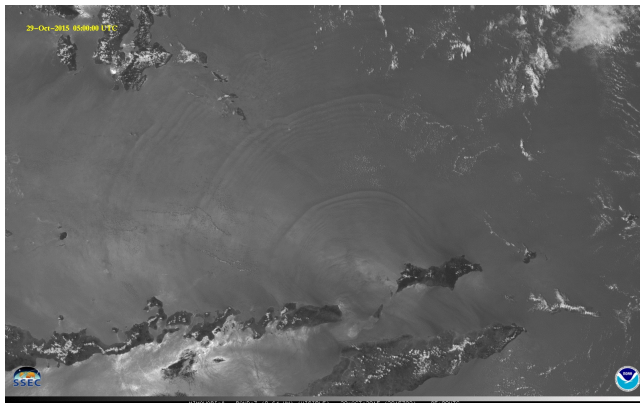


# Identification de la présence d'ondes internes à partir de statistiques du signal: Application à la campagne ALMA 2017

G. Beaumont, G. Real, F. Le Courtois, A. Drémeau





- Interactions ondes de gravité/bathymétrie.
- Déstabilisation de la stratification de la colonne d'eau.

Un impact : La présence d'inhomogénéités **structurées** dans la colonne d'eau. Déformation du front d'onde propagé.

**Peut on identifier sur la “corruption” du signal le phénomène qui les génère?**

*A la manière des travaux d'Ewart et al. sur l'identification spectrale sur la log amplitude et la phase des signaux*

## Mesurer la corruption du signal

Utilisation d'une quantité relative aux structures du milieu de propagation: la longueur de cohérence.

## Mesurer la perturbation du milieu de propagation

A partir des la mesure de température dans la colonne d'eau

## Identification des phénomènes de fluctuation

Utilisant l'analyse spectrale pour identifier dans le signal les perturbations mesurées in situ lors de la campagne ALMA 2017.

## Acoustic Laboratory for Marine Application

porté par DGA TN en collaboration avec ALSEAMAR & SAAS (anc. COMEX)

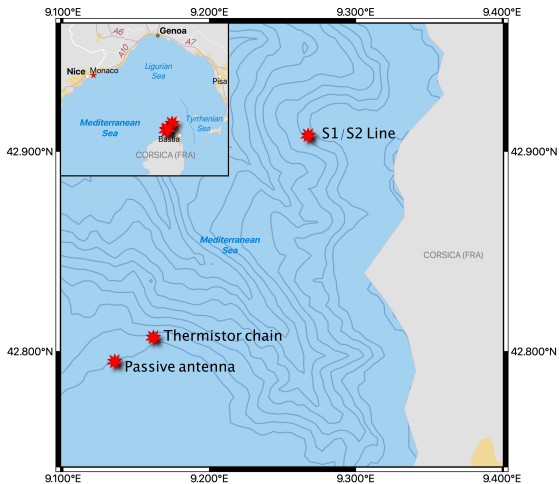
- multiplier les mesures de signaux acoustiques propagés en milieux complexes/fluctuants.
- rendre les données accessibles à la communauté scientifique.

## La campagne 2017

- déploiement d'un système autonome (4x32).
- deux sources large bande (seulement S1 considérée ici).
- mesure environnementale (chaîne de thermistances)

Observation de la variabilité sur de "longues" durées et son impact sur le signal.

# Configuration de la campagne 2017



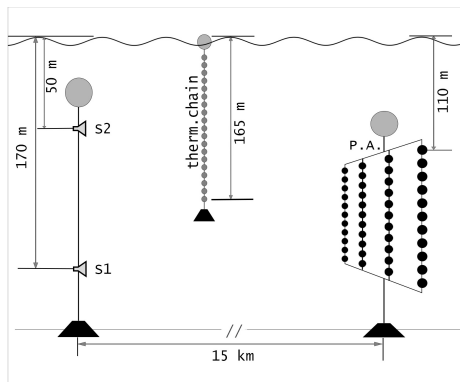


Figure: positions dans le plan x-z

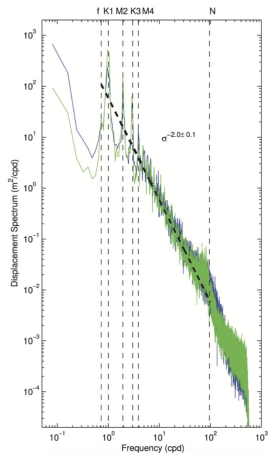
# Première étape: identification de la présence possible d'ondes internes

## En théorie

La densité spectrale du déplacement vertical suit un spectre de Garrett-Munk

## Cependant

Comment obtenir la mesure de déplacement vertical ?



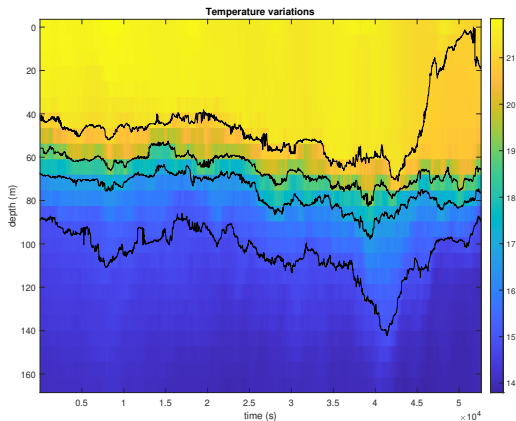
**Figure:** displacement spectrum: Colosi et al., Observations of sound-speed fluctuations in the western Philippine Sea in the spring of 2009



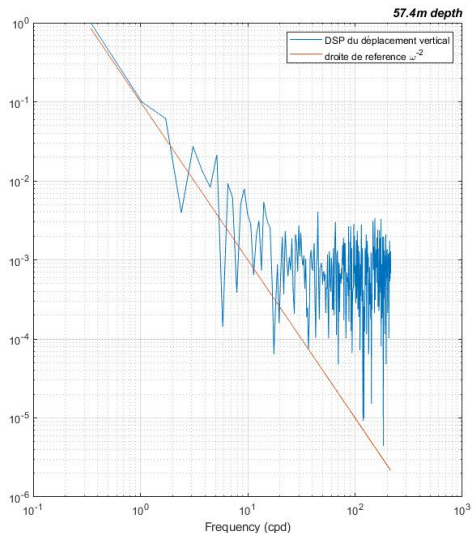
# Calculer le déplacement à partir des variations de température

## Hypothèse de calcul

Excepté une composante diurne due à la chaleur du soleil, on supposera les variations verticales de température comme le résultat d'un déplacement vertical des masses d'eau.



# Analyse spectrale du déplacement vertical



## Etape 2: Analyse de la perturbation du signal

La formulation *path-integral* (Dashen et al.) explicite clairement le lien entre les perturbations du milieu de propagation et le champ de pression.

$$p(\mathbf{x}) = Norm \times \int_{path} d(path) \exp \left( i\Theta_0(path) - i\frac{\omega}{c_0} \int_0^R \mu(x, y(x), z(x)) dx \right) \quad (1)$$

### Objectif

Compte tenu de la relation entre fluctuations spatiales du milieu et celles du signal. Peut on avoir une observabilité directe des variations du milieu sur les statistiques du signal? Peut on les relier statistiquement?

## Autocorrelation et longueur de cohérence

Le formalisme *path integral theory* nous permet d'écrire la fonction de cohérence mutuelle:

$$\langle \psi^*(0, 0, \delta_z) \psi(0, 0, 0) \rangle = |\psi_0|^2 \exp \left[ -\frac{D(\delta_z)}{2} \right] \quad (2)$$

$$D(\delta_z) = \frac{\delta_z^2}{z_0^2} \quad (3)$$

Utilisation des chirps de la source S1.

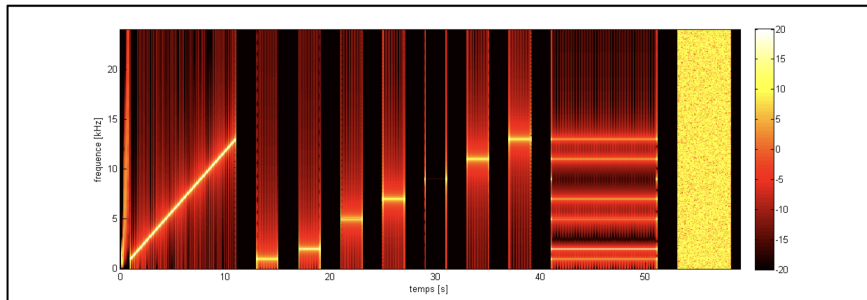


Figure: Spectrogram of the sequence emitted by t (source: Fattaccioli and Real, UACE2017)

## Pour aller plus loin

Comparaison du spectre de longueur verticale de cohérence avec le déplacement vertical des différentes isothermes:

- Localiser ou se situe dans la colonne d'eau le phénomène le plus influent
- Localiser en fréquence les phénomènes qui influent le plus sur le spectre de cohérence.

## Distance log-spectrale

$$D_{LS}(\Delta_z, \Delta_f) = \sqrt{\frac{1}{\Delta_f} \int_{\delta_f^-}^{\delta_f^+} \left[ 10 \log_{10} \frac{\hat{s}_{\Delta_s}(f)}{\hat{s}_{z_0}(f)} \right]^2 df}$$

## La fréquence de Brunt-Vaisala

Défini les conditions favorables à la présence d'ondes internes dans la colonne d'eau :

$$N^2 = -\frac{g}{\rho_\theta} \frac{d\rho_\theta}{dz} \quad (4)$$

# Distance map

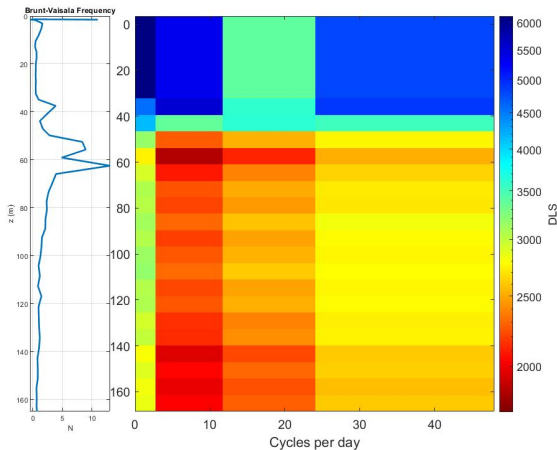


Figure: Log spectral distance map (in dB) for different frequency ranges (in cpd) at different depths (m)

## Comparaison visuelle directe

- Permet l'identification des phénomènes de forçage.
- Confirme la présence d'un spectre de déplacement vertical d'ondes internes (cohérent avec la littérature)

## Distance log spectrale

Permet de localiser en z-f les phénomènes influant le plus sur la distance de cohérence.

Quelques limitations

- temporelles : limitations de la résolution spectrale.
- approximation faite sur le calcul de déplacement vertical.



- Affiner l'identification spectrale.
- Calcul d'une fonction de transfert entre le déplacement vertical et la longueur de cohérence.

Objectif double:

- Qualifier les fluctuations de manière passive.
- Prédire la corruption du signal acoustique à partir de mesure in-situ.

