

Notice Vibrations DCE

Installation d'un microscope électronique en transmission
au campus Pierre et Marie Curie – Paris 5e (75)



Référence projet : AA156300
Référence document : 32671_SORBONNE_PANAM_DCE-VIB_ind2_AA156300.docx
Date : 20/12/2024
Indice : 2
Destiné à : Mme Mélanie MALAURENT-HEDIDAR
Pour le compte de : SORBONNE UNIVERSITE

Ce document ne peut en aucun cas être utilisé (même par extrait) sans autorisation préalable écrite d'AVLS.

Suivi des indices

Ind.	Date	Objet de l'indice	Rédaction	Vérifications	Approbation
1	05/12/2024	Version initiale	E. Laligant	J-F Gachet	C. Laurent
2	19/12/2024	Mise à jour des plans projet	E. Laligant		

Sommaire

1. PREAMBULE	4
2. SPECIFICATIONS TECHNIQUES GENERALES	6
2.1. Textes de référence	7
2.2. Contexte et hypothèses	9
2.3. Etat des lieux et étude de conception vibratoire	14
2.4. Objectifs vibratoires.....	15
2.5. Obligations de l'entreprise.....	17
3. SPECIFICATIONS TECHNIQUES PARTICULIERES	19
3.1. Lot Gros œuvre (Lot 01)	20
3.2. Plateforme antivibratile (Lot 05).....	24
3.3. Lot Cloisons – doublages (Lot 01)	27
3.4. Lot Menuiseries intérieures (Lot 01).....	27
3.5. Lot Revêtements de sol (Lot 01)	28
3.6. Lot Faux-plancher technique (Lot 01)	28
3.7. Lot Chauffage-Ventilation-Climatisation (Lot 02)	28
3.8. Lot Plomberie (Lot 02)	34
3.9. Lot Fluides spéciaux (Lot 02).....	35
3.10. Lot Electricité (Lot 03).....	35
ANNEXE 1. TERMINOLOGIE	37

1. Préambule

Il est prévu l'aménagement d'un local de microscopie sur le site du campus Pierre et Marie Curie de Sorbonne-Université. Ce projet comprend l'installation d'un microscope électronique à transmission NION HERMES 200SX qui possède de fortes exigences environnementales, notamment acoustiques, vibratoires et électromagnétiques.

Dans ce cadre, une étude vibratoire a été réalisée par AVLS afin de caractériser les niveaux de vibrations ambiants sur site, d'estimer les niveaux futurs par suite des modifications structurelles et de sélectionner la solution antivibratile complémentaire permettant de se conformer aux recommandations du constructeur.

AVLS intervient sur le projet au titre d'assistant à la maîtrise d'ouvrage (AMO) afin de suivre les études et la réalisation des préconisations destinées à assurer un environnement acoustique et vibratoire compatible avec l'instrument scientifique. En fin de projet, AVLS réalisera des mesures de réception pour vérifier le respect des objectifs fixés.

La présente **notice Vibrations** décrit les exigences minimales et les principes généraux de solutions vibratoires applicables à ce projet, en phase DCE.

La notice Vibrations comprend :

- Une première partie (§ 2) décrivant le contexte, ainsi que les exigences vibratoires du projet, exprimées **en termes d'objectifs**,
- Une seconde partie (§ 3) contenant les spécifications vibratoires particulières à chaque lot, exprimées **en termes de moyens**.

Pour ce qui concerne les vibrations, le présent document doit être considéré comme pièce contractuelle prioritaire sur toutes les autres pièces du dossier.

Dans le cas d'incohérence entre la notice Vibrations et les plans ou autres pièces écrites, les spécifications les plus contraignantes seront retenues.

N.B. : Le présent document ne traite pas les sujets relatifs à l'acoustique (décrit dans le document AVLS n°32529).

2. Spécifications techniques générales

2.1. Textes de référence

2.1.1. Textes réglementaires

A ce jour, il n'existe pas d'exigences réglementaires spécifiques aux niveaux de vibrations dans les bâtiments scientifiques ou vis-à-vis du confort perçu par les usagers de bureaux.

2.1.2. Normes de mesurage

La norme suivante s'applique pour le mesurage de vibrations impactant un équipement sensible aux vibrations :

- **NF E 90-020-2** (septembre 2015) : « Vibrations induites dans les équipements sensibles qui se trouvent sur ou à l'intérieur des structures ».

2.1.3. Spécifications de fournisseur d'équipements sensibles

Le microscope HERMES 200SX de Nion spécifie des conditions d'environnement vibratoire pour le bon fonctionnement de l'instrument dans la notice d'installation « Nion UltraSTEM200MC Monochromated pre-installation instructions 2017.12.02 » (Malgré le titre de la notice, l'instrument installé sera le Hermes 200SX). Elles sont rappelées dans la figure suivante.

4) Floor Vibrations

Measuring with a 1/3-octave bandwidth, for each frequency band the rms vibration needs to be less than 1.0 $\mu\text{m/s}$ for frequencies between 0.5 Hz and 2 Hz and less than 0.5 $\mu\text{m/s}$ for frequencies between 2 Hz and 500 Hz. These specifications refer to the floor that the microscope suspension system rests on. If the microscope is positioned on a vibration-isolated platform, the specification refers to this platform.

If there is a vibration-isolated platform the microscope sits on, such as the TMC Stacis system supporting the microscope's platform (<http://www.techmfg.com/products/stacis/stacisiii>, <http://www.techmfg.com/products/stacis/quiteisland>) the platform should be at least 2.0 x 2.2 m in size, so that there is room on it for a) the microscope, b) the microscope cover and c) cable support frame, which needs to be located on the isolated platform so that cables do not bring vibrations to the column. If a passive isolation is used for the platform, the platform needs to be around 4000 kg or more in weight, otherwise the platform's suspension and the Nion suspension may couple to produces strong resonant frequencies. If the platform uses active suspension, then it can be lighter: 2000 kg or more.

*Because external vibrations are somewhat unpredictable, it is a good idea to have a safety margin such that **typical** vibrations throughout the day are at least 2x weaker than the levels given above, i.e. <0.5 $\mu\text{m/s}$ for frequencies between 0.5 Hz and 2 Hz and <0.25 $\mu\text{m/s}$ for frequencies between 2 Hz and 500 Hz.*

Figure 1 : Spécifications vibratoires du NION HERMES 200SX

Les exigences sont donc exprimées sous forme de spectre de vitesse vibratoire par bandes de tiers d'octave. Le critère vibratoire à respecter s'applique à la structure accueillant le microscope donc, dans le cas présent, à l'arase supérieure du socle antivibratile.

Les conditions de mesurages pour comparaison à ce critère ne sont pas précisées.

On note qu'une notion de marge de sécurité d'un rapport 2 est suggéré par rapport à ce critère.

La figure suivante représente le critère en dBV comparativement aux gabarits vibratoires « VC » de l'ASHRAE couramment utilisés dans le contexte de laboratoires. Une description de ces gabarits est fournie en Annexe 1.

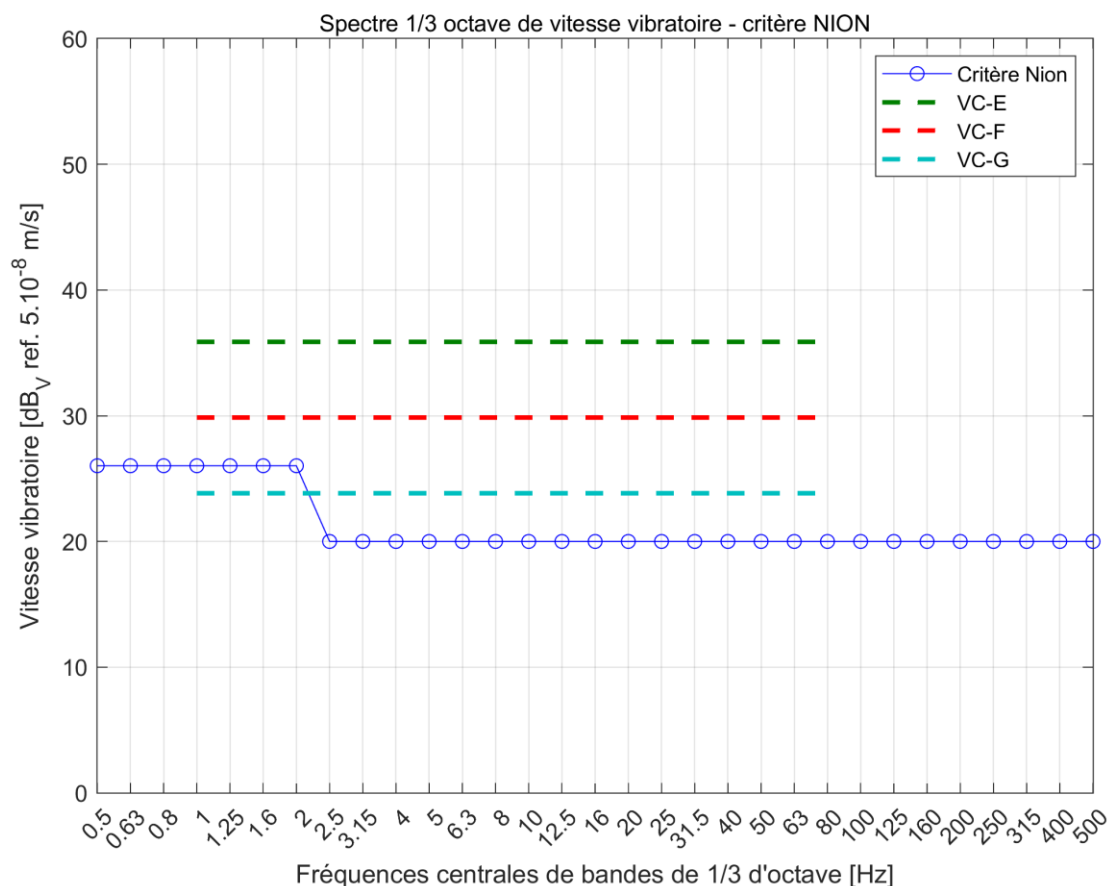


Figure 2 : Seuil vibratoire du NION HERMES 200SX comparé aux gabarits ASHRAE

Le critère du microscope représente des niveaux vibratoires extrêmement faibles de l'ordre du gabarit VC-G, ce qui est rarement mesuré sur site, a fortiori lorsque des sources vibratoires sont proches (routes, voies ferrées, activité humaine...).

2.2. Contexte et hypothèses

2.2.1. Environnement du projet

Le plan ci-après permet de visualiser l'environnement du projet.

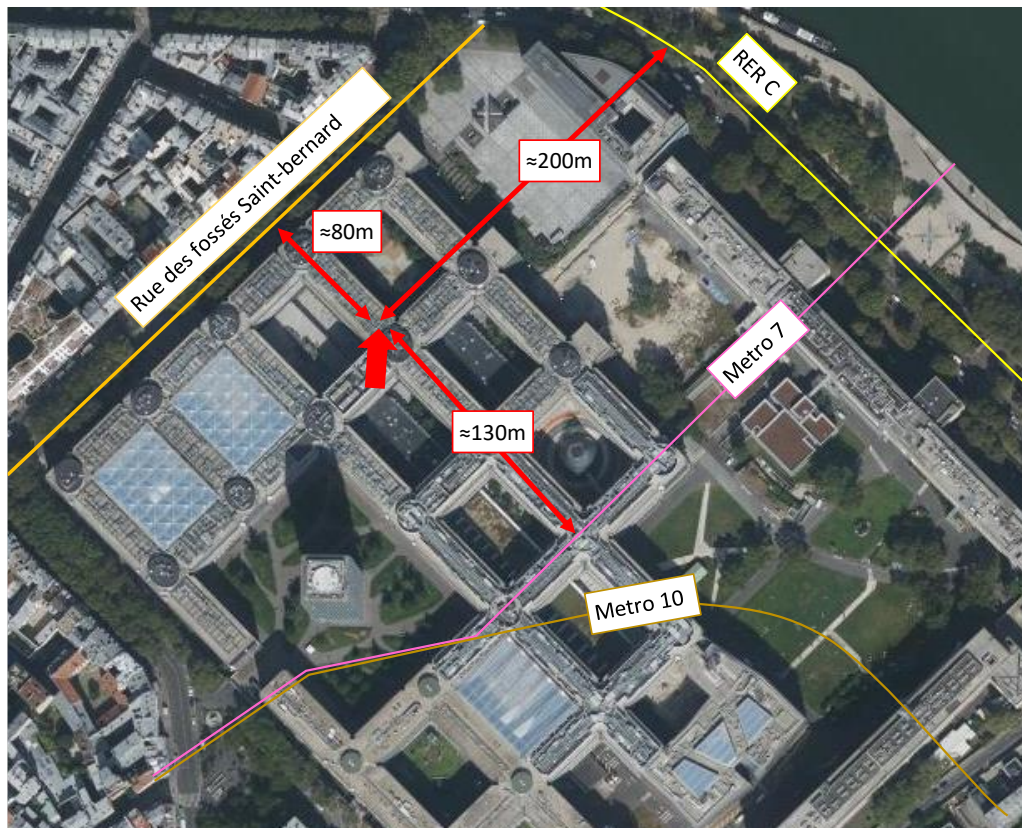


Figure 3 : Localisation du local microscope dans le site

Le projet est situé dans l'enceinte du campus de Jussieu (flèche rouge), la source de vibrations extérieure au site la plus proche est la rue des fossés Saint-Bernard à environ 80 mètres. On note que la chaussée de cette rue est en mauvais état et est fréquemment circulée par des bus.

Le local qui va accueillir le microscope électronique se situe entre le rez-de-chaussée et le R-1.

La vue ci-dessous présente l'environnement direct du futur local. Il se trouve notamment à proximité d'un local technique abritant des compresseurs de liquéfaction générateurs de vibrations. Les compresseurs à pistons les plus nuisibles seront vraisemblablement changés dans un futur proche pour des compresseurs à vis moins problématiques.

On note de plus que la voirie proche du local est en mauvais état, ce qui provoque des vibrations importantes lorsqu'un véhicule de type chariot élévateur circule dans cette zone.

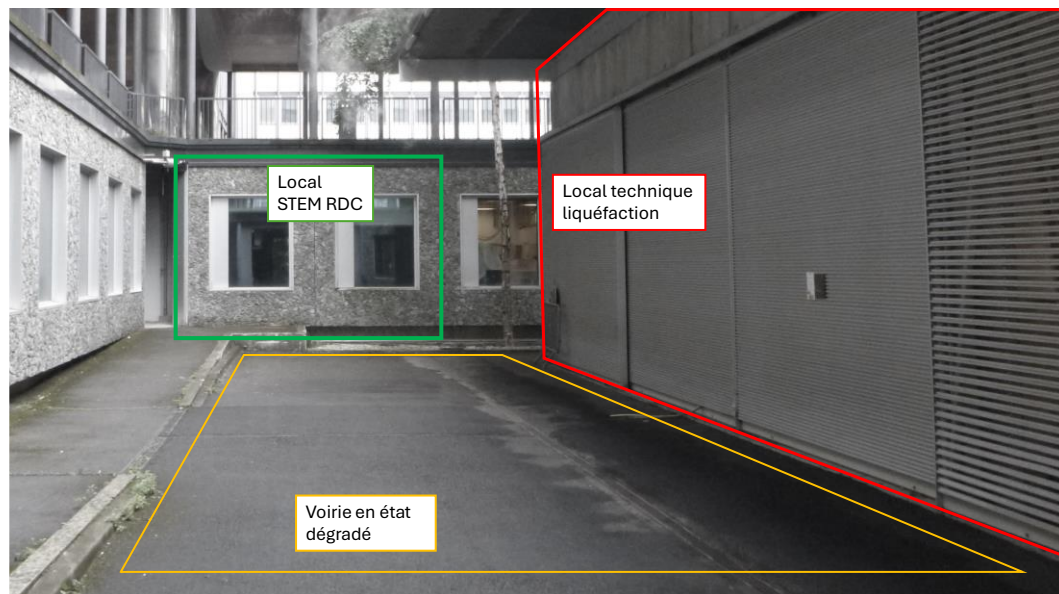


Figure 4 : Vue du futur local STEM et local de liquéfaction

La future installation du microscope est schématisée en coupe ci-dessous. Le microscope sera posé sur un ensemble {massif fondé sur pieux + système d'isolation vibratoire} désolidarisé de la structure courante du bâtiment. Cet ensemble permet de positionner l'équipement au niveau RDC en traversant le niveau de sous-sol. On note qu'un complexe de protection électromagnétique doit être inséré entre la tête de massif et le microscope.

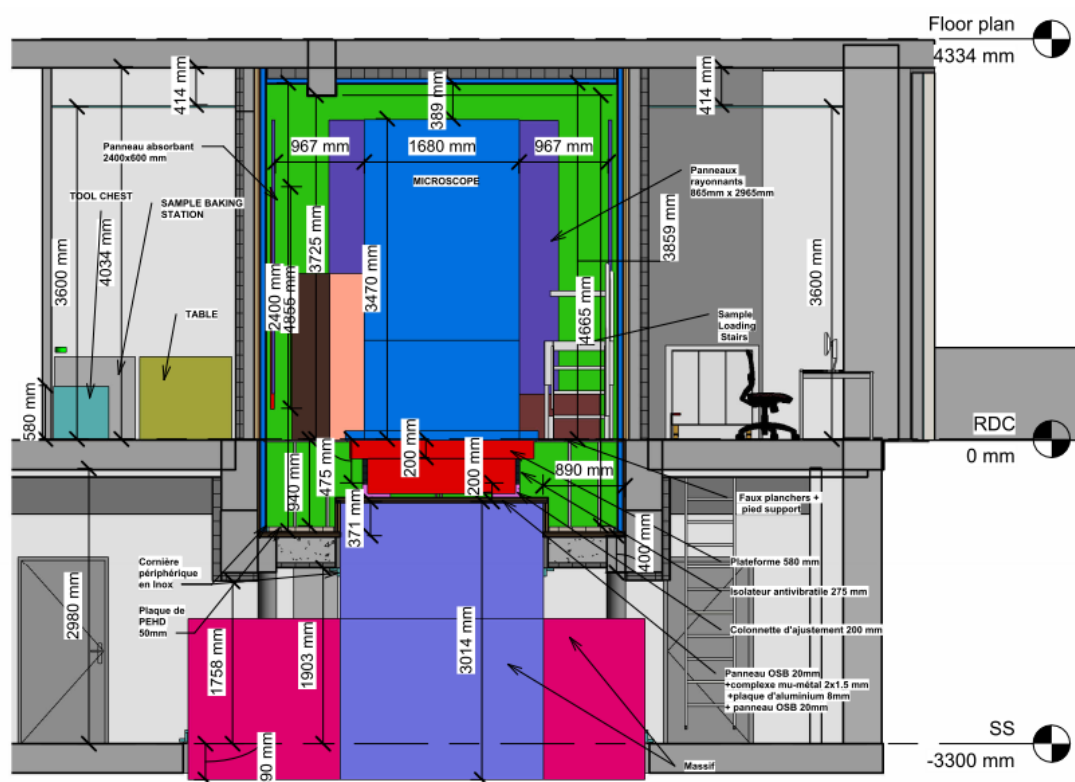


Figure 5 : Vue en coupe du futur aménagement du local microscope

Le plan suivant présente les autres locaux du projet du niveau sous-sol où seront implantés des équipements techniques. Le local technique CVC abritera des équipements lourds générateurs de vibrations (CTA, groupe frigorifique, extracteurs...).

On note qu'une CTA est déjà installée au niveau sous-sol dans le local voisin (côté Est) du microscope. Son effet a été évalué dans la campagne de diagnostic (cf. §2.3).

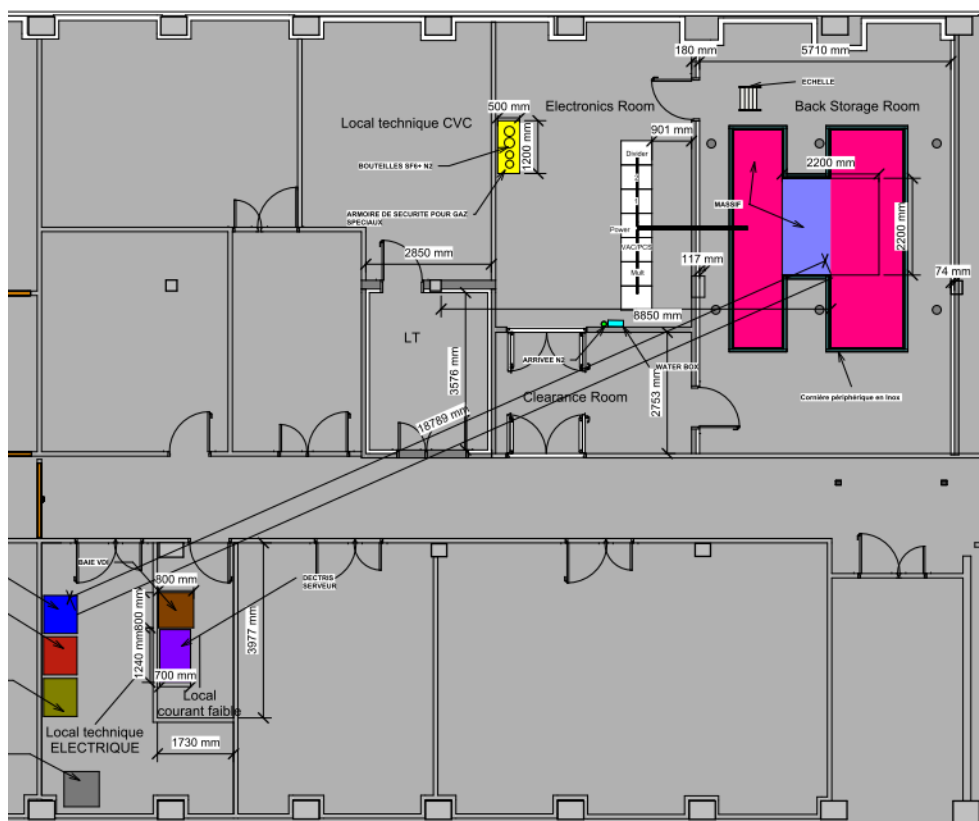


Figure 6 : Vue en plan des installations techniques futures au sous-sol

2.2.2. Hypothèses structurelles

Le microscope sera disposé sur une plateforme d'isolation antivibratile. Cette plateforme sera située en tête du massif d'expérimentation.

Une désolidarisation du massif supportant le microscope par rapport au plancher bas du RDC est prévue afin d'empêcher la transmission directe de vibrations induites par des sources internes au bâtiment (par exemple la marche des individus sur les planchers environnants). De façon similaire, les poteaux supportant le plancher bas du RDC sont désolidarisés du massif support du microscope.

Le plan ci-dessous représente le massif et les pieux de fondations.

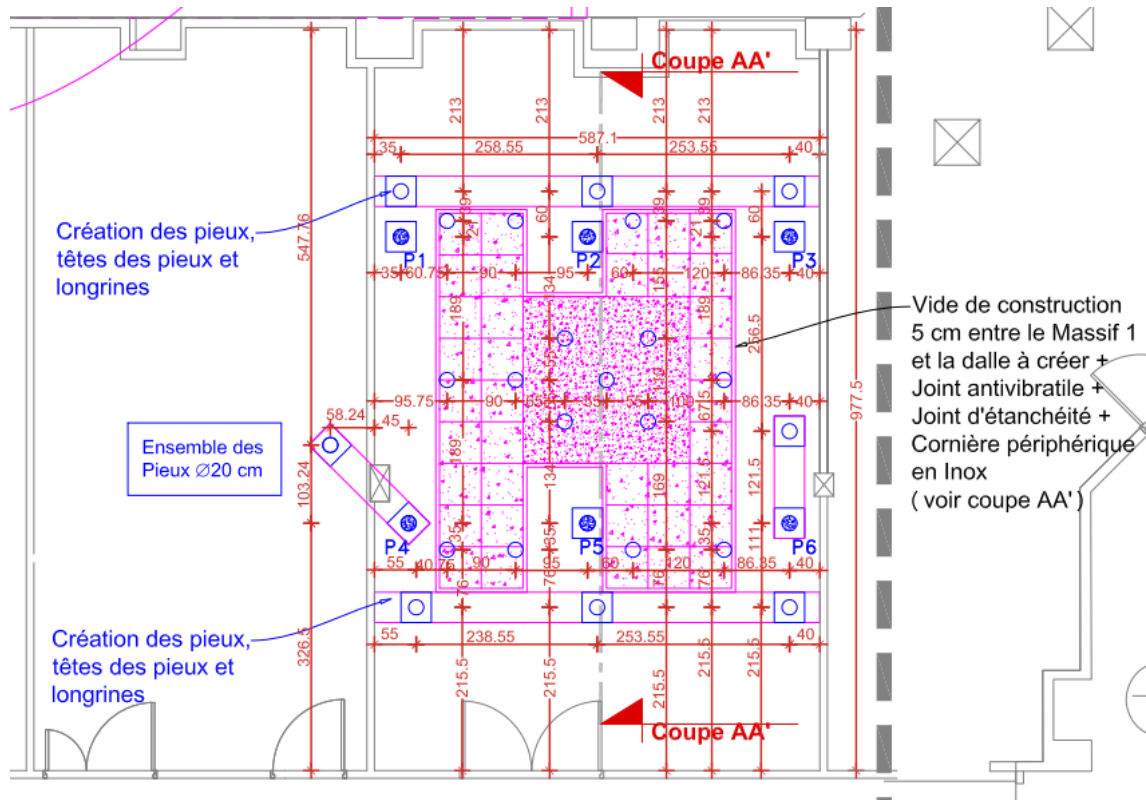


Figure 7 : Plan de fondations du massif d'expérimentation

La figure suivante représente le principe structurel en coupe.

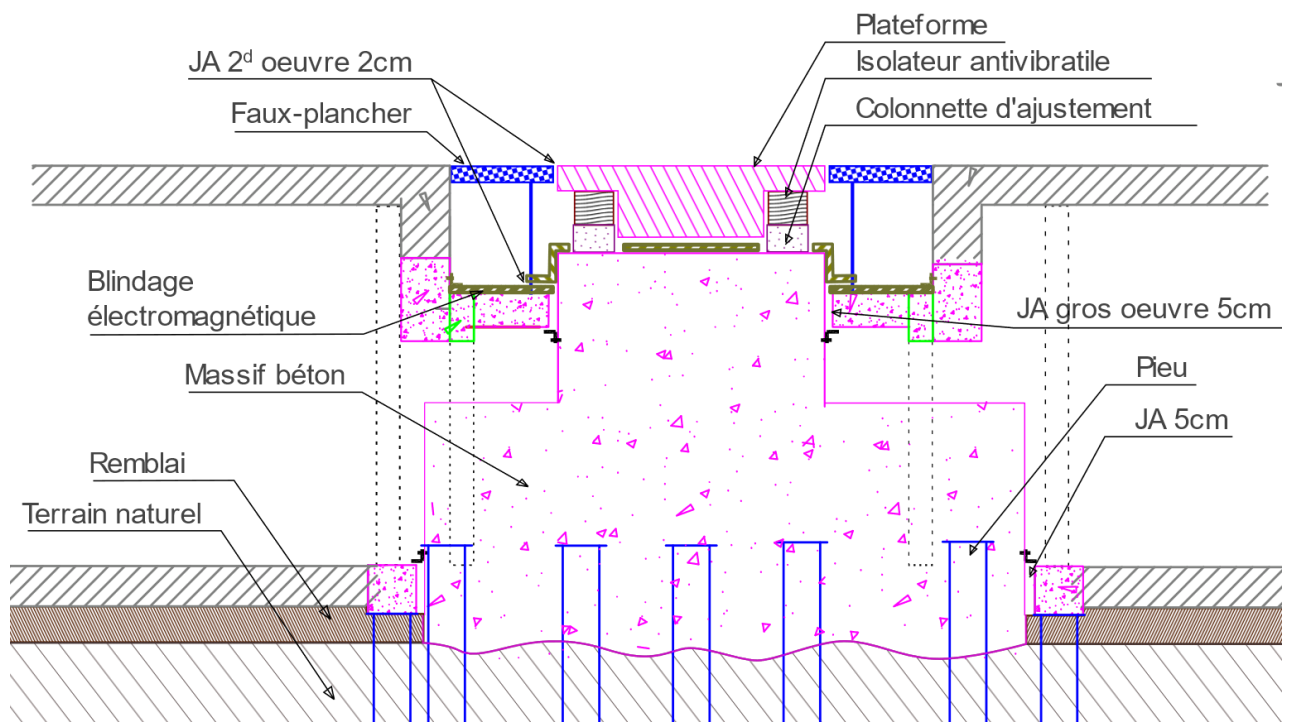


Figure 8 : Vue en coupe du massif support

La plateforme antivibratile supportant le microscope ne devra pas être en contact avec les éléments extérieurs. Les éventuels câbles et réseaux devant relier le microscope à l'extérieur seront munis d'une lyre afin d'augmenter la souplesse de la connexion et limiter l'impact sur les performances du dispositif antivibratile.

2.2.3. Identification des sources vibratoires internes au site de Jussieu

On note les sources vibratoires suivantes, aux alentours du local STEM :

- Les locaux techniques destinés à accueillir les équipements techniques nécessaires au microscope (local CVC, local électrique) comprenant notamment les CTA, extracteurs, pompes, groupe frigorifique, etc.
- Le local CTA existant (identifiant R23.SS04),
- Le local de liquéfaction comprenant des compresseurs de fortes puissances,
- Les équipements dédiés au microscope dans le local « electronics »,
- Circulation de véhicules sur la voirie RDC face au local STEM et sur la voie de desserte interne,
- Activités humaines à proximité du local STEM (marche des utilisateurs, claquements de portes, etc.),
- Manutention de matériel lourd, livraisons, etc. dans le bâtiment et sur la placette extérieure au RDC.

La liste suivante, non-exhaustive, répertorie les équipements potentiellement vibrants à proximité des équipements sensibles :

Lot	Equipement
Process spécifique microscope	Pompe scroll
	Alimentation haute-tension
	Unité de refroidissement d'eau
	Pompe turbo
CVC/Plomberie/Gaz spéciaux	2 CTA
	1 Groupe froid
	Distribution frigorifique (pompes)
	2 Ventilo-convecteurs suspendus
	2 Ventilo-convecteur en allège
	3 extracteurs
	Cassettes de ventilation
CFo	1 transformateur ondulé

Tableau 1 : Liste des équipements générateurs de vibrations

Les équipements sont repérés sur le plan du niveau sous-sol ci-dessous.

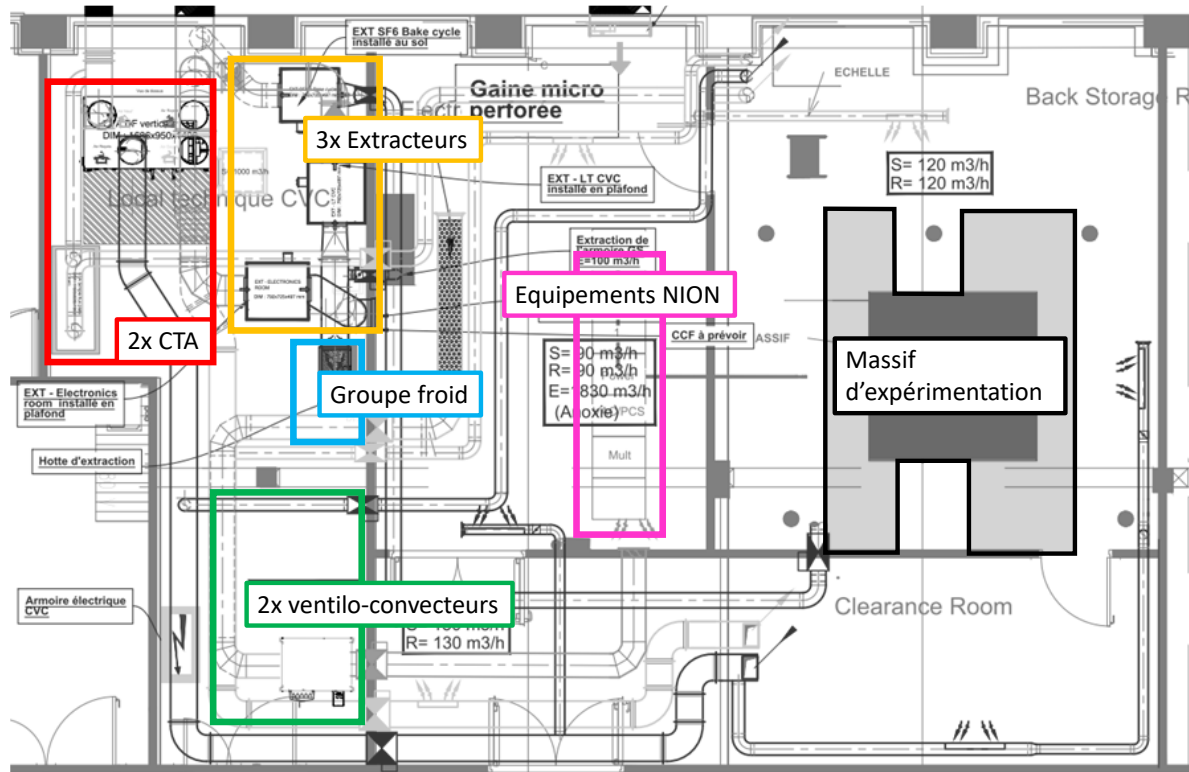


Figure 9 : Repérage des équipements techniques générateurs de vibrations

2.2.4. Sources vibratoires externes au bâtiment

La principale source de nuisances vibratoires externe au bâtiment est la circulation de véhicules sur la rue des fossés Saint-Bernard située à environ 80m du futur microscope. La chaussée de cette rue est en mauvais état et des véhicules lourds y circulent (bus et poids lourds notamment, cf. Figure 3).

L'impact vibratoire des trois voies ferrées circulant à proximité (métro 7, métro 10 et RER C) est faible relativement à la circulation routière et aux sources internes.

2.3. Etat des lieux et étude de conception vibratoire

Un ensemble de mesures vibratoires pour le diagnostic a été réalisé par AVLS, ainsi qu'une étude numérique pour la conception des solutions antivibratiles. Les résultats sont décrits dans le rapport AVLS n° 32603.

2.4. Objectifs vibratoires

2.4.1. Niveaux de vitesse vibratoire au pied du microscope

L'objectif vibratoire visé en pied de microscope est défini sur la base du seuil requis par NION, le fournisseur du STEM représenté en Figure 2. Ce seuil n'étant pas totalement encadré par NION, l'objectif visé sur ce projet est complété et s'exprime de la manière suivante :

Le niveau L0.1 de vitesse vibratoire en surface de la plateforme antivibratile, au pied du microscope, devra respecter par bandes de tiers d'octave les valeurs de 26 dB_V sur la plage de fréquence [1 – 2 Hz] et 20 dB_V sur [2.5 – 200 Hz].

Ce critère s'entend sous la forme d'indice fractile L0.1 basé sur une période de mesurage d'une journée ouvrée (9h – 18h) avec un intervalle d'évaluation des niveaux vibratoires de 1s (Leq,1s).

Le respect de cet objectif dépend pour partie des événements extérieurs au projet et pour partie d'une mise en œuvre en conformité avec la présente notice des éléments suivants :

- Réalisation du massif de support de microscope et de ses fondations,
- Mise en œuvre de la plateforme antivibratile,
- Traitements antivibratiles des équipements techniques et des éléments de second-œuvre.

2.4.2. Objectif de fréquence minimale de suspension

Les préconisations de traitement antivibratile des équipements techniques (CTA, groupe frigorifique, pompes...) comprennent la mise en place d'éléments de suspension : ressorts métalliques, élastomères, etc.

La fréquence de résonance du système oscillant associé (1 degré de liberté) qui est visée est spécifiée dans la présente notice pour chaque équipement.

En pratique, le choix des éléments de suspension dépendra de cet objectif et de la masse à supporter (masse de l'équipement et masse du bloc d'inertie si présent).

2.4.3. Objectif d'admittance mécanique en tête de massif

La qualité de la réalisation de la partie supérieure du massif d'expérimentation devra permettre d'éviter toute amplification vibratoire indésirable qui pourrait être due à un manque de cohésion entre les couches de béton.

Pour s'assurer de cela, un objectif sous la forme de niveau d'admittance mécanique (caractéristique dynamique propre d'une structure, cf. Annexe 1) est fixé sous la forme suivante :

Point de contrôle	Objectif	Plage fréquentielle
Face supérieure du massif Direction verticale [Capteur au centre – Impact à 50cm]]	Admittance inférieure à 1.10^{-7} m/s/N	[1 – 100 Hz]

Tableau 2 : Objectif d'admittance mécanique sur le massif d'expérimentation

2.4.4. Objectif d'atténuation vibratoire

L'atténuation vibratoire attendue de la part de la plateforme antivibratile supportant le microscope a été évaluée lors de l'étude préliminaire (cf §2.3). Sur cette base, l'objectif visé en termes de perte par insertion apportée par la plateforme antivibratile est exprimé dans la figure et le tableau suivants.

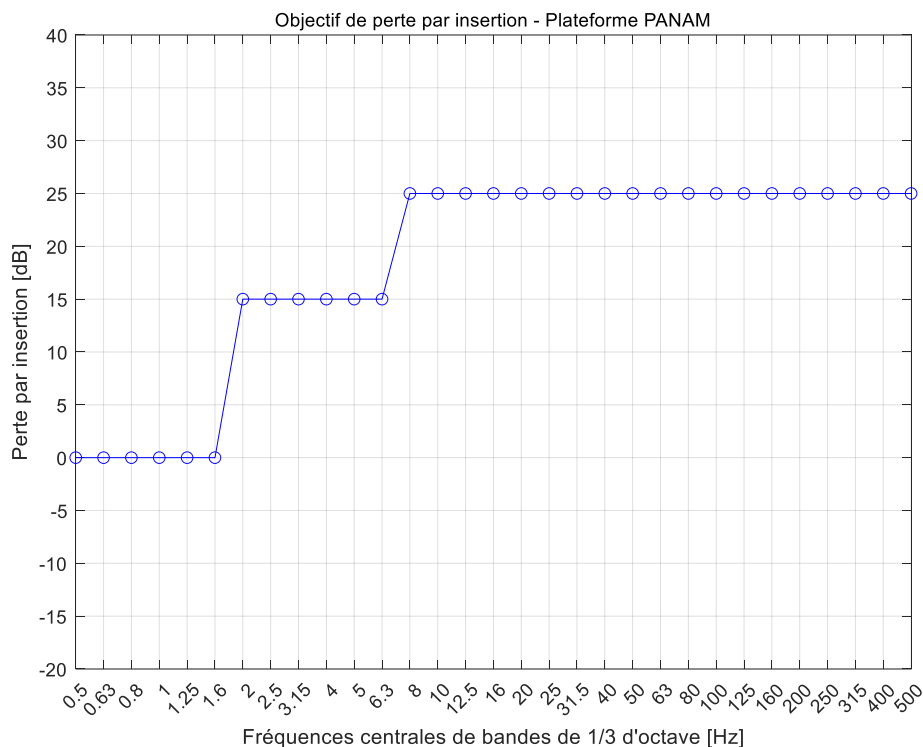


Figure 10 : Gabarits objectif de perte par insertion apportée par la plateforme antivibratile

Direction	Fréquence	Perte par insertion
Directions verticale et horizontales	0.5 – 1.6 Hz	≥ 0 dB
	2 – 6.3 Hz	≥ 15 dB
	8 – 500 Hz	≥ 25 dB

Tableau 3 : Objectif de perte par insertion pour la plateforme antivibratile

L'atteinte de cet objectif sera évaluée par le BET vibrations AMO par une mesure de la différence dessus/dessous des niveaux vibratoires, c'est-à-dire par une mesure simultanée sur le massif support béton et sur l'arase supérieure de la plateforme, en présence du microscope.

2.5. Obligations de l'entreprise

2.5.1. Dispositions générales

L'obligation de l'Entreprise s'exprime en termes d'obligation de résultats (cf. § 2) mais aussi en termes d'obligation de moyens (cf. § 3). L'Entreprise pourra cependant proposer des variantes à justifier impérativement sur le plan vibratoire. Dans tous les cas, la Maîtrise d'Œuvre et l'AMO Vibrations restent seules juges pour l'acceptation de ces éventuelles variantes.

Les dispositions décrites dans cette notice seront systématiquement respectées :

- Toutes les spécifications (type, épaisseur, etc.) données dans les pièces écrites ou sur les plans ne pourront être modifiées qu'après approbation de la Maîtrise d'Œuvre et du BET Vibrations AMO.
- Les principes généraux ainsi que les cas particuliers de traitement antivibratile recensés en phase PRO-DCE pour l'ensemble des lots sont décrits dans la présente notice vibration. Néanmoins, il est précisé que cette description n'est pas exhaustive.

Ainsi, tout équipement ou installation technique qui pourrait représenter une source de nuisance vibratoire devra être traité par un dispositif antivibratile approprié. Dans ce cas les solutions techniques antivibratiles proposées devront être validées par la maîtrise d'œuvre et l'AMO Vibrations.

2.5.2. Eléments à fournir

- **Généralités**

Chaque entreprise devra fournir un dossier « Vibrations » complet et unique regroupant l'ensemble des éléments (plans, fiches techniques, notes de calculs, etc.) permettant de justifier des performances antivibratiles des éléments mis en œuvre et du respect des objectifs du projet pour les ouvrages la concernant.

Les dossiers des entreprises devront comprendre, a minima, les éléments listés au paragraphe « Obligations de l'Entreprise » pour chacun des lots. Il est, néanmoins, de la responsabilité de l'Entreprise d'apporter toutes les justifications vibratoires complémentaires qu'elle jugerait nécessaires. Les éléments contenus dans ces dossiers devront concerner exclusivement les vibrations. Tout dossier incomplet ou contenant des justifications qui ne concerneraient pas les vibrations doit être considéré automatiquement refusé (typiquement PV d'essais feu, résistance mécanique, thermique, etc.).

La diffusion des dossiers « Vibrations » complets sera réalisée par e-mail, indépendamment du dépôt sur une GED des différents documents constituant le dossier.

- **Boîte à plan – GED**

Aucun suivi régulier des boîtes à plans (GED), ni aucun tri entre les pièces avec ou sans incidence vibratoire, n'est réalisé par le BET Vibrations. Un filtre spécifique aux documents ayant une incidence vibratoire devra être mis en place et le dépôt sera systématiquement signalé par le référent « Vibrations » de l'Entreprise.

Les documents diffusés hors dossier « Vibrations » ne seront pas visés et sont à considérer comme automatiquement refusés.

Aucun retard dans l'établissement des VISA ne pourra être imputé au BET Vibrations concernant un document déposé (ayant une incidence vibratoire) qui n'aurait pas été signalé spécifiquement.

2.5.3. Autocontrôles et pré-réception des ouvrages

La liste des autocontrôles et essais de pré-réception est détaillée pour chaque lot au chapitre « Spécifications techniques Particulières ».

Dans le cadre du lot 05 « Plateforme antivibratile », une mesure de pré-réception devra être réalisée par le fournisseur d'isolateurs antivibratile ou un bureau d'étude spécialisé dans les mesures vibratoires agréé par la Maîtrise d'Ouvrage et la Maîtrise d'œuvre. Elle aura pour but de vérifier le bon fonctionnement du système antivibratile. Cette mesure sera à la charge de l'Entreprise générale ou de l'Entreprise titulaire du lot et sera réalisée en présence d'un représentant de la Maîtrise d'œuvre et/ou de la Maîtrise d'ouvrage.

En cas de non-respect de l'objectif d'atténuation vibratoire, tous les surcoûts nécessaires à la mise en conformité seront à la charge de l'Entreprise concernée. Les campagnes de mesures complémentaires seront également à la charge de l'Entreprise concernée.

2.5.4. Interactions avec le BET Vibrations AMO

AVLS a une mission de suivi d'Exécution pour les sujets vibratoires, auprès de la Maîtrise d'ouvrage.

A titre indicatif, nous précisons ici le rôle du BET Vibrations en phase travaux :

- Le BET Vibrations AMO émet un VISA uniquement sur les notes de calculs vibratoires, les PV d'essais vibratoires de laboratoire, les fiches techniques des produits antivibratiles, les protocoles de mesures et les rapports de mesures vibratoires in situ (le cas échéant). Toutefois, pour émettre un VISA, ces notes de calculs, rapports et ces PV devront être accompagnés par tous les éléments annexes nécessaires (plans de repérage, plans de coffrages, plans de cloisonnements, plans CVC, détails, fiches techniques, etc.), rassemblés dans des dossiers Vibrations spécifiques par lots. Les avis éventuels émis par le BET Vibrations sur ces éléments annexes n'ont pas valeur de VISA. A ce titre, ces avis ne seront pas nécessairement reformulés à chaque nouvel indice de documents.
- Le BET Vibrations AMO ne réalise pas de reprise d'étude liée à une variante proposée par l'Entreprise, ou consécutive à une non-conformité de réalisation.
- Le BET Vibrations AMO effectue des visites de chantier lorsque nécessaire et doit pouvoir assister aux éventuels essais vibratoires de l'Entreprise (installation de plateforme antivibratile, etc.).

Une fois que l'ensemble des procédures de pré-réception vibratoire sont réalisées par l'Entreprise (autocontrôles), et que les rapports sont émis sans aucune non-conformité, le BET Vibrations AMO pourra procéder à des essais de contrôle complémentaires.

L'Entreprise est tenue de mettre tout en œuvre pour que le BET Vibrations AMO puisse réaliser ses propres essais (accès aux locaux, mise à disposition de techniciens habilités pour le fonctionnement des équipements techniques, etc.).

3. Spécifications techniques particulières

3.1. Lot Gros œuvre (Lot 01)

3.1.1. Dispositions générales

Les dispositions décrites ci-après seront systématiquement respectées :

- La propreté des joints de désolidarisation devra être respectée sur toute la durée du chantier.
- Tout calfeutrement autour des conduites et gaines ne sera réalisé qu'en présence de fourreau résilient convenablement mis en œuvre. Ce calfeutrement devra être réalisé par mortier gras, et ne devra permettre aucun contact solidien rigide entre le génie civil et les conduites et gaines (cf. § 3.7).
- Toutes les spécifications (type, épaisseur, etc.) données dans les pièces écrites ou sur les plans ne pourront être modifiées qu'après approbation de la Maîtrise d'Œuvre et de l'AMO Vibrations.

3.1.2. Massif support de microscope

Pour limiter les niveaux vibratoires impactant le microscope et assurer le bon fonctionnement de la plateforme antivibratile complémentaire, il est nécessaire de disposer d'un support de microscope raide et massif.

Ainsi, un massif béton armé fondé sur pieux sera mis en œuvre pour supporter le microscope et sa plateforme antivibratile et les positionner à hauteur du niveau PB-RDC. La masse prévisionnelle de l'ensemble est de l'ordre de 7 500 kg (Microscope 3 300 kg et plateforme 4 200 kg).

Outre la nécessité de capacité portante des pieux, ce principe est également bénéfique pour l'amortissement vibratoire apporté par le contact avec le terrain. La longueur de pieux considérée dans l'étude vibratoire de conception est de 12 mètres, selon les plans DCE.

La face inférieure du massif sera coulée en pleine terre, en contact avec le terrain naturel sans l'intermédiaire d'une couche de remblai pouvant dégrader la qualité vibratoire de l'ensemble. Le massif sera solidaire des pieux sur une hauteur minimale de l'ordre de 50cm (à justifier par l'entreprise) et les ferrailages seront connectés.

Le massif support sera désolidarisé (sans contact en gros-œuvre) des structures suivantes :

- Plancher bas RDC,
- Poteaux supportant le PB-RDC,
- Plancher bas Sous-sol y compris tête de pieux de poteaux supportant le PB-RDC.

Un vide de désolidarisation, appelé Joint Antivibratile (JA), de largeur supérieure ou égale à 5 cm sera conservé entre le PB-RDC et le massif.

Le joint antivibratile entre le PB-SSol et le massif sera de largeur supérieure ou égale à 5cm.

Le principe est illustré ci-dessous :

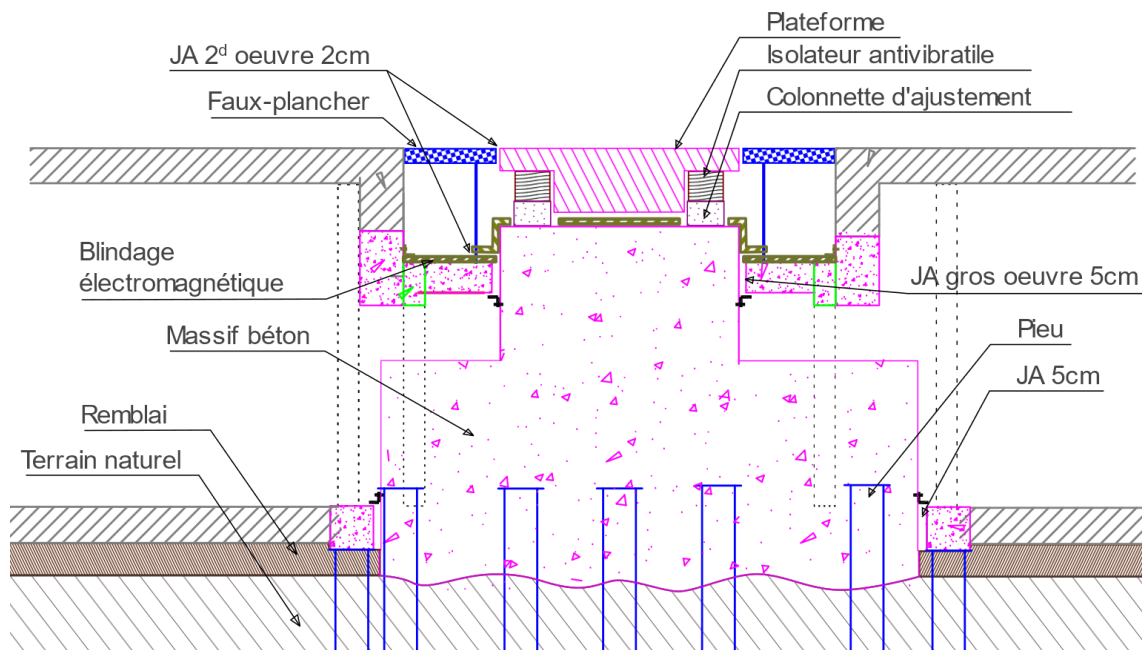


Figure 11 - Schéma de principe du supportage de microscope par un massif béton et plateforme antivibratile

Les dimensions du massif considérées dans l'étude de conception sont détaillées sur la Figure 12.

L'entreprise ajustera celles-ci si nécessaire afin d'assurer la compatibilité avec les ouvrages environnants et de positionner précisément l'arase supérieure et afin de respecter les vides de désolidarisation vis-à-vis des structures environnantes. Compte-tenu de la conception de plateforme antivibratile envisagée, la hauteur de la colonne du massif sera vraisemblablement de l'ordre de 3 mètres (à ajuster selon la définition précise des appuis et de la plateforme antivibratile).

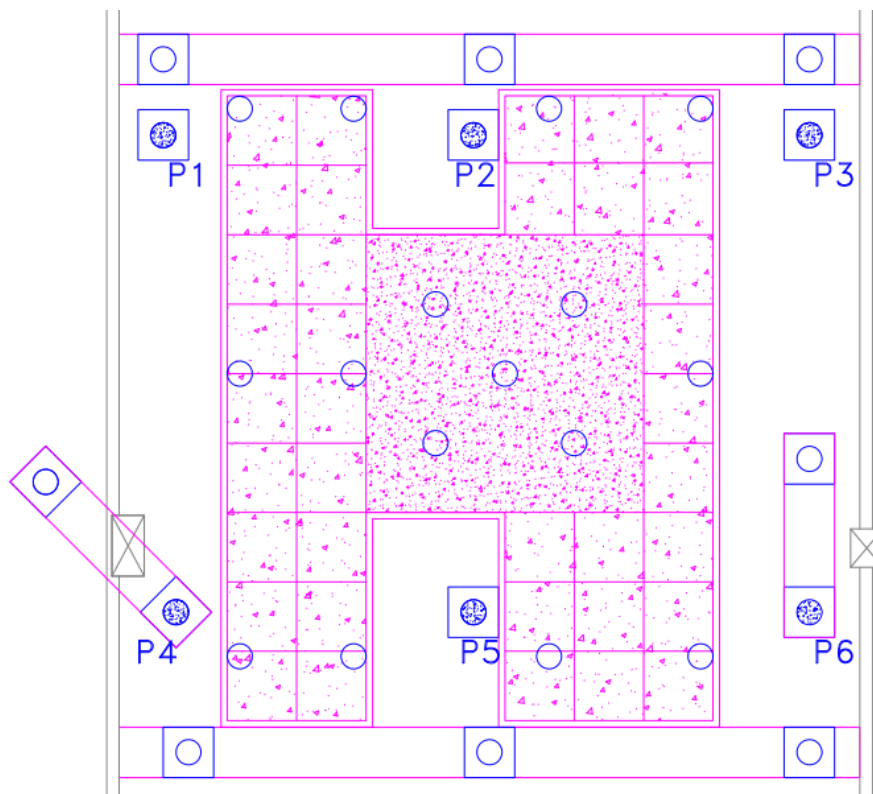


Figure 12 : Plan du massif et positionnement des pieux (cf. plan BIM 18/12/2024)

3.1.3. Joint Antivibratile

- **Dispositions générales**

Un Joint Antivibratile (JA), de largeur supérieure ou égale à 5cm sera conservé en gros œuvre entre le PB-RDC et le massif.

Le joint antivibratile entre le PB-SSol et le massif sera de largeur supérieure ou égale à 5cm. En phase de réalisation, le joint antivibratile sera comblé par un coffrage biodégradable (type Biocofra) puis retiré en fin d'opération.

Aucune liaison rigide ne devra subsister dans l'épaisseur de ce joint.

- **Couvre-joints**

Si nécessaire, les vides pourront être recouverts de couvre-joints « souples ».

Par exemple, un profilé métallique en L couvre le joint antivibratile en laissant un vide de l'ordre de 20mm. Le vide est comblé par un fond de joint en mousse et un mastic souple. Un schéma de principe est fourni ci-dessous.

Exemple type de mastic souple : *Pyropol de ZWALUW, Esoflex SIL1CC de ESOPE ou techniquement équivalent.*

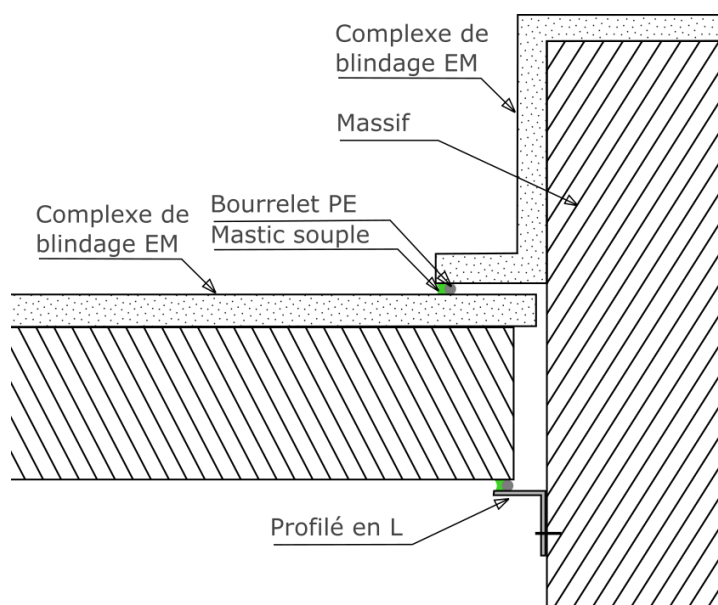


Figure 13 : Schéma de principe de couverture du joint antivibratile périphérique du massif

3.1.4. Etanchéité

L'étanchéité en plancher bas sous-sol, autour du massif d'expérimentation sera assurée, en cas de risque de remontée de nappe.

Les joints seront conçus de manière à ne pas apporter de rigidité parasite entre le massif d'expérimentation et les autres structures du bâtiment.

Un principe de joint souple tel que le procédé TECTOFLEX de SPPM ou techniquement équivalent sera mis en œuvre autour du massif.

Exemple type : *Procédé TECTOFLEX de SPPM, Joint RO de COUVRANEUF, Esoflat de ESOPE, bande EPDM de ILLBRUCK ou techniquement équivalent.*

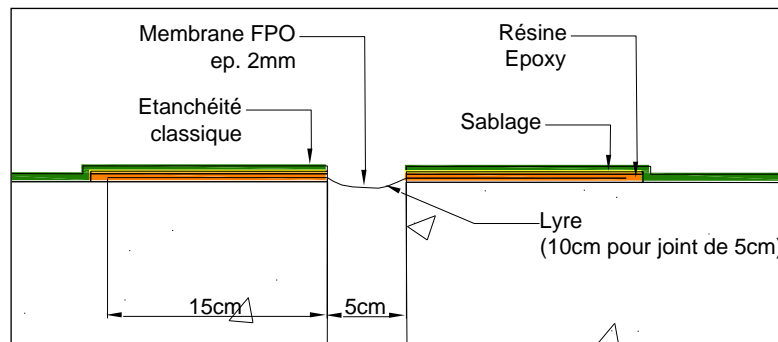


Figure 14 - Exemple de joint d'étanchéité souple en traversée de Joint Acoustique de 5cm (procédé Tectoflex de SPPM)

3.1.5. Protection des vides pendant la phase chantier

L'entreprise devra impérativement garantir le vide au niveau des joints antivibratiles lors de la phase chantier : protection des vides de désolidarisation autour du massif d'expérimentation.

L'entreprise reste libre de choisir la solution qui lui paraît la plus adaptée, nous lui recommandons cependant deux possibilités :

- Mise en œuvre systématique d'un matériau dégradable au contact de l'eau de type Biocofra ou équivalent. Dans certains cas, le Biocofra peut être ensaché dans un film polyane pour conserver intact le Biocofra jusqu'à ce que le chantier soit « hors d'eau ».
- Au fur et à mesure de l'avancement du chantier, utilisation de boudins en polyéthylène ou de laine minérale de diamètre approprié pour éviter leur remplissage par des gravats et des coulures de béton.

3.1.6. Etat de surface

La partie supérieure du massif doit respecter l'objectif d'admittance décrit au §2.4.3.

Cela implique de proscrire toute forme de ragréage ou de finition en surface qui pourrait dégrader la cohésion entre les couches et provoquer une amplification des vibrations (effet de bulle d'air captive).

La surface supérieure du massif sera polie pour assurer une horizontalité et un état de surface compatibles avec les isolateurs de la plateforme antivibratile et leurs colonnettes de réglage.

3.1.7. Obligations de l'Entreprise

• Éléments à fournir

L'Entreprise devra fournir à la Maîtrise d'Œuvre et au BET Vibrations AMO pour approbation un dossier vibrations complet et unique contenant les éléments suivants :

- Plans de coffrage et note méthodologique explicitant la réalisation du massif et la désolidarisation par rapport aux structures avoisinantes,
- Spécifications techniques de toutes les jonctions souples (interfaces) internes et externes mises en œuvre au droit des joints antivibratiles,
- Spécifications techniques de tous les joints (thermiques, coupe-feu, étanchéité, etc.) et couvre-joints mis en œuvre au droit des coupures antivibratiles.

• Autocontrôles de l'entreprise

Ces autocontrôles sont à mener par l'Entreprise tout au long du chantier et nécessitent la remise de comptes rendus d'autocontrôle, illustrés le cas échéant par des photographies, schémas de principe, plans, coupes, etc sur les sujets suivants :

- Réalisation des pieux,
- Réalisation du massif d'expérimentation y compris état de surface supérieure,
- Désolidarisation des fondations,
- Propreté et protection des JA.

3.2. Plateforme antivibratile (Lot 05)

3.2.1. Généralités

Bien que la raideur et la masse du massif support soient significatives, cela ne suffirait pas, à lui seul, pour respecter l'objectif vibratoire du microscope. La mise en œuvre d'une plateforme antivibratile complémentaire est donc nécessaire.

On note que la colonne du microscope est elle-même désolidarisée sur des appuis pneumatiques donc une attention particulière doit être portée à la conception de la plateforme antivibratile pour limiter les effets de couplages entre oscillateurs.

Les dispositifs antivibratiles peuvent être passifs (pneumatiques, ressorts, élastomères...) ou actifs. Les systèmes actifs se distinguent par l'ajout d'actuateurs sur un système passif.

Un système actif est privilégié sur ce projet car cela permet d'éviter le couplage vibratoire avec le système interne du microscope. De plus, un tel système est moins sensible aux événements vibratoires qui surviendraient directement sur la plateforme (personne sur la plateforme, mouvement d'air sur le microscope...) sans nécessité d'un massif d'inertie de plusieurs dizaines de tonnes.

La masse du microscope et de son enceinte reposant sur la plateforme est de 3 225 kg.

On note que le fournisseur NION stipule dans ses exigences environnementales (cf. Figure 1) que la plateforme positionnée entre les isolateurs antivibratiles et le microscope devrait être dimensionnée de façon à obtenir une surface minimale disponible de $2 \times 2.2 \text{ m}^2$.

Le schéma de principe est rappelé ci-dessous.

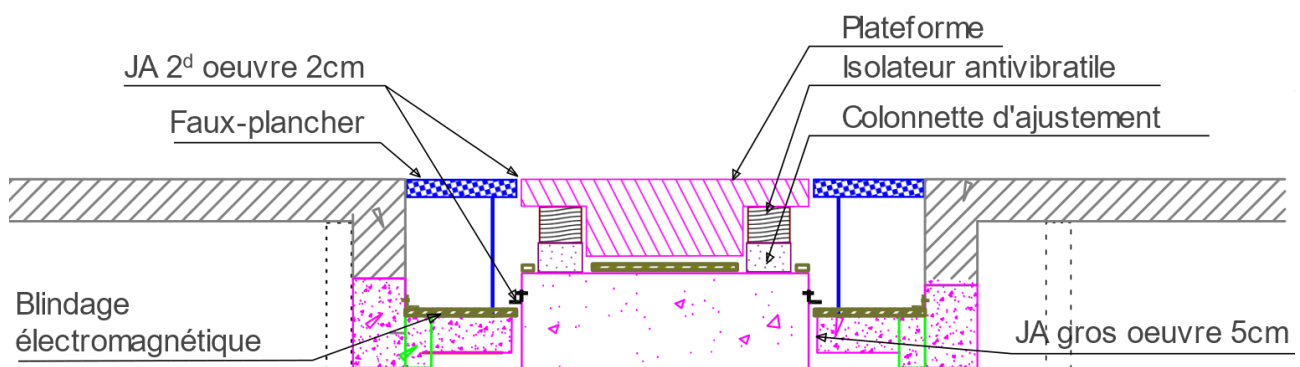


Figure 15 : Schéma de principe - Plateforme antivibratile

3.2.2. Isolateurs antivibratiles

Les isolateurs mis en place permettront d'atteindre l'objectif de perte par insertion stipulé au § 2.4.4.

Exemples de système d'isolation : TMC Stacis 3 et TMC Stacis 4.

Les systèmes Stacis de TMC sont des isolateurs actifs piézoélectriques.

Il existe actuellement plusieurs versions de la solution Stacis listée ci-après par ordre de performance croissante :

- Stacis 3,
- Stacis 4,
- Stacis 4 avec « FloorSense ».

Les isolateurs peuvent supporter jusqu'à 2 045 kg chacun.

Les trois solutions permettraient théoriquement d'atteindre l'atténuation basse fréquence escomptée, donc même la version Stacis 3 serait en principe suffisante mais cela devra être confirmé par TMC au cours du projet.

Une solution alternative techniquement équivalente pourra être proposée.

3.2.3. Plateforme

Le dimensionnement de la plateforme entre les isolateurs antivibratiles et le microscope doit être menée avec précautions afin de pouvoir bénéficier de la performance maximale des isolateurs.

En effet, l'atténuation vibratoire annoncée par un fournisseur est parfois considérée dans une configuration avantageuse proche d'un oscillateur simple à un degré de liberté.

Cependant, le comportement dynamique réel est plus complexe et fait intervenir des modes de corps rigides (basculements, rotations) susceptibles de dégrader cette atténuation théorique.

Enfin, les modes propres élastiques de la plateforme elle-même sont également à considérer dans le dimensionnement de manière à éviter la dégradation de l'atténuation sur la plage de fréquence d'intérêt (cas d'une plateforme trop souple par exemple).

• Critères de dimensionnement

Un calcul de prédimensionnement de la plateforme a été mené en considérant les hypothèses suivantes :

- Microscope de masse 3 225 kg avec un centre de gravité situé à 1.13 m de hauteur,
- Massif en forme de « T » de 4 tonnes offrant une emprise en surface supérieure de 2.2 x 2 m². On considère que le massif est en granit (propriétés : E=95 GPa et $\rho=2\,500\text{ kg/m}^3$).

Les dimensions ont été sélectionnées pour abaisser le centre de gravité de l'ensemble, obtenir un premier mode propre élastique suffisamment haut en fréquence et conserver des proportions plausibles structurellement bien que cela doive être vérifié par un spécialiste (Hors domaine AVLS).

Sur la base de ce prédimensionnement, la plateforme devra assurer les paramètres suivants :

- Première fréquence propre de comportement élastique (conditions libre-libre) : 105 Hz a minima,
- Différence d'altitude entre plan des appuis et plan du centre de gravité {massif + microscope} : 35cm au maximum,
- Masse estimée de la plateforme seule : 4000 kg (le total des masses doit être compatible avec les isolateurs).

Exemple de fournisseur de marbres techniques : MICROPLAN (microplan-group.com)

Le prédimensionnement de la plateforme est schématisé ci-après avec deux coupes perpendiculaires et en 3D.

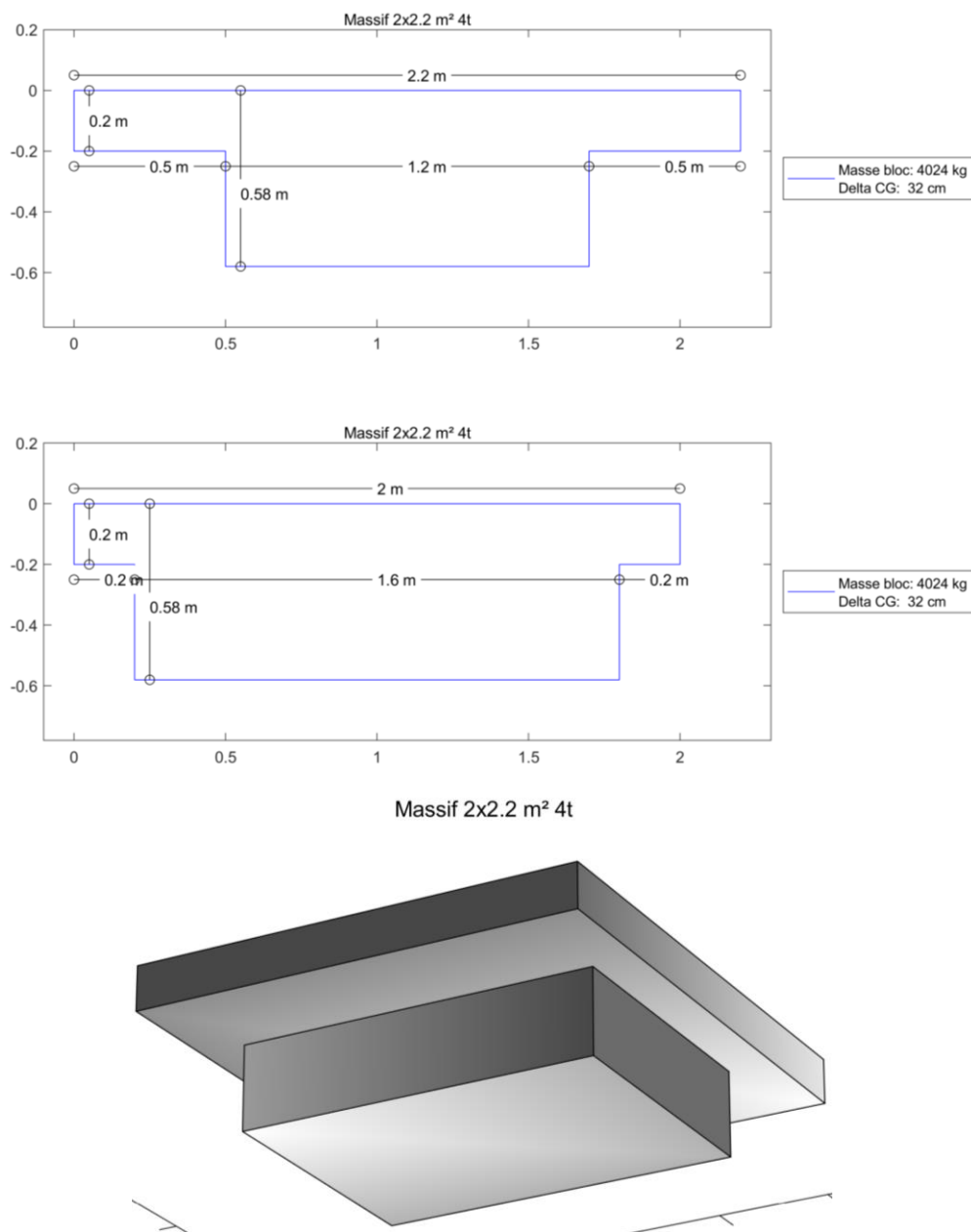


Figure 16 : Exemple de massif de 4t

3.2.4. Colonnettes d'ajustement

Des colonnettes sont nécessaires pour ajuster le positionnement en altitude de la plateforme du fait de la différence de hauteur entre les isolateurs et la partie basse de la plateforme.

Les colonnettes ne devront pas reposer sur le blindage électromagnétique.

Sur deux colonnettes, la surface supérieure sera dimensionnée de manière à laisser libre une bande de 5cm de largeur afin de pouvoir positionner un capteur vibratoire pour les essais de pré-réception et de réception.

L'état de surface des faces supérieures, en contact avec les isolateurs, sera poli pour permettre un contact surfacique maximal et précis. En face inférieure, les colonnettes seront fixées au massif béton par collage ou assemblage mécanique. Le détail devra cependant être établi en concertation avec le lot 04 pour anticiper l'interface avec le blindage électromagnétique.

Le fournisseur d'isolateurs spécifiera les éventuelles contraintes additionnelles liées à son système.

3.2.5. Joints antivibratiles

La plateforme sera désolidarisée des éléments environnants par un vide franc de désolidarisation (joint antivibratile) supérieur à 20mm. Cela s'applique notamment aux éléments suivants :

- Au faux plancher en périphérie de la plateforme,
- Au revêtement de blindage électromagnétique en dessous du massif.

3.2.6. Obligations de l'Entreprise

• **Eléments à fournir**

L'Entreprise devra fournir à la Maîtrise d'Œuvre et à l'AMO Vibrations pour approbation un dossier vibrations complet et unique contenant les éléments suivants :

- Plans des éléments et leur implantation : isolateurs, colonnettes de réglage, méthodes de scellement, plateforme, blindage électromagnétique...
- Spécifications techniques des éléments,
- Note méthodologique de mise en œuvre de la plateforme étape par étape.

• **Autocontrôles de l'entreprise**

- L'entreprise fournira un autocontrôle de la mise en place des isolateurs, des colonnettes et de la plateforme.

• **Pré-réception des ouvrages**

- L'entreprise fournira un rapport de mise en fonctionnement de la plateforme sur isolateurs justifiant du bon fonctionnement du système antivibratile par une mesure vibratoire simultanée entre la surface supérieure de la plateforme et la surface supérieure du massif (ou d'une colonnette).

L'enregistrement comportera une période de calme de 10 minutes à minima et les résultats seront présentés sous la forme de spectres moyens par bandes de tiers d'octave calculés sur cette durée.

Les mesures seront effectuées dans les trois directions de l'espace. Le matériel d'acquisition sera adapté à des mesures de faibles niveaux vibratoires (< 20 dB_v) sur la bande de fréquence [0.5 Hz – 500Hz].

Les atténuations vibratoires, soit la différence des spectres « dessus/dessous » pour chaque direction, seront comparées à l'objectif décrit au §2.4.4.

3.3. Lot Cloisons – doublages (Lot 01)

Les séparatifs du local microscope ne devront pas constituer de liaison entre la plateforme antivibratile et la structure courante.

De même, les séparatifs du niveau Sous-sol ne devront pas constituer de liaison entre le massif d'expérimentation et la structure courante.

3.4. Lot Menuiseries intérieures (Lot 01)

Des ferme-portes seront installés sur toutes les portes battantes du projet de façon à éviter les claquements de portes. Le réglage sera réalisé de sorte que la fermeture soit la plus douce possible.

Exemple type : GEZE ou équivalent.

• **Eléments à fournir**

- Plan de repérage et fiches techniques des ferme-portes.

3.5. Lot Revêtements de sol (Lot 01)

3.5.1. Dispositions générales

Le profil de sol ne présentera pas de discontinuité pour ne pas générer de choc au passage d'un élément roulant.

3.5.2. Revêtements de sol dur

Dans les salles et circulations du projet, le recours au carrelage sera proscrit à cause des joints qui génèrent des vibrations au roulage des charges lourdes (bidons d'azote ou équivalent).

3.6. Lot Faux-plancher technique (Lot 01)

Le faux-plancher situé en périphérie du microscope sera désolidarisé complètement de la plateforme antivibratile en garantissant un vide de désolidarisation (joint antivibratile) de 2cm de largeur à minima.

3.7. Lot Chauffage-Ventilation-Climatisation (Lot 02)

3.7.1. Généralités

Les équipements générateurs de vibrations doivent être tenus à distance du local microscope et pourvus de dispositifs antivibratiles.

En pratique, tout équipement technique vibrant doit être désolidarisé de la structure par l'intermédiaire d'appuis résilients ou à ressorts, ainsi que les conduites, gaines ou câbles qui y sont reliés.

Toutes les conduites de fluide et les gaines d'air seront reliées aux installations vibrantes (CTA, GF, etc.) par des manchons ou manchettes souples. Les circuits électriques seront reliés aux installations par des lyres.

Toutes les canalisations et gaines d'air seront posées sur des profilés métalliques sur antivibratile.

A chaque traversée de paroi par des conduites de fluide ou gaines d'air, il sera mis en œuvre un fourreau résilient en élastomère largement dimensionné. L'objectif est d'éviter le contact direct entre la conduite et la maçonnerie.

3.7.2. Désolidarisation des CTA et extracteurs

Les **Centrales de Traitement d'Air (CTA) et les extracteurs** seront désolidarisés via ressorts métalliques à embase polyuréthane (cf. figure ci-dessous) permettant d'obtenir une première fréquence de suspension verticale inférieure ou égale à 3 Hz et de garantir une efficacité de filtrage théorique supérieure à 99% à la fréquence de rotation la plus basse de l'équipement.

Exemples types : Ressort métallique type GETZNER, AMC, ou techniquement équivalent, avec embase polyuréthane SYLOMER ou AREMA SYLO, ou techniquement équivalent.



Figure 17 : Exemple de ressort métallique à embase en mousse polyuréthane AMC+Sylomer

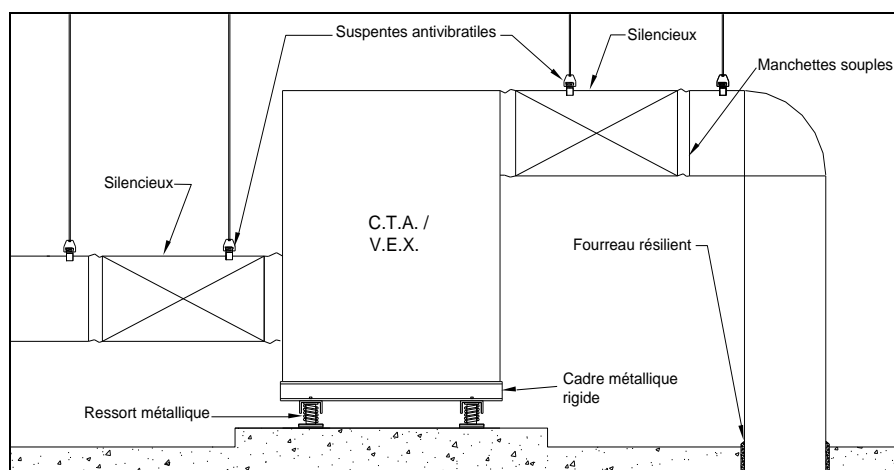


Figure 18 : Traitement antivibratile des C.T.A et extracteurs

Pour le cas des extracteurs suspendus au plafond, ils seront posés sur une structure métallique, dont la jonction au génie civil sera assurée par des suspentes à ressorts à embase Sylomer, caractérisées par une fréquence propre inférieure ou égale à 3 Hz, ACTIV, AREMA, AMC ou techniquement équivalent. Le principe est schématisé en Figure 19.

Des manchettes souples seront positionnées à l'entrée / sortie de chacun des extracteurs.

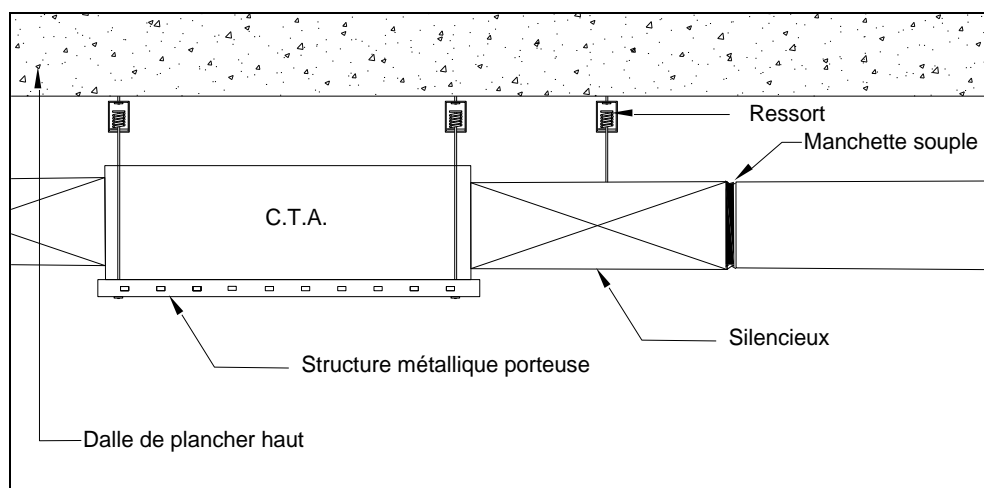


Figure 19 : Principe de désolidarisation d'un équipement suspendu

3.7.3. Désolidarisation des canalisations et des gaines

• Raccordement des canalisations aux installations

Toutes les conduites de fluide seront reliées aux installations vibrantes par des manchons antivibratiles.

Exemples types :

- **Canalisations métalliques** : DILATOFLEX de ANVIS, Amortisseur de vibration 7690 de CASTEL ou techniquement équivalent.
- **Canalisations PVC** : ADEQUA AR (avec Dammgülast jaune) de ADEQUA, Friaphon de GIRPI ou techniquement équivalent.

• Raccordement des gaines d'air aux installations

Toutes les gaines d'air seront reliées aux installations par des manchettes textiles souples.



Figure 20 : Exemple de manchette souple au raccordement avec une CTA

- **Fixation des canalisations et gaines d'air**

Toutes les canalisations seront systématiquement posées sur des profilés métalliques, dont la jonction au génie civil sera assurée par des suspentes à ressorts + embase polyuréthane, caractérisées par une fréquence propre inférieure ou égale à 5 Hz, type AMC, ACTIV, AREMA ou techniquement équivalent.

Les conduites seront reliées à la structure métallique par des colliers résilients en élastomère type MUPRO ou techniquement équivalent.

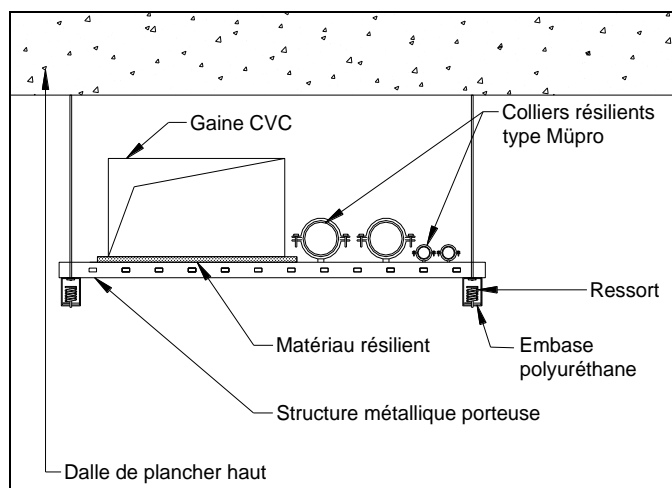


Figure 21 : Fixation des canalisations dans les bâtiments sensibles



Figure 22 : Exemple de support de réseaux désolidarisés

Dans les cas où cette disposition ne pourra être retenue, si les canalisations ou gaines d'air devront être traitées individuellement :

- Les **conduites de fluides** seront reliées au génie civil par des suspentes à ressort individuelles.



Figure 23 : Exemple de réseaux désolidarisés par suspentes à ressorts

- Les **gaines d'air** seront suspendues directement par suspentes néoprène ou via cadre métallique + bande type DAMMGULAST de MUPRO.



Figure 24 : Exemple de bande souple Dammgulast jaune de MUPRO

- **Traversées de parois**

A chaque traversée de paroi par une conduite de fluide / gaine de ventilation, il sera mis en œuvre un fourreau résilient en caoutchouc synthétique (épaisseur 10 mm) type ARMAFLEX de ARMACELL ou techniquement équivalent. Un dépassement de 20 mm minimum de part et d'autre de la paroi sera réalisé.

L'objectif est d'éviter le contact direct entre la conduite et la maçonnerie.

Le rebouchage au mortier ou au plâtre sera assuré autour de ce résilient. Un joint acrylique à la pompe viendra parachever l'étanchéité à l'air, si nécessité d'isolation acoustique.

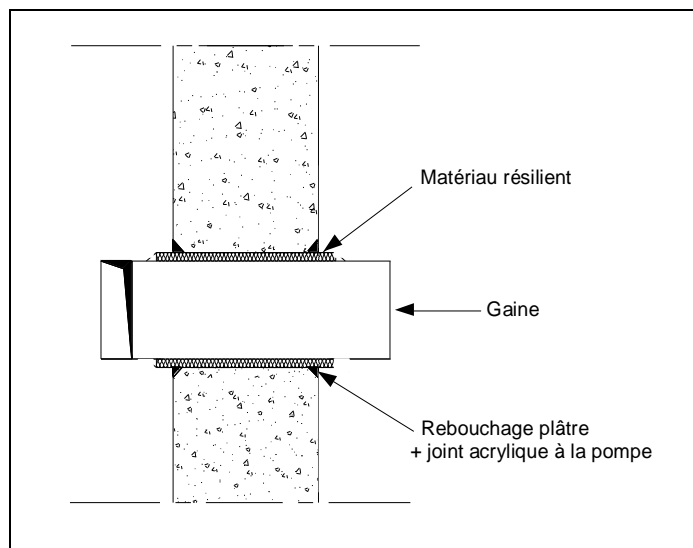


Figure 25 : Traversée de paroi par une gaine de ventilation

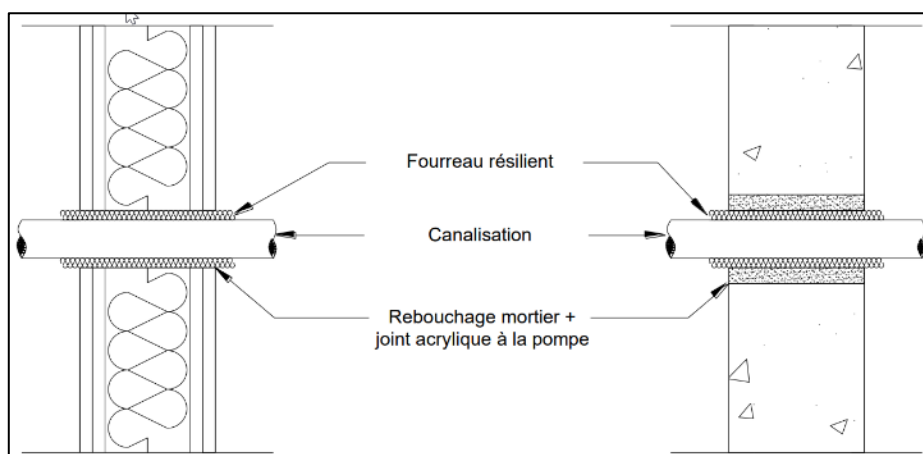


Figure 26 : Exemple de traversée de séparatif (cloison sèche/béton) par une canalisation

- **Traversées de plancher par les conduites**

A chaque traversée de plancher par une conduite, il sera mis en œuvre un fourreau résilient en caoutchouc synthétique (épaisseur 10 mm) type ARMAFLEX de ARMACELL, GAINOJAC de ELASTISOL ou techniquement équivalent.

Un dépassement de 20 mm minimum de part et d'autre de la paroi sera réalisé.

3.7.4. Groupe frigorifique

Le groupe frigorifique sera posé sur un massif béton d'au moins 3 fois la masse embarquée, désolidarisé par l'intermédiaire de ressorts métalliques à embase résiliente de façon à obtenir une fréquence propre de suspension de 3Hz.

Exemples types : Ressort métallique type GETZNER, AMC, ou techniquement équivalent, avec embase polyuréthane SYLOMER ou AREMA SYLO, ou techniquement équivalent.

3.7.5. Ventilo-convecteurs

- **Type carrossés gainables**

Des ventilo-convecteurs suspendus seront installés dans le local technique CVC (2 unités), l'operator room et l'electronics room.

Chaque ventilo-convecteur sera suspendu par des suspentes à ressorts à embase Sylomer, caractérisées par une fréquence propre inférieure ou égale à 5 Hz, ACTIV, AREMA, AMC ou techniquement équivalent.

- **Equipements en allège**

Les ventilo-convecteurs en allège des locaux électrique et courant faible ne nécessitent pas de traitement antivibratile particulier.

3.7.6. Cassettes

Les cassettes seront suspendues par l'intermédiaire de suspentes désolidarisées par des plots en élastomère, caractérisées par une fréquence propre inférieure ou égale à 10 Hz.

3.7.7. Pompes

Toutes les pompes situées au sous-sol seront montées sur des massifs en béton de masse au moins équivalente à 3 fois la masse de la pompe, désolidarisé par l'intermédiaire de ressorts métalliques à embase résiliente de façon à obtenir une fréquence propre de suspension de 3Hz.

Exemples types : Ressort métallique type GETZNER, AMC, ou techniquement équivalent, avec embase polyuréthane SYLOMER ou AREMA SYLO, ou techniquement équivalent.

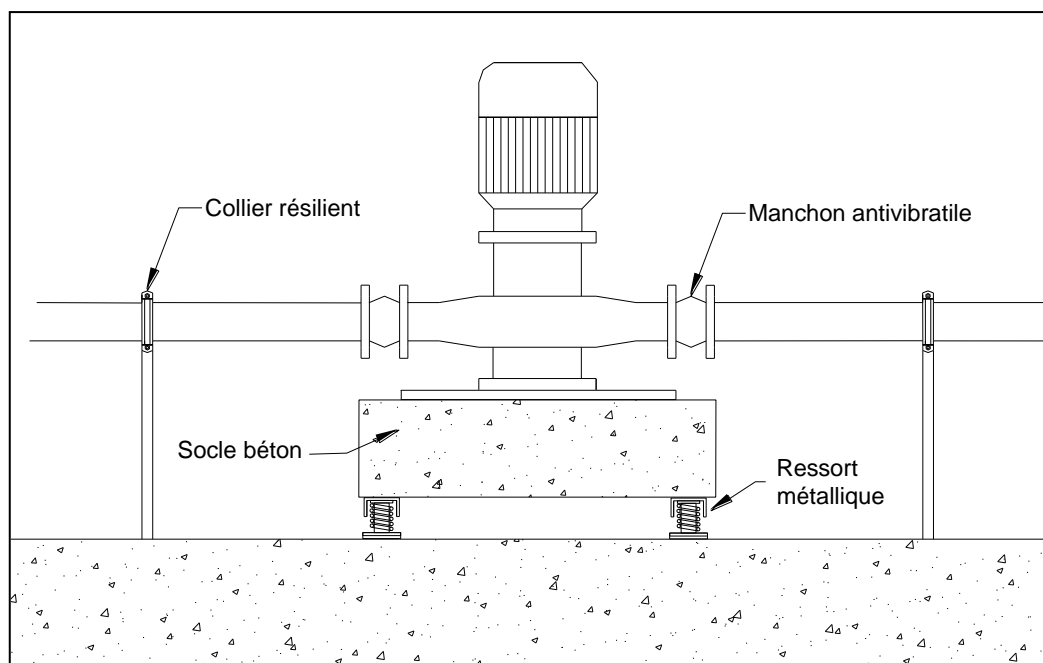


Figure 27 : Schéma de principe de désolidarisation de pompe

3.7.8. Obligations de l'Entreprise

• Éléments à fournir

L'Entreprise fournira pour approbation à la Maîtrise d'Œuvre et à l'AMO Vibrations un dossier vibrations complet et unique contenant les documents suivants :

- Plans d'exécution,
- Notes de calcul d'atténuation vibratoire des dispositifs antivibratiles de tous les équipements techniques.

Remarque : seuls les éléments concernant exclusivement les dispositifs antivibratiles seront transmis. Tout dossier contenant des justifications qui ne concernent pas les vibrations sera refusé (typiquement PV d'essais feu, résistance mécanique, spécifications thermiques, note de calcul thermique...etc.).

• Autocontrôles de l'entreprise

Ces autocontrôles sont à mener par l'Entreprise tout au long du chantier et nécessitent la remise de comptes rendus d'autocontrôle, illustrés le cas échéant par des photographies, schémas de principe, plans, coupes, etc.

- Liste de tous les équipements techniques désolidarisés avec vérifications suivantes :
 - Présence et types de plots résilients ou ressorts ;
 - Présence et types de manchettes souples ;
 - Vérification de l'absence de contact entre l'équipement ou son massif support désolidarisé et l'environnement non désolidarisé ;
 - Vérification de l'absence de jonction parasite de la désolidarisation via supports de gaine ou autres éléments.

3.8. Lot Plomberie (Lot 02)

Les réseaux de distribution de plomberie répondent aux mêmes recommandations que le lot CVC (cf. §3.7) en termes de :

- Désolidarisation des pompes,
- Désolidarisation des canalisations,
- Fixation des canalisations,
- Traversées de parois par les canalisations,
- Traversées de plancher.

3.9. Lot Fluides spéciaux (Lot 02)

Les réseaux de distribution de fluides spéciaux (air comprimé, azote, etc) répondent aux mêmes recommandations que le lot CVC (cf. §3.7) en termes de :

- Désolidarisation des canalisations,
- Fixation des canalisations,
- Traversées de parois par les canalisations,
- Traversées de plancher,
- Pompes/surpresseurs.

3.10. Lot Electricité (Lot 03)

3.10.1. Traitements antivibratiles des transformateurs

Les transformateurs produisent des niveaux vibratoires à 100 Hz susceptibles de se propager dans la structure. Les transformateurs seront donc désolidarisés à l'aide d'appuis antivibratiles.

Exemple type : 4 supports V1B-5984-01 de PAULSTRA ou techniquement équivalent.

3.10.2. Raccordement aux équipements techniques

Tous les circuits électriques seront reliés aux équipements techniques vibrants (CTA, groupes frigorifiques, pompes, etc) **par des lyes**, pour éviter la rigidification parasite des dispositifs antivibratiles.

De plus, les chemins de câble ne seront pas en contact avec l'équipement désolidarisé, un vide de 5cm au minimum est exigé.

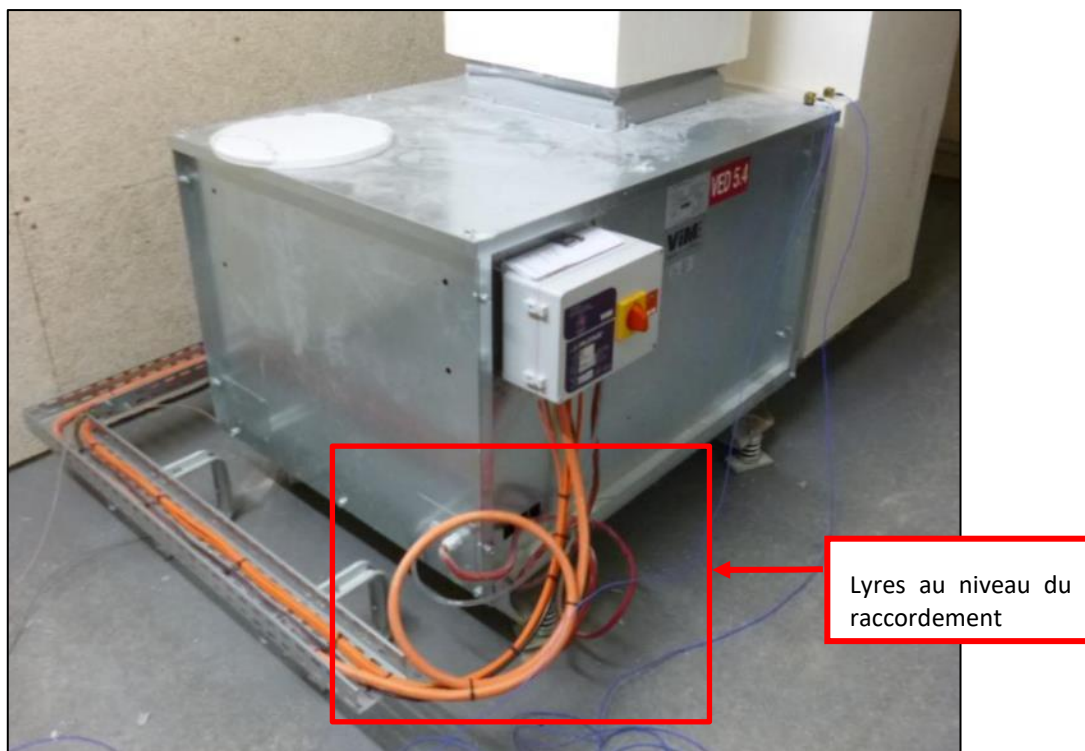


Figure 28 : Exemple de raccordement d'un équipement désolidarisé par des lyres

3.10.3. Traversées de parois

A chaque traversée de paroi par un chemin de câble, il sera mis en œuvre un fourreau résilient en caoutchouc synthétique (épaisseur 10 mm) type ARMAFLEX de ARMACELL ou techniquement équivalent. Un dépassement de 20 mm minimum de part et d'autre de la paroi sera réalisé.

L'objectif est d'éviter le contact direct entre le chemin de câble et la maçonnerie.

Le rebouchage au mortier ou au plâtre sera assuré autour de ce résilient. Un joint acrylique à la pompe viendra parachever l'étanchéité à l'air, si nécessité d'isolation acoustique.

3.10.4. Obligations de l'Entreprise

- **Éléments à fournir**

L'Entreprise fournira pour approbation à la Maîtrise d'Œuvre et à l'AMO Vibrations un dossier vibrations complet et unique contenant les documents suivants :

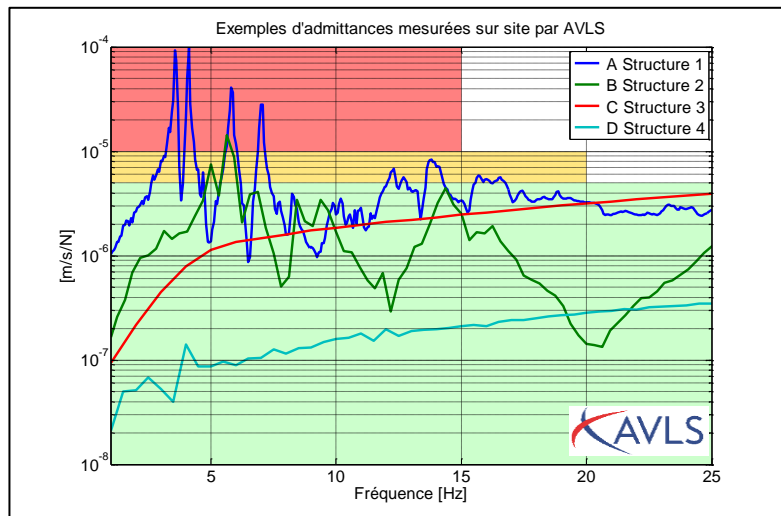
- Plans de repérage des lyres aux raccordement avec les équipements sur appuis antivibratiles,
- Plans de repérage des traversées de parois traitées par fourreau résilient.

Annexe 1. Terminologie

• Admittances mécaniques

Une mesure d'admittance permet de tracer le rapport de la réponse en vitesse vibratoire par rapport à une force unitaire injectée (Unité = (m/s)/N) : elle caractérise la rigidité et l'inertie du support, et constitue un bon moyen de contrôle de la qualité mécanique des surfaces recevant les capteurs, mais aussi d'investigation des fréquences propres des structures.

A l'aide d'un marteau instrumenté, une force connue est donc injectée à proximité du capteur ; le signal de vitesse vibratoire résultant est relevé permettant ainsi le calcul de l'admittance (quotient du spectre de vitesse par le spectre de force).



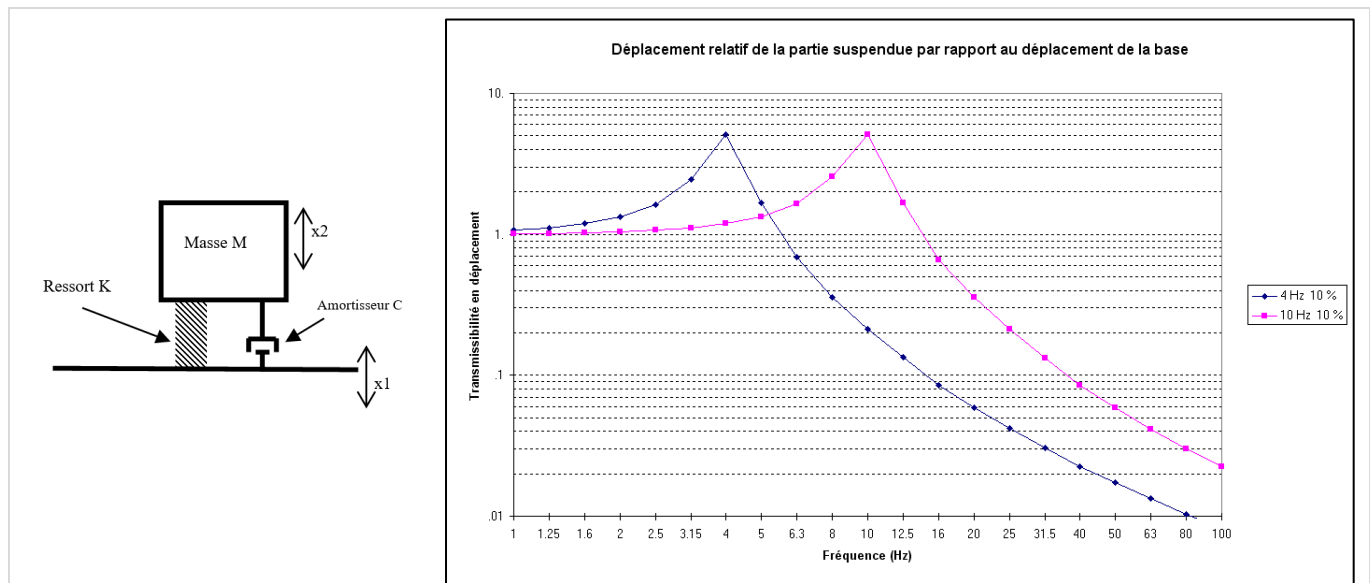
A : Plancher mixte bac acier non collaborant ; B : Plancher dalle alvéolée ;
C : Plancher béton armé de logement ; D : Dallage béton armé

• Bande de tiers d'octave

Une bande de tiers d'octave est une bande de fréquence vérifiant la relation : $f_{max} = f_{min} \cdot \sqrt[3]{2}$. Les fréquences centrales de bande de tiers d'octave sont normalisées. Dans la bande de fréquence d'intérêt de la présente étude, il s'agit des fréquences suivantes : 1 1.25 1.5 2 2.5 3.15 4 5 6.3 8 10 12.5 16 20 25 31.5 40 50 63 80 100 125 160 200 Hz

• Filtrage antivibratile

Dans le cas d'un système masse-ressort-amortisseur simple (dit « à un degré de liberté ») sollicité en vibrations d'amplitude x_1 par la base, on démontre un effet de filtrage sur la masse, c'est à dire qu'au-delà d'une certaine fréquence l'amplitude x_2 est inférieure à x_1 .



Cette atténuation des vibrations au-delà d'une certaine fréquence est l'effet recherché dans le cas de la suspension des installations techniques, des massifs antivibratiles ou des bâtiments.

Le système mécanique constitué par une structure ou un équipement posé sur des ressorts (ou un autre matériau de rigidité donnée) est évidemment beaucoup plus complexe que le système masse – ressort indiqué plus haut et il faut se garder des simplifications hâtives, cependant l'effet d'atténuation des fréquences hautes est vérifié.

On constate qu'une amplification du niveau vibratoire existe à une certaine fréquence dépendant du couple masse – ressort. Cette fréquence de résonance (en Hz) est approximativement :

$$F = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}}, \text{ avec } M \text{ en kg et } K \text{ en Newtons / mètre.}$$

Lorsqu'on cherche à atténuer une gamme de fréquences particulière, il est donc indispensable de caler la fréquence de résonance du système plus bas que les plus basses fréquences gênantes produites par la source.

Le ressort K correspond donc au dispositif antivibratile. Il peut s'agir par exemple de matériaux en polyuréthane ou de ressorts en acier (plus efficaces).

- **Indices fractiles**

Par analyse statistique du $L_{eq,1s}$, on peut déterminer le niveau de vitesse vibratoire qui est dépassé pendant N % de l'intervalle de temps considéré, dénommé "vibratoire fractile". Son symbole est L_N .

Par exemple, $L_{90,1s}$ est le niveau de vibration équivalent dépassé pendant 90 % de l'intervalle de mesurage, avec une durée d'intégration égale à 1 s.

- **Niveau de vitesse vibratoire**

Le niveau de vitesse vibratoire L_v est défini en dB par la relation : $L_v = 20 \log (v/v_0)$

v est la vitesse vibratoire en m/s,

v_0 est la vitesse vibratoire de référence ($v_0 = 5.10^{-8}$ m/s).

- **Niveau (vibratoire ou acoustique) équivalent**

Le niveau $L_{eq,T}$ est défini comme étant le niveau équivalent, mesuré sur des tranches consécutives de T secondes. T est généralement de 1 s.

- **Gabarits vibratoires ASHRAE**

L'association américaine de réalisateurs d'équipements techniques destinés aux laboratoires de recherche - l'ASHRAE - a défini des seuils de « qualité vibratoire » permettant de qualifier les planchers, afin de déterminer leur compatibilité vibratoire avec divers équipements de recherche, cf. Colin Gordon : « Generic Vibration criteria for vibration sensitive equipment », 1999 révisé en 2005.

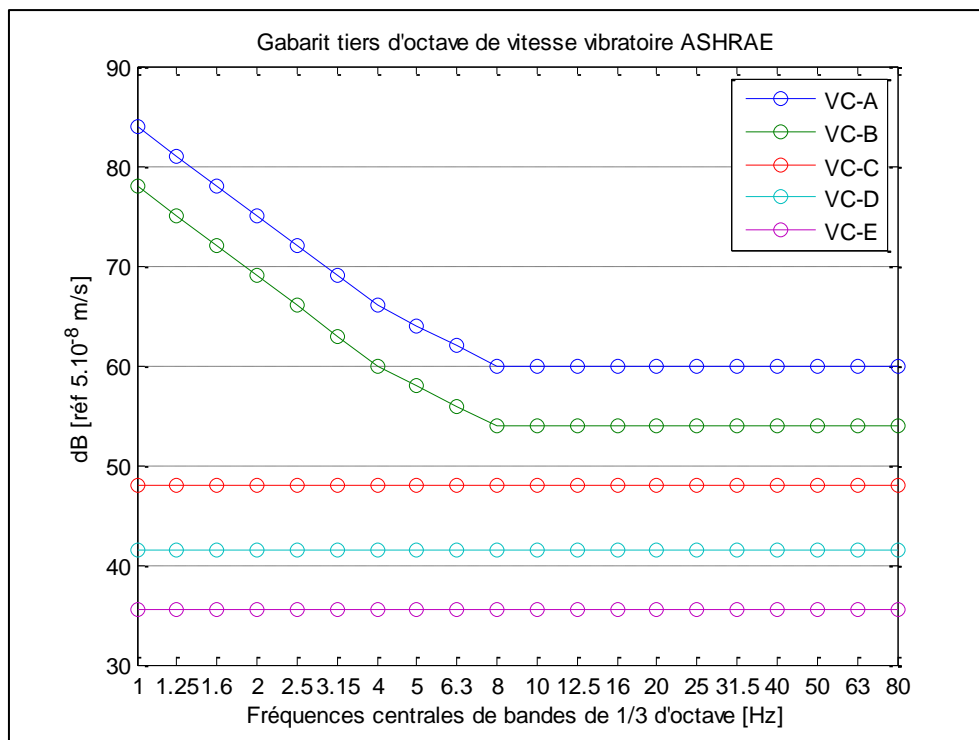
Ces seuils ou gabarits sont utilisés couramment pour caractériser les vibrations dans les bâtiments scientifiques.

Ces seuils sont exprimés en vitesse vibratoire en m/s (cf. ci-dessous).

De plus, le critère, plutôt que d'être exprimé dans le domaine temporel (niveau crête par exemple), est exprimé sous forme de spectre de tiers d'octave, ce qui simplifie considérablement la représentation. Les gabarits ont initialement été définis entre 4 Hz et 80 Hz, puis étendus à 1 Hz.

Par exemple le niveau VC-E correspond à 3 $\mu\text{m/s}$ RMS dans chaque bande de tiers d'octave de 1 Hz à 80 Hz.

Ces gabarits peuvent être représentés de manière compacte en exprimant les niveaux en décibels, comme ci-dessous.



Selon le critère fixé, les niveaux vibratoires suivants sont donc à respecter à partir du tiers d'octave 8 Hz :

- VC-A : 48 $\mu\text{m/s}$ RMS par tiers d'octave, soit 60 dBv (réf. 5.10-8m/s),
- VC-B : 24 $\mu\text{m/s}$ RMS par tiers d'octave, soit 54 dBv,
- VC-C : 12 $\mu\text{m/s}$ RMS par tiers d'octave, soit 48 dBv,
- VC-D : 6 $\mu\text{m/s}$ RMS par tiers d'octave, soit 42 dBv,
- VC-E : 3 $\mu\text{m/s}$ RMS par tiers d'octave, soit 36 dBv.

NB : une actualisation des gabarits à partir de VC-C (et plus restrictifs) a été proposée en 2005 en prolongeant la zone constante vers les basses fréquences (tiers d'octave inférieurs à 8Hz).