

LES BOUÉES TRUSTED : UN RESEAU FRM POUR LA MESURE DES SST

MARC LE MENN, SERVICE HYDROGRAPHIQUE ET OCÉANOGRAPHIQUE DE LA MARINE (SHOM)

FR-OOS : CONFÉRENCE NATIONALE DE L'OBSERVATION DE L'OCÉAN

IFREMER – PLOUZANÉ – 25 SEPTEMBRE 2024

Introduction

Depuis les années 1970, les températures de surface de la mer (SST) sont surveillées à l'échelle mondiale par des **radiomètres embarqués sur des satellites**.

Ces instruments mesurent la luminance énergétique (radiance) émise par la surface de la mer, mais ces mesures sont **sensibles à plusieurs paramètres**.

Pour s'assurer de la validité des SST mesurées, des comparaisons avec des mesures in situ indépendantes sont nécessaires.

C'est l'objet du projet **TRUSTED**.

TRUSTED est un projet Copernicus de l'UE, dirigé par EUMETSAT et managé par CLS.

Conférence FROOS



Sentinel-3A and B satellite launched in March 2019. Image credit: Copernicus



Oceanographic vessel Beautemps Beupré. Image Credit: © Shom

Introduction

Parmi les différents moyens d'observation, les bouées dérivantes de surface sont préférées pour les comparaisons avec les données des satellites, car leurs capteurs se trouvent à une profondeur nominale comprise entre 10 et 20 cm.

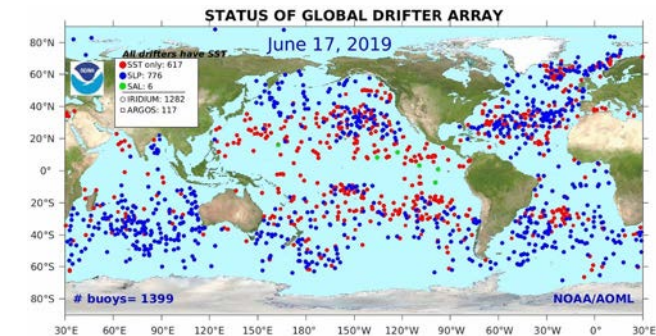
Selon le DBCP (Data Buoy Cooperation Panel), environ 1300 bouées dérivantes couvrent aujourd'hui les mers du globe et fournissent environ 90 % des données SST in situ.

Ces bouées, appelées SVP-B, devaient être peu coûteuses, faciles à déployer et fiables pendant au moins 18 mois.

Elles sont équipées d'un capteur SST qui devrait avoir une incertitude de 0,1 K avec une stabilité meilleure que 0,1 K/an, mais les estimations faites par différents auteurs montrent que leurs incertitudes de mesure vont de 0,12 K à 0,67 K (Kennedy, 2014).



Surface drifter SVP-B. Courtesy of Marlin-Yug.



Array of surface drifters. Image credit: NOAA/AOML.

Le projet TRUSTED

Il était donc nécessaire de développer un nouveau concept de flotteur dérivant qui serait caractérisé dans un laboratoire de métrologie.

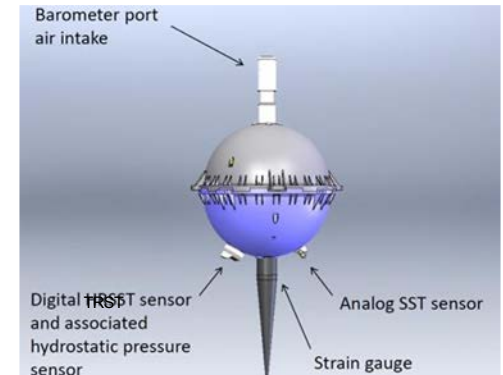
En réponse à un appel d'offre de l'EUMETSAT, le projet TRUSTED (Towards fiducial Reference measurements of Sea-surface Temperature by European Drifters) a été monté pour créer un réseau de 150 bouées de référence réparties sur toutes les mers du globe.

Un nouveau type de bouée appelé SVP-BRST a été créé. Elle porte 2 capteurs de température, le SST standard et un haute résolution appelé TRST, couplé à un capteur de pression pour localiser les mesures en profondeur.

Les challenges étaient :

- d'assurer la traçabilité métrologique au SI des mesures de températures, avec une incertitude déterminée (50 mK, EUMETSAT spec., agreed by the DBCP and GHRSSST pilot project on HRSST),
- d'être capable d'étalonner 150 bouées et d'entretenir ce réseau.

Cette présentation, se focalise sur les raisons pour lesquelles ces bouées peuvent être considérées comme un réseau de mesures de référence fiduciaire (FRM).



Schematic of the buoy with its sensors. Image © nke Instrumentation



Two SVP-BRST prototype before trials at sea. Image credit: Shom

1 – Des capteurs complètement caractérisés

Le capteur TRST est intégré dans un **module appelé MoSens**, spécialement conçu pour répondre aux besoins d'étalonnage et de validation.

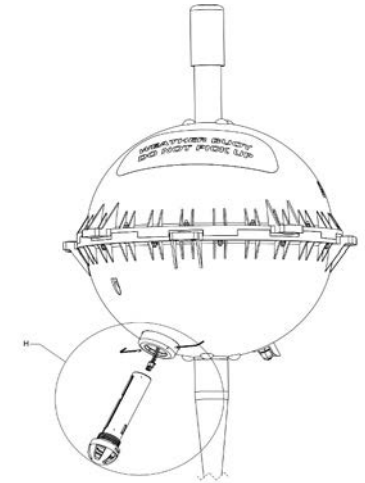
Il est **plus petit et plus léger que le SST des SVP-B**. Les avantages que cela présente ont été démontrés dans une publication¹:

- L'effet des échanges par rayonnement sur la température mesurée sont divisés par 3,4.
- Son temps de réponse est divisé par 7,4 par comparaison au SST des SVP-B.

Le module **MoSens peut être étalonné tout seul avant intégration dans la bouée**. C'est la solution trouvée pour pouvoir étalonner 150 bouées avec l'incertitude requise.

Un **budget d'incertitude d'étalonnage est établi pour chaque module**.

Une fois étalonné, les modules MoSens sont intégrés dans les bouées, et **une bouée par lot de 10 est vérifiée** pour s'assurer que l'incertitude est conservée.



Schematic of the buoy with its sensors. Image © nke Instrumentation



The TRST, the MoSens module and the SST sensors. Image © Shom and nke Instrumentation

¹ M. Le Menn et al., Development of Surface Drifting Buoys for Fiducial Reference Measurements of Sea-Surface Temperature. *Front. Mar. Sci.* 6:578. 2019 doi: 10.3389/fmars.2019.00578

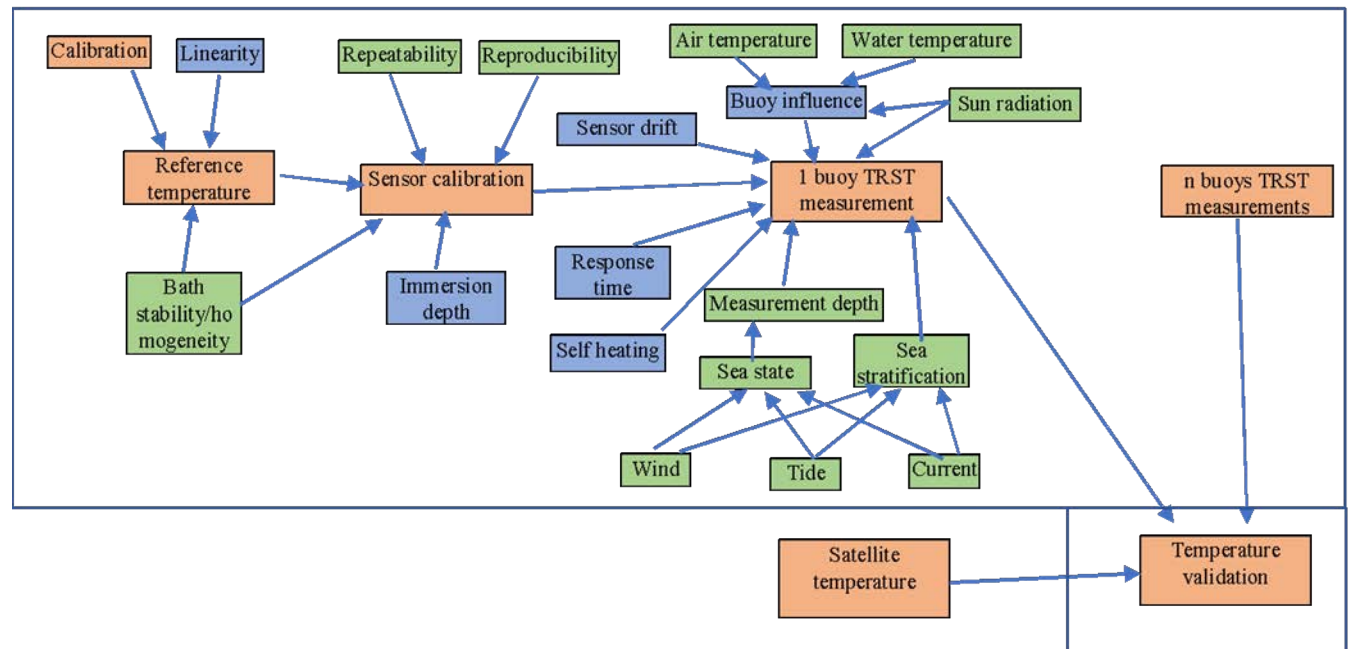
2 – Un diagramme de traçabilité

Il décrit les éléments de **traçabilité des bouées dérivantes TRUSTED**, puis la **traçabilité au SI des données**.

En bleu : les effets systématiques,
En gris : les effets aléatoire
En saumon : les résultats de mesures.

Distinguer les effets systématiques des effets aléatoires n'est pas toujours simple concernant les mesures in situ.

Quand ils sont déterminés correctement, les effets systématiques sont corrigés et les incertitudes des corrections sont prises en compte.

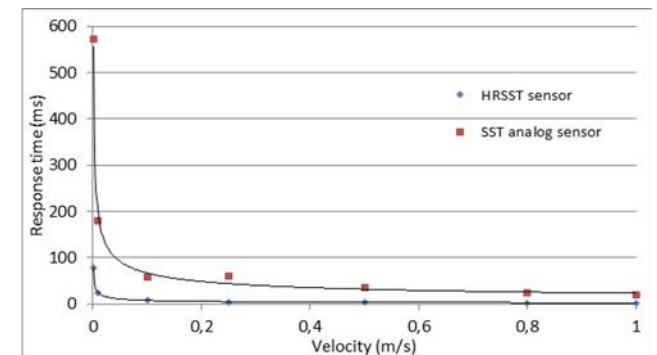


3 – Une évaluation des incertitudes des composantes du diagramme

En plus de l'évaluation des incertitudes liées aux références de température et à l'étalonnage des capteurs, d'autres paramètres ont été étudiés, tels que :

- l'influence du corps de la bouée.
- Le temps de réponse et l'autoéchauffement des capteurs TRST.
- L'influence du rayonnement solaire sur les capteurs.
- Leur dérive dans le temps.

Tout cela participe à la définition **de l'incertitude de représentativité des températures mesurées.**



4 – Une connaissance améliorée de la dérive des capteurs dans le temps

Donnée importante pour maintenir un bon niveau de confiance dans les données collectées

Pour cela, plusieurs bouées ont été récupérées plusieurs mois après leur déploiement en mer.

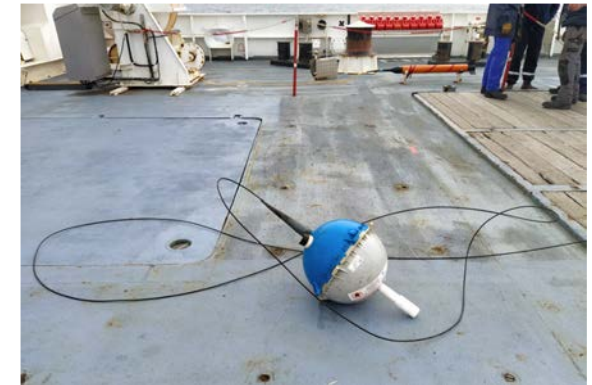
Leur dérive peut être calculée, mais elle est considérée comme une source d'incertitude additionnelle, car les données ne sont pas corrigées des valeurs trouvées.

A l'heure actuelle, il n'est pas encore possible de déterminer avec précision une loi de distribution des valeurs de dérive et de donner un intervalle de confiance à ces valeurs.

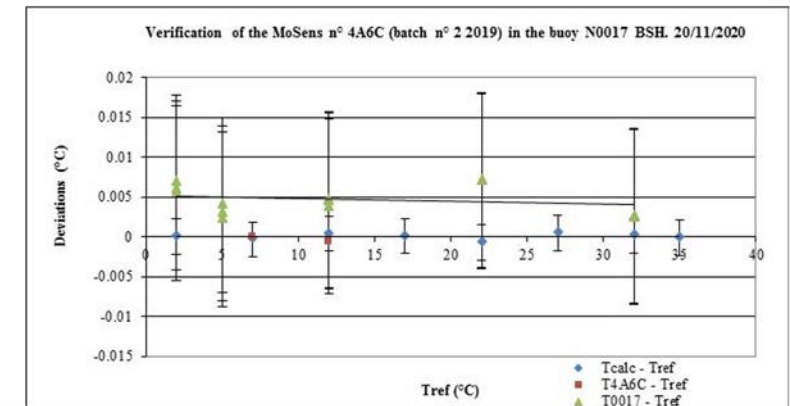
Mais, à partir des 4 exemplaires récupérés, il est possible de dire que la dérive est comprise entre 4 et 6 mK/an.

Tous ces résultats font l'objet d'un article soumis au Journal of Atmospheric and Oceanic Technologies².

² Le Menn et al., The measurement model of Copernicus TRUSTED Fiducial Reference Measurement drifting buoys for Sea-Surface Temperature. JAOT 2024.



Recovered buoy on the deck of the BHO Beautemps-Beaupré



Example of drift of a buoy recovered after one year at sea.

CONCLUSION

Mesurer des SST et fournir des mesures de référence fiduciaires pour la comparaison et la validation des mesures de SST par satellite n'est pas une tâche facile.

Parmi les instruments répondant à la définition des mesures de SST, les températures mesurées par des flotteurs dérivants de surface sont privilégiées.

Le projet TRUSTED a eu le mérite d'essayer d'établir un cadre de référence pour les comparaisons des mesures des satellites, grâce :

- au développement d'un réseau innovant de bouées équipées d'un capteur TRST ;
- l'appel à un laboratoire de métrologie d'un institut océanographique pour l'étalonnage et la caractérisation des capteurs et pour la comparaison des résultats en mer avec d'autres instruments ;
- l'appel à des INM pour auditer le travail réalisé, améliorer les concepts et les liens avec les bases de la métrologie.

Ce travail commun a conduit à définir une traçabilité et un modèle innovant de diagramme de mesure TRST pour améliorer le niveau de confiance dans les données collectées et dans les comparaisons avec les mesures des satellites.

Merci pour votre attention.