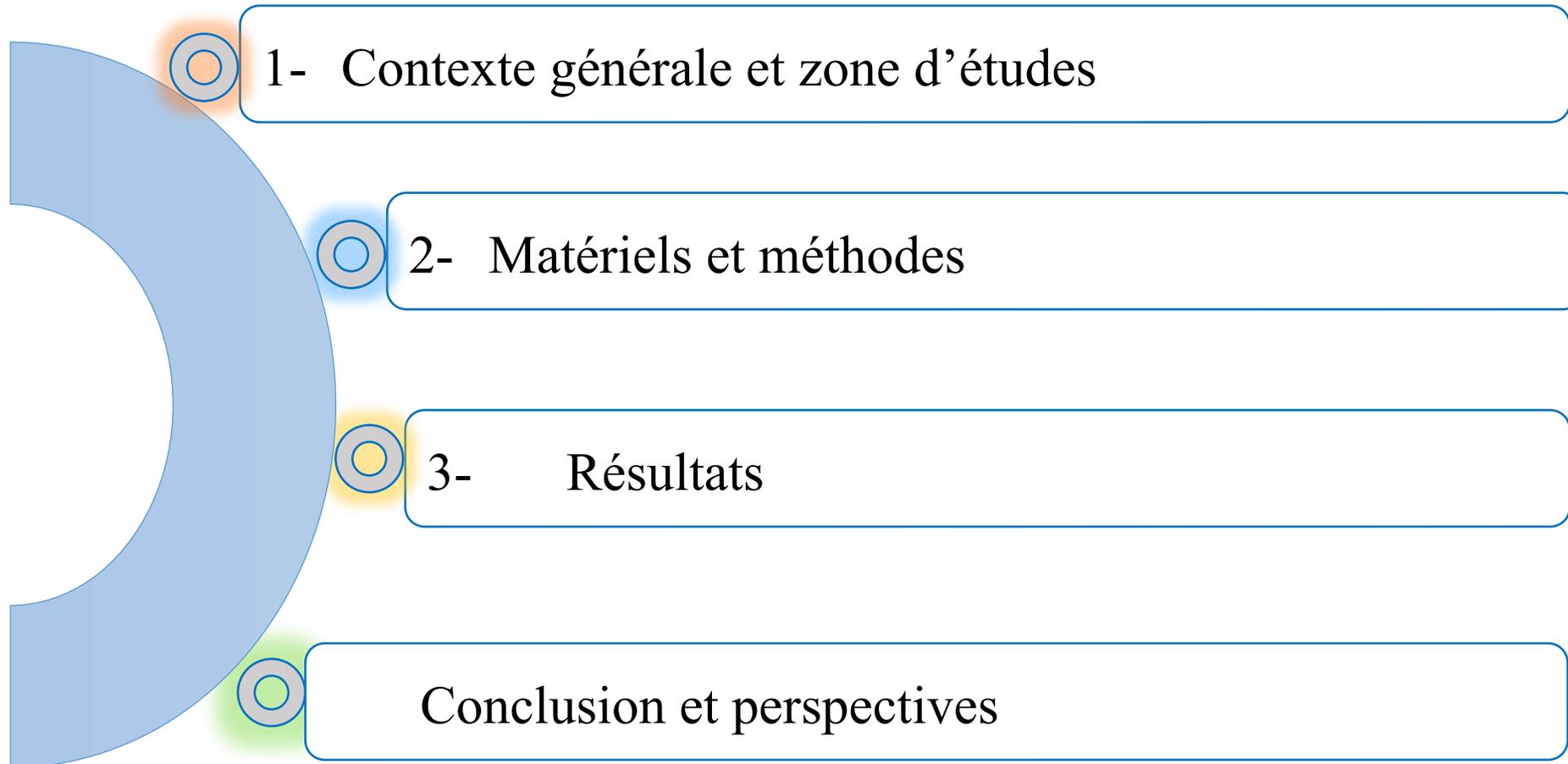


Dynamique de la marée dans l'estuaire du Wouri

Yannick FOSSI FOTSI
Ifremer, Brest

Nicolas Pouvreau (Shom), Isabelle Brenon (LIENSs), Yann Ferret (Shom), Alexa Latapy (Shom),
Raphaël Onguene (UDla), Dieudonné Jombe (PAD), Jacques Etame (UDla)

Plan



Contexte générale

LE MODELE ESTUARIN

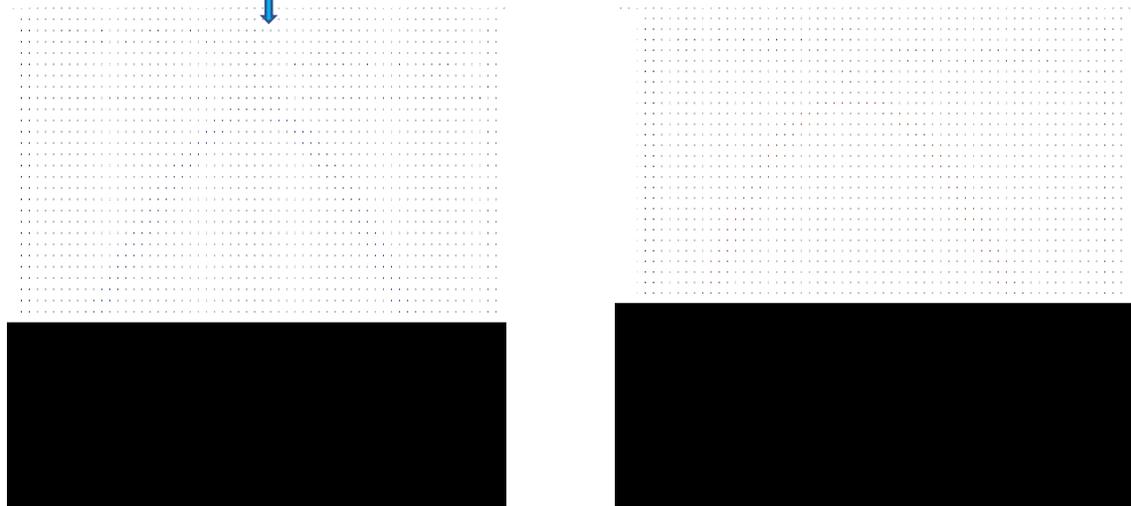
Interface océan/continent interface eau salée/eau douce

L'océan comme ressource

Echecs écologiques croissants

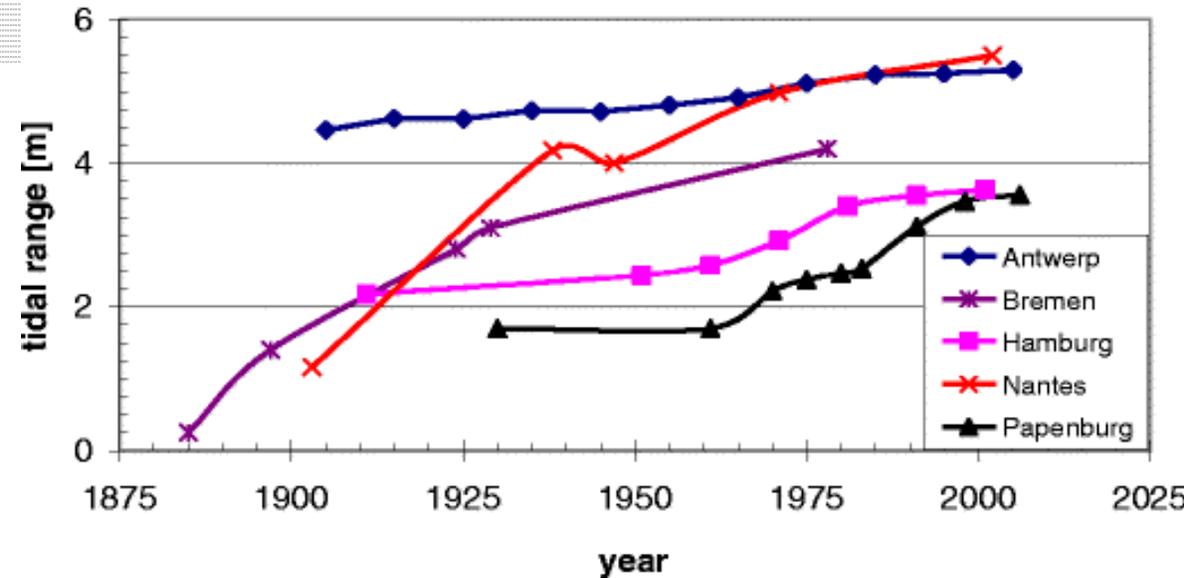
Mise en valeur touristique

L'estuaire comme lieu d'échouage



JC Winterwerp and ZB Wang (2013)

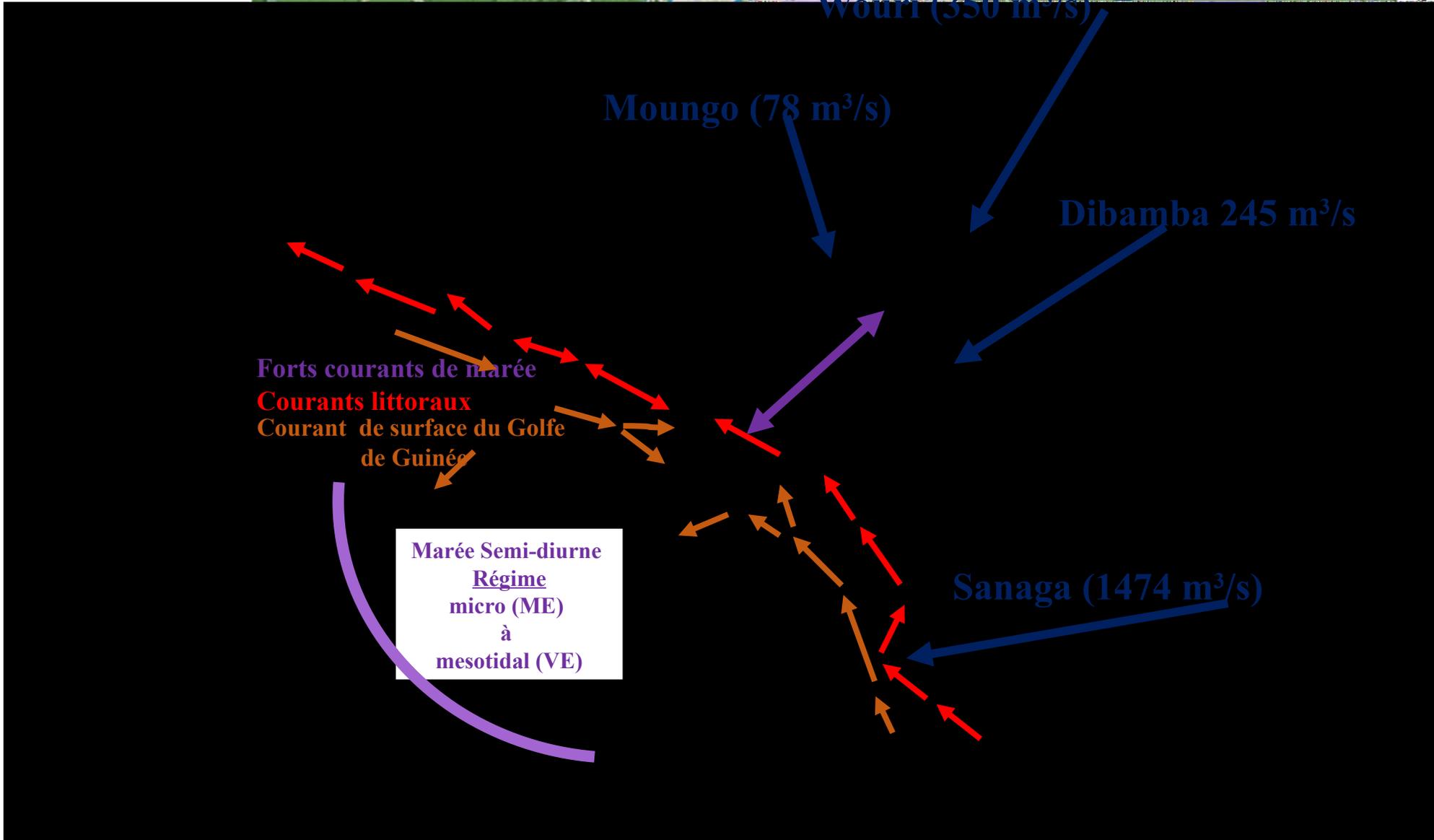
summary tidal evolution



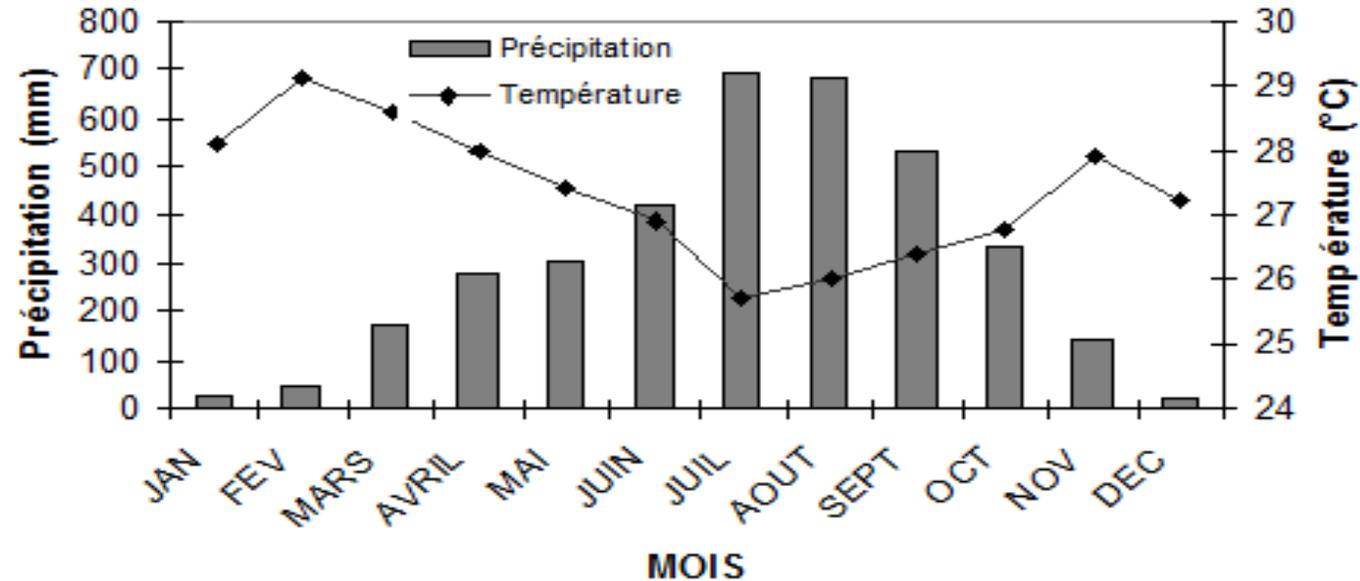
Évolution des marées dans cinq ports européens

8° 59' 30"

10° 20' 30"

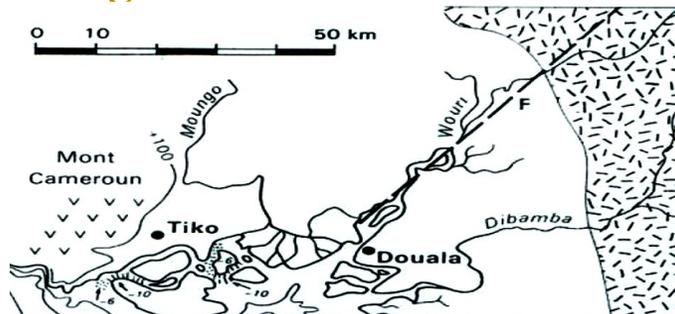


Climat : Equatorial Camerounien à 2 saisons (une longue saison de pluie et une courte saison sèche)



Histogramme des moyennes mensuelles des précipitations (1991-2002) et courbe de température moyenne mensuelle (Olivry 1985).

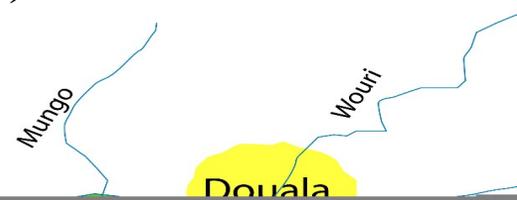
Géologie : Formation sédimentaire (Bassin sédimentaire de Douala)



- Sables à matrices argileuses
- Argiles
- Grès et argiles schisteuses,

Esquisse géologique du bassin de Douala (extrait du rapport Sogreah, 2006).

Couverture végétale : Mangrove de palétuvier



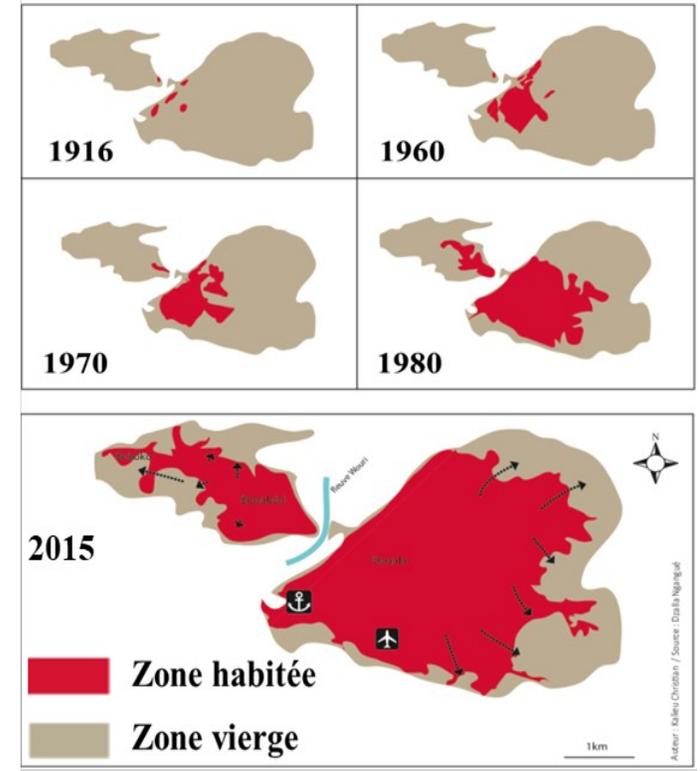
Superficie de la mangrove dans l'estuaire du Wouri.

Estuaire du Wouri ; Photos mangroves de Douala bordant les rives du Wouri, illustrant le mur végétal infranchissable.

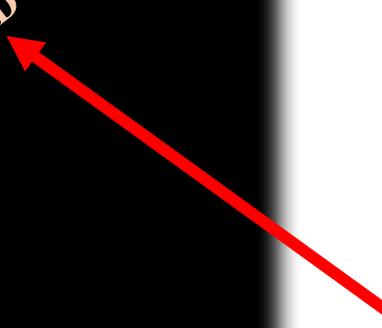
Problématiques



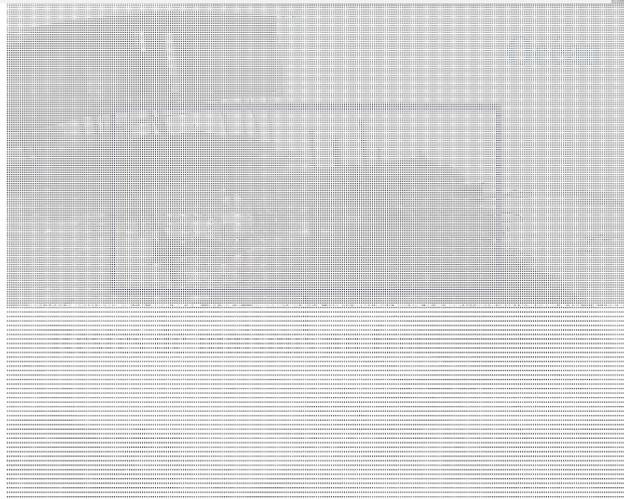
Gestion



PAD



Erosion intense du trait de côte combinée à la montée des eaux marines (inondation)



Envasement de l'estuaire (chenal de navigation du Port de Douala)



Très peu de connaissance à priori : **dynamique côtière**

- 1- Calibrer et valider un modèle hydrodynamique dans l'estuaire de Wouri

Quels sont les paramètres d'étalonnage et de validation du modèle ?

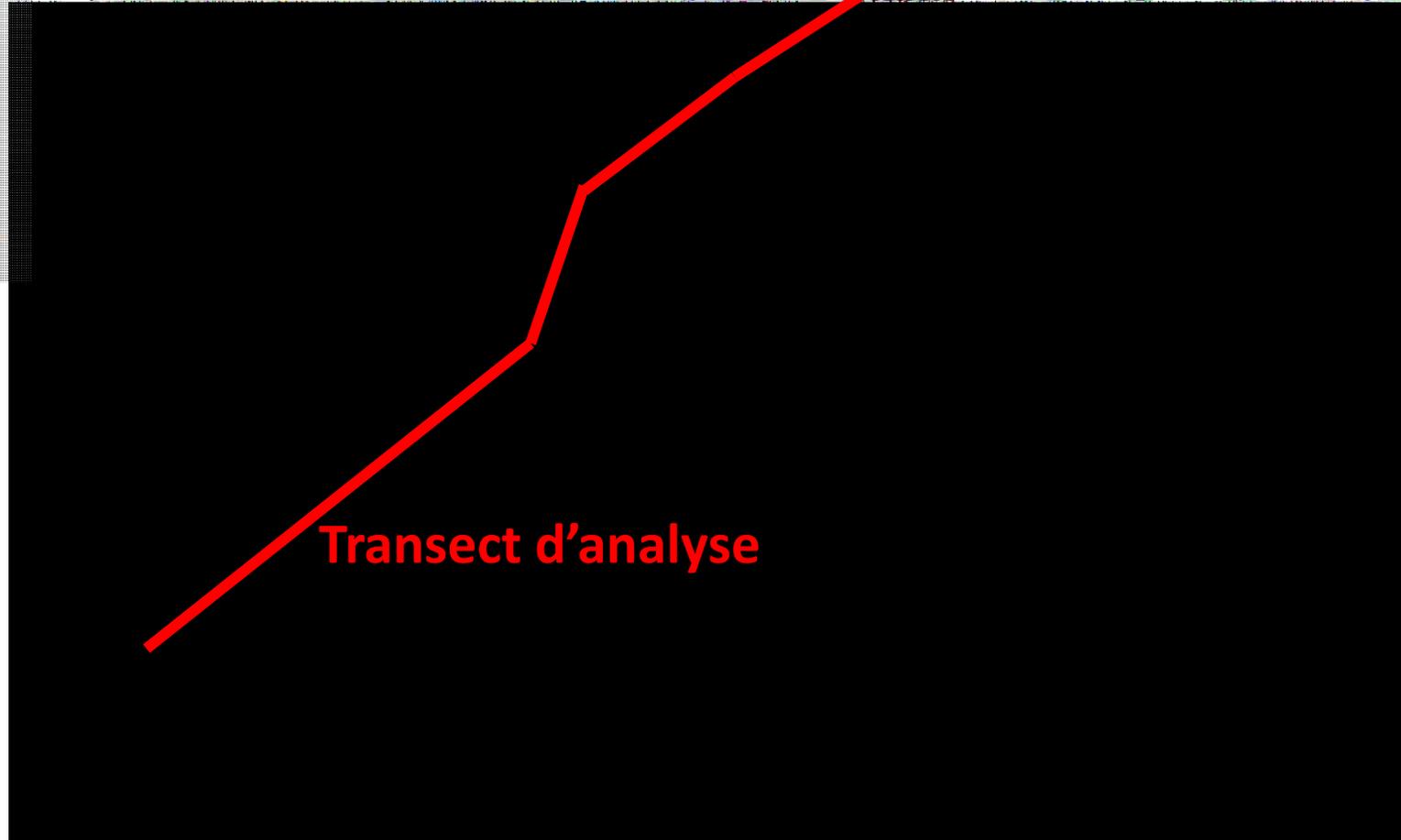
- 2- Explorer la variation temporelle et spatiales du comportement de la marée dans l'estuaire du Wouri
Comprendre la dynamique de circulation des masses d'eau

Quelle est la réponse de l'estuaire face aux variations du cycle de marée et du débit fluvial ?

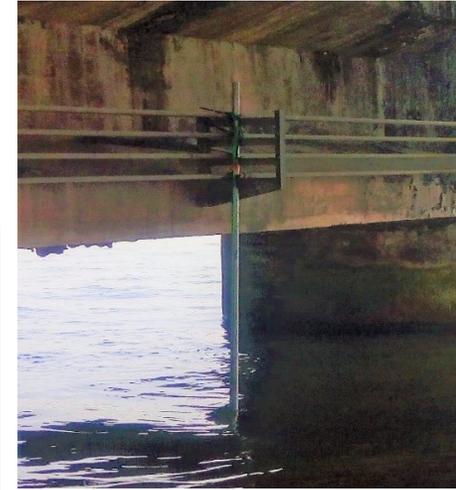
Comment la marée se propage t-elle au sein de l'estuaire ?

Stations de mesures : Stations marégraphiques & Sonde YSI 6600 : hauteur d'eau

Station d'enregistrement
Marégraphiques (P2, P3, P4)



Sonde YSI 6600
Pont sur le Wouri (P5)



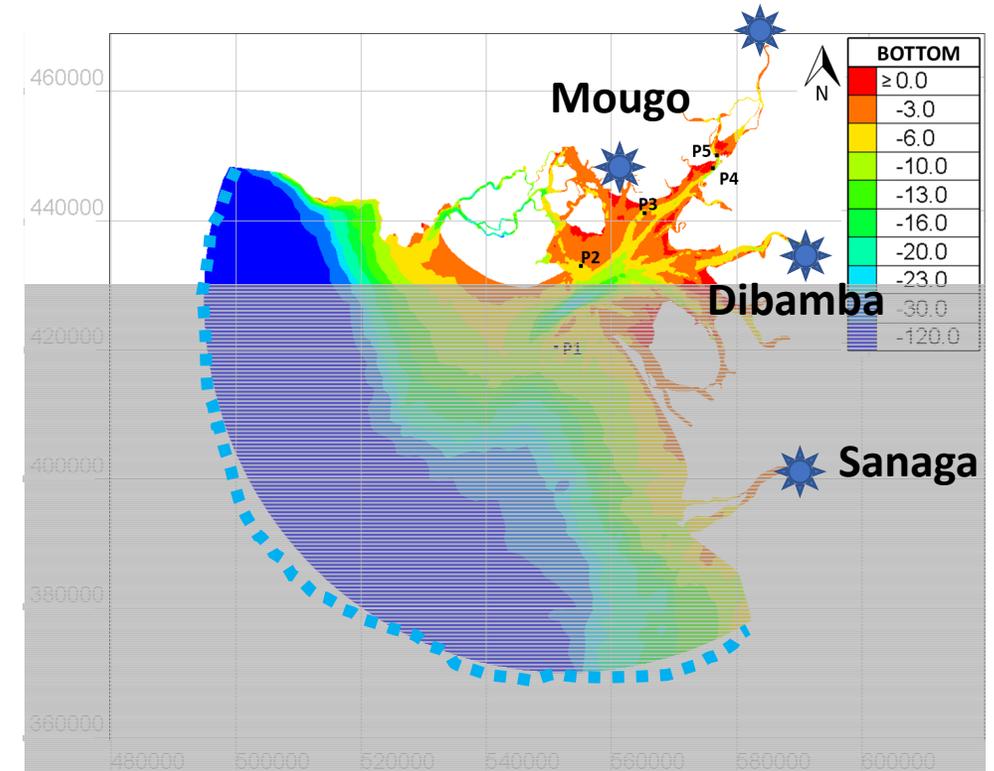
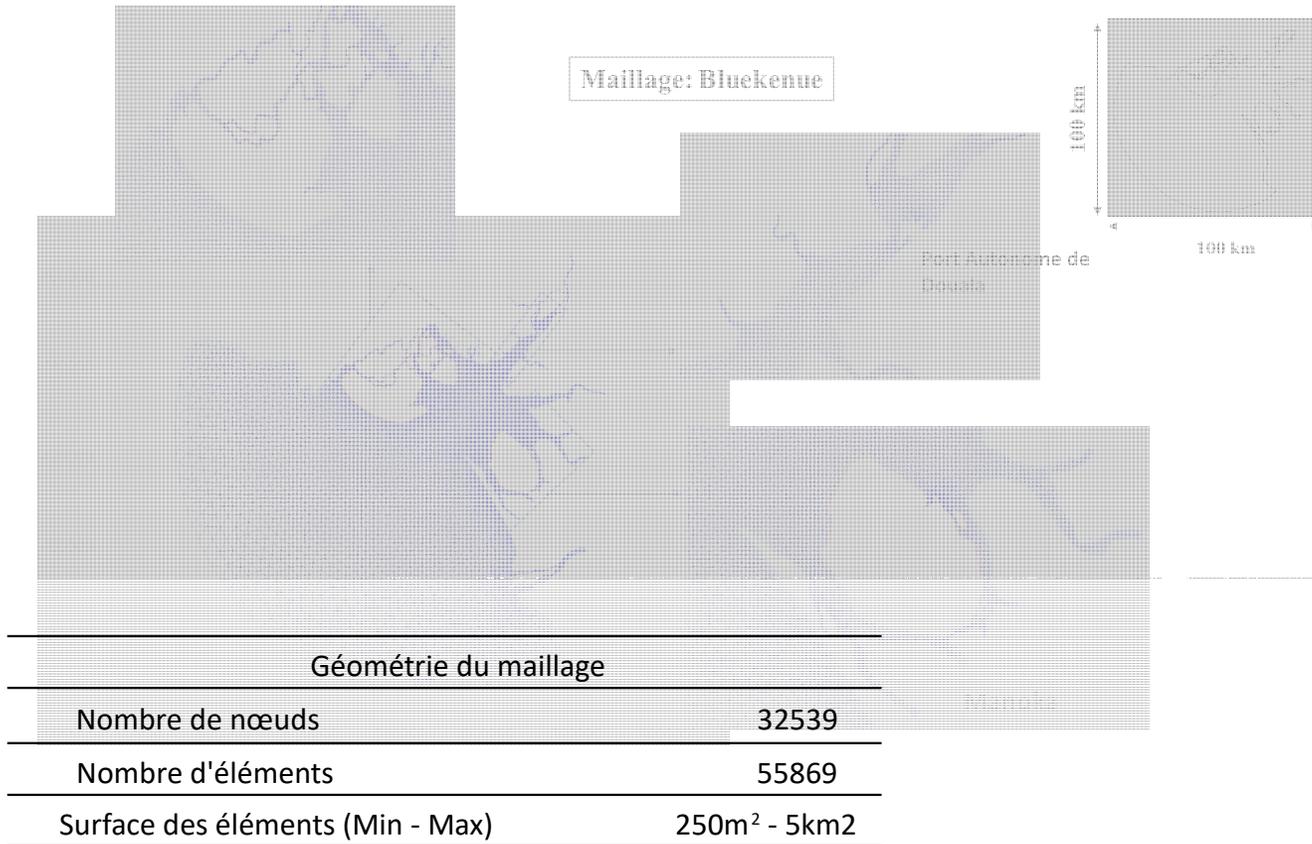
Modèle hydrodynamique (TELEMAC 2D)

Equations de saint venant (2D)
 Turbulence k-epsilon
 Frottement du fond (stickler) variable



Forçage débit
 Débit de climato (Dai et al., 2009)

Wouri-Nkam



Forçage marée : 18 principaux constituants de marée
 FES 2014 (Lyard et al., 2006).



Observation de terrain

Hauteurs d'eau



Resultats

Prediction des Hauteurs d'eau
 Amplification et Déformation de la marée

Comparaison : série temporelle (**Observation** – **Model**) des hauteurs d'eau

Distribution spatiale du coefficient de frottement du fond (Strickler)
pour les étapes d'étalonnage et de validation des marées

Analyse quantitative du model

	Calibration (13 - 30 June 2019)				Validation (01 Jan – 31 Dec 2019)			
	mae	rmse	skill	R	mae	rmse	skill	R
P5	0.161	0.188	0.953	0.937	0.236	0.296	0.952	0.843
P4	0.129	0.162	0.985	0.963	0.150	0.193	0.978	0.934
P3	0.167	0.191	0.977	0.976	0.113	0.139	0.987	0.957
P2	0.053	0.064	0.997	0.979	0.107	0.130	0.990	0.968

Calibration

Validation

Variabilité spatiale et temporelle de la marée

Janvier

Mai

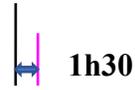
Août



Variabilité spatiale sur un cycle de morte-eau et vive eau

Etiage (Janvier)

Morte-eau

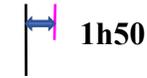


Flot ≈ 6h30
Jusant ≈ 5h30



Flot ≈ 05h50
Jusant ≈ 06h10

Vive-eau



Flot ≈ 6h40
Jusant ≈ 6h10



Flot ≈ 05h50
Jusant ≈ 07h10

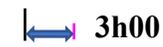
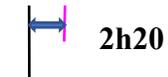
Crue (Août)



Flot ≈ 6h40
Jusant ≈ 5h30



Flot ≈ 05h40
Jusant ≈ 06h10



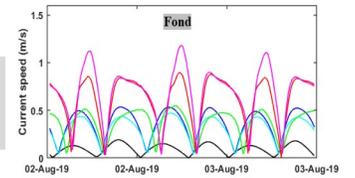
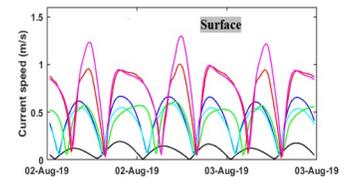
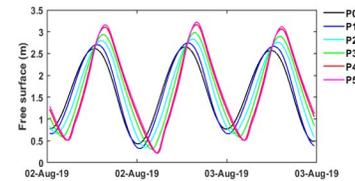
Flot ≈ 6h40
Jusant ≈ 6h00



Flot ≈ 05h30
Jusant ≈ 07h20

Durée Flux < Durée reflux

$$V_{\text{flot}} > V_{\text{jusant}}$$



Méthode de calcul de l'asymétrie de la marée

Mesure de l'asymétrie de la marée

a = amplitudes
 = phases
 ω = fréquences

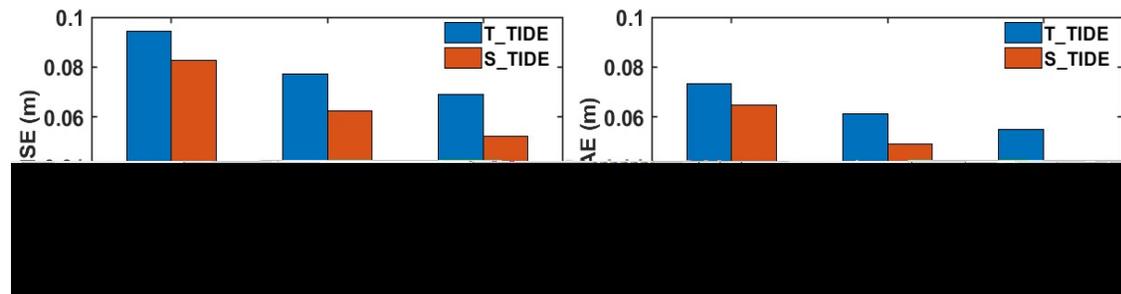
Song et al. (2011) and Zhang et al. (2018)

$$\gamma_2 = \frac{\frac{3}{4} \frac{a_1^2 a_2^2}{a_1^2 + a_2^2} (2\phi_1 - \phi_2)}{\left[\frac{1}{2} \left(\frac{a_1^2 a_2^2}{a_1^2 + a_2^2} \right) \right]^{3/2}} \text{ où } 2\omega_1 = \omega_2 \text{ (paires)} \quad (1)$$

$$\gamma_3 = \frac{\frac{3}{2} \frac{a_1 a_2 a_3}{a_1 + a_2 + a_3} (\phi_1 + \phi_2 - \phi_3)}{\left[\frac{1}{2} \left(\frac{a_1 a_2 a_3}{a_1 + a_2 + a_3} \right) \right]^{3/2}} \text{ où } \omega_1 + \omega_2 = \omega_3 \text{ (triades)} \quad (2)$$

Outils d'analyse

S_TIDE 



$$M_2 - M_4$$

Pour les paires $\gamma_2 = \frac{M_2 - M_4}{\left(\sum_{i=1}^N \frac{a_i^2 a_{2i}^2}{a_i^2 + a_{2i}^2} \right)^{3/2}}$

$$M_2 - S_2 - MS_4 \text{ \& } M_2 - M_4 - M_6$$

$$\gamma_3 = \frac{M_2 - S_2 - MS_4 \text{ \& } M_2 - M_4 - M_6}{\left(\sum_{i=1}^N \frac{a_i^2 a_{2i}^2 a_{3i}^2}{a_i^2 + a_{2i}^2 + a_{3i}^2} \right)^{3/2}} \quad (3)$$

L'asymétrie totale

$$\gamma_N = \gamma_2 + \gamma_3 \quad (4)$$

, $\gamma_N < 0$

(dominance du jusant)

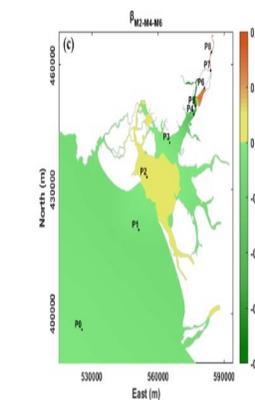
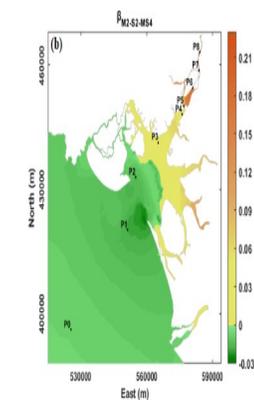
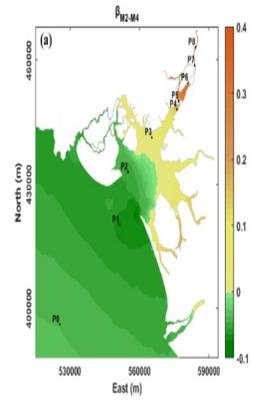
, $\gamma_N > 0$

(dominance du flot)

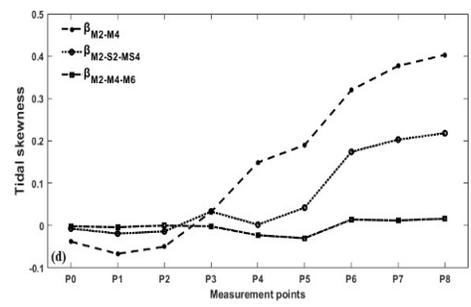
Analyse harmonique (Observation – Model)

Constituants des marées

Variabilité spatiale de la contribution totale de l'asymétrie de marée



Flot
Jusant



$$M_2 - M_4$$

$$M_2 - S_2 - MS_4$$

and **(YES ASYMMETRY)**

$$M_2 - M_4 - M_6$$

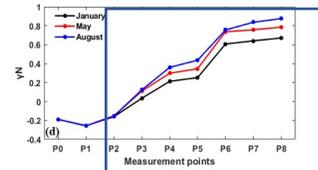
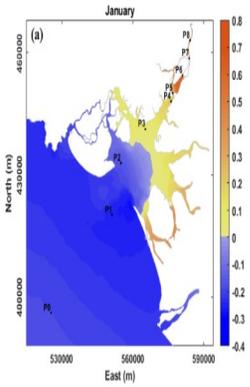
NO VALID ASYMMETRY

Variabilité saisonnière de l'asymétrie totale des marées

Janvier

Mai

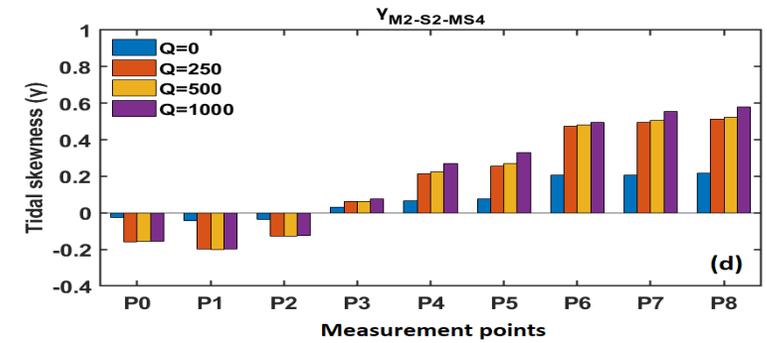
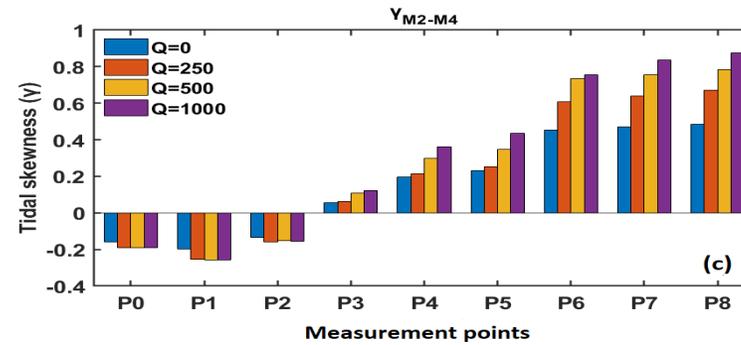
Août



Flot
Jusant

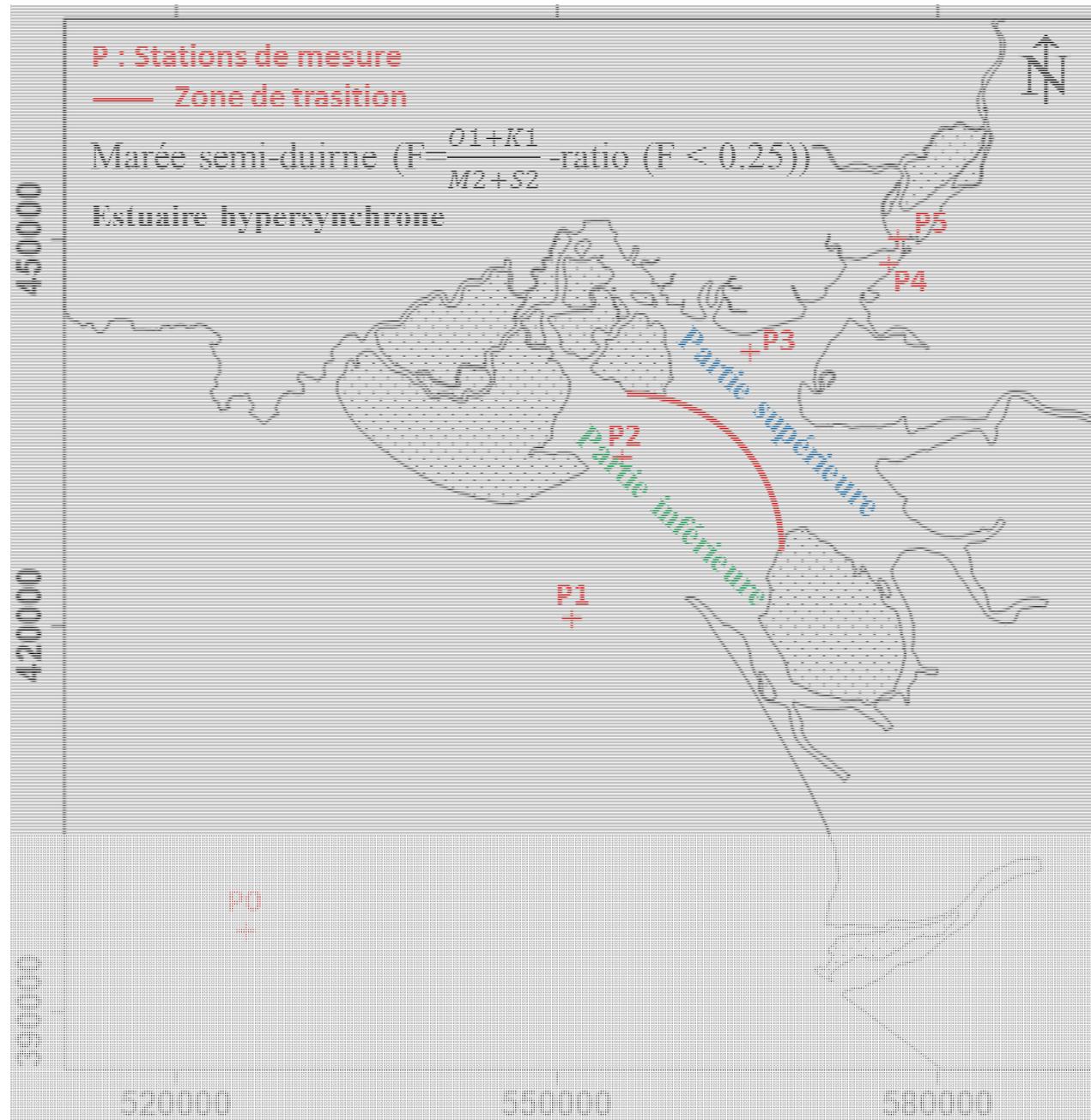
Régime tidal

Régime fluvial



Conclusion

<p>Partie supérieure</p> <ul style="list-style-type: none"> - Marnage moyen: $m \geq 1,62m$ Amplification (P5max) : + 50.49% - Asymétrie tidale: $\beta M2-M4 / \beta M2-S2-MS4 > 0$ $\gamma N > 0$ $2\phi M2 - \phi M4 / \phi M2 - \phi S2 - \phi MS4$ $0^\circ < \phi < 180^\circ$ Dominance du flot Estuaire à régime fluvial
<p>Partie inférieure</p> <ul style="list-style-type: none"> - Marnage moyen: $m < 1,62m$ Amplification (P2max) : + 20% - Asymétrie tidale: $\beta M2-M4 / \beta M2-S2-MS4 < 0$ $\gamma N < 0$ $2\phi M2 - \phi M4 / \phi M2 - \phi S2 - \phi MS4$ $180^\circ < \phi < 360^\circ$ Dominance du jusant Estuaire à régime tidal



**MERCI POUR VOTRE
AIMABLE ATTENTION**

