



## *Réunion finale NAOS IFREMER Brest – 17/09/2020*

# Projet NAOS (Novel Argo Ocean Observing System) Vers un nouveau capteur de densité

*Marc Le Menn – Damien Malardé*

# De la nécessité d'un nouveau procédé de mesure

La salinité de l'eau de mer est une notion complexe, que l'on approche historiquement par des mesures de conductivité, une échelle de salinité pratique et une composition standard.

Cette approche est justifiée par le fait que l'essentiel du matériel dissous dans l'eau de mer est constitué d'ions.

Cependant, ce qui intéresse les océanographes, c'est la masse volumique et plus particulièrement les anomalies de masse volumique ou de densité.

Certaines anomalies de densité sont en lien avec les anomalies de composition de l'eau de mer que, jusqu'à présent, on ne sait pas mesurer directement.

Ces anomalies, dites de salinité, peuvent venir de substances dissoutes ou en suspension.

En 2010, la redéfinition des équations de calcul des propriétés thermodynamiques de l'eau de mer, a conduit à prendre en compte les notions de salinité absolue et d'anomalie de salinité.

S'il existait en 2010 des procédés empiriques pour estimer les anomalies de salinité liées à certaines substances dissoutes, il restait encore à concevoir un moyen de les mesurer globalement et directement, *in situ*, sur des flotteurs dérivants.

C'est l'ambition qui a été fixée à la tâche WP 2.5 du projet NAOS.

# Les procédés possibles

En laboratoire il existe différents procédés pour mesurer la masse volumique des substances.

A ce jour, seuls deux sont applicables aux mesures en mer :

- la mesure de la vitesse du son, et,
- la mesure de l'indice de réfraction optique.

Les célérimètres sont d'usage courant en hydrographie.

Les célérimètres numériques permettent des répétabilités

de l'ordre du millième de m/s (20 ppm), mais,

la reproductibilité de leurs mesures est plutôt de l'ordre

de 300 ppm en vitesse soit 1 % en salinité, à cause

d'effets liés à la diffraction

et à la pression.



# Les premiers essais en mer du NOSS

L'incertitude à atteindre pour répondre au besoin des océanographes est de l'ordre de 0,002 en salinité, soit 0,0057 % pour une salinité absolue de 35 g/kg.

La possibilité d'atteindre ce niveau d'incertitude avait déjà été démontrée en laboratoire, concernant la mesure de l'indice de réfraction.

Il restait à en faire la démonstration *in situ*.

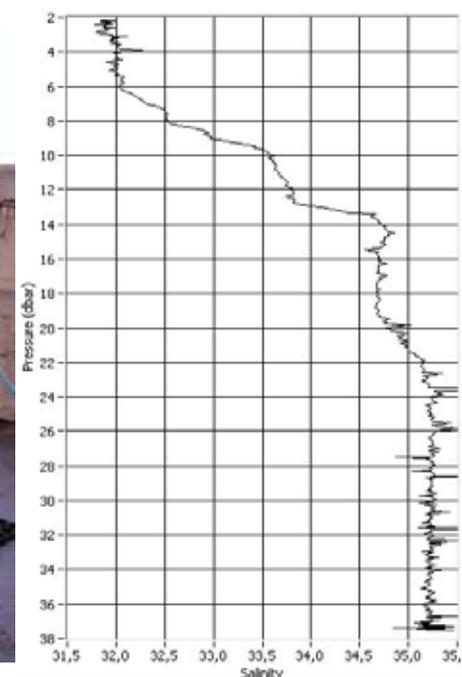
C'est l'origine du projet NOSS lancé au départ par Télécom Bretagne et le Shom, rejoints par la suite, par l'IFREMER et NKE Instrumentation.

Une campagne d'essais menée en 2010 par le Shom, avec un prototype de capteur NOSS, a permis de montrer que cela était possible.

Crédit photo ©Shom



1<sup>er</sup> prototype du capteur NOSS testé en mer en 2010.



# Vers un prototype adapté aux flotteurs dérivants

NAOS a été l'occasion de tester les perfectionnements du prototype précédent :

- en le rendant plus léger avec des prismes plus petits (5 cm au lieu de 10 cm);
- en adaptant de nouveaux miroirs, le procédé utilisé en 2010 ayant montré des défaillances;
- en ajoutant un système pour filtrer la lumière du jour.

Pour valider ce nouveau prototype, d'autres essais en mer ont été organisés en 2012, durant une campagne PROTEVS du Shom, dans le Golfe de Gascogne.

21 profils ont été réalisés dont 4 à 1500 m.



Crédit photo : Nke Instrumentation



Crédit photo ©Shom

# Vers un prototype adapté aux flotteurs dérivants

Suite à cette campagne, différentes mises au point ont été faites en laboratoire afin de faire du NOSS une « nTD » :

- amélioration de l'exactitude des mesures de température avec une nouvelle équation de linéarisation ;
- mise au point d'une équation permettant de compenser les effets de la température sur le capteur de pression ;
- étude des effets des turbulences, de la lumière du jour.

Deux prototypes améliorés ont été fabriqués, installés sur des flotteurs dérivants, et testés en bassin.



Crédit photo : Nke Instrumentation

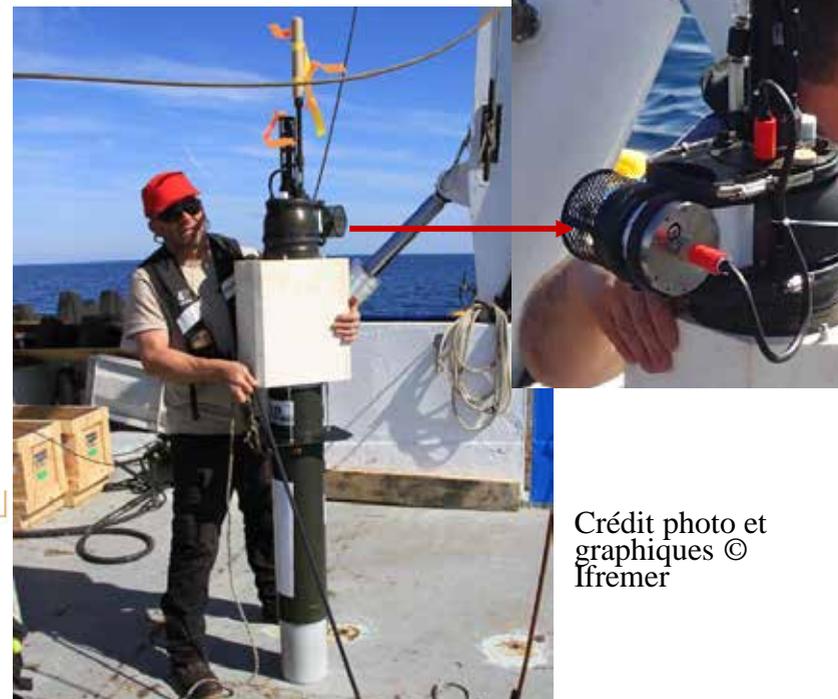
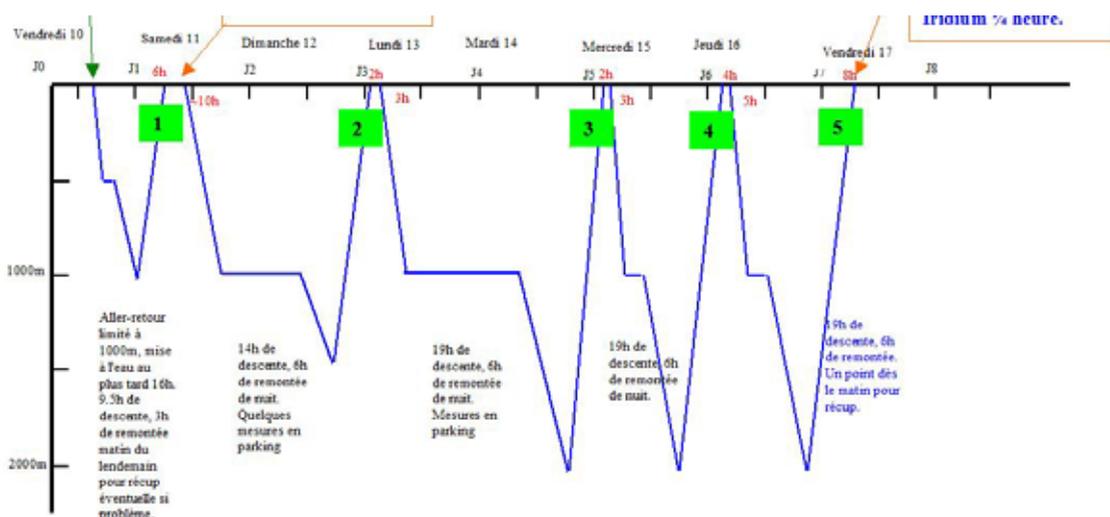


# Vers un prototype adapté aux flotteurs dérivants

En avril 2015, les tests en bassin ont été suivis d'une campagne en méditerranée.

Elle était organisée par l'IFREMER avec l'aide du LOV dans la zone de la bouée Boussole, afin de pouvoir récupérer les flotteurs.

5 profils ont été réalisés : 1 à 1000 et 1500 m, et 3 à 2000 m.



Crédit photo et graphiques © Ifremer

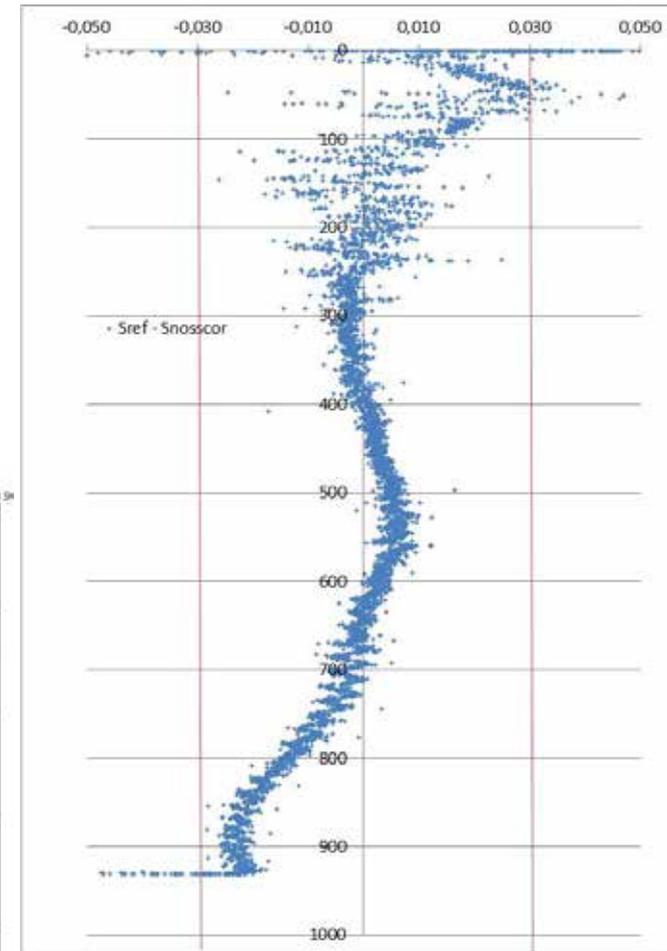
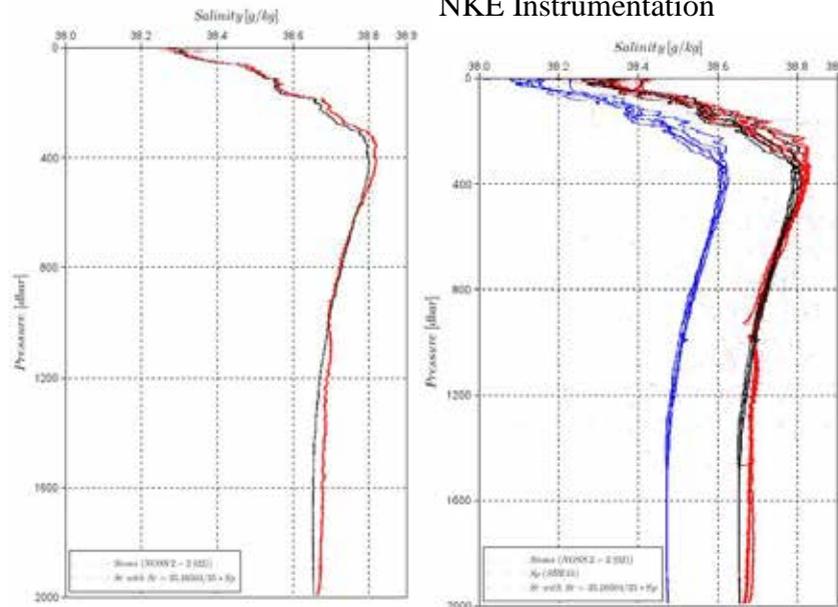


# Vers un prototype adapté aux flotteurs dérivants

Le premier à 1000 m a donné des résultats prometteurs, avec des écarts inférieurs à +/- 0,03 g/kg, par rapport à la CTD du flotteur.

Ceux à 2000 m ont montré des divergences par rapport aux salinités de référence à partir de 1000 m, et de gros problèmes de linéarité pour un des capteurs.

Ces problèmes ont été vérifiés durant une autre campagne réalisée en 2018 en Méditerranée.



# Vers un prototype adapté aux flotteurs dérivants

Des travaux ont été entrepris ensuite afin d'essayer de trouver une relation d'étalonnage et de correction des effets de la température et de la pression sur les verres.

Un container a été fabriqué par NKE afin de pouvoir réaliser des étalonnages à température constante et salinité variable.

La relation d'étalonnage permet de prendre en compte les dérives en longueur d'onde et température des 2 verres, cependant, ces corrections ne permettent pas de compenser tous les décalages en température constatés en laboratoire.

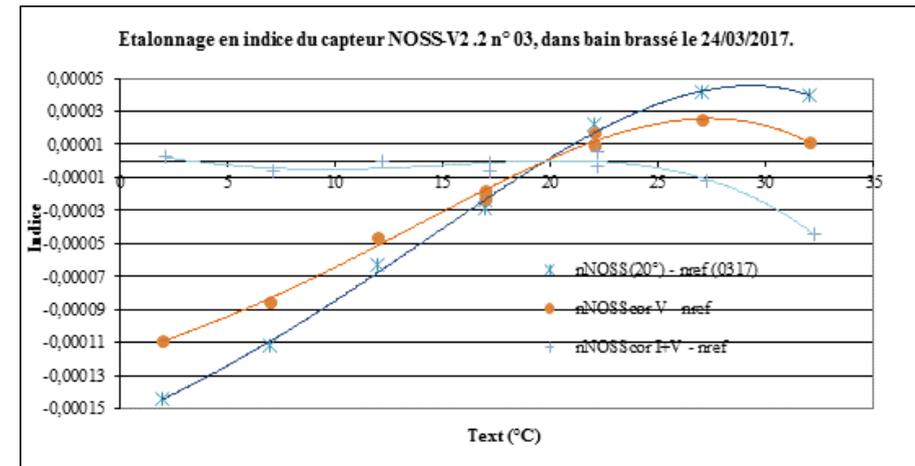
$$n^2 = (P - P_0)^2 A(\lambda, t) + B(\lambda, t)$$

Avec  $A(\lambda, t) = A(\lambda_0, 20^\circ) + dA$  et  $B(\lambda, t) = B(\lambda_0, 20^\circ) + dB$ .

$A(\lambda_0, 20^\circ)$  et  $B(\lambda_0, 20^\circ)$  sont déterminés par l'étalonnage en salinité à température constante.



Crédit photo © NKE Instrumentation

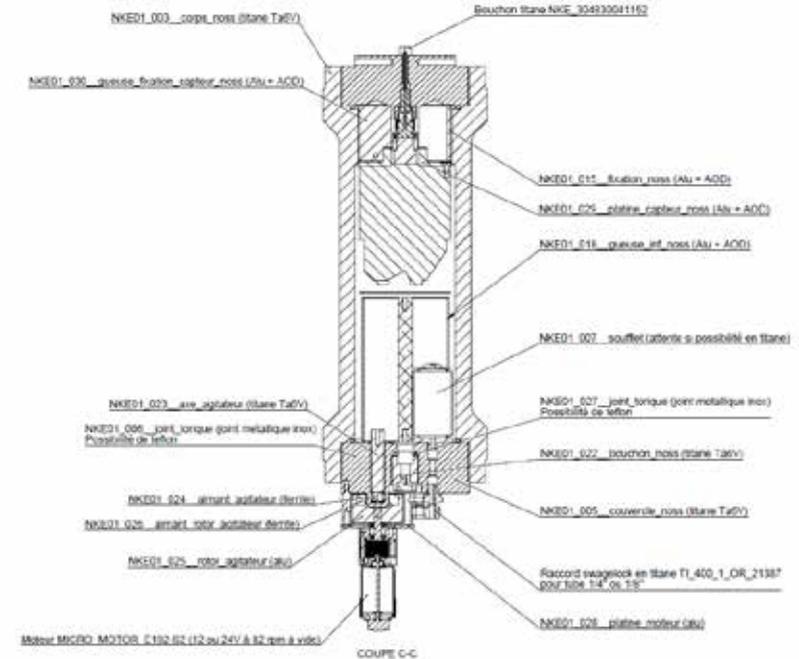


# Vers un prototype adapté aux flotteurs dérivants

Pour compenser les effets de la pression, un caisson conçu par le LNE-CNAM, a été fabriqué par NKE dans le cadre du projet METEOMET2.

Après des essais préliminaires à pression atmosphérique et température variable, un essai longue durée à 2000 dbar, dans ce caisson stabilisé en température, a montré une infiltration d'eau au niveau d'un des miroirs.

Ce problème pourrait expliquer les non-linéarités observées durant les mesures en mer au-delà de 1000 dbar.



Crédit schéma © NKE Instrumentation

Récemment, des corrections ont été apportées par NKE pour :

- limiter l'effet de la pression sur les miroirs,
- améliorer l'insensibilité à la lumière du jour avec un filtre plus sélectif.

De nouveaux essais en Méditerranée sont prévus pour tester ces solutions.

# Conclusion

Malgré tous les problèmes rencontrés, les développements réalisés avec l'instrument NOSS, sont sans précédents dans l'évaluation de la salinité absolue à partir d'une mesure d'indice.

Des avancées significatives ont été réalisées en matière d'étalonnage et de correction des effets de la température, de la pression et de la longueur d'onde.

Les effets de la pression sur la tenue du capteur à long terme restent à corriger.

Il a été mis en évidence, avec des essais à la mer en 2019, un besoin d'augmenter la fréquence d'échantillonnage du capteur.

D'autres travaux sont programmés pour résoudre ces problèmes au-delà du projet NAOS.

Les premières publications réalisées sur le NOSS ont stimulé la recherche internationale en matière de mesure d'indice de réfraction.

Différentes méthodes et concepts ont été publiés, mais à ce jour, aucun n'est encore susceptible d'application commerciale pour l'eau de mer et d'adaptation sur des flotteurs dérivants.

Je vous remercie pour votre attention.