

CHU de Clermont-Ferrand projet GM3

Expertise vibratoire

Rapport d'étude
Septembre 2025

Le Cerema est l'expert public de l'adaptation des territoires au changement climatique
Il est l'unique établissement national dont la gouvernance est à pilotage partagé entre l'État et les collectivités territoriales avec plus de 950 collectivités adhérentes. Il est présent dans l'Hexagone et dans les Outre-mer grâce à ses 27 implantations et ses 2 500 agents.

Détenteur d'une expertise nationale mutualisée, le Cerema accompagne l'État et les collectivités territoriales par l'élaboration coopérative, le déploiement et l'évaluation de politiques publiques et projets d'aménagement et de transport. Doté d'un fort potentiel d'innovation et de recherche, le Cerema agit dans 6 domaines d'activités : Expertise & ingénierie territoriale, Bâtiment, Mobilités, Infrastructures de transport, Environnement & Risques, Mer & Littoral.

Le Cerema est un établissement public relevant du ministère de l'Aménagement du territoire et de la Décentralisation et du ministère de la Transition écologique, de la Biodiversité, de la Forêt, de la Mer et de la Pêche.

www.cerema.fr

CHU de Clermont-Ferrand, projet GM3

Expertise vibratoire

Commanditaire : Cédric Bésairie, CHU de Clermont-Ferrand

Auteur : Sébastien Teurio, CeremaCE-ACF

Responsable du rapport : Roland Cotte, directeur de l'Agence de Clermont-Ferrand (ACF)

Sébastien Teurio, CeremaCE

Cerema, Agence de Clermont-Ferrand

8-10 rue Bernard Palissy

63100 Clermont-Ferrand Cedex

Historique des versions du document

	Date	Commentaire
Version provisoire	10/09/25	Pour avis client
Version définitive	24/09/25	

Références

N° NOVA : 25 CE 0425

N° CRM : 2025 030176

Nom	Service	Rôle	Date	Visa
Sébastien Teurio	Chargé d'affaires	Auteur principal	23/09/25	ST
Benoît Nagel	Chargé d'affaires	Contributeur	23/09/25	BN
Anaïs Stamate	Chargée d'affaires	Contributeur	23/09/25	AS
Sylvain Moreira	Chef de groupe Eau et Risques	Relecteur		
Roland Cotte	Directeur ACF	Relecteur		

Résumé de l'étude

Dans le cadre du projet de construction du bâtiment GM3, le CHU de Clermont-Ferrand souhaite intégrer des prescriptions vibratoires dans le dossier de consultation des entreprises.

Contraintes évoquées : le site du CHU est en activité 7 j/7 et 24 h/24 et sont repérés, à proximité des futurs travaux, de nombreux équipements sensibles aux vibrations ainsi que des blocs opératoires. Les principaux risques associés aux vibrations évoquées par le CHU sont :

- accident médical ou report d'intervention en ce qui concerne l'activité réalisée au sein des blocs opératoires avec des conséquences majeures pour les patients et l'établissement,
- casse des équipements ou défauts de fonctionnement pour les équipements (défaut constaté/passé inaperçu) ayant des impacts sur les analyses issues des laboratoires,
- risque sur la faisabilité du chantier et/ou potentielles dérives (financière et temporelle) des travaux si les enjeux de fonctionnement de l'hôpital ne sont pas bien intégrés par l'entreprise titulaire du marché.

Le CHU souhaite maîtriser et limiter ces risques.

5 à 10 mots clés à retenir de l'étude

Vibration	Déroctage
Équipement sensible	Bloc opératoire
Milieu hospitalier	

Statut de communication de l'étude

Les études réalisées par le Cerema sur sa subvention pour charge de service public sont par défaut indexées et accessibles sur le portail documentaire du Cerema. Toutefois, certaines études à caractère spécifique peuvent être en accès restreint ou confidentiel. Il est demandé de préciser ci-dessous le statut de communication de l'étude.

☐ Accès libre : document accessible au public sur internet

☒ Accès restreint : document accessible uniquement aux agents du Cerema

☐ Accès confidentiel : document non accessible

Cette étude est capitalisée sur la plateforme documentaire [CeremaDoc](https://doc.cerema.fr/depot-rapport.aspx), via le dépôt de document : <https://doc.cerema.fr/depot-rapport.aspx>

SOMMAIRE

Introduction.....	6
1 Mesures du fond vibratoire.....	7
1.1 Dispositif mis en œuvre.....	7
1.2 Interprétation des mesures.....	7
2 Planche d'essais.....	8
2.1 Appareillage et implantation des capteurs.....	8
2.2 Essais minage.....	10
2.2.1 Description des essais.....	10
2.2.2 Résultats des mesures.....	11
2.3 Essais Brise-Roche Hydraulique.....	14
2.3.1 Description des essais.....	14
2.3.2 Résultats des mesures.....	15
3 Sensibilité des équipements et structures.....	18
3.1 Remarques sur les seuils vibratoires usuels sur équipement.....	18
3.2 Sensibilité des scanners et IRM.....	18
3.3 Sensibilité des équipements sensibles (hors imagerie).....	22
3.4 Sensibilité des structures.....	22
4 Contrôle vibratoire en phase travaux.....	24
5 Annexes.....	26
5.1 Rapport du CHU sur les essais vibratoires.....	26
5.2 Seuils vibratoires, données constructeur.....	28
5.2.1 Données constructeur.....	28
5.2.2 Interprétation.....	28
5.3 Remarque sur le matériel utilisé.....	30
5.4 Fond vibratoire.....	30
5.4.1 Centre de biologie, salle B11-0011 (C1 et C2).....	31
5.4.2 Centre de biologie, salle B11-0007 (C3).....	34
5.4.3 Centre de biologie, salle B11-0001 (C4 et C5).....	36
5.4.4 Centre de biologie, salle B15-0035 (C6).....	39
5.4.5 Centre de biologie, salle B15-0031 (C7).....	41
5.4.6 Centre de biologie, chaîne d'analyse biologique (C8 et C9).....	43
5.4.7 PMT, bloc14 (C10).....	46
5.4.8 PMT, bloc18 (C11).....	48
5.5 Planche d'essai.....	50
5.5.1 Instrumentation.....	50
5.5.2 Essais de minage.....	56
5.5.3 Essais au BRH.....	65

INTRODUCTION

Dans le cadre du projet de construction de bâtiment GM3, le CHU de Clermont-Ferrand souhaite intégrer des prescriptions vibratoires dans son dossier de consultation des entreprises.

Principaux enjeux à prendre en considération : le site du CHU est en activité 7 j/7 et 24 h/24 et sont repérés, à proximité des futurs travaux, de nombreux équipements sensibles aux vibrations ainsi que des blocs opératoires. Les risques associés aux vibrations évoquées par le CHU sont :

- accident médical ou report d'intervention en ce qui concerne l'activité réalisée au sein des blocs opératoires avec des conséquences majeures pour les patients et l'établissement,
- casse des équipements ou défauts de fonctionnement pour les équipements (défaut constaté/passé inaperçu) ayant des impacts sur les analyses issues des laboratoires,
- risque sur la faisabilité du chantier et/ou potentielles dérives (financière et temporelle) des travaux si les enjeux de fonctionnement de l'hôpital ne sont pas bien intégrés par l'entreprise titulaire du marché.

La demande du client pour cette expertise vibratoire est :

- Préciser les contraintes vibratoires liées aux travaux de terrassement dans la coulée basaltique, assise des futurs bâtiments. Pour les travaux au rocher, deux moyens de terrassement sont à ce stade envisagés : le déroctage au Brise-Roche Hydraulique (BRH) et le minage.
- Préconiser des seuils sur l'ensemble des récepteurs sensibles environnants et/ou définir des modalités d'exécution permettant aux travaux de se faire et au CHU de fonctionner. Ces récepteurs peuvent être :
 - personnes : chirurgiens, patients ...,
 - matériels, équipement du CHU,
 - bâti.

Remarque : le projet GM3 est implanté dans un site soumis à de nombreuses contraintes et enjeux. L'expertise vibratoire présentée dans ce rapport s'est focalisée sur les équipements, les praticiens et le bâti du CHU (entrée du CHU, centre de biologie et PMT). Les avoisinants directs n'ont pas été étudiés dans le cadre de cette expertise, ils devront toutefois être pris en compte dans le cadre des travaux. En effet, en fonction de la localisation des travaux, les récepteurs dimensionnant des moyens terrassements pourront être le CHU, le centre Jean Perrin (risques et enjeux identiques au CHU), l'établissement français du sang ou les réseaux enterrés qui ne nous ont pas été communiqués mais pourront se trouver à proximité immédiate des travaux.

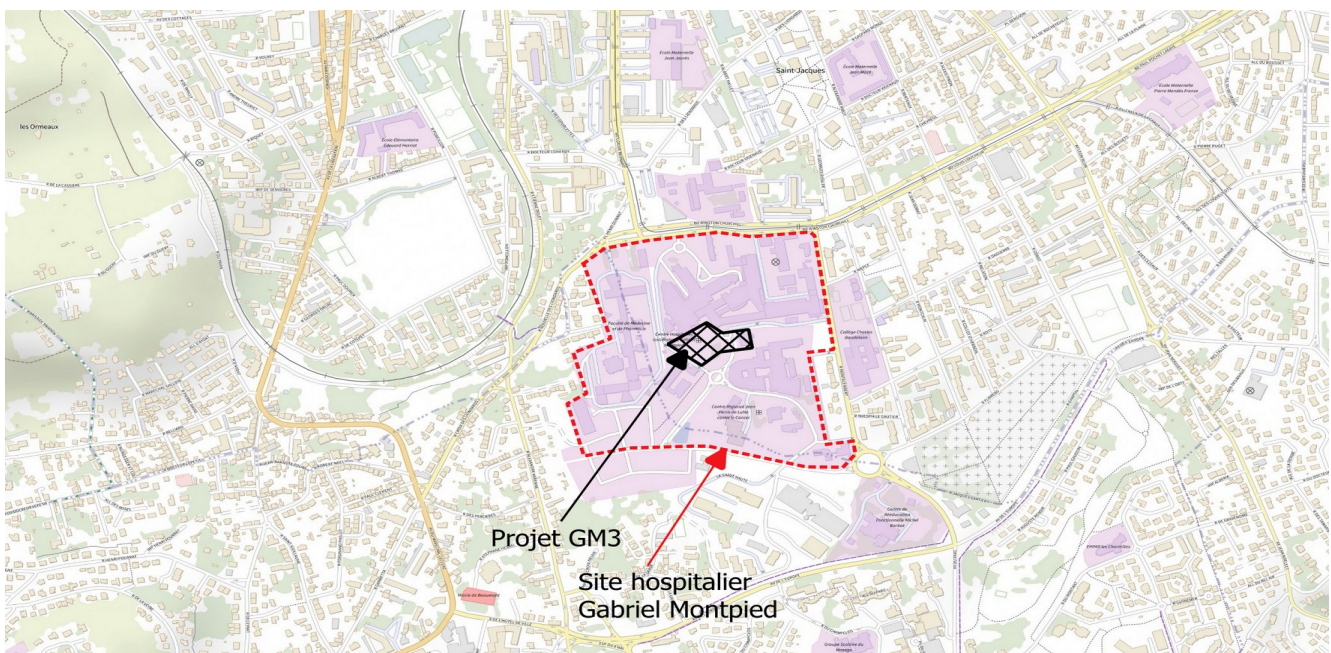


Figure 1: situation du projet GM3

1 MESURES DU FOND VIBRATOIRE

1.1 Dispositif mis en œuvre

Étant donné le nombre d'équipement potentiellement sensible aux vibrations (peu de prescription constructeur en termes de sensibilité aux vibrations et de seuil vibratoire) et les équipements de mesures disponible, les mesures n'ont pu être réalisées sur tous les équipements ou dans toutes les salles. Les équipements instrumentés dans ce cadre ont été déterminés par les différents services du CHU. L'objet de ces mesures est de déterminer les contraintes vibratoires habituelles arrivant par les dalles sur les équipements sélectionnés et une réponse « type » des supports des équipements pour ceux qui sont posés sur « tables ».

Les dispositifs mis en œuvre et les résultats de mesures sont présentés en annexe 5.4.

1.2 Interprétation des mesures

Les capteurs sur tables (C2, C5 et C6) montrent que les équipements instrumentés supportent quotidiennement des pics vibratoires de 2 mm/s ou plus. Ces vibrations peuvent être liées au fonctionnement de l'équipement (cas pour le capteur C2) ou à l'activité sur les paillasse (présence d'ordinateur ...). Les mesures de fond vibratoires n'ont pas permis de déterminer de lien entre les vibrations sur paillasse et les vibrations sur le sol directement à proximité.

Les vitesses vibratoires mesurées sur les capteurs au sol restent globalement faibles, autour de 0,1 mm/s, mais présentent de nombreux pics vibratoires dépassant les 0,2 mm/s voir 0,5 mm/s pour le capteur C8 au niveau de la chaîne de mesure en continu.

Le tableau ci-après, présente les pics vibratoires exceptionnels mesurés sur chaque capteur. Ces pics exceptionnels représentent moins de 10 évènements sur la période de mesure.

Capteur	Salle	Position du capteur	Vibrations exceptionnelles
C1	B11-0011	sol	0,3
C2	B11-0011	table	2,1
C3	B11-0007	sol	0,4 (hors pic à 6 mm/s)
C4	B11-0001	sol	0,26 (hors pic à 7 mm/s)
C5	B11-0001	table	3,5 (hors pic à 9 mm/s)
C6	B15-0035	table	4,5 (hors pic à 8 mm/s)
C7	B15-0031	sol	0,22
C8	Chaîne	sol	0,8 (hors pic à 1,9 mm/s)
C9	Chaîne	sol	0,3
C10	Bloc14	sol	0,2
C11	Bloc18	sol	0,5, nombreux pics > 10 mm/s laissant supposé que le capteur a subi des chocs répétés liés à son emplacement

2 PLANCHE D'ESSAIS

2.1 Appareillage et implantation des capteurs

Les mesures ont été réalisées conformément au mode « étude » de la norme NFE 90-020-1. Le site a été instrumenté de 16 capteurs tri-dimensionnels de vitesse de vibration.

La position des capteurs a été définie en prenant en compte la sensibilité des appareils ou des activités, ainsi que la structure des bâtiments :

- le bloc opératoire localisé au 3^e étage du bâtiment PMT. C'est le bloc n°14 qui a été instrumenté, car il est localisé à proximité de la future zone de travaux,
- les machines d'imagerie sensibles telles que IRM et scanner présentes au 1^{er} étage du bâtiment PMT,
- les équipements sensibles présents à différents niveaux du centre biologie (CB).

Le plan ci-dessous récapitule l'instrumentation mis en œuvre par le Cerema.

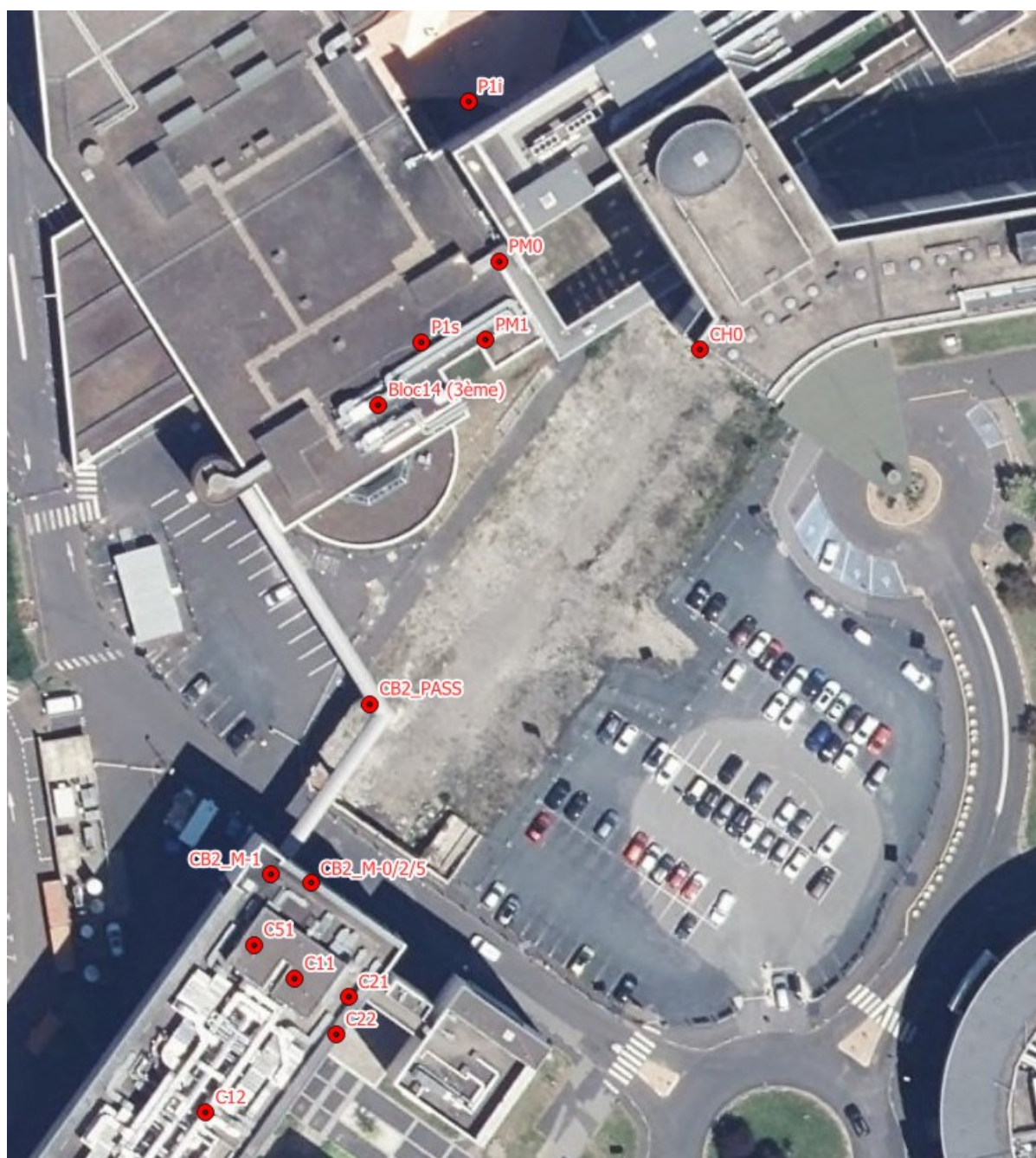


Figure 2: Plan d'implantation des capteurs

Certains capteurs ont été positionnés à proximité immédiate d'activités ou matériels sensibles (Bloc14, P1s, P1i, C21, C22). D'autres sont localisés en fondation ou en hauteur sur mur porteur pour connaître les niveaux vibratoires auxquels vont être soumis les fondations des bâtiments et leurs évolutions dans les étages supérieurs (PM0, CH0, CB2_M0, CB2_M-1, CB2_PASS).

La configuration des chaînes d'acquisition est la suivante :

Bâtiment	Dispositif	Capteur	Localisation	Information (type capteur – sensibilité mm/s)
PMT	ATV15_Bloc14	BL14	Bloc opératoire	1 Hz – 196
	ATV15_PMT	CH0	Entrée du CHU	4,5 Hz – 28,8
		PM0	Fondation PMT	2 Hz – 64
		PM1	Mur porteur PMT, 1 ^{er} étage	4,5 Hz – 28,8
		P1s	Scanner	1 Hz – 280
		P1i	IRM	1 Hz – 280
Centre de biologie	ATV15 - CB	C11	Matériels sensibles, 1 ^{er} étage	1 Hz – 106
		C12		1 Hz – 200
		C21	Chaîne automatique, 2 ^e étage	1 Hz – 196
		C22		1 Hz – 75,3
		C51	Matériel sensible, 5 ^e étage	1 Hz – 169
	ATV - CB2	PASS	Fondation de la passerelle	4,5 Hz – 28,8
		CM-1	Fondation bâtiment, niveau -1	2 Hz – 190
		CM0	Fondation bâtiment	4,5 Hz – 28,8
		CM2	Mur porteur, 2 ^e étage	2 Hz – 65,4
		CM5	Mur porteur, 5 ^e étage	2 Hz – 190

Les photos d'implantation des capteurs sont présentées en annexe 5.5.1.

2.2 Essais minage

2.2.1 Description des essais

La planche d'essai minage s'est déroulée le 8 juillet 2025 en deux phases :

- une première phase s'est déroulée à 9h30 et a consisté à émettre deux ondes de choc avec deux charges unitaires instantanées de 500 g chacune localisées dans deux trous de forage différents (Tir1-1 et Tir1-2) à 500 millisecondes de différence ;
- une seconde phase s'est déroulée à 14 h et a consisté à émettre une onde de choc avec une charge unitaire instantanée de 1 kg (Tir 2).

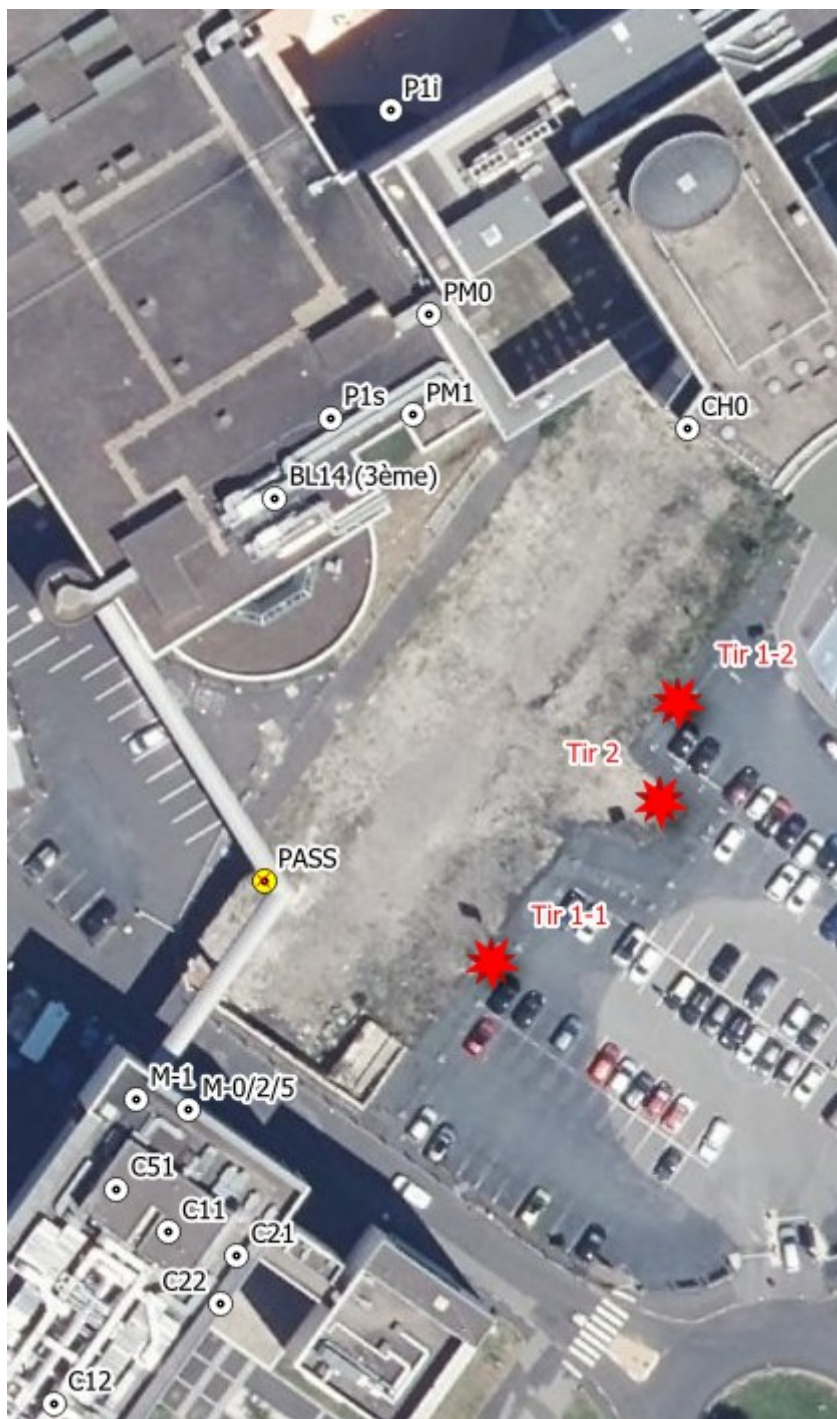


Figure 3: Implantation des tirs de minage

Les paramètres de déclenchement sont les suivants :

Bâtiment	Dispositif	Capteurs	Seuil de déclenchement
PMT	ATV15_Bloc14	BL14	0,12 mm/s (Tir1-1 et 1-2) 0.2 mm/s (Tir2)
	ATV15_PMT	CH0, PM0, PM1, P1i, P1s	0,4 mm/s
Centre de biologie	ATV15_CB	C11	0,2 mm/s
	ATV15_CB2	PASS, CM-, CM0, CM2, CM5	0,3 mm/s

Les paramètres d'acquisition sont les suivants :

Chaîne d'acquisition	Les 4 ATV15
Fréquence d'échantillonnage (Hz)	1000
Durée (s)	30
Pré-trigger (s)	1
Filtre anti-repliement (Hz)	300

2.2.2 Résultats des mesures

Le tableau ci-après récapitule les valeurs maximales de vitesse enregistrées pour chaque tir et chaque capteur.

		Vitesses maximales (mm/s)		
Dispositif	Capteur	Tir1-1	Tir1-2	Tir2
Bloc14	BL14	0,40	0,33	0,57
PMT	P1s	0,45	0,54	1,17
	P1i	0,21	0,46	0,56
	PM1	0,38	0,72	1,19
	PM0	0,36	0,74	0,53
	CH0	0,30	0,55	0,59
CB1	C51	0,50	0,42	0,32
	C22	0,37	0,20	0,36
	C21	0,91	0,70	0,77
	C12	0,47	0,34	0,56
	C11	0,42	0,24	0,35
CB2	CM0	0,37	0,14	0,34
	CM2	0,73	0,46	0,52
	CM5	0,72	0,50	0,41
	CM-1	0,35	0,14	0,24
	PASS	2,00	2,29	2,29

Les résultats détaillés des enregistrements maximaux sont joints en annexe 5.5.2 où des traces et spectres de fréquences représentatifs sont présentés.

Propagations dans le sol

Le report des vibrations maximales des capteurs en fondations sur l'abaque logarithmique Dr-V permet de décrire les modes de propagation des vibrations dans le sol en direction des différents récepteurs instrumentés. Les abaques illustrent les vitesses maximales de vibration émises lors des tirs d'essai en fonction des distances réduites par la charge d'explosif et permettent de déterminer la loi d'atténuation des vibrations.

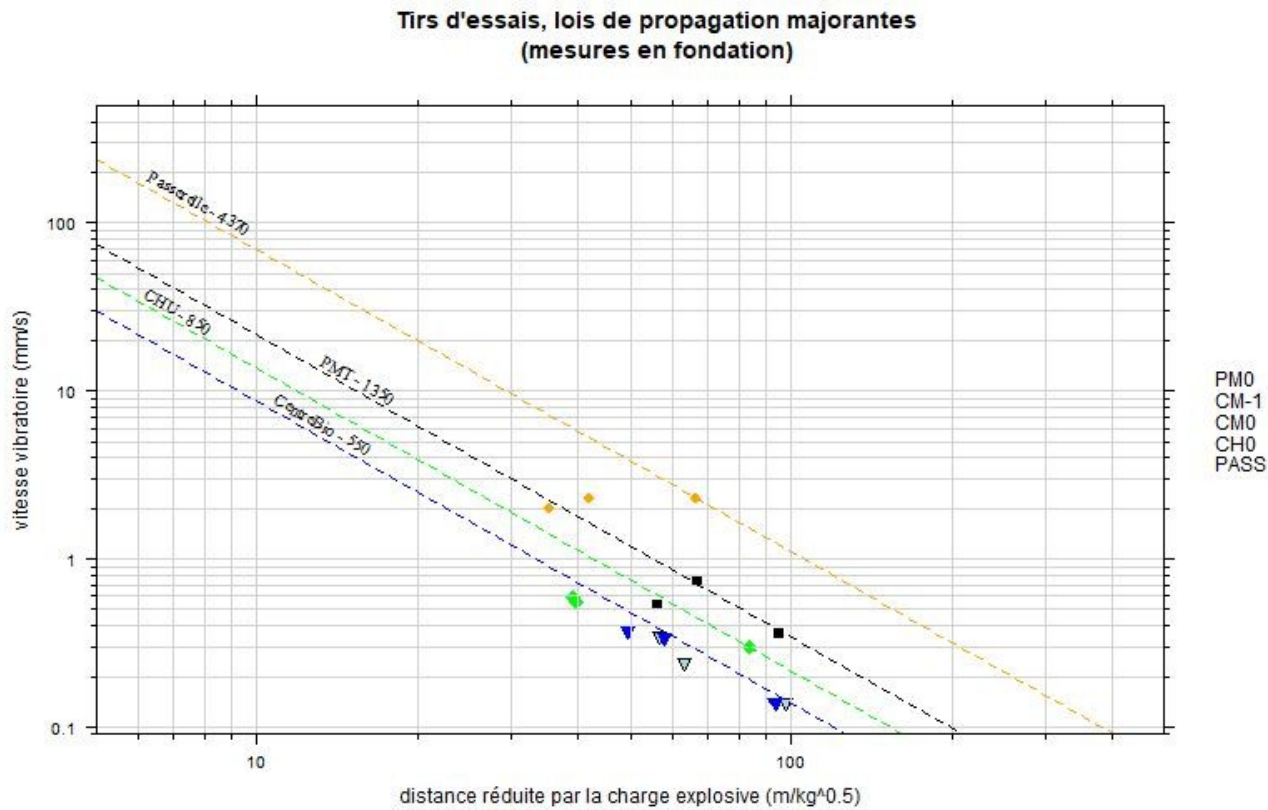


Figure 4: Lois de propagation des vibrations générées par les tirs de mine

Ces graphiques permettent de définir des lois d'amortissement des vibrations qui s'écrivent sous la forme :

$$V \text{ (mm/s)} = K \times Dr^{-\beta}$$

Les coefficients K sont déterminés à partir des mesures in-situ

Dr : distance réduite par la charge explosive ($Dr = D(m) / \sqrt{CUI(kg)}$)

CUI : charge explosive unitaire instantanée (kg)

K : coefficient propre à chaque site (géologie et structure instrumentée) et source

β : pente d'amortissement des vibrations dans le sol, le coefficient utilisé est de 1,8 correspondant au coefficient moyen d'amortissement de « Chapot »

Les lois majorantes déduites pour les tirs de mines présentent des coefficients de site K de :

- 1350 pour le bâtiment PMT,
- 850 pour le bâtiment CHU,
- 550 pour le bâtiment centre de biologie,
- 4370 pour la passerelle.

Il est constaté une dispersion importante des mesures pour la passerelle. Cette dispersion est due à la mise en oscillation libre de la passerelle sous l'effet de l'impulsion vibratoire des tirs, à une fréquence de 19 Hz (voir illustration ci-après). L'utilisation d'engins mécaniques générant des vibrations à cette fréquence peut provoquer une mise en résonance de la passerelle. Cette situation est à éviter à cause du risque d'endommagement de la structure.

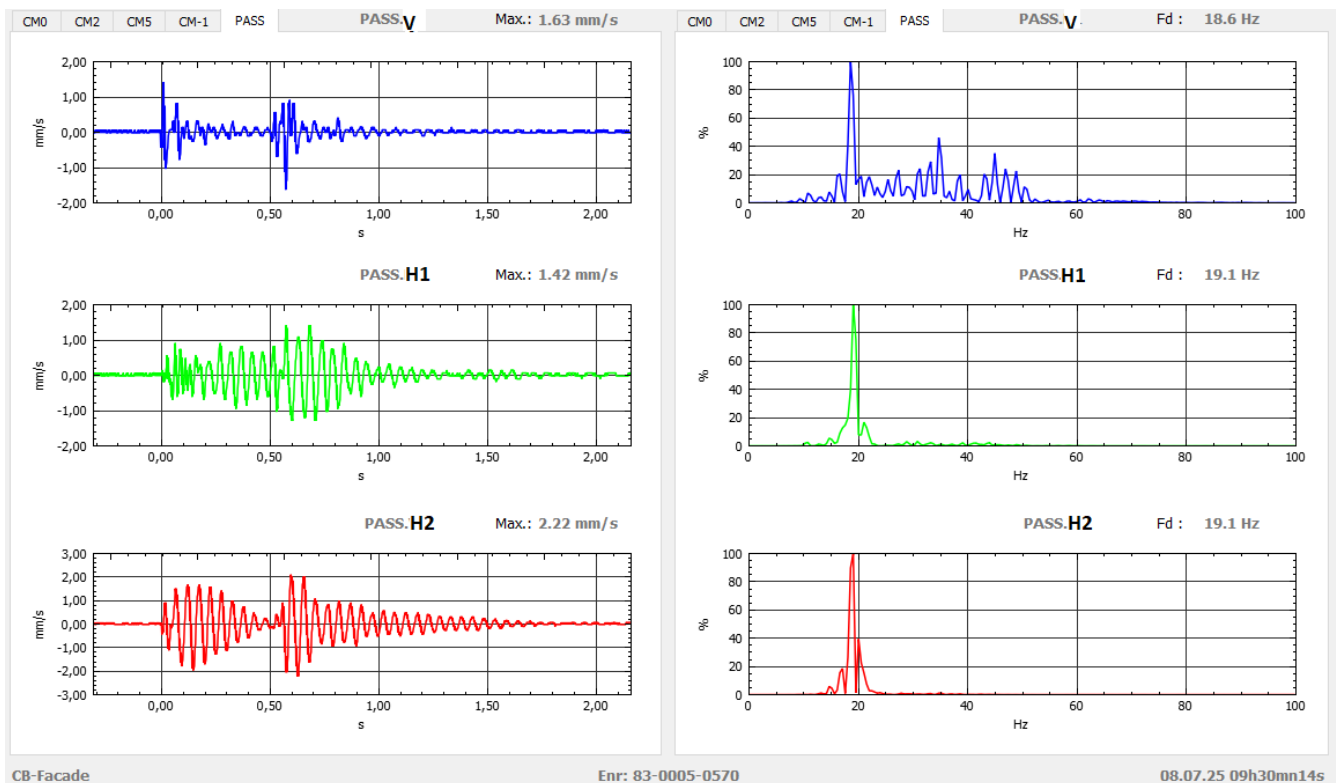
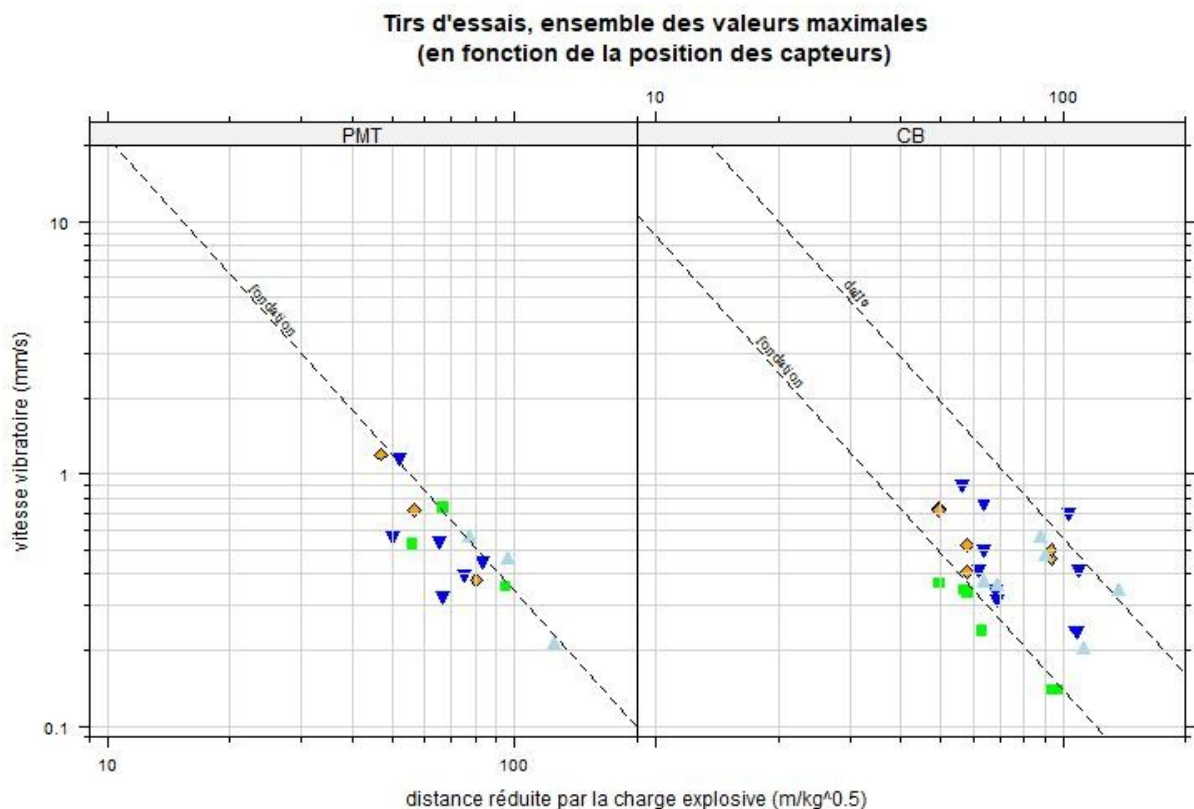


Figure 5: illustration de la mise en oscillation libre de la passerelle

Propagation dans les bâtiments



(FD = fondation, MP = mur porteur, D1 = dalle proche de la façade, D2 = dalle loin de la façade)

Les graphiques montrent :

- une absence d'amplification pour le PMT ;
- une amplification des vibrations dans le centre de biologie avec facteur K interne au bâtiment de 2200 (pour 550 en fondation). Cette amplification est cependant variable et augmente lorsque les mesures sur fondation diminuent.

2.3 Essais Brise-Roche Hydraulique

2.3.1 Description des essais

La planche d'essai BRH s'est déroulée le 9 juillet 2025 en deux phases :

- une première phase s'est déroulée de 9h30 à 10 h et a consisté à émettre des ondes de choc dans 4 zones différentes de la fosse (Zones 1, 2, 3 et 4)
- une seconde phase s'est déroulée à 14 h à 14h30 et a consisté à émettre des ondes de choc sur 4 zones différentes dans la fosse (zones 3b, 5, 6 et 7).



Figure 6: Implantation des zones de frappe au BRH

Les matériels de mesures et paramètres d'acquisitions sont identiques à ceux présentés pour les tirs de mines du 08/07/2025. Le déclenchement des mesures est réalisé manuellement. Trois enregistrements ont été réalisés sur chaque zone d'essai.

2.3.2 Résultats des mesures

Le tableau ci-après récapitule les valeurs maximales de vitesse enregistrées pour chaque zone d'essai et chaque capteur.

		Vitesses maximales (mm/s)						
Dispositif	Capteur	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Zone 7
PMT	BL14	0,21	0,12	0,19	0,16	0,26	0,24	0,17
		0,25	0,19	0,22	0,16	0,19	0,20	0,16
		0,26	0,14	0,16	0,07	0,17	0,32	0,16
PMT	P1s	0,17	0,23	0,30	0,33	0,23	0,29	0,21
		0,20	0,31	0,54	0,33	0,36	0,22	0,23
		0,18	0,28	0,43	0,25	0,24	0,24	0,18
	P1i	0,17	0,13	0,16	0,20	0,16	0,23	0,15
		0,17	0,15	0,22	0,20	0,17	0,17	0,16
		0,20	0,15	0,22	0,18	0,17	0,20	0,16
	PM1	0,25	0,25	0,42	0,34	0,17	0,42	0,25
		0,34	0,34	0,85	0,34	0,25	0,34	0,17
		0,25	0,25	0,59	0,17	0,25	0,51	0,17
	PM0	0,19	0,15	0,19	0,19	0,11	0,19	0,15
		0,19	0,15	0,34	0,19	0,15	0,19	0,11
		0,19	0,19	0,31	0,15	0,15	0,23	0,11
	CH0	0,25	0,59	1,27	0,25	0,17	0,34	0,25
		0,34	1,02	5,85	0,25	0,17	0,25	0,25
		0,34	1,10	3,22	0,17	0,17	0,34	0,25
CB1	C51	0,16	0,14	0,13	0,16	0,25	0,14	0,26
		0,14	0,16	0,13	0,16	0,23	0,14	0,30
		0,12	/	0,13	0,16	0,20	0,17	0,30
	C22	0,26	0,23	0,19	0,19	0,23	0,16	0,29
		0,19	0,23	0,16	0,19	0,29	0,19	0,29
		0,16	/	0,16	0,19	0,23	0,16	0,32
	C21	0,25	0,19	0,56	0,36	0,29	0,24	0,36
		0,25	0,37	0,19	0,36	0,37	0,22	0,34
		0,27	/	0,20	0,27	0,40	0,22	0,37
	C12	0,33	0,21	0,22	0,22	0,43	0,18	0,55
		0,20	0,22	0,21	0,18	0,44	0,16	0,44
		0,17	/	0,17	0,20	0,38	0,20	0,60
	C11	0,28	0,16	0,14	0,14	0,51	0,12	0,55
		0,16	0,12	0,09	0,18	0,46	0,09	0,37
		0,12	/	0,12	0,16	0,41	0,09	0,39

		Vitesses maximales (mm/s)						
Dispositif	Capteur	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Zone 7
CB2	CM0	0,17	0,17	0,17	0,17	0,25	0,17	0,34
		0,17	0,17	0,17	0,17	0,34	0,17	0,34
		0,17	0,17	0,17	0,17	0,25	0,17	0,34
	CM2	0,22	0,19	0,22	0,30	0,45	0,22	0,60
		0,26	0,15	0,19	0,22	0,52	0,22	0,45
		0,26	0,15	0,15	0,22	0,56	0,22	0,60
	CM5	0,14	0,12	0,09	0,14	0,30	0,10	0,35
		0,19	0,08	0,23	0,12	0,50	0,12	0,26
		0,14	0,08	0,10	0,19	0,48	0,13	0,42
	CM-1	0,09	0,05	0,06	0,06	0,27	/	0,27
		0,09	0,04	0,05	0,05	0,24	0,50	0,26
		0,09	0,04	0,05	0,09	0,23	0,05	0,23
	PASS	0,76	0,68	0,42	0,76	3,05	0,68	1,53
		1,27	0,42	0,85	0,85	3,31	0,68	1,10
		1,02	0,42	0,51	1,19	3,31	0,68	1,78

Quelques résultats détaillés des enregistrements sont joints en annexe 5.5.3 où des traces et spectres de fréquences représentatifs sont présentés.

Propagation dans le sol

Le report des vibrations maximales des capteurs en fondations sur l'abaque logarithmique D-V permet de décrire les modes de propagation des vibrations en direction des différents récepteurs instrumentés. L'abaque illustre les vitesses maximales de vibration émises lors des chocs générés par le BRH en fonction de la distance et permettent de déterminer la loi d'atténuation des vibrations.

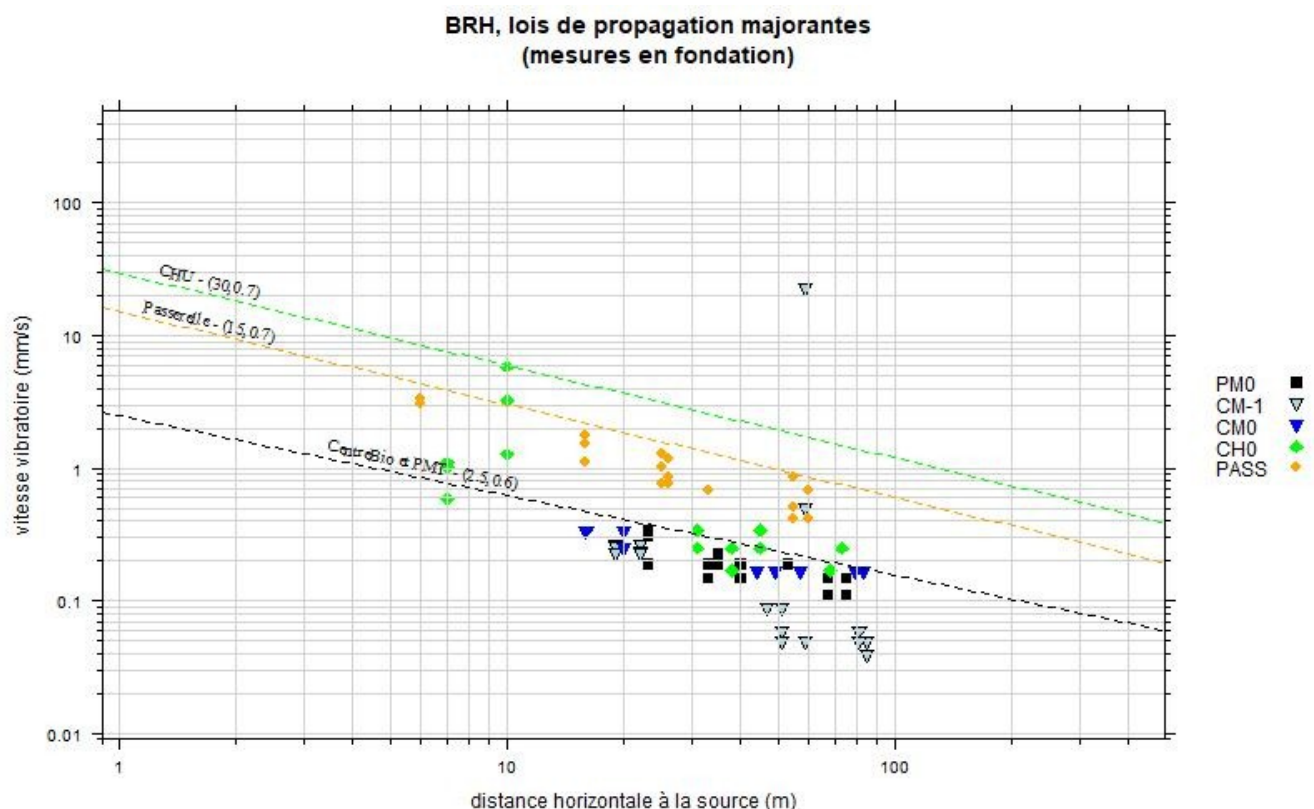


Figure 7: Lois de propagation des vibrations générées par le BRH

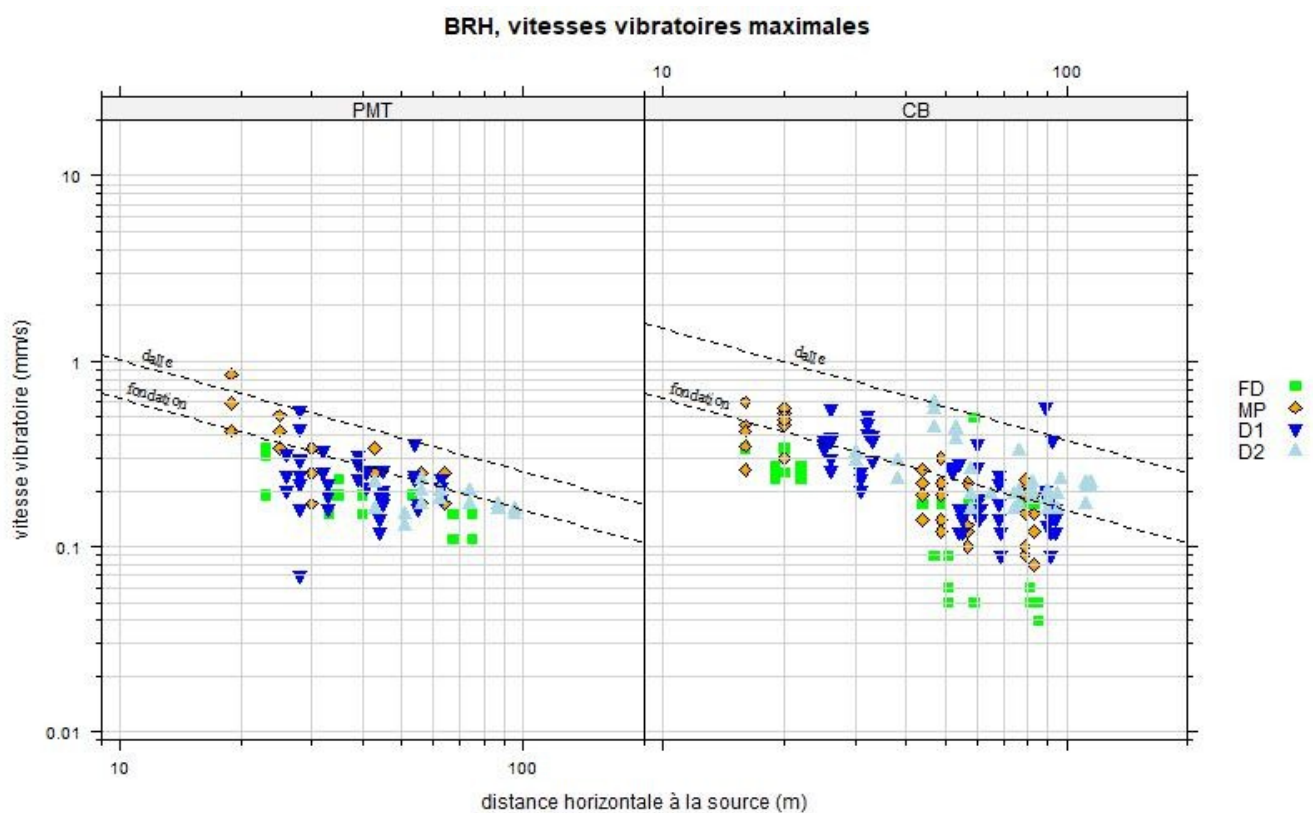
Remarque : la mesure sur le capteur CM-1 à plus de 20 mm/s est liée à un choc sur le capteur et n'a donc pas été prise en compte.

Les lois majorantes déduites pour les essais de BRH présentent une pente d'amortissement β faible (0,6 et 0,7), les pentes habituelles étant comprises entre 0,9 et 1,5.

Les lois majorantes des différentes structures sont :

- Centre de biologie et PMT : $v = 2,5 * D^{-0,6}$
- CHU : $v = 30 * D^{-0,7}$
- Passerelle : $v = 15 * D^{-0,7}$

Propagation dans les bâtiments



(FD = fondation, MP = mur porteur, D1 = dalle proche de la façade, D2 = dalle loin de la façade)

Les graphiques montrent :

- une amplification des vibrations dans le centre de biologie avec facteur K interne au bâtiment de 6 (pour 2,5 en fondation) ;
- une amplification des vibrations dans le bâtiment PMT avec facteur K interne au bâtiment de 4 (pour 2,5 en fondation).

3 SENSIBILITÉ DES ÉQUIPEMENTS ET STRUCTURES

Il n'existe pas de texte réglementaire ou normatif définissant des seuils vibratoires pour les équipements sensibles ainsi que les activités demandant de la précision (praticiens). Il n'existe également que peu d'équipements possédant des seuils constructeurs. Les recommandations constructeur en notre possession sont partielles, elles sont présentées en annexe 5.2.

Les mesures de fond vibratoire, de moyens d'extraction prévisible (minage et BRH) ainsi que le retour des praticiens du site ont permis de déterminer des niveaux vibratoires permettant de conserver un fonctionnement normal du CHU. Ces niveaux vibratoires sont potentiellement plus faibles que les niveaux vibratoires maximaux pouvant être supportés par les différents équipements et structures. Les essais minages et BRH ont été dimensionnés de manière sécuritaire, les modes de propagation des vibrations sur ce site n'étaient pas connus (ni la sensibilité, supposée faible, des équipements).

Les retours d'expériences des essais minage et BRH montrent pour les 2 cas (annexe 5.1) que :

- les équipements sensibles, instrumentés ou non, n'ont pas été perturbés par les vibrations,
- les praticiens n'ont pas été perturbés par les vibrations du BRH,
- la procédure d'information de déclenchement des tirs de mines pour les blocs chirurgicaux a fonctionné.

3.1 Remarques sur les seuils vibratoires usuels sur équipement

Les seuils vibratoires sur équipements peuvent être définis comme les niveaux vibratoires à partir desquels les équipements ne fonctionnent plus correctement. Sur les équipements sensibles aux vibrations, les seuils doivent être définis par les constructeurs ou à défaut être déterminés par des essais vibratoires. Les équipements ne possédant pas de seuil constructeur sont généralement définis comme équipements de sensibilité courante et pouvant être soumis à des vibrations habituelles des structures. De plus, les équipements sensibles aux vibrations sont généralement posés sur des tables et/ou tapis anti-vibratiles.

Pour les équipements « classiques », les niveaux vibratoires admissibles fréquemment utilisés sont 5 mm/s pour les événements brefs et isolés (ex : tir de mine) et 2,5 mm/s pour les événements permanents (ex : BRH, compacteur).

Sur le site du CHU, les équipements sensibles aux vibrations possédant des limites constructeur sont les IRM, scanner et des équipements Artis. Une interprétation de ces limites est faite en annexe 5.2.2.

3.2 Sensibilité des scanners et IRM

Les seuils préconisés par les constructeurs s'appliquent directement sur les dispositifs de mesures généralement fixés sur la dalle des bâtiments via un système anti-vibratile. Nous n'avons pas eu d'accès direct à ces équipements et avons mesuré les vibrations dans des pièces à proximité. Les niveaux maximaux mesurés sont :

	Tir	BRH
IRM	0,56 mm/s correspondant à 61 mm/s ² (PM16, tir2)	0,23 mm/s correspondant à 57 mm/s ² (PM121, z6e1 – zone essai 6 essai 1)
Scanner	1,17 mm/s correspondant à 166 mm/s ² (PM16, tir2)	0,54 mm/s correspondant à 103 mm/s ² (PM127, z3e2-bis)

IRM, interprétation par rapport aux recommandations constructeur en notre possession et comparaison des mesures à un système « IRM – système anti-vibratile » connu

Dans les conditions de réalisation de l'étude et au regard des connaissances disponibles sur les instruments, nous ne sommes pas en capacité d'interpréter le seuil constructeur de – 80 dB(g) soit environ 1 mm/s² sur la plage 0 à 100 Hz. **En valeur brute, ce niveau est largement dépassé sur dalle proche pour les tirs de mines et le BRH, les IRM sont toutefois restées en fonctionnement sur l'ensemble des phases de test sans que les praticiens n'aient remonté de défaut à l'acquisition.**

En 2019, une expertise vibratoire a été réalisée sur l'IRM du CHU d'Aubenas. Sur ce site, les terrassements ont été réalisés par minage et BRH. Les informations constructeur transmises par ce CHU sont : le seuil de – 80 dB(g) est un seuil à interpréter en bande fine de 1 Hz une fois le système anti-vibratile pris en compte. Les nouveaux seuils de l'ensemble à proximité immédiate de l'IRM sont présentés dans le tableau à droite (**valable uniquement pour le matériel du CHU d'Aubenas**).

L'interprétation ci-après compare les niveaux mesurés sur le site de Clermont-Ferrand aux seuils constructeur du matériel du CHU d'Aubenas.

Lors de la planche d'essais de juillet 2025, l'essai au BRH le plus contraignant est :

- une accélération maximale de 57 mm/s² avec pour bande de fréquence la plus défavorable la bande 35-36 Hz,
- sur cette bande l'accélération crête maximale est de 18 mm/s² soit une accélération efficace d'environ 12 mm/s² pour 31 mm/s² de seuil.

→ Si nous avons des seuils équivalents une fois le système antivibratile pris en compte, hypothèse à confirmer par le constructeur avant la phase chantier, le BRH testé lors des essais aurait respecté les seuils.

Lors de la planche d'essais de juillet 2025, l'essai minage le plus contraignant est :

- une accélération maximale de 61 mm/s² avec pour bande de fréquence la plus défavorable la bande 38-39 Hz,
- sur cette bande l'accélération crête maximale est de 19 mm/s² soit une accélération efficace d'environ 14 mm/s² pour 31 mm/s² de seuil.

→ Si nous avons des seuils équivalents une fois le système anti-vibratil pris en compte, hypothèse à confirmer par le constructeur avant la phase chantier, le BRH testé lors des essais aurait respecté les seuils.

frequency (Hz)	Acceleration (m/s ² rms)	
	Vibration isolators	Sylomer T/Sylomer HD 300
4.0	0.00100	0.00100
5.0	0.00100	0.00084
6.0	0.00100	0.00072
7.0	0.00100	0.00063
8.0	0.00100	0.00056
9.0	0.00136	0.00056
10.0	0.00179	0.00056
11.0	0.00230	0.00056
12.0	0.00288	0.00056
13.0	0.00356	0.00056
14.0	0.00432	0.00056
15.0	0.00517	0.00081
16.0	0.00612	0.00114
17.0	0.00717	0.00157
18.0	0.00832	0.00212
19.0	0.00959	0.00283
20.0	0.01096	0.00371
21.0	0.01245	0.00480
22.0	0.01406	0.00613
23.0	0.01579	0.00776
24.0	0.01765	0.00972
25.0	0.01964	0.01206
26.0	0.02175	0.01484
27.0	0.02401	0.01812
28.0	0.02640	0.02196
29.0	0.02894	0.02643
30.0	0.03162	0.03162
35.0	0.03162	0.03162

puis 0,03162 m/s² RMS jusqu'à 100 Hz.

Nous remarquons également que le niveau maximal mesuré pour les essais BRH est comparable aux niveaux vibratoires sans essais (fond vibratoire), l'utilisation du BRH ne devrait donc pas poser de problème (voir illustration ci-après).

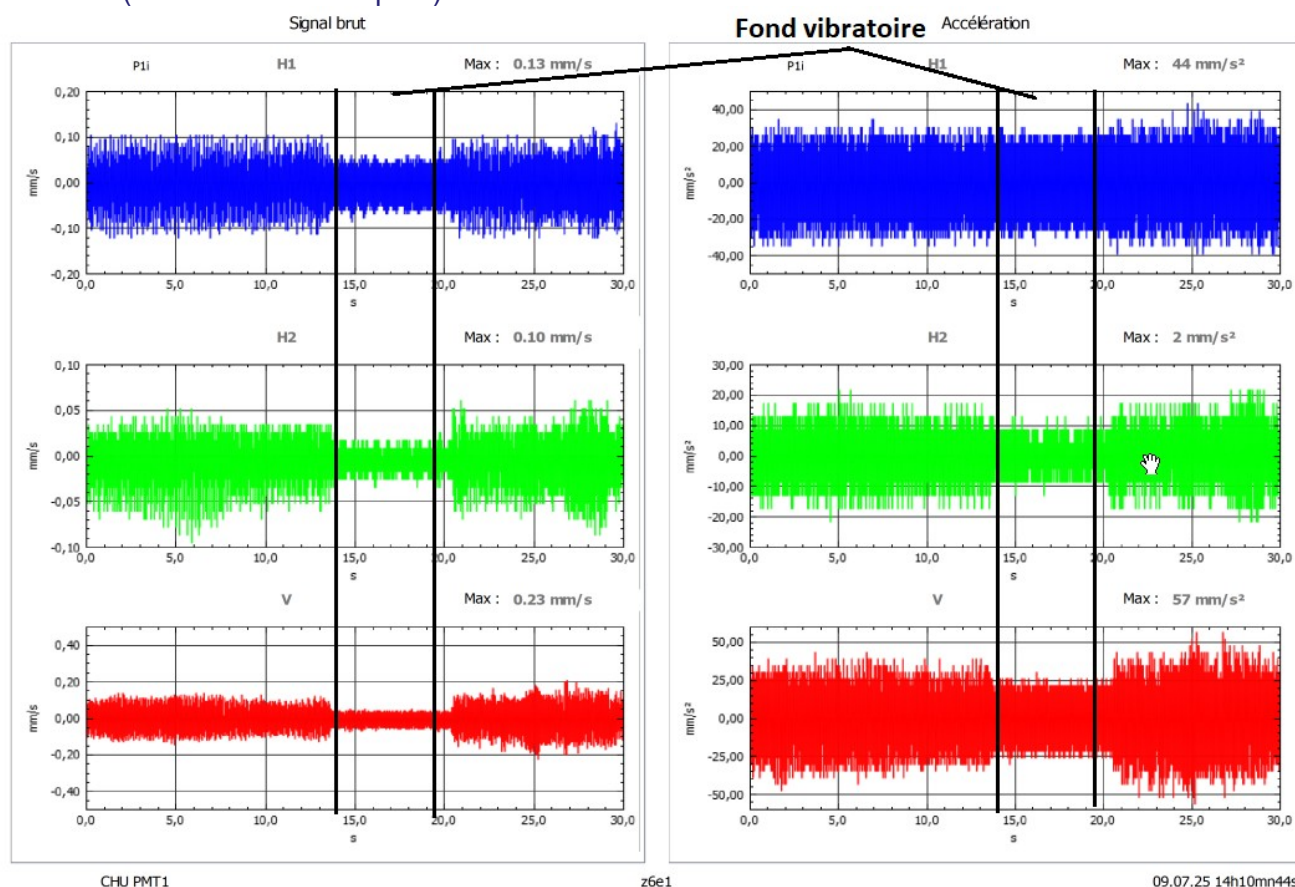


Figure 8: IRM, vibrations maximales mesurées lors des essais BRH (fond vibratoire hors BRH entre 15 et 20 s)

Il relève de la responsabilité du maître d'ouvrage de fournir et de garantir les informations techniques concernant les matériels sensibles. Pour garantir la qualité des images IRM, les informations techniques sur la sensibilité « IRM-système antivibratile » devront être obtenues avant le début du chantier.

Dans l'attente d'explication complémentaire du constructeur, nous préconisons de continuer à utiliser les IRM pour des niveaux vibratoires identiques ou inférieurs aux niveaux maximaux atteints lors des essais minages et BRH, les praticiens n'ayant pas constaté de dysfonctionnement.

Pour préserver l'intégrité de l'équipement, nous préconisons un seuil de 5 mm/s sur la plage 0-150 Hz en vitesse vibratoire crête sur la dalle du bâtiment IRM. Ce seuil a été utilisé lors du chantier de terrassement au CHU d'Aubenas (2019) et a permis de préserver l'équipement. Il ne devrait cependant pas être atteint sur ce projet du fait de la sensibilité des équipements du centre de biologie, fonctionnant en continu 24 h/24 et 7 j/7, et imposant une limitation en énergie des engins de terrassement.

Scanner, interprétation par rapport aux recommandations constructeur en notre possession

Au regard des connaissances disponibles sur les instruments, nous ne sommes pas sûrs de la façon d'interpréter le seuil constructeur de $0,5 \text{ m/s}^2$ sur la plage 0 à 100 Hz ainsi que les courbes du système CT. Nous remarquons cependant que le seuil de 500 mm/s^2 n'est pas dépassé pour les tirs de mines ni pour le BRH.

Pour le système CT et les sources vibratoires entretenues, le seuil basses fréquences est de 50 mm/s^2 RMS (entre 1 et 5 Hz) puis augmente pour atteindre 3 m/s^2 RMS à 100 Hz. Les fréquences liées à la source BRH sont principalement supérieures à 20 Hz (voir illustration graphique ci-après), à cette fréquence le seuil vibratoire issu de la courbe est de 200 mm/s^2 RMS.

→ ce niveau n'a pas été atteint lors des essais BRH.

Nous supposons donc que l'utilisation du BRH a satisfait au seuil constructeur. Un complément d'information du constructeur pour l'interprétation de ses courbes de seuil est nécessaire pour valider cette interprétation.

Courbes fournies par le constructeur

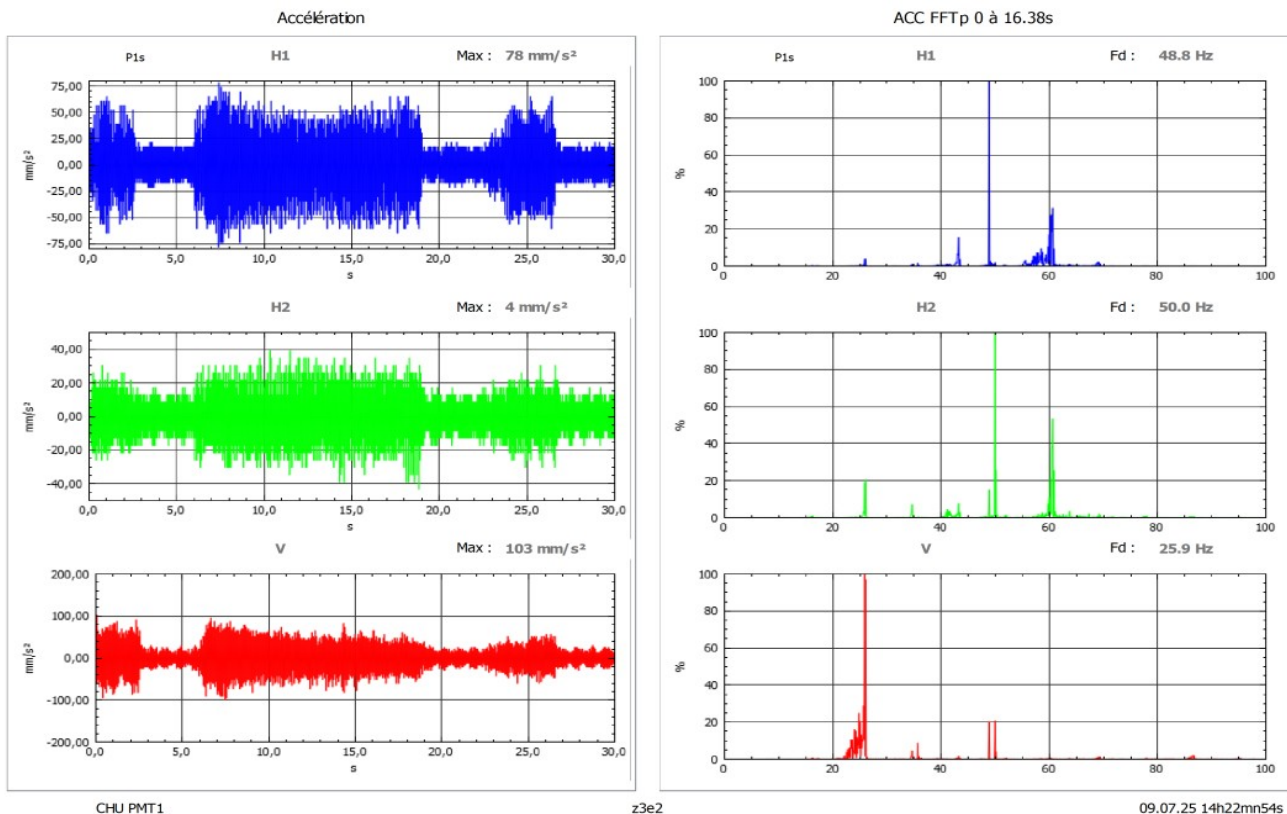
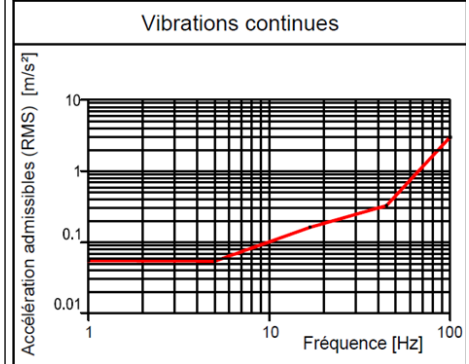


Figure 9: Scanner, vibrations maximales mesurées lors des essais BRH et spectre de fréquence associé

3.3 Sensibilité des équipements sensibles (hors imagerie)

Les niveaux vibratoires générés par les tirs de mines et le BRH :

- sortent du fond vibratoire au niveau des mesures sur dalle :

Fond vibratoire	Essais Tir	Essais BRH
0,2 à 0,3 mm/s pour le centre de biologie et PMT (équipement sur sol)	0,9 mm/s sur dalle du centre de biologie 1,2 mm/s sur dalle du PMT	0,6 mm/s sur dalle du centre de biologie 0,55 mm/s sur dalle du PMT

- restent inférieurs au fond vibratoire mesuré sur table/paillasse (fond vibratoire > 2 mm/s).

La définition des niveaux vibratoires seuils à partir du fond vibratoire et des essais minage et BRH conduit à :

- Un niveau vibratoire crête de 2 mm/s pour les équipements sur paillasse. Ce niveau correspond au fond vibratoire mesuré hors pics exceptionnels.
- Pour les équipements posés sur sol et ne sachant pas si ces équipements sont plus sensibles que les équipements posés sur table : 0,9 mm/s pour le minage et 0,6 mm/s pour le BRH (niveaux maximaux atteints sur le sol à proximité des équipements supposés sensibles et définis par les praticiens du centre de biologie).

Remarque : les essais vibratoires ont montré qu'avec les niveaux précédemment cités, le fonctionnement du centre de biologie n'a pas été affecté. Les niveaux seuils sur sol sont toutefois plus contraignants que les seuils usuellement fixés sur des équipements ne possédant pas de seuil constructeur (voir chapitre 3.1). Ils sont également plus contraignants que les seuils fixés sur le scanner, équipement sensible possédant des seuils constructeur (voir chapitre 3.2).

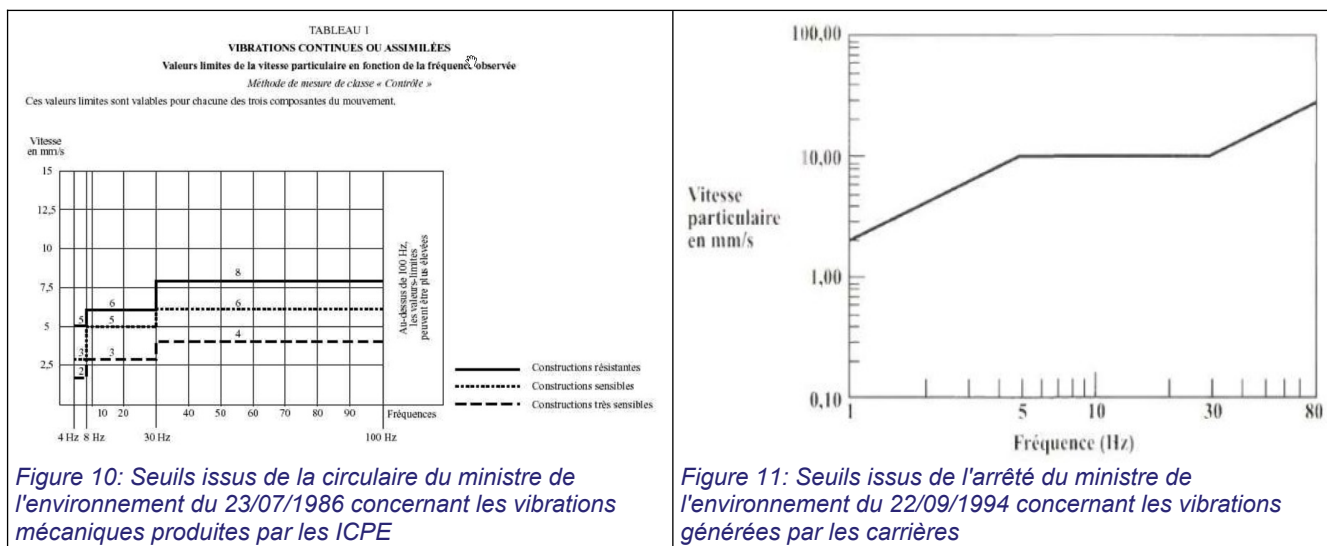
3.4 Sensibilité des structures

Pour les risques de dommage sur les structures, nous proposons d'appliquer les textes de références suivant :

- Source engins mécaniques : circulaire du ministre de l'environnement du 23/07/1986 concernant les ICPE. Ce texte contient des seuils vibratoires dépendant de la source et de la sensibilité de la structure.
- Source minage : arrêté du ministre de l'environnement du 22/09/94 concernant les carrières. Ce texte contient un seuil de vibratoire dépendant uniquement du contenu fréquentiel du signal vibratoire.

Les seuils préconisés par ces textes sont supérieurs aux seuils liés à l'utilisation d'équipements sensibles. Les bâtiments PMT et centre de biologie seront donc plus contraints du fait de la présence de ce type d'équipements.

Ces textes seront utilisés pour la fixation des seuils de dommage sur le bâtiment d'entrée principal du CHU et sur la passerelle. Le bâtiment d'accès principal au CHU et la passerelle sont classés résistant selon la circulaire du 23/07/1986. Les vibrations des BRH seront considérées comme continues ou assimilées.



Le contenu fréquentiel des vibrations des tirs de mines et du BRH lors des essais atteint des fréquences supérieures à 10 Hz sur l'ensemble des éléments porteurs des structures instrumentées. Nous proposons donc d'appliquer les seuils suivant :

	Minage	BRH
Bâtiment d'entrée du CHU	10 mm/s pondéré	6 mm/s
Passerelle	10 mm/s pondéré	6 mm/s

Les niveaux vibratoires maximaux mesurés lors des essais sont restés inférieurs aux seuils :

	Minage (mm/s)	BRH (mm/s)
Bâtiment d'entrée du CHU, capt CH0	0,59	5,85
Passerelle, capteur PASS	2,29	3,31

Les essais de tirs de mines ont montré la présence d'une fréquence propre d'environ 20 Hz sur la passerelle. Cela indique un risque de mise en résonance et d'endommagement de cette structure en cas d'utilisation d'engins mécaniques générant cette fréquence vibratoire.

4 CONTRÔLE VIBRATOIRE EN PHASE TRAVAUX

Les essais vibratoires ont permis de confirmer qu'une procédure d'information des blocs opératoires pour les opérations de minage est envisageable. Elle devra être appliquée strictement, communiquée et intégrée par l'ensemble des personnes concernées au sein de l'établissement, pour les opérations de minages éventuels.

Pour le contrôle des vibrations en phase de travaux, nous préconisons de réaliser les mesures en fondation et mur porteur afin de limiter les déclenchements parasites des dispositifs. Ces déclenchements sont nocifs en phase de contrôle, car fréquents, lorsque les capteurs sont installés dans les bâtiments.

L'ensemble des essais vibratoires a généré des vibrations acceptables pour les équipements du site (équipement du centre de biologie, scanner et IRM). La méthode de fixation des seuils à partir des essais minages et BRH réalisés conduit à utiliser les niveaux maximaux générés lors des essais comme niveaux seuils.

	Seuils vibratoires à partir des résultats d'essais (mm/s crête) (mesure en fondation et sur mur porteur)	
	Minage	BRH
PMT	1,2	0,9
Centre de biologie	0,8	0,6

Nous attirons cependant l'attention sur le fait que, cette méthode de fixation de seuil conduit à des niveaux surprenant :

- Les niveaux générés lors des essais semblent permettre le fonctionnement des équipements sensibles des IRM (qui sont relativement loin de la zone de travaux) mais également du scanner opérationnel proche de la zone d'essai et des futurs travaux. Ce point devra être confirmé en amont des travaux par des informations constructeur explicitant la sensibilité des appareils.
- Les niveaux pris comme seuil pour le centre de biologie sont plus faibles que sur le PMT alors que les équipements sont moins sensibles puisque les constructeurs ne proposent pas de seuils.

À notre avis, ces seuils pourraient être réévalués à partir d'essais comparables aux planches d'essais réalisés et des seuils vibratoires usuels présentés au chapitre 3.1. ***Le cas échéant, cette réévaluation des seuils devra être acceptée par la maîtrise d'ouvrage.*** Le dimensionnement des planches d'essais devra prendre en compte les résultats des essais de ce rapport en termes de propagation dans le sol et dans les structures. La procédure de vérification de l'innocuité des vibrations sur les équipements du centre de biologie devra également être mise en œuvre.

Remarque : un grand nombre de variable peut modifier la propagation des vibrations, notamment les opérations de prédécoupage utilisées pour réduire la propagation des vibrations mais également l'orientation des tirs, la charge totale ou des variations géologique ponctuelles. Les mesures de contrôle en phase chantier doivent donc servir à réévaluer les propagations et confirmer les moyens de terrassements envisageables.

Les tirs et travaux au BRH devront faire l'objet de mesures vibratoires, à minima sur éléments porteurs si les seuils vibratoires sont maintenus au niveau des valeurs définies dans ce rapport, voire sur éléments porteurs et à proximité d'équipements sensibles si une réévaluation des seuils est envisagée. Les mesures en éléments porteurs sont à prévoir en fondation des bâtiments PMT et centre de biologie et entrée du CHU ainsi qu'en mur porteur au 2^e étage pour le centre de biologie et au 1^{er} étage pour le bâtiment PMT. Ponctuellement, nous préconisons un contrôle vibratoire sur la passerelle pour les travaux au BRH à moins de 5 m de son appui, pour les premiers tirs en grande masse ainsi qu'en cas d'utilisation d'engins mécaniques générant des vibrations de fréquence proche de 20 Hz (fréquence propre mesurée de la passerelle).

Nous attirons l'attention sur le fait que le site du CHU comprend de nombreuses structures, équipements sensibles et réseaux non pris en compte dans ce rapport. Un repérage exhaustif de ces récepteurs sensibles aux vibrations est à effectuer en amont des travaux. En fonction de la nature et de la position des travaux, les récepteurs dimensionnant les moyens de terrassement varieront. Les moyens de contrôle précédemment fixés concernent donc la phase de travaux à proximité immédiate des bâtiments cités dans le rapport, ***ces moyens de contrôle devront être redéployés ou complétés en fonction de la position des travaux*** et de la sensibilité des équipements, réseaux et structures environnants.

Au vu du nombre de récepteurs sensible sur le site (CHU et avoisinants directs) nous préconisons de prévoir 6 à 8 dispositifs d'acquisition pour le suivi des vibrations en phase chantier. Ce nombre intègre le suivi des avoisinants.

5 ANNEXES

5.1 Rapport du CHU sur les essais vibratoires



14796 – Projet GM3 – Expertise vibratoire (Cerema)

Rapport utilisateurs suite aux tests de vibration

Rédacteur : Cédric Besairie, Ingénieur conducteur d'opération (DTES)

Mise en place du protocole

Compte tenu de la nature du sol et de la proximité de services pouvant présenter une certaine sensibilité aux vibrations, il a été décidé d'organiser des tests de fracturation de la roche qui avaient pour objectifs :

- D'appréhender le comportement du site et des matériels en présence de vibrations
- De définir un référentiel qui doit limiter le risque juridique et financier pendant le futur chantier GM3.

Une première réunion de présentation et d'ébauche du protocole a été organisée par la direction de site le 17 juin.

Le protocole définitif a été porté à connaissance de toutes les parties prenantes le 4 juillet. En particulier, ce protocole mentionnait deux types de tests :

- Deux tests de minage le 8 juillet. Il était prévu que le laboratoire ne suspendait pas les analyses pendant les tirs et que les gestes chirurgicaux ainsi que les prises d'images étaient suspendues pendant les quelques secondes des tests.
- Deux séries de tests au brise-roche hydraulique le 9 juillet pendant lesquelles l'activité de tous les secteurs devaient se poursuivre normalement.

Il avait également été convenu qu'à l'issue de chaque test, un debriefing devait être réalisé pour déterminer si les tests avaient eu un impact sur les différents secteurs.

Réalisation des tests

Les tests se sont déroulés conformément au protocole à l'exception du secteur imagerie qui a finalement opté pour la continuité de la prise d'image y compris pendant les tirs de mine.



Bilan

A l'issue de chaque test, une réunion de debriefing a eu lieu en présence de la direction de site et des représentants de chaque secteur identifié comme sensible (bloc, imagerie, laboratoire).

Pour chacun des tests et dans chaque secteur considéré comme sensible, aucune nuisance n'a été constatée.

5.2 Seuils vibratoires, données constructeur

5.2.1 Données constructeur

Mail de thibaud.dubuc@siemens-healthineers.com le mardi 1 avril 2025 11:22	
IRM 3T Magnetom Vida	<p>Seuil « artéfacts » : -80 dB(g) sur la plage 0 à 100 Hz Point d'application du seuil : aimant</p> <p>→ seuil toutes fréquences confondues en accélération crête ?</p>
Scanner interventionnel Somatom X.Cite	<p>Seuil pour « qualité de l'image » : 0,5 m/s² sur la plage 1 à 100 Hz</p> <p>Système CT ? seuil pour vibration continues aux points de fixation (Gantry ? Et table PHS ?). Seuil dans les 3 directions</p> <div data-bbox="984 622 1453 987"> </div> <p>→ comment interpréter le domaine fréquentiel ? 1/3 octave ? Bande fine ?</p>
Artis Icono Biplan Artis Zeego Artis Zee Ceiling localisation ?	<p>Seuil pour statif au sol et support au plafond : 0,1 g / 10 bis 200 Hz</p> <p>→ peu sensible → seuil toutes fréquences confondues en accélération crête ?</p>
Mail de Pierrick.Prenat@gehealthcare.com le jeudi 27 mars 2025 11:14	
Systèmes CT scanner interventionnel ? Si oui seuils différents ?	<p>Sensibilité maximale à proximité des fréquences de résonance :</p> <ul style="list-style-type: none"> • table patient : 2 à 10 Hz • statif : 8 à 14 Hz <p>→ ne retrouve pas la norme ISO indiquée dans le document ??? → document illisible : seuil ? Unité ? → interprétation par bande de 1/3 octave comme dans ISO 2631-2 de 1989 (obsolète) ? → courbes présentées de 4 à 80 Hz</p>

5.2.2 Interprétation

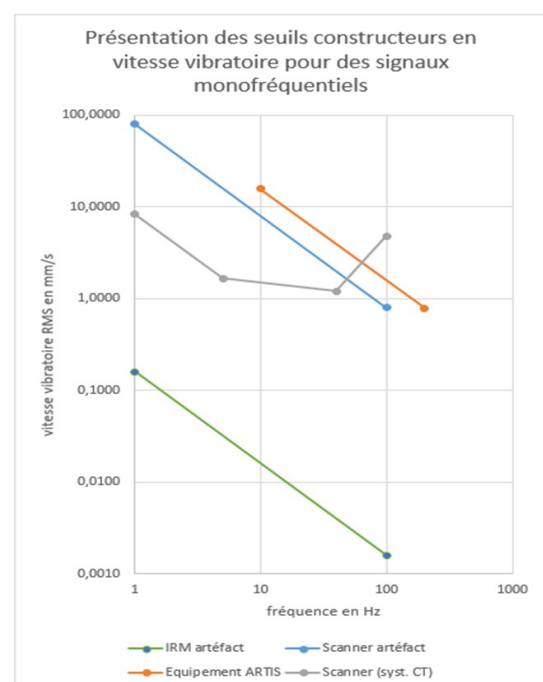
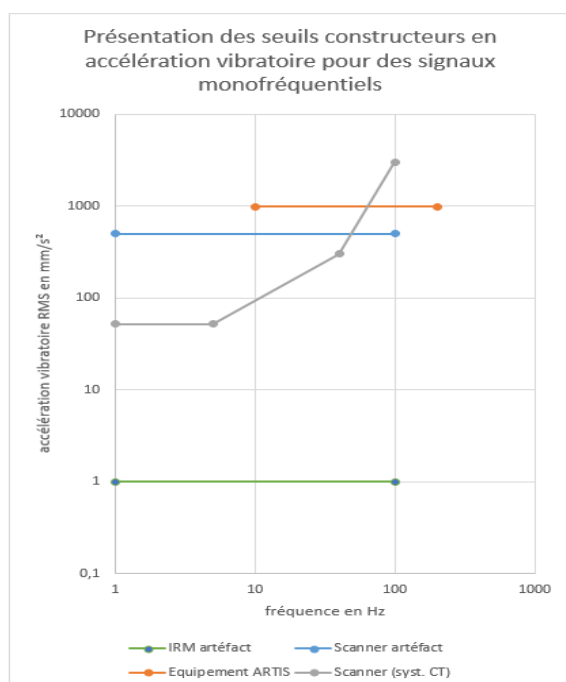
Le tableau ci-après récapitule les seuils vibratoires pour ces équipements.

Les seuils constructeur sont définis en accélération, pour les seuils en valeur crête, le calcul des seuils en vitesse et déplacement a été réalisé avec comme hypothèse de calcul, l'intégration d'un signal mono fréquentiel pour passer de l'accélération à la vitesse et de la vitesse au déplacement.

Equipement	Fréquence (Hz)	Accélération RMS (mm/s ²)	Vitesse RMS (mm/s)	Déplacement RMS (micron)	Remarque
IRM, qualité de l'image	1	1	0,159	25,33	valeur RMS crête dans la bande de fréquence 0 à 100 Hz ?
	100	1	1,60E-03	3,00E-03	
Scanner, système CT - vibration continues	1	52	8	1317	généralement interprétation en 1/3 octave ou bande fine ?
	5	52	2	53	
	40	300	1	5	
	100	3000	5	8	
Scanner, qualité de l'image	1	500	80	12665	valeur RMS crête dans la bande de fréquence 1 à 100 Hz ?
	100	500	0,80	1	
équipement Artis	10	981	16	248	valeur RMS crête dans la bande de fréquence 10 à 200 Hz ?
	200	981	0,78	0,62	

Le graphique ci-après présente les seuils. Nous attirons cependant l'attention sur le fait que les seuils ne s'interprètent pas tous de la même façon :

- Les seuils qualité de l'imagerie (scanner et IRM) s'interprètent en vitesse crête RMS sans décomposition fréquentielle (autre l'aspect pédagogique, la présentation ci-après n'a donc pas lieu d'être). Les plages de fréquence du seuil et donc de sensibilité des appareils ne sont cependant pas les mêmes. De plus le rapport vitesse crête / vitesse RMS est généralement compris dans une plage de 1,4 à 2,5 pour une intégration de 1 s. Le temps d'intégration n'est cependant pas précisé dans les données constructeur à notre disposition.
Rq : une fois un système anti-vibratile prise en compte, les seuils constructeur du CHU d'Aubenas étaient indiquées en bande fine de 1 Hz.
- Les seuils présentés sous forme de graphique (système CT) s'interprètent généralement en bande fine ou 1/3 octave. Ce type d'interprétation abaisse fortement les niveaux vibratoires lorsque le contenu fréquentiel du signal est étalé. À titre d'exemple, sur le capteur P1s (proche scanner) le signal crête maximal pour les essais BRH est de 0,54 mm/s pour une plage de fréquence entre 25 et 60 Hz et un pic unique de fréquence à 25 Hz sur la voie maximale. Son amplitude crête en bande fine (24 à 25 Hz) est de 0,25 mm/s. Son amplitude crête sur la bande de tiers d'octave concernée (22 à 28 Hz) est de 0,31 mm/s. **Soit, sur cet exemple, environ une division par 2 entre le niveau crête et le niveau filtré.**



5.3 Remarque sur le matériel utilisé

Certains capteurs ne sont pas câblés conformément aux paramètres utilisés par le logiciel d'exploitation des mesures IDTPack. Pour ces capteurs les voies H1, H2, V des exports graphiques correspondent respectivement aux voies V, H1 et H2 des capteurs.

Les capteurs concernés sont :

- Fond vibratoire : C4, C7 et C8.
- Planche d'essais : BL14, CH0, PM0, PM1, C11, C51, PASS, CM0, CM2.

5.4 Fond vibratoire

Ci-dessous, est présenté le tableau récapitulatif du matériel utilisé et de l'emplacement des mesures.

Bâtiment	Dispositif	Capteur	Information (type capteur – sensibilité mm/s)	Salle	Position du capteur
Centre de Biologie	ATV15 CB1	C1	1hz-185	B11-0011	sol
		C2	2hz-112,8	B11-0011	table
		C3	1hz-200	B11-0007	sol
		C4	1hz-106	B11-0001	sol
		C5	2hz-114,9	B11-0001	table
	ATV15 CB	C6	2hz-112,4	B15-0035	table
		C7	1hz-169	B15-0031	sol
		C8	1hz-196	Chaine	sol
		C9	1hz-75,3	Chaine	sol
PMT	ATV15 B14	C10	1hz-196	Bloc14	sol
	ATV15 B18	C11	1hz-196	Bloc18	sol

5.4.1 Centre de biologie, salle B11-0011 (C1 et C2)

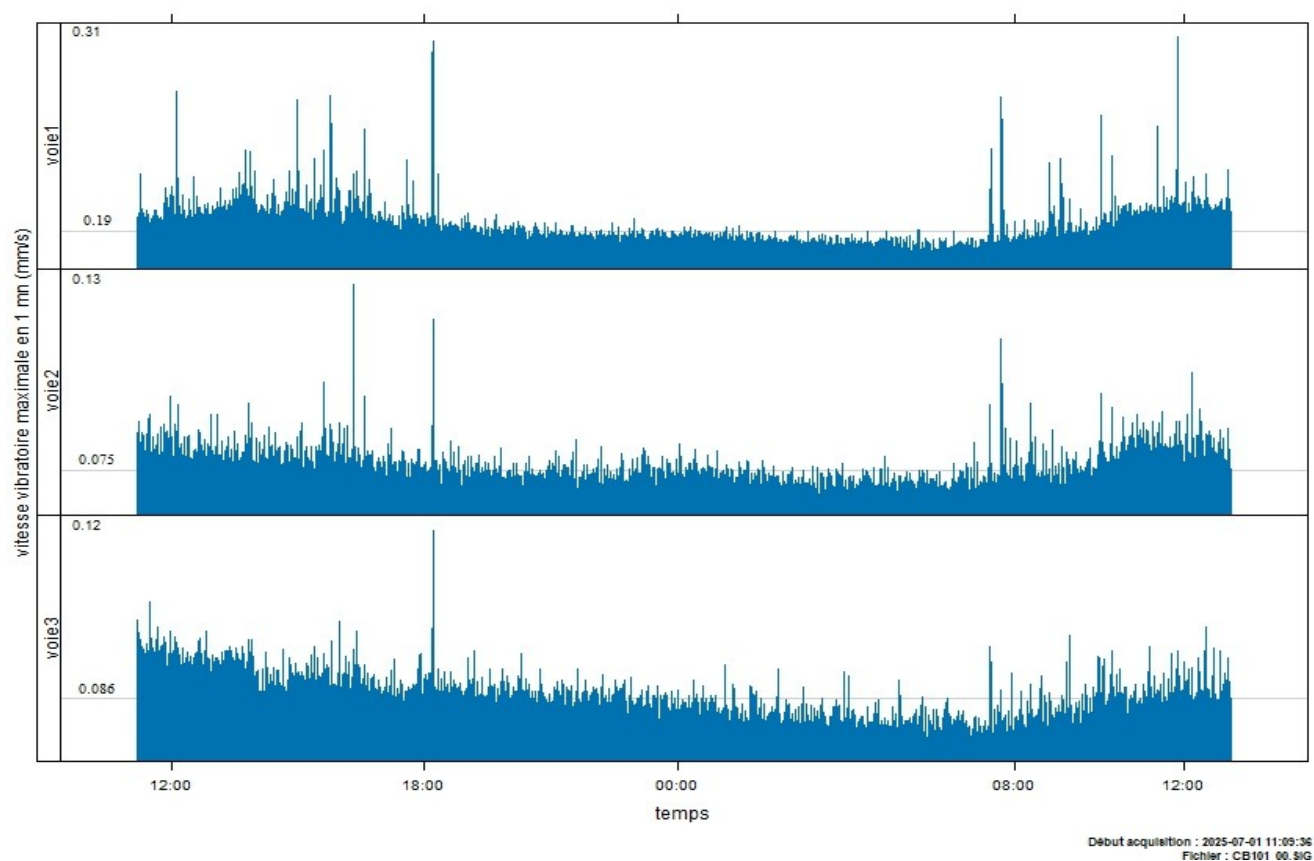
Photo de l'instrumentation



Figure 12: C1 sur sol et C2 sur table

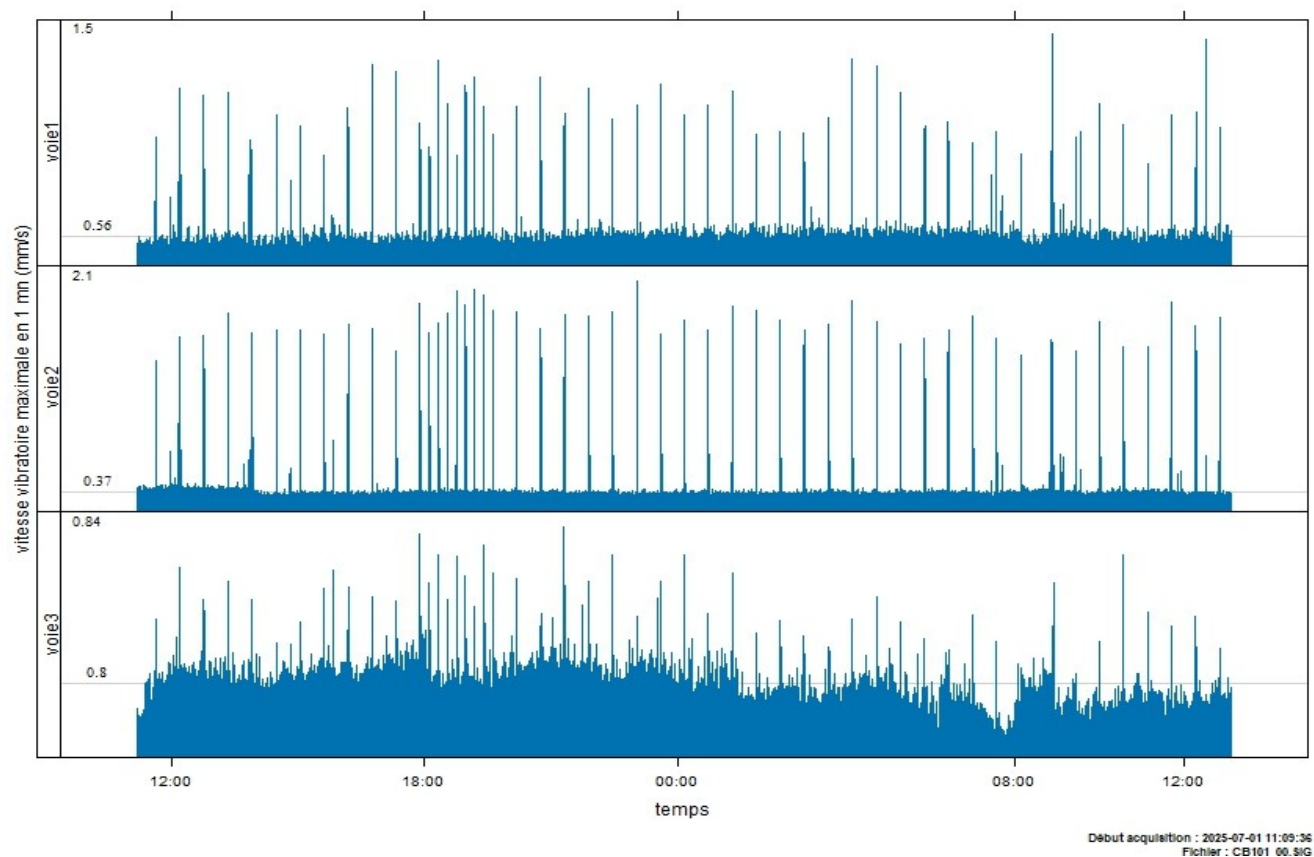
Capteur C1 (sol), graphique des vitesses vibratoires maximales brutes

Chaîne d'acquisition : CHU-CB1
Capteur : C1



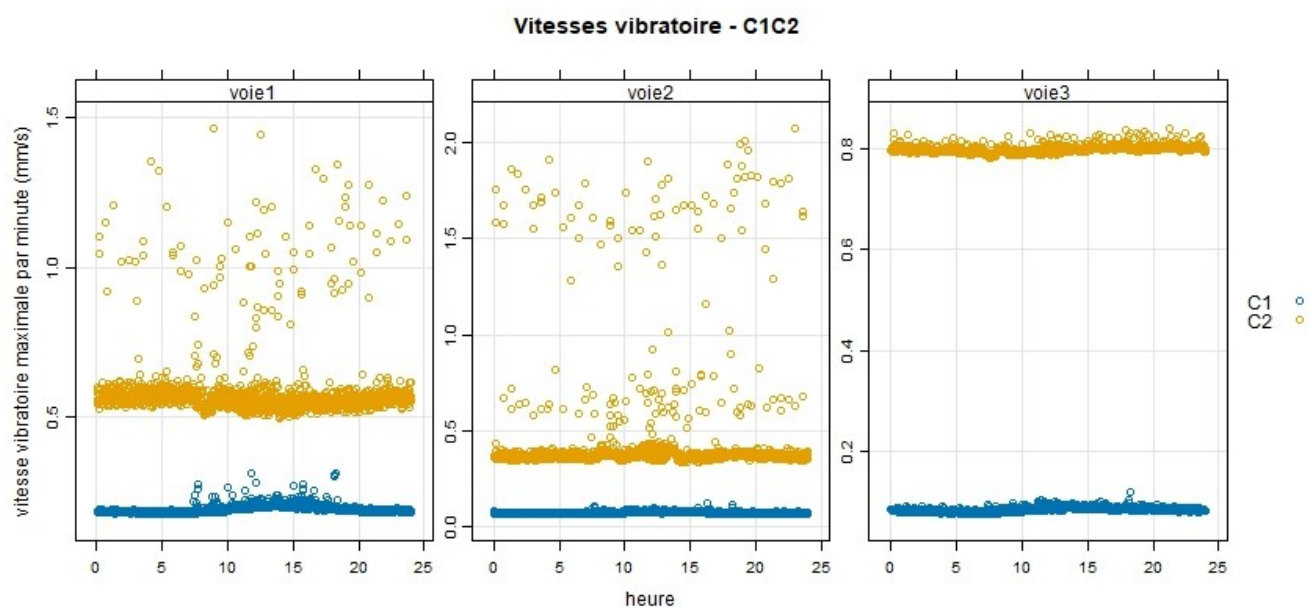
Capteur C2 (table), graphique des vitesses vibratoires maximales brutes

Chaîne d'acquisition : CHU-CB1
Capteur : C2



Analyse statistique

Capteur	Voie	0,00 %	50,00 %	85,00 %	100,00 %
C1	voie1	0,18	0,19	0,2	0,31
C1	voie2	0,07	0,08	0,08	0,13
C1	voie3	0,08	0,09	0,09	0,12
C2	voie1	0,5	0,56	0,59	1,46
C2	voie2	0,34	0,37	0,4	2,07
C2	voie3	0,78	0,8	0,8	0,84



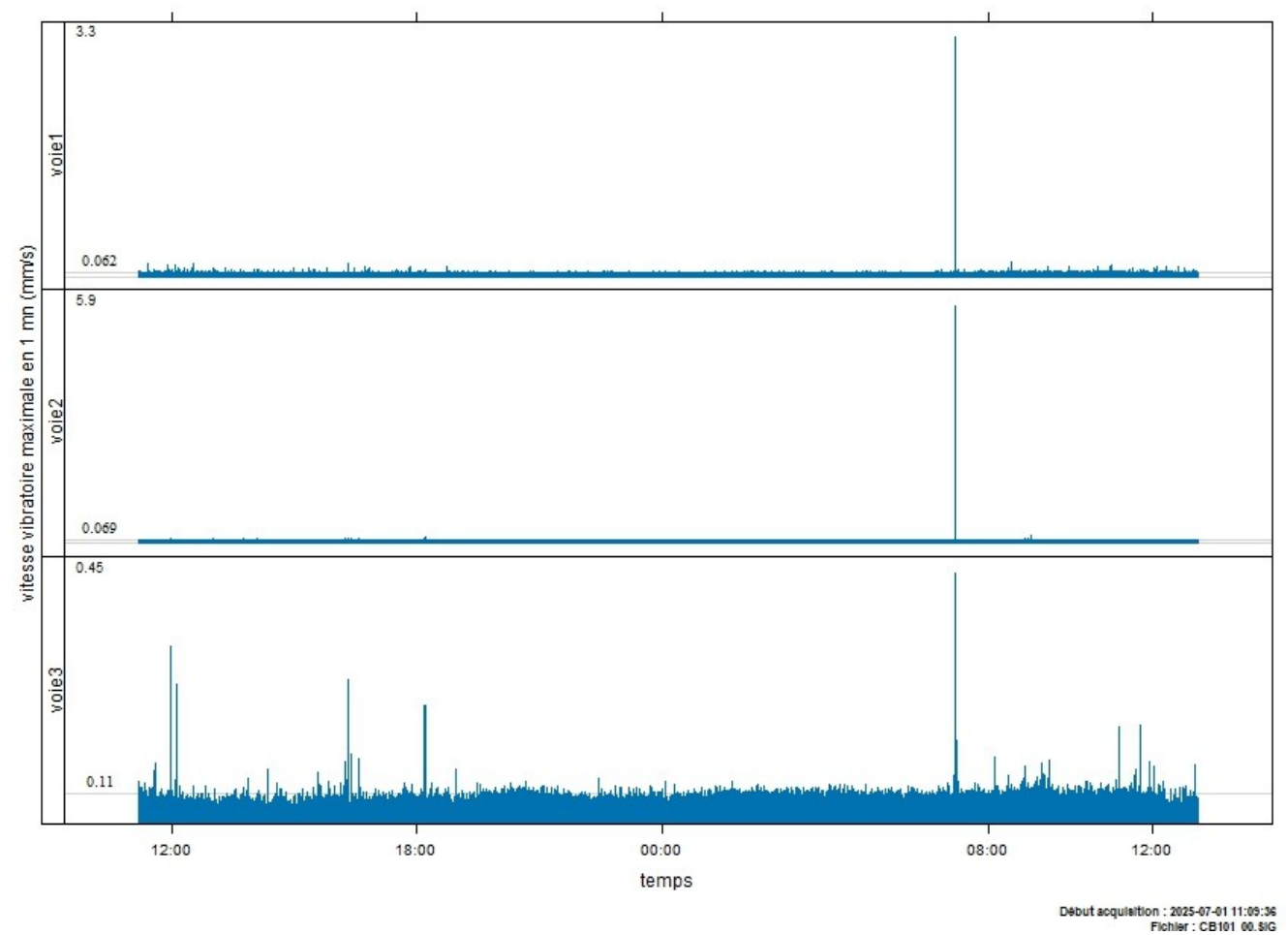
5.4.2 Centre de biologie, salle B11-0007 (C3)

Photo de l'instrumentation



Capteur C3, graphique des vitesses vibratoires maximales brutes

Chaîne d'acquisition : CHU-CB1
Capteur : C3

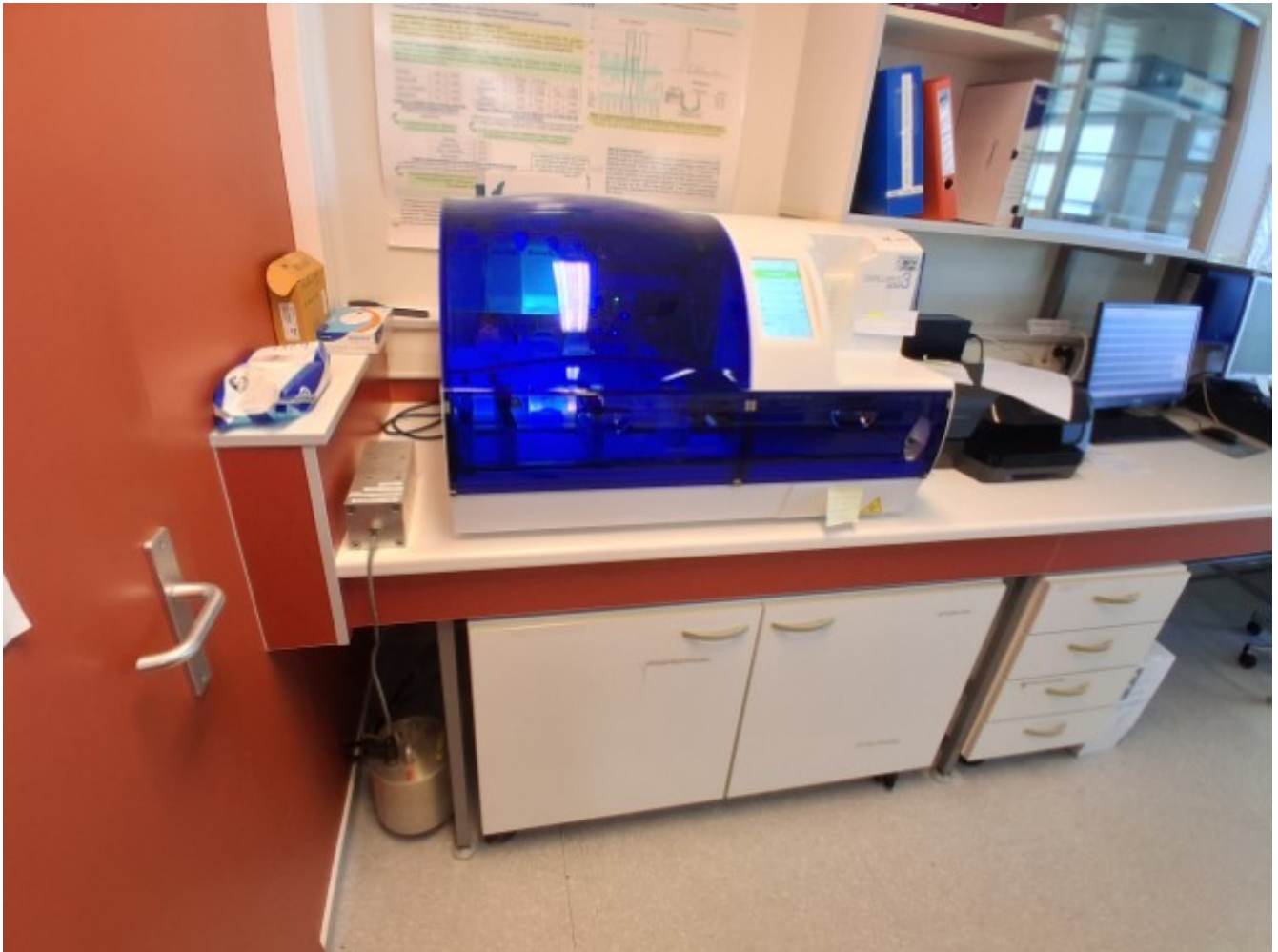


Analyse statistique, table de répartition

Capteur	Voie	0,00 %	50,00 %	85,00 %	100,00 %
C3	voie1	0,06	0,06	0,07	3,28
C3	voie2	0,06	0,07	0,07	5,93
C3	voie3	0,09	0,11	0,12	0,45

5.4.3 Centre de biologie, salle B11-0001 (C4 et C5)

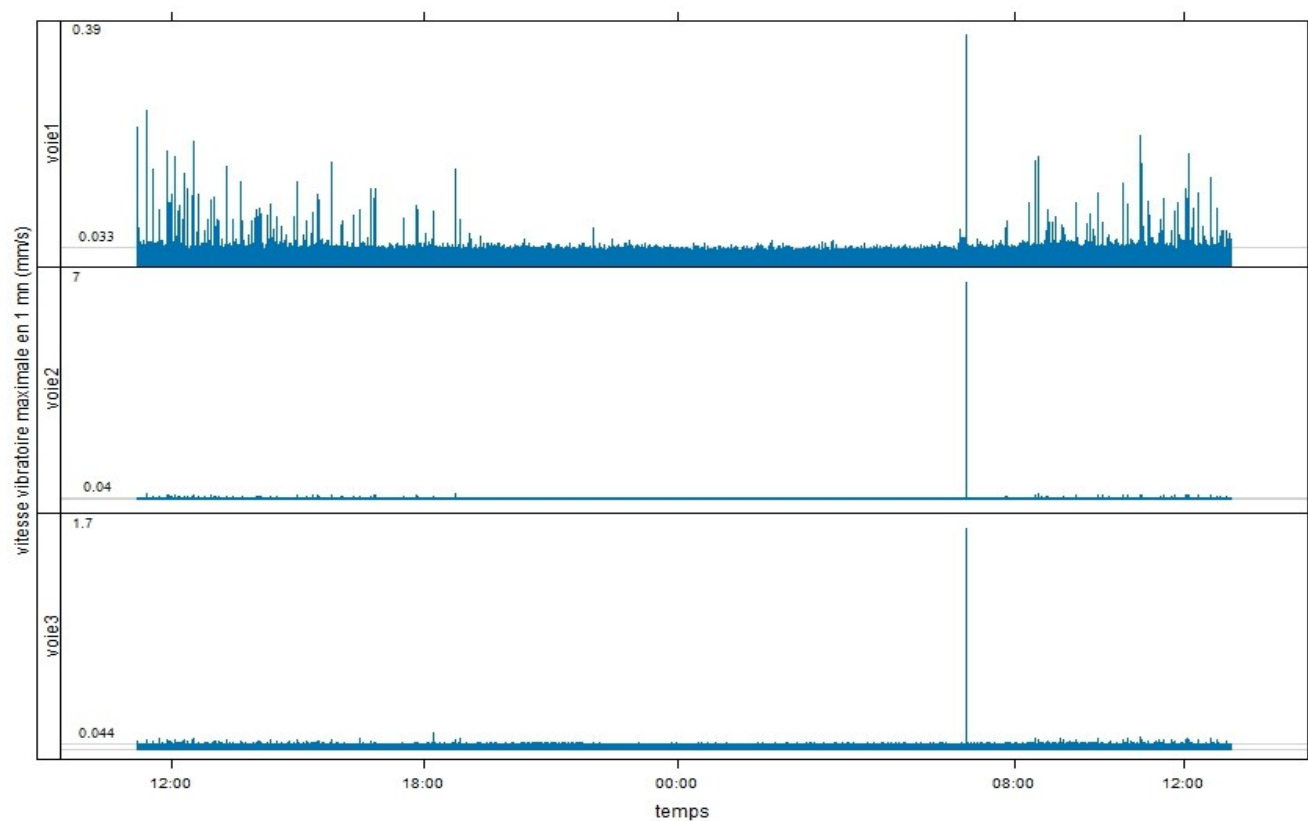
Photo de l'instrumentation



C4 sur sol et C5 sur table

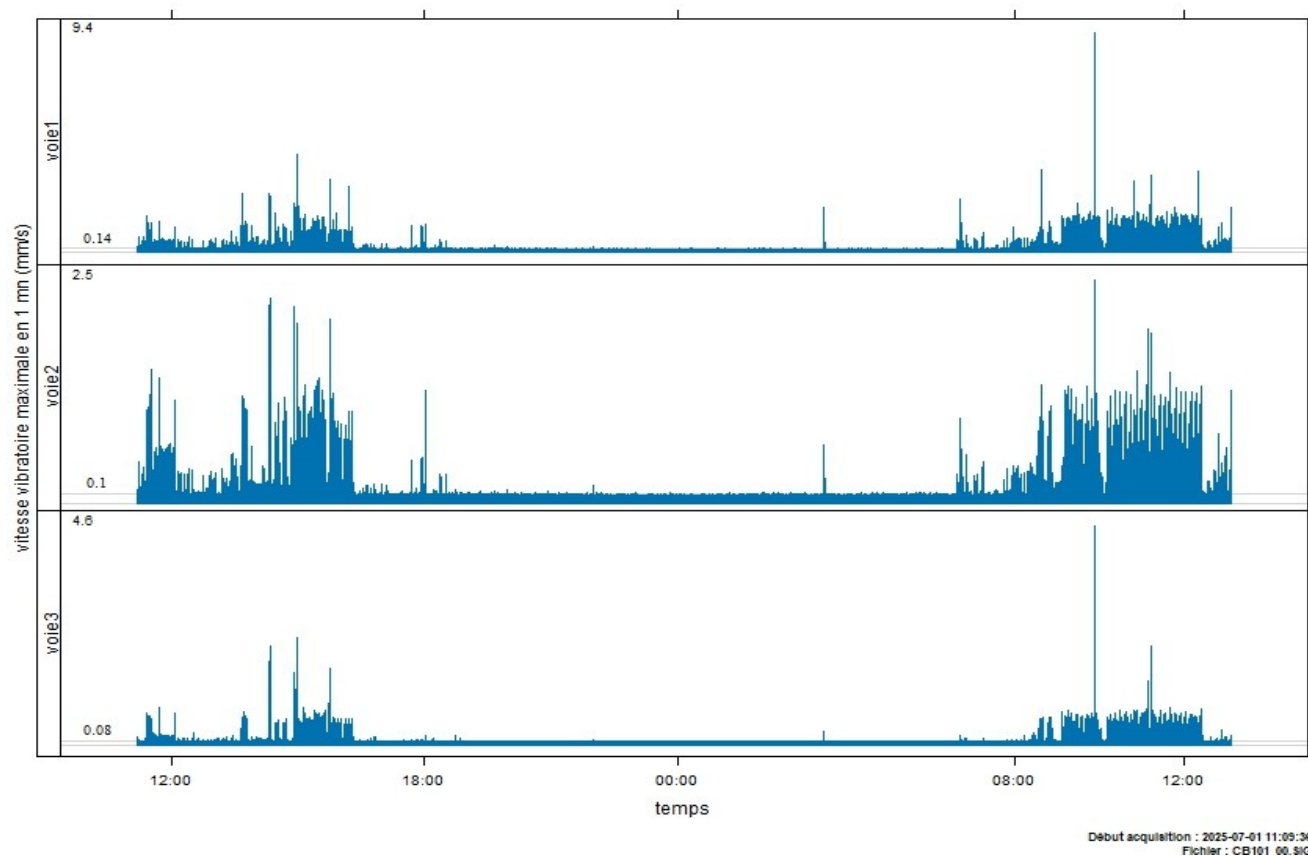
Capteur C4 (sol), graphique des vitesses vibratoires maximales brutes

Chaîne d'acquisition : CHU-CB1
Capteur : C4



Capteur C5 (table), graphique des vitesses vibratoires maximales brutes

Chaîne d'acquisition : CHU-CB1
Capteur : C5



Analyse statistique, table de répartition

Capteur	Voie	0,00 %	50,00 %	85,00 %	100,00 %
C4	voie1	0,03	0,03	0,04	0,39
C4	voie2	0,03	0,04	0,05	6,99
C4	voie3	0,04	0,04	0,05	1,75
C5	voie1	0,1	0,14	0,98	9,35
C5	voie2	0,08	0,1	0,68	2,49
C5	voie3	0,07	0,08	0,45	4,64

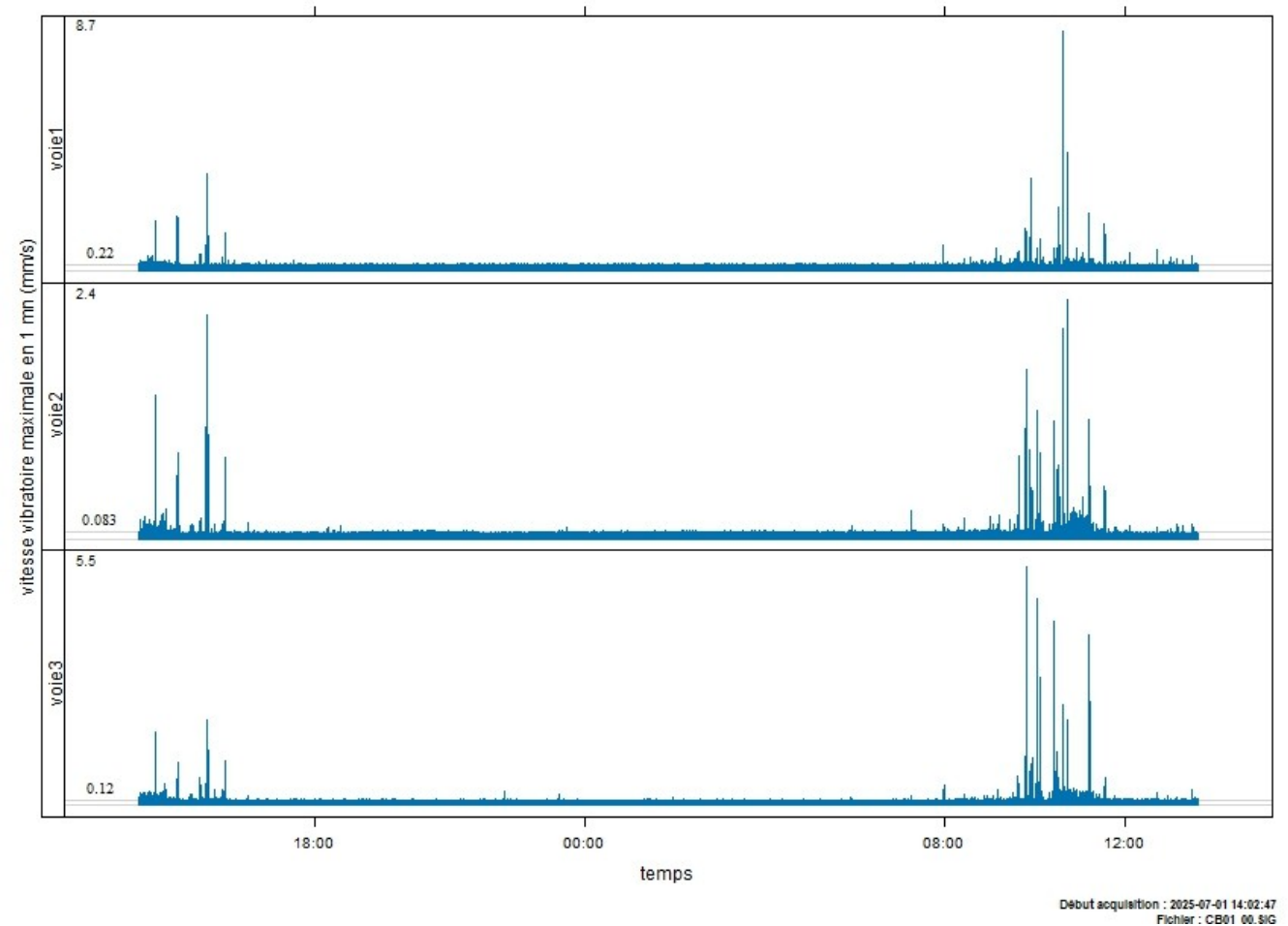
5.4.4 Centre de biologie, salle B15-0035 (C6)

Photo de l'instrumentation



Capteur C6, graphique des vitesses vibratoires maximales brutes

Chaîne d'acquisition : CHU-CB2et5
Capteur : C6



Analyse statistique, table de répartition

Capteur	Voie	0,00 %	50,00 %	85,00 %	100,00 %
C6	voie1	0,16	0,23	0,27	8,7
C6	voie2	0,07	0,08	0,1	2,4
C6	voie3	0,1	0,12	0,16	5,5

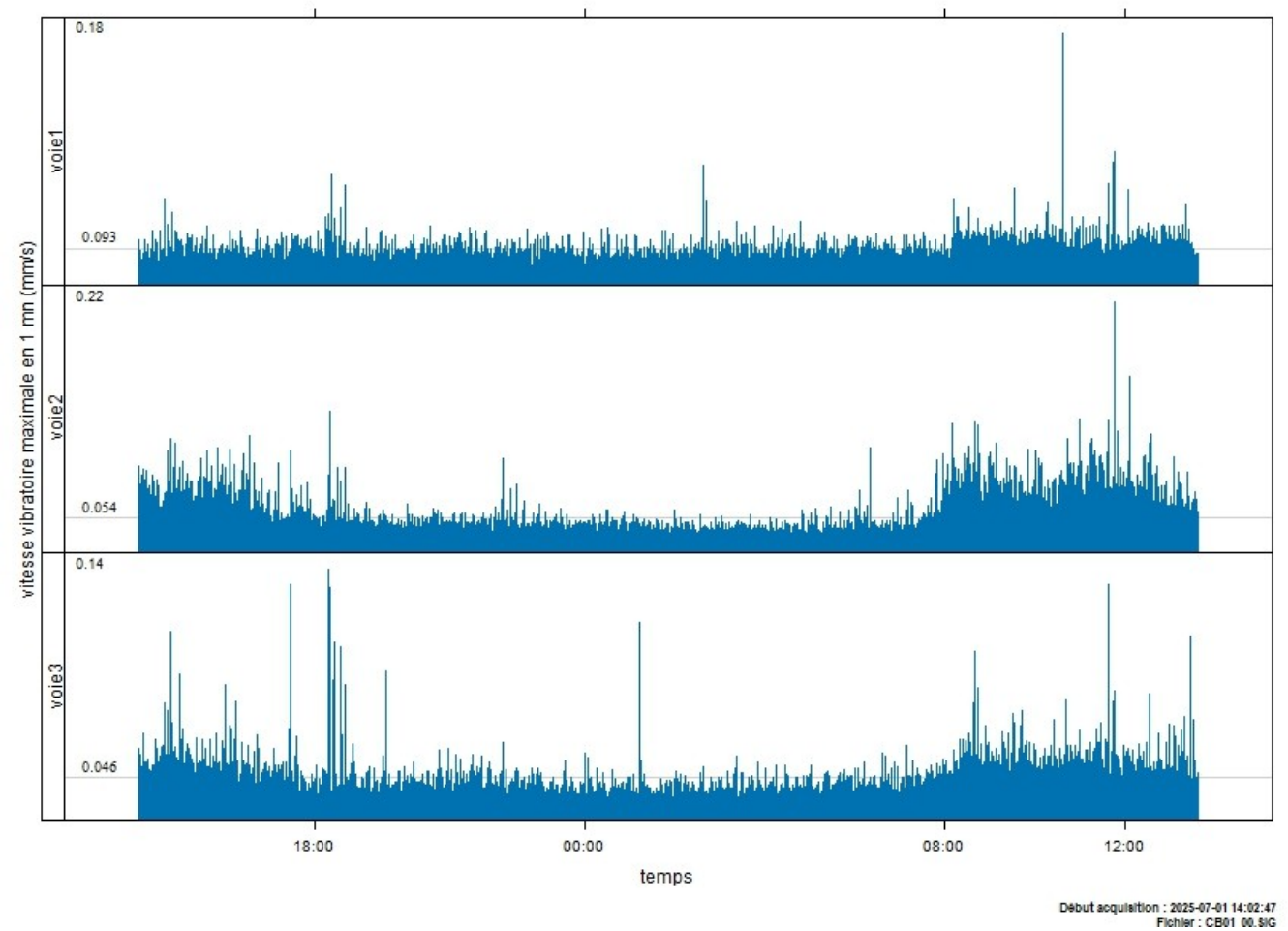
5.4.5 Centre de biologie, salle B15-0031 (C7)

Photo de l'instrumentation



Capteur C7, graphique des vitesses vibratoires maximales brutes

Chaîne d'acquisition : CHU-CB2et5
Capteur : C7

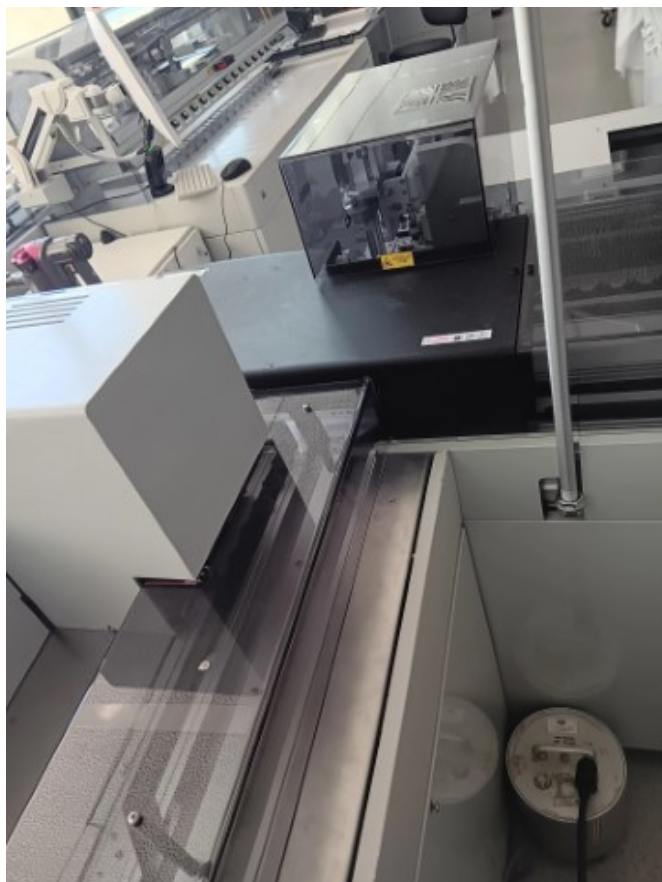


Analyse statistique, table de répartition

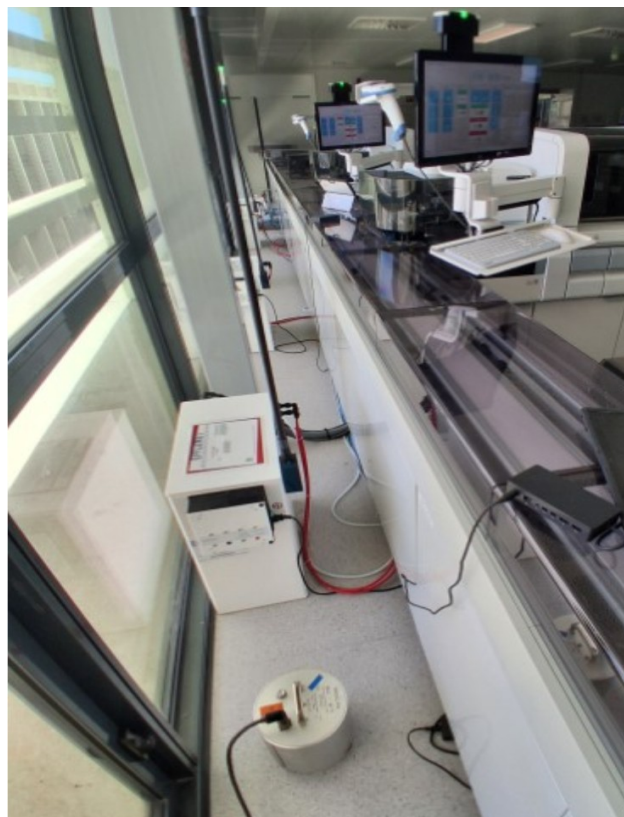
Capteur	Voie	0,00 %	50,00 %	85,00 %	100,00 %
C7	voie1	0,09	0,09	0,1	0,18
C7	voie2	0,04	0,05	0,08	0,22
C7	voie3	0,04	0,05	0,06	0,14

5.4.6 Centre de biologie, chaîne d'analyse biologique (C8 et C9)

Photos de l'instrumentation



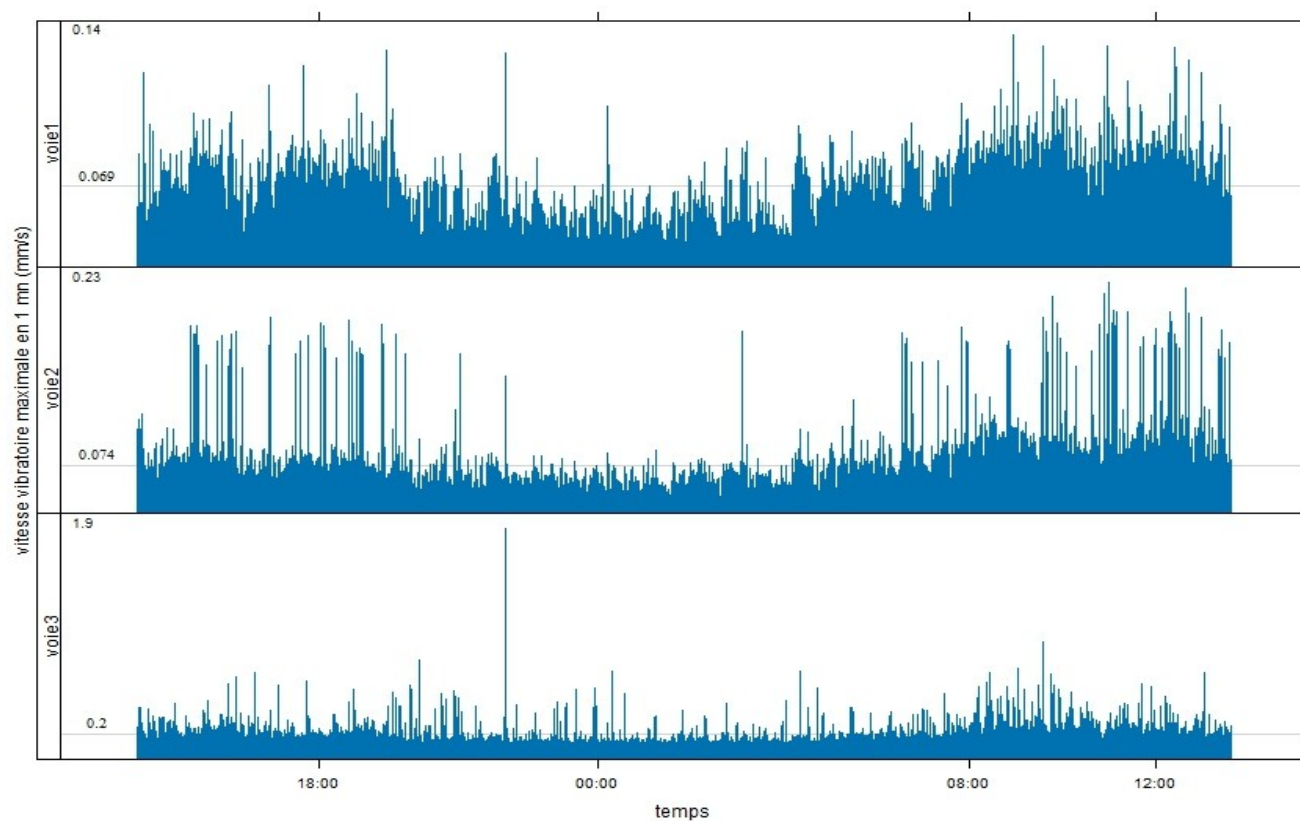
Capteur C8



Capteur C9

Capteur C8 (entrée de chaîne), graphique des vitesses vibratoires maximales brutes

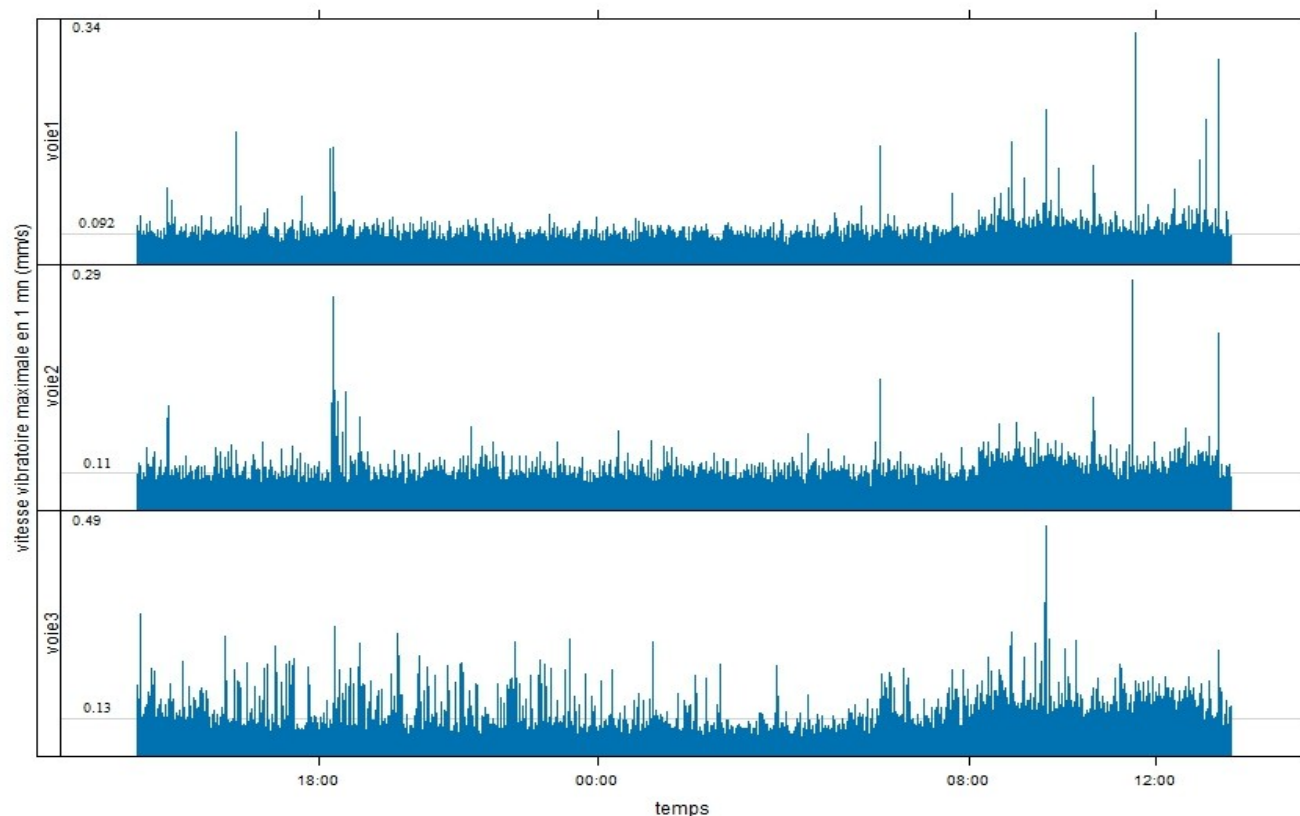
Chaîne d'acquisition : CHU-CB2et5
Capteur : C8



Début acquisition : 2025-07-01 14:02:47
Fichier : CB01 00.SIG

Capteur C9, graphique des vitesses vibratoires maximales brutes

Chaîne d'acquisition : CHU-CB2et5
Capteur : C9



Début acquisition : 2025-07-01 14:02:47
Fichier : CB01 00.SIG

Analyse statistique, table de répartition

Capteur	Voie	0,00 %	50,00 %	85,00 %	100,00 %
C8	voie1	0,04	0,07	0,09	0,14
C8	voie2	0,05	0,07	0,1	0,23
C8	voie3	0,11	0,2	0,31	1,88
C9	voie1	0,07	0,09	0,1	0,34
C9	voie2	0,09	0,11	0,12	0,29
C9	voie3	0,09	0,13	0,18	0,49

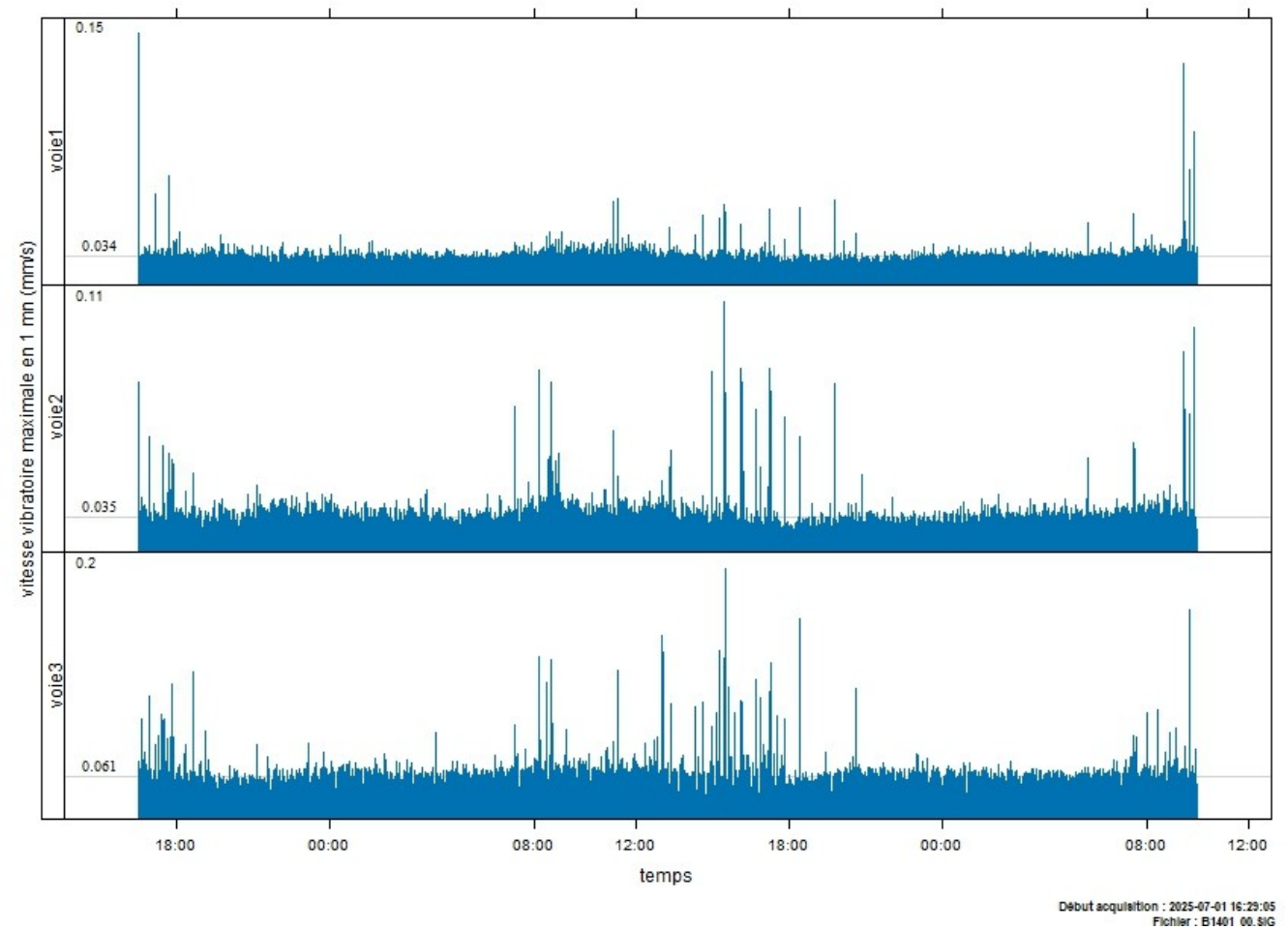
5.4.7 PMT, bloc14 (C10)

Photo de l'instrumentation



Capteur C10, graphique des vitesses vibratoires maximales brutes

Chaîne d'acquisition : CHU-BL14
Capteur : C10



Analyse statistique, table de répartition

Capteur	Voie	0,00 %	50,00 %	85,00 %	100,00 %
C10	voie1	0,03	0,03	0,04	0,15
C10	voie2	0,03	0,04	0,04	0,11
C10	voie3	0,04	0,06	0,07	0,2

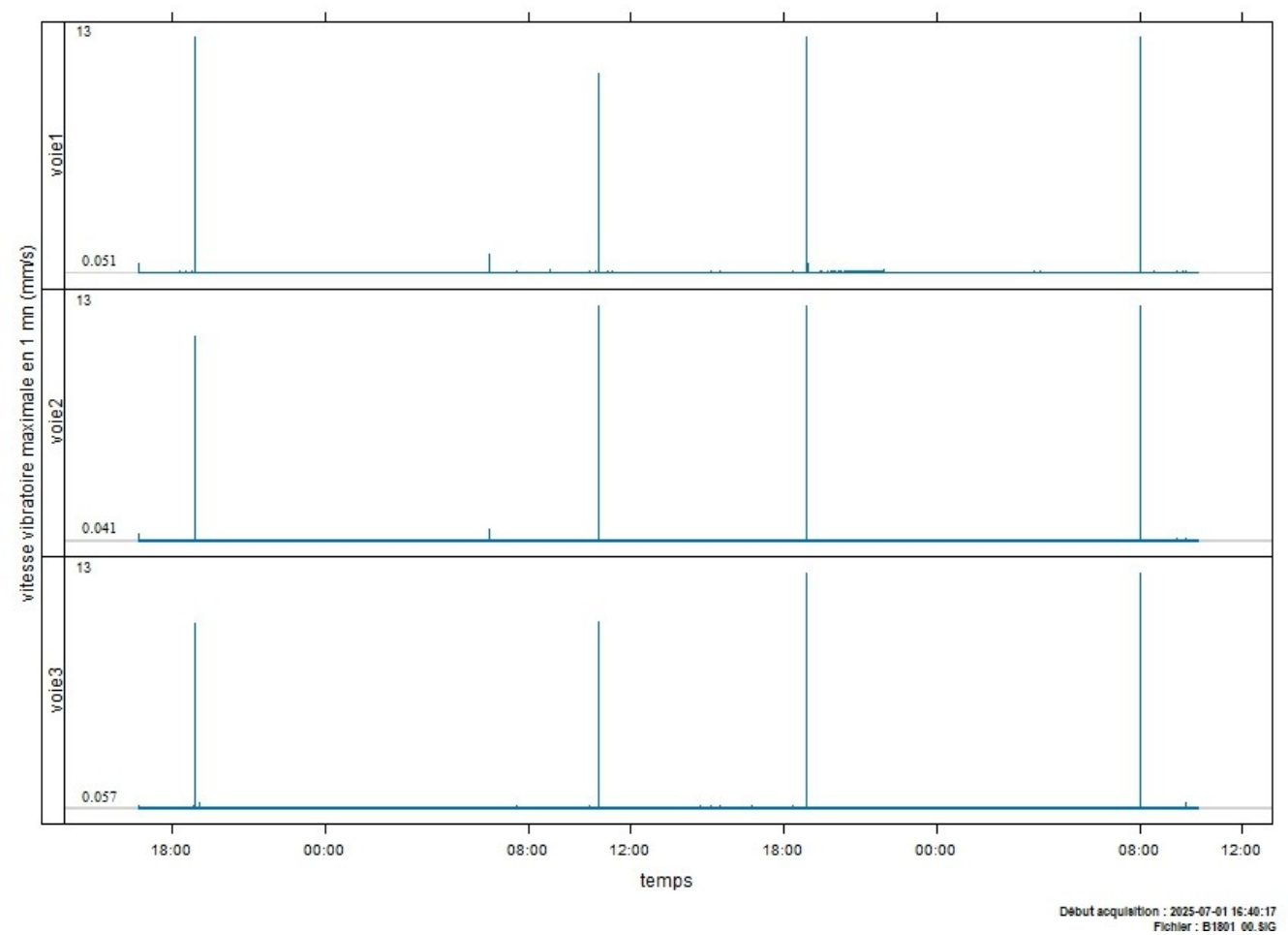
5.4.8 PMT, bloc18 (C11)

Photo de l'instrumentation



Capteur C11, graphique des vitesses vibratoires maximales brutes

Chaîne d'acquisition : CHU-BI18
Capteur : C11



Analyse statistique, table de répartition

Capteur	Voie	0,00 %	50,00 %	85,00 %	100,00 %
C11	voie1	0,04	0,05	0,06	13
C11	voie2	0,03	0,04	0,05	13
C11	voie3	0,04	0,06	0,06	13

5.5 Planche d'essai

5.5.1 Instrumentation

Bâtiment PMT



Figure 13: Capteur BL14 - PMT - C10

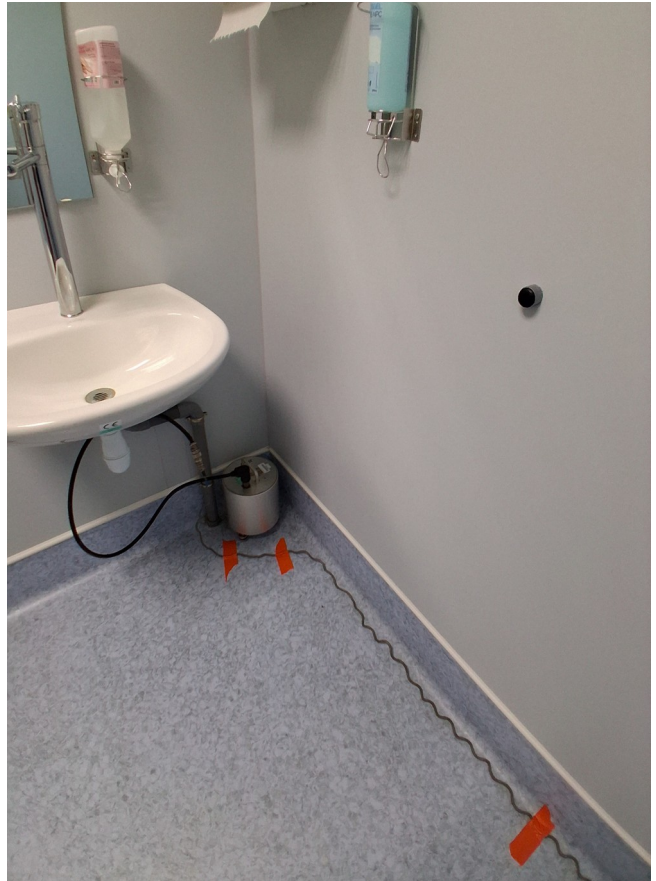


Figure 14: Capteur P1s - PMT



Figure 15: Capteur P1i - PMT



Figure 16: Capteur PM1 - PMT



Figure 17: Capteur PM0 – PMT



Figure 18: Capteur PM0 - PMT



Figure 19: Capteur CH0 –



Figure 20: Capteur CH0 - CHU entrée



Figure 21: Capteur C51 - CB1



Figure 22: Capteur C51 - CB1



Figure 23: Capteur C22 - CB1



Figure 24: Capteur C21 - CB1



Figure 25: Capteur C12 - CB1

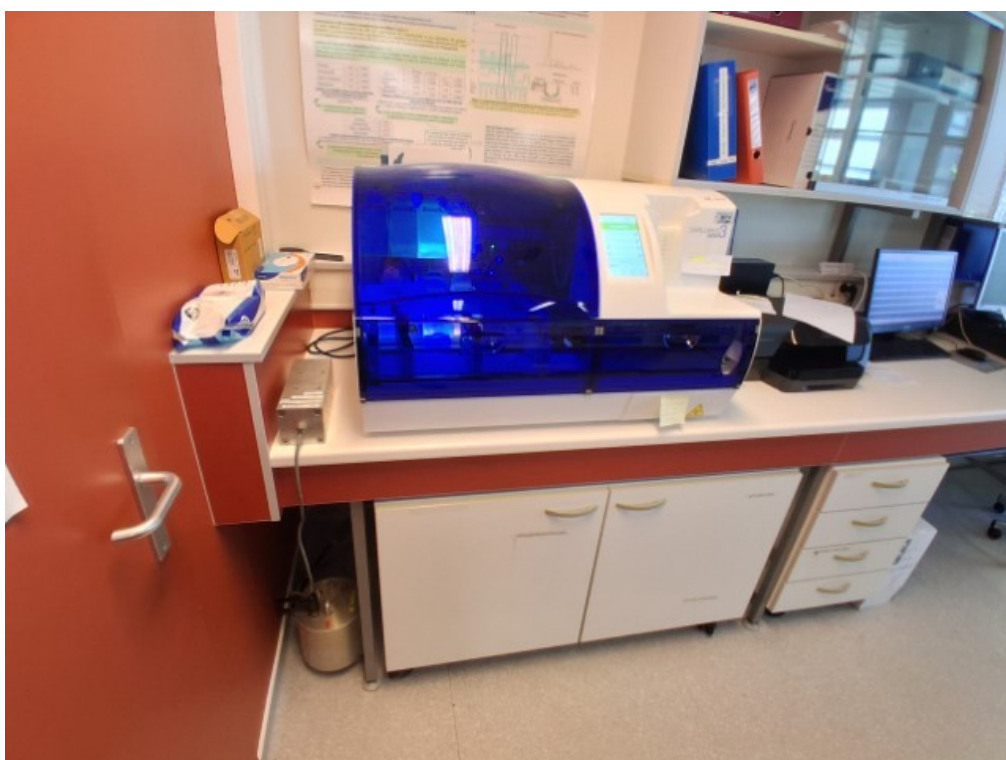


Figure 26: Capteur C11 - CB1



Figure 27: Capteur PM-1 - CB2



Figure 28: Capteur PASS - CB2



Figure 29: Capteur CM2 - CB2

5.5.2 Essais de minage

Exemples de traces et spectres de fréquence associés par capteur

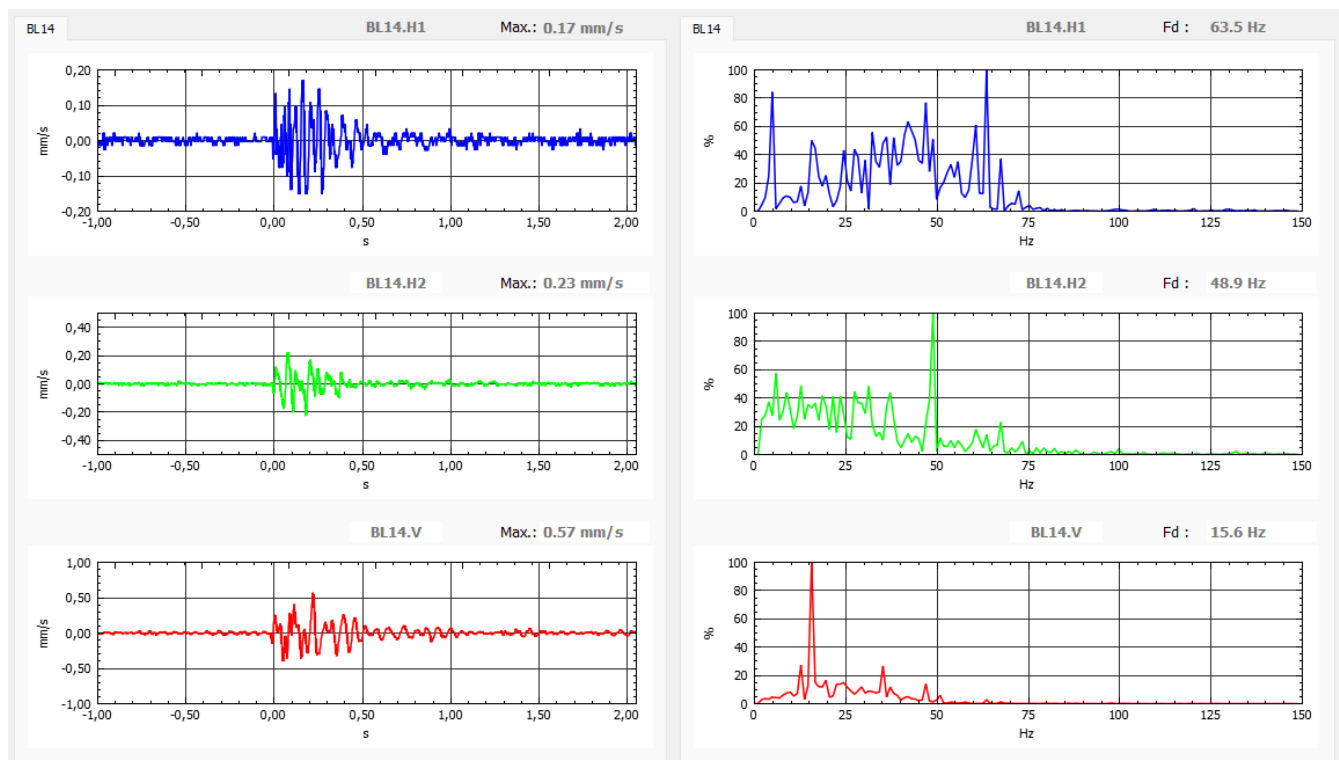


Figure 30: Signaux et FFT sur capteur BL14 - PMT

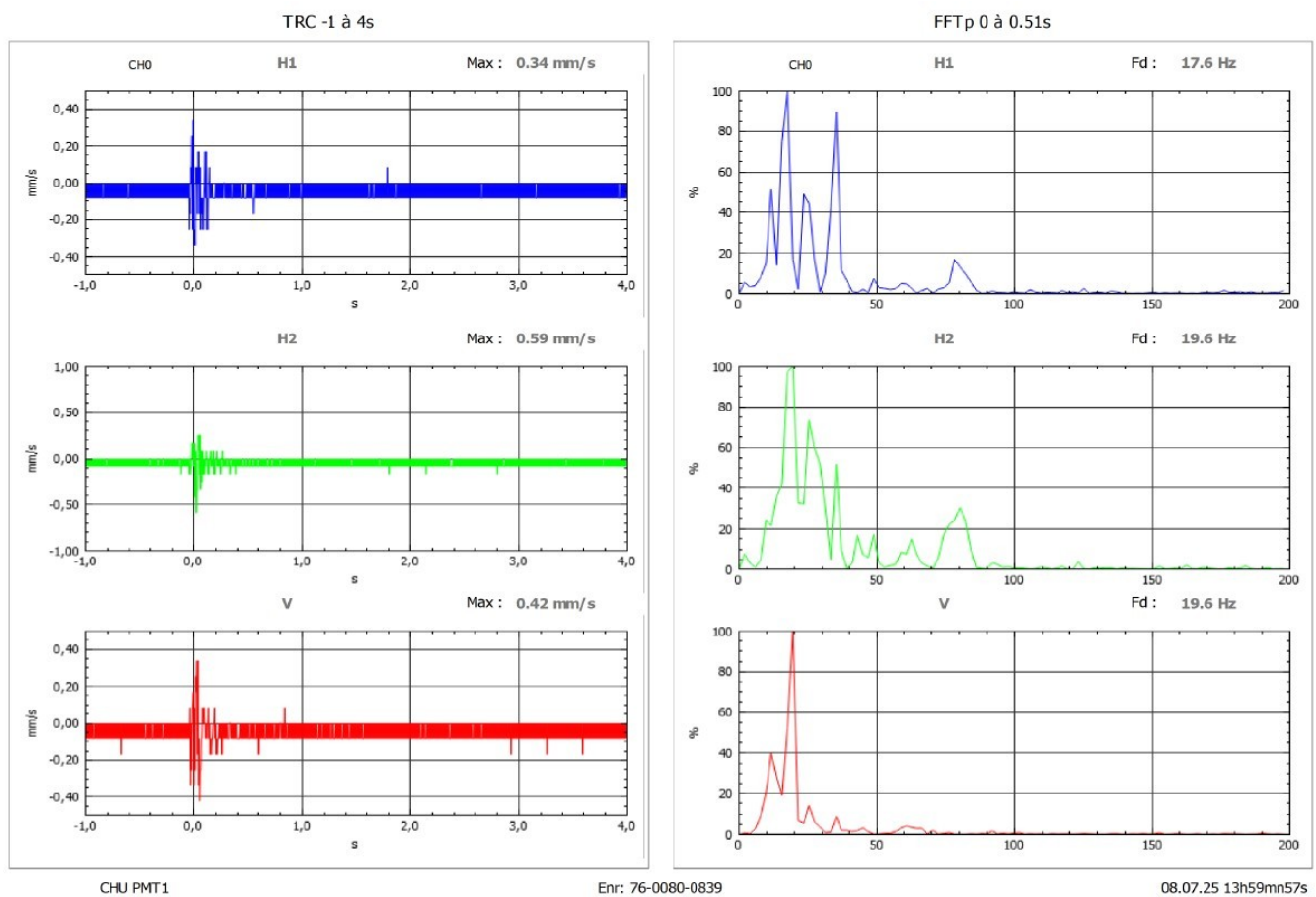


Figure 31: Signaux et FFT sur capteur CH0 - PMT

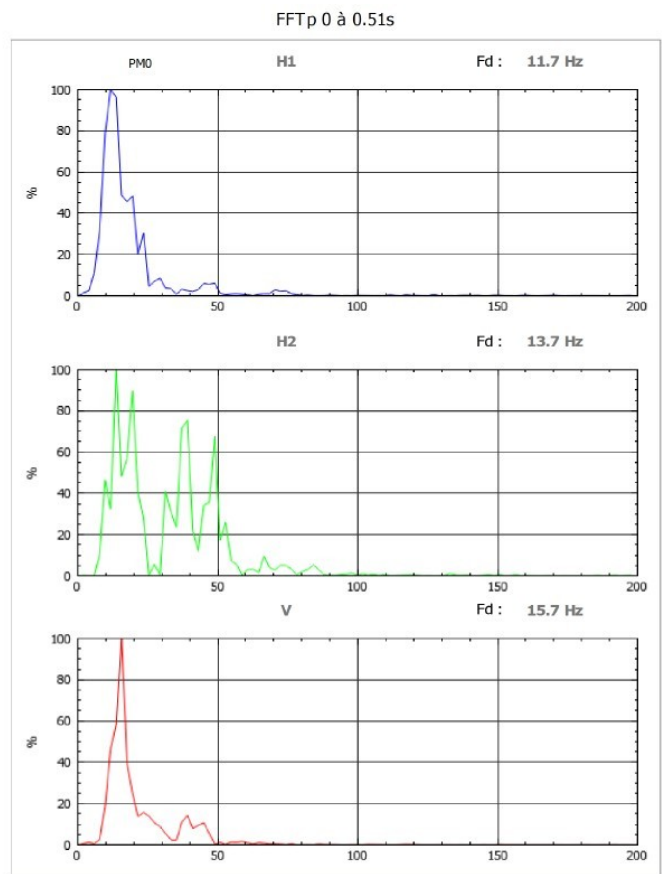
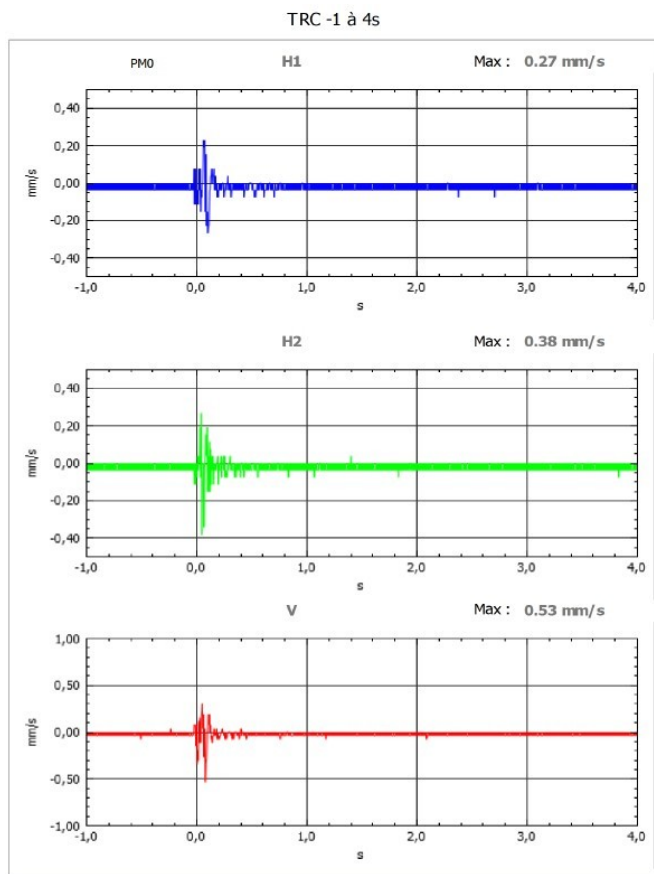


Figure 32: Signaux et FFT sur capteur PM0 - PMT

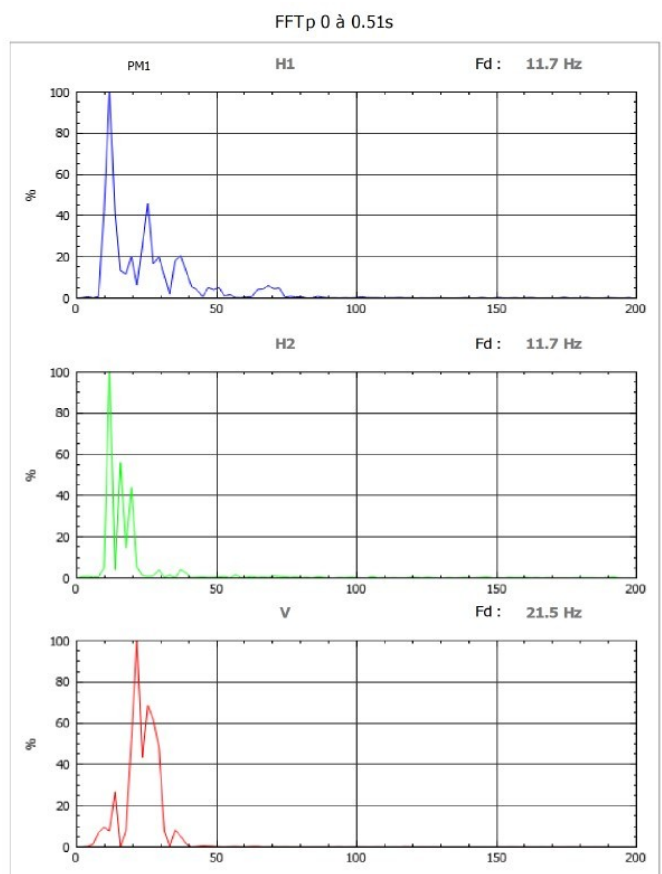
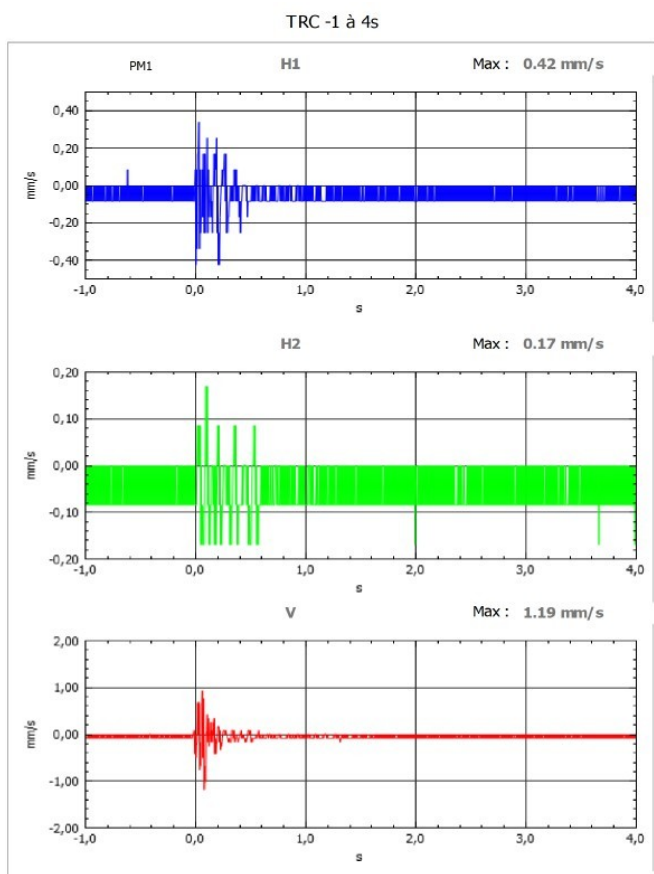


Figure 33: Signaux et FFT sur capteur PM1 - PMT

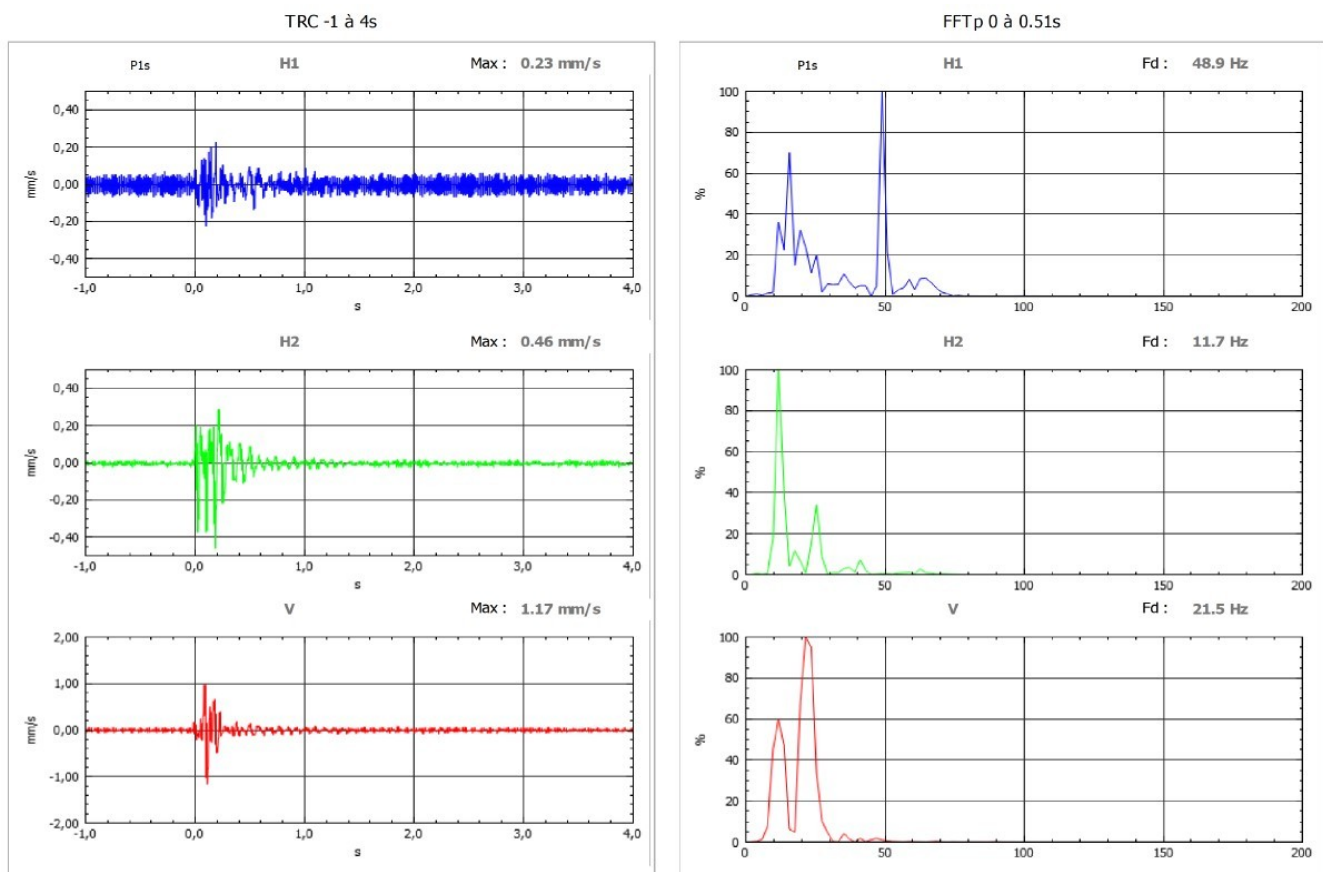


Figure 34: Signaux et FFT sur capteur P1s - PMT

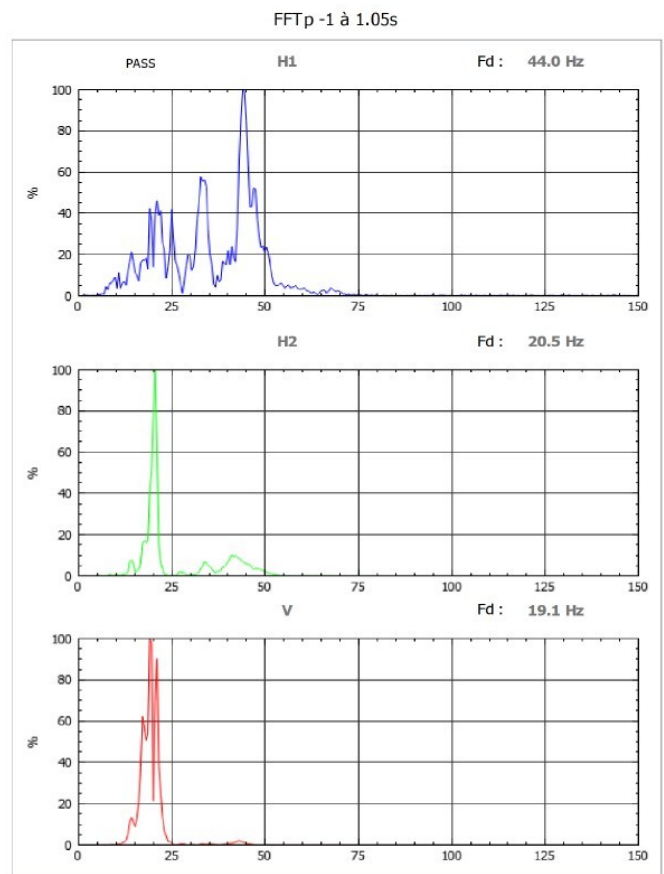
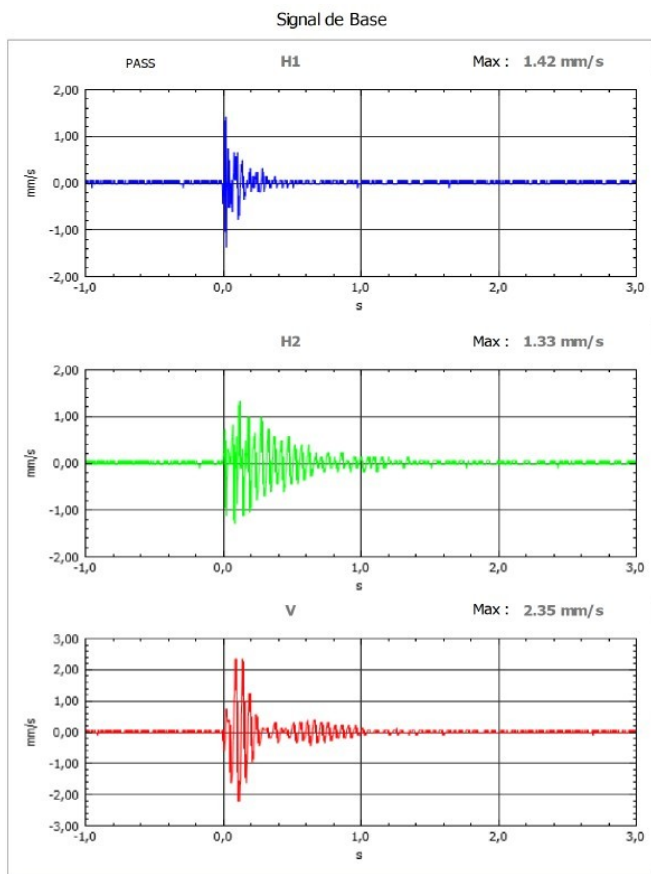


Figure 35: Signaux et FFT sur capteur P1i - PMT

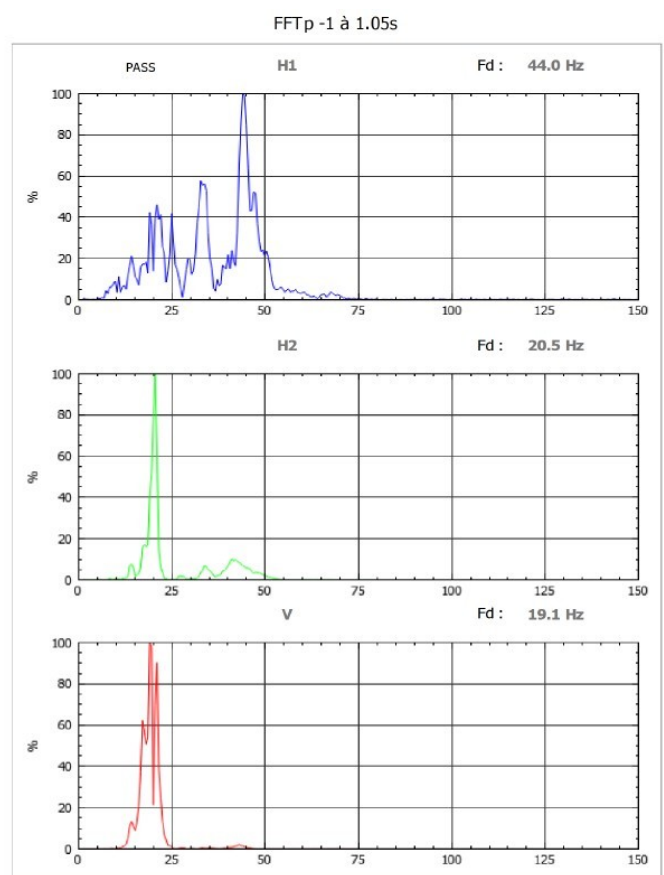
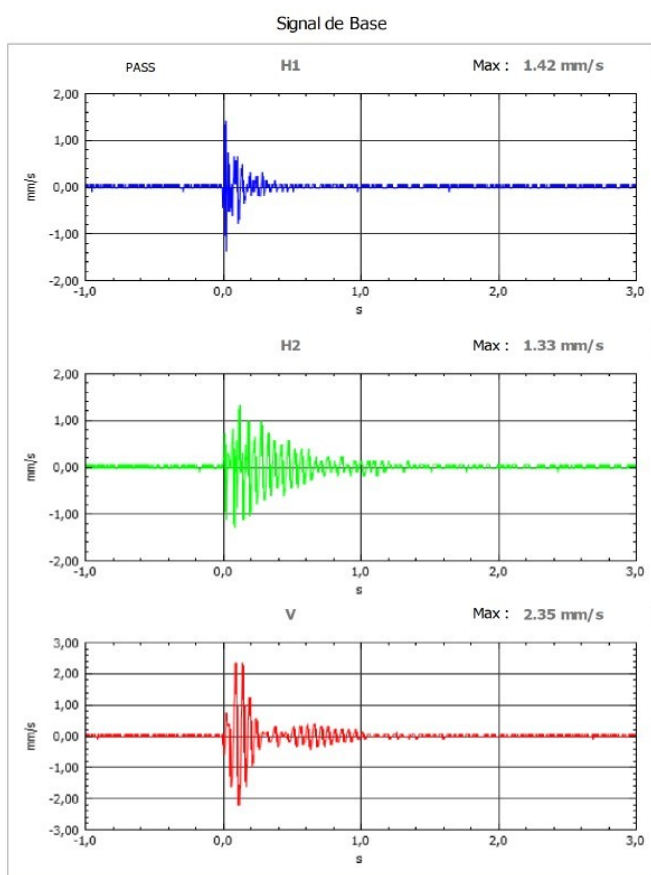


Figure 36: Signaux et FFT sur capteur PASS - CB2

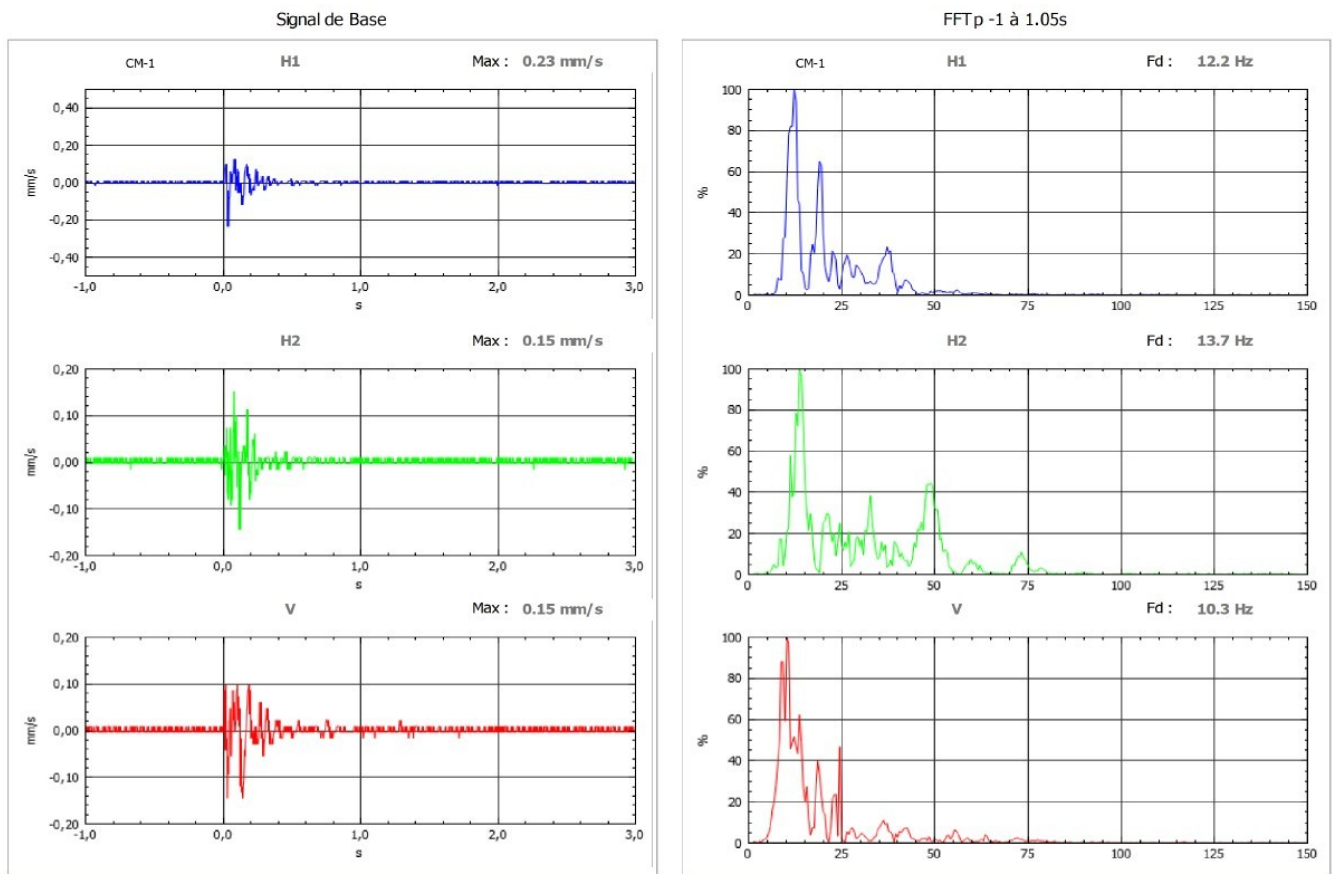


Figure 37: Signaux et FFT sur capteur CM-1 - CB2

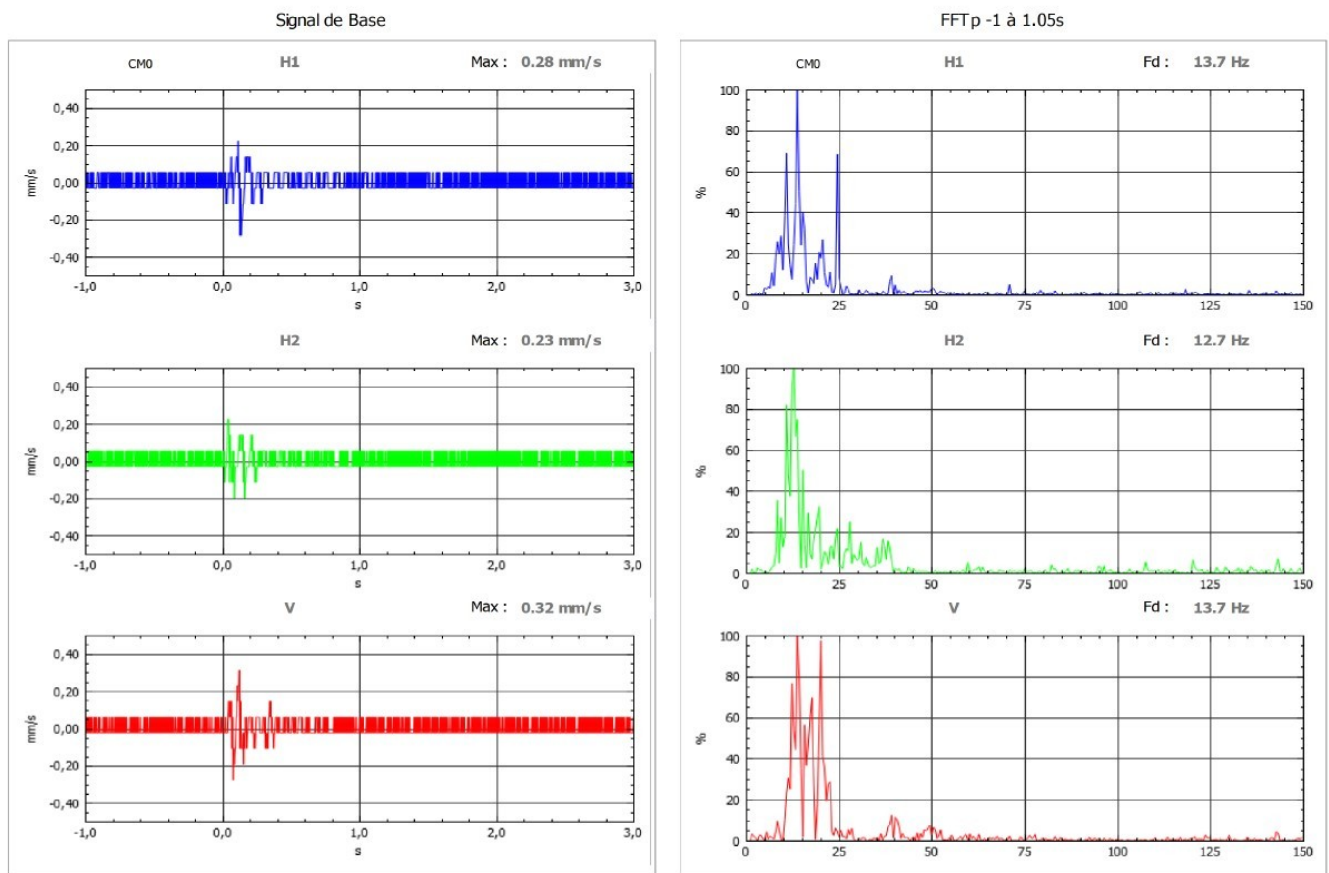


Figure 38: Signaux et FFT sur capteur CM0 - CB2

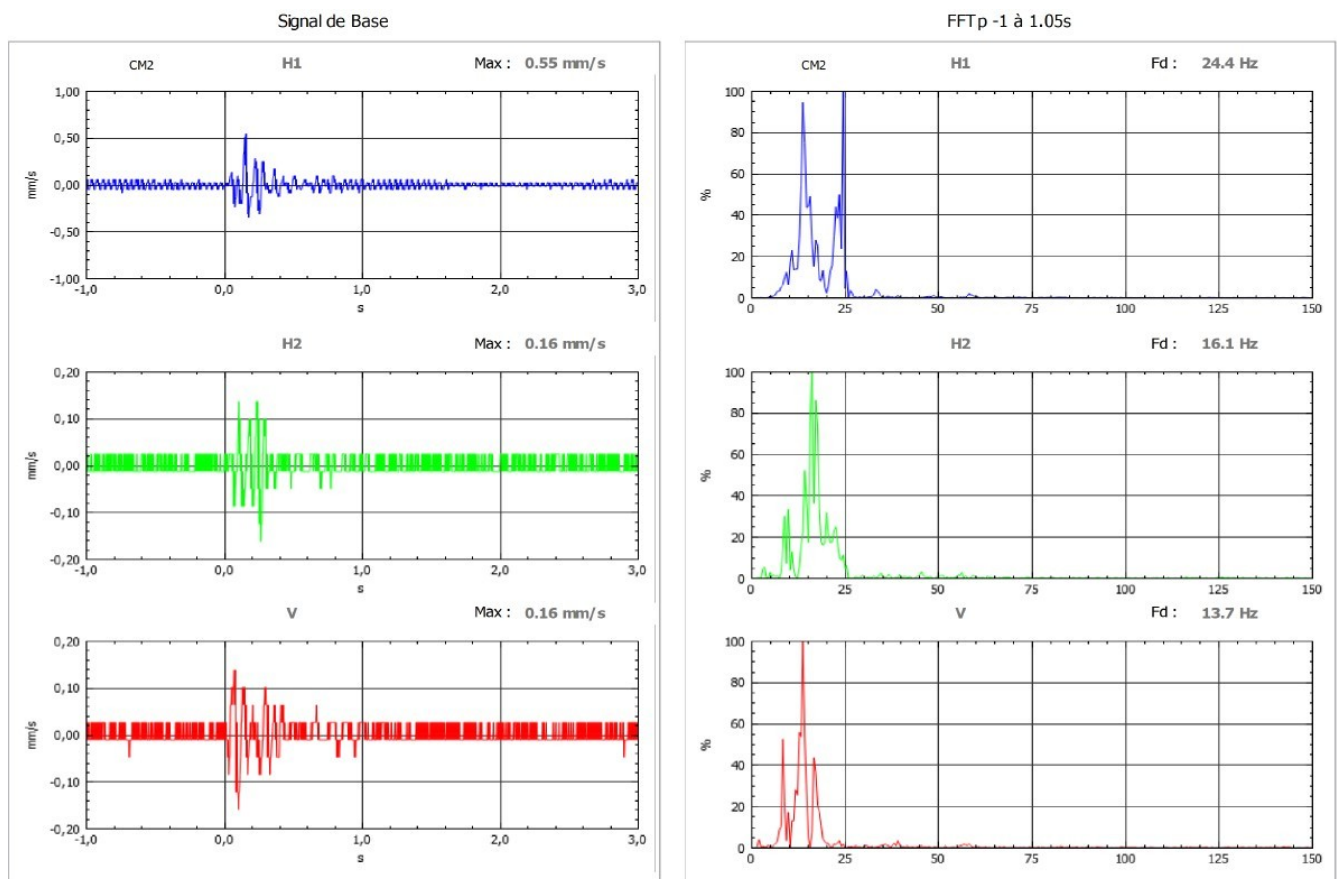


Figure 39: Signaux et FFT sur capteur CM2 - CB2

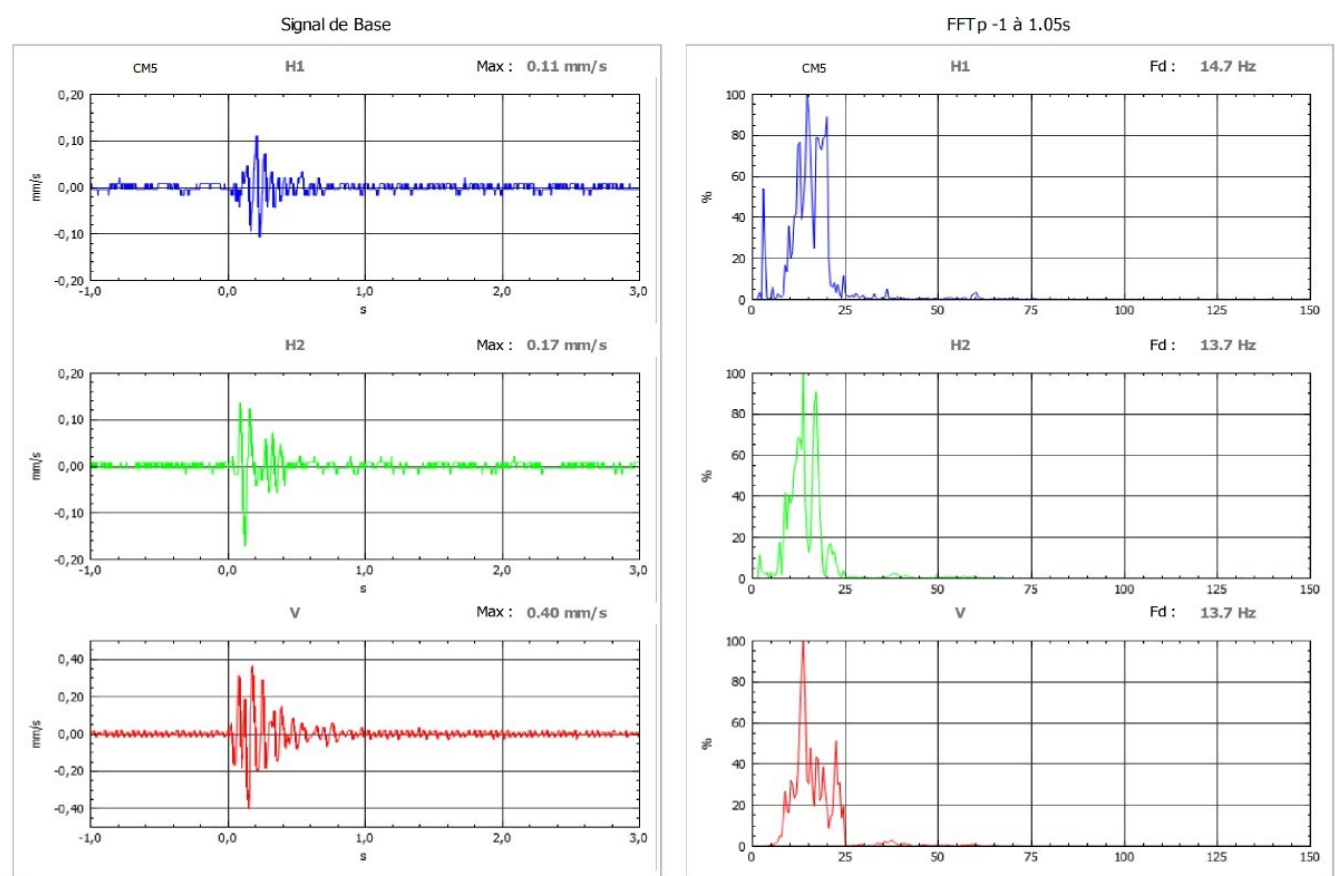


Figure 40: Signaux et FFT sur capteur CM5 - CB2

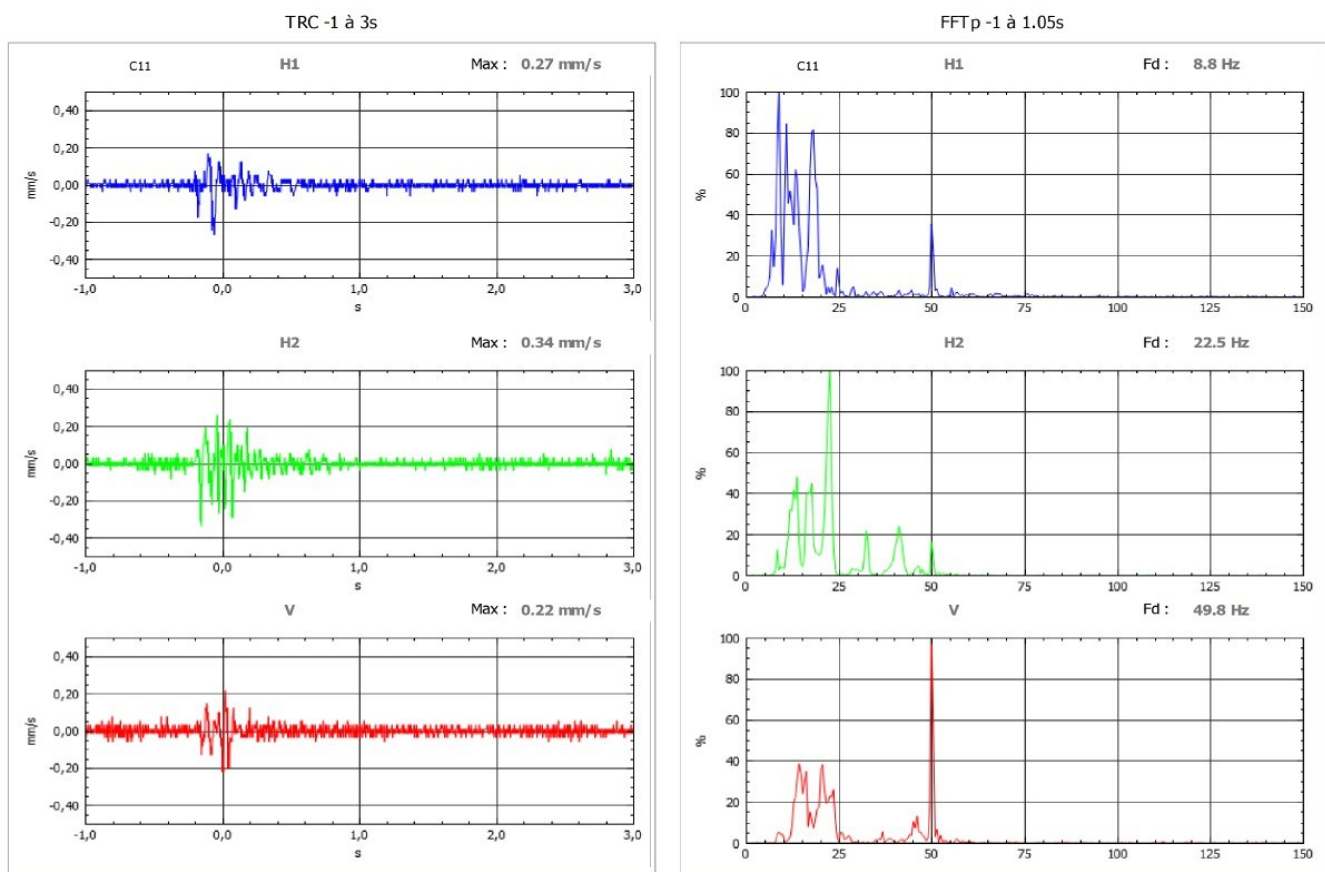


Figure 41: Signaux et FFT sur capteur C11 - CB1

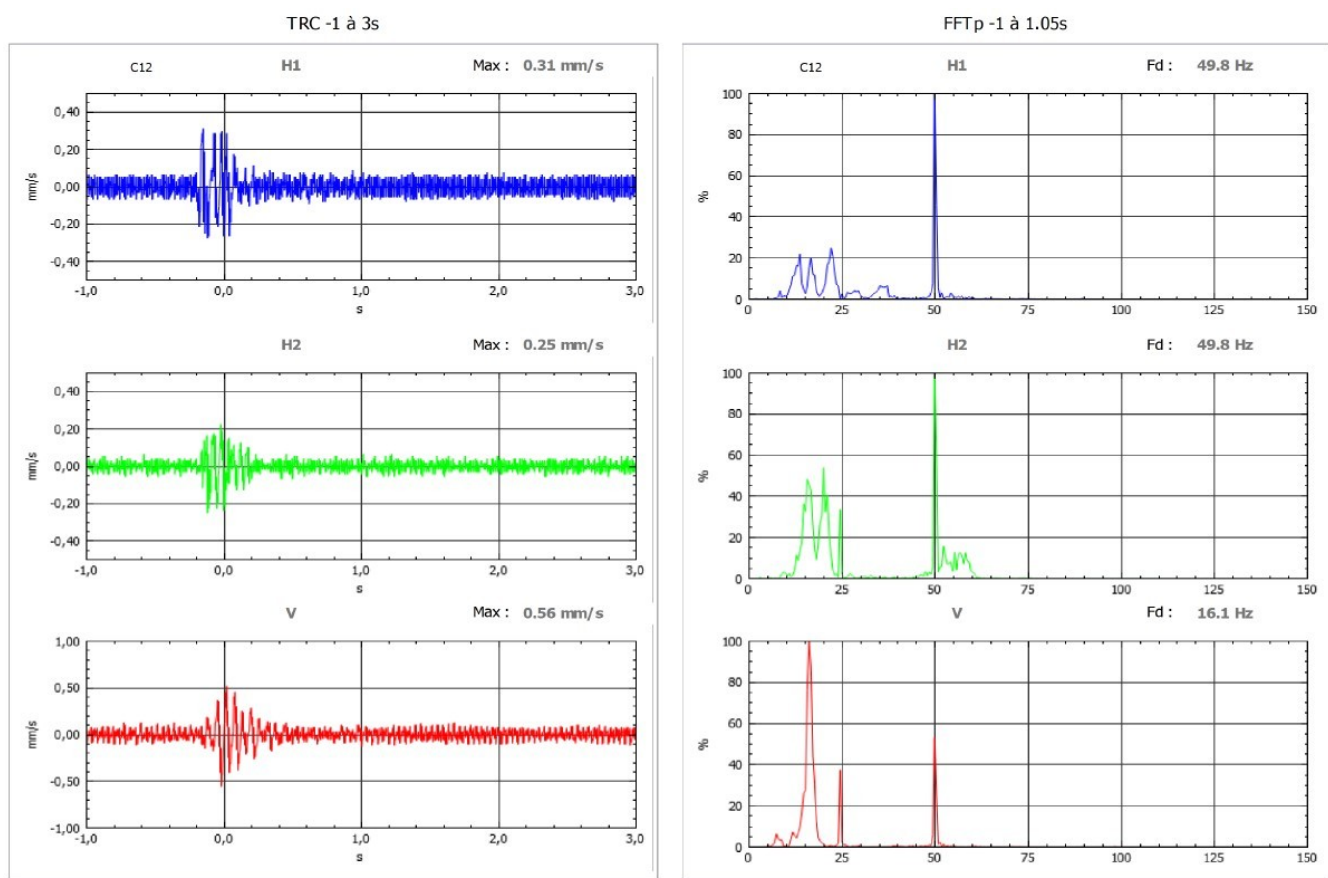


Figure 42: Signaux et FFT sur capteur C12 - CB1

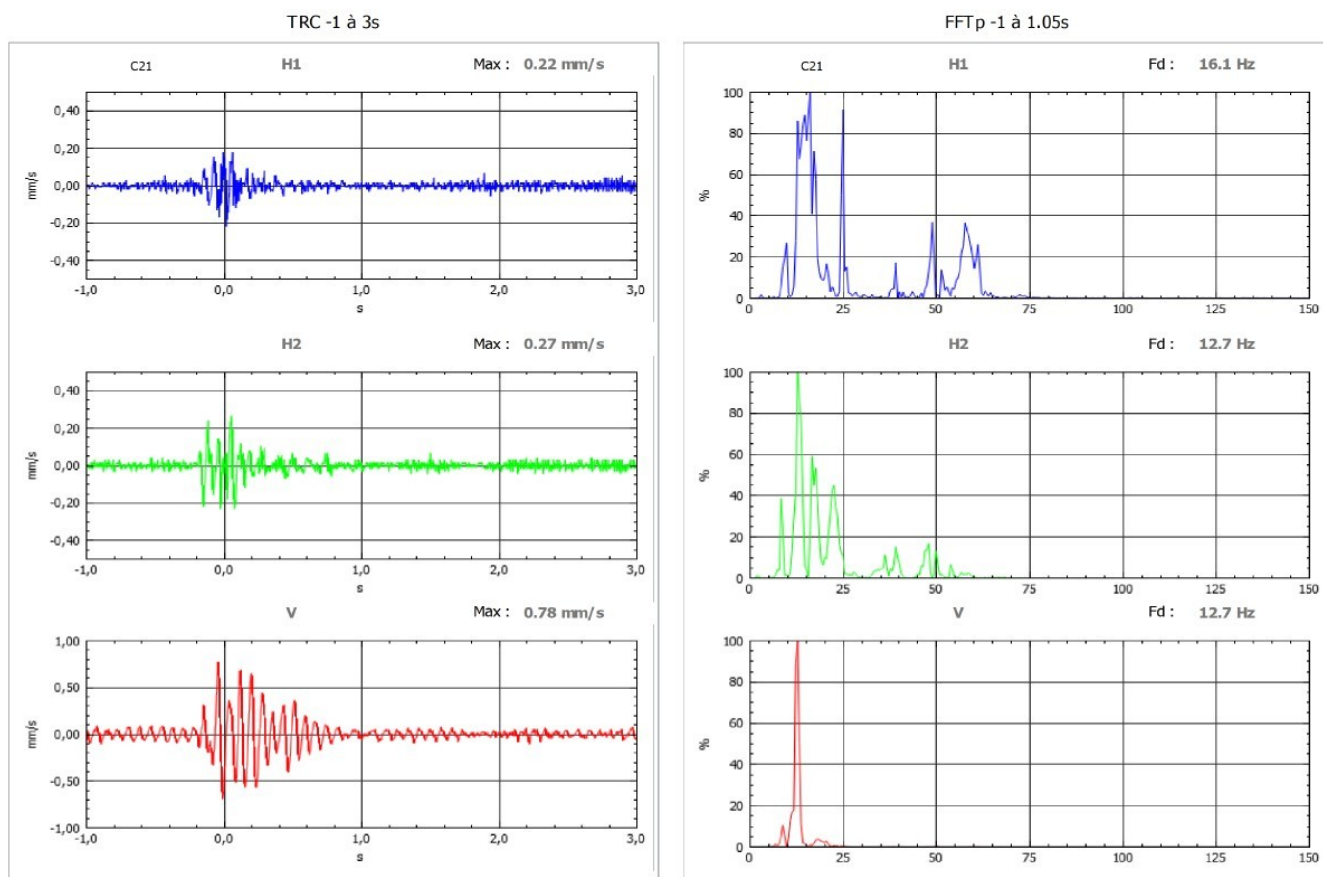


Figure 43: Signaux et FFT sur capteur C21 - CB1

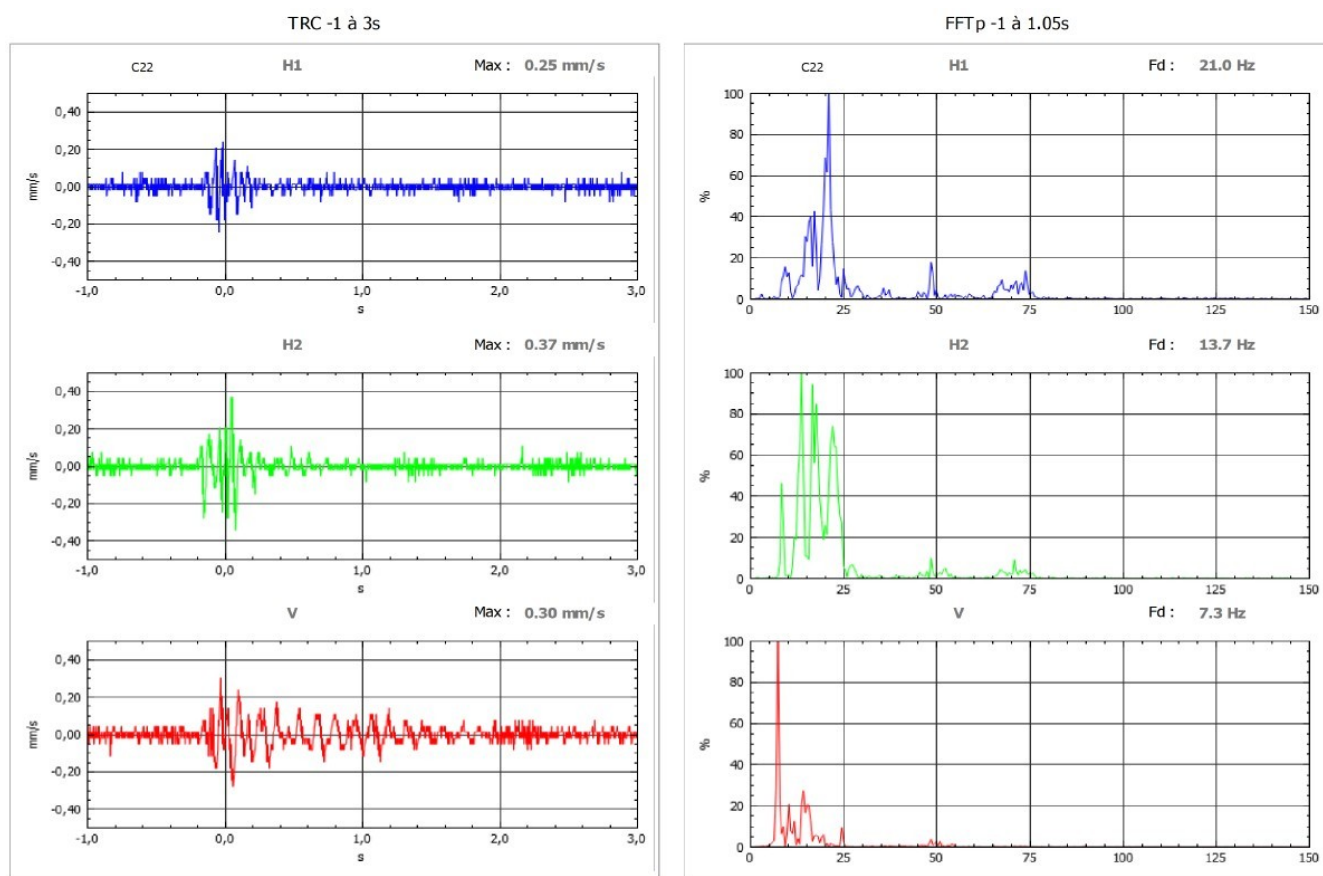


Figure 44: Signaux et FFT sur capteur C22 - CB1

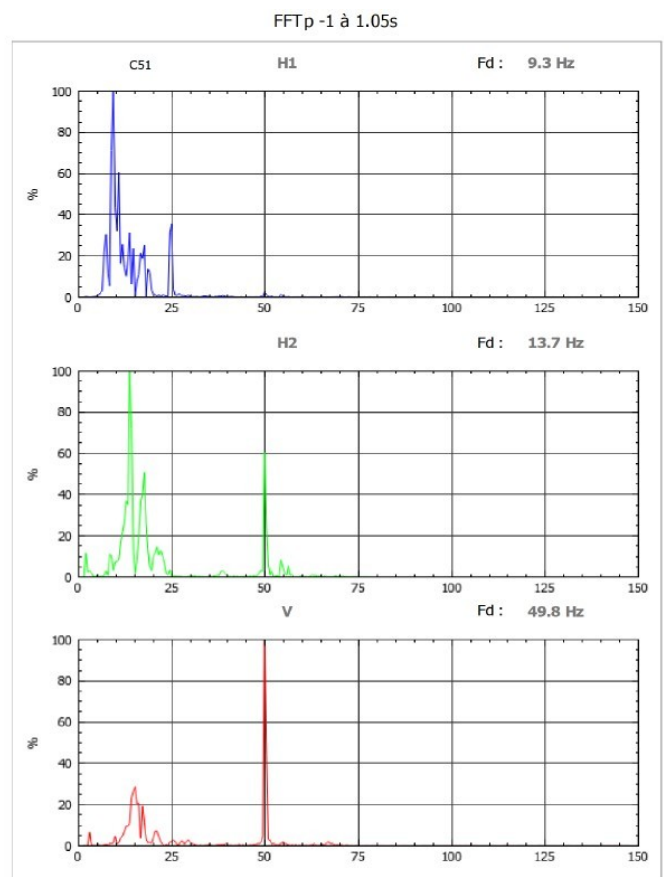
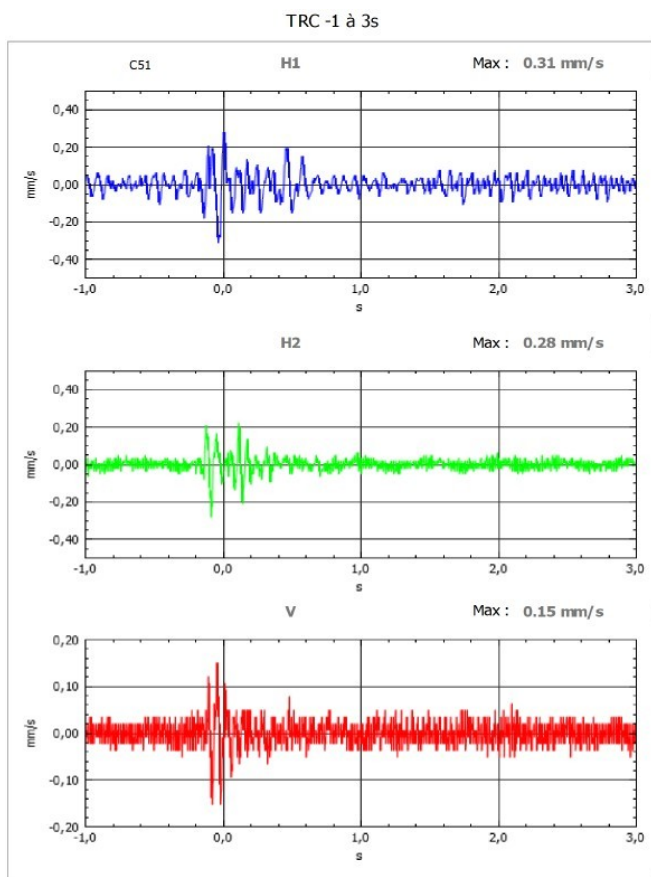


Figure 45: Signaux et FFT sur capteur C51 - CB1

5.5.3 Essais au BRH

Matériel

Pelle mécanique : CAT 335F

BRH : Montabert XL2700





BRISÉ-ROCHE HYDRAULIQUE
XL2700



LA QUINTESSENCE
DE LA TECHNOLOGIE
À CHAMBRE D'AZOTE

LES AVANTAGES

- **Nouvelle forme de piston** : meilleure transmission de l'énergie par coup pour une propagation plus efficace de l'onde de choc.
- **Suspension renforcée** : absorption des chocs avec système de sécurisation des vis d'assemblage.
- **Géométrie d'outil modernisée** : nouveau design plus économique, avec longueur utile constante.
- **Joints haute performance** : stabilité de la pression d'azote assurée sur le long terme, pour éviter les contrôles et recharges intempestifs.
- **L'indispensable toujours là** : protection contre la frappe à vide, récupération d'énergie, berceau renforcé, gamme d'outils complète.
- **Aussi vert que les autres** : ce marteau a été conçu et est fabriqué par Montabert, avec les standards habituels de la marque.

POUR DES PORTEURS
DE 28 À 38 TONNES

UN COÛT RÉDUIT SANS
COMPROMIS SUR LA QUALITÉ

CONÇU ET PRODUIT EN FRANCE



BRISE-ROCHE HYDRAULIQUE

LA QUINTESSANCE DE LA TECHNOLOGIE À CHAMBRE D'AZOTE

XL2700

POIDS ET DIMENSIONS

POIDS (KG)

MARTEAU	2129
+ OUTIL MONTÉ	2310
+ SUPPORT MONTÉ (MAX)	2780

DIMENSIONS (MM)

A	2075
B	2677
C	450
D	520
E	70

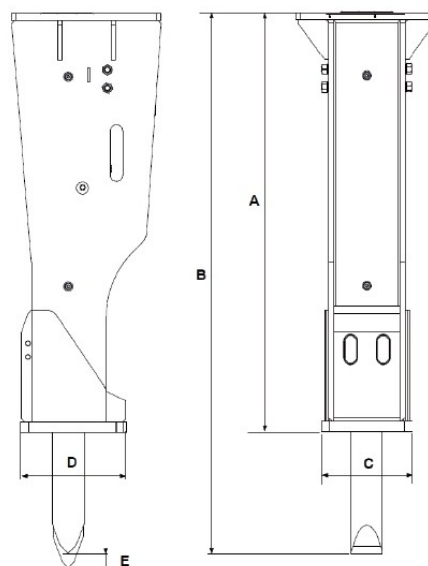
INFORMATIONS OPÉRATIONNELLES

POIDS DU PORTEUR (MIN-MAX, T)	28 - 38
DÉBIT (MIN-MAX, L/MIN)	150 - 240
PRESSIION DE TRAVAIL (BAR)	180
CONTRE PRESSIION (BAR)	17
PUISSANCE D'ENTRÉE (KW)	72
FRÉQUENCE (MIN-MAX, BPM)	335 - 630
NIVEAU SONORE /10M (DB LWA)	99
GRAISSAGE MANUEL	standard
INSONORISATION	standard
MALETTE DE CONTRÔLE	standard

OPTIONS

RÉFÉRENCE

KIT DE PRESSURISATION	86766896
KIT DE LUBRIFICATION - POMPE À CARTOUCHE	86768108
KIT DE LUBRIFICATION - CENTRALE SUR PORTEUR	86383759
KIT SYSTÈME DE SUIVI OMNI-M	101091917
SUPPORT DE FIXATION	sur demande
COULEUR SPÉCIALE	sur demande



CONSOMMABLES

RÉFÉRENCE

CARTOUCHES DE GRAISSE ABL2 (x20)	86784758
FÛT DE GRAISSE EM22 (20 KG)	86383338
FÛT DE GRAISSE ABLF (24 KG)	101095008

LOTS D'ENTRETIEN

RÉFÉRENCE

BASIQUE	101042759
---------	-----------

OUTILS

DIAMÈTRE (MM)	156	156	156	156
LONGUEUR (MM)	1252	1252	1252	1252
POIDS (KG)	168	175	181	168
RÉFÉRENCE	101156617	101009489	101156614	101156618



Les informations contenues dans cette brochure n'ont pas de valeur contractuelle et peuvent être modifiées à tout moment sans préavis. Le contenu de cette brochure ne saurait en aucun cas être considéré ou interprété comme octroyant une garantie quelconque, expresse ou implicite relative aux produits y figurant. Tous les contenus, y compris, mais sans s'y limiter, les textes, les images et les graphiques sont sujets au droit d'auteur et protégés par les droits de propriété intellectuelle. Leur utilisation ou détournement est strictement interdit. La marque et le logo Montabert, utilisés dans la présente brochure, sont la propriété de Montabert. Rien de ce qui est contenu dans cette brochure ne saurait être considéré ou interprété comme constituant un engagement de Montabert ou comme conférant une licence de droits de propriété intellectuelle ou autre droit d'utilisation. ©2024 Montabert. Tous droits réservés.

montabert.com



XL2700 FR-A4-012024

Exemples de traces et spectres de fréquence associés par capteur

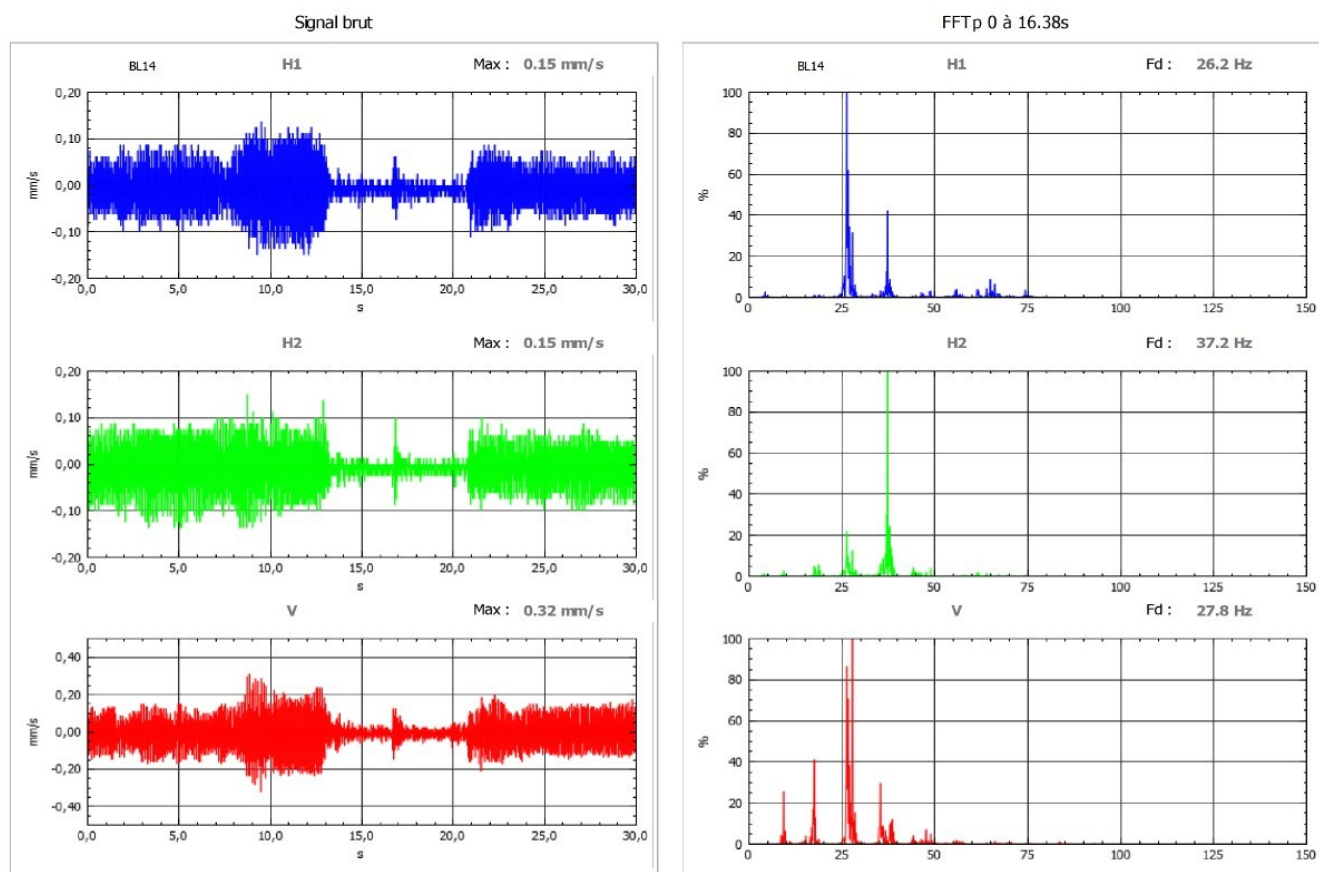


Figure 46: Signaux et FFT sur capteur BL14 - PMT, BRH en zone 6

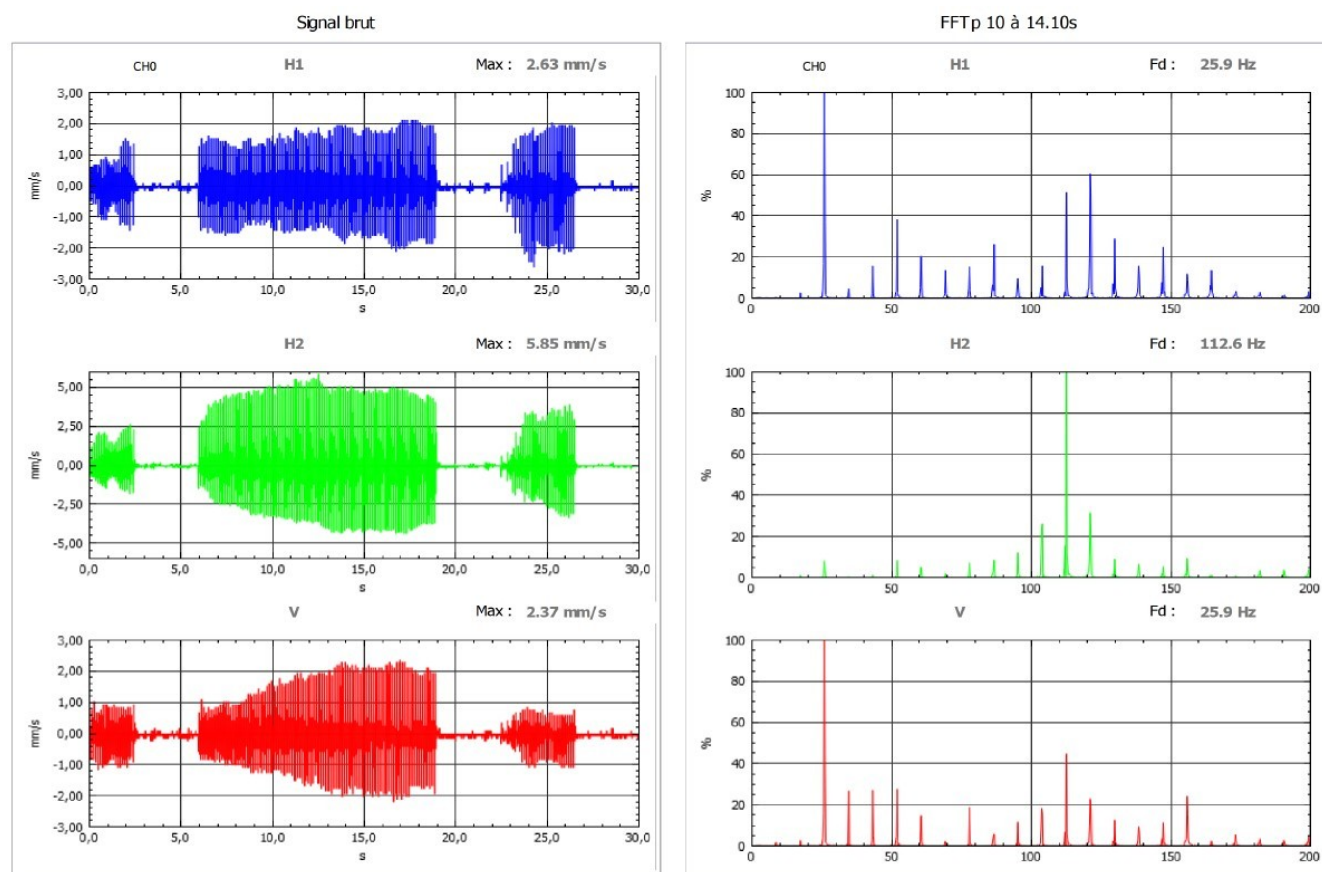


Figure 47: Signaux et FFT sur capteur CH0 - PMT, BRH en zone 3

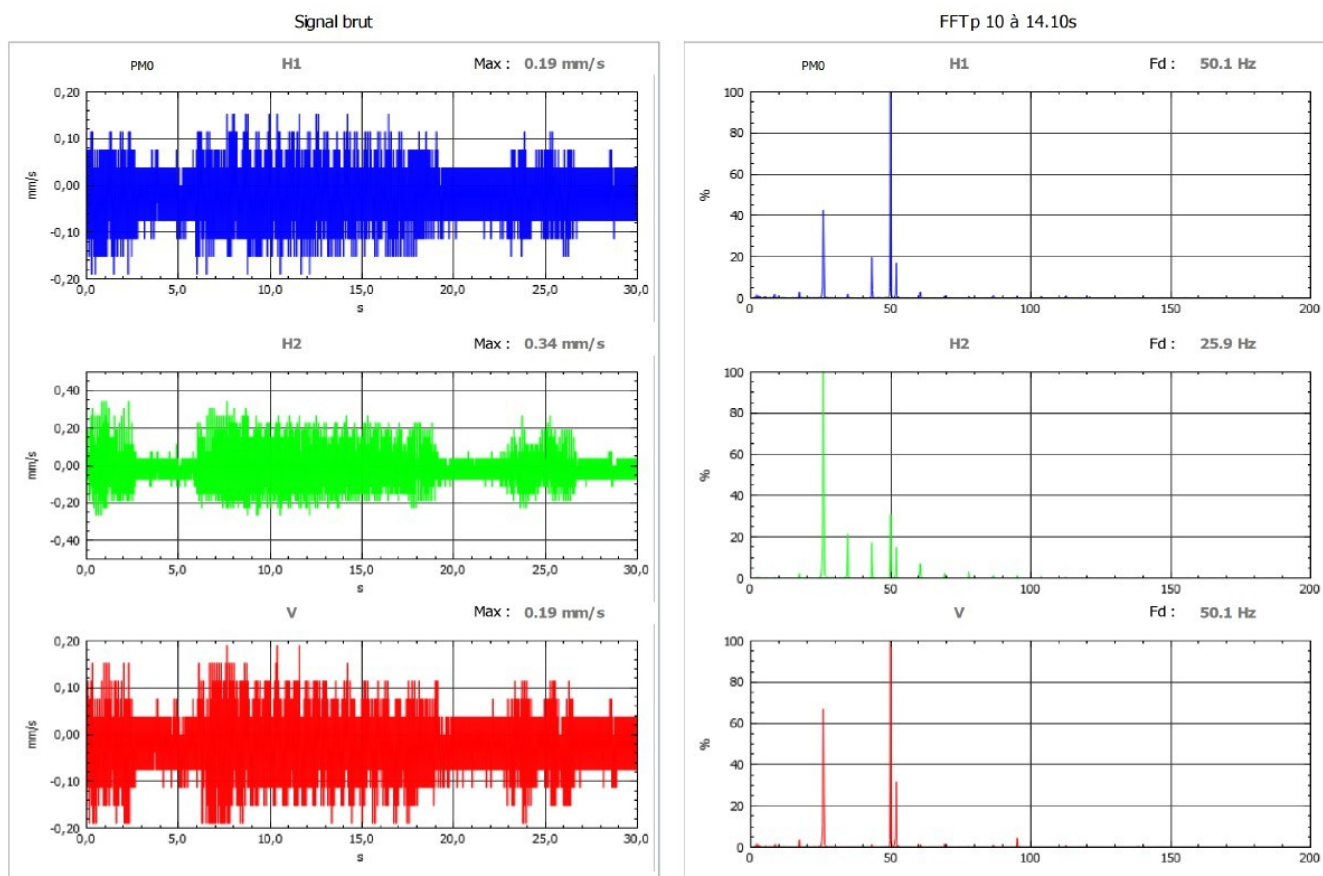


Figure 48: Signaux et FFT sur capteur PM0 - PMT, BRH en zone 3

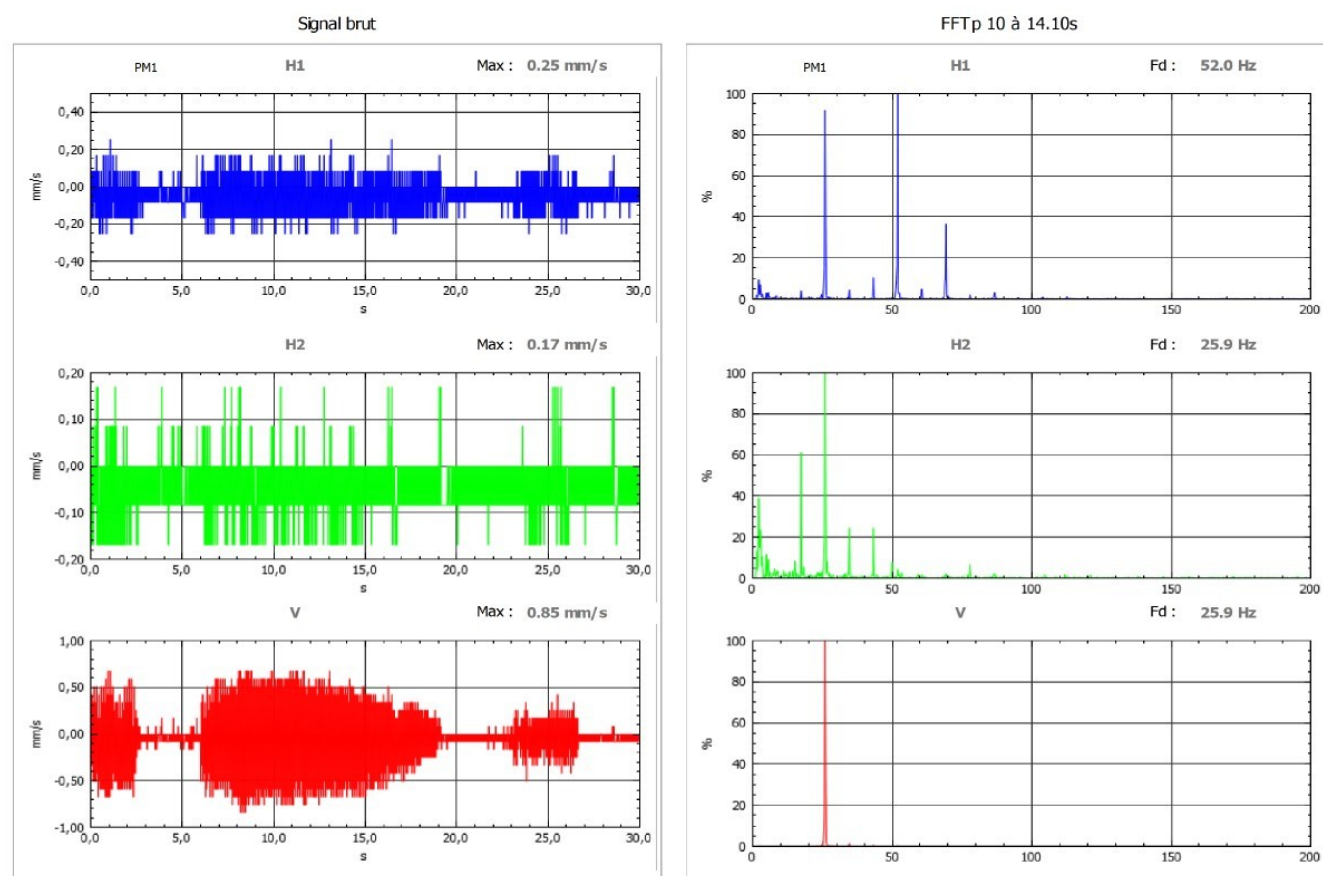


Figure 49: Signaux et FFT sur capteur PM1 - PMT, BRH en zone 3

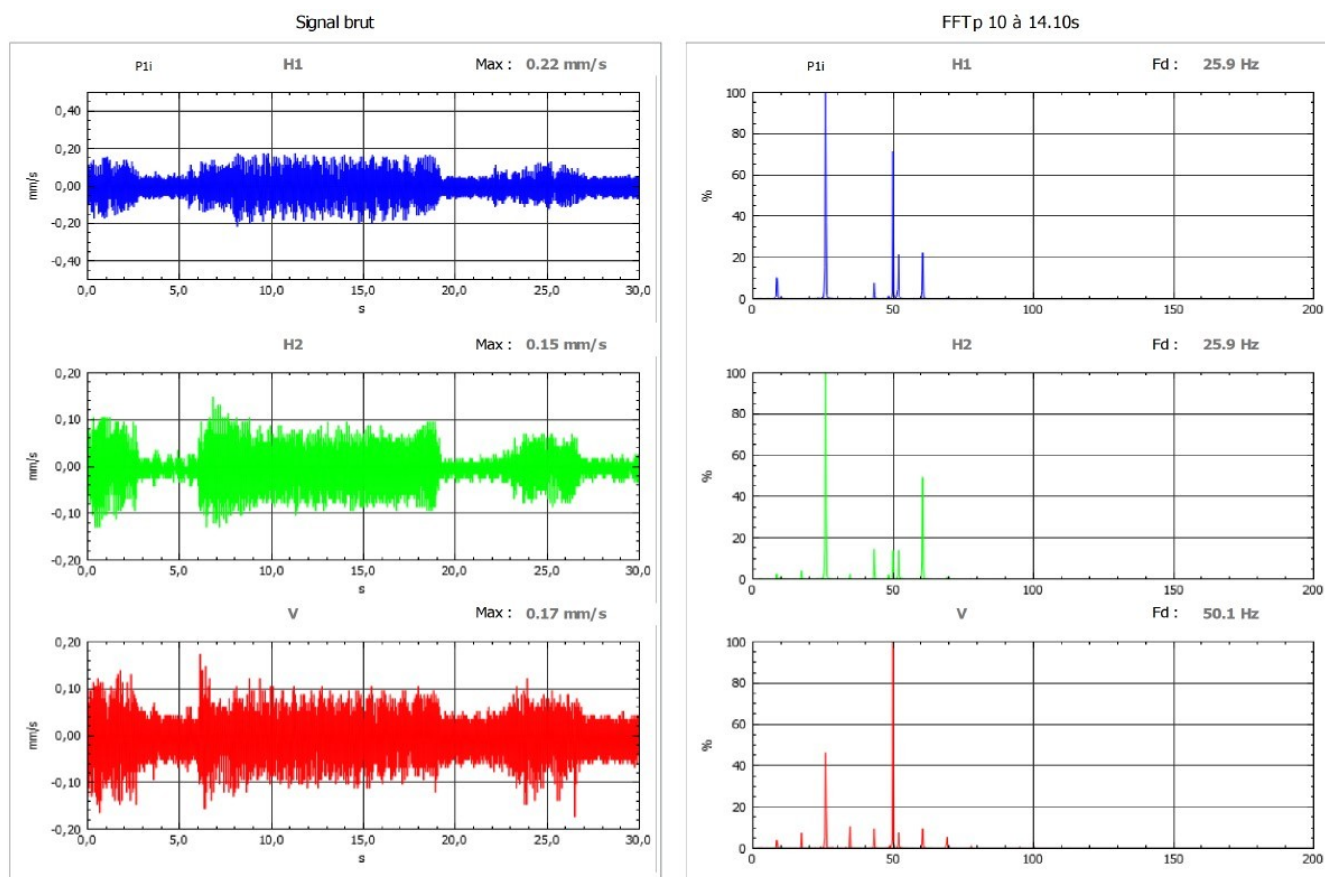


Figure 50: Signaux et FFT sur capteur PM1i - PMT, BRH en zone 3

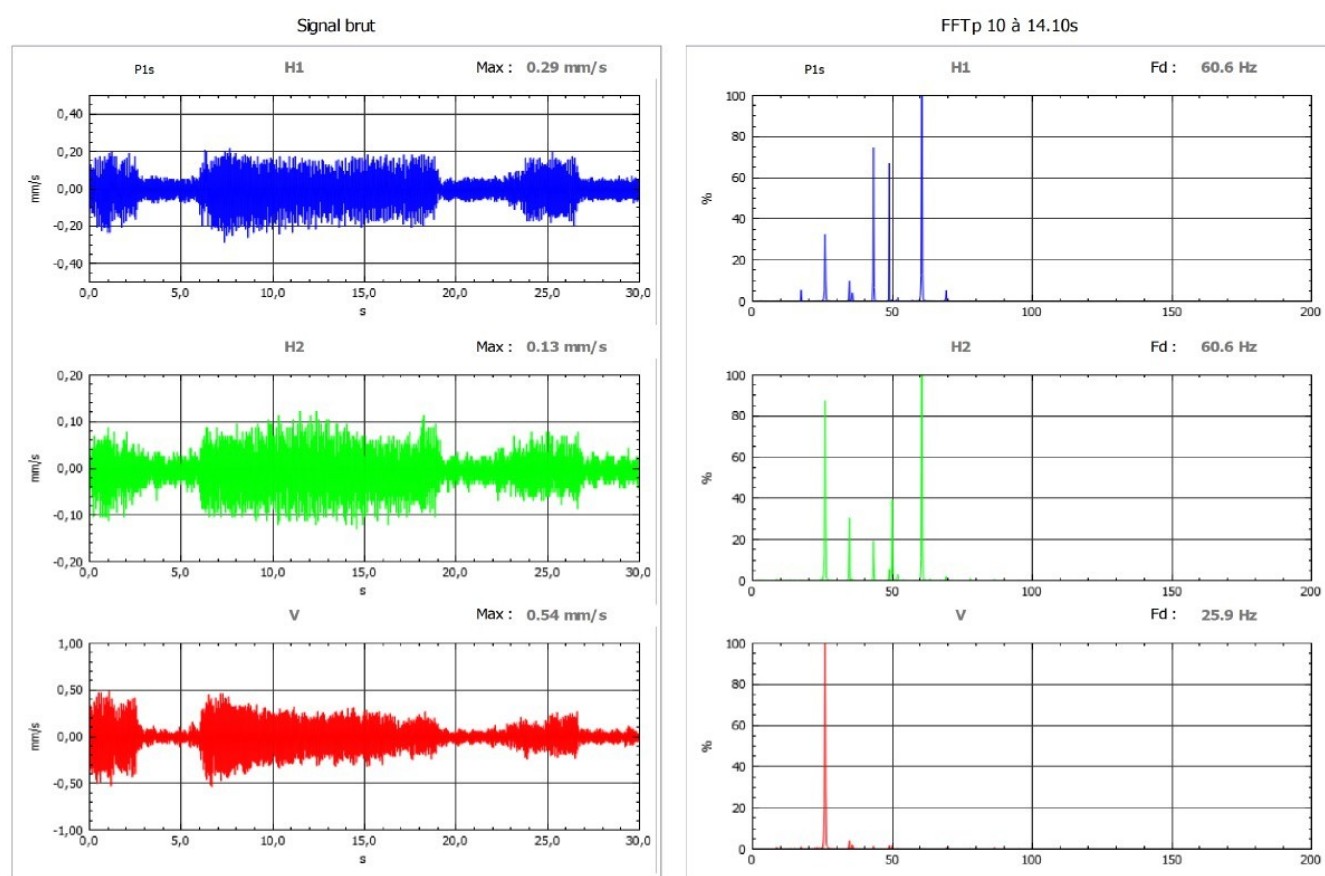


Figure 51: Signaux et FFT sur capteur P1s - PMT, BRH en zone 3

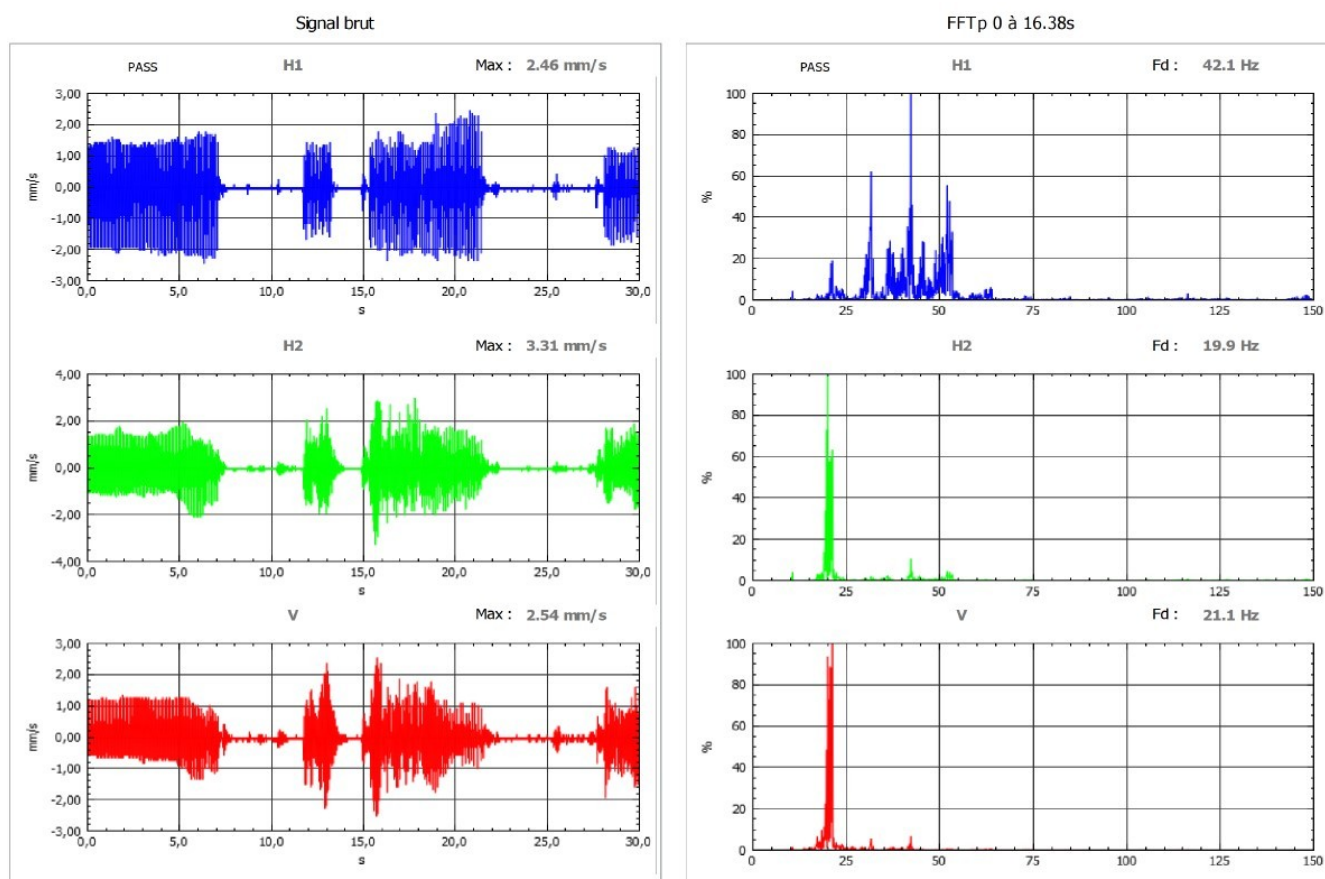


Figure 52: Signaux et FFT sur capteur PASS - CB2, BRH en zone 5

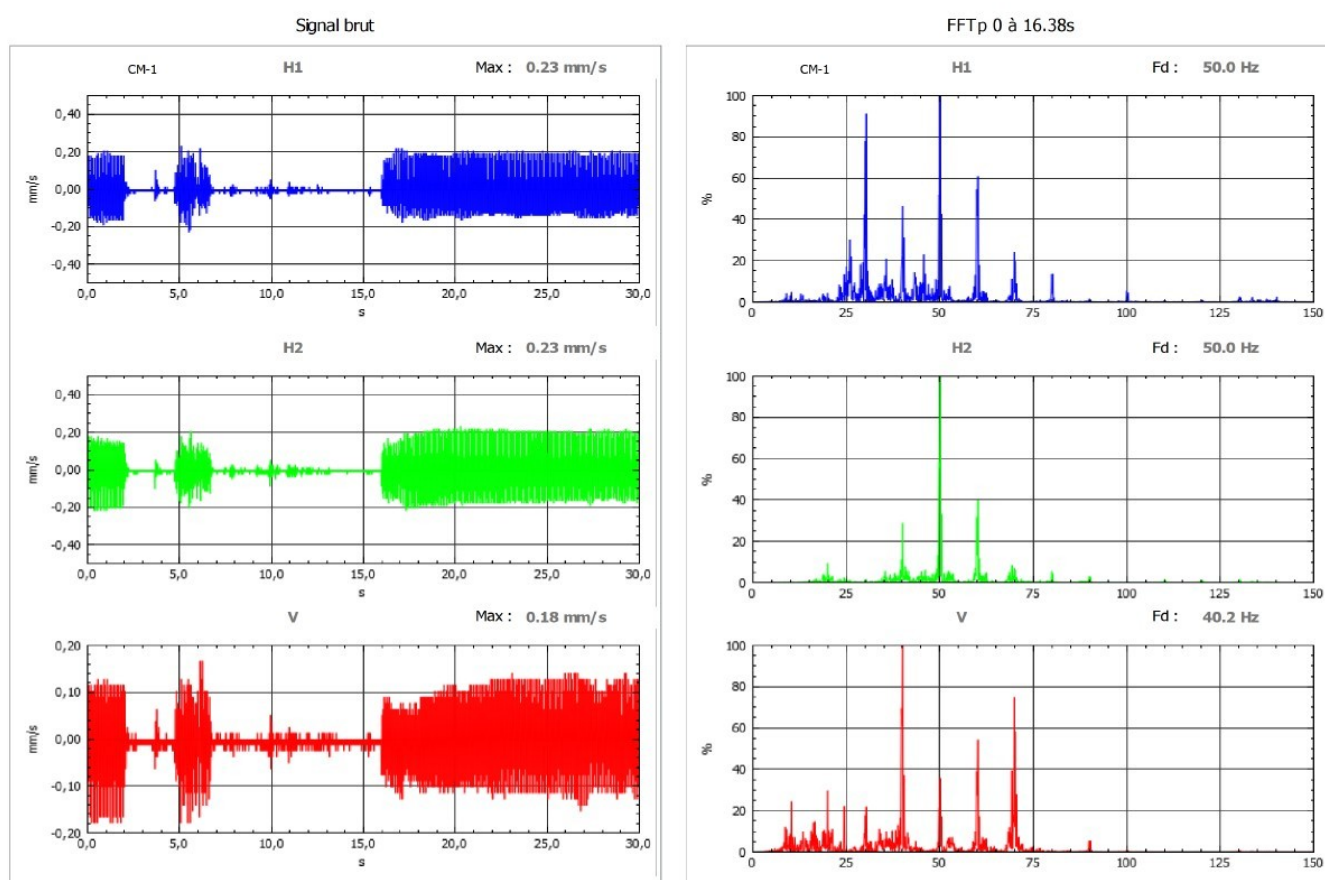


Figure 53: Signaux et FFT sur capteur CM-1 - CB2, BRH en zone 7

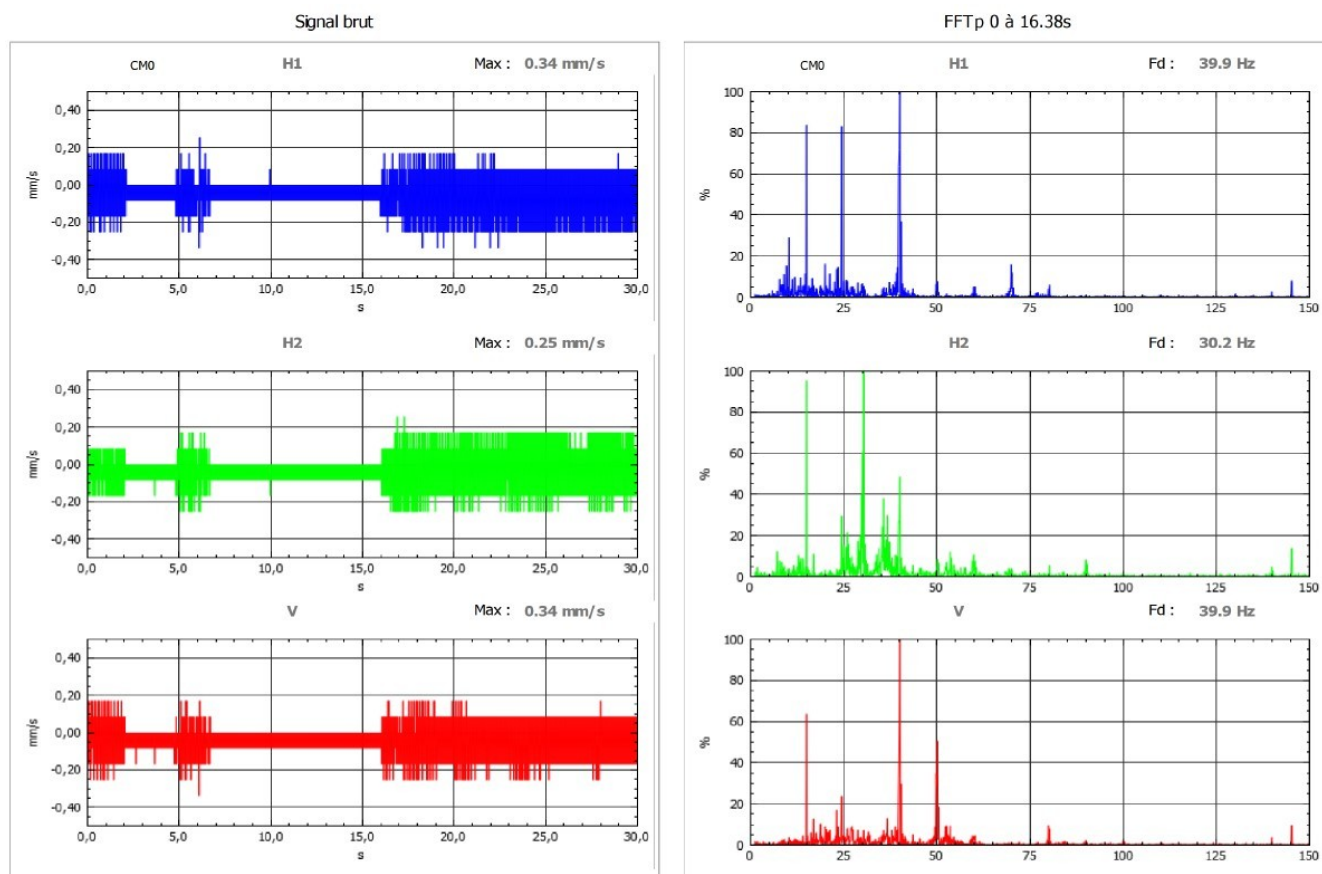


Figure 54: Signaux et FFT sur capteur CM0 - CB2, BRH en zone 7

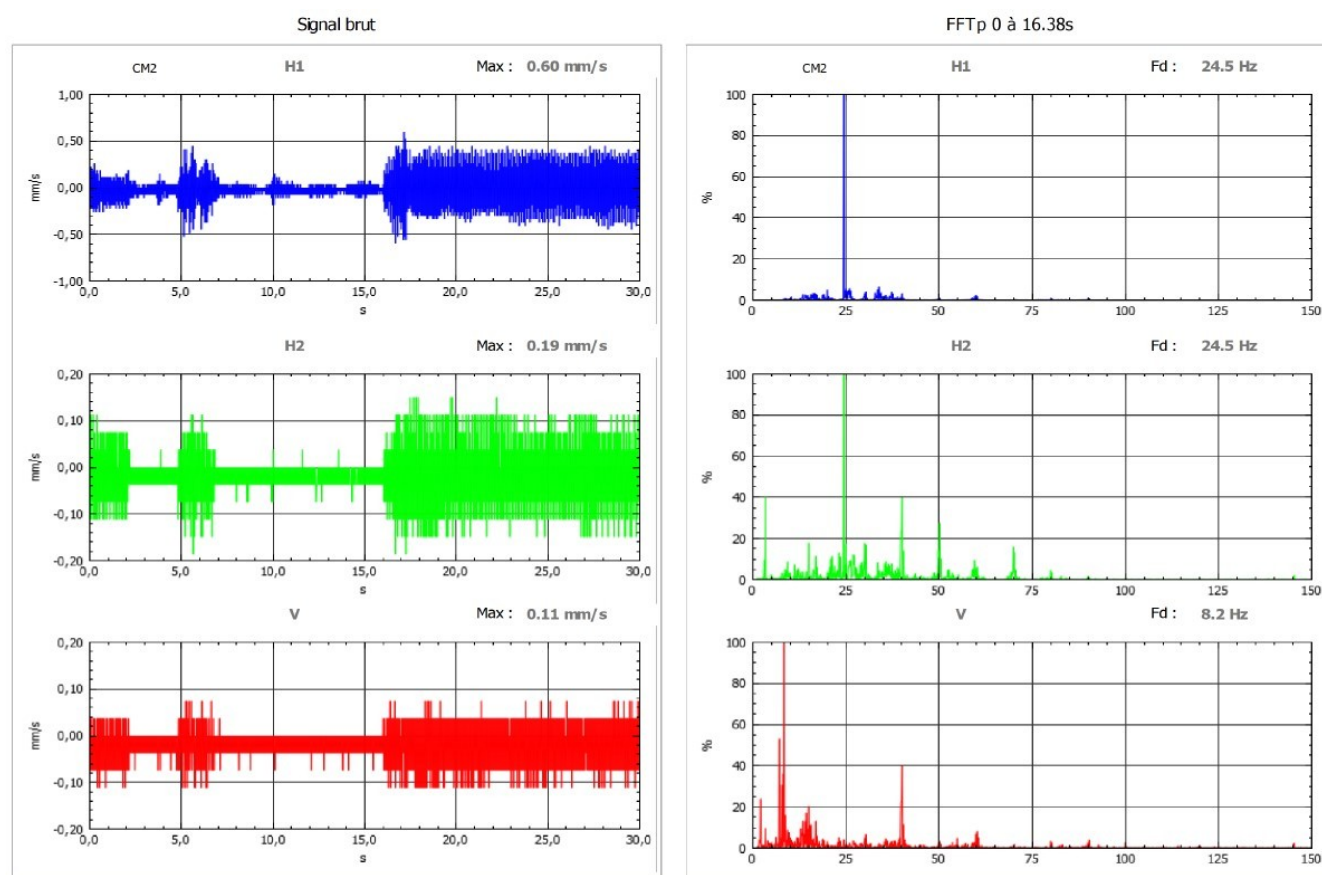


Figure 55: Signaux et FFT sur capteur CM2 - CB2, BRH en zone 7

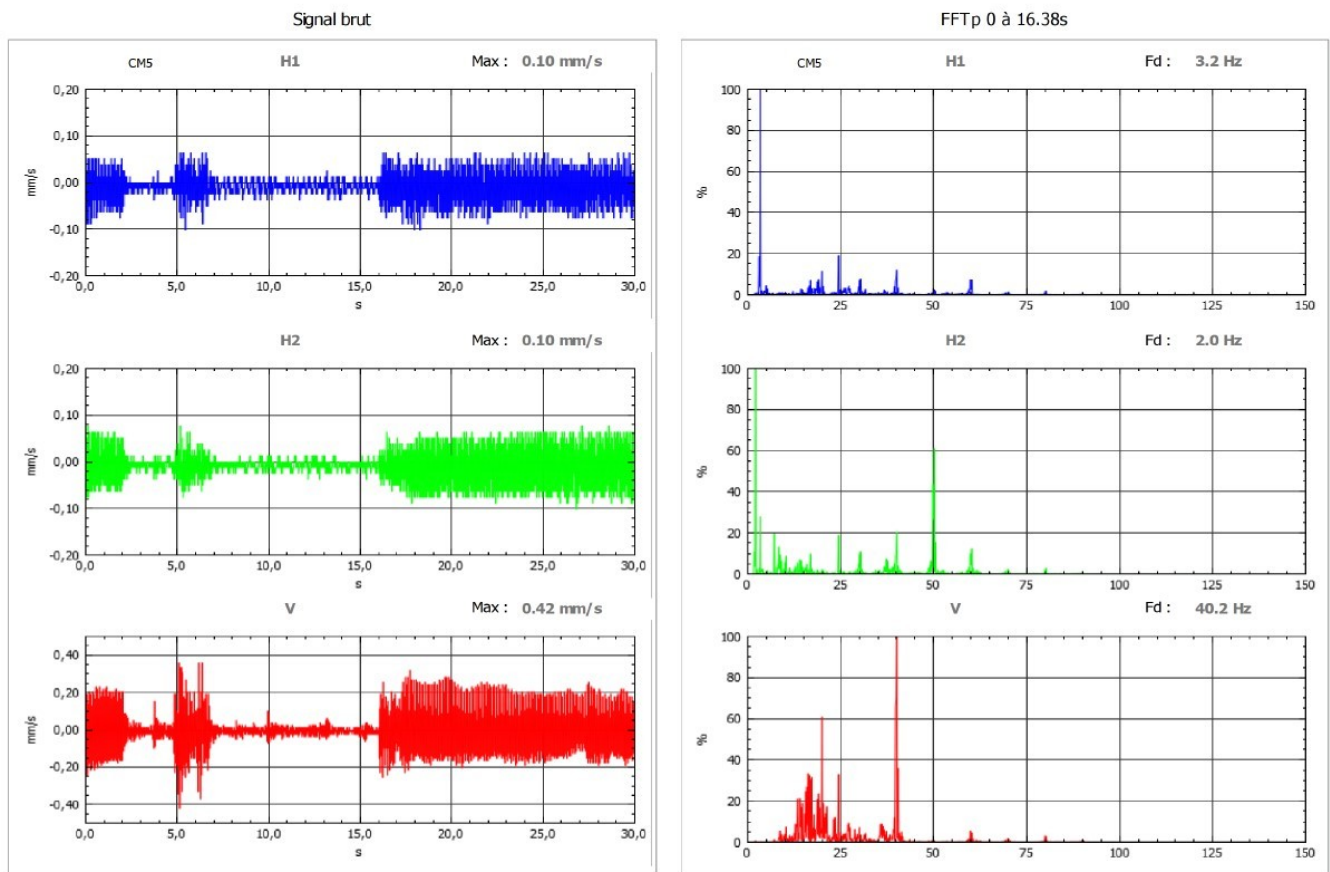


Figure 56: Signaux et FFT sur capteur CM5 - CB2, BRH en zone 7

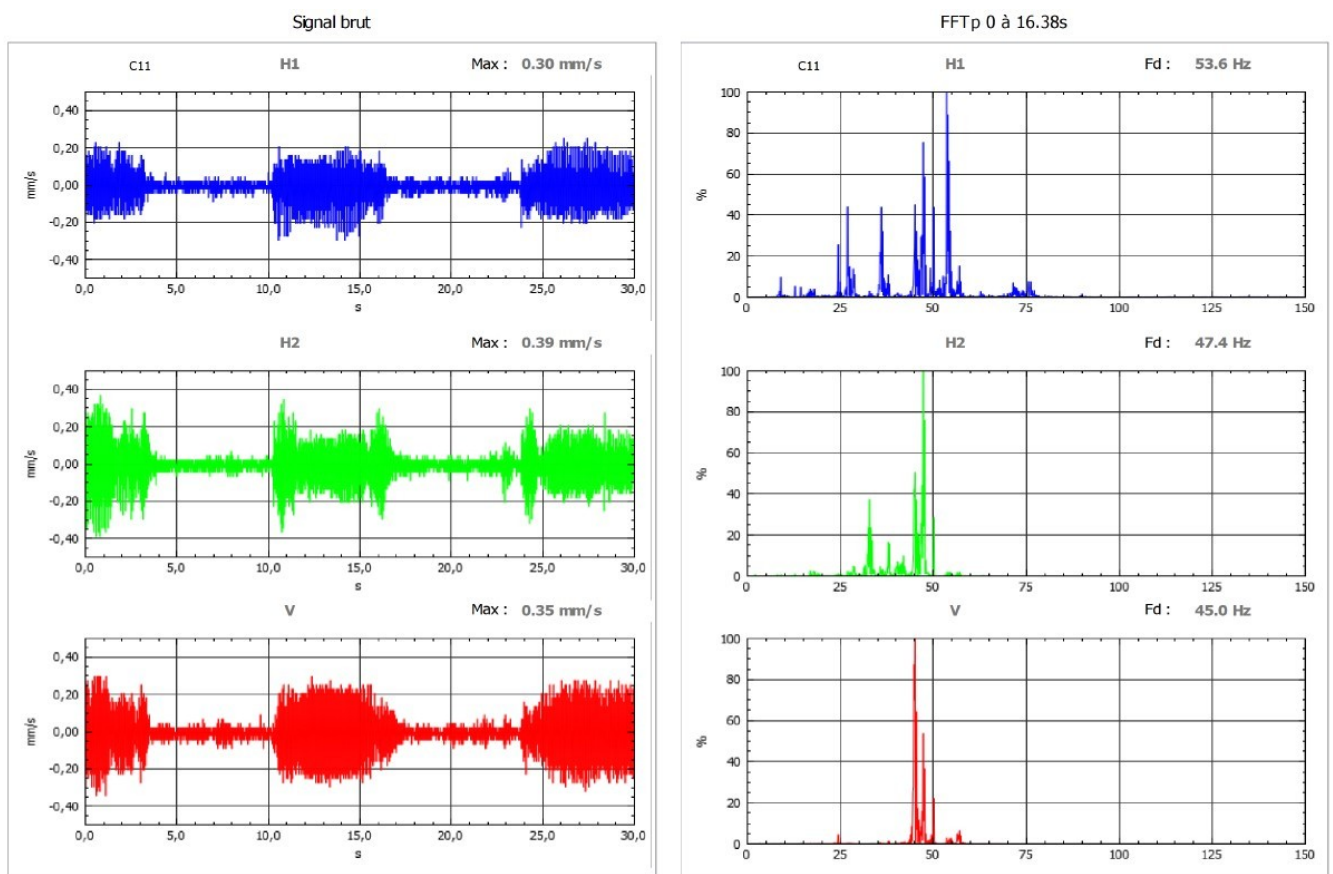


Figure 57: Signaux et FFT sur capteur C11 - CB1, BRH en zone 7

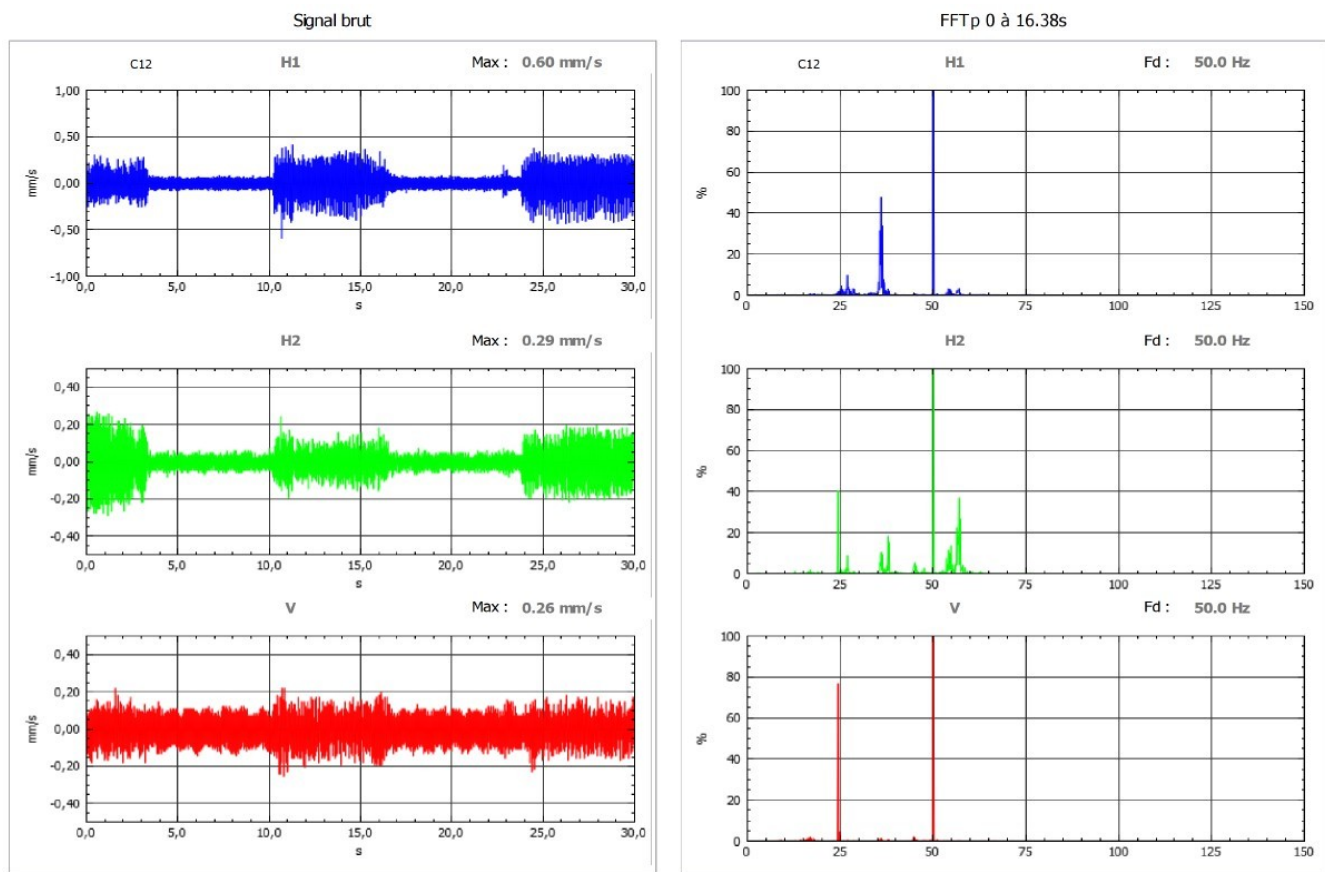


Figure 58: Signaux et FFT sur capteur C12 - CB1, BRH en zone 7

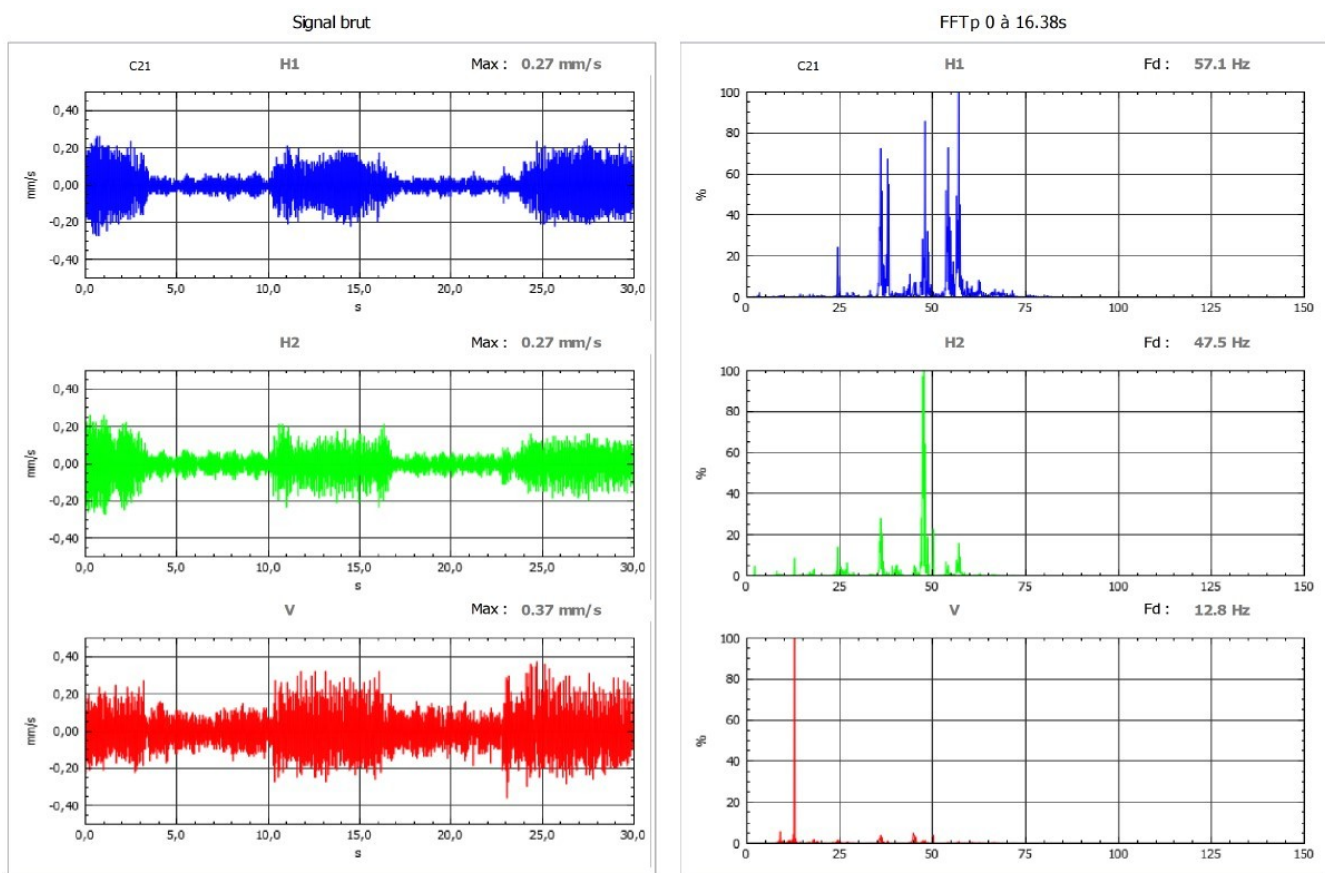


Figure 59: Signaux et FFT sur capteur C21 - CB1, BRH en zone 7

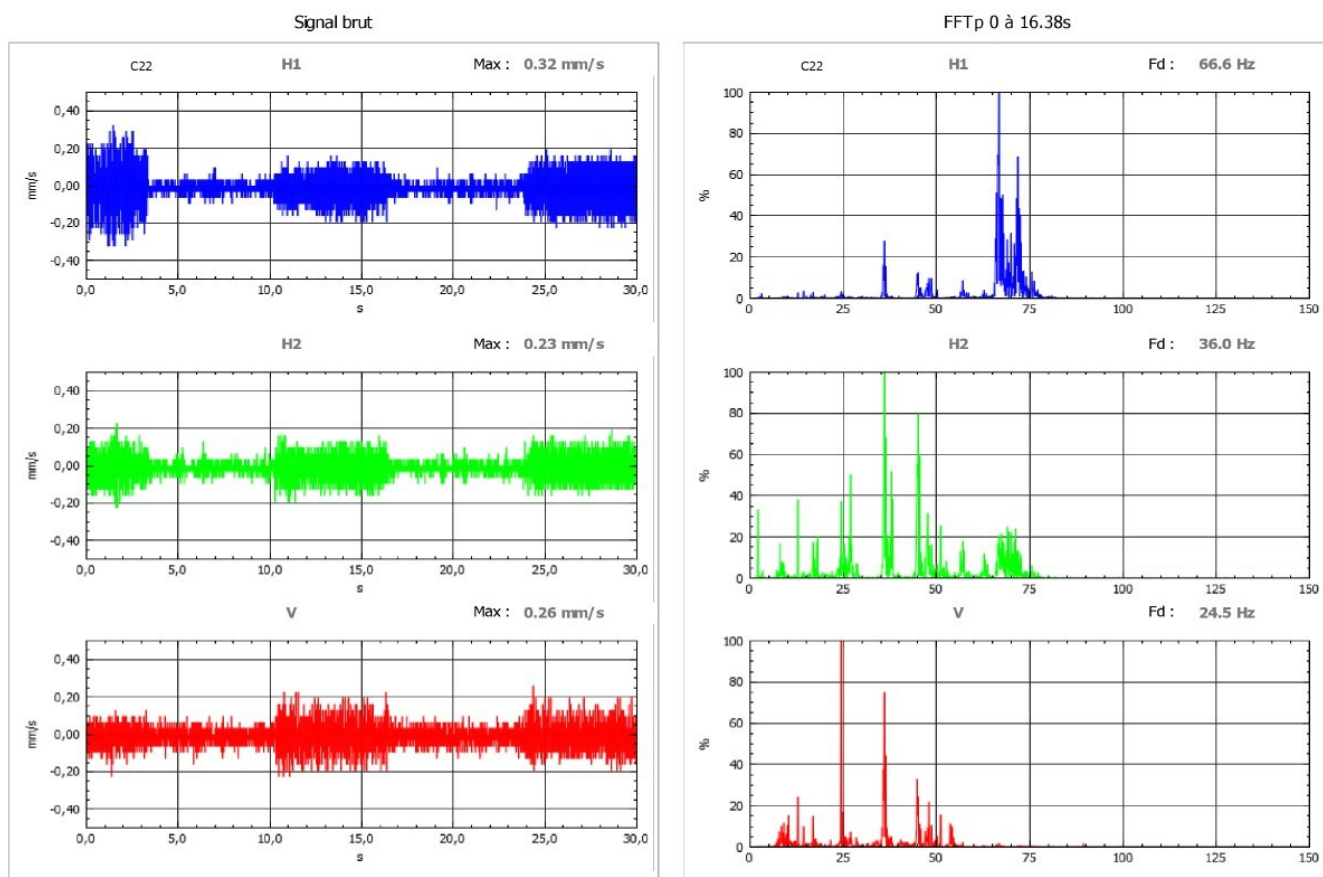


Figure 60: Signaux et FFT sur capteur C22 - CB1, BRH en zone 7

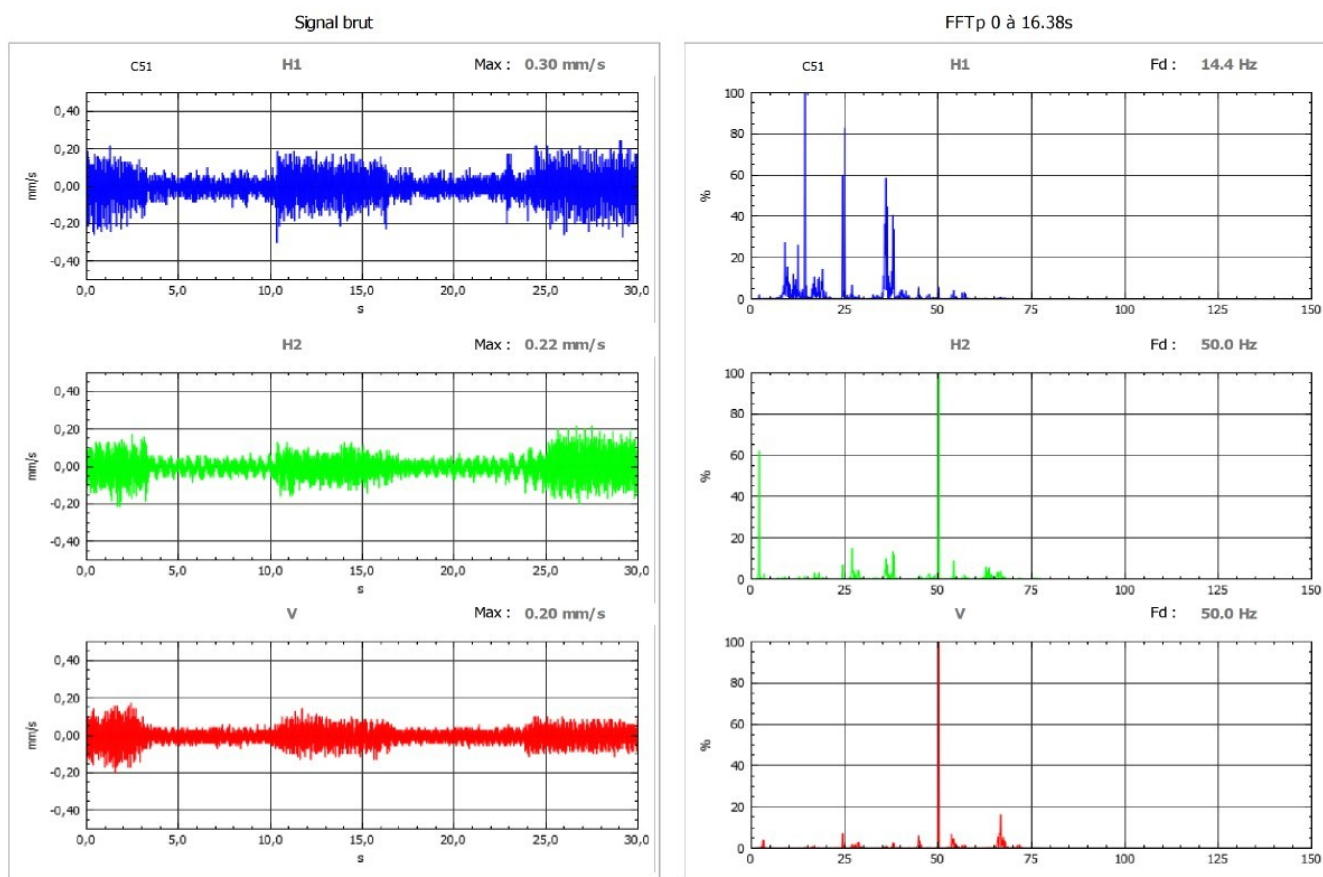


Figure 61: Signaux et FFT sur capteur C51 - CB1, BRH en zone 7

