



HAL
open science

Portage algorithme traitement du signal sur plateforme C embarquée

Quentin Lebedel

► **To cite this version:**

Quentin Lebedel. Portage algorithme traitement du signal sur plateforme C embarquée. Traitement du signal et de l'image [eess.SP]. 2015. dumas-01288063

HAL Id: dumas-01288063

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01288063>

Submitted on 14 Mar 2016

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.

Quentin LEBEDEL

Algorithme du traitement du signal en acoustique sous-marine et portage de l'algorithme en C sur système embarqué

Rapport de stage de 3^{ème} année

Spécialité : Télécommunications et réseaux

Tuteur enseignant : M. Eric MOREAU

Année Universitaire 2014-2015

Les remerciements

Merci à Olivier PHILIPPE, Président d'OSEAN, pour ses conseils, sa rigueur, son esprit critique, et pour toutes les notions importantes dont un ingénieur doit avoir conscience.

Merci à Florent FAYET, ingénieur traitement du signal, avec qui j'ai pu apprendre d'avantage en traitement du signal.

Merci à Françoise BOTTERO, secrétaire technico-commerciale, qui m'a aidé à réunir toutes les informations concernant la société (organigramme, forme juridique, contraintes environnementales).

Merci à Eric MOREAU, tuteur de troisième année télécommunications et réseaux.

Mots-clefs :

Mots-clefs : algorithme, traitement du signal, hydrophone, dynamique du signal, essai, fenêtrage, temps de calcul, OSEAN.

Words-keys: algorithm, signal processing, hydrophone, dynamic, trials, windowing, calculation time, OSEAN.

Résumé :

La société OSEAN est une société réalisant des systèmes marins sophistiqués. Elle est gérée par un ensemble d'ingénieurs et de techniciens qualifiés, performants et unis. J'ai eu la chance de travailler sur un algorithme de traitement du signal, depuis sa conception jusqu'à sa validation. J'ai dans un premier temps travaillé sur Octave pour simuler et m'assurer de la validité des résultats ; dans un second temps, j'ai porté l'algorithme en C sur une plate-forme Cortex M4. Pour finir, J'ai réalisé l'ensemble des tests nécessaires à son bon fonctionnement. J'ai aussi travaillé sur des étalonnages en sensibilité et directivité d'hydrophones en piscine, ainsi que sur d'autres algorithmes.

OSEAN is specialized in the study and the manufacturing of innovative systems performing in harsh environment. Its team is made of qualified and experienced engineers and technicians. I worked on a signal processing algorithm and I simulated and checked the results. Then I implement the algorithm on C Cortex M4 platform and I made tests to validate the algorithm. To finish I worked on hydrophones sensibility and directivity. And others signal processing algorithm.

Table des matières

Les remerciements.....	2
Mots-clefs	2
Résumé	3
Introduction	5
Présentation de l'entreprise	6
Algorithme de traitement du signal	7
1 Contexte	7
2 Traitement	7
2.1 Acquisition	7
2.2 Fenêtrage	8
2.3 FFT.....	9
2.4 PSD.....	10
2.5 Somme	11
2.6 Seuil	11
3 Mise en œuvre et tests	11
3.1 Paramètres et résultats	13
3.2 Limite de détection et Temps de calculs	14
4 Perspectives et idées	16
4.1 Sauvegarde et version	16
Étalonnage hydrophones	17
1 Préparation du matériel et mise en place de l'essai.....	17
1.1 Pré requis avant de commencer les mesures.....	20
1.2 Mesure	20
1.3 Méthode de mesure.....	21
Conclusion.....	23
Bibliographie.....	24
Glossaire.....	25
Annexe	26



Introduction :

J'ai effectué le stage du cursus de troisième année, de SeaTech (l'Institut des Sciences de l'Ingénieur de Toulon et du Var) dans la société OSEAN. La société est spécialisée en acoustique sous-marine. C'est un domaine qui m'intéresse beaucoup. La société réalise aussi de l'éclairage sous-marin. Elle a déménagé en août 2012 et s'est implantée au Pradet dans le Var. C'est une entreprise en pleine expansion qui ne cesse de s'agrandir.

Mon stage s'est déroulé sur une période de 5 mois environ comprise entre le 02/03/15 et le 31/07/15. J'ai pu à travers ce stage améliorer mes connaissances en traitement du signal ainsi qu'en C embarqué, et découvrir plusieurs facettes du métier d'ingénieur. Composée essentiellement d'ingénieurs et de techniciens, j'ai beaucoup appris d'eux grâce à leur collaboration.

Ce stage de troisième année a été un enrichissement personnel important, autant au niveau technique que sur le plan humain.

Nous nous intéresserons donc tout d'abord aux différents projets d'OSEAN, ensuite nous verrons les algorithmes de traitement du signal et pour terminer nous parlerons de l'étalonnage d'hydrophones.

Présentation de l'entreprise

La société OSEAN est une société d'ingénierie spécialisée dans l'étude et la réalisation de systèmes innovants capables d'évoluer en milieux hostiles. OSEAN est installée en France, au Pradet sur les bords de la mer Méditerranée. L'expérience reconnue des personnels d'OSEAN leur permet de répondre à toute demande spécifique.

La société a deux domaines d'activités, elle conçoit et réalise :

- Des systèmes électroniques spécifiques sur cahier des charges dans les domaines de l'intervention sous-marine et de l'instrumentation.

- Des systèmes d'éclairage et de vision sous-marin performants destinés à l'illumination des larges étendues d'eau, l'éclairage de coque de bateaux et la prise de vues sous-marines.

Le savoir-faire d'OSEAN repose sur une équipe de jeunes ingénieurs et techniciens passionnés, dotés de moyens techniques modernes et performants. Les techniques de bases mises en œuvre pour la réalisation de ces produits sont l'électronique, l'informatique, l'optique et la mécanique de précision. Grâce à une réflexion préalable commune menée avec le client, les développements conduisent à la réalisation de produits performants, novateurs et d'une grande fiabilité.

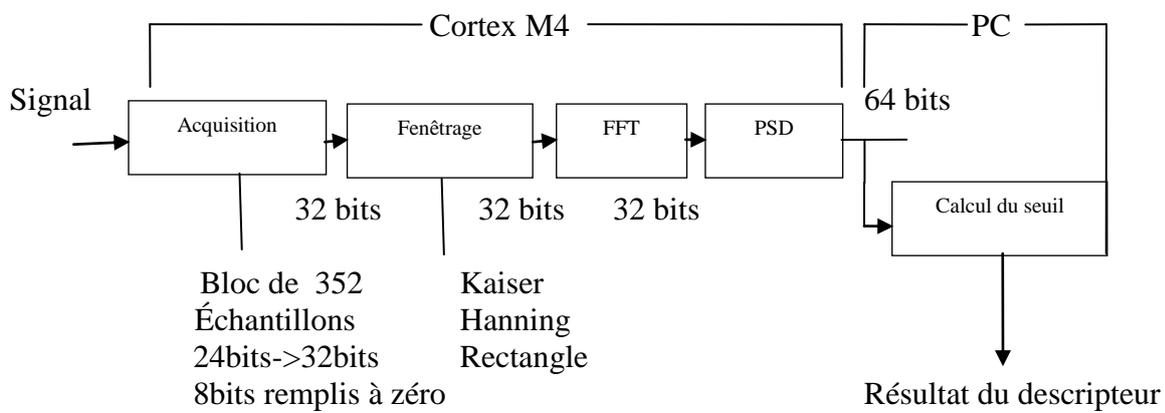
OSEAN a adopté une série de procédures internes qui permettent de garantir au client un niveau de qualité constant tout au long des projets. Les phases d'étude, d'assemblage, d'intégration, d'essais et de contrôles qualité sont réalisées dans leurs locaux. Seules les réalisations des pièces mécaniques et des circuits imprimés sont sous-traités par un réseau d'industriels spécialisés choisis pour la qualité de leurs réalisations.

Algorithme de traitement du signal

1 Contexte

- Matériels : cartes Cortex M4.
- Besoin client : Algorithme de traitement du signal permettant une détection en pourcentage selon un paramétrage précis (Descripteur).

2 Traitement



Avant portage en C toute la partie calculatoire a été réalisée et validée sous Octave.

Le traitement en C est effectué en virgule fixe 32 bits (Q31).

2.1 Acquisition

Explication acquisition :

Sur le système final, en mode acquisition, on stocke dans un tableau les données du signal pendant le temps d'acquisition et on traite une fenêtre quand on a le nombre d'échantillons correspondant à la taille de la fenêtre voulue. Les données sont sur 24 bits décalées à gauche pour avoir du 32 bits. Les huit derniers bits sont à zéro.

A la différence de la plate-forme de test, le paramètre de temps d'acquisition n'existait pas puisqu'on envoyait directement des fichiers audio sous format wav enregistrés sur des cartes SD. Puis on lit par taille de fenêtre sur le fichier wav pour effectuer la suite des calculs.

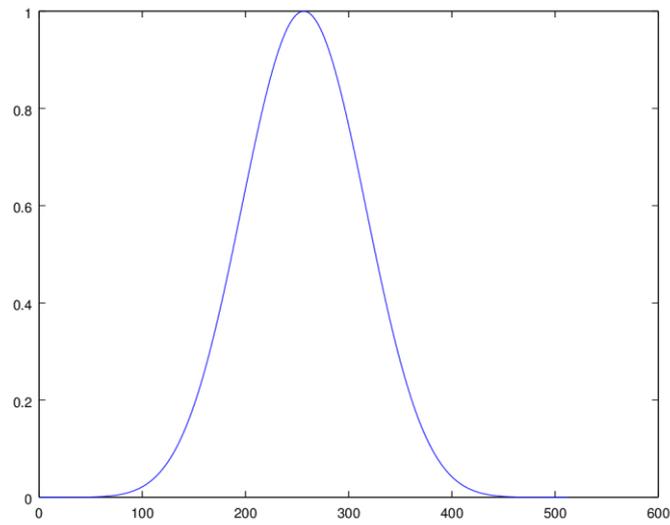
Cependant la partie calcul intermédiaire reste identique en tous points.

2.2 Fenêtrage

Explication fenêtrage :

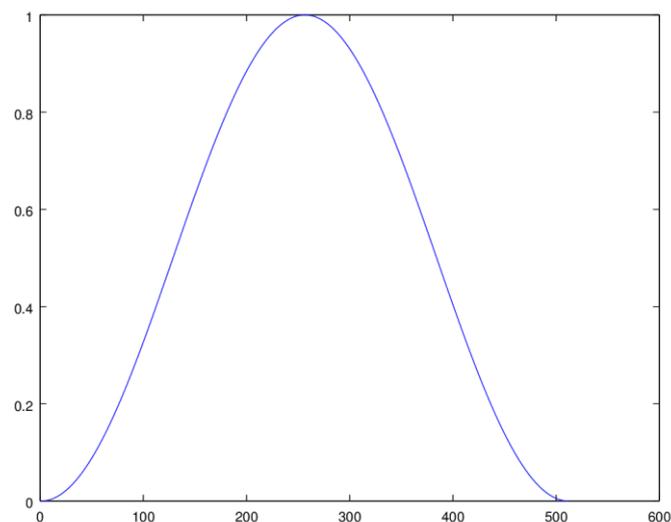
Après lecture des données on effectue le fenêtrage sélectionné c'est-à-dire le type et la taille de la fenêtre. Il s'agit de multiplier les échantillons d'entrées avec les coefficients correspondants.

Fenêtre de Kaiser :

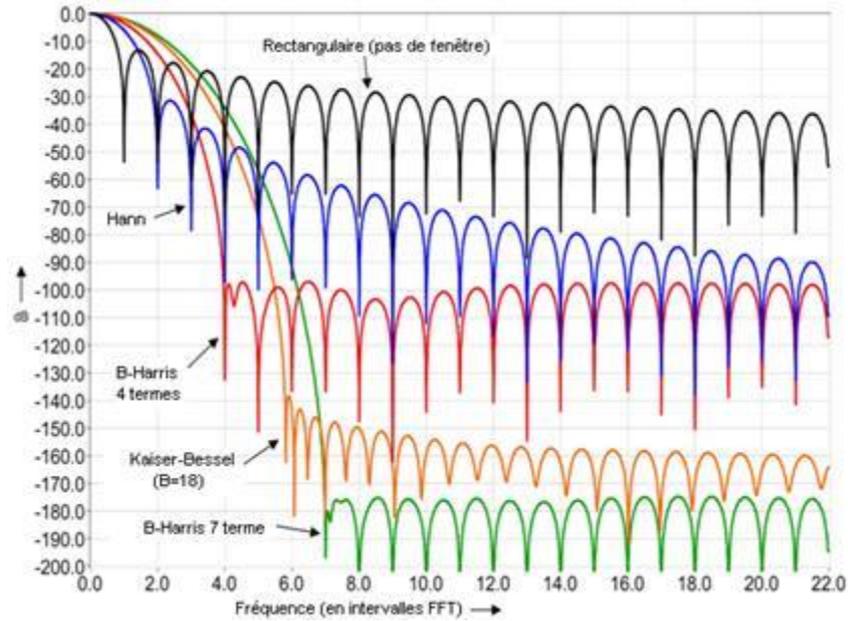


La fonction de fenêtrage Kaiser propose un paramètre variable, bêta, qui permet de trouver un équilibre entre les lobes secondaires et le lobe principal. Elle ressemble globalement à la fenêtre Blackman-Harris, mais pour un lobe principal de même largeur, les premiers lobes secondaires ont tendance à être plus élevés, tandis que les lobes secondaires plus éloignés sont plus bas.

Fenêtre de Hanning :



La fonction de fenêtrage de Hann (aussi appelée "Hanning") est adaptée aux mesures de bruits, qui nécessitent une bonne résolution de fréquence mais qui peuvent tolérer des lobes secondaires relativement importants.



2.3 FFT

Explication FFT :

On calcule la RFFT (Real Fast Fourier Transform). Le choix de la RFFT est important devant la CFFT (Complex Fast Fourier Transform) qui avait été mise en place. La RFFT permet de gagner pratiquement 50% du temps de calcul, puisque la fonction calcule la moitié d'une FFT et reconstitue l'intégralité par symétrie. Elle permet également de ne pas injecter de zéros au niveau des données d'entrées, ce qui était indispensable pour la CFFT (couple imaginaires/réels). Cependant, elle est plus gourmande en mémoire.

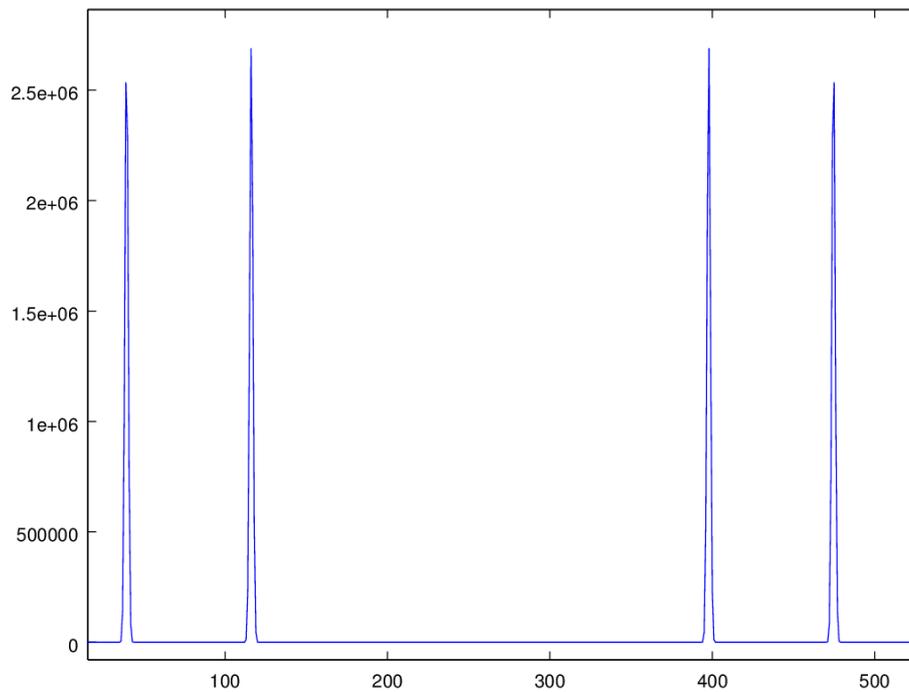
2.4 PSD

Explication PSD :

On réalise la PSD (Power Spectral Density) à partir des données issues de la RFFT. Une valeur de la PSD est calculée de cette façon : $\text{Img1} * \text{Img2} + \text{re1} * \text{re2}$.

Dans un premier temps le calcul était reconverti en 32 bits après multiplication, mais par soucis de dynamique nous avons modifié la fonction originelle pour ressortir le résultat sur 64 bits. Le résultat sur 32 bits ne nous permettant pas d'avoir une dynamique suffisamment importante pour traiter les signaux avec une très faible amplitude.

Exemple PSD effectuée sur un sinus double fréquences pures 7,5kHz et 22,5kHz :



2.5 Somme

Explication somme :

Nous calculons la somme pour chaque fenêtre de la PSD sur la plage de fréquences préalablement choisie dans les paramètres initiaux. Quand la PSD était encore effectuée en 32 bits nous stockions le résultat des sommes en 64 bits pour être sûrs de ne jamais dépasser la dynamique. Mais après modification de la PSD nous avons dû également modifier la fonction calculant les sommes pour gérer les cas de dépassement, nous avons choisi d'écarter si le résultat dépasse la dynamique maximum d'un entier 64 bits. Conséquences, si notre signal traité a une dynamique trop importante les valeurs dépassant la dynamique seront écartées donc faussées.

2.6 Seuil

Explication seuil :

Le calcul du seuil est implémenté hors du module puis est calculé en temps réel par une interface sur PC. Il reçoit grâce au module les résultats des sommes qui sont triés dans l'ordre croissant.

Calcul du seuil :

$$X = ST \text{ [arrondi (} Q * \text{ taille (S))]}$$

$$\text{Seuil} = [- X / \log (1-Q)] * \log (\text{PFA})$$

Avec Q le quantile, PFA la probabilité de fausse alarme, Y le vecteur des sommes triées et S vecteur des sommes brutes. On considère qu'il y a détection si on dépasse ce seuil.

3 *Mise en œuvre et tests*

Signaux utilisés sur plateforme de test :

Nous avons utilisé des signaux d'entrées au format wav 32 bits avec une fréquence d'échantillonnage de 100kHz :

- Un sinus de fréquence pure de 10kHz.
- Un sinus de fréquence de 10kHz avec ajout d'un bruit blanc.
- Un sinus double fréquences pures 7,5kHz et 22,5kHz.

Test valise :

Les tests sur le traitement fini et embarqué dans la valise ont été réalisés avec plusieurs types de signaux.

Configuration 1 :

- Signal : Sinus burst de récurrence 400Hz et de 38 périodes
- Sans atténuation
- Fréquence : 15 kHz
- Amplitude : 1 VRMS
- Fenêtre : Kaiser 512
- Plage de fréquence : 5kHz-20kHz
- Descripteur :
 - Quantile : 0,2
 - Probabilité de fausse alarme : 0,1
 - Nombre de points 1024
- Plage résultat descripteur 0,54-0,57

Configuration 2 :

- Signal : bruit marin réel
- Sans atténuation
- Amplitude : 1 V pic
- Fenêtre : Kaiser 512
- Plage de fréquence : 5kHz-20kHz
- Descripteur :
 - Quantile : 0,2
 - Probabilité de fausse alarme : 0,1
 - Nombre de points 512
- Plage résultat descripteur 0,17-0,2

Nous avons validé ces résultats en les comparant au traitement de départ réalisé sous Octave.

3.1 Paramètres et résultats

Paramètre :

Entrées :

- Temps d'acquisition en seconde de 1s à Xs si on souhaite enregistrer les données sinon la durée est illimitée.
- Choix du type et de la taille de la fenêtre.
 - Types : rectangle, Kaiser et Hanning.
 - Tailles : 512, 1024, 2048 et 4096.
- Fréquence d'échantillonnage de 25kHz à 100kHz sur le système GREENAR.
- Plage de fréquences comprises entre f_{min} de 0 à $f_e/2$ et f_{max} de f_{min} à $f_e/2$. La somme est effectuée sur les résultats de la PSD.
- Paramètres du seuil comprenant le quantile, la probabilité de fausse alarme et le nombre de points sur lequel calculer le seuil. Après calcul du seuil on considère que l'on détecte (selon paramètres d'entrée du seuil) ce que l'on cherche si on dépasse ce seuil.

Sortie :

- Détection du phénomène étudié et retranscription du résultat en pourcentage.

Résultats théorique FFT/PSD :

La dynamique obtenue en 32 bits s'étend de 2^{-31} à 1. Pour la FFT cela nous permet théoriquement d'avoir un résultat assez précis pour nos calculs, puisque sa formule comporte seulement des multiplications par (i, -i, 1, -1) et des sommes sur ces multiplications. Soit une dynamique permettant de mesurer des niveaux jusqu'à -186 dB. Par contre la PSD va induire des carrés dans ses calculs ce qui va diviser par deux la dynamique, soit -93 dB ce qui n'est pas satisfaisant pour nos applications.

Résultats Pratique FFT/PSD :

En pratique pour la FFT la prévision théorique est respectée. Cependant l'estimation pour la PSD est différente soit une dynamique de -70 dB en 32 bits. C'est pourquoi nous avons modifié la fonction originelle pour ressortir le résultat sur 64 bits comme expliqué dans la partie traitement. Avec cette modification nous sommes passés de -70 dB de dynamique à -150 dB en sortie de la PSD.

3.2 Limite de détection et Temps de calculs

Limite de détection :

En sortie du descripteur la limite de détection est de -106dB.

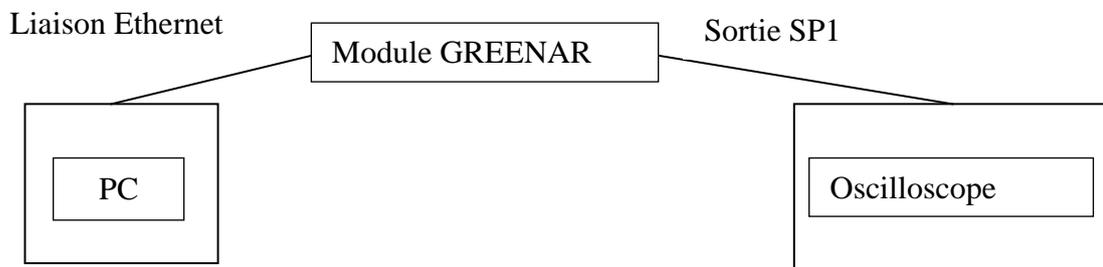
Temps de calculs :

Nous avons cherché à optimiser les temps de calculs pour pouvoir avoir un traitement rapide et évolutif. Evolutif dans le sens où nous voulons garder de la ressource pour ajouter de nouveaux traitements. Pour cela nous avons optimisé les fonctions directement et avons choisi de calculer certaines parties du traitement sur la RAM externe du module ou la RAM interne. Parfois pour des choix de rapidité mais parfois par obligation par rapport aux fonctions demandant beaucoup de ressources.

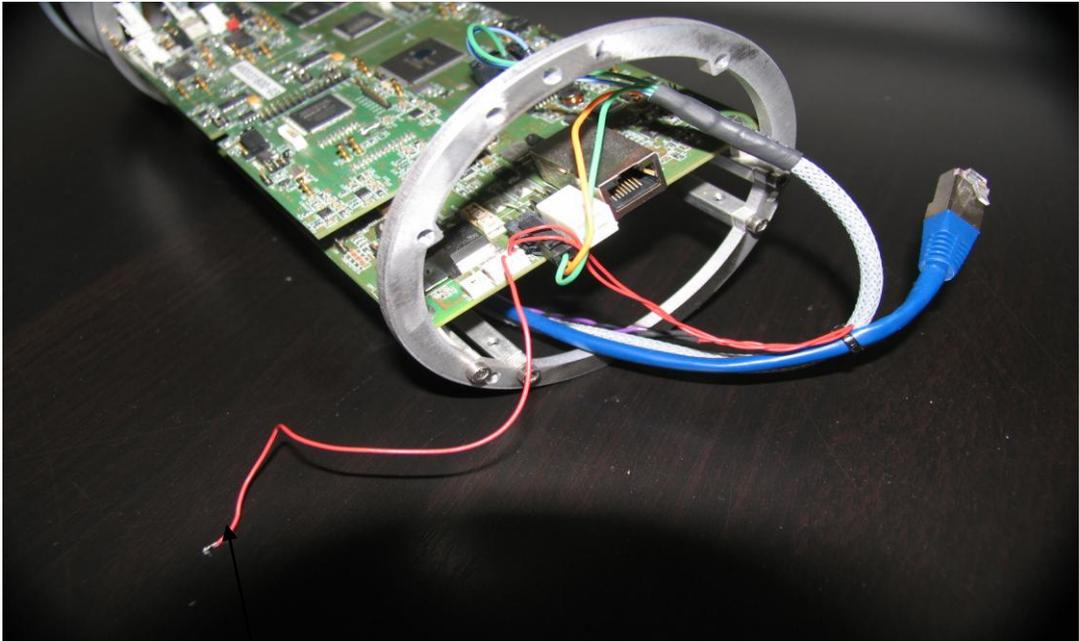
Fenêtres	512	1024	2048	4096
Temps d'une fenêtre en ms	5,12	10,24	20,48	40,96
Ensemble du traitement en ms	2,012	6,159	12,304	27,402
Ratio : temps du traitement par rapport au temps disponible	39%	60%	60%	66%

Il faut absolument que le temps de calcul sur une fenêtre ne dépasse pas le temps de cette fenêtre. Si cette condition n'est pas respectée le traitement ne peut pas fonctionner. Car cela voudrait dire que l'on commencerait un nouveau calcul sans avoir terminé le précédent. Dans notre cas nous avons même de la marge, environ 40% de moyenne.

Les mesures des temps de calculs ont été obtenues à l'aide d'un oscilloscope. Une fonction Cortex (setSP1) permet l'activation d'une sortie du module (SP1) avant le traitement et la désactivation après celui-ci, ce qui permet de visualiser un front montant ou descendant sur l'oscilloscope et de calculer sa durée.



Module



Sortie SP1

4 Perspectives et idées

Paramètres/Fonctions	Paramètres/Fonctions implémentés
Tailles des fenêtres : 512-1024-2048-4096	✓
Types de fenêtres : Rectangle-Hanning-Kaiser	✓
FFT/PSD	✓
Somme des valeurs de la DSP entre deux fréquences comprises entre f_{min} de 0 à $f_e/2$ et f_{max} de f_{min} à $f_e/2$	✓
Seuil	✓
Taux de recouvrement de 0 à 1 par pas de 0,125	

La seule fonction qui reste à implémenter est le recouvrement entre chaque fenêtre qui doit être ajustable.

De plus nous envisageons de réaliser le traitement et l'acquisition en différé pour optimiser le temps de calcul et implémenter des taux de recouvrement importants.

4.1 Sauvegarde et version

Plateforme de test :

Date : 04/06/15

Révision : 272

But : mise à niveau des commentaires.

Plateforme finale :

Date : 26/05/15

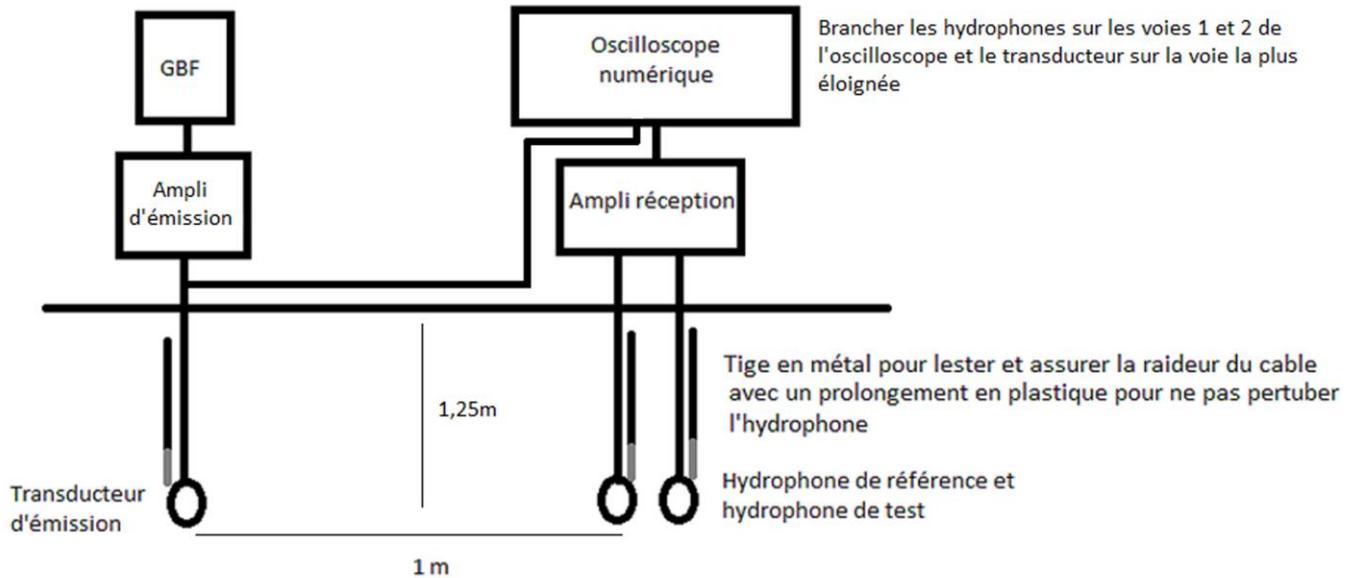
Révision : 270

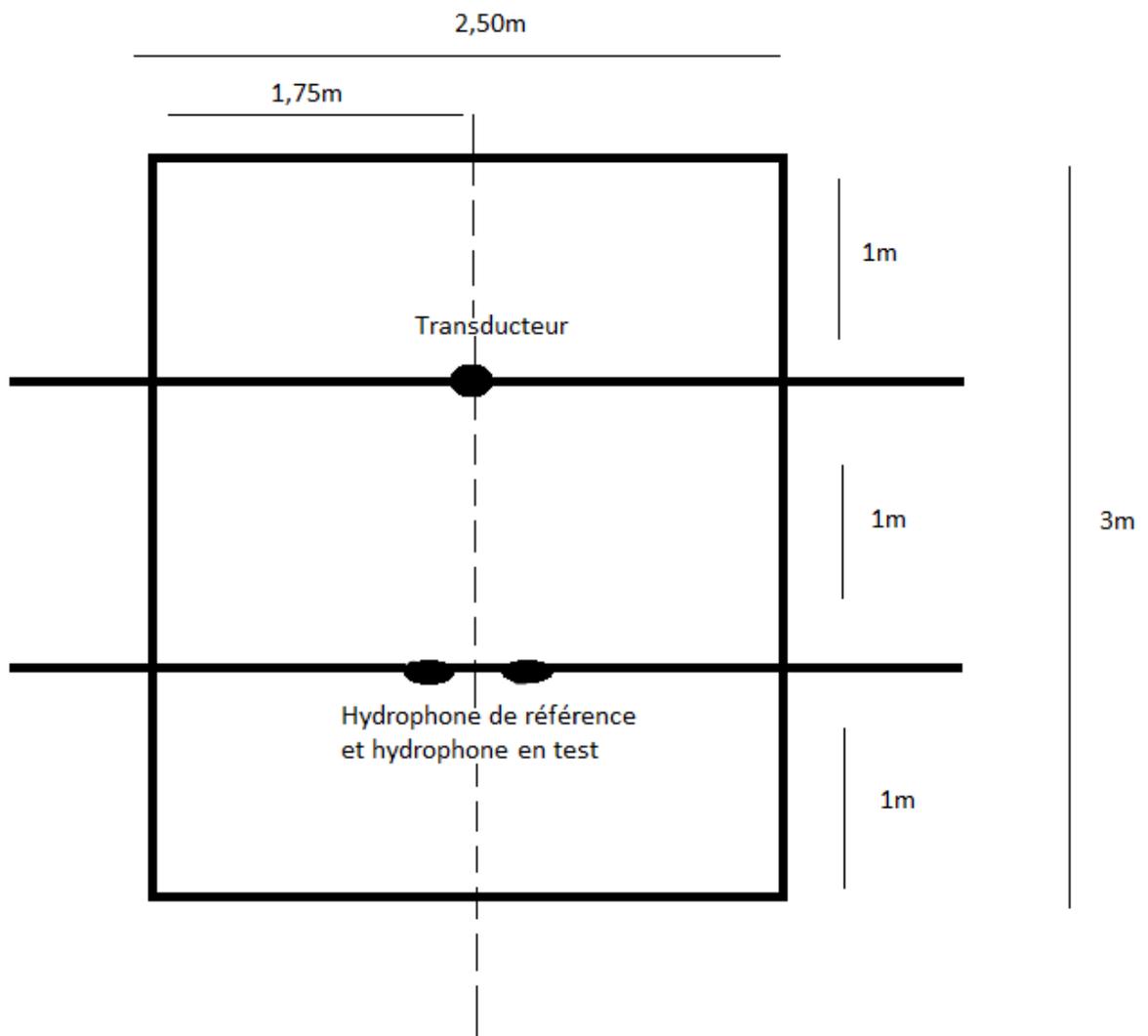
But : rectification fenêtrage.

Étalonnage hydrophones

1 Préparation du matériel et mise en place de l'essai

Nous allons voir la procédure d'étalonnage d'un hydrophone.



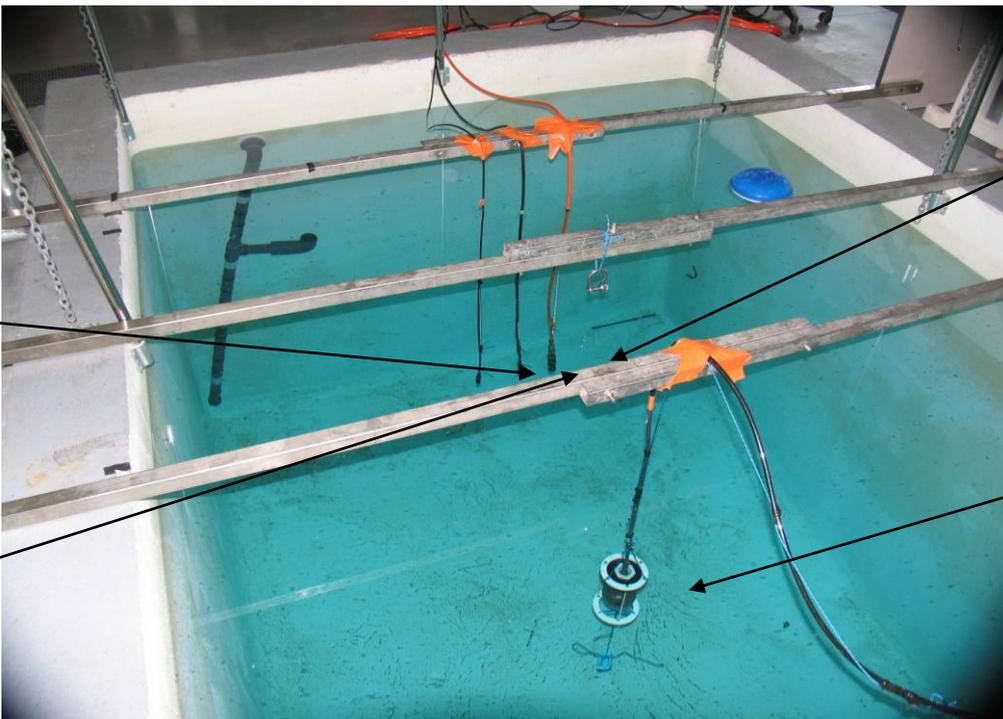


Valise
émission



Oscilloscope

Hydrophone
HTI
à étalonner



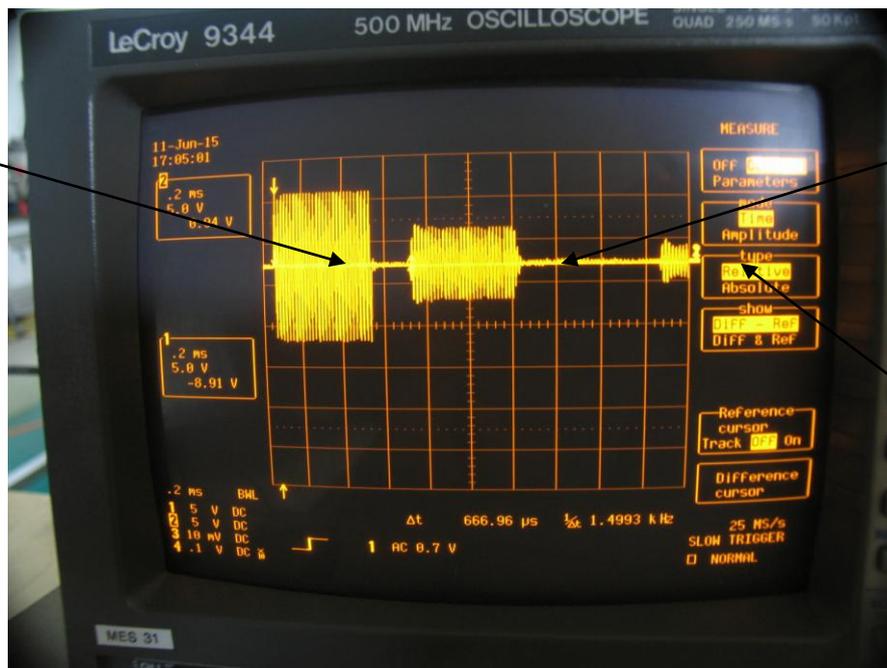
Hydrophone
8105
à étalonner

Hydrophone
8106
de référence

Transducteur

1.1 Pré requis avant de commencer les mesures :

- Vérifier la profondeur et les distances de centrage par rapport au bassin. Mettre des marques au scotch pour pouvoir permettre une mise en position plus rapide.
- Savonner au savon liquide les hydrophones et le transducteur pour éviter la formation de bulles.
- Sur l'oscilloscope visualiser l'émission et la réception sur la même base de temps et s'assurer d'avoir une distance de 1m soit un délai émission-réception de 666 μ s.



Signal émis par le transducteur

Signal reçu par l'hydrophone de référence

Écho du signal reçu par l'hydrophone de référence

1.2 Mesure :

- Paramétrer :
 - Le GBF : la fréquence appropriée pour chaque mesure, l'amplitude en V_{pp} et le bon nombre de rafale ne perturbant pas la réception (rafale=féquence*(temps aller-retour émission réception)).
 - Les amplificateurs d'émission à 24 dB ou 0 dB selon la plage de fréquences (voir mode opératoire) mesurée et les amplificateurs de réception à 60 dB.

1.3 Méthode de mesure :

- Toujours visualiser sur la totalité de l'écran un maximum de périodes propres (moins bruitées possible et sans le régime transitoire). Régler les volts par division de façon à visualiser une amplitude permettant d'effectuer des mesures. C'est-à-dire ni trop faible pour distinguer les alternances ni trop importante pour ne pas dépasser dans l'écran de l'oscilloscope. De même pour l'échelle de temps, elle doit être cadrée sur la partie du signal que l'on veut mesurer.

Calcul par FFT :

- Utiliser la fonction FFT de l'oscilloscope dans la configuration power spectrum. Se placer sur la voie qui nous intéresse, relever la valeur obtenue (en dBm) à la fréquence voulue avec les curseurs (configurés sur absolute time).



Calcul par mesure d'amplitude sur le signal :

- Relever l'amplitude crête-crête du signal, la convertir en dBv et y appliquer ensuite la formule : $20\log(V_{pp}/2\sqrt{2})$
- Pour calculer le SH il y a deux techniques :
 - Soit à partir du SV du transducteur, on applique la formule suivante : $-SV - Tx + Rx_{ref}$. Où Rx_{ref} est le niveau reçu par l'hydrophone de référence et Tx le niveau émis par le transducteur. Attention de ne pas oublier les gains et/ou atténuations.
 - Soit à partir du SH de l'hydrophone de référence, on applique la formule suivante : $SH_{ref} - Rx_{ref} + Rx$. Où Rx_{ref} est le niveau reçu par l'hydrophone de référence et Rx le niveau reçu par l'hydrophone de test. Attention de ne pas oublier les gains et/ou atténuations.

Remarque : si les mesures s'effectuent sur plusieurs jours, refaire quelques mesures déjà effectuées pour s'assurer de la similarité de la configuration.

Conclusion

Ce stage au sein de l'entreprise OSEAN a été une expérience unique. Il m'a fait utiliser les compétences que j'ai acquises au cours de mes années d'études, et m'a apporté des connaissances complémentaires. J'ai côtoyé une équipe compétente et motivée, dans une ambiance de travail agréable. Chaque membre du groupe, grâce à son vécu personnel, a enrichi mon expérience sur des domaines ne concernant pas directement mon sujet de stage mais très intéressantes pour un élève ingénieur.

J'ai eu également la chance d'avoir un sujet de stage correspondant parfaitement à mes attentes, ce qui m'a permis de confirmer mes ambitions futures concernant le traitement du signal sur systèmes embarqués.

Ce stage de fin d'étude fut une expérience très intéressante et nécessaire pour un futur ingénieur. J'ai évidemment encore beaucoup à apprendre et à découvrir tout au long de ma carrière.

Bibliographie :

Documents publicitaires internes de la société OSEAN.

Document d'aide Rédaction d'un document, d'une équipe pluridisciplinaire de SeaTech (l'ISITV).

Glossaire

- Acoustique sous-marine : c'est l'ensemble des ondes sonores se propageant sous l'eau.
- Détecteur ou tête acoustique : c'est un capteur qui convertit le signal des ondes sonores en signal électrique. Appelé aussi hydrophone.
- FFT : Fast Fourier Transform, est un algorithme de calcul de la transformation de Fourier discrète (TFD). Cet algorithme est couramment utilisé en traitement numérique du signal pour transformer des données discrètes du domaine temporel dans le domaine fréquentiel.
- PSD : Power Spectral Density, considéré comme étant le carré du module de la transformée de Fourier, divisée par le temps d'intégration.
- Fenêtre : c'est un ensemble de coefficients permettant d'isoler la partie inintéressante d'un signal étudié.
- Ecrêter : c'est pour éviter l'overflow, et donc ne pas dépasser la dynamique.

Annexe

