

Capteurs Optiques de Nitrates et Capteur de Productivité Primaire Par Fluorescence Variable



Pascal CLAQUIN, Maël DELOOR, Léo CHASSELIN,
Léon SERRE FREDJ, Kmar ATTIA

Portage & coordination



Financement

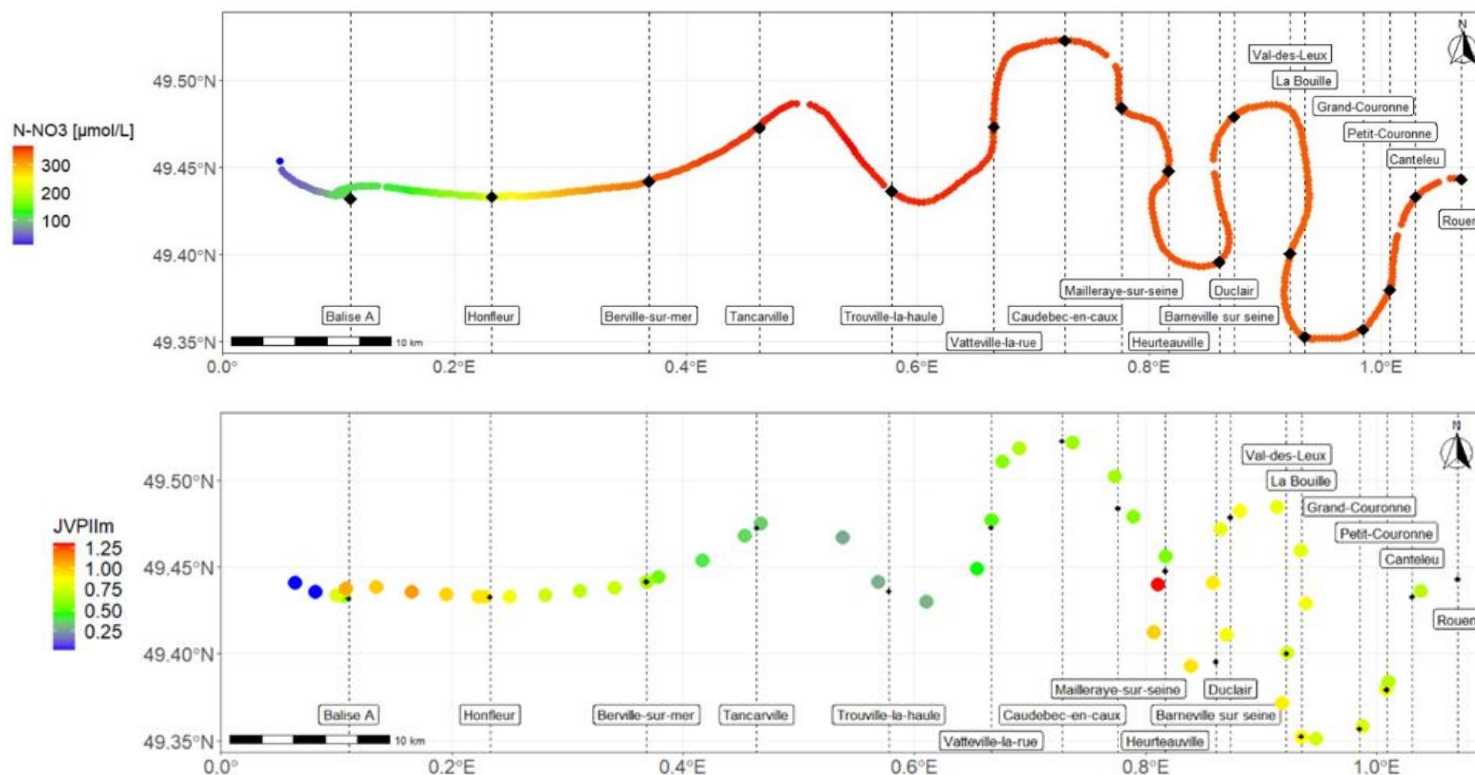
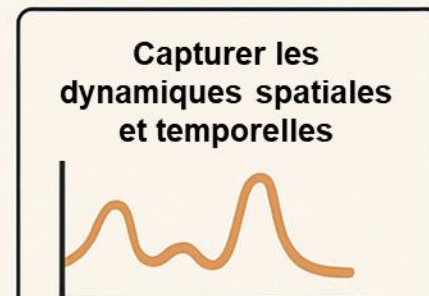
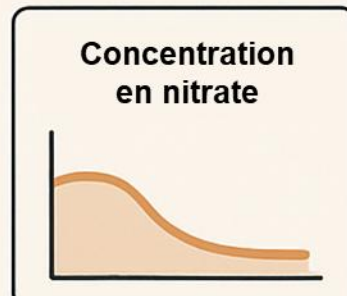
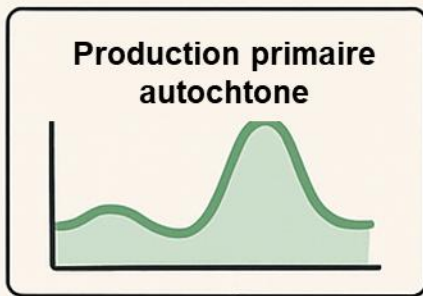


Labélisation



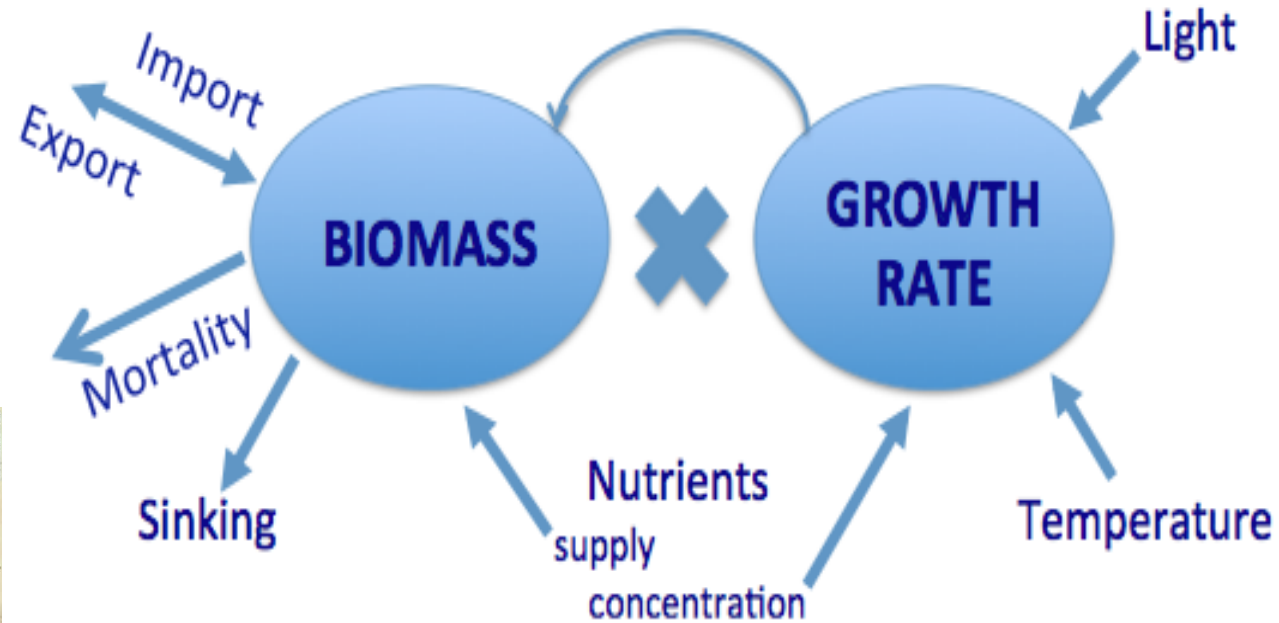
Consortium scientifique





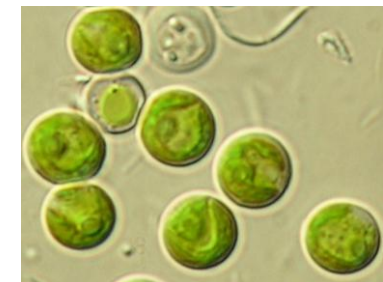
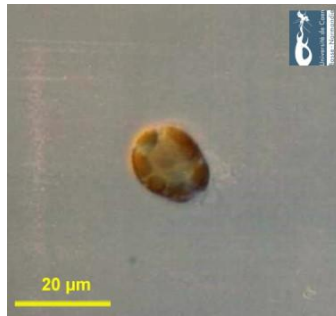
La production primaire

PRIMARY PRODUCTION =



Biomasse = Stock – Image figée
Production = Flux de matière, énergie

D'après Cloern et al., 2014



Réseau trophique de l'estuaire et flux de carbone

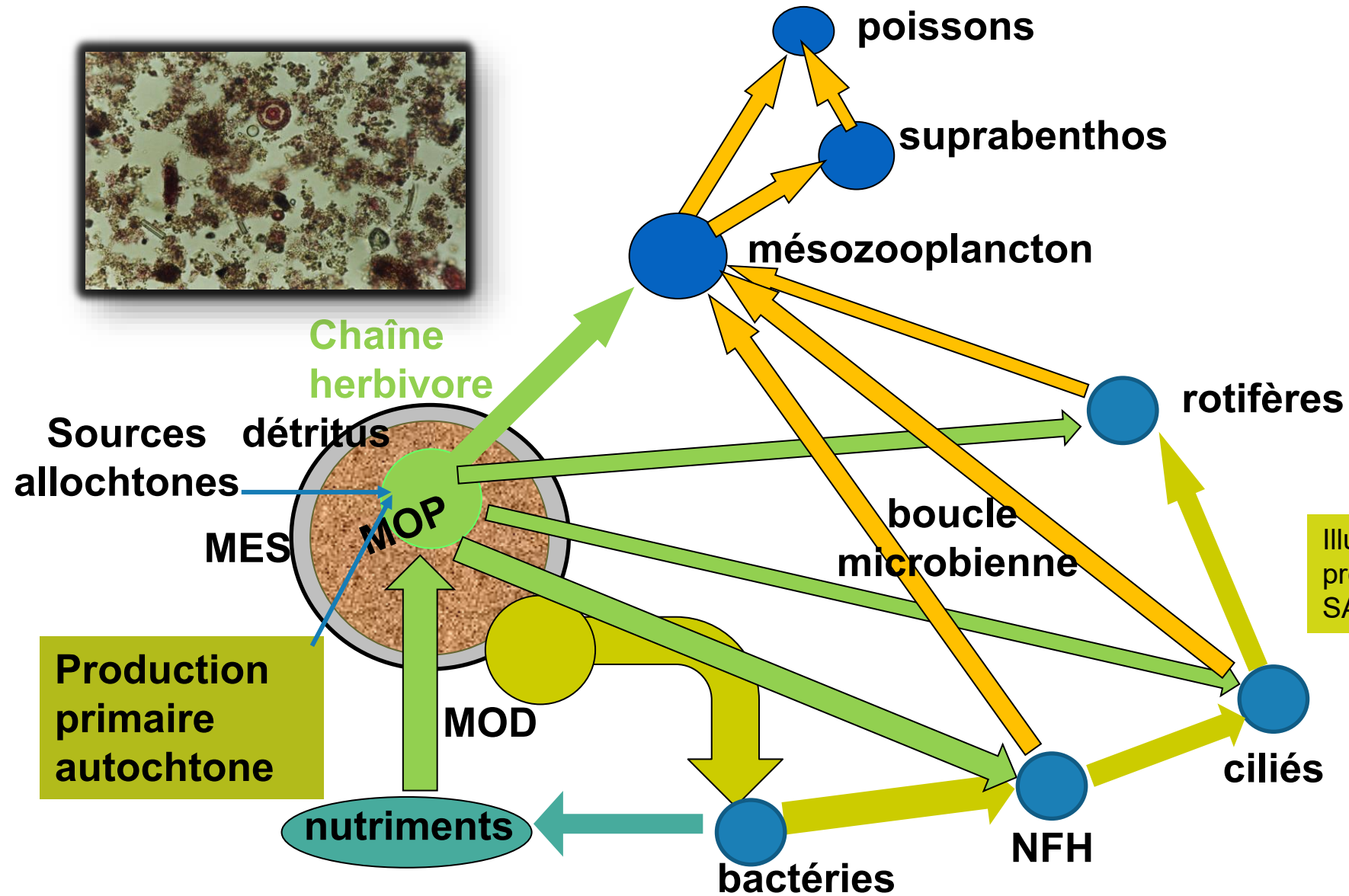
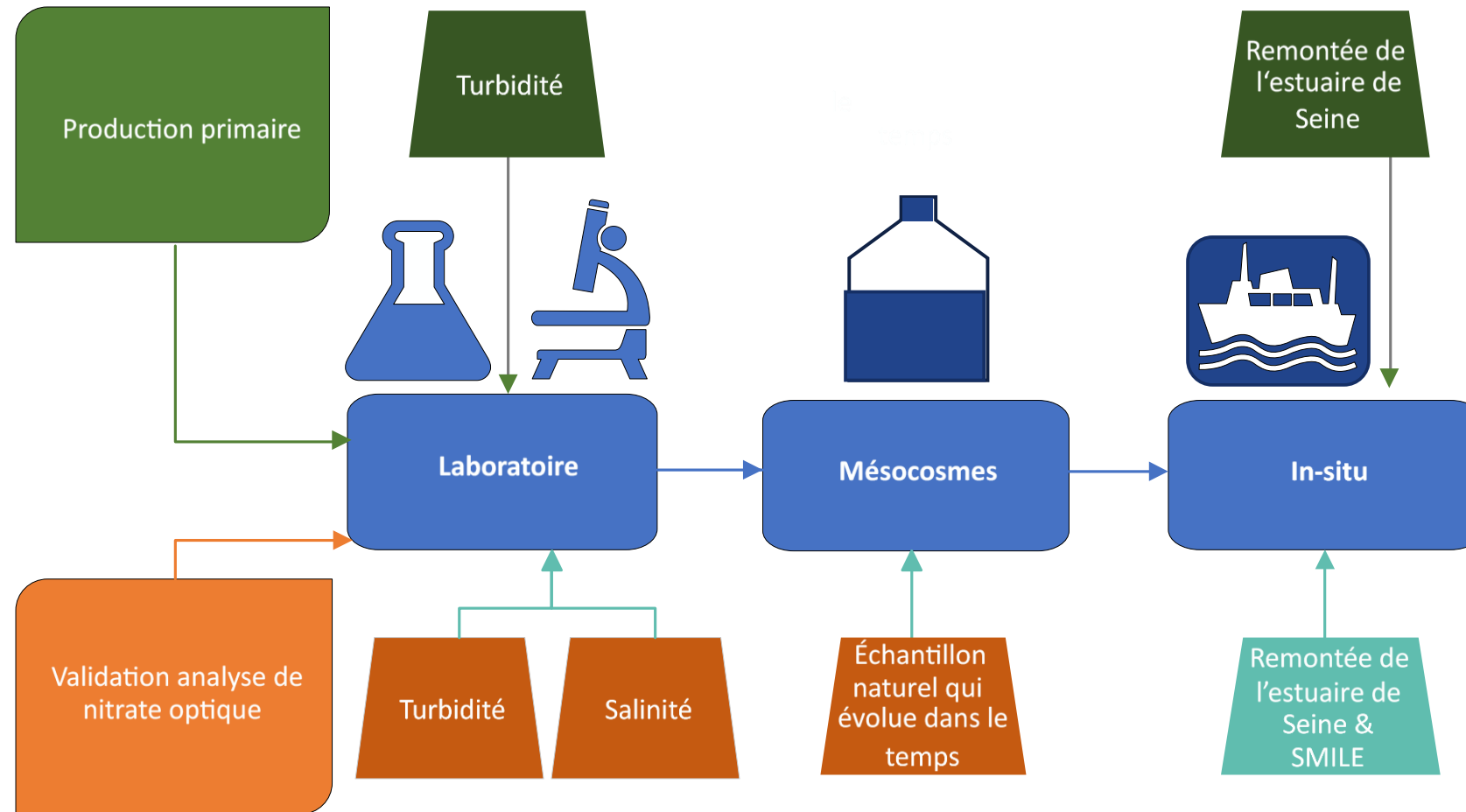


Illustration modifiées -
projet GIP SA
SARTRE - M. Tackx



Approches mises en place:

Capteurs optiques = sensibles à la turbidité et potentiellement à la salinité



Observatoire Axe Seine

des **indicateurs** pour
mieux comprendre.



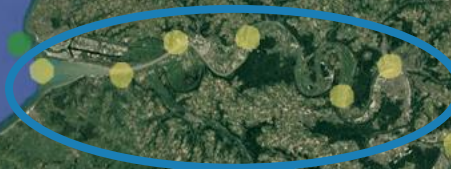
Plan

Satellite

Bassin versant

Cours d'eau

Recentrer la carte



Le réseau PHRESQUES

< 2024 v >

● MESEINE
SIAAP

● SYNAPSES
GIP-SEINE-AVAL / HAROPA Port

● SCENES
Ifremer

● SMILE
UNICEAN-CREC / Ifremer

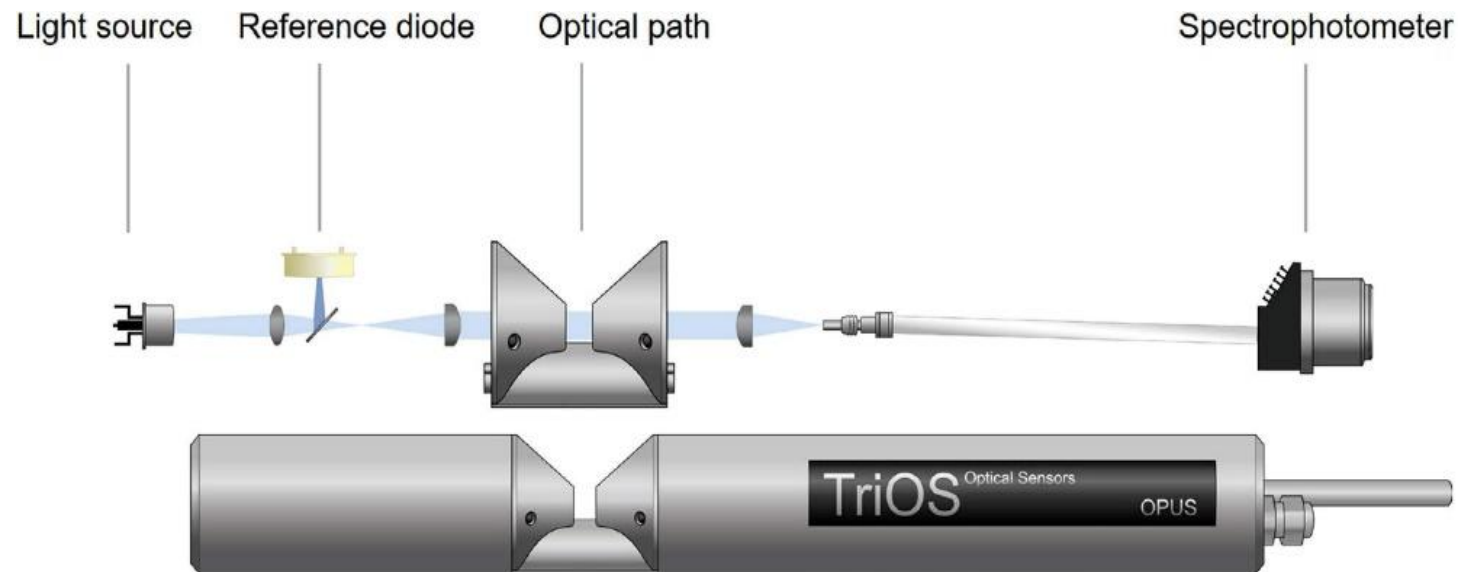


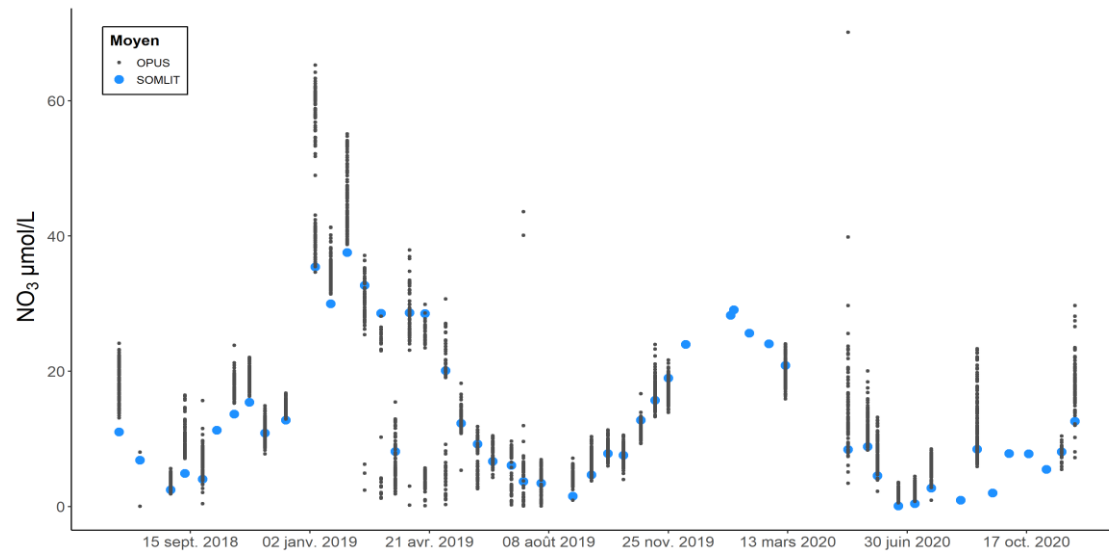
GIP Seine-Aval
GROUPEMENT D'INTÉRÊT PUBLIC

Capteurs Optiques de Nitrates

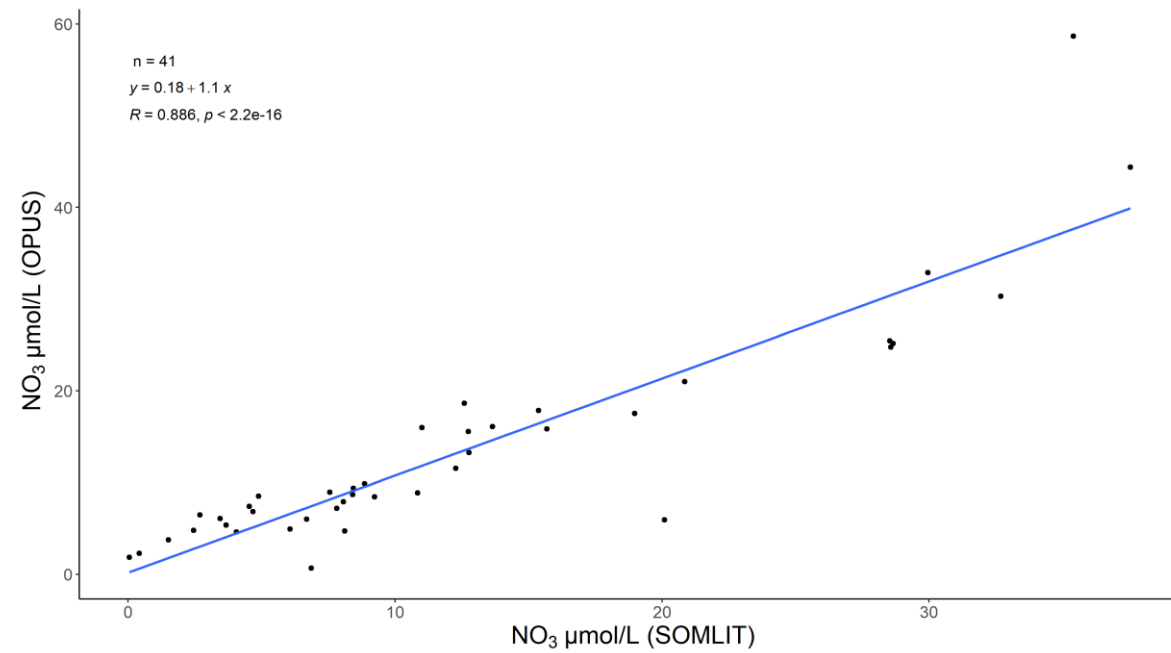
TRIOS – OPUS

2 OPUS SALT (SMILE)
1 OPUS FRESH (PRESQUES)
1 OPUS BRACK (PHRESQUES)





Utilisation de ce
capteur depuis 2018
sur SMILE



Expérimentation en laboratoire

TRIOS – OPUS



Gamme de concentration de nitrates (0, 2, 5, 10, 25, 50, 100, 250, 500, 700 et 750 $\mu\text{mol.L}^{-1}$) dans six conditions différentes.

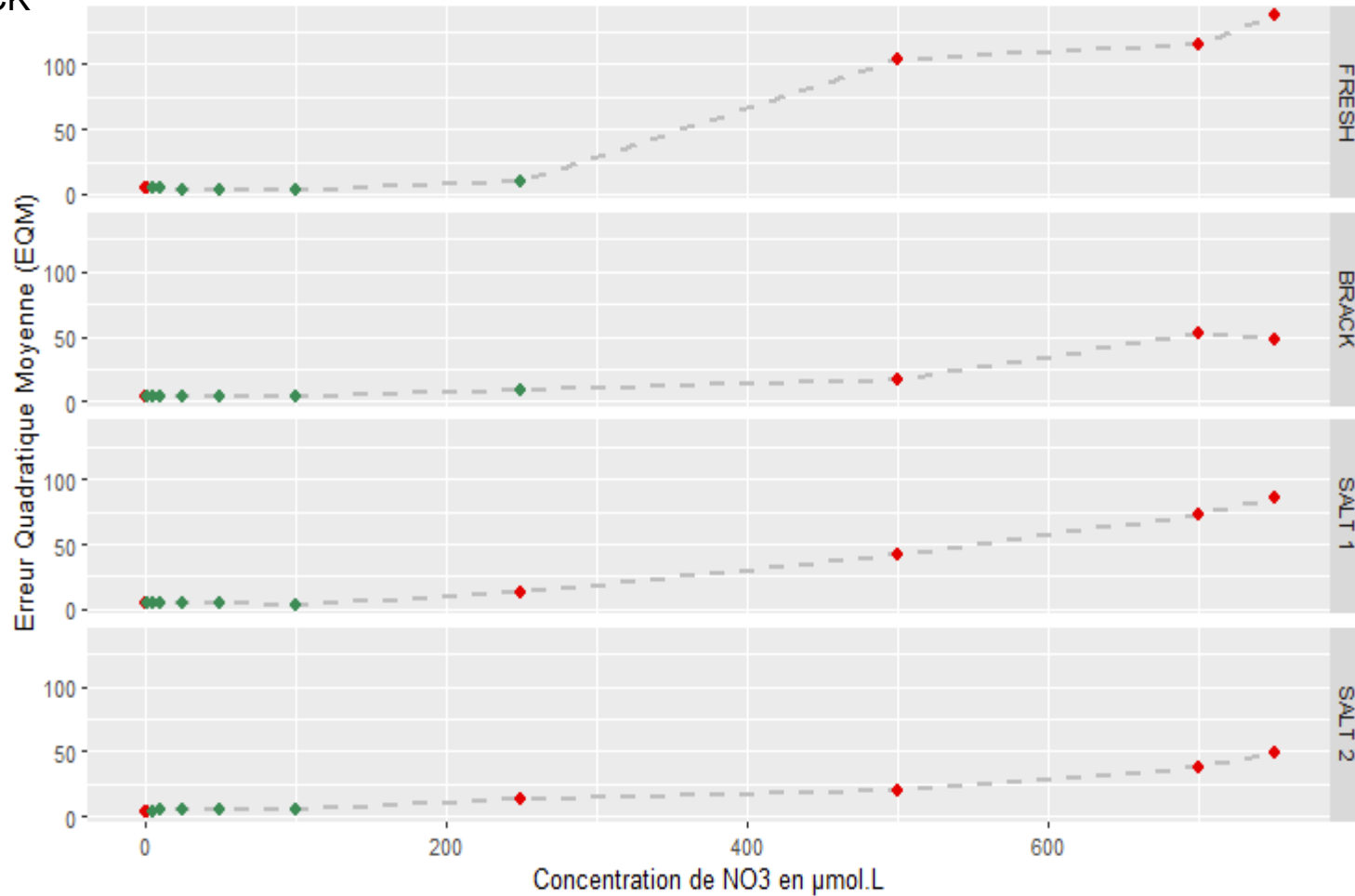
-Gamme de nitrate appliquée avec différentes concentrations de MES : 0.1, 0.25 et 0.5 g.L-1 et une salinité de zéro (MES composé d'Argile Verte à 100%).

-Gamme de nitrate appliquée avec une salinité différentes de 5 et de 10 g.L-1 et une turbidité de zéro .

Calcul de l'erreur l'Erreur Quadratique Moyenne (EQMm) et de l'EQMm normalisée

Comportement des différents OPUS en fonction [NO₃]

2 OPUS SALT
1 OPUS FRESH
1 OPUS BRACK



Limites
◆ Ok
◆ Out

$$EQM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2$$

- n est le nombre total d'observations,
- x_i est la valeur réelle pour l'observation i ,
- y_i est la valeur prédite pour l'observation i .

Erreur Quadratique Moyenne (EQM) , calcule la moyenne des carrés des erreurs, c'est-à-dire la différence entre les valeurs prédites par le modèle et les valeurs réelles.



Comportement des différents OPUS en fonction [NO₃] et [MES]

2 OPUS SALT
1 OPUS FRESH
1 OPUS BRACK



Concentration en NO ₃ attendu	FRESH				BRACK				SALT 1				SALT 2			
	0	0,1	0,25	0,5	0	0,1	0,25	0,5	0	0,1	0,25	0,5	0	0,1	0,25	0,5
0	Green	Green	Yellow	Red	Green	Green	Green	Red	Green	Green	Red	Red	Green	Green	Red	Red
2	Green	Green	Yellow	Red	Green	Green	Green	Red	Green	Green	Red	Red	Green	Green	Red	Red
5	Green	Green	Yellow	Red	Green	Green	Green	Red	Green	Green	Red	Red	Green	Green	Red	Red
10	Green	Green	Yellow	Red	Green	Green	Green	Red	Green	Green	Red	Red	Green	Green	Red	Red
25	Green	Green	Yellow	Red	Green	Green	Green	Red	Green	Green	Red	Red	Green	Green	Red	Red
50	Green	Green	Red	Red	Green	Green	Green	Red	Green	Green	Red	Red	Green	Green	Red	Red
100	Green	Green	Red	Red	Green	Green	Green	Red	Green	Green	Red	Red	Green	Green	Red	Red
250	Green	Red	Red	Red	Green	Green	Yellow	Red	Yellow	Yellow	Red	Red	Yellow	Yellow	Red	Red
500	Red	Red	Red	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Yellow	Yellow	Red	Red	Yellow	Yellow	Red	Red
700	Red	Red	Red	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red	Yellow	Red	Red	Yellow	Yellow	Red	Red
750	Red	Red	Red	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red	Yellow	Red	Red	Yellow	Yellow	Red	Red

EQM normalisé

$$EQMn = EQM \cdot \frac{100}{y_i}$$

Résumé de la qualification des données issues des OPUS testés dans différentes conditions de concentrations en MES. ■ = Juste ($EQM < 10 \mu\text{mol.L}^{-1}$) et précis (si $> 100 \mu\text{mol.L}^{-1} \rightarrow EQMn < 10\%$), ■ = Pas Juste ($EQM > 10 \mu\text{mol.L}^{-1}$) mais précis ($EQMn < 10\%$), ■ = Ni juste ($EQM > 10 \mu\text{mol.L}^{-1}$), ni précis. ($EQMn > 10\%$)

Comportement des différents OPUS en fonction $[\text{NO}_3]$ et Salinité

2 OPUS SALT
1 OPUS FRESH
1 OPUS BRACK



		OPUS testé											
		FRESH			BRACK			SALT 1			SALT 2		
Concentration en NO_3 attendu	0												
	2												
	5												
	10												
	25												
	50												
	100												
	250												
	500												
	700												
	750												
		0	4,3	8,5	0	4,3	8,5	0	4,3	8,5	0	4,3	8,5
		Salinité (g.L^{-1})											

Résumé de la qualification des données issues des OPUS testés dans différentes conditions de concentrations en MES. ■ = Juste ($\text{EQM} < 10 \mu\text{mol.L}^{-1}$) et précis (si $> 100 \mu\text{mol.L}^{-1} \rightarrow \text{EQMn} < 10 \%$), ■ = Pas Juste ($\text{EQM} > 10 \mu\text{mol.L}^{-1}$) mais précis ($\text{EQMn} < 10 \%$), ■ = Ni juste ($\text{EQM} > 10 \mu\text{mol.L}^{-1}$), ni précis. ($\text{EQMn} > 10 \%$)

Capteur Nitraled – sonde YSI (SYNAPSES)

		Standard	Salinité		Turbidité		
Concentration théorique de nitrates en $\mu\text{mol/L}$	0						
	2						
	5						
	10						
	25						
	50						
	100						
	250						
	500						
	700						
	750						
		0	5	10	0,1	0,25	0,5
		en g/L					



Résumé de la qualification des données issus du capteur YSI Nitraled testés dans différentes conditions de salinité. (■ = Juste ($\text{EQM} < 10 \mu\text{mol.L}^{-1}$) et précis (si $> 100 \mu\text{mol.L}^{-1} \rightarrow \text{EQMn} < 10\%$), ■ = Non Juste ($\text{EQM} > 10 \mu\text{mol.L}^{-1}$) mais précis ($\text{EQMn} < 10\%$), ■ = Ni juste ($\text{EQM} > 10 \mu\text{mol.L}^{-1}$), ni précis. ($\text{EQMn} > 10\%$))

In Situ

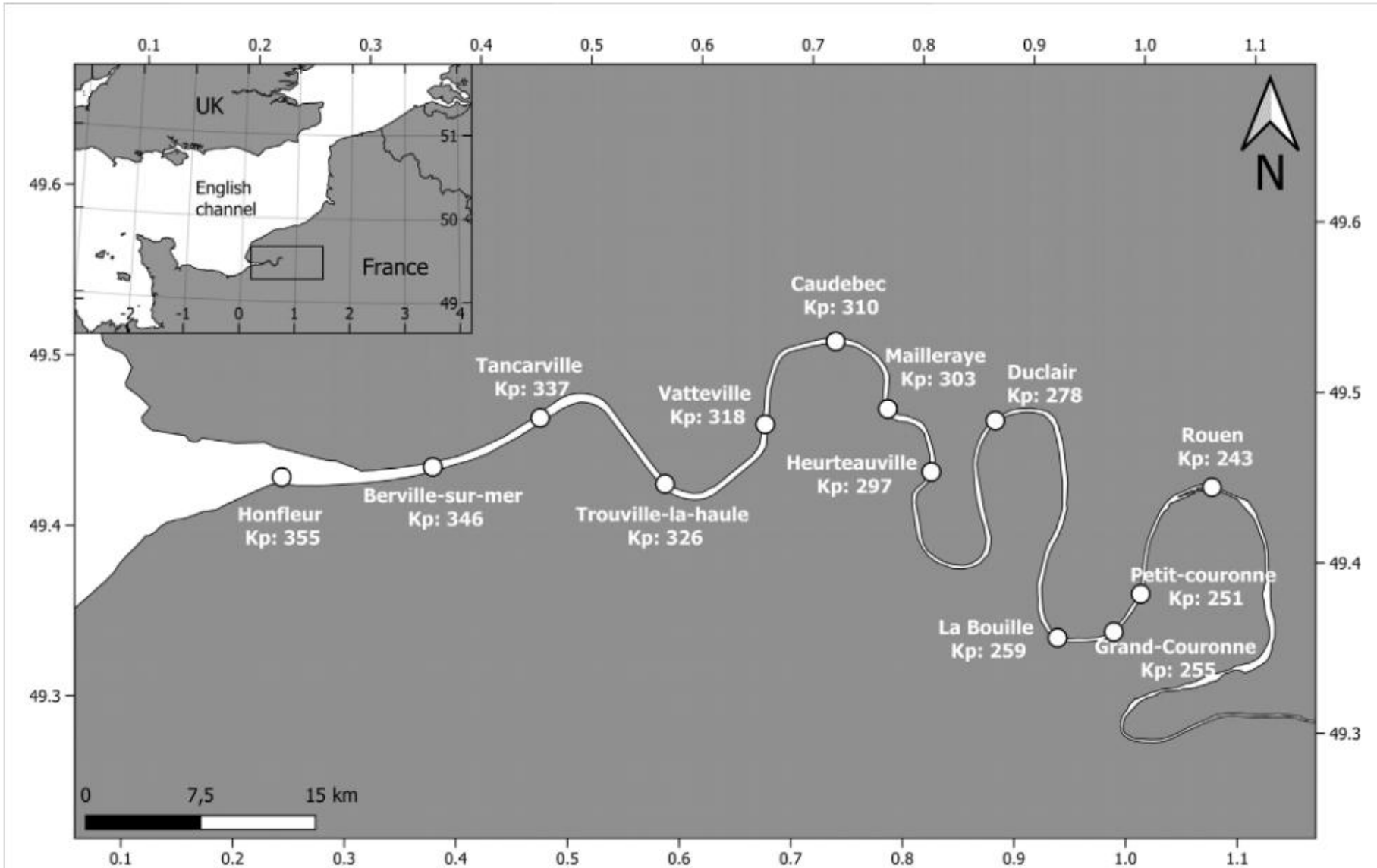


FIGURE 2

Seine Estuary map: White point display the 13 sampling stations and their kilometre point (Kp).



In Situ

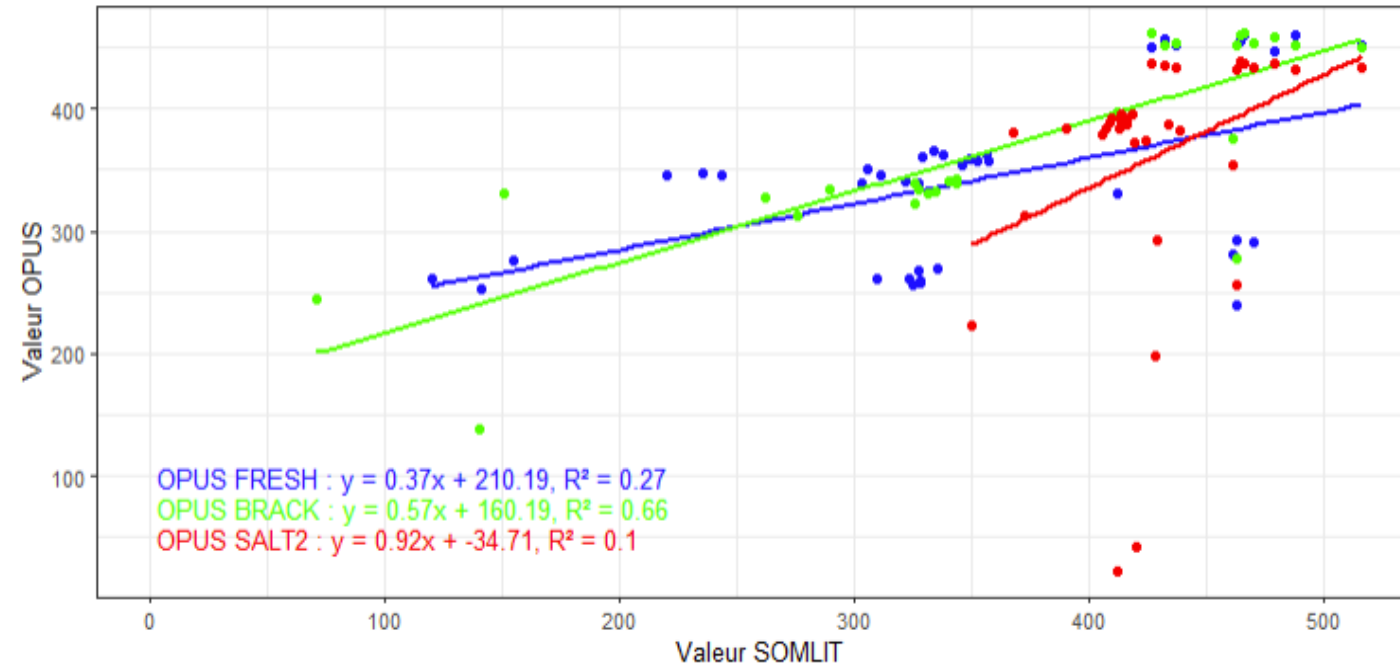
- 1 OPUS SALT
- 1 OPUS FRESH
- 1 OPUS BRACK

Remontée de l'estuaire de Seine : Comparaison des concentrations en nitrates mesurées en laboratoire (points noirs) avec les données OPUS de 2021 (points de couleurs). Les données OPUS correspondent à la moyenne des données 5 min avant et 5 min après le prélèvement. Les concentrations de nitrates sont exprimées en $\mu\text{mol.L}^{-1}$.

Bleu OPUS FRESH trajet optique de 20mm ; vert OPUS BRACKISH trajet optique de 20mm ; rouge OPUS SALT 2 trajet optique de 10mm



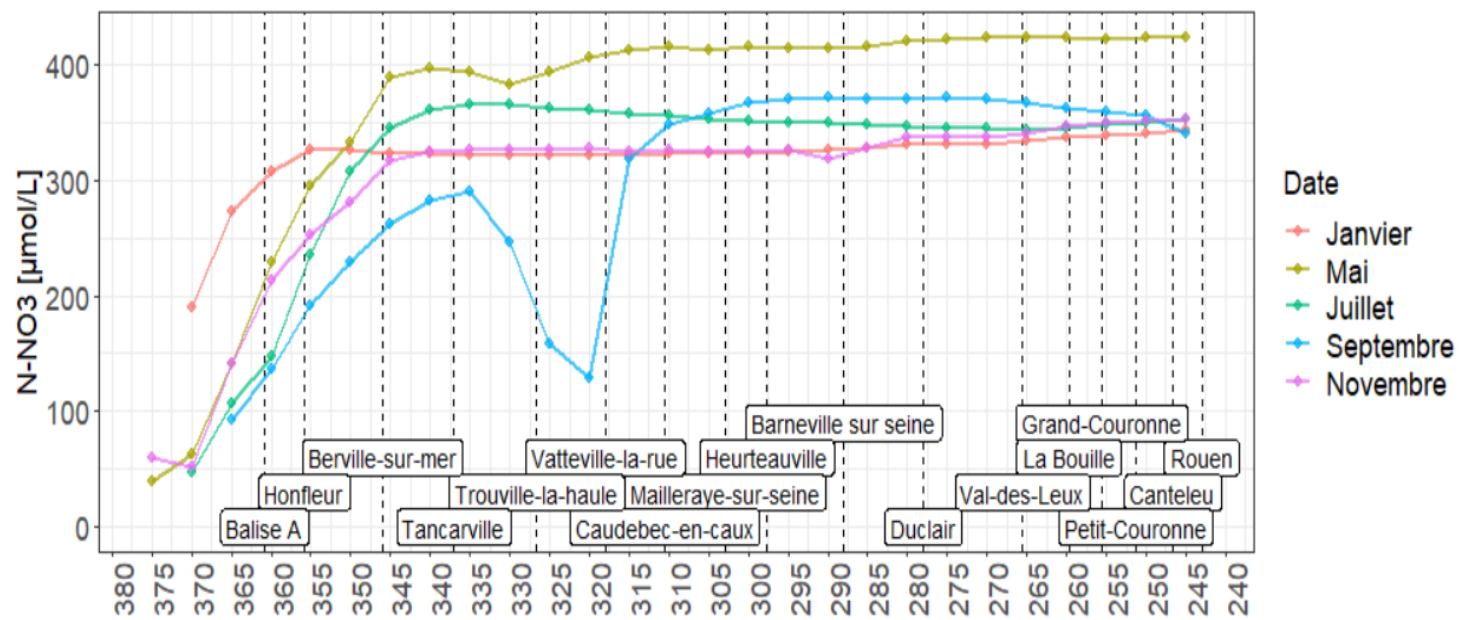
Régression linéaire entre les données nitrates OPUS et SOMLIT



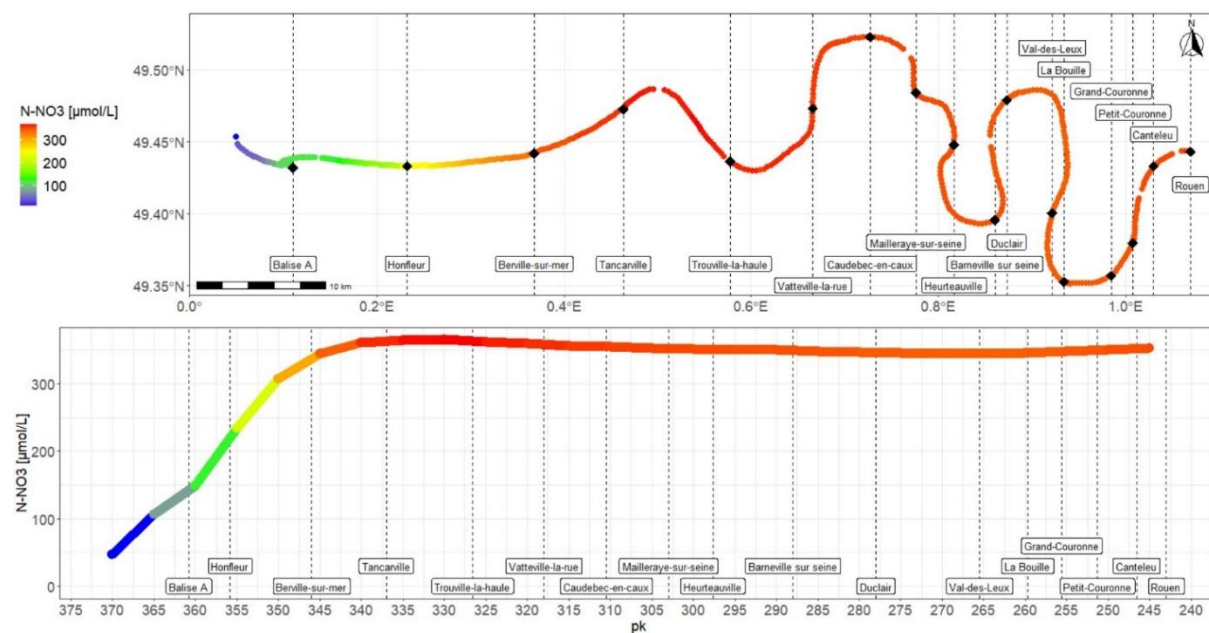
Le capteur FRESH est fortement perturbé par la salinité (faible R^2 observé).

Le BRACK présente une corrélation correcte pour des données in situ qui sont plus bruitées que les données en laboratoire. Cependant, les fortes turbidités au niveau de la ZTM affectent les mesures, Pour obtenir de meilleures mesures au niveau de la ZTM, il serait nécessaire de réduire ce trajet optique.





Valeurs $N-NO_3$ en $\mu\text{mol.L}^{-1}$ obtenu avec l'OPUS BRACK en fonction des saisons pour les remontées de l'année 2022



Valeurs de $N-NO_3$ en $\mu\text{mol.L}^{-1}$ issu de l'OPUS BRACK reportés le long de la Seine pour la remontée du 28 juillet 2022 en fonction de la position GPS (WGS 84)

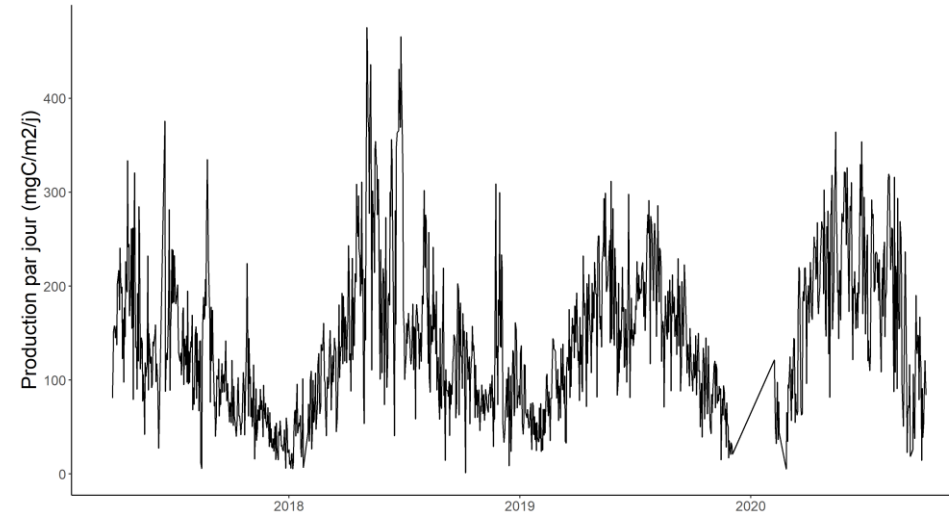


Recommandations

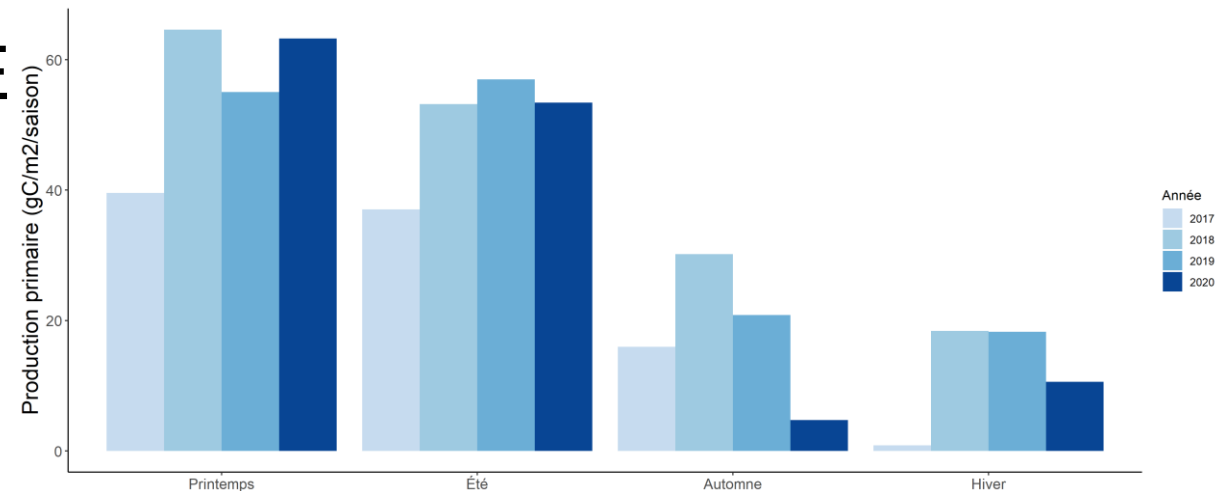
- NITRALED YSI à utiliser uniquement en eau douce
- OPUS est adapté à l'ensemble de l'estuaire, y compris la partie aval. Il peut être installé sur une station fixe ou utilisé lors de campagnes récurrentes
- Nécessité de travailler sur l'encrassement (si station fixe)
-
- Ajuster le trajet optique en fonction de la turbidité (position dans l'estuaire aval)
- Permettrait de mieux estimer les apports de NO_3 dans la Baie de Seine



Capteur de Productivité Primaire Par Fluorescence Variable



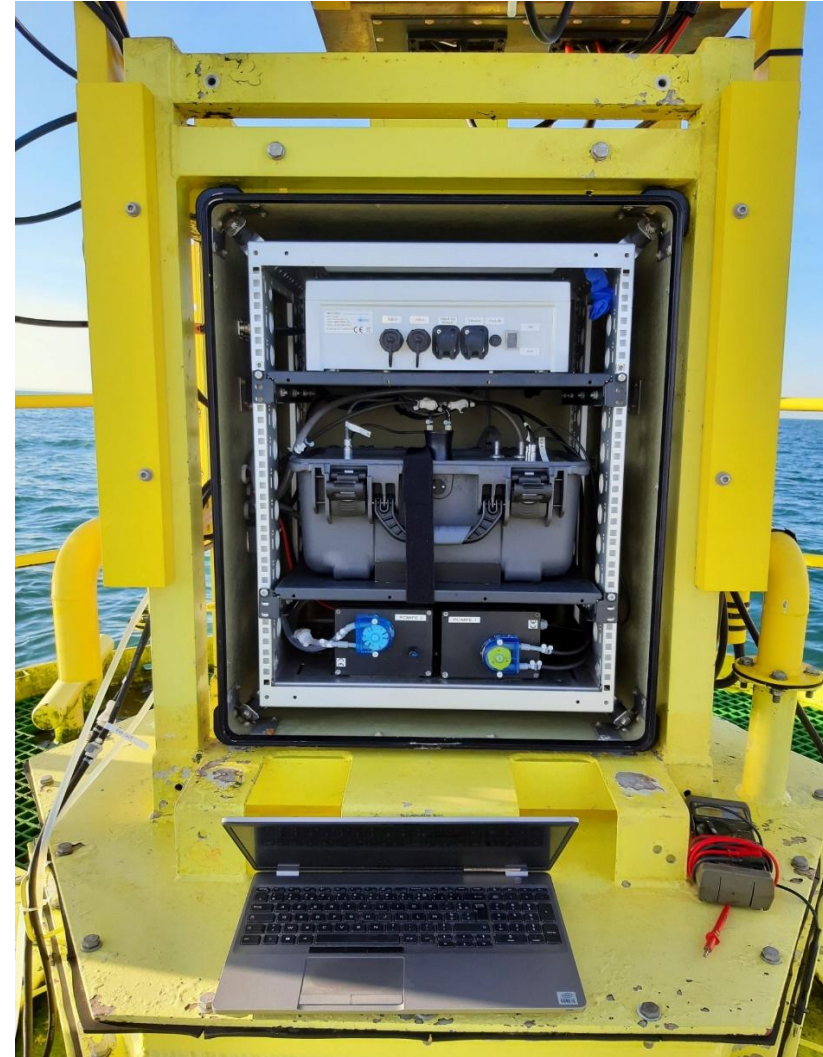
Expérience sur la bouée SMILE
d'un FRRF – Estimation
pluriannuelle de la production
primaire en baie de Seine



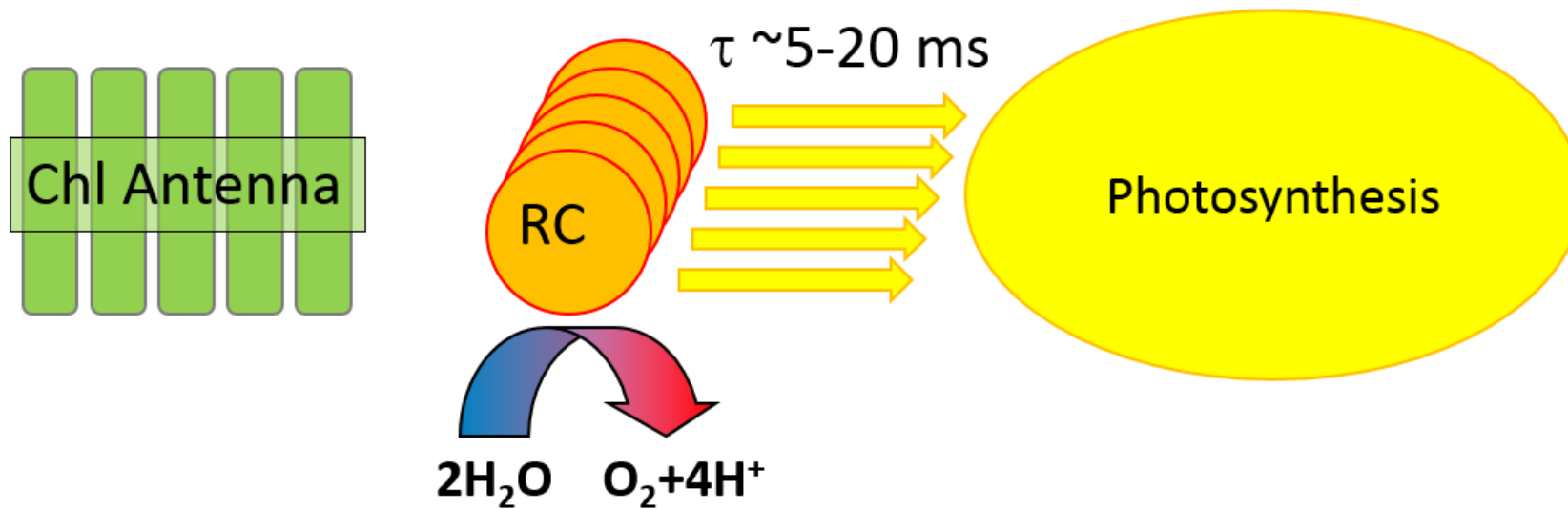
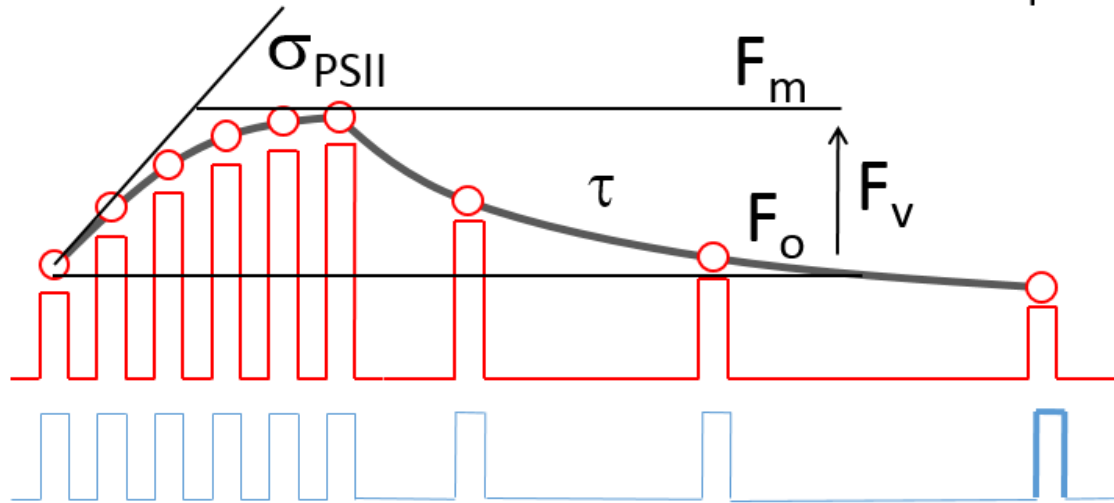
Capteur de Productivité Primaire Par Fluorescence Variable

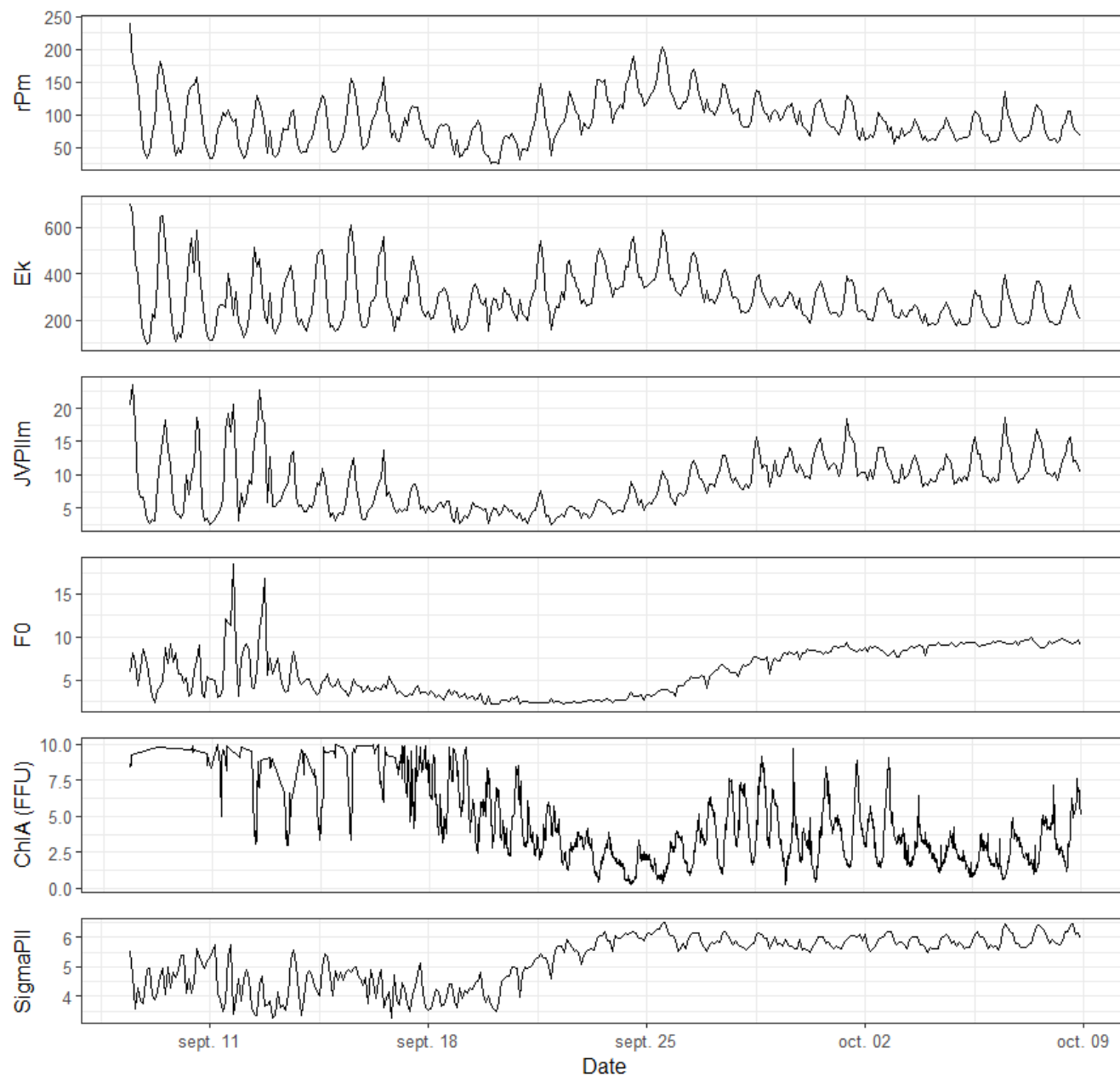
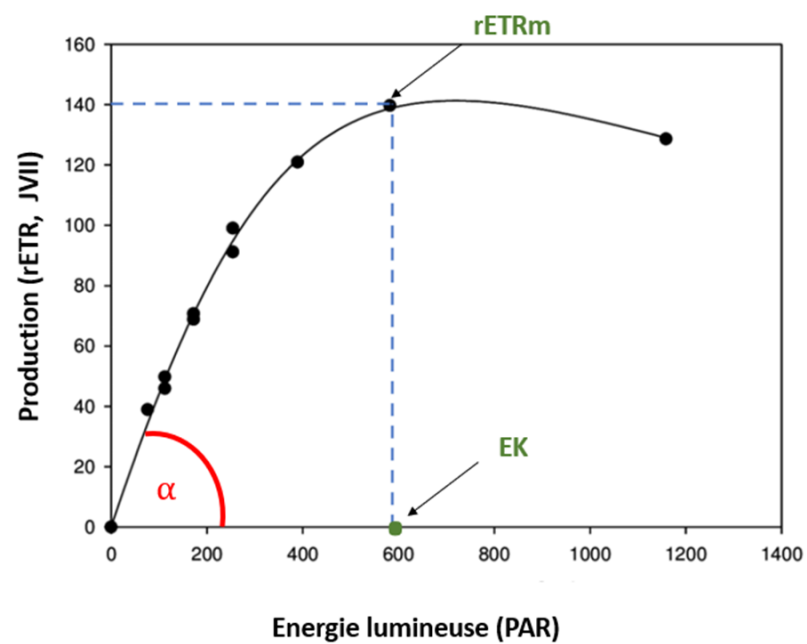
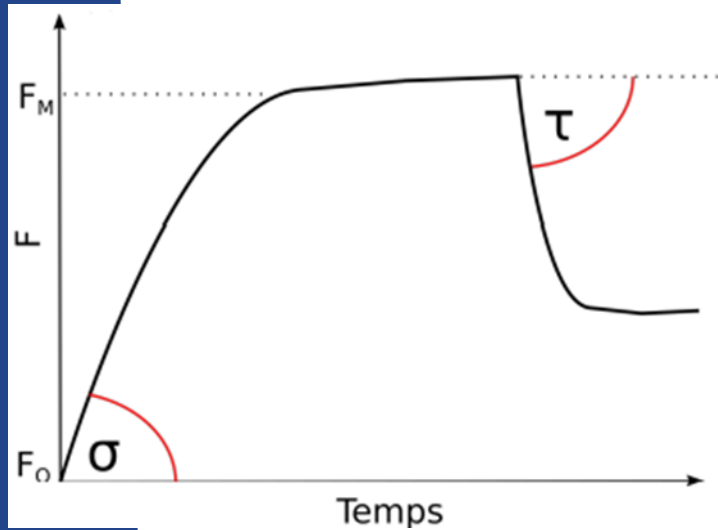
LABSTAF

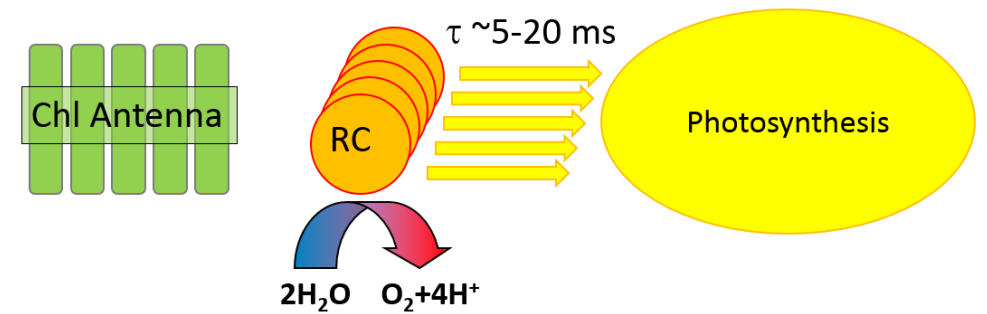
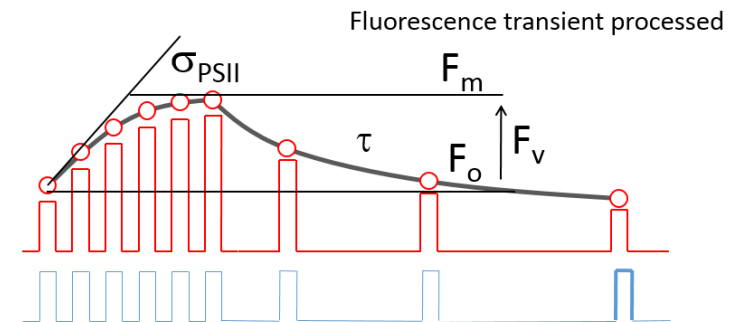
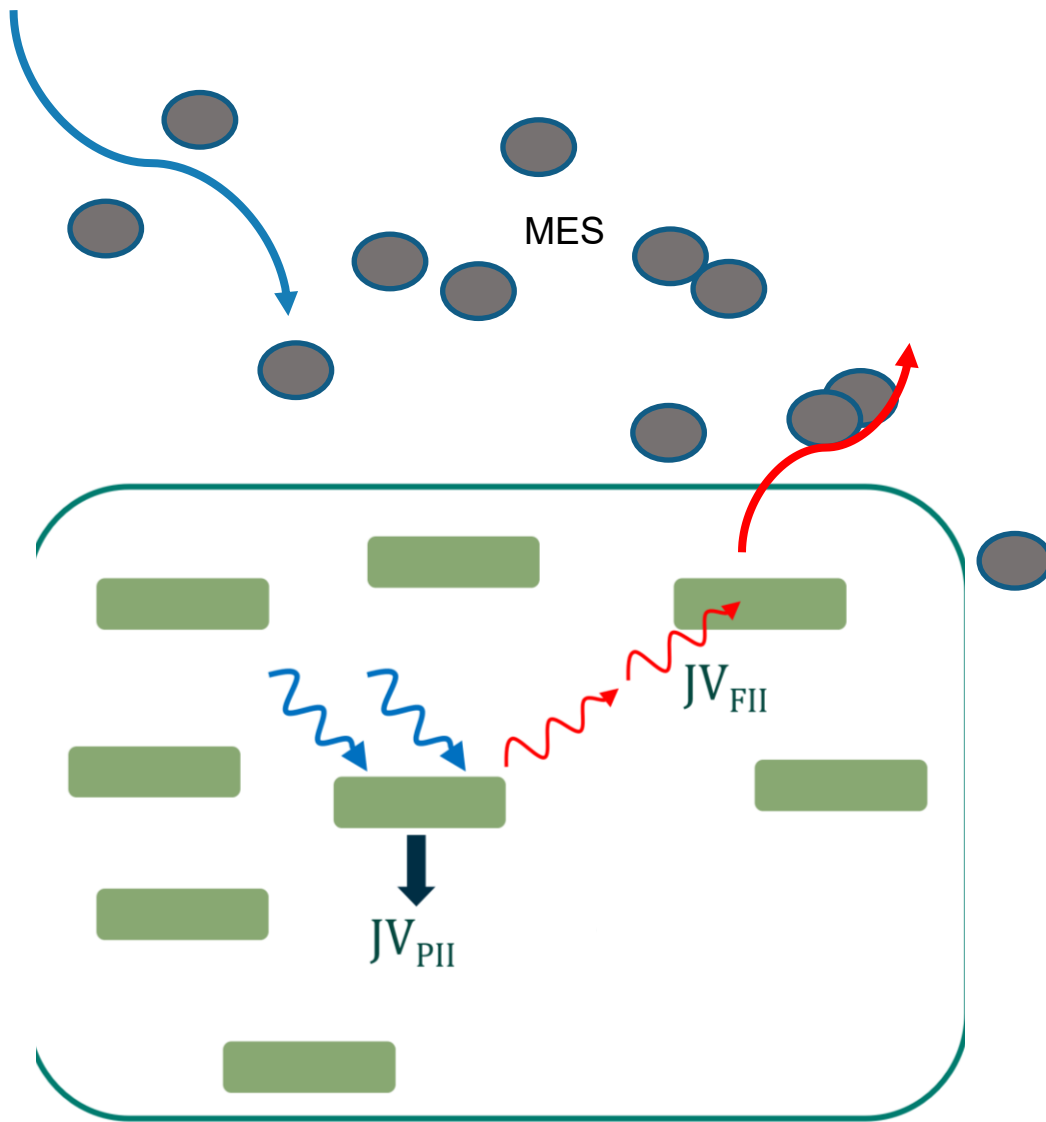
FRRF



Fluorescence transient processed



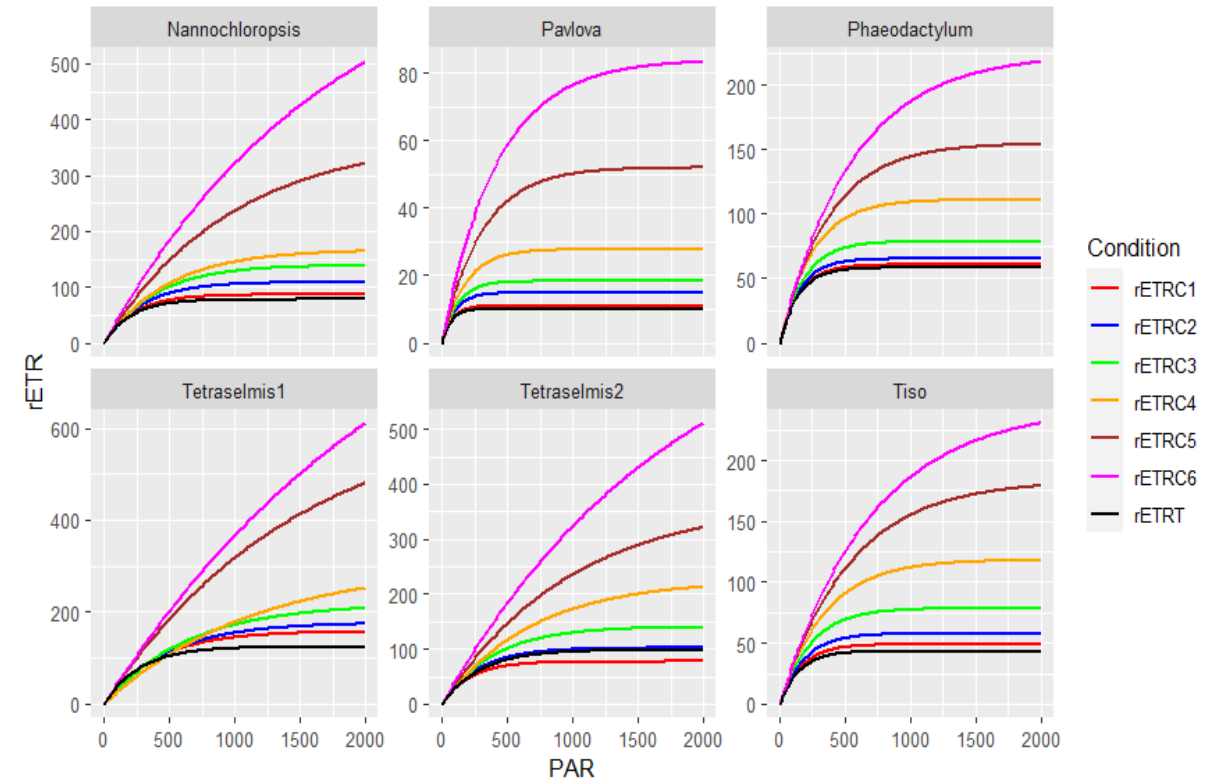
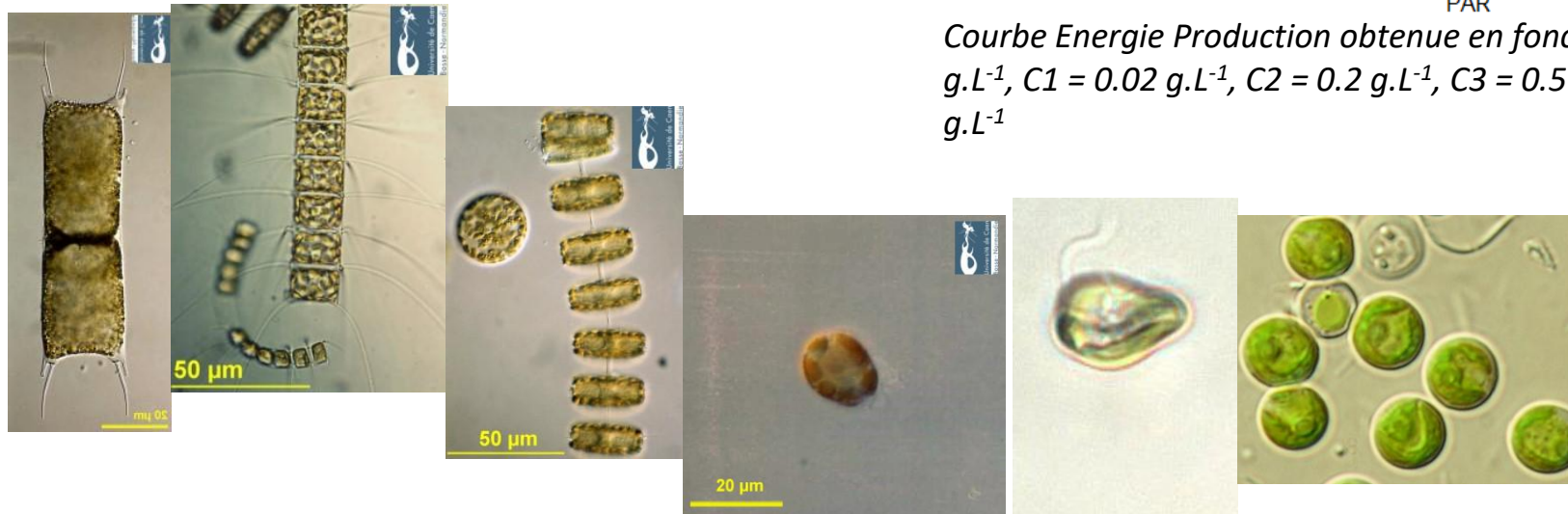




Impact de la turbidité sur les mesures

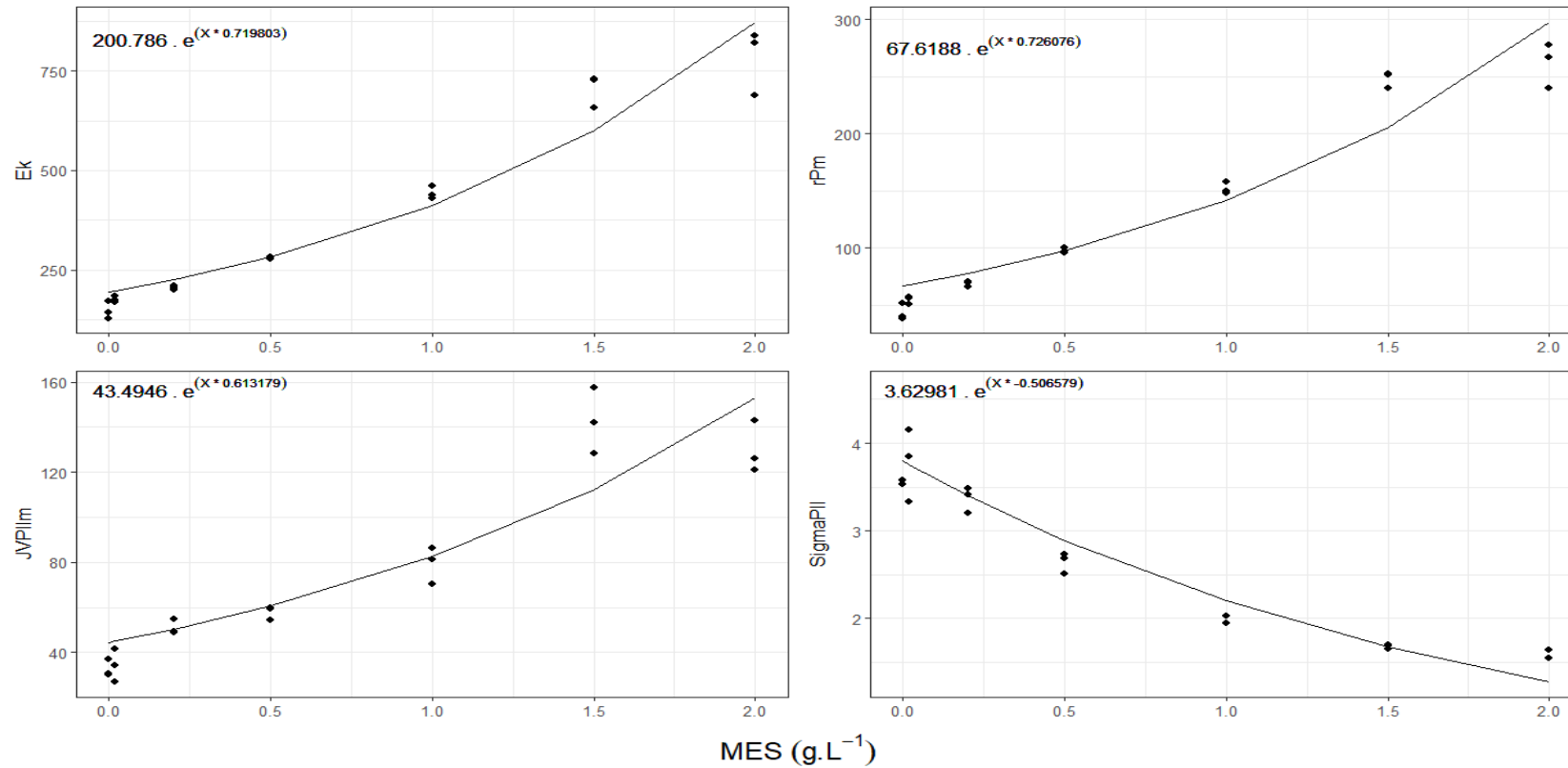
Approche en laboratoire

Espèce	Phylum - Classe
Arthrospira maxima	Cyanobacteria
Chlorella vulgaris	Chlorophyta
Tetraselmis suecica	Chlorophyta
Porphyridium purpureum	Rhodophyta
Pavlova lutheri	Haptophyta
Tisochrysis lutea	Haptophyta
Odontella aurita	Bacillariophyceae (diatomée)
Chaetoceros calcitrans	Bacillariophyceae (diatomée)
Thalassiosira rotula.	Bacillariophyceae (diatomée)
Skeletonema marinoi	Bacillariophyceae (diatomée)
Phaeodactylum tricornutum	Bacillariophyceae (diatomée)
Nannochloropsis salina	Eustigmatophyceae



Courbe Energie Production obtenue en fonction des concentrations en MES ($T = 0$ g.L⁻¹, C1 = 0.02 g.L⁻¹, C2 = 0.2 g.L⁻¹, C3 = 0.5 g.L⁻¹, C4 = 1 g.L⁻¹, C5 = 1.5 g.L⁻¹, C6 = 2 g.L⁻¹)

Approche en laboratoire



Evolution des paramètres photosynthétiques en fonction de la MES chez Tisochrysis lutea

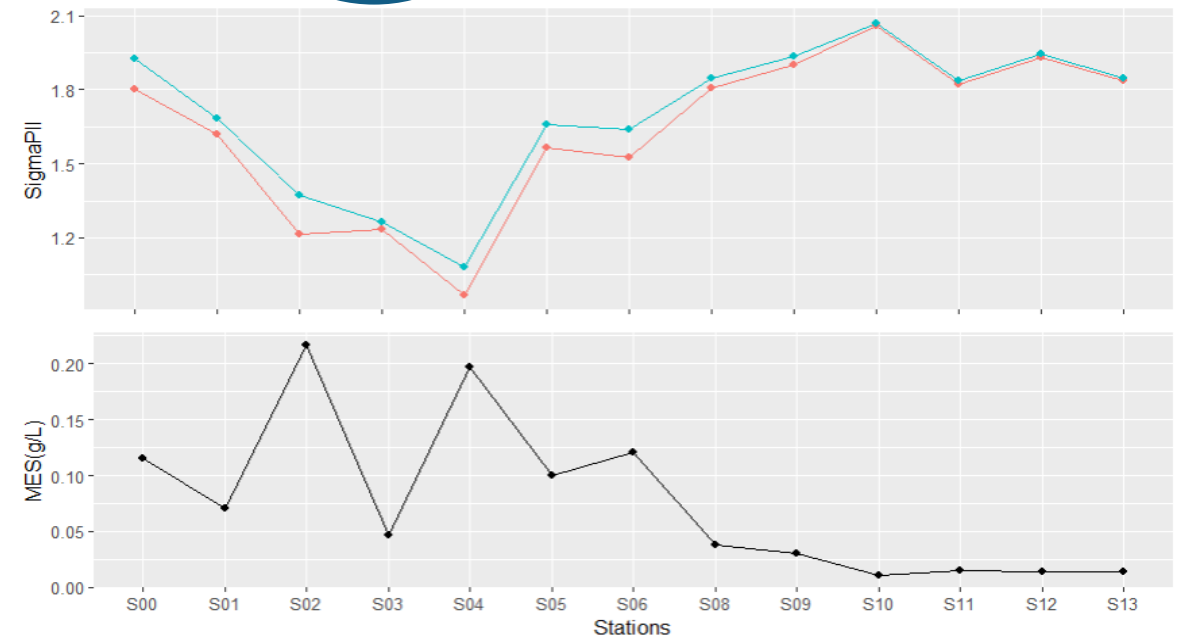
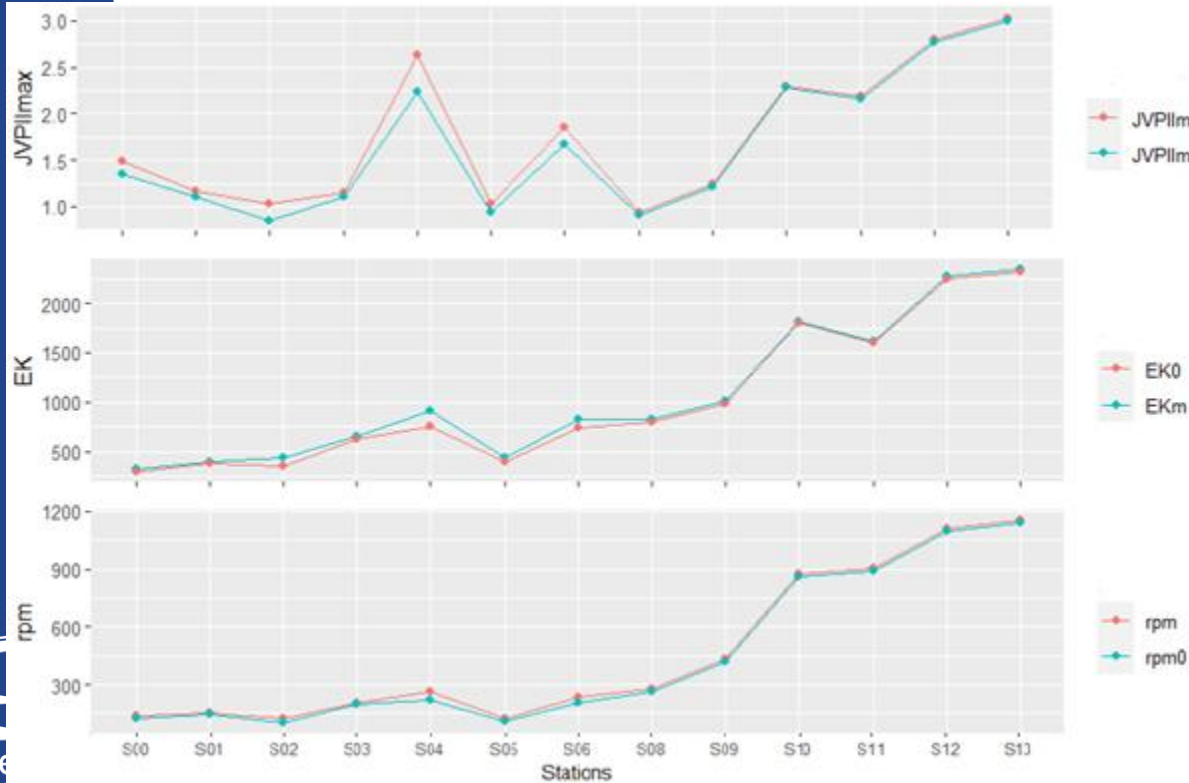
$$Y_{\text{Turbidité}} = Y_{\text{Turbidité0}} e^{KT[\text{MES}]}$$

Si on connaît KT est la MES on peut corriger les paramètres photosynthétiques

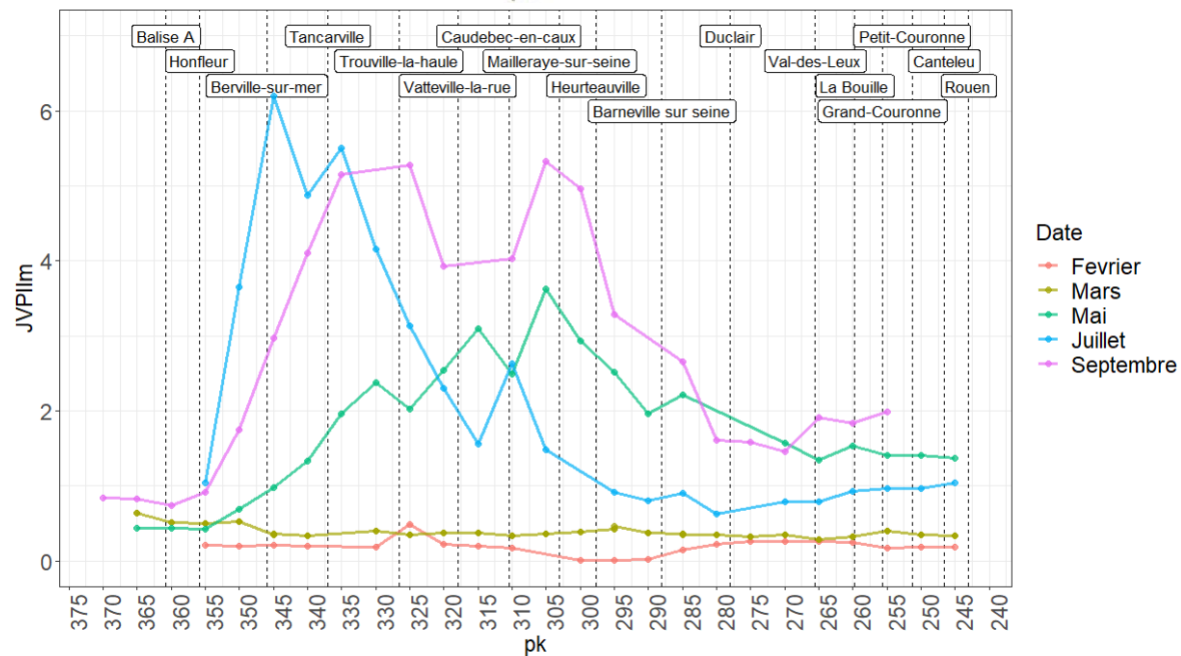
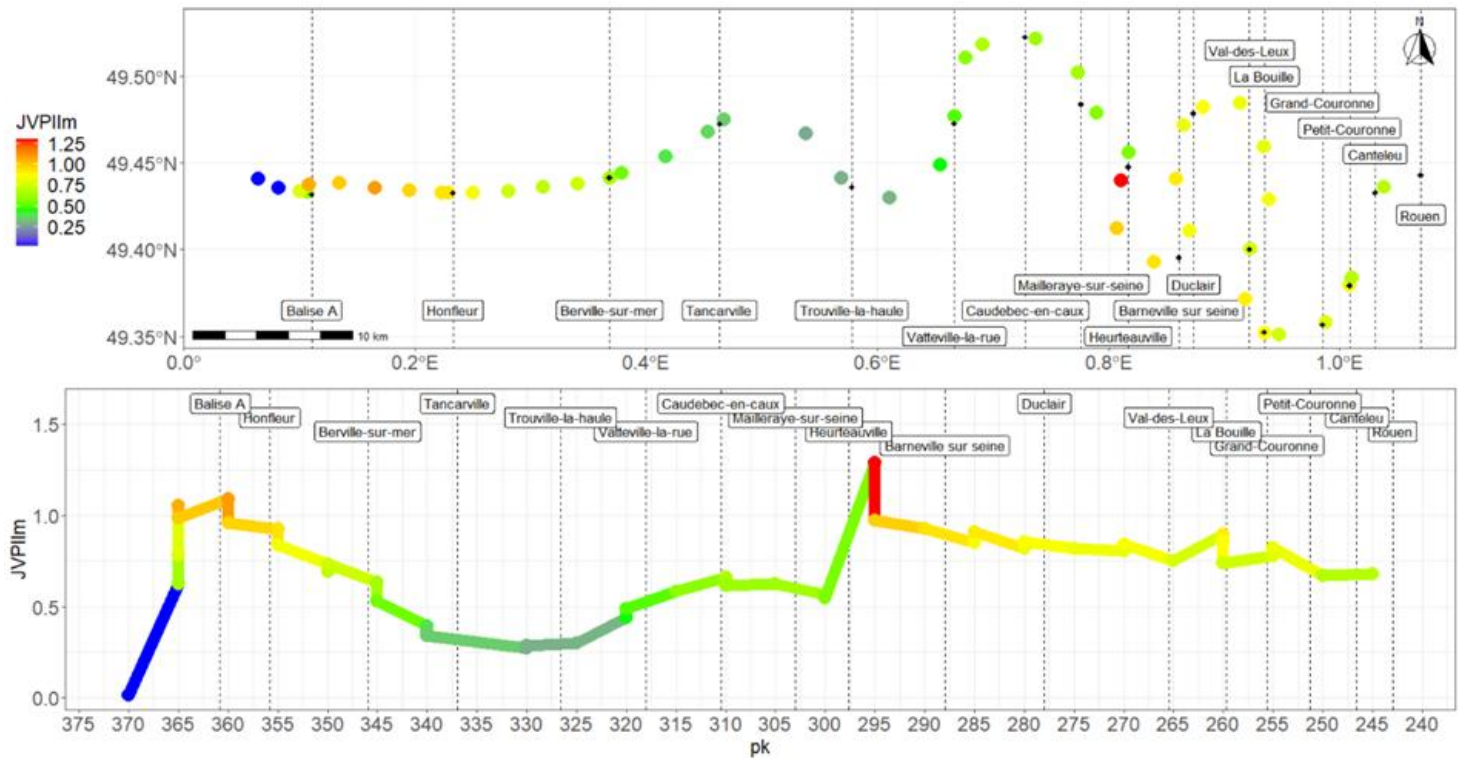
Approche *In situ*

$$Y_{\text{Turbidité}} = Y_{\text{Turbidité0}} e^{KT[\text{MES}]}$$

	Nannochloropsis	Pavlova	Phaeodactylum	Tetraselmis1	Tetraselmis2	Tisochrysis	KT moyen
Ek	1,18062	0,865918	0,773948	0,906215	1,02128	0,719803	0,911297333
JVPllm	1,04494	0,770196	0,632973	0,942945	1,07703	0,613179	0,846877167
rPm	1,26895	1,15969	0,96852	1,09263	1,18679	0,726076	1,067109333
SigmaPII	-0,760251	-0,877111	-0,649664	-0,63	-0,692973	-0,506579	-0,686096333



Correction de 3 à 5% en fonction des concentrations en MES





OPEN ACCESS

EDITED BY
Wei He,
China University of Geosciences, ChinaREVIEWED BY
Yuqiu Wei,
Chinese Academy of Fishery Sciences
(CAFS), China
Rita B. Domingues,
University of Algarve, Portugal
Miki Hondzo,
University of Minnesota Twin Cities,
United States*CORRESPONDENCE
Pascal Claquin,
✉ pascal.claquin@unicaen.frRECEIVED 04 May 2023
ACCEPTED 19 June 2023
PUBLISHED 29 June 2023CITATION
Serre-Fredj L, Chasselin L, Jolly O and
Claquin P (2023), Complex drivers of
primary production along an anthropised
estuary (Seine estuary—France).
Front. Environ. Sci. 11:1216732.
doi: 10.3389/fenvs.2023.1216732COPYRIGHT
© 2023 Serre-Fredj, Chasselin, Jolly and
Claquin. This is an open-access article
distributed under the terms of the
Creative Commons Attribution License
(CC BY). The use, distribution or
reproduction in other forums is
permitted, provided the original author(s)
and the copyright owner(s) are credited
and that the original publication in this
journal is cited, in accordance with
accepted academic practice. No use,
distribution or reproduction is permitted
which does not comply with these terms.

Complex drivers of primary production along an anthropised estuary (Seine estuary—France)

Léon Serre-Fredj^{1,2}, Léo Chasselin^{1,2}, Orianne Jolly¹ and
Pascal Claquin^{1,2*}¹Normandie Université, Université de Caen Normandie, Centre de Recherches en Environnement Côtier (CREC)—Station Marine, Luc-sur-Mer, France, ²Laboratoire Biologie des Organismes et Ecosystèmes Aquatiques (BOREA, UMR CNRS 8067), Muséum National d'Histoire Naturelle, Sorbonne Université, Université de Caen Normandie, Université des Antilles, CREC—Station Marine, Luc-sur-Mer, France

The Seine estuary is a typical model of a system in which phosphorus (P) inputs have been considerably reduced to reduce past eutrophication, with a parallel decrease in phytoplankton biomass. However, reducing P alone while concentrations of nitrate (N) remains high led to a dystrophic nutrient balance in the estuary (high N/P and N/Si). To identify the drivers of primary production and phytoplankton communities in the highly anthropised Seine estuary, sampling was performed along a 110-km stretch over a period of 3 years. Photosynthetic parameters were measured with a single turnover active fluorimeter and the phytoplankton community was assessed using a fluoroprobe and flow cytometry. The results revealed an annual primary production of $33 \text{ g C m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ which was largely controlled by light availability (turbidity) but also by nutrients in late spring and summer period. Massive blooms, not seen since 2002, were observed in a specific area of the estuary. None of the nutrients measured explained the particular location of the blooms but phytoplankton production and productivity indicators were higher in this specific zone excluding a biomass accumulation phenomenon. The local effect of tide slowdown increasing water residence time in this exact part of the estuary could explain the bloom area. The question thus arises: does phosphate play a role as a limiting nutrient? The diatom bloom led to total depletion of Si, but no clear limitation of P was observed. Nevertheless, the decrease in Si appears to have played a key role by triggering a succession from diatoms (microphytoplankton) to chlorophytes (nanophytoplankton) and hence affecting phytoplankton composition. The N/P balance appeared to be more important than the absolute concentration of P to explain the phytoplankton dynamics and the biomass decrease observed the last decades.

KEYWORDS

flow cytometry, variable fluorimetry, phytoplankton communities, multispectral fluorimetry, eutrophication

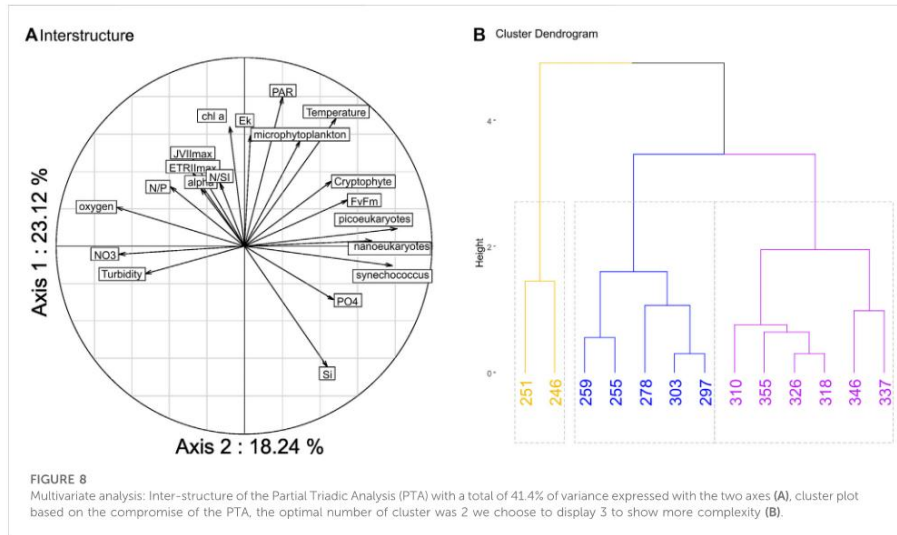


FIGURE 8

Multivariate analysis: Inter-structure of the Partial Triadic Analysis (PTA) with a total of 41.4% of variance expressed with the two axes (A), cluster plot based on the compromise of the PTA, the optimal number of cluster was 2 we choose to display 3 to show more complexity (B).

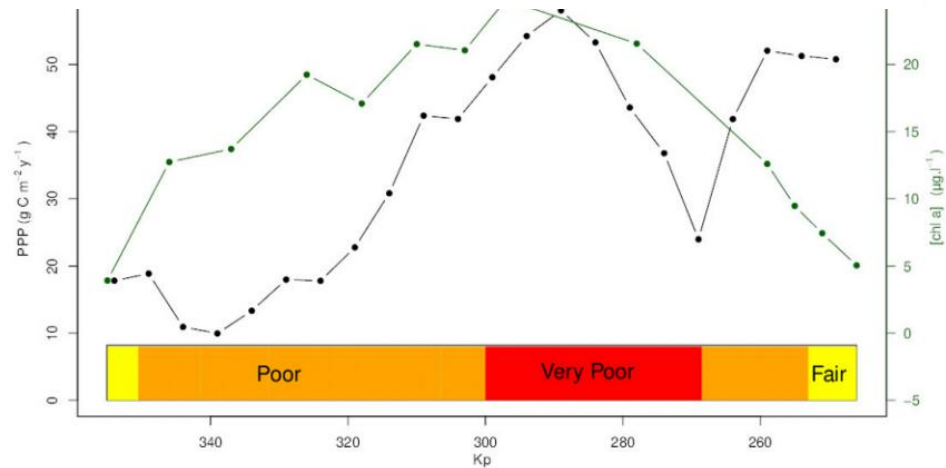
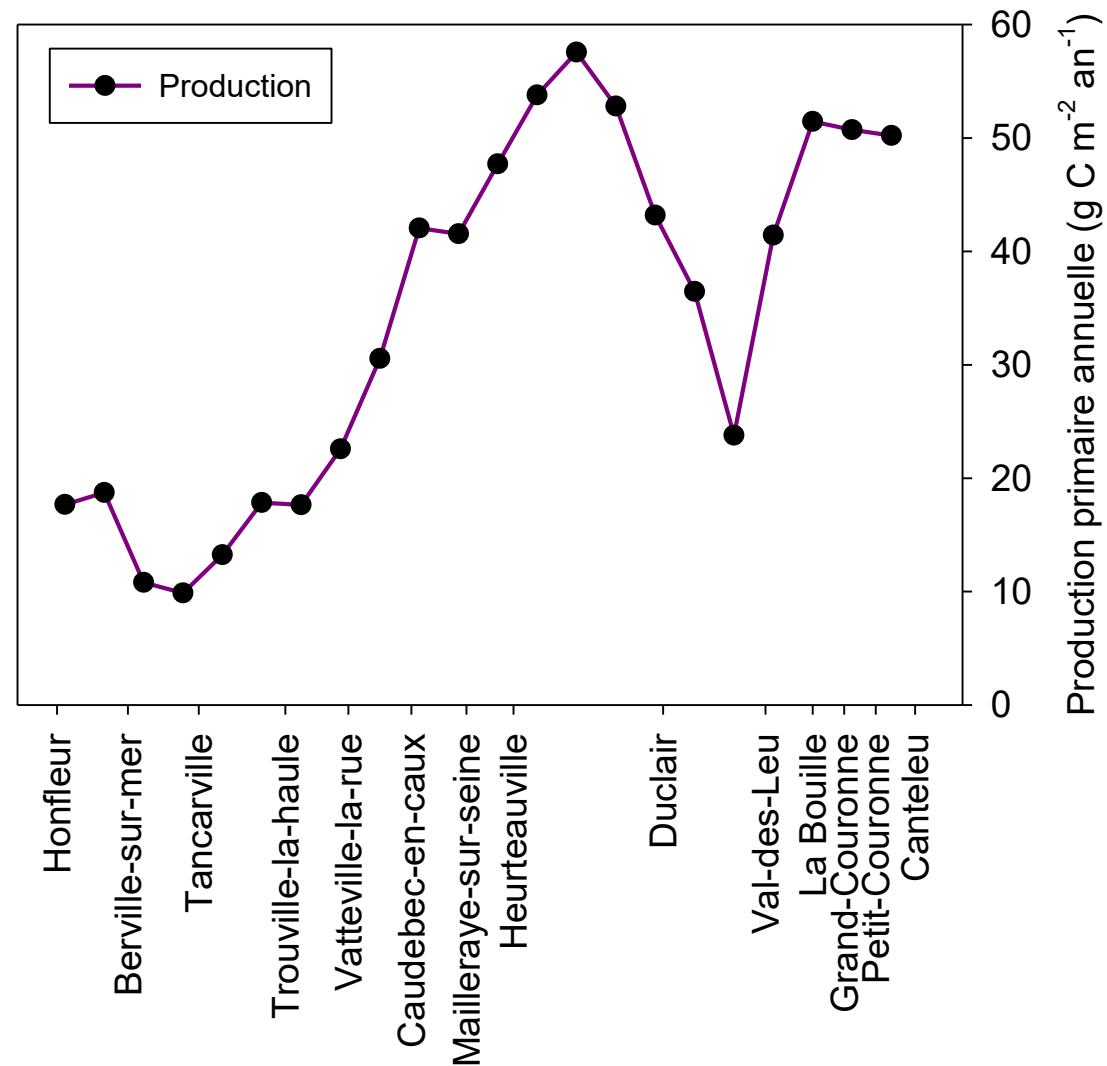


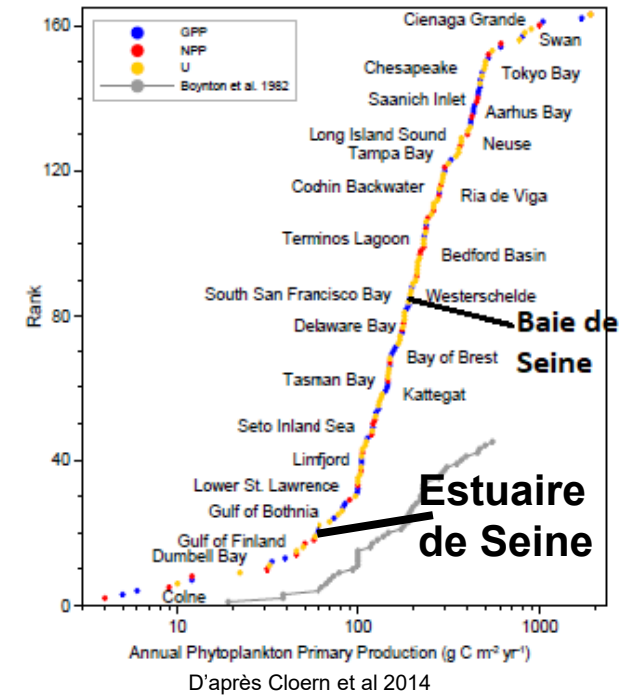
FIGURE 9

Annual Phytoplankton Primary Production (PPP) ($\text{g C m}^{-2} \text{ y}^{-1}$), estimated along the Seine estuary Kp (kilometre point) (black dot line). Mean value of chl a concentration ($\mu\text{g L}^{-1}$) by Kp (green line/dot). The colored boxes at the bottom displayed the WFD phytoplankton biomass classification (yellow = fair, orange = poor, red = very poor).

Estimation de la production primaire annuelle (g C m⁻² an⁻¹)



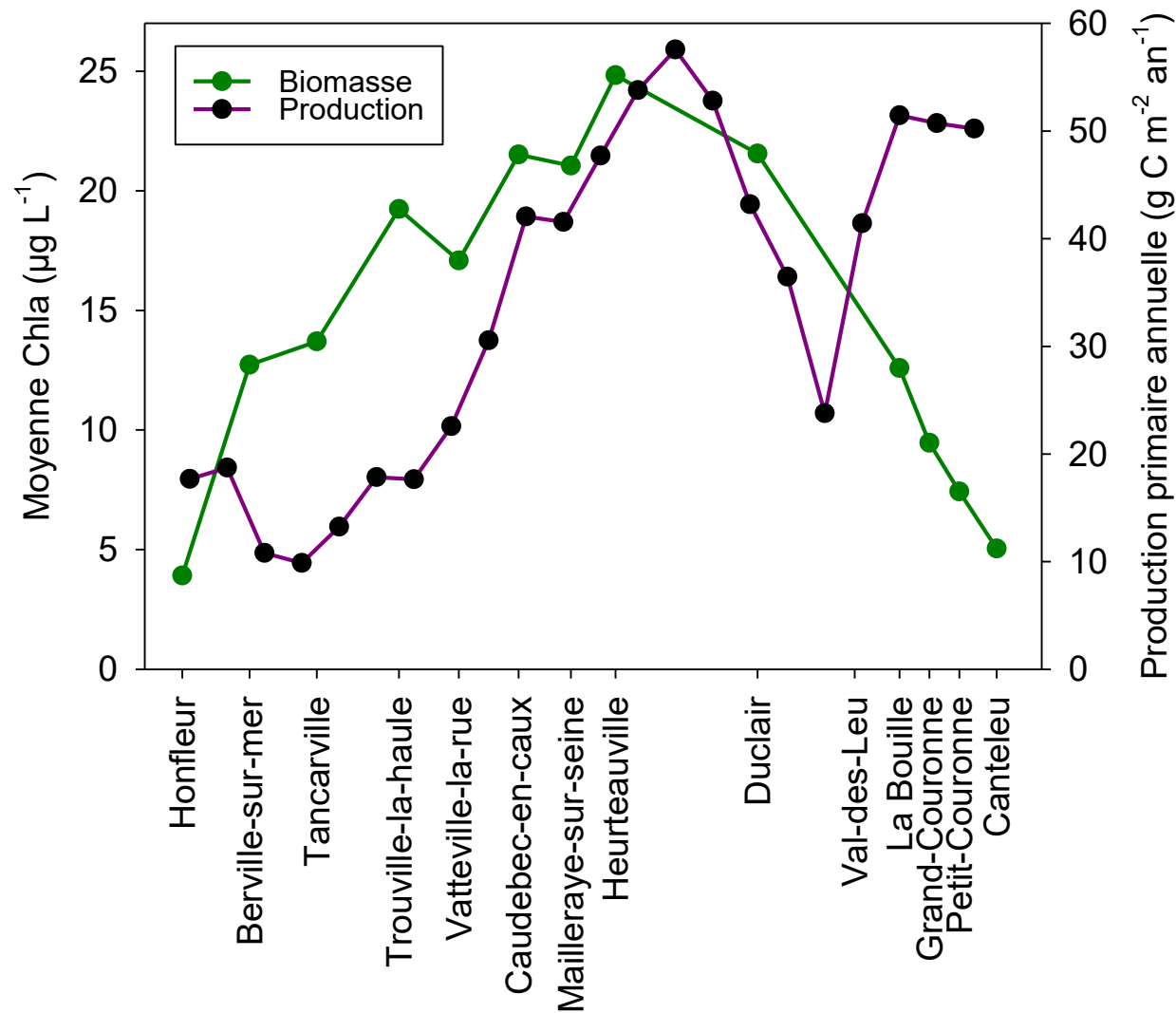
33 g C.m⁻².an⁻¹



$$PPP = \int_0^{735 \text{ days}} \int_{z=0}^{Z_{eu}} \int_{Kp=246}^{Kp=355} J_{VII}(E_z, t, z, s) / \Phi_{e,c} dt dz ds$$

Serre-Fredj et al. (2023)

Estimation de la production primaire annuelle ($\text{g C m}^{-2} \text{an}^{-1}$) et de la biomasse moyenne



Baisse de la production entre La Bouille et Duclair

Découplage de la production et de la biomasse à l'amont

Serre-Fredj et al. (2023)

Recommandations

- Le LABSTAF est recommandé pour les campagnes de remontée de la Seine et peut être programmé pour fonctionner de manière autonome. Un contrôle régulier de la chambre de mesure est nécessaire pour éviter l'accumulation de sédiments.
- Un LABSTAF est déployé sur SMILE, mais un déploiement sur une station fixe dans l'estuaire serait limité en raison des fortes concentrations en MES (matières en suspension), provoquant un encrassement trop rapide du capteur.
- Eventuellement à Poses...
- Application des facteurs de correction : Appliquer le facteur de correction pour homogénéiser les mesures des paramètres photosynthétiques de l'amont à l'aval de l'estuaire. Une nouvelle série de calibration des données LABSTAF versus ^{13}C serait à réaliser de l'amont à l'aval.

