

Mesure du bruit ambiant sous-marin par la bouée stéréophonique BOMBYX au Sud du Parc National Port-Cros de 2015 à 2018

Maxence Ferrari, Hervé Glotin

LIS, CNRS, Equipe DYNI
Université Toulon
maxence.ferrari@univ-tln.fr
herve.glotin@univ-tln.fr

RR DYNI 202207
Juillet 2022



Etude commandée par le SHOM, coordonnée par Dr. Bazile Kinda et Benjamin Olivier



Table des matières

1.Introduction et Matériel	3
2.Hydrophones	5
3.Calendrier des enregistrements	7
4.Méthode de calcul	8
4.1 Pseudo-code DSP	8
4.2 Code du calcul de DSP	9
4.3 Code de normalisation	9
4.4 Code de lecture de fichier wav	9
4.5 Validation par comparaison à Mambo	10
5.Moyenne des densités spectrales de puissance sur chaque sessions BOMBYX	11
Sessions 2016	13
Sessions 2017	15
Sessions 2018	16
6. Autres statistiques par session	18
7. Conclusion	29
Remerciements	32
Bibliographie	32

1.Introduction et Matériel

BOMBYX est une bouée acoustique conçue par Hervé Glotin avec la collaboration de Rougier et Anne Molcard, financée par TPM et la Chaire en analyse de scène acoustique d'H. glotin à l'Institut Universitaire de France. Elle a été conçue pour recevoir des instruments de courantologie mais surtout une antenne stéréophonique pour l'analyse du déplacement des cétacés.

Elle est installée en Méditerranée , près de l'île de Porquerolles (42° 56 N et 6°19 E), au sud de Hyères, dans le sud-est de la France. Elle est positionnée à 27 mètres de profondeur, et enregistre à 50 kHz avec deux hydrophones espacés de 1,83 m. Elle fait partie à la fois du Sanctuaire Pelagos (le Sanctuaire des mammifères marins de Méditerranée) et du parc national marin français (Port-Cros). Le sanctuaire Pelagos est une aire marine protégée de 87 500 km², faisant l'objet d'un accord entre trois pays (Italie, France, Monaco) pour la protection des mammifères marins. Ce sanctuaire comprend les eaux côtières et la zone pélagique comprise entre les promontoires de la presqu'île de Giens et le Fosso Chiarone dans le sud de la Toscane.

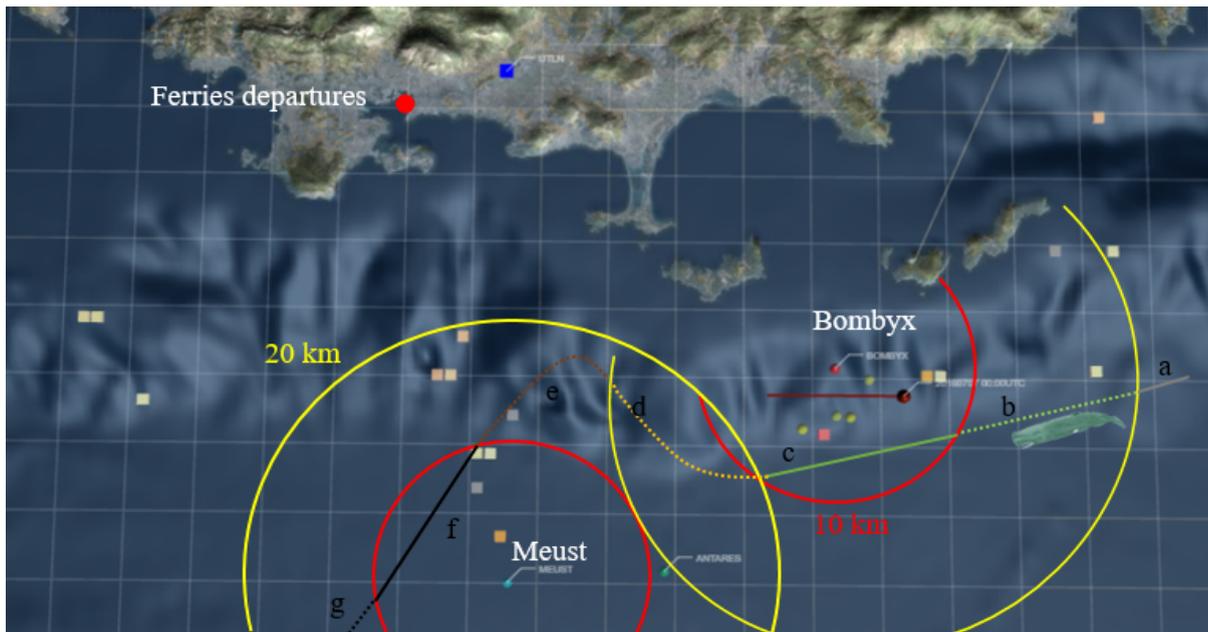


Figure 1.1 : Position de BOMBYX et son rayon d'action pour les delphinidés (rouge) et les grands cétacés cachalots et rorqual. On représente aussi le système Meust complément de nos observations.



Figure 1.2 : le tube d'enregistrement de Bombyx, avec sa carte son OSEAN, et ses deux hydrophones Neptune HN1



Figure 1.3 : La bouée BOMBYX équipée de son ADCP ce qui a permis une mesure des courants dans la première année et constater que la bouée était stable, calée dans le courant Ligure, avec ses deux hydrophones dirigés vers le Sud dès sa configuration finale en 2016.

La carte son a été fabriquée par OSEAN SA et est alimentée par 50 piles D. Le stockage est de 500 Go, avec 4 cartes SD de 128 Go.

Le protocole d'enregistrement a évolué au fil des ans (d'un enregistrement continu à 5 minutes toutes les 20 minutes, variant entre des encodages 16 et 24 bits), avec des

sessions d'enregistrement d'environ 3 mois. Une équipe de plongeurs est alors envoyée pour changer les piles et récupérer le disque dur contenant les enregistrements.

2. Hydrophones

Deux hydrophones sont utilisés dans ce protocole en 2015 : un Neptune HN1 SN 24686 (voie 0) et un HTI (voie 1), puis dès 2016 deux HN1 (voie 0 et 1).

La calibration du SN 24686 donnée par le constructeur est assez précise (voir annexe). En revanche, la calibration du HTI (voie 1) est peu précise (tous les 5 kHz à partir de 10 kHz), aussi nous l'avons étendue avec la sensibilité du Neptune voie 0. Ceci implique une distorsion visible en 2015 de la voie 1 qui n'est pas exploitable.

De plus les deux hydrophones sont positionnés l'un vers la surface (voie 0), l'autre vers le fond tête en bas (voie 1). Les échosurfaces ont des réponses différentes.

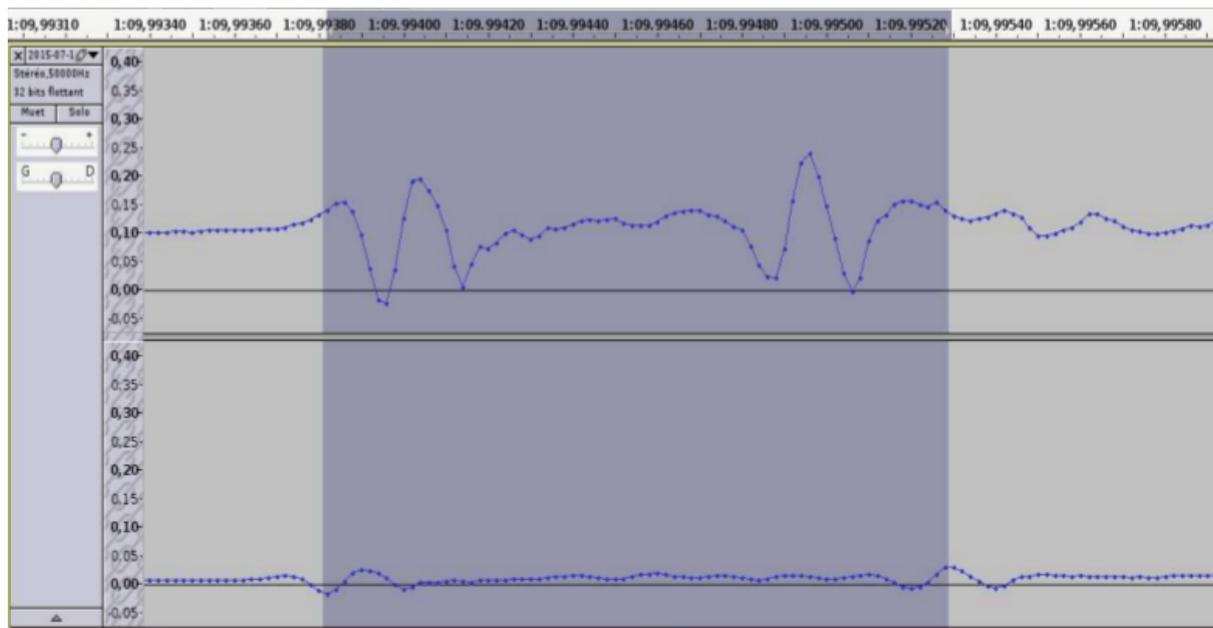


Figure 2.1 : Bombyx en 2015, exemple de réponse d'écho surface. (haut): la voie pointant vers la surface (HN1), (bas) l'hydrophone pointant vers le fond (HTI).



Figure 2.2 : La bouée BOMBYX en 2016 avec ses deux hydrophones HN1 pointant vers le sud, la voie 0 est au premier plan (Est), la voie 1 au fond (Ouest).

A partir de 2016, ce sont deux Neptune HN1 qui équipent BOMBYX. Ils sont placés par la suite toujours de la même manière, pointant vers l'horizon, au bout de deux tiges aluminium avec découplage par néoprène.

Leurs numéros de série sont, pour la voie 0 = SN 24686, et la voie 1 = SN 24687. Ils ont tous les deux été calibrés avec un pas fin à partir de 1 kHz. Nous avons extrapolé jusqu'à 100 Hz leur sensibilité. Les courbes sont reportées ci-dessous.

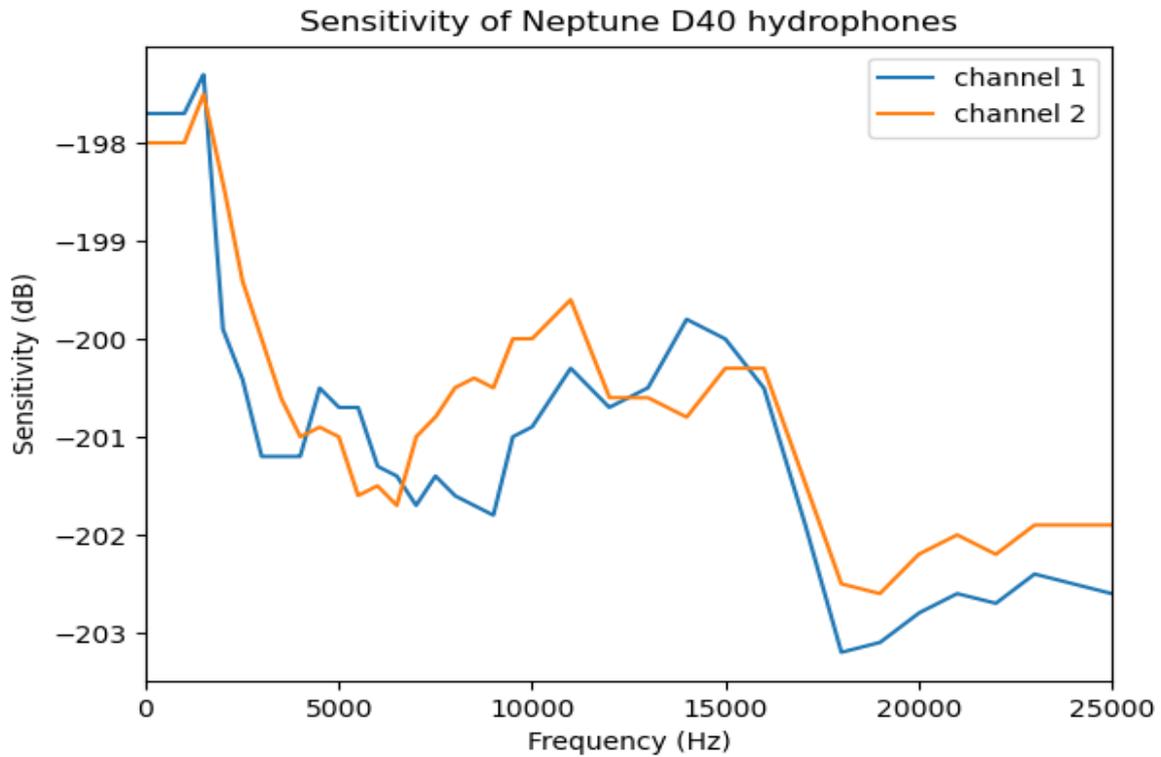


Figure 2.3 : représentation graphique des tables de calibrations constructeur des deux voies 0 et 1 Neptune HN1 équipant Bombyx, dès 2015 pour la voie 0, et dès 2016 pour les deux voies (lire voie 0 et 1 en légende). En dessous de 1 kHz les valeurs sont extrapolées.

Valeurs de ces courbes disponibles ici en numérique :

<http://sabiiod.lis-lab.fr/workspace/BOMBYX/hydro.csv>

3. Calendrier des enregistrements

Les déploiements de la bouée BOMBYX est fait sur plusieurs sessions d'environ 3 mois chacune. Sont livrés suivant contrat la voie 0 et pour nov. 2018 la voie 1 en plus car la voie 0 n'est plus alignée.

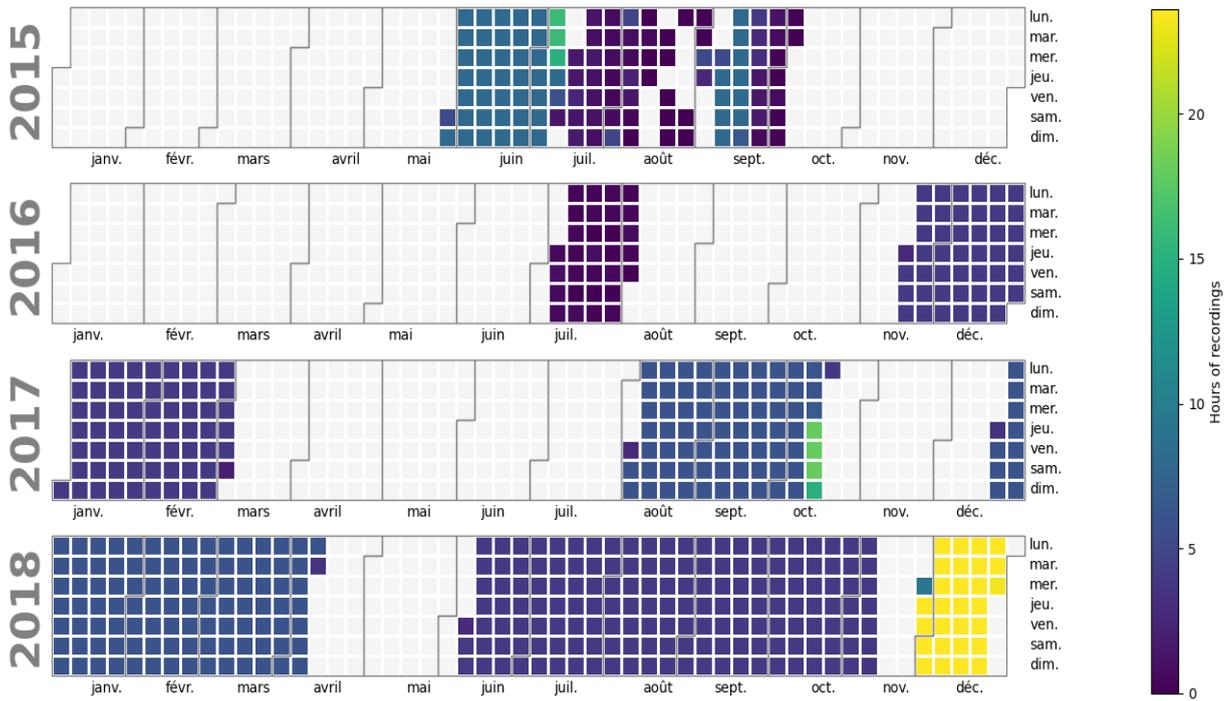


Figure 3.1 : Répartition des enregistrements BOMBYX.

4. Méthode de calcul

4.1 Pseudo-code DSP

La DSP est calculée suivant cette séquence :

- 1) Charger le son
- 2) Charger la sensibilité d'hydrophone correspondante pour chaque segment de 10 s et pour chaque canal :
 - a) Calculer le DSP en utilisant la méthode de welch pour 4097 fréquences
 - b) Ajustez chaque fréquence en fonction de la sensibilité, du gain ADC et de la plage.

4.2 Code du calcul de DSP

Calcul de la DSP d'un signal son par segment de 10 secondes

sound: array numpy de forme (nb samples, nb voies)

sr: fréquence d'échantillonnage

avg: 'mean' ou 'median' façon de réduire les DSP des différents signal en une seule DSP

:

```
def process(sound, sr, avg='mean'):
    length = len(sound) - (len(sound) % (10*sr))
    sound = sound[(len(sound)-length)//2:(len(sound)-length)//2 + length].reshape(
                                                -1, 10*sr, sound.shape[1])

    nfft = 2**round(log2(sr/5))
    f, psd = sg.welch(sound, fs=sr, nperseg=nfft, average=avg, axis=1)
    return f, psd
```

4.3 Code de normalisation

Code pour convertir le niveau en Pa, et calculer la DSP

hydro_path : chemin du fichier de calibration des hydrophones

```
hydro = np.loadtxt(hydro_path, delimiter=',')
meta = {'gain':10**(-70/20) if time < pd.to_datetime('2016-11-17') else 10**(-60/20),
        'gain_corr':5.17/5,
        'sensitivity':hydro[:, 1:].mean(0)}
sound *= 2.5 * (meta['gain_corr'] * meta['gain'])
f, psd = process(sound, sr, avg=avg_mode)
for i in range(sound.shape[1]):
    psd[:, i] *= 10**(-np.interp(f, hydro[:, 0]*1000, hydro[:, 1+i])/10)
```

4.4 Code de lecture de fichier wav

Pour s'assurer d'une bonne lecture des fichiers:

```
import soundfile as sf
sound, sr = sf.read(path)
```

path : chemin du fichier son

4.5 Validation par comparaison à Mambo

L'étude menée a comme objectif de comparer des méthodes d'estimation du bruit ambiant, l'une développée par le Shom, l'autre par l'université de Toulon. Ces comparaisons ont été appliquées sur 2 jeux de données test, l'un provenant du réseau MAMBO opéré par le Shom et l'autre provenant de la station BOMBYX.

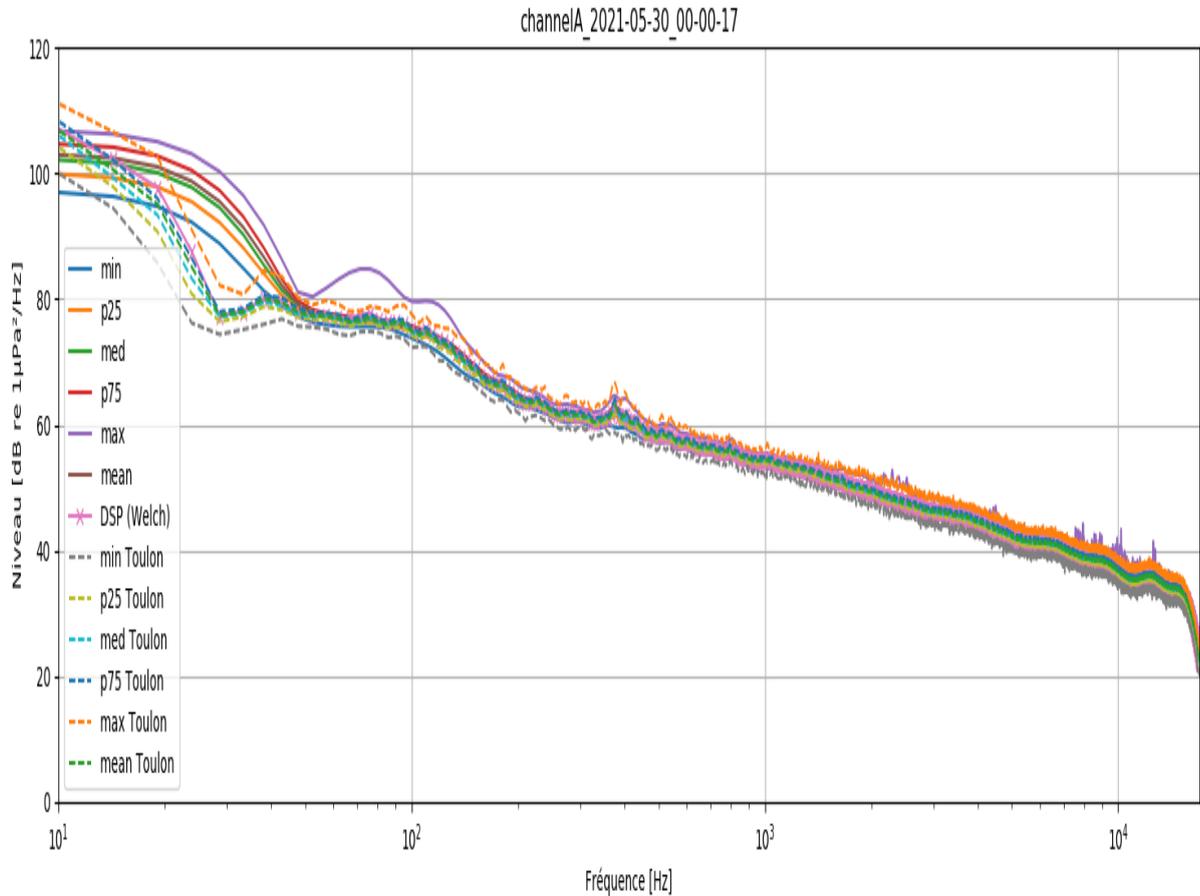


Figure 4.1 : Statistiques des densités spectrales de puissance pour un fichier du réseau MAMBO

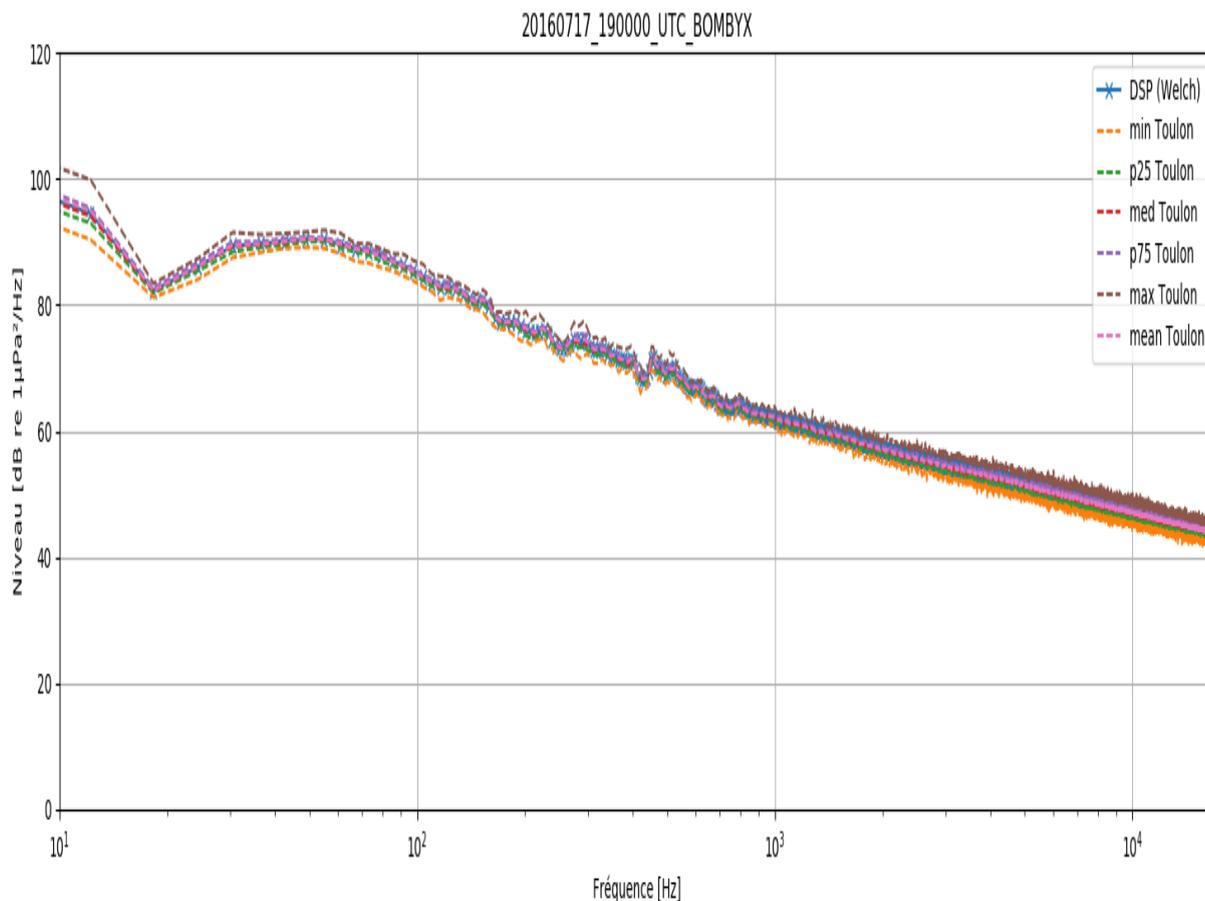


Figure 4.2 : Statistiques des densités spectrales de puissance pour un fichier de BOMBYX

Ces résultats montrent que les méthodes convergent sur les 2 jeux de données, et que les chaînes de calibration sont bien maîtrisées par les 2 parties.

5. Moyenne des densités spectrales de puissance sur chaque sessions BOMBYX

Les résultats qui suivent sont disponibles en tables CSV sur http://sabiiod.lis-lab.fr/workspace/PSD/PSD_results.7z et utilisable sur autorisation des auteurs.

Les graphiques suivants donnent la moyenne par session, puis les médianes et autres statistiques.

Sessions 2015

L'hydrophone HN1 Neptune équipe la voie 0. En revanche, c'est un HTi en voie 1, dont la calibration n'est pas précise et est considérée comme celle du HN1. La courbe en 2015 de la voie 1 n'est donc ici donnée qu'à titre indicatif.

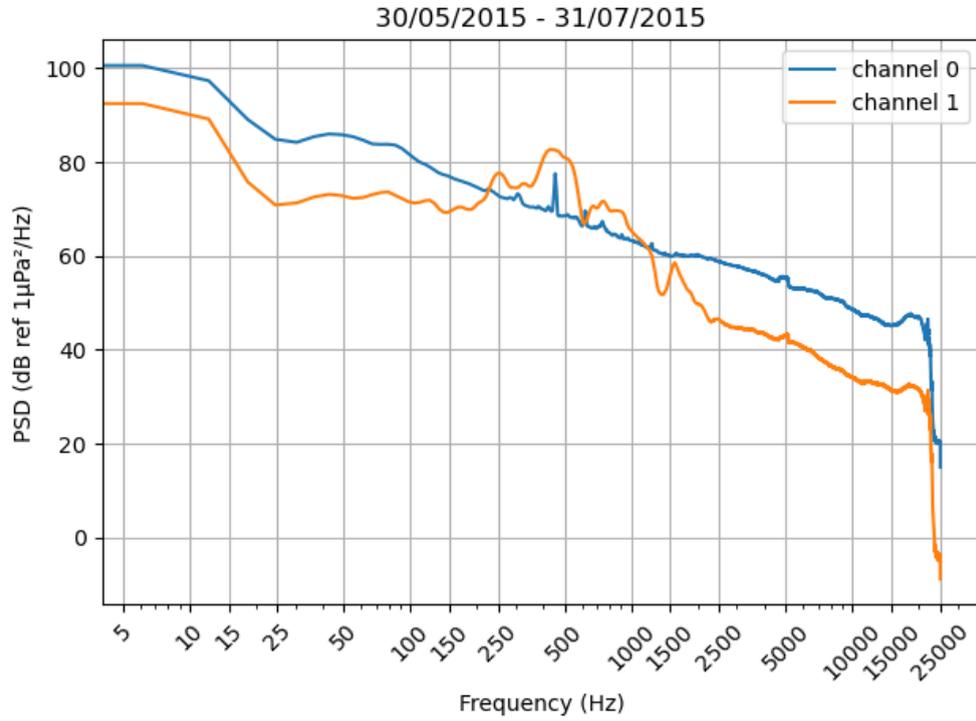


Figure 5.1 : moyenne des densités spectrales de puissance pour la session du 30/05/2015 au 31/07/2015

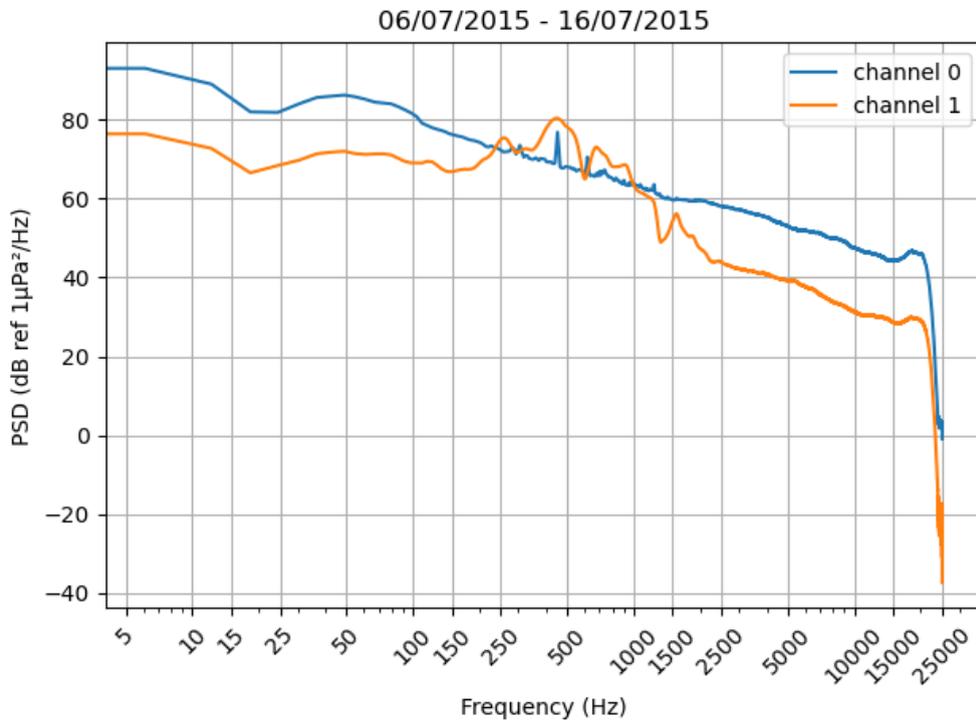


Figure 5.2 : moyenne des densités spectrales de puissance pour la session du 06/07/2015 au 16/07/2015

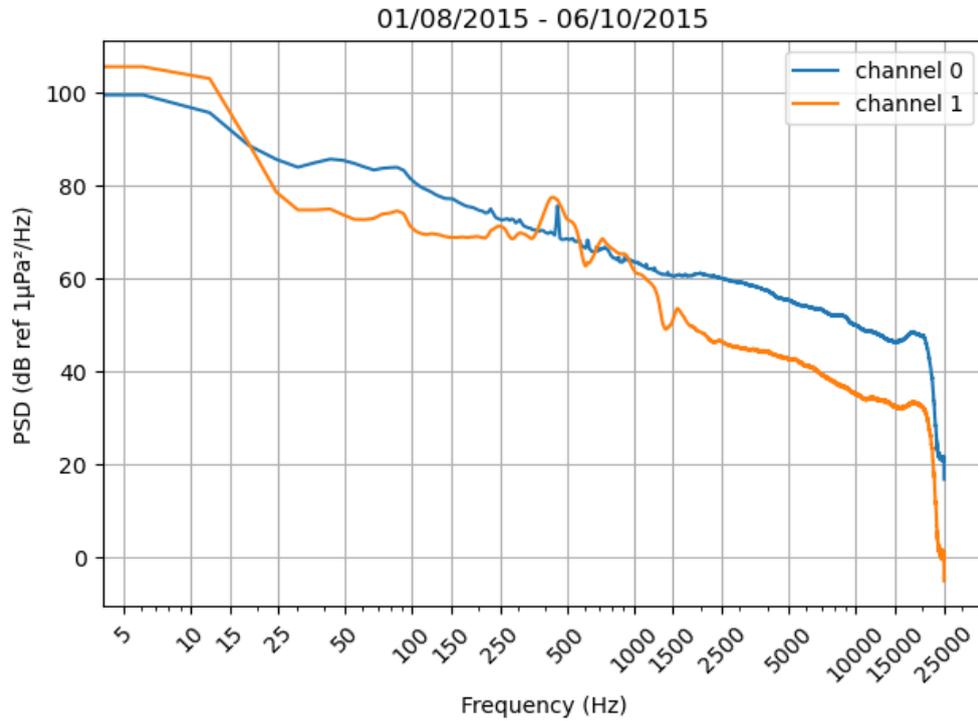


Figure 5.3 : moyenne des densités spectrales de puissance pour la session du 01/08/2015 au 06/10/2015

L'hydrophone HTI en voie 1 n'est pas finement calibré (un point tous les 5 kHz seulement) et est extrapolé ce qui peut expliquer sa distorsion. D'autre part, dans sa première configuration, Bombyx est montée avec un hydrophone, voie 0) vers la surface et un vers le fond voie 1 (cf rapport VAMOS Glotin et al 2017).

Sessions 2016

Dès 2016 la configuration est 2 HN1, monté sur barre pointant vers horizon. Les différences éventuelles sont imputable au courant et vibration de structure (voir courants mesurés sur BOMBYX dans Rey et al 2021).

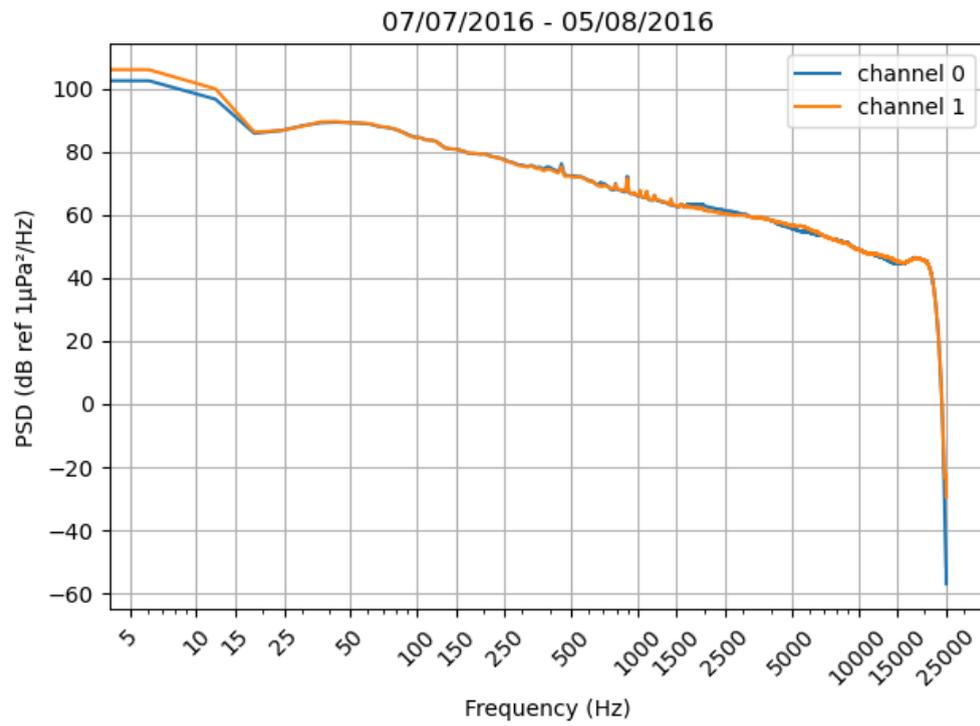


Figure 5.4 : moyenne des densités spectrales de puissance pour la session du 07/07/2016 au 05/08/2016

Sessions 2017

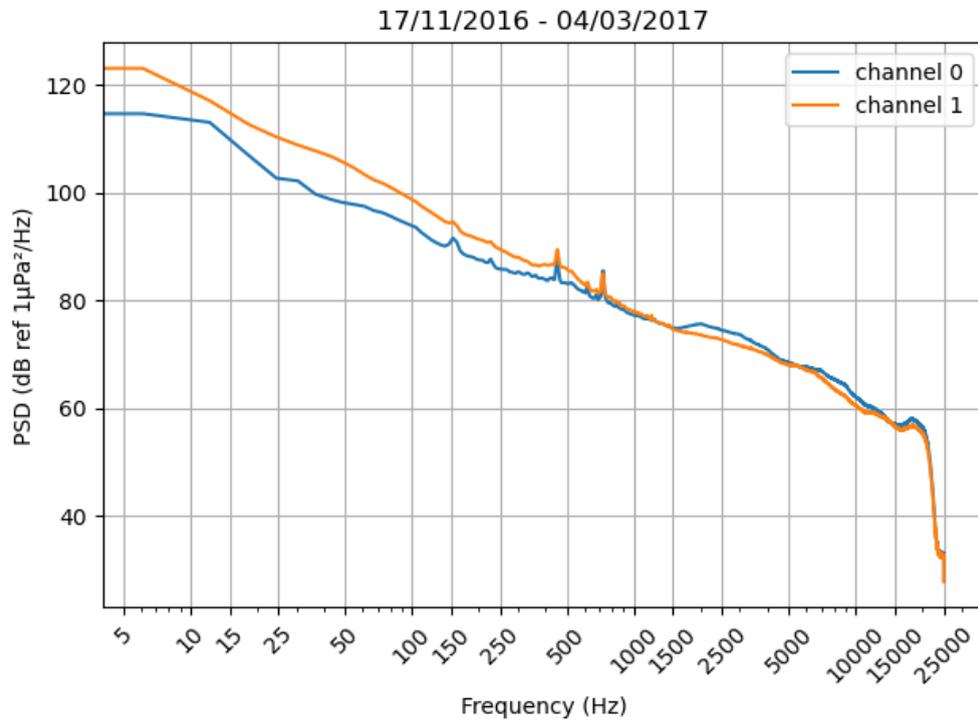


Figure 5.5 : moyenne des densités spectrales de puissance pour la session du 17/11/2016 au 04/03/2017

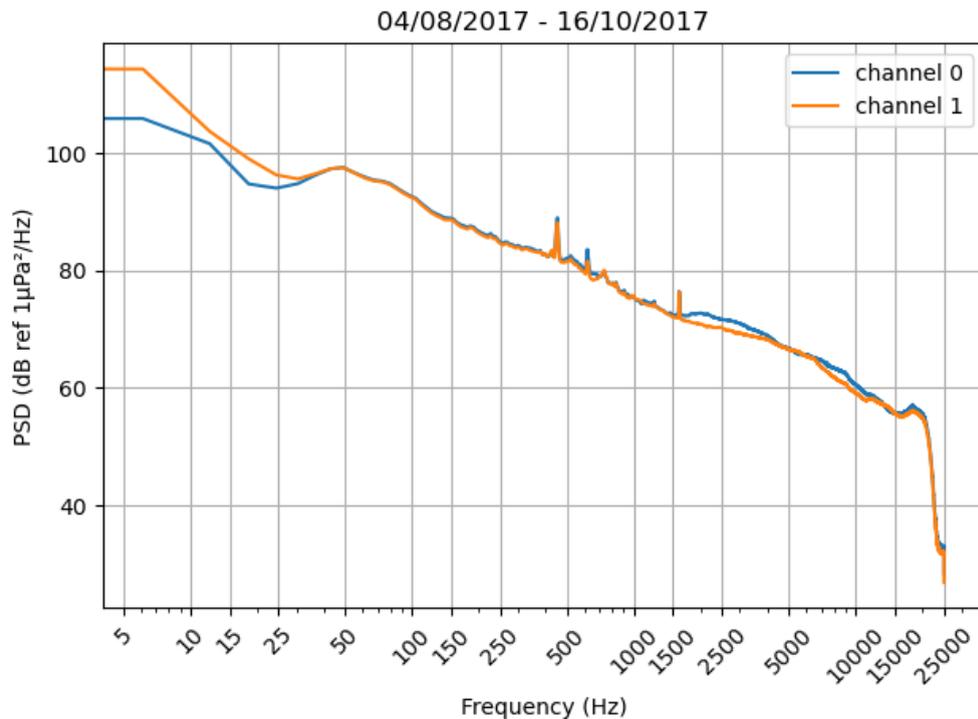


Figure 5.6 : moyenne des densités spectrales de puissance pour la session du 04/08/2017 au 16/10/2017

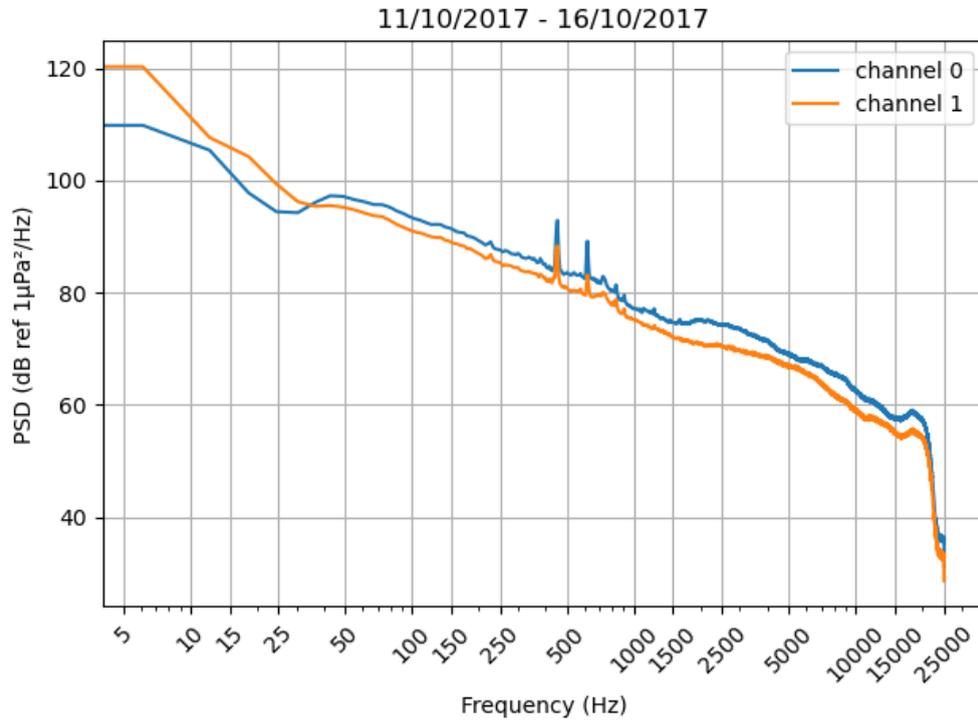


Figure 5.7 : moyenne des densités spectrales de puissance pour la session du 11/10/2017 au 16/10/2017

Sessions 2018

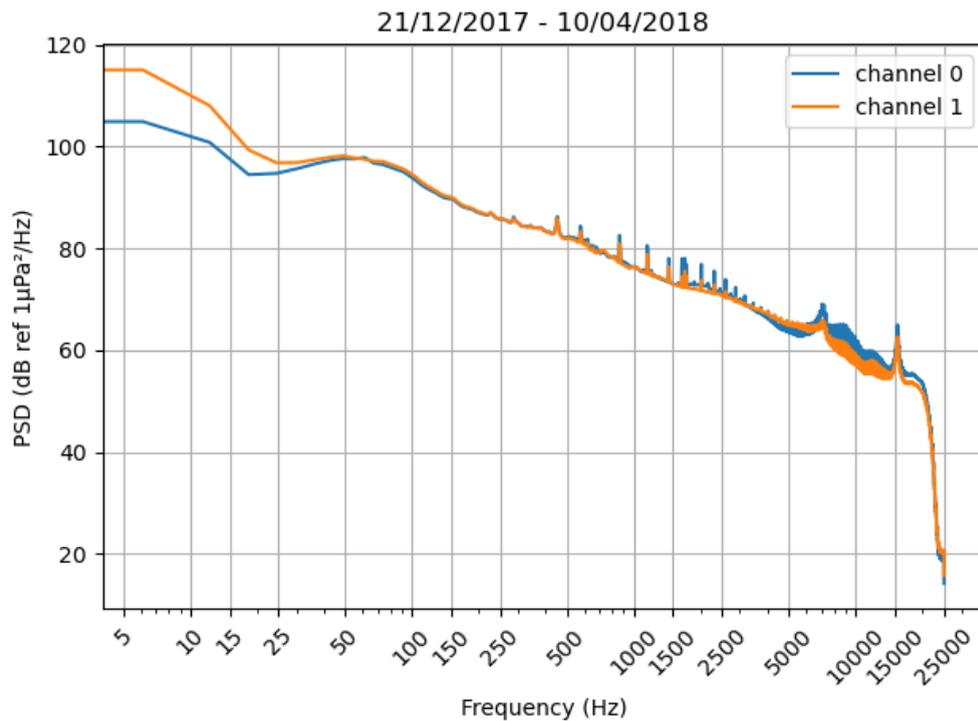


Figure 5.8 : moyenne des densités spectrales de puissance pour la session du 21/12/2017 au 10/04/2018

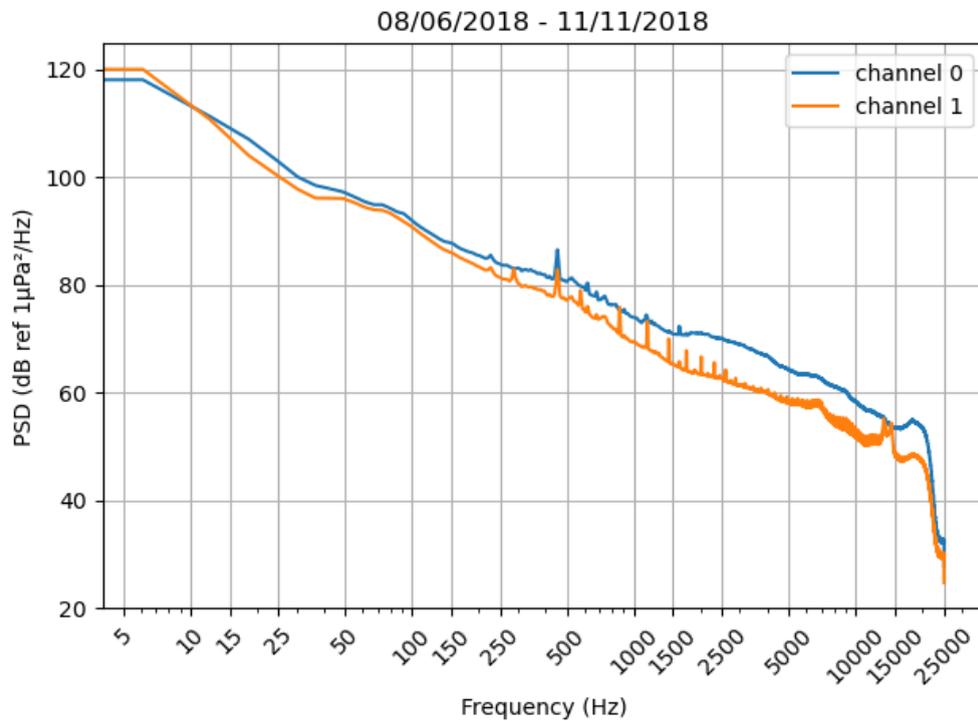


Figure 5.9 : moyenne des densités spectrales de puissance pour la session du 08/06/2018 au 11/11/2018

De 2016 à avril 2018, les hydrophones sont similaires jusqu'à 100 Hz. Au-delà de 100 Hz l'extrapolation de la calibration n'est sans doute pas fiable. Cependant nous trouvons une bonne adéquation des deux courbes de juin à novembre 2018 de 5 Hz à 100 Hz ce qui suggère que les deux hydrophones sont cohérents dans ces fréquences. La différence avec les sessions précédentes est potentiellement les fixations et découplage des hydrophones à la structure, qui nous avons amélioré de session en session. En effet, le courant Ligure venant d'Est, engendre des vibrations dans ces basses fréquences, avec turbulences différentes sur la voie 0 (Est) et la voie 1 (Ouest). Nous préconisons de ne relever les dB en dessous de 100 Hz que pour l'hydrophone le plus linéaire de 5 kHz à 5 Hz ce qui indique qu'il serait bien découplé des bruits de structures induites par le courant.

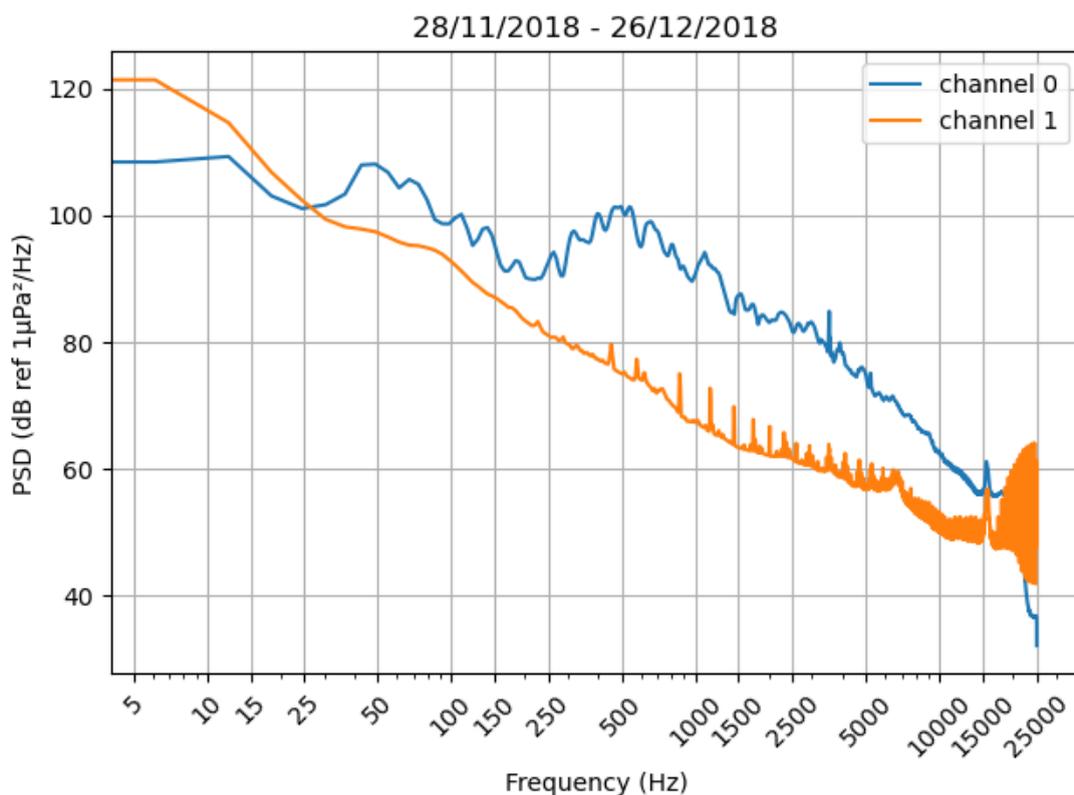


Figure 5.10 : moyenne des densités spectrales de puissance pour la session du 28/11/2018 au 26/12/2018

6. Autres statistiques par session

Nous complétons les tables avec les statistiques sur les DSP par session (min, max, min, 25 per, med, 75 per) dont voici les résumés graphiques, les données étant dans l'archive numérique livrée.

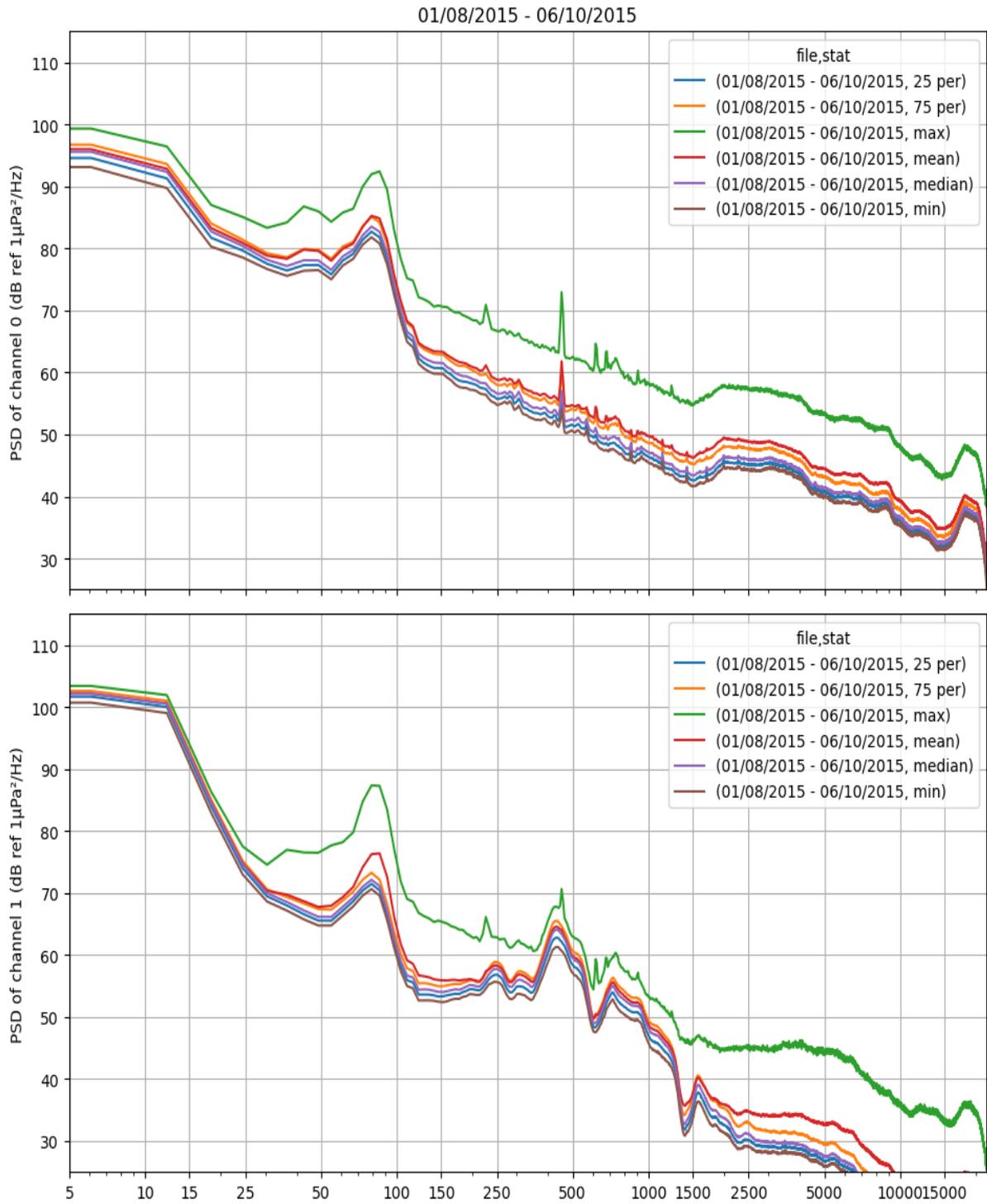


Figure 6.1 : Statistiques des densités spectrales de puissance pour la session du 01/08/2015 au 06/10/2015

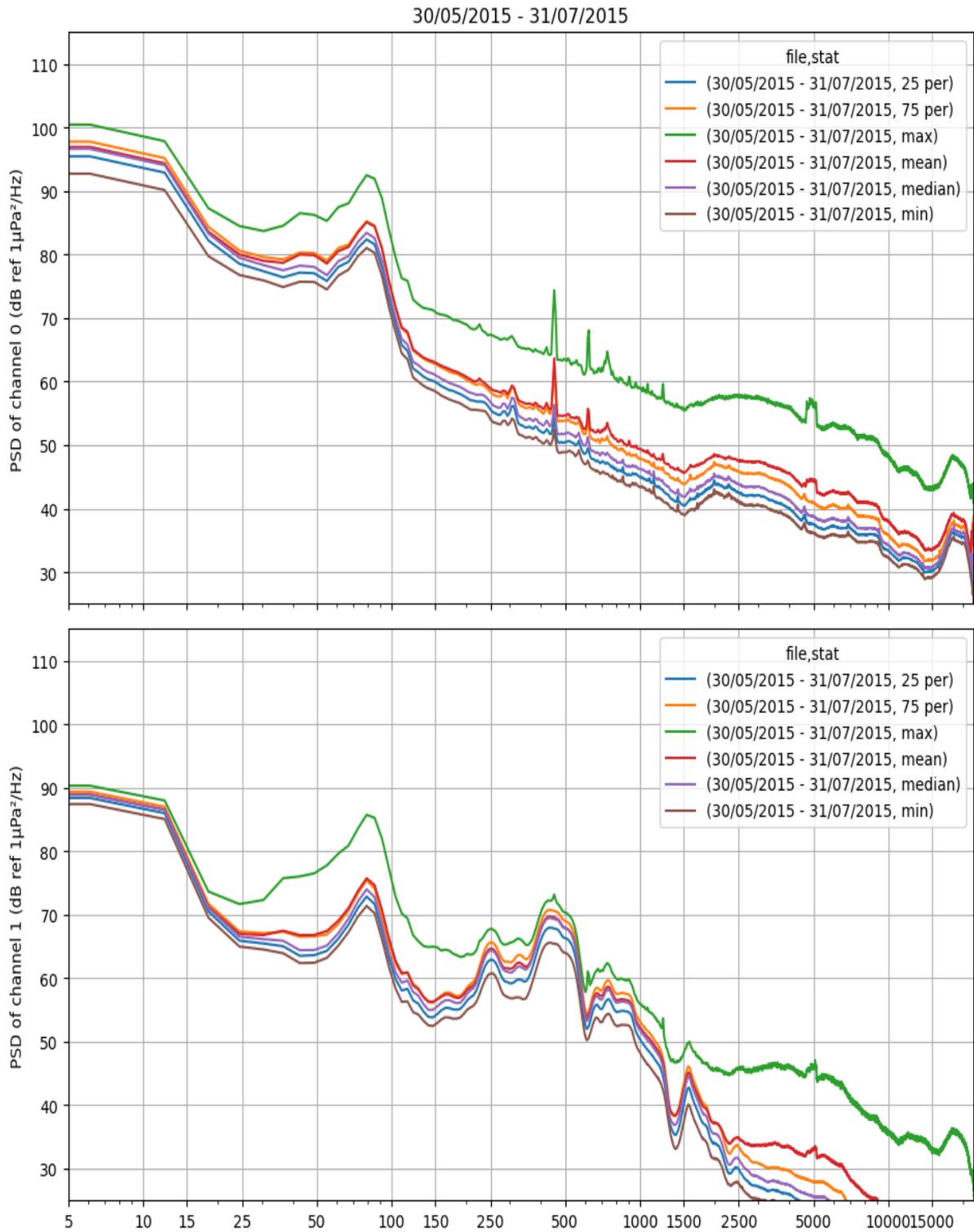


Figure 6.2 : Statistiques des densités spectrales de puissance pour la session du 30/05/2015 au 31/07/2015

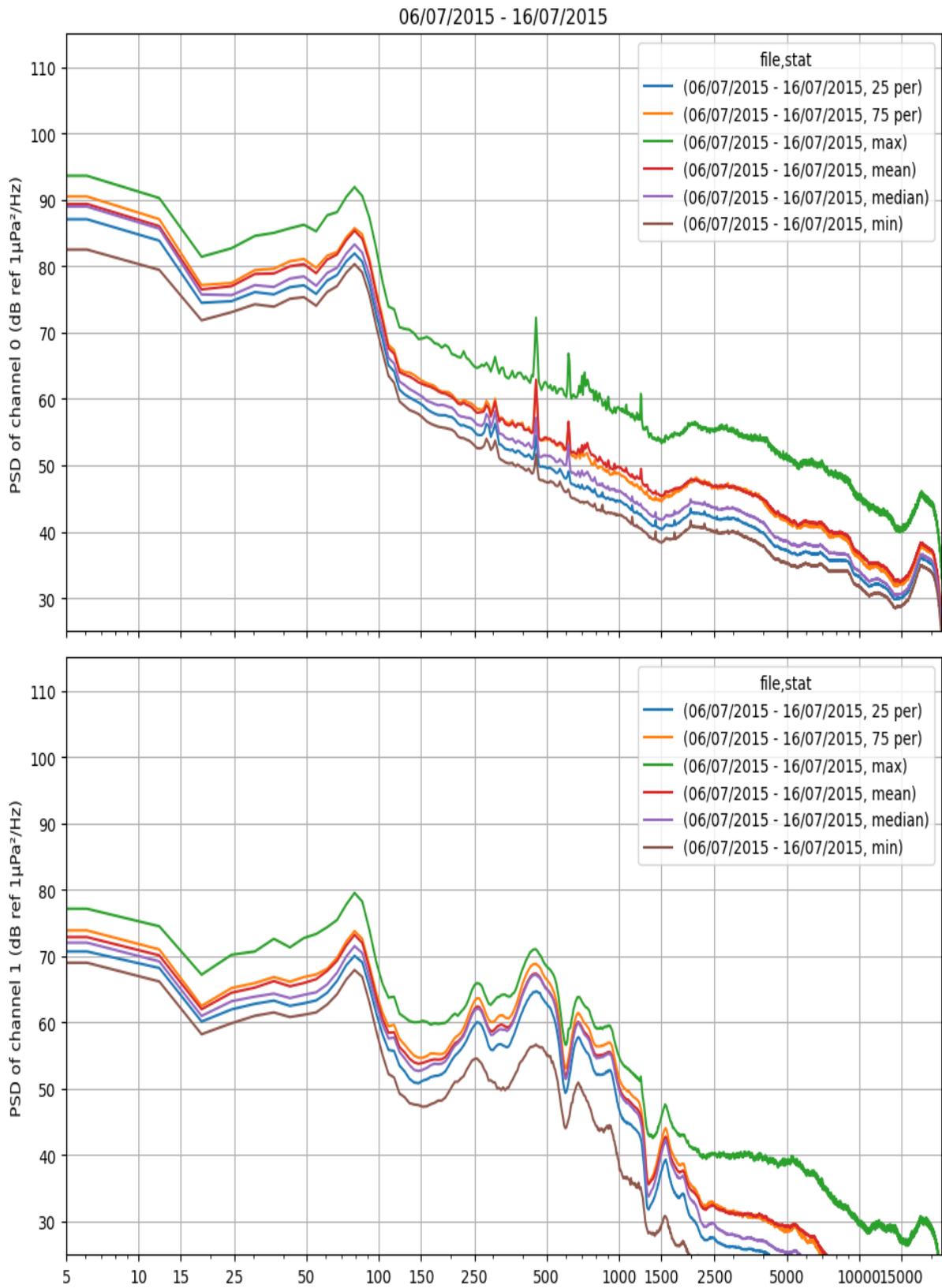


Figure 6.3 : Statistiques des densités spectrales de puissance pour la session du 06/07/2015 au 16/07/2015

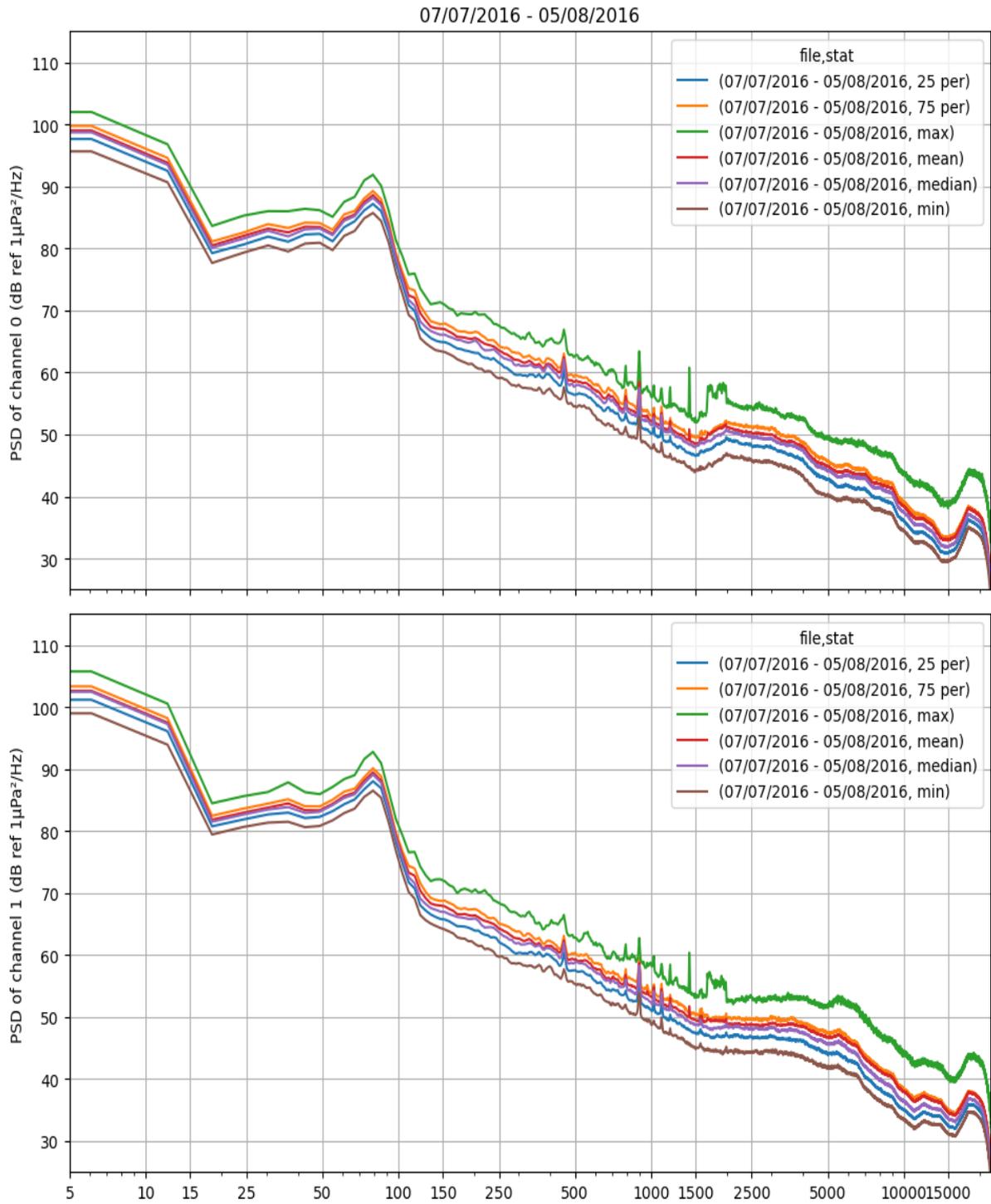


Figure 6.4 : Statistiques des densités spectrales de puissance pour la session du 07/07/2016 au 05/08/2016

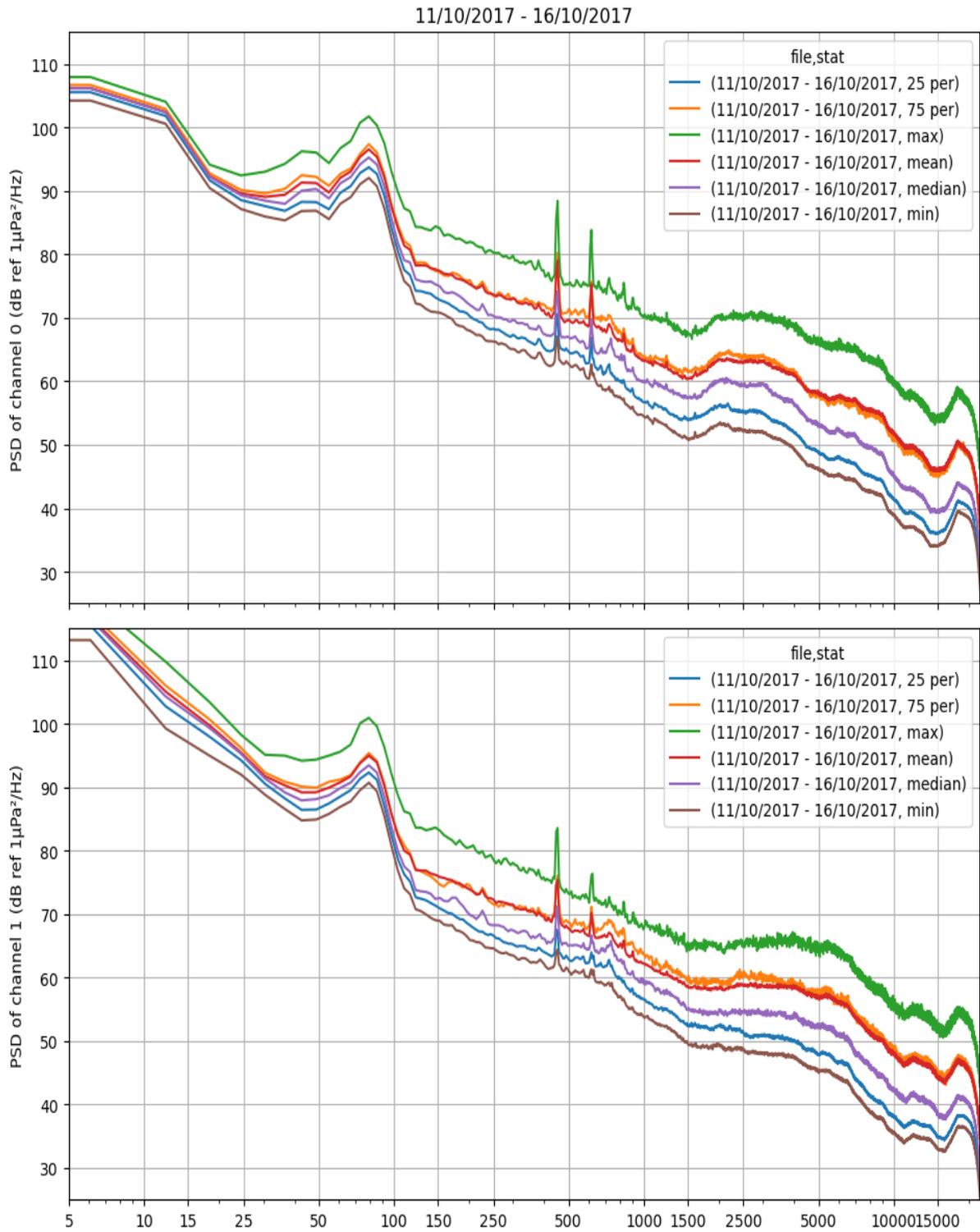


Figure 6.5 : Statistiques des densités spectrales de puissance pour la session du 11/10/2017 au 16/10/2017

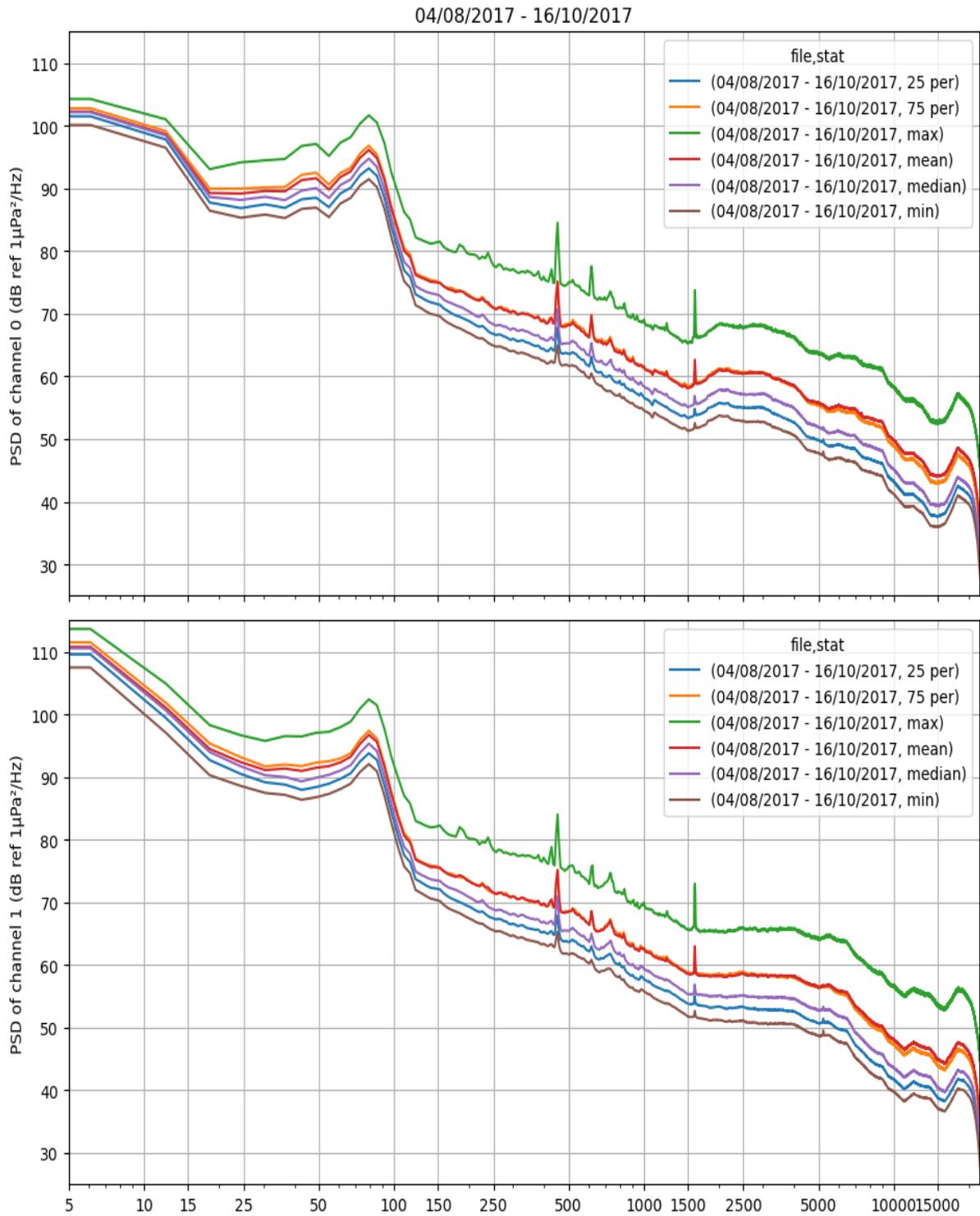


Figure 6.6 : Statistiques des densités spectrales de puissance pour la session du 04/08/2017 au 16/10/2017

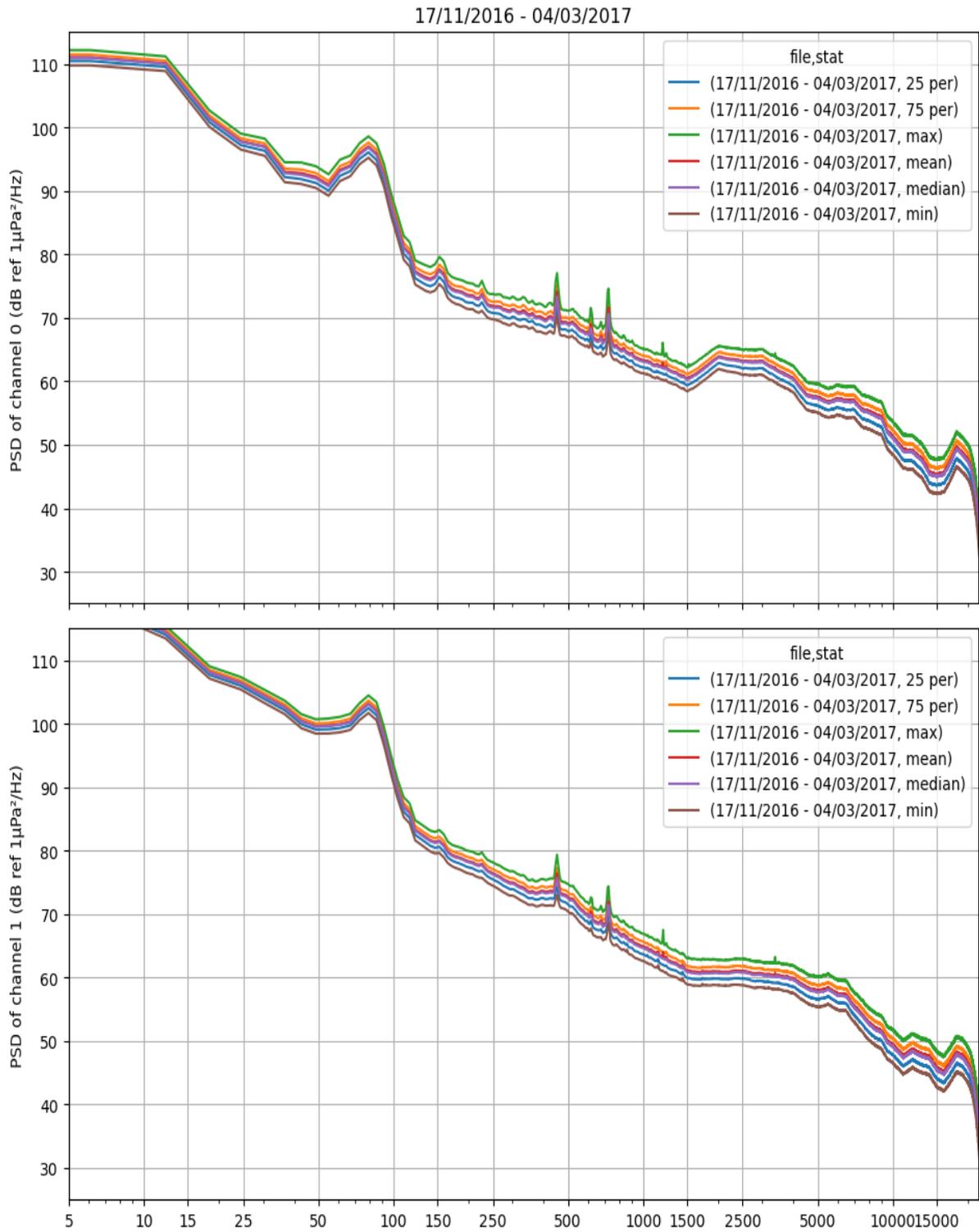


Figure 6.7 : Statistiques des densités spectrales de puissance pour la session du 17/11/2016 au 04/03/2017

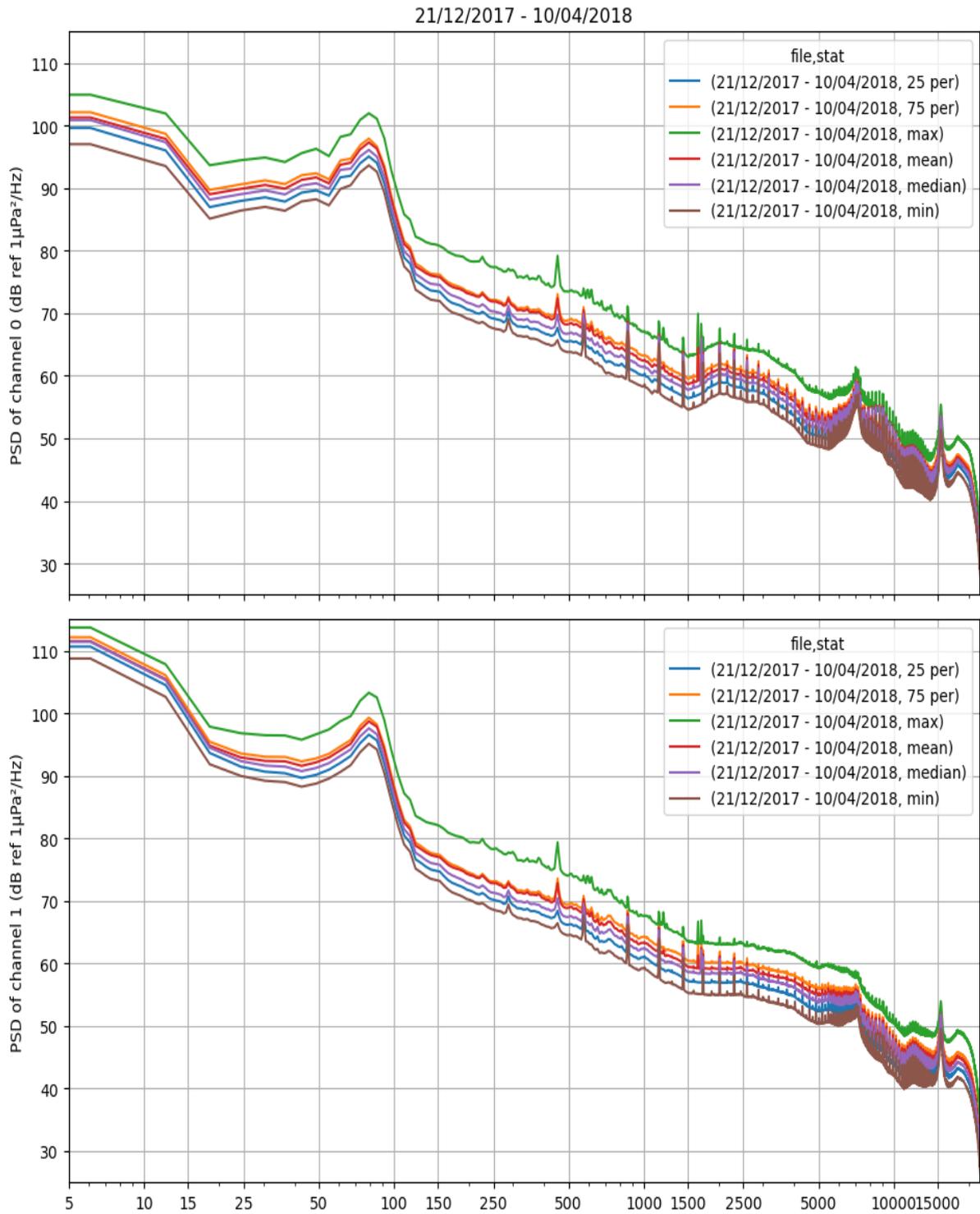


Figure 6.8 : Statistiques des densités spectrales de puissance pour la session du 21/12/2017 au 10/04/2018

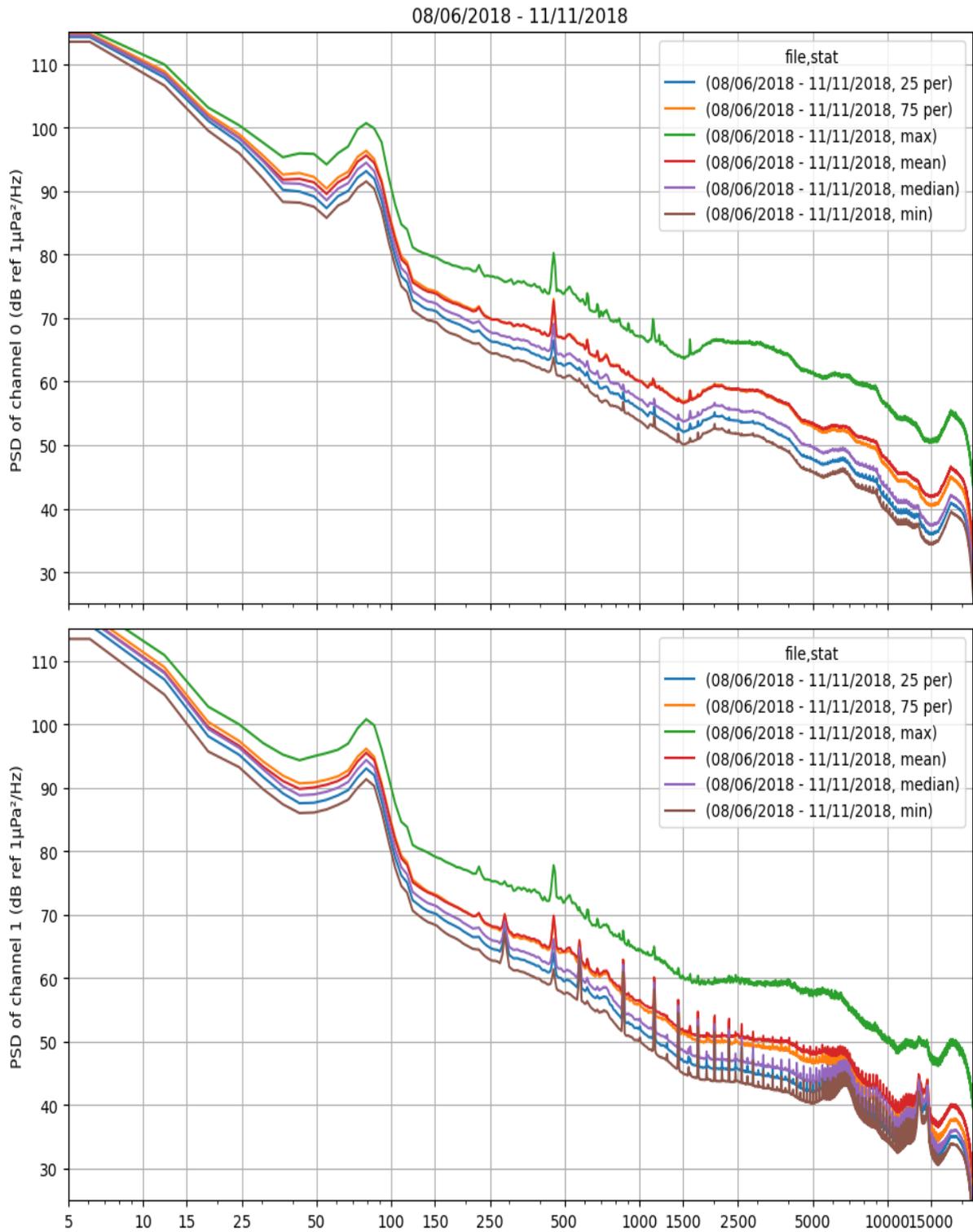


Figure 6.9 : Statistiques des densités spectrales de puissance pour la session du 08/06/2018 au 11/11/2018

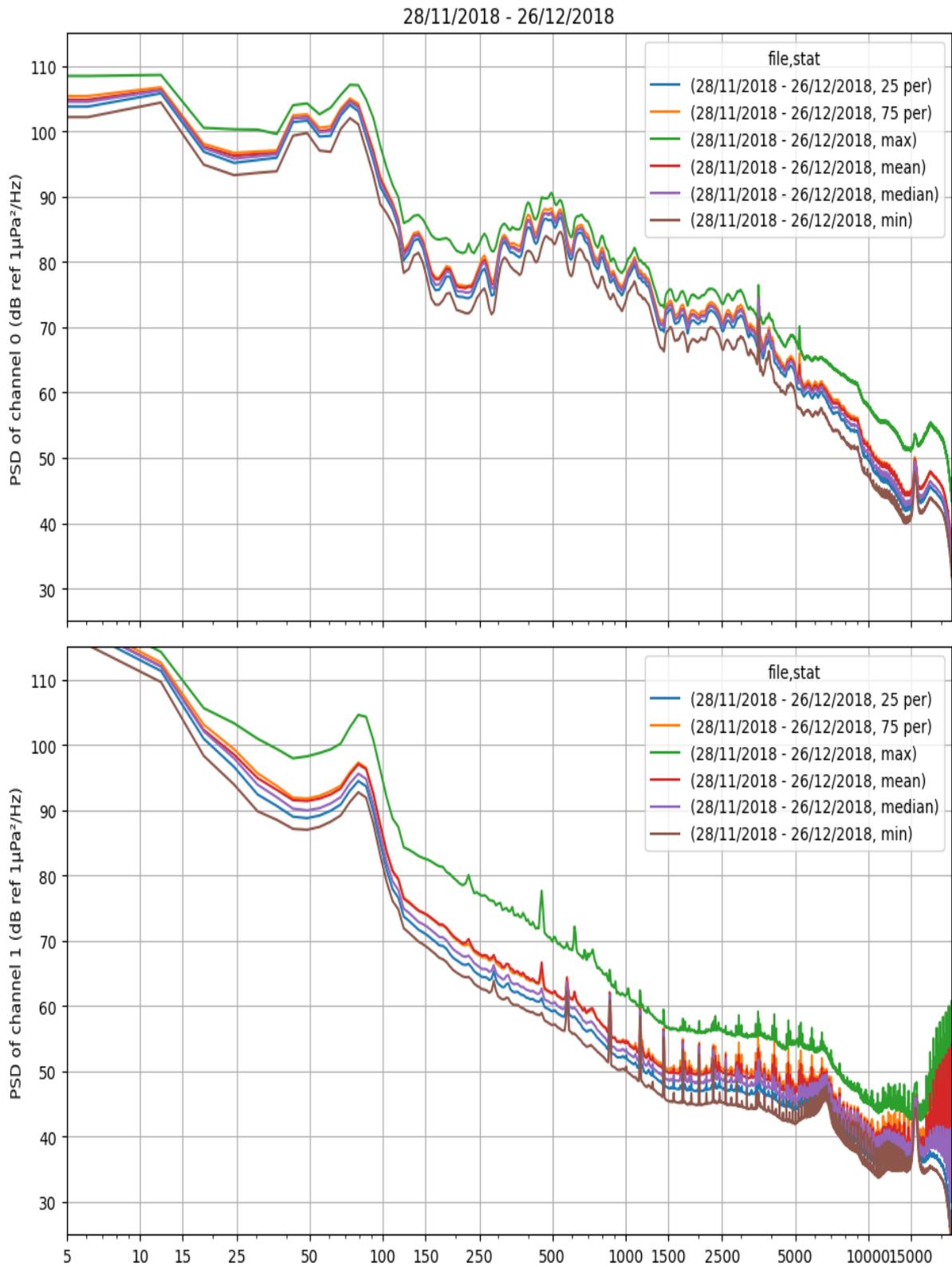


Figure 6.10 : Statistiques des densités spectrales de puissance pour la session du 28/11/2018 au 26/12/2018

7. Conclusion

Les bruits propres de la bouée sont dus au biofouling et courants et peuvent expliquer des différences sur les dernières sessions. On distingue des pics et harmoniques sur DSP qui grandissent.

Du fait du changement d'hydrophone en 2016 sur la voie 1, il est préférable d'utiliser les résultats issus de la voie 0 pour ces analyses. Néanmoins la voie 0 pour la dernière session n'est pas convenable. Aussi nous suggérons l'usage pour cette dernière session uniquement de la voie 1 qui est alignée avec les autres sessions.

Des saturations apparaissent parfois, comme sur la dernière session. Toutes les saturations ont bien sûr été retirées du set pour tous les calculs.

La méthode de calibration par Wenz a été appliquée en Moyenne Fréquence pour valider le tout (Poupard et al. 2021) mais n'est valide que en MF.

Cette étude montre que malgré les approximations basses fréquences liées à la calibration des niveaux, il est possible de travailler sur les tendances des niveaux mesurés par un même capteur au fil des années.

Cette tendance est visible sur le graphique ci-dessous.

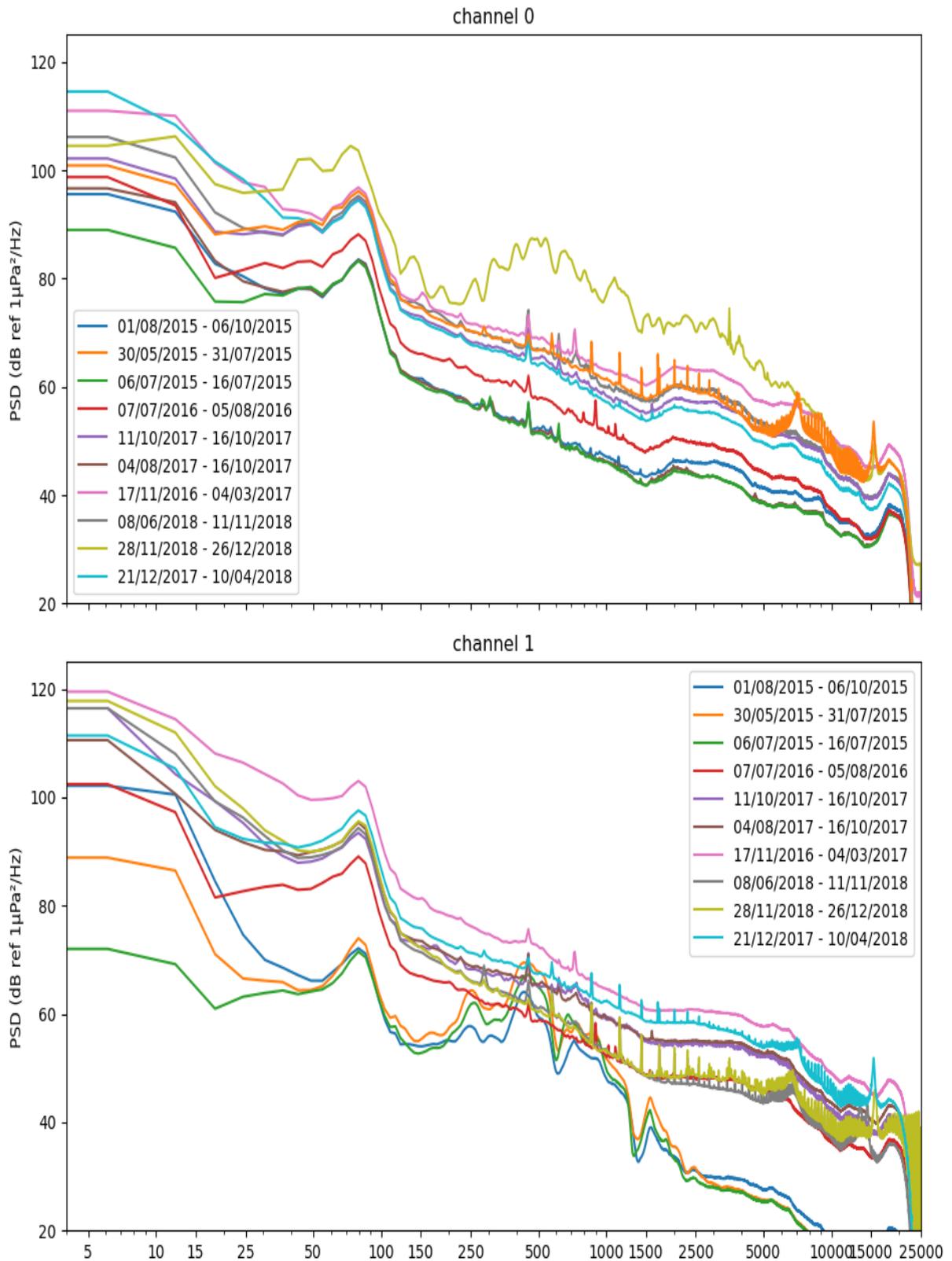


Figure 7.1 : Médianes des voies 0 et 1 par session

Les DSP montrent que le niveau dans les bandes tiers d'octaves centrées sur 63 Hz et 125 Hz sont très variables avec une dynamique de l'ordre de 20 dB, avec des niveaux minimums en été 2015 et des niveaux maximaux en hiver 2018.

La variation du bruit ambiant étant saisonnière, il serait préférable pour les saisons suivantes d'avoir une acquisition continue sur l'année pour permettre une analyse des tendances des niveaux acoustiques.

Des mesures complémentaires dans la même zone ont été produites avant et pendant le confinement Covid (Glotin et al 2021) et tendent à montrer par comparaison certaines composantes anthropophoniques.

Pour évaluer les niveaux acoustiques absolus et permettre la calibration de modèle de bruit de trafic par la suite, une calibration en basses fréquences des hydrophones sera préférable pour les saisons suivantes.

Remerciements

Merci à Bazile Kinda et Benjamin Olivier pour leurs conseils avisés et leur prise de recul sur ces Tera octet de bruits.

Ce rapport a été financé par le Shom et la Chaire IA ADSIL ANR-20-CHIA-0014-01.

Bombyx a été financée par l'Institut universitaire de France (Chaire H. Glotin en analyse de scène acoustique), TPM et CG83 et UTLN, ainsi que soutenue par le Parc national de Port-Cros, la Fondation Engie, et le MIO.

Nous remercions La société OSEAN pour avoir collaboré avec leur carte son et hydrophones à ces mesures.

Bibliographie

Best Ricard Paris Glotin, Temporal evolution of the Mediterranean fin whale song, août 2022, Scientific Report Nature, <https://www.nature.com/articles/s41598-022-15379-0>

Glotin et al., Visées Aériennes de Mammifères marins jointes aux Observations acoustiques Sous-marines de BOMBYX et ANTARES : nouveaux modèles en suivis et lois allométriques du *Physeter macrocephalus*, *Ziphius Cavirostris* et autres cétacés, Projet VAMOS, Research Report Pelagos, 2017, 14-37-83400PC
<https://www.sanctuaire-pelagos.org/en/tous-les-telechargements/etudes-scientifiques-studi-scientifici-studies/etudes-francaises/789-14-037-vamos>

Glotin et al, Sphyrna-Odyssey 2019-2020, Rapport I: Découvertes Ethoacoustiques de Chasses Collaboratives de Cachalots en Abysses & Impacts en Mer du Confinement COVID19, RR CNRS Monaco Exporations, FPA2, 2020, <http://sabiiod.org/pub/SO1.pdf>

Poupard Ferrari Best Glotin, Passive acoustic monitoring of sperm whales and anthropogenic noise using stereophonic recordings in the Mediterranean Sea, North West Pelagos Sanctuary, Scientific Report Nature, 2021, <https://www.nature.com/articles/s41598-022-05917-1>

Rey V, D. Lefevre, B. Zakardjian, M.I.O, Dynamique et échanges des Masses d'Eau entre la côte et le large : Rôles du Courant Nord et des épisodes météorologiques en Rade de Toulon, Rapport Dynamer, RR MIO, 2021
http://sabiiod.org/pub/BOMBYX/Rapport_Dynamer_final_ReyVincent_etal_dec2021.pdf