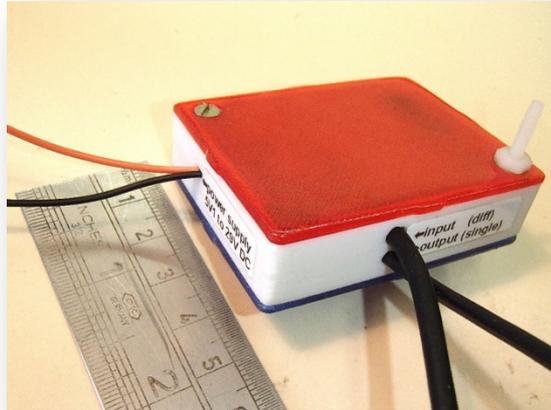


« Bubble Phone », principe de fonctionnement et caractéristiques.



1	But du montage.....	3
2	Exemples de signature acoustique de bulles dans l'eau.	3
2.1	« ÉTUDE ACOUSTIQUE DU BRUIT DE MER ».	3
2.2	Nous avons mesuré (WHOI, 01/2016).	3
3	Principe retenu pour le conditionnement du Signal issu de l'hydrophone.	4
4	Amplificateur différentiel d'entrée.	5
5	RMS, choix des paramètres de fonctionnement.....	5
5.1	Temps d'intégration.....	5
5.1.1	Temps de montée	5
5.1.2	Temps de descente.	6
5.2	Amplification de la valeur RMS.	7
6	Amplificateur intermédiaire	7
7	Résultats de mesures, chaîne complète, avec amplificateur « 10Pa ».	8
7.1	Amplitude Vs fréquence.....	8
7.1.1	Caractéristiques.	8
7.2	Linéarité	9
7.2.1	Réponse complète, jusqu'à saturation.....	9
7.2.2	Partie linéaire.....	9
7.2.3	Compression	9
8	Réponse à des impulsions (Bursts), F=2kHz, période=200mSec.	10
8.1	Burst 50mSec.....	10
8.1.1	Vin=1,4mV rms.....	10
8.1.2	Vin=10,4mV rms.....	10

8.2	Burst 9mSec (équivalent aux bulles générés à Cap Code)	11
8.3	Burst 4mSec (⇔étude du bruit de mer)	11
8.3.1	Echantillonné à 20kHz	11
8.3.2	Echantillonné à 200Hz	12
8.3.3	Echantillonné à 100Hz	12
9	Caractéristiques électriques avec amplificateur « 10Pa »	13
9.1	Bruit de fond	13
9.2	Signal	13
9.3	Alimentation	13
9.4	Entrée de mesure	13
9.5	Sortie	13
10	Conclusions	13
10.1	Choix de l'amplification	13
10.2	Nouvelles caractéristiques avec amplificateur « 5Pa »	13
10.3	Test grandeur nature	14
10.4	Faisons le bon choix ☺	14

1 But du montage.

Mesurer l'énergie acoustique générée par des bulles dans l'eau à l'aide d'un hydrophone.

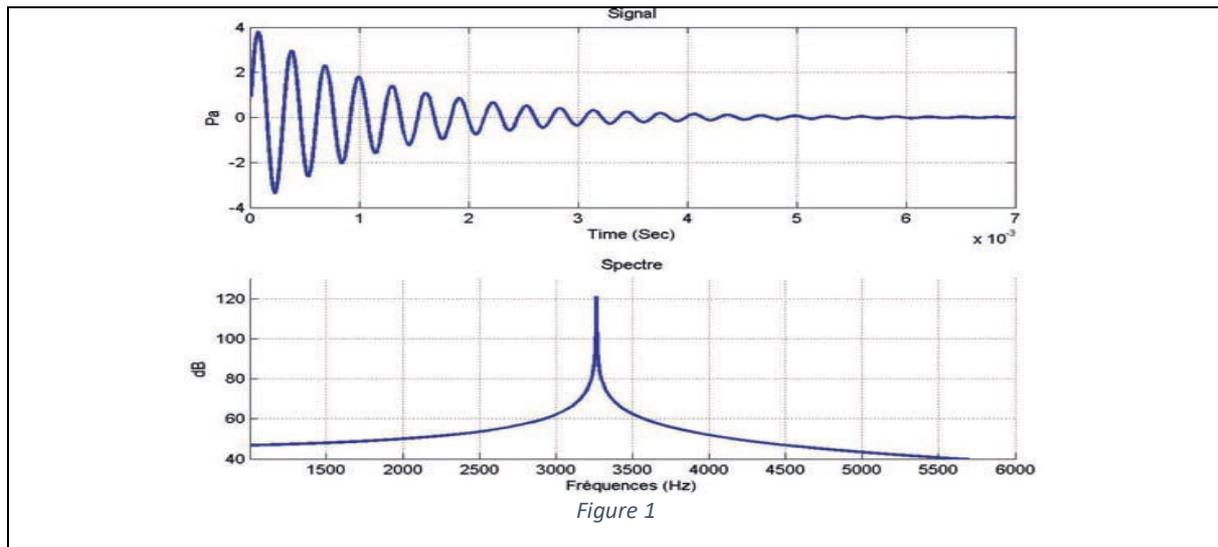
Le montage sera intégré à un OBS du WOODS HOLE OCEANOGRAPHIC INSTITUT (USA) qui sera immergé à Yellowstone Lake en août 2017.

En janvier 2017 nous avons testé un prototype, connecté à la chaîne d'acquisition d'un OBS, au WHOI. La fréquence d'acquisition sera fixée à 200Hz.

2 Exemples de signature acoustique de bulles dans l'eau.

2.1 « ÉTUDE ACOUSTIQUE DU BRUIT DE MER ».

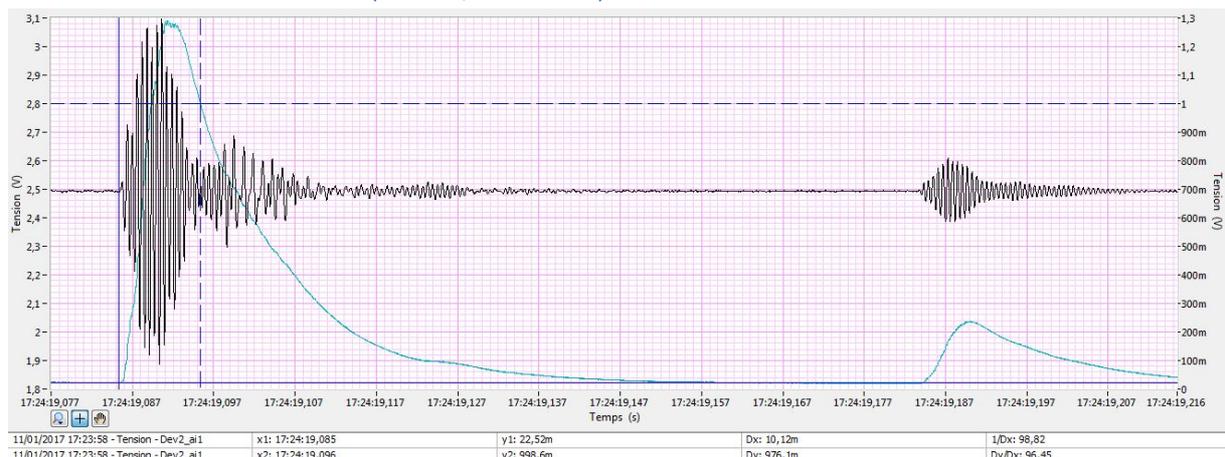
Dans cet article de Xavier Demoulin, on peut voir le signal ci-dessous.



En haut, pression rayonnée à 1 m par une bulle de rayon 1 mm placée à 10 cm sous la surface avec $\varepsilon=510^{-2}$. En bas, spectre correspondant.

- **La durée mesurable** de ce phénomène est de l'ordre de **4 mSec**.

2.2 Nous avons mesuré (WHOI, 01/2016).



Trace noire = entrée du convertisseur RMS : $F=1,6\text{kHz}$; V crête = environ 1V ; $V_{\text{rms}}=353,5\text{mV}$.

A ce niveau le gain sur l'entrée est de **x384,6**. Ce qui donne en Pascals : **2,6 Pa crête à crête** ou **0,9Pa RMS**.

Trace verte = sortie RMS= **1254mV**. Le gain est ici de **x4,5**.

Reportée à l'entrée cela donne : $1254/(384,6 \times 4,5) = 0,72\text{mVrms}$ soit l'équivalent de **0,72Pa**.

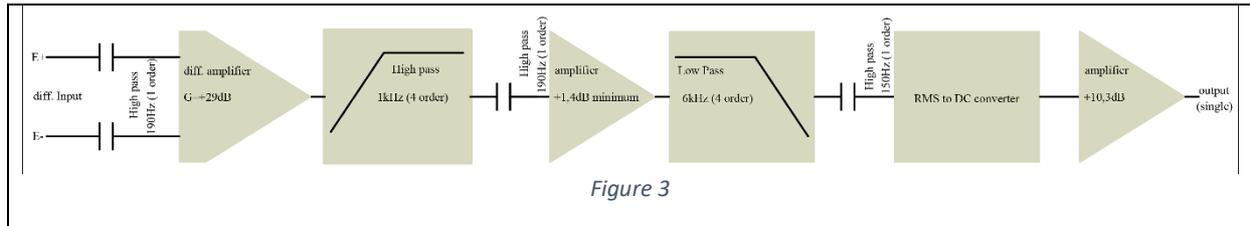
On atteint donc **80% de la valeur finale**.

Temps entre les curseurs : **9 mSec.**

Niveau du bruit de fond : 20mV Dc (sortie RMS partie basse de la trace verte).

3 Principe retenu pour le conditionnement du Signal issu de l'hydrophone.

En théorie, la fréquence, générée par les bulles que nous attendons, se situe entre 1 et 6kHz. Les tracés, Fig1 et Fig2, confirment ces valeurs. La durée du phénomène se situe entre 4mSec (Fig1) et environ 10mSec (fig2).



De gauche à droite :

- L'amplificateur d'entrée reçoit la sortie différentielle de l'hydrophone après atténuation des basses fréquences (passe haut de 1^{er} ordre, $F_c=200$ Hz). Son gain est fixé à +29dB.
- Filtre passe haut, Fréquence de coupure 1kHz, pente d'atténuation -24dB/octave.
- L'amplificateur rehausse le signal filtré de **+3,22db au minimum**. Cette valeur permet d'atteindre **5V** dc en sortie RMS pour **40Pa** appliqué à l'hydrophone. **Cet étage est interchangeable**. Par exemple, une amplification de +15,2dB, amène la sortie à **5V** pour **10Pa**.
- Le filtre passe bas à une fréquence de coupure située à 6kHz et une pente d'atténuation mesurée à -27dB/octave. Il limite la bande de fréquence à celle qui nous intéresse. Bien qu'il soit matériellement possible de le supprimer, **on a tout intérêt à le conserver**. Ce filtre diminue le bruit de fond du montage, voir Figure9.
- Le convertisseur RMS to DC est amplifié pour donner 5V à la limite de saturation du montage. C'est « l'instrument de mesure ». **Le choix de ses paramètres est primordial** pour le bon fonctionnement du système.

4 Amplificateur différentiel d'entrée.

- Le gain donné à cet amplificateur fixera la **pression maximale mesurable** avant saturation.
- La tension de saturation, mesurée à la sortie du filtre passe haut qui le suit, est de 1170mV rms. Le gain de +29dB donné à cette étage limite la pression mesurable à **40Pa**.
- L'hydrophone est couplé à l'amplificateur à travers un filtre passe haut, de 1^{er} ordre, avec une fréquence de coupure (-3dB) située aux alentours de 200Hz.
- La figure 4, précise la pression maximale mesurable en fonction de la fréquence. (Fichier excell : « input_diff.xlsm »)

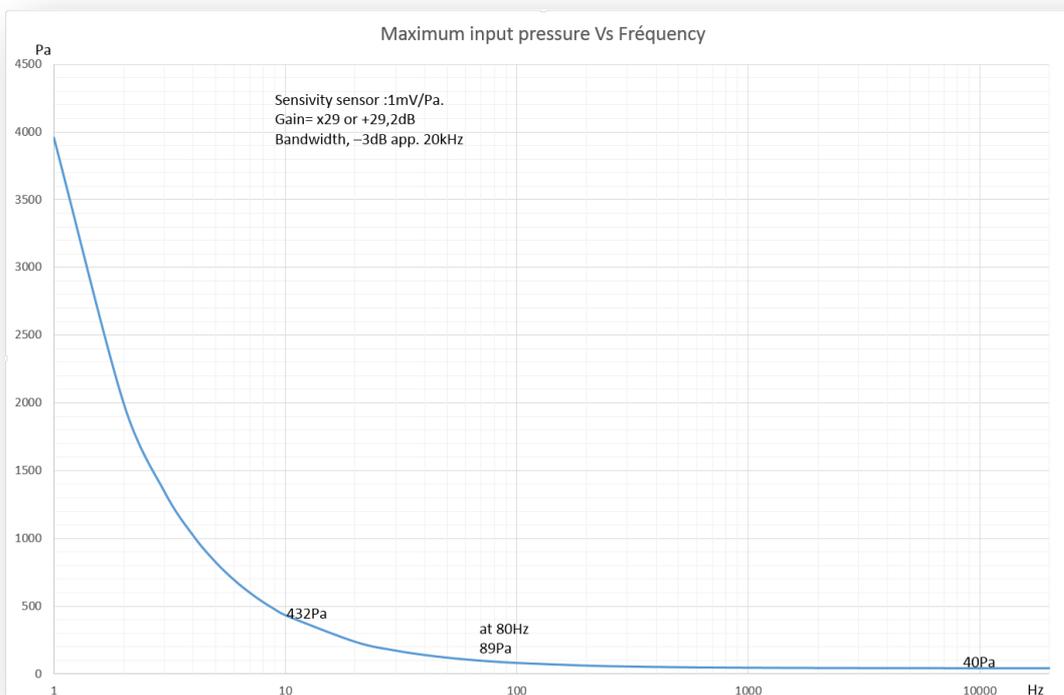


Figure 4

Alan a mesuré, à Yellowstone Lake, dans la bande 0 à 80 Hz un niveau compris entre **0,24 et 2,4Pa** avec pic à 100Pa. A 80Hz, la limite de mesure se situe à 89Pa. Cet étage ne sera donc pas saturé par le bruit ambiant connu.

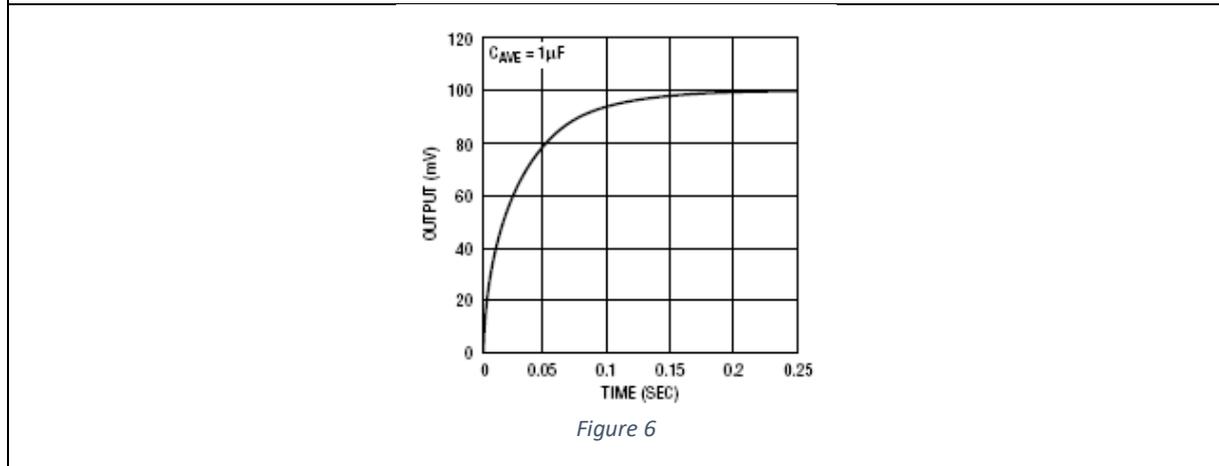
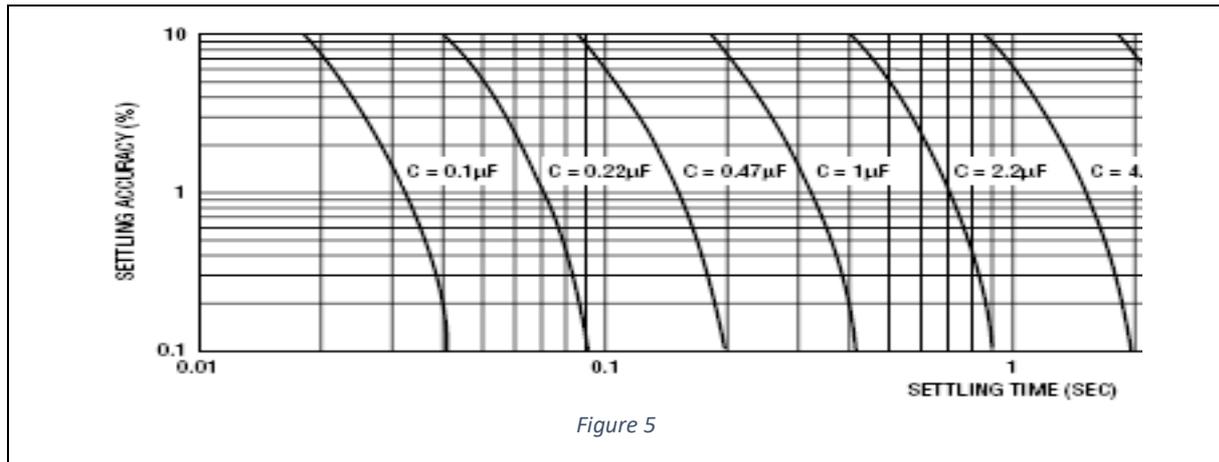
5 RMS, choix des paramètres de fonctionnement.

5.1 Temps d'intégration.

Pour choisir la durée d'intégration, il est indispensable de tenir compte des temps de réaction du convertisseur RMS-Vdc.

5.1.1 Temps de montée

La durée du temps de montée n'est pas négligeable par rapport aux durées (entre 4 et 10mSec) des phénomènes que l'on veut mesurer. Elle dépend, voir Fig 5 et 6, de la valeur du condensateur d'intégration.



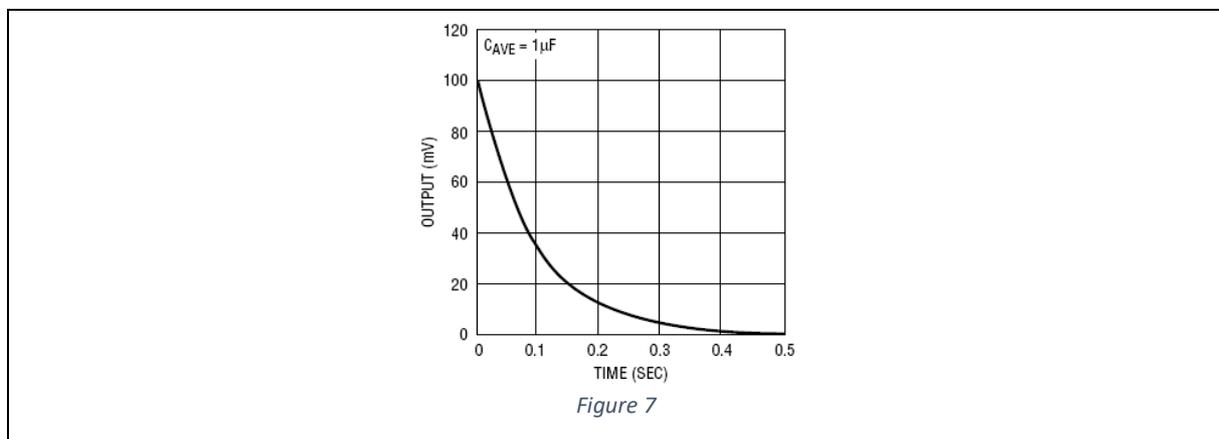
J'ai choisi $C=100n$ ce qui donne un temps d'intégration théorique de 5mSec. On voit, figure 5, qu'en 20mSec on atteint une précision d'environ 7,5%, soit **92,5% de la valeur mesurée**.

Avec $C=1\mu$, on voit, figure5, qu'en 20mSec on atteint seulement **25% de la valeur mesurée**.

Pour obtenir un maximum de tension sur les phénomènes que l'on veut mesurer, **il ne faut pas augmenter le temps d'intégration**.

5.1.2 Temps de descente.

On ne peut pas, non plus, diminuer le temps d'intégration de façon inconsidérée. Temps de montée (Fig6) et de descente (Fig7) sont liés à la valeur de C. Si cette valeur est trop petite, le temps de descente (maintien) deviendra trop court pour pouvoir numériser, la valeur de la tension, à une fréquence d'échantillonnage de 100 ou 200Hz.



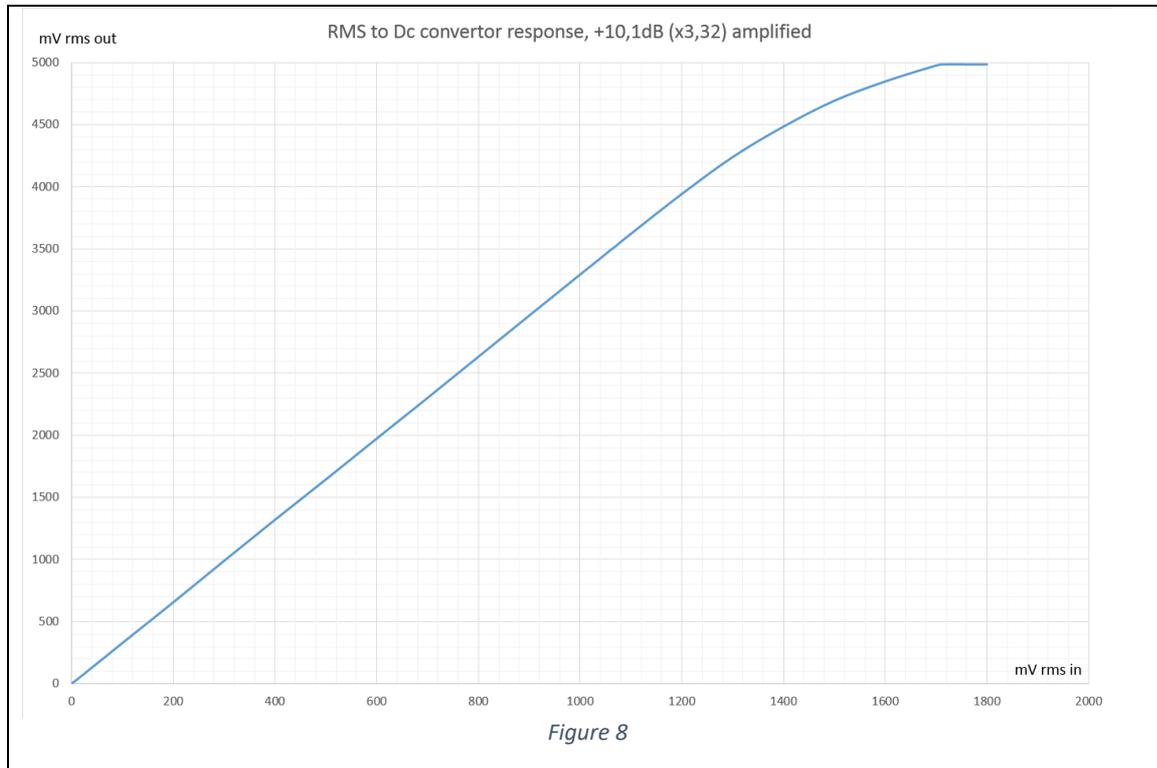
On remarquera que l'échelle de temps est le double de celle de la figure 6 (temps de montée).

5.2 Amplification de la valeur RMS.

Le montage est alimenté en 5V. L'amplitude crête à crête du signal alternatif à mesurer sera de 5V au maximum. Sa valeur RMS sera donc de **1,76V**. A cette valeur, la Figure 8, montre qu'on se situe en dehors du domaine de linéarité du convertisseur RMS-Dc.

Ce « défaut » est intéressant. Avec le gain de x3.29, la sortie est à 4973mV pour 1700mV au lieu de 5593mV, l'étage se comporte comme un compresseur ce qui permet de gagner 1dB sur la dynamique de mesure. La tension de sortie maximum, **4982mV**, est atteinte pour **1714mV** en entrée.

Vout avec entrée en CC : **6,5mV**.



6 Amplificateur intermédiaire

Le gain de cet amplificateur fixe la sensibilité et l'amplitude de pression mesurable par le montage.

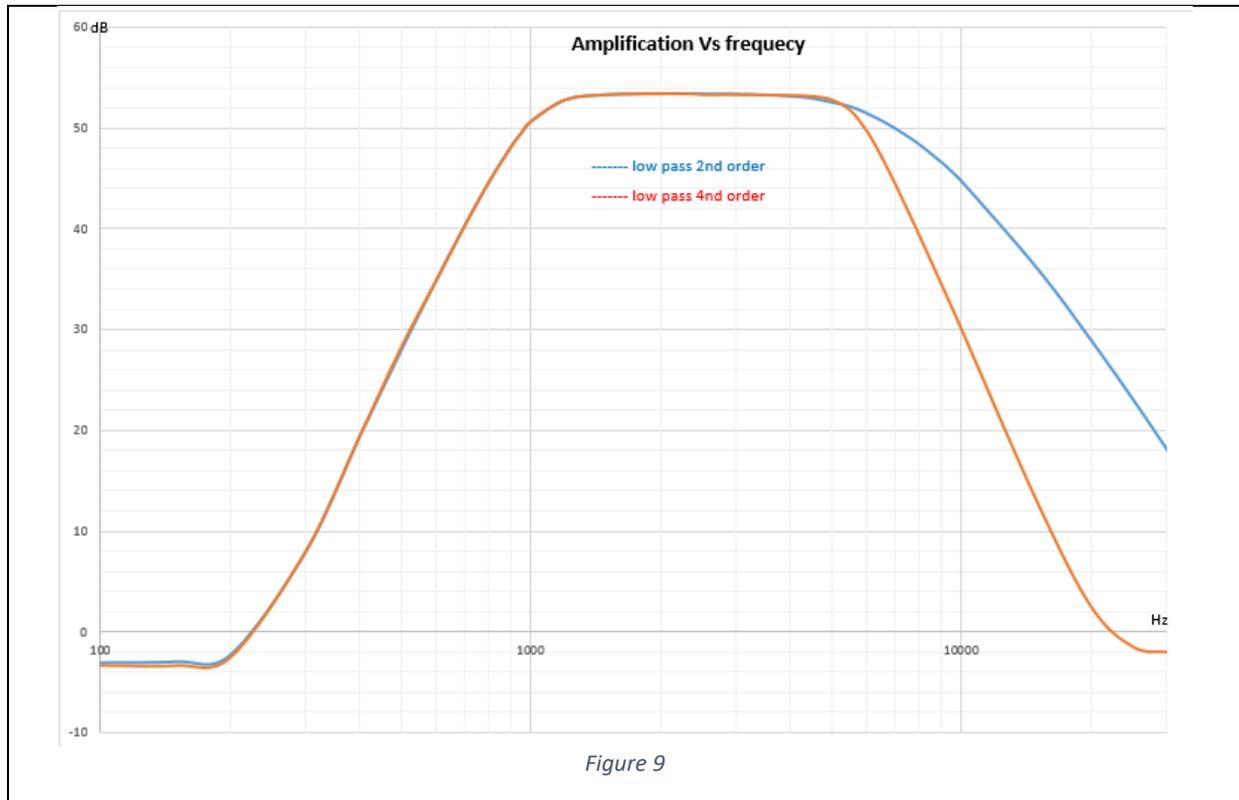
Amplitude souhaitée en Pa	Amplitude possible en Pa	Gain linéaire de l'amplificateur	Gain totale de la chaîne de mesure
40	39,9	1,453	129,45 ⇔ +42dB
20	19,92	2,91	259,25 ⇔ +48,27dB
10	9,97	5,81	517,62 ⇔ +54,28dB
5	4,9	11,83	1054 ⇔ +60,45dB

L'amplitude possible est conditionnée par la valeur des composants électroniques disponibles sur le marché. Le gain de 517,62 est la valeur mesurée avec l'ampli « 10Pa » réalisé pour les tests de cette page. Les autres gains sont déduits de cette valeur.

7 Résultats de mesures, chaîne complète, avec amplificateur « 10Pa ».

7.1 Amplitude Vs fréquence.

Le module destiné à être installé à Yellowstone en aout 2017 sera équipé du filtre passe-bas de 4^{ème} ordre (courbe rouge).



En bleu, mesure réalisée avec un filtre passe-bas de 2nd ordre, en rouge 4^{ème} ordre.

Les mesures sont effectuées avec un signal d'amplitude **10,6mV rms**. Tension de sortie maximale **4950mV dc**, minimum 7,5mV dc.

Feuille de mesure : « rep_bubble_10Pa.xlsx ».

7.1.1 Caractéristiques.

Bande passante -3dB : 1020Hz_6200Hz.

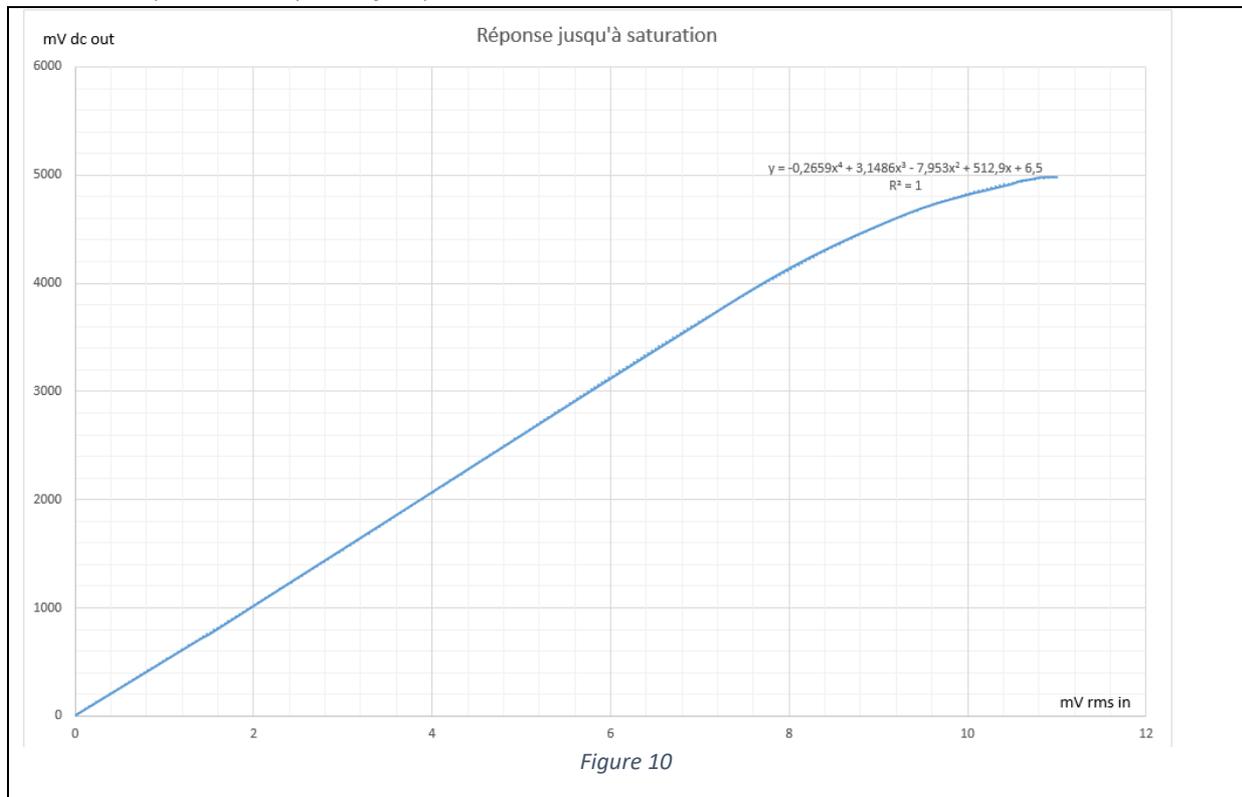
Atténuation : passe-haut= -24dB/octave ; passe-bas= -27dB/octave

Dynamique 56,7dB.

7.2 Linéarité

Fréquence du signal de mesure = 2kHz.

7.2.1 Réponse complète, jusqu'à saturation.



On retrouve ici la courbe caractéristique du convertisseur RMS vers Dc.

V out dc : mini=**6,5mV** (entrée en court-circuit)

Saturation = **4982mv** (pour **10,9mV** rms en entrée)

7.2.2 Partie linéaire

On obtient : $Y=517,62x + 6,5$ (avec $R^2= 0,9999$)

Soit une sensibilité de **517,62mV/Pa** ou 1 mV pour 1,9mPa rms (5,3mPa crête à crête)

7.2.3 Compression

Sans compression on aurait : $V_{in\ max} = 9,6mV\ rms$ ($4982/517,62$). Donc P max=**9,6Pa**

On mesure : $V_{in\ max} = 10,9mv\ rms$. Donc P max=**10,9Pa**

Ce qui donne **1,1dB de compression** [$20 * \text{Log} (10,9/9,6)$]

8 Réponse à des impulsions (Bursts), F=2kHz, période=200mSec.

Trace noire=signal d'entrée, échelle de gauche.

Trace verte=signal de sortie, échelle de droite

8.1 Burst 50mSec.

8.1.1 $V_{in}=1,4mV$ rms.

« burst 50m_1,4mV.xlsx »

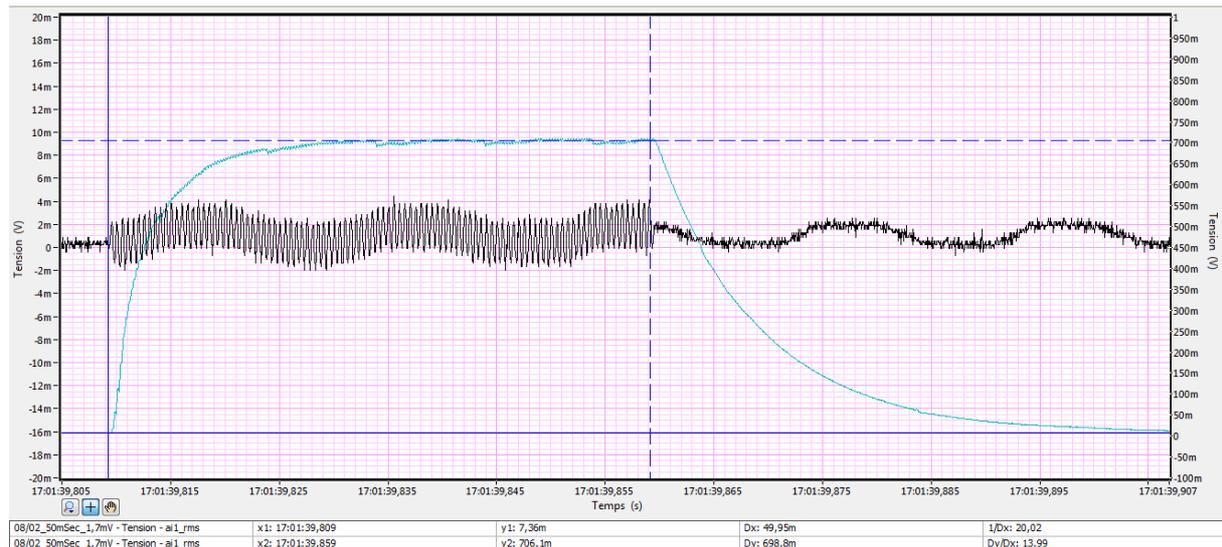


Figure 11

$V_{in}=1,4mV$ RMS ; $V_{dc out} = 708mV$ (Théoriquement : $1,4mV * 517 = 723mV$)

8.1.2 $V_{in}=10,4mV$ rms.

« burst 50m_echant_20kHz.xlsx »

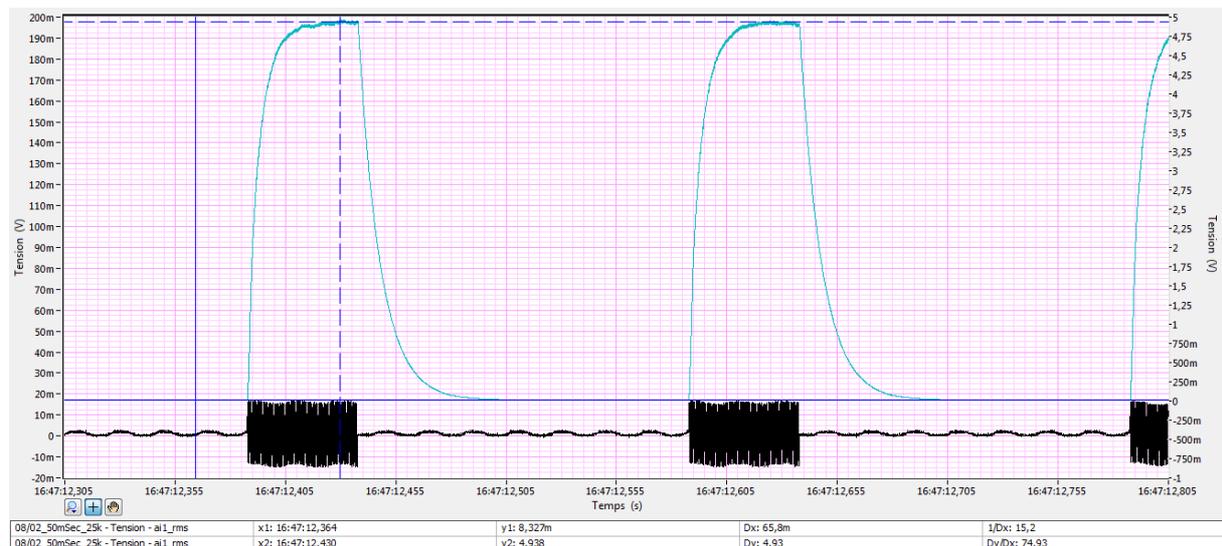


Figure 12

$V_{in}=10,4mV$ rms ; $V_{out}=4938mV$ dc ($T_h=5423mV \Leftrightarrow$ effet de compression).

8.2 Burst 9mSec (équivalent aux bulles générés à Cap Code)

“burst 9m_echant_20kHz.xlsx”

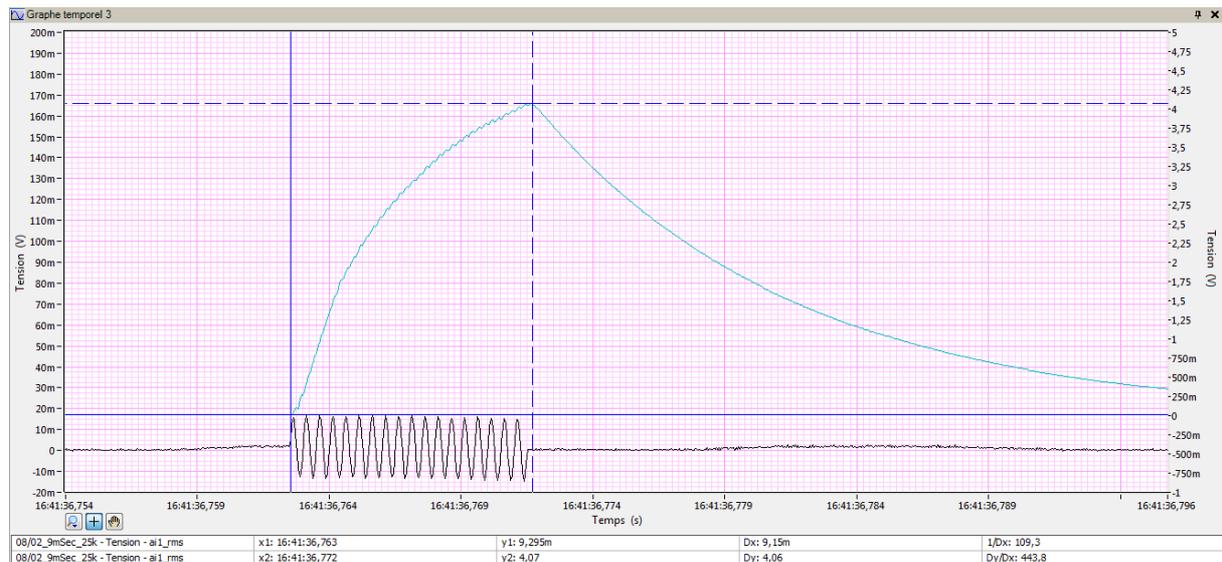


Figure 13

Vin=10,4mV rms; Vout=4060mV dc (Th=5423mV)

8.3 Burst 4mSec (↔étude du bruit de mer)

8.3.1 Echantillonné à 20kHz

“burst 4m_echant_20kHz.xlsx”

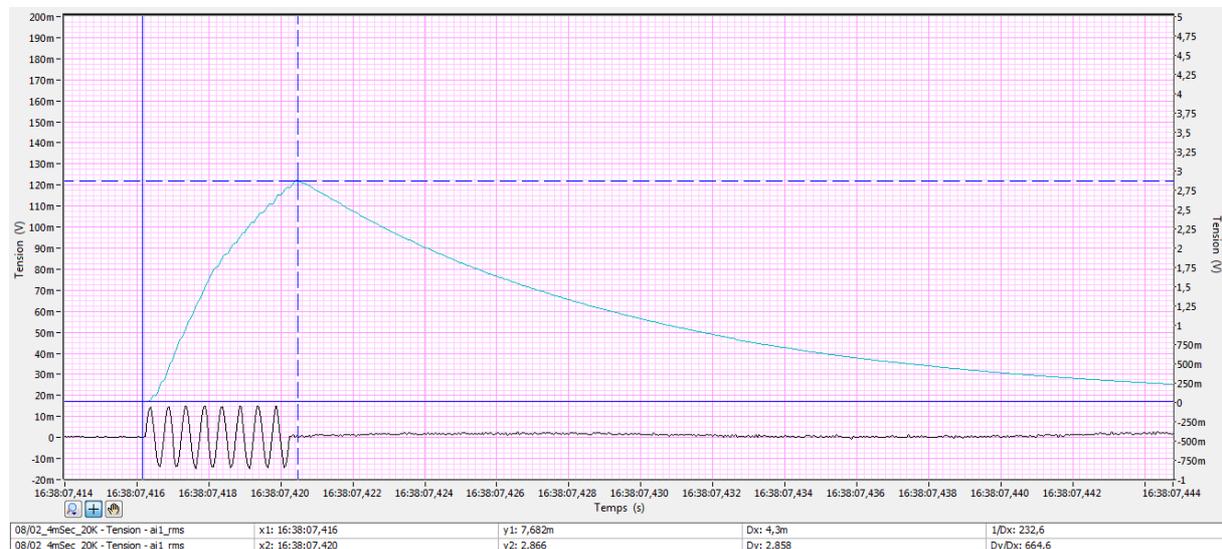


Figure 14

Vin=10,4mV rms; vout=2858 mV dc out

8.3.2 Echantillonné à 200Hz

“burst 4m_echant_200Hz.xlsx”



Figure 15

Vin=10,4mV rms; vout=2433 mV dc out

8.3.3 Echantillonné à 100Hz

“burst 4m_echant_100Hz.xlsx”



Figure 16

Vin=10,4mV rms ; Vout=1714 mV dc out

9 Caractéristiques électriques avec amplificateur « 10Pa ».

9.1 Bruit de fond.

On ne peut qu'estimer la valeur du bruit de fond des mesures finales. Elle ne sera connue, avec précision, que lors des premières acquisitions.

- Nous avons **6,5mVdc** en sortie du montage testé quand l'entrée est en court-circuit.
- Figure2, mesure « WHOI », Bubble_Phone+hydrophone, la tension de sortie RMS descend autour de **21mV**. Le gain du prototype utilisé est de x1739 (+64,8dB). Le niveau de bruit, ramené à l'entrée, peut être estimé à 12µV rms. Il correspond à une pression de **12mPa**.

9.2 Signal.

- Sensibilité : **517,62mV/Pa** ou **1 mV pour 1,9mPa rms** (5,3mPa crête à crête).
- Etendue de mesure : **12mPa à 10,9Pa** pour Vdc_out=**6,5mV à 5V**. (ne pas oublier que le signal est compressé).
- Bande passante (-3dB) : de **1020Hz à 6200Hz**.

9.3 Alimentation

- 5,2V<V alim<29V
- Iq = 1000µA
- I=1270µA With Vout=4800mV
- Protégée contre les inversions de polarité par un fusible « réarmable ». En cas d'erreur il suffit de rebrancher correctement le module.

9.4 Entrée de mesure

Differential, AC coupled (high-pass, Fc = 190Hz).

Zin (differential at 20kHz) = 164 Kohms.

Absolute maximum: V ac, on each input (single) at 20kHz, versus ground, +/- **25V**.

9.5 Sortie

0 to 5V; Z = 36 ohms

10 Conclusions

Les différentes mesures réalisées, montrent que le choix du filtrage et les paramètres du convertisseur RMS, conviennent à notre attente. Nous serons en mesure de détecter des impulsions de fréquence, de **1kHz à 6kHz**, aussi courte que **4mSec**. On notera, que **pour des impulsions de durée <20mSec, l'amplitude mesurée sera inférieure à l'amplitude réelle du phénomène.**

10.1 Choix de l'amplification.

- Le gain du prototype testé au WHOI est de +8dB (x1739).
- Le gain du prototype testé ici est de +54,27dB (x517), avec l'amplificateur « 10Pa ».
- **J'équiperai le prototype, qui sera installé à Yellowstone Lake, d'un amplificateur « 5Pa ». Le gain sera de +60,45dB (x1054).**

10.2 Nouvelles caractéristiques avec amplificateur « 5Pa »

- Pression max = **5,35Pa**

- Sensibilité : **1mV** ⇔ **0,95mPa** ou 1054mV/Pa (les signaux mesurés à Cap Code auraient une amplitude de 760mV au lieu de 1254mV).
- Saturation : Alan a noté, dans les données enregistrées durant l'été 2016, que le signal RMS de l'hydrophone, dans la bande 0 à 80Hz, a une amplitude de 0,24 à 2,4Pa. Notre Bubble_Phone ne devrait donc pas saturer.
- J'ai noté que dans l'eau, l'atténuation, pour des sons de F=3kHz, est de 0,1dB/km. A 1km de leur point d'émission, nous mesurerions **751mVdc** au lieu de 760mV, pour des bulles identiques à celles générées à l'institut. ? (voir : acoustique_sous_marine_IFREMER.pdf)

10.3 Test grandeur nature

Je propose de réaliser des mesures dans le lac du Bourget...

10.4 Faisons le bon choix 😊.

Ne faisons pas mentir M Rob Sohn (<http://hdylake.org/slideshow-the-bubblephone/>) : *"The team (from left to right, WHOI OBS engineer Alan Garden, IS Terre scientist Jean Vandemeulebrouck, IS Terre engineer Jacques Grangeon) is all smiles because the tests went very well."*

J'ai consulté :

<http://www.inra.fr/Entreprises-Monde-agricole/Resultats-innovation-transfert/Toutes-les-actualites/methode-acoustique-quantite-de-poissons-lacs>

La faculté des sons de basse fréquence de se propager beaucoup plus loin que les sons de haute fréquence, c'est l'absorption à 100 Hz -> 10⁻⁴ dB par km et à 10 000 Hz -> 1 dB par km - See more at: <http://www.cetaces.org/auditorium/acoustique-sous-marine-et-cetologie/acoustique-sous-marine-et-les-cetaces/#sthash.rJOCyNat.dpuf>

Et quelques autres documents placés dans le dossier « divers_util »