

Baignade urbaine en eau libre Qualité microbiologique de l'eau dans le bassin de la Villette

Natalia Angelotti de Ponte Rodrigues

Directeurs de thèse

Brigitte Vinçon-Leite (LEESU)

Rémi Carmigniani (LHSV)

Contexte

➤ Baignade dans les milieux aquatiques urbains

➤ La Villette (Paris)

- Paris-plage
- Nage en eau libre
- Sport olympique

➤ Éviter les risques sanitaires

- Directive « Baignade » 2006/7/EC
- Bactéries indicatrices fécales (BIF)
- Analyse des BIF
 - Laboratoire et capteurs *in situ*
 - Temps de réponse



(FINA Marathon, 10/07/2022)



(<https://www.idexx.fr/>, 16/06/2021)



Risques sanitaires dans une baignade en cours d'eau

Est-ce que l'on peut ouvrir la baignade?

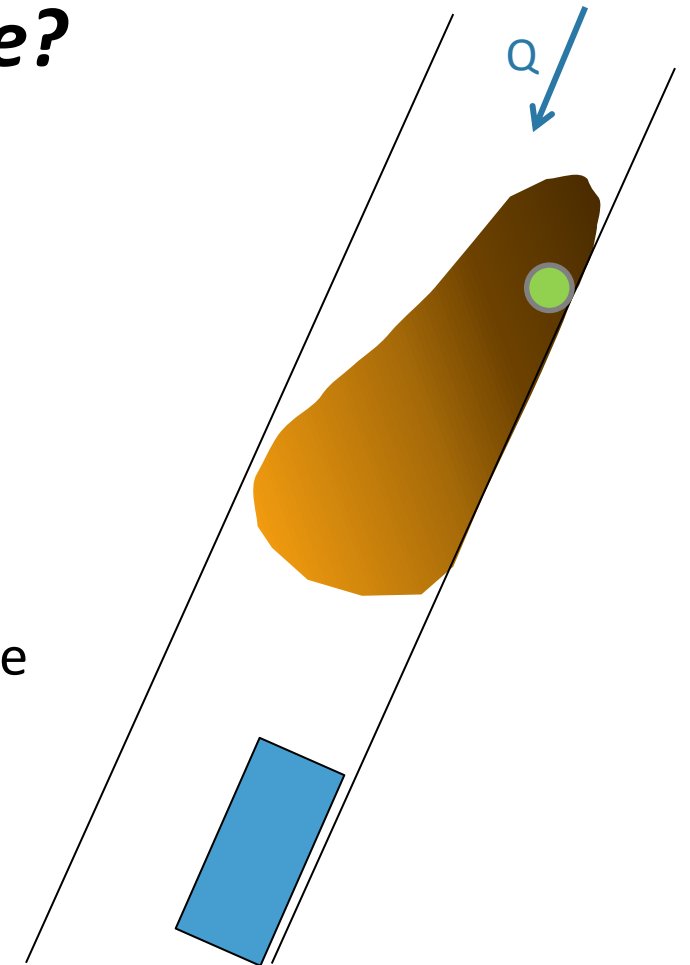
- Information sur la qualité microbiologique de l'eau

Surveillance en amont

- **Temps de transfert**

entre la détection au point de surveillance et la zone de baignade

➔ Compatible avec temps d'analyse des BIF



Risques sanitaires dans une baignade en cours d'eau

Est-ce que l'on peut ouvrir la baignade?

- Information sur la qualité microbiologique de l'eau

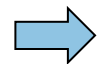
Surveillance en amont

Débit

➤ **Temps de transfert**

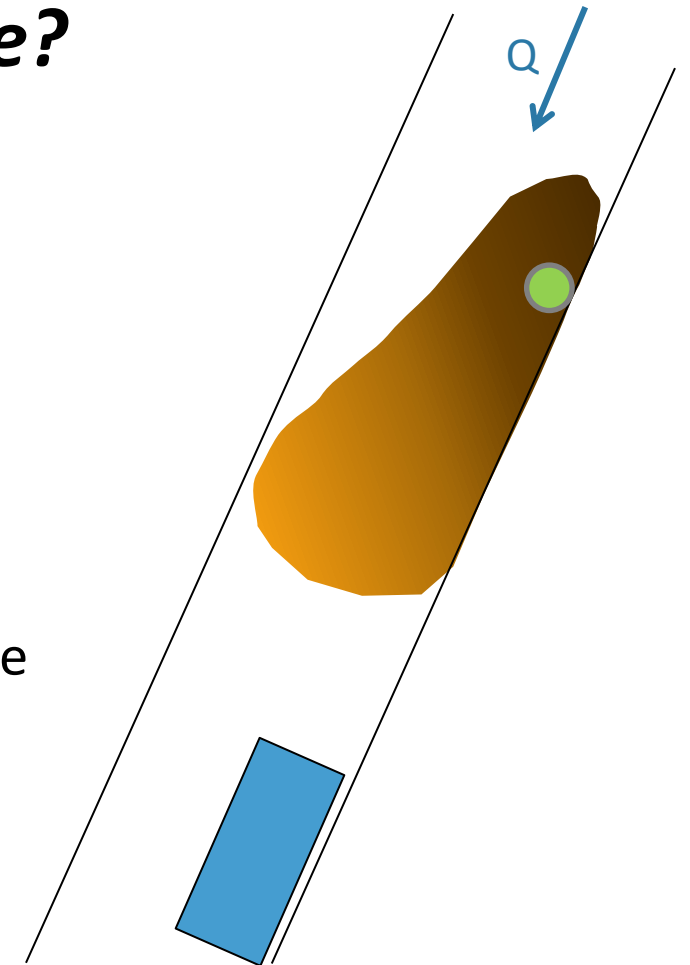
Stratification thermique

entre la détection au point de surveillance et la zone de baignade



Compatible avec temps d'analyse des BIF

Effet de la stratification thermique



Risques sanitaires dans une baignade en cours d'eau

Est-ce que l'on peut ouvrir la baignade?

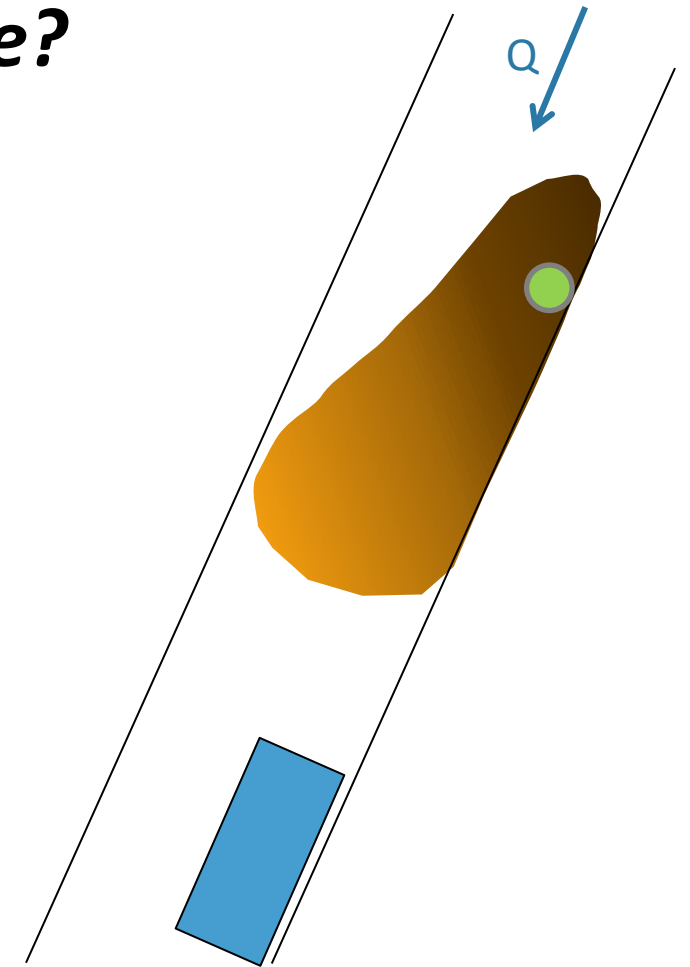
- Information sur la qualité microbiologique de l'eau

Indicateur de contamination fécale plus rapide à mesurer

- Fluorescence de la Matière Organique Dissoute (MOD)

➔ Dépassement de seuil

Proxy des BIF



Objectifs

Distribution spatio-temporelle des BIF

- Variation de débit
 - Stratification thermique
- } *Temps de transfert*

Mesures de terrain

+

Modélisation hydrodynamique 3D

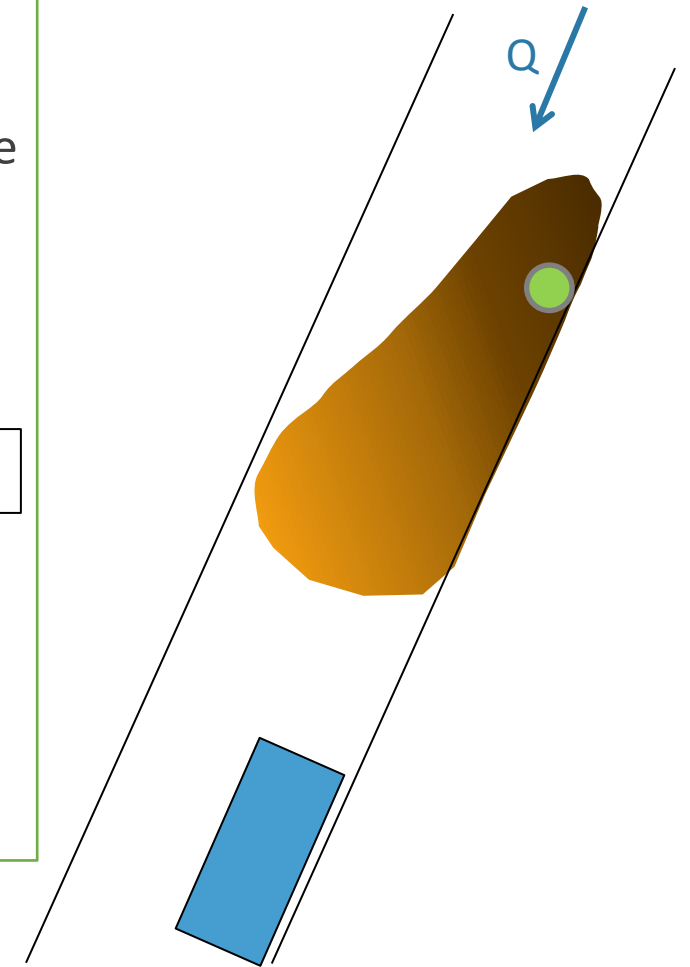
*Effet de la stratification thermique
sur la distribution des BIF*

Proxy des BIF

- Information plus rapide de la qualité de l'eau

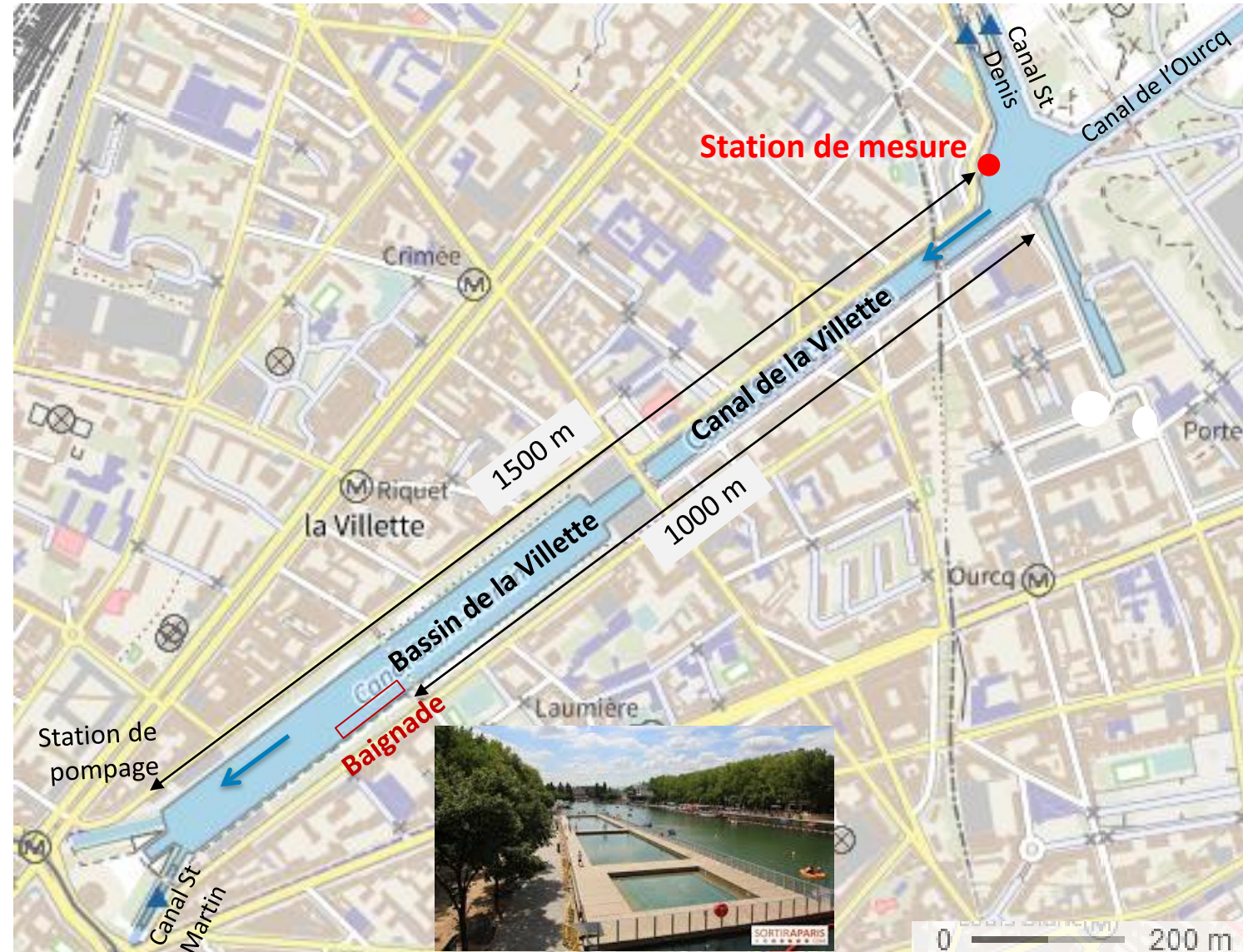
MOD Fluorescente

Seuil d'alerte

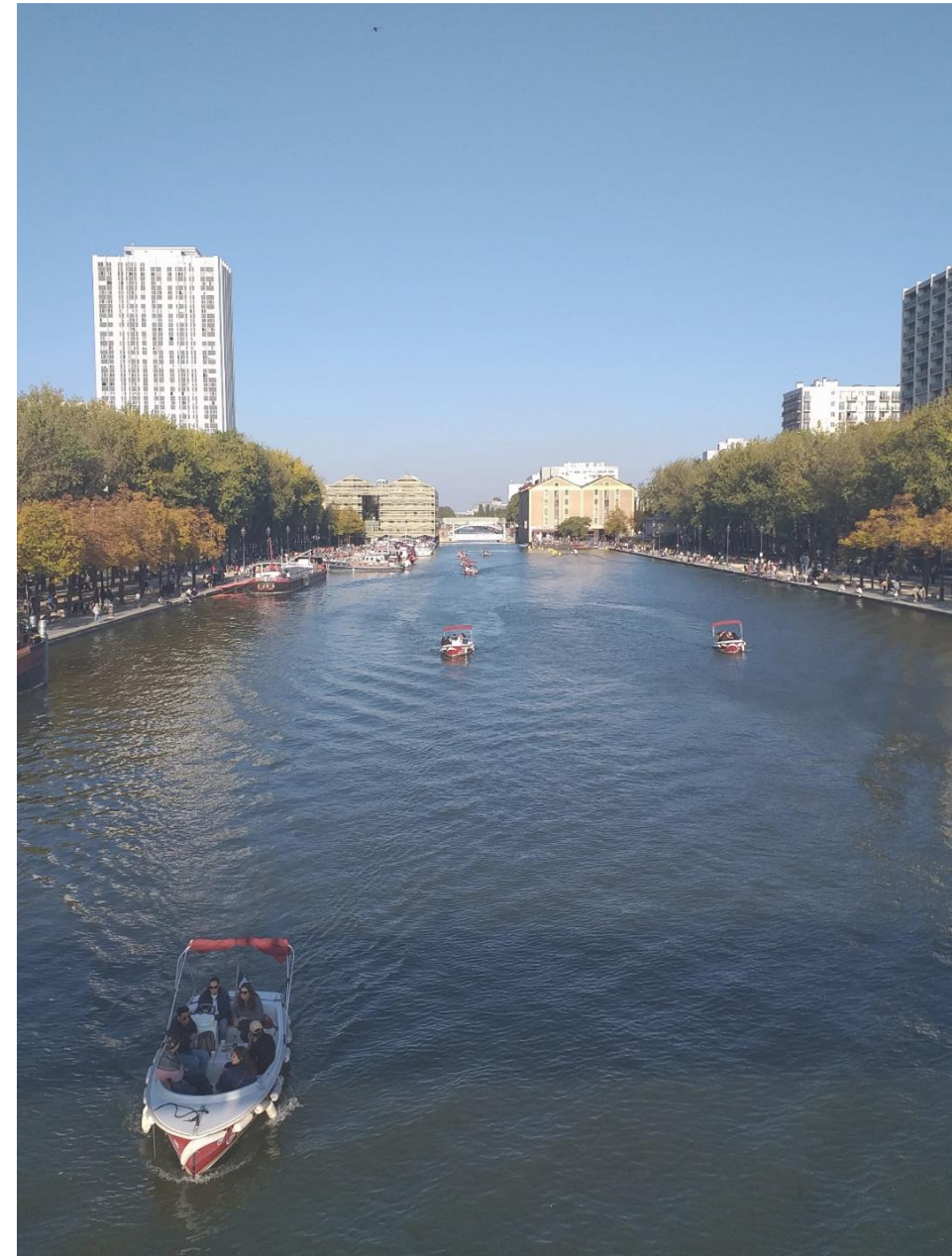


Site d'étude: canal et bassin de la Villette

- Canal
 - 25 m de large
 - 800 m de long
- Bassin
 - 75 m de large
 - 700 m long
- 3 m de profondeur
- Débit moyen annuel de $2.7 \text{ m}^3/\text{s}$
 - Temps de transfert de 12.5 h
- Mesure des BIF au rond-point des canaux



- Dispositif de mesures
- Modèle hydrodynamique Telemac-3D
- Simulation d'une période de canicule
- Test numérique de contamination
- Proxy de la concentration des BIF

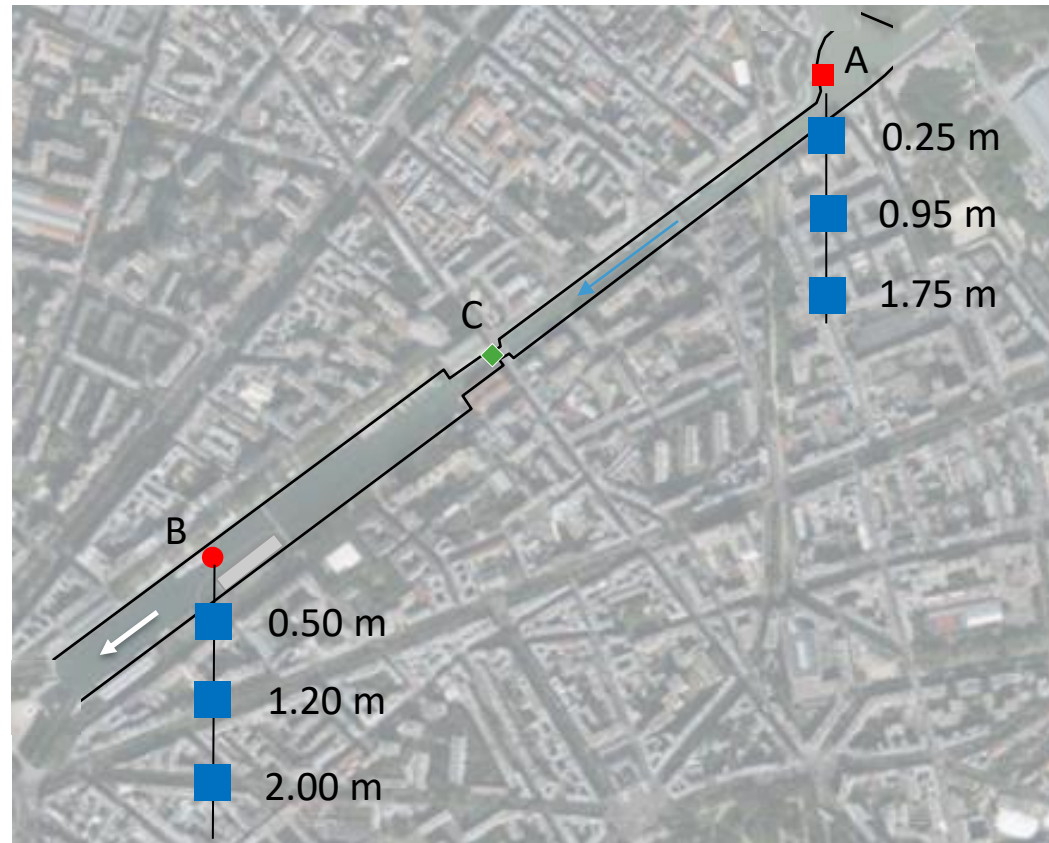


Mesures de terrain

➤ Points A et B

➤ En continu

- Température de l'eau



■ Température de l'eau

$\Delta t = 10 \text{ min}$

➤ Analyse au laboratoire

➤ Fluorescence de la MOD dans l'UV

➤ Dénombrement BIF

Points A et B

Echantillons ponctuels

Point C

Echantillons moyens journaliers

Modèle hydrodynamique 3D

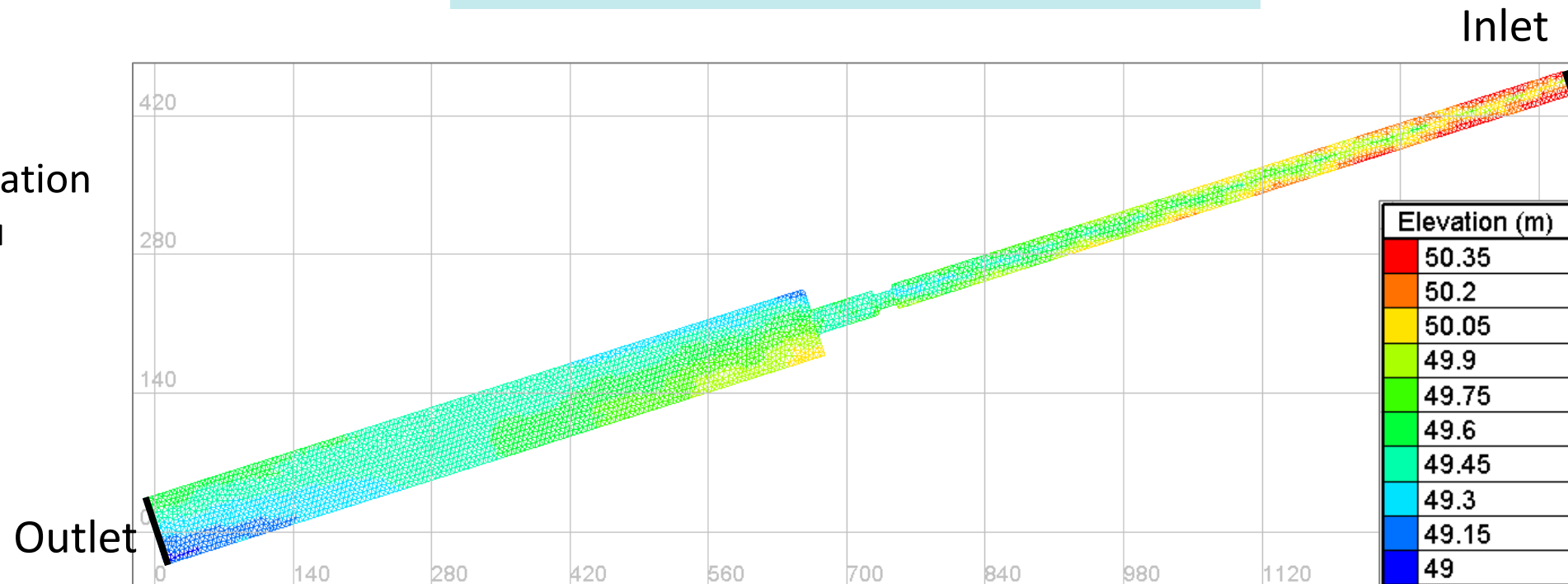
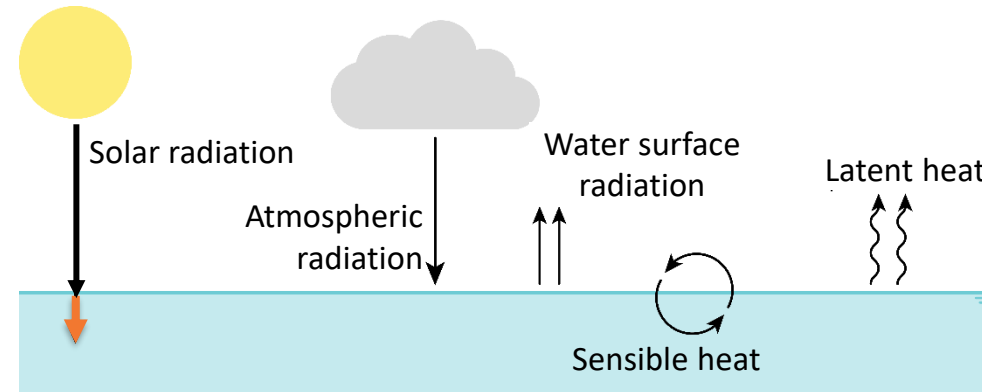
TELEMAC-3D v8p0



Echanges thermiques avec atmosphère

Variables de sortie

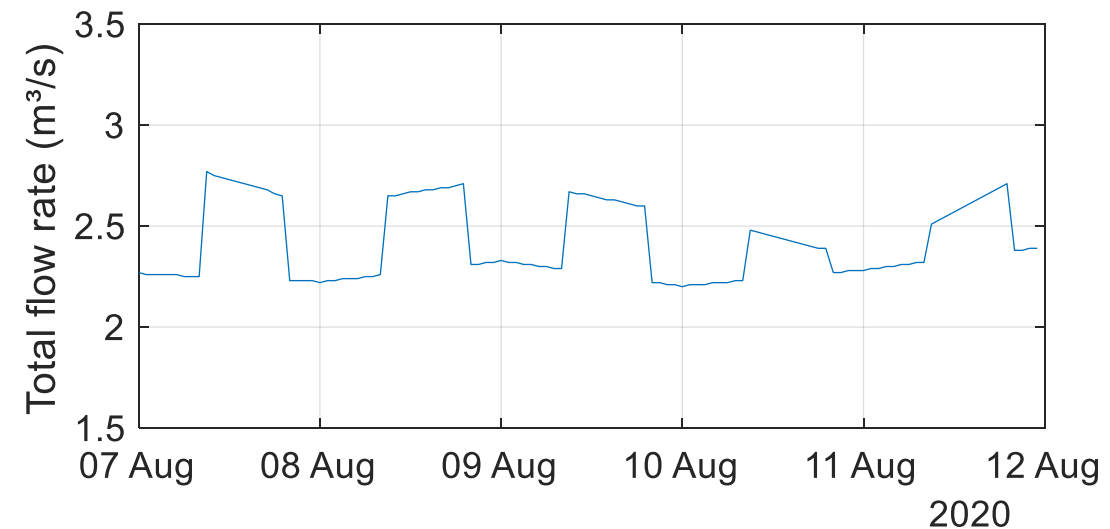
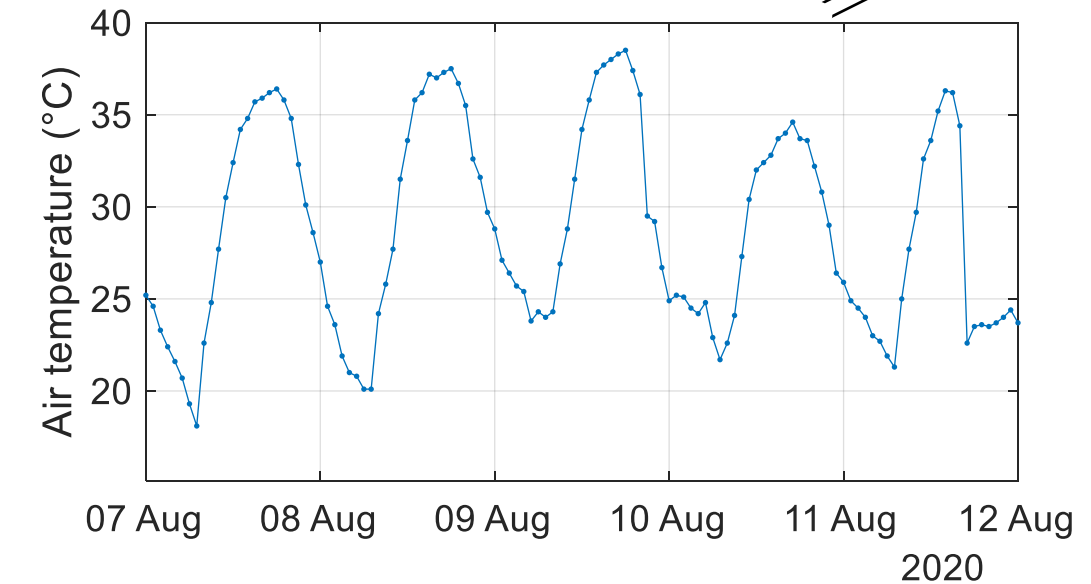
- Vitesse de courant
- Température de l'eau
- BIF
 - Traceur passif
 - Effets de la stratification de la colonne d'eau



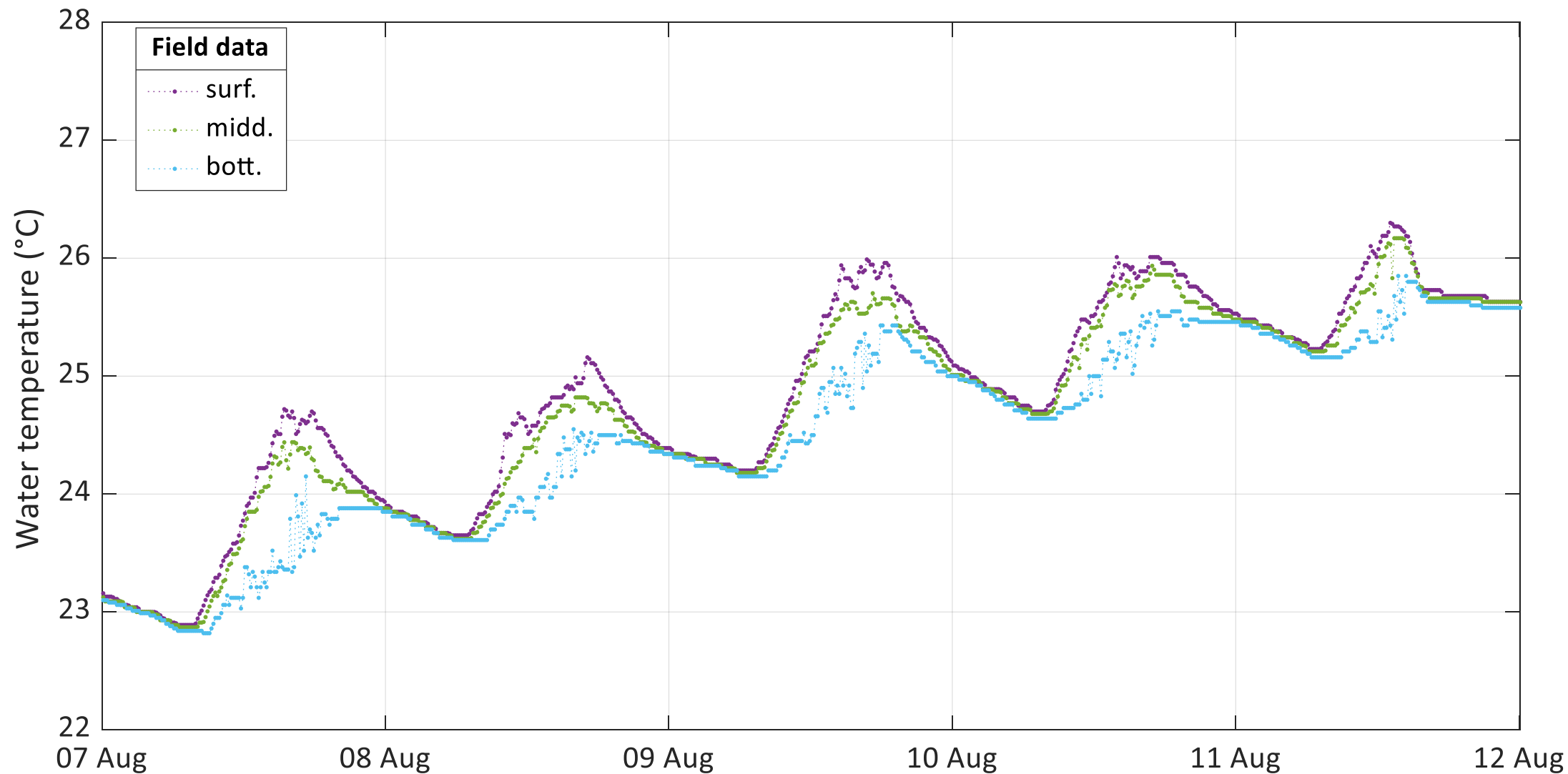
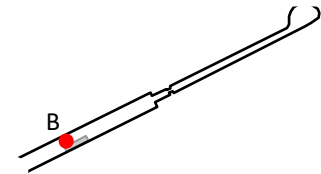
Août 2020: période de canicule

- Période de simulation
 - 7-12 août 2020
- Température de l'air
 - Température diurne > 30°C
 - Température nocturne > 20°C
- Variation de débit
 - 2.2 à 2.8 m³/s

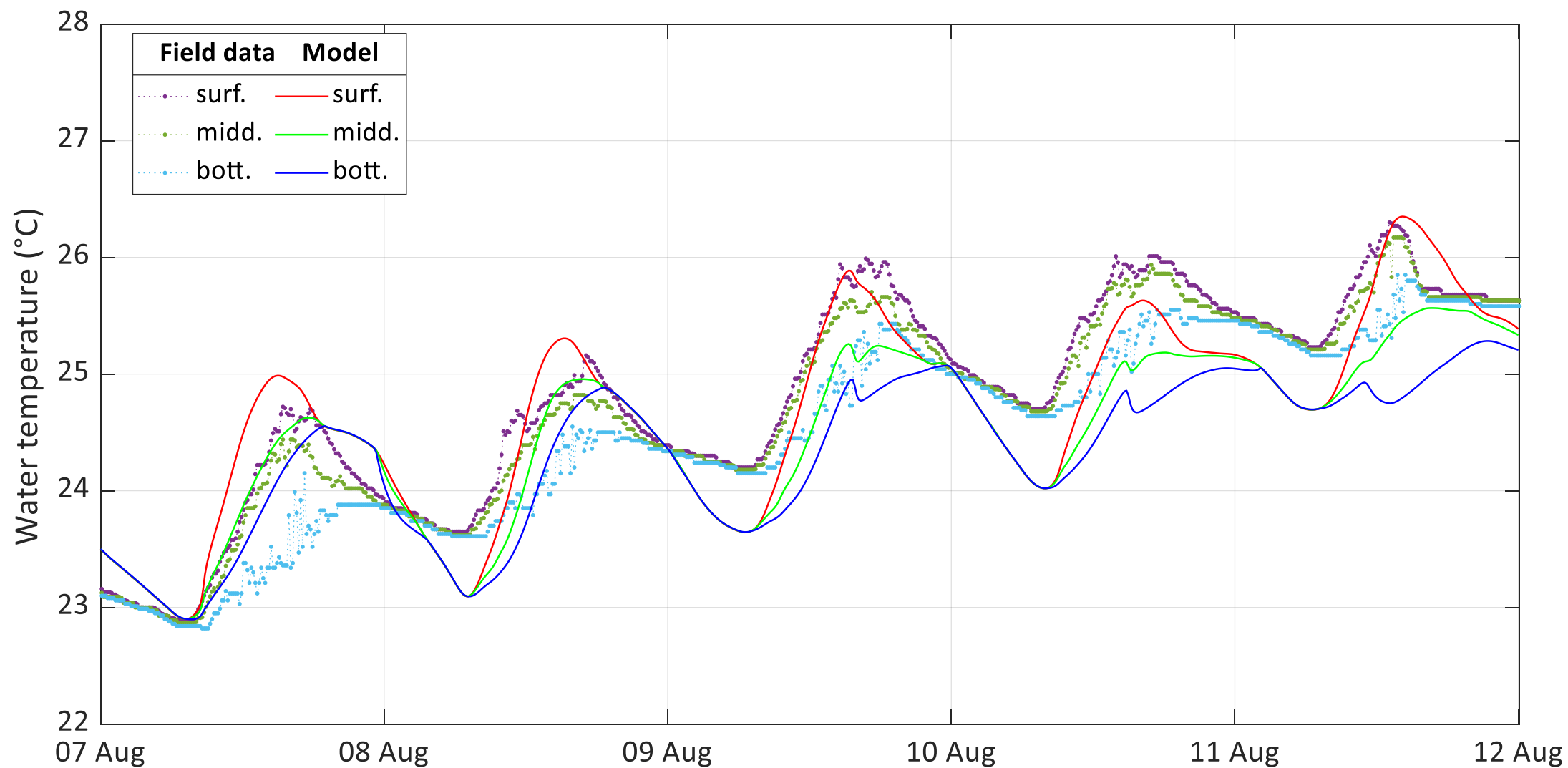
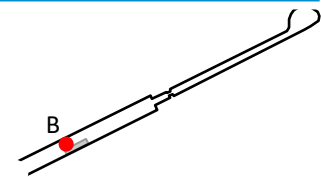
Stratification thermique?



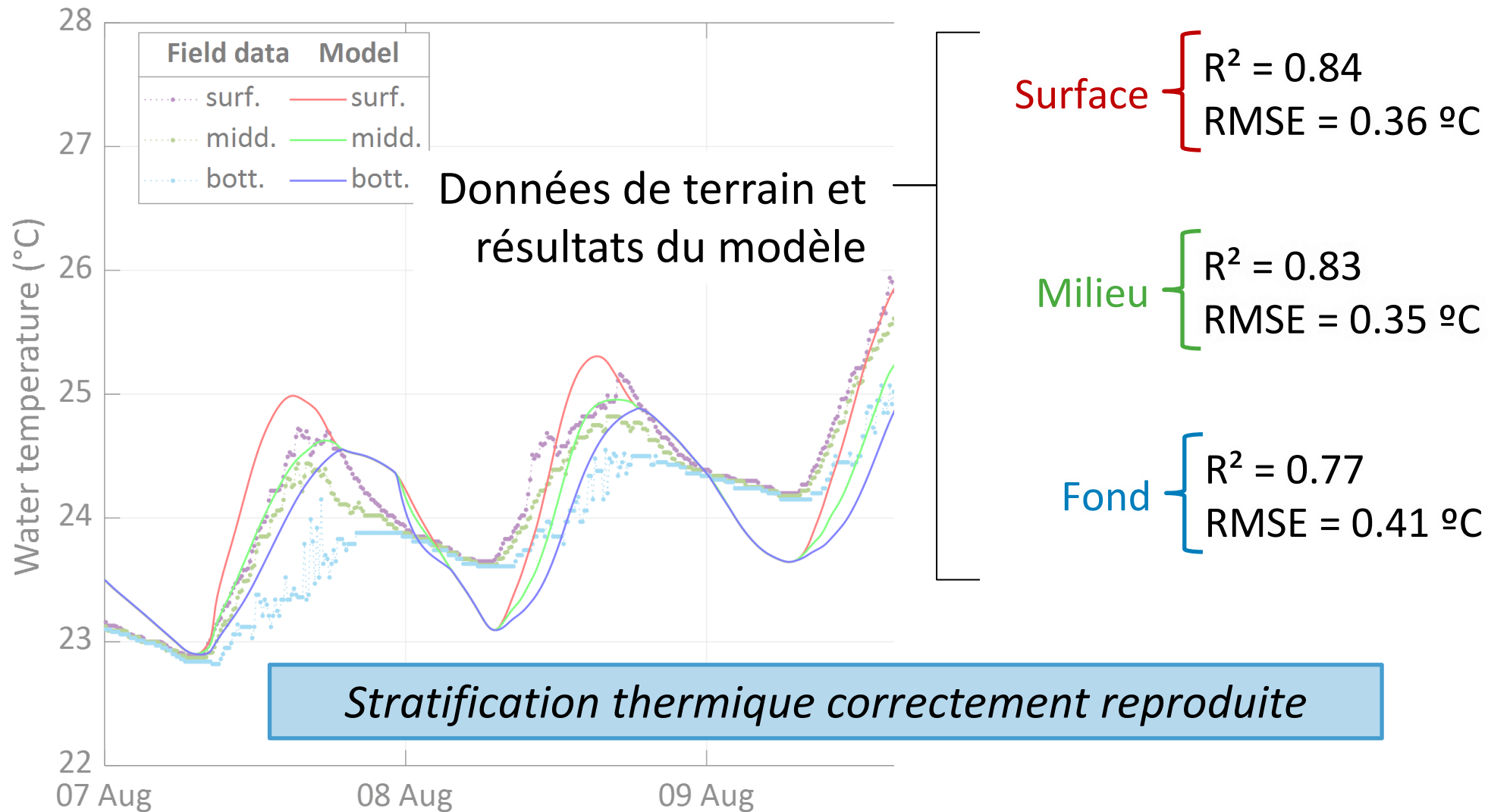
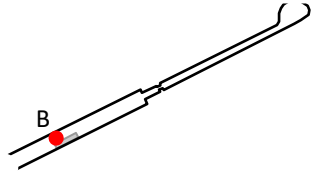
7-12 Août 2020: Température de l'eau mesurée



Température de l'eau: simulation et mesures



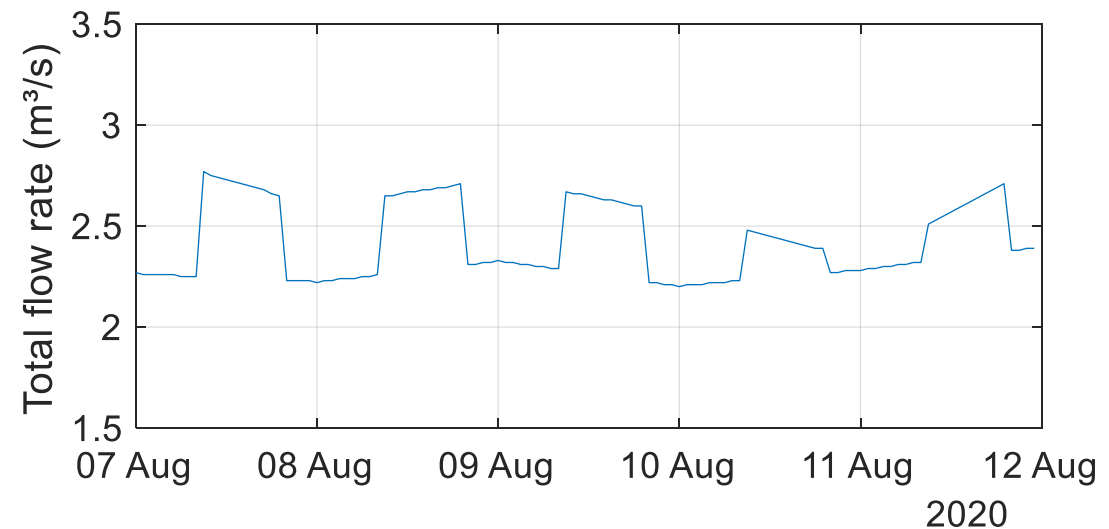
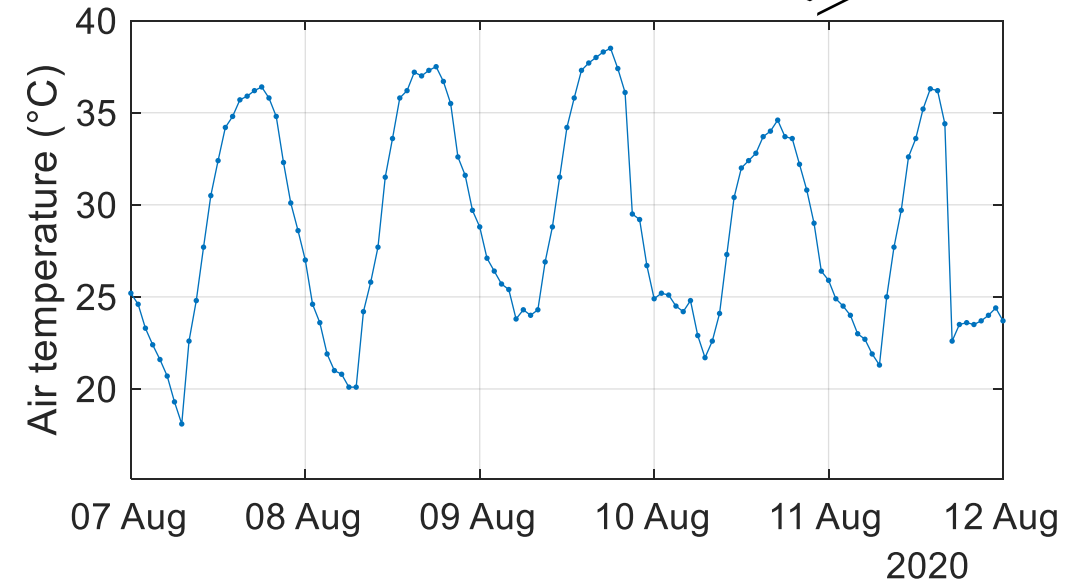
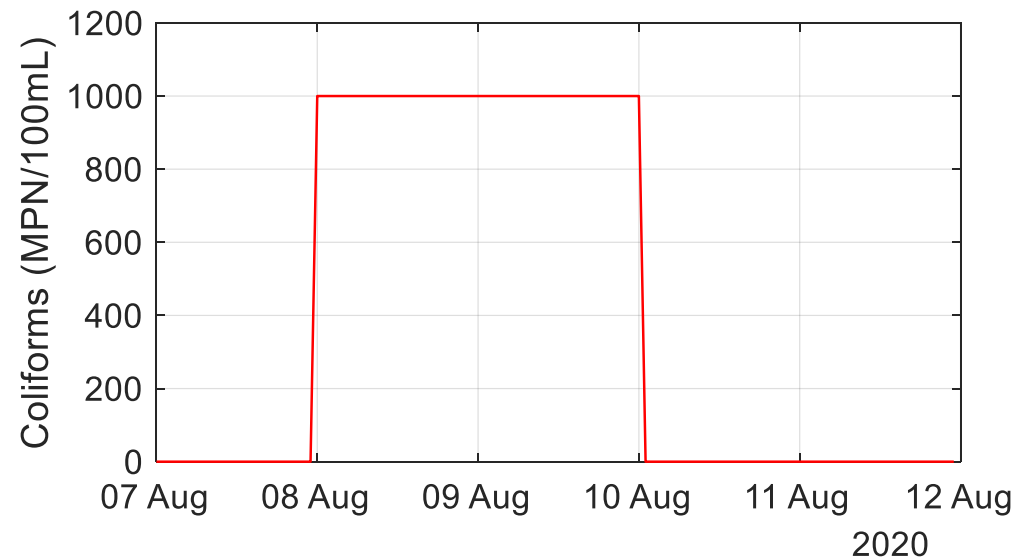
Température de l'eau: simulation et mesures



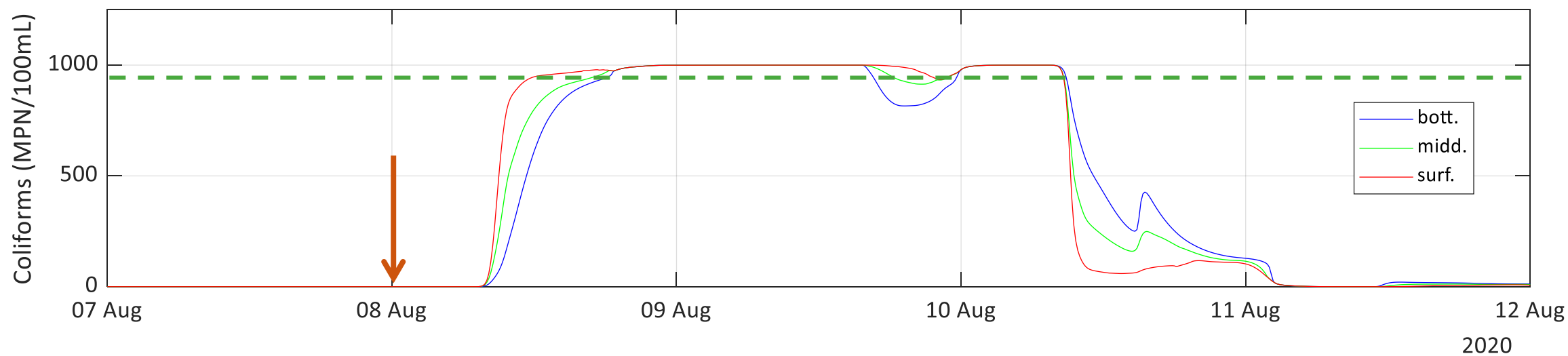
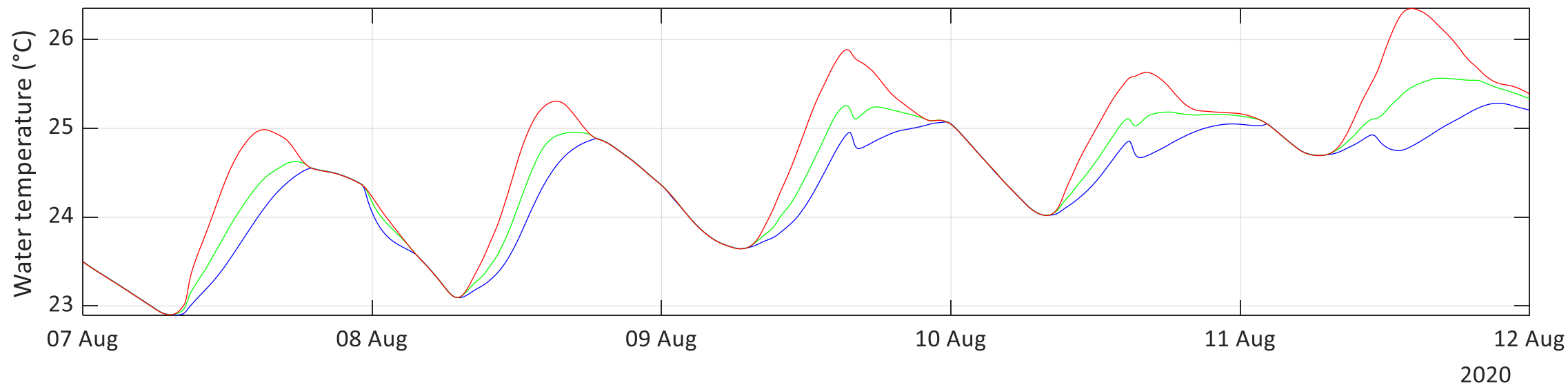
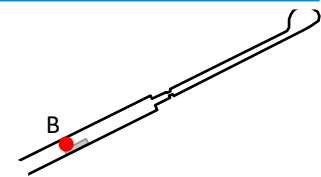
Transfert de *E. coli*

➤ Input numérique

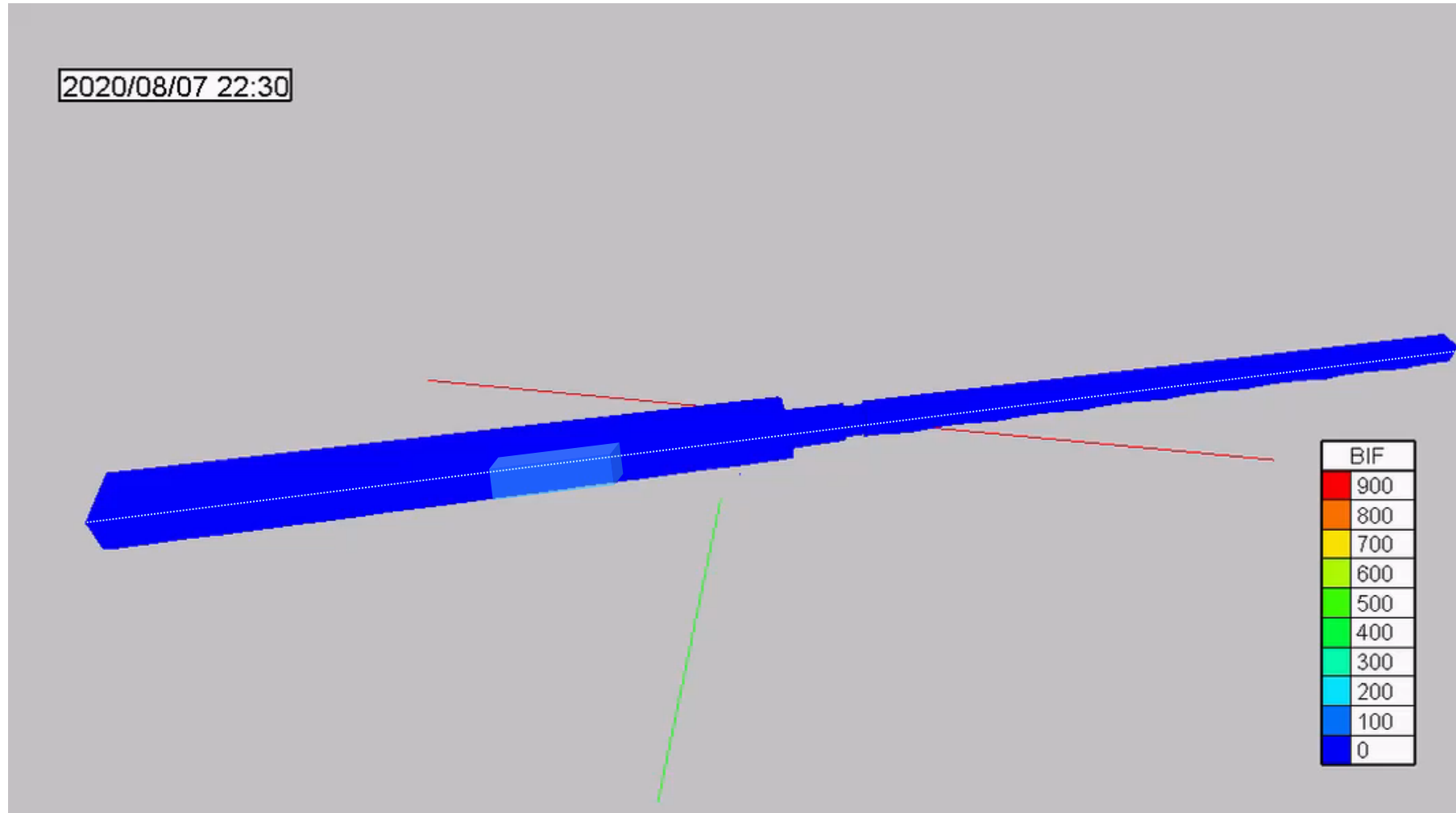
- 1000 MPN/100mL
 - Seuil *E. coli* = 900 MPN/100mL
- Input au rond-point des canaux uniforme dans la colonne d'eau
- 48h



Température de l'eau et *E. coli* à la baignade



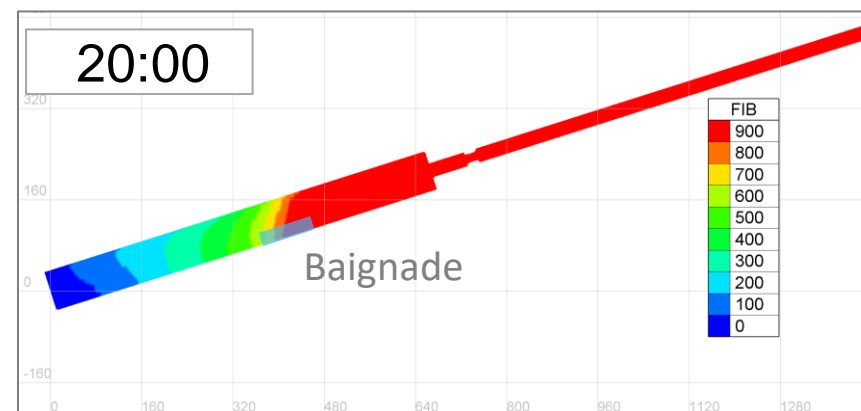
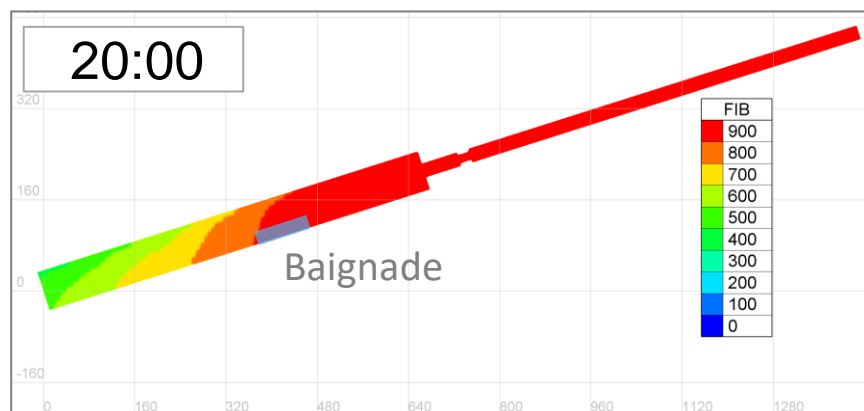
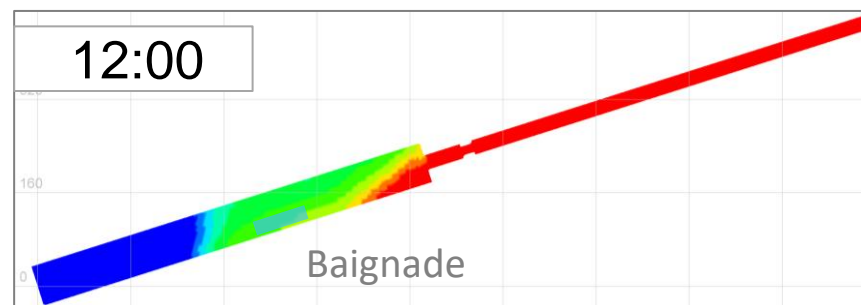
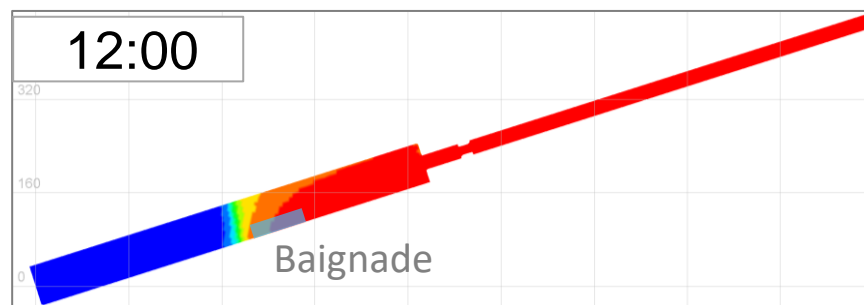
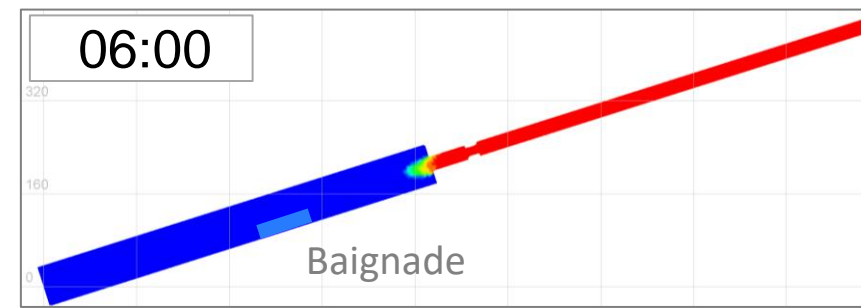
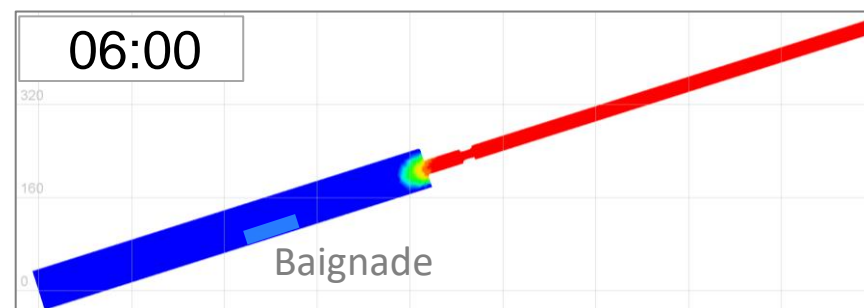
Distribution 3D des *E. coli*



Distribution spatiale des *E. coli* le 08/08/2020

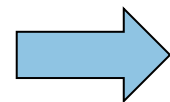
Surface

Fond



Surveillance de la qualité microbiologique

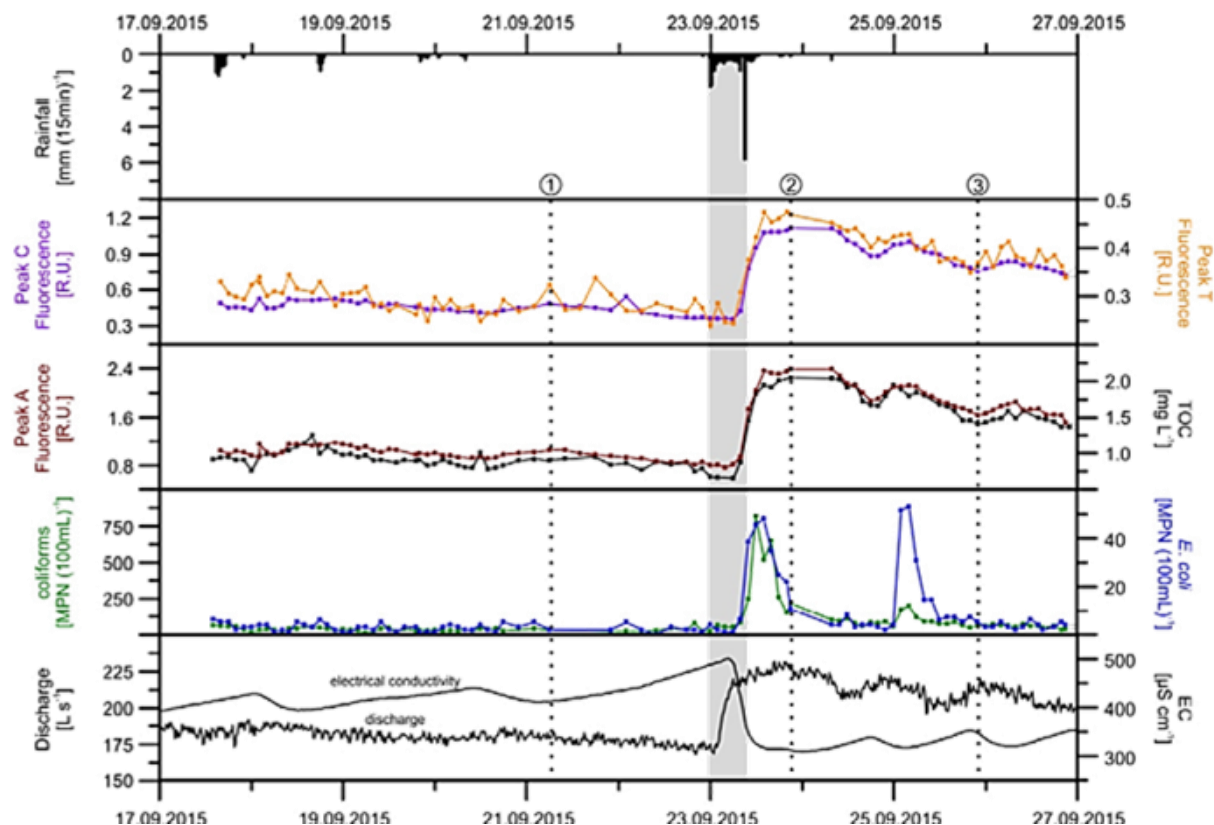
- Surveillance plus fréquente
 - Prise de décision plus précise
 - Réduction de risque de non détection de contamination
- Besoin d'un proxy de *E. coli*
 - Rapide à mesurer
 - Mesure à fréquence élevée
 - Coût de mesure



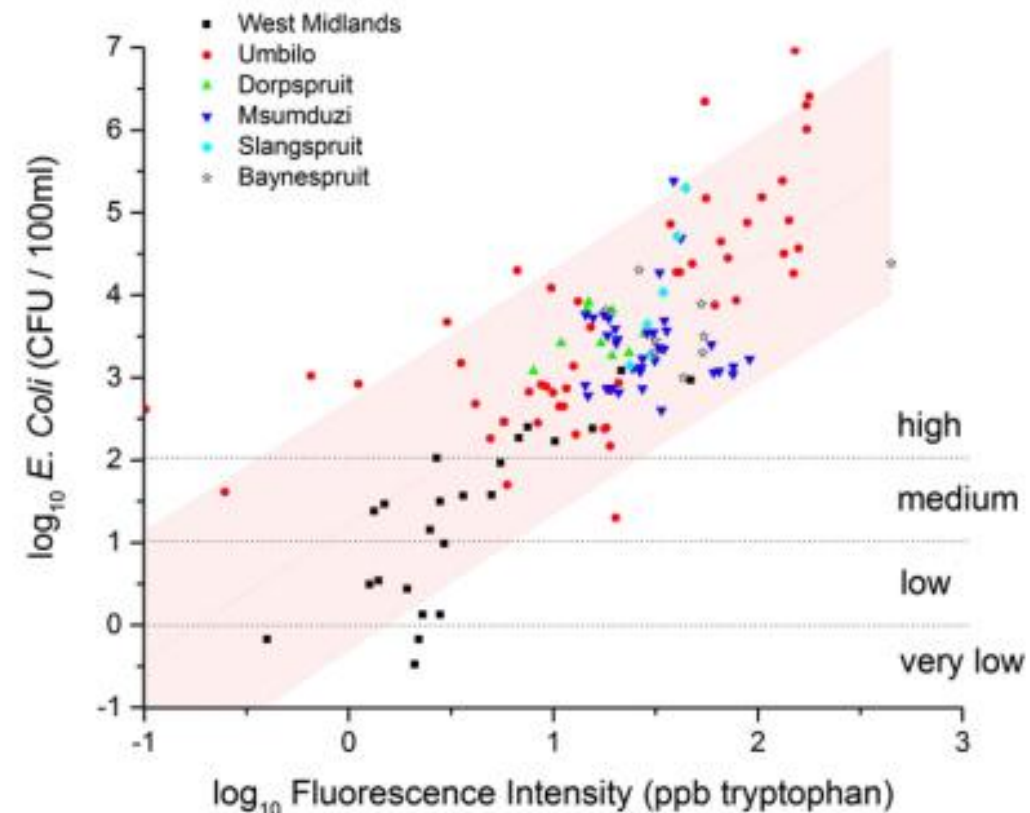
**Fluorescence de la MOD
et *E. coli***

(Baker et al., 2015; Frank et al., 2018, Sorensen et al., 2021, 2016, 2015)

Relation entre fluorescence et *E. coli*



(Frank et al., 2018)

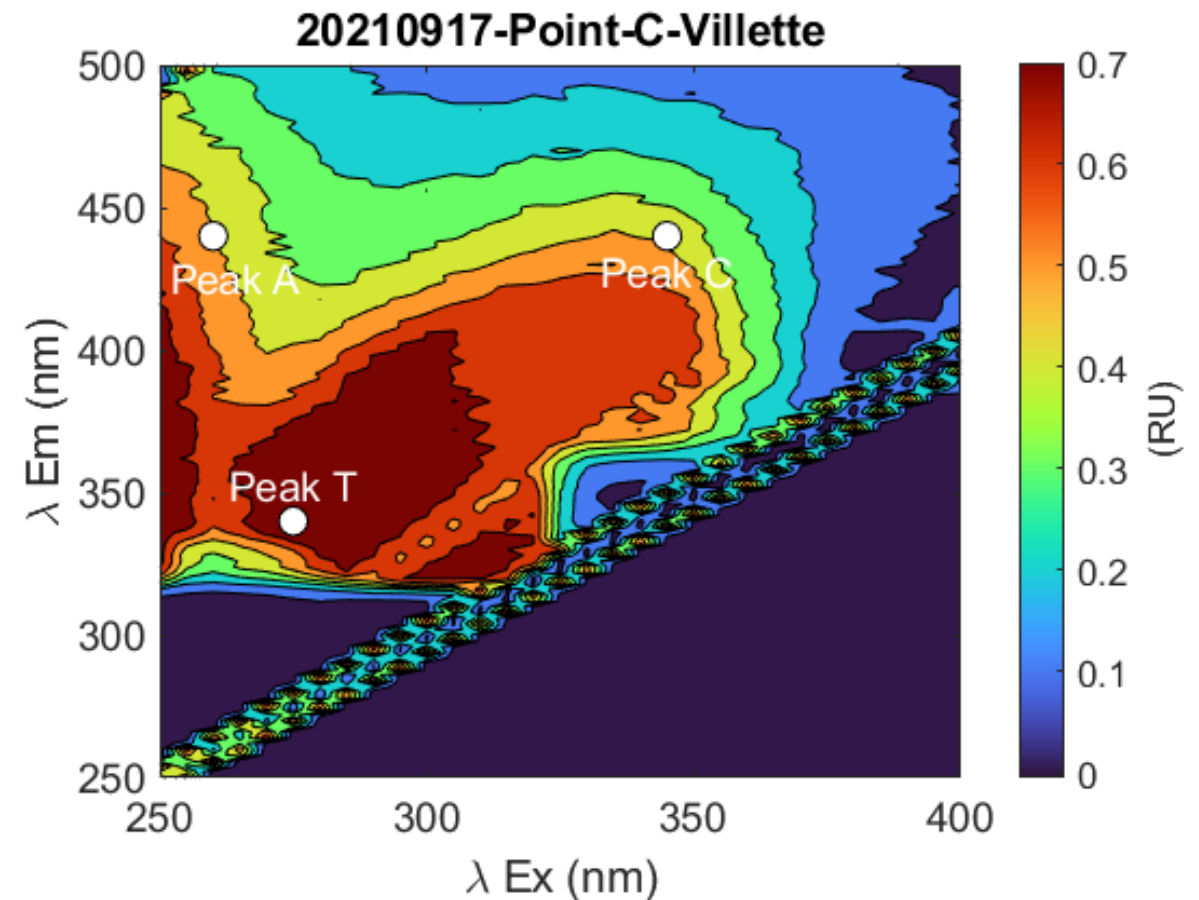
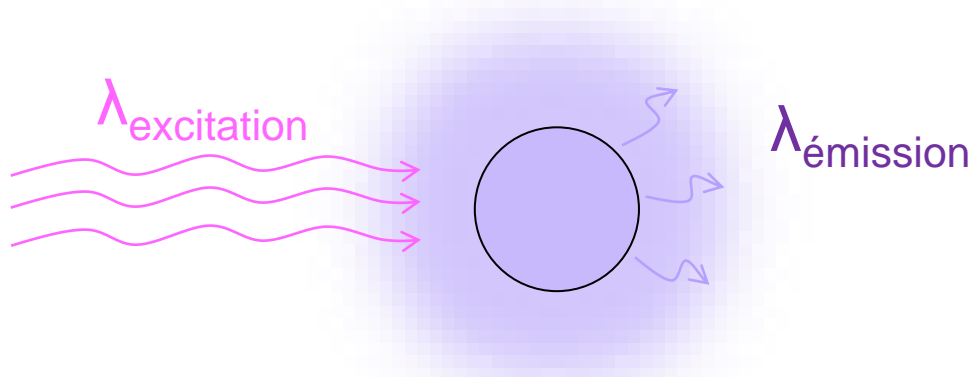


(Baker et al., 2015)

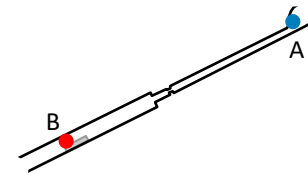
↑pluie
↑*E. coli*, ↑fluo

Fluorescence de la matière organique dissoute (MOD)

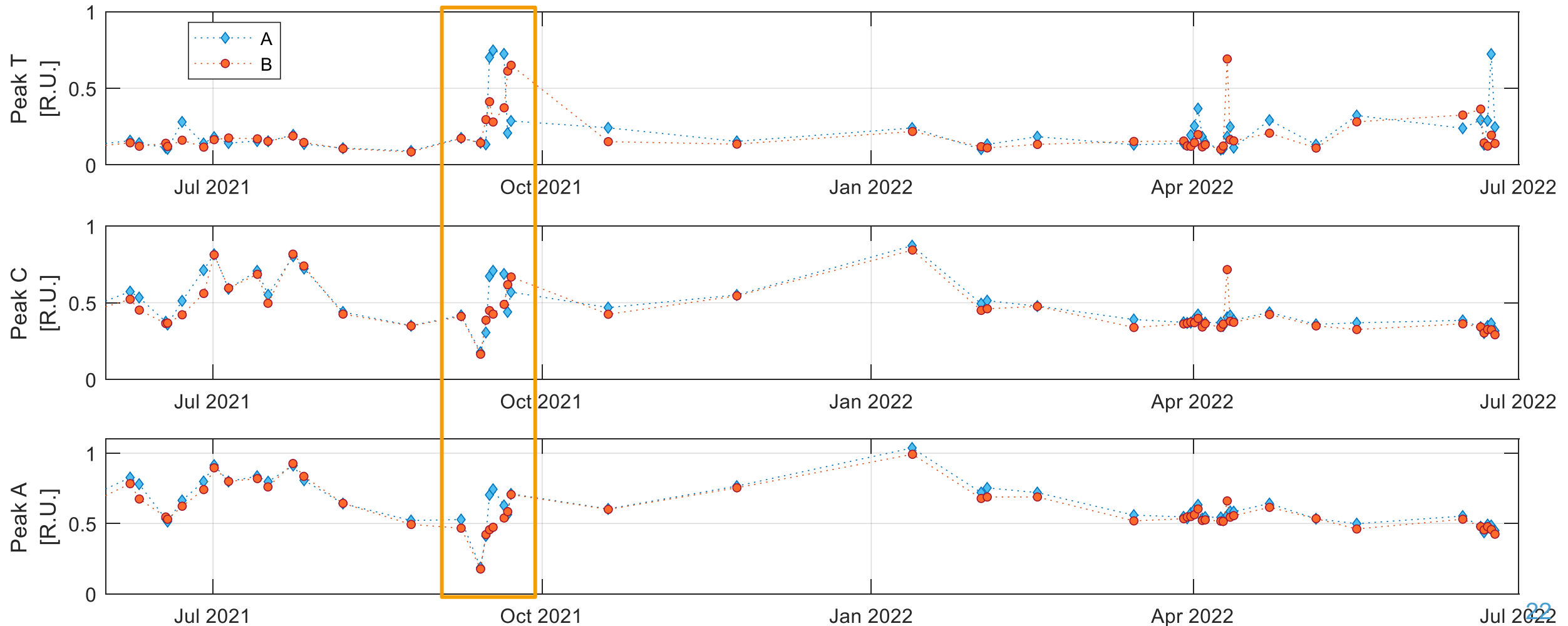
- Pics de fluorescence à des longueurs d'onde d'excitation-émission définies
 - Protéique (pic T) ➔ activité microbienne
 - Humiques (pics C et A)



Échantillonnage à la Villette



➤ Campagnes bimensuelles depuis octobre 2020



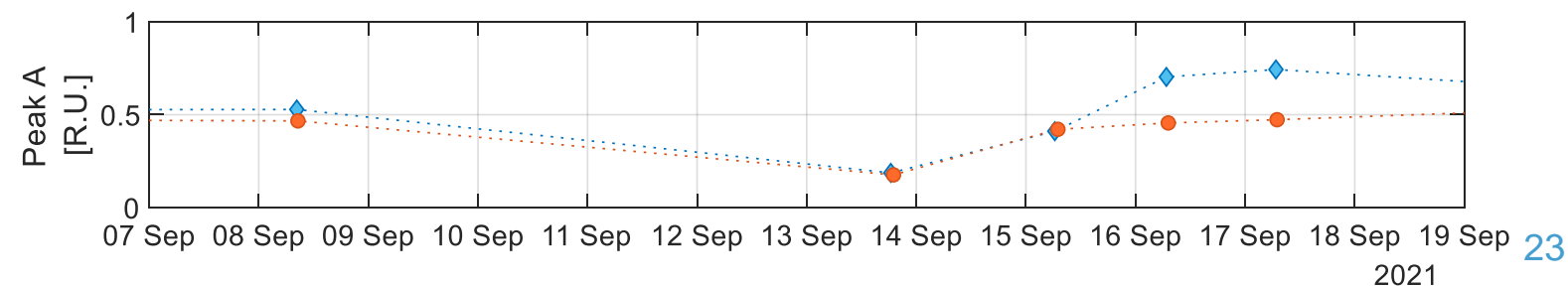
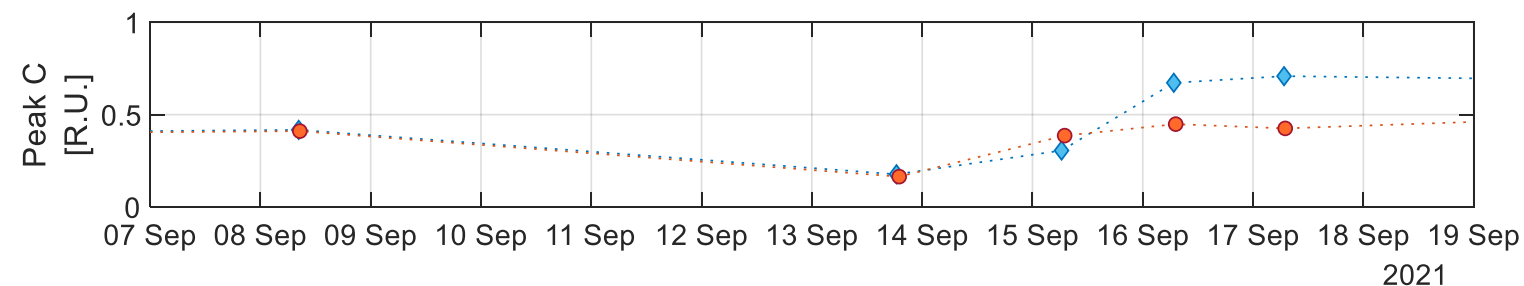
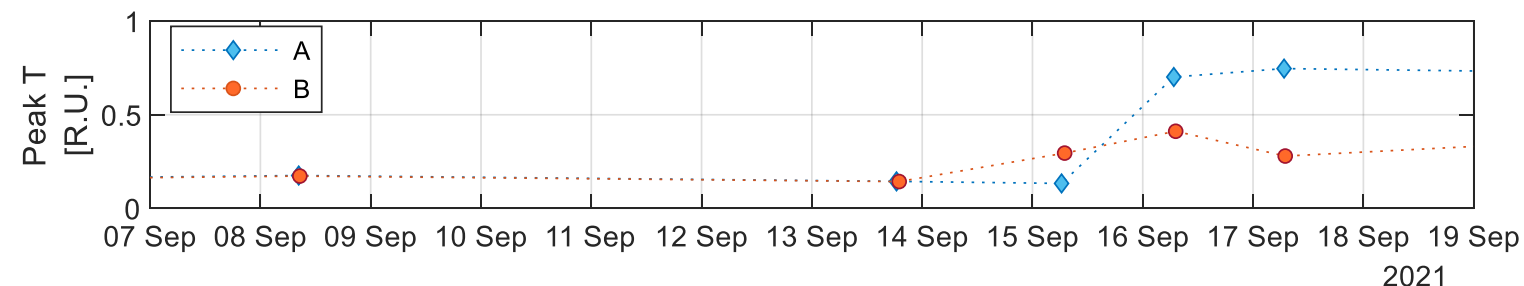
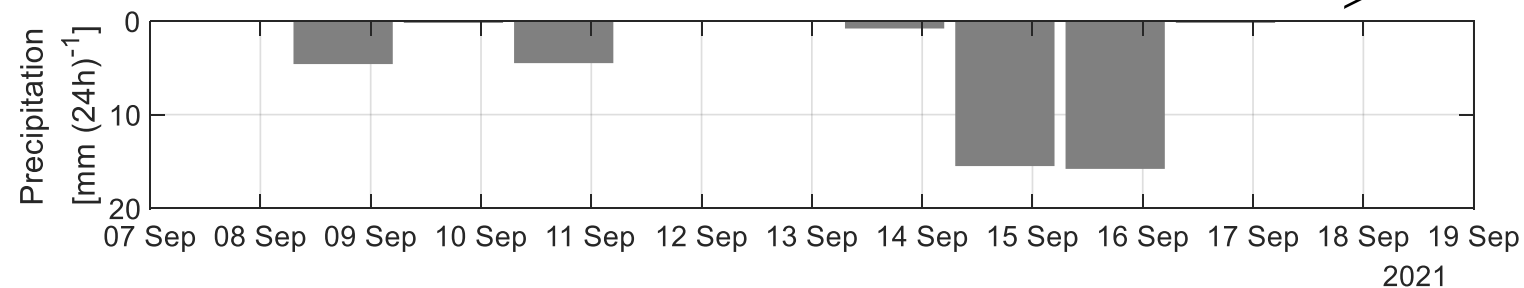
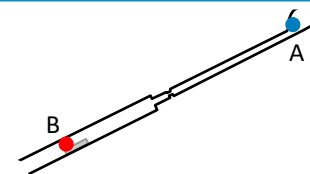
Fluorescence aux points A et B

14 et 15 septembre 2021

➤ 15.5 et 15.8 mm

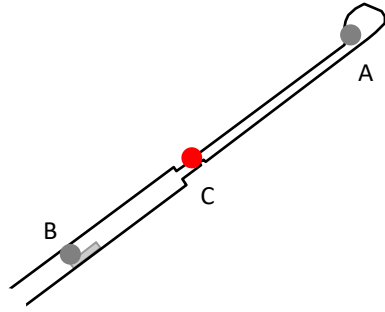
➤ Augmentation des 3 pics

➤ ↑ pic T = contamination microbienne ?

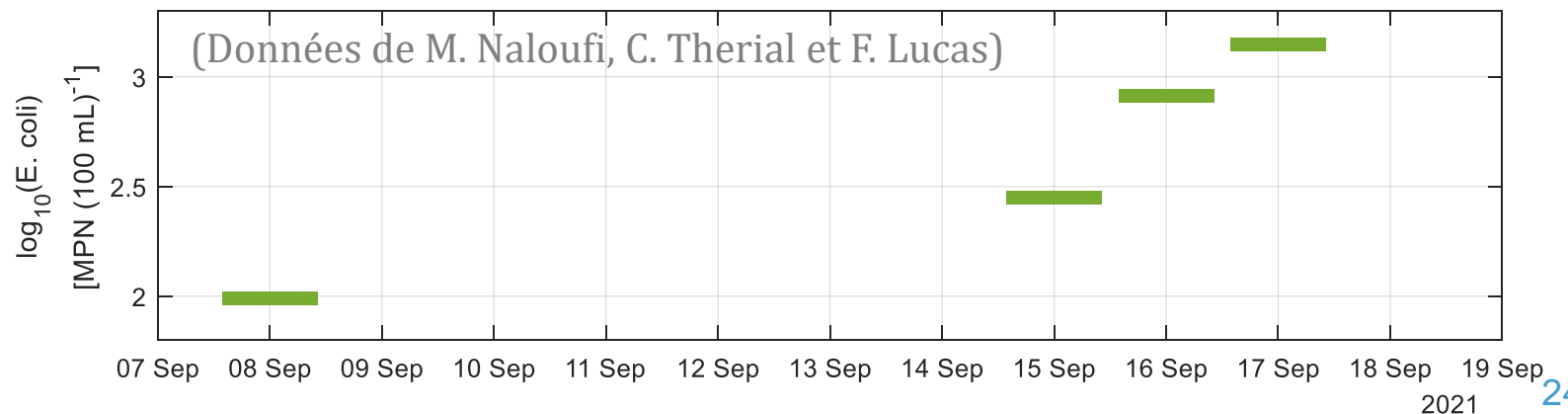
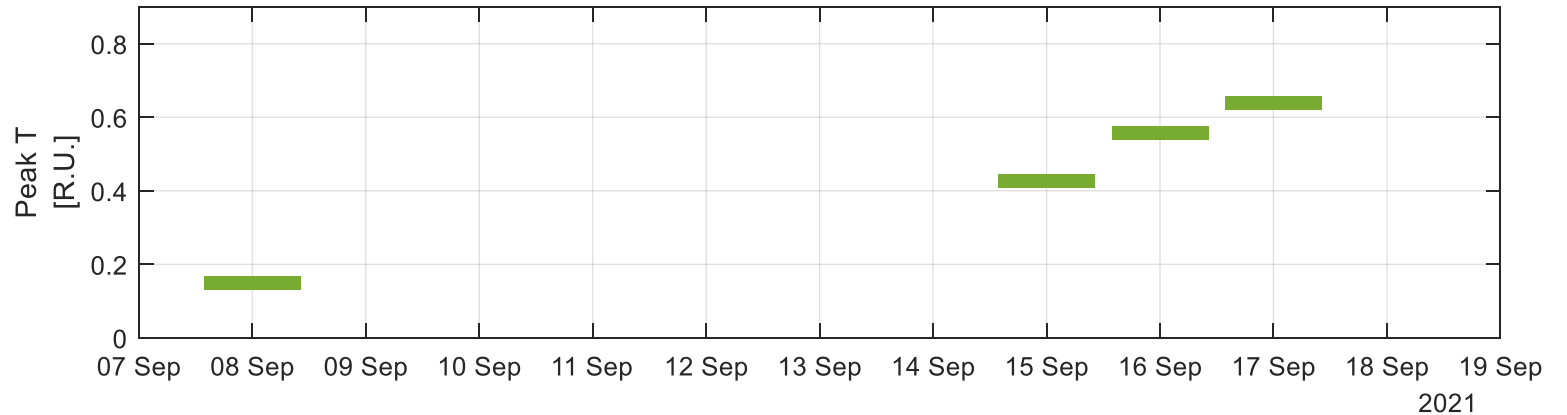
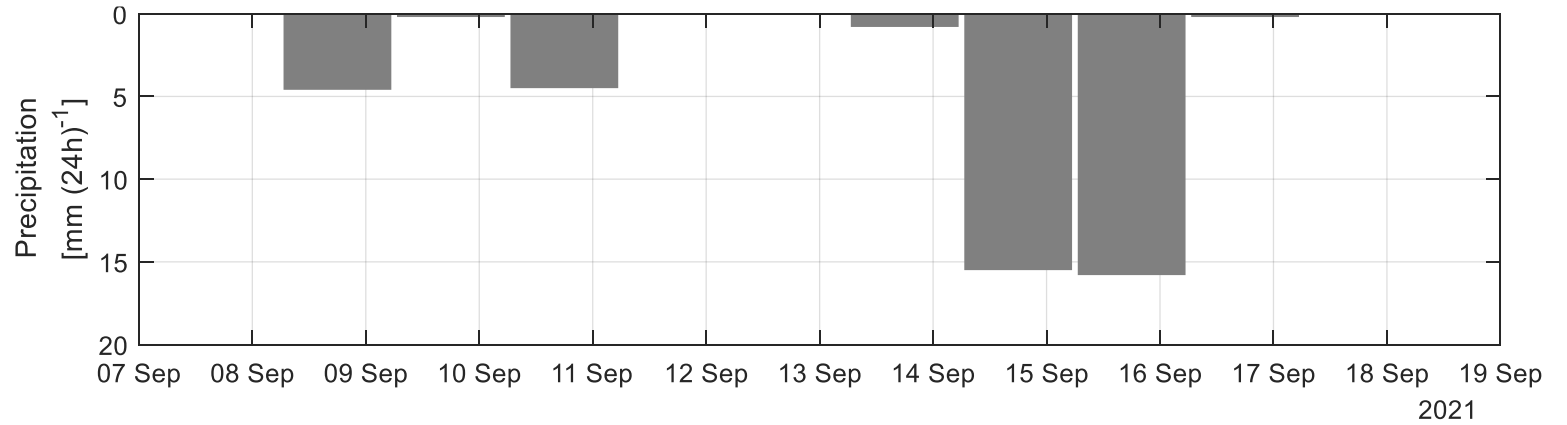


Fluo MOD et *E. coli*

➤ Point C

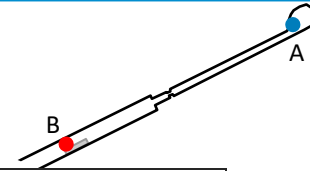


- Augmentation pic T
- Augmentation *E. coli*



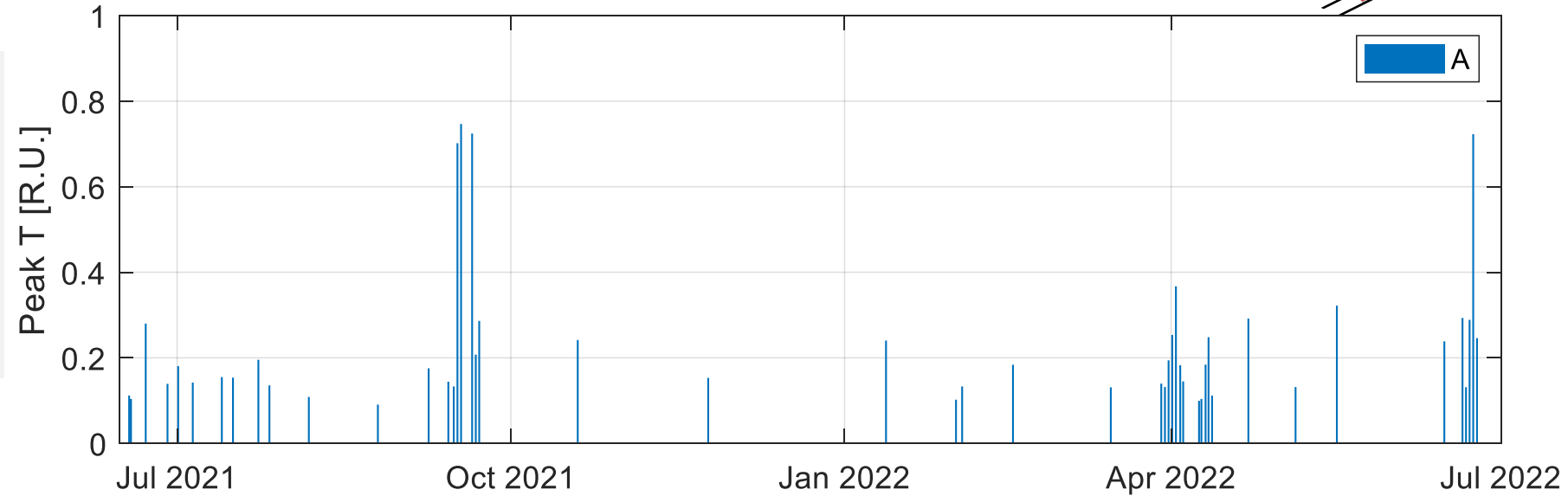
Pic T comme proxy de *E. coli*

Pic T comme proxy des *E. coli*



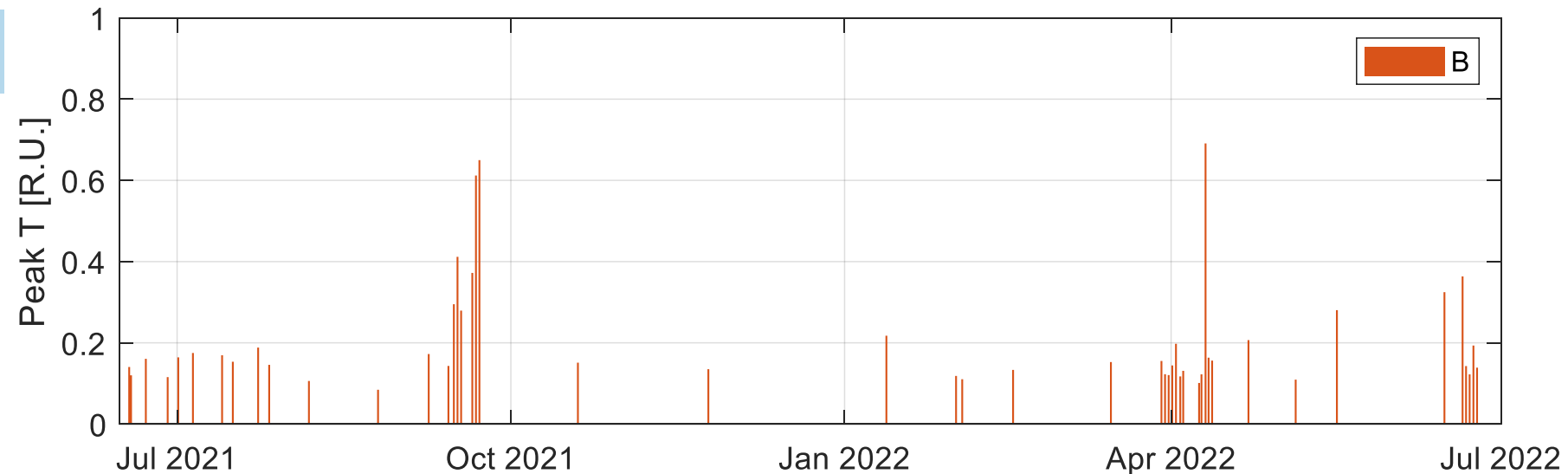
Pic T et *E. coli*

- Corrélation de rang
- $r_s = 0.83$
- p-value < 0.001

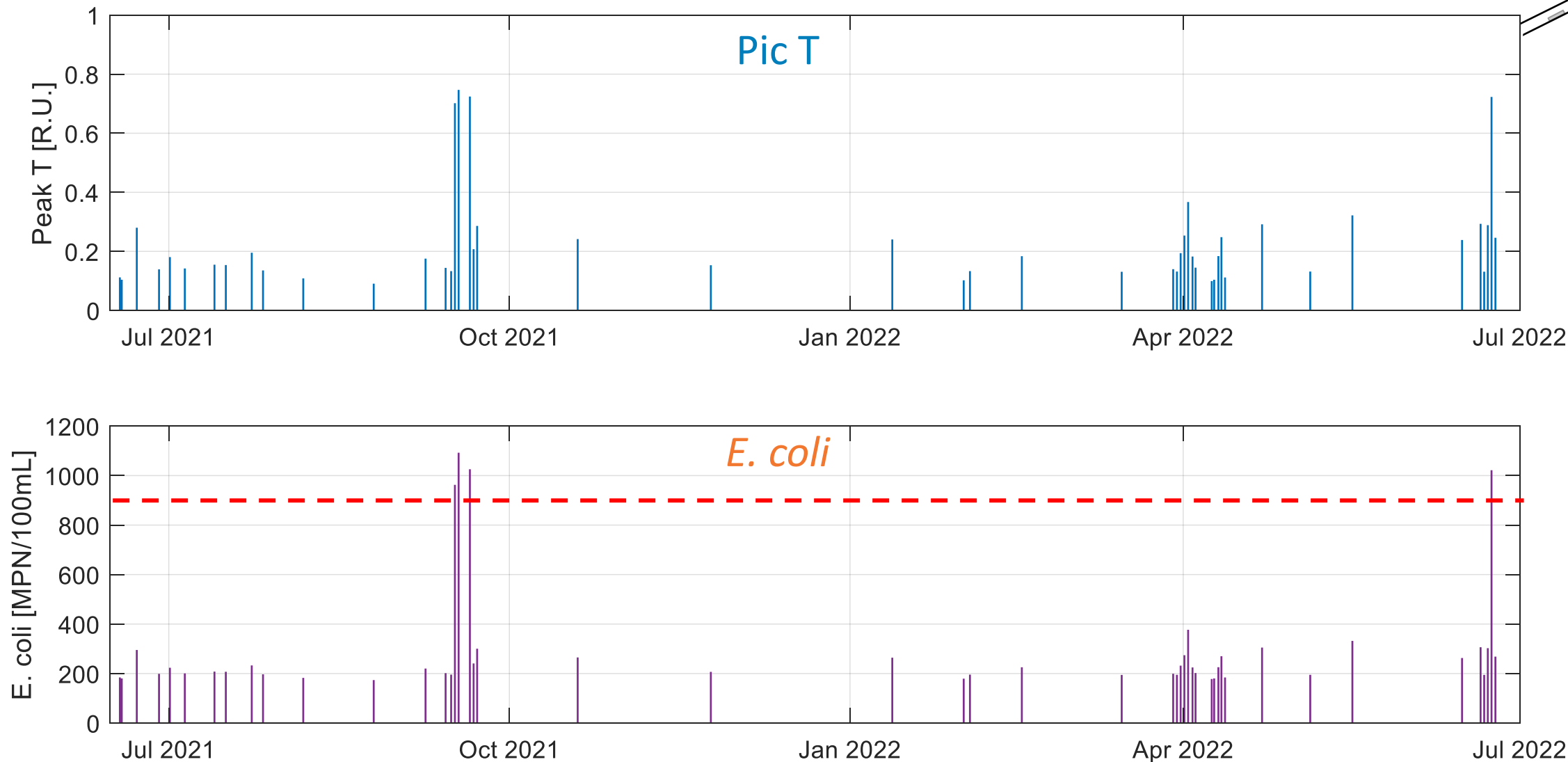


Pic T pour estimer E. coli

➔ Input modèle 3D



Estimation des *E. coli*



*Estimation de *E. coli* pour détecter un dépassement de seuil*

Ouverture de la baignade

Date	<i>E. coli</i> laboratoire	<i>E. coli</i> estimé par pic T	
30/06/2021	Overture	Overture	✓
01/07/2021	Overture	Overture	✓
19/07/2021	Overture	Overture	✓
08/09/2021	Overture	Overture	✓
14/09/2021	Overture	Overture	✓
15/09/2021	Overture	Overture	✓
16/09/2021	Fermeture	Fermeture	✓
17/09/2021	Fermeture	Fermeture	✓
20/09/2021	Overture	Overture	✓
21/09/2021	Overture	Overture	✓
22/09/2021	Overture	Overture	✓

En résumé

- Modèle hydrodynamique TELEMAC-3D

- Stratification thermique correctement reproduite

- ➔ comparaison avec mesures de terrain



- Impact de la stratification thermique sur les BIF

- ➔ Hétérogénéité de la distribution spatio-temporelle

- Surveillance plus fréquente pour une prévision plus précise

- Fluorescence de la MOD

- ➔ Pic T comme indicateur des *E. coli*

- ➔ Donnée d'entrée pour la modélisation



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

Philippe Dubois
Mohamed Saad
Manel Naloufi
Claire Therial
Françoise Lucas

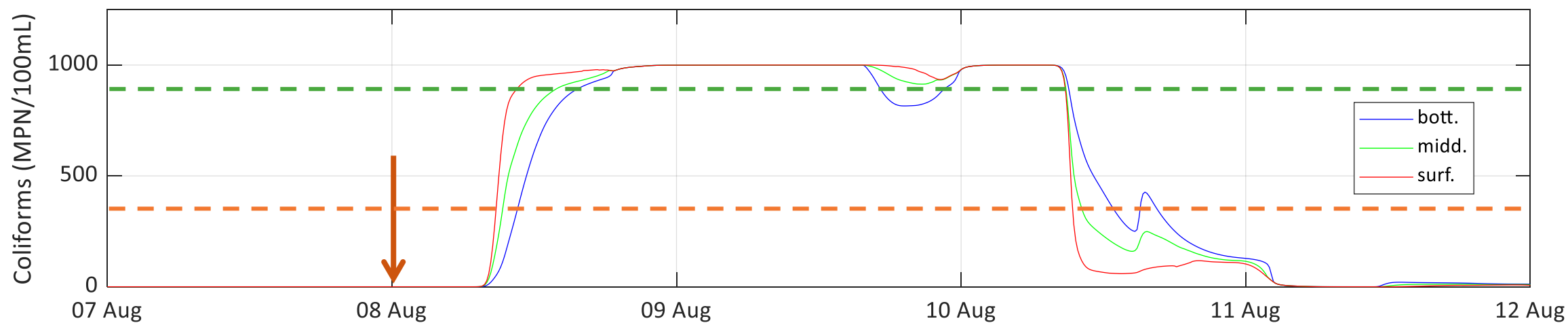
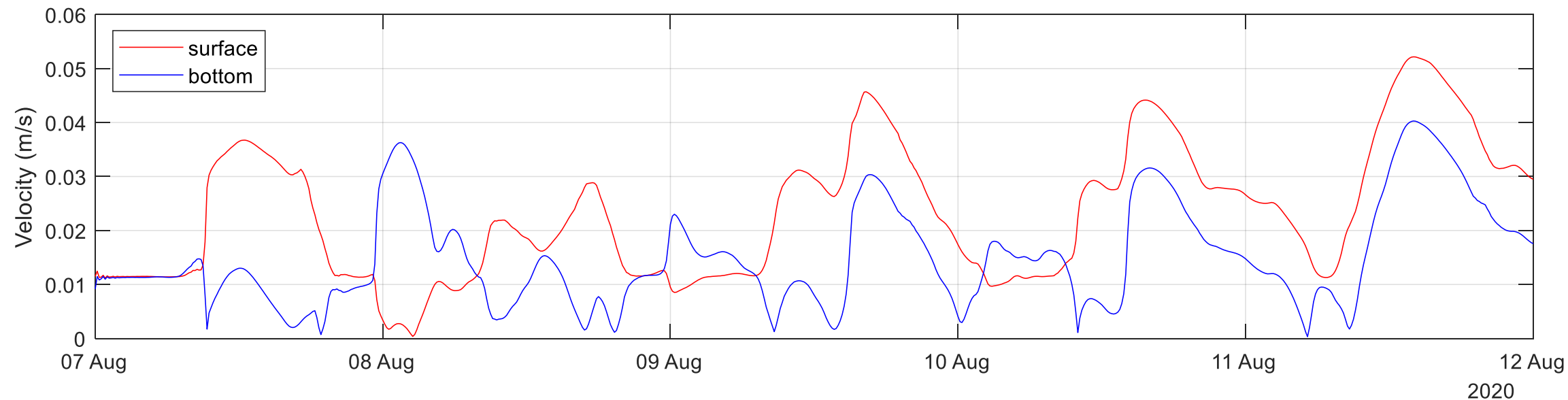
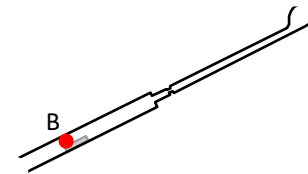
Amanda Tolentino Mendes
Maria Júlia Costa Medeiros
Arthur Guillot – Le Goff
Ana Carolina Pires



Références

- Baker, A., Cumberland, S.A., Bradley, C., Buckley, C., Bridgeman, J., 2015. To what extent can portable fluorescence spectroscopy be used in the real-time assessment of microbial water quality? *Science of The Total Environment* 532, 14–19.
- Coble, P.G., 2007. Marine Optical Biogeochemistry: The Chemistry of Ocean Color. *Chem. Rev.* 107, 402–418. <https://doi.org/10.1021/cr050350+>
- Frank, S., Goeppert, N., Goldscheider, N., 2018. Fluorescence-based multi-parameter approach to characterize dynamics of organic carbon, faecal bacteria and particles at alpine karst springs. *Science of The Total Environment* 615, 1446–1459.
- Sorensen, J.P.R., Nayebare, J., Carr, A.F., Lyness, R., Campos, L.C., Ciric, L., Goodall, T., Kulabako, R., Curran, C.M.R., MacDonald, A.M., Owor, M., Read, D.S., Taylor, R.G., 2021. In-situ fluorescence spectroscopy is a more rapid and resilient indicator of faecal contamination risk in drinking water than faecal indicator organisms. *Water Research* 206, 117734. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117734>
- Sorensen, J.P.R., Lapworth, D.J., Marchant, B.P., Nkhuwa, D.C.W., Pedley, S., Stuart, M.E., Bell, R.A., Chirwa, M., Kabika, J., Liemisa, M., Chibesa, M., 2015. In-situ tryptophan-like fluorescence: A real-time indicator of faecal contamination in drinking water supplies. *Water Research* 81, 38–46.
- Sorensen, J.P.R., Sadhu, A., Sampath, G., Sugden, S., Dutta Gupta, S., Lapworth, D.J., Marchant, B.P., Pedley, S., 2016. Are sanitation interventions a threat to drinking water supplies in rural India? An application of tryptophan-like fluorescence. *Water Research* 88, 923–932. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.11.006>

Vitesse de l'eau et BIF à la baignade

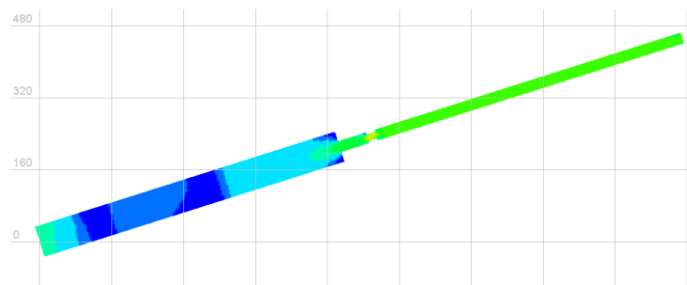


Distribution spatiale des vitesses

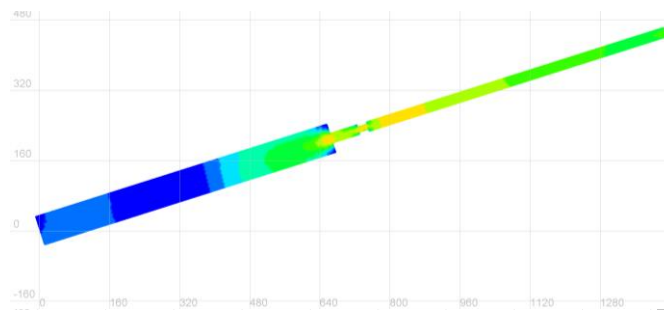
Surface

Fond

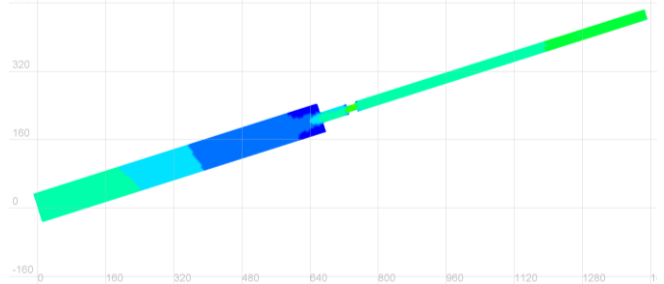
08/08/2020
09:00



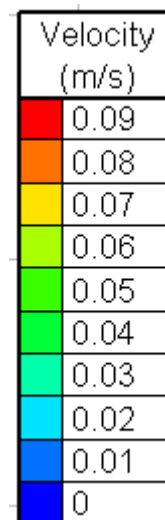
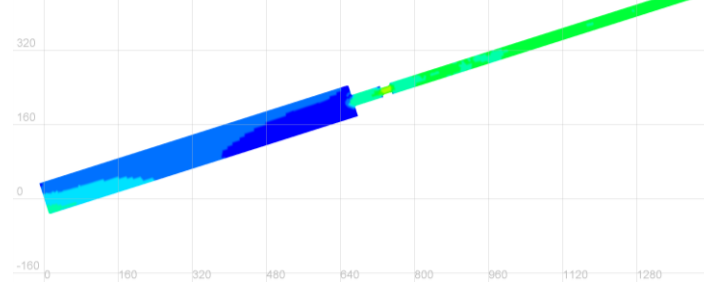
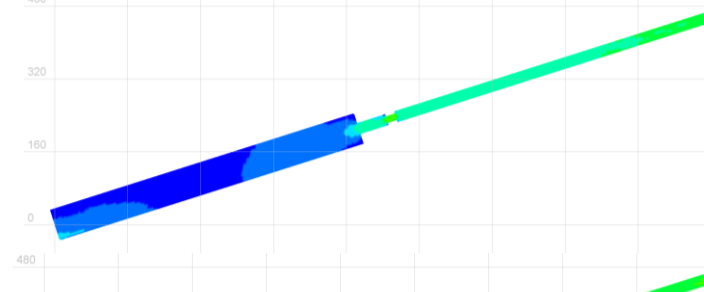
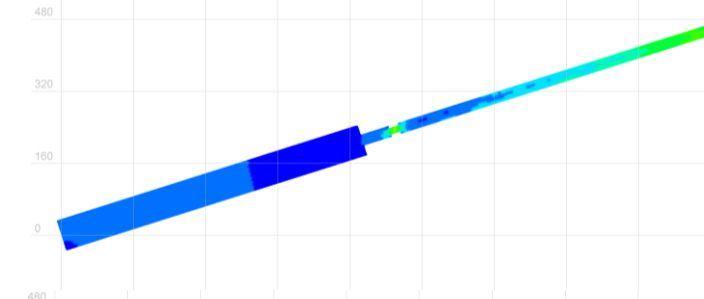
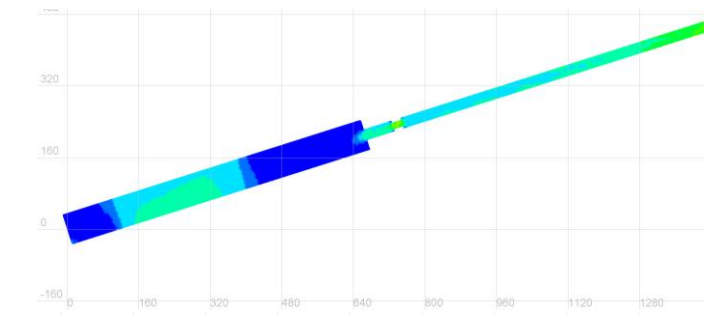
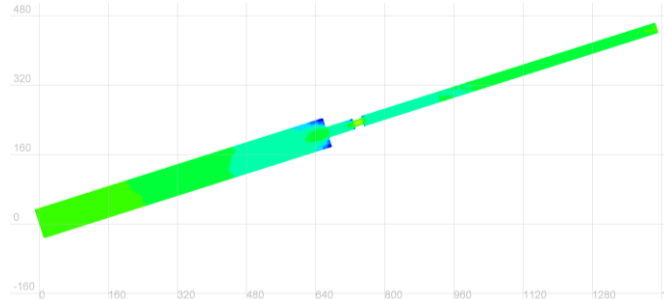
08/08/2020
12:00



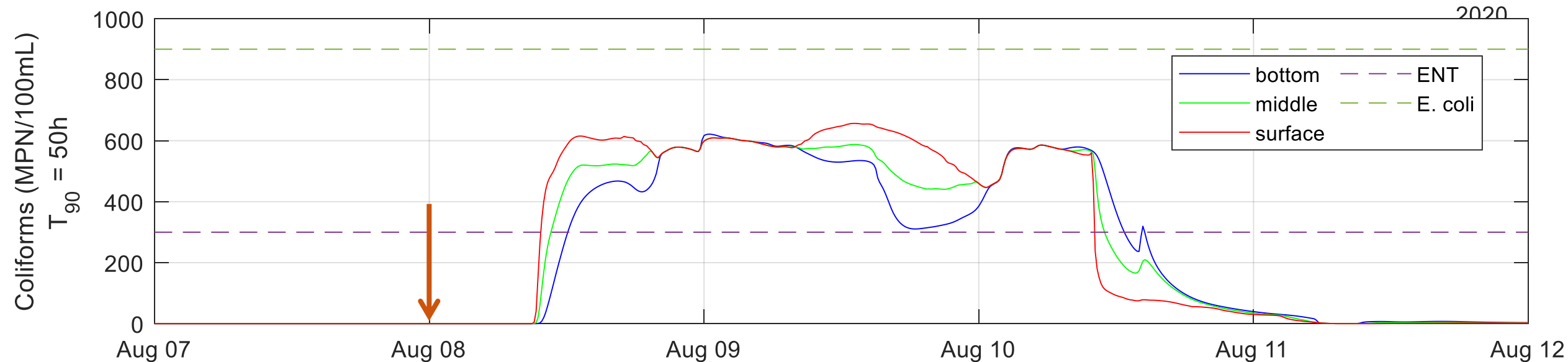
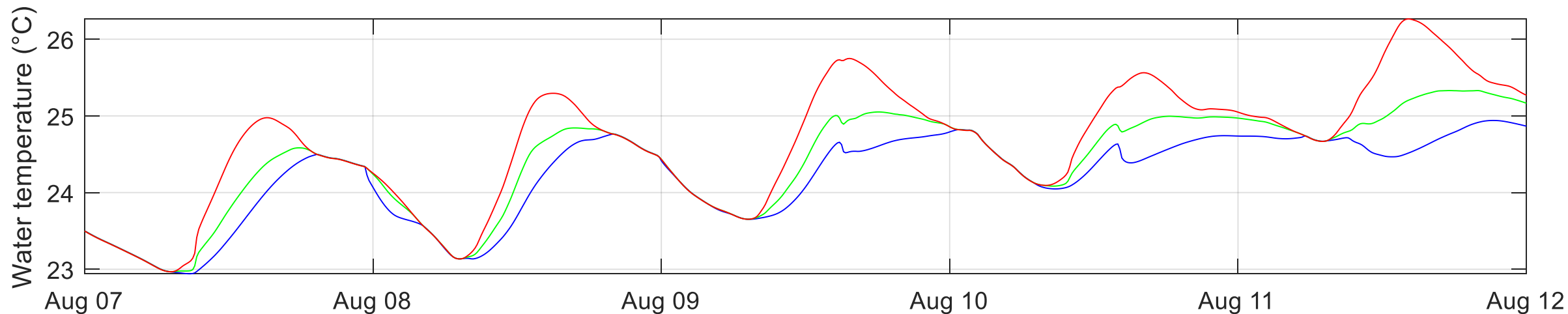
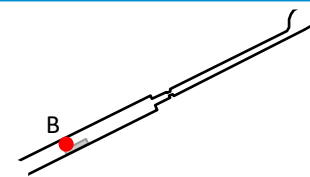
08/08/2020
20:00



09/08/2020
19:00



Température de l'eau et BIF à la baignade avec $T_{90} = 50h$

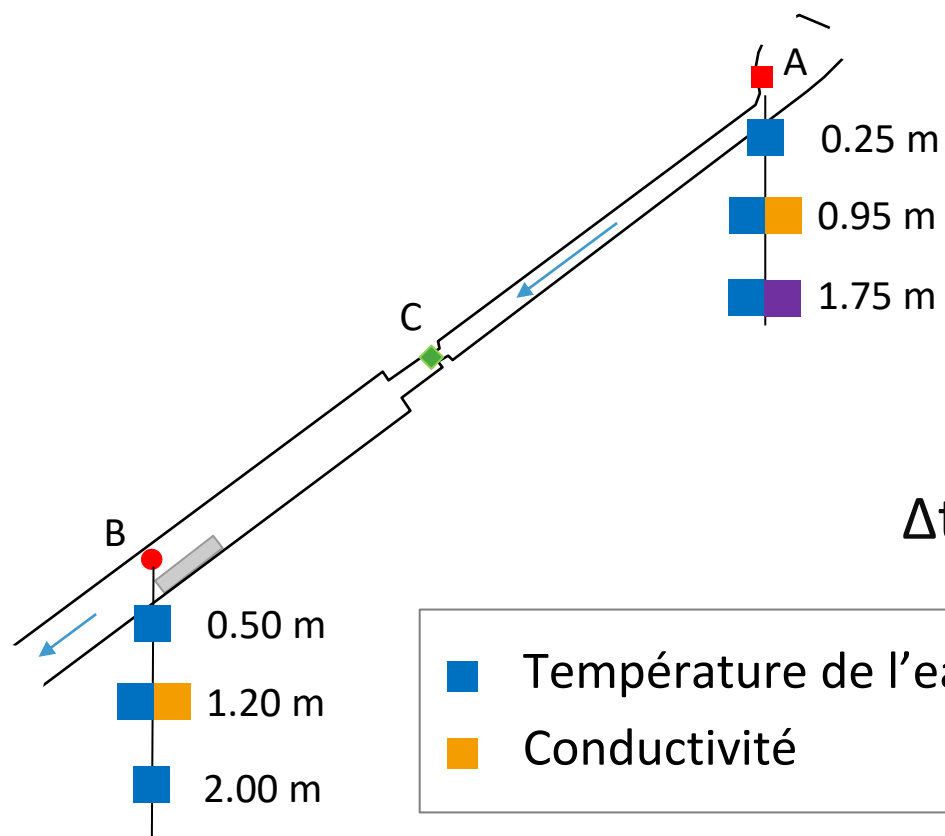


Mesures de terrain

➤ Points A et B

➤ En continu

- Température de l'eau
- Conductivité électrique
- Niveau d'eau } amont



➤ Analyse au laboratoire

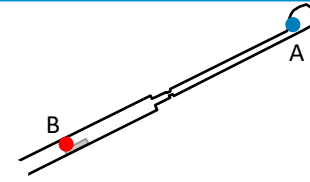
➤ Fluorescence de la MOD dans l'UV

➤ Dénombrement BIF

Points A et B
Echantillons ponctuels

Point C
Echantillons moyens journaliers

Fluorescence de la MOD comme proxy des BIF

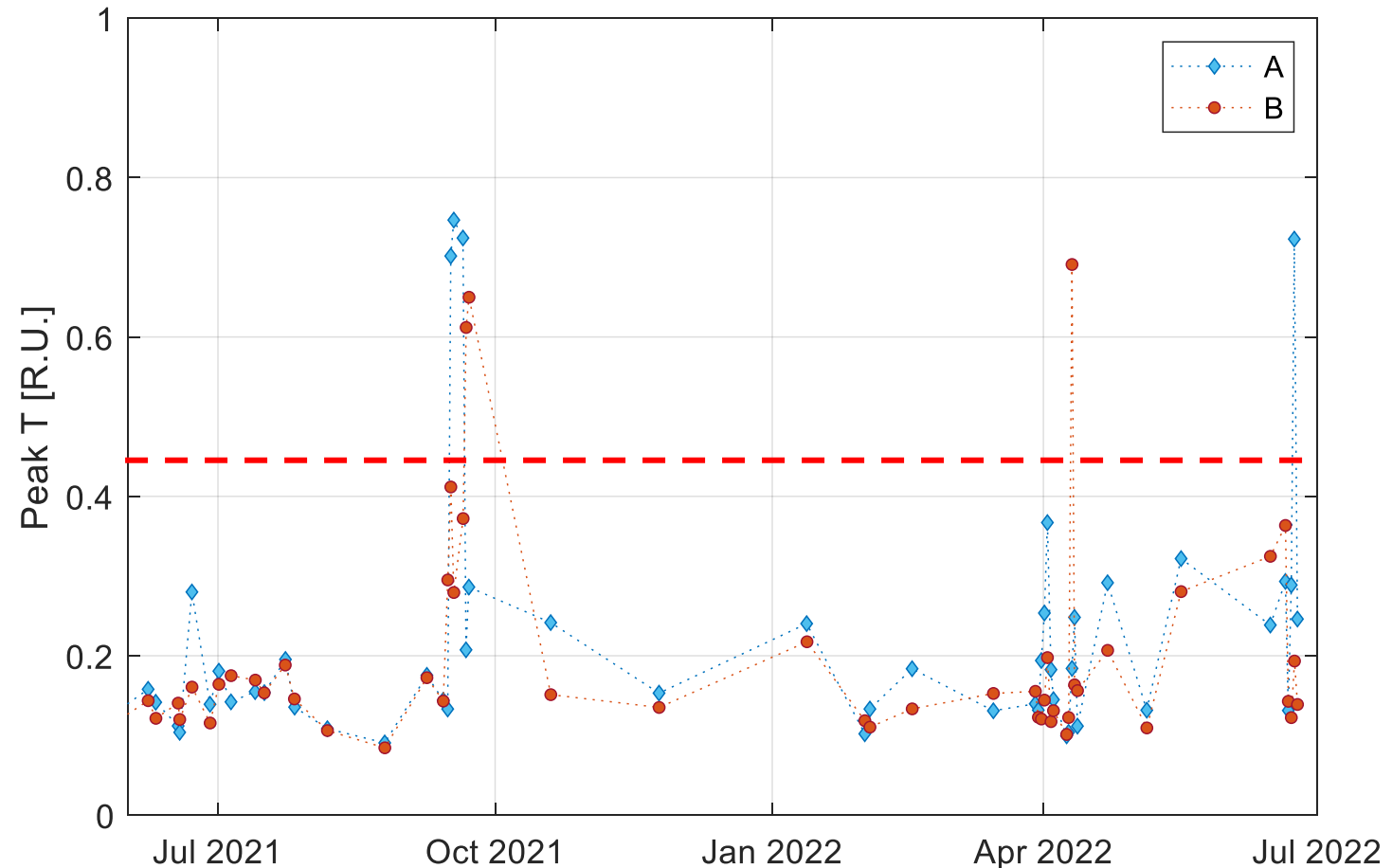


➤ Coefficient de Spearman (r_s)

- Corrélation de rang
- Relation existe

$E. coli > \text{seuil}$ ➔ Peak T > 0.45 R.U.

Pic T comme indicateur de dépassement de seuil des BIF



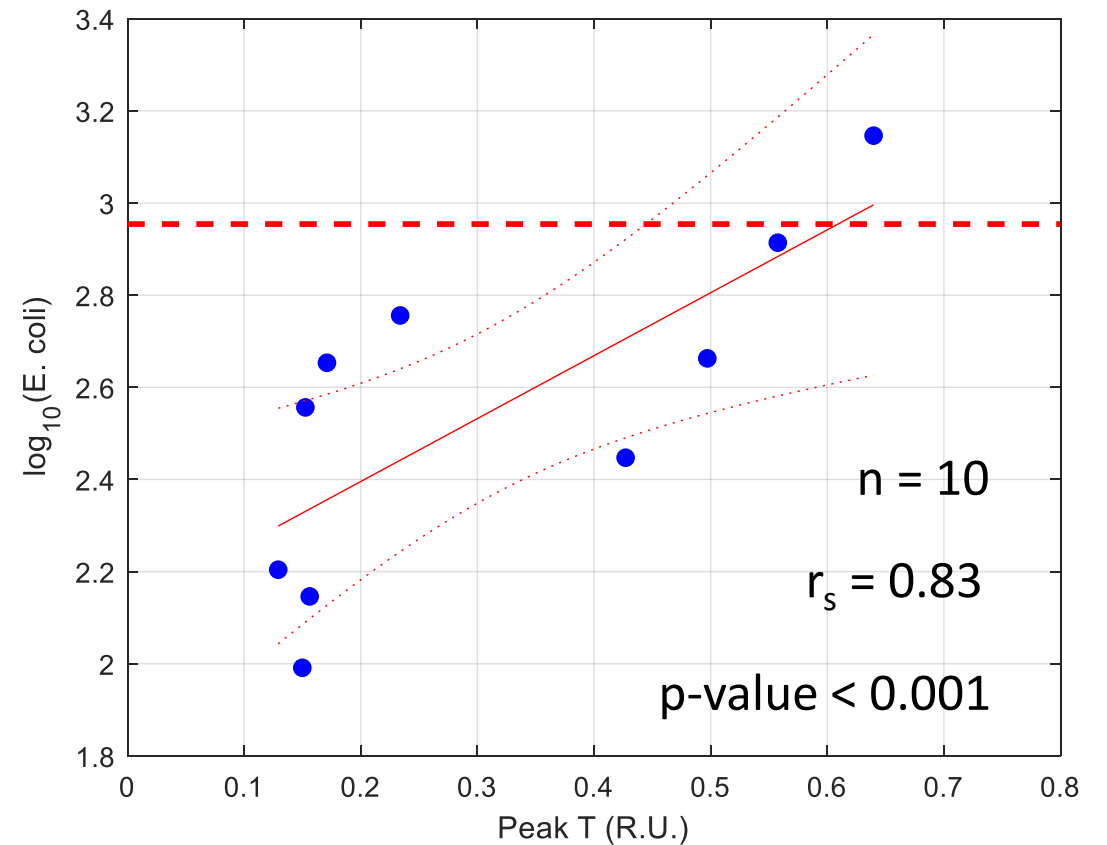
Fluorescence de la MOD comme proxy des BIF

➤ Coefficient de Spearman (r_s)

- Corrélation de rang
- Relation existe

E. coli > seuil ➔ Peak T > 0.45 R.U.

Pic T comme indicateur de dépassement de seuil des BIF



Perspectives

- Relation entre fluorescence de la MOD et BIF
 - Amélioration avec mesures complémentaires
 - ➡ Estimer *E. coli* à partir de la relation avec pic T

- Simulations de transfert des BIF dans différentes configurations hydrométéorologiques
 - Impact sur l'ouverture de la baignade