

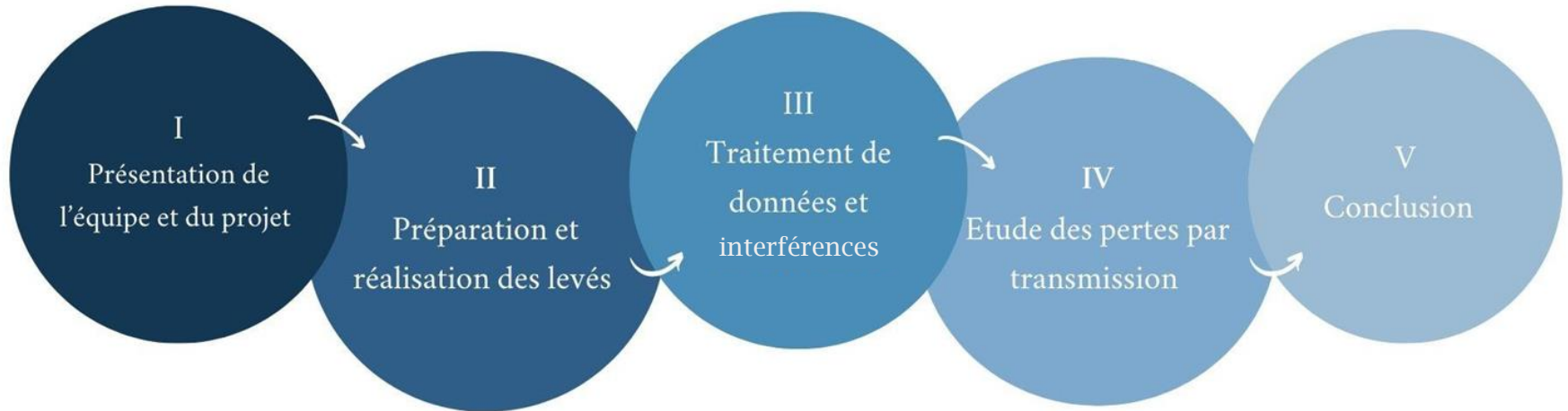


Etude expérimentale de la propagation du son dans le lac de Guerlédan

MATHIEU LE BRIS, MATURIN SIMONNEAU, LUCIE TREBAOL

07/03/2025

Sommaire





1

Objectifs du projet

Comment les signaux acoustiques se propagent dans le lac de Guerlédan

2

Questions Clés

- Jusqu'à quelle distance les signaux acoustiques sont-ils détectés ?
- Existe-t-il des pertes de transmission du signal entre les différents types de signaux émis et à différents endroits du lac ?
- Comment les variations saisonnières influencent elles la transmission des ondes sonores ?

3

Méthodologie

- Mesures réalisés en octobre et janvier
- Codes de traitement pour extraire et convertir les informations des fichiers bruts

L'analyse a porté sur trois points clés :

- La perte de transmission
- L'intensité du signal
- Les Interférences

II] Préparation et réalisation des levés Les équipements

SOURCE SONORE

LL916C - enceinte
piézoélectriques sous-
marines à piston



BOUÉE - BOITIER D'ÉMISSION

GPS, PC embarqué,
Batteries, dispositif
d'amplification



LIGNE D'HYDROPHONE

2 types :

- AS_1 (1Hz - 100kHz)



- H1A (1Hz - 4kHz)



ENREGISTREUR

TASCAM Portacapture
X8



BOITIER D'AMPLIFICATION

Amplification transfert des
signaux des hydrophones vers
l'enregistreur

II] Préparation et réalisation des levés Configuration

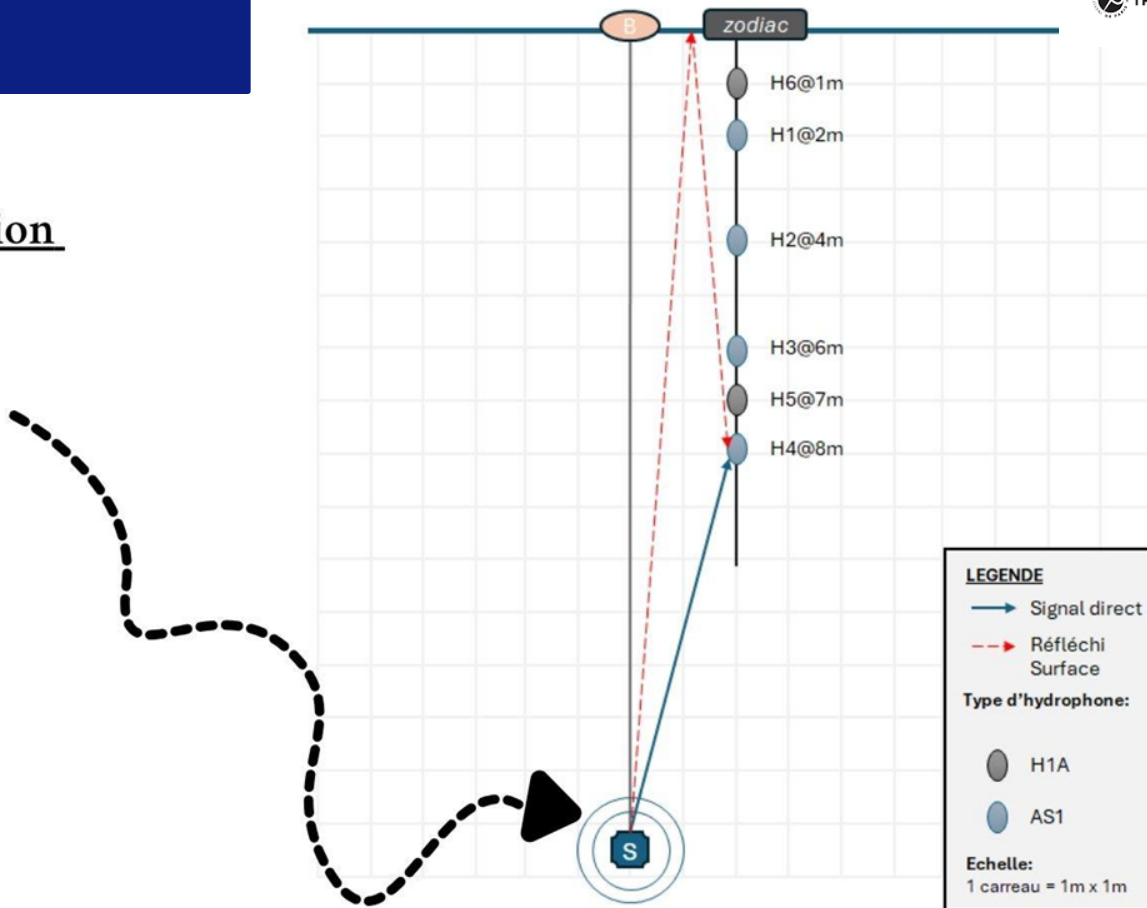
Configuration système d'émission

Choix des signaux à émettre

- chirp
- sinus CW
- Multitone

Durée d'émission des signaux

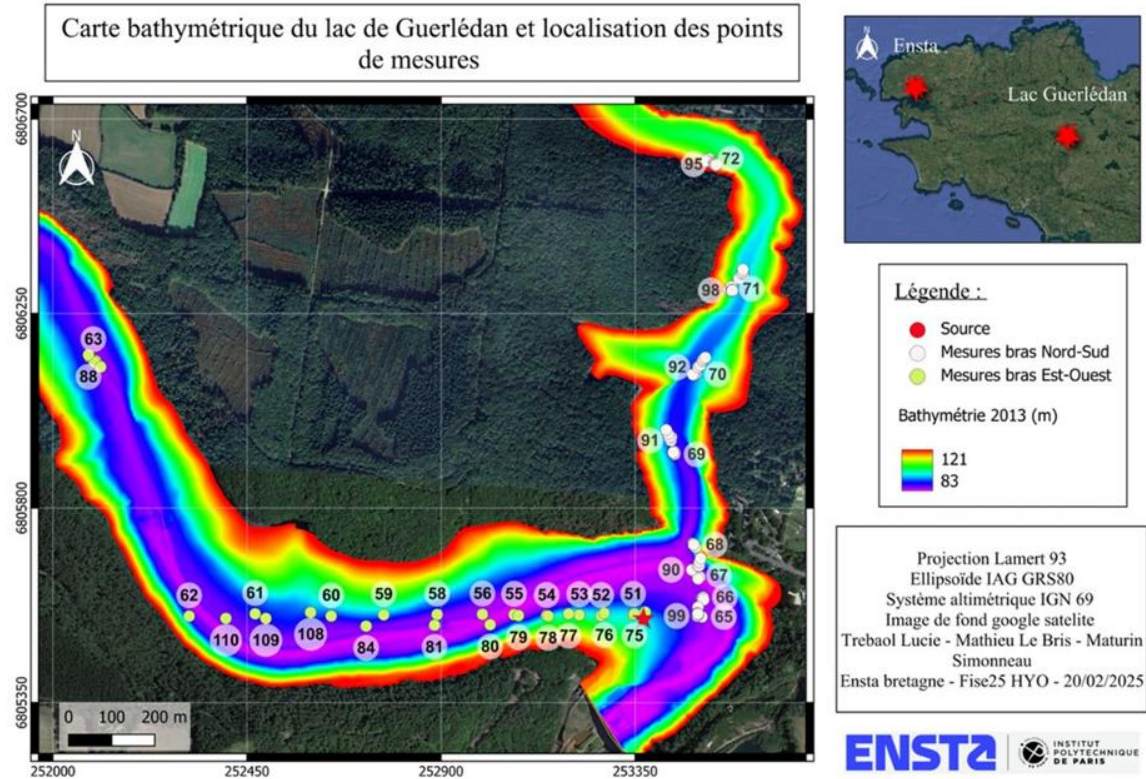
Schéma d'acquisition



II] Préparation et réalisation des levés Protocole



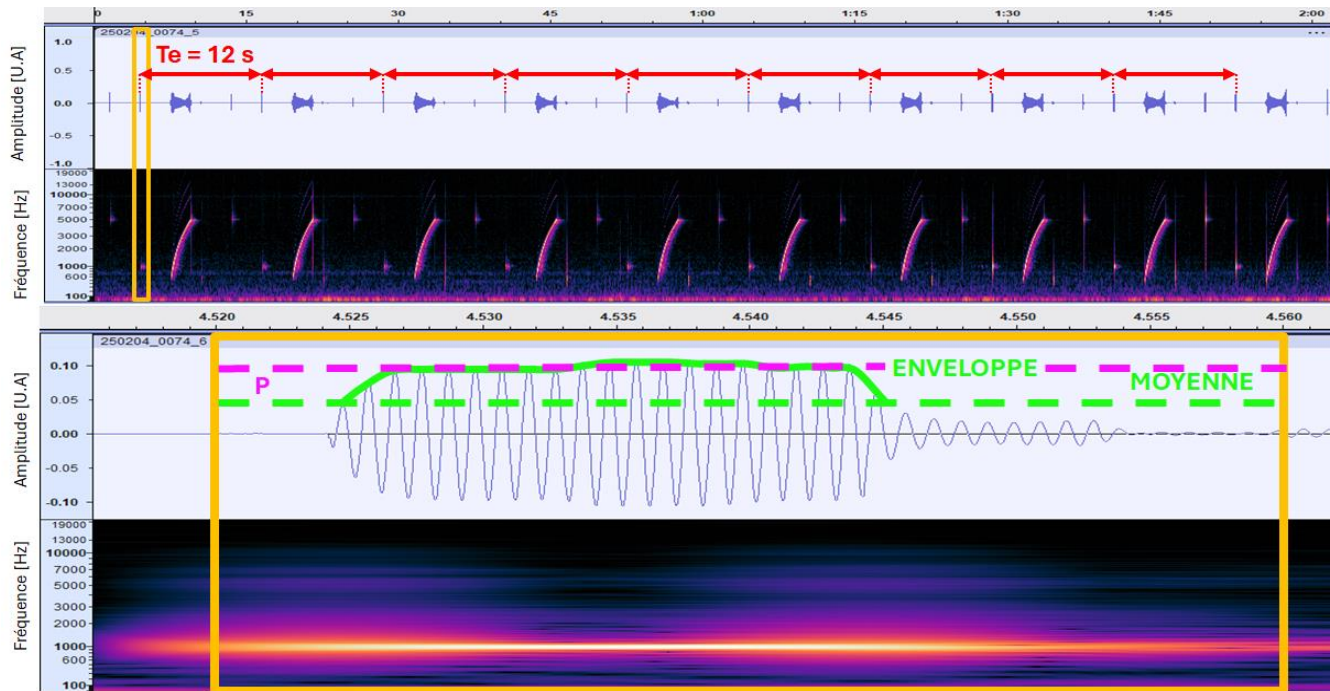
II] Préparation et réalisation des levés Résultats



III] Traitement de données et interférences

Algorithme de traitement

Algorithme d'extraction du niveau sonore à partir des fichiers bruts



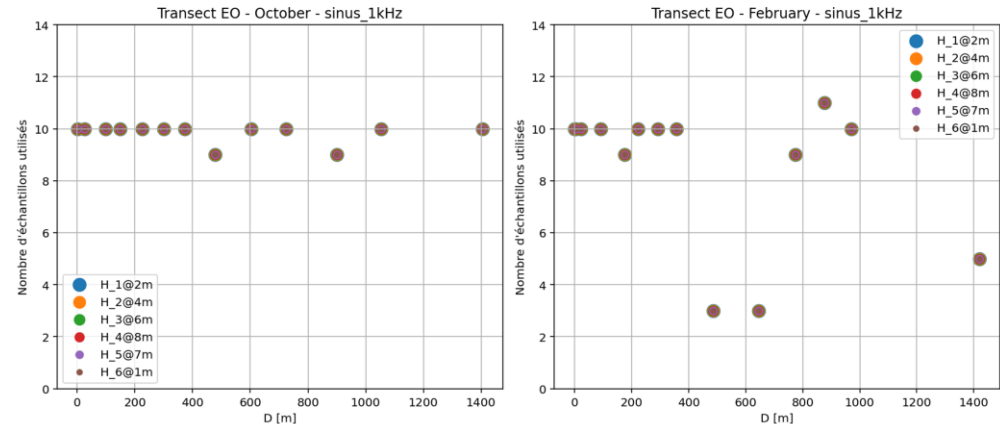
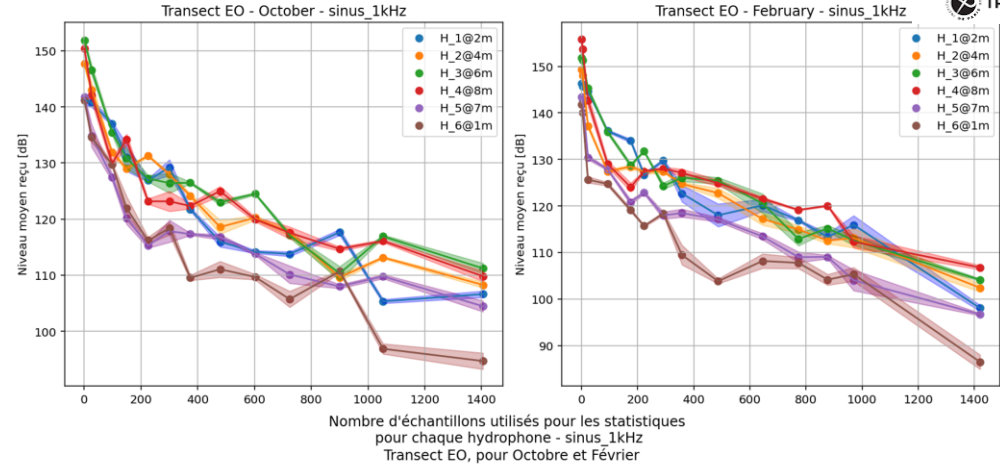
Type signal	Durée signal
CW 1kHz	20 ms
Chirp	2000 ms
Multitone	50 ms
CW 5kHz	4 ms

III] Traitement de données et interférences

Niveau sonore reçu

- Décroissance rapide proche de la source (DV sphérique)
- Plus lente ensuite (DV cylindrique)
- L'IC (estimé par loi de Student) se détériore en s'éloignant de la source.

Niveau moyen reçu pour chaque hydrophone - sinus_1kHz
Transect EO, pour Octobre et Février
IC 95% estimé par loi de Student

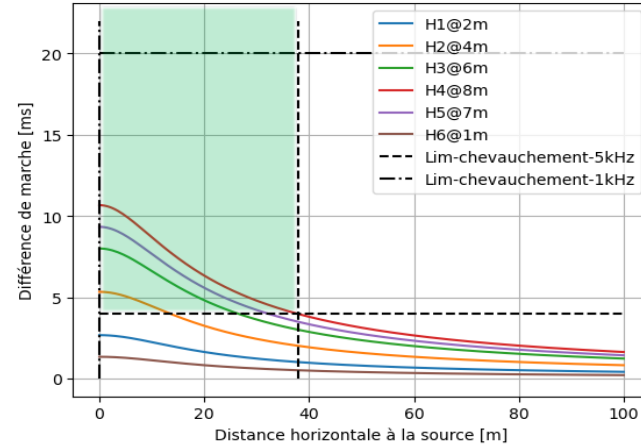
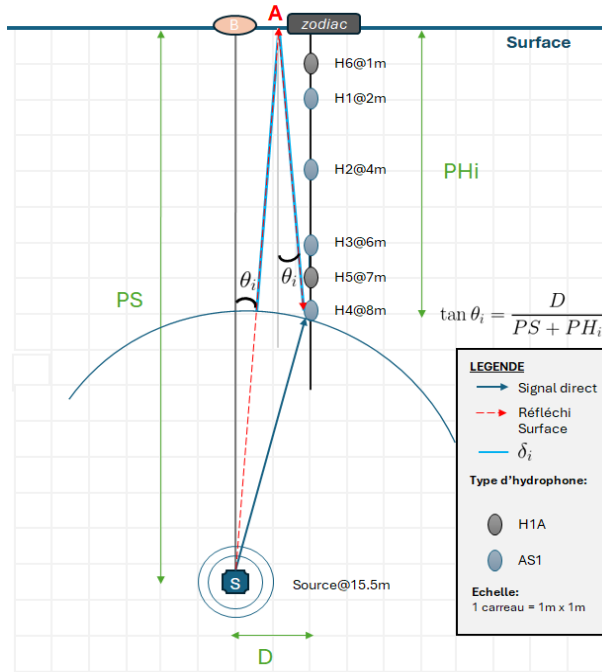


CW 1 kHz – Transect EO

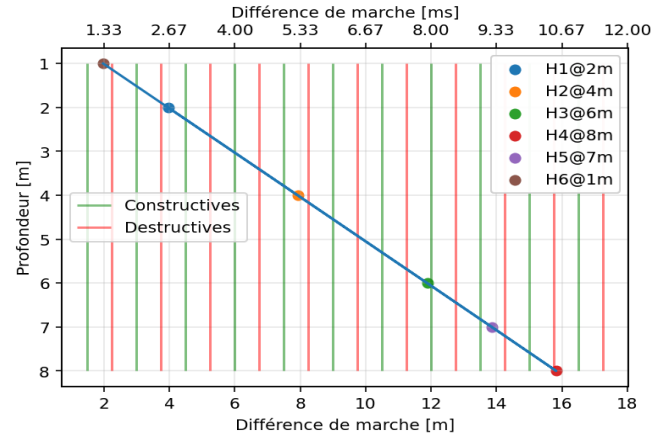
III] Traitement de données et interférences

Etude des interférences

Allure de la différence de marche en fonction de D
Séparation complète entre direct et réfléchi possible avant lim-chevauchement



Représentation des hydrophones dans un diagramme d'interférences
 $c = 1500 \text{ m/s}$ - $D = 2 \text{ m}$ - $PS = 15.5 \text{ m}$



$$\text{IC: } \delta_i = k\lambda$$

$$\text{ID: } \delta_i = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

$$(k \in \mathbb{N})$$

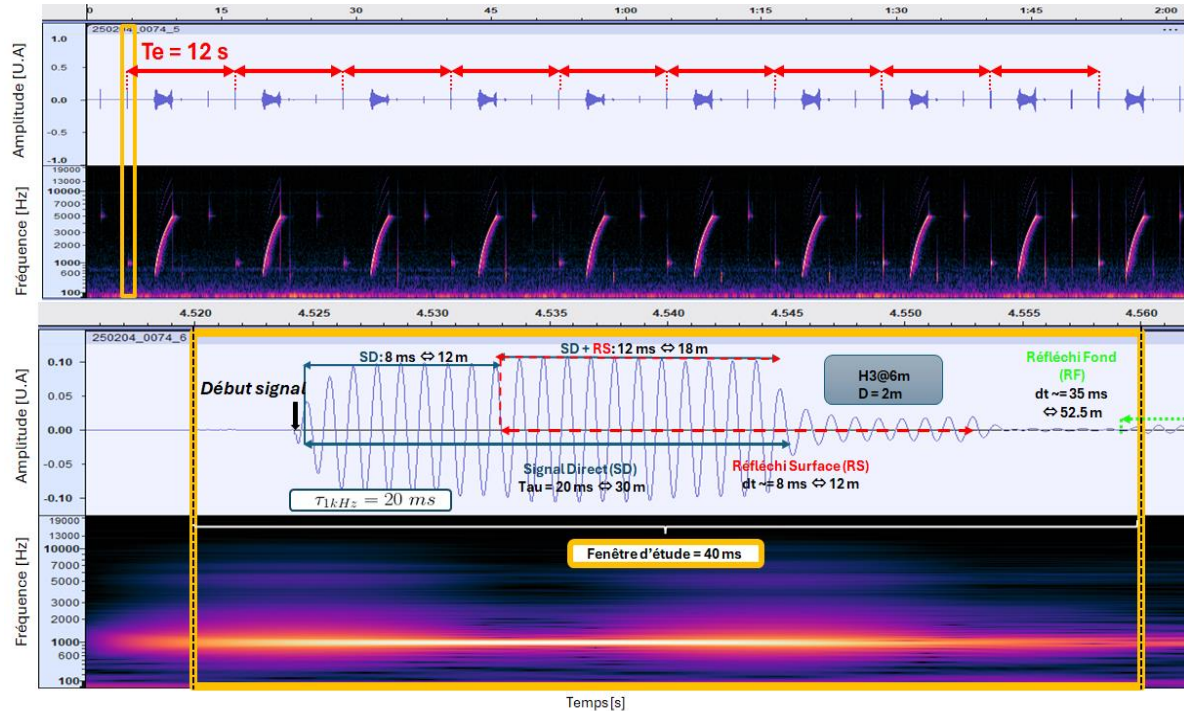
$$\delta_i = \overline{SA} + \overline{AH_i} - \overline{SH_i}$$

$$\delta_i = \frac{PS}{\cos \theta_i} + \frac{PH_i}{\cos \theta_i} - \sqrt{D^2 + (PS - PH_i)^2}$$

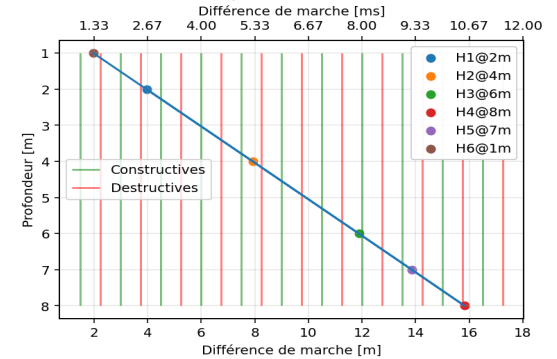
III] Traitement de données et interférences

Etude des interférences

Cas de l'hydrophone 3 à 6 m (2m de la source)



Représentation des hydrophones dans un diagramme d'interférences
 $c = 1500 \text{ m/s} - D = 2 \text{ m} - PS = 15.5 \text{ m}$



$$\text{IC: } \delta_i = k\lambda$$

$$\text{ID: } \delta_i = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

$$(k \in \mathbb{N})$$

Equation du Sonar

$$EL = SL + DI_e - TL$$

Formule de TL (2D)

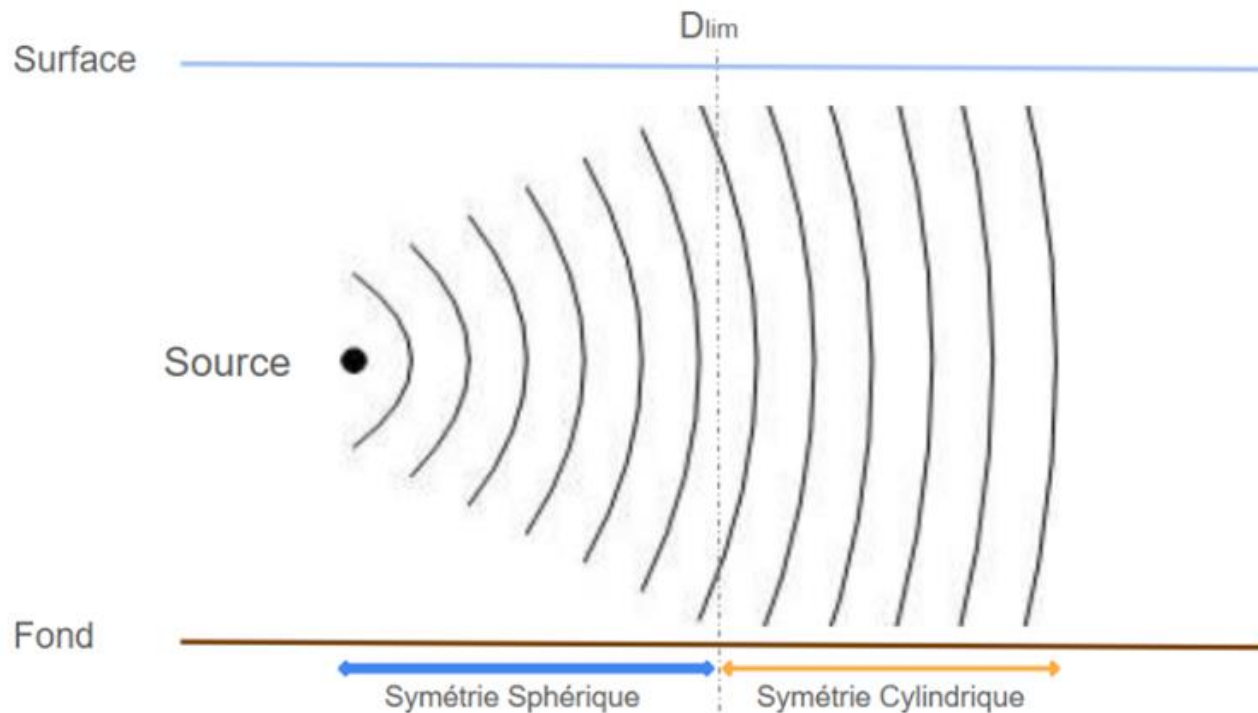
$$TL = C * \log_{10}(r) + \alpha r$$

Perte
Géométrique

Perte par
absorption

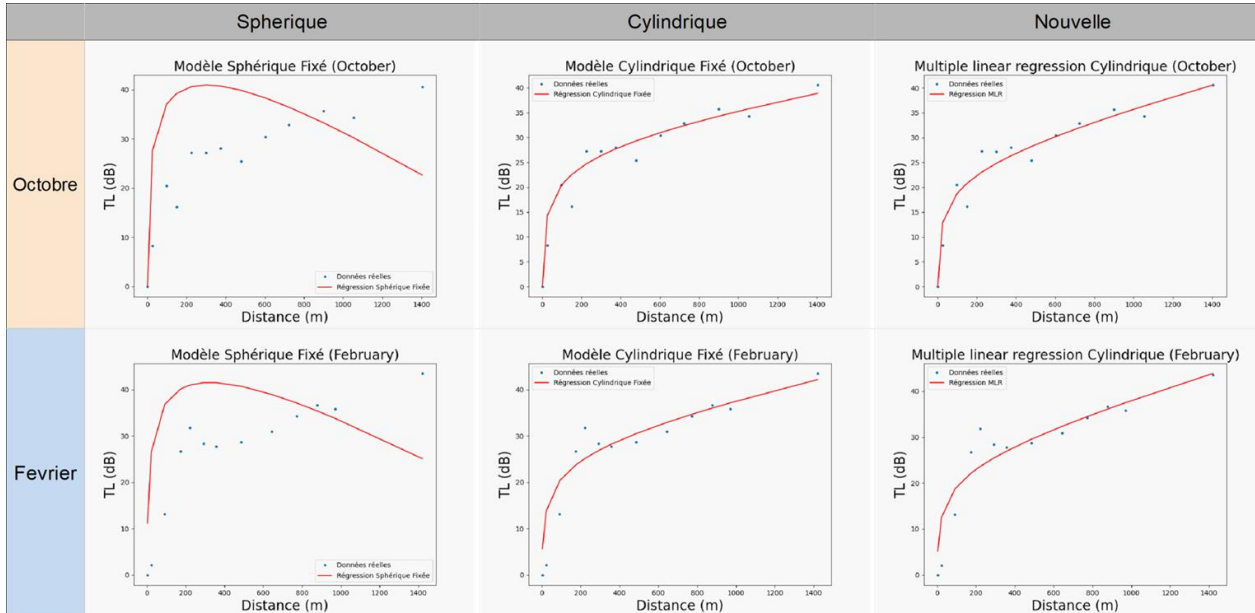
r la distance
à la source

IV] Etude des pertes par transmission (TL) Pertes géométriques



IV] Etude des pertes par transmission (TL) Modèle des pertes

Modèle de Perte par Transmission obtenues par Régression Multilinéaire (MLR)

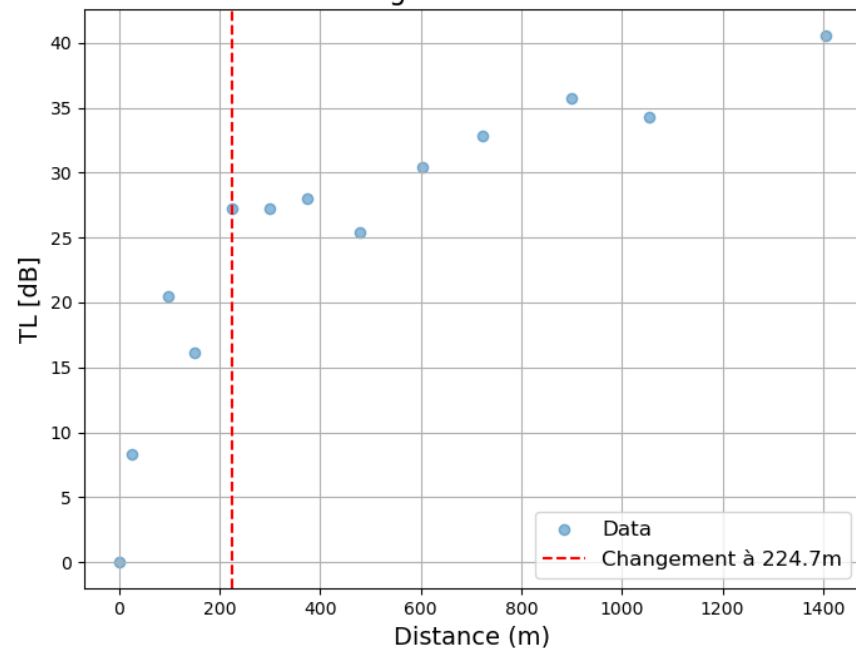


Nous avons employé la MLR pour obtenir d'autres modèles de TL:

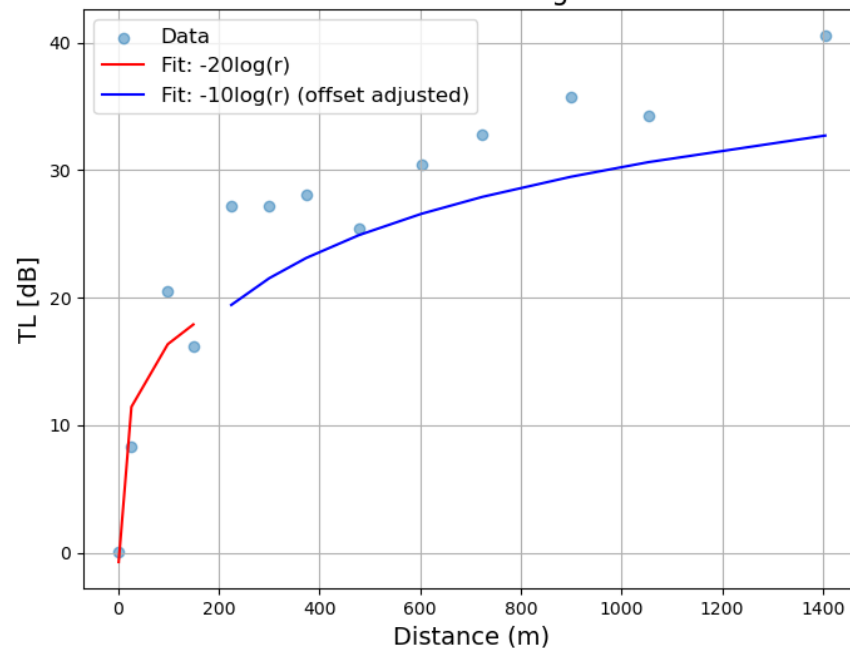
- Modèle Sphérique
 $TL = 20 \log(r) + \alpha$
- Modèle Cylindrique:
 $TL = 10 \log(r) + \alpha$
- Modèle Hybride:
 $TL = C \log(r) + \alpha$
avec $C = 9$

IV] Etude des pertes par transmission (TL) Pertes géométriques

Changement de Pente



Piecewise Linear Regression



IV] Etude des pertes par transmission (TL) Résultats

	Regression Type	RMSE	C1	C2	α	$\Delta\alpha = \bar{\alpha} - \alpha$	$\bar{\alpha}$
October	Nouvelle	2,587973195	0	0,895	0,0088	-0,0085	0,00035
February	Nouvelle	4,560446701	0	0,903	0,0108	-4,5602	0,00025

Equation Regression: $TL = C1 * 20\log(r) + C2 * 10\log(r) + \alpha * r$

Différence avec théorie



- Géométrie 3D du Lac
- Approximations calcul coefficient d'absorption
- Incertitudes dans les mesures

Préparation et
réalisation de levés
acoustiques
expérimentaux



**Protocole de levé
reproductible**



**Estimation des
coefficients de réflexion**



**Processus de traitement
reproductible**



**Estimation de la sensibilité
des H1A au-delà de 4kHz**



**Divergence sphérique puis
cylindrique observées**



Cas du chirp



**Interférences observées et
cohérentes avec le modèle
proposé**



Bellhop 3D



**Compétences transverses
acquises (gestion de projet,
communication, acquisition de
données, traitement)**



**Détection automatique
des signaux reçus
(intercorrélation)**

[Erb11] C Erbe. Underwater acoustics - noise and the effects on marine mammals, a pocket handbook - 3rd edition. JASCO Applied Sciences, pages 29–30, 2011

[FG82] R. E. François and G. R. Garrison. Sound absorption based on ocean measurements: Part I: Pure water and magnesium sulfate contributions. The Journal of the Acoustical Society of America, 72(3):896–907, September 1982.

[Leg22] M Legris. Systèmes sonars de bathymétrie et d'imagerie,

[Mop24] Irène Mopin Cours de Bathymétrie,

[Stu08] Student. The probable error of a mean. Biometrika, 72(1):1–25, 1908.

[TOV20] Charles Truong, Laurent Oudre, and Nicolas Vayatis. Selective review of offline change point detection methods .Signal Processing, 167:107299, February 2020.

Questions

Déroulement des levés: problèmes

Semaine 1 - Octobre

	Levé 1	Levé 2	Levé 3
Date	09/10/2024	10/10/2024	11/10/2024
Description	Dysfonctionnement de l'électronique de la bouée du signal d'émission	Acquisition du bras Est-Ouest, 10 points	Acquisition du bras Nord-Sud, 8 points

Problèmes rencontrés

Dysfonctionnement de l'électronique de la bouée du signal d'émission : connexion sans fil, indispensable pour envoyer le fichier contenant les signaux acoustiques à émettre, ne fonctionnait pas

Semaine 2 - Février

	Levé 4	Levé 5	Levé 6	Levé 7	Levé 8
Date	03/02/2025 après-midi	04/02/2025 matin	04/02/2025 après-midi	05/02/2025 matin	05/02/2025 après-midi
Description	Test de la source	Acquisition bras Est-Ouest, 15 points	Acquisition bras Nord-Sud, 7 points	Acquisition bras Nord-Sud, 4 points	Acquisition bras Est-Ouest + Nord-Sud, 5 points

Problèmes rencontrés

Vent plus fort lors du 5ème levé = Clapot = bruit sur les mesures
Grésillement de l'enregistreur apparu dès le premier jour de levé
Saturation progressive des gains lors du levé 6 causé par une batterie déchargée

Sources d'incertitude	Valeurs estimées
Sensibilité H1A	± 4 dB
Sensibilité AS1	± 2 dB
Distance entre les hydrophones	± 2 cm
Incertitude sur le niveau zéro de la chaîne d'hydrophone	$\pm 10 - 20$ cm
Profondeur de la source sonore	± 50 cm
Localisation GPS des points de mesure	± 10 m

D'autres facteurs dont nous avons pas les valeurs, peuvent impacter la mesure :

Des variations de vitesse du son (lié à la température et de la salinité)

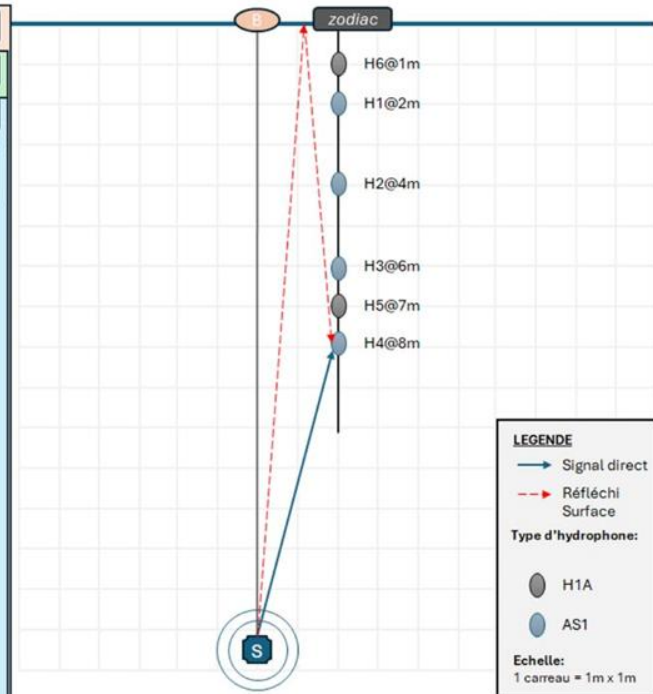
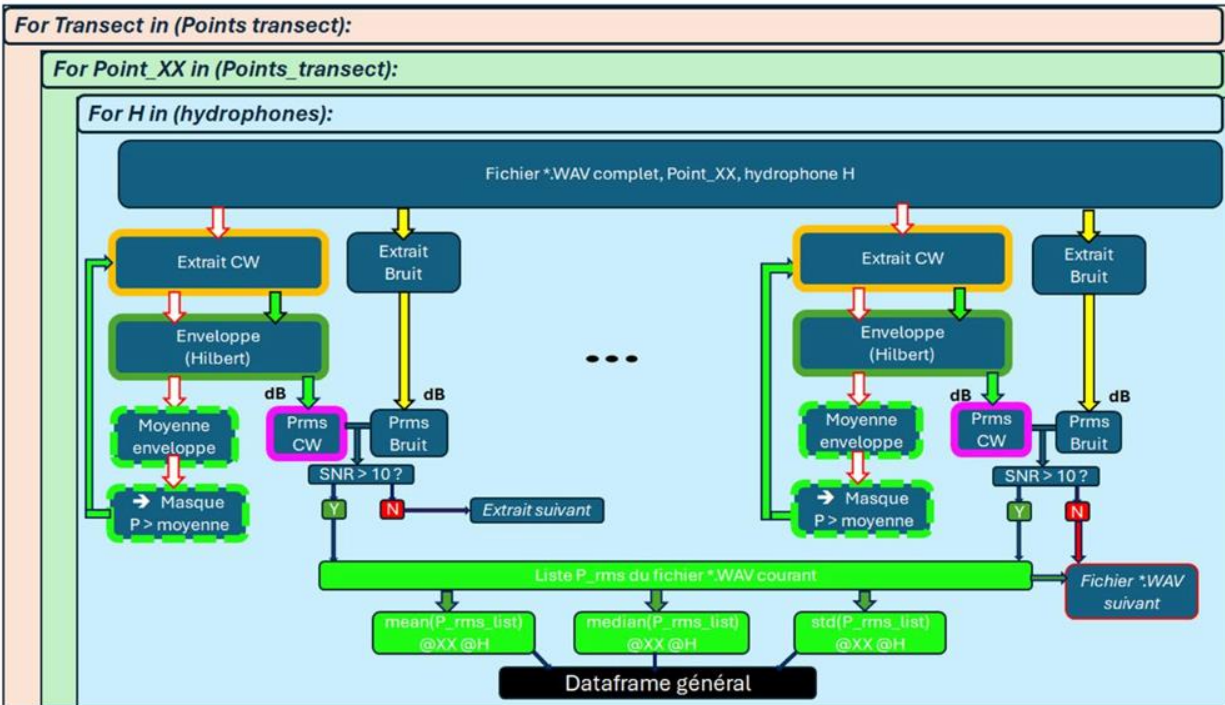
Des oscillations dues aux courants

Les gains appliqués au signal (préamplificateur et l'enregistreur)

Questions

Algorithme de traitement

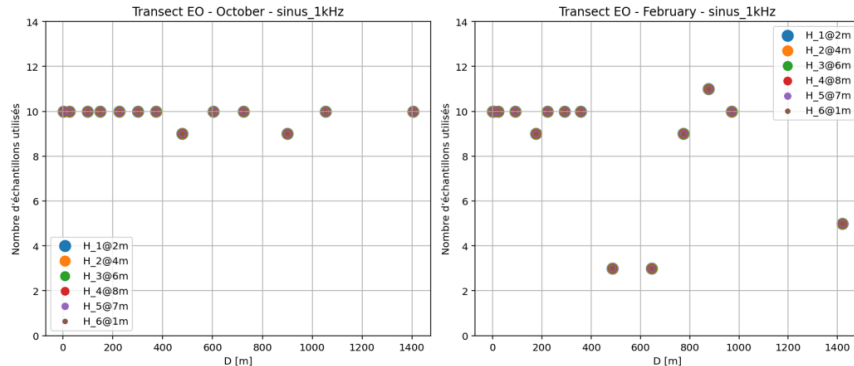
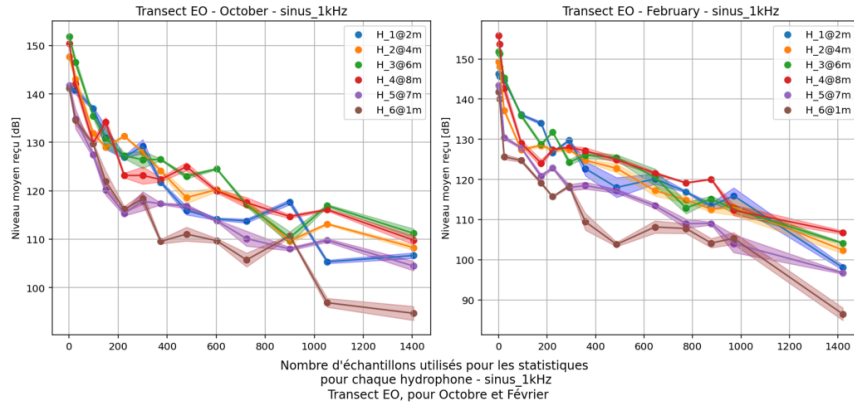
Algorithme d'extraction du niveau sonore à partir des fichiers bruts



Questions CW à 5kHz

Niveau moyen reçu pour chaque hydrophone - sinus_1kHz

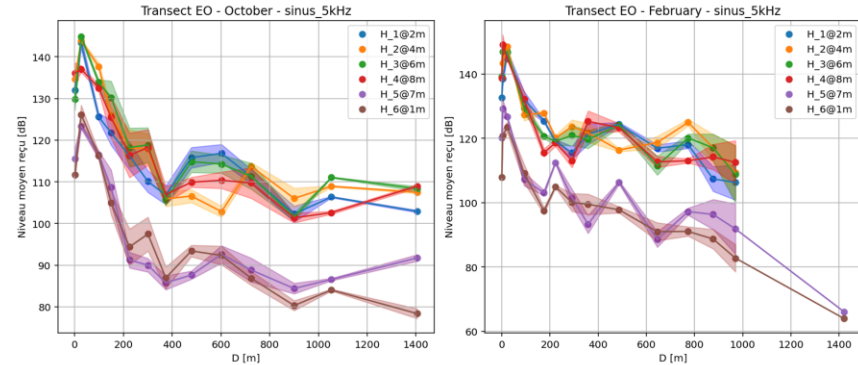
Transect EO, pour Octobre et Février
IC 95% estimé par loi de Student



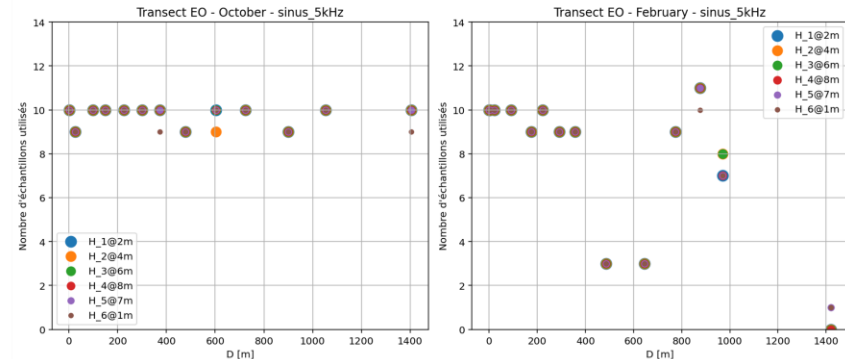
CW 1 kHz

Niveau moyen reçu pour chaque hydrophone - sinus_5kHz

Transect EO, pour Octobre et Février
IC 95% estimé par loi de Student

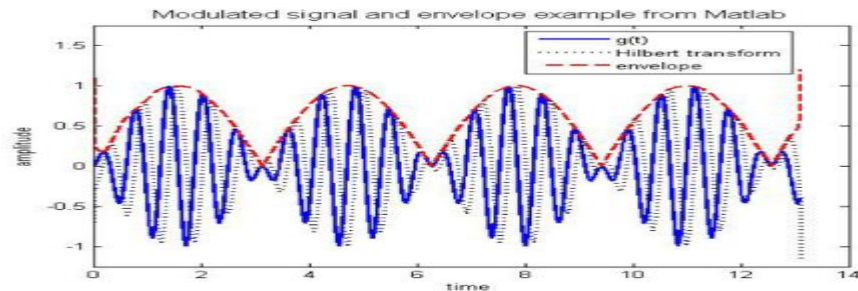


Nombre d'échantillons utilisés pour les statistiques pour chaque hydrophone - sinus_5kHz
Transect EO, pour Octobre et Février



CW 5 kHz

Questions Enveloppe & Hilbert



1. **Calcul de la transformée de Hilbert** : Soit $s(t)$ le signal d'entrée. On applique la transformée de Hilbert $\mathcal{H}[s(t)]$, qui génère un signal $s_H(t)$ en quadrature de phase (un signal déphasé de 90° par rapport à $s(t)$).

2. **Construction du signal analytique** : On forme le signal complexe analytique $z(t)$:

$$z(t) = s(t) + is_H(t)$$

où i est l'unité imaginaire.

3. **Calcul de l'enveloppe** : L'enveloppe instantanée du signal est donnée par le module du signal analytique :

$$A(t) = |z(t)| = \sqrt{s(t)^2 + s_H(t)^2}$$

Ce signal représente l'enveloppe du signal acoustique, qui décrit les variations d'amplitude au cours du temps.