

BRUIT DES CHANTIERS D'INFRASTRUCTURE DE TRANSPORTS : QUELS IMPACTS POUR LES RIVERAINS

Webinaire du 16/11/2021

Suivis acoustiques et vibratoires

Retours d'expérience de chantiers de fonçage

QUE DIT LA RÉGLEMENTATION ?

Réglementation bruit

Réglementation vibrations (principalement sur les risques aux structures)

- Circulaire du 23 juillet 1986 relative aux vibrations mécaniques émises dans l'environnement par les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)
- Instruction SNCF 1226 relative à la « protection des infrastructures ferroviaires lors de travaux à l'explosif ou avec engins mécaniques puissants »
- Arrêté du 22 septembre 1994 relatif aux exploitations de carrières et aux installations de premier traitement des matériaux de carrières

=> Référé préventif

Appréciation de la faute et du trouble (critère d'anormalité variable selon les tribunaux)

- **Article 544 du code civil :**
« La propriété est le droit de jouir et de disposer des choses de la manière la plus absolue, pourvu qu'on n'en fasse pas un usage prohibé par les lois ou par les règlements. »

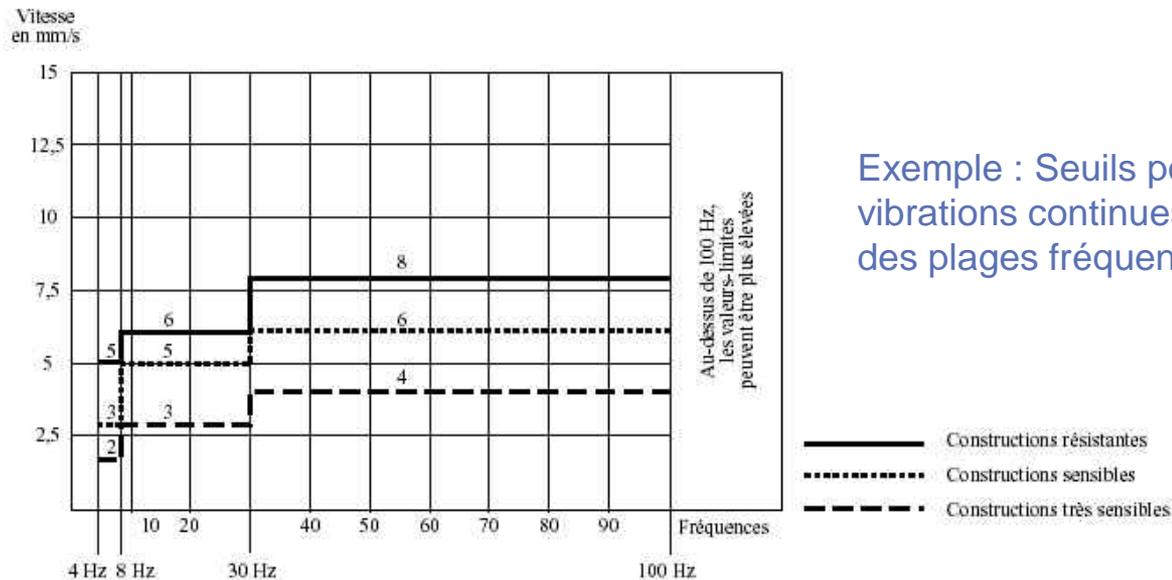
- Le bruit
- Les vibrations
- L'empoussièrement (PM10, PM2.5)

QUE DIT LA RÉGLEMENTATION ?

Circulaire du 23 juillet 1986 relative aux vibrations mécaniques émises dans l'environnement par les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) : risque structurel

TABLEAU 1
VIBRATIONS CONTINUES OU ASSIMILÉES
Valeurs limites de la vitesse particulière en fonction de la fréquence observée
Méthode de mesure de classe « Contrôle »

Ces valeurs limites sont valables pour chacune des trois composantes du mouvement.



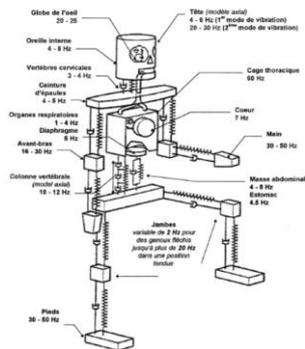
Exemple : Seuils pour des vibrations continues, en fonction des plages fréquentielles

QUE DIT LA RÉGLEMENTATION ?

Il n'existe pas de réglementation relative aux effets des vibrations sur les personnes (expression en accélération, m/s^2)

Les effets à court termes de ces vibrations sur le corps sont, pour des fréquences comprises entre 1 et 60 Hz :

- La fatigue visuelle ($f < 5$ Hz),
- De l'inconfort,
- Le mal de dos et la fatigue,
- Des troubles digestifs,
- Des troubles cardio-respiratoires,
- La diminution voire la perte de dextérité.



Pondération fréquentielle des vibrations en fonction de la position des personnes (norme ISO 2631)

Pondération en fréquence	Confort (valeur efficace en m/s^2)	
Wk (axe vertical de l'assise Z)	< 0.315	Pas de tout inconfortable
	0.315 <> 0.63	Légèrement inconfortable
	0.5 <> 1	Assez inconfortable
	0.8 <> 1.6	inconfortable
	1.25 <> 2.5	Très inconfortable
	> 2	Extrêmement inconfortable

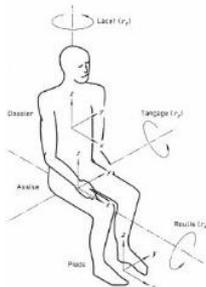


Figure 1 : Courbes de pondération Wk et A

CHANTIER VNF À QUESNOY SUR DEULE

Allongement de l'écluse de Quesnoy sur Deûle, sans coupure de la navigation :
préfabrication de nouveaux bajoyers à l'intérieur de batardeaux provisoires puis ripés
(Suivi des essais par le Cerema HdF, le Cerema Med et l'Ifsttar)

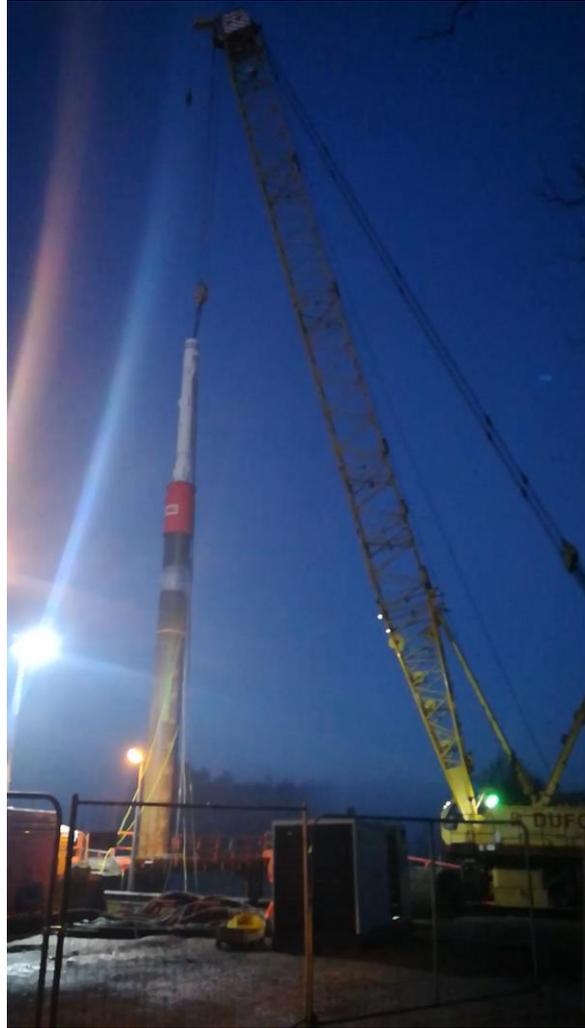
Contraintes :

- Palplanches (batardeaux provisoires)
 - 20 m de longueur
 - « Collées » à l'écluse existante
 - Réalisation pendant les « chômages » de courtes durées
- Pieux métalliques (rails de ripage)
 - Diamètre 1200 à 1600 mm
 - 30 m de longueur
 - Dimensions atypiques pour des projets on shore

Objectifs :

- Éviter les refus prématurés et choisir une procédure adaptée (vibrofonçage / battage / lançage)
- Ne pas endommager les profilés lors du battage
- Limiter les nuisances (bruit et vibrations)

CHANTIER VNF À QUESNOY SUR DEULE



CHANTIER VNF À QUESNOY SUR DEULE

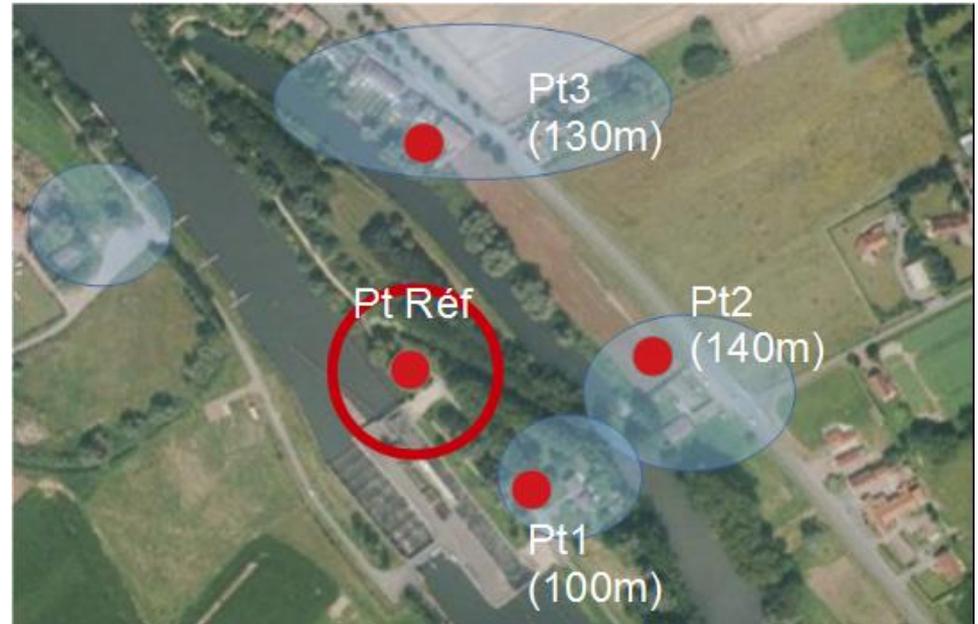
Suivi acoustique

Objectif :

- suivre l'évolution du bruit en cours de vibrofonçage et battage,
- suivre les évolutions sonores en fonction de la profondeur de fonçage,
- étudier les émergences acoustiques.

1 sonomètre est placé sur le lieu de battage. Il permet de caractériser le fonçage en lui-même :

- l'activité ou non,
- le niveau sonore,
- les spectres fréquentiels.



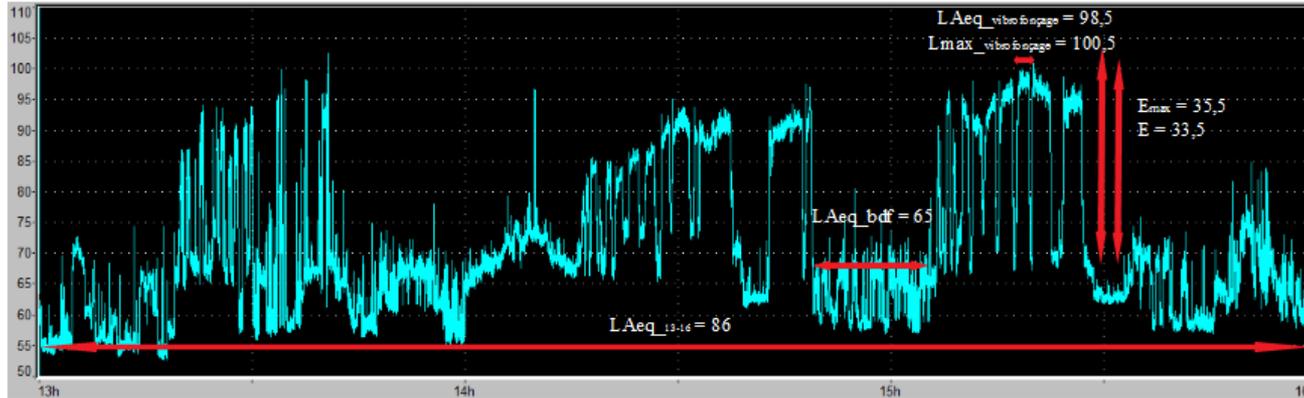
Vue aérienne du site d'étude avec délimitation de la zone des 40 m et des zones habitées

3 sonomètres répartis sur la zone d'étude (Pt3 ajouté suite à une plainte du riverain lors des essais de vibrofonçage).

CHANTIER VNF À QUESNOY SUR DEULE

Suivi acoustique

Vibrofonçage de paires de palplanches



- Bruit de fond du chantier : 65 dB(A)
- L_{Max} : 100,5 dB(A)
- L_{Aeq}₁₃₋₁₆ : 86 dB(A)

	29/11/18					29/11/18
	Vibrofonçage		Bruit de fond	Émergence		L _{Aeq}
	L _{Aeq}	L _{max}	L _{Aeq}	E	E _{max}	13h-16h
Pref	98,5	100,5	65	33,5	35,5	86,2
P1	77,8	81,3	60,2	17,6	21,1	67
P2	82,4	88,1	66,3	16,1	21,8	71,2

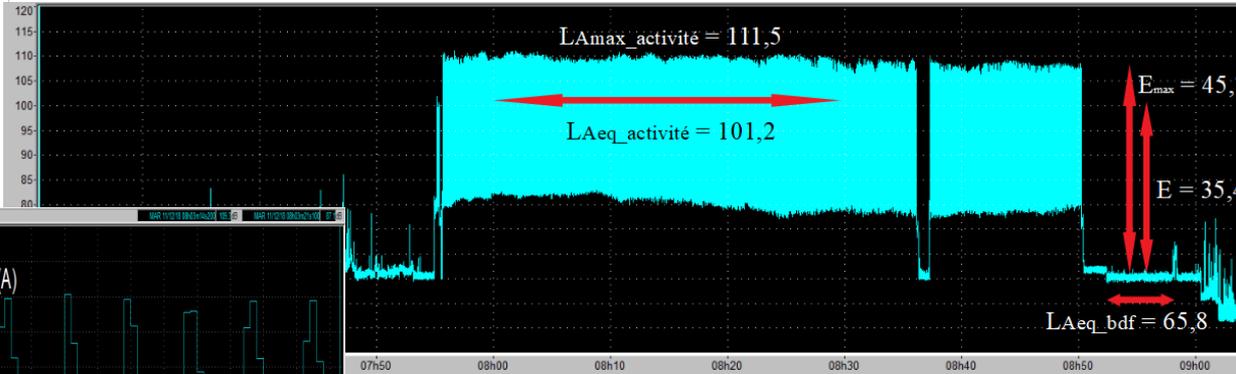
Impact du trafic routier sur le niveau sonore au Pt2

L'analyse spectrale fait ressortir les 1/3 d'octave : 31,5, 63 et 100 Hz (fréquence de vibrofonçage de l'ordre de 32 Hz)

CHANTIER VNF À QUESNOY SUR DEULE

Suivi acoustique

Battage des pieux



- Bruit de fond du chantier : 65,8 dB(A)
- LAmax : 111,5 dB(A)
- LAeq_{8h-8h30} : 101,2 dB(A)



	13/12/18				
	Battage		Bruit de fond	Émergence	
	LAeq	Lmax	LAeq	E	E _{max}
Pref	97,6	108,9	62,7	34,9	46,2
P1	79,6	89,7	57,1	22,5	32,6
P2	74,1	85,8	66,6	7,5	19,2
P3	74,4	84,5	49,6	24,8	34,9

Battage

	14/12/18				
	Battage		Bruit de fond	Émergence	
	LAeq	Lmax	LAeq	E	E _{max}
Pref	90,9	100,7	66,9	24,0	33,8
P1	73,7	82,5	52,2	21,5	30,3
P2	74,2	85,9	68,2	6	17,7
P3	68,2	76,2	47,4	20,8	28,8

Sur-battage

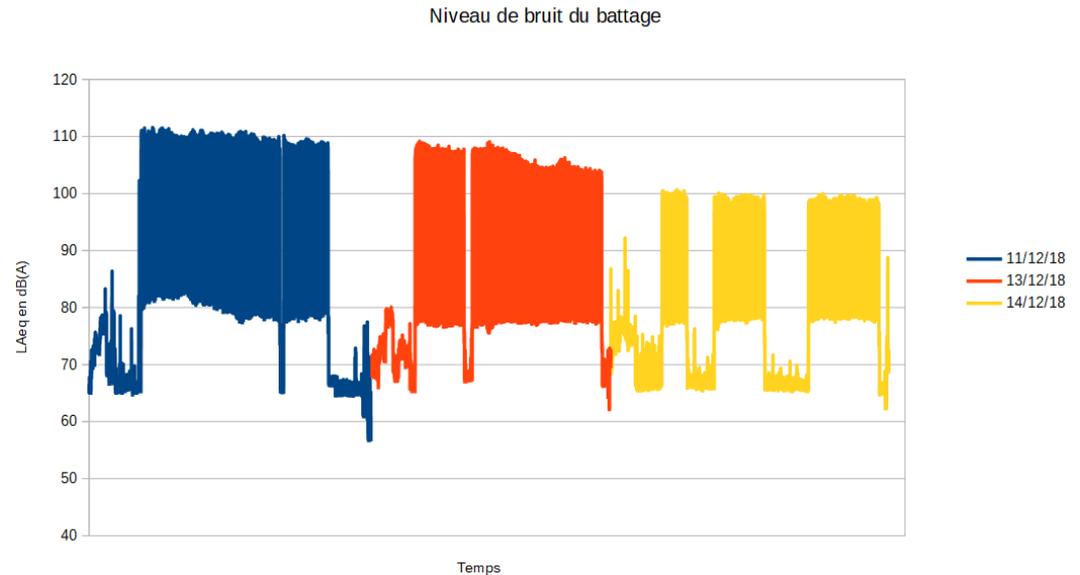
CHANTIER VNF À QUESNOY SUR DEULE

Suivi acoustique

Battage des pieux

Niveaux sonores des 3 phases de battages des 11, 13 et 14 décembre au Pt Réf

⇒ les niveaux de bruit ont tendance à décroître en fonction de la profondeur du pieu malgré une augmentation de la puissance de frappe.



L'analyse du spectre en tiers d'octave en phase de battage, fait ressortir les bandes de fréquences entre 250 Hz et 10 kHz, avec un maximum à 1600 Hz au moment de l'impact du marteau

CHANTIER VNF À QUESNOY SUR DEULE

Suivi acoustique

Vibrofonçage

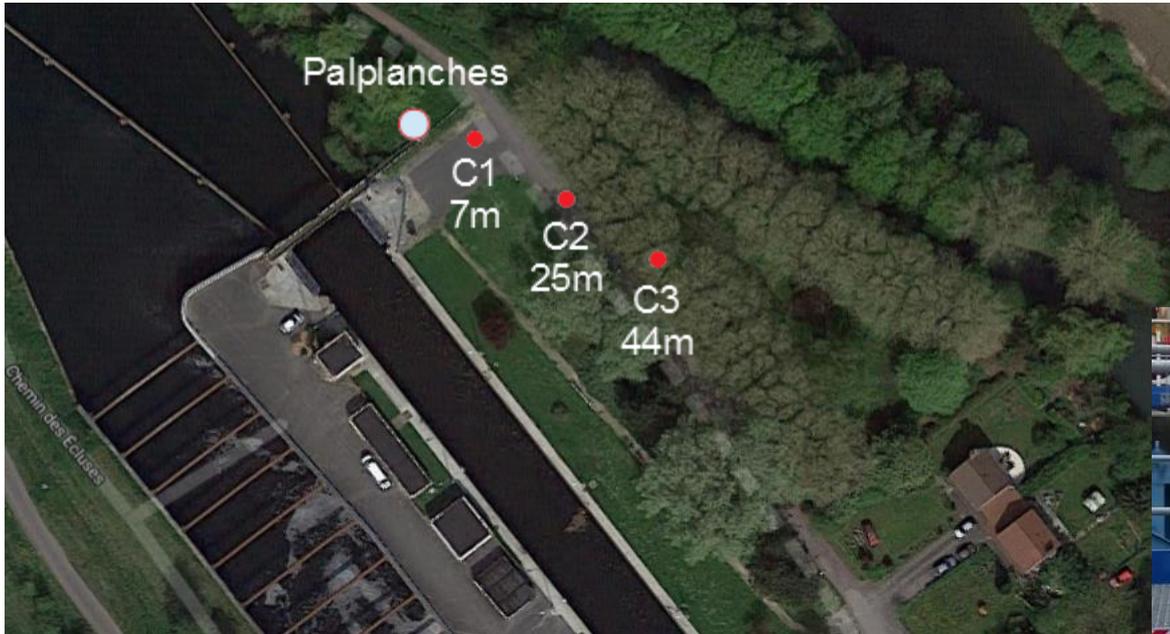
- Le vibrofonçage émet des niveaux de bruit à proximité d'environ 100 dB(A).
- Les fréquences excitées sont plutôt dans les graves, moins gênant pour les riverains.
- Les plages de vibrofonçage durent plusieurs minutes, avec un bruit constant. L'oreille humaine est capable de s'habituer aux bruits constants afin d'en réduire la nuisance.

Battage

- Le battage émet des niveaux de bruit à proximité d'environ 110 dB(A) au moment de l'impact. C'est 10 dB(A) de plus que le vibrofonçage : sensation d'un bruit deux fois plus fort.
- Les fréquences excitées sont plutôt dans les aigus : bruit plus « perçant », plus agressif pour l'oreille.
- Le côté impulsif du battage est également un facteur de gêne supplémentaire, malgré un battage régulier (1 Hz).

CHANTIER VNF À QUESNOY SUR DEULE

Suivi vibratoire



Vue aérienne du site d'étude avec implantation d'une ligne de capteurs de vibration



Capteur vibration GEA



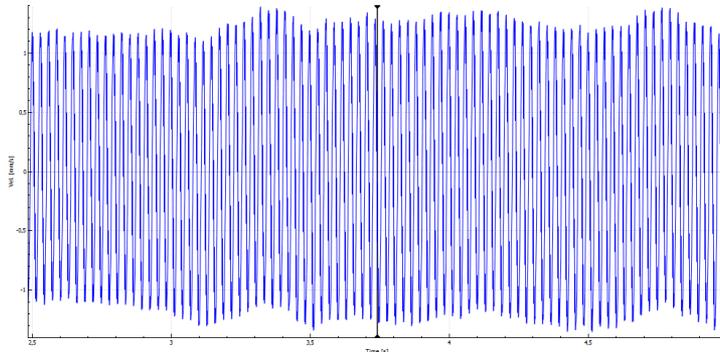
Porte d'écluse

Recherche de loi de propagation majorante de la forme $Vib = kD^{-\alpha}$ en m/s

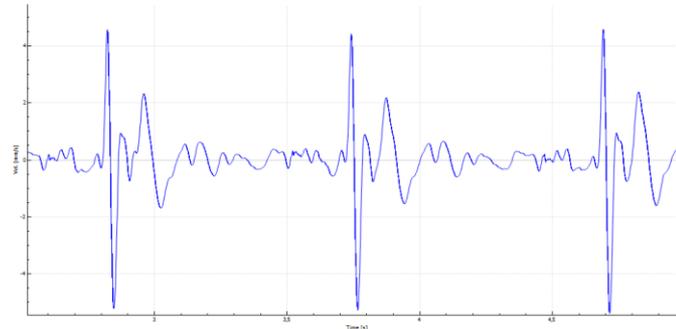
CHANTIER VNF À QUESNOY SUR DEULE

Suivi vibratoire

Exemple de signaux temporels :

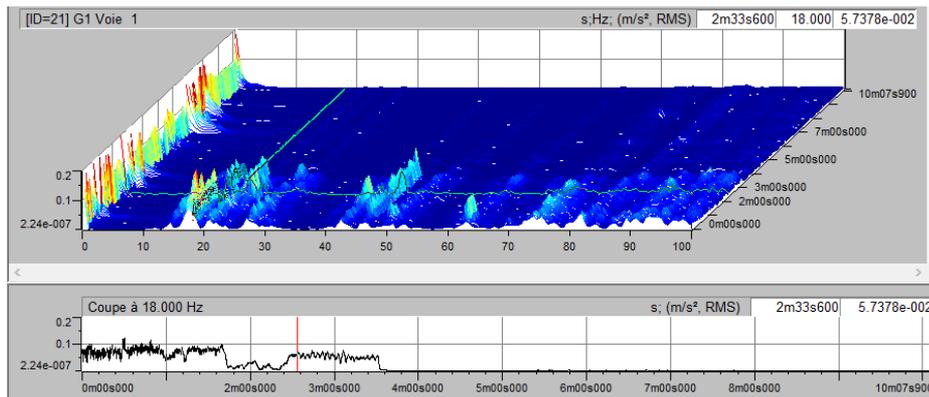


Vibrofonçage



Battage

Capteurs GEA au sol

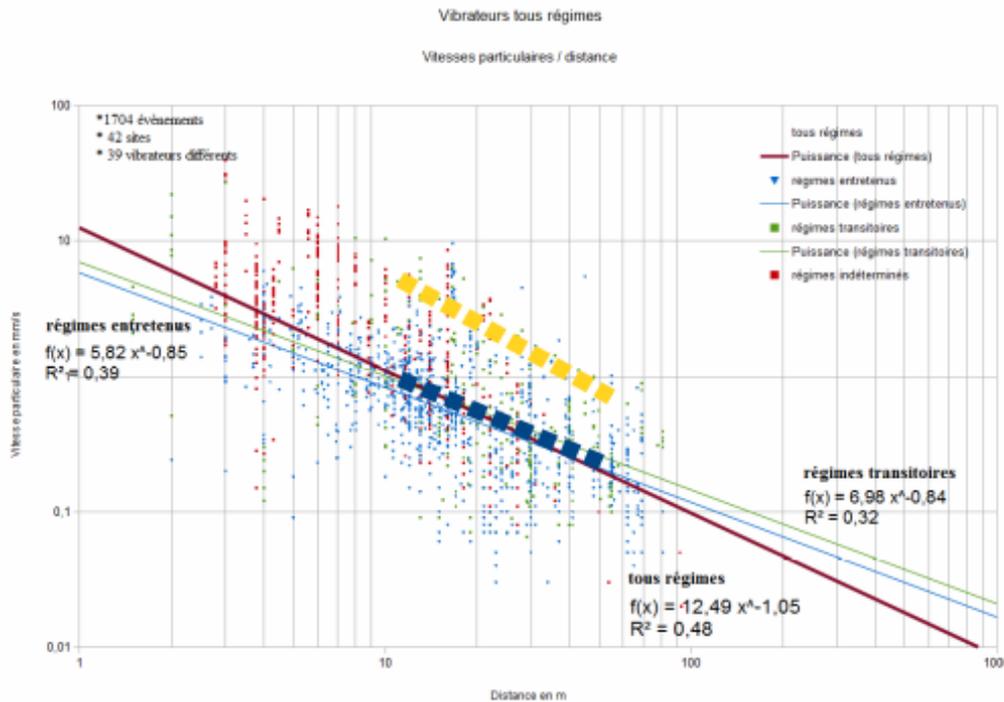


Accéléromètre
piézoélectrique sur la
porte de l'écluse

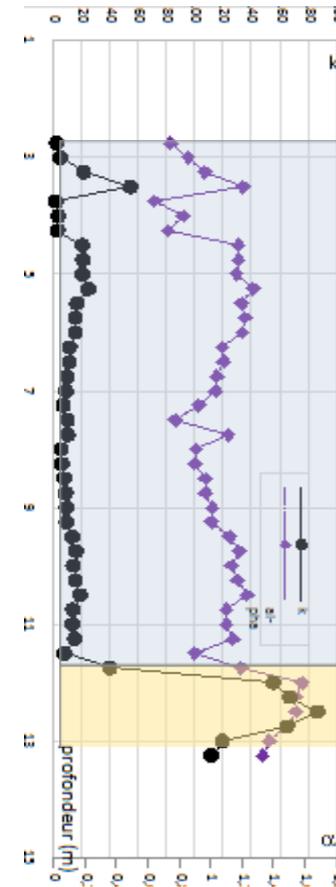
CHANTIER VNF À QUESNOY SUR DEULE

Suivi vibratoire

Lois de propagation (type Chapot)



Lois de propagation enregistrées lors du vibrofonçage de la palplanche superposées à la base de données du Cerema pour les engins de type vibreurs



Paramètres des lois de propagation en fonction de la profondeur

CHANTIER VNF À QUESNOY SUR DEULE

Suivi vibratoire

Impact sur les portes d'écluse

- Les vibrations enregistrées sur la passerelle du vantail de la porte d'écluse vont de 5 à 10 m/s², avec des pics pouvant atteindre les 20 m/s² en phase transitoire.
- La fréquence dominante observée est de l'ordre de 18 Hz.
- L'activation de la porte en phase de battage n'engendre pas de vibrations supplémentaires.

=> Les risques potentiels sont une rupture par fatigue des soudures et un cisaillement des néoprènes des joints d'étanchéité. Il convient de faire un état des lieux avant travaux.

Mise en place des palplanches

- Les vitesses particulières, enregistrés lors du vibrofonçage dans les argiles des Flandres, sont de l'ordre de 2 mm/s à 7m de la source et < 1 mm/s à 25 et 44m.
- Dans les sables landéniens, les valeurs atteignent les 10 mm/s à 7m et dépassent le 1 mm/s à 25 et 44m.

=> Les habitations étant à plus de 44m de la source, pas de risque identifié pour les 2 phases de fonçage

CHANTIER VNF À QUESNOY SUR DEULE

Suivi vibratoire

Mise en place des pieux

- Les vitesses particulières enregistrées lors du vibrofonçage dans les argiles des Flandres, sont de l'ordre de 2 mm/s à 12m de la source et < 1 mm/s à 33 et 53 m.
- Dans les sables landéniens, les valeurs restent inférieures à 10 mm/s à 12 m.
- Les fréquences dominantes du vibreur varient de 34 à 38 Hz.

- En phase battage, et à proximité de la source (12m) les vitesses particulières diminuent avec la profondeur allant de 20 mm/s à des niveaux inférieurs à 8 mm/s.
- À 33m de distance de la source, les vitesses particulières augmentent régulièrement avec la profondeur de fonçage : de 6 à 8 mm/s.
- À 53m de la source, les niveaux vibratoires restent relativement stables autour de 4 mm/s.
- Les fréquences observées sont sur les plages 1-8 Hz et 8-30 Hz. Cette dernière plage de fréquence est la plus contraignante pour la gêne et doit être retenue pour la définition de seuils.

- Le surbattage ne montre pas de vitesses particulières supérieures au battage, quelle que soit la distance à la source.

CHANTIER SNCF À SAINT-AMAND LES EAUX

Gare de St Amand :

Réalisation d'un PMR (rampes d'accès) sous les voies de la gare SNCF de St-Amand les Eaux

Contraintes :

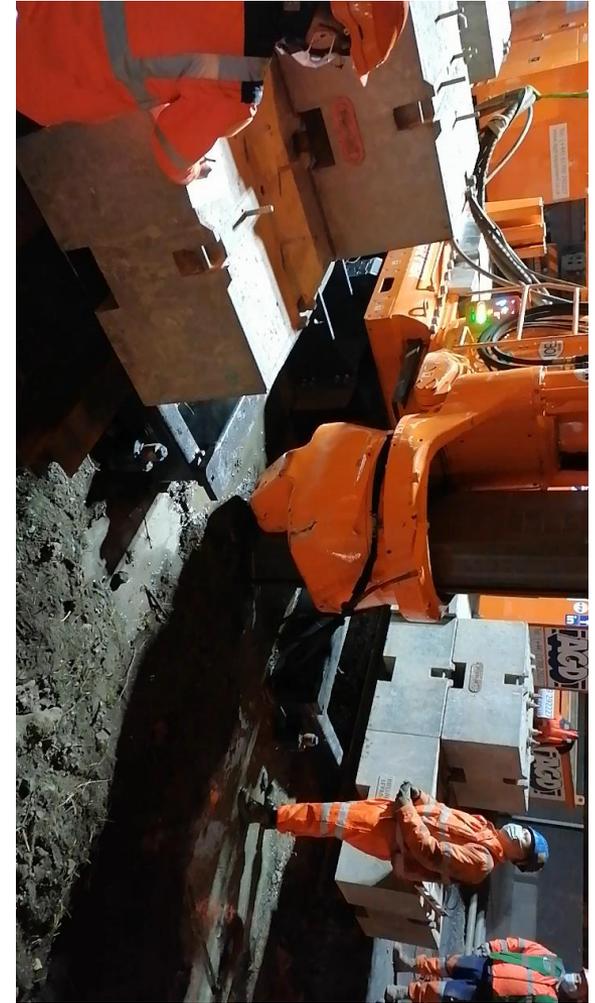
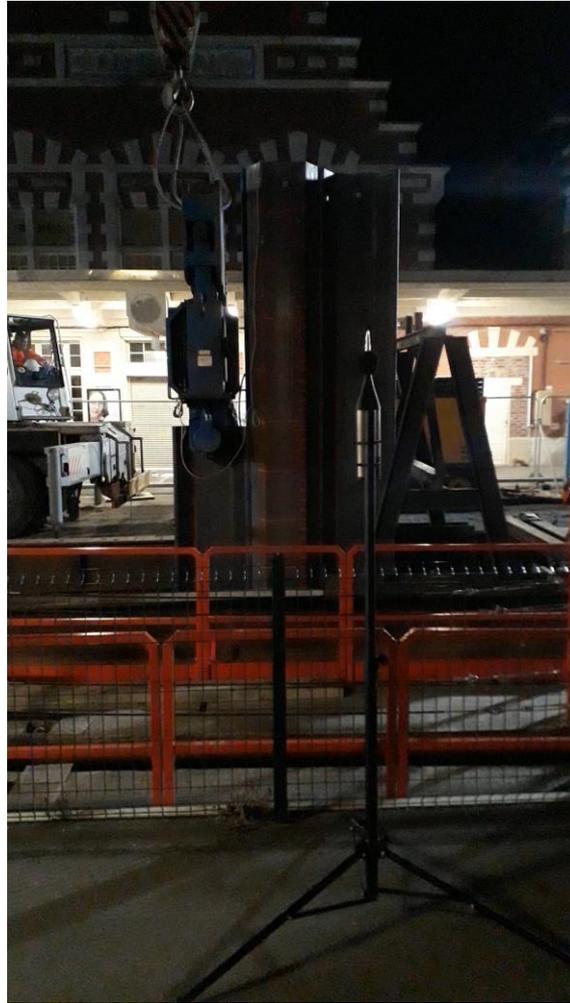
- Palplanches
 - Sensibilité du chantier dans un site sensible
 - Faisabilité du fonçage
 - ✓ Battage
 - ✓ Vibrofonçage
 - ✓ Vérinage avec lançage à l'eau (jet grouting)
- => risque de liquéfaction du sol

Objectifs :

- Application de l'IN1226 de la SNCF
- Instrumenter le site (acoustique et vibration)
- Modélisation acoustique
- Avis technique sur les dérogations éventuelles aux instructions SNCF



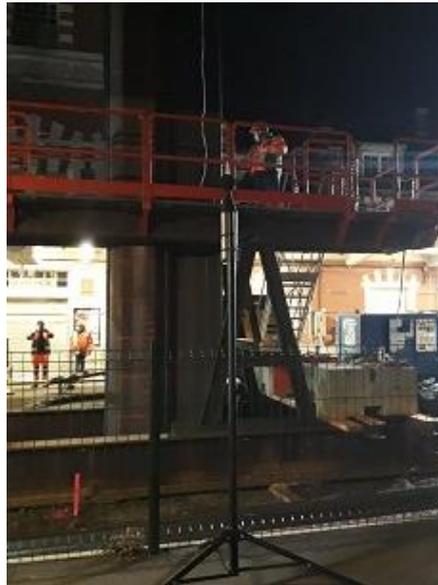
CHANTIER SNCF À SAINT-AMAND LES EAUX



CHANTIER SNCF À SAINT-AMAND LES EAUX

Suivi acoustique

- Instrumentation du site à l'échelle du quartier avec un point de mesure « témoin » au droit du fonçage
- Modélisation du site à partir des données de mesure (amplitude et spectre)



CHANTIER SNCF À SAINT-AMAND LES EAUX

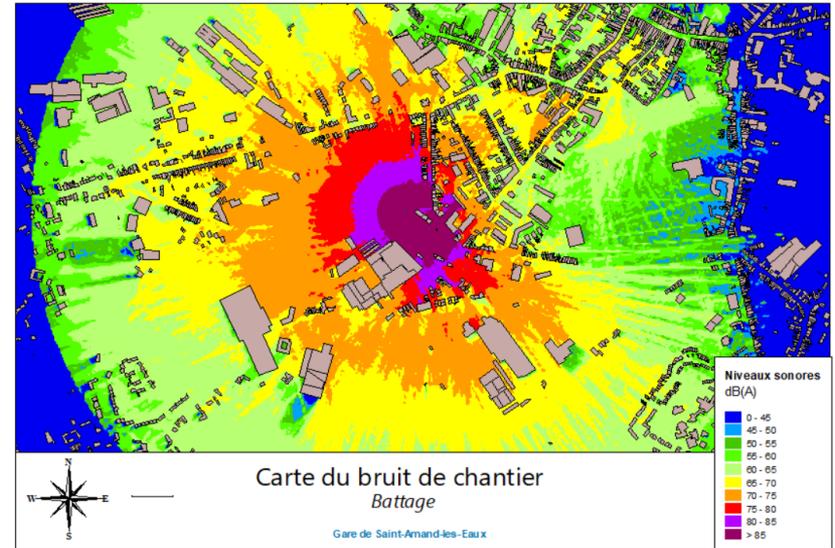
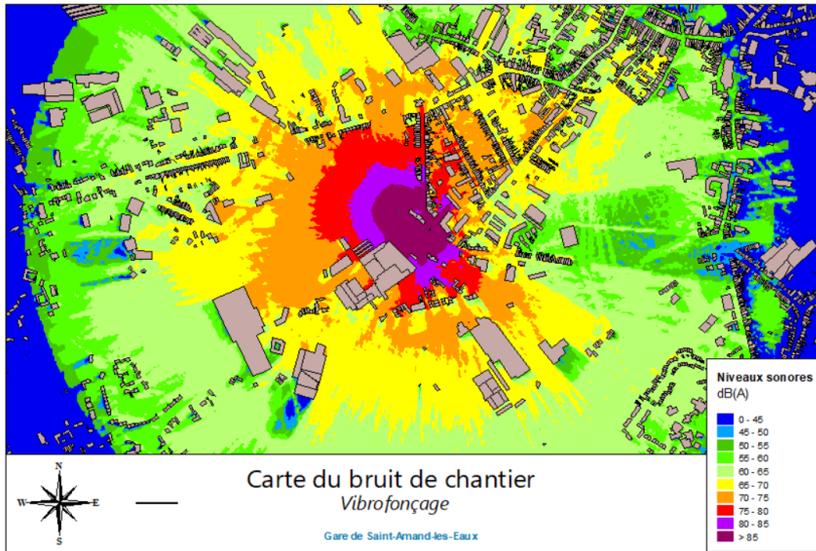
Suivi acoustique

Indicateur	Vibrofonçage	Battage	Vérinage
LAeq au droit du fonçage	107 dB(A)	108 dB(A)	78 dB(A)
LAeq au droit des habitations	86 dB(A)	87 dB(A)	55 dB(A)
Emergences	36 dB(A)	37 dB(A)	3 dB(A)

Le bruit du vérinage (avec lancement à l'eau) est fortement dépendant du bruit de son générateur.

CHANTIER SNCF À SAINT-AMAND LES EAUX

Suivi acoustique



Pas de modélisation du véringage de part son faible impact acoustique

CHANTIER SNCF À SAINT-AMAND LES EAUX

Suivi acoustique

Vibrofonçage

- Le vibrofonçage émet des niveaux sonores d'environ 107 dB(A) au point de référence à 4 m de la source.
 - Les niveaux sonores mesurés à proximité du bâtiment d'habitation en vue directe du chantier sont d'environ 86 dB(A).
 - Les émergences induites par l'activité sont de 36 dB(A) : gêne sonore importante pour les riverains.
- => Fort enjeu acoustique autour du vibrofonçage pour les riverains du chantier.

Les cartographies de bruit réalisées montrent que pour les niveaux de bruit maximums, comme le préconise l'OMS, le rayon des personnes susceptibles d'avoir des troubles du sommeil est de l'ordre de 600 m.

Battage

- Les niveaux sonores mesurés sont très proches de ceux émis par le vibrofonçage : 108 dB(A) au point de référence.
 - Les niveaux sonores mesurés à proximité du bâtiment d'habitation en vue directe du chantier sont d'environ 87 dB(A).
 - Les émergences induites par l'activité sont de 37 dB(A) : gêne sonore importante pour les riverains.
- => Fort enjeu acoustique autour du battage pour les riverains du chantier.

Les cartographies de bruit réalisées montrent que pour les niveaux de bruit maximums, comme le préconise l'OMS, le rayon des personnes susceptibles d'avoir des troubles du sommeil est de l'ordre de 700 m.

CHANTIER SNCF À SAINT-AMAND LES EAUX

Suivi acoustique

Vérinage (lançage à l'eau)

- Le vérinage de palplanche est peu bruyant pour une technique de fonçage. Le bruit de son générateur est aussi fort que le bruit du fonçage en lui-même.
 - Sur le chantier testé, le vérinage émet des niveaux sonores d'environ 78 dB(A) au point de référence.
 - Les niveaux sonores mesurés à proximité des habitations sont d'environ 55 dB(A)
 - Les émergences induites par l'activité sont de 3 dB(A) ce qui est à la limite de l'audibilité pour les riverains.
- => Pas d'enjeu acoustique autour du vérinage pour les riverains du chantier.

Technique très peu utilisée en France (matériel provenant de GB)

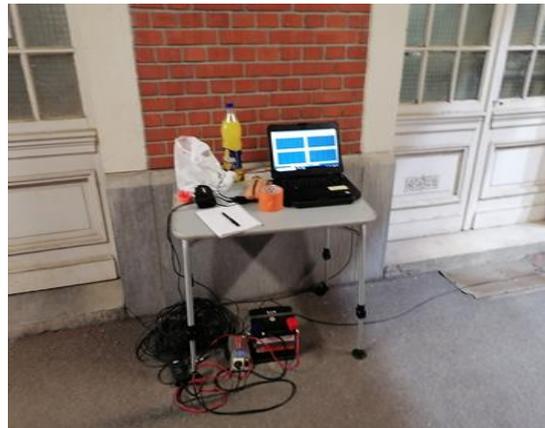
CHANTIER SNCF À SAINT-AMAND LES EAUX

Suivi vibratoire

- Instrumentation des équipements sensibles de la SNCF (gare R+1 et sous-sol, poste de signalisation ferroviaire, voies ferrées circulées, le quai, un passage sous-terrain, les caténaires)
- Recherche d'une loi de propagation



*Capteur sur voie
fixé au plâtre*



*Poste de mesures
Cerema*

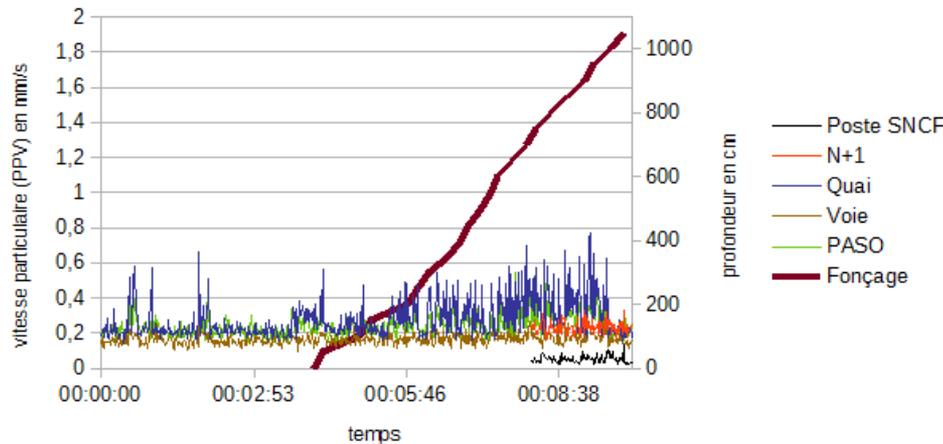


*Poste de signalisation
SNCF*

CHANTIER SNCF À SAINT-AMAND LES EAUX

Suivi vibratoire (Vérinage)

1° Palplanche (vérinage) _ Synthèse

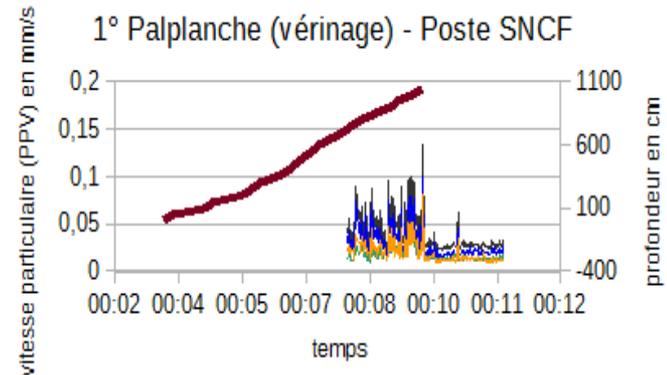


Ces niveaux vibratoires sont très inférieurs aux seuils imposés par l'IN 1226, tant en régime transitoire qu'en régime entretenu (3 à 6 mm/s sur la bande 10 à 30 Hz, Fb25 à 12,2 Hz).

Le poste SNCF est considéré comme étant très sensible (à 70m du vérinage).

Capteur mis en place : sensibilité de 0,0005 mm/s.

Les vibrations sont détectables mais restent en dessous de la perception humaine.



CHANTIER SNCF À SAINT-AMAND LES EAUX

Suivi vibratoire (Vibrofonçage)

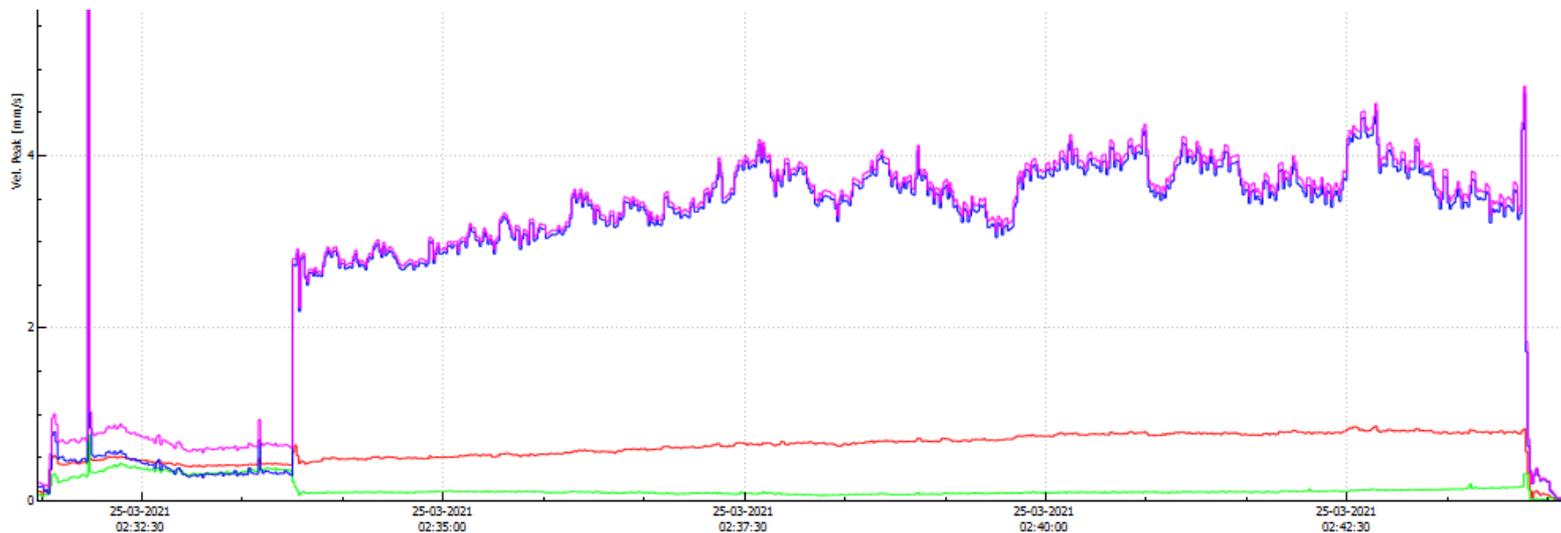
Cas du poste SNCF :

Pour une palplanche, le comportement vibratoire diffère des autres points de mesures. Les niveaux sont très élevés atteignant 4,51 mm/s en vertical.

Ces niveaux correspondent à un changement de fréquence du vibreur, passant de 28 à 30-31 Hz.

Le type de structure entre en jeu également, expliquant les différences d'amplitude et de ressenti.

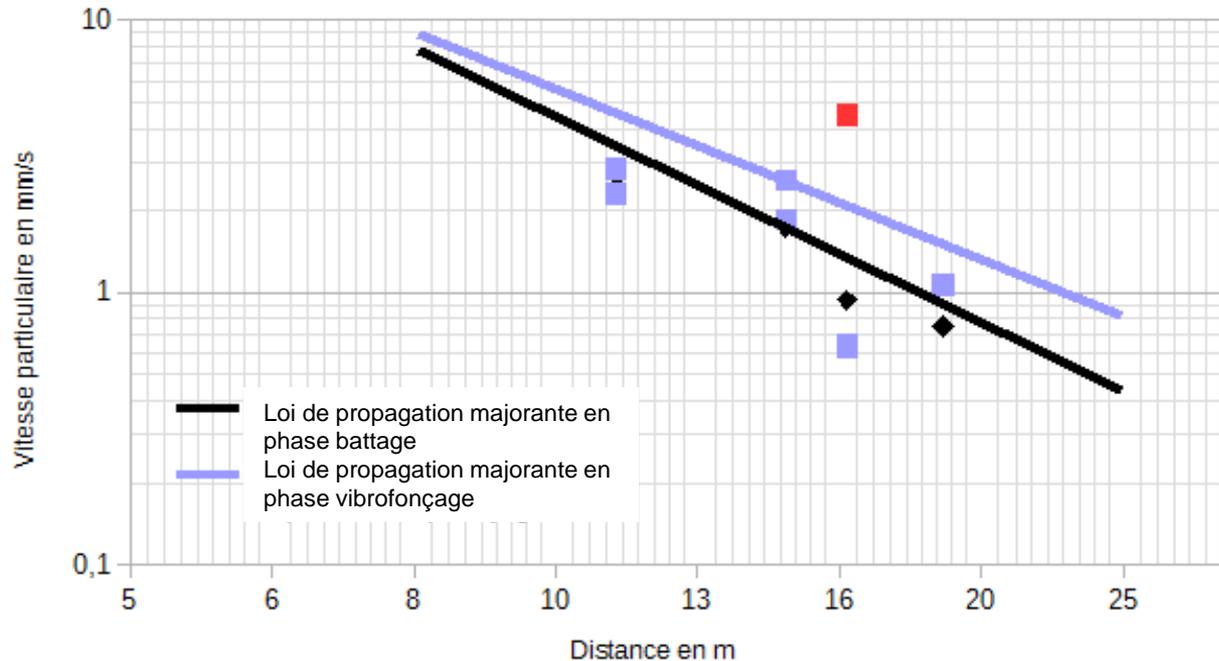
La pièce du poste SNCF peut être décomposée en 2 parties, séparée par un mur porteur. Une partie excavée et une autre reposant directement sur le TN.



CHANTIER SNCF À SAINT-AMAND LES EAUX

Suivi vibratoire

Loi de propagation majorante par technique de fonçage



CHANTIER SNCF À SAINT-AMAND LES EAUX

Vibrofonçage

- Les vibrations issues du vibreur sont dites entretenues – continues, non transitoires - (circulaire de 86 et IN 1226).
 - Les fréquences d'excitation observées sont autour de 29 Hz avec quelques variations en fonction de la profondeur.
 - La plage de fréquence retenue pour le Fb25 est de 10 à 30 Hz.
 - Hormis pour une palplanche mesurée au poste SNCF, les amplitudes vibratoires émises par le vibrofonçage sur les équipements SNCF, sont toutes inférieures aux seuils préconisés par l'IN 1226.
- => Pour un cas particulier, les vibrations maximales enregistrées sont de 4,51 mm/s à comparer au seuil de 3 mm/s. Ce phénomène peut être induit par la mise en résonance d'une partie de la structure au-delà de 30 Hz. Par précaution, il conviendra de ne pas dépasser 29 Hz en phase vibrofonçage.
- => Pour respecter les seuils de vibrations de l'IN 1226, les distances de sécurité à respecter pour une structure dite sensible (comme une habitation) sont de 10 à 11m

Battage

- Les vibrations issues du marteau sont dites non entretenues – transitoires, à impulsions répétées - (circulaire de 86 et IN 1226).
 - Les fréquences d'excitation observées sont entre 22,75 et 25,75 Hz avec quelques variations en fonction de la profondeur.
 - Les fréquences basses à 25 % (Fb25) retenues vont de 10,25 à 15 Hz.
 - Selon l'IN 1226, la plage de fréquences retenue pour le Fb25 est 10-30 Hz.
 - Tous les niveaux max mesurés sont en dessous des seuils prescrits par l'IN 1226.
- => Pour respecter les seuils de vibrations de l'IN 1226, la distance de sécurité à respecter pour une structure dite sensible (comme une habitation) est de 7m50

CHANTIER SNCF À SAINT-AMAND LES EAUX

Suivi vibratoire

Vérinage (lançage à l'eau)

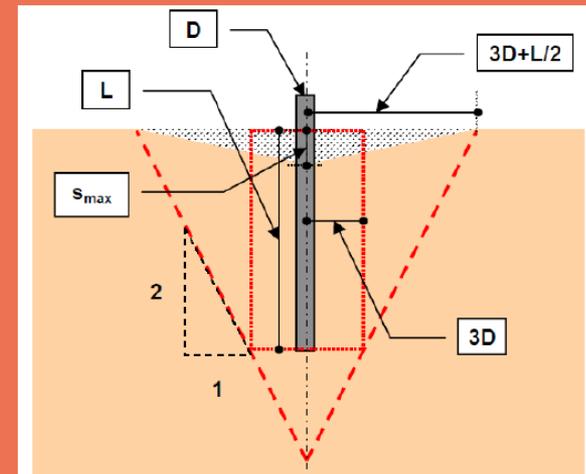
- Les vibrations issues du vérinage sont dites entretenues – continues, non transitoires - (circulaire de 86 et IN 1226).
- Les fréquences d'excitation observées sont autour de 15 Hz avec quelques variations en fonction de la profondeur.
- La plage de fréquence retenue pour le Fb25 est de 10 à 30 Hz.
- Les amplitudes vibratoires émises par le vérinage sur les équipements SNCF, sont toutes inférieures aux seuils préconisés par l'IN 1226.

=> Pour respecter les seuils de vibrations de l'IN 1226, les distances de sécurité à respecter pour une structure dite sensible (comme une habitation) sont inférieurs au mètre.

Liquéfaction en phase vibrofonçage

Le vibrofonçage dans les Alluvions Modernes est susceptible de respecter les préconisations de l'IN1226. Cependant, les informations disponibles sur la nature des couches traversées ne permet pas en l'état d'écarter le risque tassements, notamment en lien avec un phénomène de liquéfaction. La distance minimale par rapport au voies est alors définie à $2*L$ (§6.3 de l'IN 3727)

La configuration du site ne permettant par ailleurs pas de prendre des distances de sécurités suffisantes vis-à-vis de ces incertitudes, **le Cerema émet un avis défavorable pour l'utilisation du vibrofonçage dans les conditions de l'essai.**



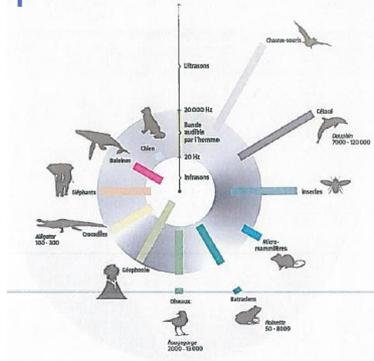
AUTRES TYPES DE CHANTIER

Chantiers routiers (RN2, RN17) : impacts acoustiques, vibratoires et qualité de l'air

Sonomètre
couplé à une
plaquette DIEM



Décapage de peinture des viaducs de l'A28 (site Natura 2000) : étude acoustique sur la faune et évaluation des particules émises



Plage de fréquences audibles pour différentes espèces animales



Cabine de mesures acoustique et particules

MERCI DE VOTRE ATTENTION

Philippe DUNEZ, Cerema Hauts de France

Philippe.dunez@cerema.fr

Tel : 07 77 34 24 16 / 03 20 48 49 42