

Correction des biais sur les flux de chaleur à l'interface océan-atmosphère : une étude en soufflerie vent-vagues

Denis Bourras¹, Saïd benjeddou¹, et Hervé Giordani²

¹ Institut Méditerranéen d'Océanologie (MIO, UMR 7294 CNRS)

² Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM, Météo France)

Incertitudes sur les flux de surface : Intérêt et conséquences

L'amélioration de la précision des flux de surface concerne :

- La métrologie des flux
- La détermination du bilan de chaleur à la surface des océans
- L'amélioration des prévisions des modèle d'océan et des modèles couplés

Mesures en mer

Incertitudes



Paramétrisations des coefficients d'échange des flux bulk

Manque de précision



Modèles océaniques et couplés

Biais sur la temperature de l'eau



Rappel à la climatologie

Idées pour apporter une information utile

- Il nous manque :
 - une évaluation précise de la précision des flux
 - peut-être une meilleure méthodologie pour prendre en compte les flux de surface dans les modèles
- On propose :
 - d'effectuer des mesures de part et d'autre de la surface
 - d'utiliser un environnement contrôlé (une soufflerie vent-vagues)

Identifier la précision des flux utilisés : réaliser un bilan de chaleur dans la couche de mélange (ou assimilée)

$$\frac{\partial \overline{T_w}}{\partial t} = - \frac{1}{\rho_w C_{p_w}} \frac{\partial F_{net}}{\partial z} \quad \text{où } F_{net} = H_S + L_E$$

Intégration selon la verticale proposée par Gaspar et al (1990), puis appliquée par Caniaux et Planton (1998):

$$h \frac{\partial \langle \overline{T_w} \rangle}{\partial t} = - \frac{1}{\rho_w C_{p_w}} F_{net} \quad \text{où } \langle \overline{T_w} \rangle = \frac{1}{h} \int_{-h}^0 \overline{T_w} dz$$

On sait mesurer T_w avec une précision de 0.002 degrés K

L'erreur sur la mesure des flux est élevée, de l'ordre de 10-30 Wm⁻²

L'impact d'une erreur de +10 Wm⁻² sur une année est $\delta F_{net} / (h \rho C_p) = \underline{+1.5^\circ\text{C}}$ (pour $h=50$ m)

Étude de cas : expérience POMME 2001 en atlantique Nord Est

- L'océan a un effet intégrateur de la chaleur échangée en surface
- Les erreurs sur les flux s'accumulent au cours du temps

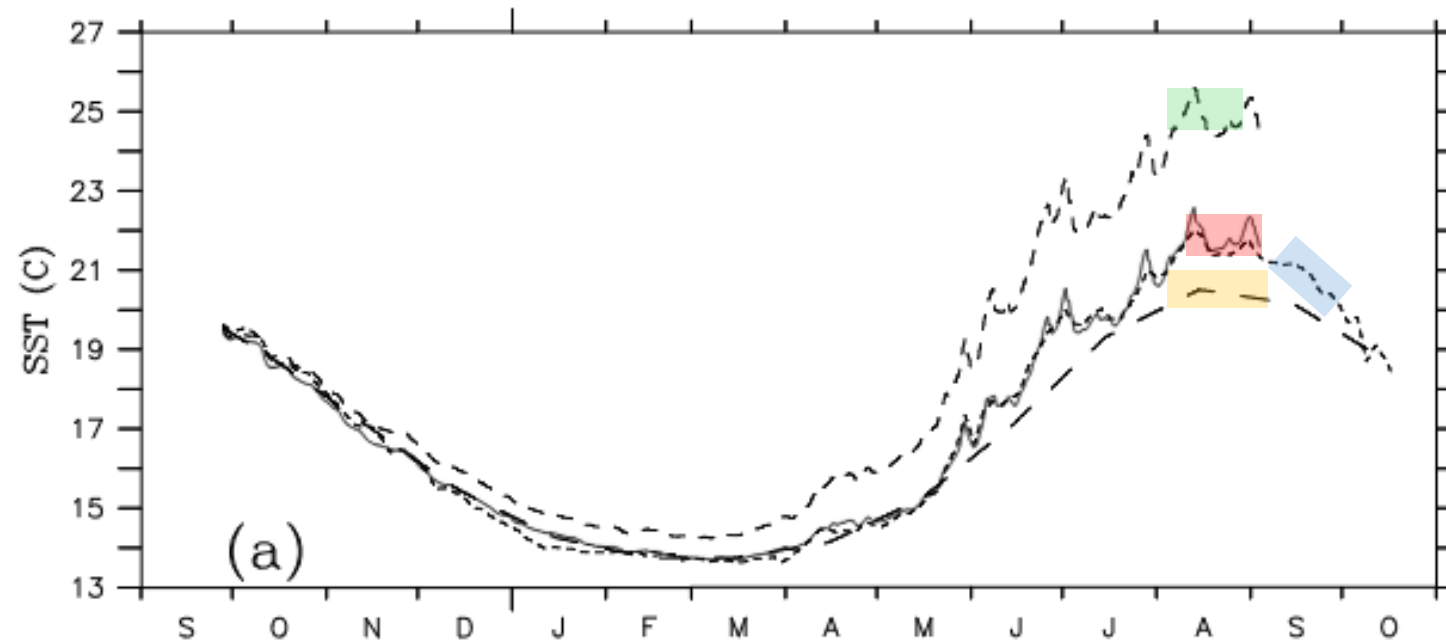


Figure extraite de 'A 1 year sea surface heat budget in the northeastern Atlantic basin during the POMME experiment: 2. Flux optimization', by Caniaux et al. (2005)
JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 110, C07S03, doi:10.1029/2004JC002695

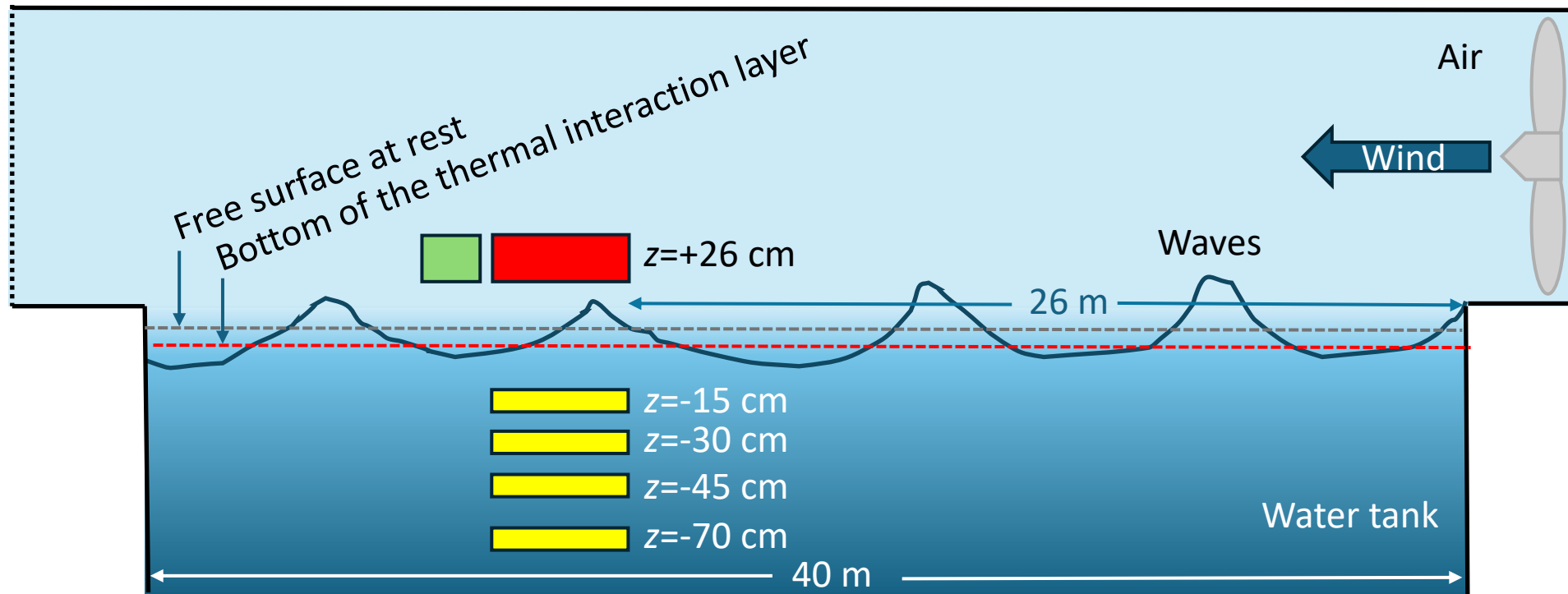
Figure 5. Temporal evolution of (a) sea surface temperature (SST) (deg), (b) sea surface salinity (SSS) (psu), and (c) mixed layer depth (m) simulated by the model forced by the **adjusted (solid line)** and the **unadjusted fluxes (dashed line)**, deduced from **analyses (small dashed line)** and from the monthly *Levitus and Boyer* [1994] (SST) and *Levitus et al.* [1994] (SSS) **climatologies (long dashed line)**.

Ce qu'il manque, en mer :

- Suffisamment de données : 1 000 x 1 000 km à couvrir pendant 1 an
- Le milieu est naturel $\Leftrightarrow$ non contrôlé : les conditions changent, les expériences ne sont pas reproductibles
- Il y a du mélange à la base, de l'advection

Premières expériences test en soufflerie vent-vagues : questions

- Est-ce qu'on peut mener une expérience sans contrôler les aspects thermiques (uniquement le vent) ?
- Les instruments sont-ils adaptés (mesures de T et q) pour appliquer la méthode EC ?
 - (précision/volume d'échantillonnage/ fréquence d'échantillonnage)
- Y a-t-il des pertes significatives au niveau du sol et des parois ?
- Peut-on corriger ou espérer corriger les paramétrisations des flux de surface ?

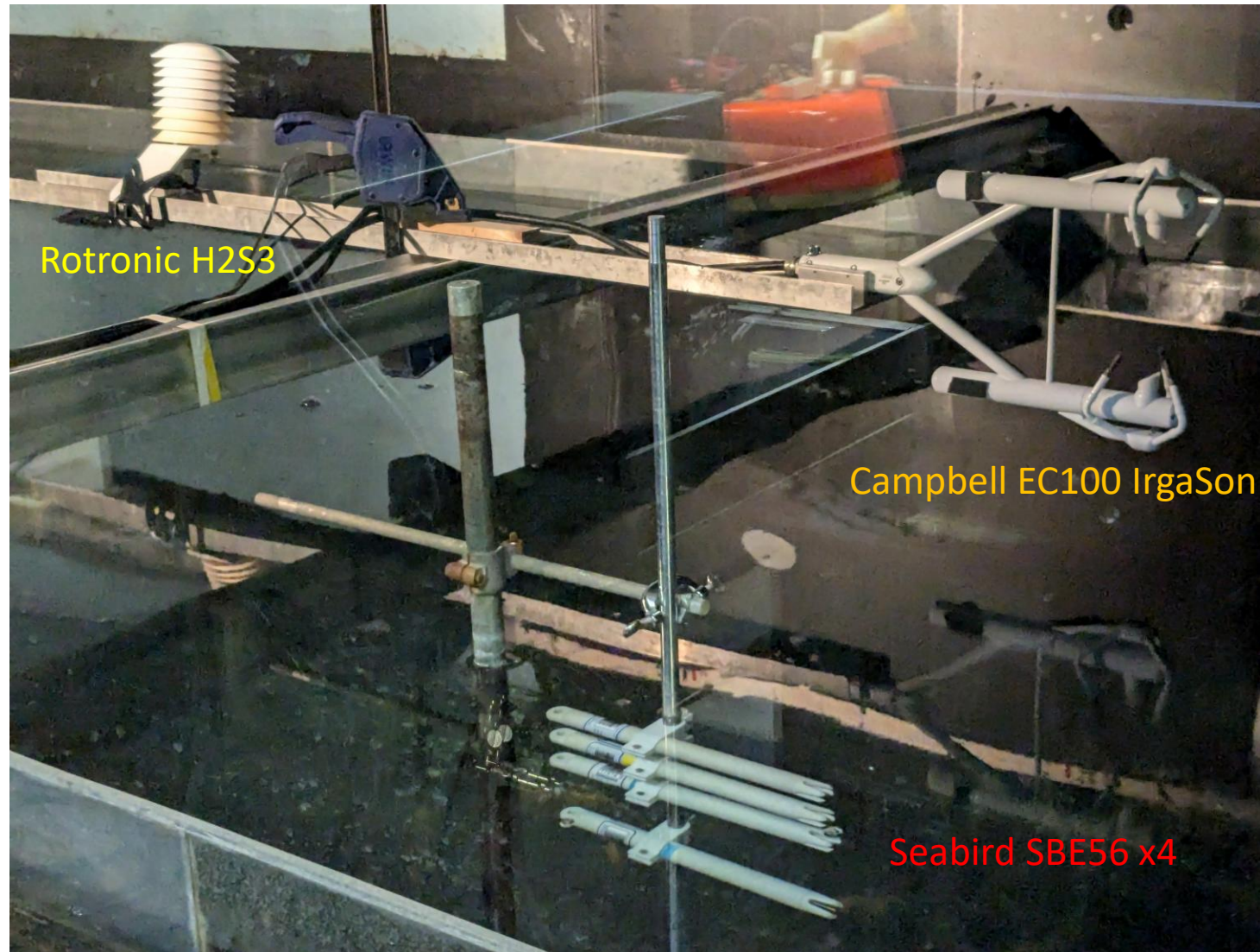


Rotronic Hygroclip H2S3 : T (°C) RH (%)

Campbell EC100 IrgaSon : {u,v,w} (m/s), Tson (°C), pH₂O (kg/m³), Ta2 (°C), patm (Pa)

Seabird SBE56 (z=-70cm) : T_{water} (°C)

Installation dans la grande soufflerie vent-vagues de Luminy



Vue en fonctionnement

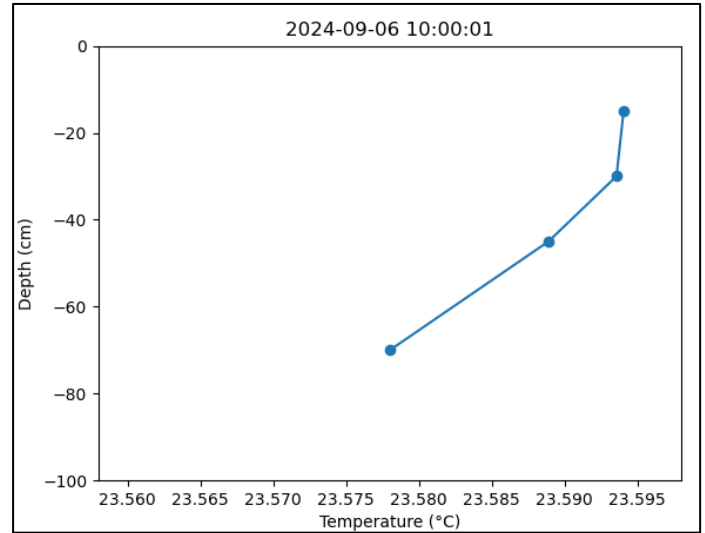
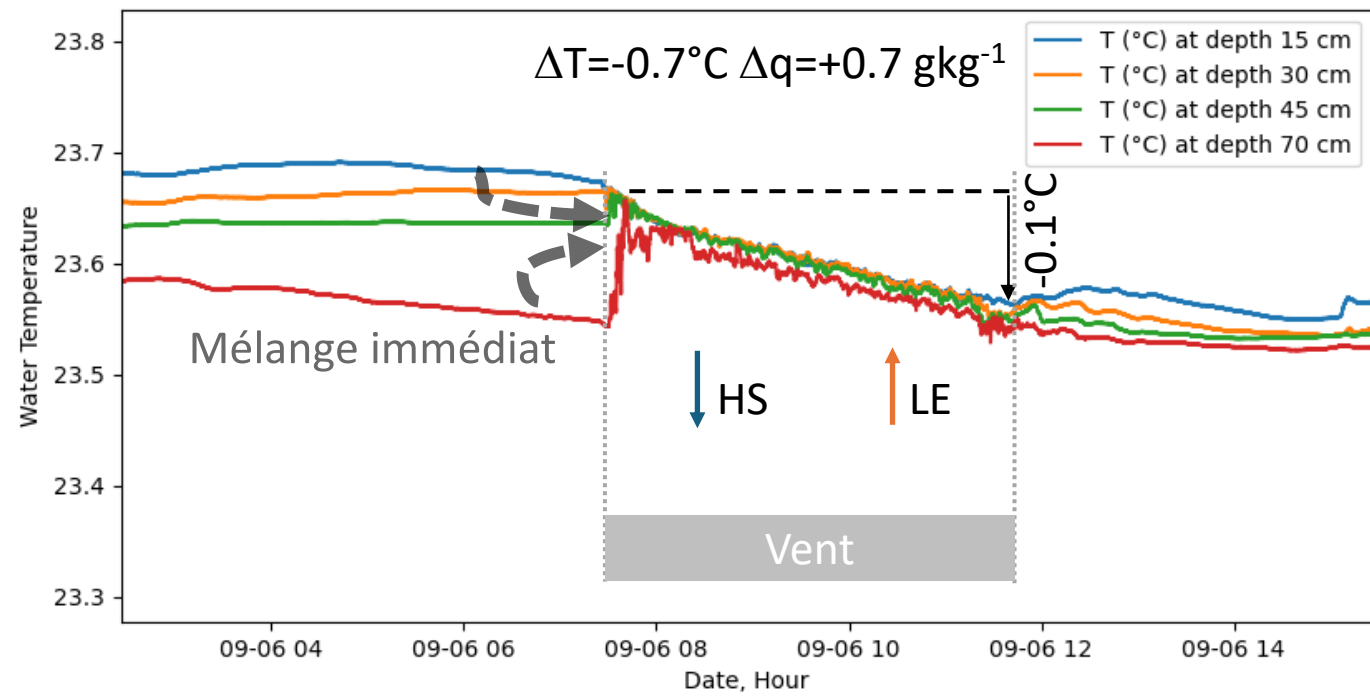


Cinq expériences de 4-10 heures chacune

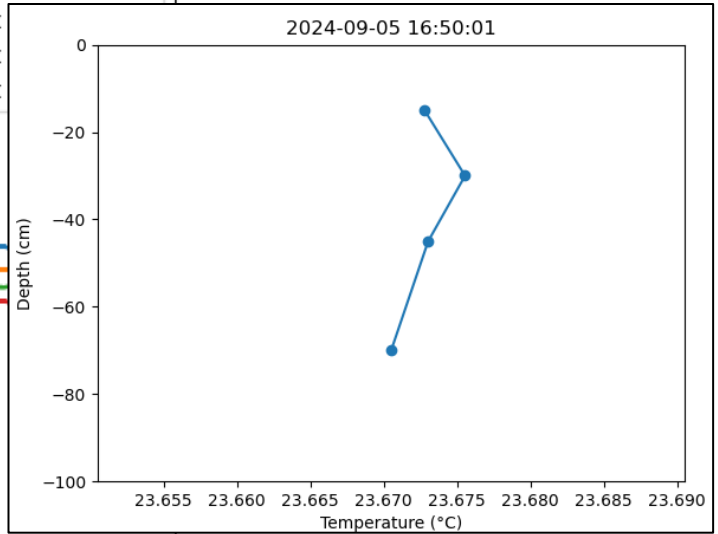
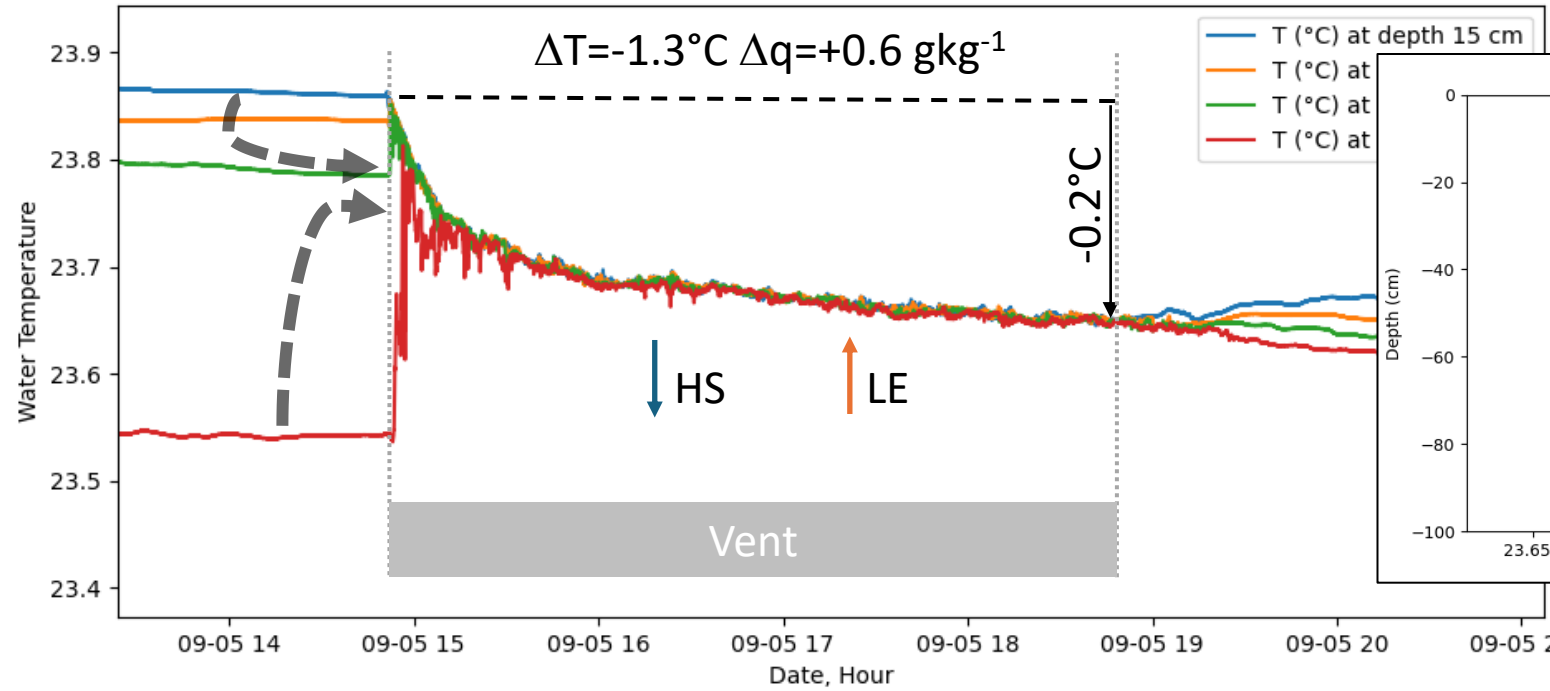
Suivi de la température de l'eau à quatre profondeurs, pour cinq vitesses de vent imposées par le ventilateur de la grande soufflerie, entre 2.7 et 11.5 ms⁻¹.

Attention : les conditions de température et d'humidité dans la soufflerie ne sont pas contrôlées, donc la valeur du flux net à la surface dépend des conditions température du jour.

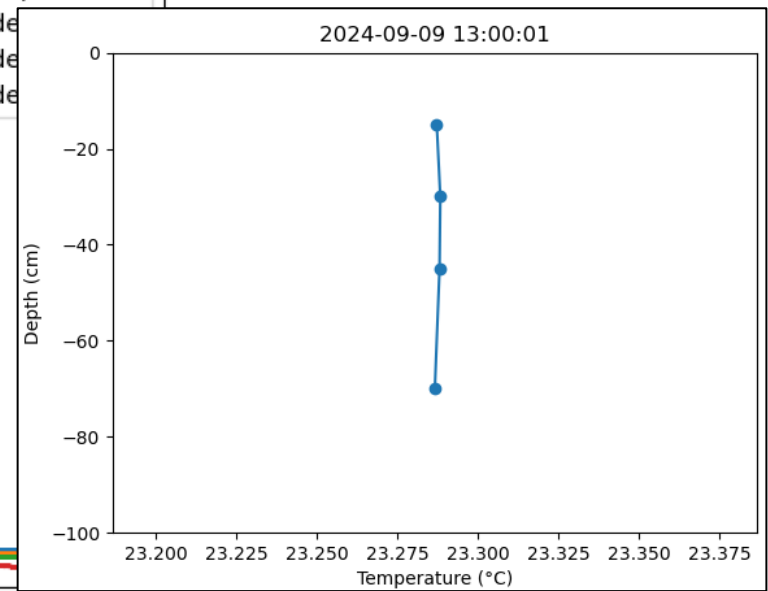
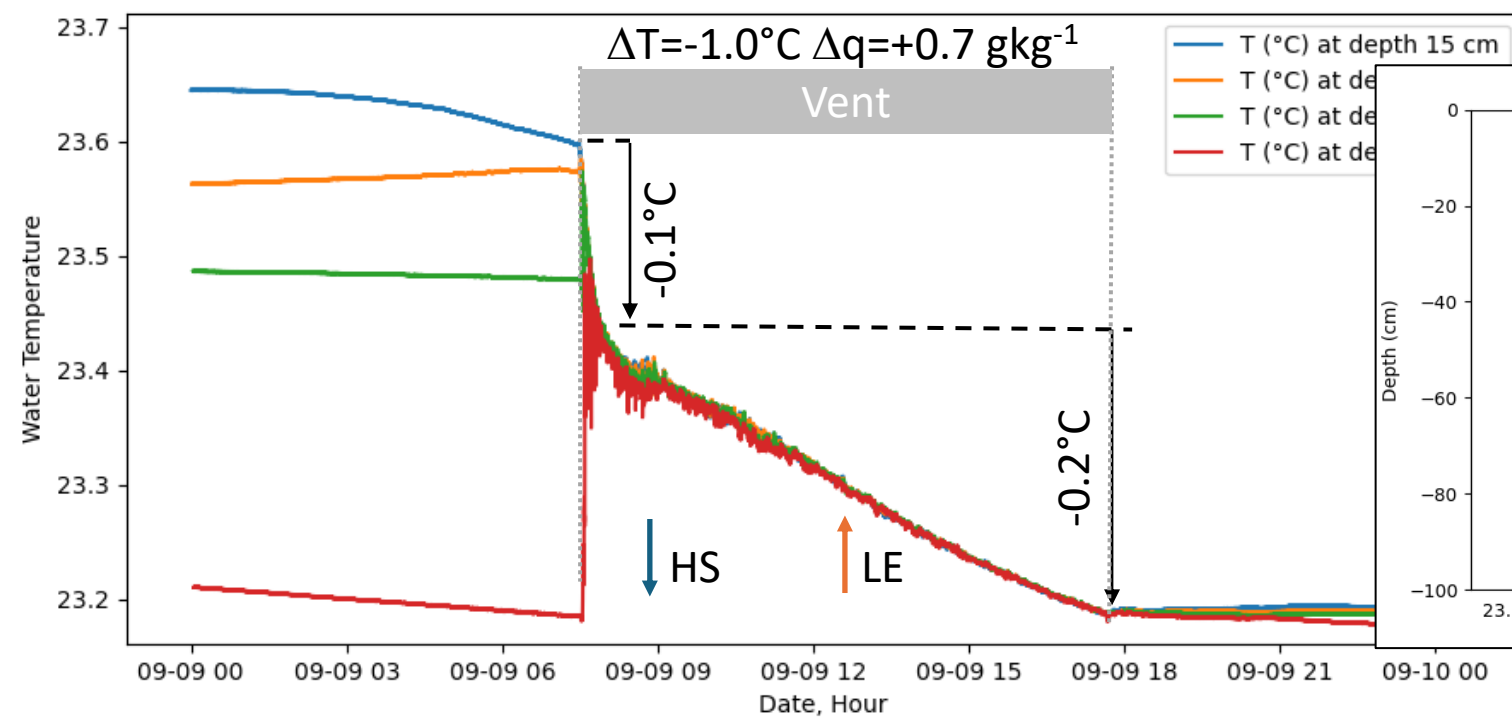
6 septembre 2024
(2.7 ms⁻¹)



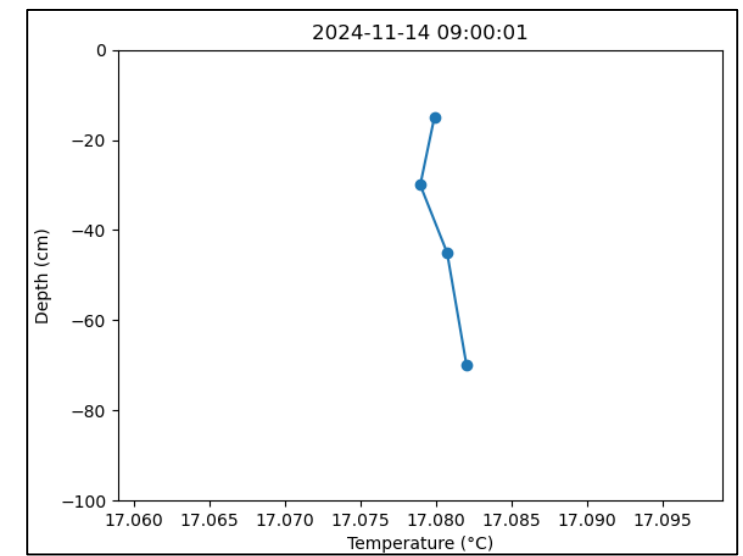
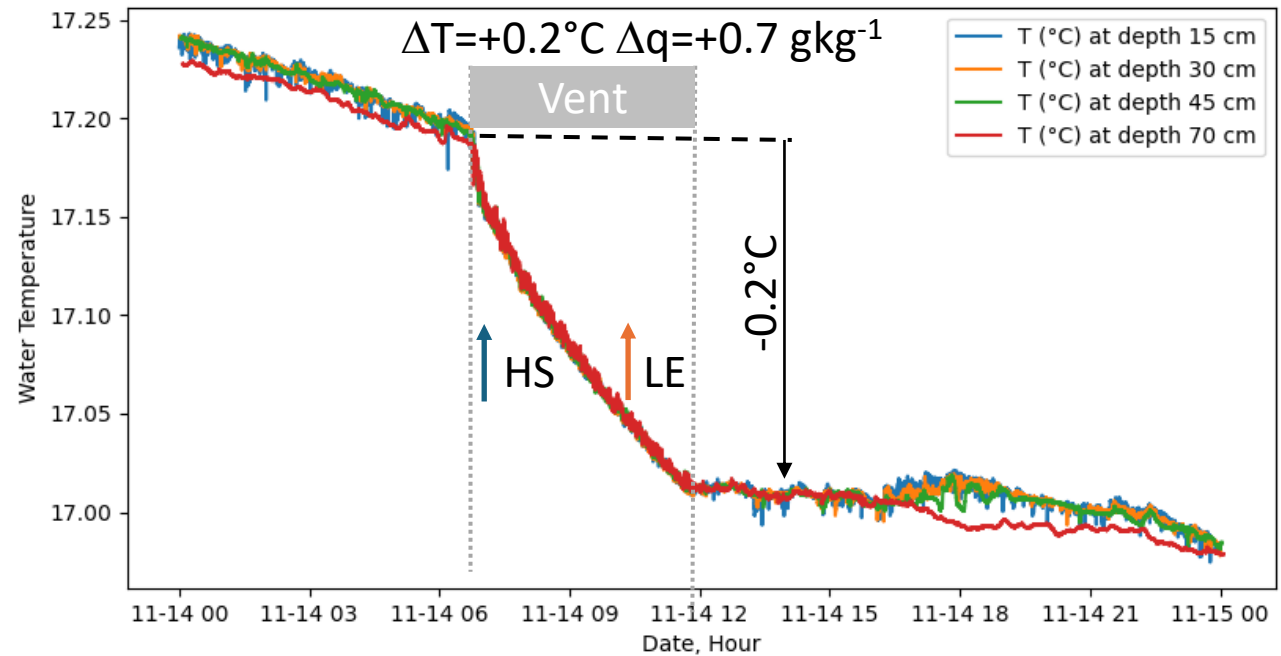
5 septembre 2024
(4.2 ms⁻¹)



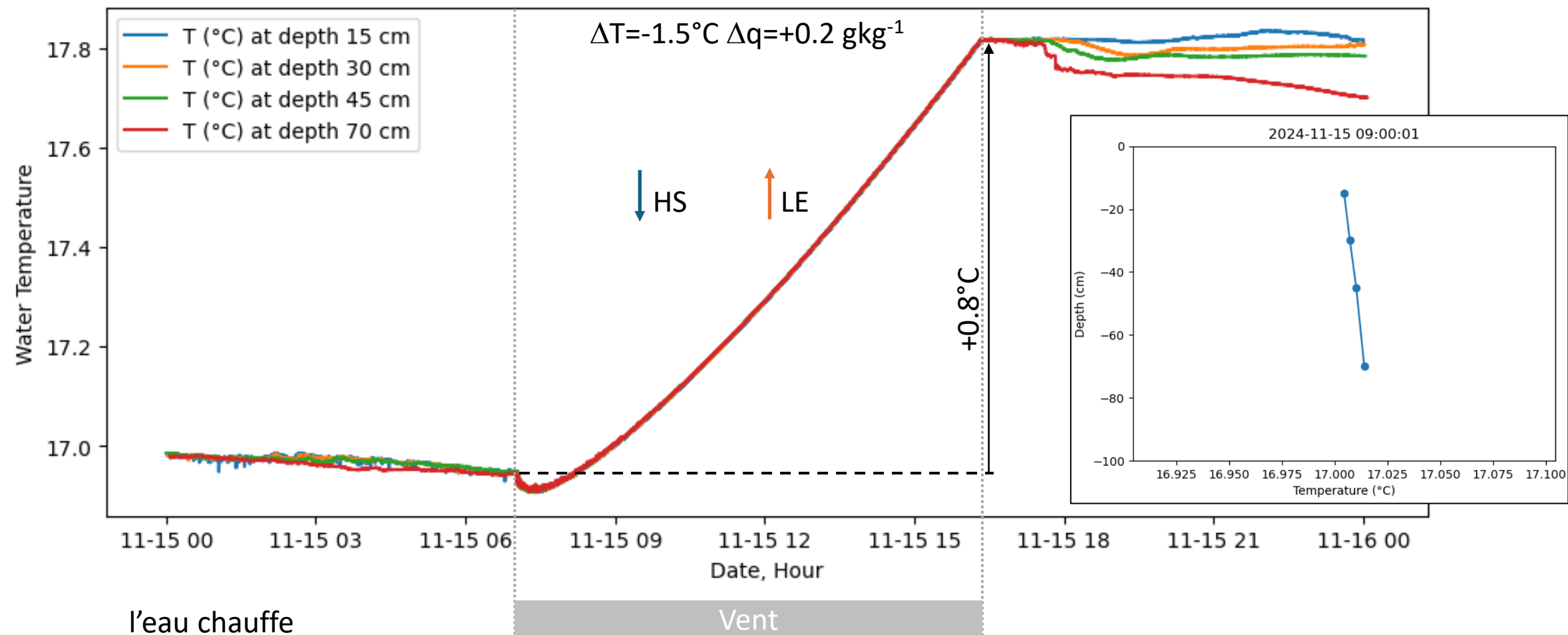
9 septembre 2024
(4.4 ms⁻¹)



14 novembre 2024
(7.1 ms⁻¹)

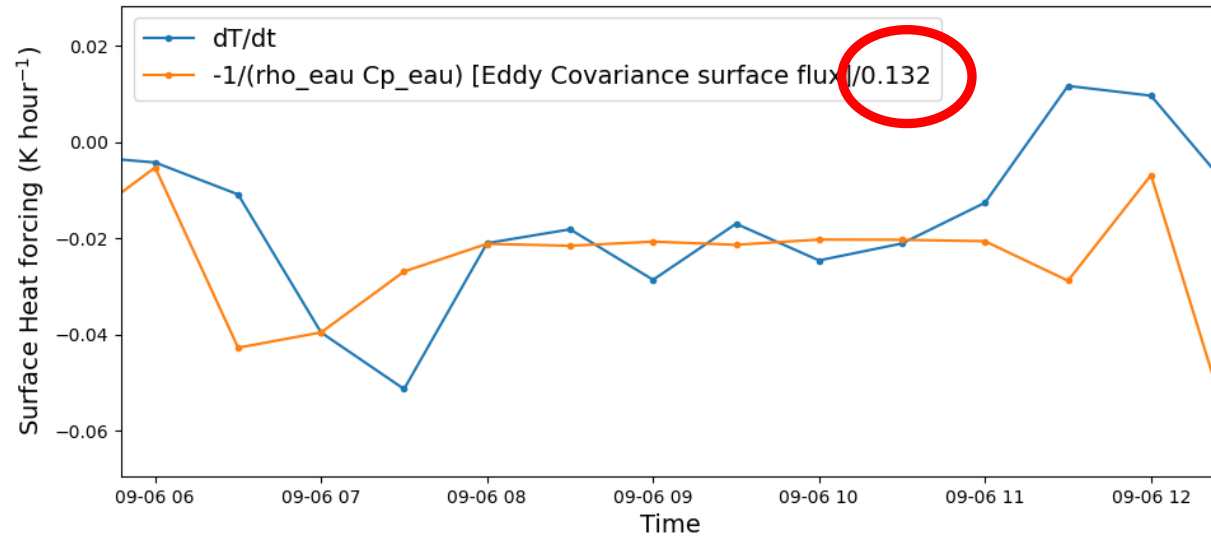


Cas du 15 novembre (11.5 ms^{-1}):

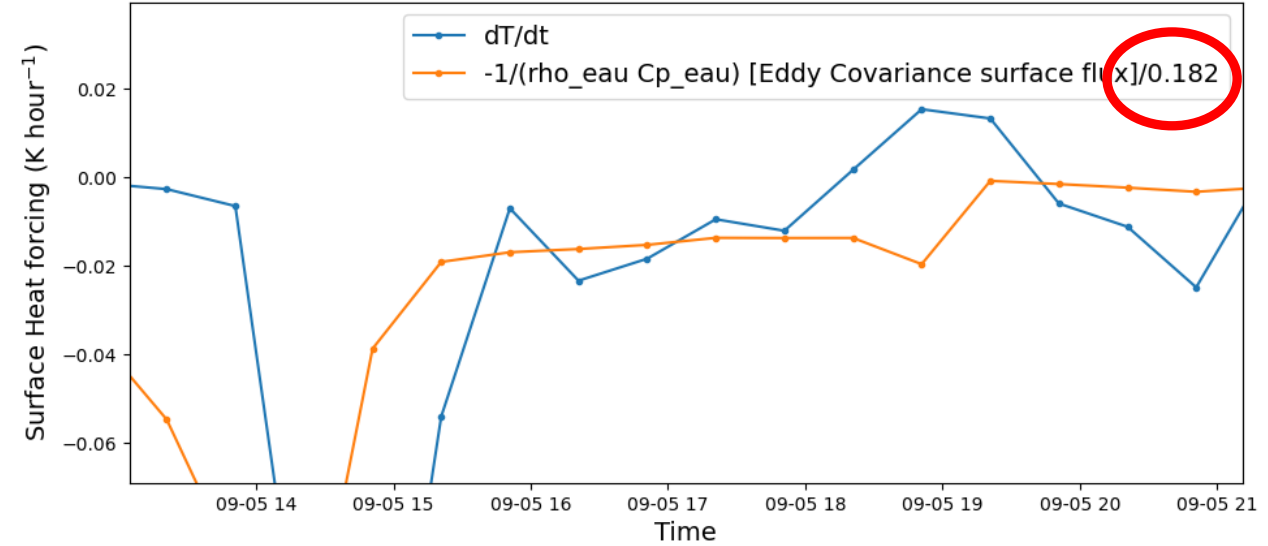


Ajustement du paramètre h (profondeur de la couche de mélange)

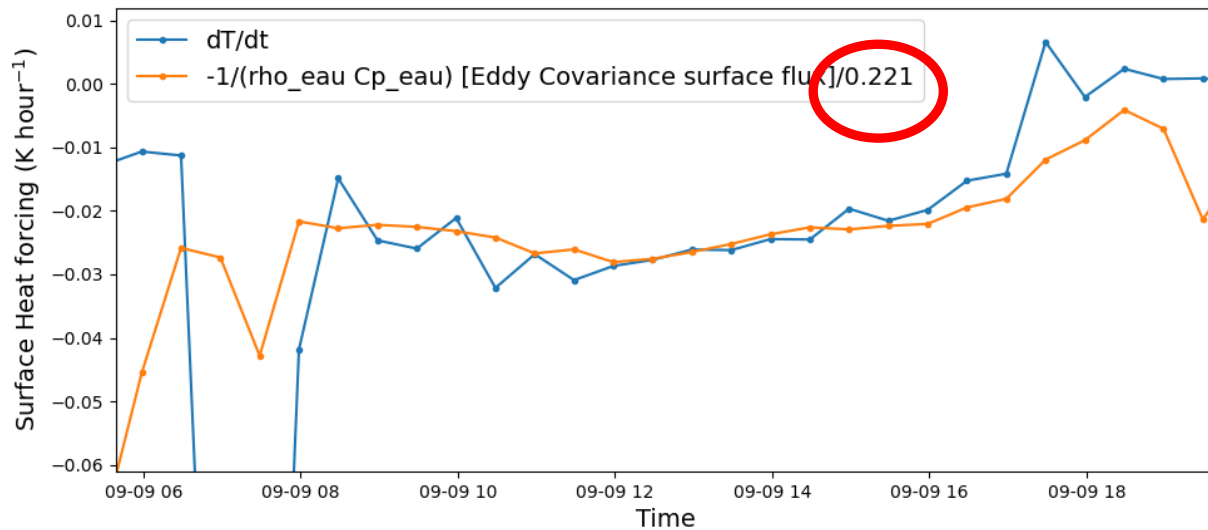
6 / 9 / 2024, $U=2.7 \text{ ms}^{-1}$



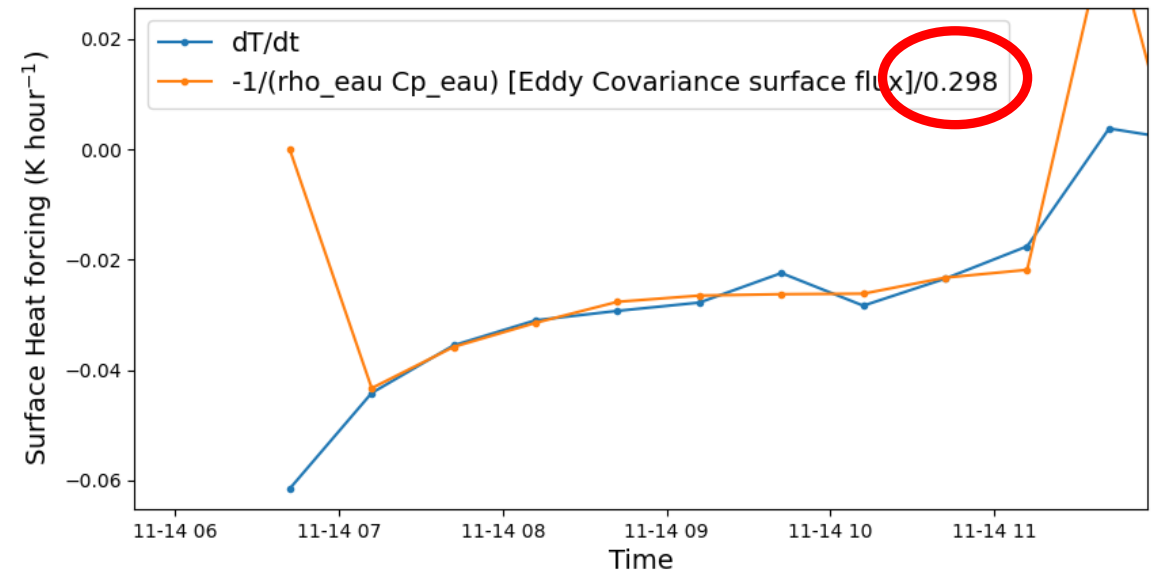
5 / 9 / 2024, $U=4.2 \text{ ms}^{-1}$

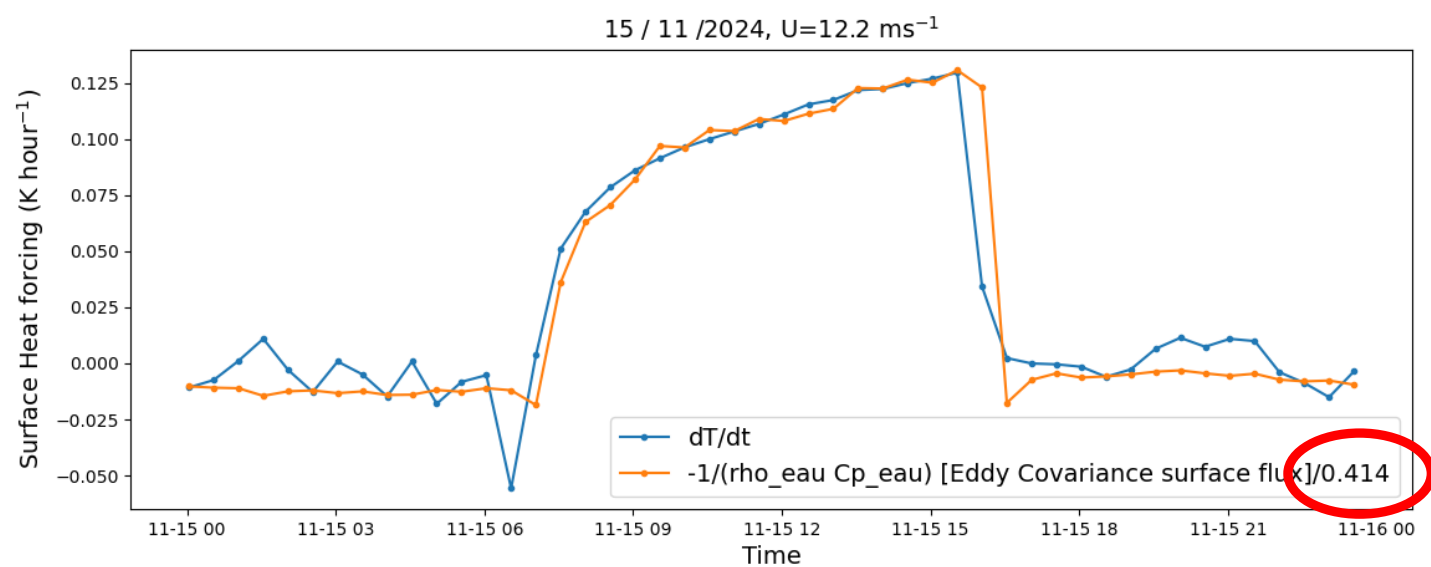


9 / 9 / 2024, $U=4.4 \text{ ms}^{-1}$

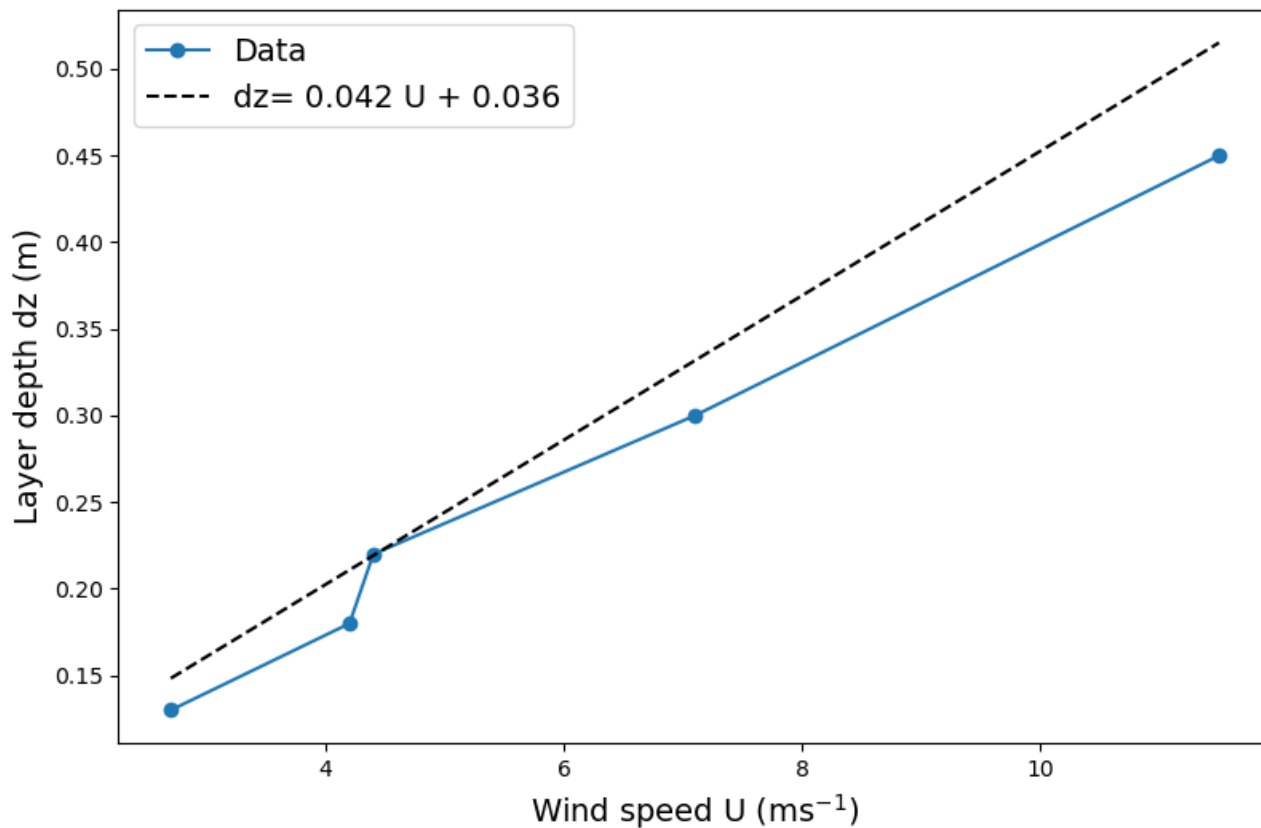


14 / 11 / 2024, $U=7.0 \text{ ms}^{-1}$



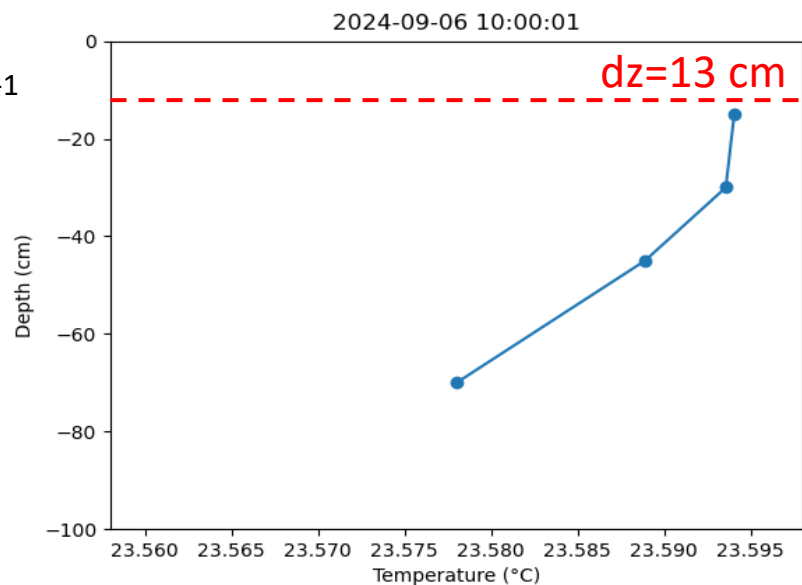


U est proportionnel à h

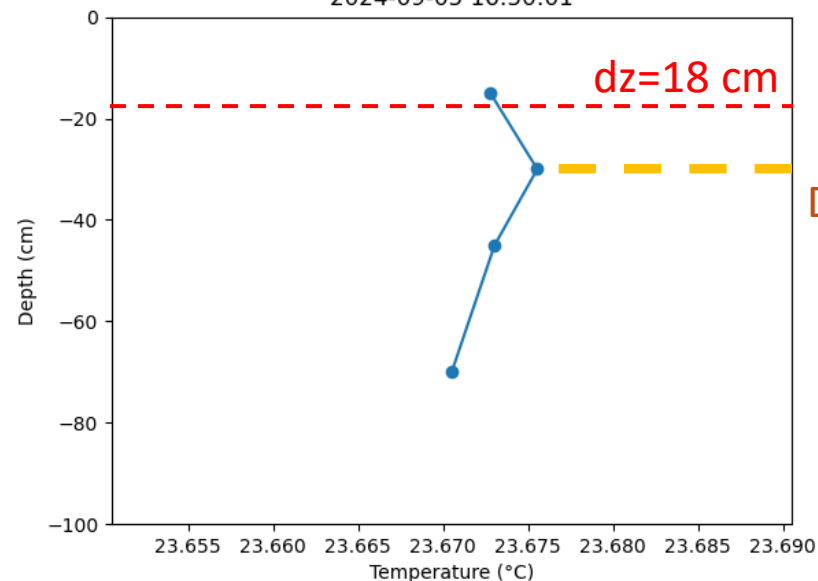


On ne peut pas déduire facilement h des profils de température mesurés

$U=2.7 \text{ ms}^{-1}$

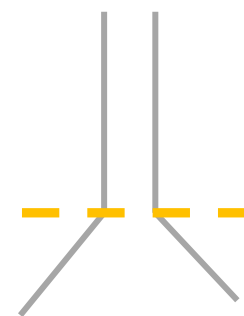


2024-09-05 16:50:01

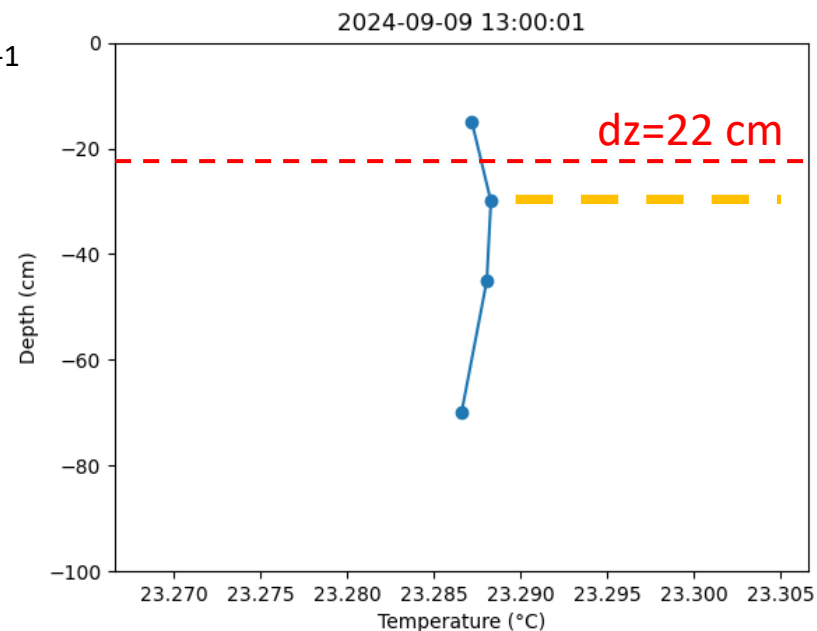


$U=4.2 \text{ ms}^{-1}$

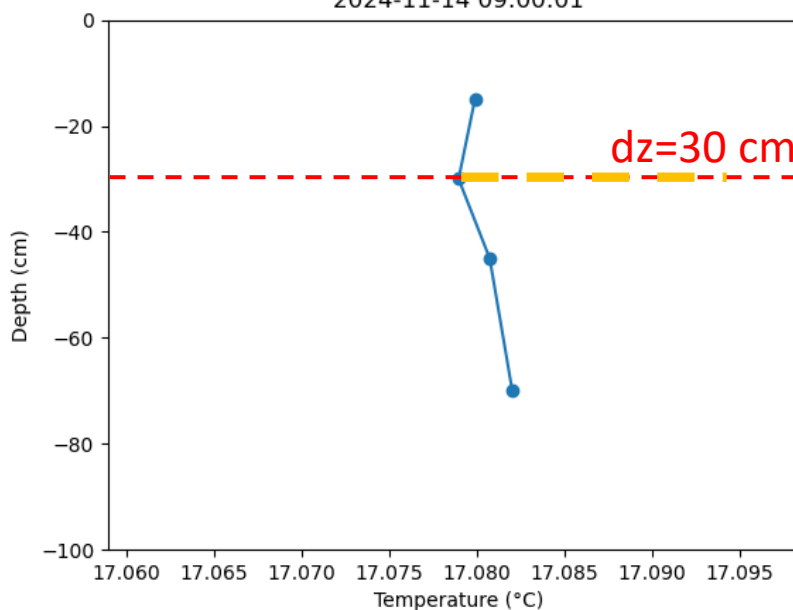
Détection statique basée sur l'inflexion du profil ?



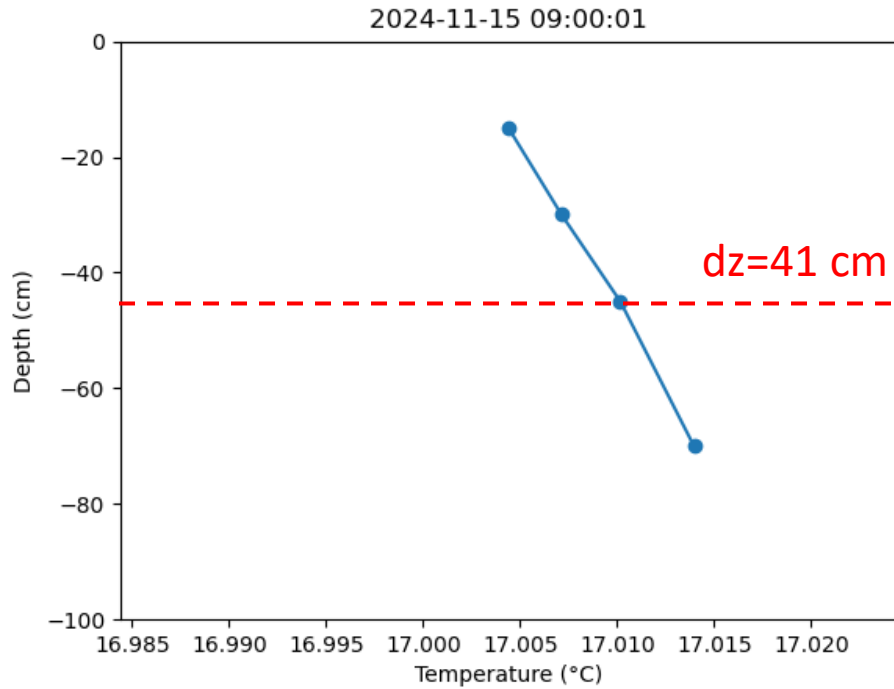
$U=4.4 \text{ ms}^{-1}$



2024-11-14 09:00:01



$U=7.1 \text{ ms}^{-1}$



$U=11.5 \text{ ms}^{-1}$

Dans la soufflerie, la circulation retour (en tapis roulant) provoque un certain niveau de mélange selon la verticale, donc la notion de couche de mélange est ici peut être remplacée par celle de Couche de Mélange Effective (CME).

Cette notion s'applique peut-être aussi au milieu naturel

Éléments de conclusion

- Les mesures effectuées en soufflerie avec seul contrôle du vent nous ont permis d'observer :
 - le refroidissement de l'eau (évaporation L_E + éventuellement H_S)
sauf si F_{net} est faible (erreur de signe) ou si U est trop fort (chauffe du ventilateur)
 - le brassage rapide ($\sim$ heure) de l'ensemble du bassin (140 m^3 , $h=90 \text{ cm}$)
et un profil bien mélangé au bout d'une heure, dès 4 ms^{-1}
 - une cohérence entre l'évolution de la température de l'eau et les flux de surface
 - on en a déduit la profondeur d'une couche de mélange effective h
 - h n'est pas nécessairement assimilable à la profondeur de la couche de mélange
 - cette valeur est proportionnelle à la vitesse du vent
- L'estimation des flux de surface par différentes méthodes EC, bulk et ID a fait apparaître des biais de mesure et indiqué des limites de fonctionnement en soufflerie (non montré)
- Les valeurs de h trouvées avec les flux EC, ID et bulk sont cohérentes (non montré)
- On a identifié une gamme de vitesses et de conditions dans lesquelles les expériences étaient utiles :
décalage de la zone inertielle, écart à K41 pour T et q , chauffage du moteur du ventilateur, position des sondes de température (non montré)

Les expériences effectuées ne nous ont pas permis de déterminer les incertitudes liées à F_{net} , donc de proposer une correction des flux, car la détermination de h est aussi nécessaire pour définir la quantité de chaleur transférée à travers l'interface : ce sont deux variables importantes à définir.

Perspectives

Il convient de mieux connaître h :

- Est-il possible de mesurer directement h ?
 - Avec une mesure du profil de courant, l'estimation de h basée sur le R_f serait possible
- Quel est le facteur d'échelle entre h trouvé en soufflerie et sa valeur milieu naturel ?
- Quel est le lien entre la CME et la CM ?
- Quel est l'impact de l'erreur sur la détection de h
- Peut-on agir sur h autant que sur les flux pour corriger les modèles ?

Il faut mieux comprendre la partie « eau » de l'expérience et

- modéliser la circulation et la thermodynamique de l'eau dans le bassin (+mesures de courant)
- appliquer les formulations existantes qui décrivent la prise en compte des flux de surface dans les modèles

1/2. Pour discuter, prise en compte des flux dans les modèles (sans rappel) :

son, 1977). The forcing of the ocean temperature by the non-solar heat flux Q_{NS} (the addition of the net infra-red, latent and sensible heat fluxes) is introduced as a surface boundary condition:

$$\left(K_V(z) \frac{\partial T}{\partial t} \right)_{z=0} = \frac{Q_{NS}}{\rho_0 C_{pw}} \quad (1b)$$

where K_V is a mixing coefficient that depends on depth. Other parameters are defined in the Ap-

The source term can be chosen to be proportional to the net surface heat flux:

$$F = \frac{Q_{NET}}{\rho_0 C_{pw} \Delta z} \quad (2c)$$

which means that, by unit time dt and over the depth, Δz the net surface heat flux uniformly modifies the ocean temperature by an amount $\Delta T = F \cdot dt$. This assumes a uniform and instantaneous vertical mixing of temperature from the surface to depth Δz .

Extraits de Barnier et al. (1995, doi:10.1016/0924-7963(94)00034-9)

$$\left(A^{vT} \frac{\partial T}{\partial k} \right)_{z=0} = \frac{Q}{\rho_o C_p} \quad \text{Modèle OPA (Madec et al. 1998, NAI IPSL)}$$

A tester, et peut-être améliorer

2/2. Prise en compte des flux dans les modèles (sans rappel) :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \text{Advection} + \text{Diffusion} + F \quad (2a)$$

The source term F can be formulated as a relaxation of the model temperature toward a climatological sea surface temperature T_s^{clim}

$$F = \frac{1}{R} (T_s^{\text{clim}} - T) \quad 0 \leq z \leq \Delta z \quad (2b)$$

where R is a relaxation constant (dimension of a time). This formulation has been used frequently (Cox and Bryan, 1984, Webb et al., 1991). It has the advantage of being independent of knowledge of $K_v(z)$ at the surface, but requires an estimate of the relaxation constant, often chosen in the range of 30 to 40 days.

Extrait de Barnier et al. (1995, doi:10.1016/0924-7963(94)00034-9)