



ALHYANGE

Ingénierie acoustique et vibratoire

NOS AGENCES :

BRETAGNE

14, rue du Rouz
29900 **CONCARNEAU**
02.98.90.48.15
bzh@alhyange.com

23, rue Stanislas Dupuy de Lôme
56000 **VANNES**
02.57.62.06.22
bzh@alhyange.com

GRAND-OUEST / CENTRE

1, boulevard Paul Chabas
44100 **NANTES**
02.85.67.00.80
grandouest@alhyange.com

51-53, avenue du Grésillé
49000 **ANGERS**
02.52.35.21.23
valdeloire@alhyange.com

64, rue Michaël Faraday
37170 **CHAMBRAY-LÈS-TOURS**
02.46.65.58.60
valdeloire@alhyange.com

IDF/ NORD-EST

17, passage Saint-Bernard
75011 **PARIS**
01.43.14.29.01
acoustique@alhyange.com

SUD-EST

102, rue Masséna
69006 **LYON**
04.82.53.89.69
acoustique@alhyange.com

www.alhyange.com

PROJET DE CONSTRUCTION DE LOGEMENTS

NEXITY

Quai de Gironde – Avenue Corentin Cariou
75019 - PARIS

DIAGNOSTIC VIBRATOIRE

DESTINATAIRE

NEXITY
19 rue de Vienne
75801 PARIS

RÉDACTION : Alexandre BILLOT
APPROBATION : Omar CHAHBAR

RÉFÉRENCE : AL 23/26087
INDICE : Ind1
DATE : 19/07/2023

SUIVI DES REVISIONS

Indice	Date	Description des révisions.
Ind0	13/07/2023	Rapport initial de diagnostic vibratoire
Ind1	19/07/2023	Mise à jour du rapport

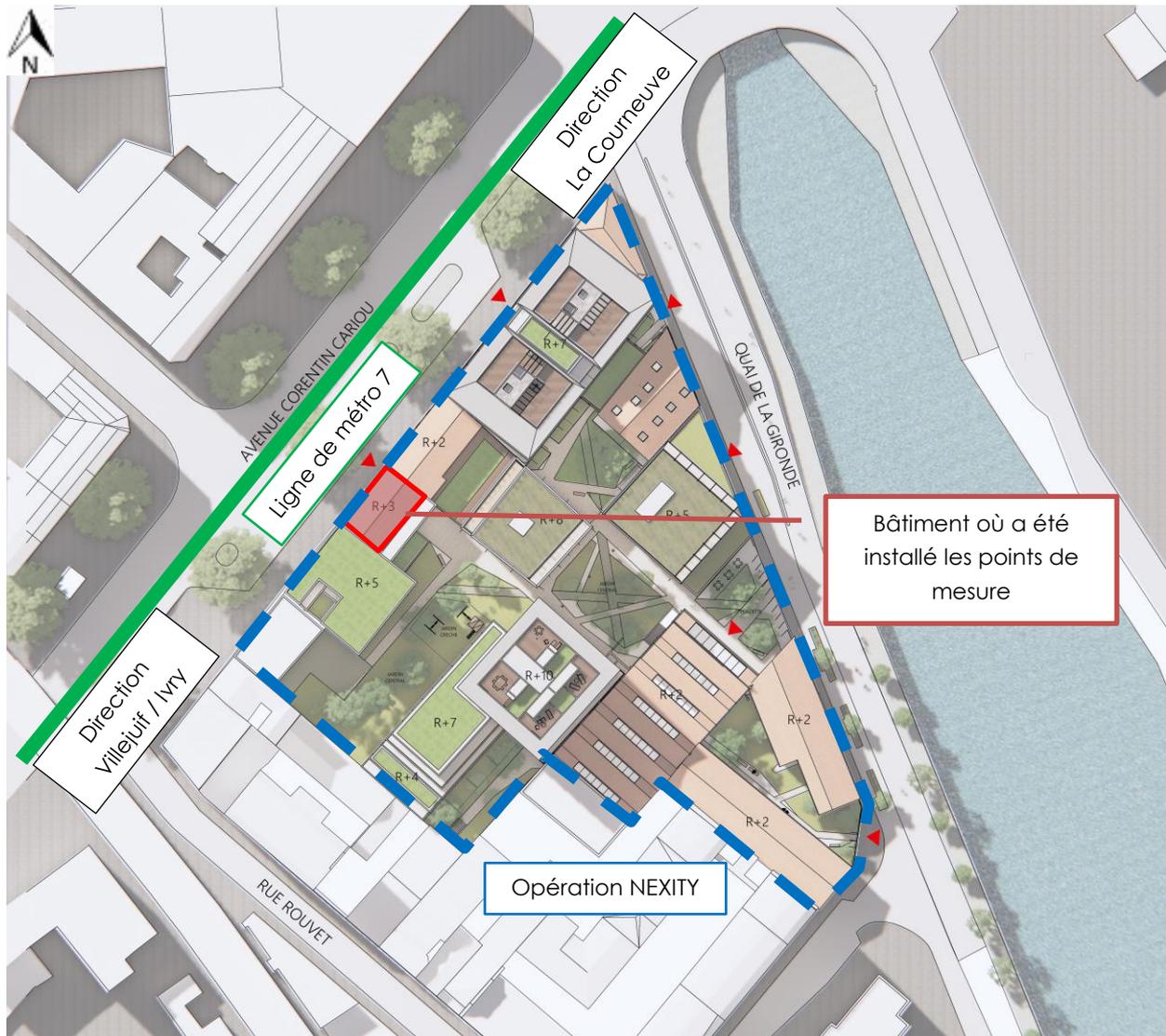
SOMMAIRE

1. OBJET	3
2. CONTEXTE REGLEMENTAIRE ET OBJECTIFS	5
2.1. Préambule	5
2.2. Réglementations.....	5
2.3. Normes.....	5
2.4. Objectifs proposés.....	6
3. RAPPEL SUR LA VIBRATION ET LE BRUIT TRANSMIS PAR LE SOL	9
3.1. Principe physique de la propagation des vibrations	9
3.2. Détails du système source/propagation/récepteur	9
3.3. Niveaux vibratoires de référence	10
4. METHODOLOGIE	11
4.1. Mesures de diagnostic.....	11
4.2. Calculs des niveaux de vitesse vibratoire et niveaux de bruit aérien rayonné	11
4.3. Comparaison aux objectifs proposés	12
5. PRESENTATION DU SITE ET DES MESURES	13
5.1. Descriptif du site et des points de mesure	13
5.2. Opérateurs et date des mesures	15
5.3. Matériel de mesure	15
5.4. Trafic ferroviaire lors de la campagne de mesure	15
6. RÉSULTATS DE LA CAMPAGNE DE MESURES	16
6.1. Évolution temporelle de la vitesse vibratoire en mm/s lors du passage d'un train	16
6.2. Niveaux vibratoires mesurés lors des passages de train.....	17
6.3. Commentaires.....	18
7. CALCULS PRÉVISIONNELS ET COMPARAISONS AUX OBJECTIFS	20
7.1. Estimation du niveau sonore induit par transmission vibratoire	20
7.2. Synthèse des résultats – Comparaison aux objectifs	25
8. GRANDES ORIENTATIONS DE SOLUTIONS	26
8.1. Orientations de solutions	26
8.2. Points d'attention et mise en œuvre	27
9. CONCLUSIONS	28
10. ANNEXES	29
10.1. Matériel utilisé	30

1. OBJET

Dans le cadre d'un projet de construction de logements sur une parcelle située Avenue Corentin Cariou à Paris (75), NEXITY missionne le bureau d'études acoustiques ALHYANGE pour la réalisation d'un diagnostic permettant d'évaluer la gêne vibratoire liée aux passages des métros de la ligne 7 à proximité immédiate du site.

Le présent diagnostic a pour but de quantifier les niveaux vibratoires et acoustiques au niveau des bâtiments du projet.



Plan masse

Le site est actuellement composé de plusieurs bâtiments d'habitation et de commerces. Un niveau de sous-sol est présent dans les bâtiments du projet.

La mission se décompose suivant les étapes suivantes :

- Caractérisation des niveaux vibratoires propagés par le sol aux passages de métros, en 4 points de mesure, dans les bâtiments existants ;
- Estimation des niveaux sonores prévisionnels induit par rayonnement sur le futur bâtiment ;
- Le cas échéant, orientations de solutions relatives au traitement vibratoire des nouveaux bâtiments afin de préserver la quiétude des futurs occupants.

Ce document présente les résultats du diagnostic vibratoire réalisé le 03 juillet 2023 en 4 points de mesure ainsi que les grandes orientations de solutions pour préserver la quiétude des futurs occupants.

Il n'appartient pas à ALHYANGE d'effectuer les calculs de dimensionnement structurel, ni de vérifier la bonne tenue des ouvrages construits suite aux modifications structurelles apportées par d'éventuels traitements anti vibratiles.

2. CONTEXTE REGLEMENTAIRE ET OBJECTIFS

2.1. Préambule

Il n'existe pas de réglementation concernant la vibration dans les bâtiments neufs ou existants.

Cependant, des normes recommandent des seuils à respecter afin de :

- 1) Ne pas occasionner de **dommages sur les structures des bâtiments** (circulaire du 23/07/1986) ;
- 2) Préserver la quiétude des occupants en **limitant les niveaux vibratoires perçus** (perception tactile) dans le futur bâtiment ;
- 3) Préserver la quiétude des occupants en **limitant les niveaux de bruit aérien rayonné** par la mise en vibration des parois du futur bâtiment.

Ces normes sont listées ci-dessous, ainsi que la réglementation acoustique applicable aux logements neufs.

2.2. Réglementations

- **Arrêté du 30 juin 1999** relatif aux caractéristiques acoustiques des bâtiments d'habitation ;
- **Circulaire du 23 juillet 1986** relative aux vibrations mécaniques émises dans l'environnement par les installations classées pour la protection de l'environnement.

2.3. Normes

- **Norme ISO 2631 (1989 & rév. 2003) Partie 2** : Vibrations et chocs mécaniques : Evaluation de l'exposition des individus à des vibrations globales du corps - Vibrations dans les bâtiments (1 Hz à 80 Hz) ;
- **Norme ISO 14837 (2006) Partie 1** : Vibrations mécaniques : Vibrations et bruits initiés au sol dus à des lignes ferroviaires - Directives générales ;
- **Norme ISO 14837 (2017) Partie 31** : Vibrations mécaniques : Vibrations et bruits initiés au sol dus à des lignes ferroviaires - Lignes directrices de mesurages in-situ pour l'évaluation de l'exposition des individus dans les bâtiments ;
- **Norme ISO 4866 (2010) Partie 1** : Vibrations et chocs mécaniques : Vibrations des structures fixes - Lignes directrices pour le mesurage des vibrations et l'évaluation de leurs effets sur les structures ;
- **Norme DIN 4150 (2016) Partie 3** : Vibrations dans les bâtiments : Effets des vibrations sur les constructions ;
- **Norme ISO 10137 (2007)** : Bases du calcul des constructions : Aptitude au service des bâtiments et des passerelles sous vibrations ;
- **Norme NF S 30-010 (1974)** : Acoustique : Courbes NR d'évaluation du bruit ;

2.4. Objectifs proposés

- **Domages aux structures - Circulaire du 23 juillet 1986**

Dans le cas de niveaux extrêmement élevés de vibrations transmises par le sol ou d'un nombre important de cycles de vibration de grande amplitude, des risques de dommages aux structures des bâtiments peuvent apparaître. On distingue deux types d'effets des vibrations sur les constructions : les effets directs résultant de la mise en résonance des éléments de structure (fissuration, etc.) et les effets indirects par densification du sol.

Les critères pouvant être pris en référence sont ceux issus des règles techniques annexées à la circulaire du 23 juillet 1986 relative aux vibrations mécaniques émises dans l'environnement par les installations classées.

Elle distingue trois éléments importants intervenant dans la réaction d'une construction sous les effets des vibrations mécaniques :

- **La catégorie de la construction** classée en 2 catégories principales : bâtiments anciens ou traditionnels, bâtiments et constructions modernes ;
- **Les fondations** (pieux liaisonnés en béton armé/acier, murs de soutènement légers sans fondation, etc.) ;
- **La nature du terrain** (roches, terrain horizontal et sec, terrain en pente et humide, etc.).

Cette circulaire précise des critères vibratoires de référence selon le type de construction rencontré et la nature de la vibration :

- **Type de construction** : constructions résistantes, constructions sensibles et constructions très sensibles ;
- **Nature des vibrations** : vibrations continues ou assimilées et vibrations impulsionnelles à impulsions répétées.

Selon les types de bâtiments et de vibrations, des valeurs maximales sont donc définies afin de garantir l'intégrité des constructions dans leur environnement. Elles sont résumées ci-dessous pour les différentes unités et références utilisées :

Type de vibrations	Intervalle de fréquences	Vitesse vibratoire Unités physiques en mm/s			Niveau de vitesse vibratoire en dBv (réf. 5×10^{-8} m/s)		
		Résistant	Sensible	Très sensible	Résistant	Sensible	Très sensible
Vibration continue ou assimilée	4 Hz à 8 Hz	5.0	2.5	2.0	100.0	94.0	92.0
	8 Hz à 30 Hz	6.0	5.0	3.0	101.0	100.0	95.0
	30 Hz à 100 Hz	8.0	6.0	4.0	104.0	101.0	98.0
Vibration impulsionnelle à impulsions répétées	4 Hz à 8 Hz	7.5	6.0	4.0	103.0	101.0	98.0
	8 Hz à 30 Hz	12.5	7,5	5.0	108.0	103.0	100.0
	30 Hz à 100 Hz	15.0	12,5	9.0	109.0	108.0	105.0

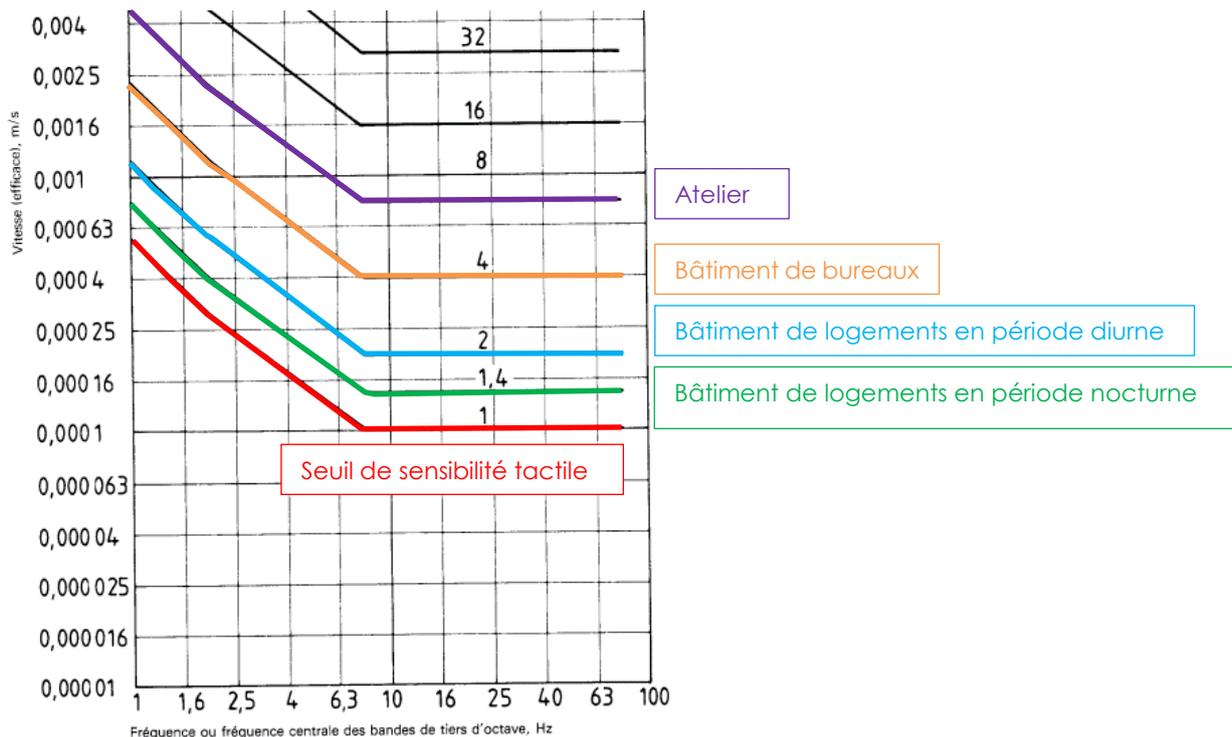
L'objectif retenu, en première approche, est le plus contraignant, correspondant à une vitesse vibratoire ≤ 2.0 mm/s, soit un **niveau de vitesse vibratoire $L_v \leq 92$ dBv (réf. 5×10^{-8} m/s)**.

Nota : Ces niveaux de vibration sont 10 à 100 fois plus élevés que ceux qui sont usuellement associés à la perception humaine.

• **Perception des vibrations dans les bâtiments – Norme ISO 2631-2**

La **norme ISO 2631-2 : 1989 & rév. 2003** et le manuel **ASHRAE** (American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers) proposent différents seuils de vitesse vibratoire à ne pas dépasser suivant l'usage d'un bâtiment afin de limiter la perception tactile des vibrations.

Ces seuils sont définis vis à vis d'un gabarit fréquentiel correspondant au seuil de sensibilité tactile, corrigé par un facteur en fonction de l'usage du bâtiment étudié. La figure ci-dessous présente les seuils de sensibilité en vitesse de vibration (m/s) en fonction de la fréquence (en Hz) à ne pas dépasser suivant l'usage du bâtiment.



Entre 8 Hz et 100 Hz, la valeur de vitesse vibratoire efficace est constante. Le tableau ci-dessous présente les seuils de niveau de vitesse vibratoire (en dBv) à respecter entre 8 Hz et 100 Hz (valeur constante) suivant l'usage d'un bâtiment :

Critères OU Usages des bâtiments	Seuil à ne pas dépasser
	Niveau de vitesse vibratoire L_v en dBv (réf. 5×10^{-8} m/s)
Seuil de sensibilité tactile	66,0
Logement période diurne	72,0 à 78,0
Logement période nocturne	69,0
Bureau	78,0
Atelier	84,0

L'objectif retenu, en première approche, correspond au seuil de sensibilité tactile : $L_v \leq 66$ dBv.

- **Bruit aérien rayonné par la mise en vibration des parois du bâtiment**

La perception la plus contraignante est le bruit aérien généré par le rayonnement des parois du bâtiment soumis aux excitations des sources vibratoires.

Note importante : Ce bruit ne concerne que le niveau sonore rayonné par les parois soumises aux vibrations, et n'inclut pas le bruit aérien extérieur potentiellement transmis via la façade.

Dans le cadre du transport ferroviaire, les nuisances se situent principalement en basses fréquences entre 5 Hz et 160 Hz, ce qui se traduira donc par l'apparition d'un bruit de type « grondement sourd » lors du rayonnement des parois. Il est à noter que le spectre acoustique de ces bruits est directement lié aux modes constructifs et matériaux de construction mis en œuvre.

Aucune réglementation n'existe pour ce bruit aérien rayonné issu des vibrations. Toutefois, des critères sont proposés ci-dessous sur base des objectifs de confort usuels recherchés dans les bâtiments selon leur usage.

- **Logements :**

- o Sur la base de l'arrêté du 23/07/2013 (isolement acoustique des bâtiments d'habitation dans les secteurs affectés par le bruit), le niveau de bruit à l'intérieur des pièces principales et cuisines doit être : **LAeq (6h-22h) ≤ 35 dB(A) en période diurne** et **LAeq (22h-6h) ≤ 30 dB(A) en période nocturne** ;
- o Des critères de confort acoustique sont proposés sur la base des courbes NR et sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Courbe NR	Perception acoustique
NR 20	Condition excellente d'écoute Type de local : salles de spectacles, studios d'enregistrement, auditorium
NR 25	Très bonnes conditions d'écoute Type de local : cinéma, théâtres, églises, salles de conférence
Entre NR 20 et NR 30	Condition de séjour, de repos, de sommeil Type de local : maisons d'habitation, hôtel, appartements, bibliothèques, musées

Nota : Les courbes NR correspondent à un degré de confort acoustique pour chaque bande d'octaves.

Sur la base des informations détaillées ci-dessus, nous proposons de retenir les objectifs suivants concernant l'impact sonore maximum dans les logements pour le bruit rayonné issu des vibrations au passage d'un train :

- **Niveau global maximum : 30 dB(A) ;**
- **Niveau spectral maximum : NR 25.**

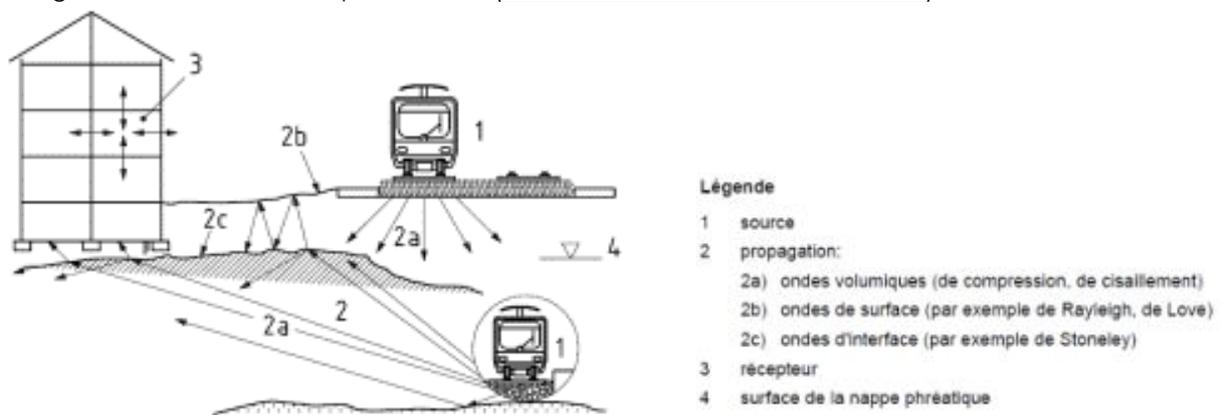
3. RAPPEL SUR LA VIBRATION ET LE BRUIT TRANSMIS PAR LE SOL

3.1. Principe physique de la propagation des vibrations

Les lignes ferroviaires sont une source de vibrations trouvant ses origines dans le contact du rail et des roues du train. Ces vibrations sont transmises et modifiées au cours de leur chemin de propagation. Ce chemin de propagation peut être généralement décomposé en trois étapes :

- Du rail, source de la vibration, vers le sol ;
- Propagation dans le sol ;
- Du sol vers le bâtiment récepteur.

La figure ci-dessous illustre le phénomène (*tiré de la norme NF ISO 14837-1 2005*).



3.2. Détails du système source/propagation/récepteur

- **Source**

Les mécanismes d'excitation en jeu sont principalement :

- Le déplacement de la voie et de son support dû au déplacement de la charge du train en mouvement ;
- Les irrégularités de la surface de contact rail - roue (rugosité présente dès la fabrication ou apparaissant au cours du temps avec l'usure du rail) ;
- Les discontinuités de la voie ;
- L'instabilité du train sur la voie lors d'un passage en courbe (déplacement en crabes de wagons).

- **Propagation**

La transmission de la vibration dépend de la nature du sol dans lequel elle se propage. Les différentes strates géologiques que l'onde est amenée à rencontrer sur son chemin peuvent provoquer des réflexions susceptibles d'atténuer ou a contrario d'amplifier sa transmission à la structure réceptrice.

Note : La présence de couches différentes peut faire prévaloir certaines fréquences

La composition de ces différents milieux, qu'ils soient par exemple chargés en eau ou encore très rocailloux, influera directement sur l'amortissement ou la diffraction des ondes vibratoires.

Ainsi, dans certaines situations, la distance entre la source et le récepteur est un paramètre important à faire varier pour étudier la propagation.

- **Récepteur (bâtiment)**

Des variations des ondes vibratoires (en amplitude et en fréquence) au niveau de l'interface Sol / Fondations du bâtiment sont également possibles. La réponse des éléments structurels (plancher, mur, etc.) en fonction de la fréquence joue un rôle dans l'atténuation ou l'amplification de la transmission de la vibration.

Un bruit aérien est généré par le rayonnement des parois ; son amplitude varie spatialement et dépend du facteur de rayonnement de la structure du bâtiment.

3.3. Niveaux vibratoires de référence

Les niveaux de référence pris en compte dans les calculs et issus des normes sont les suivants :

- Niveau de vitesse vibratoire de référence V_0 : 5×10^{-8} m/s
- Niveau d'accélération vibratoire de référence a_0 : 1×10^{-6} m/s²

4. METHODOLOGIE

4.1. Mesures de diagnostic

Des appareils de mesure vibratoire ont été placés en différents points de la parcelle du projet. Ces appareils mesurent des vitesses vibratoires (en m/s), selon 3 directions (x, y et z).

Les vitesses vibratoires mesurées pendant les passages de trains sont exprimées en niveaux de vitesse vibratoire (L_v , en dBv) sur la base d'une vitesse vibratoire de référence $v_0 = 5 \times 10^{-8}$ m/s.

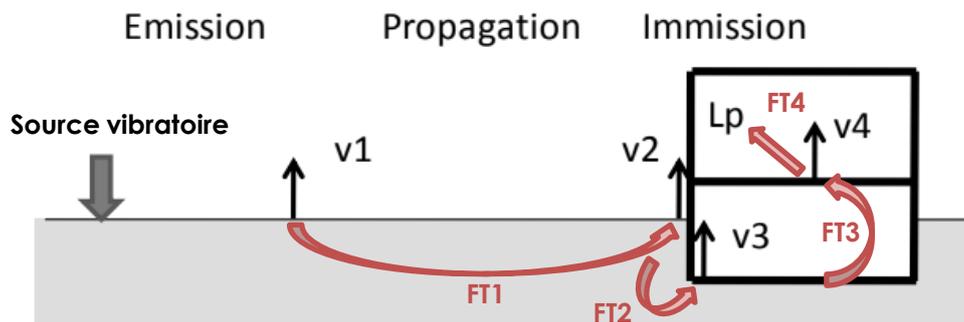
4.2. Calculs des niveaux de vitesse vibratoire et niveaux de bruit aérien rayonné

Un calcul permet d'estimer :

- Les niveaux de vitesse vibratoire prévisibles dans les futurs bâtiments ;
- Les niveaux de bruit aérien prévisibles rayonnés par la mise en vibration des parois du futur bâtiment.

Ces calculs dépendent des paramètres suivants :

- **Niveau de vitesse vibratoire généré par la source** (voie ferrée par exemple) ;
- **FT1** : fonction de transfert correspondant à la **propagation dans le sol** entre la source et l'emplacement du projet ;
- **FT2** : Fonction de transfert **sol – fondation** (correspond généralement à une atténuation) ;
- **FT3** : Fonction de transfert **fondation – plancher du bâtiment** (correspond généralement à une amplification due aux modes de résonance du plancher) ;
- **FT4** : Fonction de transfert correspondant au calcul du **bruit aérien généré par la mise en vibration des planchers/parois** du bâtiment.



Extrait du rapport RIVAS – D1.6 – Août 2012

Selon les accès in situ, la présence de bâtiments existants et les types de sols rencontrés, la localisation des points de mesure de diagnostic conduit à mesurer des vitesses vibratoires correspondant à v_1 (à proximité de la source vibratoire), v_2 (à proximité immédiate du futur bâtiment) ou v_3 (si des fondations sont déjà présentes). **Les points de mesure ayant été installés dans le bâtiment existant, les vitesses vibratoires mesurées correspondent à v_4 .**

4.3. Comparaison aux objectifs proposés

Les niveaux calculés précédemment sont ensuite comparés aux seuils proposés au paragraphe 2.4 :

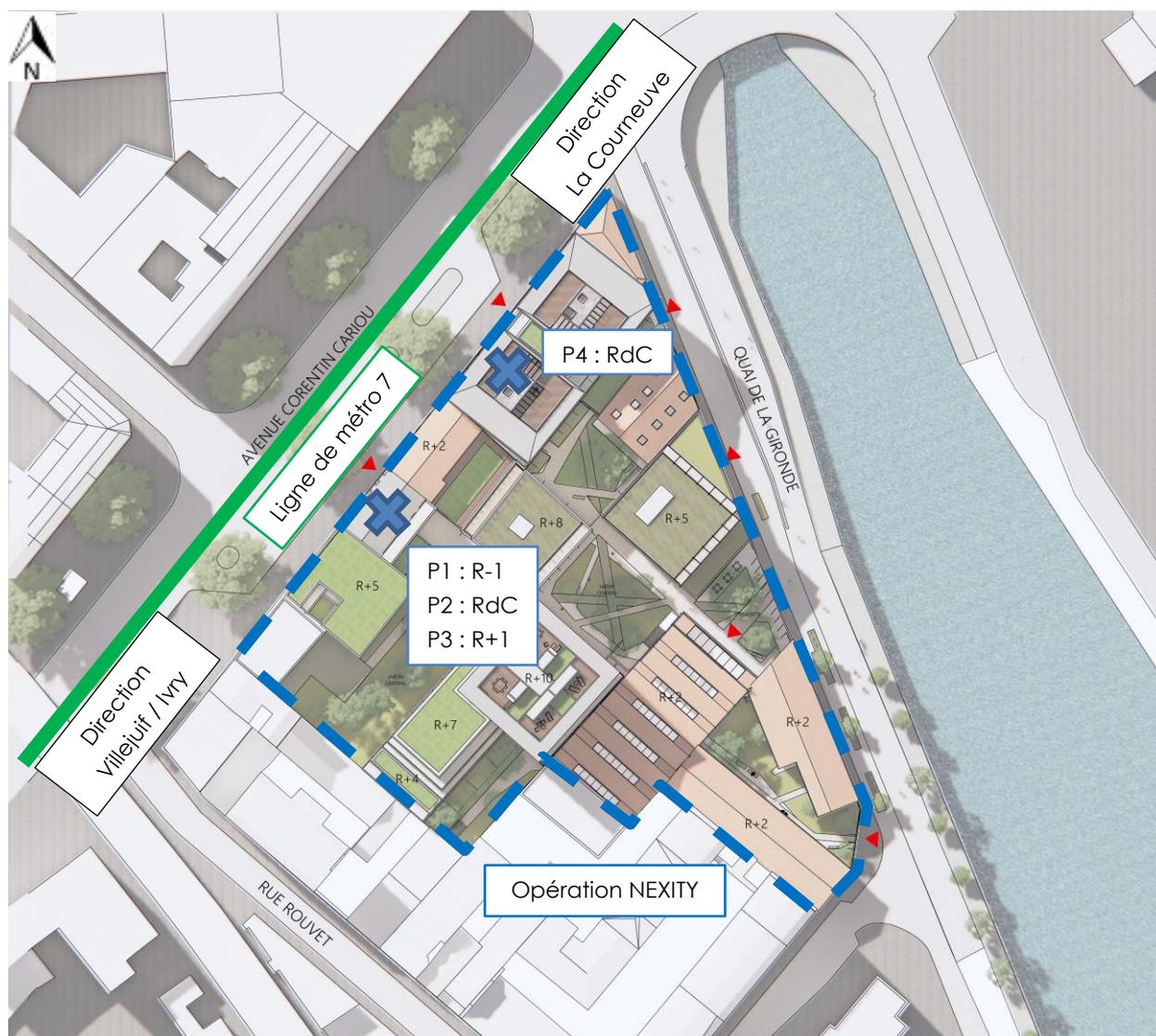
- 1) Comparaison des niveaux de vitesse vibratoire avec les **seuils de dommages sur les structures** des bâtiments ;
- 2) Comparaison des **niveaux de vitesse vibratoire** Lv4 avec les seuils proposés de perception des vibrations dans les bâtiments ;
- 3) Comparaison des **niveaux de bruit aérien rayonné** Lp avec les seuils proposés.

5. PRESENTATION DU SITE ET DES MESURES

5.1. Descriptif du site et des points de mesure

Les plans ci-dessous présentent le plan masse du projet, ainsi qu'un plan de repérage des points de mesure.

Tous les points de mesure sont positionnés dans des bâtiments existants, sur différents revêtements de sol. Le bâtiment où a été installé les point 1, 2 et 3 est conservé en l'état. Les résultats permettront de déterminer la nécessité de désolidariser les nouveaux bâtiments avoisinants.



Plan masse

Les points de mesure ont été positionnés de manière à appréhender les passages de trains au niveau des bâtiments du site :

- 1) Le Point 1, positionné sur une dalle en béton brut, au **R-1** d'un bâtiment existant, permet de mesurer les vibrations au niveau d'un **bâtiment existant**. Ce point de mesure est **très peu perturbé** par le trafic routier Avenue Corentin Cariou ou tout autre source vibratoire extérieure ;

- 2) Le Point 2, positionné sur un plancher carrelé, **au RdC**, juste au-dessus du Point 1, permet de mesurer les vibrations au niveau d'un **bâtiment existant**. Ce point de mesure est en partie **perturbé** par le trafic routier Avenue Corentin Cariou ;
- 3) Le Point 3, positionné sur un plancher carrelé, **au R+1**, juste au-dessus du Point 2, permet de mesurer les vibrations au niveau d'un **bâtiment existant**. Ce point de mesure est en partie **perturbé** par le trafic routier Avenue Corentin Cariou ;
- 4) Le Point 4, positionné sur un sol PVC, **au RdC**, permet de mesurer les vibrations au niveau d'un **bâtiment existant**. Ce point de mesure est en partie **perturbé** par le trafic routier Avenue Corentin Cariou ;

Le tableau ci-dessous présente les photographies des différents points de mesure :



5.2. Opérateurs et date des mesures

Les mesures ont été réalisées par Alexandre BILLOT, Rodrigues BEUNE et Omar CHAHBAR le lundi 03 juillet 2023.

5.3. Matériel de mesure

Le matériel de mesure est présenté en annexe.

Les mesures ont été réalisées à l'aide de géophones triaxiaux, les réglages étaient les suivants :

- Mesures dans les bandes de tiers d'octave de 3,15 Hz à 315 Hz ;
- Mesurage de la vitesse de déplacement en mm/s.

5.4. Trafic ferroviaire lors de la campagne de mesure

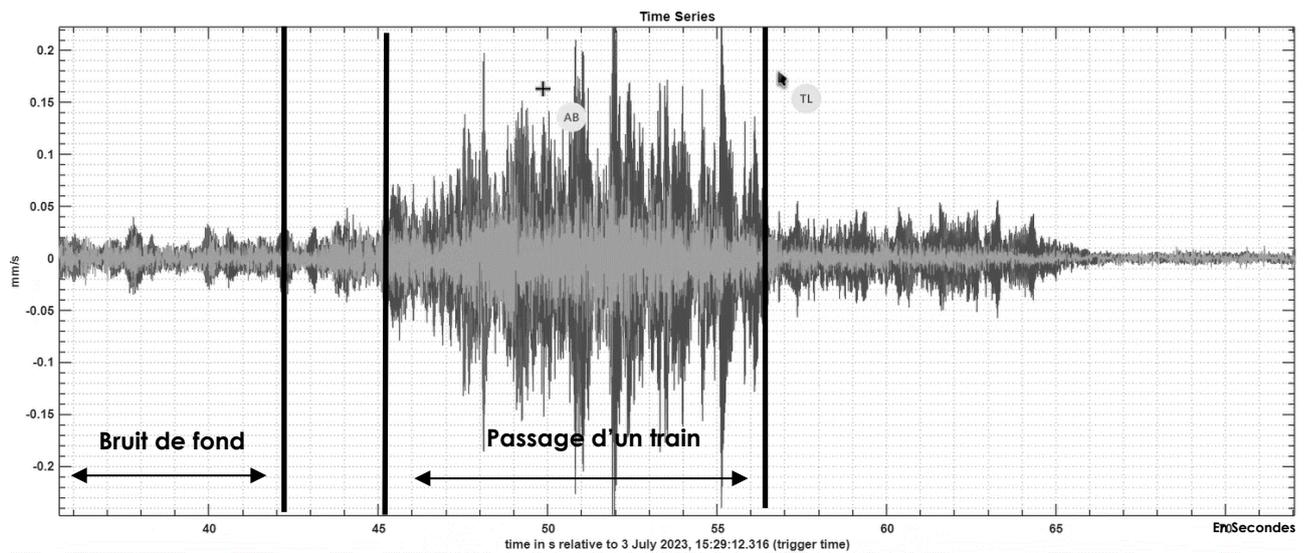
Le tableau ci-dessous présente les passages de train retenus au point 1 lors de l'intervention du lundi 03 juillet de 14h49 à 15h29.

N°	Horaire de passage	Direction	Type de train
01	14h49	Villejuif / Ivry	Métro 7
02	14h50	La Courneuve	Métro 7
03	14h53	Villejuif / Ivry	Métro 7
04	14h57	La Courneuve	Métro 7
05	14h59	Villejuif / Ivry	Métro 7
06	15h01	Villejuif / Ivry	Métro 7
07	15h05	La Courneuve	Métro 7
08	15h11	Villejuif / Ivry	Métro 7
09	15h15	Villejuif / Ivry	Métro 7
10	15h18	La Courneuve	Métro 7
11	15h19	Villejuif / Ivry	Métro 7
12	15h21	Villejuif / Ivry	Métro 7
13	15h29	La Courneuve	Métro 7

6. RÉSULTATS DE LA CAMPAGNE DE MESURES

6.1. Évolution temporelle de la vitesse vibratoire en mm/s lors du passage d'un train

A titre informatif, nous présentons ci-dessous l'évolution temporelle des vitesses vibratoires suivant les 3 directions de propagation (X, Y et Z) lors du passage d'un train.



Commentaire :

L'augmentation de la vitesse vibratoire vis-à-vis du bruit de fond lors du passage d'un train est clairement visible.

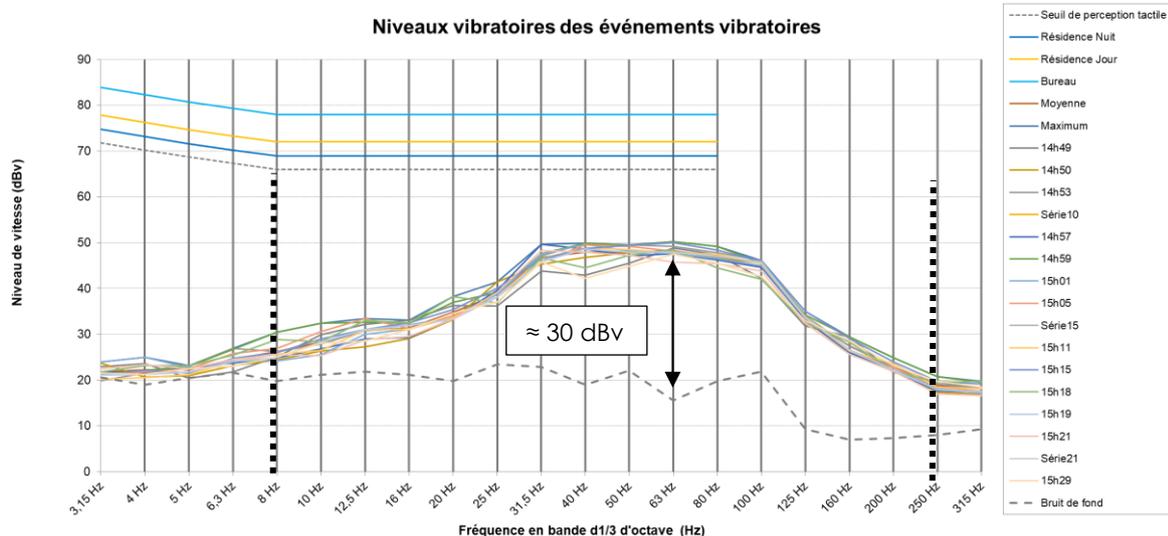
6.2. Niveaux vibratoires mesurés lors des passages de train

Les graphiques ci-dessous présentent les niveaux de vibrations en dBv par bande de tiers d'octave, pour chaque point de mesure :

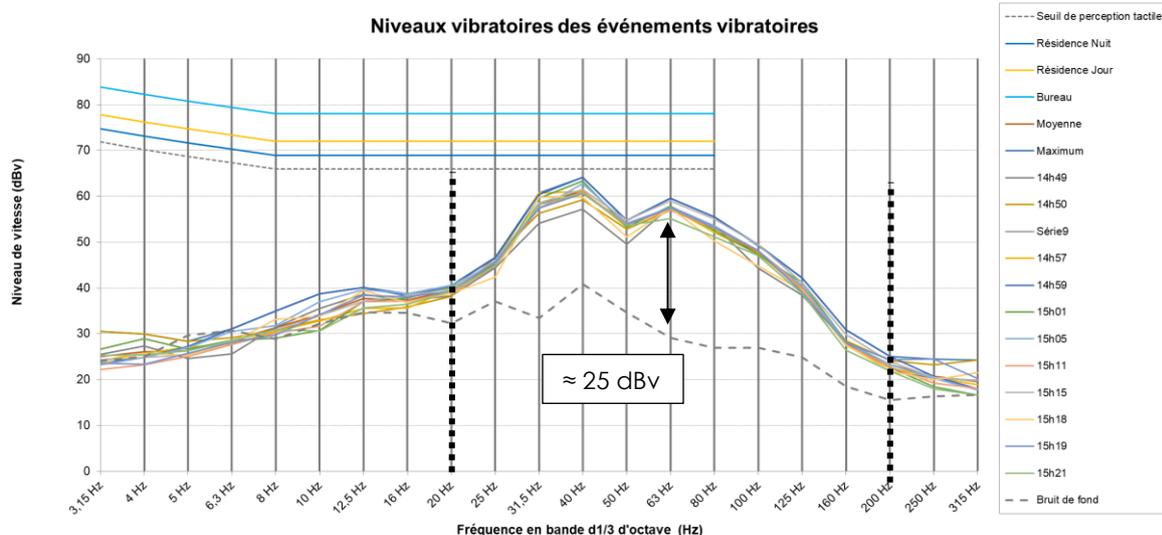
- **Lors de chaque passage** d'un train (légendé avec son horaire de passage) ;
- **Moyenne** : en valeur moyenne sur l'ensemble des passages de train ;
- **Maximum** : pour le passage de train ayant la plus grande amplitude vibratoire ;
- **Bruit de fond** : en l'absence de passage de train.

Les différents seuils présentés au paragraphe 2.4 (seuil de perception tactile, résidence nuit et jour, bureau) sont également représentés ci-dessous pour comparaison avec les objectifs dans le futur bâtiment.

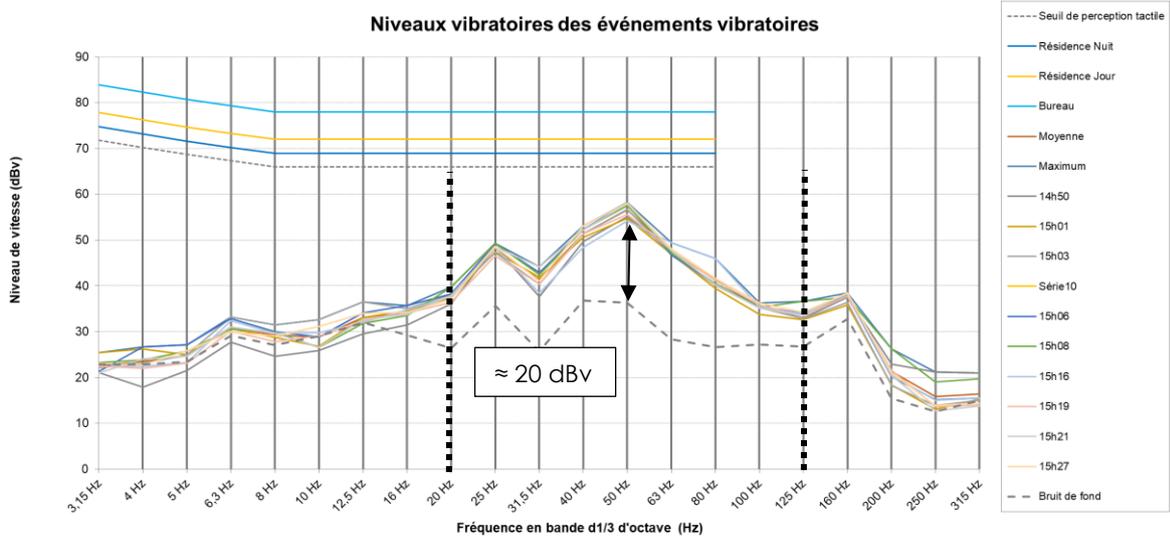
• Point 1 (Dalle brute R-1)



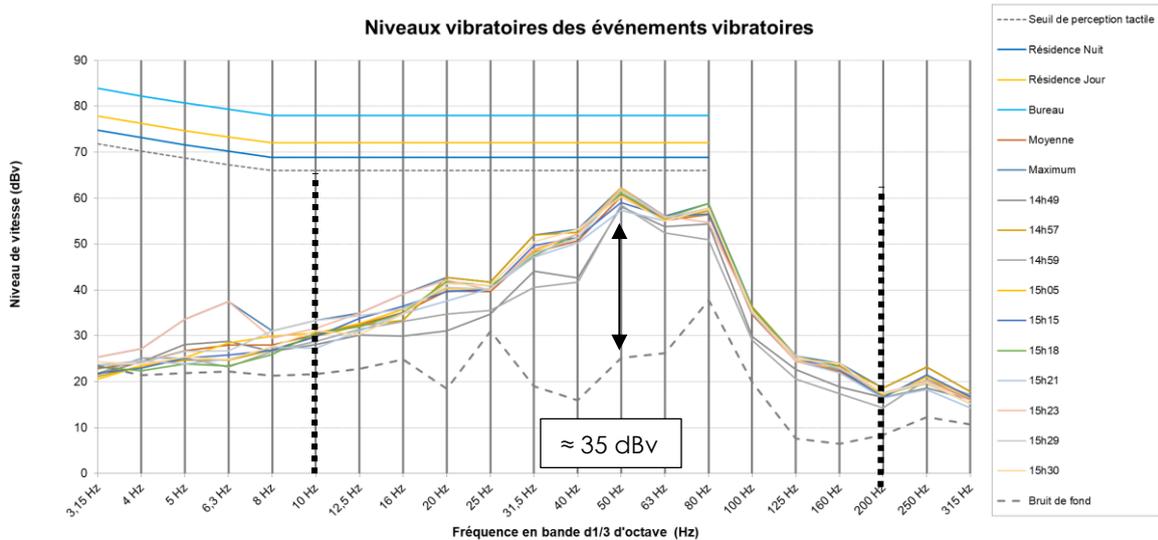
• Point 2 (Carrelage RdC)



• **Point 3 (Carrelage R+1)**



• **Point 4 (PVC RdC)**



6.3. Commentaires

- Rappel : Les niveaux de vitesse vibratoires présentés ci-dessus sont issus des mesures réalisées sur le sol de bâtiments existants (dalle en béton brut) sur la parcelle existante. **Ils correspondent aux niveaux de vitesse vibratoire prévisibles dans les futurs bâtiments avoisinants ;**
- Pour le point 1 au R-1, les niveaux mesurés sur la gamme de fréquence **8 Hz – 250 Hz** émergent du bruit de fond de **5 à 30 dBv ;**
- Le bruit de fond mesuré sur les autres points de mesure est élevé (de 20 à 30 dBv) en raison du trafic routier. De plus, des pics de niveaux vibratoires sont présents dans le bruit de fond et lors des passages de trains. Ces perturbations seront prises en compte dans l'analyse des niveaux sonore induit par transmission vibratoire ;

- Les niveaux vibratoires moyens estimés sur tous les points **sont très inférieurs aux seuils de dommages aux structures** (seuil de risque à partir de 92 dBv) ;
- Pour l'ensemble des points de mesure, les niveaux vibratoires **moyens** estimés sur plusieurs passages de train sont **inférieurs aux seuils vibratoires de perception tactile** définis dans la norme ISO 2631-2 ;

7. CALCULS PRÉVISIONNELS ET COMPARAISONS AUX OBJECTIFS

7.1. Estimation du niveau sonore induit par transmission vibratoire

L'objectif de cette partie est d'estimer le niveau sonore que vont rayonner les différentes parois du bâtiment dans les futurs logements, lorsqu'il sera soumis aux vibrations induites par les passages de trains, caractérisées lors du diagnostic.

Une analyse en niveau sonore global en dB(A) puis une analyse spectrale par bande d'octave sont réalisées ci-après.

- **Hypothèses de calcul**

Le niveau sonore généré dans un local est estimé sur base des niveaux vibratoires mesurés lors du diagnostic in situ, et en fonction de la structure du futur bâtiment et du volume du local (formule de Vèr et Holmer).

A partir des hypothèses suivantes, le niveau sonore particulier induit par les vibrations engendrées par le passage des trains est estimé dans une chambre type.

Les hypothèses d'étude sont les suivantes :

- 1) Local de 9 m² et de hauteur sous plafond 2,5 m ;
- 2) Le plancher bas et le plancher haut sont constitués d'une dalle en béton plein ;
- 3) Façade et refends de type voile béton ;
- 4) Pas d'amplification ou d'atténuation de la vibration entre deux étages ;
- 5) Pas de prise de compte de bruit de fond déjà existant dans le bâtiment.

- **Niveaux sonores globaux rayonnés par le bâtiment**

Le tableau suivant présente l'estimation du niveau sonore global rayonné, lors du passage de trains (en dB(A)).

Point de mesure	Niveaux sonores en dB(A)		
	Niveau sonore global rayonné – valeur moyenne	Objectif de niveau de pression rayonné	Dépassement
1	36 dB(A)	≤ 30 dB(A)	+6 dB(A)
2	46 dB(A)*	≤ 30 dB(A)	*
3	39 dB(A)	≤ 30 dB(A)	+9 dB(A)
4	37 dB(A)	≤ 30 dB(A)	+7 dB(A)

(*) Voir commentaires

Commentaires :

Selon les mesures de vibration effectuées à l'emplacement du projet, les niveaux sonores globaux rayonnés par le bâtiment lors du passage des trains seraient :

- Le niveau sonore calculé au **point 2** est nettement supérieur aux autres niveaux sonores calculés dans le même bâtiment (P1 et P3). L'analyse des niveaux vibratoires et du bruit de fond permet d'affirmer que les mesures ont été fortement perturbés pour ce point. La valeur du niveau sonore rayonné est donné ici à titre indicatif.
- Dans les **bâtiments de logements, supérieurs à l'objectif** de 30 dB(A) retenu (dépassement de l'objectif **de l'ordre de 6 à 9 dB(A)**).

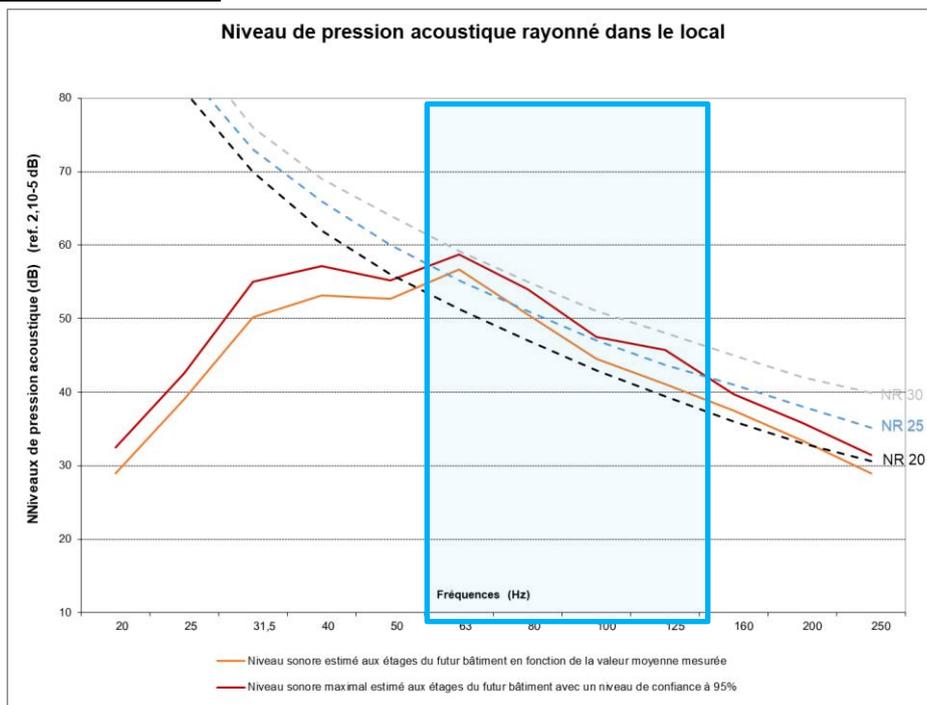
Un tel niveau de bruit lors d'un passage de train peut engendrer une **nuisance dans les logements**, à toute heure de la journée et de la nuit.

- **Niveaux sonores par bande de 1/3 d'octave rayonnés par le bâtiment**

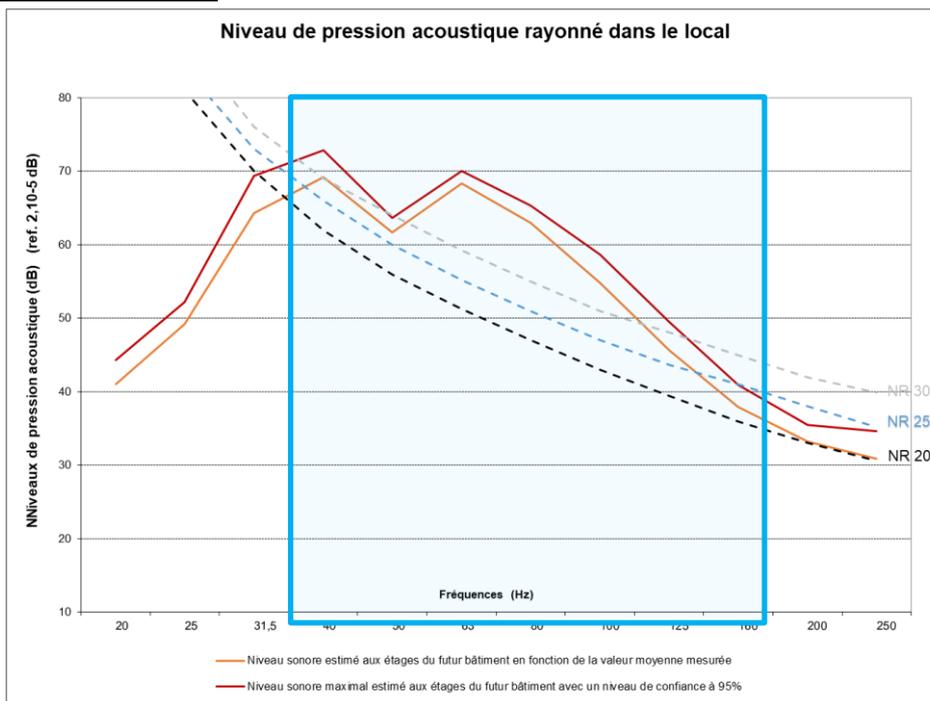
Les graphiques ci-dessous présentent les niveaux sonores rayonnés par bande de tiers d'octave.

Les niveaux sonores maximums mesurés dépassant le gabarit NR 25 (niveau sonore maximum recommandé pour les logements) sont encadrés en bleu.

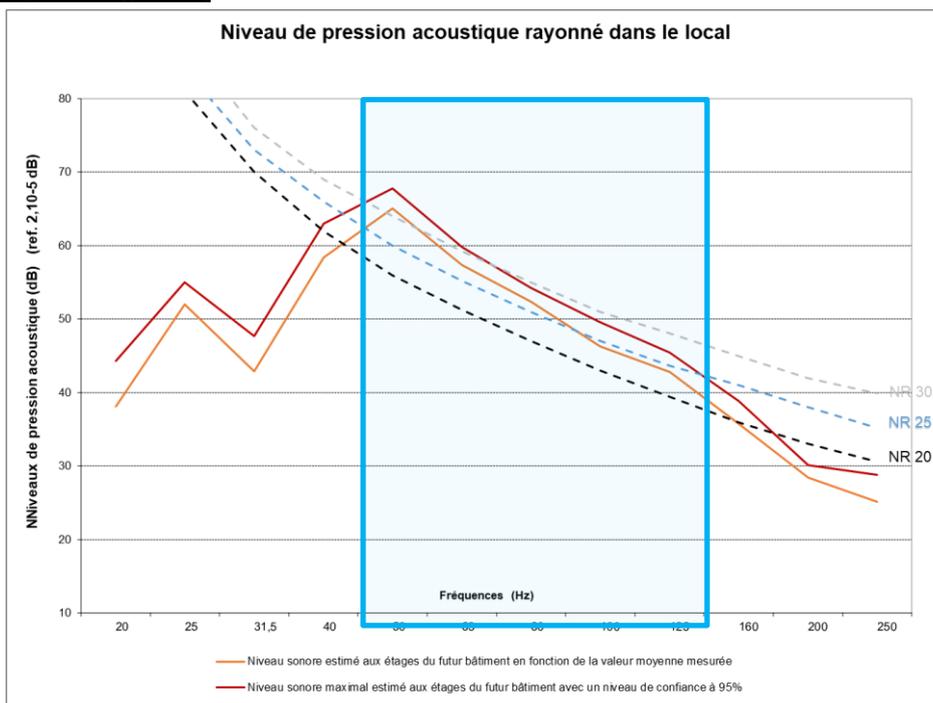
- **Point 1 (Dalle béton R-1)**



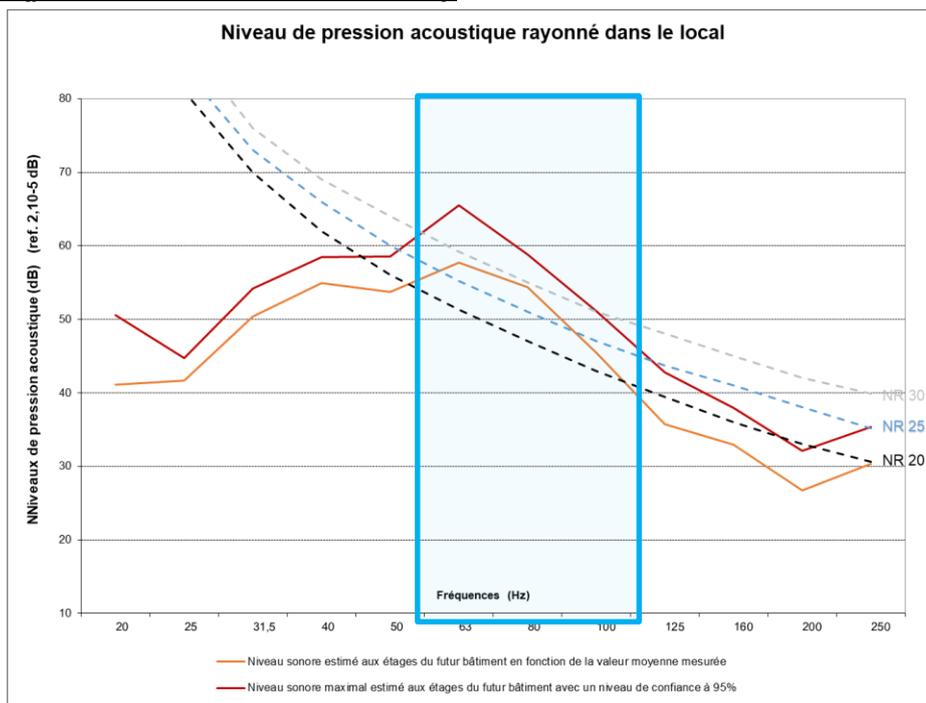
- **Point 2 (Carrelage RdC)**



- **Point 3 (Carrelage R+1)**



- **Point 4 (plancher bas RdC, ≈ 34m des voies).**



Commentaires :

- Les spectres du niveau de pression acoustique obtenu aux différents points de mesures **dépassent le gabarit fréquentiel défini par la courbe NR 25** (objectif pour les logements) ;

- **Commentaires**

Note : Les niveaux de vibrations présentés dans ce rapport correspondent à une situation donnée, que nous avons considéré comme représentative. Ils sont cependant sujets à des variations, en fonction notamment de :

- L'état de surface des rails et des roues (incidence de l'ordre de ± 5 dB) ;
- La charge ou les types de trains (incidence de l'ordre de ± 5 dB également) ;
- La nature de sol aux différents points de mesures.

Selon les mesures de vibration effectuées à l'emplacement du projet, les niveaux sonores globaux rayonnés par le bâtiment lors du passage des trains seraient supérieurs à l'objectif de 30 dB(A) retenu dans les logements.

De plus, le spectre du niveau de pression acoustique obtenu dépasse le gabarit fréquentiel défini par la courbe NR 25 (niveau sonore maximum recommandé).

Ainsi, en l'absence de traitement vibratoire, le bruit généré par le **passage des trains sera donc clairement audible** et caractérisé par un **ronnement basses fréquences**, pouvant être ressenti comme une nuisance pour les futurs occupants.

Bien que la réglementation acoustique sur les bâtiments neufs ne prenne pas en compte ce type de nuisance, les recommandations suivantes sont données afin de préserver la quiétude des futurs usagers :

Nous recommandons une désolidarisation des nouveaux bâtiments de logement.

7.2. Synthèse des résultats – Comparaison aux objectifs

Le tableau suivant résume la comparaison des résultats aux objectifs proposés :

- Les niveaux vibratoires L_v sont comparés aux seuils de dommage aux structures, sensibilité tactile et seuils conseillés dans des logements en période diurne et nocturne ;
- Les niveaux de bruit aérien rayonnés L_p sont comparés aux objectifs de niveaux de bruit aérien globaux et spectraux (courbes NR).

Légende :

- Les cases en rouge indiquent un dépassement par rapport à l'objectif fixé ;
- D = dépassement par rapport à la courbe NR fixée comme objectif.

• Niveaux vibratoires

Seuil	Critère sur le L_v estimé	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4
Niveau L_v estimé dans les futurs locaux (dBv)	Moyenne	48	61	56	60
	Maximum	48	64	58	62
Dommage aux structures : $L_v \leq 92$ dBv	Moyenne	-44	-31	-36	-32
	Maximum	-44	-28	-34	-30
Sensibilité tactile : $L_v \leq 66$ dBv	Moyenne	-18	-5	-10	-6
	Maximum	-18	-2	-8	-4
Logements Période nocturne : $L_v \leq 69$ dBv	Moyenne	-21	-8	-13	-9
	Maximum	-21	-5	-11	-7
Logements Période diurne : $L_v \leq 72$ dBv	Moyenne	-24	-11	-16	-12
	Maximum	-24	-8	-14	-10

Chaque valeur de L_v correspond au niveau de la bande de tiers d'octave la plus énergétique. Ces niveaux peuvent ainsi être directement comparés aux seuils de la norme ISO 2631-2.

• Niveaux sonores rayonnés

Critères et seuils		Point 1	Point 2	Point 3	Point 4
Niveau de bruit aérien rayonné L_p (dB(A))	Moyenne	36	46	39	37
	Maximum	38	49	41	39
Écart avec objectif : Logements $L_p \leq 30$ dB(A)	Moyenne	6	16	9	7
	Maximum	8	19	11	9
Dépassement par rapport à : Courbe NR 25	Moyenne	D	D	D	D
	Maximum	D	D	D	D

8. GRANDES ORIENTATIONS DE SOLUTIONS

8.1. Orientations de solutions

L'analyse des résultats conclut à des niveaux vibratoires prévisibles dans les bâtiments du projet :

- N'occasionnant **pas de dommages aux structures** ;
- N'étant **pas source de gêne**, due à la **perception tactile des vibrations** ;
- Pouvant être source de **gêne**, due aux **niveaux de bruit aérien rayonnés par les parois** des futurs bâtiments, dans l'ensemble des bâtiments de logement du projet.

Bien que la réglementation acoustique sur les bâtiments neufs ne prenne pas en compte ce type de gêne, **nous recommandons de prévoir des traitements pour l'ensemble des bâtiments nouvellement construits** afin d'atténuer les vibrations transmises dans les bureaux et logements. Ce traitement consiste en une désolidarisation vibratoire des nouveaux bâtiments vis-à-vis des parties structurelles solidaires du sol (en supposant qu'aucune intervention sur la voie ferrée n'est envisageable).

Ainsi, il peut être envisagé la mise en place d'éléments résilients, afin de créer une coupure élastique et atténuer la transmission des vibrations vers les logements.

Ces éléments résilients pourront être :

- Des plots élastomères (surfaciques, linéiques ou ponctuels);
- Des boîtes à ressort.

La localisation de cette coupure reste à définir en fonction des contraintes structurelles, du mode constructif retenu.

En première approche, en regard des fréquences excitatrices, une solution de désolidarisation par **plots élastomères** peut être envisagée par rapport à une solution de type **boîte à ressort (à confirmer)**.

8.2. Points d'attention et mise en œuvre

- **Principes de désolidarisation**

Il existe différentes méthodes de principe pour désolidariser le bâtiment :

- Méthodes de principe du système de désolidarisation envisageables :



Pleine surface + murs



Appuis linéaires sur voiles



Plots ponctuels sur fondations



Exemple de produit : plots ou équivalent.

- **Points de vigilance**

Il conviendra d'être vigilant **à ne pas créer de point « dur »** entre les niveaux ou zones désolidarisés et ceux ou celles qui ne le sont pas (gaine ascenseur, gaine d'escalier, zone d'accès au bâtiment, etc.), car un « court-circuit » vibratoire rendrait inefficace le système de désolidarisation.

La mise en œuvre du résilient vibratoire devra être RIGOREUSEMENT conforme aux prescriptions du fournisseur.

Le calepinage, les caractéristiques techniques des solutions antivibratiles, les descentes de charges ainsi que l'encombrement, devront être dimensionnés en accord avec le bureau d'études structures et le bureau d'études de l'entreprise distribuant les systèmes antivibratiles.

L'entreprise Gros Œuvre, en phase EXE, devra dimensionner le système anti vibratile en concertation avec le bureau d'étude structure et le fournisseur, pour l'adapter au système de fondation retenu pour le projet.

Les détails d'EXE doivent être soumis pour VISA à la MOE.

Un suivi de mise en œuvre et des contrôles sur site devront impérativement être réalisés.

9. CONCLUSIONS

Dans le cadre d'un projet de construction de logements sur une parcelle située Avenue Corentin Cariou à Paris (75), NEXITY missionne le bureau d'études acoustiques ALHYANGE pour la réalisation d'un diagnostic permettant d'évaluer la gêne vibratoire liée aux passages des métros de la ligne 7 à proximité immédiate du site.

L'analyse des résultats conclut à des niveaux vibratoires prévisibles dans les bâtiments du projet :

- N'occasionnant **pas de dommages aux structures** ;
- N'étant **pas source de gêne**, due à la **perception tactile des vibrations** ;
- Pouvant être source de **nuisance**, due aux **niveaux de bruit aérien rayonnés par les parois** des futurs bâtiments, dans l'ensemble des bâtiments de logement du projet.

En l'absence de traitement vibratoire, le bruit généré par le **passage de trains sera donc clairement audible** et caractérisé par un **ronnement basses fréquences**, pouvant créer une **gêne significative pour les futurs occupants** (surtout dans les lieux de repos).

Bien que la réglementation acoustique sur les bâtiments neufs ne prenne pas en compte ce type de gêne, **nous recommandons de prévoir des traitements pour l'ensemble des bâtiments** afin d'atténuer les vibrations transmises dans les bureaux et logements.

La localisation de cette coupure reste à définir en fonction des contraintes structurelles, du mode constructif retenu.

En première approche, en regard des fréquences excitatrices, une solution de désolidarisation **plots élastomères** peut être envisagée (**à confirmer**).

La solution envisagée pour désolidariser le bâtiment est présentée dans ses grandes lignes dans le chapitre 8. Une étude précise en phase EXE devra être réalisée par l'Entreprise gros œuvre, en concertation avec le BE Structure, l'acousticien et le BE du fournisseur, lorsque les fondations du bâtiment seront dimensionnées.

10. ANNEXES

- **MATERIEL UTILISE**

10.1. Matériel utilisé

Instruments de mesures acoustiques

Type	N° Série	Date d'achat
Norsonic - Menhir	20031340	01/05/2020
Norsonic - Menhir	20031342	01/05/2020
Norsonic - Menhir	20031343	01/05/2020
Norsonic - Menhir	20031345	01/05/2020