

Campagne d'enregistrement ELF-VLF en JN36HE et environs Août 2022 par F4IEW

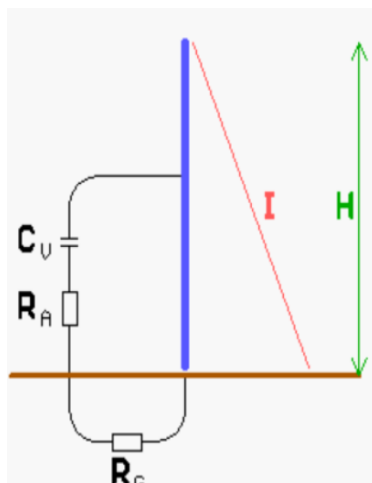
1/ Description de l'antenne active large bande :

L'antenne est un monopôle vertical court (E-field) qui peut être vu comme **la fin** d'un quart d'onde entière, où la distribution de la tension est (presque) constante et la diminution de distribution de courant est (presque) linéaire.

E-Field: composante électrique du champ électromagnétique

L'antenne est constituée de :

- Un tube métallique de 1m en inox positionné à 80 cm du sol
- La mise à la terre est réalisée au pied de l'antenne uniquement par les 3 brins à 45 degrés entre le bas du préamplificateur et la terre au pied de l'antenne. Les brins en cuivres multiconducteurs font également office d'haubanage de l'antenne.
- La capacité série de l'antenne est d'environ 10 pF à laquelle s'ajoute la capacité apportée par les deux brins horizontaux en haut de l'antenne (quelques pF).
- L'impédance série impédance de l'antenne et en particulier sa capacité série forme un filtre passe haut avec la capacité d'entrée du préamplificateur. Le choix du transistor d'entrée et la résistance série qui sera éventuellement ajoutée sont à prendre en considération.
- La résistance de rayonnement est très faible car la longueur d'onde $\lambda = c/f$ est très grande vis-à-vis de la taille réelle de l'antenne est extrêmement faible car proportionnel à H/λ avec $H=1\text{m}$ et $10\text{Hz} < f < 30\text{ KHz}$



$$R_A = \frac{40 \cdot \pi^2 \cdot H^2}{\lambda^2}$$

$$C_v = \frac{24 \cdot H}{\log\left(\frac{1.15 \cdot H}{d}\right)}$$

C_v = environ 10 pF/m + quelques PF grâce à l'ajout du chapeau en haut de l'antenne afin de diminuer la fréquence de coupure basse par une augmentation de la capacité série de l'antenne.

Plus d'informations sur ce point sont disponibles à l'adresse suivante :

<http://www.on8im.be/fr/theorie-antennes-136khz/59-2-2-monopole-vertrical-court.html>

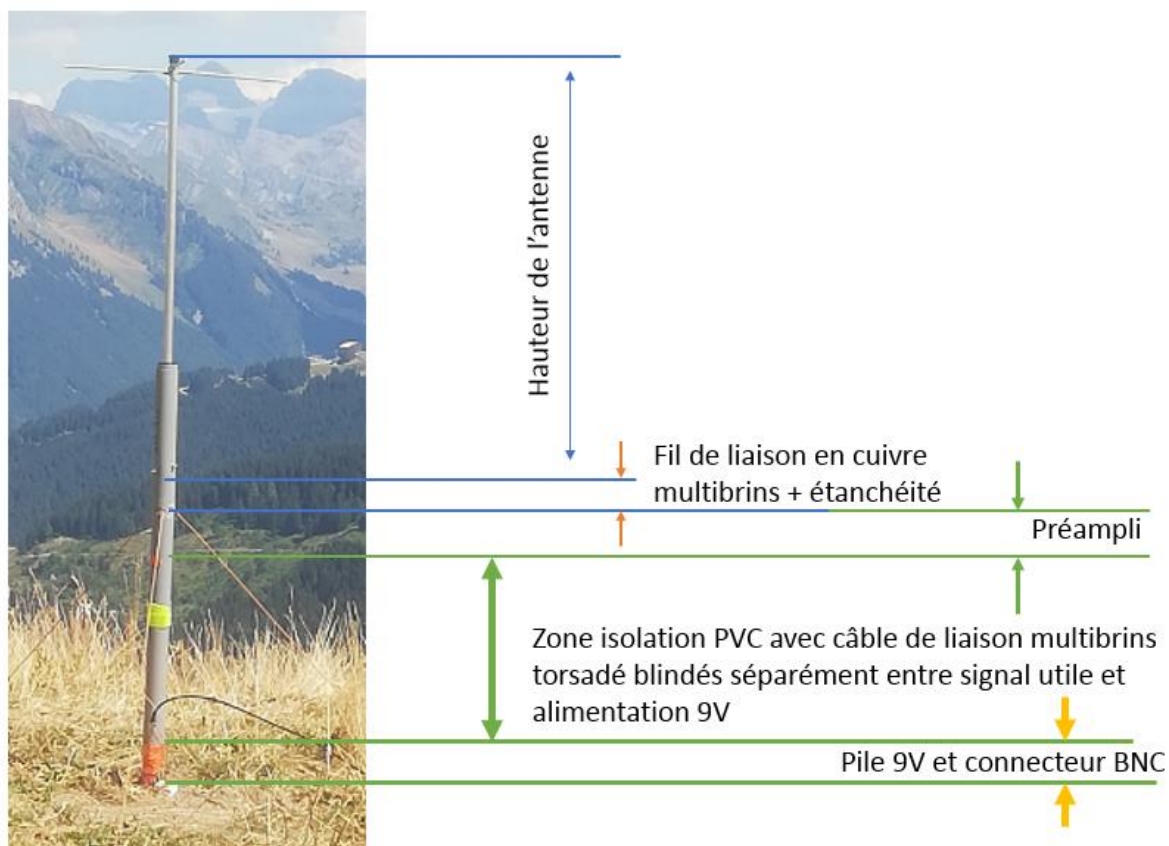


Figure 1 construction de l'antenne

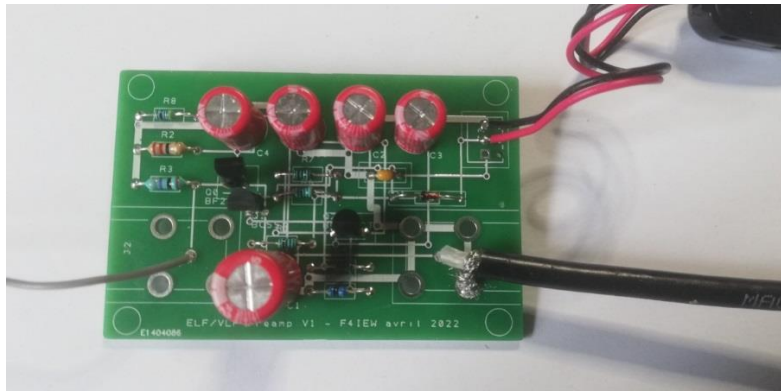


Figure 2 préamplificateur monté et installé dans le tube PVC de l'antenne

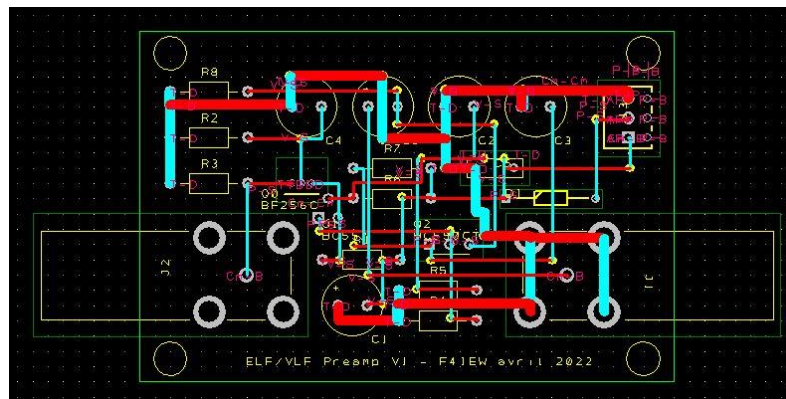


Figure 3 Réalisation du PCB

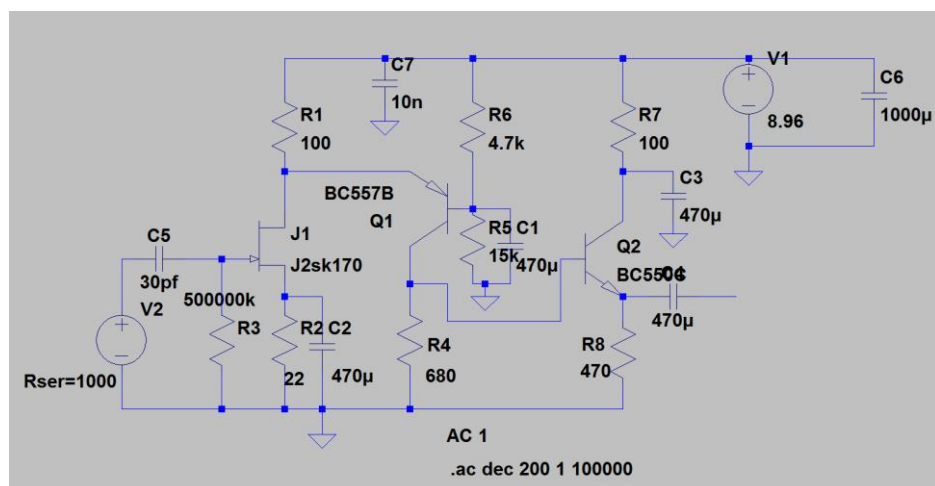


Figure 4 Schéma du préamplificateur modifié d'après le modèle de F4EOB, la dernière version présente quelques modifications afin de limiter le gain à +6dB et améliorer la polarisation des transistors

2/ Système d'enregistrement :



Le système d'enregistrement est placé dans une boîte métallique fermée située à 20m de distance de l'antenne active. Les sources de bruits telle que téléphones et tout autre oscillateur sont proscrits.

Le système d'enregistrement est inclus dans une boîte à gâteaux **métallique** comprenant un enregistreur HN4Pro configuré pour faire l'acquisition et la mémorisation sur support SD-card à la fréquence d'échantillonnage de 96KHz et une résolution de 16 bits (stéréo).

Un signal de référence à 5 KHz, d'une précision d'environ 1pico seconde, est généré par le module GPSDO de Leo Bonar afin de corriger l'imprécision de l'échantillonneur (Sampling rate) lors du retraitement des données avec SpectrumLab.

Le GPSDO Leo Bonar est un appareil qui produit deux horloges de référence synchronisées à faible dérive verrouillées sur le signal GPS. La stabilité à long terme du signal de sortie est définie par une grande précision des références GPS au césium et approche théoriquement 1×10^{-12} . La qualité du signal à court terme est définie par la source d'horloge interne TCXO fournissant un signal d'horloge de haute qualité à faible bruit de phase avec une gigue RMS inférieure à la picoseconde. La PLL numérique permet à la fréquence de référence de la sortie principale d'avoir presque n'importe quelle valeur entre 450 Hz et 800 MHz.

Un atténuateur est introduit afin que l'amplitude du signal 5KHz reste faible vis-à-vis des signaux enregistrés.

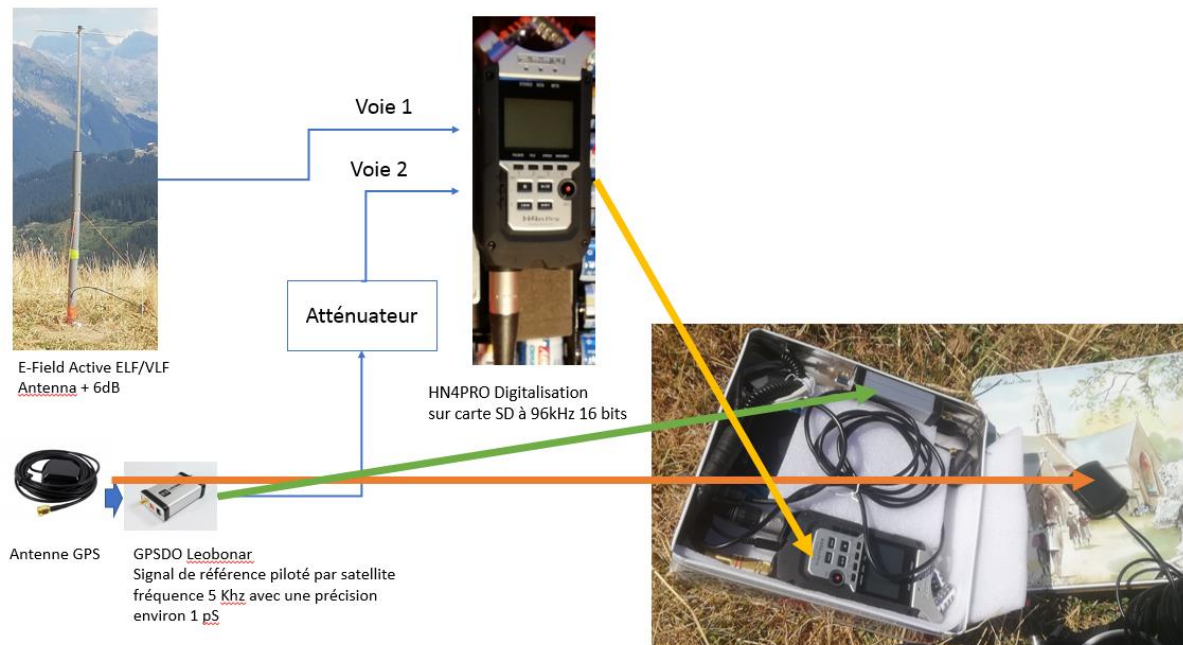


Figure 5 Description du matériel d'enregistrement portable intégré dans une boîte métallique (batterie rechargeable 5V intégrée dans la boîte)

3/ Premières mesures effectuées sur le Mont Chéry (74) – Locator JN36HE

Les premières mesures ont été fortement perturbées par les clôtures électriques nécessaires à la protection des vaches. Les signaux VLF sont néanmoins de moyenne qualité permettant uniquement de visualiser les signaux de 16 KHz. Les perturbations engendrées par les clôtures électriques interviennent principalement dans le spectre de fréquence 10 Hz à 20 KHz en proximité immédiate de la clôture et 10 Hz à 1KHz à quelques Km (constatations d'après les deux enregistrements réalisés)



Figure 6 installation de l'antenne à près de 1800m d'altitude (Locator JN36HE, Mont Chéry département 74)



Figure 7 Système d'enregistrement placé à 20 m en contrebas

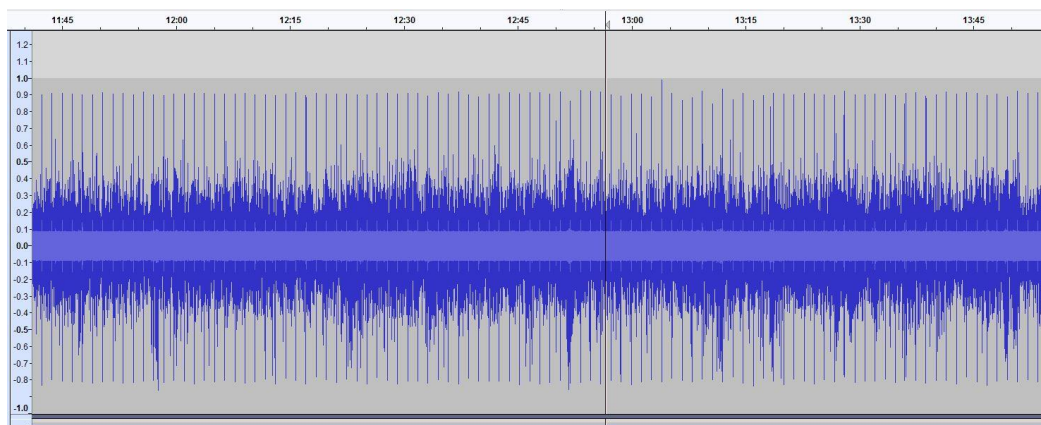


Figure 8 Signal "time domaine" sur lequel nous voyons clairement apparaitre les artéfacts des clôtures à vaches à intervalle très régulier

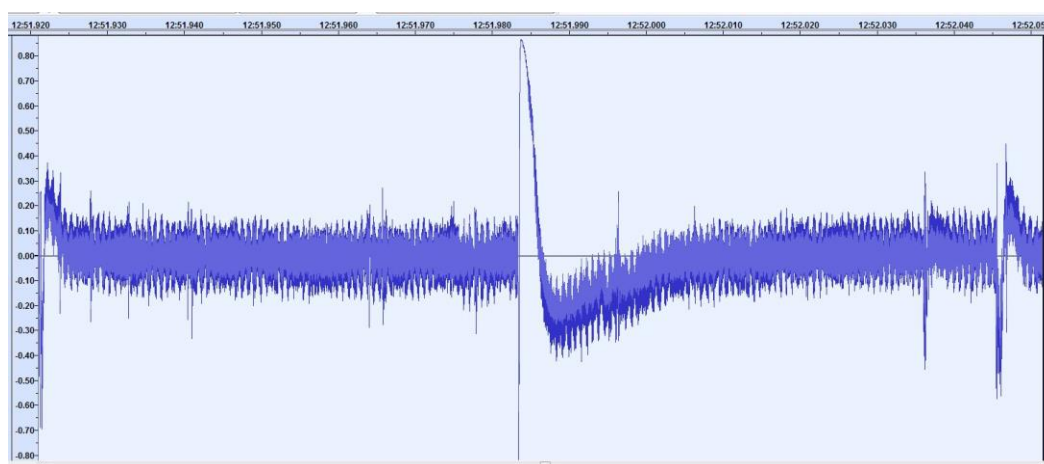


Figure 9 Zoom sur l'enregistrement (time domaine) d'un artéfact produit par une clôture électrique

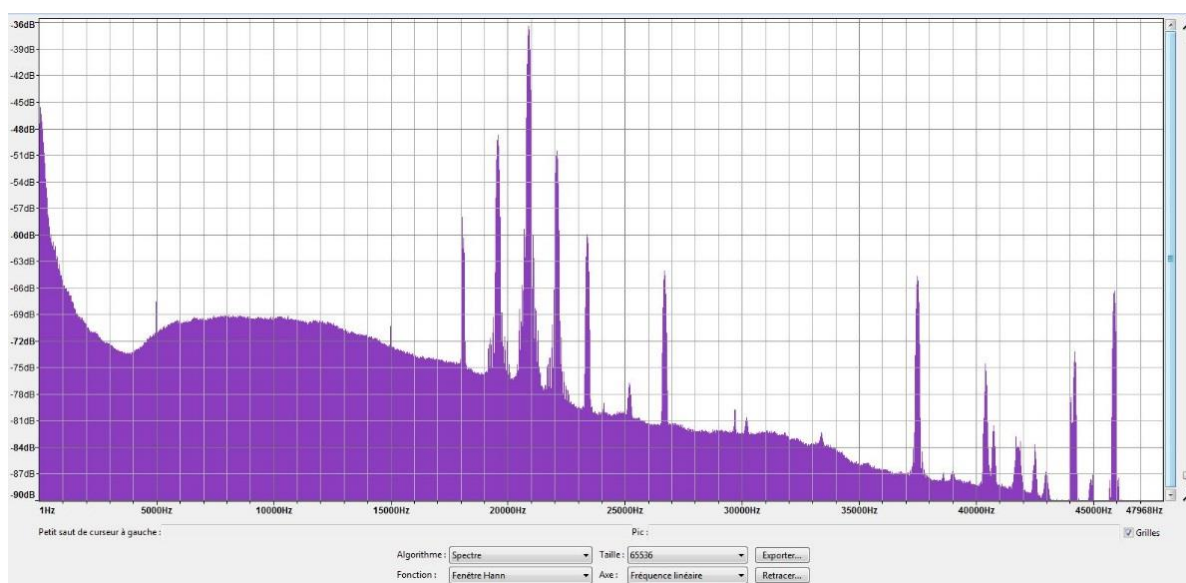


Figure 10 spectre de fréquence (vue linéaire) réalisé avec Audacity sur un petit échantillon de l'enregistrement

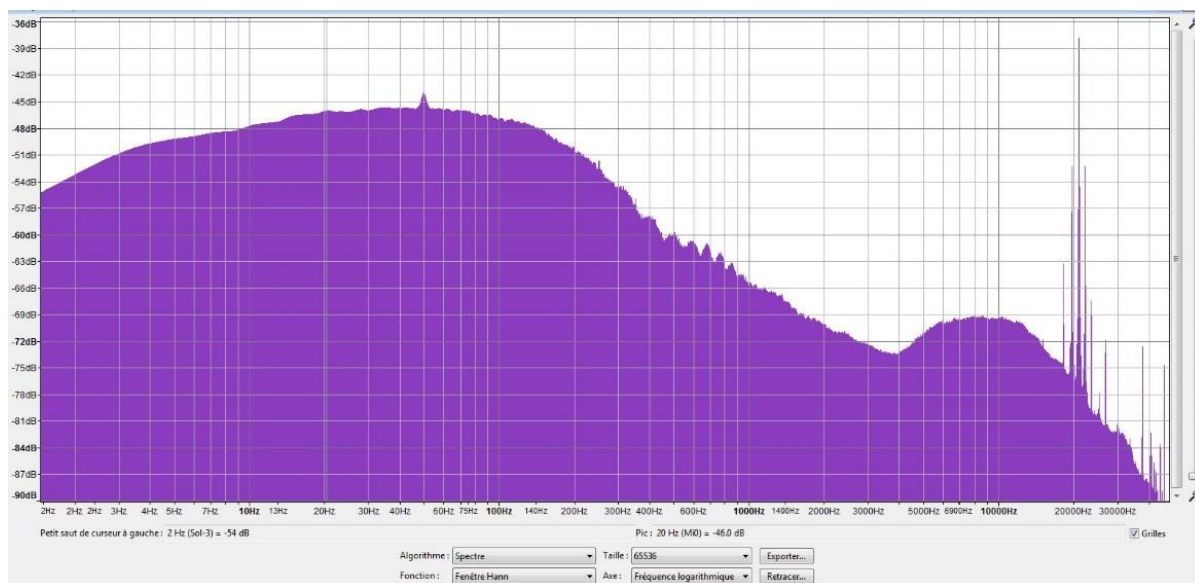


Figure 11 spectre de fréquence (vue logarithmique) réalisé avec Audacity sur un petit échantillon de l'enregistrement

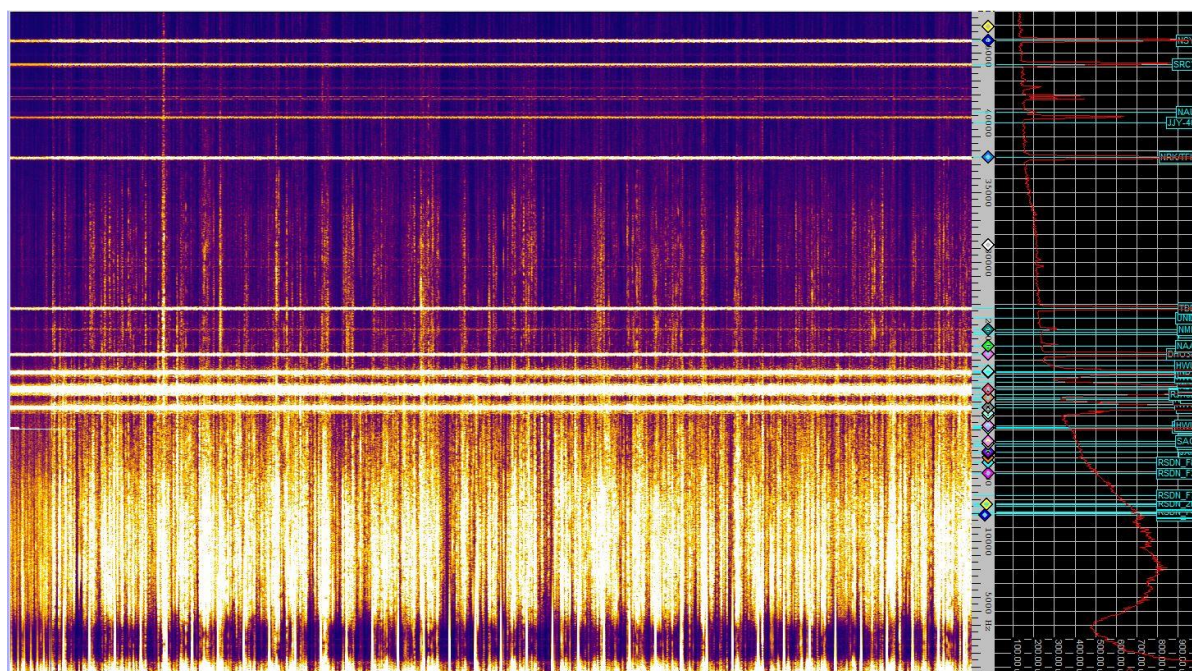


Figure 12 Vue du "Waterfall" réalisé avec SpectrumLab et correction du sampling rate depuis la référence 5KHz enregistrée sur la voie 2

3/ Deuxièmes mesures effectuées au Col de Basse (montagne en face)

Mesure d'une durée de 30 minutes, SR= 96KHz, 16 bits



Figure 13 Positionnement de l'antenne active



Figure 14 Antenne active



Figure 15 Système alimenté sur batterie 5V pour d'enregistrement numérique signal ELF/VLF (HN4pro voie 1) et signal de sortie GPSDO 5KHz (HN4Pro voie 2)

Résultats des mesures analysées avec SpectrumLab

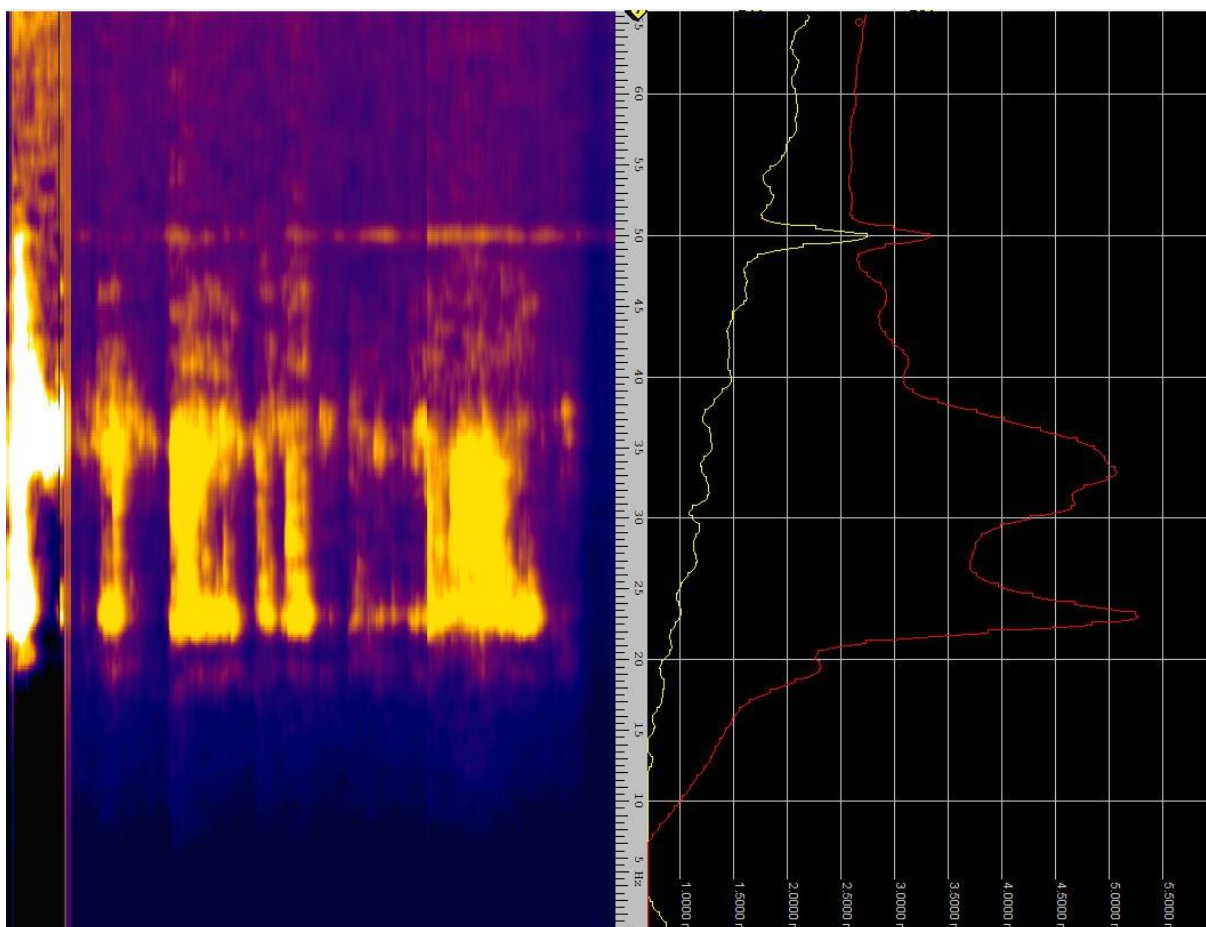
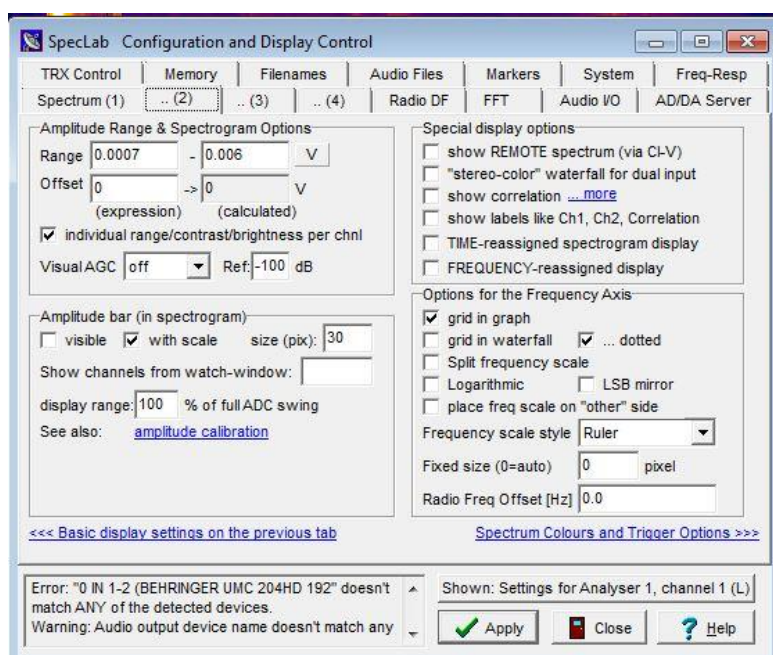
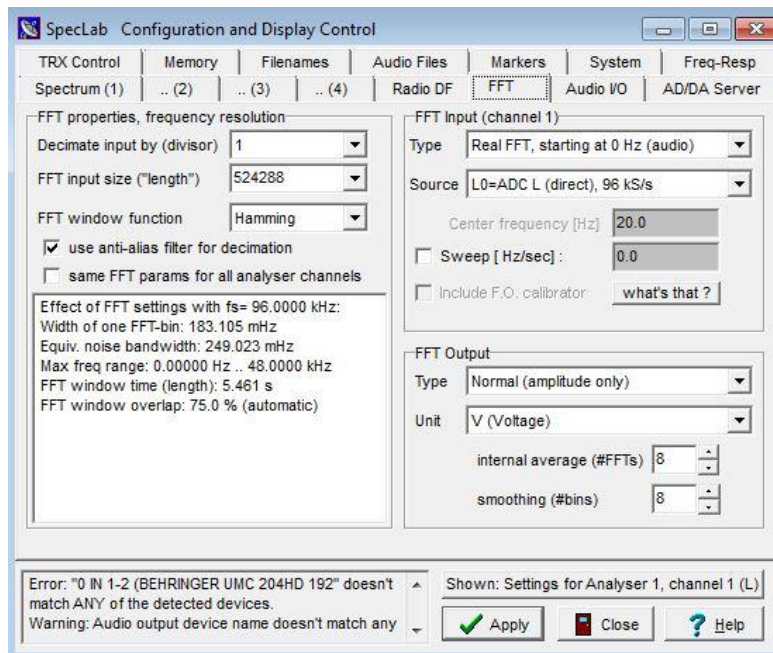
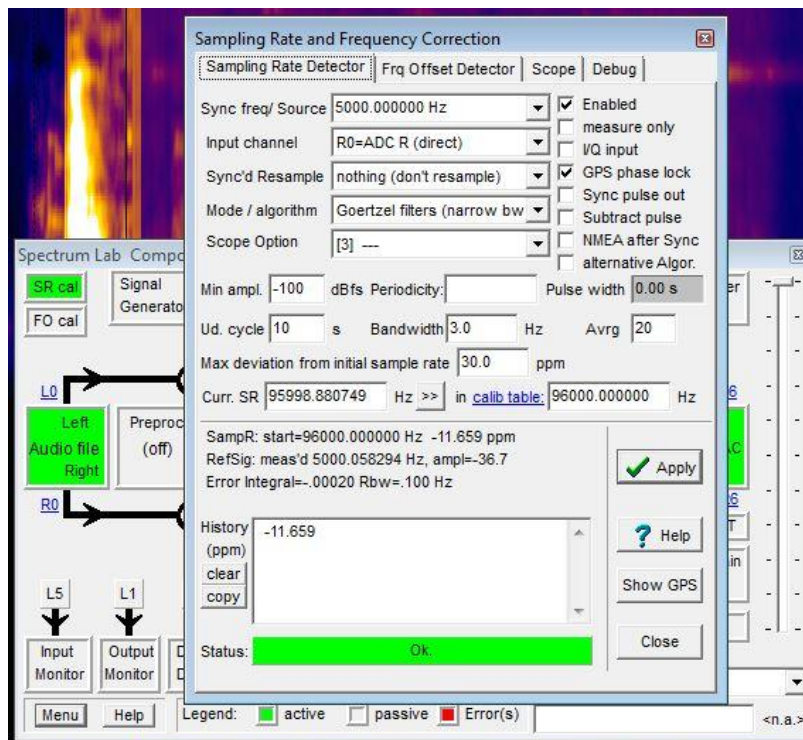


Figure 16 Waterfall de l'enregistrement selon la configuration ci-dessous. Le 50 Hz est visible mais non perturbant, la courbe rouge représente le spectre moyen sur le long terme (ici sur la totalité des 30 minutes d'enregistrement)

Je présume que les signaux entre 22 et 37 Hz sont liées aux quelques bourrasques de vents dans un environnement plutôt venteux au moment de la mesure.

Configurations de spectrumLab





Autres tracés représentations Waterfall pour d'autres gammes de fréquences avec un paramétrage différent de SpectrumLAB :

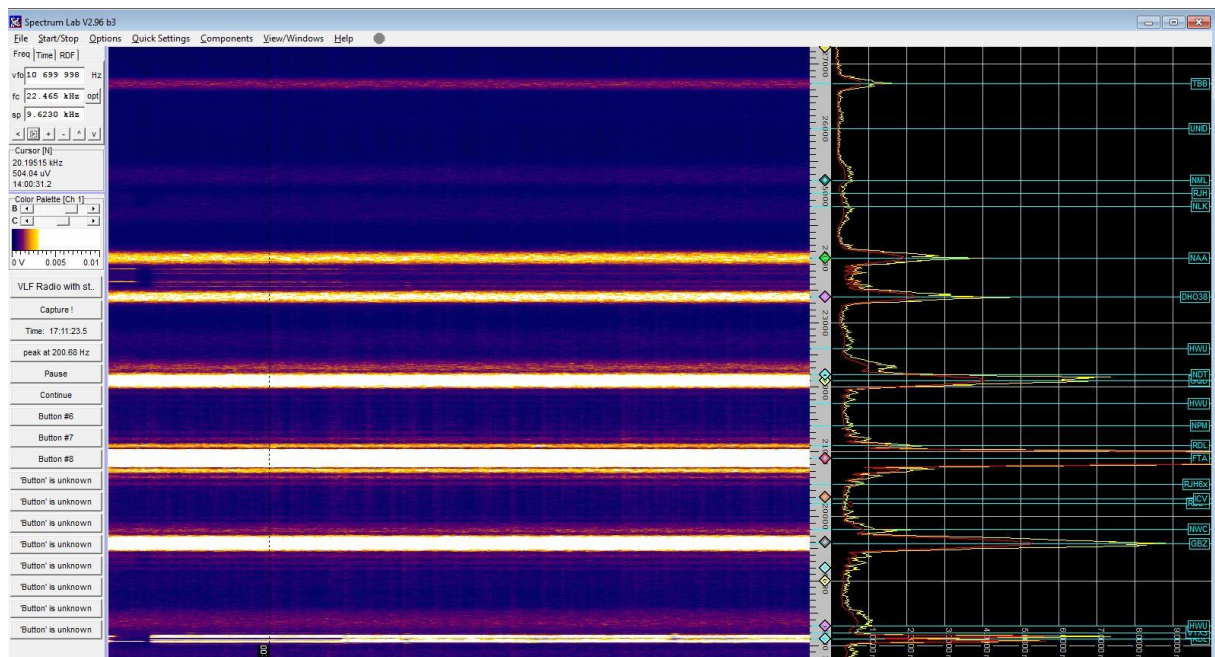


Figure 17 Les signaux reçus provenant des émetteurs militaires sont de bonnes qualités, nous pouvons observer NAA, DHO38, FTA, GBZ, RDL

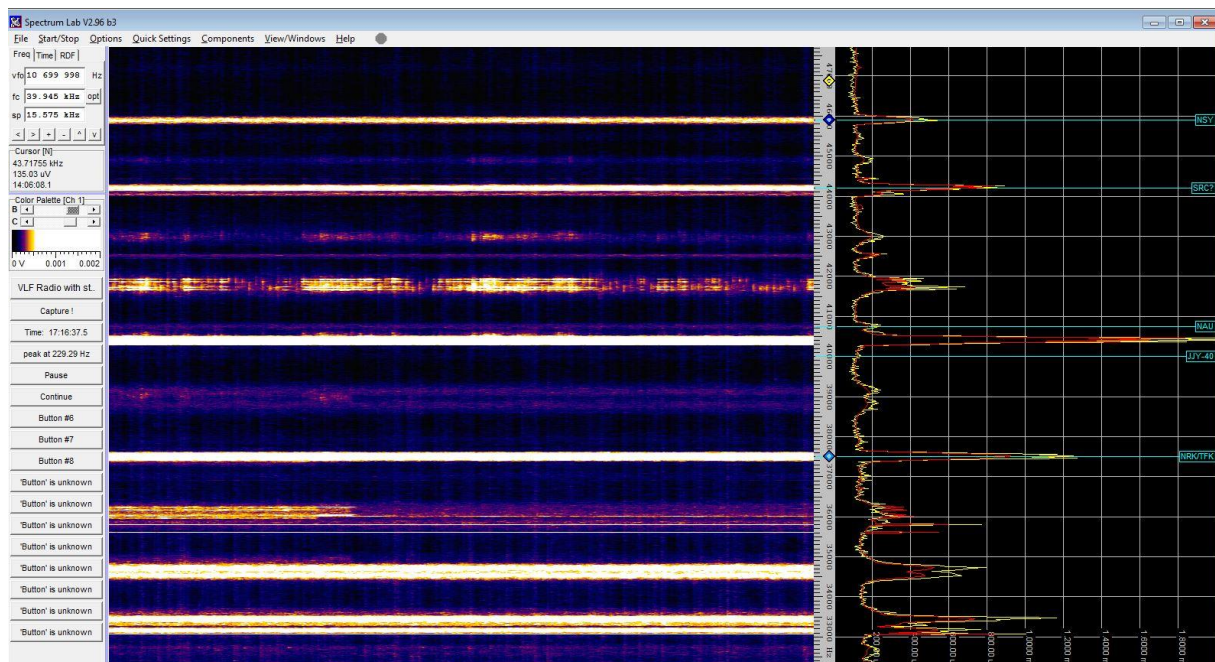


Figure 18 Autre vue jusqu'à 46KHz permettant de voir les signaux de NRK et NSY

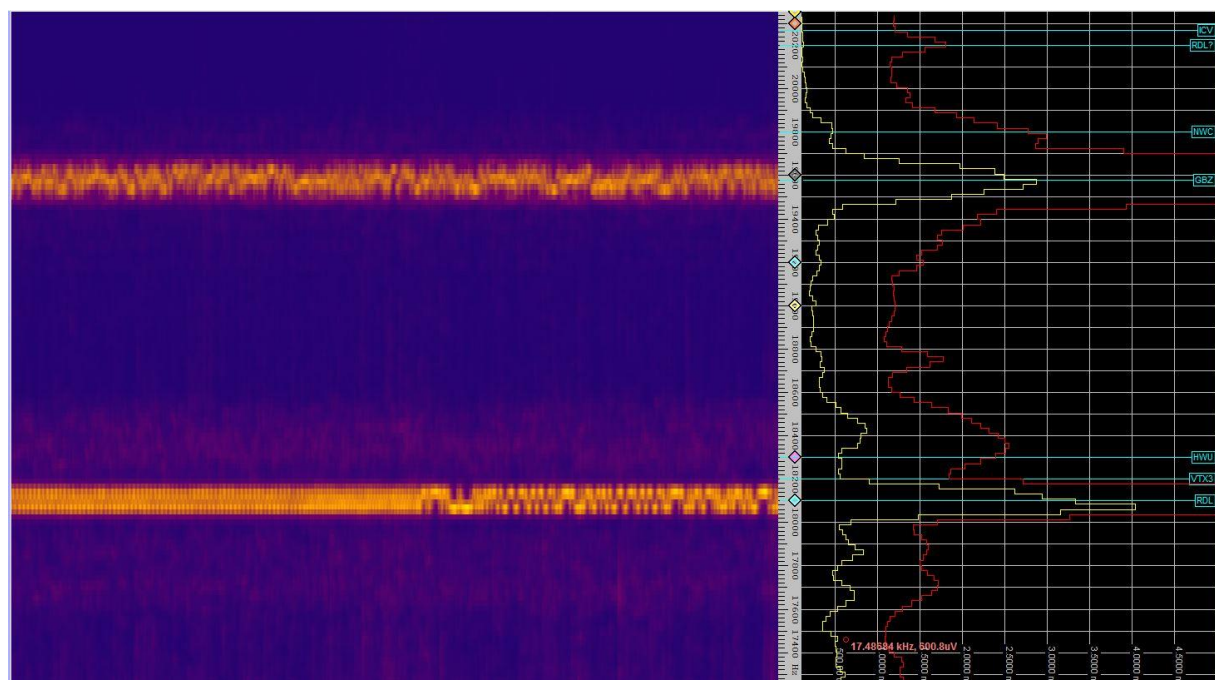


Figure 19 Signal de RDL, 18.100 KHz Russian Navy Russian High Command Naval Radio RDL-Moscow Headquarters (many remote sites) 36/50 Bd encrypted traffic T-600

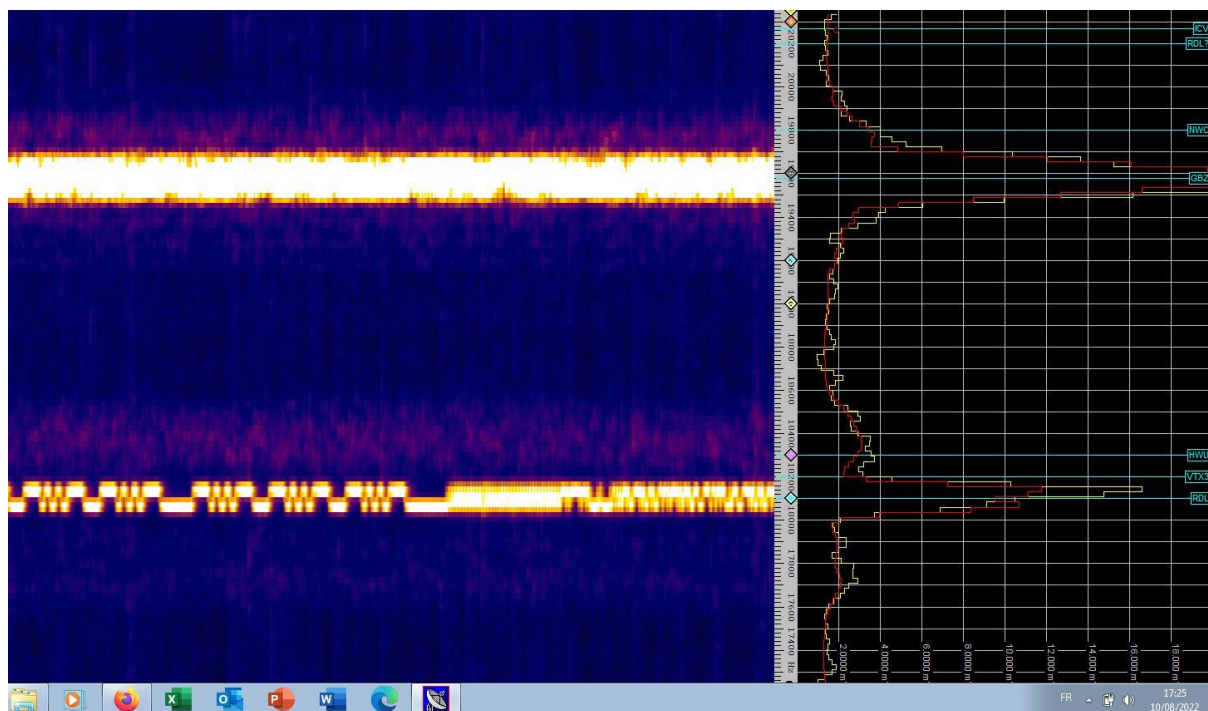


Figure 20 Autre tracé permettant de voir les signaux de GBZ et RDL

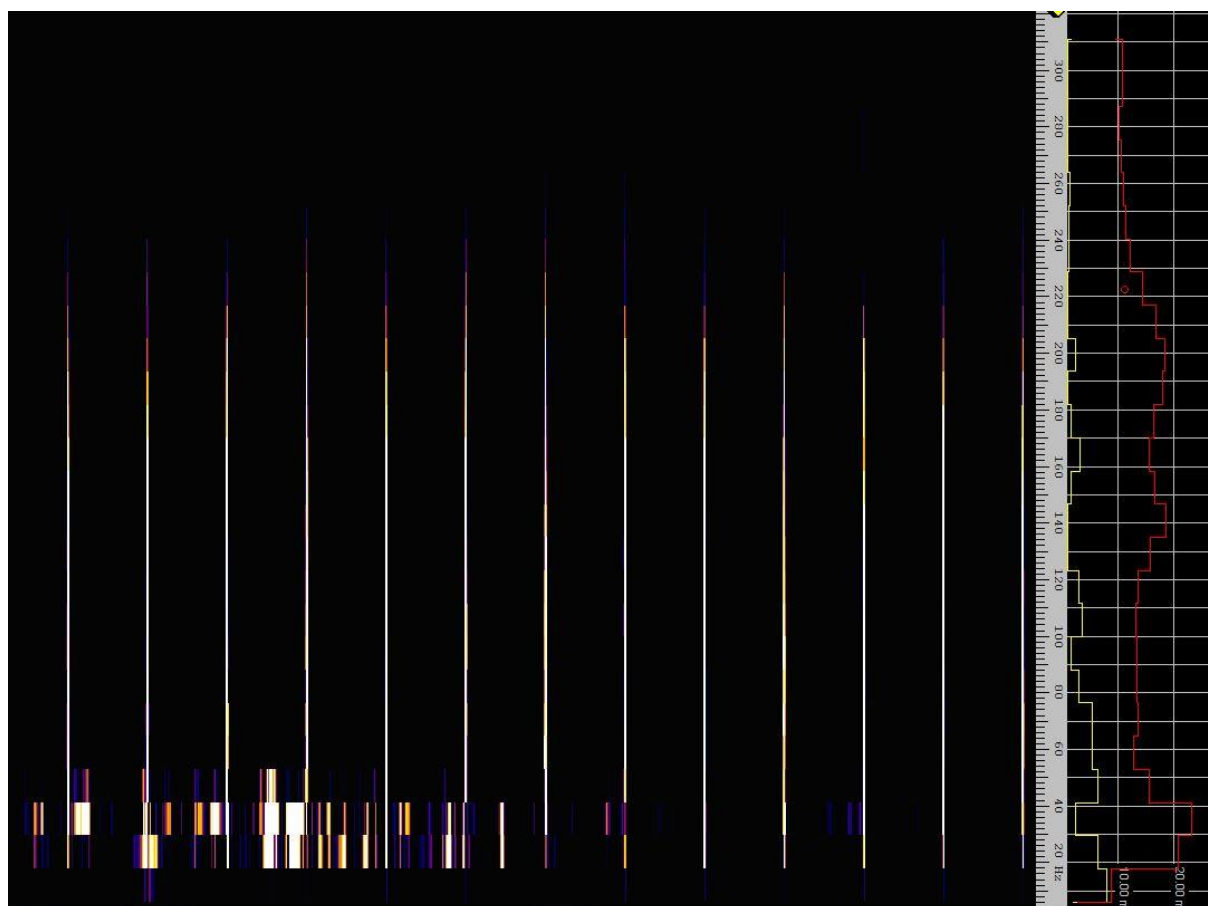


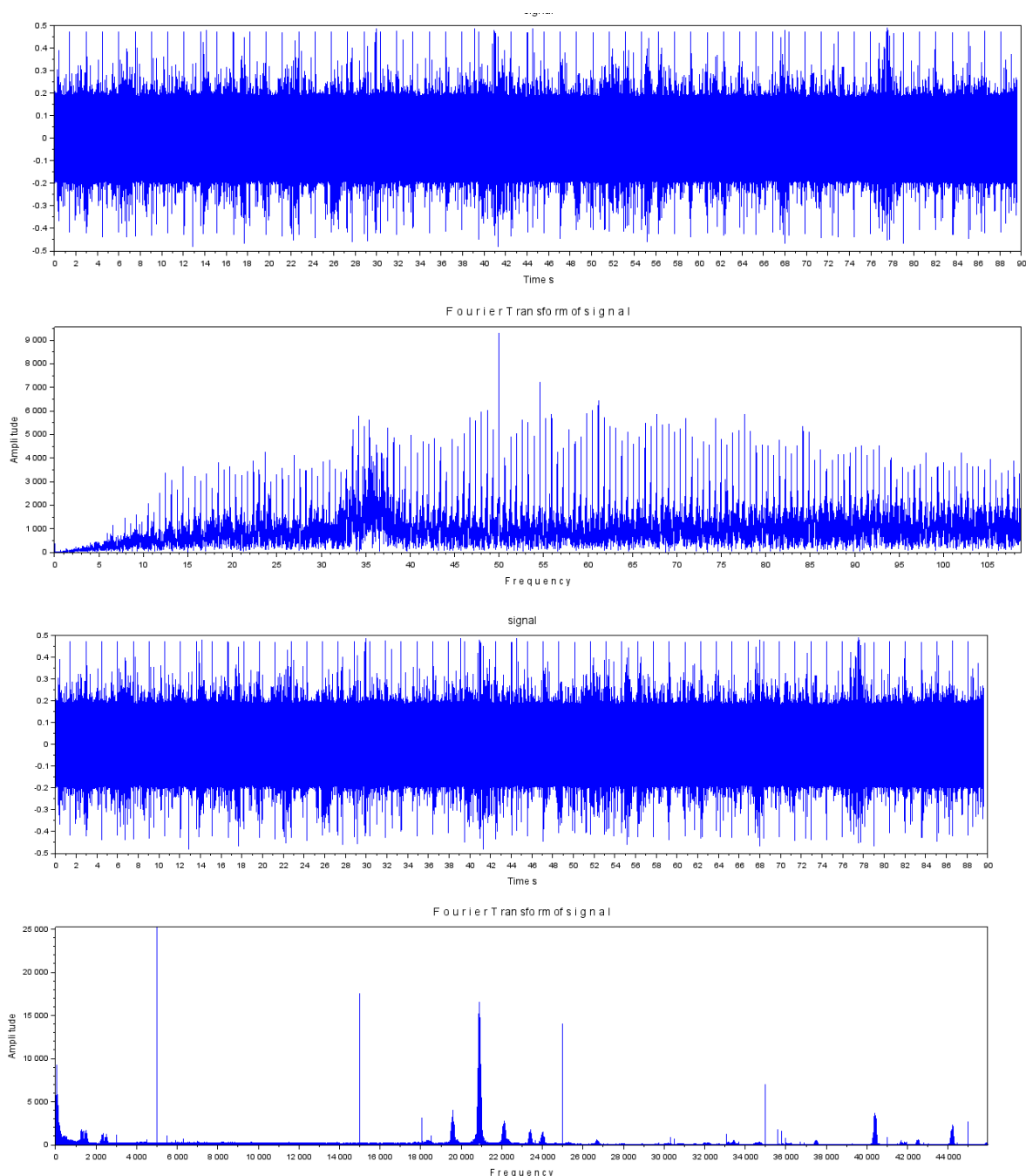
Figure 21 Vue Waterfall des décharges électriques provenant des clôtures à vache (la clôture à proximité du lieu d'enregistrement n'était pas en fonction, il s'agit certainement de la clôture sur la montagne en face – Mont Chéry)

Réalisation de la FFT sur l'ensemble des 30 minutes d'enregistrement avec le logiciel SciLAB de l'INRIA.

Scilab est un logiciel libre de calcul numérique multi-plateforme fournissant un environnement de calcul pour des applications scientifiques. Il possède un langage de programmation orienté calcul numérique de haut niveau. (<https://www.scilab.org/>)

Détail du script utilisé :

```
FFT_1_wav.sce
1
2 clc ;
3 close ;
4 clear ;
5 [y , Fs ] = wavread("D:\Recording_montagne082022\J2_col_de_basse\220810-000_mono.wav");
6 y = y (100:8600000) ;
7 t = (0: length ( y ) -1) ./ Fs ;
8 subplot (211)
9 plot (t ,y )
10 xlabel ("Time.s")
11 title ("signal")
12
13 Y = abs( fft ( y ) ) ;
14
15 l = length ( y ) /2;
16
17
18
19 f = (0:(l-1) ) * Fs / (2*l) ;
20 abs_fft = abs( Y (1:l) ) ;
21 subplot (212)
22 plot (f , abs_fft ) ;
23 title ( " F o u r i e r T r a n s f o r m o f s i g n a l . " )
24 xlabel ( " F r e q u e n c y . " )
25 ylabel ( " A m p l i t u d e . " )
26
```



4/ Nouvel enregistrement court à vocation d'expérience

Avant les enregistrements j'utilise parfois un récepteur VLF portable avec sortie audio sur hautparleur. Je me suis aperçu de la forte sensibilité de celui-ci aux mouvements du bâton de marche en aluminium. Effectivement je peux entendre distinctement les charges électriques générées par le mouvement du bâton. J'ai donc entrepris de réaliser un enregistrement court durant lequel je bouge très vite le bâton à proximité de l'antenne (mouvements à 1m, 2m, 3m, 4m du bas vers haut et du haut vers bas à fréquence régulière d'environ 1 seconde pour le mouvement et 1 seconde avant la reprise du mouvement).

J'ai également réalisé un nouvel enregistrement audio depuis l'enregistrement d'origine en déplaçant la fréquence de 900 Hz plus haut afin de pouvoir rendre très audible les signaux enregistrés (voir fichier Wav).

Le procédé utilisé est la réalisation d'un mixer sous spectrumLab et d'un rééchantillonnage du signal modifié.

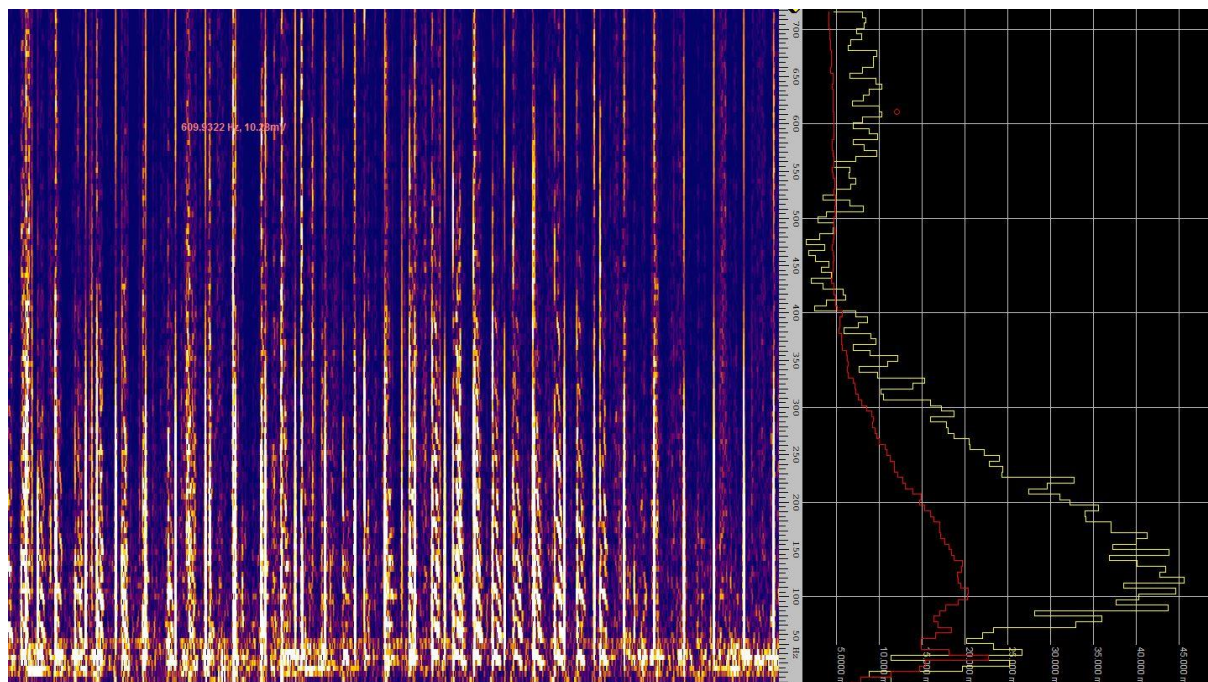


Figure 22 Waterfall des signaux enregistrés lors du mouvement du bâton (partie centrale de l'enregistrement)

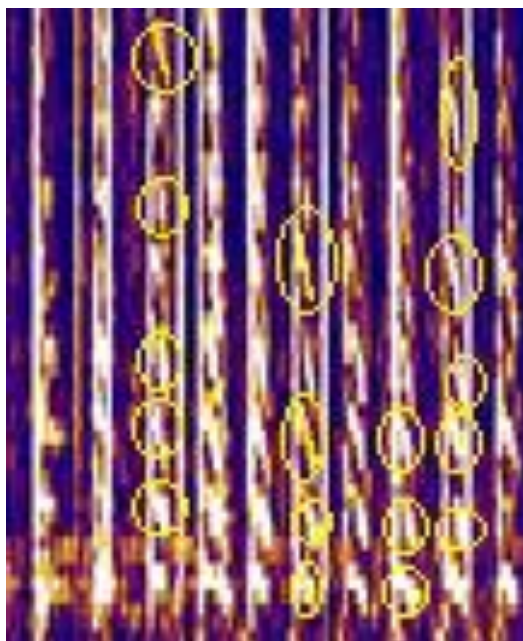


Figure 23 Zoom sur les signaux créés par charges électriques créées ou déplacées par le mouvement du bâton métallique superposé aux perturbations des clôtures électriques

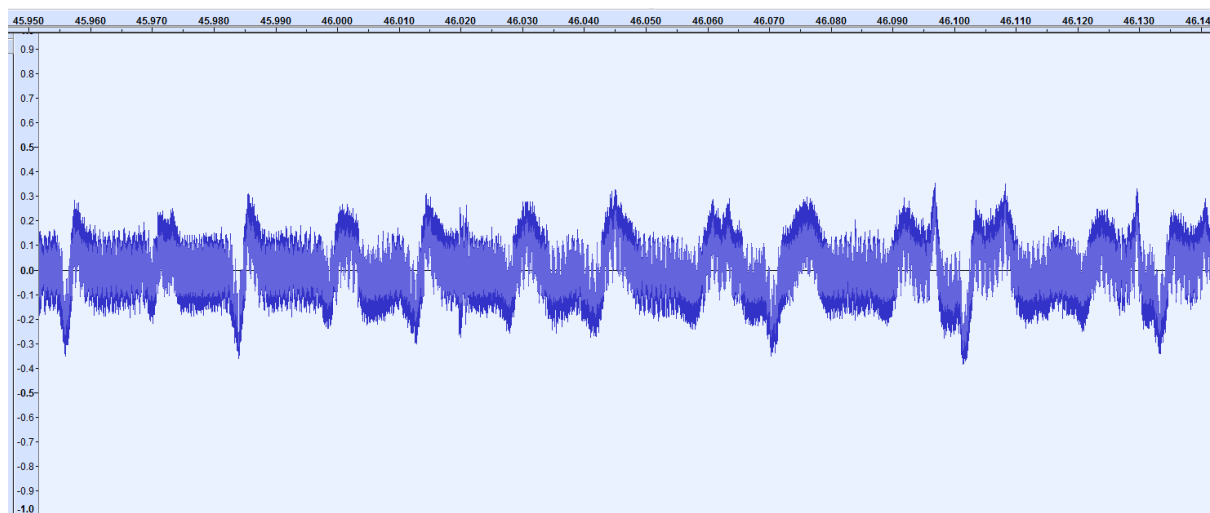


Figure 24 Zoom sur l'enregistrement d'un mouvement du bâton en "time domaine"

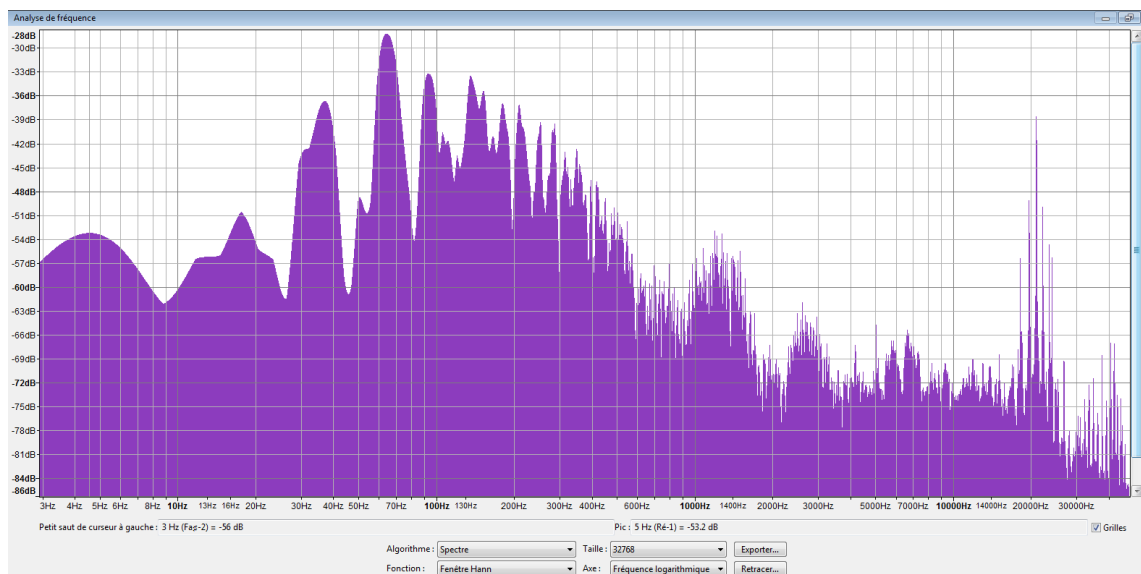


Figure 25 Spectre du signal uniquement durant le mouvement du bâton

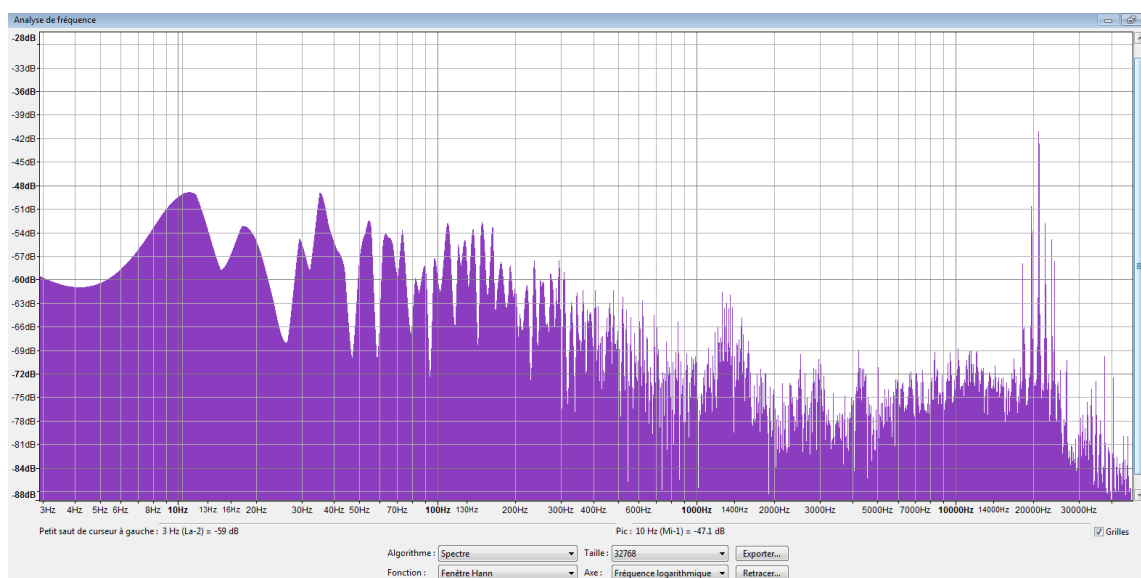


Figure 26 Spectre du signal entre deux mouvements de bâton

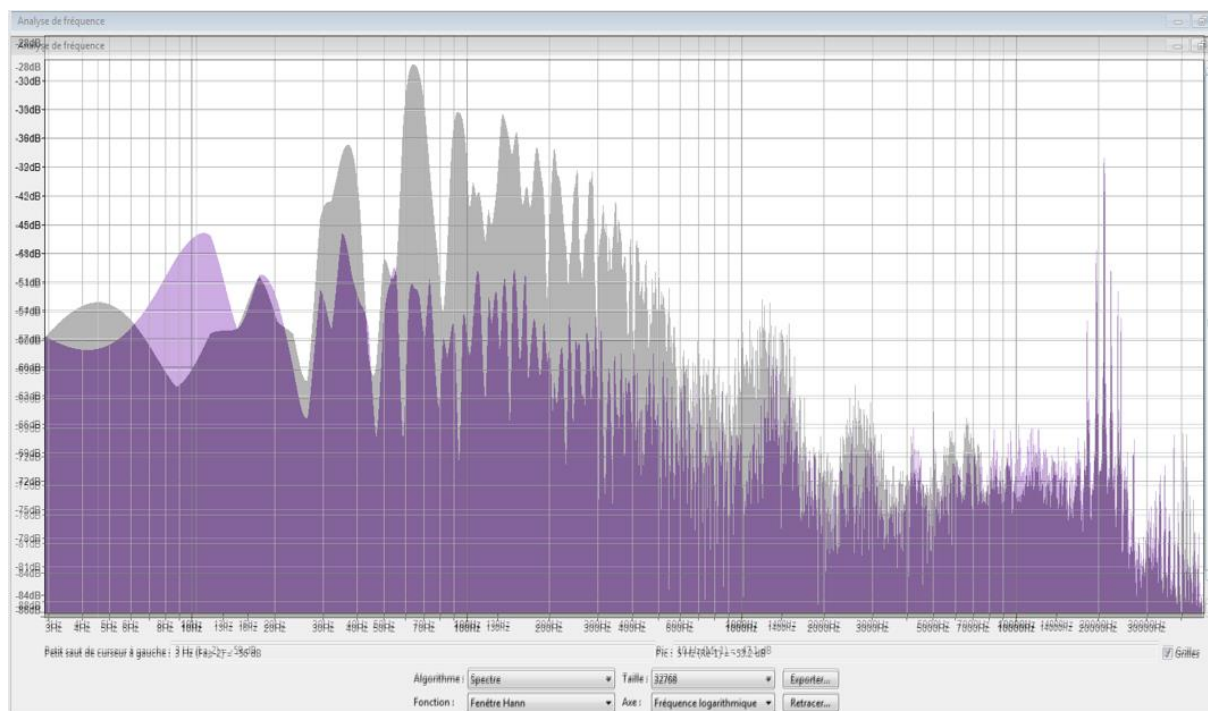


Figure 27 Superposition des deux spectres (en gris mouvement du bâton et en violet sans mouvement)

Fichiers utiles :

- | | |
|--------------------------------------|---|
| 220808-000.wav | Fichier Wav de l'enregistrement sur le mont Chéry (2 voies) |
| 220810-000.wav | Fichier Wav de l'enregistrement sur le col de basse (2 voies) |
| 220810-000_mono.wav | Fichier Wav de l'enregistrement sur le col de basse (1 voie, mono) |
| 220810-001.wav | Fichier Wav de l'enregistrement sur col de basse expérience du bâton (2 voies) |
| 220810-001_mono.wav | Fichier Wav de l'enregistrement sur col de basse expérience du bâton (1 voie, mono) |
| rec20211016_0008 mouvement_baton.wav | Fichier audio phonique du mouvement du bâton |