

Les webinaires de l'Estuaire

Webinaire # 11

12/10/2026

Fonctionnement du domaine pélagique : *Caractérisation et spatialisation du réseau trophique*

Manuel MUNTONI

mmuntoni@seine-aval.fr



GIP Seine-Aval
GROUPEMENT D'INTÉRÊT PUBLIC

Le domaine pélagique

Le domaine pélagique correspond à la colonne d'eau libre, incluant l'ensemble des organismes planctoniques et nectoniques ainsi que les processus biogéochimiques et trophiques qui s'y déroulent

Bactérioplancton hétérotrophe

(bactéries et Archées hétérotrophes)

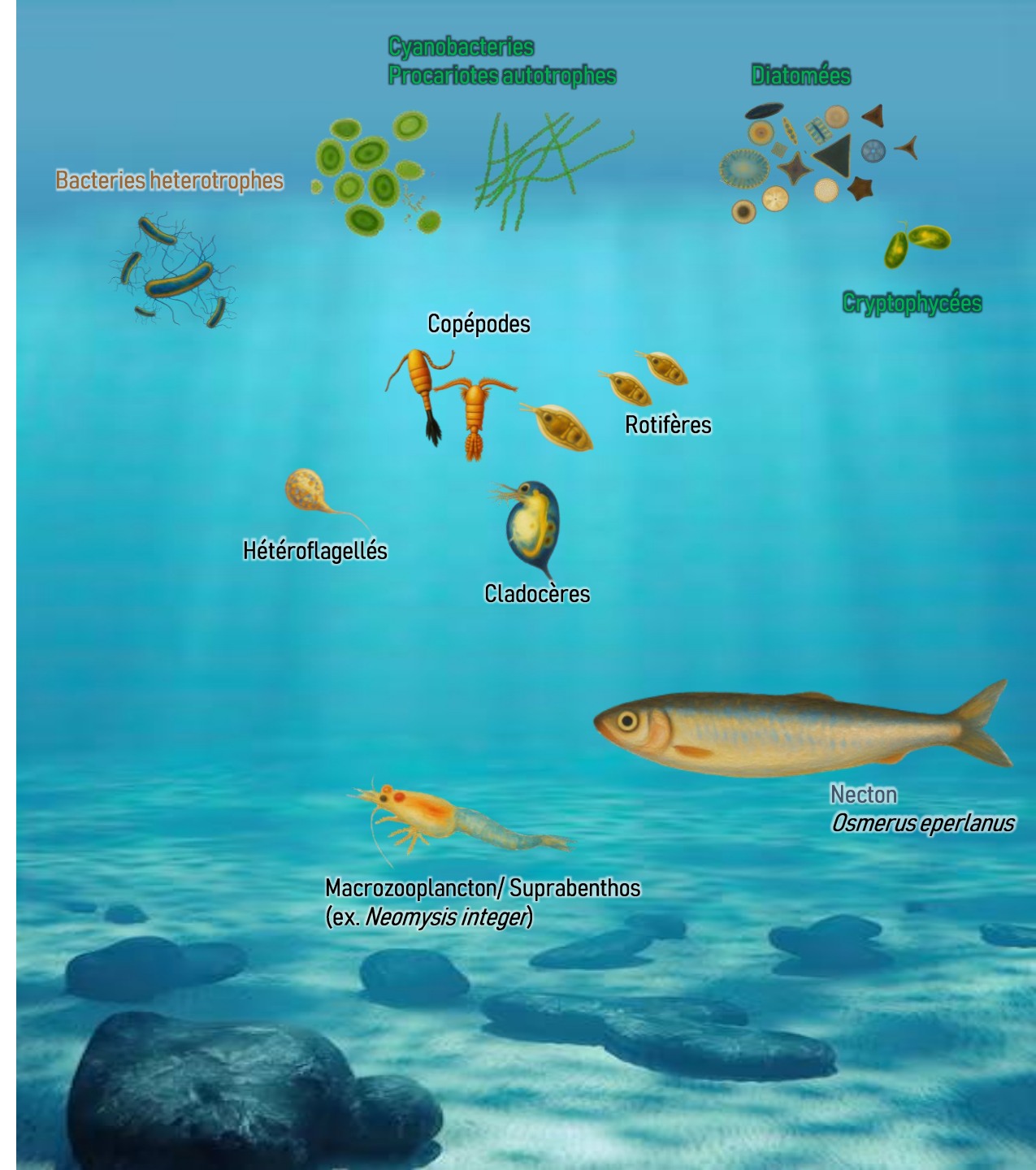
Phytoplancton

- Picophytoplancton (< 2 µm)
- Nanophytoplancton (2–20 µm)
- Microphytoplancton (> 20 µm)

Zooplancton

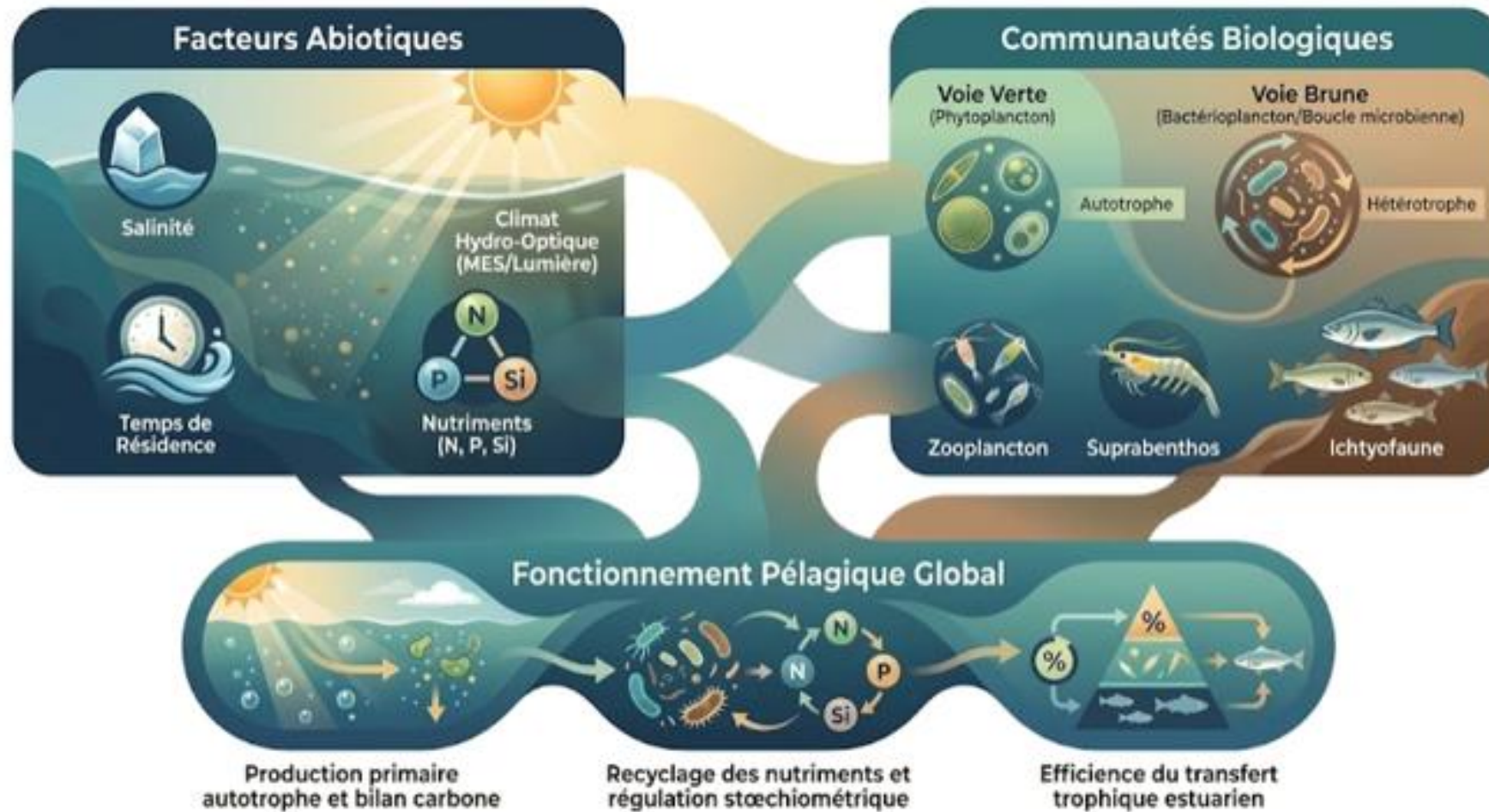
- Microzooplancton (< 200 µm)
- Mésozooplancton (200 µm – 2 mm)
- Macrozooplancton (> 2 mm)

Necton



Les facteurs structurant le fonctionnement pélagique

Le fonctionnement pélagique caractérise la **dynamique biologique et biogéochimique** de la colonne d'eau, assurant la **production et le transfert d'énergie** au sein des différents maillons trophiques



Les facteurs structurant le fonctionnement pélagique

Le fonctionnement pélagique caractérise la **dynamique biologique et biogéochimique** de la colonne d'eau, assurant la **production et le transfert d'énergie** au sein des différents maillons trophiques



Salinité

Structuration spatiale des communautés (tolérance osmotique)



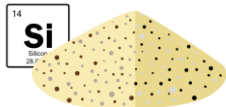
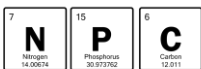
Temps de résidence de l'eau

Fenêtre de temps pour la croissance et l'accumulation de la biomasse



Pénétration de la lumière → turbidité

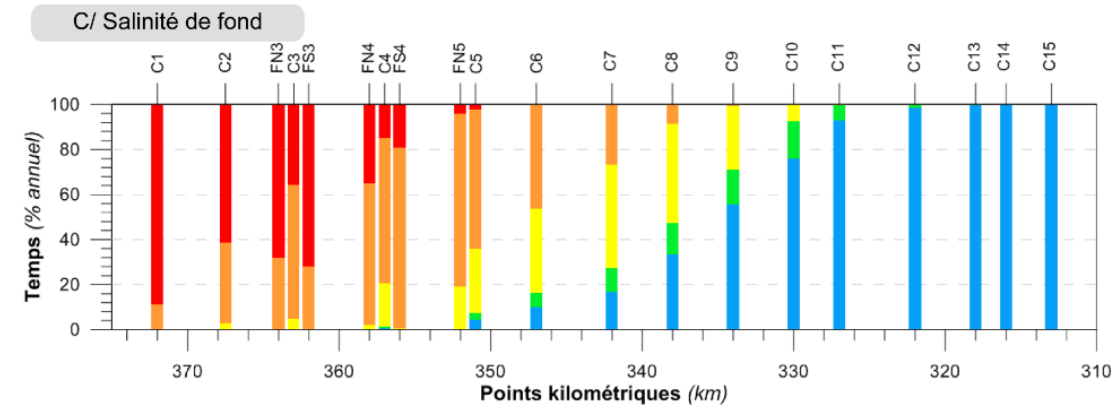
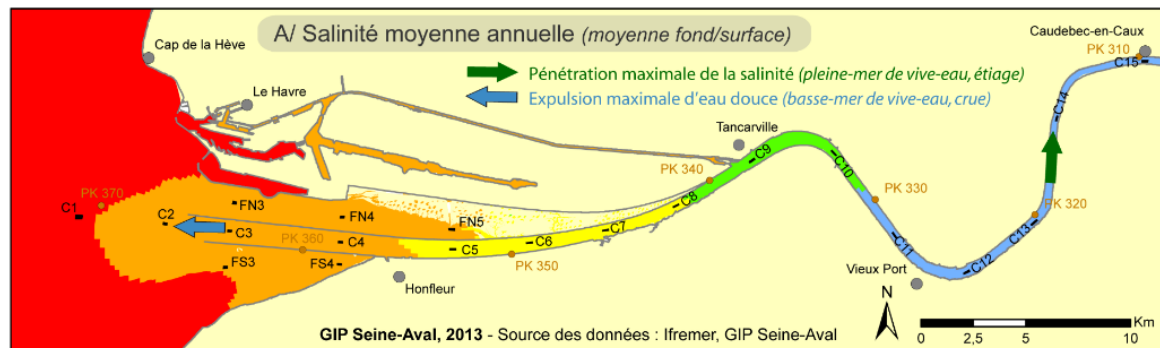
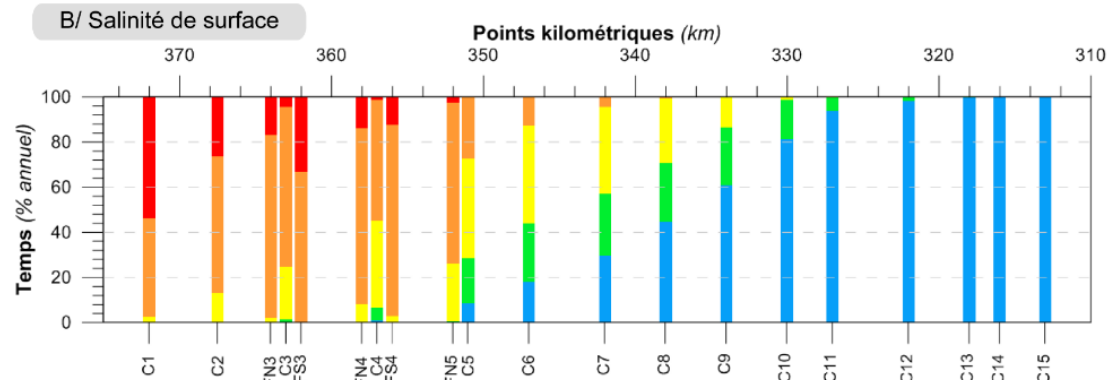
Contrôle les taux de production primaire



Nutriments

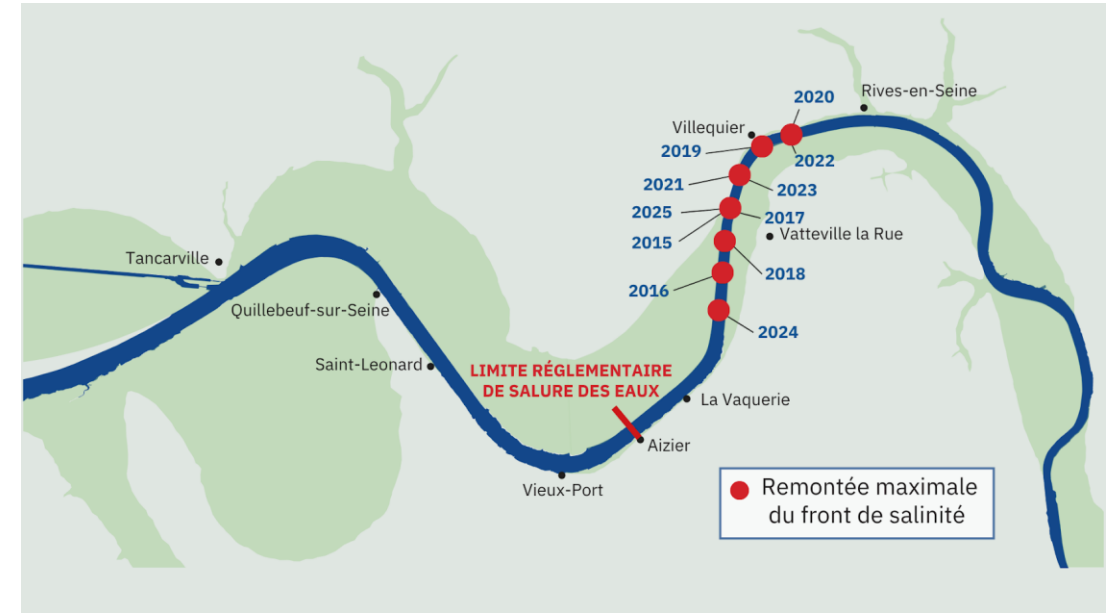
Composition taxonomique et qualité de la matière organique (ratios C:N:P:Si)

Salinité



Gamme de salinité

Salinité	Limnique (<0.5)	Oligohalin (0.5 - 5)	Mésohalin (5 - 18)	Polyhalin (18-30)	Euhalin (>30)
Limnique (<0.5)	Blue	Green	Yellow	Orange	Red



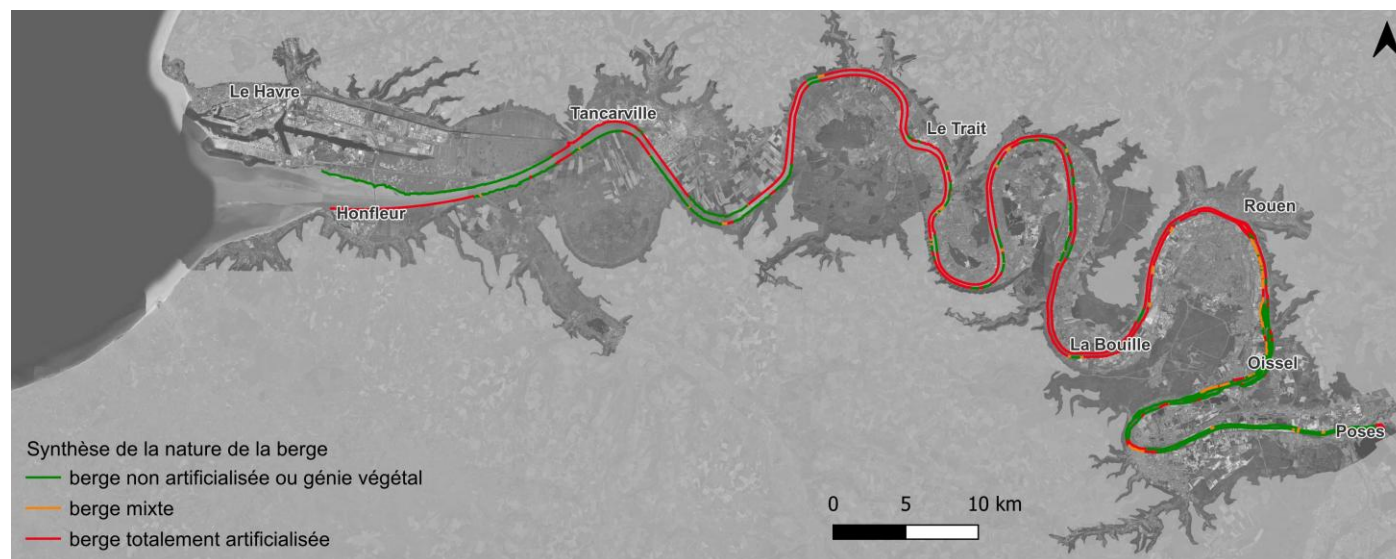
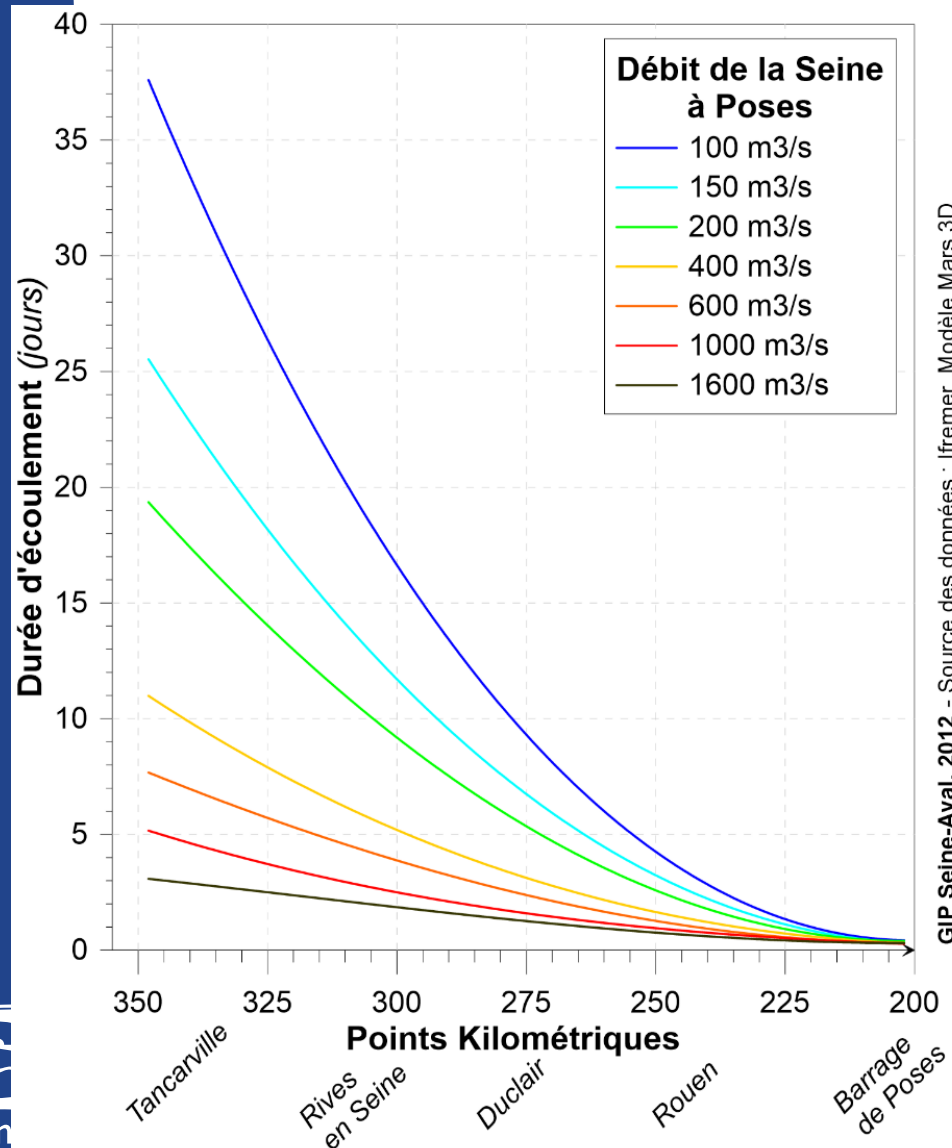
Impact du changement climatique :
 les remontées de salinité deviennent plus fréquentes

Temps de résidence de l'eau

Durée moyenne pendant laquelle une masse d'eau séjourne dans un tronçon donné avant d'être exportée vers l'aval ou renouvelée par les apports fluviaux

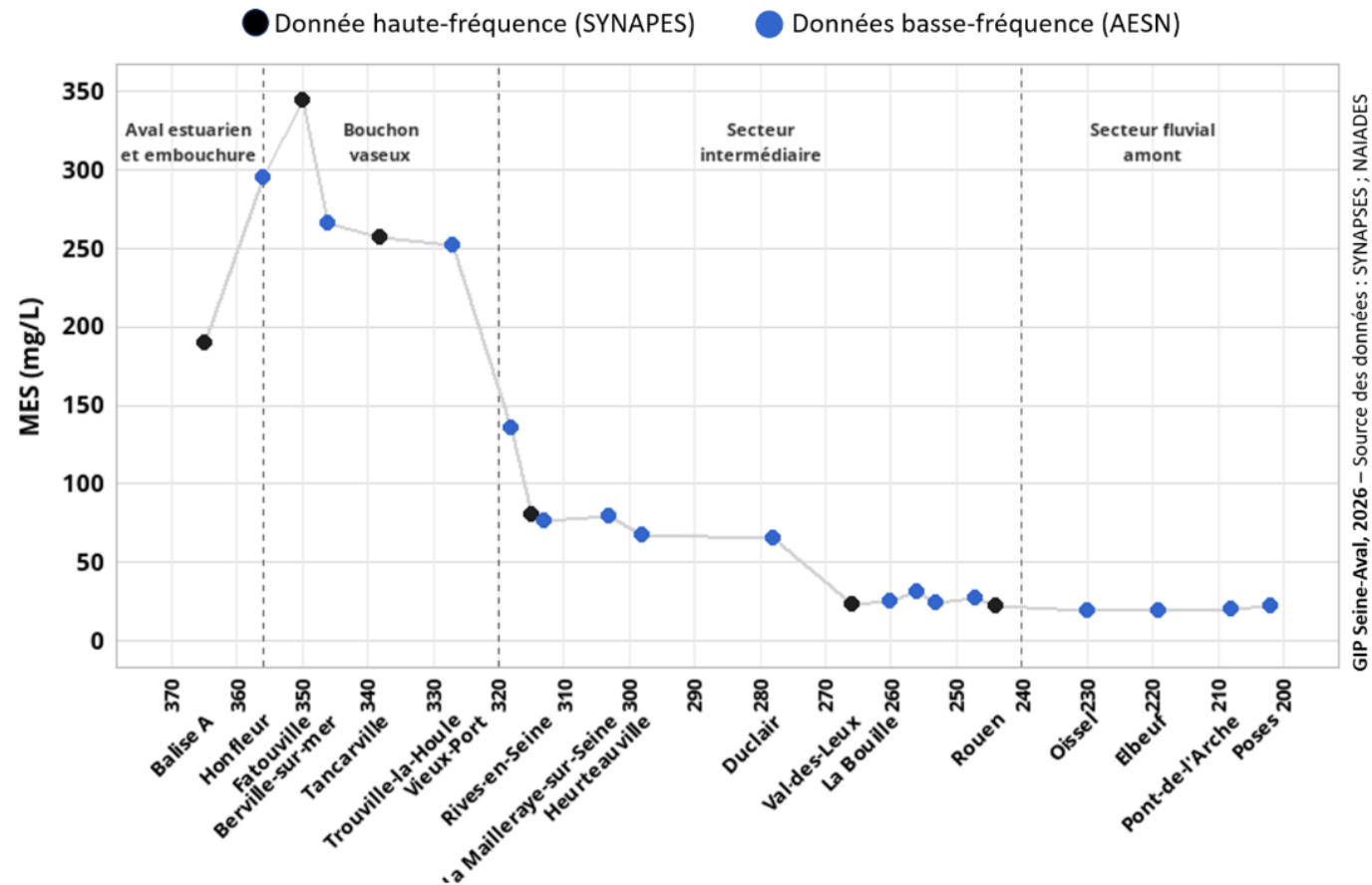
Interaction entre le débit de la Seine, l'amplitude de la marée et la morphologie du chenal

Si le temps de résidence est inférieur au temps de division/génération des cellules phytoplanctoniques la biomasse est exportée !



Turbidité et pénétration de la lumière

MES 2010 – 2026 (moyenne)



BOUCHON VASEUX (ZTM)

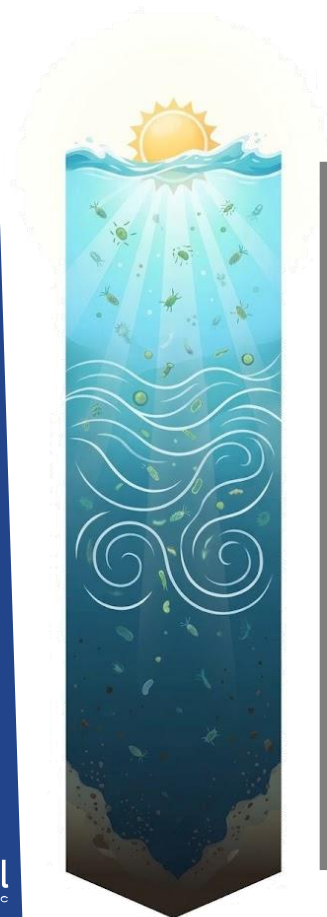
→ système dynamique dont la position, la concentration en MES et le volume évoluent sous l'effet combiné de la marée et du débit fluvial

Facteur limitant la pénétration de la lumière et donc la photosynthèse !

Turbidité et pénétration de la lumière

Ratio hydro-optique : un indicateur de la « permmissivité » abiotique du milieu pour la photosynthèse du phytoplancton → conditions de luminosité dans lesquelles les cellules peuvent produire

Rapport entre l'épaisseur de la zone photique (Z_p profondeur à laquelle la luminosité suffisante pour permettre la photosynthèse) et la profondeur moyenne de la colonne d'eau (Zone de mélange Z_m)



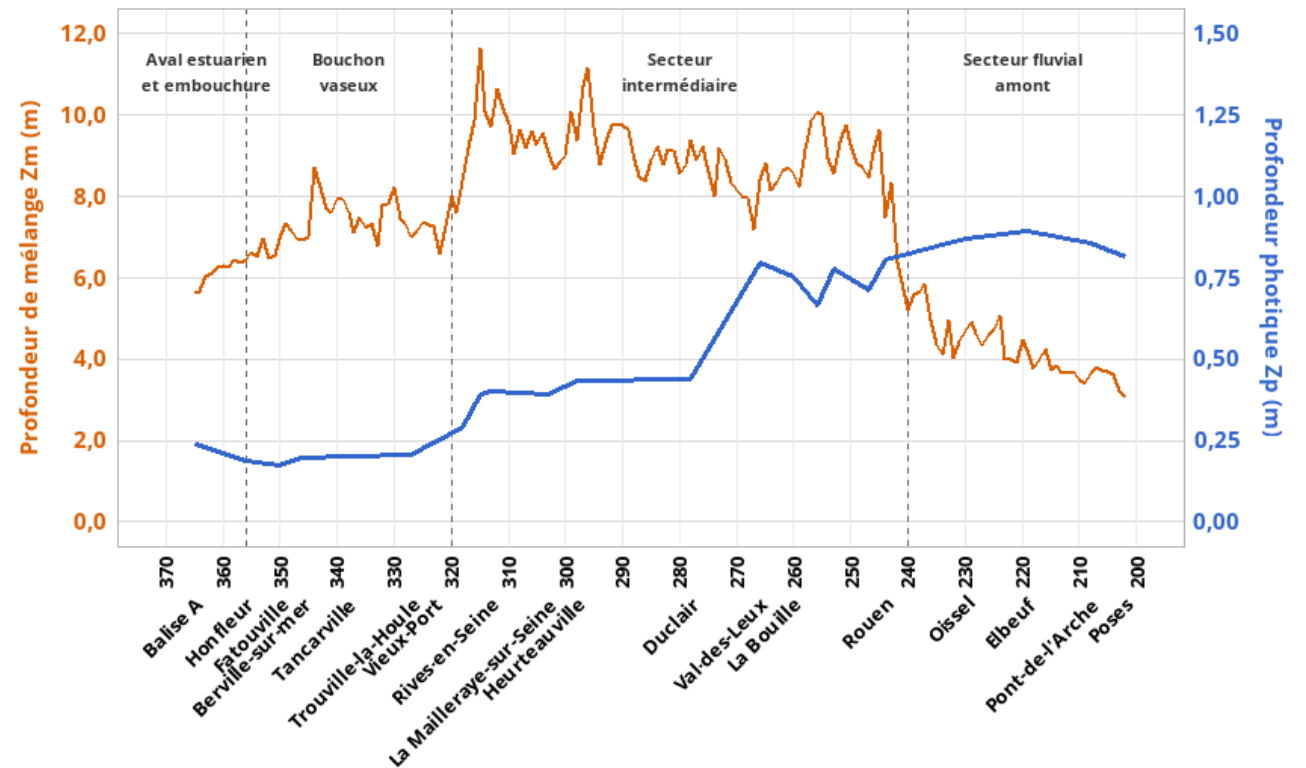
Profondeur photique Z_p

$$Z_p = \frac{4,6}{k_d}$$

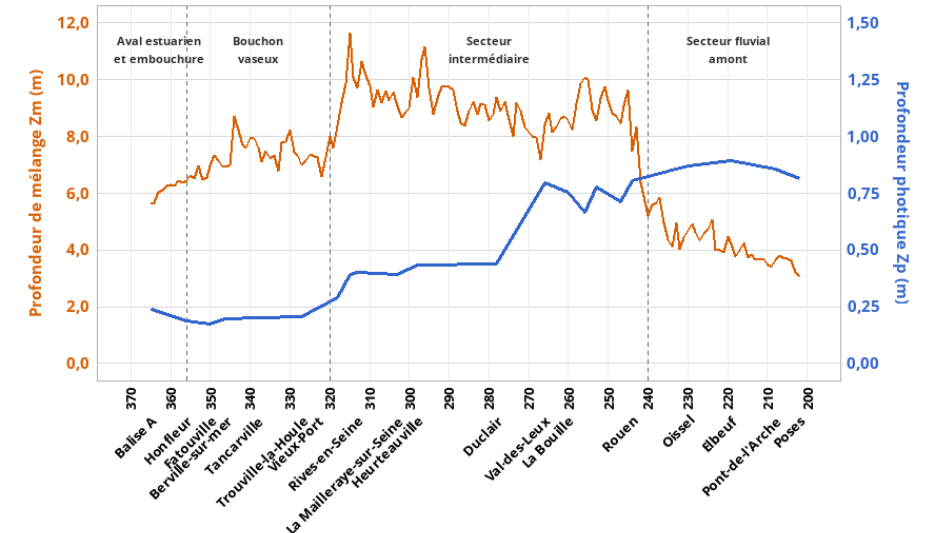
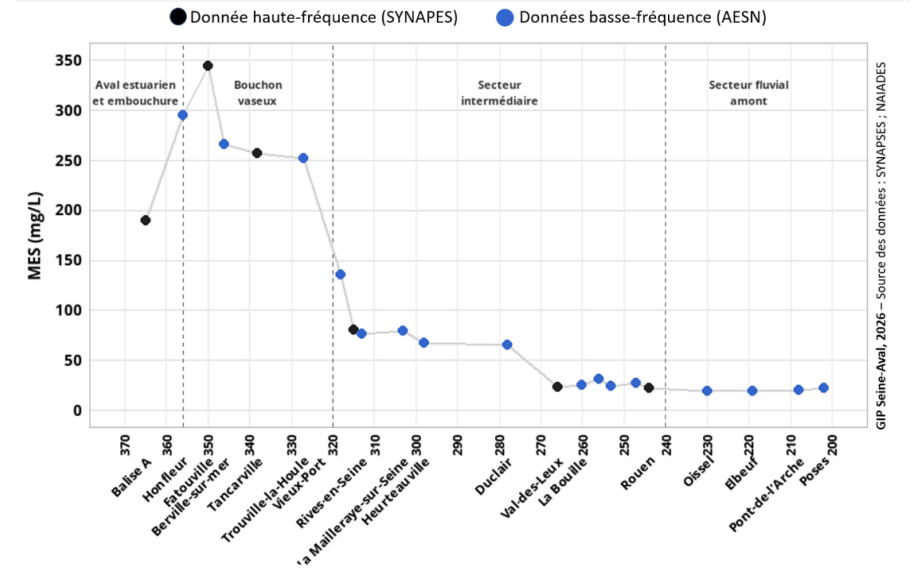
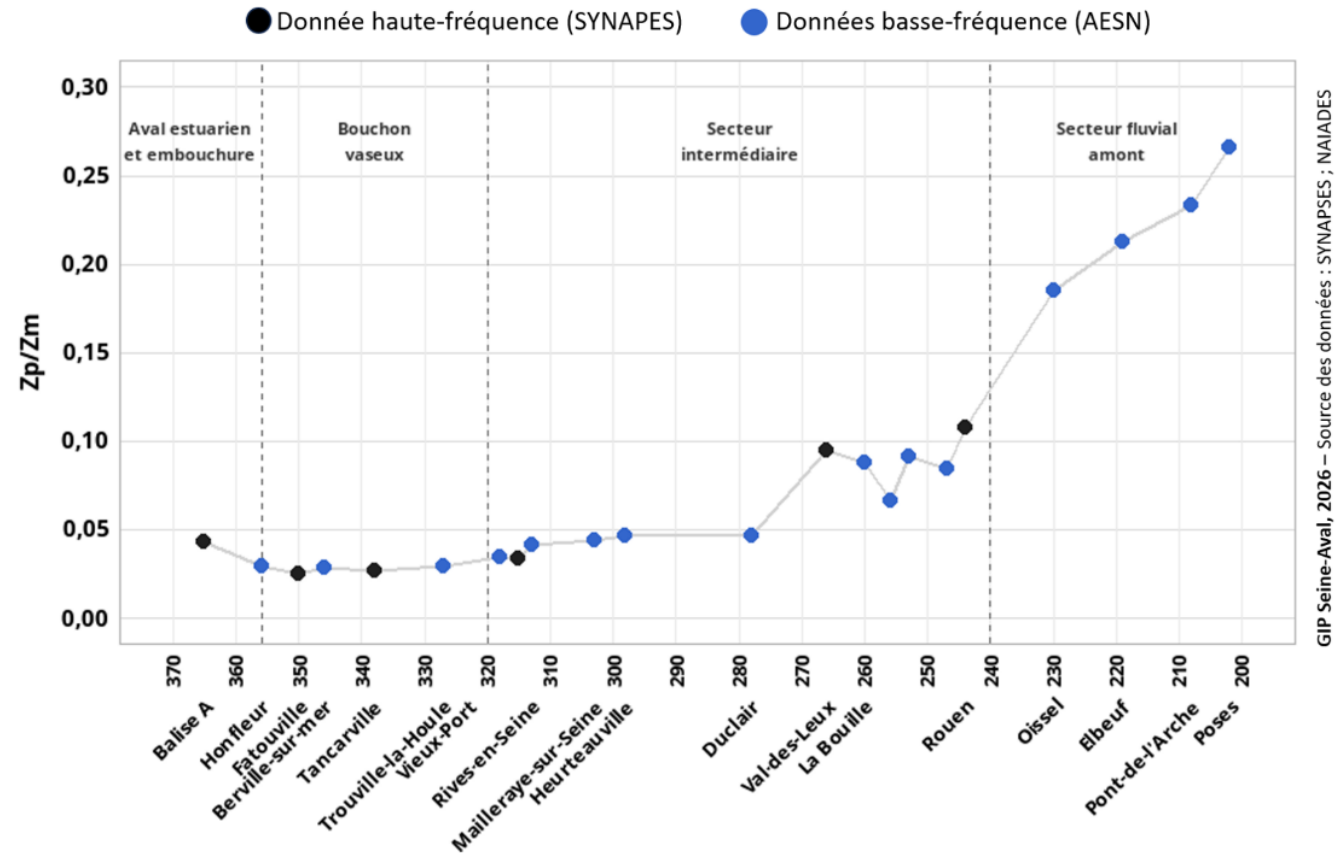
4,6 → profondeur seuil où l'irradiance lumineuse reçue correspond exactement à 1 % de la lumière solaire de surface

$$k_d = \text{MES}^{0,563}$$

Profondeur de mélange Z_m



Les facteurs structurant le fonctionnement pélagique



MES élevées

MES modérées
+ profondeur

MES faibles
profondeur
modérée

MES faibles
profondeur
faible



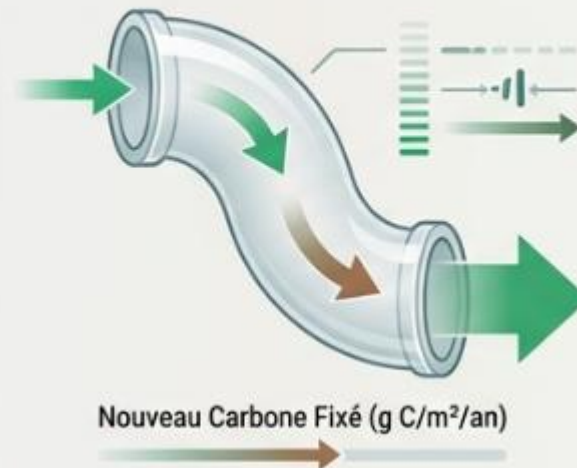
Trois mesures des chaines trophiques autotrophes

Biomasse (le stock)



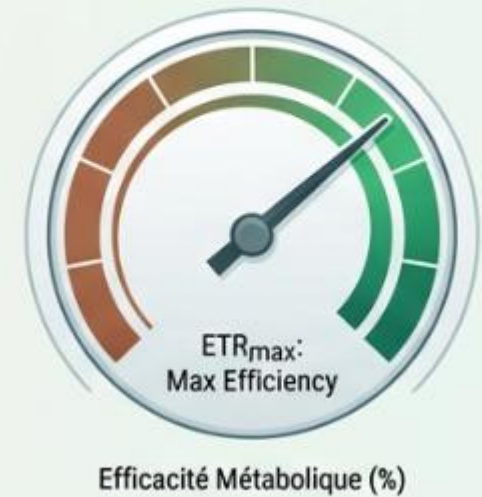
Chlorophylle a → Quantité de matière algale accumulé et présente à un instant
Etat physiologique → ratio Phéopigments/Chl-a

Production primaire (le flux)



Quantité de C organique fixé à partir du minéral et de la lumière → mesure en unité de surface et de temps

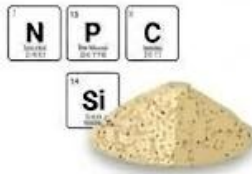
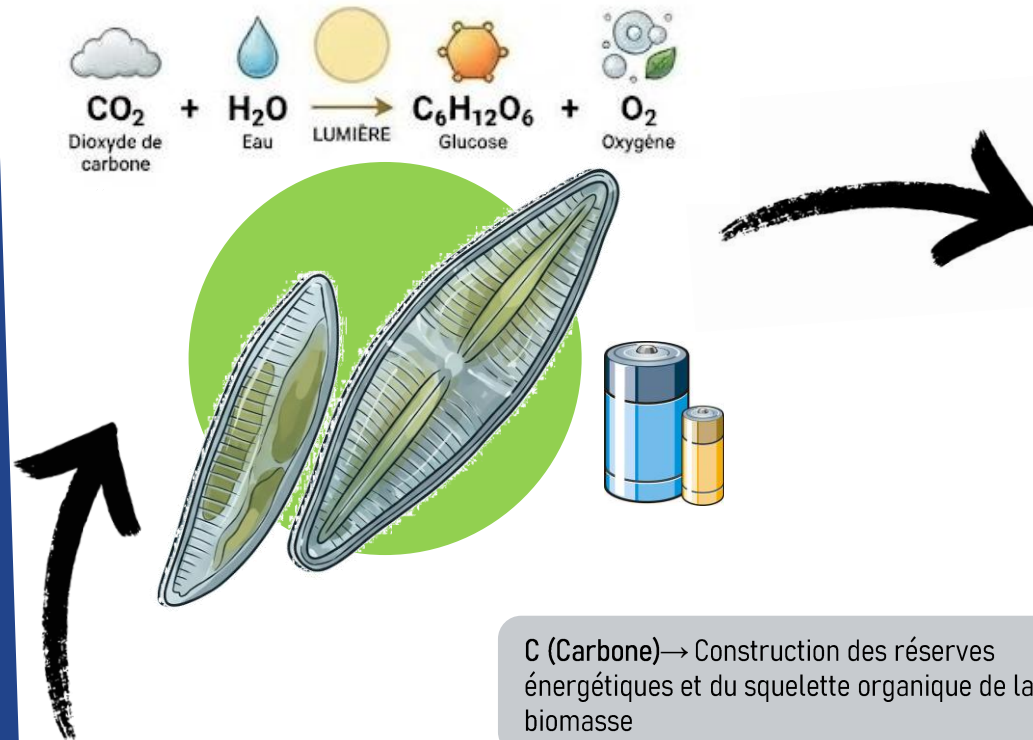
Productivité (le rendement)



Efficacité métabolique de la conversion de l'énergie lumineuse par les autotrophes
→ *Biomasse x taux de croissance*

Photosynthèse et biomasse : rôle des nutriments

Photosynthèse → Production d'énergie



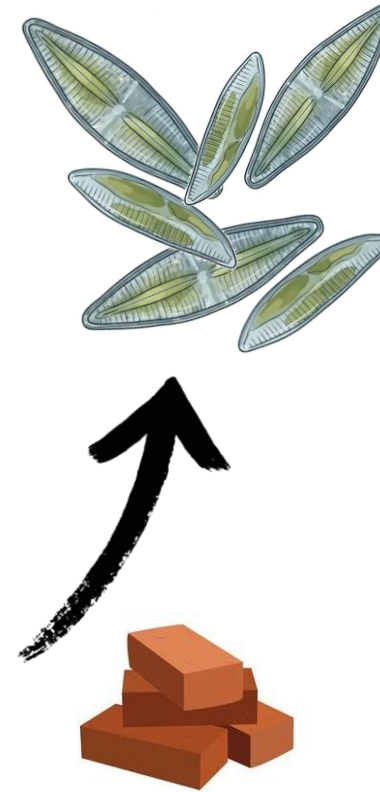
C (Carbone) → Construction des réserves énergétiques et du squelette organique de la biomasse

N (Azote) → Synthèse des acides aminés, des protéines et des enzymes et de la chlorophylle

P (Phosphore) → Synthèse des phospholipides (membranes), de l'ADN/ARN et des molécules d'ATP

Si (Silice) → Création de la frustule chez les diatomées

Production de biomasse



La production de l'estuaire en chiffres

Production primaire annuelle moyenne du phytoplancton

→ entre la baie au large du Havre jusqu'à Tancarville

$65 \text{ g C m}^{-2} \text{ an}^{-1}$ →
 $6\,032 \text{ t de C an}^{-1}$

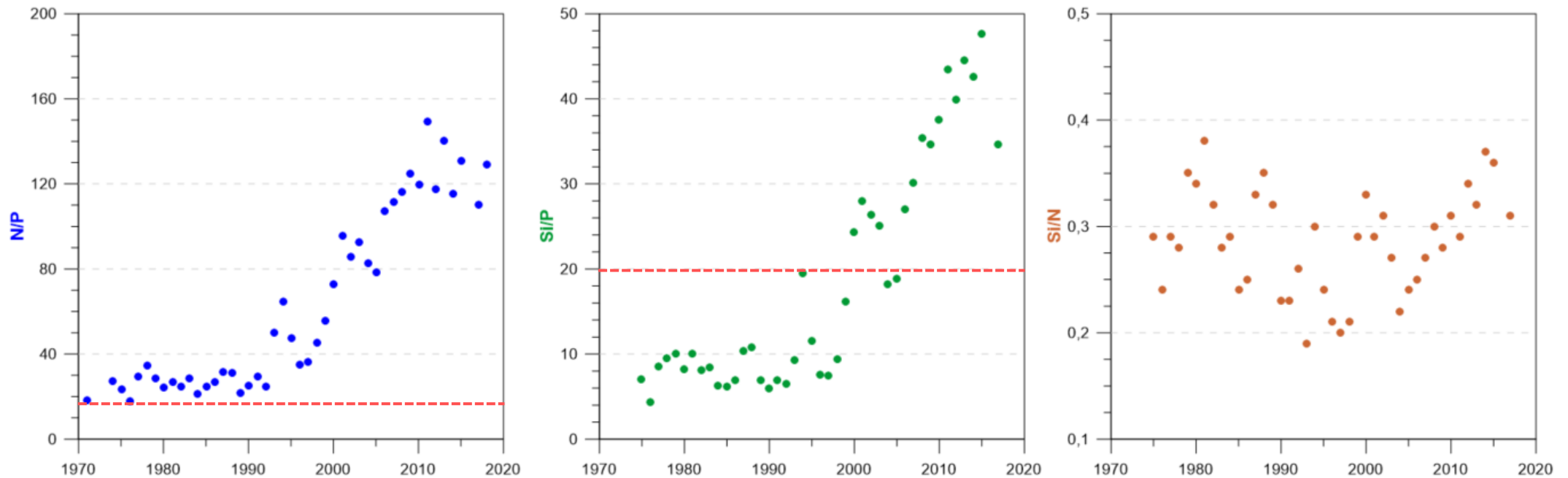
→ entre Honfleur et Rouen a été évaluée être autour de 1 320 t de carbone fixées par an,

$33 \text{ g C m}^{-2} \text{ an}^{-1}$ →
 $1\,320 \text{ t de C an}^{-1}$

Nutriments

Quatre sels nutritifs dont le phytoplancton a besoin pour construire sa biomasse de manière optimale :
C, N, P, Si

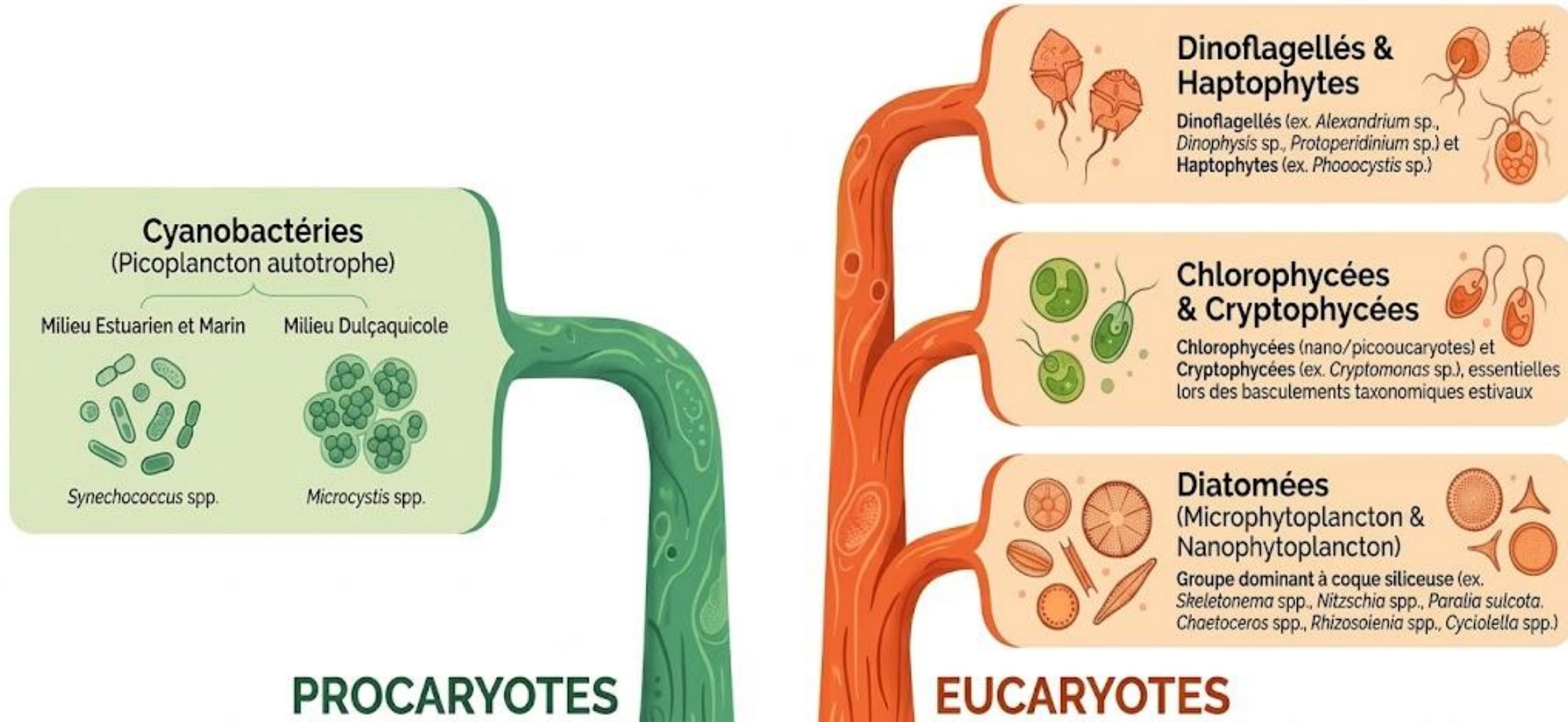
Rapport de Redfield : Il exprime la proportion théorique d'éléments nutritifs dont le phytoplancton a besoin pour construire sa biomasse de manière optimale → $C:N:P:Si = 106 : 16 : 1 : 20$



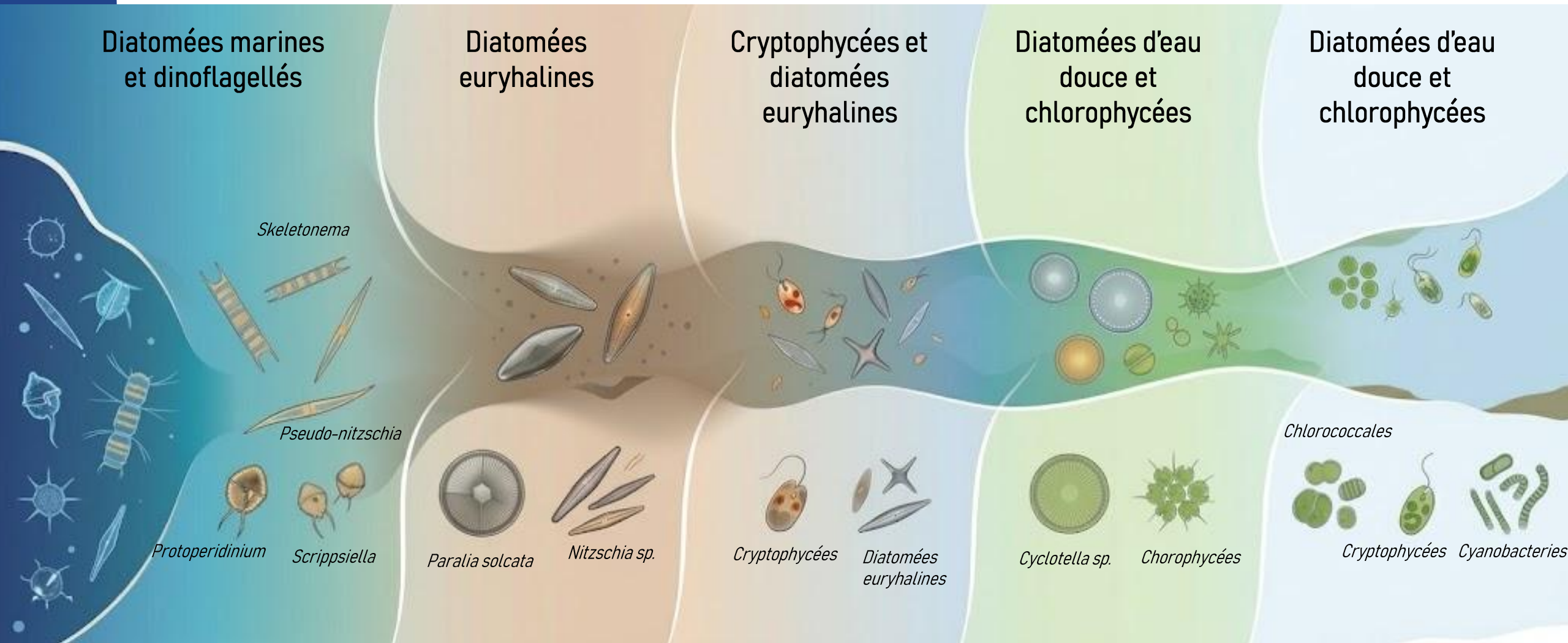
GIP Seine-Aval, 2024 - Source des données : Morelle, 2020 - Projets SPORES

L'estuaire est progressivement passé d'un système en excès en phosphore à un système en excès d'azote avec des limitations saisonnières de silice

Diversité des organismes photosynthétisantes en estuaire de la Seine



Structuration spatiale des communautés phytoplanctoniques



Nutriments : le cas de la Silice

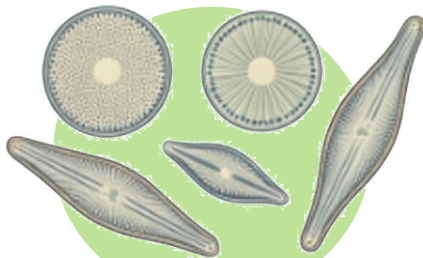
La Si est un élément essentiel de la production primaire, notamment en lien avec les diatomées (pour la constituions de leur frustule

Evolution saisonnière de la silice

Hiver→ fortes concentrations de silice (160 à 200 $\mu\text{mol/L}$ → lessivage naturel des roches du bassin versant)
Faible consommation à cause de la faible température, des forts débits (diminution du temps de résidence) et la limitation en lumière (- ensoleillement et + turbidité)

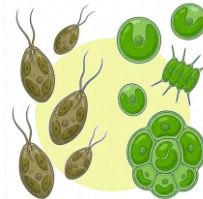
Printemps→ épuisement de la silice localisé
Efflorescence printanière massive des diatomées, particulièrement dans certains secteurs (ex. Heurteauville et embouchure)

Eté→ la silice comme facteur limitant (**déséquilibre N : Si**)
Les concentrations chutent (0,2 à 9 $\mu\text{mol/L}$) et limitent le développement des diatomées en faveur d'autres groupes taxonomiques de plus petite taille



(*Cyclotella*, *Stephanodiscus*, *Skeletonema*)

Diatomées siliceuses



(*Cryptophycées* et *Chlorophycées*)

Phytoplancton non siliceux de petite taille



**Stress nutritionnel et
surproduction de EPS**

Origine et dynamique des EPS/TEP en estuaire

Les EPS (**Substances Exopolymériques Extracellulaires**) sont des polymères organiques principalement constitués de polysaccharides/glucides et de protéines sécrétés par les micro-organismes

Les **Particules Exopolymériques Transparentes (TEP)** se forment par l'agrégation des EPS solubles sous l'action combinée du brassage hydrodynamique et des réactions chimiques apportés par le gradient de salinité

Pourquoi sécréter des EPS?



Flottabilité : Contrôle de la densité cellulaire dans la zone éclairée



Protection contre les stress : Bouclier contre les chocs osmotiques/toxiques et limitation du broutage zooplanctonique



« **Débordement de carbone** » : Évacuation du carbone photosynthétisé excédentaire



Stress

- **Carences en nutriments** : Épuisement en azote, phosphore ou silice
- **Sénescence** : dégradation physiologique des cellules algales
- **Chocs osmotiques** : Transit le long du gradient salin estuarien

Origine des EPS

Bactéries Hétérotrophes

66 à 91 %

Source dominante liée à la dégradation de la matière organique

Phytoplancton

9 à 34 %

Excrétion active directe (exsudats photosynthétiques)

Microphytobenthos

1 à 6 %

Remobilisation lors de l'érosion des vasières intertidales

Substances gélatineuses qui favorisent la floculation → **support pour les bactéries hétérotrophes**

Bouchon vaseux → les TEP représentent approx 80 % du Carbone organique particulaire

Les voies trophiques de l'estuaire

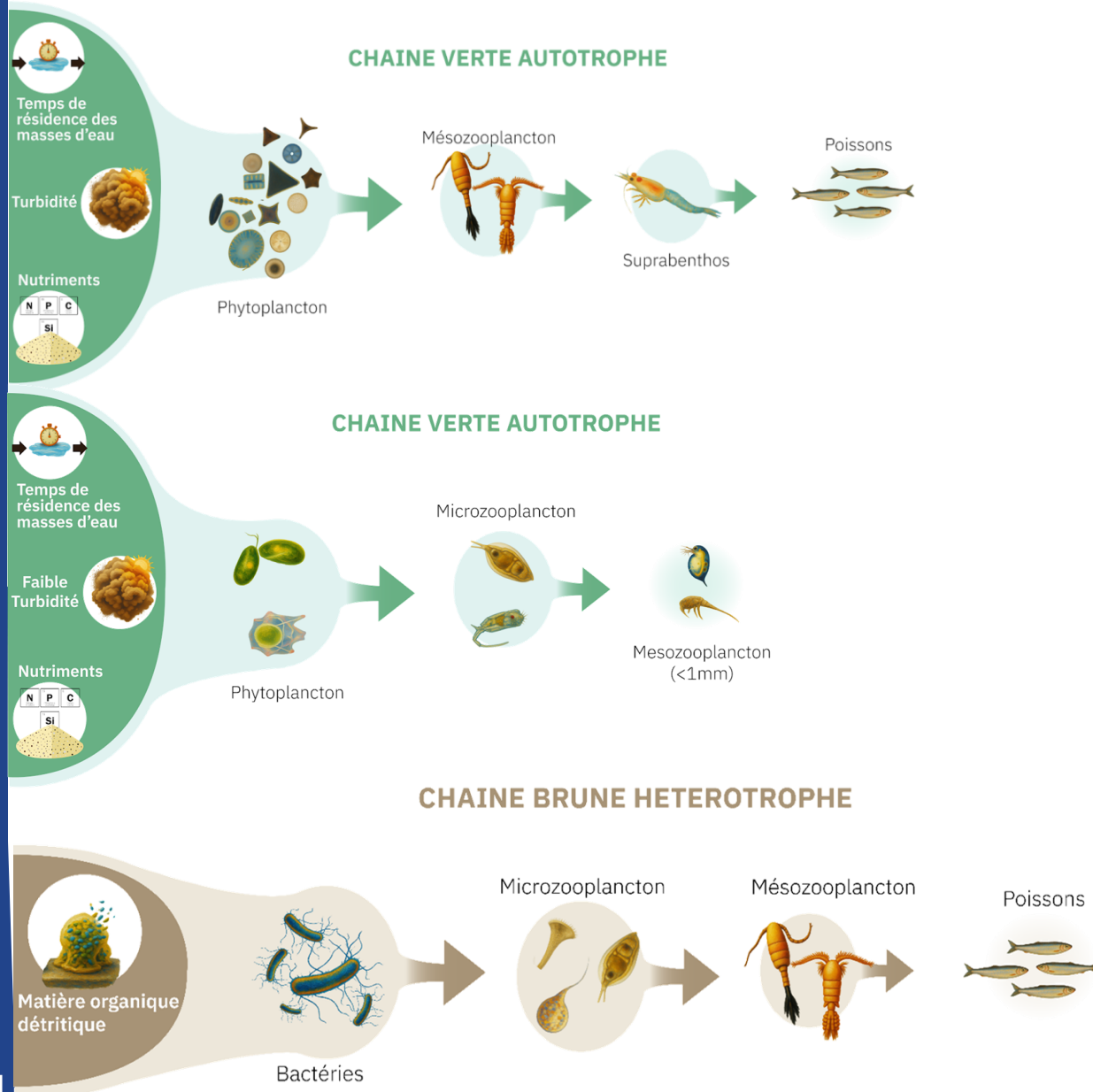


Photo crédit : Anaëlle Bernard



Photo crédit : Frederic Azemar



Photo crédit : Frederic Azemar



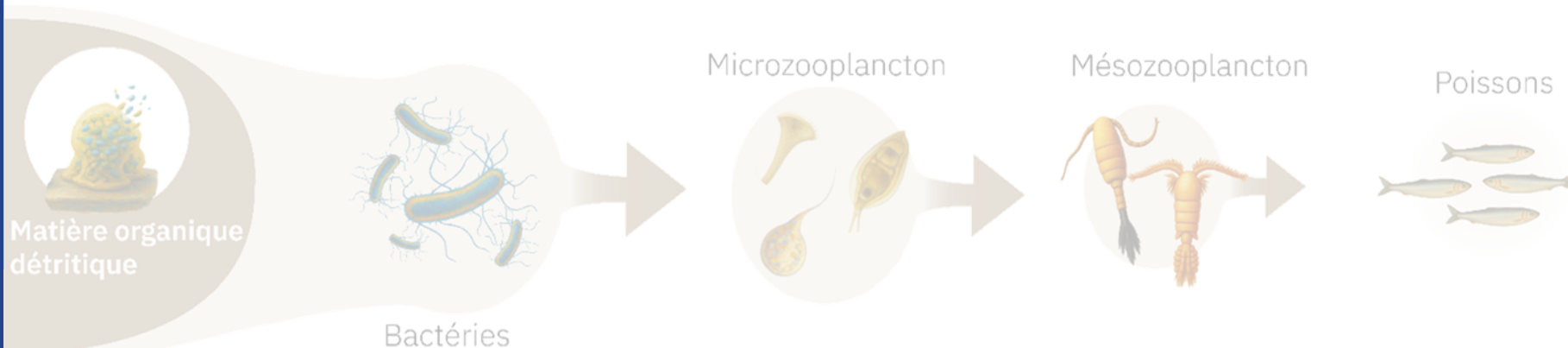
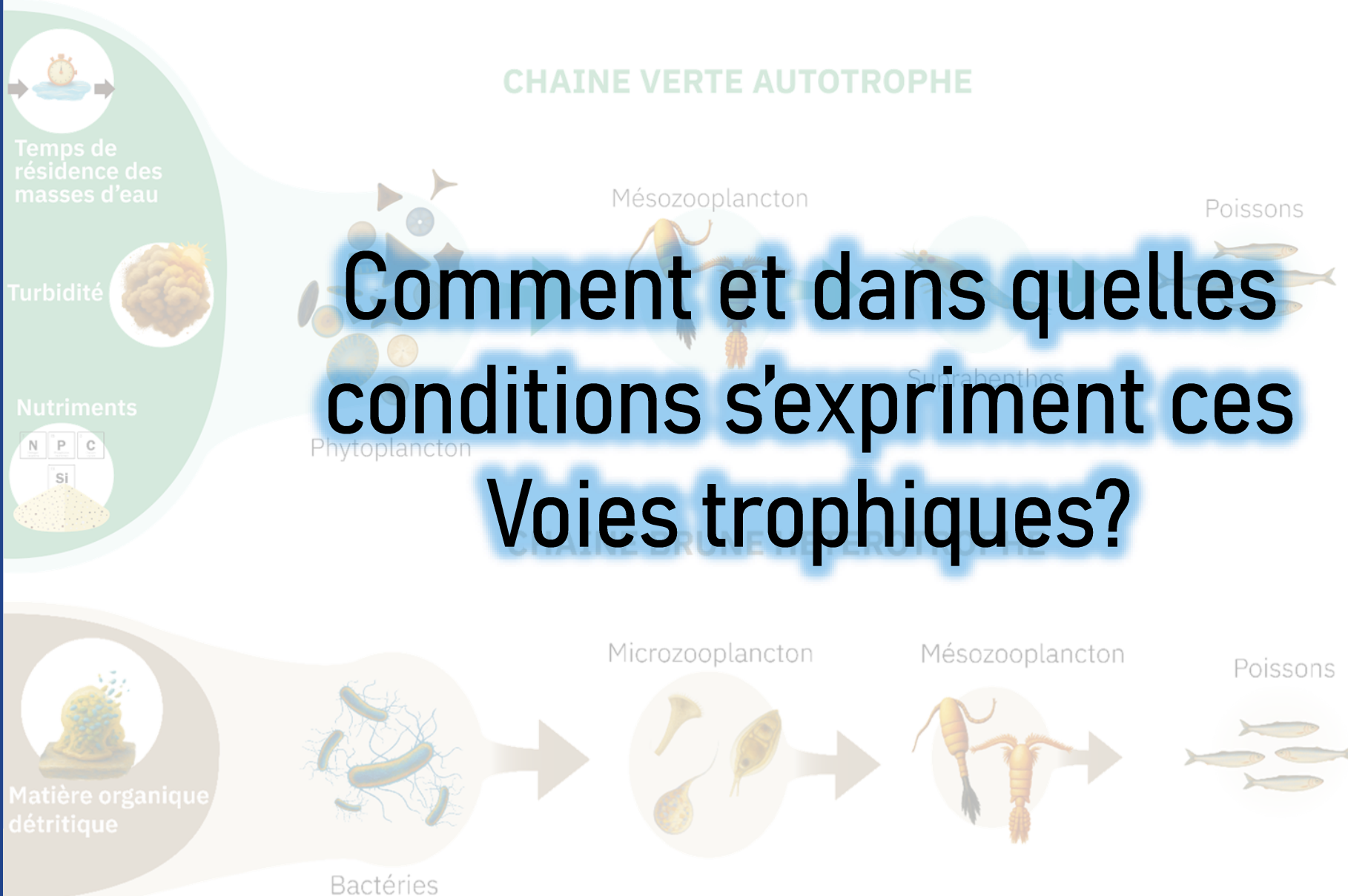
Photo crédit : Anaëlle Bernard



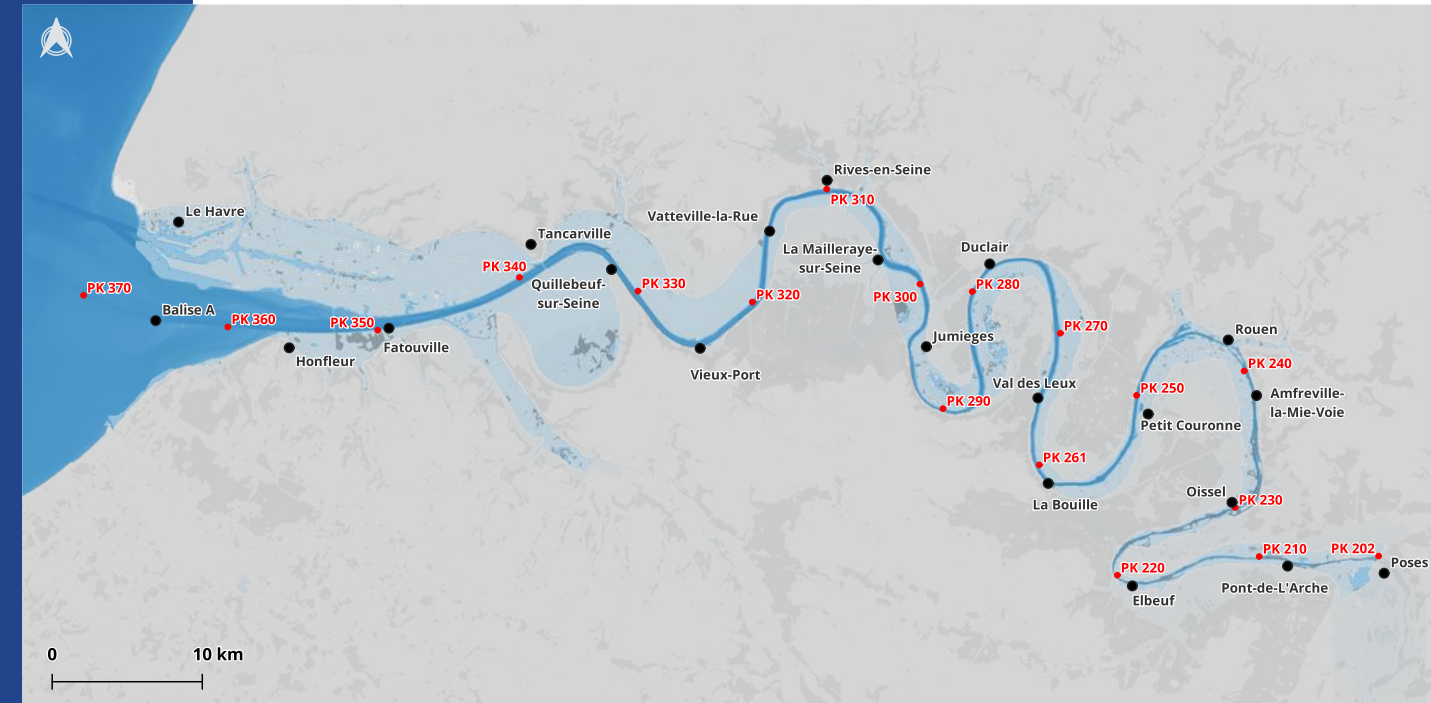
Les voies trophiques de l'estuaire

CHAÎNE VERTE AUTOTROPHE

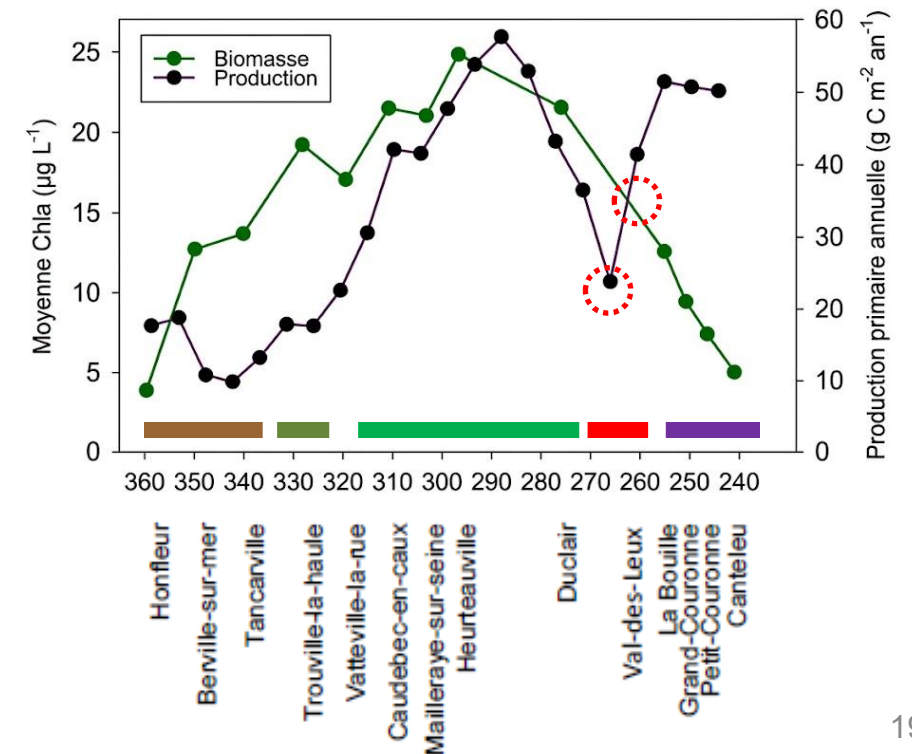
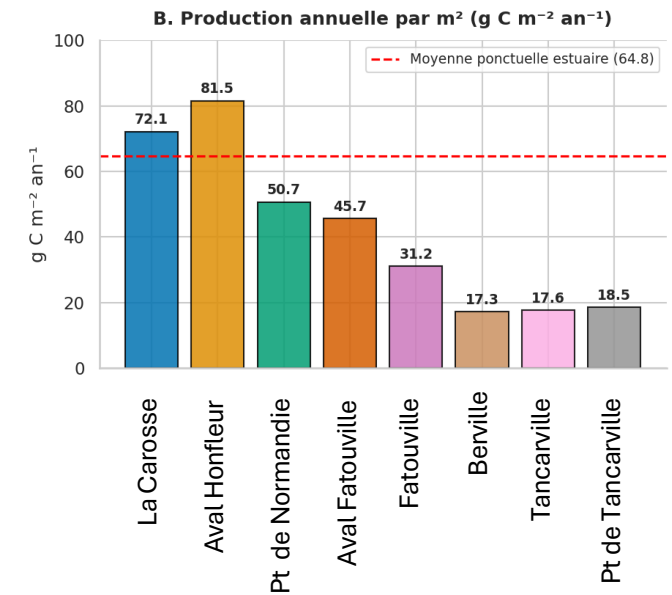
Comment et dans quelles conditions s'expriment ces Voies trophiques?



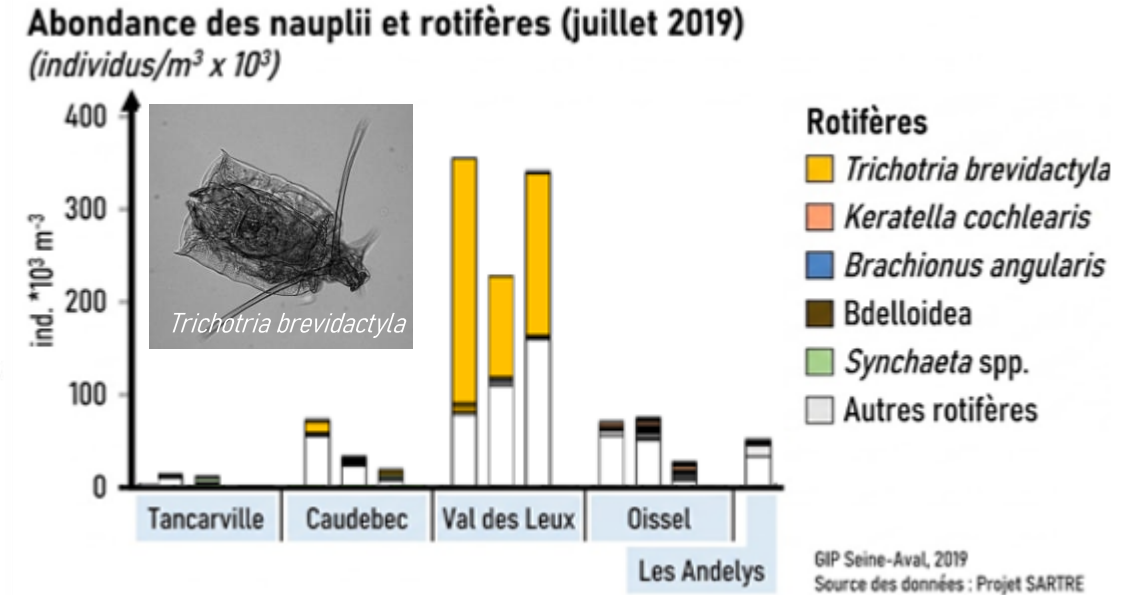
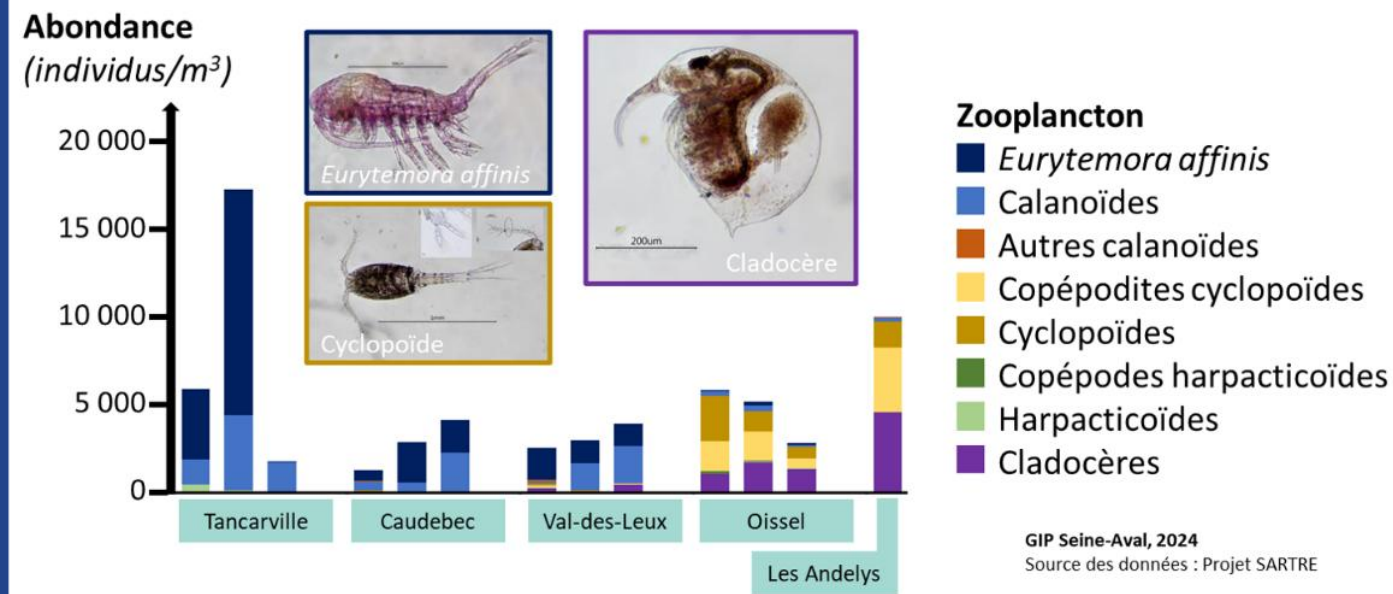
Structuration spatiale de la production primaire



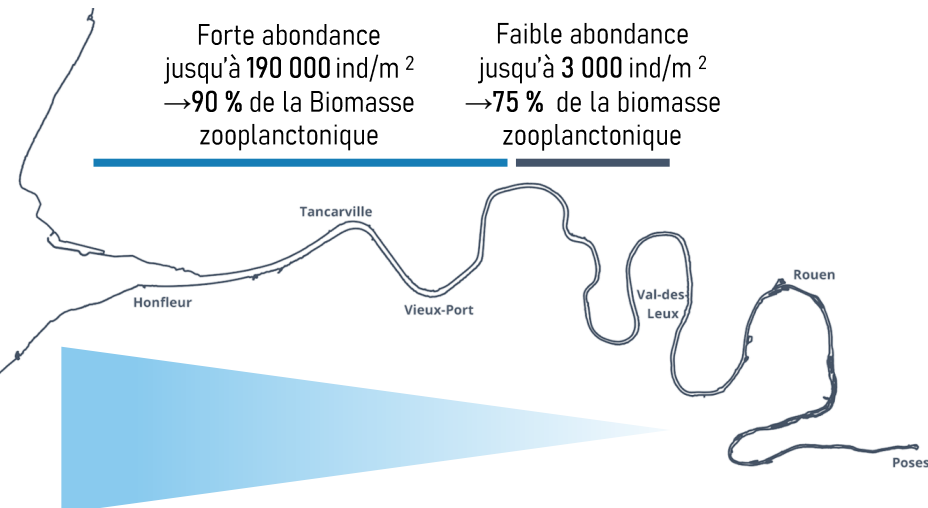
- Dynamisme du **bouchon vaseux** détermine la forte variabilité de production de la partie aval
- Entre **Fatouville (pk 350)** et **Trouville-la-Haule(pk 330)** la production est très faible mais on retrouve des biomasses importées depuis l'amont (faible survie et faible activité photosynthétique)
- Augmentation de la production et des biomasses à partir de **Rives en Seine (pk 310)**
- **Val-de-Leux** : effondrement de la production mais biomasses (cellules sénescents) → import depuis l'aval et l'amont
- **La Bouille** : reprise de la production mais pas de biomasse → conditions hydro plus propices? Broutage par le zooplancton? Dans certaines conditions il peut consommer jusqu'à 83% de la production journalière



Structuration spatiale des communautés zooplanctoniques



Abondance *Eurytemora affinis*



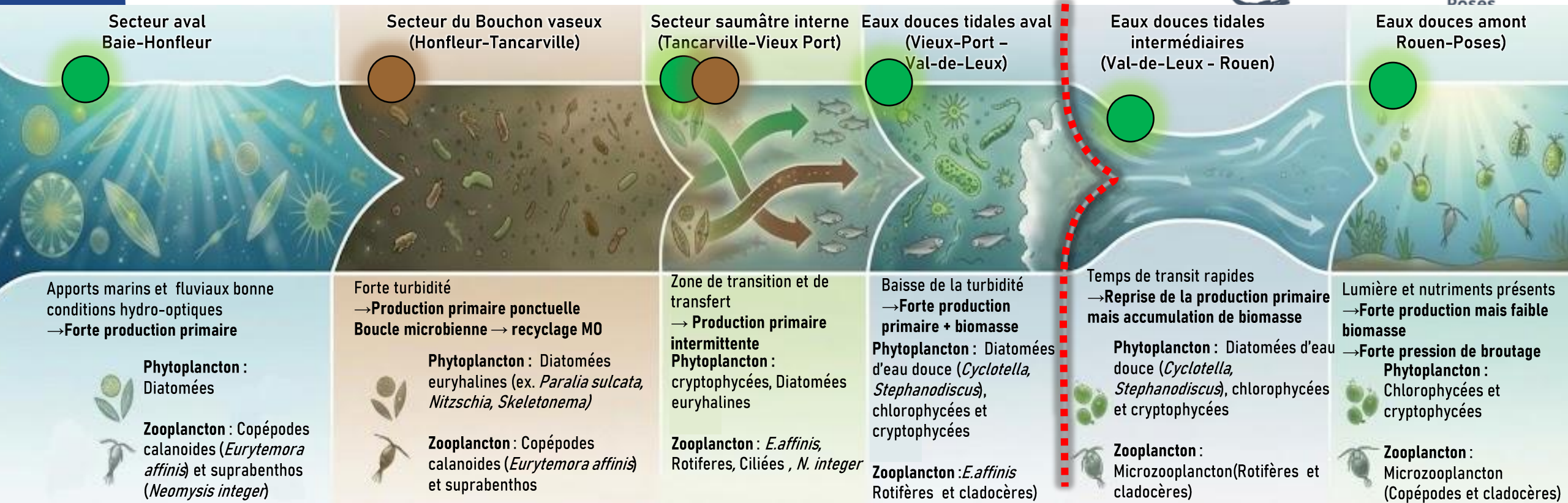
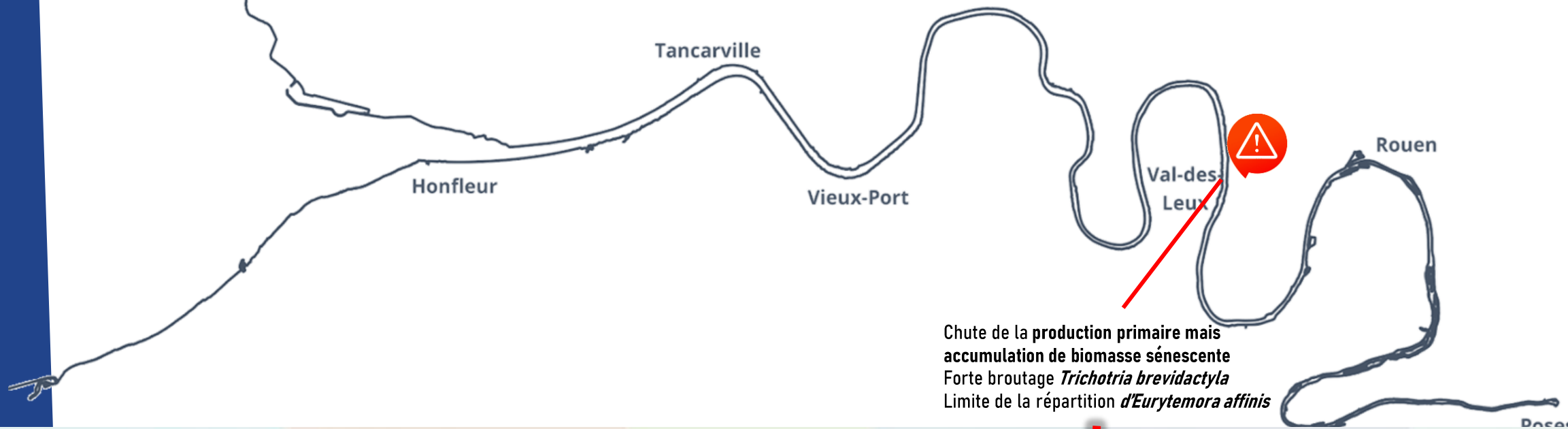
Plasticité alimentaire → s'alimente de phytoplancton ou de microzooplancton

Val-de-Leux : limite de la répartition de *Eurytemora affinis* et du suprabenthos, notamment *Neomysis integer*

De Rives en Seine à La Bouille individus de **plus grosse taille** → qualité trophique ? adaptation?

A partir de **Val-de-Leux** les communautés sont caractérisées par des **cladocères** et de **rotifères**

Densités plus fortes au fond → migrations verticales pour éviter d'être importés
Pic au printemps et automne (plus faible) lors de bloom de diatomées et déclin estival (compétition avec *Acartia*?)



L'ichtyofaune : zoom sur l'éperlan

Zone saumâtre

- suprabenthos (63% *Neomysis integer*, *Mesopodopsis*)
- copépodes (19% *Eurytemora affinis*)

Duclair/ Val de Leux

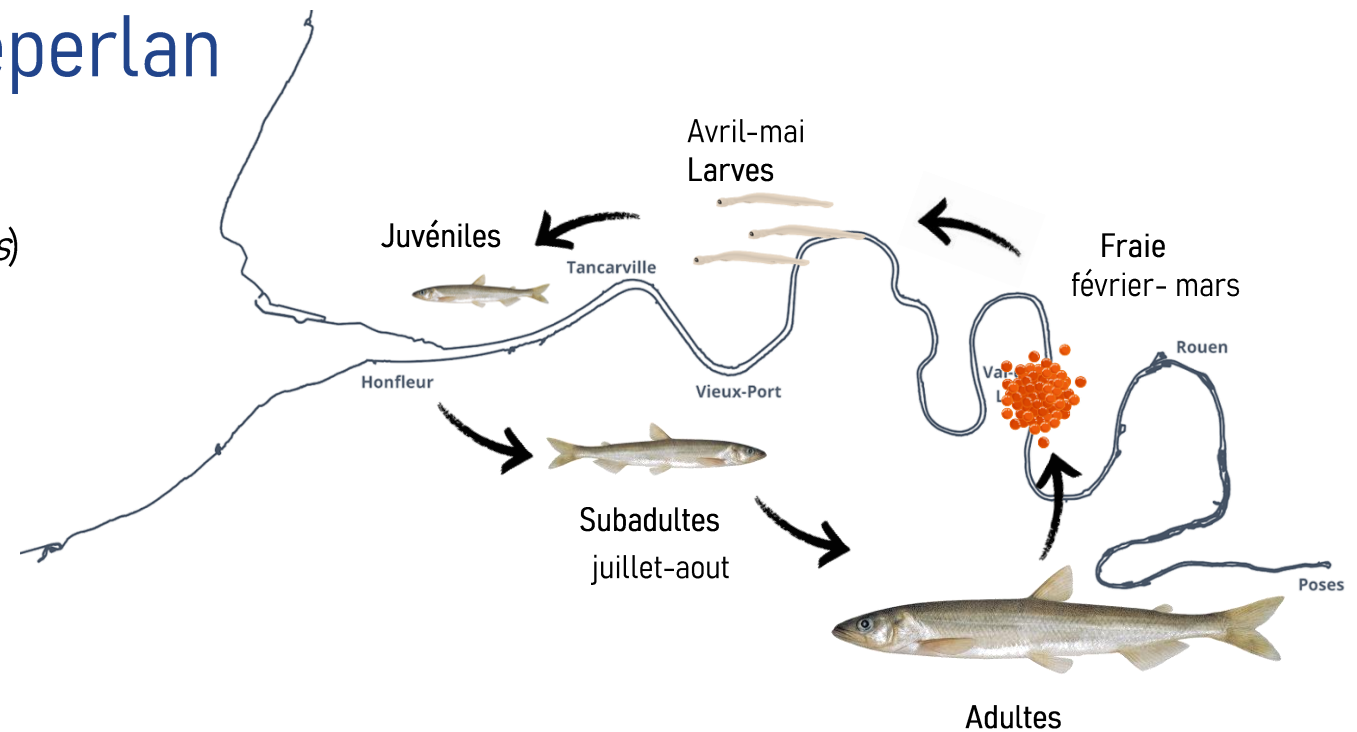
- benthos (80% *Gammarus zaddachi*)



SHIFT ALIMENTAIRE → Passage du réseau trophique estuarien vers un réseau fluvial (Mésozooplancton → microzooplancton) et indisponibilité des proies préférentielles



...mais le manque de mosaïque latérale (90% de berges « en dur ») dans le secteur endigué ne permet pas de mettre en place un réseau trophique satisfaisant vis-à-vis de l'ichtyofaune



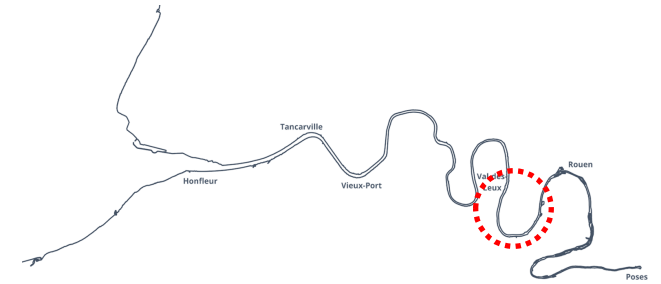
Restaurer la continuité de la mosaïque latérale est aussi bénéfique pour les communautés pélagiques....



Clapage et fonctionnement pélagique

Évaluation des opérations d'immersion de sédiments dragués dans le secteur de la Pâture-aux-Rats

- 5 M m³/an : volume annuel moyen dragué (dont 350 000 m³ en estuaire amont).
 - 100 000 m³/an : volume autorisé sur le site expérimental (largages de 650 à 1 800 m³)
 - Sédiments conformes aux seuils réglementaires de toxicité
- **Perturbation physique éphémère**
 - Pic de MES (350–1 000 mg/L au fond) qui repasse sous 200 mg/L en 10 à 20 min
 - Retour aux valeurs de fond en 60 à 90 min ; fléchissement d'O₂ dissous resorbé en ~10 min
 - **Activité biologique préservée**
 - Sédiments riches en diatomées en bon état physiologique (jusqu'à 21,6 µg Chl-*a*/g)
 - Remise en suspension dans la zone euphotique : maintien temporaire de la photosynthèse
 - **Absence d'impact létal sur le zooplancton**
 - Durée d'exposition *in situ* largement inférieure au seuil de toxicité (*Eurytemora affinis*) : > 200 mg/L d'exposition continue pendant 24 h



Effets à long terme sur la dynamique sédimentaire du secteur ?



Restaurer le fonctionnement pélagique ?

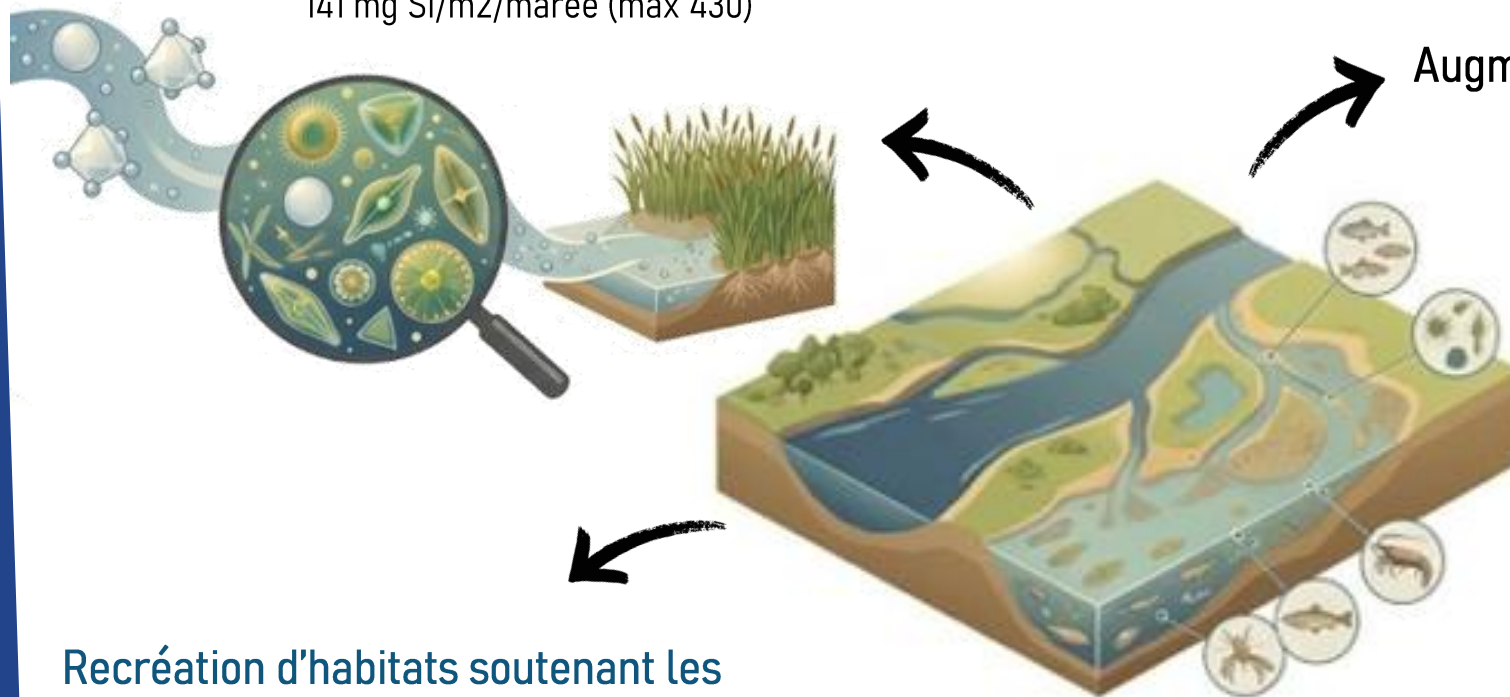
Diminution de la charge en N

Mobiliser et recréer le rôle tampon des roselières

Taux potentiel d'exportation moyenne de silice
141 mg Si/m²/marée (max 430)

Diminution des apports de l'amont

Augmentation du pouvoir épurateur de l'estuaire



Recréation d'habitats soutenant les réseaux trophiques

Recréation de la mosaïque latérale et d'espaces de mobilité latérale du fleuve



L'importance d'une APPROCHE GLOBALE de restauration

L'enjeux est de ne pas dissocier la restauration du domaine pélagique de celle des autres compartiments
→ rechercher les combinaisons d'actions permettant de renforcer le fonctionnement global et la résilience de l'estuaire

Merci pour votre attention

Merci aux contributeurs de
cette synthèse

Azémar Frederic
Bacq Nicolas
Brouet Sasha
Claquin Pascal
Fisson Cedric
Lehuen Amelie
Morelle Jerome
Souissi Sami
Tackx Micky

FASCICULE 3.9

Fonctionnement écologique du domaine pélagique estuarien :

caractérisation spatiale des
chaines trophiques en Seine

2026



LES WEBINAIRES DE L'ESTUAIRE

45 MINUTES POUR COMPRENDRE UNE THÉMATIQUE

Lundi 14 décembre 2026, 13h00 – 13h45

Evolution morphologique de l'embouchure



Inscription

www.seine-aval.fr/webinaires-estuaire

Revoir

www.youtube.com/@gipseine-aval8714