



**HAL**  
open science

## Station hydrophone à Pougny : rapport d'équipement du site instrumenté. OSR2 | Action 9

Jérôme Le Coz, B. Camenen

### ► To cite this version:

Jérôme Le Coz, B. Camenen. Station hydrophone à Pougny : rapport d'équipement du site instrumenté. OSR2 | Action 9. [Rapport de recherche] Irstea. 2014. hal-03750106

**HAL Id: hal-03750106**

**<https://hal.science/hal-03750106>**

Submitted on 24 Aug 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Station hydrophone à Pouigny : rapport d'équipement du site instrumenté



## Action 9

*Version finale – décembre 2014*



Coordination : Jérôme Le Coz et Benoît Camenen



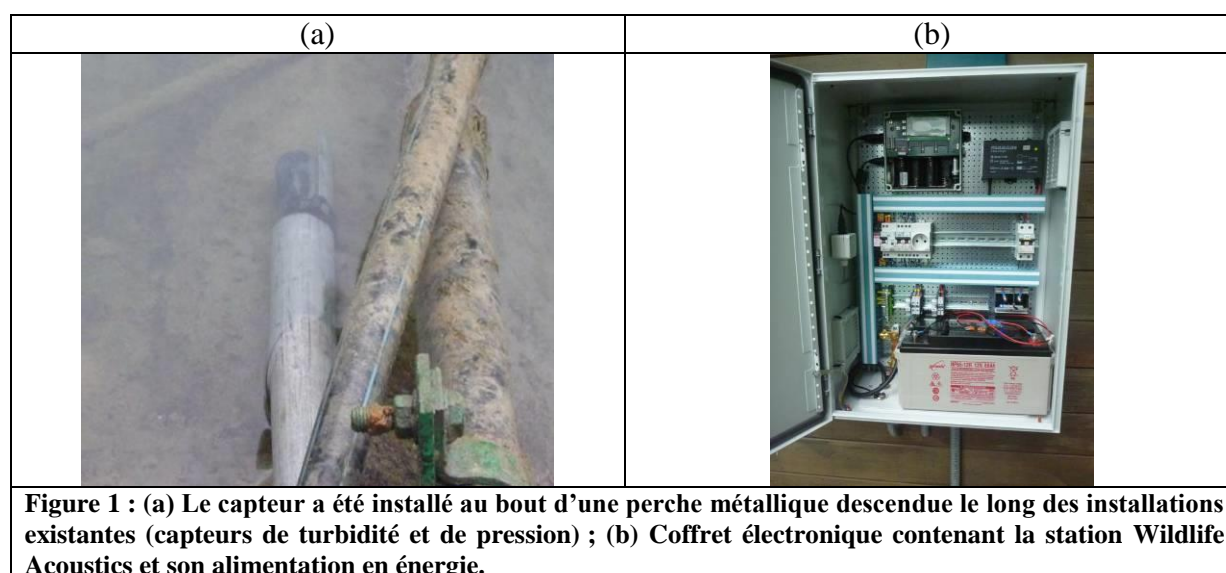
**2013 – SEMESTRE 8**

# Station hydrophone sur le Rhône à Pougny

Ce rapport présente les premiers résultats obtenus avec la station de mesure acoustique du transport par charriage ou station hydrophone. Le principe consiste en l'enregistrement du bruit induit par les chocs entre cailloux en plaçant un hydrophone au bord du cours d'eau. La calibration d'un tel système reste difficile (Camenen et al., 2012) et implique une expertise en traitement du signal (Geay, 2013). Pour tous les détails plus techniques, nous vous renvoyons donc à la thèse de T. Geay (2013). Les premiers résultats sur la station de Pougny sont présentés dans ce rapport.

## 1. Installation de la station

La station de mesure acoustique a été installée le 27 Aout 2013 à Pougny (Figure 1). Un capteur HTI-99HF (hydrophone) a été installé au bout d'une perche métallique et a été descendu le long de la berge. Le capteur est relié à une station de mesure autonome (Station Wildlife Acoustics SM2BAT+). La station d'acquisition est alimentée par une batterie.



Une chaîne de mesure acoustique est composée de trois parties distinctes :

- un capteur (hydrophone),
- un préamplificateur (incluant un gain généralement de 45DB et un filtre passe-bas ou de Chebichev),
- un enregistreur numérique (permettant une digitalisation en 12 ou 16 bits) avec une fréquence d'échantillonnage  $F_s$ .

Différentes configurations du système de mesure ont été testées (Tableau 1). Ces tests ont été réalisés de manière à choisir les paramètres d'acquisition de la donnée acoustique. Chaque enregistrement a été analysé via un spectre présentés si après.

**Tableau 1 : Propriétés des enregistrements réalisés lors de la phase de test.**

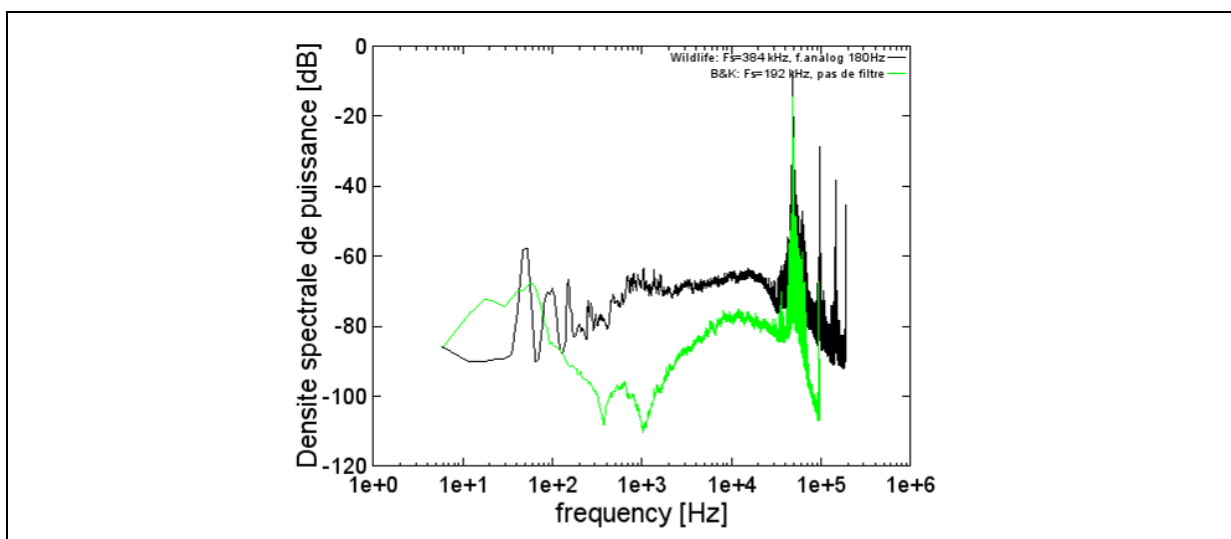
Nom échantillon	Configuration chaîne d'acquisition
130827_193_mono1	B&K8106+Nexus (10mV/Pa) + TASCAM
20130827_110400	HTI99+Wildlife Acoustics: $F_s = 192\ 000$ , filtre analog. en 1010 (3Hz)
20130827_110700	HTI99+Wildlife Acoustics: $F_s = 192\ 000$ , filtre analog. en 0101 (180 Hz)
20130827_111700	HTI99+Wildlife Acoustics: $F_s = 192\ 000$ , filtre analog. en 0000 (1000 Hz)
20130827_112800	HTI99+Wildlife Acoustics: $F_s = 192\ 000$ + High Pass filter à $F_s/96=2000$ Hz
20130827_113100	HTI99+Wildlife Acoustics: $F_s = 96\ 000$ + High Pass filter à $F_s/96=1000$ Hz
20130827_115100	HTI99+Wildlife Acoustics: $F_s = 96\ 000$ , filtre analog. 0101 (180 Hz), pas de filtre digital. (test chocs sur portant vert et barre porteuse)
20130827_115500	HTI99+Wildlife Acoustics: $F_s = 96\ 000$ , filtre analog. 0101 (180 Hz), pas de filtre digital. (test bruits de pas depuis le coffret jusqu'aux marches).

### a. Comparaison chaîne de mesure

Une chaîne d'acquisition de référence (B&K+Nexus+TASCAM) a été utilisée pour comparer le signal obtenu avec celui enregistré par la chaîne HTI99-Wildlife Acoustics. La chaîne d'acquisition de référence correspond à celle mise en place et étudié par T. Geay (2013).

Les spectres de chaque enregistrement sont présentés dans la figure 2. Le spectrogramme de chaque signal est présenté dans la figure 3 pour la chaîne de référence et la figure 4 pour la chaîne Wildlife.

**Remarque :** les niveaux de bruits ne sont pas comparables car nous n'utilisons pas la même chaîne d'acquisition.



**Figure 2 : Comparaison de deux chaînes de mesures : (noir) Chaîne Wildlife,  $F_s=384$ kHz avec filtre analogique 180Hz ; (vert) chaîne B&K,  $F_s=192$  kHz.**

Sur le signal mesuré par la chaîne de référence, on distingue différents types de bruits (Figure 3) :

1. Un bruit « basse fréquence » [10 – 350 Hz] : turbulence autour du capteur.
2. Un bruit « moyenne fréquence » [350 – 1 000 Hz] : bruit de charriage matériaux grossiers au champ lointain?
3. Des impulsions entre 1 000 et 7 000 Hz : on distingue des chocs type charriage grossier proche (diamètres > 1cm).
4. Un bruit coloré « haute fréquence » [2 000 – 30 000 Hz] : bruit identifié comme étant du charriage de petite particules (diamètre ~ 1 cm).
5. Un pic de fréquence à 47 500 Hz : ce bruit n'est pas identifié, on remarque qu'il est accompagné d'harmoniques au-dessus de sa fréquence porteuse et que ce bruit vient polluer l'ensemble des fréquences supérieures à 47 500 Hz.

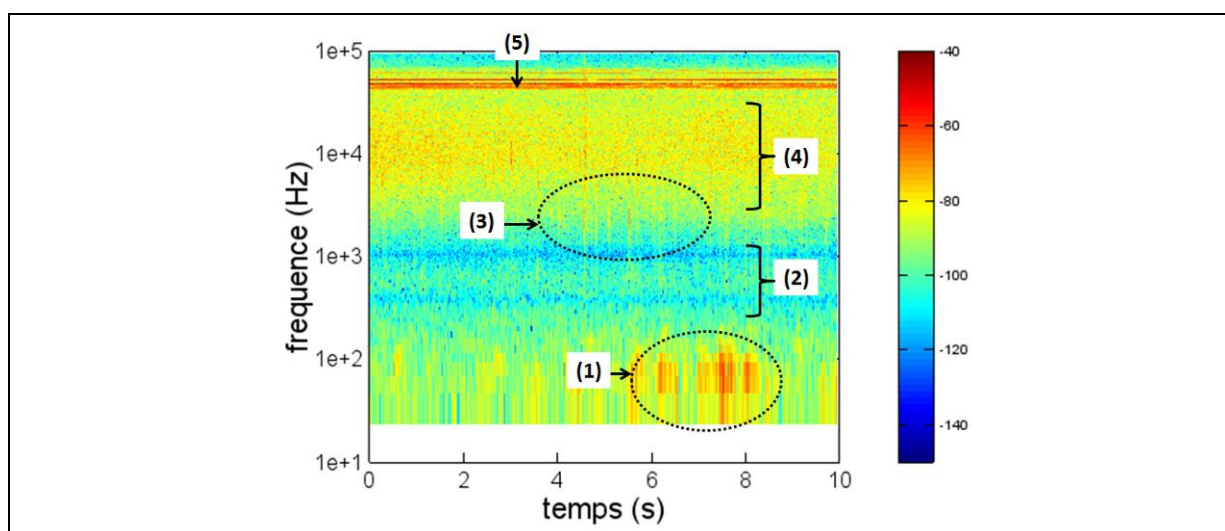
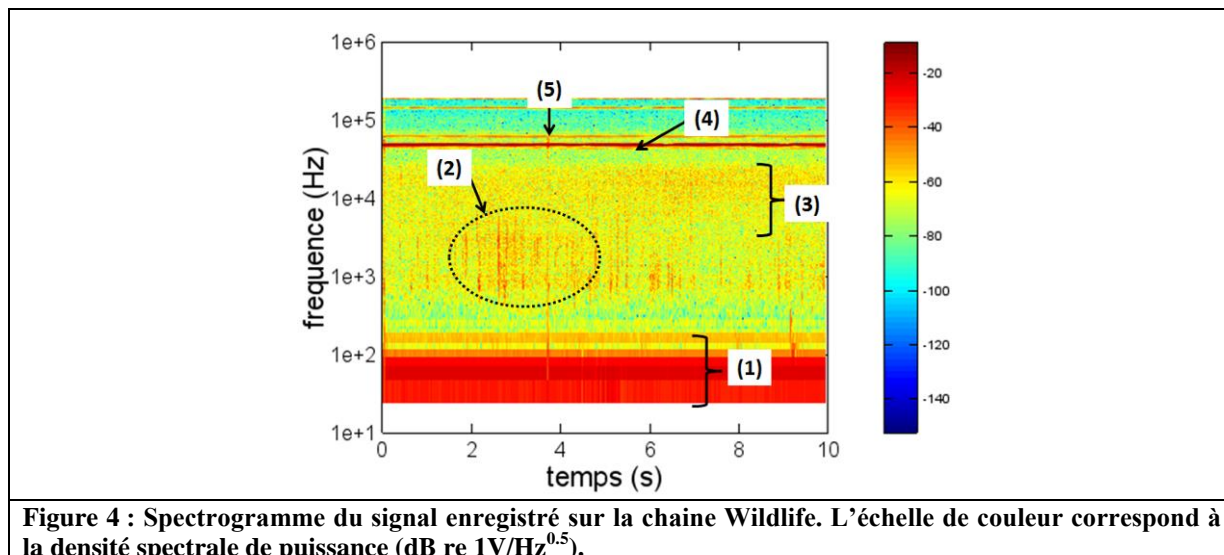


Figure 3 : Spectrogramme du signal enregistré sur la chaîne de référence. L'échelle de couleur correspond à la densité spectrale de puissance (dB re 1V/Hz<sup>0.5</sup>).

Concernant la mesure Wildlife, on distingue de la même manière (Figure 4) :

1. Un bruit à 50Hz + harmoniques jusqu'à 200 Hz environ : ce bruit sûrement dû à l'alimentation.
2. Des impulsions entre 700 et 10 000 Hz : bruit de charriage de matériaux grossiers au champ proche (?)
3. Un bruit coloré « haute fréquence » [2 000 – 30 000 Hz] : bruit identifié comme étant du charriage de petite particules (diamètre ~ 1 cm).
4. Une fréquence porteuse à 47 500 Hz et ses harmoniques au-dessus.
5. Des impulsions large bandes (coupures) du à l'électronique.



On remarque de nombreuses différences entre la réponse des deux systèmes :

- A basse fréquence, la station Wildlife contient du bruit électronique qui n'est pas présent sur la chaîne de référence.
- [350 - 10 000 Hz] : dans cette partie du spectre, des impulsions sont beaucoup plus nettes avec la station Wildlife que pour la chaîne de référence. La chaîne de référence contient également une « bosse » d'énergie entre 350 et 1 000 Hz qui n'est pas observée par le système Wildlife. Ces différences ne sont pas expliquées. Notons cependant que les enregistrements n'ont pas été réalisés au même moment et que les conditions hydrauliques ont pu évoluer entre les deux instants (11h et 13h30).

Des similarités sont également observées :

- Un bruit blanc « haute fréquence » [2 000 – 3 0000 Hz] qui pourrait correspondre à du charriage intense de petits graviers.
- Un bruit électronique à une fréquence porteuse de 47 500 Hz. Ce bruit a été identifié sur les deux systèmes de mesures. Ce bruit est assez problématique car il est très puissant. Il vient limiter la dynamique de mesure car il n'est pas possible d'augmenter le gain du signal capté par l'hydrophone HTI (sinon saturation du signal). Il faudrait vérifier si cette fréquence est utilisée par d'autres systèmes de mesures installés dans cette station.

### **b. Filtre analogique**

Il est possible de mettre un filtre « passe haut » analogique ayant différentes fréquences de coupures. Plusieurs configurations ont été testées ; les résultats sont présentés dans la figure 5. Un filtre « passe haut » à 1 000 Hz coupe bien le bruit électronique (Pic à 50 Hz + harmoniques) basse fréquence mais coupe également une partie du signal pour des fréquences supérieures à 1 000 Hz. Or on suppose qu'il y a de l'information utile aux alentours de 1 000 Hz, on ne peut donc se permettre d'utiliser un tel filtre. On choisira plutôt un filtre à 180 Hz qui permet d'atténuer les bruits électroniques sans altérer la bande de signal utile.

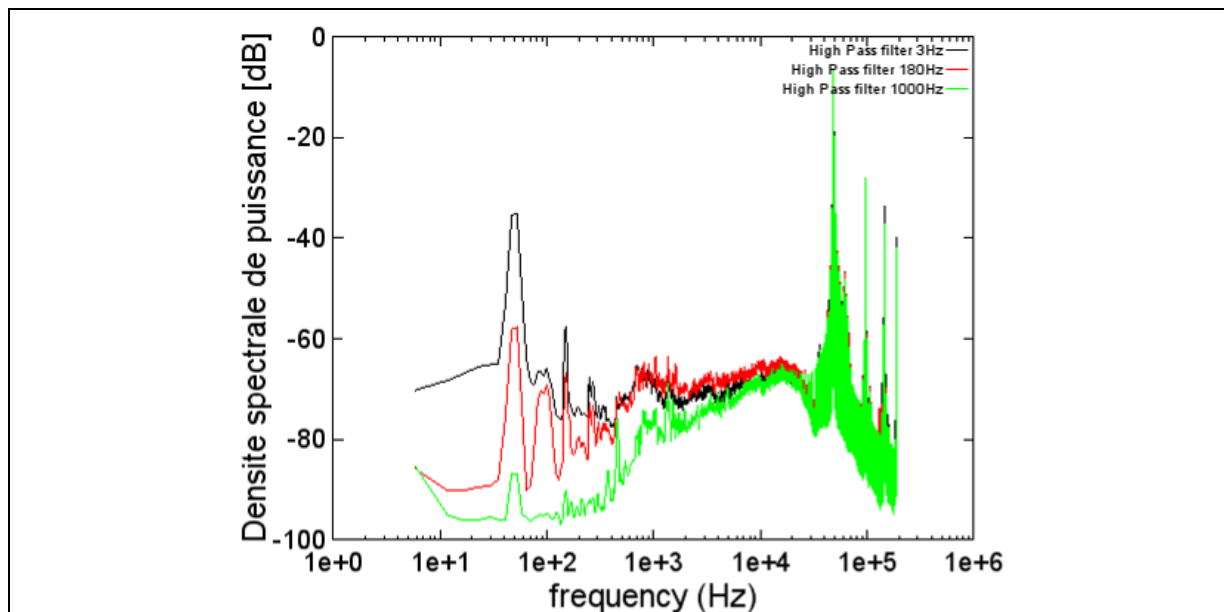


Figure 5 : Effet du filtre passe haut analogique. Spectres des enregistrements réalisés avec des fréquences de coupures différentes. Les enregistrements ont été réalisés avec un gain de 0 dB et une fréquence d'acquisition de 384 kHz. Pas de filtre digital.

### c. Filtre digital

Il est également possible d'utiliser un filtre « passe haut » digital. Ce filtre est dépendant de la fréquence d'échantillonnage  $F_s$ . La fréquence de coupure du filtre est égale à  $F_s/96$ . Nous avons testé différentes fréquences d'échantillonnage avec le filtre passe haut digital ; les résultats sont présentés dans la figure 6.

Le filtre digital est efficace pour couper le bruit électronique à 50 Hz et ses harmoniques. Cependant, l'utilisation de ce filtre à la fréquence d'échantillonnage de 192 kHz induit d'autres bruits aux alentours de 2 000 Hz et coupe une partie du signal supposé utile. Avec une fréquence d'échantillonnage de 96 kHz, il semble qu'une partie du signal soit coupée au-dessus de 1 000 Hz.

De plus, on remarque que les niveaux de bruit ne sont pas équivalents avec l'utilisation d'un filtre digital et l'utilisation du filtre analogique. On suppose que c'est la transformation due au filtre digital qui modifie les niveaux de bruits. Dans le doute, nous n'utiliserons pas de filtre « passe haut » digital.

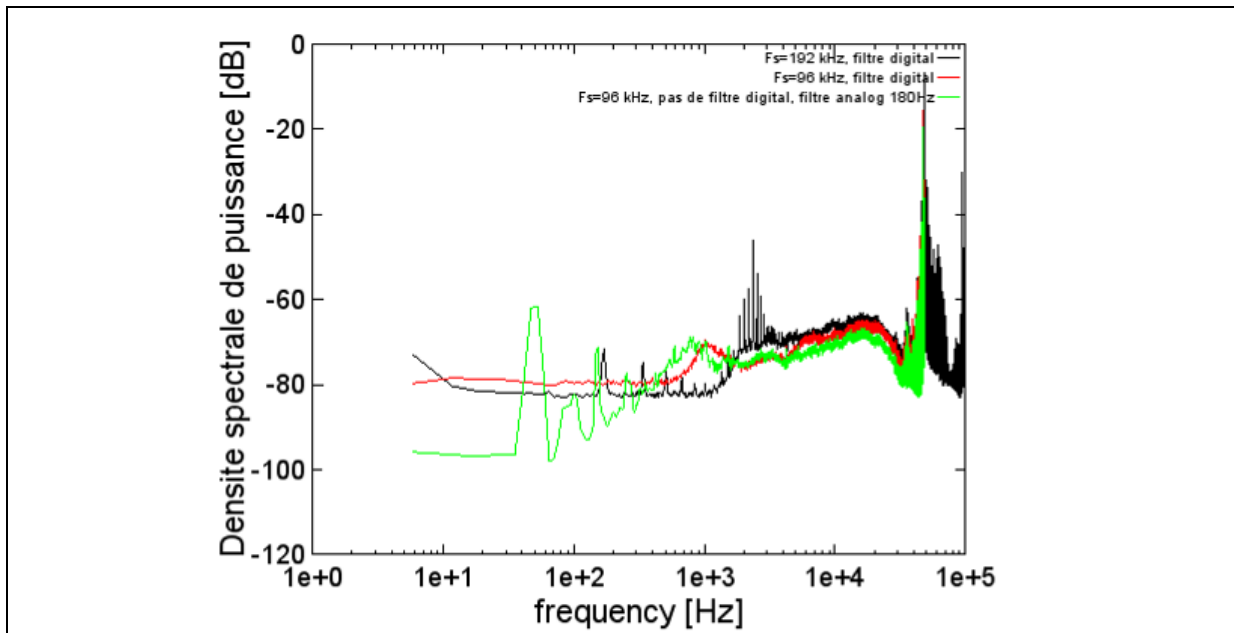


Figure 6 : Test du filtre digital. Les enregistrements réalisés avec un filtre digital n’ont pas de filtre analogique.

## 2. Mesure sur le long terme

La période de mesure s’étend du 27 août au 25 septembre 2013. Les données de hauteur d’eau fournies sont présentées dans la figure 7.

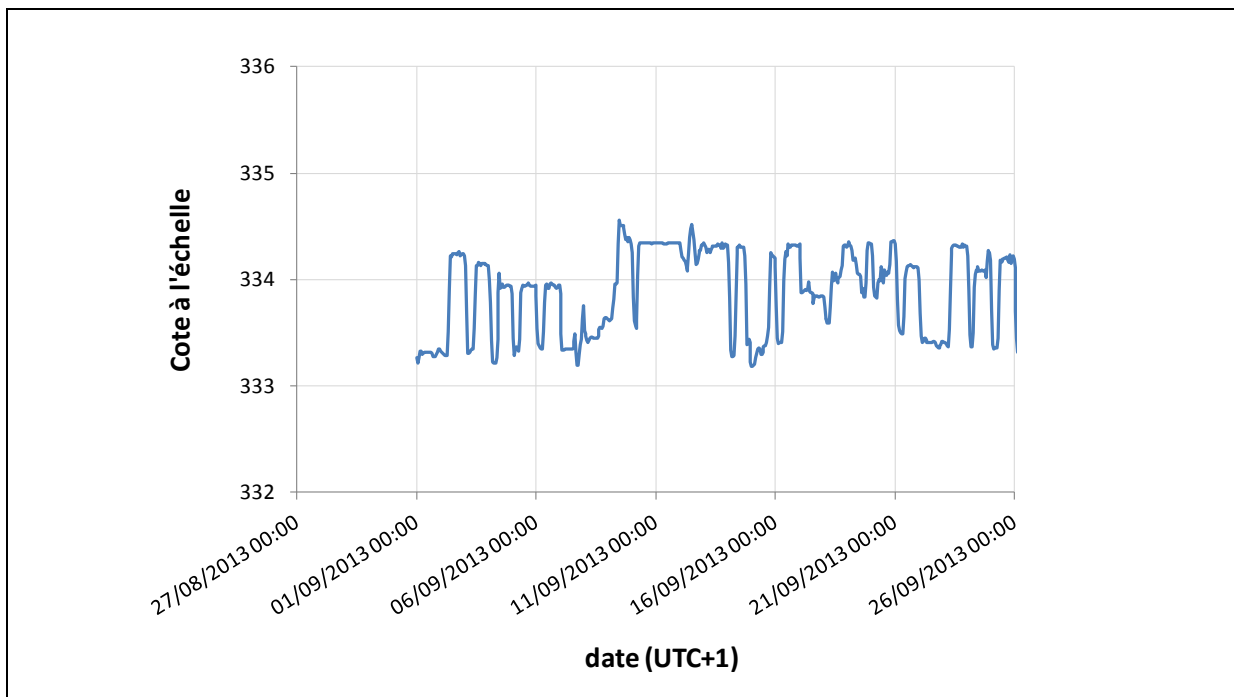


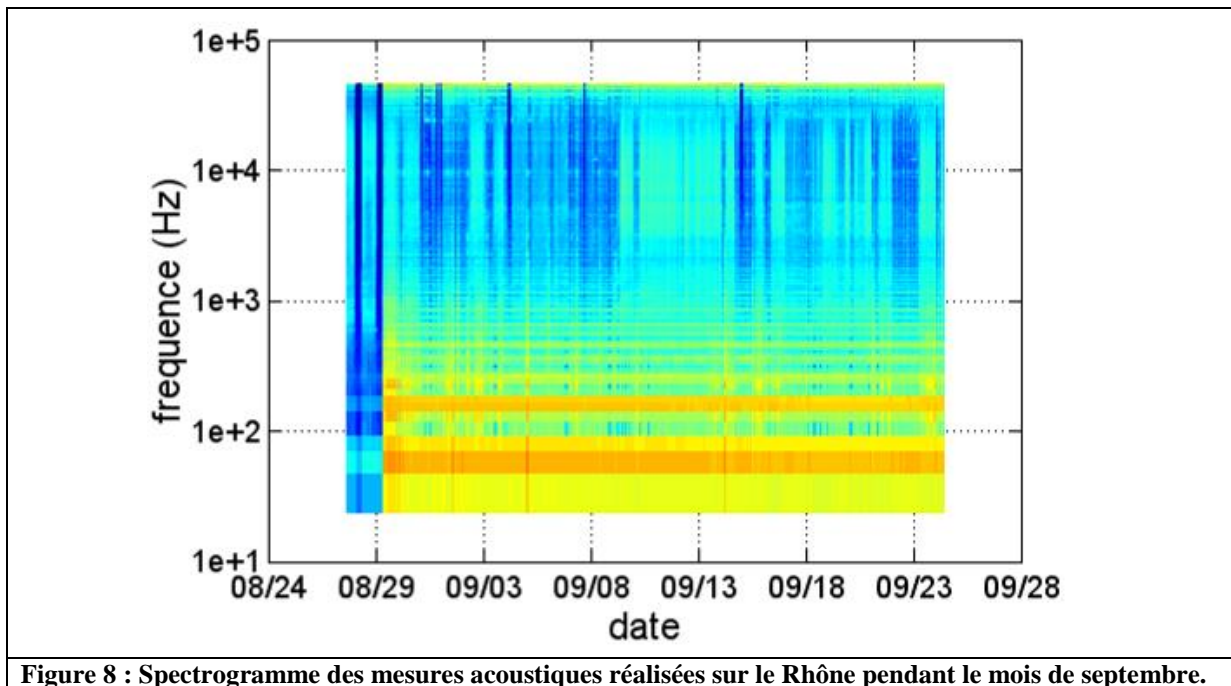
Figure 7 : Cote à l’échelle (Pougny) mesurée pendant le mois de septembre 2013.



Des mesures acoustiques ont été réalisées du 27 août 2013 au 24 septembre 2013 :

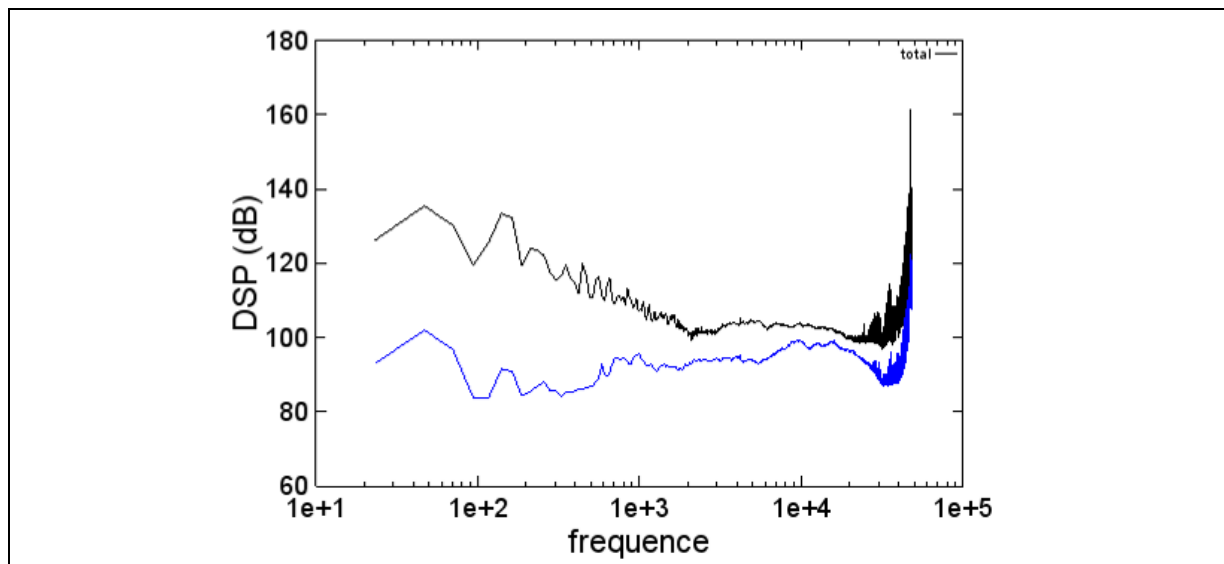
- 1 minute toute les heures
- 10 minutes à 18h tous les jours

Les données ont été enregistrées au format « wav » avec un gain de 0 dB, une fréquence d'échantillonnage de 96 kHz et un filtre « passe-haut » analogique coupant à 180 Hz. Le résultat est présenté dans la figure 8. Cette figure présente la répartition de la puissance du signal au cours du temps et en fonction de la fréquence.



La première observation concerne la différence de puissance observée entre les premiers jours de mesure (jusqu'au 30 août) et le reste de la série de donnée. On remarque que la puissance du bruit 50 Hz a très fortement augmenté le 30 août. Après le 30 août, il est possible d'observer des composantes harmoniques au-delà de 1 kHz. Le spectre de chacune de ces deux périodes a été tracé dans la figure 9. On voit une augmentation globale du bruit de 10 à 20 dB en dessous de 1 kHz. Il semblerait que cette augmentation de bruit coïncide avec le changement d'alimentation en énergie du système. Les premiers jours de mesures ont été réalisés sur piles puis l'entreprise HydroServices a branché le système via l'adaptateur SM2 sur la batterie acide/plomb (12V/16Ah).

**Remarque :** deux types de composantes électroniques ont été observées dans les mêmes bandes de fréquences, une composante continue et une composante « aléatoire ». La composante « aléatoire » n'existait pas lors de l'installation de l'hydrophone (alimentation sur piles).



**Figure 9 : Densité spectrale de puissance (dB). (-noir-) spectre moyen sur le mois de septembre. (-bleu-) spectre moyen avant branchement du système sur la batterie.**

Malgré les mauvaises conditions de mesures, on peut tout de même observer des variations d'énergie dans la bande [2 000 – 30 000 Hz] ayant été identifiée comme représentative du charriage. On peut donc calculer une puissance dans cette bande de fréquence pouvant ensuite être reliée à un flux de charriage. La partie suivante présente l'analyse faite pour sélectionner une bande de fréquence adaptée et supposée non polluée par du bruit autre que le signal du charriage « haute fréquence ».

### **3. Variation du charriage au long terme**

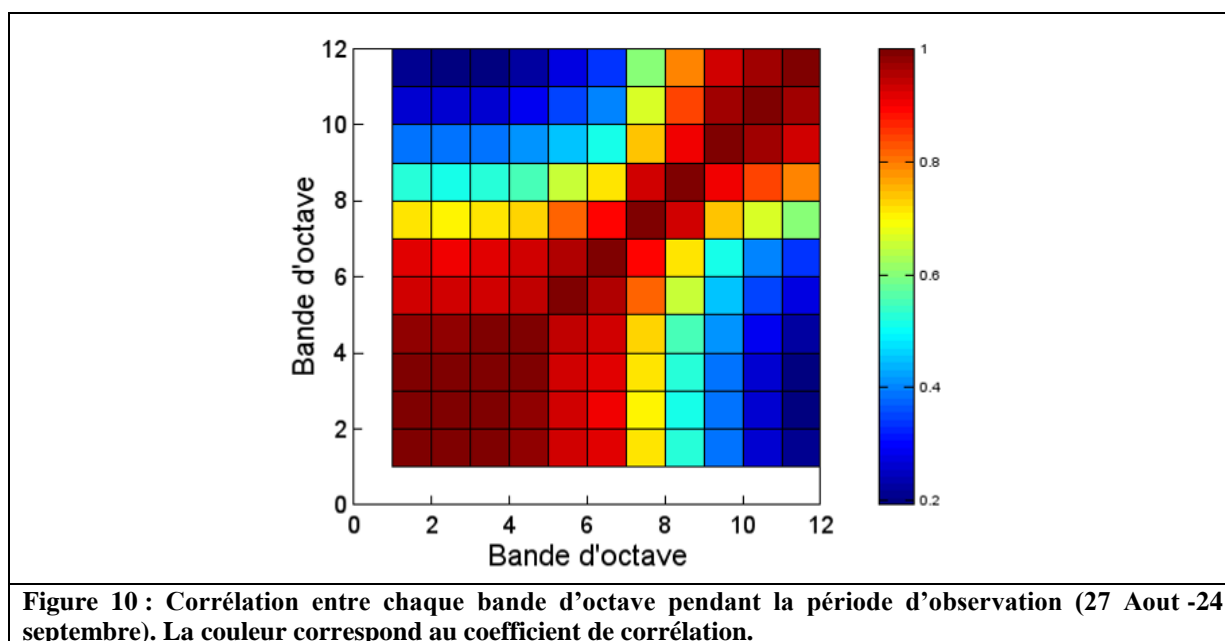
Pour commencer, une analyse par bandes d'octave a été faite (Tableau 2). L'énergie de chaque enregistrement a été calculée dans les 12 bandes d'octave définies ci-dessous. On obtient donc 12 séries temporelles d'énergie pendant la période du 27 août 2013 au 24 septembre 2013. On corrèle ces 12 périodes entre elles-mêmes (corrélations de Pearson), on obtient alors une carte de corrélation entre chaque bande d'octave sur la période de mesure (Figure 10).

**Tableau 2 :** Bandes d’octaves. Chaque bande d’octave est délimitée par la fréquence basse (lower) et haute (higher). La bande d’octave est nommée par la fréquence du centre (centroid).

Bande	Fréquence (Hz)		
	Lower	Centroid	Higher
1	11	16	22
2	22	31	44
3	44	63	88
4	88	125	177
5	177	250	354
6	354	500	707
7	707	1000	1414
8	1414	2000	2828
9	2828	4000	5657
10	5657	8000	11314
11	11314	16000	22627
12	22627	32000	45255

Deux comportements différents peuvent être observés sur la figure 10 :

- les bandes 1 à 7 [16 à 1 000 Hz] sont corrélées entre elles : il s’agit des bandes influencées par le bruit électronique à 50 Hz.
- Les bandes 10 à 12 [8 000 à 32 000 Hz] : ces fréquences correspondent au bruit coloré « haute fréquence » (cf. Figure 4).
- Les bandes 8 et 9 sont influencées par les deux types de comportements.



La bande de fréquence n°11 [11 300 – 22 600 Hz] est représentée figure 11 en fonction du temps en parallèle avec la mesure de hauteur d'eau. Il apparaît nettement que les dynamiques temporelles sont similaires. On remarque aussi de fortes chutes de bruit correspondant à des hauteurs d'eau très faibles. Il semblerait que le capteur soit hors d'eau durant ces périodes.

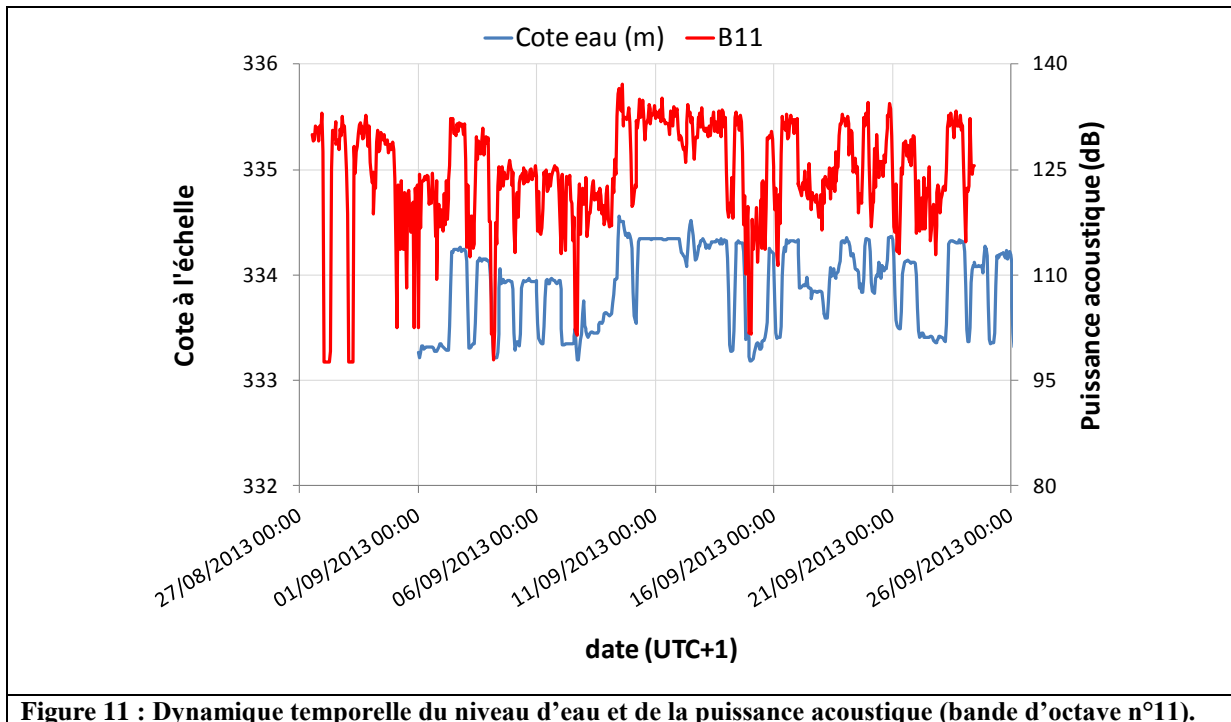


Figure 11 : Dynamique temporelle du niveau d'eau et de la puissance acoustique (bande d'octave n°11).

## 2. Conclusion

Pour conclure ce document, quelques grandes remarques peuvent être listées:

- Beaucoup de bruit électronique a pu être observé dû à l'alimentation du système (avec des remontées du 50 Hz dans le signal). Une question demeure sur la possibilité de réduire ce bruit.
- Une source de bruit très forte est présente à 47,5 kHz. Son origine reste à définir mais pourrait être liée à la position de l'hydrophone.
- Seulement une partie du signal est utilisable [3 000 - 45 000 Hz] pour une interprétation du transport par charriage. La dynamique temporelle de ce bruit est clairement liée au débit liquide dans le Rhône.
- Le capteur semble être hors d'eau pour une cote d'environ 333,5 m.

Il apparaît donc possible d'utiliser le signal hydrophone pour qualifier le charriage. Ces premiers tests font apparaître un possible charriage de sable ou graviers. Cependant, toute quantification nécessite un calage avec des mesures de charriage par prélèvement (avec l'aide d'un préleveur Helley-Smith par exemple) pour différents débits.

Il est à noter de plus que pour le site étudié (Pougny), le transport solide peut être très affecté par l'ouverture ou non des vannes du barrage de Pougny situé en amont.

### 3. Références

- Camenen, B.; Jaballah, M.; Geay, T.; Belleudy, P.; Laronne, J. B. & Laskowski, (2012). Tentative measurements of bedload transport in an energetic alpine gravel bed river River Flow, Proc. 6th Int. Conf. on Fluvial Hydraulics, ). J. P. Murillo Muñoz, R. E. (Ed.), pp. 379-386.
- Geay, T. (2013). Mesure acoustique passive du transport par charriage dans les rivières. Thèse de doctorat. *Ecole doctorale Terre, Univers, Environnement, Université de Grenoble*, 2013