

Observation of the spatial structures of the SST at sub-mesoscale: data analysis and instrument design

Colloque drones, Oléron, 28-29 septembre 2021

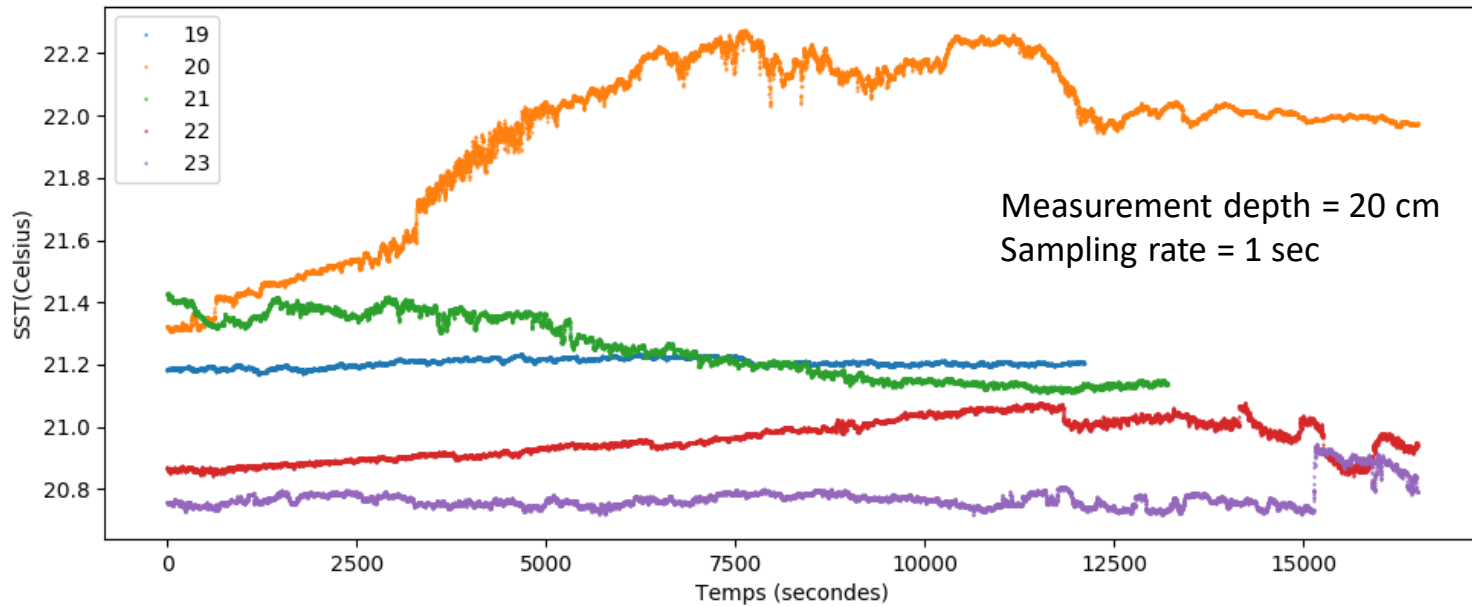
Denis Bourras¹, Christopher Luneau², Jean-Luc Fuda¹,
Hubert Branger³, P. Fraunié¹ and Cécile Puigserver¹

¹MIO

²OSU Pytheas

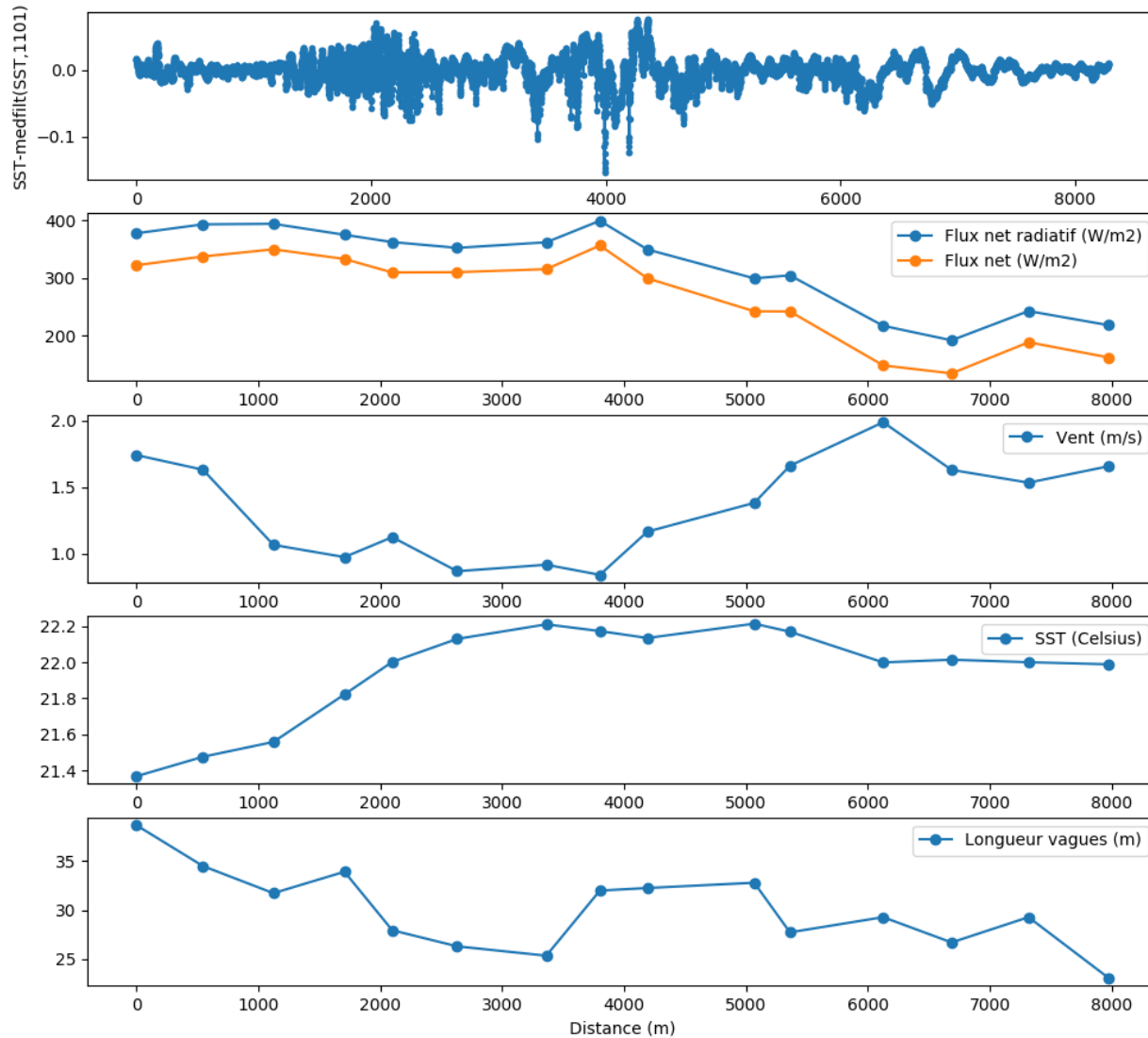
³ IRPHE

SST from a drifting platform (OCARINA with a drogue)

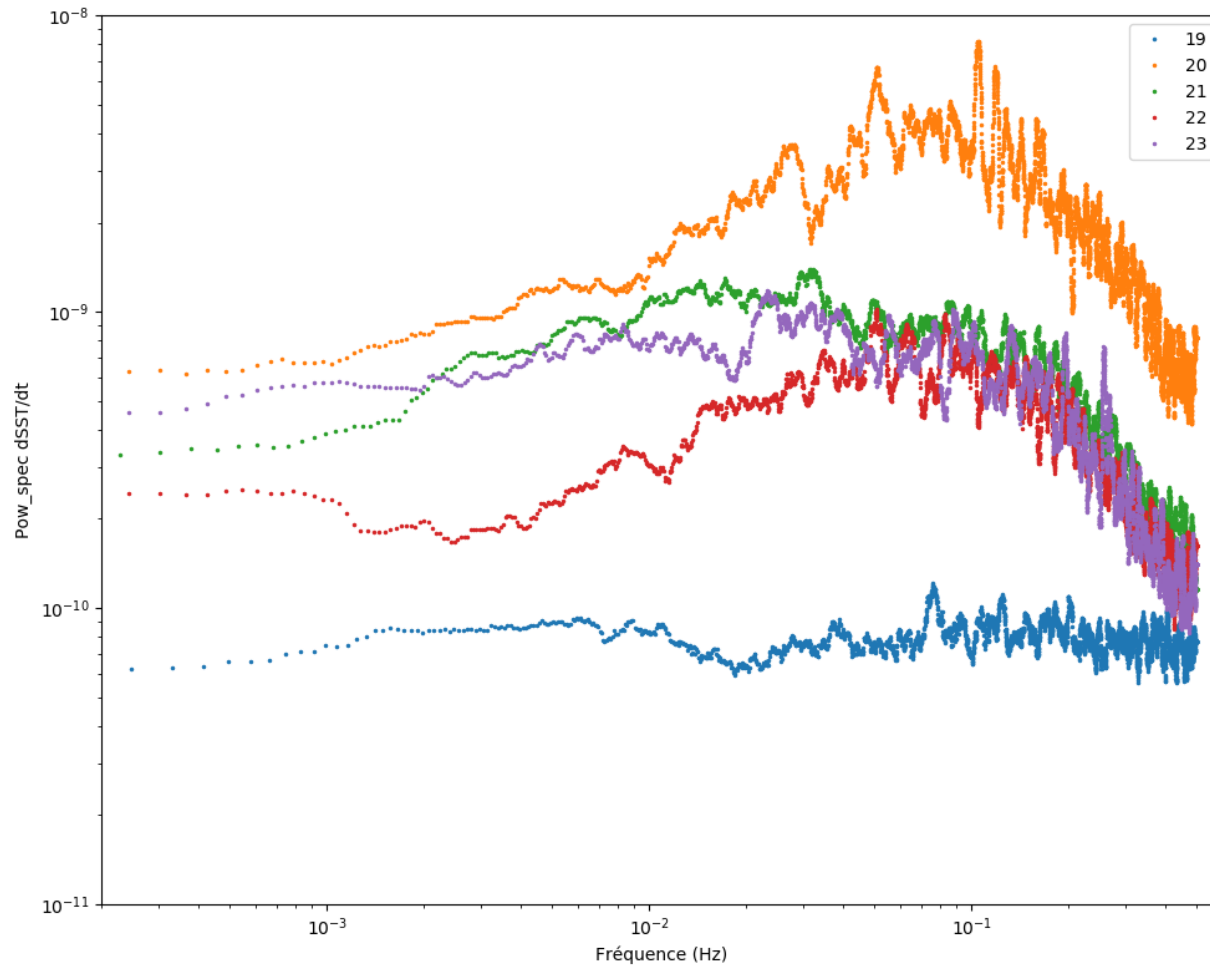


Daily time series from 19 to 23 October 2019, in the northwestern Mediterranean, off the Porquerolles Island (TURBORADAR-TURBIDENT joint experiment, PIs P. Fraunié and J.-L. Devenon).

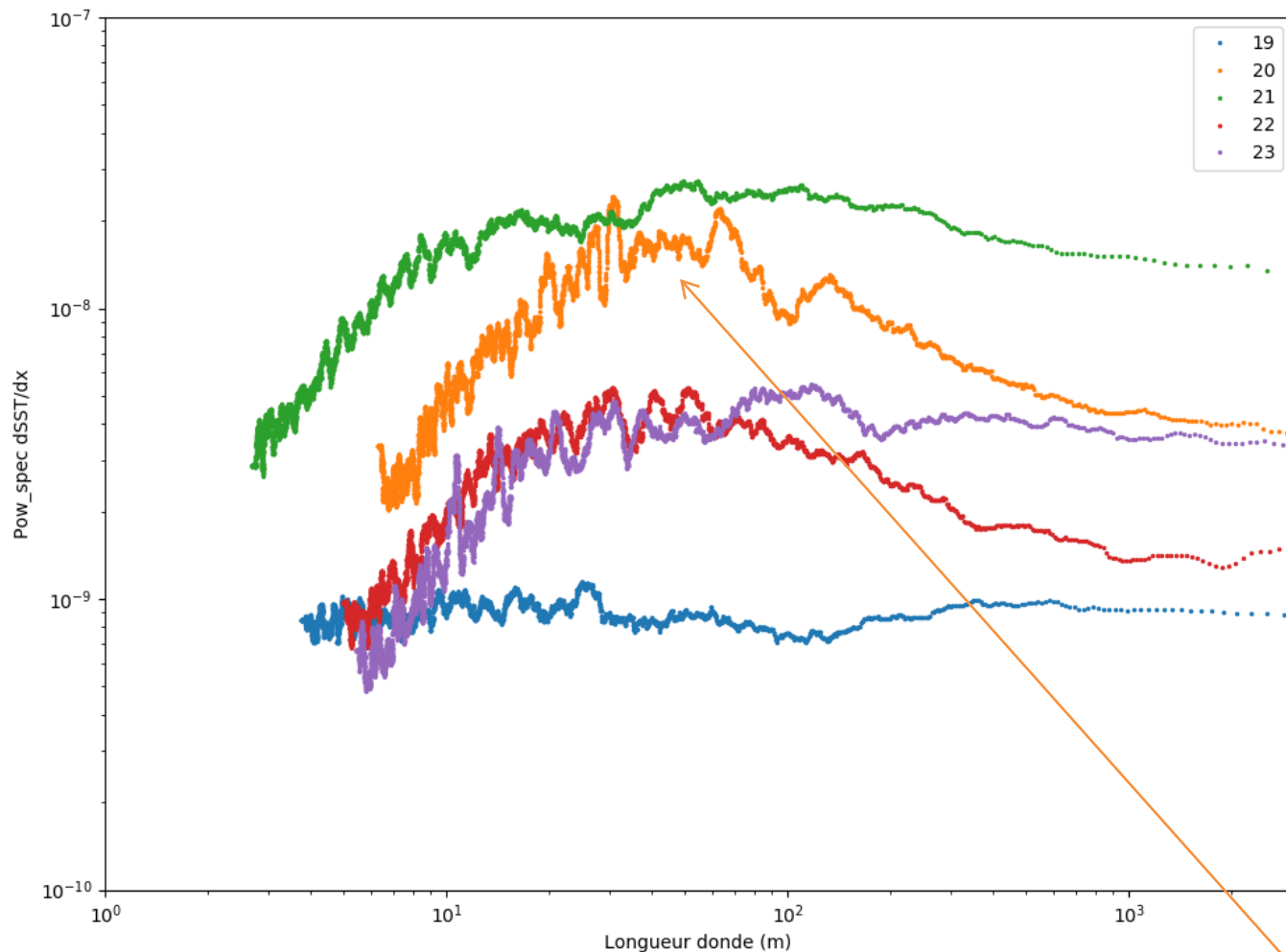
- On 19 October (blue), $\text{rms}(\text{SST})=0.006^{\circ}\text{C}$ (only three times the noise floor)
- On 20 October (orange), $\text{rms}(\text{SST})=0.04^{\circ}\text{C}$ (day of maximum variation)



On 20 October: Calm sea and wind conditions, typical of diurnal warming
 (ajouter hsw)



The daily averaged power spectrum of dSST/dt shows a smooth peak for 20 october



With the Taylor hypothesis (spatial structures do not evolve while sampling), the frequency power spectra are converted into wavelength spectra.

For 20 October, the most energetic part of the signal occurs at $\lambda < 200\text{m}$, and peaks at $\lambda = 50\text{m}$, which is close to the wave length ($\sim 45\text{m}$ according to our data).

Grare et al. (2021, in press in *Frontiers in Marine Science*) identified peaks at similar wavelengths with waveglider data.

In summary, according to data from a drifting platform, and based on a small dataset of five days, we find that in sunny and calm conditions of wind and sea state:

- The SST fluctuations peak to 0.04°C in rms
- The power spectrum shows a smooth peak at 10^{-2} - $4 \cdot 10^{-1}$ Hz
- This would correspond to a structure length of 200m or less (Taylor's hypothesis)
- The maximum peak occurs at 50m

What are the shape of these SST structures and the associated physical processes ? Are they two-dimensional? Are they langmuir cells, measurement artifacts, small scale eddies ?

- Our data cannot help to further address this issue : The accuracy of the sensor used is sufficient ($\pm 0.002^{\circ}\text{C}$), but we have no information on the SST gradient perpendicular to the trajectory of the platform.
- Infrared cameras have an accuracy limited to 0.1 - 0.3°C , or 2-7 times larger than the most energetic signal observed here, thus they cannot be used neither.



A specific instrument and an appropriate measurement strategy have to be set up

Thoughts :

- No single platform can reasonably span over 100 m
- No remote sensing apparatus has the required accuracy (0.002°C)

Response :

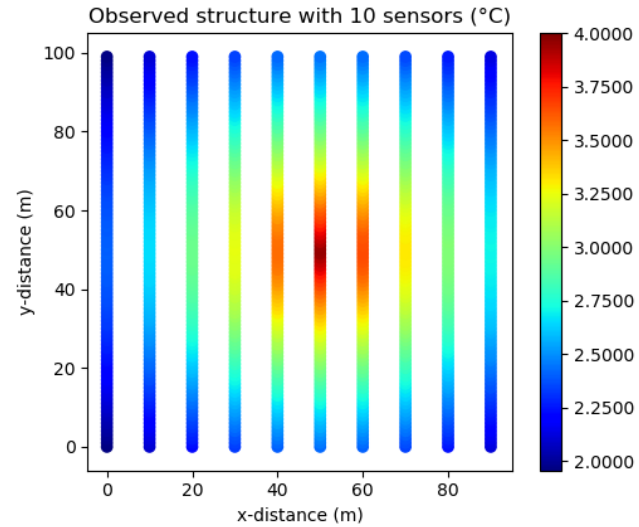
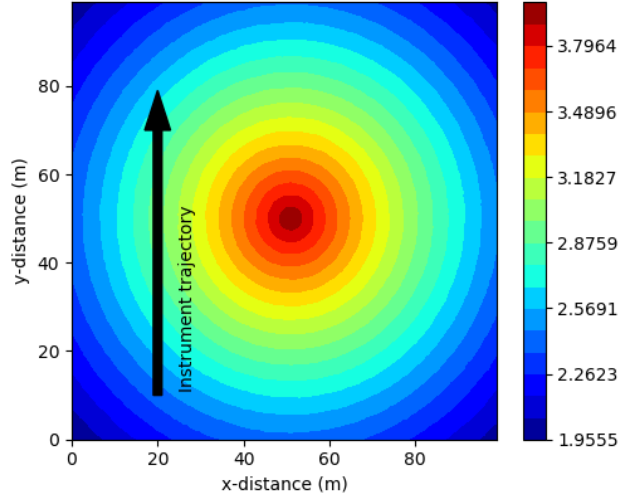
- Use a fleet of identical platforms, with
 - same sensors
 - same depth of measurements
- The platforms would
 - travel at same speed
 - follow parallel trajectories

Question: what can we expect to measure as a function of the magnitude of the SST gradient and of the number of platforms ?

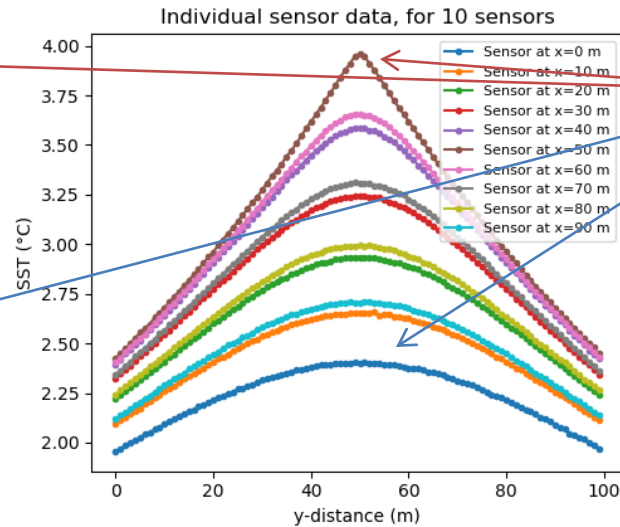
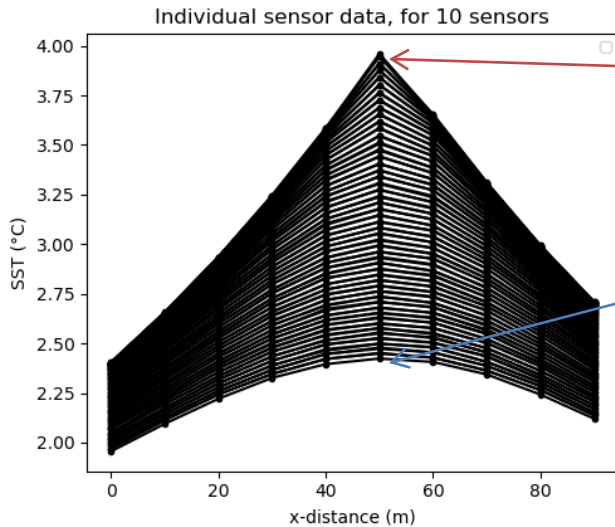
1/5 Simulation of the observed signal with an optimistic configuration :

- Pre-existing steady circular SST structure ($\phi=100\text{m}$)
- Ten sensors spaced by 10 m from each other
- Signal to noise ratio of 1000

Reference SST centered on [51m;50m] ($^{\circ}\text{C}$)
Max SST contrast 2.042 $^{\circ}\text{C}$, noise std 0.002 $^{\circ}\text{C}$



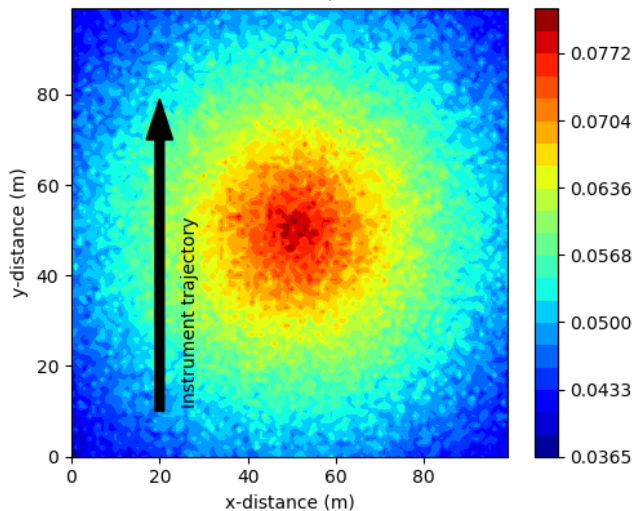
- A pseudo image is retrieved
- The x and y SST gradients are well defined
- The bottom two panels show comparable envelopes



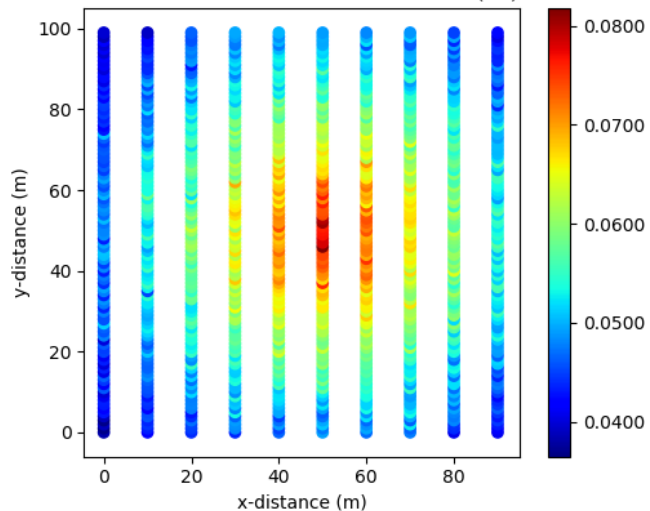
2/5 With added random noise, for comparison to 20 october 2018 data (rms=0.04°C):

- Ten sensors spaced by 10 m from each other
- Signal to noise ratio = 20

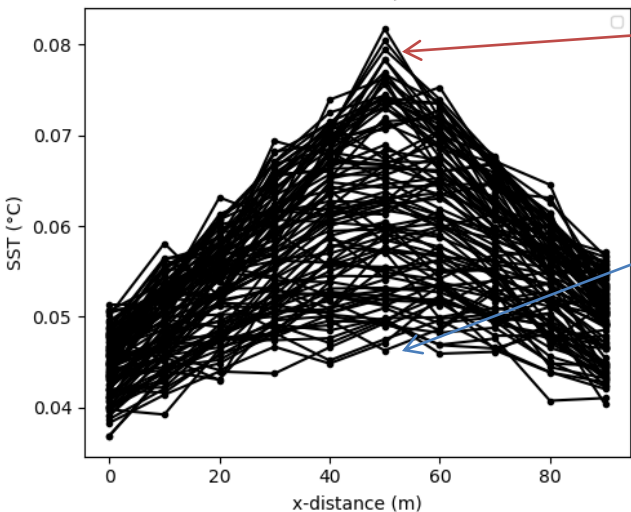
Reference SST centered on [51m;50m] (°C)
Max SST contrast 0.041°C, noise std 0.002°C



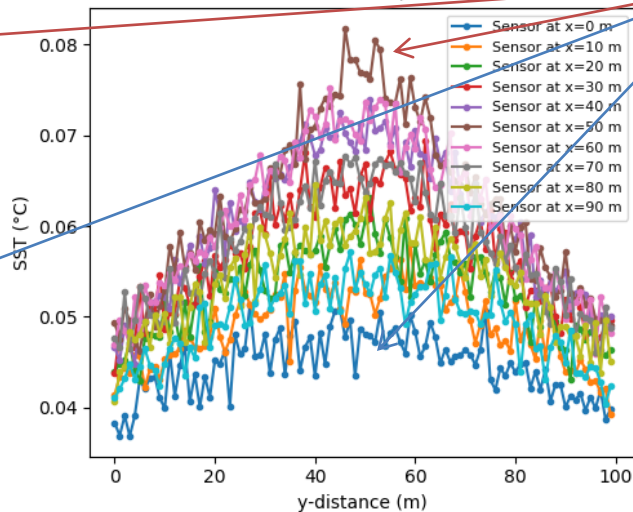
Observed structure with 10 sensors (°C)



Individual sensor data, for 10 sensors



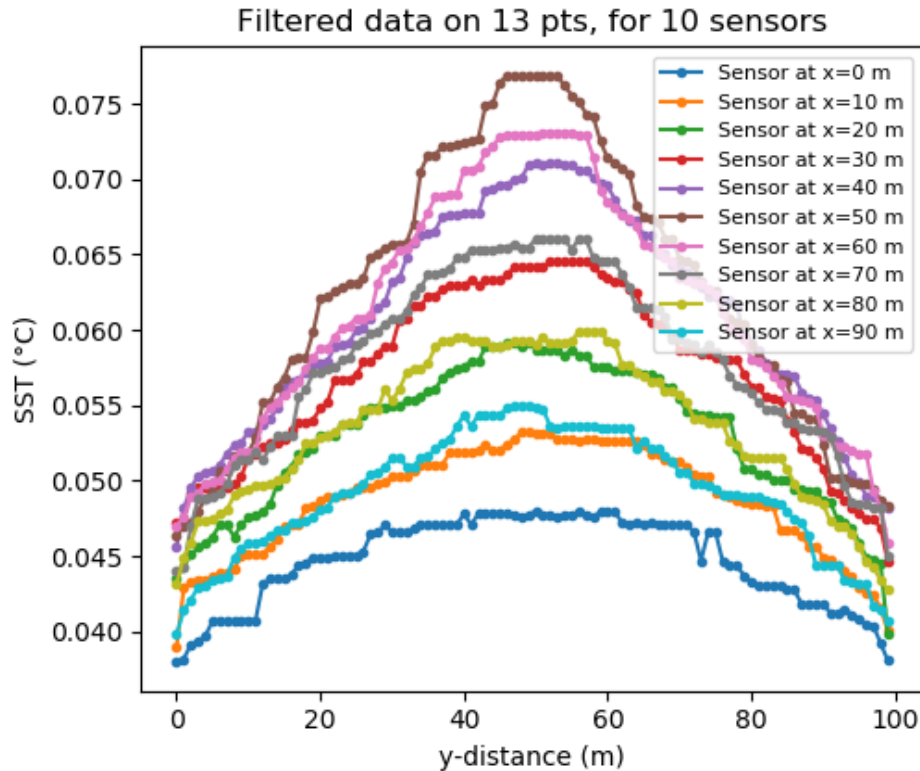
Individual sensor data, for 10 sensors



- The pseudo image renders well the spatial variations
- The x and y SST gradients have noise, but their variations are significant

2/5 (continued)

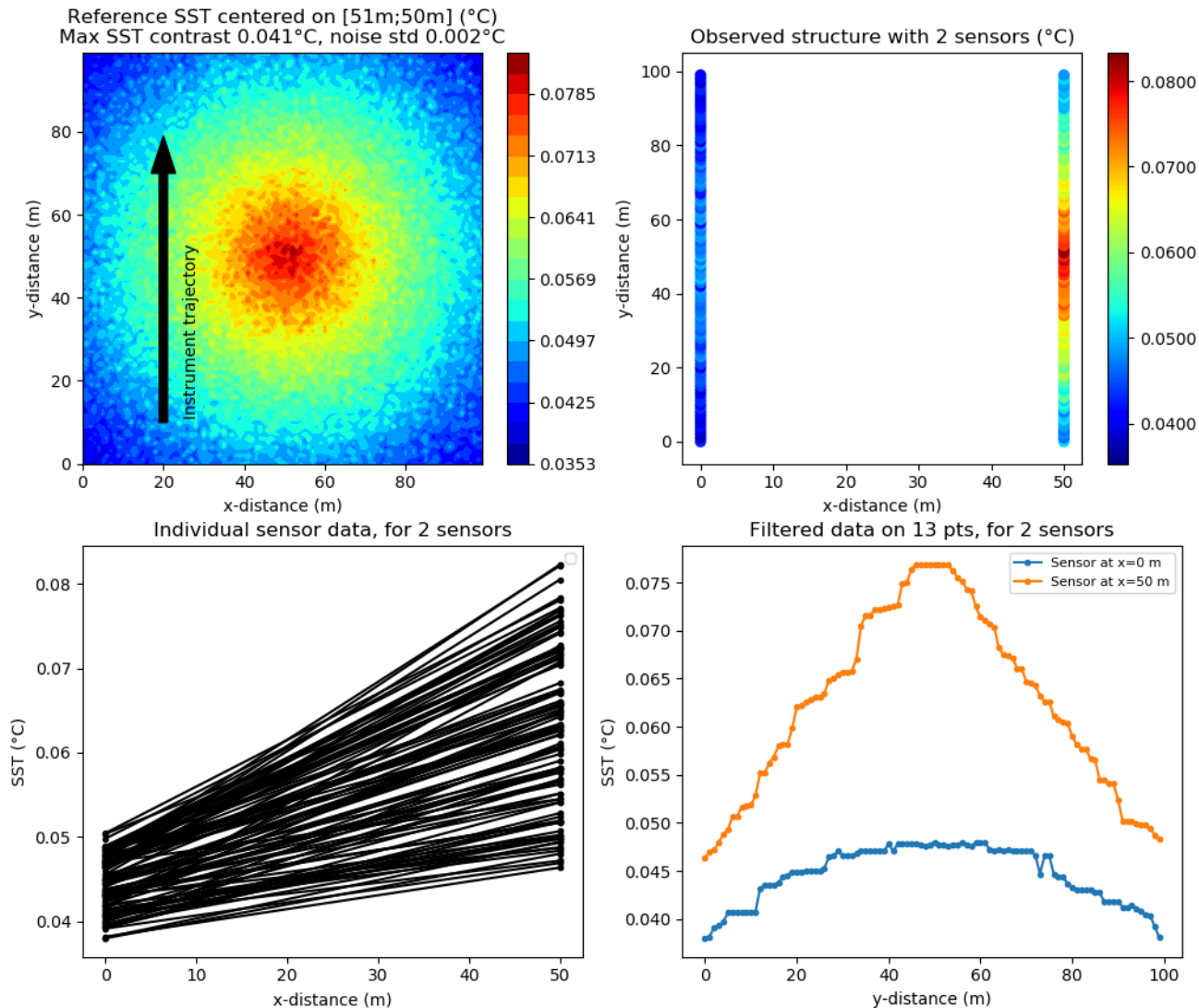
Application of a 13-points median (low pass) filter to data
(modification of the lower right panel of the previous slide)



Conclusion :

With a fleet of ten temperature sensors deployed in parallel, we could identify a centered circular SST structure of 0.04°C of magnitude and 100 m of diameter

3/5 With only two sensors available:

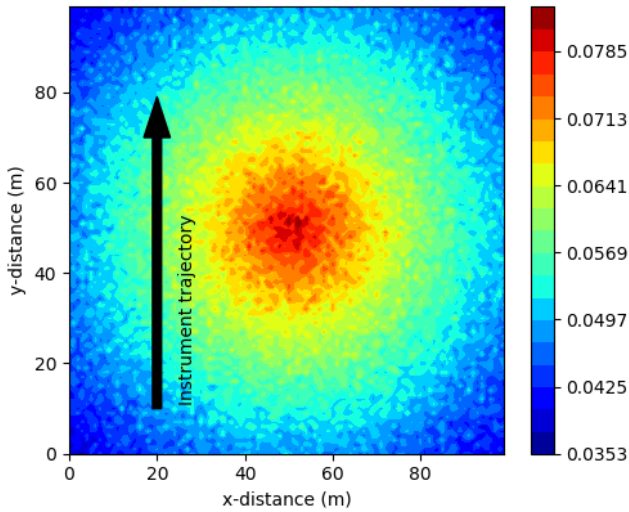


Depending on the alignment of the SST structure with respect to the trajectories of the sensors, it may be possible to detect if the structure is two-dimensional or not.

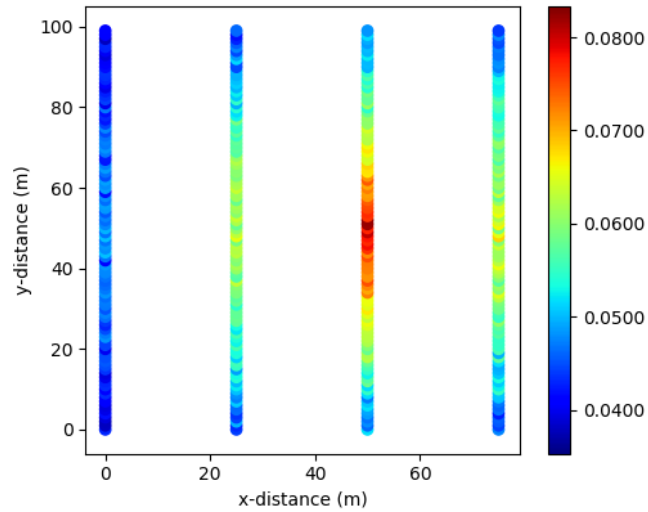
However, this configuration is more risky and needs further investigation.

4/5 Reasonable configuration: four sensors

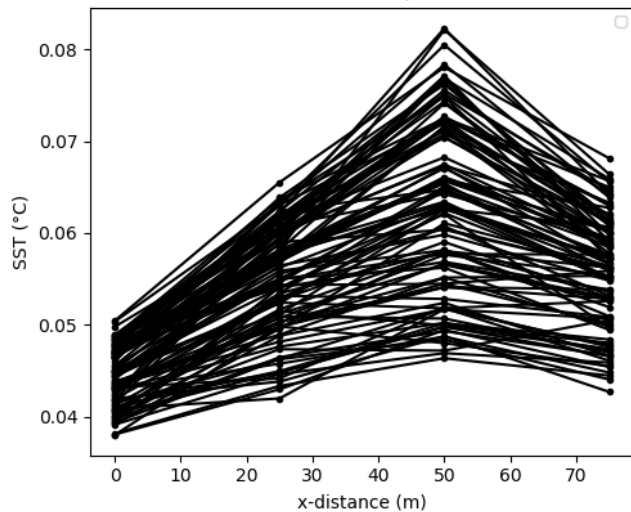
Reference SST centered on [51m;50m] (°C)
Max SST contrast 0.041°C, noise std 0.002°C



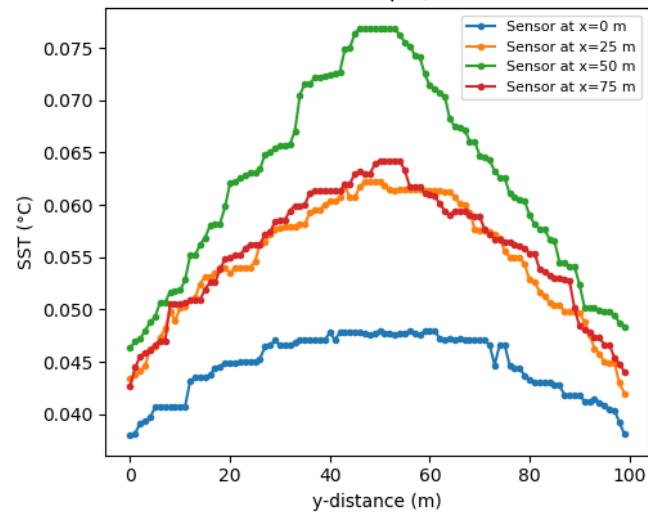
Observed structure with 4 sensors (°C)



Individual sensor data, for 4 sensors

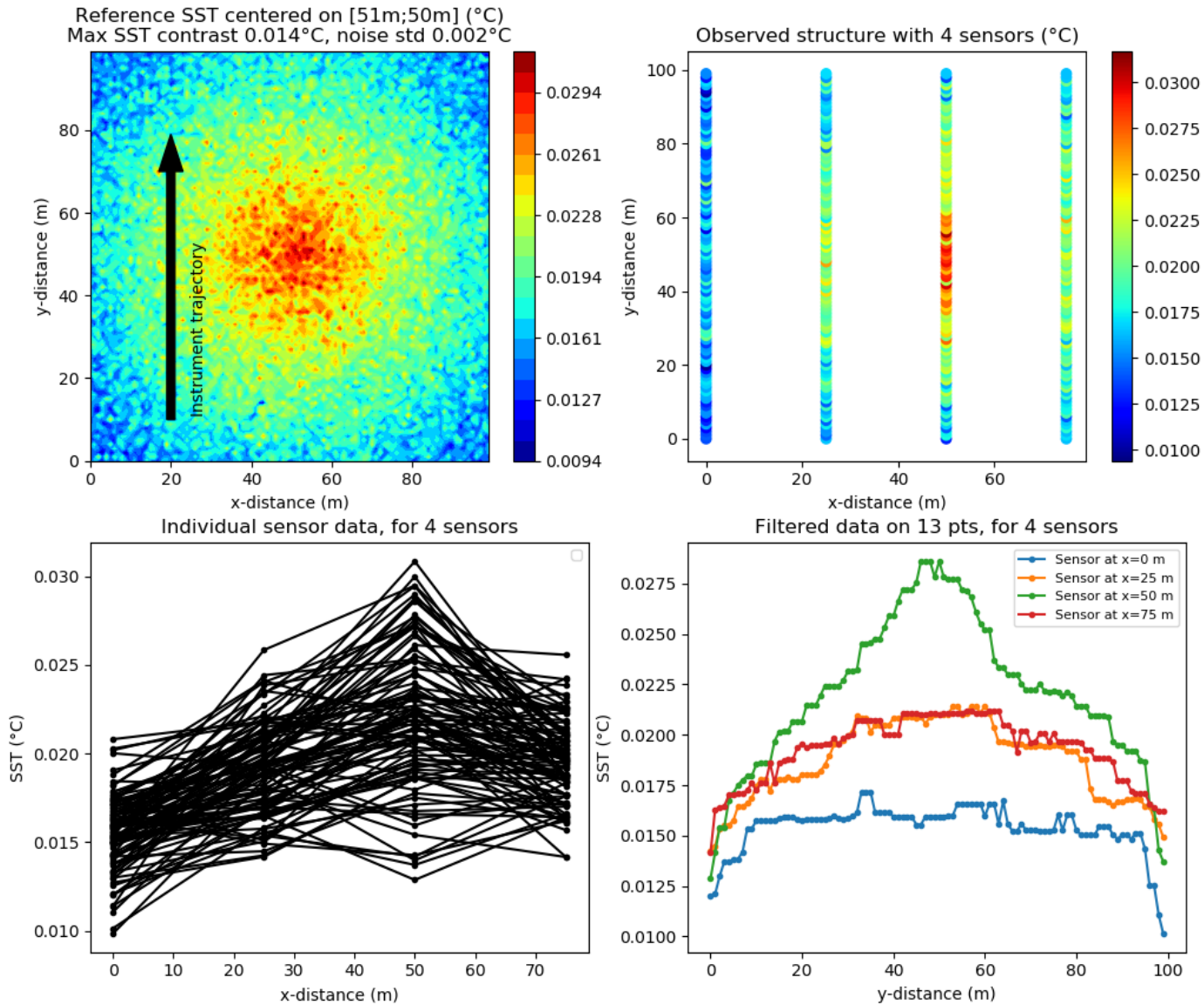


Filtered data on 13 pts, for 4 sensors

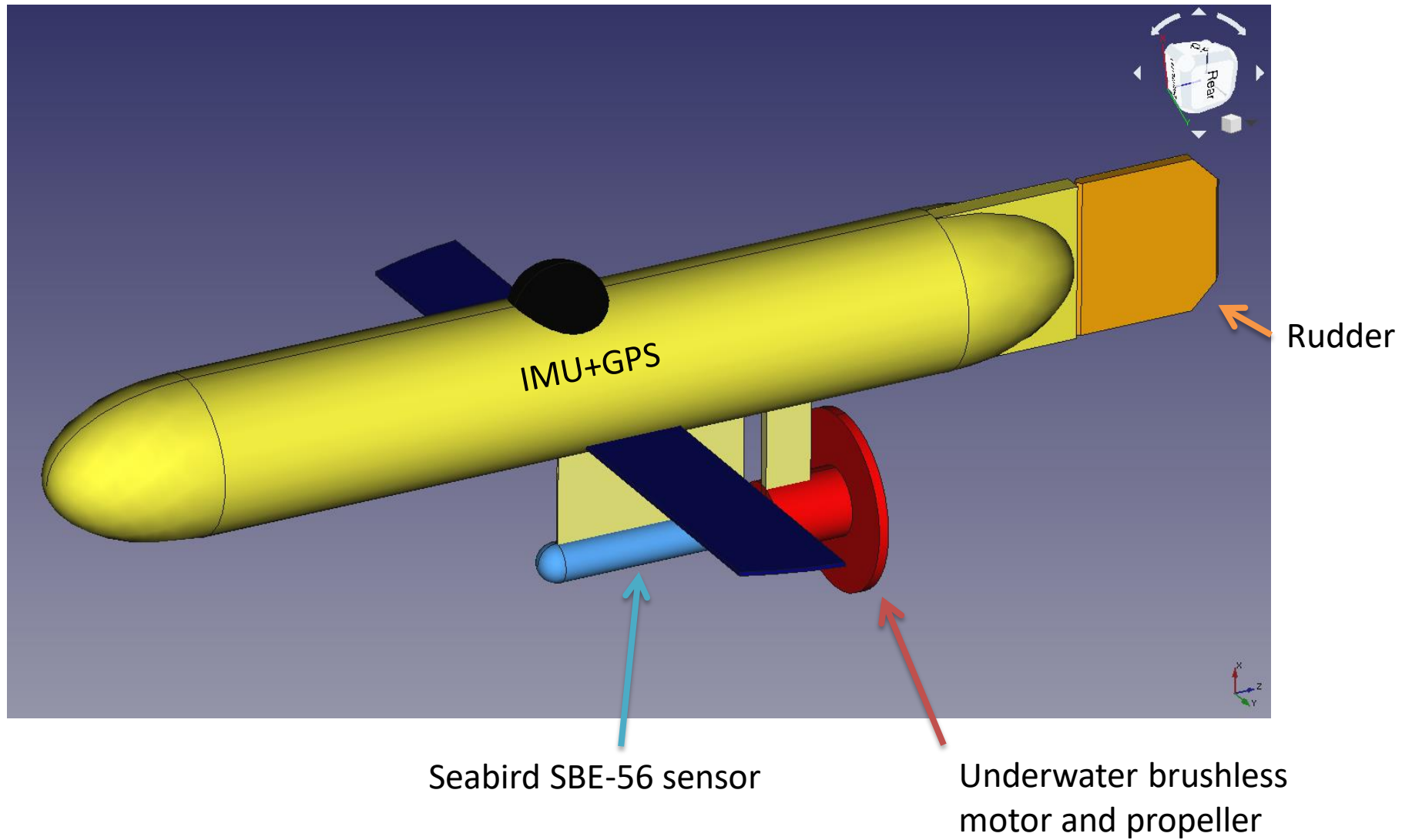


The pseudo image shows the SST peak, and the envelopes of the x and y gradients
[semblent exploitables, à étudier mieux]

Minimum acceptable signal to noise ratio = 7, i.e. $\max(dSST/dx)=0.014^{\circ}\text{C}/50\text{m}$

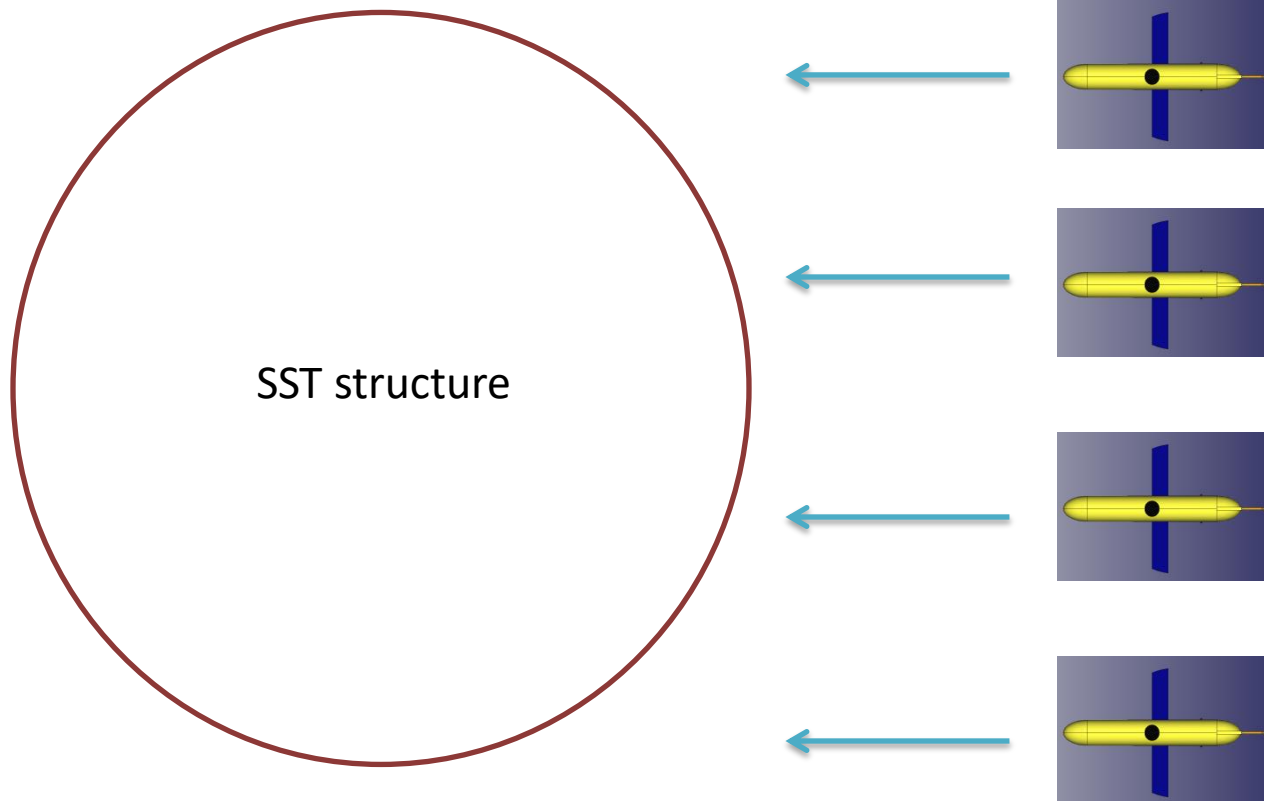


1/2 Toward a new instrument for imaging SST à sub-mesoscale : Timbalès torpedo



The torpedo maintains its heading with PIV+IMU+servo
The body of the torpedo is floating (1/3 of the height is outside the water)

2/2 Toward a new instrument for imaging SST à sub-mesoscale : deployment strategy



Four torpedos are deployed from a ship at 20-30 m from each other

Réalisation du premier prototype (visible mercredi 29 septembre)

Timbalès V1 est la version instrumentée d'une plateforme de mesures prototype qui devrait à terme être dupliquée en dix exemplaires, que l'on déploiera simultanément, afin d'obtenir des pseudo-images de la température de surface de la mer. L'acronyme signifie « **Température et Imagerie. Mesures à profondeur Bulk par Avance en Ligne d'une Escadrille à Sub meso-échelle** ».

Contraintes de réalisation

Prototype que l'on peut dupliquer à faible coût et accessible à tous

- impression 3D, ABS ou PLA, pièces vernies
- plans en libre accès
- Visserie et accastillage standard
- Remplacement de la coque par un tube de flottaison et des foils

Prototype léger

- Utilisation de Carbone
- Batterie Lithium Polymère (Lithium Ion 16 Ah pour V2)

Capteurs performants

- Seabird SBE-56
- IMU BNO-055

Fiabilité de la mesure

- Profondeur constante sous la surface assurée par
 - un large empâtement
 - Une masse faible (quelques kg) , qui permet de suivre les mouvements de la surface

Autonomie :

- 20 minutes pour V1, et une heure pour V2

Timbalès V1. Illustration



Les données de SST sont enregistrées dans la sonde et récupérées par liaison micro USB ensuite sur un PC via une application (Sea Term V1), elles sont converties au format CSV avec trois colonnes : date, heure du pc (locale) et température en degrés Celsius.

Les données de la BNO-055 (IMU) et du GPS sont enregistrées sur une carte SD au format CSV comportant les colonnes suivantes :

- ms_cpu (nombre de millisecondes écoulées depuis le démarrage de l'acquisition)
- heading (direction en degrés vers ou pointe la plateforme)
- roll (angle de roulis)
- pitch (angle de tangage)
- accx,accy,accz (accélérations linéaires en m/s^2)
- gyrx,gyry,gyrz (vitesses de rotation en radians par seconde)
- cal_system,cal_gyr,cal_acc,cal_mag (indicateurs d'autocalibration, mauvais si égaux à zéro)
- year,month,day (date)
- hour,min,sec (heure GPS UTC, mise à jour toutes les secondes)
- fix (vaut 1 si les données GPS sont valides, 0 sinon)
- qual (qualité du signal GPS)
- nsat (nombre de satellites en vue)
- lat (latitude en degrés (DD) et minutes décimales (MM) au format DD.MM (ex : 43.1275482178, qui vaut 43°12'45.2893068'' ou encore 43.212580363°))
- clat (hémisphère : N ou S pour Nord ou Sud)
- lon (longitude en degrés et minutes décimales comme pour la latitude)
- clon (vaut E ou W selon qu'on se situe à l'Est ou à l'Ouest du méridien de Greenwich)
- speed (vitesse GPS en nœuds) : à multiplier par 1.852/3600 pour obtenir des m/s
- route (angle de la trajectoire GPS suivie par rapport au Nord, dans le sens horaire, de 0 à 360°)

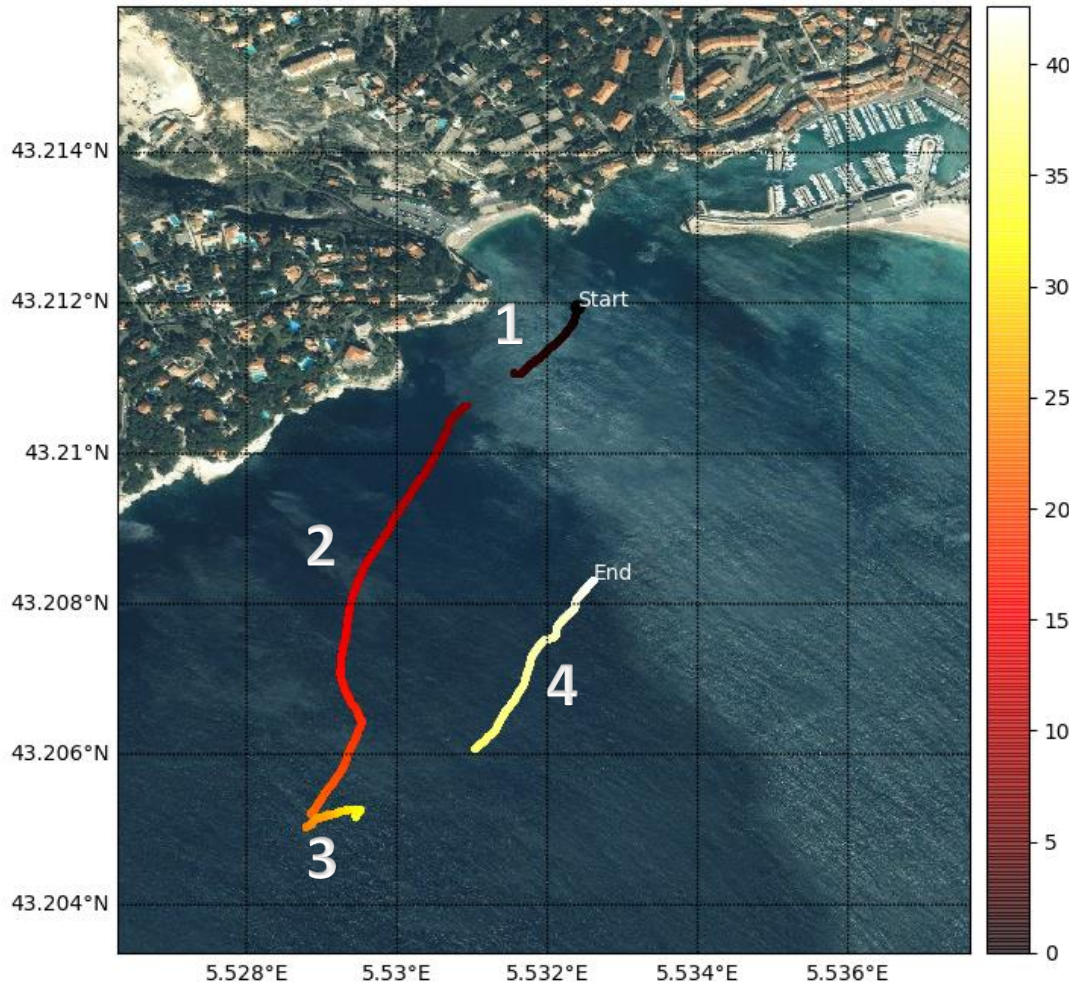
Premier déploiement de Timbalès V0 effectué en baie de Cassis sans charge utile, et avec deux flotteurs latéraux seulement, le 8 janvier 2020



Timbalès V1. Seconde expérience, le 19 octobre 2020 en baie de Cassis.

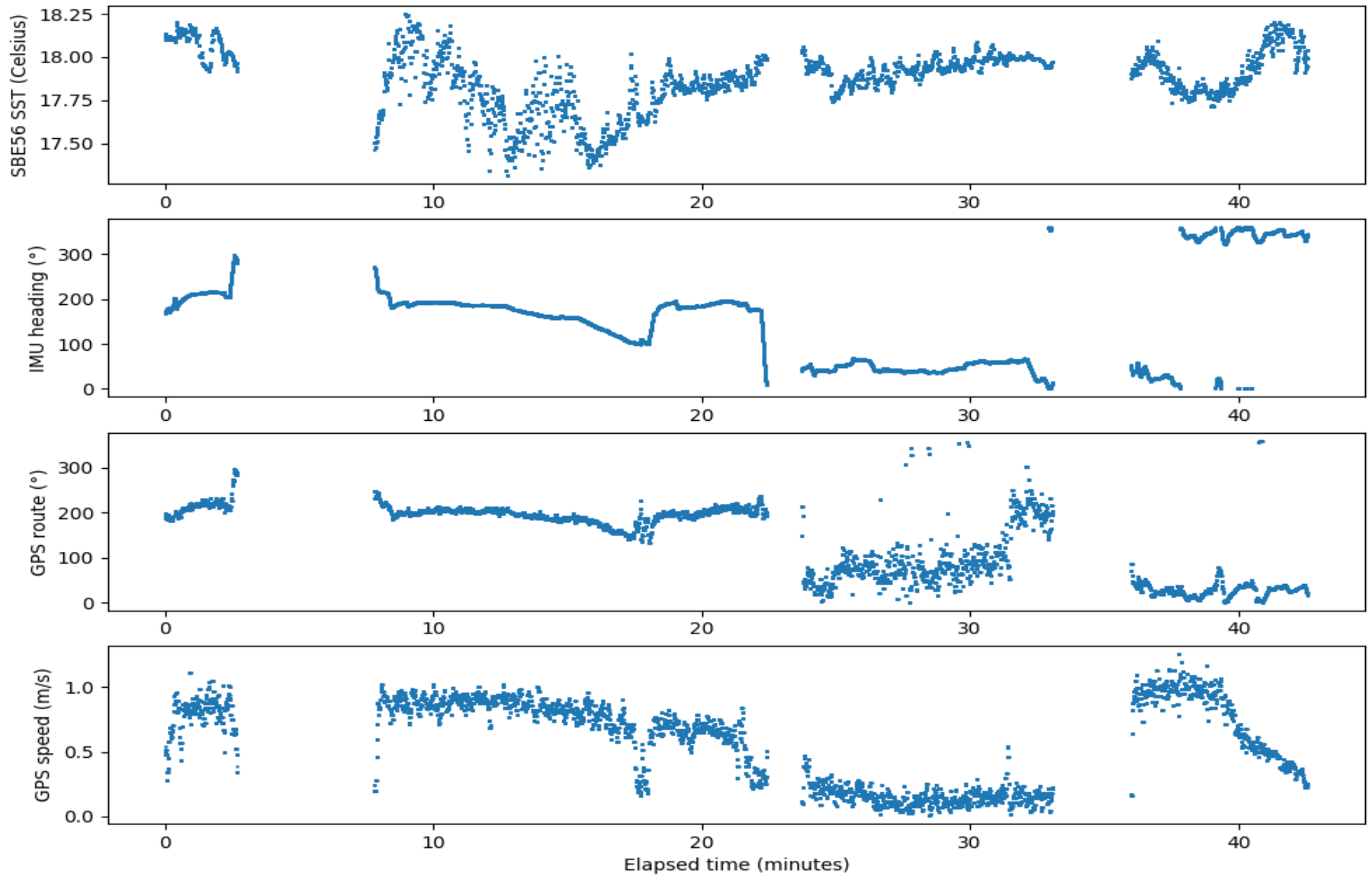
Le prototype a été déployé à quatre reprises au cours d'une expérience de quarante minutes environ, depuis une barque à moteur, afin d'effectuer différents tests (maniabilité, vérification d'étanchéité, modification de la répartition des masses, changement de batterie).

Timbalès V1, 19 oct 2020, Elapsed time (minutes), 08h19-09h02 local time



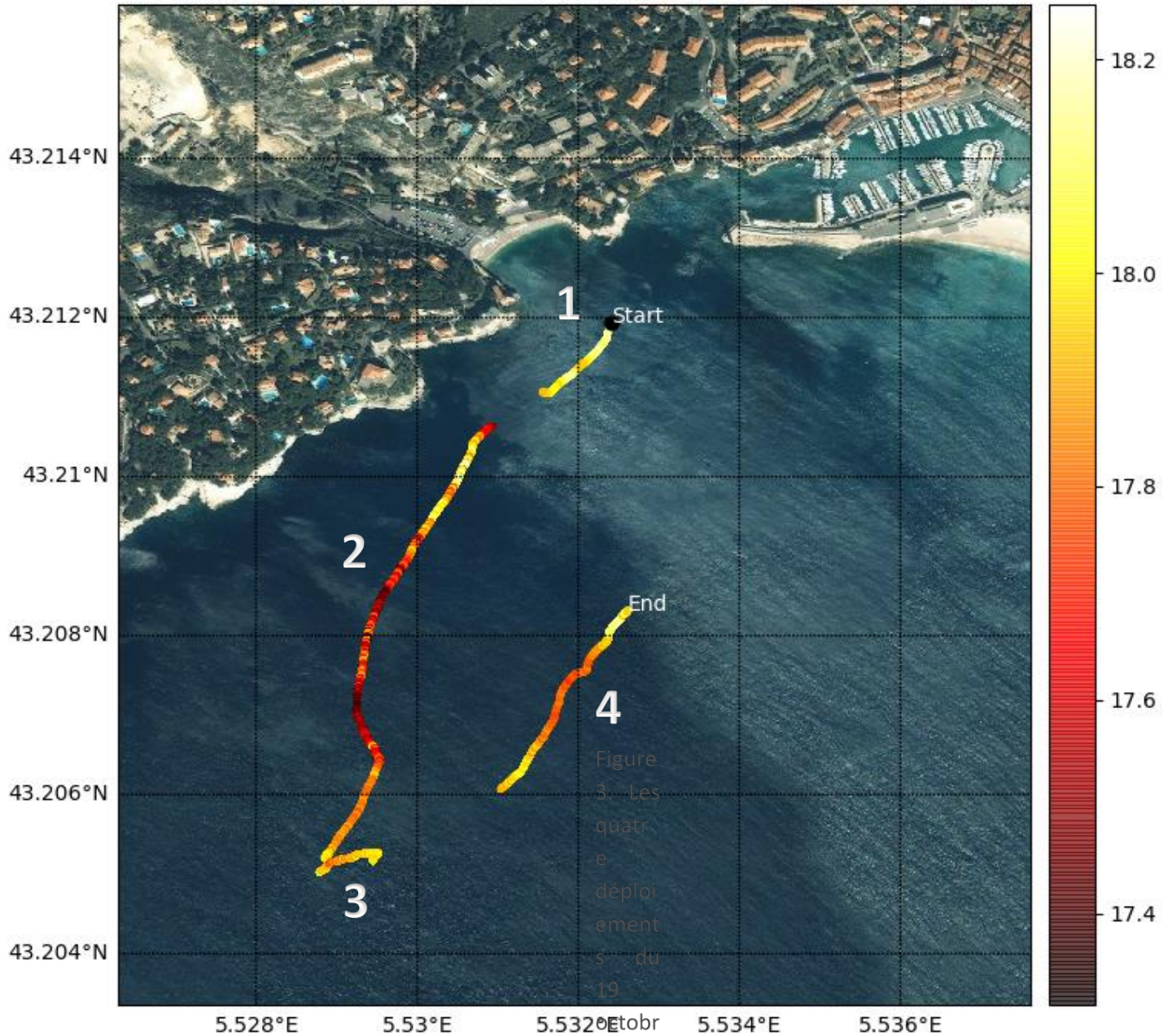
Leg 1 : test avec flotteurs latéraux avant trop reculés (avant de Timbalès plongeant). Batterie de 2 200 mAh. Route au Sud-Sud Ouest (200°)
Leg 2 : test avec flotteurs déplacés vers l'avant résultant en une meilleure répartition de la flottabilité (Figure 1), consigne de vitesse à 60% de la vitesse maximum, essais de maniabilité. La batterie de 2 200 mAh a perdu peu à peu de sa capacité jusqu'à arrêt complet du propulseur (dérive). Route passant progressivement du Sud-Sud Ouest (200°) à 100°, puis virage au Sud
Leg3 : phase de dérive vers l'Est, batterie vide
Leg 4 : test avec batterie de 1 300 mAh à 100% de la puissance. La batterie s'épuise progressivement et le moteur s'arrête au bout de 6 minutes environ. Route vers le Nord-Nord Est.

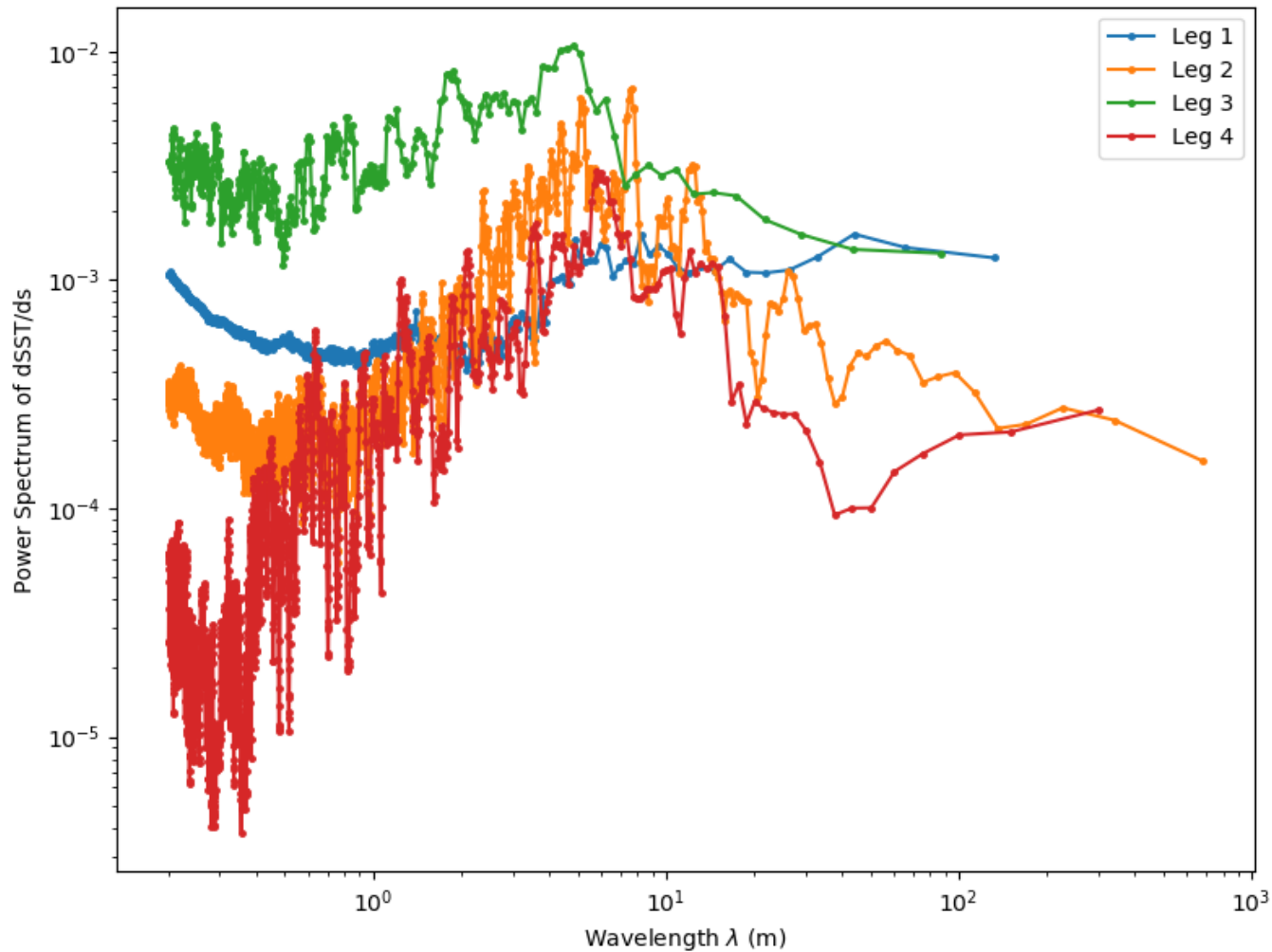
Le temps écoulé, en minutes, est représenté en couleur le long de la trace de Timbalès V1.



. Séries temporelles enregistrées
(forte amplitude de SST près de la côte)

Timbalès V1, 19 oct 2020, SST (Celsius), 08h19-09h02 local time





Spectres de puissance de la dérivée de la SST par rapport au pas d'espace (dSST/ds).

On observe un pic de $E(dSST/dx)$ à $\lambda=6$ m : vagues ? Cellules de Langmuir ? + forte variabilité de la température.

Il existe peut-être un trou spectral à $\lambda=50$ m, mais nous avons trop peu de mesures pour conclure.

Conclusions, recommandations pour la suite du projet

- Il faut continuer à explorer ce qui se passe aux échelles comprises entre 35 et 1000 m.
- Planifier des mesures en haute mer, car la baie de Cassis est peut-être trop spécifique en termes de variations spatiales de la température.
- Il faudra dupliquer le prototype pour avoir une image spatiale de la SST.
- Il faut une stratégie de déploiement (communication ou entre les exemplaires, ou pré(programmation))
- Tests en cours avec mini pixhawk