



## *Réunion annuelle NAOS IFREMER Brest – 22/06/17 -*

### **Projet NAOS (Novel Argo Ocean Observing System)**

**Tache WP 2.5 : intégration du capteur NOSS (NKE  
Optical Salinity Sensor) sur flotteurs dérivants**

**Bilan sur le capteur NOSS**

*Marc Le Menn*

# Introduction : la mesure d'indice en océanographie reste un défi.

D'une façon générale, en optique il y a 2 façons de concevoir des instruments de mesure :

- Soit on travaille en différentiel pour s'affranchir des effets de l'environnement sur l'instrument. Exemple :

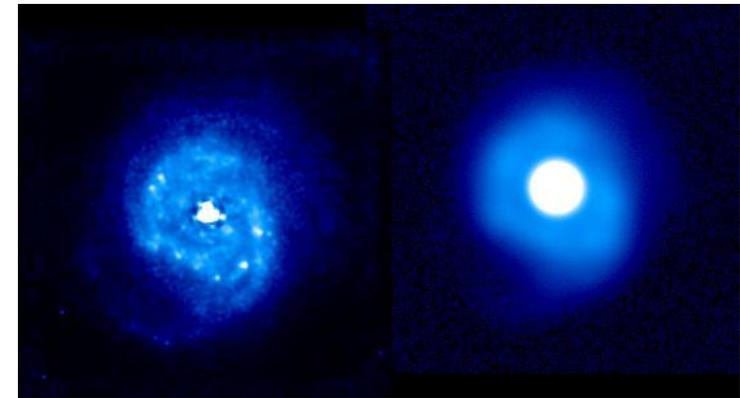
l'interféromètre de Michelson des expériences VIRGO. Le bras de référence subit les mêmes déformations que le bras de mesure : la différence de phase mesurée n'est fonction (théoriquement) que de l'objet de la mesure.

- Soit on applique des corrections.

Exemple : l'optique adaptative des télescopes qui permet de corriger les fronts d'onde après leur traversée de l'atmosphère, pour obtenir l'image exacte d'un objet.

Il est difficile de trouver un procédé différentiel utilisable in situ en océanographie.

Le NOSS travaille en 'mode commun'. Il nécessite donc des corrections pour obtenir des mesures exactes.



Galaxie NGC 7469 observée avec et sans optique adaptative. Crédit photo : CFHT

# Historique des travaux réalisés

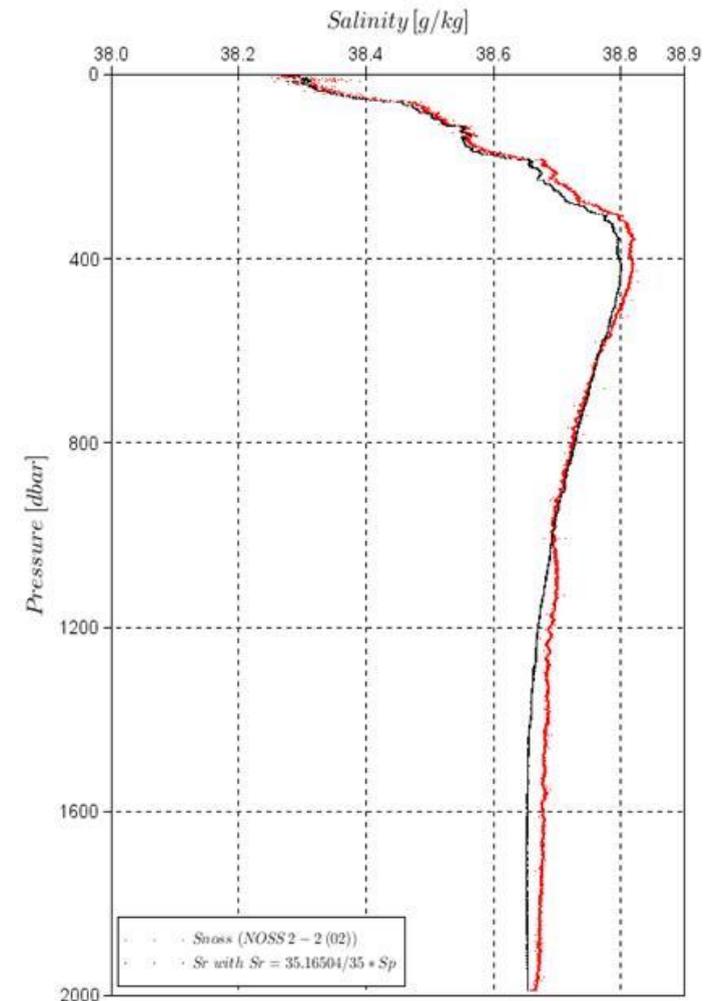
Les études réalisées précédemment pour corriger les profils de la campagne d'avril 2015 ont porté sur :

1) l'utilisation des données CTD des flotteurs pour réaliser un étalonnage in situ.

Cette solution a montré que les mesures NOSS permettaient d'obtenir une courbe d'erreur qui tient dans les  $\pm 0,025$  g/kg.

**Le problème est d'arriver à réaliser un capteur autonome dont l'étalonnage en laboratoire permet de retrouver des valeurs d'indice et de salinité de façon reproductible.**

Cette technique de correction ne peut donc qu'être une démonstration du bon fonctionnement de l'instrument mais pas une solution universelle.



# Historique des travaux réalisés

## 2) l'utilisation de corrections polynomiales liées à la physique de l'instrument :

l'étalonnage labo seul ne convient pas car l'indice des verres est sensible à la température, à la longueur d'onde et à la pression.

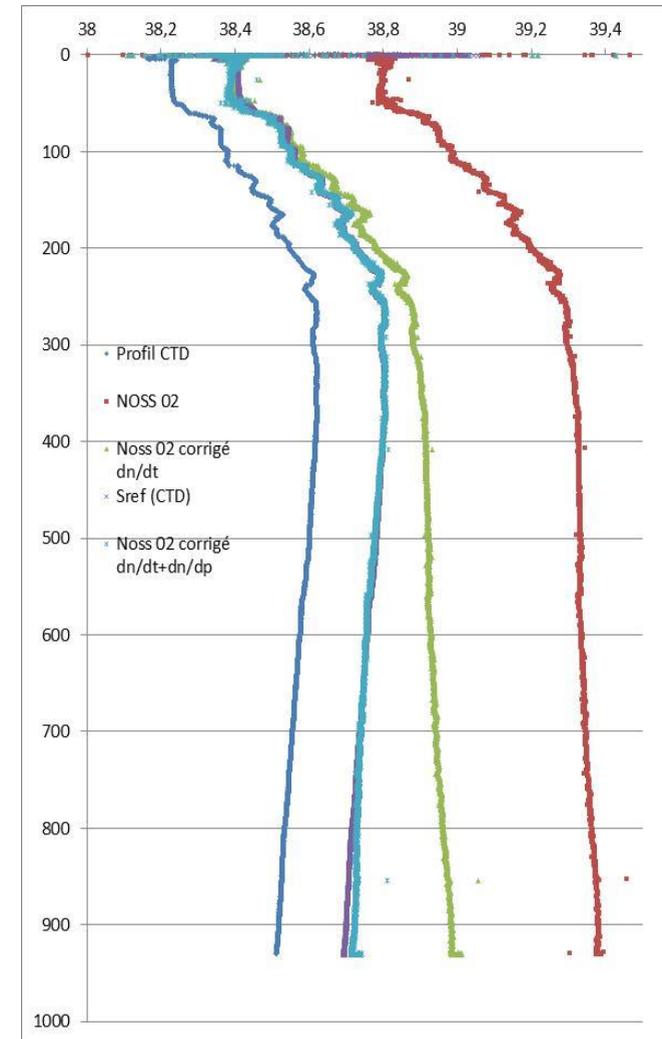
Si l'on part du principe que les rapports d'indice eau/verre doivent rester constants entre l'étalonnage labo et les mesures en mer, on aboutit à programmer une relation empirique du type :

$$n_{cor} = (1,337712 + 0,009476.p + 0,008414.p^2) \times [n(\lambda) + (dn/dt) \times (20 - t_{ext}) + (dn/dp) \times (p - 0)]$$

Pour essayer de corriger les profils de 2015, j'ai pris en compte le  $n(\lambda)$ , le  $dn/dt$  et le  $dn/dp$  du verre en contact avec le PSD.

Pour le NOSS n° 2, ces corrections fonctionnent bien sur les profils obtenu en 2015, jusqu'à 800 m.

Cependant, il reste des erreurs par rapport au profil de référence, et ces corrections ne marchent pas de façon universelle sur tous les profils et les 2 NOSS.



# Nouvelles avancées

En décembre 2016 – janvier 2017, l'étalonnage des NOSS a été refait à température constante (20 °C) à l'aide d'un conteneur fabriqué par Nke Instrumentation.

Il permet de plonger les verres dans des solutions de salinité différentes. La relation d'étalonnage devient indépendante de la température et on peut corriger les verres en partant d'une température de référence de 20 °C.

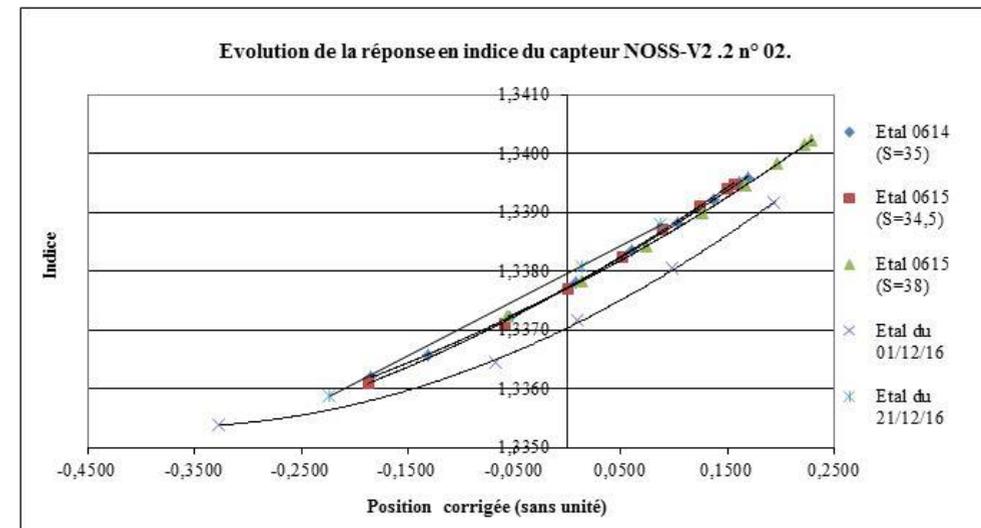
Cet étalonnage a montré que le NOSS n° 02 avait un problème de reproductibilité de ses mesures, peut être, suite à la casse de son connecteur après sa récupération en avril 2015.

Il a fait l'objet d'un retour en réparation chez NKE.

La suite de l'étude s'est faite sur le NOSS n° 03 uniquement.



Crédit photo : Nke Instrumentation



# Nouvelles avancées

La relation d'étalonnage en salinité du NOSS n° 03 et les corrections du verre PSD ont été appliquées aux profils acquis en avril 2015.

Les résultats sont équivalents à ceux obtenus précédemment : ils ne sont pas reproductibles d'un profil à l'autre sans ajustement de constantes empiriques.

Partant de ce constat, une solution plus rigoureuse a été développée, basée sur la relation géométrique de fonctionnement du NOSS :

$$\sin(\gamma) = \frac{n}{n_R} \left[ \sin(V) \sqrt{1 - \left( \frac{n_L}{n} \sin(i) \right)^2} - \frac{n_L}{n} \sin(i) \cos(V) \right]$$

L'angle des prismes étant de 90 °, il est possible d'en extraire la valeur de  $n$  en fonction de la variation de position  $(P - P_0)$ . Cela donne :

$$n = \sqrt{\frac{(P - P_0)^2}{L^2} n_R^2 + \sin(i)^2 n_L^2}$$

... en prenant une hypothèse,  $L^2 \gg (P - P_0)^2$ , qui peut être contournée si on estime la longueur  $L$  du trajet du faisceau dans le second prisme. On a alors :

$$n = \sqrt{1 + \frac{(P - P_0)^2}{L^2}} \frac{n_R}{L} + \sin(i)^2 n_L^2$$



Schéma Nke Instrumentation

# Nouvelles avancées

Si on pose  $A'(\lambda, t) = (n_R/L)^2$  et  $B'(\lambda, t) = (\sin(i) \times n_L)^2$ , on se retrouve avec une équation où il n'y a que 2 coefficients à déterminer :

$$n^2 = \frac{(P - P_0)^2}{1 + \frac{(P - P_0)^2}{L^2}} A'(\lambda, t) + B'(\lambda, t)$$

Avec  $A'(\lambda, t) = A(\lambda_0, 20^\circ) + \delta A$  et  $B'(\lambda, t) = B(\lambda_0, 20^\circ) + \delta B$ .

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

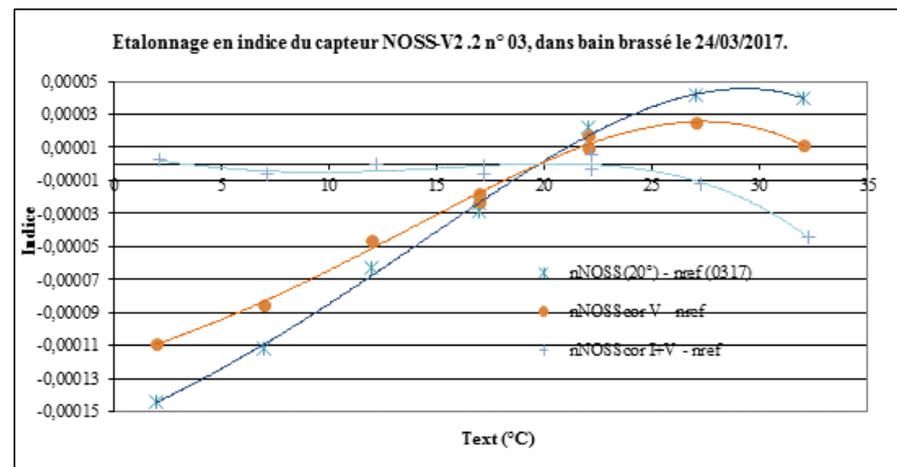
$\delta A$  permet de prendre en compte de façon rigoureuse, les corrections en  $\lambda$  et  $t$  du verre PSD et  $\delta B$  les mêmes corrections pour le verre du Laser.

Afin de voir l'effet de la température sur la réponse du NOSS n° 03 étalonné en salinité, des mesures à  $t$  variable ont été faites.

Après ajustage de  $L$  et  $P_0$ , cela donne la courbe bleu foncé.

Après application des corrections de verres, on obtient la courbe orange.

Les réponses sont linéaires entre 0 et 22 °, et non-linéaires au-delà. Pourquoi ?



# Nouvelles avancées :

On voit donc que les corrections de verres ne sont pas suffisantes pour compenser l'effet de la température.

Partant de ce constat, je me suis intéressé au comportement du PSD.

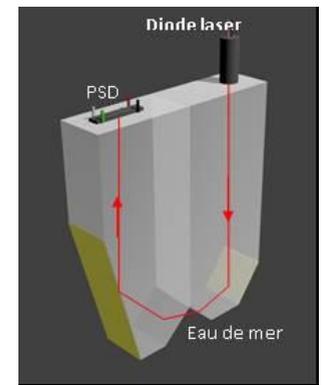
Il est assimilable à une photodiode dopée N, et son photocourant dérive avec  $t$ , d'une valeur  $\alpha_i = 0,1 \text{ \%}/^\circ\text{C}$ .

Cette valeur peut être retrouvée à partir de la variation en température des courants d'obscurité mesurés dans le bain.

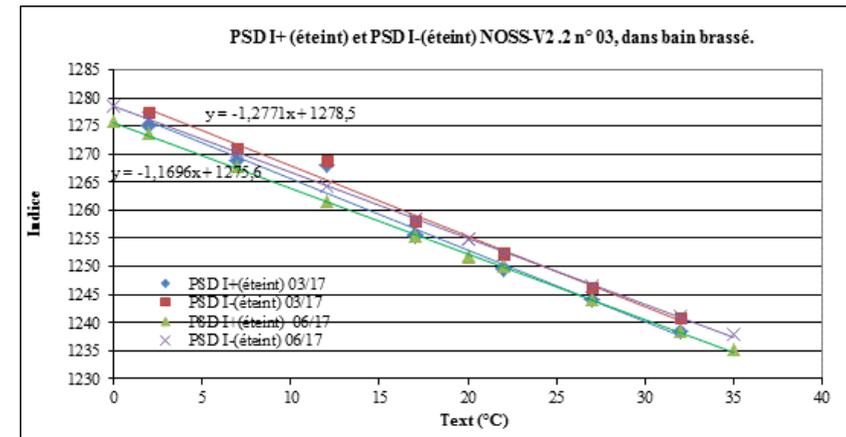
On trouve :  $-0,101 \text{ \%}/^\circ\text{C}$  pour  $I_0^+$  en 03/17 et  $-0,093 \text{ \%}/^\circ\text{C}$  en 06/17.

Pour prendre en compte cette dérive, il faut corriger les valeurs de positions mesurées :

$$Pos = \frac{I^+ - I^-}{I^+ + I^-} \quad Pos = \frac{(I^+ - I^-) + (I^+ + I^-)\alpha_i \Delta t}{(I^+ + I^-) + (I^+ - I^-)\alpha_i \Delta t}$$



Crédit photo : Télécom Bretagne



L'effet 'jauge de contrainte' du PSD a également été étudié. On peut montrer qu'il est complètement négligeable sur les valeurs de position.

# Nouvelles avancées :

L'application de positions corrigées donne la courbe bleu pâle, à condition de prendre  $\alpha_i = 0,00054 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  au lieu de  $0,001 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . Pourquoi ?

La non-linéarité n'est toujours pas éliminée.

Toutes ces corrections ont été appliquées aux données obtenues en caisson à l'IFREMER en 2014

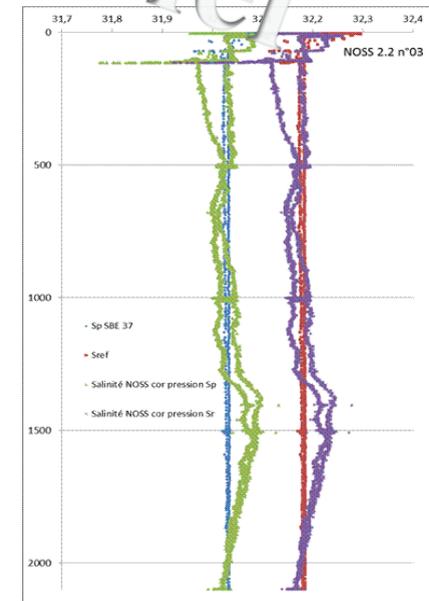
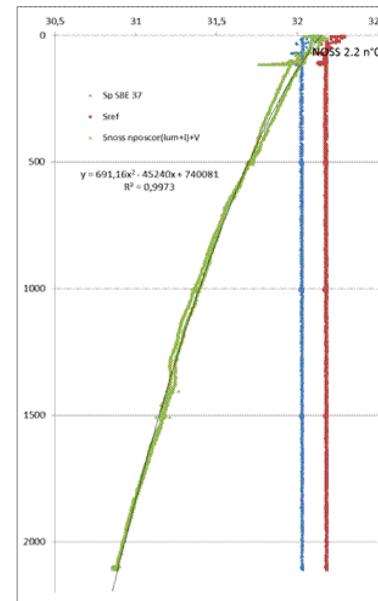
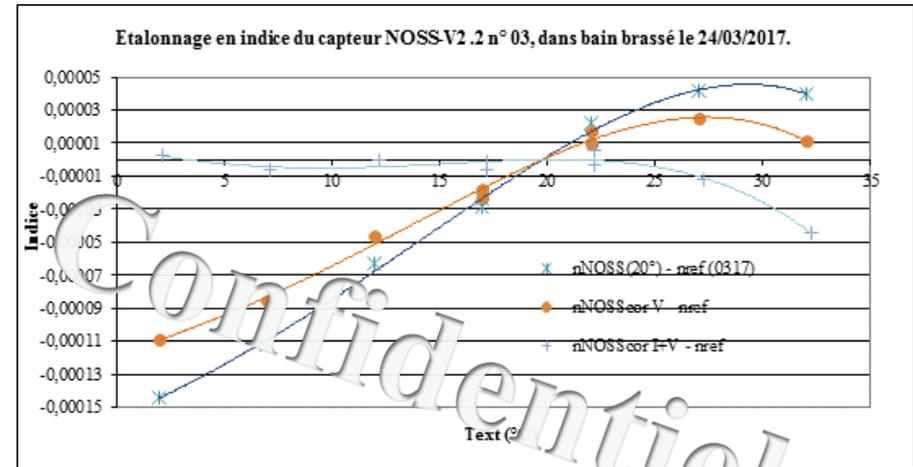
... pour essayer de trouver des coefficients de correction des effets probablement non-linéaires de la pression.

Ces mesures ont été faites avec une température variable et une salinité basse (32,2) de composition probablement différente d'une eau standard.

Par comparaison à la CTD, on obtient :

$$\delta n(p) = a + b.p + c.p^2$$

Avec :  $a = 1,6 \cdot 10^{-5}$ ,  $b = -1,605 \cdot 10^{-7}$  et  $c = 2,573 \cdot 10^{-11}$ .



# Nouvelles avancées :

Ces nouvelles formules ont été appliquées aux profils n° 1 et 3 du NOSS n° 03 obtenus en avril 2015.

La courbe verte représente le profil que l'on obtient en corrigeant uniquement les verres.

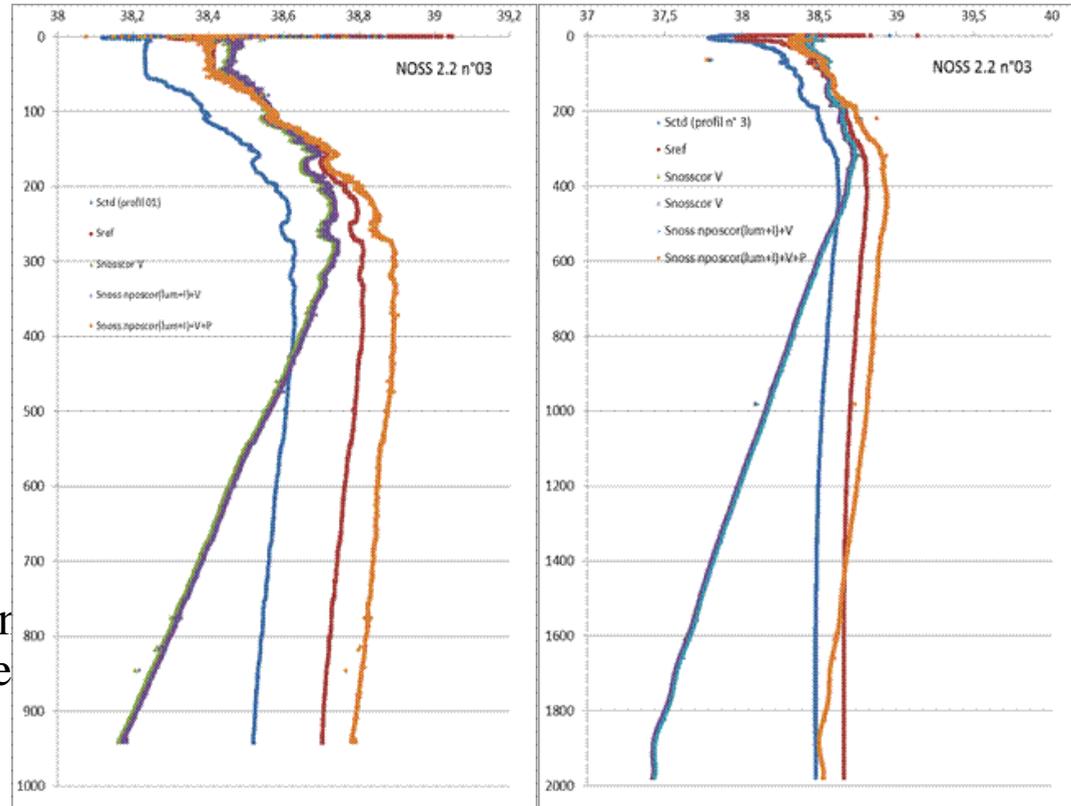
Si on applique en plus la correction du PSD, on obtient une courbe trop décalée vers la droite (salinités trop fortes).

L'application des corrections en pression donne les courbes oranges.

Sur le profil n° 1, jusqu'à 1000 m on suit bien les variations de la CTD, mais un décalage se produit après 150 m.

Entre 0 et 150 m les courbes se superposent bien à la salinité de référence (Ecart  $< \pm 0,03$ )

Au-delà, le NOSS devient astigmaté! Un paramètre non pris en compte provoque un décalage.



# Nouvelles avancées :

Afin de tester la reproductibilité des mesures à température variable, 2 autres essais ont été fait au laboratoire en juin.

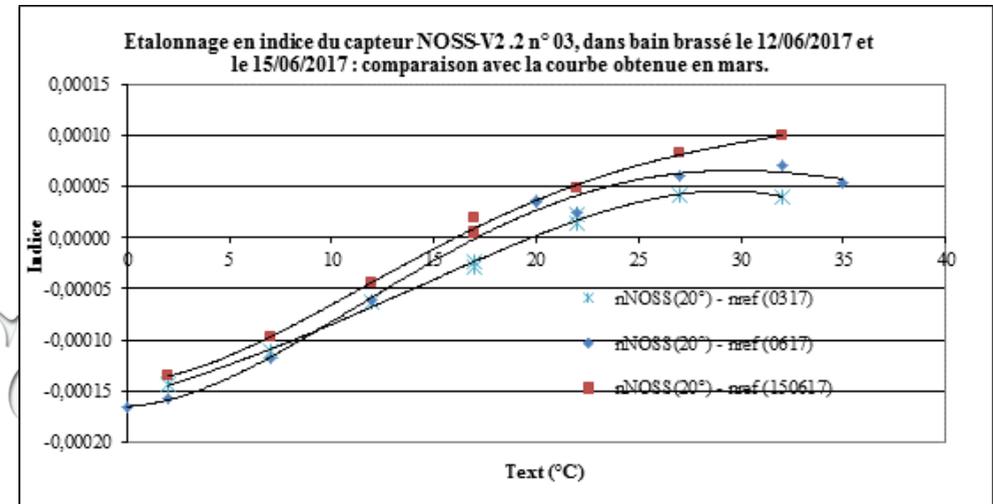
Avec le même étalonnage, on peut constater que la réponse que l'on obtient se décale, notamment à 20 °C, et la pente est différente en dessous de 20 °C.

Seul les points à 22 °C du 12 juin et de mars sont superposés.

Les courants d'obscurité que l'on obtient aux deux dates sont équivalents.

On peut donc exclure une dérive de l'électronique du PSD comme cause des décalages.

Quelque chose d'autre a varié. Quoi ?



Date	Tref (°C)	PSD I+(éteint)	PSD I-(éteint)
mars-17	22,0009	1249,714	1252,143
juin-17	22,0015	1249,905	1252,238
mars-17	27,0010	1244,000	1246,333
juin-17	27,0012	1244,000	1246,619
mars-17	2,0013	1274,905	1277,381
juin-17	2,0021	1273,619	1276,476

# Conclusion de cette étude :

Une avancée notable a été réalisée en mettant au point une méthode d'étalonnage et de correction rigoureuse basée sur l'utilisation des relations de Snell-Descartes.

Les formules permettent de prendre en compte les dérives en  $\lambda$  et  $t$  des 2 verres, cependant, ces corrections ne permettent pas de compenser les décalages en température constatés en laboratoire.

Cette réponse n'est pas linéaire au-delà de 22 °C, ce qui laisse penser que les verres sont contraints, cependant, la réponse obtenue n'est pas tout à fait la même d'un test à l'autre.

L'étude des corrections de courant du capteur de position reste à approfondir pour déterminer pourquoi la valeur mesurée de  $\alpha_i$  ne fonctionne pas.

Les corrections en pression à partir des mesures faites à l'IFREMER, ne donnent pas de résultats satisfaisants au-delà de 200 m, sur les profils obtenus en mer.

Il faudra attendre les résultats des mesures qui seront réalisées en caisson au LNE-CNAM pour en savoir plus.

Malgré les avancées réalisées dans la compréhension du fonctionnement physique du NOSS, à l'issue de cette étude, plusieurs questions restent encore sans réponse.

# Bilan des actions répertoriée en septembre 2016 :

- Avant une remise à l'eau, étalonner les NOSS n° 02 et 03 à température constante (20 °C) et salinité variable. → SHOM + fabrication bouchon verres NKE : FAIT
- Retraiter les profils obtenus en caisson à l'IFREMER pour confirmer que les coefficients calculés ici, permettent de les recalculer. → NKE : FAIT
- Revoir le serrage des verres : déterminer un couple de serrage idéal et identique pour tous les NOSS. → NKE – IFREMER : Aucun bilan n'a été communiqué par NKE
- Ou, revoir le système de blocage des verres. Evidage et serrage par le bas. Avantage : réduira l'inertie thermique. → NKE – IFREMER – SHOM : action non réalisée, à discuter.
- Quand ces actions seront réalisées, il faudra larguer un flotteur dans un endroit présentant des gradients de température pour travailler sur un algorithme de correction de temps de réponse. → SHOM – IFREMER : on en est pas encore là.
- Un caisson est en construction dans le cadre du projet METEOMET2 du LNE-CNAM. Il permettra de mieux connaître la réponse en  $dn/dp$  des NOSS. → NKE - CNAM – SHOM

La fabrication du caisson a pris du retard. Attente des résultats.