'engins	Lwa mini dB(A)	Lwa maxi dB(A)	Lwa moyen dB(A)
1	Arroseur	1	120	120	120
2	Autograde	1	110	110	110
3	Balayeuse	1	105	105	105
4	Bétonnière portée	3	91	98	96
5	Bouteur	20	102	118	111
6	Camion	9	95	109	106
7	Camion à peinture	1	107	107	107
8	Centrale à blanc	2	106	113	109
9	Chargeuse sur chenilles	2	104	106	105
10	Chargeuse sur pneumatiques	20	100	117	110
11	Chargeuse-pelleteuse	12	99	109	105
12	Chariot élévateur	2	98	102	100
13	Citerne avec motopompe	1	103	103	103
14	Compacteur à pied dameur	2	115	116	115
15	Compacteur monocylindre	16	100	112	104
16	Compacteur sur pneumatiques	10	99	114	103
17	Compacteur statique	1	101	101	101
18	Compacteur vibrant	18	100	115	106
19	Compresseur (mono)	5	90	117	106
20	Concasseur	1	117	117	117
21	Débroussailleuse	2	101	106	103
22	Décapeuse automotrice	6	108	118	111
23	Drague suceuse	1	119	119	119
24	Excavateur	1	110	110	110
25	Finisseur	8	107	113	109
26	Foreuse	16	101	126	114
27	Gravillonneur	3	98	102	99
28	Groupe de soudage	1	110	110	110
29	Groupe électrogène	10	89	116	109
30	Grue	8	94	114	107
31	Machine à caniveaux	1	111	111	111
32	Marteau-piqueur	6	112	121	116
33	Mouton - Marteau - Vibrateur	20	104	132	118
34	Niveleuse automotrice	18	94	113	105
35	Pelle sur chenilles < 100 kW	14	103	111	107
36	Pelle sur chenilles > 100 kW	18	102	116	109
37	Pelle sur pneumatiques	14	102	112	106
38	Pelle avec brise-roche	8	114	123	118
39	Perforatrice	1	121	121	121
40	Pilonneuse	1	107	107	107
41	Répandeuse	3	95	100	98
42	Scie à essence	3	112	117	114
43	Scie sur tracteur	1	114	114	114
44	Tombereau automoteur	17	100	113	108
45	Vibreux	1	108	108	108

les. Le fonçage par vibrage et battage est assimilable à une source fixe ou faiblement mobile. La mesure doit être réalisée à une distance d'au moins une fois la plus grande dimension de l'engin ou matériel de chantier, à 1,2 m au-dessus du sol et à plus de 3 m de toute surface réfléchissante. On obtient ainsi le niveau acoustique équivalent LAeqi par cycle de travail représentatif pour chaque point de mesure, i.

Dans le cas d'un sol réfléchissant, le niveau de puissance LWA est donné par :

$$LWA = LAeq + 20 \log d + 8 \quad (2)$$

où d est la distance « source-point de mesure » en mètres.

On calcule ensuite la valeur moyenne de LWA par :

$$LWA_{moyen} = 10 \log \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0,1L_{WAi}} \right] \quad (3)$$

où N est le nombre de points de mesures.

3.2

Études antérieures

Il existe peu de publications ou de données comparatives traitant des bruits induits par le fonçage par vibrage et par battage de pieux. C'est pourquoi nous détaillons ci-après deux publications marquantes concernant les nuisances des chantiers de travaux publics. Elles posent les premières bases sur lesquelles nos travaux se sont appuyés.

En 1997, Mériel et Bonhomme ont publié dans le *Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées* une synthèse sur le bruit émis par les chantiers en milieu urbain. Le tableau I permet de se faire une idée du bruit émis par différents engins de chantier, mais il ne permet pas de faire une comparaison entre le vibrofonçage et le battage, car ces deux méthodes sont regroupées sur la même ligne 33 intitulée « Mouton - Marteau - Vibrateur ». Il ne faut pas confondre cet item avec la ligne 45 « vibreur » qui traite du vibreur utilisé pour aider à la mise en œuvre des bétons.

En 2002, le Laboratoire régional des ponts et chaussées de Blois a réalisé une étude acoustique (Boittin, 2002) sur la commune de La Riche (Indre-et-Loire) concernant un chantier SNCF ayant pour objectif de supprimer un passage à niveau. Des palplanches simples de type PU 20 de 8 m de long ont été vibrofoncées avec un vibrateur ICE 14RF et battues avec un marteau hydraulique IHC S35. Sur le chantier, à 26 m de la source

TABLEAU III Mesures acoustiques à différents emplacements sur le site de Verberie.
Acoustic measures at different places on the Verberie site.

Palplanche	Niveau sonore LAeq dB (A)			Observations
	à 5 m	à 10 m	à 15 m	
1	Min : 82 Max : 87	Min : 74 Max : 83		Sans bruit parasite
2		Min : 85 Max : 98	Min : 85 Max : 97	Nettoyage du parc au karcher
3		Min : 84 Max : 92	Min : 73 Max : 82	Bruits divers sur le parc

(zone de fonçage des palplanches), il a été mesuré une différence de puissance acoustique entre le fonçage par battage et par vibrage de 5 dB(A). [Battage : LwA = 130 dB(A), Vibrofonçage : LwA = 125 dB(A)]. Dans cette étude, le battage a été le plus bruyant des deux modes de mise en œuvre observés.

3.3

Études récentes

3.3.1

Introduction

Le Projet national Vibrofonçage (*Guide technique Vibrofonçage*, 2006) n'évoquant que succinctement la question du bruit généré et ne présentant aucune mesure, nous avons effectué des mesures acoustiques pendant les opérations de fonçage par vibrage dans le cadre de chantiers expérimentaux (Verberie et Limelette) et de chantiers réels (Vesoul, Fréjus et Monchy Saint-Éloi).

Suivant les sites, des mesures ont été effectuées en fonction de l'enfoncement soit en un point fixe, soit à différentes distances de l'élément foncé pour obtenir des courbes moyennes d'atténuation. Pour essayer de déterminer l'augmentation de pression acoustique due au vibrofonçage (ensemble vibrateur/pieu), des mesures ont aussi été réalisées avant la mise en service du chantier.

Deux types de sonomètre ont été utilisés pour l'acquisition acoustique pour l'ensemble des sites de mesures :

- sonomètre ACLAN, type SGD 80 ;
- sonomètre EXTECH instruments, model 407764.

3.1.2

Site de Verberie

Une étude de vibrations menée par le LCPC et ICE-France lors de la mise en œuvre de palplanches de type PU25 a été réalisée sur le site de Verberie en mars.

TABLEAU II Mesures acoustiques ponctuelles sur le site de Verberie (même point de mesure).
Acoustic measures on the Verberie site (same point of measurement).

Oservations	Niveau sonore LAeq dB(A)	Puissance acoustique LwA dB(A)
Bruits d'atelier à 50 m du point de mesure	60 à 70	
Bruit de la grue seule à 10 m du point de mesure	85	113
Bruit du vibrateur seul à 10 m du point de mesure	88	116

2006. Les palplanches ont été mises en œuvre avec un vibreur ICE 216, dans un champ mitoyen du dépôt de matériels de l'entreprise ICE-France. L'idée de mesurer le niveau sonore dû au fonçage par vibration s'est imposée au cours de cette expérience.

Des mesures ont été réalisées avant le début des essais pour avoir une idée générale du bruit ambiant sur le site. La proximité de l'atelier de maintenance des vibreurs parasite fortement les mesures avec un bruit de fond élevé et variable. Le tableau II montre qu'il y a peu de différence de niveau sonore entre le vibreur avec son groupe hydraulique et la grue seule qui est ancienne et très bruyante.

Au total sur ce site, on a réalisé trois fonçages par vibration de la même palplanche PU25. Des mesures acoustiques ont été collectées en même temps que des mesures de vitesses particulières au niveau des points de mesures des géophones, respectivement à 5, 10 et 15 m de la palplanche. Le tableau III regroupe ces mesures. La présence d'un atelier bruyant n'a pas permis d'exploiter les mesures faites trop masquées par les bruits parasites.

3.3.3

Site de Vesoul

Deux campagnes de mesures pendant la mise en œuvre de pieux H et de palplanches ont été entreprises les vendredi 21 avril et mardi 23 mai 2006 à Vesoul sur

le chantier du groupement Pertuy/Vilault pour réaliser un passage inférieur sous les voies SNCF, entre un jardin public et une place, à proximité de la gare SNCF. Pendant les phases de fonçage, des pieux HEB 300 ont été mis en œuvre avec un vibrefonçeur® PTC 20HF3 et avec un trépideur Menck SB120, et des paires de palplanches soudées de type PU 16 ont été foncées avec un vibreur ICE 416.

Le tableau IV regroupe l'ensemble des mesures ponctuelles collectées pendant les deux campagnes de mesures sur ce site, pour des sources différentes et à des distances variables ainsi que les valeurs calculées de la puissance acoustique (éq. 2). L'analyse des données montre que :

- le bruit ambiant de la ville est compris entre 50 et 60 dB(A) ;
- l'utilisation du trépideur augmente le niveau sonore de 20 dB(A) ;
- le groupe hydraulique utilisé le 21 avril est plus bruyant que celui utilisé le 23 mai ;
- le fonçage avec un trépideur est globalement plus bruyant que le fonçage par vibration. La puissance acoustique du trépideur ne change pas en fonction de l'élément foncé.

Le tableau V rassemble les mesures qui ont été collectées pendant le fonçage à différentes distances de la source (5, 10, 15 et 20 m) pour les deux campagnes d'essai. Le 21 avril l'entreprise a essayé de foncer des pieux HEB 300, mais le vibreur se mettait en sécurité

TABEAU IV Mesures acoustiques ponctuelles sur le site de Vesoul.
Acoustic measures on the Vesoul site.

Date et heure	Observations	Niveau sonore LAeq dB(A)	Puissance acoustique LwA dB(A)
21 avril 2006 7 h 15	Bruits de la ville	50 - 60	
23 mai 2006 9 h 00	Bruits de la ville	53 - 58	
21 avril 2006 8 h 10	Groupe + trépideur lors de l'enfoncement de palplanches : 36 m du point de mesure	90	129
21 avril 2006 8 h 25	Groupe seul : 36 m du point de mesure	70	109
23 mai 2006 9 h 20	Groupe seul : 5 m du point de mesure	63	85
21 avril 2006 10 h 00	Groupe + trépideur lors de l'enfoncement du 1 ^{er} pieu (HEB 300) : 55 m du point de mesure	85	128
23 mai 2006 9 h 30	Groupe + vibreur lors de l'enfoncement de palplanches à 30 m du point de mesure	83	121

TABEAU V Mesures acoustiques à différentes distances de la source sur le site de Vesoul.
Acoustic measures at different places from the source on the Vesoul site.

Élément	Mode d'enfoncement	Niveau sonore, LAeq dB(A)			
		à 5 m	à 10 m	à 15 m	à 20 m
Pieu n° 1	Vibreur		Max : 98		75
	Trépideur	Min : 95 Max : 116	Min : 90 Max : 112,6		92
Pieu n° 2	Trépideur	Max 114	95	93	90
PPL n° 1	Vibreur	89	88	86	83
PPL n° 2	Vibreur	88	86	84	82
PPL n° 3	Vibreur	95	94	89	88
PPL n° 4	Vibreur		80-93		
Moyenne vibreur (PPL)		91	89	86	84
Moyenne trépideur (Pieu)		106	98	93	91

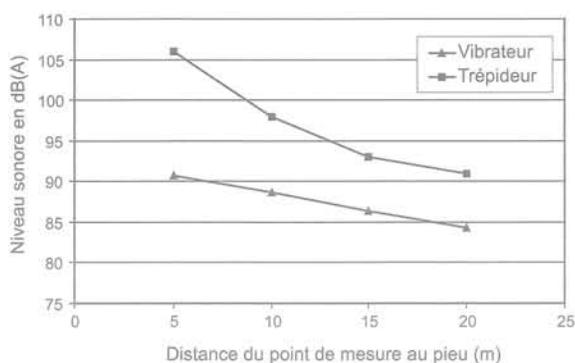


FIG. 4 Courbes d'atténuation à partir des moyennes (vibreur et trépideur) du niveau sonore en décibels en fonction de la distance par rapport à la source. Reduction of noise level in dB(A) from mean values (vibrator and pneumatic hammer) according to the distance of the source.

après quelques secondes d'utilisation. Il n'a pas été possible de mener à bien un fonçage par vibration avec cet équipement. Avec trépideur, le fonçage était très laborieux et très bruyant. Le 23 mai, quatre fonçages par vibration de palplanche ont été réalisés.

La figure 4 montre une intensité sonore nettement supérieure du trépideur, intensité qui tend cependant à s'atténuer plus rapidement que celle du vibreur. Cette interprétation peut être sujette à critique car les éléments foncés avec ces deux méthodes n'étaient pas les mêmes : pieu HEB 300 avec le trépideur et palplanche PU 16 avec le vibreur.

3.3.4

Site de Fréjus

Comme pour le chantier de Vesoul, il a été possible, en juillet 2006 à Fréjus, de faire des mesures pendant la mise en œuvre par vibration de palplanches. Ces mesures ont été effectuées, avec le soutien de la SNCF, sur le chantier d'aménagement du carrefour RN7 / RD4, entre une zone industrielle et les voies ferroviaires

TABLEAU VI Mesures acoustiques à différents emplacements sur le site de Fréjus. Acoustic measures at different places on the Fréjus site.

Heure	Niveau sonore LAeq dB(A)	Observations
8 h 45	72	Bruits de la circulation au point de référence (env. à 60 m)
8 h 45	63	Bruit sans passage de voiture au point de référence (env. à 60 m)
8 h 45	67	Bruit de la circulation + bruit du chantier (mini-pelle) à 40 m
10 h 00	70,3	Bruit de la grue et de la circulation au point de référence (env. 60 m)
10 h 00	73,5	Bruit de la grue et de la circulation à 10 m

TABLEAU VII Mesures acoustiques à différentes distances par rapport au point de fonçage sur le site de Fréjus. Acoustic measures at different places according to the boring point on the Fréjus site.

Élément	Mode d'enfoncement	Niveau sonore LAeq dB(A)			
		à 10 m	à 20 m	à 40 m	à 80 m
Ppl n° 1	Vibreur	97,5	87,7	82,4	
Ppl n° 2	Vibreur	98,9	88,7	85,4	77,5
Ppl n° 3	Vibreur		91,6	87,9	76,8
Ppl n° 4	Vibreur		86,1	82,3	76,9
Ppl n° 5	Vibreur	96,1	88,0	77,9	
Ppl n° 6	Vibreur	96,2	92,5	85,5	
Moyenne arithmétique des niveaux sonores mesurés		97	89	84	77
Niveau sonore calculé à partir de la puissance acoustique (LWA moyen)		96	90	84	78

d'accès à la gare de Fréjus. Pour réaliser le soutènement d'un passage inférieur, des palplanches simples de type L603 de 8 à 10 m de longueur ont été mises en œuvre avec un vibrofonceur® PTC 30HF3A et un guide de battage métallique.

Les valeurs de niveau sonore du chantier (Tableau VI) montrent que le bruit dû à la circulation routière est un facteur prépondérant au sein du bruit général. Cette constatation n'est pas surprenante puisque le chantier était situé entre deux voies de circulation.

Les mesures collectées (Tableau VII) pendant le fonçage, à des distances différentes du point de fonçage (10, 20, 40 et 80 m), pour six des onze palplanches mises en œuvre, montrent un net accroissement du niveau sonore d'environ 15 dB(A) par rapport au bruit de circulation. Aucune mesure acoustique n'a été effectuée sur les cinq autres palplanches.

Pour l'ensemble des six essais, la puissance acoustique moyenne L_{WA}^{moyen} (éq. 2) est égale à 124 dB(A) pour le vibreur PTC 30HF3A et la palplanche L603.

La figure 5 représente la courbe d'atténuation de la moyenne des niveaux sonores des six fonçages de palplanches et des niveaux sonores calculés à partir de la

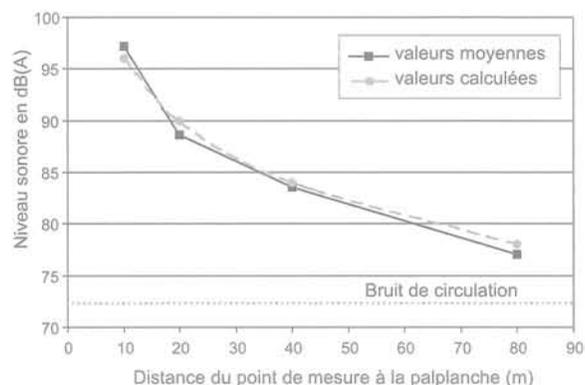


FIG. 5 Diminution du niveau sonore en fonction de la distance par rapport à la source. Reduction of noise level according to the distance from the source.

puissance acoustique (éq. 2) en fonction de la distance à la source. Les valeurs dites calculées et les valeurs mesurées sont voisines, ce qui valide l'équation 2.

De même, on peut estimer que le bruit de circulation est quasiment prépondérant au-delà de 80 m.

3.3.5

Site de Monchy Saint-Éloi

Pour valider les dimensionnements et la méthode de mise en œuvre des fondations de la future station d'épuration de Monchy, l'entreprise NGE a mis en œuvre, en mai 2007, avec un vibreur ICE 416 des pieux en béton armé carrés de 500 mm. Le chantier est situé entre l'ancienne station d'épuration, un cours d'eau et une forêt. Pour pouvoir faire un essai comparatif de capacité portante, un des pieux a été sur-battu de 15 cm avec un marteau hydraulique IHC SC50. Des mesures acoustiques ont été faites pendant la mise en œuvre du pieu vibrofoncé puis sur-battu à 15 m de celui-ci (Tableau VIII). Suite à ces mesures il est possible de conclure dans ce cas précis que le fonçage par battage est environ 20 dB(A) plus bruyant que le fonçage par vibrage, malgré l'installation d'un coussin d'amortissement en bois entre l'enclume (acier) et la tête de pieu (béton) pour éviter de casser cette dernière.

3.3.6

Site de Limelette

Du 23 au 25 octobre 2007, une même paire de palplanches Z, de 20 m de longueur, qui avait les griffes

soudées, a été foncée et extraite, neuf fois, par vibrage avec un vibreur ICE 36RF-ts. Les essais ont été réalisés sur un site dégagé du Centre Scientifique et Technique de la Construction à Limelette (Belgique). La puissance acoustique de la grue en mouvement, mesurée à 20 m, est de 104 dB(A).

Pendant chaque phase de fonçage, des mesures de niveau sonore ont été effectuées à 5, 10, 20 30 ou 40 m de distance de la source vibrante. Les mesures ont aussi été réalisées en fonction de la pénétration de 0 à 7 m. Le tableau IX présente une synthèse de ces mesures ainsi que le calcul de la puissance acoustique moyenne (éq. 1 et 2) pour chacun des essais. La figure 6 montre sous forme de courbes la moyenne des niveaux sonores en fonction de la distance de la source vibrante.

Trois paramètres étaient susceptibles de varier d'un essai à l'autre : le nombre de pinces (une ou deux) qui tiennent la palplanche, la fréquence et l'amplitude du vibreur. En associant les essais deux par deux, ou trois par trois, il est possible de faire les observations suivantes.

Essais A, I et I°

Pour ces essais, les trois paramètres sont identiques : fréquence maximale de 37,5 Hz, amplitude maximale de 3,8 à 4 mm et une seule pince. Notons que le *Guide technique Vibrofonçage* recommande d'utiliser deux pinces mais que les entrepreneurs ont tendance à n'en utiliser qu'une. L'essai A semble légèrement plus bruyant que les essais I et I°, qui ont des valeurs de puissance acoustique similaires. Le fait que l'essai A soit le premier essai du chantier expérimental (essai de faisabilité et de calage) pourrait expliquer cette légère différence.

TABLEAU VIII Mesures acoustiques à 15 m du point de fonçage sur le site de Monchy.
Acoustic measures at 15 m of the boring point on the Monchy site.

Observations	Niveau sonore LAeq dB(A)	Puissance acoustique LwA dB(A)
Niveau sonore initial (chantier à l'arrêt)	49	
Groupe seul	62	94
Grue au ralenti	66	98
Grue en action + groupe	67	
Grue seule en action	73	105
Grue + groupe + vibreur : phase de vibrofonçage	Min : 76 Max : 80	Min : 108 Max : 112
Grue + groupe + marteau : phase de battage	98	130

TABLEAU IX Synthèse des différents essais.
Synthesis of different test.

Essai (ppl)	Pince	Fréquence (Hz)	Amplitude (mm)	Moyenne du niveau sonore LAeq dB(A)					Puissance acoustique LwA _{moy} dB(A)
				à 5 m	à 10 m	à 20 m	à 30 m	à 40 m	
A	simple	37,5	4	101	99	93	87		126
B	simple	37,5	2	95	91	85	82		119
C	simple	33	4,2	96	92	87		82	121
D	simple	28,5	4,1	94	89	82		77	117
E	simple	31,5	1,4	95	92	84	79		118
F	double	33	2,6	93	88	84	83		118
G	double	32,5	4,5	93	87	82	79		116
H	double	35 à 20	4,5	92	89	84	80		117
I	simple	37,5	4	99	96	90	85		123
I°	simple	37,5	3,8	103	96	90	84		124

I° : essai de re-fonçage après extraction dans le même emplacement.

Essais C, D et I

Pour ces essais, deux paramètres sont identiques ou équivalents : amplitude maximale de 4 à 4,2 mm, une seule pince et la fréquence varie. On constate que plus la fréquence est élevée, plus la puissance acoustique est forte ($LWA_{37,5} = 123 > LWA_{33} = 121 > LWA_{28,5} = 117$).

Essais C et G

Pour ces essais, deux paramètres sont identiques : fréquence de 32,5 et 33 Hz, amplitude maximale de 4,2 et 4,5 mm et le nombre de pince varie. On observe une différence de 5 dB(A). Le fonçage avec une pince simple est donc plus bruyant ($LWA_3 = 121 > LWA_4 = 117$).

Essais B et I

Pour ces essais, deux paramètres sont identiques : fréquence maximale de 37,5 Hz et une seule pince et l'amplitude varie de 2 à 4 mm. On observe une différence de 4 dB(A). Le fonçage avec une amplitude importante serait plus bruyant ($LWA_4 = 123 > LWA_2 = 119$).

Essais C et E

Pour ces essais, deux paramètres sont identiques : fréquence de 31,5 à 33 Hz et une seule pince et l'amplitude varie de 1,4 à 4,2 mm. On observe une différence de 3 dB(A). Le fonçage avec une amplitude importante serait plus bruyant ($LWA_{4,2} = 121 > LWA_{1,4} = 118$). L'observation faite pour cette comparaison est la même que précédemment (essais B et I). Peut-on en déduire que, quelle que soit la fréquence, plus l'amplitude est élevée plus la puissance acoustique sera élevée ?

Essais F et G

Pour ces essais, deux paramètres sont identiques : fréquence de 32,5 et 33 Hz et deux pinces et l'amplitude varie de 2,6 à 4,5 mm. On observe une différence de 2 dB(A) ; cela est presque négligeable. On constate que le fonçage avec une amplitude faible serait légèrement plus bruyant ($LWA_{2,6} = 118 > LWA_{4,5} = 116$). Cette observation n'est pas en concordance avec les comparaisons précédentes (essais C et E et essais B et I).

Ces essais mettent en évidence qu'il existerait une relation entre la puissance mécanique et la puissance acoustique. En effet, la puissance mécanique serait, *a priori*, proportionnelle à l'amplitude de la force et à la fréquence qui sont appliquées en tête de palplanche. Donc, il n'est pas surprenant que la puissance acoustique augmente quand l'amplitude de la force et la fréquence augmentent. Nous avons vérifié cela pour tous les essais sauf dans la comparaison F-G. Pour confirmer ou infirmer les observations faites, il faudrait réali-

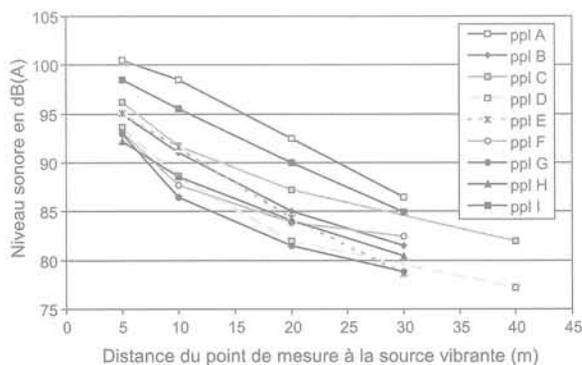


FIG. 6 Niveaux sonores moyens en fonction de la distance par rapport à la source.
Sound levels according to the distance from the source.

ser d'autres mesures et constituer une banque de données acoustiques.

4

Recommandations pour réduire les nuisances acoustiques

Les travaux de battage ou/et vibrofonçage des pieux, palplanches et profilés métalliques ont la mauvaise réputation d'être bruyants et responsables de désagrément et nuisances dus aux vibrations du sol. Les riverains de ces chantiers ayant du mal à juger objectivement les effets des vibrations transmises dans le sol et dans l'air, considèrent souvent que ces vibrations sont à l'origine de désordres survenus sur leurs propriétés. Pour éviter des contentieux lors de l'exécution des travaux de battage ou de vibrofonçage, voire l'arrêt momentané du chantier, il est nécessaire, pour les travaux en zone urbaine et à proximité des habitations, de prendre des dispositions préventives appropriées au site et en accord avec les normes et les règlements en vigueur.

Les observations faites sur plusieurs chantiers de vibrofonçage montrent que ceux-ci sont nettement moins bruyants que les chantiers qui utilisent des marteaux ou des trépideurs.

En plus du choix de la méthode de fonçage, le choix de la méthode de travail a une influence sur le type de nuisances produites : avec un mât de fonçage ou en pendulaire avec un guide de fonçage ou non. Par exemple, un guide en acier (Fig. 7) amplifie le bruit (contact acier/acier), ce qui amène à privilégier l'utilisation d'un guide à structure bois (Fig. 8).

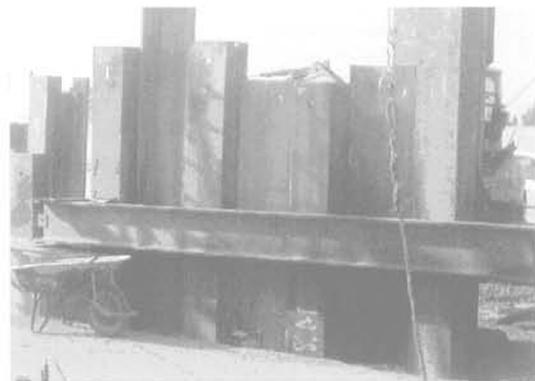


FIG. 7 Guide de fonçage à structure acier.
Steel pile-driving guide.



FIG. 8 Guide de fonçage à structure bois.
Wooden pile-driving guide.

Pour canaliser le bruit, il est aussi possible d'installer des écrans de protection phonique provisoires, soit directement autour du pieu à foncer, soit autour de la zone de travail ou de la zone à protéger pour encager ou dévier les bruits. De simples merlons de terre peuvent suffire.

Même si les essais de Limelette ne permettent de conclure définitivement sur le sujet, en vibrofonçage il nous semble important de toujours travailler avec le bon nombre de pinces suivant l'axe neutre, comme le recommande le *Guide technique Vibrofonçage* (2006) dans le chapitre 2.3.1 « Les pinces pour palplanches ».

Sur un chantier de vibrofonçage, une grande partie des bruits est générée par le matériel auxiliaire : mâts de guidage, chaînes, élingues, groupes hydrauliques, guides métalliques, moteurs des engins de levage... Ce niveau sonore peut être diminué par des moyens assez simples : utilisation de palplanches pincées, de lubrifiant dans les griffes libres, de plaques de frottement non métalliques sur les guides (bois, matières synthétiques...), de groupes hydrauliques biens insonorisés, l'isolation acoustique des élingues, câbles et chaînes de sécurité (enrobage par matériau isolant : mousse, caoutchouc...).

Les constructeurs peuvent aussi essayer de travailler sur le vibrateur lui-même pour l'insonoriser au mieux.

5

Conclusion

Les plaintes pour nuisances acoustiques sont nombreuses. Une bonne connaissance des niveaux et des puissances acoustiques des matériels de fonçage par battage et par vibrage est nécessaire pour réduire cette nuisance et rendre le chantier le plus furtif possible. L'analyse des cinq expérimentations en vraie grandeur pendant le fonçage de palplanches, de pieux H et de pieux en béton armé préfabriqués montre que le

battage (marteau et trépideur) est plus bruyant que le vibrofonçage. Suite aux campagnes de La Riche (Boittin, 2002) et de Monchy Saint-Éloi, on peut dire que le fonçage par battage est plus bruyant de 5 à 20 dB(A) que le fonçage par vibrage.

Pour l'ensemble des mesures, la puissance acoustique pour le battage a varié de 128 dB(A) à 130 dB(A). La dispersion est faible mais on dispose de peu de mesures. Par ailleurs, la puissance acoustique d'un trépideur ($L_{wA} = 128$ dB(A)) est sensiblement identique à celle des marteaux hydrauliques ($L_{wA} = 130$ dB(A)).

La puissance acoustique pour le fonçage par vibrage a varié de 108 dB(A) à 126 dB(A), soit une différence entre le minimum et le maximum de 18 dB(A). Pour mieux maîtriser et comprendre cette dispersion de la puissance acoustique, des mesures complémentaires devront être réalisées sur un maximum de chantiers avec des vibrateurs et des pieux différents et avec plusieurs sonomètres. L'acquisition de nouveaux sonomètres permettra de mieux exploiter les données en pouvant distinguer les bruits parasites ponctuels du niveau sonore des engins de chantier.

De plus, l'expérimentation au Centre scientifique et technique de la construction de Limelette (Belgique) a montré que le fait de positionner les pinces du vibrateur suivant l'axe neutre (*Guide technique Vibrofonçage*, 2006) a une influence positive sur la diminution du bruit émis pendant le vibrofonçage d'une paire de palplanches. Elle a aussi mis en évidence l'importance de la fréquence et de l'amplitude, sans que l'on puisse vraiment en tirer une conclusion générale.

REMERCIEMENTS

L'auteur remercie particulièrement le centre de recherches de ARCELORMITTAL, le Centre scientifique et technique de la construction de Belgique, la SNCF, les entreprises NGE Génie civil et ICE-IHC France pour leur support technique et pour lui avoir permis de faire cette étude.

Bibliographie

- Berglund B., Lindvall T., Schwela D. – *Guidelines for Community Noise*. World Health Organization, 1999.
- Boittin R. – DV Construction – Suppression du PN. 186 à la Riche (37) – Mesure de bruit, Note technique du LRPC de Blois, 2002.
- Brüel et Kjaer entreprise – *Bruit de l'environnement*, 2000.
- Circulaire n° 97-110 du 12 décembre 1997 relative à la prise en compte du bruit dans la construction de routes nouvelles ou l'aménagement de routes existantes du réseau national.
- Guide technique Vibrofonçage* – Recommandation du projet national Vibrofonçage, Presses des Ponts et Chaussées, 2006, 382 p.
- Mériel B., Bonhomme B. – Le bruit de chantier. *Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées* - n° 208, 1997, p. 87-98.
- NF EN ISO 3744 – Détermination des niveaux de puissance acoustique émis par les sources de bruit à partir de la pression acoustique.
- NF EN 996/A2 – Prescriptions de sécurité. Matériel de battage.
- NF S31-110 – Caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement. Grandeurs fondamentales et méthodes générales d'évaluation.
- NF S31-010 – Caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement. Méthodes particulières de mesurage.
- TESPA Technical European Sheet Piling Association – *Mise en œuvre des palplanches en acier*. ArcelorMittal, 2007.