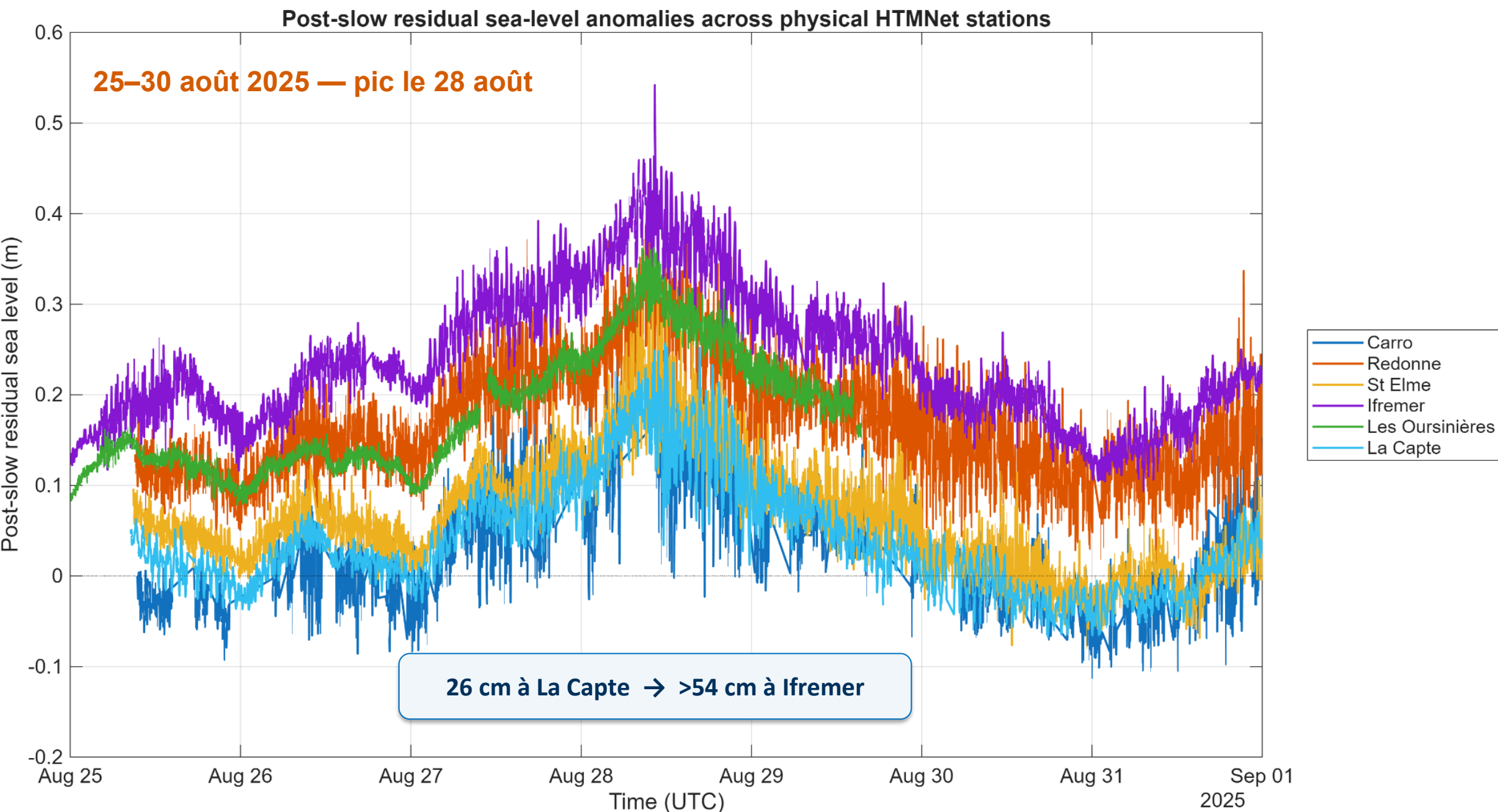


PHÉNOMÉNOLOGIE ET PROPAGATION DES SURCOTES EN MÉDITERRANÉE NORD-OCCIDENTALE : apport des données long-terme du réseau HTM-Net

*Elodie LAFFITTE, Vincent REY, Apolline GODET, Jean-Luc FUDA, Didier MALLARINO, Tathy
MISSAMOU*

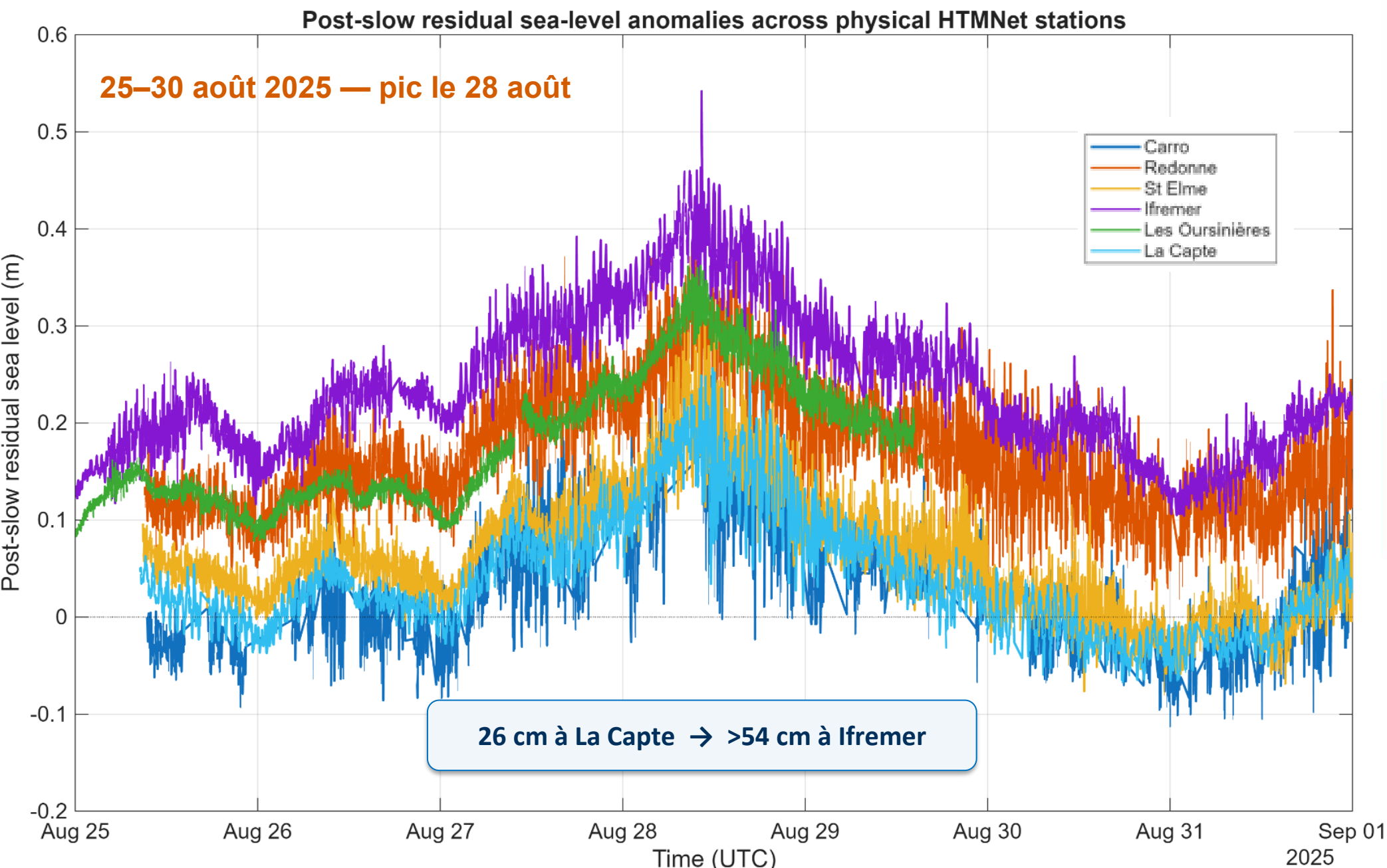
➤ Une même tempête, des réponses côtières très différentes



Toutes les stations voient le même événement régional.
 Pourtant, l'amplitude varie presque d'un facteur deux.

Pourquoi ?

➤ Une même tempête, des réponses côtières très différentes

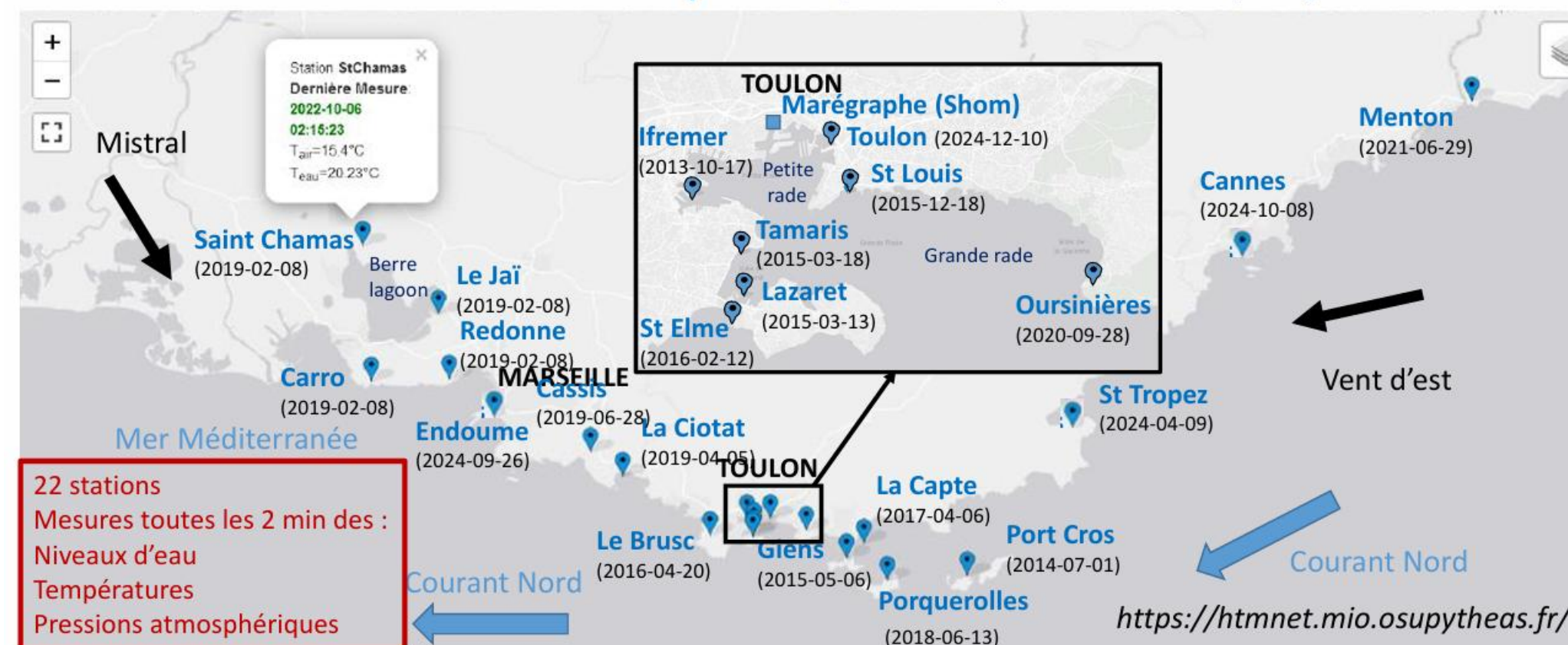


Toutes les stations voient le même événement régional.
Pourtant, l'amplitude varie presque d'un facteur deux.

Pourquoi ?

➤ HTM-Net : un réseau dense pour séparer régional et local

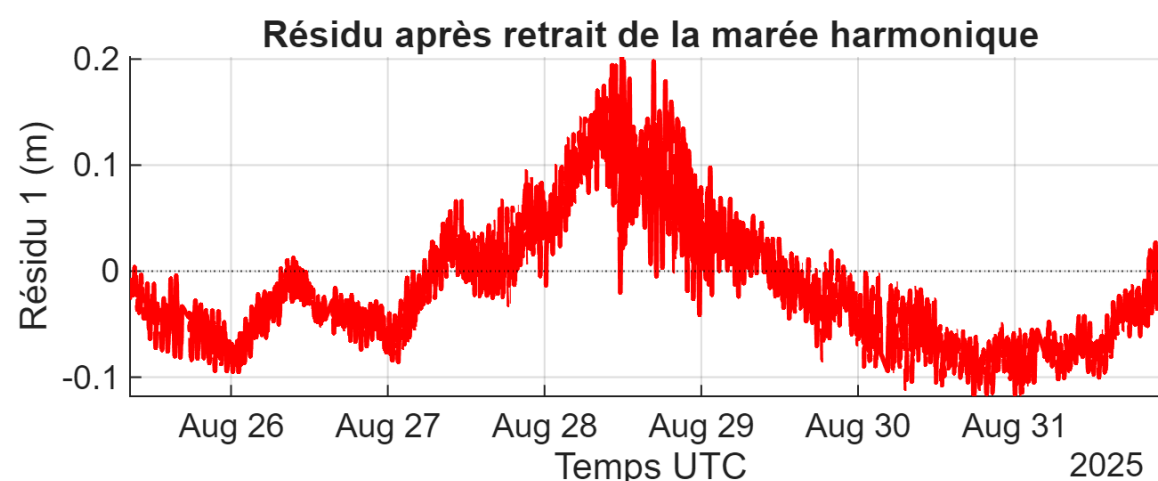
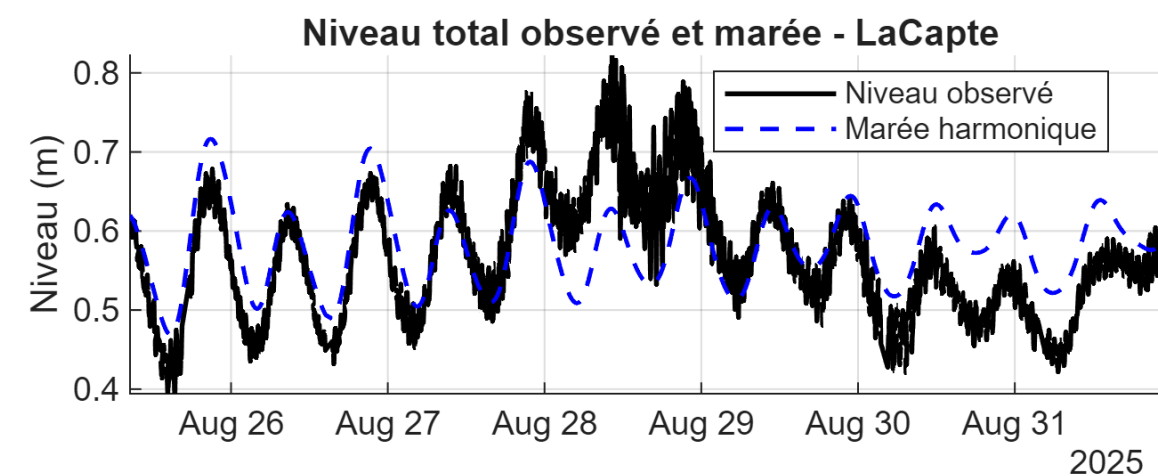
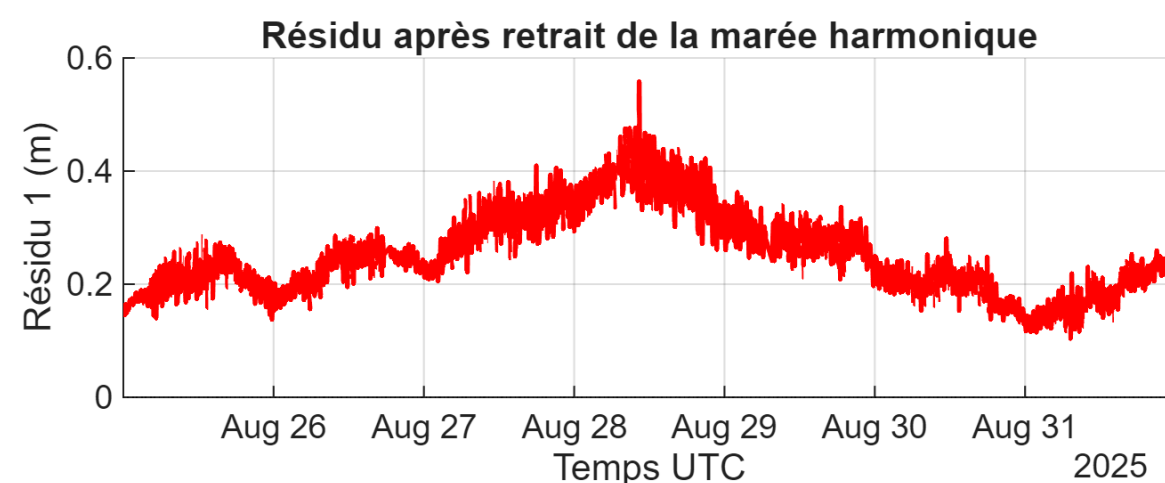
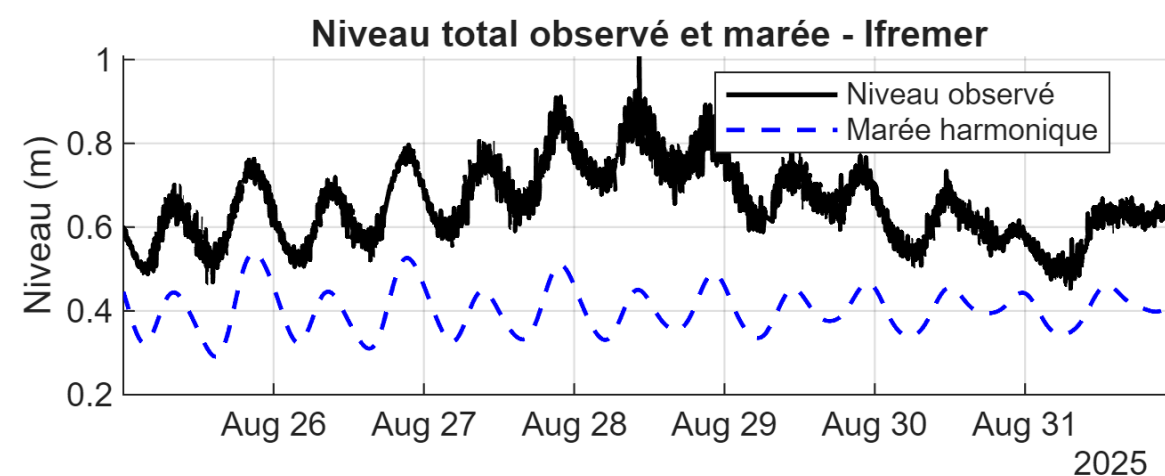
Réseau HTM-NET « Niveau d'Eau et Température », Vincent REY, Didier MALLARINO, Tathy MISSAMOU



- 22 stations HTM-Net sur le littoral méditerranéen nord-occidental / PACA
- Capteurs de pression émergé / immergé, capteur de température de l'eau
- Plus longue série : Ifremer Brégaillon depuis le 17/10/2013
- 6 stations de référence prétraitées sur le long terme (2013–2025)
- Stations ouvertes, intermédiaires et abritées : exposition utilisée comme clé d'interprétation
- Niveau d'eau : HTM-Net | Atmosphère : HTM-Net + ERA5 | Vagues : CANDHIS

➤ Décomposition phénoménologique

Niveau d'eau mesuré - marée astronomique → Résidu 1 - composantes lentes* → Résidu 2 événementiel - effet barométrique inverse (Ponte, 2006) → signal dynamique restant



*Composante lente : ajustement harmonique des composantes semi-annuelle (Ssa) et annuelle (Sa) sur une fenêtre d'un an centrée sur l'événement.

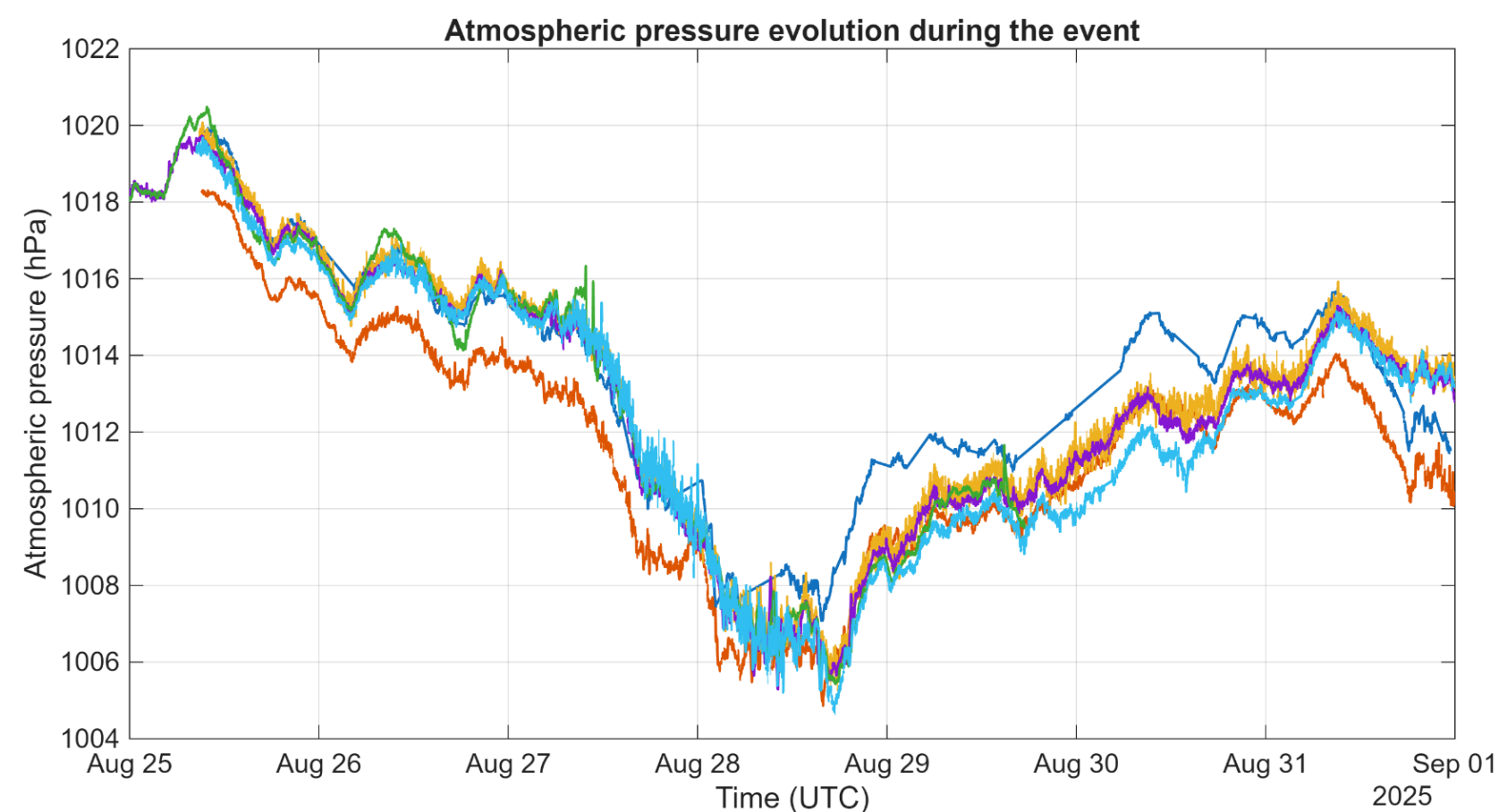
Alternative implémentée : proxy thermostérique $H\alpha(T - T_{ref})$.

- Pression : signature résiduelle corrélée à la pression
- Vent : modèles de Tilburg–Garvine et Csanady comme diagnostics d'ordre de grandeur
- Vagues : CANDHIS + proxy de Stockdon
- Propagation : filtres 24–36 h, Hovmöller, corrélations croisées et temps de pic
- Résonances locales : diagnostic spectral aux périodes propres des baies/rades

➤ Décomposition phénoménologique

Niveau d'eau mesuré - marée astronomique → Résidu 1 - composantes lentes* → Résidu 2 événementiel - effet barométrique inverse (Ponte, 2006) → signal dynamique restant

➤ Pression atm, : un forçage régional bien observé

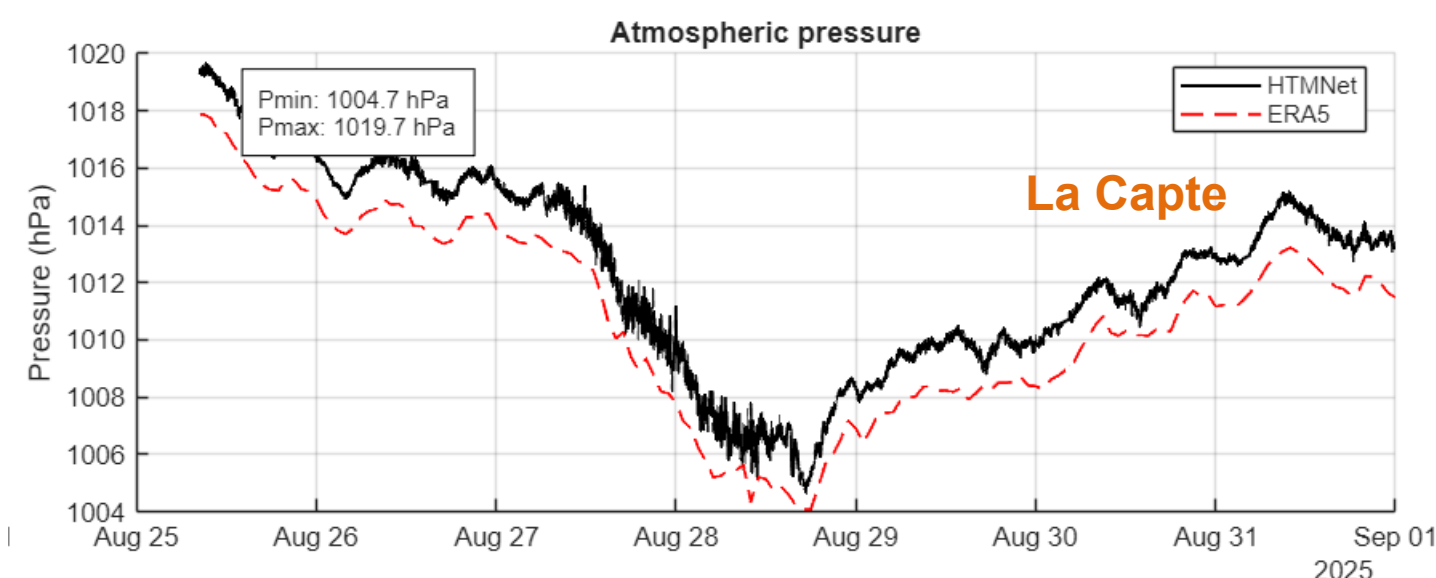
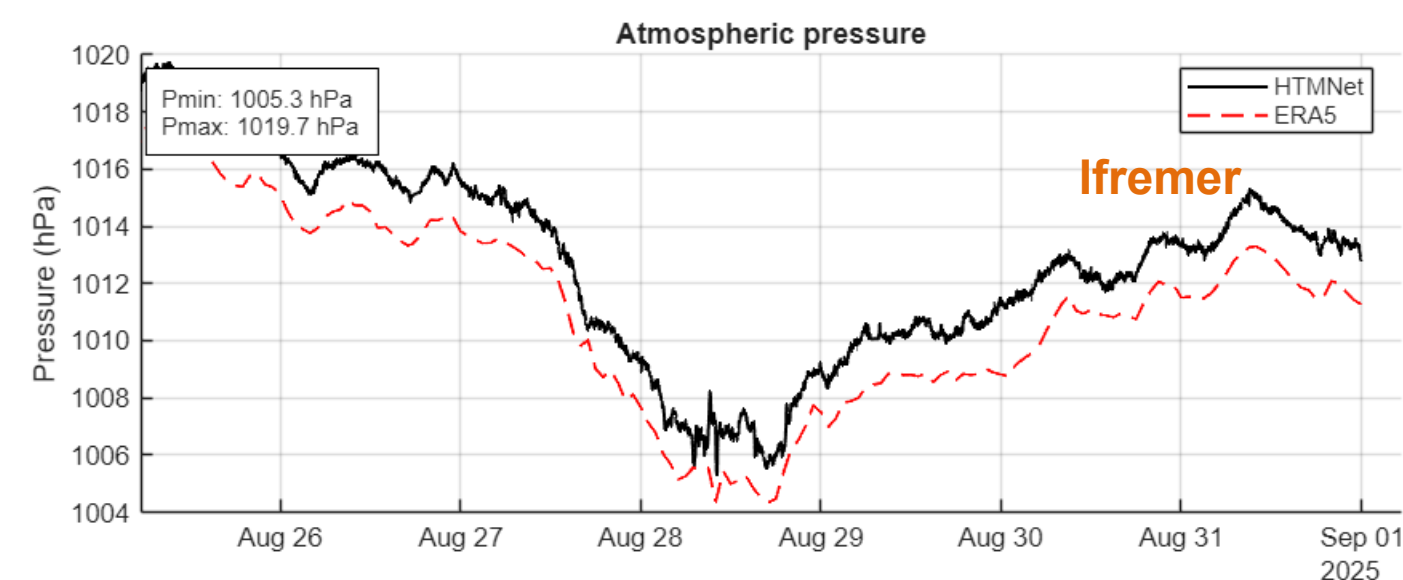


- La pression locale HTM-Net est privilégiée ; ERA5 sert de contrôle régional
- Le minimum de pression est cohérent sur le réseau
- Premier ordre attendu : ≈ 1 cm de niveau par hPa de baisse en équilibre hydrostatique

L'IB classique suffit-il ?

*Composante lente : ajustement harmonique des composantes semi-annuelle (Ssa) et annuelle (Sa) sur une fenêtre d'un an centrée sur l'événement.

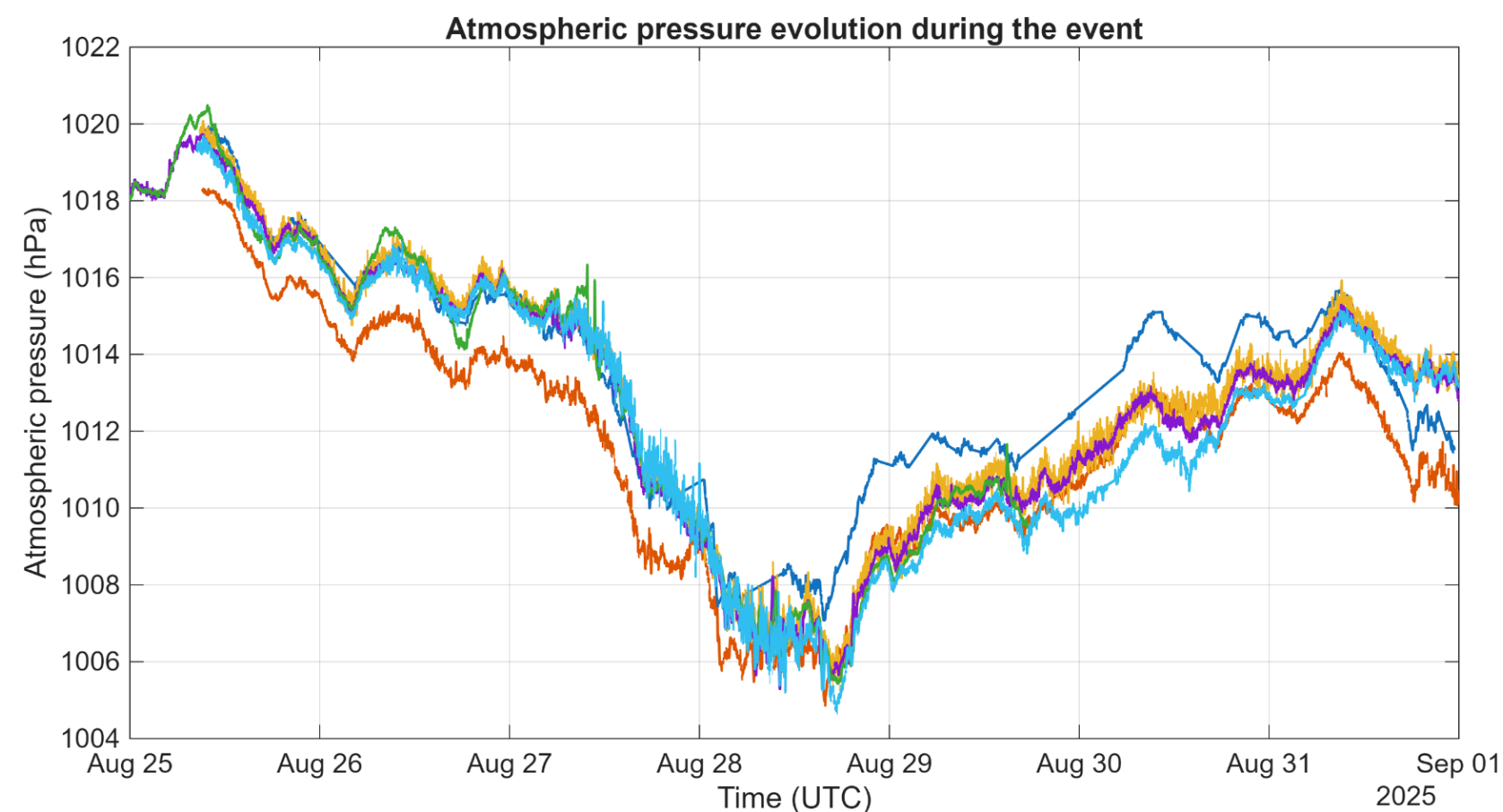
Alternative implémentée : proxy thermostérique $H\alpha(T - T_{ref})$.



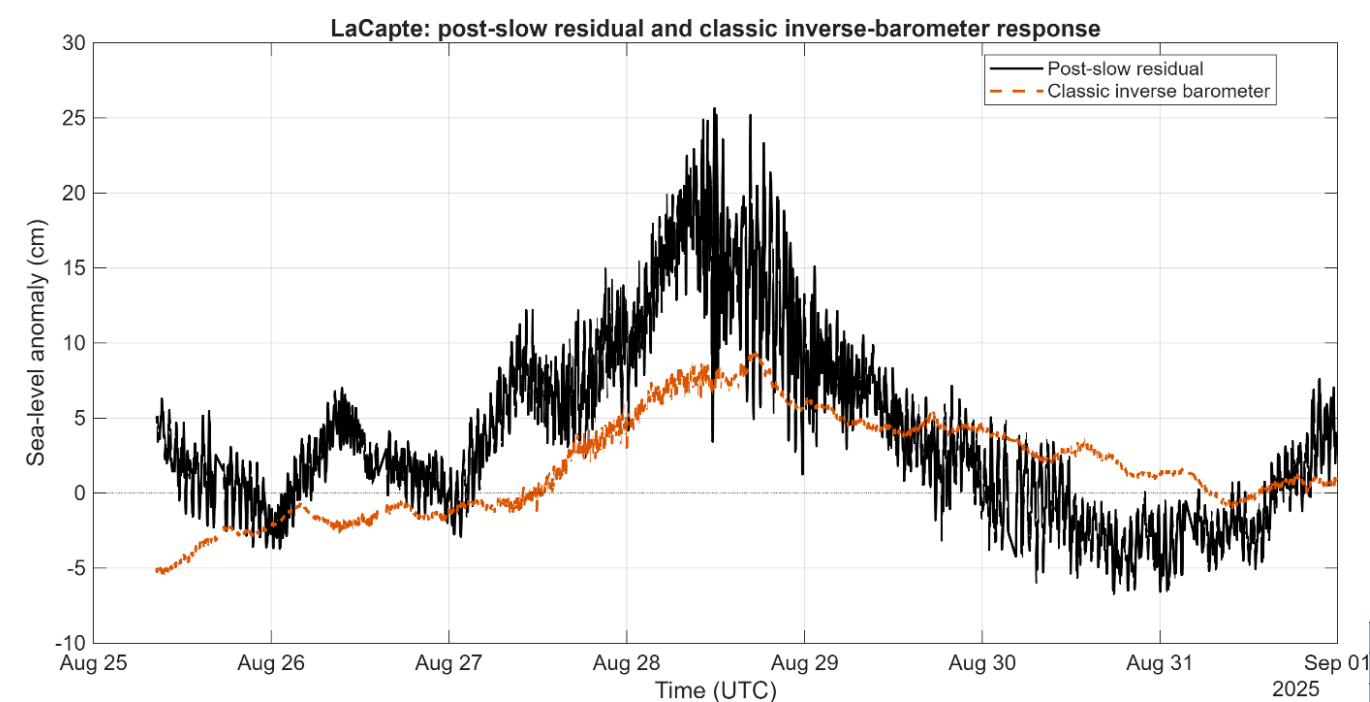
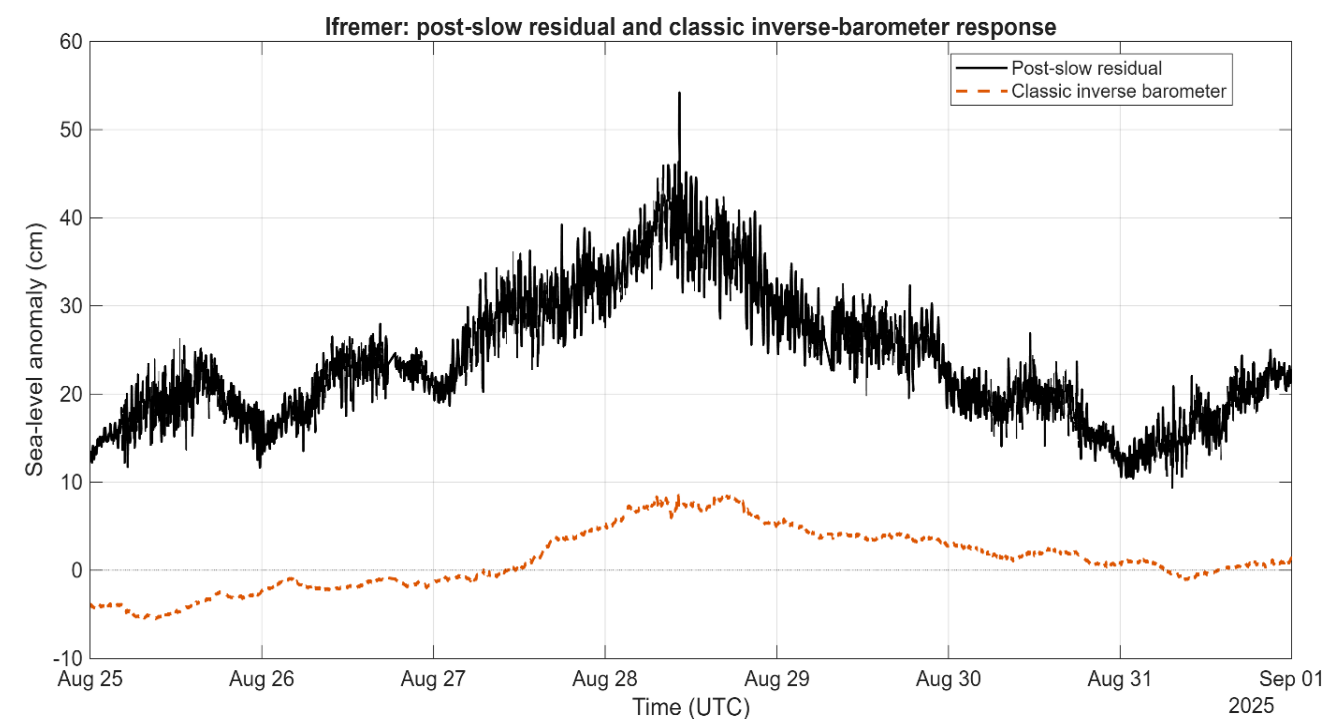
➤ Décomposition phénoménologique

Niveau d'eau mesuré - marée astronomique → **Résidu 1** - composantes lentes → **Résidu 2 événementiel** - **effet barométrique inverse (Ponte, 2006)** → **signal dynamique restant**

➤ Pression atm. : un forçage régional bien observé



- La pression locale HTM-Net est privilégiée ; ERA5 sert de contrôle régional
- Le minimum de pression est cohérent sur le réseau
- Premier ordre attendu : ≈ 1 cm de niveau par hPa de baisse en équilibre hydrostatique



$$\eta_{IB} \approx \Delta \zeta = \frac{\Delta P_a}{\rho g}$$

station	residual_peak_cm	IB_at_peak_cm	IB_peak_percent
Carro	29,9	7,5	25,1
Redonne	41,9	7,9	18,8
StElme	33,1	7,3	22,1
Ifremer	54,2	7,4	13,7
LesOursinieres	36,2	8,0	22,2
LaCapte	25,6	7,6	29,5

L'IB classique ne suffit pas

➤ Une réponse barométrique effective supérieure à la valeur hydrostatique idéale...

Sensibilité effective $\alpha \approx 1.1\text{--}1.5 \text{ cm hPa}^{-1}$

$$\eta_{IB \text{ dynamique}} = \text{movmean}(\eta_{IB}, 6) \rightarrow \eta_{non \text{ iso}} = \eta_{IB \text{ dynamique}} - \eta_{IB} \rightarrow \text{residu}_2(t) = \alpha_P * \eta_{IB}$$

α_P : an event-scale pressure–sea-level sensitivity coefficient

$\alpha_P > 1$: une partie de la réponse océanique n’est pas expliquée par l’effet IB classique

station	alpha_IB	R2_alpha	RMSE_classic_cm	RMSE_effective_cm
Carro	1,60	0,51	4,9	4,6
Redonne	1,58	0,53	15,3	4,4
StElme	1,19	0,39	6,6	4,9
Ifremer	1,54	0,53	23,1	5,0
LesOursinieres	1,11	0,08	21,1	15,6
LaCapte	1,13	0,40	5,2	4,7

... Confirmée dans la littérature

Pressure–surge sensitivity

Region & condition	Typical Δ sea level per hPa	Citations
Spanish Mediterranean, storms <40 h	Up to 2–3 cm/hPa	(Toledo, 2024)
Spanish Atlantic/Cantabrian	~1.5 cm/hPa; generally 1–2 cm/hPa	(Toledo, 2024)
Mediterranean (longer events >80 h)	Tends toward ~1.2 cm/hPa	(Toledo, 2024)

Figure 2 Higher Mediterranean than Atlantic sea-level sensitivity to pressure.

➤ Une réponse barométrique effective supérieure à la valeur hydrostatique idéale...

$$\eta_{IB \text{ dynamique}} = \text{movmean}(\eta_{IB}, 6) \rightarrow \eta_{non \text{ iso}} = \eta_{IB \text{ dynamique}} - \eta_{IB} \rightarrow \text{residu}_2(t) = \alpha_P * \eta_{IB}$$

α_P : an event-scale pressure–sea-level sensitivity coefficient

$\alpha_P > 1$: une partie de la réponse océanique n'est pas expliquée par l'effet IB classique

station	alpha_IB	R2_alpha	RMSE_classic_cm	RMSE_effective_cm
Carro	1,60	0,51	4,9	4,6
Redonne	1,58	0,53	15,3	4,4
StElme	1,19	0,39	6,6	4,9
Ifremer	1,54	0,53	23,1	5,0
LesOursinieres	1,11	0,08	21,1	15,6
LaCapte	1,13	0,40	5,2	4,7

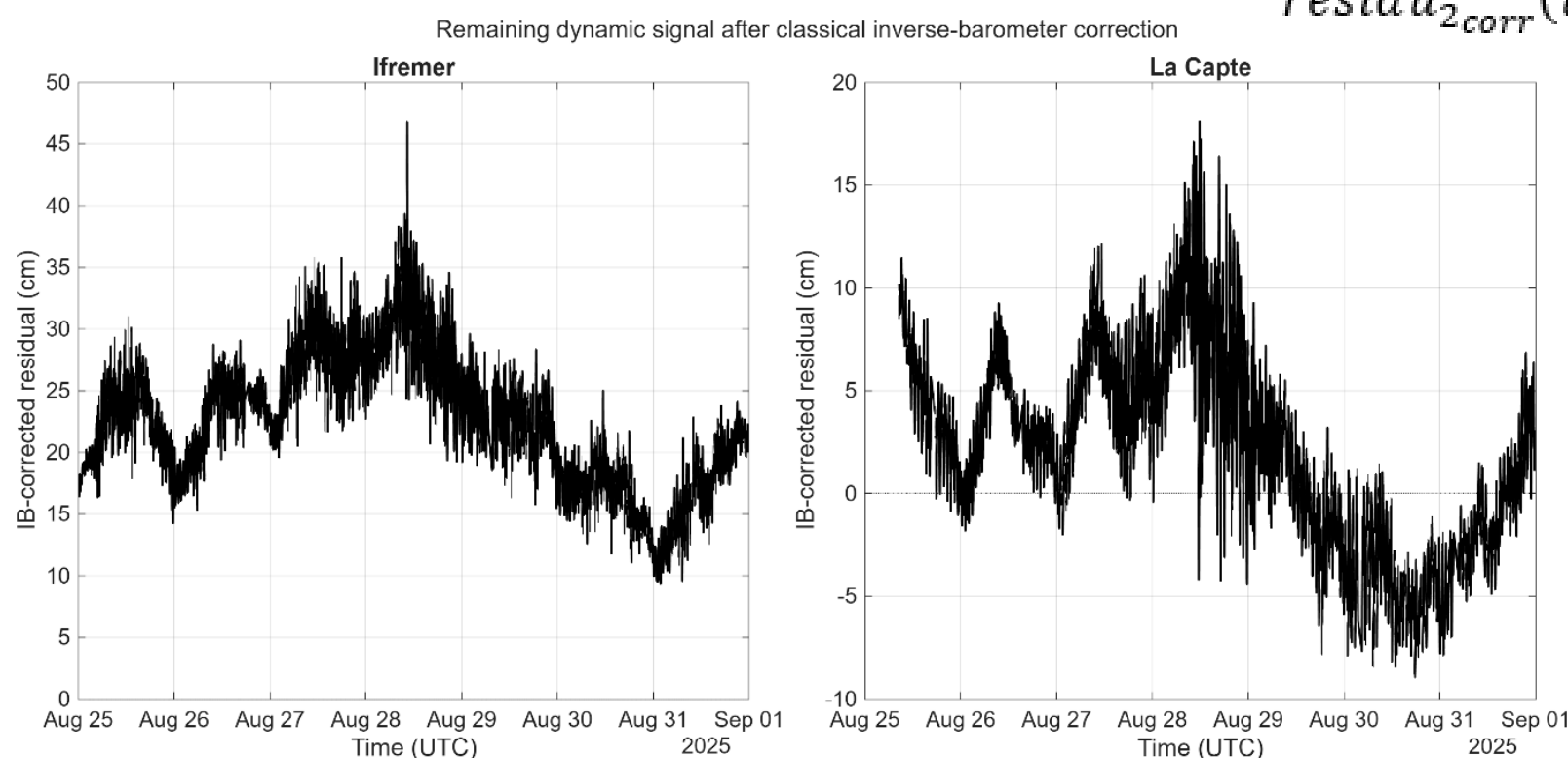
... Confirmée dans la littérature

Pressure–surge sensitivity

Region & condition	Typical Δ sea level per hPa	Citations
Spanish Mediterranean, storms <40 h	Up to 2–3 cm/hPa	(Toledo, 2024)
Spanish Atlantic/Cantabrian	~1.5 cm/hPa; generally 1–2 cm/hPa	(Toledo, 2024)
Mediterranean (longer events >80 h)	Tends toward ~1.2 cm/hPa	(Toledo, 2024)

Figure 2 Higher Mediterranean than Atlantic sea-level sensitivity to pressure.

Reste-t'il encore une réponse atmosphérique après le retrait de la surcote barométrique de Ponte ?



$$\text{residu}_{2 \text{ corr}}(t) = \text{residu}_2(t) - \eta_{IB}$$

$$\rightarrow \text{residu}_{2 \text{ corr}}(t) = \beta_{P, \text{res}} * P_{\text{atm}}$$

$\beta_{P, \text{res}} \neq 0$: une partie de la variabilité du niveau d'eau côtier résiduel est toujours corrélée avec la pression atmosphérique.

→ signature résiduelle liée à la pression avec des décalages de plusieurs heures : réponse dynamique/non-isostatique suggérée, sans attribution unique

lags obtenus sont trop variables entre stations pour en proposer ici une interprétation physique robuste

station	beta_cm_per_hPa	R2_beta	ccmax	lag_hours
Carro	0,6	0,13	0,37	-4,4
Redonne	0,6	0,13	0,41	-7,1
StElme	0,2	0,02	0,30	-18,2
Ifremer	0,5	0,12	0,49	-9,3
LesOursinieres	0,1	0,00	0,13	-5,0
LaCapte	0,1	0,01	0,34	-18,6

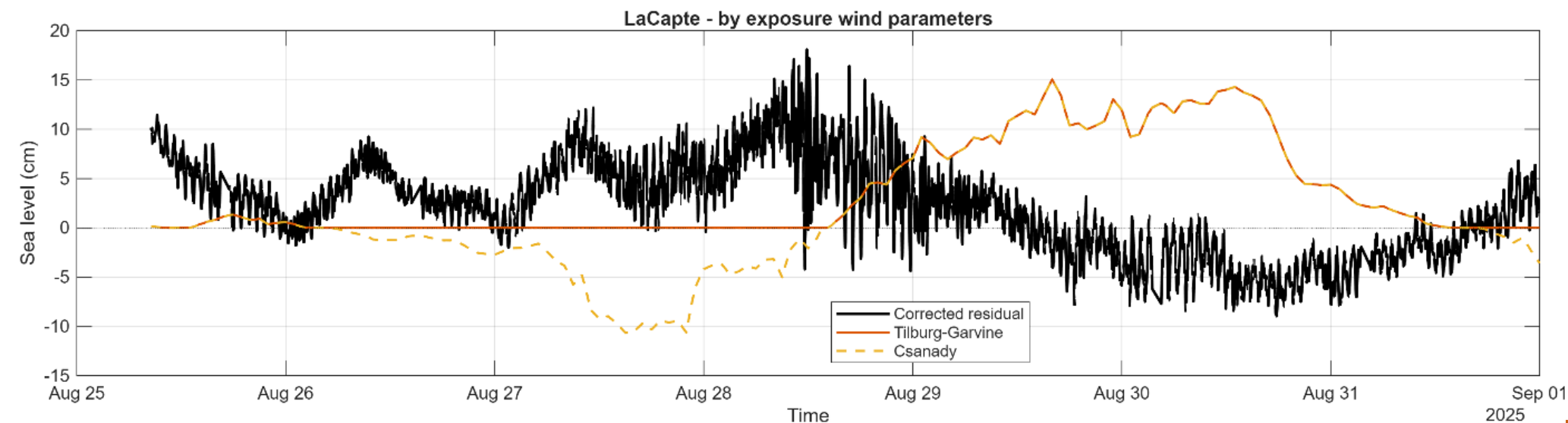
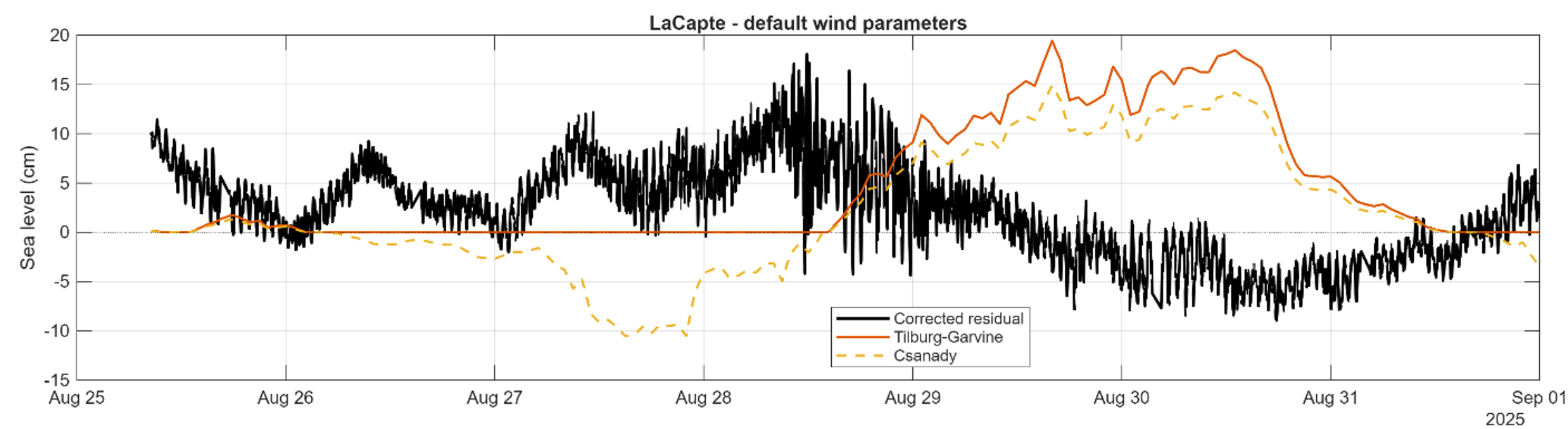
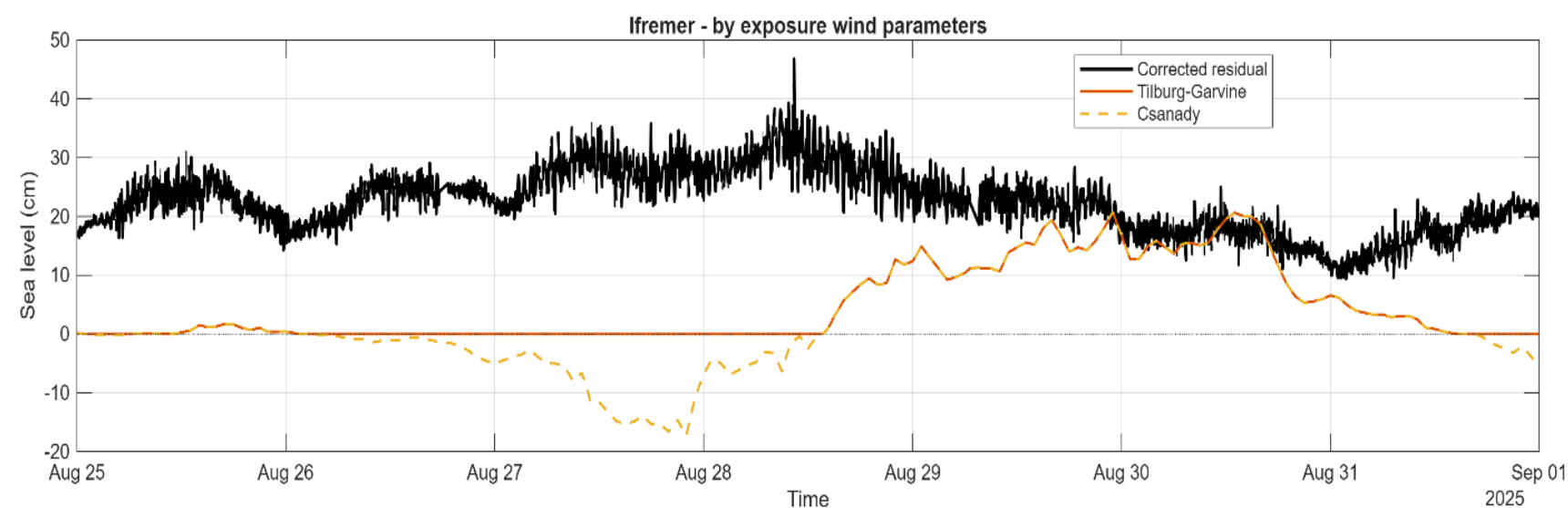
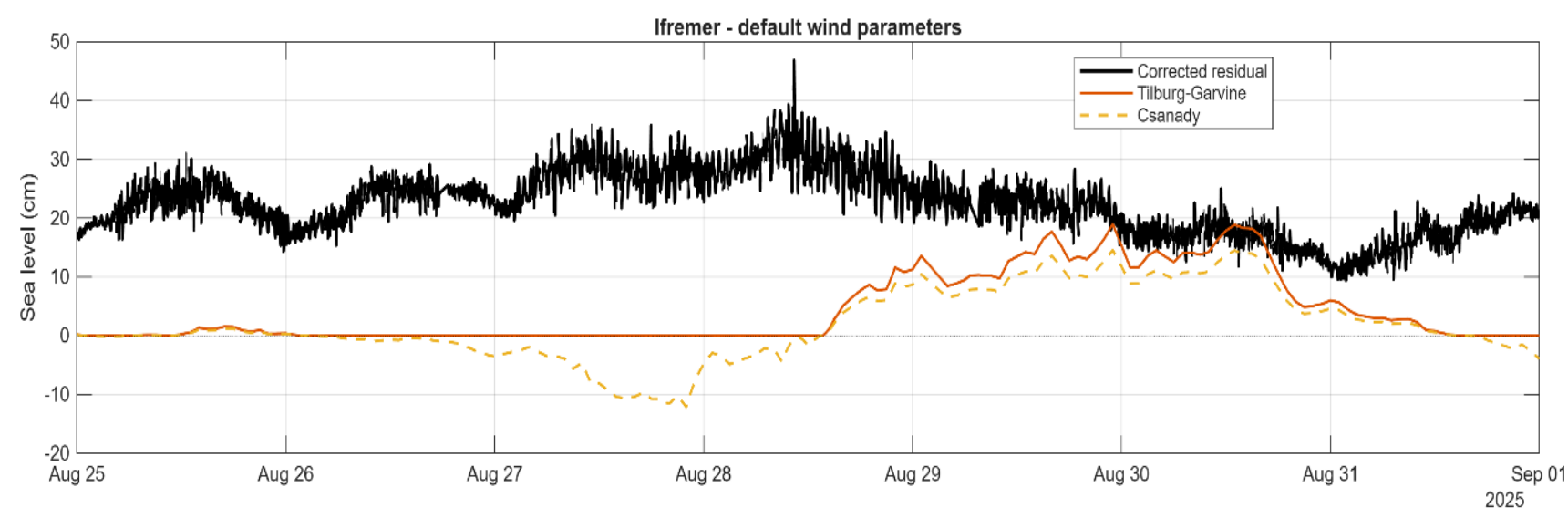
➤ **Le vent : bonne amplitude, mauvaise chronologie** Jeu de paramètres « par défaut »

Les modèles peuvent atteindre un ordre de grandeur réaliste (jusqu'à ~62–86 % du signal dynamique restant selon le cas),
mais les maxima ne coïncident pas = pas d'attribution quantitative.

station	exposure	obs_peak_cm	tilburg_cm	tilburg_ratio	csanady_cm	csanady_ratio
Carro	semi_open	22	19	86	15	66
Redonne	semi_open	34	21	62	16	48
StElme	semi_open	26	19	74	15	56
Ifremer	sheltered	47	19	40	15	31
LesOursinieres	semi_open	77	18	23	14	18
LaCapte	open	18	19	107	15	82

Jeu de paramètres « par exposition »

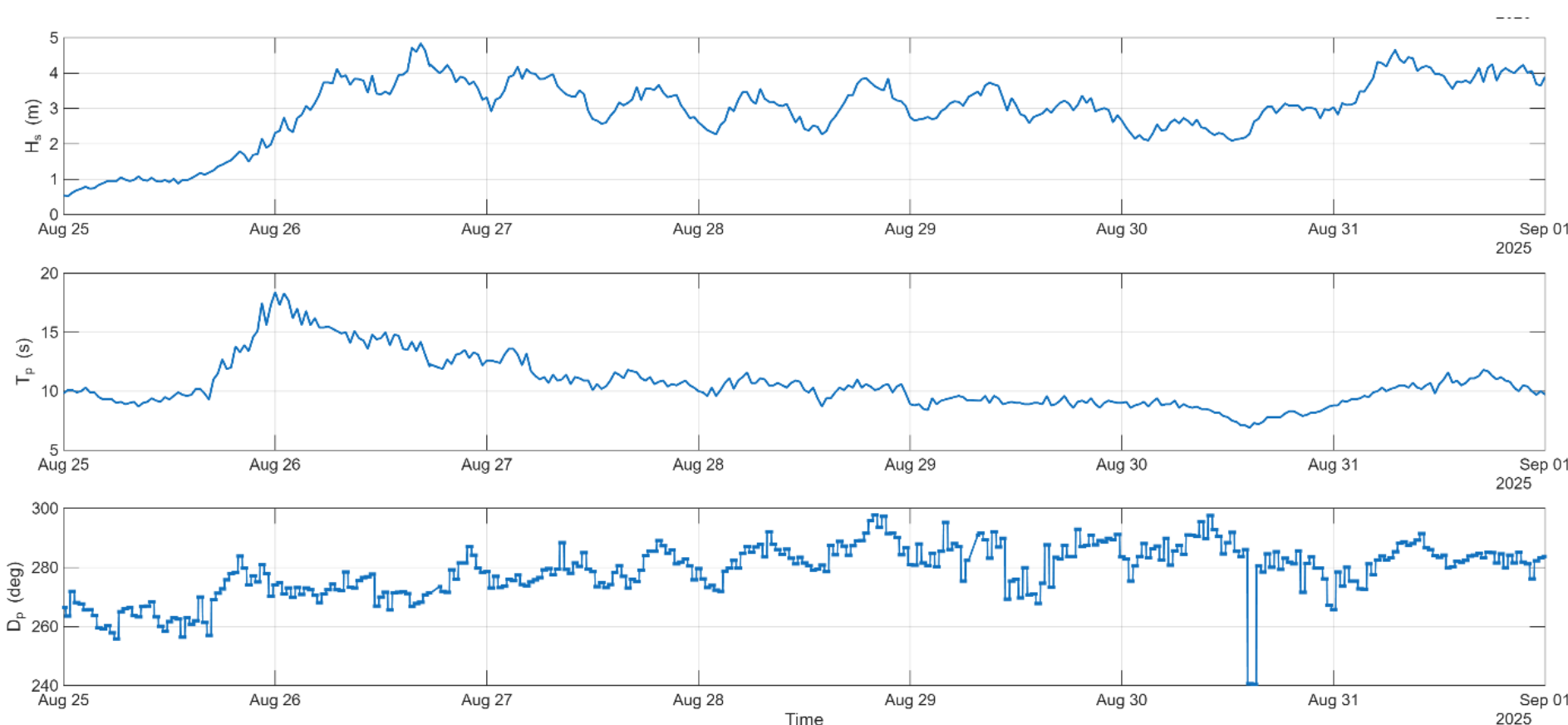
station	obs_peak_cm	tilburg_cm	tilburg_ratio	csanady_cm	csanady_ratio
Carro	22	17	75	17	75
Redonne	34	18	54	18	54
StElme	26	16	64	16	64
Ifremer	47	21	44	21	44
LesOursinieres	77	15	20	15	20
LaCapte	18	15	83	15	83



➤ Les vagues : contribution possible mais...

- 1 seule bouée CANDIS pour les données de houle au large

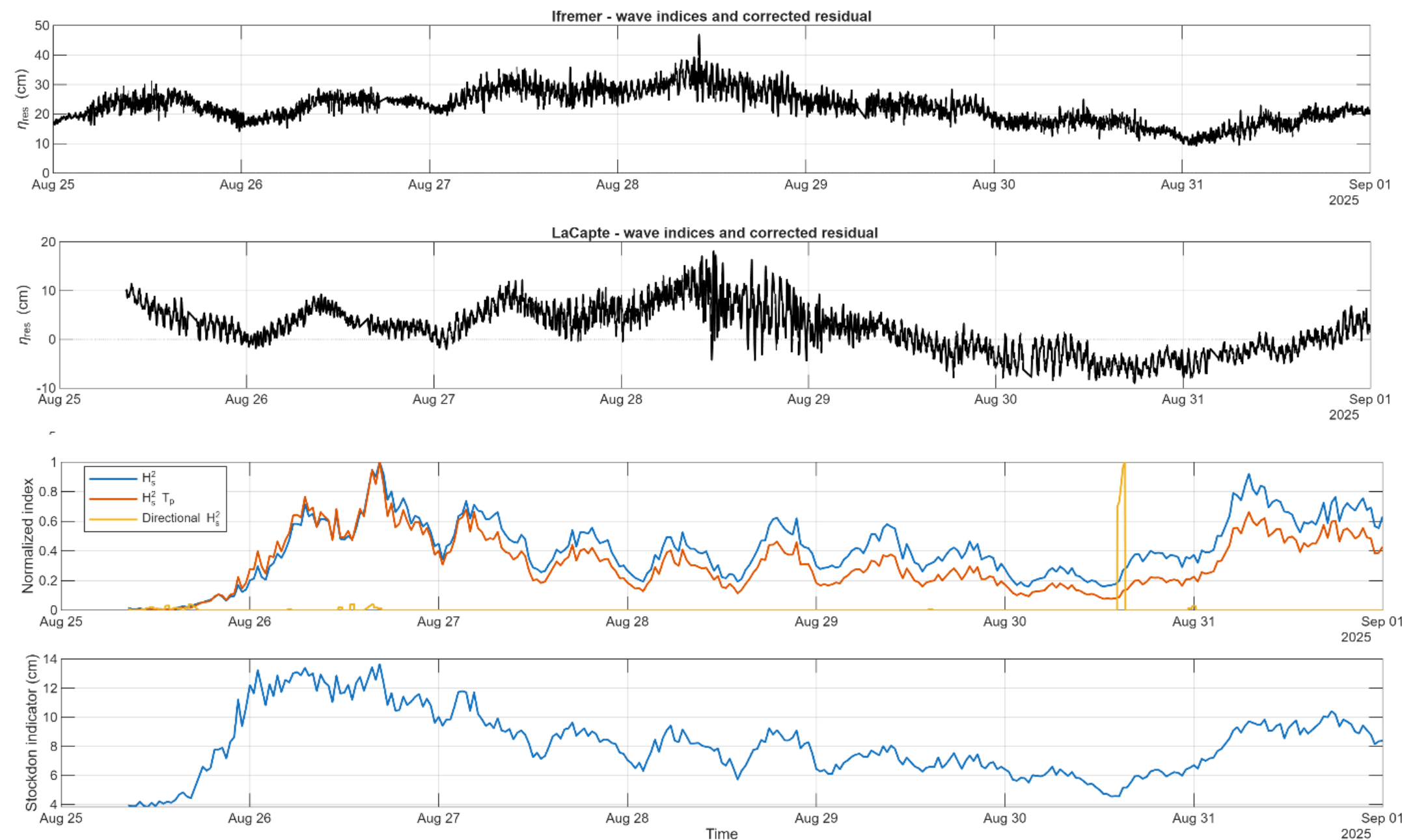
station	exposure_type	Hs_mean_m	Hs_max_m	Tp_mean_s	Tp_max_s	corr_Hs_res	corr_Tp_res
Ifremer	sheltered	2,96	4,83	10,7	18,4	0,02	0,14
LaCapte	open	3,08	4,84	10,7	18,4	-0,03	0,29
LesOursinieres	semi_open	2,83	4,83	11,4	18,4	-0,07	0,02



Indicateur basé sur le modèle de Stockdon (Stockdon et al., 2006)

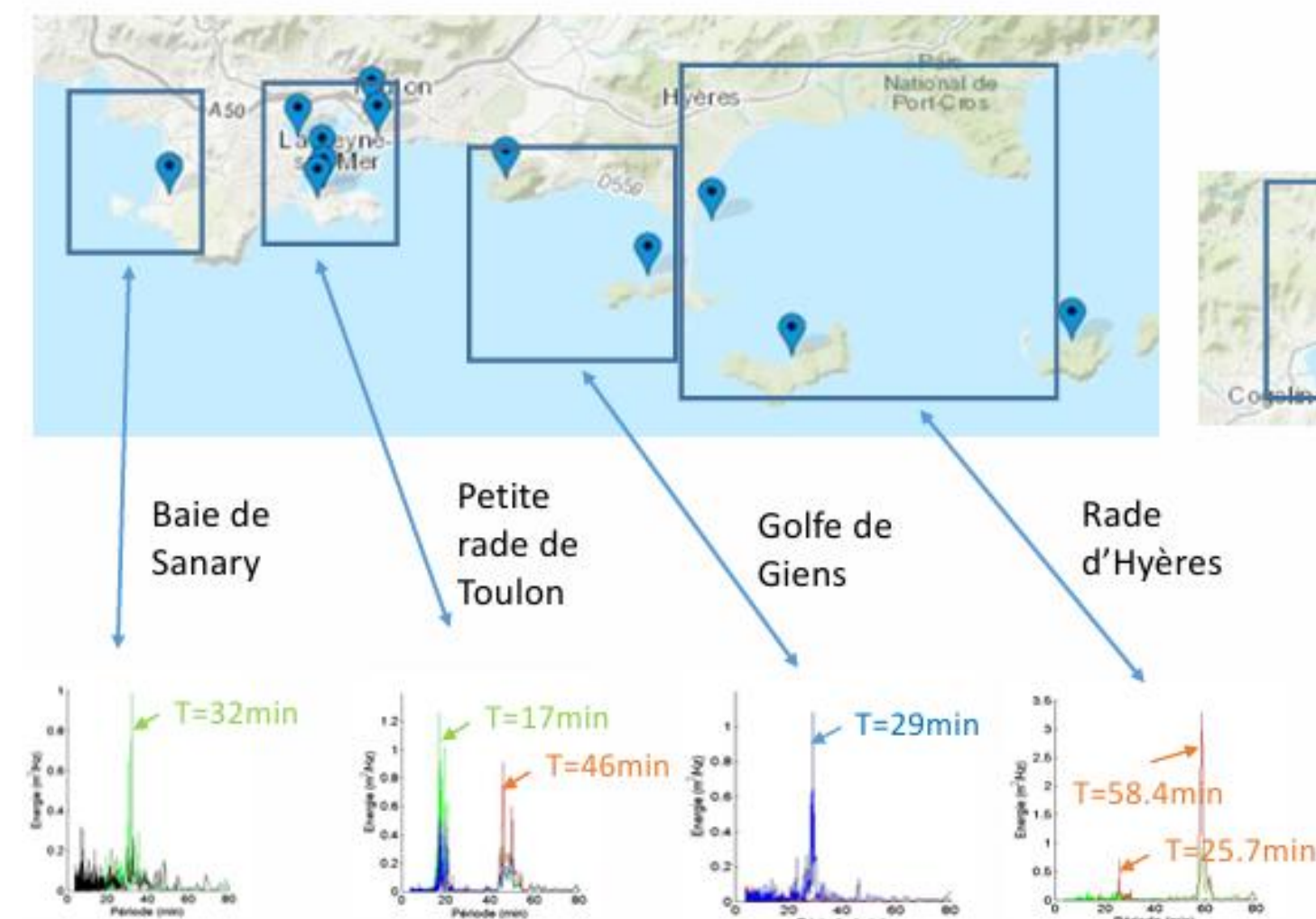
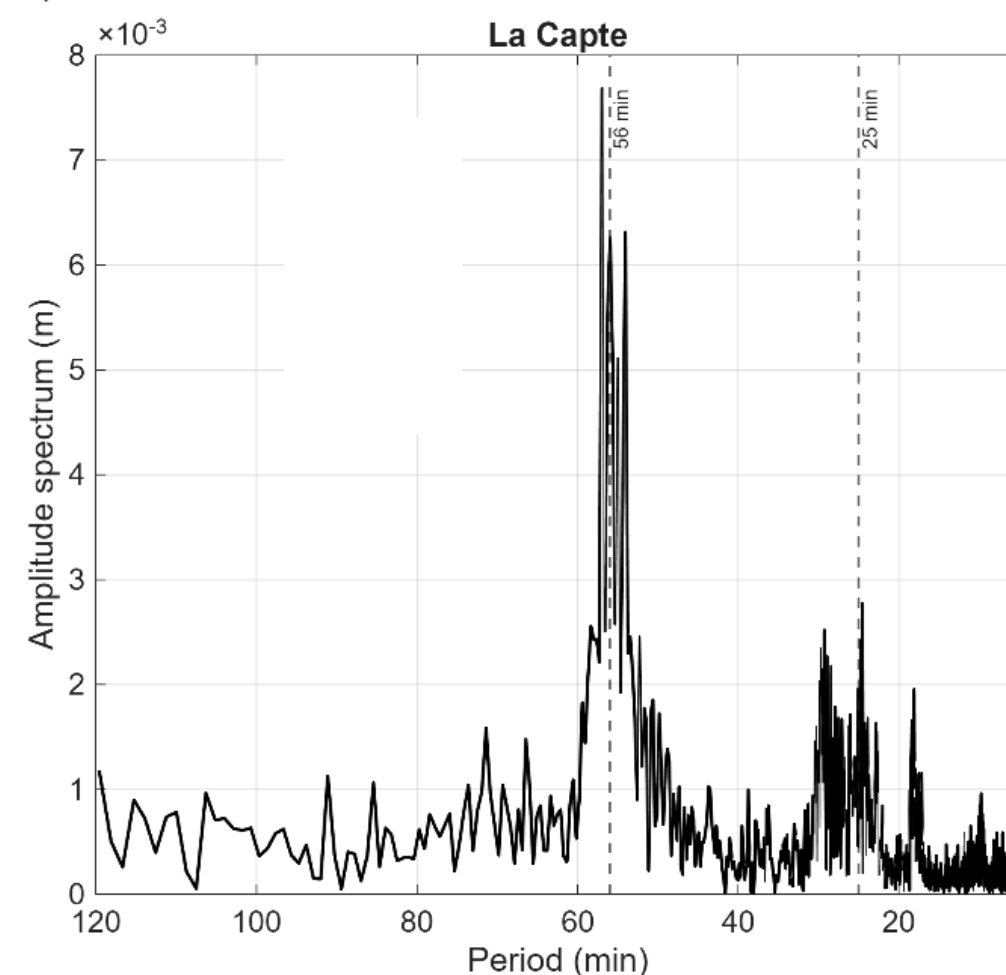
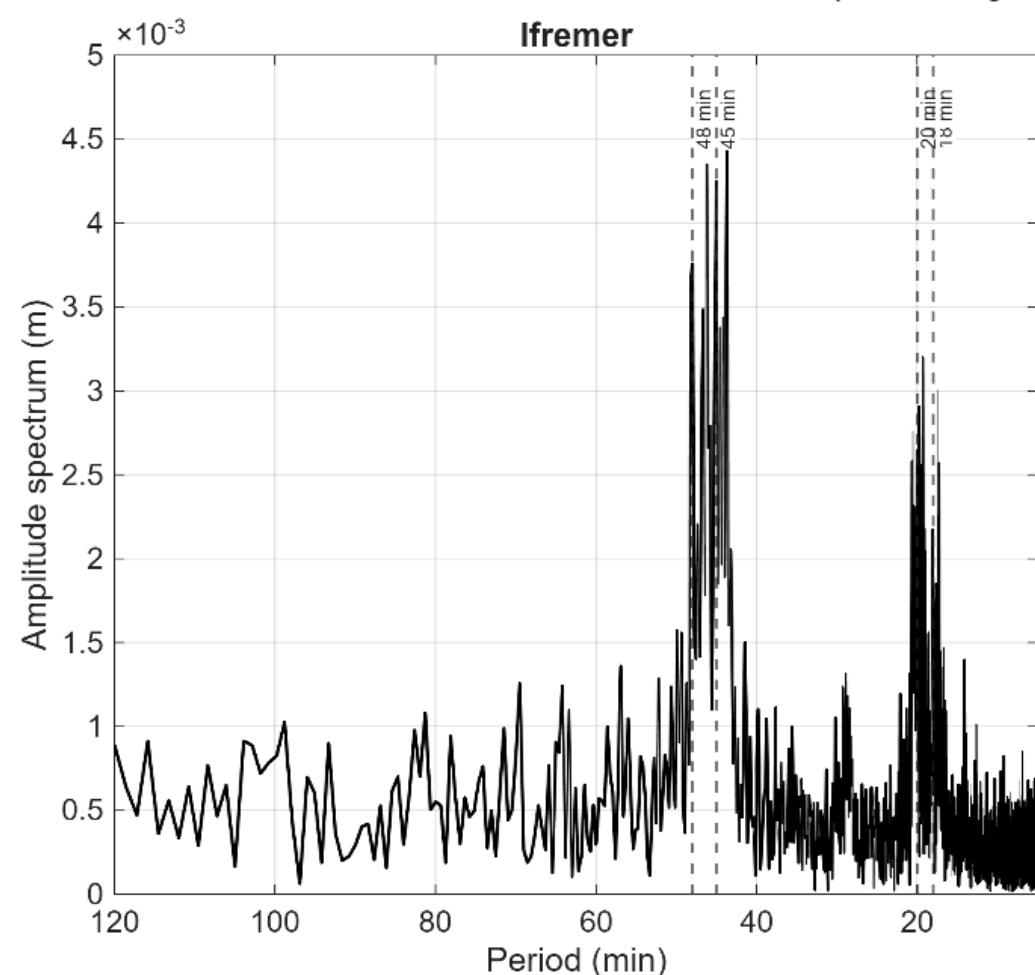
$$\eta_{stockdon} = 0.35 * s * \sqrt{H_s L_0} \quad L_0 = g * \frac{T_p^2}{2\pi}$$

- Corrélation temporelle faible entre proxy de vagues et résidu côtier corrigé
- Proxy de Stockdon : ordre de grandeur ~12–14 cm
- Pics de vagues les 26–27 août, avant le maximum du résidu le 28 août
- Couplage vent-houle améliore légèrement l'amplitude mais échoue aussi sur la dynamique temporelle
- Pas de lag physique simple



➤ Résonances locales : des périodes propres présentes pendant l'évènement

Spectral diagnostic of post-slow residuals



On retrouve les périodes propres des baies identifiées dans la littérature (Rey et al., 2020), mais sont-elles amplifiées par la tempête ?

Méthode : le **résidu 1** est découpé en segments continus ≥ 12 h, puis filtré dans les bandes correspondant aux périodes propres connues ; leur amplitude est quantifiée par une **RMS calculée sur une fenêtre glissante de 2 h** et comparée entre l'évènement et la période de référence hors évènement.

➤ Résonances locales : des périodes propres présentes pendant l'évènement

Méthode | La Capte

Fenêtre analysée : 01/07–05/09/2025

Pas temporel : 2 min

Données valides : 90,2 %

43 segments continus ≥ 12 h

→ 1 232 h (~51 jours) analysées

Filtrage dans les bandes propres :

22–30 min et 50–65 min

Amplitude : RMS glissante 2 h

Comparaison événement / référence hors événement

Excitation des résonances locales pendant l'évènement

Ifremer — périodes propres ~18 et 46 min

Amplitude RMS médiane $\times 1,39$ et $\times 1,53$

Maxima aux 98,9e et 100e percentiles de référence

La Capte — périodes propres ~26 et 58 min

Amplitude RMS médiane $\times 1,72$ et $\times 2,01$

Maxima aux 100e et 99,9e percentiles de référence

→ **Amplification nette de la réponse RMS dans les bandes de résonance propres aux sites pendant l'évènement**

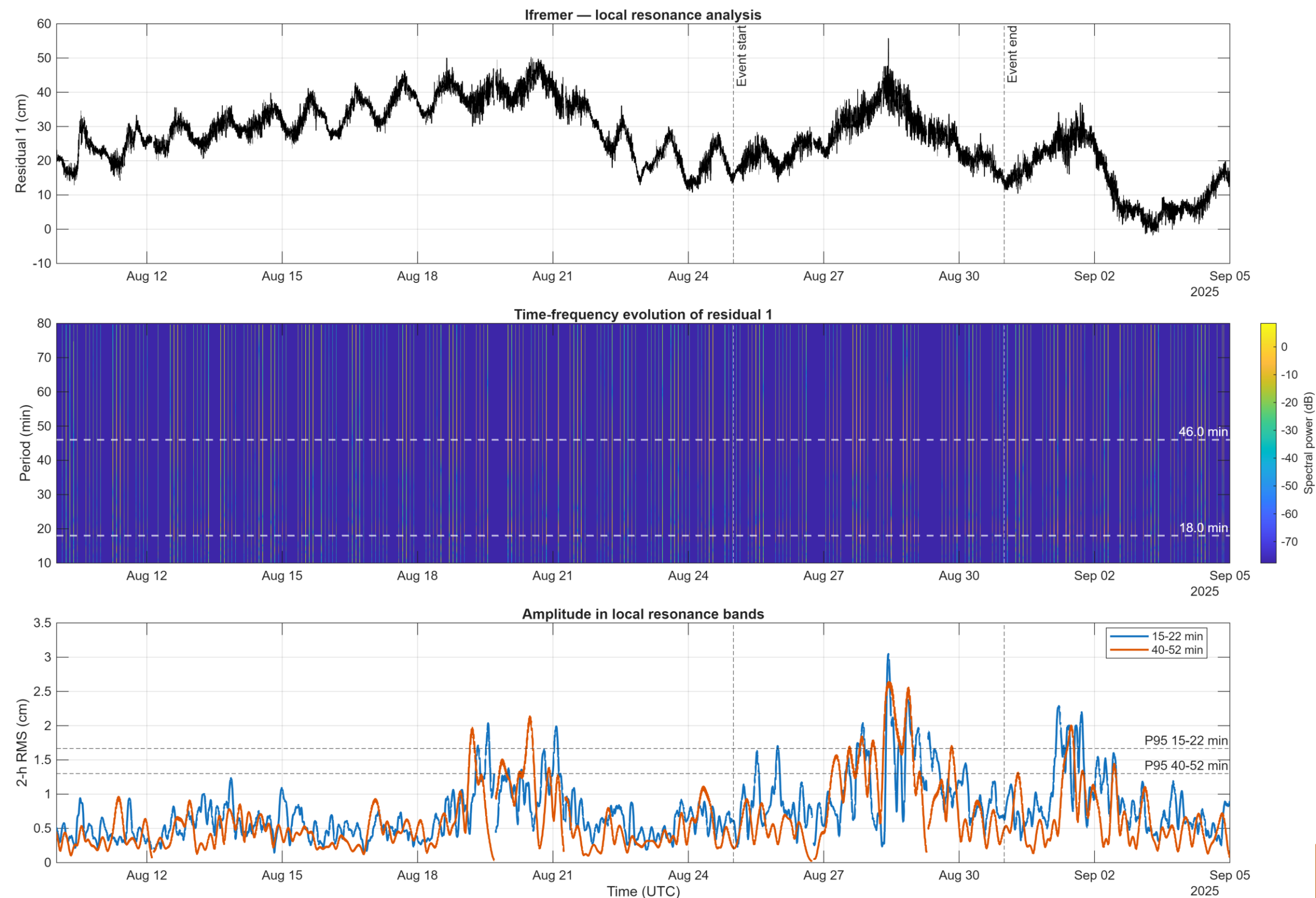
Ifremer

99,5 %

10 segments continus

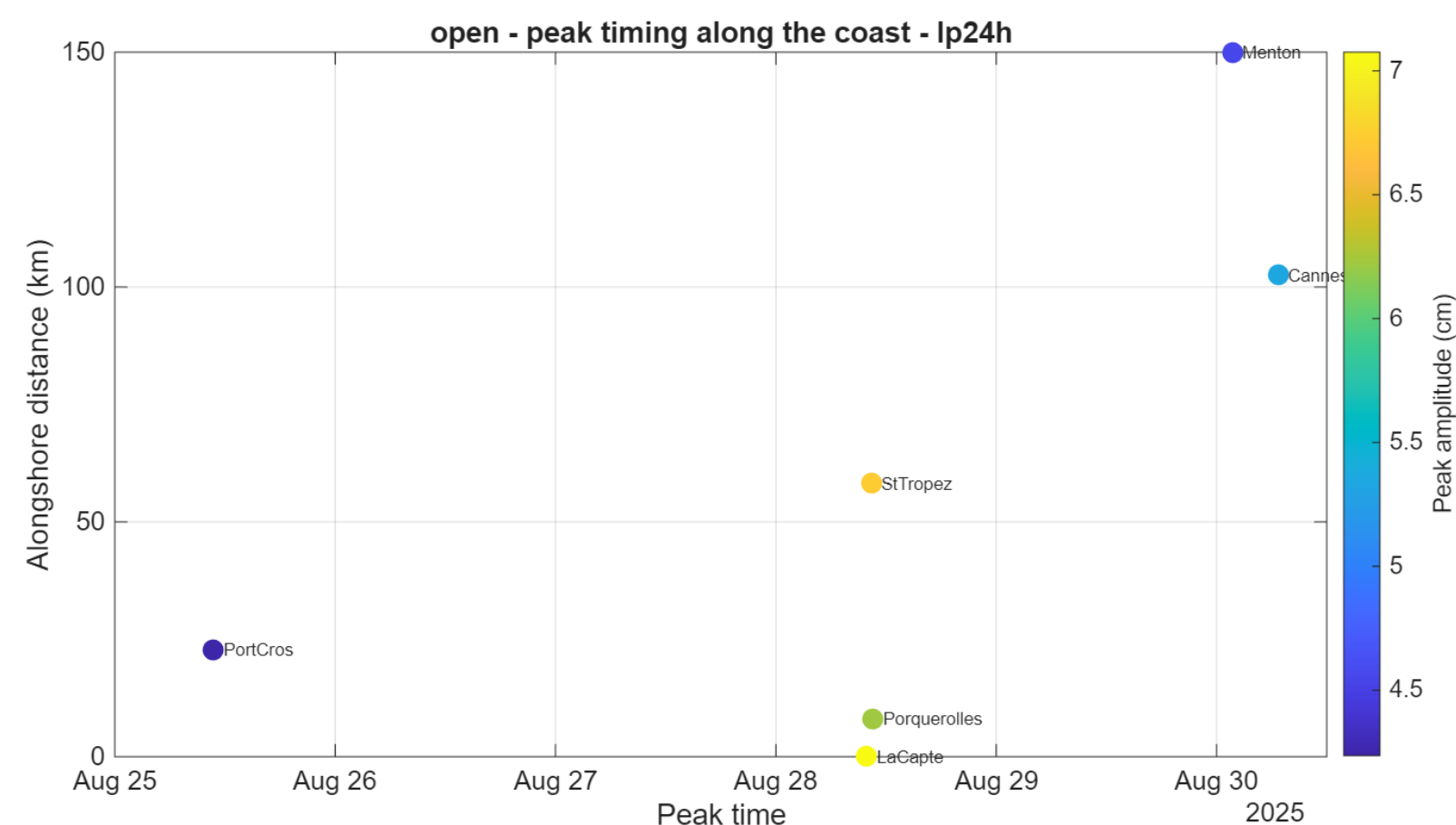
1576 h (~66 jours)

15-22 min et 40-52 min



➤ Une forte cohérence régionale, sans propagation côtière simple résolue

Stations ouvertes : À l'échelle 24–36 h : forte cohérence régionale, sans front de propagation côtière simple résolu



Deux diagnostics indépendants Temps de pic vs distance côtière

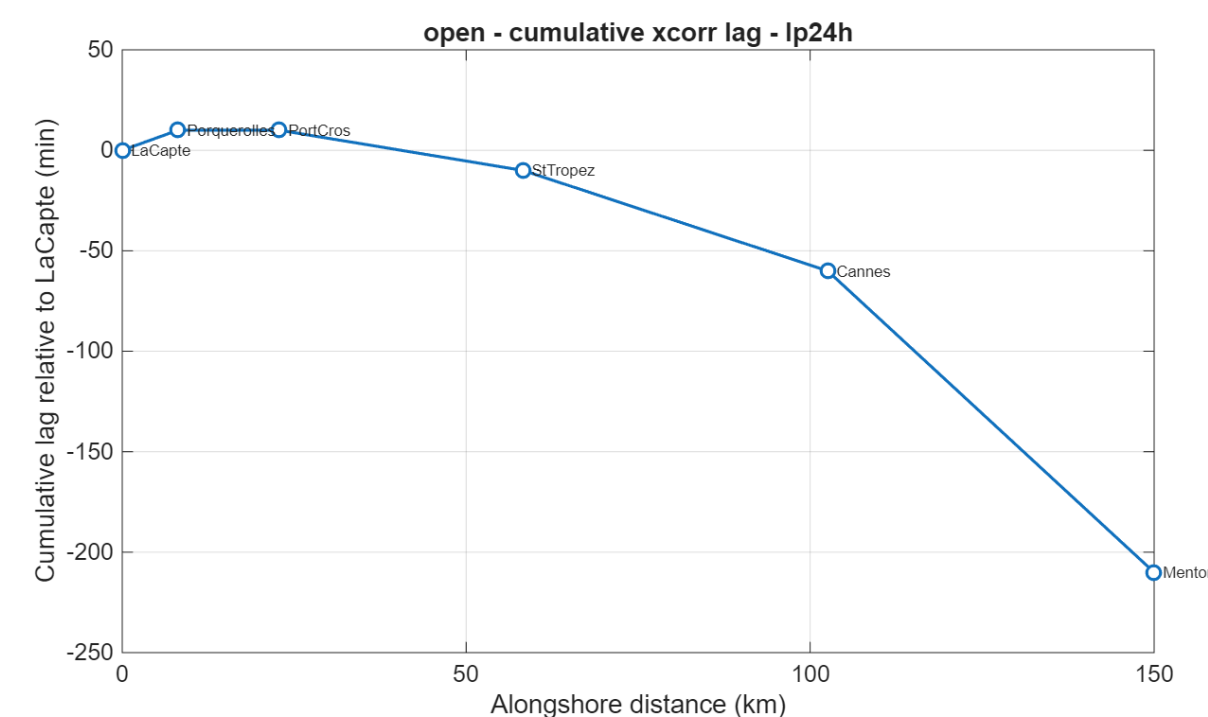
→ pas de progression monotone

Intercorrélation entre stations ouvertes adjacentes

→ $r = 0,72-0,98$

→ décalages généralement nuls ou < 20 min

⇒ pas de vitesse de propagation robuste identifiable



Corrélations entre stations ouvertes adjacentes : 0.72–0.98 ;
la plupart des décalages sont nuls ou <20 min.

L'événement apparaît surtout comme une réponse régionale cohérente, localement modulée.

➤ Conclusions

Décomposition phénoménologique de la surcôte enregistrée autour du 28 août 2025 :

- Pression : contribution majeure, mais réponse effective supérieure à l'IB classique
- Vent : ordre de grandeur plausible, chronologie insuffisante
- Vagues : contribution locale possible, maximum déphasé
- Résonances : amplification RMS aux périodes propres des sites
- Propagation : forte cohérence régionale sans onde côtière simple clairement démontrée

→ **Même tempête ≠ même niveau : 26 cm à La Capte, >54 cm à Ifremer.**

→ **Quantifier les forçages est nécessaire mais insuffisant : les mécanismes locaux modulent amplitude et fréquence.**

→ **Un réseau dense est nécessaire pour distinguer signal régional, amplification locale et représentativité d'une station.**

Liens et contacts : <https://htmnet.mio.osupytheas.fr/>

• Pytheas / MIO

Mediterranean Institute of Oceanography
 Université de Toulon, Bâtiment X, CS 60584, 83041 Toulon Cedex (France)
 Tél. : 04 94 14 24 16 - Fax : 04 94 14 24 17

Courriels:

- Responsable Scientifique: [Vincent Rey](#)
- Responsable Technique: [Tathy Missamou](#)
- Data Manager & Webmaster: [Didier Mallarino](#)

Remerciements :

Services DRV et DSIUN de l'UTLN
 Service SIP de l'Osua Pytheas
 Programme National d'Observation sur le Long Terme,
 ILICO DYNALIT
 Toulon Métropole TPM, Conseil Départemental 83
 (Contrats HTM-NET, OLBIA, CAPTILE, DYNAMER,
 ONDESUB)
 Shom, REFMAR (référencement et diffusion
 des données)
 MétéoFrance pour les données météorologiques

Implantation des stations:
 Toulon Métropole TPM
 Parc National de Port Cros (PNPC)
 Ville de Hyères
 Conseil Départemental 13
 La Ciotat Shipyards
 Ports de Menton Garavan,
 de Toulon Portelo, de St Tropez,
 de Cannes



Merci pour votre attention