

SOMMAIRE PAGES

1.	PRESENTATION DE L'OPERATION	1
1.1.	OBJET	1
1.2.	PRESENTATION DE L'OPERATION	1
1.3.	CLASSEMENT DU BATIMENT	2
2.	CONTRAINTES D'EXECUTION	2
2.1.	PHASAGE	2
2.2.	MILIEU OCCUPE	3
2.3.	COORDINATION AVEC LES AUTRES LOTS	3
2.4.	LIMITES DE PRESTATIONS AVEC LES AUTRES LOTS	3
2.4.1.	Avec le Lot n°01 – Macro lot Gros-Œuvre étendu	3
2.4.2.	Avec le Lot n°02 – Macro lot Chauffage Ventilation Climatisation Plomberie Gaz spéciaux	4
2.4.3.	Avec le Lot n°03 – Électricité	5
2.4.4.	Avec le Lot n°05 – Table antivibratile pour le microscope	5
2.4.5.	Avec le fournisseur du microscope NION	6
2.5.	CONTRAINTES SPATIALES STRICTES D'EXECUTION	6
2.6.	VIGILANCES PARTICULIERES	8
2.7.	INTERFACE AVEC LA TABLE ANTIVIBRATILE	8
3.	NORMES ET REGLEMENTATION	9
3.1.	REGLEMENTATION GENERALE	9
3.2.	ECHAFAUDAGES, AGRES ET PROTECTIONS	10
3.3.	GESTION DES DECHETS	10
4.	PRESTATIONS DE CHANTIER	10
4.1.	SECURITE	10
4.2.	PRESCRIPTIONS REGLEMENTAIRES	10
4.3.	REGLES DE L'ART	11
4.4.	HYGIENE ET SECURITE DU CHANTIER	11
4.5.	PROTECTIONS	12
4.6.	COORDINATION	12
5.	ETUDES ET CHOIX DES MATERIELS	12
5.1.	ECHANTILLONS – PROTOTYPES	12
5.2.	QUALITE DES MATERIAUX	13
5.3.	PIECES A FOURNIR PAR L'ENTREPRISE TITULAIRE	13
5.4.	DOSSIER D'OUVRAGES EXECUTES DE L'INSTALLATION (DOE)	14
5.5.	SYNTHESE D'EXECUTION	15
6.	CONTEXTE : MESURES DES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES ACTUELS DANS LA SALLE DU MICROSCOPE	15
6.1.	CONDITIONS DE MESURES : MATERIEL UTILISE	15
6.2.	CONDITIONS DE MESURES : LOCALISATION DES POINTS DE MESURES	15

6.3.	RESULTATS DES MESURES.....	18
7.	PERFORMANCES A ATTEINDRE ET MESURES COMPLEMENTAIRES.....	20
7.1.	PERFORMANCES	20
7.2.	MESURES COMPLEMENTAIRES.....	20
7.3.	DONNEES D'ENTREE – BASES DE CALCULS.....	21
8.	TRAVAUX DE PROTECTION ELECTROMAGNETIQUE DE LA SALLE DU MICROSCOPE ET DE CABLES.....	21
8.1.	RECEPTION DES SUPPORTS	21
8.2.	SOLUTION TECHNIQUE A TITRE D'EXEMPLE.....	21
8.2.1.	Boucles actives externes (<i>near DC</i> , selon <i>z</i>).....	21
8.2.1.1.	Caractéristiques du système de compensation active externe	22
8.2.1.2.	Disposition des boucles externes	22
8.2.1.3.	Compensateur 1 axe.....	22
8.2.1.4.	Mise en œuvre des boucles externes	22
8.2.2.	Blindage passif.....	23
8.2.2.1.	Contraintes spatiales strictes (paragraphe 2.5)	23
8.2.2.2.	Composition du blindage passif	23
8.2.2.3.	Caractéristiques du mu-métal	23
8.2.2.4.	Mise en œuvre du blindage passif	24
A)	Pour les murs périphériques	24
B)	Pour le bloc-porte.....	25
C)	Pour le plafond	25
D)	Pour le sol	26
8.2.2.5.	Réservations dans le blindage passif	27
8.2.2.6.	Fixations/Supportages au travers du blindage passif	28
8.2.3.	Boucles actives internes (<i>near DC</i> , <i>AC</i>)	28
8.2.3.1.	Caractéristiques du système de compensation active interne.....	28
8.2.3.2.	Disposition des boucles internes	29
8.2.3.3.	Compensateur 3 axes	29
8.2.3.4.	Mise en œuvre des boucles internes	29
8.2.4.	Protection magnétique des baies électroniques au sous-sol et du passage des câbles NION jusqu'à la Microscope Room.....	30
9.	QUALIFICATIONS.....	30
10.	COMPLEMENTS	31

1. PRESENTATION DE L'OPERATION

1.1. Objet

Le présent cahier des clauses techniques particulières (C.C.T.P.) a pour but de définir les prestations relatives à la réalisation des travaux du :

**Lot n°04 – Blindage passif et Boucles actives de compensation des champs
électromagnétiques pour la salle du microscope**

nécessaires aux travaux :

**Travaux d'installation d'un microscope électronique en transmission
sur le campus Pierre et Marie Curie**

Pour le compte de :

Sorbonne Université

18, rue de la Sorbonne - 75005 Paris

Il s'agit d'une opération de réhabilitation et restructuration de locaux existants permettant l'installation d'un microscope électronique en transmission de dernière génération (NION HERMES 200 SX).

1.2. Présentation de l'opération

Sorbonne Université, Maître d'Ouvrage, a acquis un microscope électronique en transmission de haute technologie (NION HERMES 200 SX).

Ce microscope sera installé sur le campus Pierre et Marie Curie, dans des locaux situés aux niveaux RDC (niveau Saint-Bernard) et sous-sol de la barre 13-23.

Les conditions d'installation de ce type d'équipement sont indiquées par le constructeur NION dans son document « **Nion UltraSTEM200MC (NION HERMES 200) pre-installation instructions (for 200 kV UltraSTEM equipped with a monochromator and EELS)** » (Cf. Annexe 14). Il précise en particulier les valeurs maximales admissibles pour l'environnement électromagnétique du microscope :

<p>< 0,1 mG (10 nT) r.m.s. < 0,28 mG (28 nT) crête-à-crête</p>	<p>à la fréquence principale (50 Hz) et les principales harmoniques</p>	<p>La variation temporelle de la perturbation à la fréquence principale doit être < 0,05 mG (5 nT) r.m.s. < 0,14 mG (14 nT) crête-à-crête</p>
<p>< 0,05 mG (5 nT) r.m.s. < 0,14 mG (14 nT) crête-à-crête</p>	<p>à toutes les autres fréquences et en particulier en near-DC</p>	

Le respect de ces instructions est indispensable pour permettre l'installation du microscope.

Ces valeurs doivent être respectées sur l'ensemble du volume constitué par l'ensemble {microscope + spectromètre} comme décrit schématiquement ci-dessous, à savoir :

$$(L \times l \times h) = 2,25 \times 2,10 \times 3,50 \text{ m}^3$$

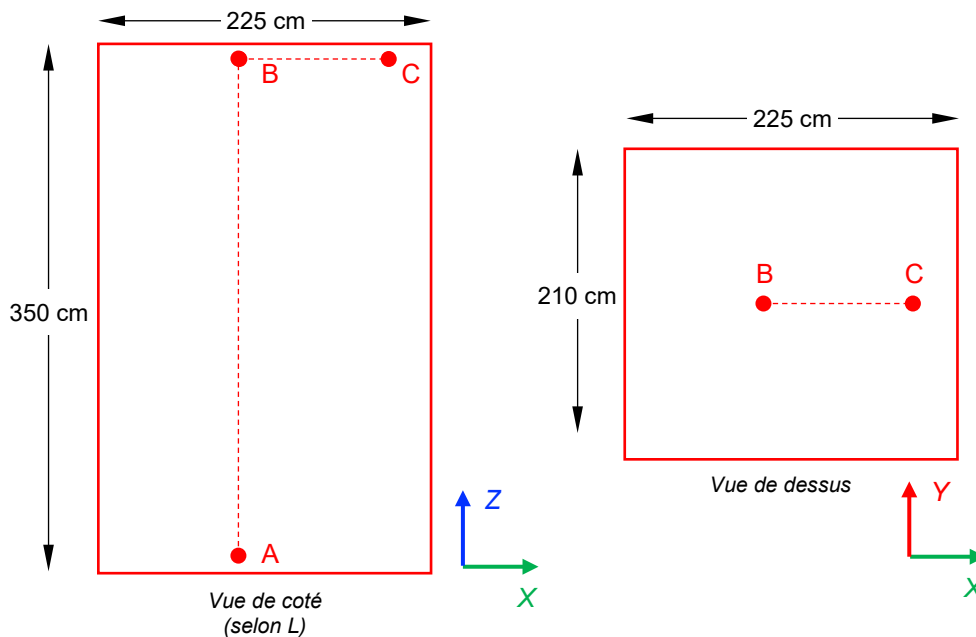


Figure 1 : Représentation schématique du volume à considérer pour le {microscope + spectromètre} avec les dimensions associées.

Les directions (x,y,z) utilisées dans la suite du document sont indiquées ainsi que les points importants (A,B,C) à considérer pour les mesures d'environnement.

Le point A correspond à la partie basse du canon à électrons, le point B à la partie haute de la colonne électronique / l'entrée du spectromètre et le point C à l'extrémité du spectromètre de perte d'énergie des électrons. Les positions des points A, B et C sont à l'échelle par rapport à la représentation du volume.

Le constructeur NION requiert également pour les baies électroniques (installées dans l'Electronics Room au sous-sol) un environnement électromagnétique dont les valeurs admissibles doivent être inférieures à 0,5 mG (50 nT) r.m.s (**1,4 mG (140 nT) crête-à-crête**) à la fréquence principale de **50 Hz**.

1.3. Classement du bâtiment

Le Campus Universitaire de Jussieu est un établissement recevant du public de 1^{ère} catégorie avec différentes activités dont la plus prépondérante est celle de type R au sens du règlement de sécurité du 25 juin 1980 et de l'arrêté du 4 juin 1982 relatif aux établissements du type R (enseignement et formation).

Les travaux seront réalisés dans une zone classée Code du travail.

2.CONTRAINTES D'EXECUTION

2.1. Phasage

Les travaux se dérouleront en une seule phase et en site occupé.

2.2. Milieu occupé

Les travaux se dérouleront au sein d'un établissement restant en activité.

Toutes les contraintes y découlant seront à prendre en compte notamment la gestion des livraisons et des horaires pour les travaux bruyants.

2.3. Coordination avec les autres lots

L'Entrepreneur reconnaît, par la signature de son marché, avoir lu les C.C.T.P. des autres lots, avoir pris connaissance des contraintes éventuelles à prendre en compte dues à ces autres lots et ne pourra se prévaloir de la méconnaissance des ouvrages des autres lots qui sont en liaison directe avec les siens.

L'Entrepreneur du présent lot sera responsable de la coordination de ses études et de ses travaux avec ceux des autres lots.

2.4. Limites de prestations avec les autres lots

Pour rappel : la liste des limitations de prestations est non exhaustive.

2.4.1. AVEC LE LOT N°01 – MACRO LOT GROS-ŒUVRE ETENDU

L'entreprise titulaire du Lot n°01 – Macro lot Gros-Œuvre étendu doit :

- Prendre en compte les charges appliquées par le blindage passif pour la réalisation des voiles supports et du plancher en béton.
- Le massif béton supérieur 2 amagnétique en respectant le joint antivibratile (vide franc de désolidarisation - JA) de 5 cm avec le plancher bas béton.
- Transmettre les charges appliquées par le plancher en PEHD sur les plaques de protection mécanique du blindage passif au sol.
- Le plancher en PEHD de protection du blindage en respectant le joint antivibratile (JA) de 5 cm autour du massif béton supérieur 2.
- Transmettre en temps utile, un plan et des coupes indiquant la position des fixations des pieds du faux-plancher technique.
- La réalisation du faux-plancher technique en respectant le joint antivibratile (JA) de 2 cm autour de la table antivibratile.
- Les réservations nécessaires dans le faux-plancher technique.
- Toutes les réservations / percements dans les voiles béton, planchers et maçonneries.
- Le rebouchage des réservations / percements dans les voiles bétons, planchers et maçonneries après passage des réseaux.

L'entreprise du Lot n°04 – Blindage passif et boucles actives doit :

- Fournir en temps utile tous croquis et plans nécessaires, ainsi que toutes les indications pour la réalisation des réservations et percements.
- Fournir en temps utile les charges appliquées par les différentes parties du blindage passif notamment celles sur le plancher béton, sur les voiles béton et en plafond.
- Fournir en temps utile la charge appliquée par la porte d'accès à la Microscope Room.

- Fournir en temps utile les précautions à respecter pour la mise en œuvre dans les règles de l'art du massif béton supérieur 2 et du plancher en PEHD de protection du blindage.
- Prendre en compte les charges appliquées par le faux-plancher technique pour le choix et la mise en œuvre de la protection mécanique du blindage passif au sol.
- Respecter la désolidarisation mécanique entre le plancher bas béton et le massif béton supérieur 2 lors de la réalisation du blindage au sol.

En cas d'erreurs d'implantation des réservations et percements :

- Dues au Lot n°01 – Macro lot Gros-Œuvre étendu : les trous seront repris par l'entrepreneur titulaire du Lot n°01 – Macro lot Gros-Œuvre étendu et les frais seront à sa charge.
- Dues au titulaire du présent lot : les trous seront exécutés par l'entreprise titulaire du Lot n°01 – Macro lot Gros-Œuvre étendu et les frais seront à la charge du présent lot.

2.4.2. AVEC LE LOT N°02 – MACRO LOT CHAUFFAGE VENTILATION CLIMATISATION PLOMBERIE GAZ SPECIAUX

L'entreprise titulaire du Lot n°02 – Macro lot Chauffage Ventilation Climatisation Plomberie Gaz spéciaux doit :

- Transmettre en temps utile, un plan et des coupes indiquant la position des fixations des supports des panneaux rayonnants.
- Transmettre en temps utile, un plan et des coupes indiquant la position des fixations des supports de la boucle hydraulique alimentant les panneaux rayonnants.
- Transmettre en temps utile, un plan et des coupes indiquant la position des fixations des supports des gaines de ventilation.
- Transmettre en temps utile, un plan et des coupes indiquant la position des réservations et des fixations des supports pour les attentes du réseau d'azote et de la récupération d'hélium dans la Microscope Room.
- Transmettre en temps utile, le détail des fixations (profondeur d'ancrage, diamètre, force appliquée) des supports des panneaux, supports des gaines, supports de la boucle hydraulique et supports pour les attentes du réseau d'azote et de la récupération d'hélium.
- Prévoir si besoin des renforts pour prendre en compte les charges appliquées par les différentes fixations.
- Fournir des plans et coupes en format .dwg pour permettre au Lot n°04 – Blindage passif et boucles actives de projeter la position des différentes fixations sur les murs, le plafond et le plancher de la salle du microscope.

Point important : Il est proscrit de réaliser des réservations dans le plancher bas de la Microscope Room pour l'extraction sous-faux plancher ou pour tout autre passage de fluides afin de pas affaiblir les performances électromagnétiques requises pour le bon fonctionnement.

L'entreprise du Lot n°04 – Blindage passif et boucles actives doit :

- Prévoir les réservations dans les différentes épaisseurs constituant le blindage passif des murs pour permettre au Lot n°02 – Macro lot Chauffage, Ventilation, Climatisation, Plomberie, Gaz spéciaux de mettre en œuvre les fixations des panneaux rayonnants.
- Prévoir les réservations dans les différentes épaisseurs constituant le blindage passif du plancher haut et des parois latérales de la salle du microscope, pour permettre au Lot n°02 – Macro lot Chauffage, Ventilation, Climatisation, Plomberie, Gaz spéciaux de mettre en œuvre les fixations des gaines de ventilation.
- Prévoir si besoin des renforts pour prendre en compte les charges appliquées par les différentes fixations.

- Fournir en temps utile les précautions à respecter pour la mise en œuvre dans les règles de l'art de toutes les fixations dues par le Lot n°02 – Macro lot Chauffage, Ventilation, Climatisation, Plomberie, Gaz spéciaux dans la salle du microscope.
- Fournir des plans et coupes en format .dwg pour permettre au Lot n°02 – Macro lot Chauffage, Ventilation, Climatisation, Plomberie, Gaz spéciaux de projeter la position des différentes fixations sur les murs, le plafond en fonction des fixations des boucles actives internes.

2.4.3. AVEC LE LOT N°03 – ÉLECTRICITE

L'entreprise titulaire du Lot n°03 – Électricité doit :

- Prévoir les attentes électriques de courants forts au droit des compensateurs de champs et des capteurs,
- Transmettre en temps utile, un plan et des coupes indiquant la position des goulottes électriques (courants forts et courants faibles) dans la Microscope Room,
- Transmettre en temps utile, un plan et des coupes indiquant la position des fixations des supports des luminaires dans la Microscope Room,
- Transmettre en temps utile, le détail des fixations (profondeur d'ancrage, diamètre, force appliquée) des supports des luminaires.
- Prévoir tous les passages de câbles CFO / CFA : prises CFO, CFA, détecteur anoxie, dans la Microscope Room (en minimisant le nombre de réservations et leur taille).
- Prévoir la connexion du blindage passif à la terre propre avec possibilité de déconnexion en prise directe.

L'entreprise du Lot n°04 – Blindage passif et boucles actives doit :

- Fournir en temps utile des plans et coupes matérialisant la position de chaque attente électrique souhaitée,
- Fournir en temps utile les caractéristiques des attentes électriques souhaitées pour chaque attente demandée,
- Prévoir le raccordement électrique de chaque attente demandée,
- Prévoir les réservations dans les différentes épaisseurs constituant le blindage passif du plancher haut de la salle du microscope, pour permettre au Lot n°03 – Électricité de mettre en œuvre les fixations des luminaires.
- Prévoir les réservations dans les différentes épaisseurs constituant le blindage passif des murs de la salle du microscope, pour permettre tous les passages de câbles CFO / CFA : prises CFO, CFA, détecteur anoxie par le Lot n°03 – Électricité.
- Prévoir si besoin des renforts pour prendre en compte les charges appliquées par les différentes fixations.
- Fournir des plans et coupes en format .dwg pour permettre au Lot n°03 – Électricité de projeter la position des différentes fixations, en particulier celles des boucles actives internes, sur les parois latérales ainsi que le plafond de la salle du microscope.

2.4.4. AVEC LE LOT N°05 – TABLE ANTIVIBRATILE POUR LE MICROSCOPE

L'entreprise du Lot n°04 – Blindage passif et boucles actives doit :

- Prévoir les réservations des fixations des colonnettes, tout en garantissant les performances exigées pour la protection électromagnétique.
- Prévoir les réservations des attentes électriques et des attentes de gaz pour les isolateurs de la table antivibratile les nécessitant.
- Transmettre en temps utile, un plan et des coupes indiquant l'ensemble des réservations.

- La prise en compte des charges appliquées par la table antivibratile sur le blindage passif du massif béton supérieur 2.

L'entreprise du Lot n°05 – Table antivibratile doit :

- Fournir les charges appliquées par les différents éléments composant la table antivibratile.
- Fournir les charges appliquées par les isolateurs/colonnettes de la table anti-vibratile afin de prévoir des fixations adaptées garantissant les performances exigées pour la protection électromagnétique.
- Respecter les précautions pour la mise en œuvre dans les règles de l'art de la table antivibratile vis-à-vis du blindage passif.
- Donner en temps utile les dimensions des colonnettes et leur position exacte sur le massif béton 2 tenant compte des plans de coffrage du Lot n°01 – Macro lot Gros œuvre étendu.

2.4.5. AVEC LE FOURNISSEUR DU MICROSCOPE NION

L'entreprise du Lot n°04 – Blindage passif et boucles actives doit :

- Respecter les performances requises par le fournisseur NION en termes de :
 - ✓ Surfaces minimales pour les locaux,
 - ✓ Champs électromagnétiques,définies dans le document « Nion UltraSTEM200MC (NION HERMES 200) pre-installation instructions (for 200 kV UltraSTEM equipped with a monochromator and EELS) » joint au dossier de consultation (Cf. Annexe 14).
- Prévoir les réservations dans le complexe du blindage passif pour les passages de câbles et la boucle d'eau nécessaire au fournisseur du microscope pour les raccordements.
- Prévoir l'installation de systèmes de suspensions en inox pour les câbles NION à l'arrière du microscope à fixer au travers du blindage passif au plafond béton.

2.5. Contraintes spatiales strictes d'exécution

Les travaux du présent lot ne pourront sous aucun prétexte dépasser l'emprise des locaux alloués au projet.

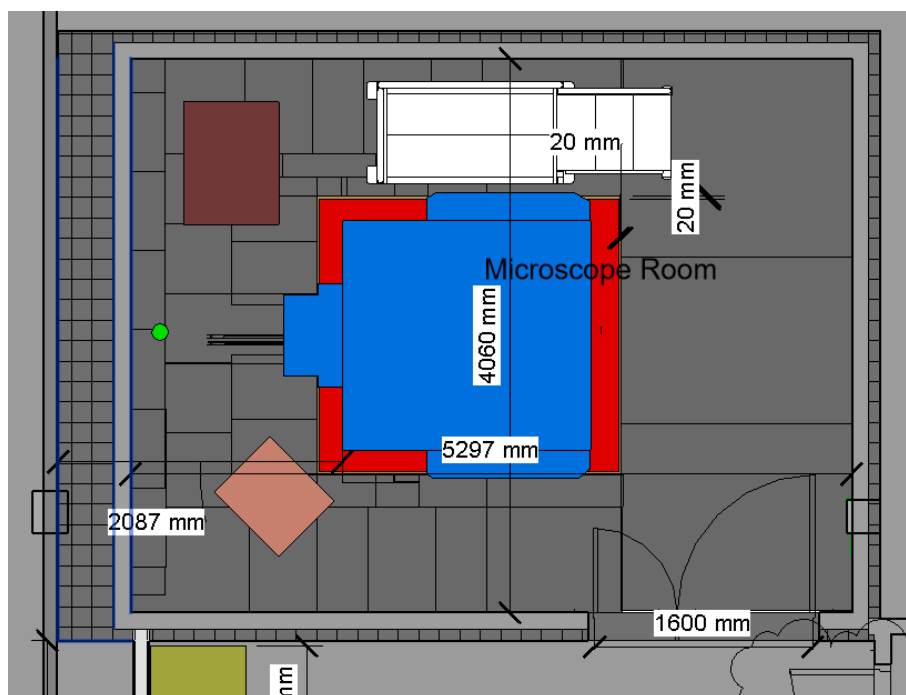


Figure 2 : Vue du dessus de la Microscope Room indiquant ses dimensions (hors dimensions du blindage).

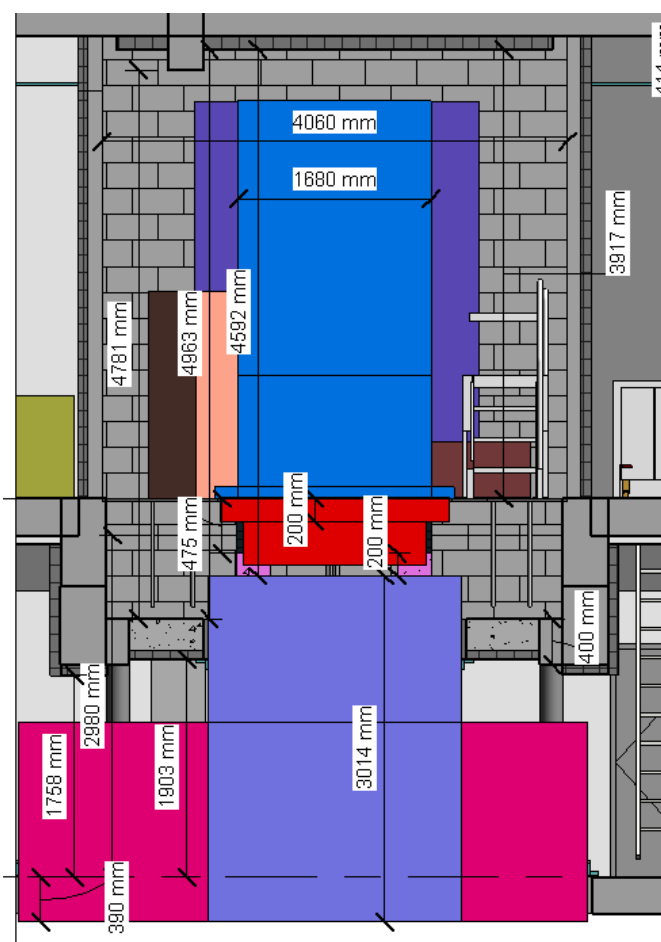


Figure 3 : Coupe indiquant les Dimensions de la Microscope Room (hors dimensions du blindage).

Les **dimensions internes** de la salle blindée finalisée du microscope (après pose du blindage passif et des boucles actives de compensation internes ainsi que des équipements telles que les panneaux rayonnants) ne pourront en aucun cas être inférieures à :

$$L \times l \times h_1 \geq 4,814 \text{ m} \times 3,613 \text{ m} \times 4,720 \text{ m}$$

$$L \times l \times h_2 \geq 4,814 \text{ m} \times 3,613 \text{ m} \times 4,855 \text{ m}$$

h_1 = Hauteur entre sous face blindage sous poutre et protection blindage au sol

h_2 = Hauteur entre sous face blindage sous plancher haut et protection blindage au sol

2.6. Vigilances particulières

* Dans le local Microscope Room, tous les éléments seront obligatoirement **de type amagnétique**.

* Il est rappelé à l'Entrepreneur adjudicataire de ce lot la fragilité des plaques en mu-métal qui seront mises en œuvre pour réaliser de façon précise et rigoureuse le blindage passif. Aucun choc mécanique, aucun poinçonnement, aucun percement ne sont autorisés pour ne dégrader sous aucun prétexte les caractéristiques et les performances de ce blindage.

Le présent lot devra la protection de ces ouvrages jusqu'à la réception des travaux.

2.7. Interface avec la table antivibratile

La table antivibratile supportant le microscope en tête du massif béton comporte des isolateurs vibratoires à contrôle actif qui doivent être ancrés solidement au massif béton afin d'assurer le meilleur comportement dynamique de l'ensemble. Des colonnettes en béton (ou granit par exemple, ou autre matériau amagnétique) pourront être interposées entre le massif béton et les isolateurs pour ajuster l'élévation de la table.

L'interface avec le blindage passif électromagnétique devra donc permettre d'assurer la contrainte de fixation des colonnettes et garantir la protection électromagnétique recherchée.

Les isolateurs antivibratiles (et colonnettes associées) peuvent occuper des emprises notablement différentes :

- Type « compact » : Chacun des 4 à 6 isolateurs nécessitent une emprise sur le massif béton de l'ordre de 30 cm de diamètre ;
- Type « large » : Chacun des 6 à 7 isolateurs nécessitent une emprise sur le massif béton de l'ordre de 65 x 30 cm².

Les deux situations sont illustrées en figure 4.

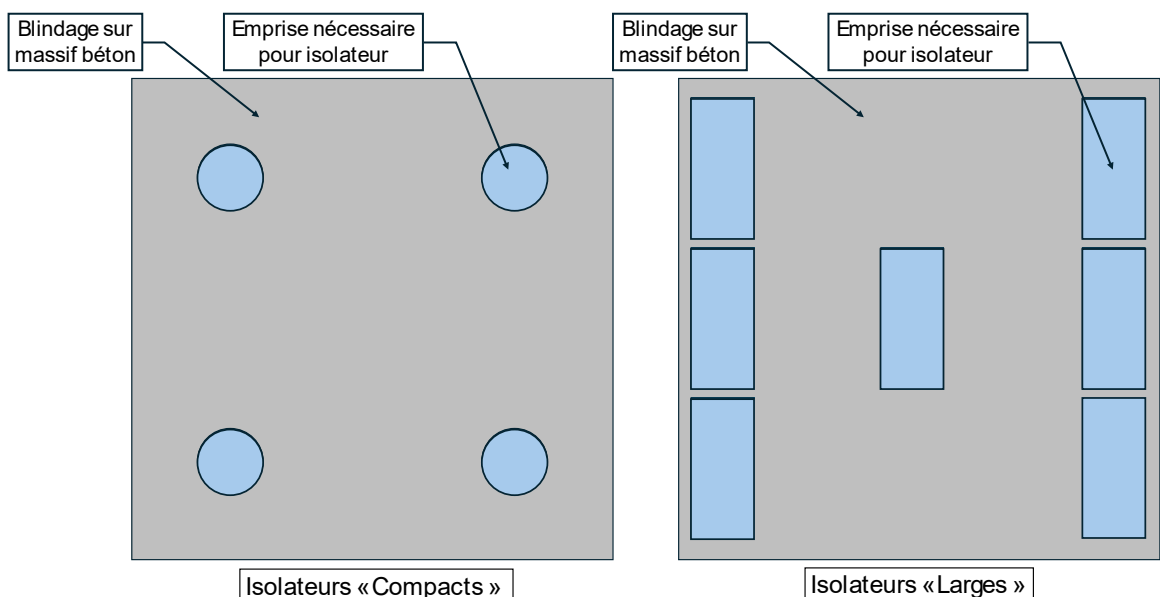


Figure 4 : Vues du dessus de l'arase supérieure du massif béton et des emprises impactées par les différentes typologies d'isolateurs antivibratiles.

Il y aura lieu, pour le titulaire du présent lot, en étroite collaboration avec le titulaire du Lot n°05 – Table Antivibratile et l'AMO, d'évaluer l'impact de telles réservations dans le blindage passif pour adapter leur conception afin de permettre de concilier les exigences de protection électromagnétique et vibratoire.

3.NORMES ET REGLEMENTATION

3.1. Réglementation générale

Le présent descriptif est établi en accord avec les normes et la réglementation en vigueur, et plus particulièrement, en conformité avec les spécifications des normes et documents ci-après :

- Lois, décrets, arrêtés, et circulaires ministérielles.
- Normes françaises, documents techniques unifiés, notices du C.S.T.B.

Ces textes seront appliqués à la fourniture des matériels et à leur mise en œuvre, en tenant compte des répercussions au niveau de l'exploitation.

Il sera apporté un soin particulier aux domaines suivants :

- Nuisance (bruits, pollutions...),
- Règlement sanitaire départemental,
- Respect des exigences des concessionnaires,
- Sécurité des équipements, des occupants, du bâtiment et du personnel de maintenance,

Si en cours des travaux, de nouveaux règlements entraient en vigueur, l'entrepreneur devra en référer au Maître d'Œuvre et au Maître d'Ouvrage, et proposer les dispositions issues de ces documents normatifs.

En cas de doute avec l'interprétation d'un règlement ou sur un détail de l'exécution, l'entrepreneur est tenu d'en référer au Maître d'Œuvre avant tout début d'exécution.

L'entrepreneur adjudicataire est donc tenu de respecter toutes les prescriptions de ces documents et ne pourra prétendre à aucune indemnité ou plus-value pour les travaux de réfection, montage et démontage, résultant de la mise en conformité de ses ouvrages avec les textes de normes et règlements en vigueur.

Les travaux à réaliser devront respecter les normes et les réglementations françaises et européennes en vigueur, les dispositions du Code du travail, et en particulier, l'ensemble des installations devra répondre aux prescriptions et spécifications des documents suivants (sans que cette liste soit exhaustive).

- Code du travail,
- Règlement sanitaire départemental,
- Arrêtés municipaux et ministériel,
- DTU,
- Agrément ou avis techniques favorables délivrés par le C.S.T.B,

- Le code de la Construction et de l'Habitation :
 - * Livre 1 : Dispositions générales
 - * Livre 2 : Sécurité et protection contre l'incendie

3.2. Echafaudages, agrès et protections

L'entreprise titulaire du présent lot devra se conformer aux prescriptions du plan général de coordination qui sera établi par le Coordonnateur en matière de sécurité et de protection de la santé.

Chaque entreprise est responsable de la mise en place d'un balisage des zones de sécurité à l'aplomb de ses postes de travail ou autour de ses engins de levage.

L'utilisation des échelles ou escabeaux comme poste de travail est strictement interdite.

L'utilisation des escabeaux sécurisés type « gazelle » ou échafaudages roulants sera obligatoire pour les travaux en hauteur.

3.3. Gestion des déchets

La gestion des déchets est traitée dans le Cahier des Clauses Techniques Communes (= C.C.T.C.) joint au dossier. L'ensemble des prescriptions y figurant devra être respecté.

4.PRESTATIONS DE CHANTIER

4.1. Sécurité

L'entreprise devra implanter son chantier de façon à permettre en permanence l'intervention des sapeurs-pompiers.

Les différents combustibles nécessaires au bon fonctionnement du chantier devront être stockés dans des lieux palliant tous les risques de propagation du feu ou d'explosion. (Prévoir des extincteurs à proximité).

Toutes règles de sécurité et de protection des ouvriers devront être scrupuleusement respectées.

L'entreprise titulaire du présent lot devra se conformer aux prescriptions du plan général de coordination qui sera établi par le Coordonnateur en matière de sécurité et de protection de la santé.

4.2. Prescriptions réglementaires

L'entrepreneur adjudicataire doit se référer pour tous les ouvrages cités au C.C.T.P, aux règlements de la construction et aux normes françaises en vigueur à la date du C.C.A.P.

D'une façon générale, il est indiqué que tous les matériaux concernés par les présentes prescriptions devront être présentés par l'entrepreneur adjudicataire avec tous les échantillons, procès-verbaux, documentations et justifications nécessaires. En cas d'insuffisance de

renseignements, le Maître d'Œuvre pourra demander, à l'entrepreneur défaillant et à la charge de celui-ci, tous les essais ou calculs par un laboratoire ou spécialiste agréé.

Toutes les réceptions du présent lot comprendront des essais de contrôle et de qualifications destinés à vérifier la qualité des matériaux utilisés, de leur mise en œuvre et de leurs performances.

Outre, les contrôles exercés par le Maître d'Œuvre et l'organisme agréé auquel le Maître d'Ouvrage fait appel, il est rappelé à l'entreprise adjudicataire qu'il lui appartient d'exercer un contrôle interne de ses ouvrages (fourniture, stockage, interface avec les autres lots, fabrication, mise en œuvre, etc.).

4.3. Règles de l'art

Documents généraux :

Sont considérés comme règles de l'art et, de ce fait, applicables contractuellement, les documents techniques unifiés, cahiers des charges et règles de calcul D.T.U., les exemples de solutions pour satisfaire au règlement de construction, figurant dans le REEF, et les prescriptions techniques générales, publiées par le C.S.T.B., ainsi que les règles professionnelles éditées par la fédération nationale du bâtiment, parues à la date du C.C.A.P.

Chaque fois que le fabricant d'un produit ou équipement a publié un cahier des charges, des recommandations ou des prescriptions d'emploi, l'entrepreneur adjudicataire devra suivre ces documents pour la mise en œuvre du produit ou du matériel.

Documents écrits et graphiques :

Les plans et les C.C.T.P. se complètent réciproquement sans que l'entrepreneur adjudicataire puisse faire état après remise et réception de l'offre d'une discordance éventuelle qu'il n'aurait pas signalée en temps utile, il devra prévoir, dans le prix, le montant des travaux indispensables à la terminaison des bâtiments dans l'ordre général et par analogie avec ce qui est décrit, en accord avec le Maître d'Œuvre.

L'entrepreneur adjudicataire est tenu de vérifier, avant toute exécution, les côtes figurant aux dessins et de signaler au Maître d'Œuvre les erreurs qui pourraient être constatées. Il est tenu de signaler, par écrit au Maître d'Œuvre, les discordances qui pourraient éventuellement exister entre le C.C.T.P. et les ouvrages à exécuter et qui seraient de nature à nuire à la parfaite réalisation des ouvrages.

Seront exécutés conformément aux avenants techniques de référence et aux décisions du Maître d'Œuvre sans entraîner, pour autant, des modifications au prix global forfaitaire du Marché toutes les divergences d'interprétation entre certaines dispositions des plans et du C.C.T.P. Il est précisé que la clause de préséance des pièces prévues au C.C.A.P. entre les plans et le C.C.T.P., n'a pas pour but d'annuler la réalisation d'un ouvrage quelconque figurant sur l'une des pièces et non sur l'autre.

Cette priorité ne joue qu'en cas de contradiction. En conséquence, tout ouvrage figurant aux plans et non décrit au C.C.T.P. est formellement dû et vice versa.

La description des ouvrages s'appuie enfin sur une solution technique répondant au programme et coordonnée entre les divers lots. Il appartient, en conséquence, à l'entrepreneur adjudicataire qui modifierait certains points d'un lot particulier, de prendre à sa charge, les incidences éventuelles sur les autres lots.

4.4. Hygiène et sécurité du chantier

L'Entrepreneur devra se conformer à l'ensemble des dispositions du Code du Travail et des règlements en vigueur à la date d'exécution, l'application de ces dispositions relevant de sa totale responsabilité.

De plus, il devra se conformer à toute disposition particulière locale qui sera jugée indispensable par le Maître d'Œuvre et le Maître d'Ouvrage, en raison d'impératifs locaux.

Une attention particulière devra être apportée par le présent lot sur la propreté des locaux. A cet effet il procédera au nettoyage des locaux où il est intervenu à l'issue de chaque intervention et de façon quotidienne. Le Maître d'Œuvre en cas de non-respect de cette clause, pourra faire mandater une entreprise aux frais du présent lot pour satisfaire aux demandes de nettoyage quotidien.

4.5. Protections

L'Entrepreneur prendra toutes dispositions nécessaires pour l'approvisionnement, la manutention et le stockage de ses matériaux pour assurer leur parfaite qualité (en particulier pour les plaques en mu-métal dont leur fragilité est rappelée - paragraphe 2.6), ceci entre les lieux d'arrivée et les lieux de mise en œuvre.

Ainsi que la protection de ses ouvrages, en parfaite coordination avec les autres lots qui devront intervenir après les prestations requises par ce présent lot, jusqu'à la réception finale des travaux.

4.6. Coordination

L'entrepreneur du présent lot sera responsable de la coordination de ses études et de ses travaux avec ceux des autres lots.

Il devra en conséquence :

- Recueillir tous les plans/coupes pour les réservations/perçements nécessaires aux autres lots et à NION,
- Adapter ses propres plans d'exécution suivants les demandes des autres lots,
- Faire la synthèse en fonction des simulations pour atteindre les performances requises,
- Etablir ainsi tous les plans nécessaires aux autres lots,
- Être présent à toutes les réunions nécessaires avec le Maître d'Œuvre et les représentants des entreprises concernées.

Quelles que soient les incidences qui pourraient en résulter, aucune modification du prix global et forfaitaire ne sera admise.

5.ETUDES ET CHOIX DES MATERIELS

5.1. Echantillons – Prototypes

L'Entrepreneur remettra, pour acceptation par la Maîtrise d'ouvrage et le Maître d'Œuvre, les échantillons de tous les matériaux et produits qu'il propose d'installer.

Il remettra un prototype incluant le blindage passif.

Dimension du prototype du blindage passif : 1 x 1 m.

Forme du prototype du blindage passif : devra inclure un angle entrant.

Spécificité du prototype : devra inclure des réservations permettant aux autres lots de simuler la fixation de supports au travers du blindage passif.

Lieu d'installation du prototype : au sous-sol dans un des angles de la future Electronics Room.

Tous les échantillons resteront sur le chantier afin qu'à tout moment, le Maître d'ouvrage et/ou le Maître d'Œuvre puisse avoir la possibilité de comparer les produits.

5.2. Qualité des matériaux

L'ensemble des matériaux employés doit être certifié NF.

Les matériaux retenus présents à l'intérieur de la salle du microscope doivent être amagnétiques.

5.3. Pièces à fournir par l'entreprise titulaire

A la signature du marché :

- Suivant règlement de la consultation

Etude d'exécution

La solution technique décrite inclut un système de blindage passif combinant au moins une couche de mu-métal et une couche d'aluminium pur ainsi qu'un système actif constitué d'au moins 2 boucles externes au blindage destinées à compenser la composante z du champ extérieur perturbateur, et de 3 paires de boucles internes normales aux directions x,y,z.

L'étude d'exécution sera réalisée par l'Entrepreneur et comprendra au minimum :

- (1) La stratégie générale, les dimensionnements et les choix techniques relatifs à chacun des éléments de la solution technique décrite qui devront être clairement justifiés, l'impact de chacun de ces éléments sur le résultat final devra être également détaillé ;
- (2) Le détail de la stratégie retenue qui devra être justifié par une phase de modélisation détaillée qui sera fournie pour l'adjudication du marché. Le détail des méthodes numériques, des logiciels et des paramètres physiques d'entrée employés devra être fourni, démontrant le respect des prérequis du constructeur NION sur tout le volume du microscope ainsi que dans l'Electronics Room tels que définis au paragraphe 1.2 ;
- (3) La note de calcul pour les charges du blindage (réalisation d'un test d'arrachement au niveau du plafond de la salle du microscope (niveau quai Saint Bernard)) et pour la fixation des panneaux rayonnants ;
- (4) Les dessins et plans d'exécution, soumis à l'agrément du Maître d'œuvre ;
- (5) Les plans pour la synthèse et coupes dûment approuvés par le Maître d'œuvre d'exécution et de conception et le bureau de contrôle ;
- (6) Les plans de réservation et percements comprenant les dimensions des trous à réaliser et leur altimétrie ;
- (7) Les notices techniques descriptives de tous les équipements proposés à installer ;
- (8) Les notices techniques descriptives des matériaux mis en jeu dans le blindage passif. Ainsi, les valeurs de la perméabilité magnétique, du champ coercitif et de l'aimantation à saturation devront être indiquées.

En cours d'exécution

- (1) Des mesures intermédiaires de champs magnétiques sur tout le domaine de fréquences (*near DC* et AC), sur temps court et long (24h), seront réalisées par le fournisseur ou un bureau d'étude spécialisé dans les mesures magnétiques agréé par la Maîtrise d'Ouvrage et la Maîtrise d'Œuvre. Elles auront pour but de vérifier le bon fonctionnement de la protection électromagnétique mise en œuvre. Ces mesures seront 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. Elles donneront lieu à des rapports écrits, après chaque phase de déploiement du système de protection électromagnétique ;

Après exécution des travaux et avant réception :

L'Entrepreneur devra fournir :

- (1) Tous les plans d'exécution, synoptiques, et notes de calcul mis à jour en fonction de la réalisation.
- (2) La liste des matériels mis en place avec les coordonnées précises des fabricants et des revendeurs.
- (3) Toutes les documentations des équipements installés ;
- (4) Les notices d'entretien et de maintenance conseillée.
- (5) Les coordonnées des services après-vente de chaque fournisseur / constructeur.
- (6) Pour chaque matériel, les notices détaillées de mise en service et de maintenance de constructeurs, avec copie de certificats de garantie et le cas échéant, d'épreuve ou essais réglementaires.
- (7) Des instructions de marches simples, mais précises et détaillées sur la conduite et l'entretien des installations.
- (8) Les plans de recollement des installations constituant les dossiers des ouvrages exécutés,
- (9) Le dossier d'essais et mise en service indiquant les matériels utilisés pour les essais, les méthodologies et les résultats avec un comparatif avec les valeurs théoriques des performances attendues.
- (10) En fin de travaux, des mesures de champs magnétiques sur tout le domaine de fréquences (*near DC* et AC), sur temps court et long (24h), seront effectuées après l'intervention des autres lots. Elles seront réalisées par le fournisseur ou un bureau d'étude spécialisé dans les mesures magnétiques agréé par la Maîtrise d'Ouvrage et la Maîtrise d'Œuvre. Elles auront pour but de vérifier le bon fonctionnement de la protection électromagnétique mise en œuvre. Ces mesures seront 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.

Réglages et mise au point finale du système de compensation active interne

L'entreprise titulaire du présent lot devra finaliser les réglages une fois le microscope installé. Pour cela, il faudra procéder, entre autres, (i) à l'optimisation du positionnement du capteur, (ii) aux réglages fins du compensateur « interne » après installation du microscope en concertation avec NION.

5.4. Dossier d'ouvrages exécutés de l'installation (DOE)

À la fin des travaux, l'Entreprise devra fournir au Maître d'Œuvre pour contrôle et avis : un dossier de récolement comprenant toutes les informations nécessaires au bon fonctionnement de son installation, à savoir :

Pour le dossier d'ouvrages exécutés (DOE), les notices et nomenclatures de tout le matériel utilisé et le dossier de maintenance, les plans, les schémas et les synoptiques de récolement seront fournis en tirage papier et également sur support informatique, DWG sur CD ROM.

Ces documents seront fournis en un exemplaire papier au Maître d'Œuvre pour avis et contrôle au moins quinze jours avant la réception des ouvrages.

5.5. Synthèse d'exécution

La direction de la cellule de synthèse et son animation seront assurées par le Maître d'Œuvre.

La cellule de synthèse aura pour but de réaliser la coordination spatiale des équipements, fixations, réseaux et installations prévus dans les études d'exécution produites par les entreprises titulaires des différents lots, en répartissant rationnellement et hiérarchiquement les espaces disponibles.

La coordination spatiale de tous les réseaux et terminaux devra respecter dans tous les cas les contraintes structurelles du bâtiment, les enveloppes définies dans le dossier et les besoins exprimés par la Maîtrise d'ouvrage et la Maîtrise d'Œuvre afin de permettre l'utilisation des installations.

Le titulaire devra prévoir dans son offre la participation à la synthèse tous lots.

6.CONTEXTE : MESURES DES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES ACTUELS DANS LA SALLE DU MICROSCOPE

6.1. Conditions de mesures : matériel utilisé

- Logiciel d'analyse DeweSoft. X3 – 7, Version : 2021.1 (RELEASE-210311) 64-bit.
- Convertisseur A/N et unité de traitement du signal Dewesoft 4 voies et 8 voies.
- Capteurs de champs électromagnétiques Sensys tridirectionnels (magnétomètres) AC et DC très faible niveau de bruit (Fluxgates) et interfaces Sensys. Modèle FGM3D/100.
- Capteurs de champs électromagnétiques Bartington tridirectionnels (magnétomètres) AC et DC très faible niveau de bruit (Fluxgates) et interfaces Bartington associées.

6.2. Conditions de mesures : localisation des points de mesures

À titre indicatif, les champs électromagnétiques ont été mesurés (paragraphe 6.3) à différents points dans l'espace, représentatifs de l'ensemble {microscope + spectromètre} comme indiqué sur les figures 5 et 6 ci-après.

Il est important de noter que cette disposition des points de mesures ne correspond pas à la disposition finale du microscope (voir figures 7 et 8 ci-après).

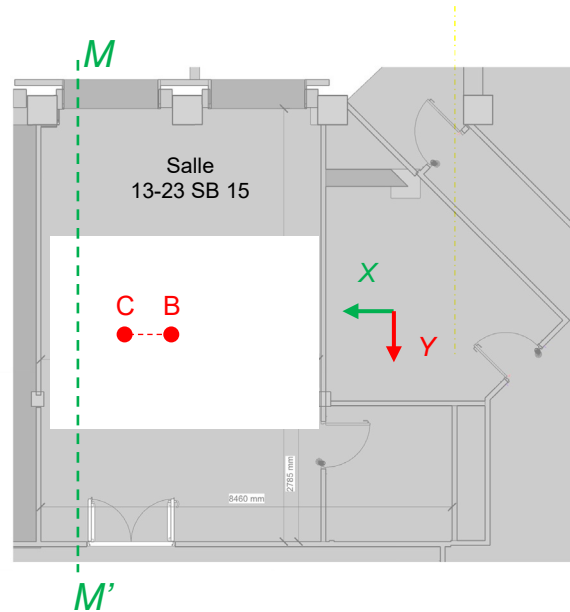


Figure 5 : Vue schématique selon la direction z indiquant les positions des points de mesures magnétiques B et C (explication ci-après). Le rectangle blanc correspond à la future trémie dans le plancher bas du niveau RDC.

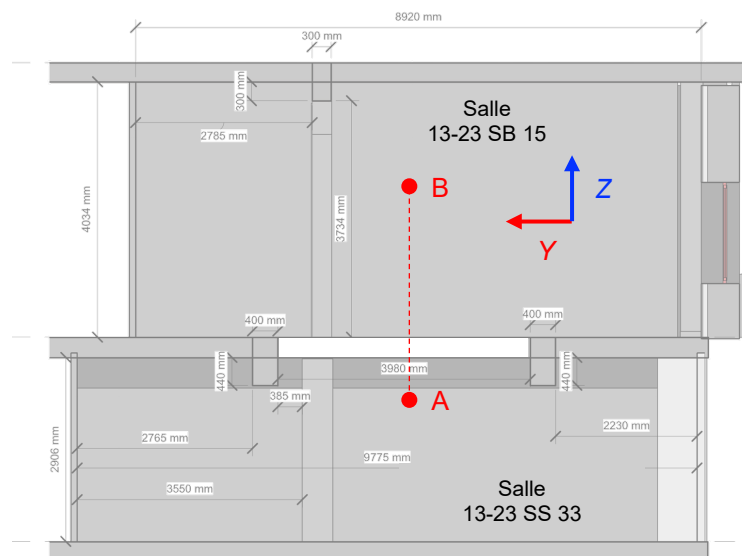


Figure 6 : Vue schématique selon la direction x (coupe MM') indiquant les positions des points de mesures magnétiques A et B (explication ci-après). Le rectangle blanc correspond à la future trémie dans le plancher bas du niveau RDC.

- Le point A représente la partie basse du canon à électrons.
- Le point B représente la partie haute de la colonne électronique / l'entrée du spectromètre.
- Le point C représente l'extrémité du spectromètre de perte d'énergie des électrons.

La distance verticale entre les points A et B est de 3,30 m

La distance horizontale entre les points B et C est de 1 m.

Comme indiqué précédemment, le microscope sera installé dans une configuration différente de celle présentée sur les figures 5 et 6 (correspondant aux mesures présentées au paragraphe 6.3).

La configuration finale à prendre impérativement en compte pour le positionnement du microscope est schématiquement indiquée sur les figures 7 et 8.

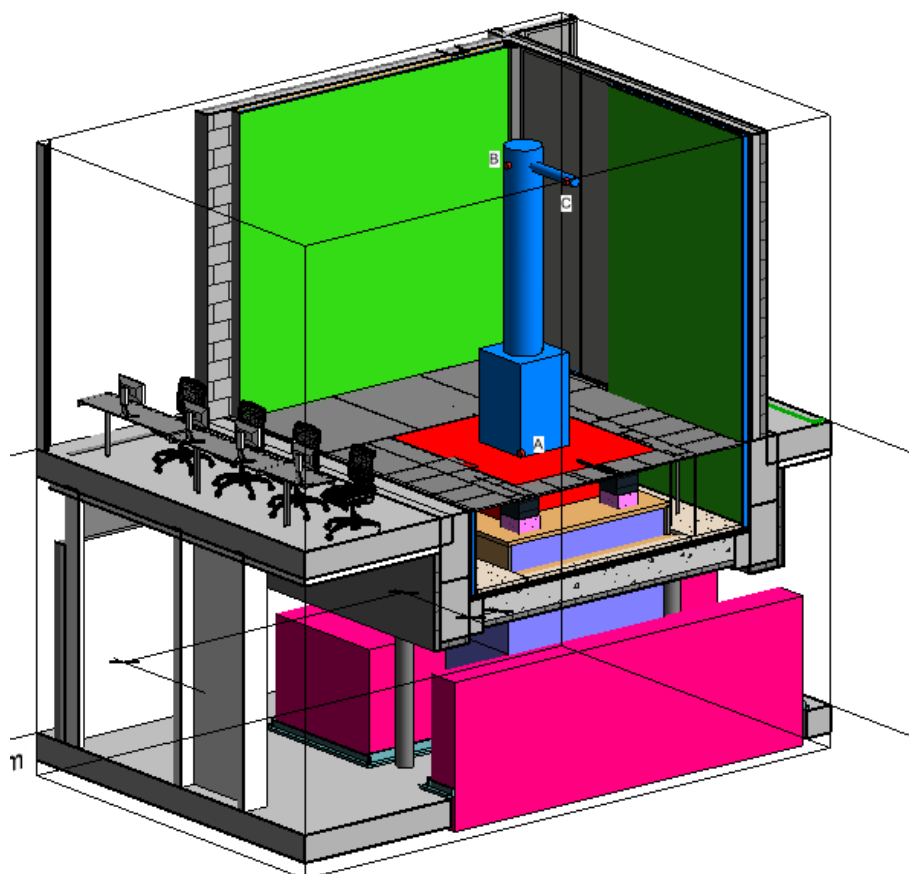


Figure 7 : Vue en perspective de la position des points A, B et C – définis précédemment – dans la disposition à considérer pour le présent projet.

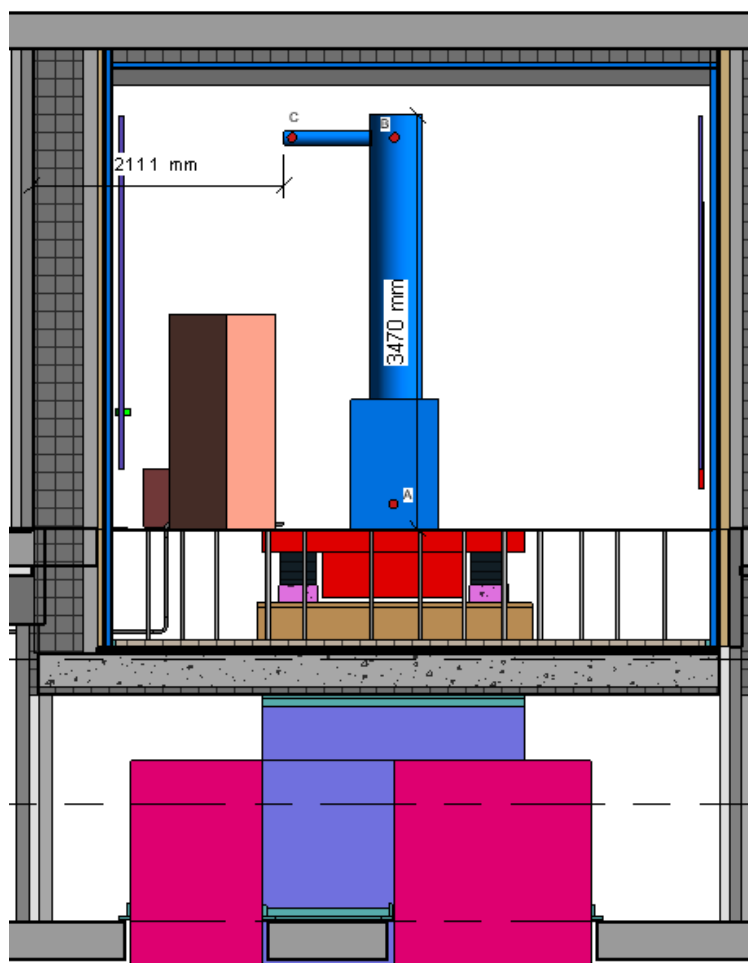


Figure 8 : Vue en coupe (plan X-Z) de la position des points A, B et C dans la disposition à considérer pour le présent projet. La distance entre le point C et le mur LKB est indiquée (≈ 2.1 m).

Toute mesure magnétique future devra obligatoirement respecter la disposition finale du microscope du présent projet (figures 7 et 8), en particulier pour les points A, B et C correspondant respectivement à la partie basse du canon à électrons, à la partie haute de la colonne électronique / l'entrée du spectromètre et à l'extrémité du spectromètre de perte d'énergie des électrons.

6.3. Résultats des mesures

Depuis le début du projet en 2019, plusieurs campagnes de mesures ont été réalisées en temps réel, c.-à-d. simultanément sur deux points (A,B) ou (B,C) afin de mettre en évidence des effets de gradients, et ce, dans les différentes directions (x,y,z) sur temps court et sur temps long (24h).

Ces mesures ont mis en évidence une augmentation régulière des valeurs de champs magnétiques d'année en année, et ce, dans les trois directions (x,y,z).

Les résultats reportés dans le tableau ci-dessous proviennent d'une campagne de mesures effectuée du 21 au 29/06/2021. On distingue deux domaines de fréquences : les très basses fréquences (*near-DC*, < 20 Hz) et le domaine alternatif AC (20 – 1000 Hz).

Les analyses des mesures sont accessibles en Annexe 12.

Très basses fréquences (<i>near DC</i> < 20 Hz)				AC 20 – 1000 Hz			
Valeurs max. mesurées crête-à-crête en mG (nT)				Valeurs max. mesurées crête-à-crête en mG (nT)			
	X	Y	Z		X	Y	Z
Point (A)	2 (200)	4 (400)	39 (3900)	Point (A)	2 (200)	4 (400)	4 (400)
Point (B)	2 (200)	4 (400)	39 (3900)	Point (B)	2 (200)	4 (400)	4 (400)
Point (C)	2 (200)	4 (400)	39 (3900)	Point (C)	0,9 (90)	1,5 (150)	4 (400)
Gradients mesurés en mG/m (nT/m)				Gradients mesurés en mG/m (nT/m)			
Grad(AB)	0,30 (30)	0,30 (30)	0,45 (45)	Grad(AB)	0,30 (30)	0,30 (30)	0,45 (45)
Grad(BC)	0,45 (45)	0,55 (55)	0,45 (45)	Grad(BC)	0,45 (45)	0,55 (55)	0,30 (30)

En résumé, ces mesures indiquent des valeurs de champs magnétiques bien supérieures aux limites établies par le constructeur NION pour les champs magnétiques résiduels exigés pour la salle du microscope (voir paragraphe 1.2) :

- Dans le domaine *near-DC* (< 20 Hz), les valeurs maximales dans le plan horizontal (x,y) varient de 2 à 4 mG (200 à 400 nT) et sont très inférieures à la perturbation mesurée dans la direction verticale (z), qui est de l'ordre de 40 mG (4000 nT) mais qui peut atteindre ponctuellement des valeurs plus importantes de 70 mG (7000 nT). L'essentiel de cette composante verticale est directement associé à l'activité du réseau de transport en commun {métro – RER} (voir Figure 9) ;
- Dans le domaine AC (20-1000 Hz), les perturbations dans le plan horizontal (x,y) et dans la direction verticale (z) sont au contraire du même ordre de grandeur et varient entre 2 et 4 mG (200 à 400 nT) mais pouvant atteindre des valeurs plus importantes de 5 mG (500 nT). Les détails des mesures de la campagne de 2021 montrent que les composantes fréquentielles les plus importantes sont le 50 Hz et ses harmoniques.
- Les mesures indiquent par ailleurs la présence de gradients de champ dans tous les domaines de fréquence et dans les trois directions de l'espace, variant entre 0,30 et 0,55 mG/m (30 à 55 nT/m).

Si ces résultats fournissent une bonne indication du champ électromagnétique perturbateur ambiant observé à l'endroit de la future implantation du microscope, des valeurs supérieures de champs dans le domaine des très basses fréquences et dans la direction verticale (z) ont été observées, pouvant atteindre 70 mG (7000 nT).

En conséquence, et en prévision de potentielles augmentations des valeurs de champs dans le domaine *near DC* et selon z, il faudra impérativement considérer une solution dans ce cas pouvant corriger des champs jusqu'à 90 mG (9000 nT) crête-à-crête.

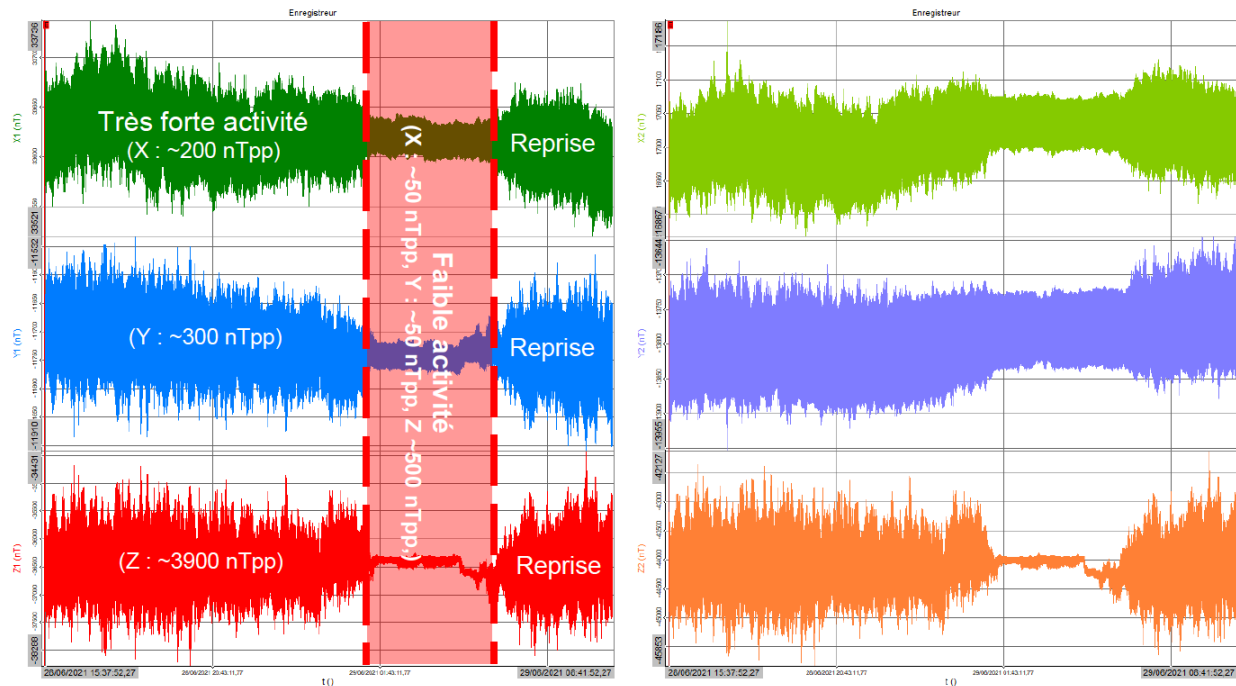


Figure 9 : Variation temporelle des champs électromagnétiques mesurés dans le domaine near DC aux points A (colonne de gauche) et B (colonne de droite) selon les différentes directions (x,y,z) sur une durée de 18 h. On notera qu'une grande partie de la perturbation selon z disparaît la nuit (entre 1h15 et 5h du matin) et correspond à l'arrêt des transports en commun {métro – RER}.

7.PERFORMANCES A ATTEINDRE ET MESURES COMPLEMENTAIRES

7.1. Performances

L'Entrepreneur, titulaire du lot, sera garant du niveau résiduel des champs électromagnétiques dans la salle finalisée du microscope (tous les équipements installés) et dans l'Electronics Room (à la réception des travaux), qui doit être conforme aux prérequis du constructeur NION dans tous les domaines de fréquences définis dans le paragraphe 1.2.

La solution technique à titre d'exemple est basée sur un blindage passif {Alu pur + mu-métal} de la salle du microscope pour les très basses fréquences, complété par deux systèmes de compensation active des champs électromagnétiques à base de boucles, l'un externe à la salle et l'autre interne.

Un second système de compensation active dédié spécifiquement aux baies électroniques dans l'Electronics Room pourra être déployé le cas échéant afin de garantir les prérequis du constructeur NION.

L'Entreprise adjudicataire a une **OBLIGATION DE RÉSULTATS** sur les valeurs finales de champ perturbateur résiduel dans le volume de l'ensemble {microscope + spectromètre}, en particulier au niveau de la colonne électronique et le long du spectromètre du microscope (points A, B et C) ainsi que dans l'Electronics Room, y compris sur ses variations temporelles et spatiales, dans l'ensemble du domaine de fréquences (near DC et AC), qui doivent être conformes aux spécifications du constructeur détaillées dans le paragraphe 1.2.

7.2. Mesures complémentaires

L'Entrepreneur adjudicataire pourra mener des mesures complémentaires de champs électromagnétiques dans la salle du microscope si besoin, selon la disposition finale du microscope du présent projet. Elles seront réalisées par le fournisseur ou un bureau d'étude spécialisé dans les mesures magnétiques agréé par la Maîtrise d'Ouvrage et la Maîtrise d'Œuvre. L'Entrepreneur ne pourra se prévaloir de ne pas respecter les données d'entrée décrites ci-dessous dans la démonstration de sa solution technique basée sur des modélisations par éléments finis.

7.3. Données d'entrée – bases de calculs

L'ensemble des performances à atteindre devront être garanties en présence de champs perturbateurs définis comme suit :

☀ dans le domaine des très basses fréquences *near DC* < 20 Hz :

- a. selon z : 90 mG (9000 nT) crête-à-crête
- b. selon x, y : 5 mG (500 nT) crête-à-crête

☀ dans le domaine des hautes fréquences AC (20 – 1000 Hz) :

- a. selon x,y,z : 5 mG (500 nT) crête-à-crête

8. TRAVAUX DE PROTECTION ELECTROMAGNETIQUE DE LA SALLE DU MICROSCOPE ET DE CABLES

8.1. Réception des supports

Avant tout début d'exécution, l'Entrepreneur procédera, dans des conditions définies en synthèse avec les lots concernés, à la réception des supports (voiles béton, plancher béton, massif béton 1, plafond) sur lesquels il doit exécuter ses travaux.

Il contrôlera, en particulier, leur planimétrie, leur état de surface, ainsi que leur bonne tenue.

L'Entrepreneur devra la réalisation d'un test d'arrachement au niveau du plafond de la salle du microscope (niveau quai Saint Bernard) afin d'établir une note de calcul pour le dimensionnement du blindage passif.

Tout début d'exécution vaut réception des supports correspondants et aucune réclamation ultérieure ne sera admise par le Maître d'Œuvre.

8.2. Solution technique à titre d'exemple

La solution technique à titre d'exemple est basée sur un blindage passif {Alu pur + mu-métal} de la salle du microscope pour les très basses fréquences, complété par deux systèmes de compensation active des champs électromagnétiques à base de boucles, l'un externe à la salle et l'autre interne.

8.2.1. BOUCLES ACTIVES EXTERNES (NEAR DC, SELON Z)

L'Entrepreneur adjudicataire devra la fourniture, l'installation et l'optimisation d'un système de compensation active basée sur un minimum de deux boucles dans le plan horizontal (x,y) pour diminuer la composante z du champ magnétique extérieur dans le domaine des très basses fréquences *near DC*. Le but est d'environner la salle du microscope – définie par le volume du blindage passif qui devra être déployé – d'un champ magnétique plus uniforme selon les trois composantes et de valeur inférieure à 4 mG (400 nT), sans dégradation des composantes selon

x et y et des gradients du champ tant le long de la colonne du microscope ($A \leftrightarrow B$) que le long du spectromètre ($B \leftrightarrow C$).

8.2.1.1. CARACTERISTIQUES DU SYSTEME DE COMPENSATION ACTIVE EXTERNE

Les boucles actives doivent permettre une compensation en temps réel et en continu des perturbations du champ magnétique de *near DC* à ~1 kHz.

La mesure du champ magnétique ambiant ainsi que sa variation temporelle se fera par un capteur à haute résolution de type fluxgate positionné à l'extérieur de la salle blindée et du volume des boucles externes, à une position optimale suffisamment proche de la salle pour mesurer un champ pertinent et suffisamment éloigné des boucles pour ne pas en ressentir l'influence.

L'Entrepreneur devra fournir une note de calcul pour le dimensionnement des boucles externes (section du câble, nombre de tours, courant maximal admissible par le système, etc.) afin de respecter les données d'entrée (voir paragraphe 7.3) en prenant en compte les dimensions de l'existant des locaux du projet et en variant l'écart entre les 2 ou 3 boucles (voir paragraphe 8.2.1.2).

Du fait de l'augmentation progressive constatées des niveaux de champs magnétiques dans le domaine des très basses fréquences *near DC* dans le temps et par anticipation d'éventuelles dégradations supplémentaires dans le futur, il sera prévu une réserve dans le dimensionnement des boucles externes (section du câble, nombre de tours, courant maximal admissible par le système, etc.) pour pouvoir compenser une augmentation importante des champs *near DC* selon z.

8.2.1.2. DISPOSITION DES BOUCLES EXTERNES

Le système de 2 ou 3 boucles externes doit impérativement tenir **dans l'emprise du projet** tout en étant suffisamment éloigné du blindage passif pour éviter toute interaction néfaste entre les deux types de blindage (actif/passif) afin de fournir les performances attendues. Ainsi une distance de 600 mm devra être respectée entre les boucles et les plaques de mu-métal et d'aluminium pur sur tout le pourtour de la salle blindée.

Les boucles externes ne doivent pas être positionnées au milieu d'un local ou en conflit avec des portes, des réservations, etc...

Les dimensions des boucles peuvent atteindre :
- 8920 mm x 5720 mm (L x l) au niveau quai Saint Bernard,
- 9775 mm x 5680 (L x l) au sous-sol.

Ces boucles actives externes ne doivent pas dégrader l'environnement électromagnétique dans l'Electronics Room.

8.2.1.3. COMPENSATEUR 1 AXE

Le capteur à haute résolution de type fluxgate positionné à l'extérieur de la salle blindée et du volume des boucles externes devra fournir un signal de rétroaction à un compensateur de type MK1 Stefan Mayer ou équivalent permettant des atténuations dans un rapport de l'ordre *a minima* de 15 dans le domaine des très basses fréquences *near DC* afin de respecter les performances définies au paragraphe 7.1. Sa conception devra être robuste et de programmation simple.

L'Entrepreneur devra optimiser la position du capteur fluxgate haute résolution « hors zone des boucles externes » ainsi que tous les paramètres du compensateur pour s'assurer de la meilleure correction des champs magnétiques perturbateurs comme requis.

8.2.1.4. MISE EN ŒUVRE DES BOUCLES EXTERNES

Les boucles actives externes seront déployées dans une goulotte amagnétique.

8.2.2. BLINDAGE PASSIF

L'installation d'un blindage passif constitué d'un ensemble {couche de mu-métal et d'une couche d'aluminium pur} – à une distance minimale de 60 cm des boucles de compensation actives extérieures – doit permettre d'atteindre au minimum des niveaux maximaux de champs électromagnétiques à l'intérieur de la salle ainsi blindée de 0,4 mG (40 nT) crête-à-crête, dans tous les domaines de fréquences (*near DC* et AC), à gradient nul sur la hauteur de la colonne du microscope et sur la longueur du spectromètre (avec le système de compensation actif extérieur en fonctionnement).

L'Entrepreneur adjudicataire devra :

- le calepinage des ossatures à déployer au préalable du blindage passif : en bois sur les voiles béton et en tubulure d'aluminium au plafond. Le calepinage doit pouvoir prendre en compte les dimensions des plaques du blindage passif.
- la fourniture et la pose d'un bloc-porte 2 vantaux renforcé de dimensions minimales (h x l : 3600 x 1600 mm) pour la porte d'accès à la salle du microscope, confirmées par une note de calcul.
- la fourniture et la pose d'un blindage passif {aluminium pur + mu-métal} sur les ossatures en bois et en tubulure d'aluminium et au sol de la salle du microscope {plancher béton et massif béton 1 désolidarisé} permettant d'atteindre les prérequis du constructeur NION (paragraphe 1.2),
- le calepinage, la fourniture et la pose d'une structure autoporteuse à déployer pour créer un revêtement intérieur à la salle blindée. Cette structure devra être la plus fine possible sans remettre en cause ses propriétés afin de pouvoir accueillir le revêtement intérieur.

8.2.2.1. CONTRAINTES SPATIALES STRICTES (PARAGRAPHE 2.5)

Les **dimensions internes** de la salle blindée finalisée du microscope (après pose du blindage passif et des boucles actives de compensation internes ainsi que des équipements telles que les panneaux rayonnants) ne pourront en aucun cas être inférieures à :

$$L \times l \times h_2 \geq 4,814 \text{ m} \times 3,613 \text{ m} \times 4,855 \text{ m}$$

8.2.2.2. COMPOSITION DU BLINDAGE PASSIF

Les niveaux de champs électromagnétiques exigés après correction par les boucles externes permettent d'envisager la solution suivante pour le blindage passif :

- un blindage constitué de **plaques d'aluminium pur** d'une épaisseur de **8 mm** pour le domaine de fréquences AC, recouvrant murs, sol et plafond ;
- un blindage du type **mu-métal** en complément des plaques d'aluminium pour le domaine des très basses fréquences. Les murs et le plafond seront traités avec une épaisseur de blindage minimale de **1,5 mm**. Le sol sera traité avec une épaisseur minimale de **2 x 1,5 mm**.

Le blindage passif devra être traité contre l'oxydation.

8.2.2.3. CARACTERISTIQUES DU MU-METAL

L'entreprise déterminera les composants et matériaux adaptés pour le respect des performances.

A titre d'exemple :

Le matériau n°2.4545 / UNS N14080 appelé mu-métal est un alliage nickel-fer-molybdène présentant les propriétés suivantes après un recuit sous contrainte puis un recuit à l'hydrogène final indispensable, qui devront être attestées par le certificat de matériau du fabricant ainsi que par la fourniture d'échantillons des plaques à poser (voir paragraphe 5.1) :

En particulier pour le domaine des très basses fréquences *near DC*

- Perméabilité relative initiale μ ($B = 40 \text{ G}$) $> 50\,000$;
- Perméabilité relative initiale μ ($H = 0,4 \text{ A/m}$) $> 150\,000$;
- Perméabilité relative maximale $\mu_{\max} > 350\,000$;

A titre indicatif, la masse surfacique d'une plaque de blindage mu-métal d'une épaisseur de 1,5 mm est de 13 kg/m².

8.2.2.4. MISE EN ŒUVRE DU BLINDAGE PASSIF

Toutes les fixations seront amagnétiques.

A) POUR LES MURS PERIPHERIQUES

La structure totale du blindage passif déployée sur les 4 voiles en béton ne doit pas dépasser une épaisseur de 127,5 mm pour respecter les contraintes spatiales strictes internes de la salle blindée (voir paragraphe 2.5).

La structure, double porte comprise, devra permettre le respect des performances pré-requises par le constructeur NION, d'un point de vue acoustique : 50 dB total noise / $< 45 \text{ dB}$ dans toute bande de tiers d'octave entre 5 Hz et 10 kHz.

Les plaques de blindage doivent être espacées des boucles actives externes d'une distance minimale de 600 mm pour éviter toute interaction néfaste à la protection électromagnétique globale.

L'entreprise déterminera les composants et matériaux adaptés pour le respect des performances.

A titre d'exemple :

La structure du blindage, fixée directement sur les voiles bétons d'épaisseur 120 mm, pour les murs de la salle du microscope se composera de :

- une ossature en bois (40 mm x 40 mm) directement fixée aux voiles béton servira de structure pour la pose du blindage passif,
- des panneaux OSB d'une épaisseur de 20 mm, afin de garantir la planéité nécessaire pour les plaques de blindage,
- les plaques d'aluminium pur d'une épaisseur de 8 mm,
- les plaques de mu-métal d'une épaisseur minimale de 1,5 mm,
- une ossature autoporteuse réalisée en tubulure d'aluminium (type section carrée – 48 mm x 48 mm) afin de pouvoir poser
- un revêtement mural lisse du type HPL (10 mm) ou équivalent.

B) POUR LE BLOC-PORTE

La porte d'accès à la salle du microscope devra permettre :

- 1) d'une part un usage quotidien pour la mise en place d'échantillons nécessitant un passage $h \times l = 2040 \times 900$ mm et
- 2) d'autre part, en cas de maintenance, le déplacement vers la Microscope Access Room du capot avant de l'instrument dont les dimensions sont :

$$L \times l \times h = 1250 \times 2090 \times 3470 \text{ mm}$$

- 3) l'installation des boucles de compensation active internes selon les directions x et y.

La porte devra être facilement manœuvrable et si besoin motorisée pour faciliter l'usage quotidien de la salle.

Le bloc-porte 2 vantaux devra :

- être de dimensions minimales : $h \times l = 3600 \times 1600$ mm ;
- être équipée d'une serrure bec de cane, d'une crémone pompier ;
- être traité par un blindage passif, du côté de la Microscope Room ;
- avoir une huisserie renforcée pour supporter la charge apportée par ce blindage {Alu + mu-métal} ;
- posséder des joints intumescent : posés et collés en usine et des joints isophoniques qualité feu ;
- présenter une étanchéité à l'air renforcée ;

La double porte intégrera un blindage passif adapté permettant de respecter les performances attendues.

Une protection mécanique contre les chocs susceptibles d'abimer le blindage devra être prévue.

Des butées de portes à la charge du présent lot assureront une protection des parois latérales de la salle blindée le cas échéant.

L'autre face du bloc-porte devra avoir une finition peinture identique à celle de tous les blocs-portes du projet. L'Entrepreneur adjudicataire devra se coordonner avec le lot concerné.

C) POUR LE PLAFOND

La structure totale du blindage passif déployée au plafond de la salle du microscope devra respecter les contraintes spatiales strictes internes de la salle blindée (voir paragraphe 2.5), à savoir $h_1 \geq 4720$ mm en considérant la poutre existante.

L'entreprise déterminera les composants et matériaux adaptés pour le respect des performances.

A titre d'exemple (voir Figure 10), la structure du blindage passif au plafond pourra se composer de :

- une ossature réalisée sur suspentes, en tubulure d'aluminium (type section carrée – 48 mm x 48 mm),
- les plaques d'aluminium pur d'une épaisseur de 8 mm,
- les plaques de mu-métal d'une épaisseur de 1,5 mm.

L'Entrepreneur adjudicataire devra pouvoir atténuer les réflexions sur les plaques de mu-métal dues à la lumière afin d'éviter un effet « miroir » au plafond.

La poutre existante au plafond devra être traitée spécifiquement : uniquement par la pose directe des plaques de blindage passif {aluminium + mu-métal} (ni isolant, ni ossature). Ses surfaces devront être suffisamment planes pour permettre cette pose, sans ajout d'épaisseur.

L'Entrepreneur devra parfaitement coordonner cette structure de blindage passif au plafond avec la pose des boucles actives internes (voir paragraphe 8.2.3.) afin d'éviter toute interaction néfaste entre les deux types de blindage (actif/passif), de respecter les contraintes spatiales strictes et de déterminer la meilleure stratégie pour les meilleures performances électromagnétiques en présence de cette poutre (faux-plafond total, contournement partiel du côté étroit de la salle, ajustement au profil de l'existant).

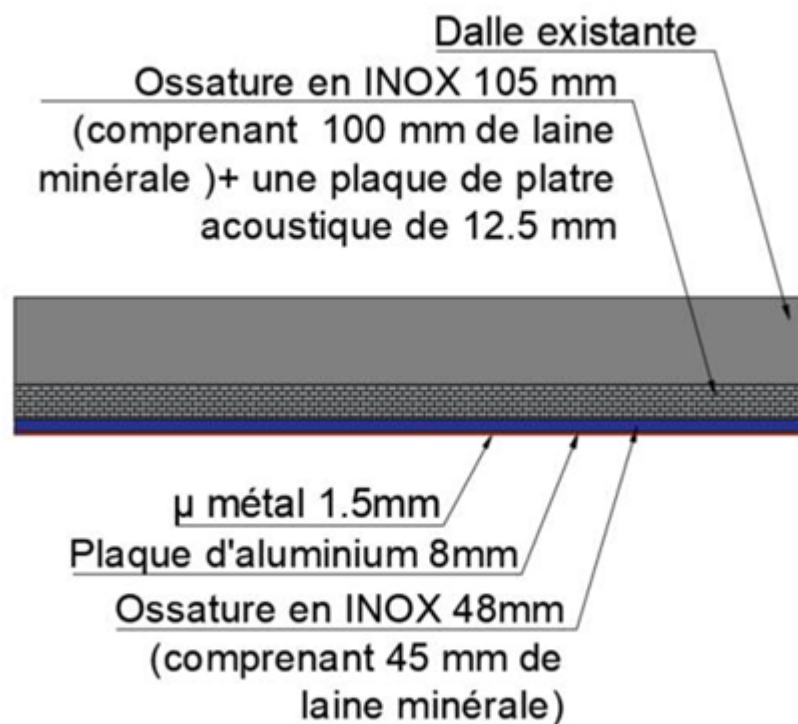


Figure 10 : Pour exemple – Coupe schématique représentant la structure du blindage passif pour le plafond du local microscope.

D) POUR LE SOL

La structure totale du blindage passif déployée au sol de la salle du microscope {plancher béton et massif béton 1 désolidarisé} devra assurer une totale continuité de la protection électromagnétique entre le plot béton désolidarisé et le plancher béton créé et ne devra en

aucun cas créer de pont mécanique aux joints périphériques du plot après blindage, afin d'éviter toute propagation des ondes vibratoires du bâtiment vers le plot.

L'entreprise déterminera les composants et matériaux adaptés pour le respect des performances.

A titre d'exemple (voir Figure 11), la structure du blindage passif au sol pourra se composer de :

- des panneaux OSB d'une épaisseur de 20 mm, afin de garantir la planéité nécessaire pour la pose du blindage passif,
- les plaques d'aluminium pur d'une épaisseur de 8 mm,
- les plaques de mu-métal d'une épaisseur de $2 \times 1,5 \text{ mm} = 3 \text{ mm}$,
- des panneaux OSB d'une épaisseur de 20 mm ou équivalent afin de résister aux chocs mécaniques, aux poinçonnements.

L'Entrepreneur adjudicataire devra un traitement spécifique des joints périphériques du plot désolidarisé afin d'éviter tout pont mécanique.

Cette structure sera protégée par un plancher en PEHD de protection dû par le Lot 1A – Gros-Œuvre qui devra se rapprocher du présent lot pour la meilleure mise en œuvre.

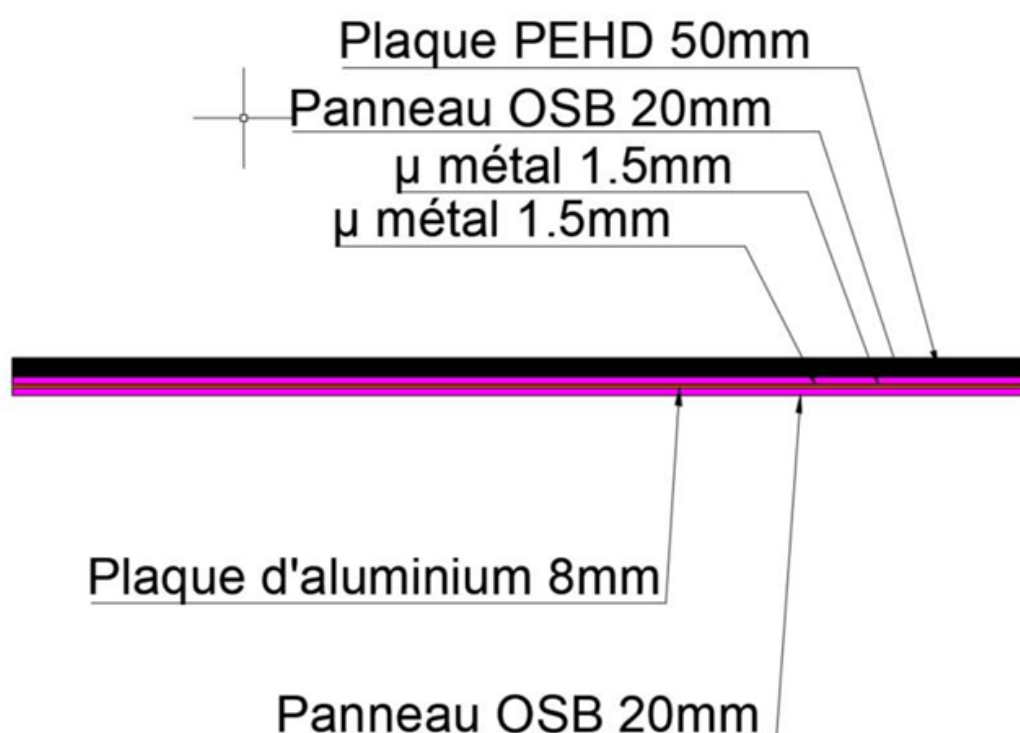


Figure 11 : Pour exemple – Coupe schématique représentant la structure du blindage passif pour le plancher du local microscope.

8.2.2.5. RESERVATIONS DANS LE BLINDAGE PASSIF

L'Entrepreneur adjudicataire doit prévoir toutes les réservations en amont du recuit des plaques mu-métal en usine, en parfaite coordination de tous les lots :

- ouvertures spécifiques pour le microscope ;
- systèmes de suspension spécifiques pour les câbles du microscope ;
- interfaces avec les isolateurs (et colonnettes associées) pour la table antivibratile ;
- électricité ;
- luminaires ;
- chauffage,
- ventilation (soufflage et extraction) ;
- climatisation ;
- panneaux rayonnants ;
- alimentation/communication du capteur avec le compensateur 3 axes ;
- détection anoxie ;
- attente pour le réseau d'azote ;
- attente pour la récupération d'hélium ;
- etc...

L'Entrepreneur adjudicataire doit également prévoir la pose de conduits en mu-métal pour assurer la meilleure protection électromagnétique possible au niveau des ouvertures de taille importante si nécessaire.

Un calepinage des réservations doit être fourni, en coordination avec celui de l'ossature en tubulure d'aluminium et de l'ossature en bois.

Une modélisation par éléments finis devra confirmer les performances de la protection électromagnétique de la solution retenue avec un blindage présentant toutes les réservations ainsi que la porte d'accès.

8.2.2.6. FIXATIONS/SUPPORTAGES AU TRAVERS DU BLINDAGE PASSIF

Plusieurs accessoires (panneaux rayonnants, luminaires de type LED, systèmes CVC) devront être fixés aux murs et au plafond de la salle blindée, nécessitant de prévoir des réservations dédiées dans le blindage passif {aluminium + mu-métal} pour permettre une fixation/un supportage au travers du blindage.

Aucune contrainte mécanique sur le blindage passif ne sera tolérée.

8.2.3. BOUCLES ACTIVES INTERNES (*NEAR DC*, AC)

L'Entrepreneur adjudicataire devra la fourniture, l'installation et l'optimisation d'un système de compensation active basée sur au minimum 3 paires de boucles internes normales aux directions x, y et z pour diminuer les champs magnétiques résiduels à l'intérieur de la salle blindée dans tous les domaines de fréquences (*near DC*, AC) et dans les trois directions de l'espace (x,y,z). Le but est d'atteindre tous les prérequis du constructeur NION pour l'installation du microscope (paragraphe 1.2).

8.2.3.1. CARACTERISTIQUES DU SYSTEME DE COMPENSATION ACTIVE INTERNE

Les boucles actives doivent permettre une compensation en temps réel et en continu des perturbations du champ magnétique de *near DC* à ~1 kHz.

La mesure des champs magnétiques résiduels dans la salle blindée ainsi que leurs variations temporelles se fera par un capteur à haute résolution de type fluxgate triaxial ou équivalent placé à l'intérieur de la salle blindée, au niveau de la colonne du microscope.

L'Entrepreneur devra une note de calcul pour le dimensionnement des 3 paires de boucles internes ou plus (section du câble, nombre de tours, courant maximal admissible par le

système, etc.) afin de respecter les données d'entrée (paragraphe 7.3) en prenant en compte les dimensions internes de la salle blindée (paragraphe 8.2.3.2.).

Les corrections devront être effectuées sur tout le volume défini par le microscope (cf. Figure 1).

8.2.3.2. DISPOSITION DES BOUCLES INTERNES

Le microscope sera installé au niveau RDC (niveau quai Saint Bernard), sur un massif béton désolidarisé du bâtiment auquel pourra être additionné une table antivibratile de dimensions 2200 mm x 2200 mm, ceinturé par un faux-plancher technique. Ainsi, le niveau du plancher de la salle blindée (autour du massif) est abaissé de 1035 mm relativement au niveau RDC.

Les boucles actives internes pour la compensation à l'intérieur à la salle blindée du microscope devront être déployées de façon à ne pas dégrader les performances du blindage passif.

Les boucles internes ne doivent être positionnées en conflit avec l'ouverture de la porte d'accès, les panneaux rayonnants, les systèmes CVC présents, les luminaires et les goulottes électriques (liste non exhaustive) ou au milieu de la salle blindée mais suffisamment à distance des réservations réalisées dans le blindage passif.

Plus particulièrement, la disposition des boucles ne devra pas entraver les opérations suivantes :

- quotidiennes, d'accès au microscope, en particulier pour l'insertion des échantillons sur le côté du microscope ;
- ponctuelles, d'installation et de maintenance de la table antivibratile (sous faux-plancher technique) ;
- de maintenance du microscope impliquant, si besoin, le déplacement du capot avant de l'instrument. Celui-ci devra en effet pouvoir être sorti sans encombre de la salle blindée par la porte d'accès (h x l : 3600 x 1600 mm).

La disposition des boucles internes devra être parfaitement coordonnée avec la disposition des plaques {aluminium + mu-métal} / ossatures constituant le blindage passif ainsi que les réservations pratiquées pour tous les lots (dont celles réalisées dans le plancher technique pour le passage des boucles selon x et y), tout en respectant les performances attendues.

8.2.3.3. COMPENSATEUR 3 AXES

Le capteur à haute résolution de type fluxgate triaxial positionné à l'intérieur de la salle blindée (proche de la colonne électronique du microscope) devra fournir un signal de rétroaction à un compensateur de type MR3 Stefan Mayer ou équivalent (installé hors de la salle du microscope) permettant des atténuations dans tous les domaines de fréquences (*near DC* et AC) afin de respecter les performances finales définies au paragraphe 7.1. Sa conception devra être robuste et de programmation simple.

L'Entrepreneur devra optimiser la position du capteur triaxial fluxgate haute résolution ainsi que tous les paramètres du compensateur pour s'assurer de l'homogénéité des champs magnétiques sur tout le volume du microscope en fonction des prérequis du constructeur NION.

8.2.3.4. MISE EN ŒUVRE DES BOUCLES INTERNES

Les boucles actives internes seront déployées sous goulotte amagnétique.

Les plaques de mu-métal sont fragiles et ne tolèrent ni déformation, ni percement, ni échauffement. L'installation des boucles internes nécessitera donc une attention particulière.

Un risque de contact ou d'endommagement est réel, l'entreprise responsable devra veiller et porter toute son attention au moment de la pose :

- Aux murs, les boucles internes seront disposées contre un revêtement du type HPL. Même si le contact n'est pas direct avec les plaques blindées, un risque subsiste par exemple avec les vis de maintien des supports des boucles (goulottes).
- Au sol, les mêmes précautions d'usage devront être respectées. Les goulottes ou tubes IRO seront installés ou fixés en coordination avec la création et l'installation du plancher en PEHD de protection du blindage du Lot 1A – Gros-Œuvre.
- Au plafond, des suspentes seront installées de manière à adapter la hauteur des boucles, et devront être coordonnées avec l'ensemble des réservations à faire dans le blindage passif.

8.2.4. PROTECTION MAGNETIQUE DES BAIES ELECTRONIQUES AU SOUS-SOL ET DU PASSAGE DES CABLES NION JUSQU'A LA MICROSCOPE ROOM

L'entreprise déterminera les composants et matériaux adaptés pour la protection magnétique des baies électroniques dans l'Electronics Room, afin de la dimensionner de façon à garantir l'obtention d'un champ magnétique résiduel maximum à 50 Hz de 0,5 mG (50 nT), comme indiqué dans le paragraphe 1.2.

À titre d'exemple, un système de compensation active dédié spécifiquement aux baies électroniques dans l'Electronics Room pourra être déployé le cas échéant afin de garantir les prérequis du constructeur NION. Il sera basé sur 3 paires de boucles normales aux directions x, y et z et aura des caractéristiques semblables à celui pour les boucles actives internes à la Microscope Room.

Afin de minimiser les perturbations électromagnétiques dans le domaine de fréquences AC sur les câbles reliant le microscope aux baies électroniques, deux conduites blindées entre la salle du microscope et la salle d'électronique seront mises en place par l'Entreprise. Les contraintes dimensionnelles de ces conduites sont les suivantes :

- une section interne minimum de 300 x 150 mm (L x l)

Compte tenu du grand nombre et des sections importantes des câbles à acheminer, la conception générale du blindage devra minimiser les angles et faciliter ainsi leur passage.

9. QUALIFICATIONS

Des mesures de qualification seront réalisées par le fournisseur ou un bureau d'étude spécialisé dans les mesures magnétiques agréé par la Maîtrise d'Ouvrage et la Maîtrise d'Œuvre. Elles auront pour but de vérifier le bon fonctionnement de la protection électromagnétique mise en œuvre. Elles seront à la charge de l'Entreprise générale ou de l'Entreprise titulaire du lot et seront réalisées en présence d'un représentant de la Maîtrise d'Œuvre et/ou de la Maîtrise d'Ouvrage.

Les mesures de qualification en condition de champs magnétiques « ambiants » seront mises en œuvre sur une période continue de 3 semaines afin de vérifier la conformité des performances obtenues avec les prérequis du constructeur NION, selon les 3 directions de l'espace (x,y,z), dans tous les domaines de fréquences (*near DC*, AC) et pour 3 positions de l'espace (cf. Figures 7 et 8) : (A) en partie basse du canon à électrons, (B) en partie haute de la colonne électronique du microscope et (C) à l'extrémité du spectromètre de pertes d'énergie des électrons, à l'aide de mesures en temps réel – sur temps court et long, et simultanées entre 2 points.

Il sera aussi à la charge de l'Entreprise de prouver que ces performances ne sont pas dégradées, y compris en présence de champs magnétiques très intenses pouvant atteindre une valeur de 90 mG crête à crête, dans le domaine des très basses fréquences *near DC* et dans la direction verticale (Z). L'entreprise devra alors procéder au déploiement d'un système permettant de générer ce type de perturbations électromagnétiques correspondant à cette amplitude. Des mesures en temps réel devront être faites entre un point extérieur au périmètre du projet (non sensible aux boucles externes) confirmant les 90 mG créés et un point intérieur à la salle du microscope confirmant le respect des prérequis du constructeur.

Un rapport détaillé devra être fourni, détaillant les valeurs de champs obtenus dans ces deux modes de mesure dans les 3 directions de l'espace, en fonction de la fréquence et pour les trois positions.

Une dernière phase de mesures en temps réel, sur temps court et long (24h), en simultané spatialement entre 2 points, sur l'ensemble des domaines de fréquences, sera réalisée après l'installation du microscope dans la salle pour s'assurer du maintien des performances du blindage complet en phase fonctionnelle et pour optimiser les positions des capteurs des deux systèmes de compensation active (externe et interne).

10.COMPLEMENTS

- toutes les caractéristiques des nombreux accessoires (panneaux rayonnants, systèmes CVC, luminaires de type LED) à fixer aux murs et au plafond de la salle blindée sont indiquées dans le CCTP Lot n° 02 (par exemple art 9.4.2. pour les panneaux rayonnants) et dans le CCTP Lot n°03.

- le bloc-porte 2 vantaux de la salle blindée devra être de largeur minimale 1600 mm permettant un accès quotidien à la salle de 900 mm de large et pourra donc posséder des vantaux dissymétriques.

- le respect des performances acoustiques requises par le constructeur NION dans la salle blindée est exigé. Pour rappel : 50 dB total noise / < 45 dB dans toute bande de tiers d'octave entre 5 Hz et 10 kHz. Aucune série de mesures de pression acoustique n'est prévue avant la pose du blindage passif, et sera à la charge de l'entreprise titulaire si elle souhaite la réaliser.

- la solution technique complète proposée est donnée à titre d'exemple et doit permettre d'atteindre les performances requises par le constructeur NION, sur tout le volume de l'ensemble {microscope + spectromètre} donc avec un gradient nul sur la hauteur de la colonne du microscope et sur la longueur du spectromètre. De plus, la correction apportée par les boucles actives externes selon l'axe Z est prioritairement en Near DC, sans se priver d'une correction dans la bande Near DC à ~1 kHz si techniquement possible.

- enfin, les mesures de qualification en condition de champs magnétiques « ambiants » seront mises en œuvre sur une période continue de 3 semaines, à l'aide de mesures en temps réel – sur temps court (périodes pertinentes entre 15 minutes et 1 heure) et long (périodes pertinentes entre 24 et 48 heures), et simultanées entre 2 points judicieusement choisis pour démontrer les performances à atteindre.