



De Poses à Tancarville : un fonctionnement écologique pélagique contrasté selon les secteurs

M. Tackx, P. Claquin, S. Duhamel



Seine Amont: Réseaux Trophiques Estuariens

SARTRE

M. Tackx, P. Claquin, S. Duhamel

*F. Azémar, E. Bou, E. Parlanti, R. Lafite, A. Huguet,
N. Chauvel, A. Bernard, Y. Copard, E. Buffan – Dubau,
J.C. Dauvin, J.P. Pezy, Sami Souissi*



Séminaire scientifique – 21 et 22 novembre 2023



GROUPEMENT D'INTÉRÊT PUBLIC

Avec beaucoup de remerciements à:

***Elise Avenas, Nicolas Bacq, Cédric Fisson, Manuel Mutoni,
Jean-Philippe Lemoine, Pascale Vincent, Eric L'Ebrellec***

***Leo Chasselin, Julien Deloffre, Zhe-Xuan Zhang, Léon Serre-Fredj, Mahaut Sourzac,
Jeanne Legendre, Capucine Bialais, Claudine Sossou, Julien Ovaert,
Léa Leray, Shagnika Das, Céleste Mouth***

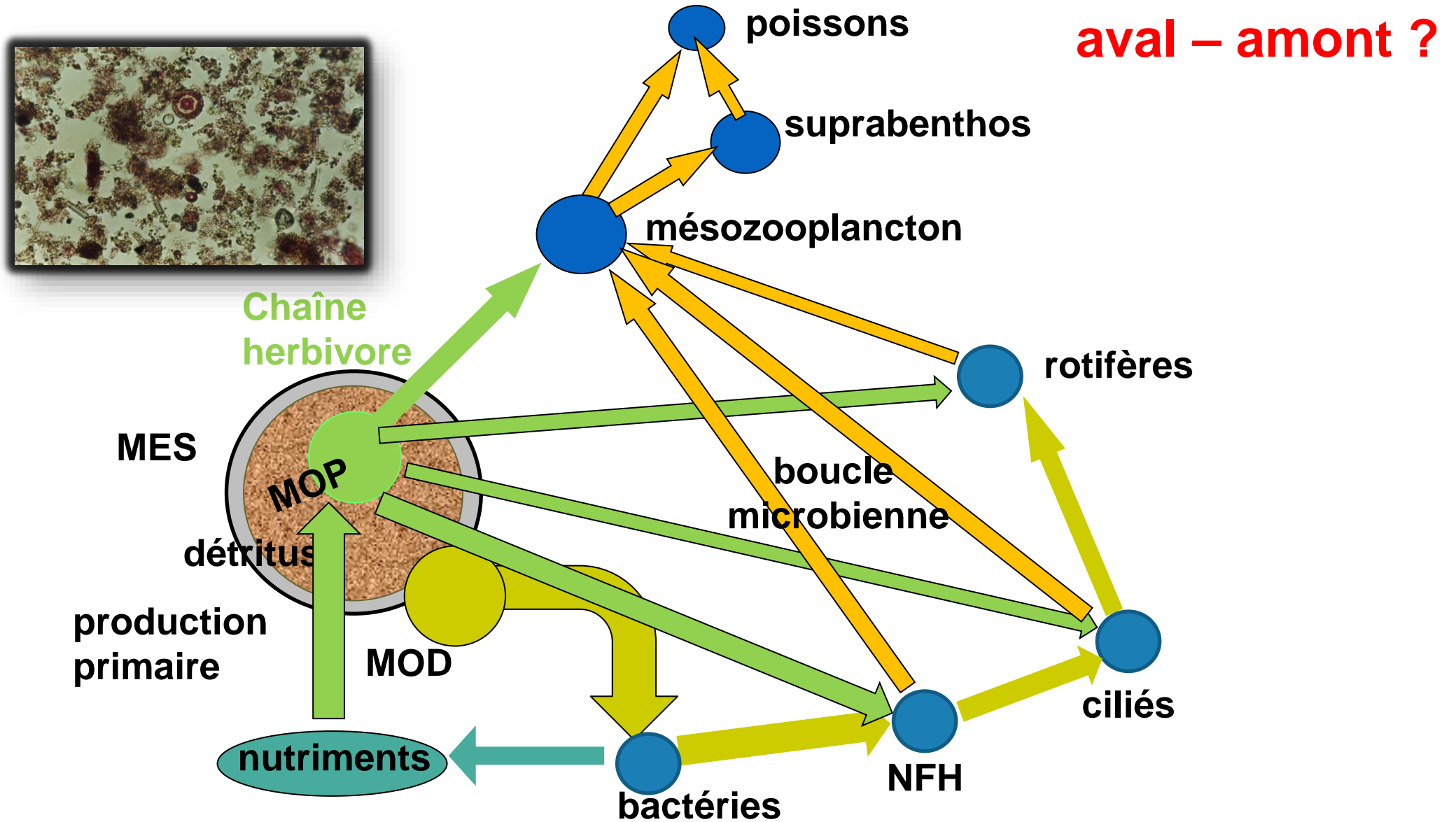
***Patrice Tournier, Sandrine Samson, Olivier Bideau,
Alban Legardien, la CSLN et STO Logistique***

***Michel Simon, Romain Lavaillant, Magali Legrain, Christelle Anquetil,
Emmanuel Aubry, Zoé Hayet, Clara Massinot***

***Les capitaines et les équipages du
Jean-Ango, de la Gambe d'Amfard, du Celtic warrior, du lamaneur d'HAROPA, du
ville de Paris et Flipper***



Approche: caractéristiques des Matières En Suspension (MES) des communautés et du fonctionnement



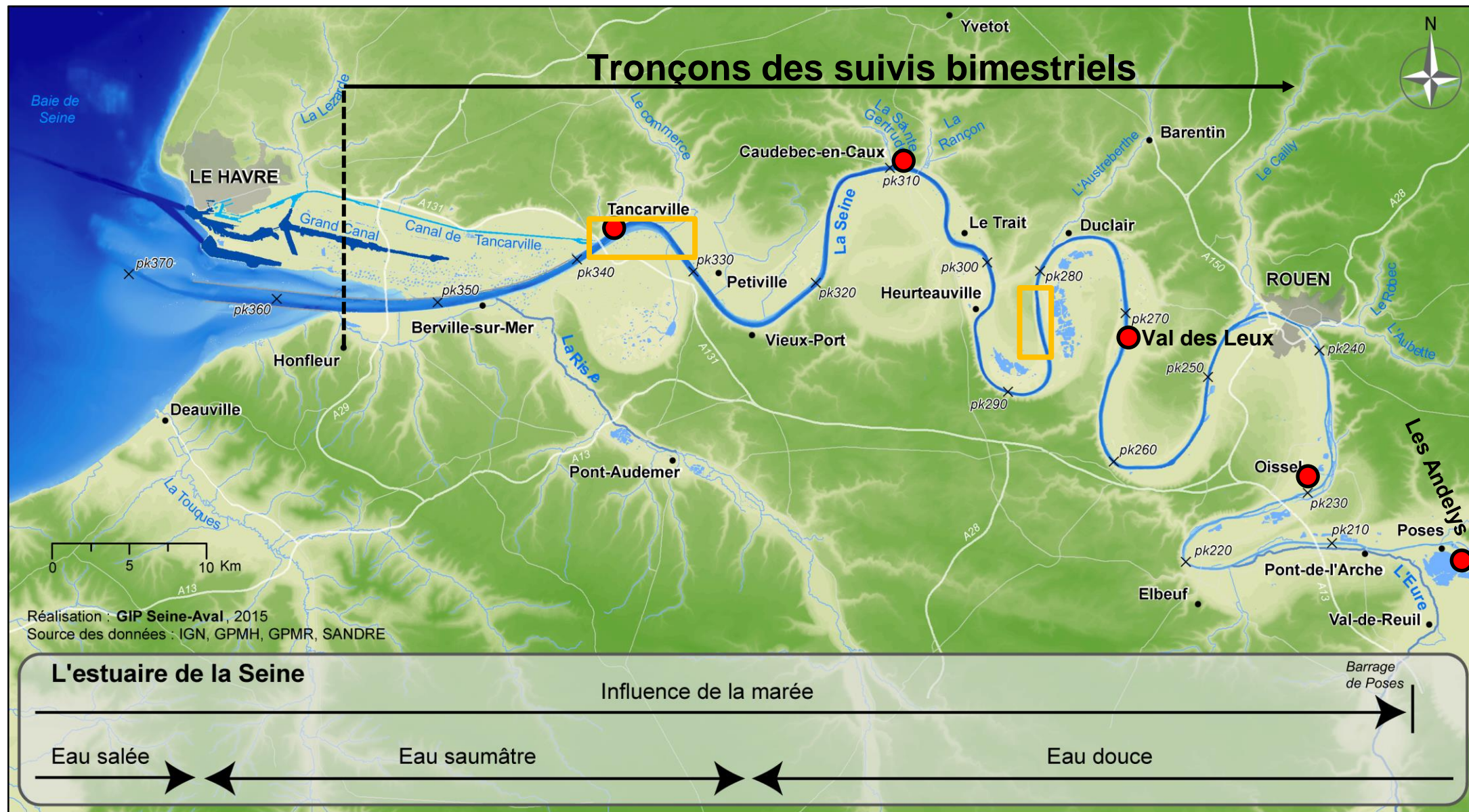
Campagnes bimestrielles (AESN) : 14 stations, 19 campagnes (2019-2022)



Campagnes bimestrielles (AESN) : 14 stations, 19 campagnes

Campagnes communes : 5 stations, 5 campagnes





Campagnes bimestrielles (AESN) : 14 stations, 19 campagnes

Campagnes communes : 5 stations, 5 campagnes

Poissons
Clapage Haropa



Bimestrielles:

suivi in situ régulier haute fréquence
saisonnalité, dynamique spatio-temporelle des stocks et flux
Échantillonnage en sub-surface

Communes:

Stock zooplancton, supra-benthos (traîneau suprabenthique)
Flux par incubations semi-situ (grazing zooplancton)
Échantillonnage: surface - profondeur
3 phases de marée

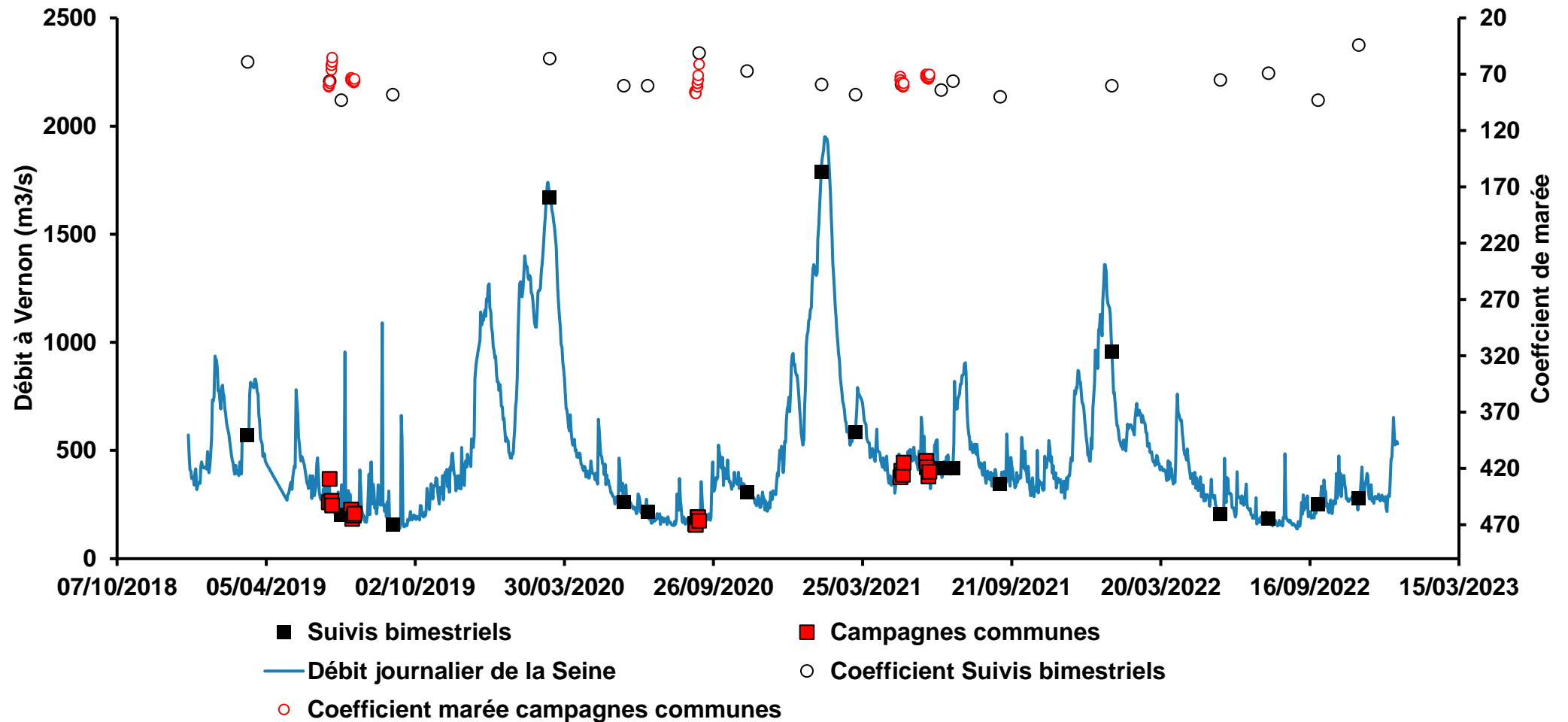
Poissons:

besoin de chalut à perche
Echantillonnage dans le chenal de navigation et les talus

Complémentarité

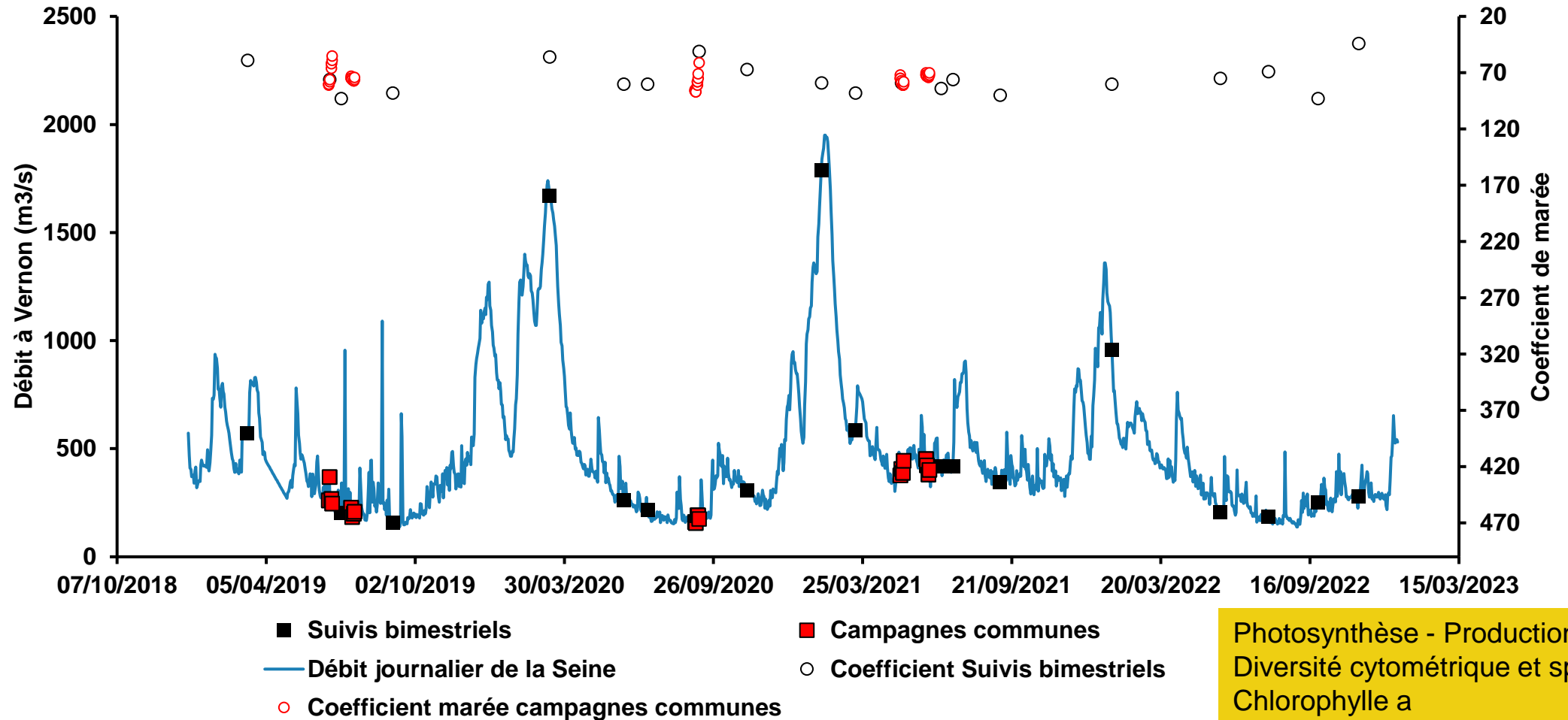


Hydrologie au cours des campagnes SARTRE



Campagnes bimestrielles – Production Primaire (P. Claquin et al) et MOD (E. Parlanti)

- Présentation des données acquises en 2019, 2020 et 2021 . Poursuite des suivis en 2022 et 2023



Photosynthèse - Production primaire
 Diversité cytométrique et spectrale
 Chlorophylle a
 Sels nutritifs
 O₂
 T, S, NTU
 Lumière



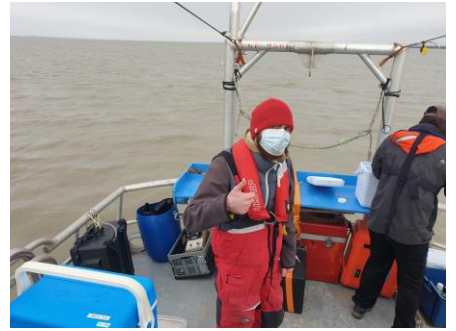
Campagnes bimestrielles – Stratégie d'échantillonnage



Pompage continu – mesures HF



Echantillonnage – points « AESN »



Mesures T,S,Turb,O₂, light

Mesures photosynthèses

Multispectrale (BBE)

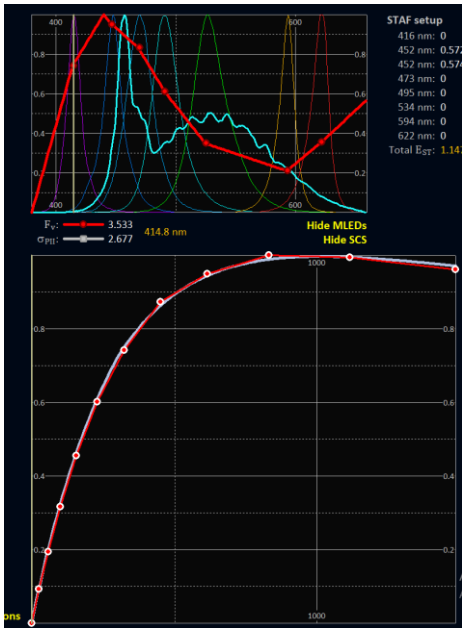
Nitrates HF (OPUS)

Mesures T,S,Turb,O₂, light

Chlorophylle a

Cytométrie

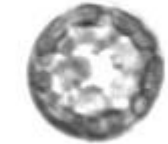
Sels nutritifs



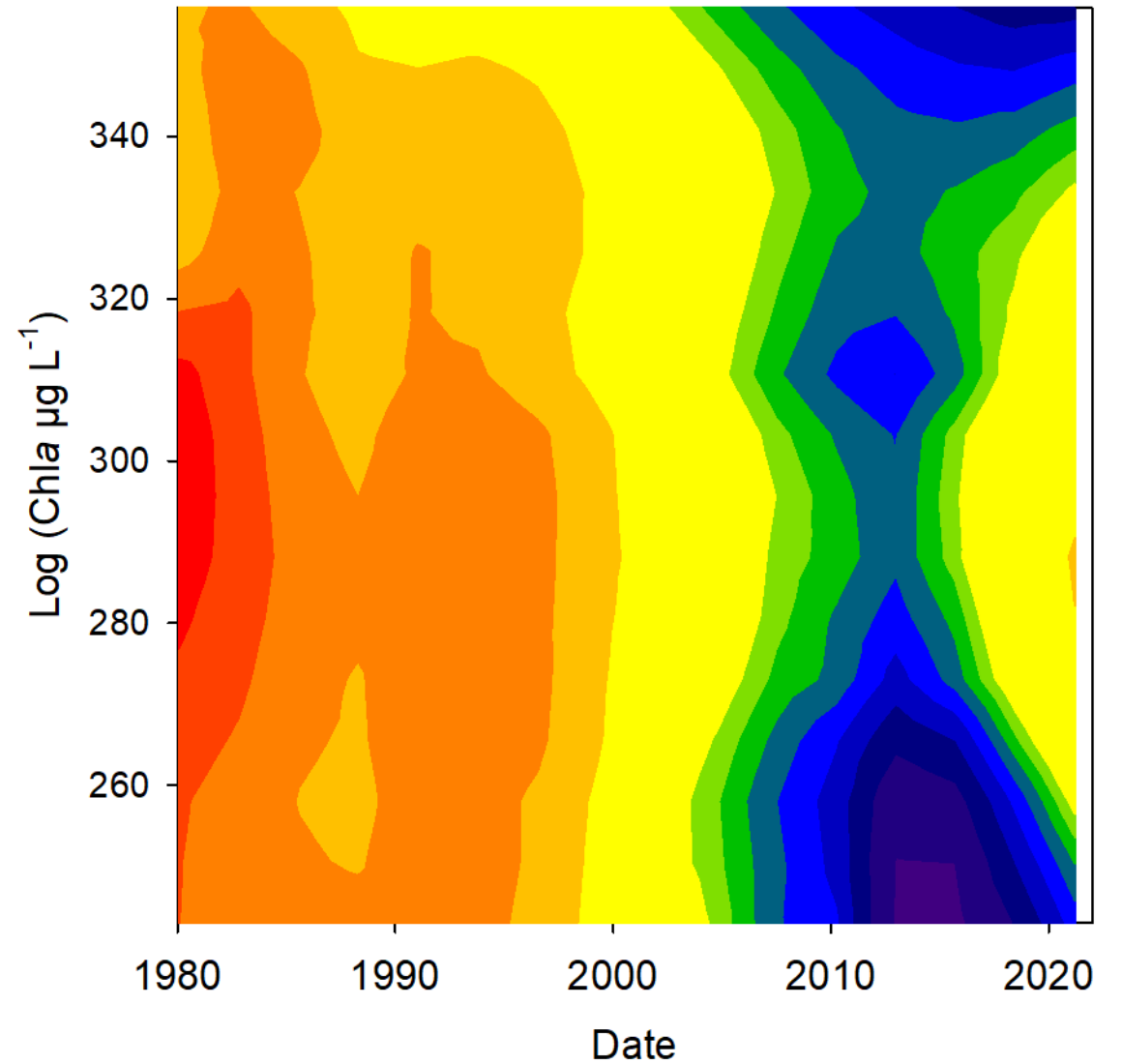
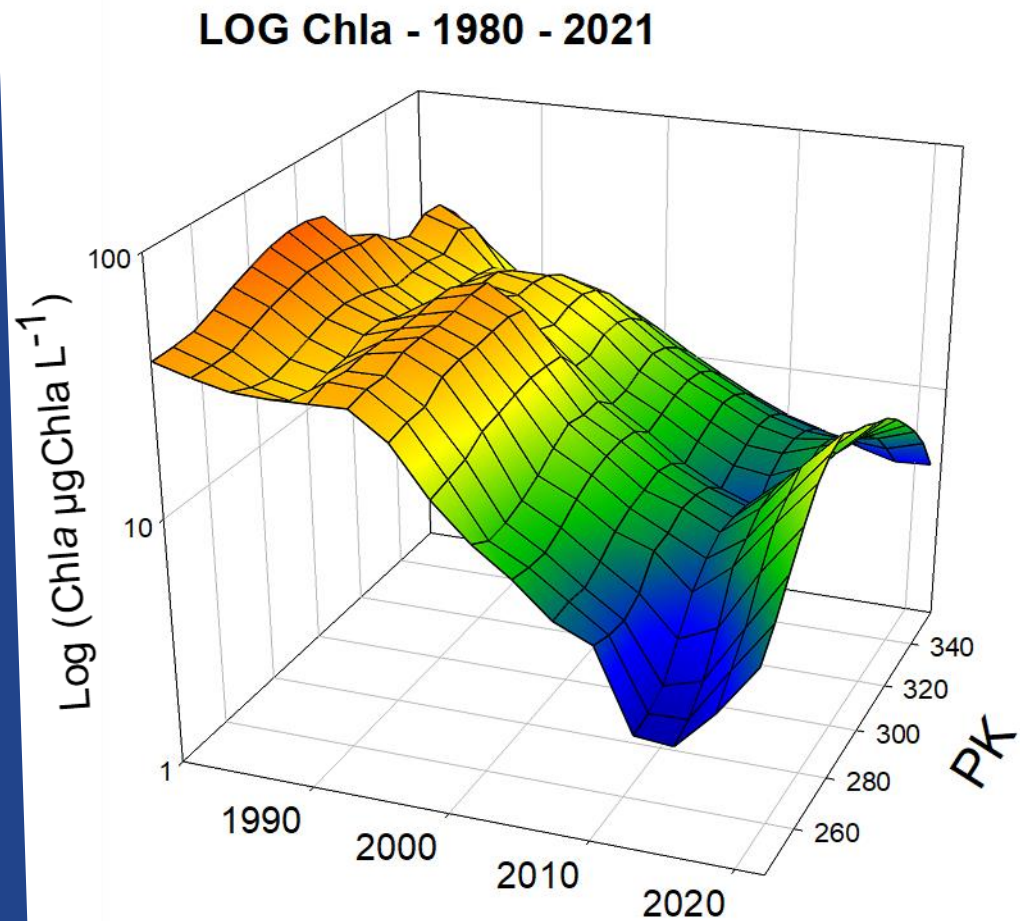
LabStaf (Chealsea technology)



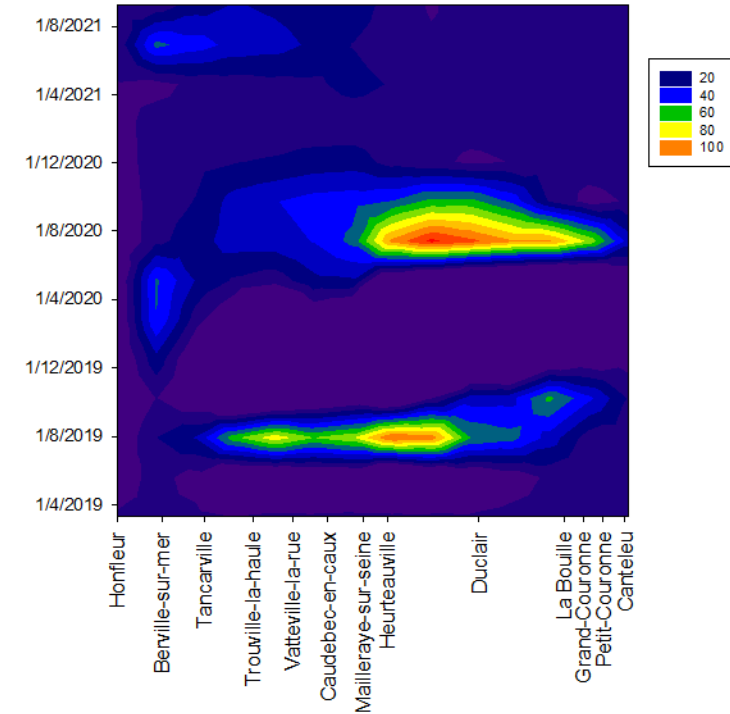
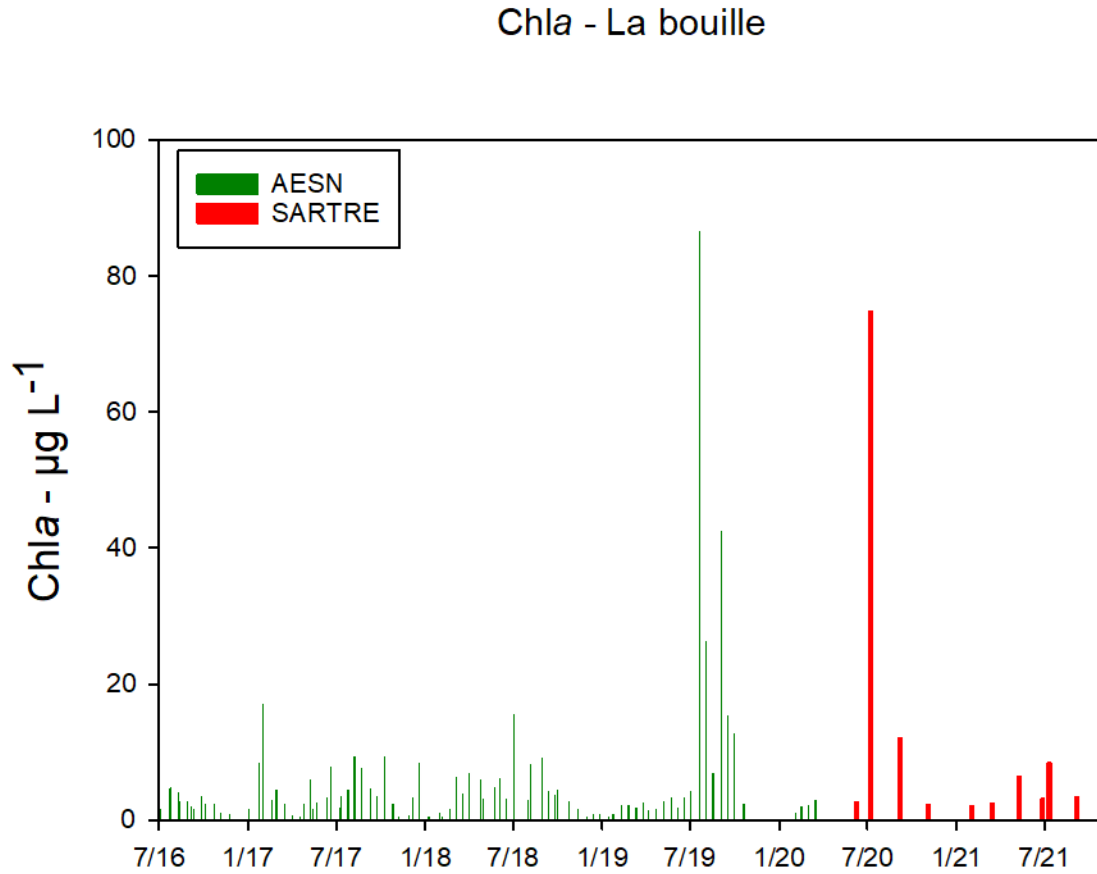
LABORATOIRE



Dynamique spatio-temporelle de la chlorophylle a

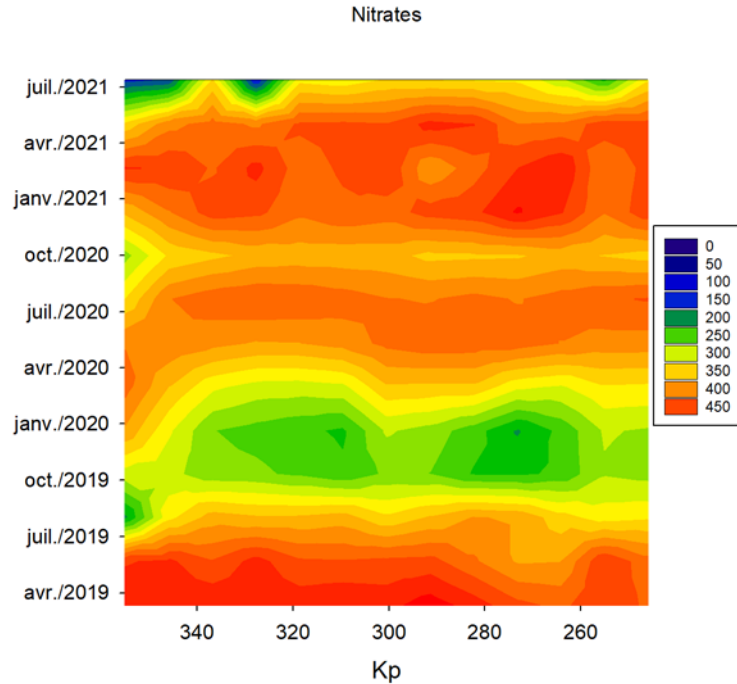


Dynamique temporelle de la chlorophylle a – site « La Bouille »



Rebonds de Chla observés en 2019 et 2020

Sels nutritifs et phytoplancton



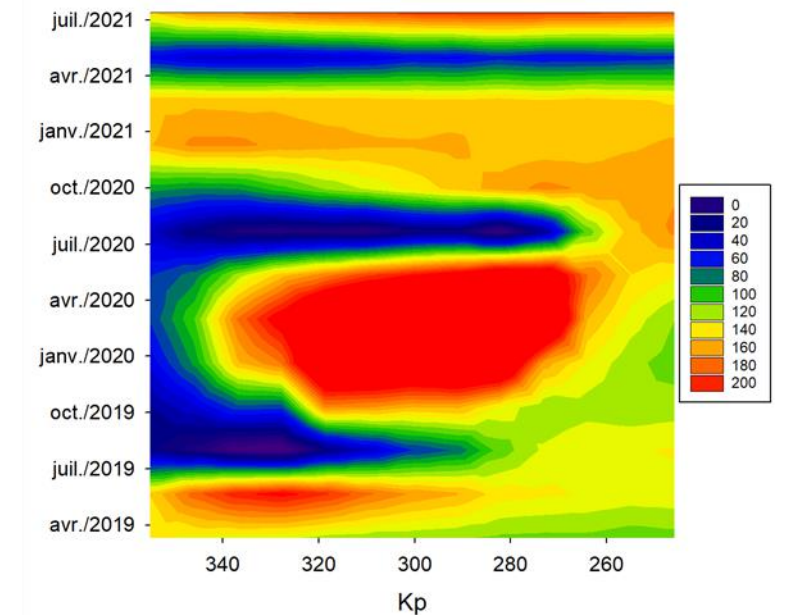
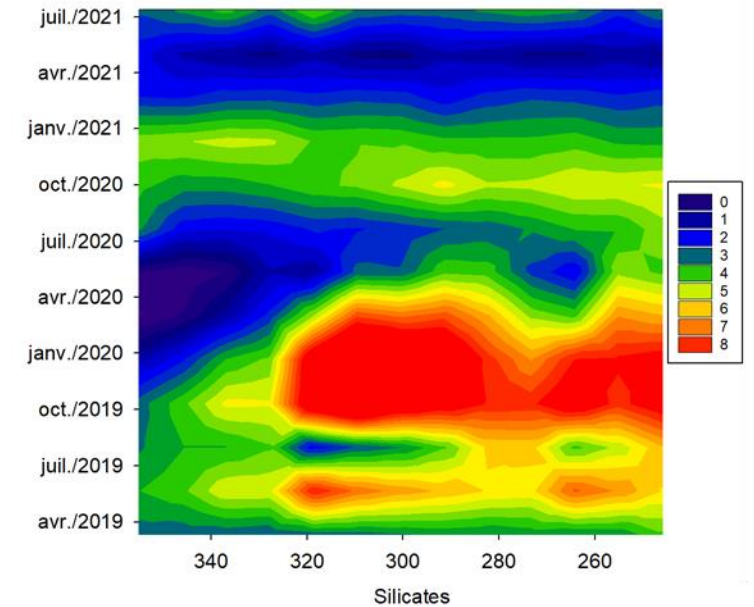
Nitrates
toujours en
excès

- 2021 aucun bloom massif
**Année 2021 plus limitée en
Moyenne en P qu'en Si.**

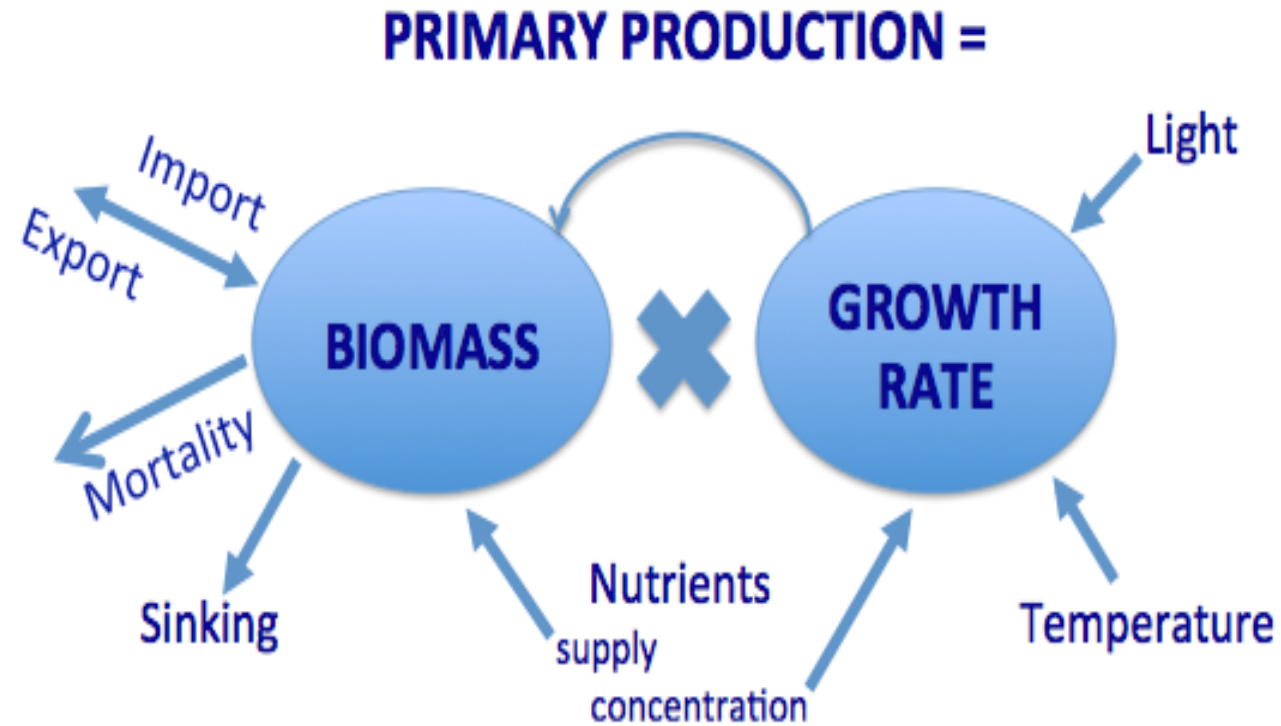
Si/P
2019 : 24,29
2020 : 32,33
2021 : 60,41

Les efflorescences massives sont composées
de diatomées centriques qui sont limitées en
Si. Ensuite efflorescence de Chlorophytes
(pico et nanophytoplancton)

Phosphates



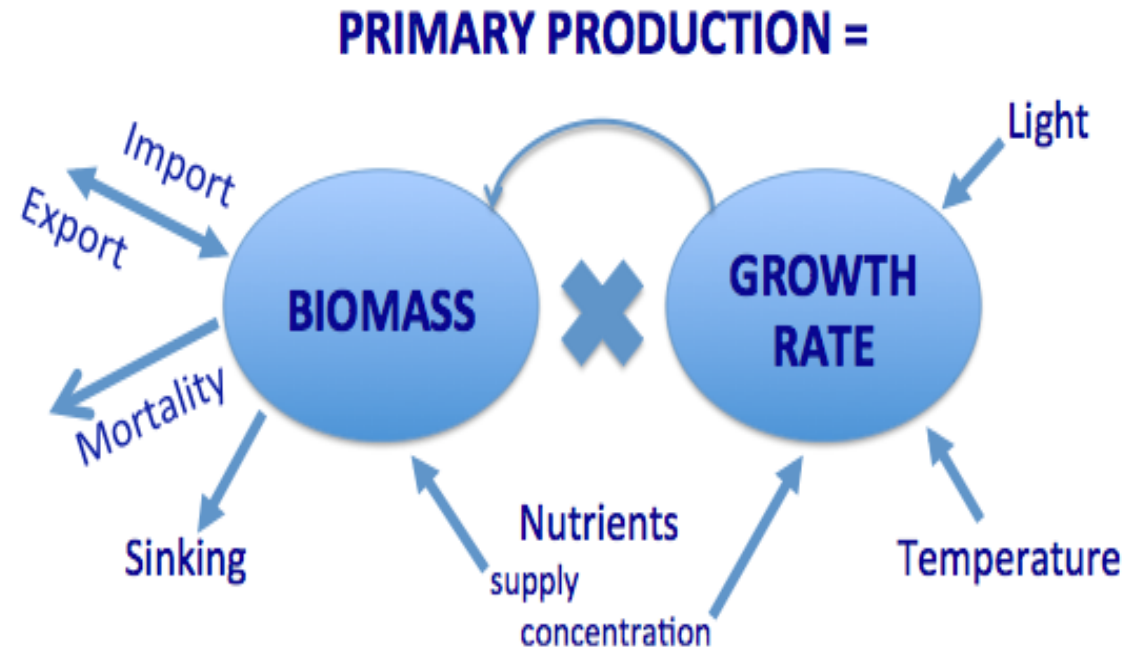
La production primaire



D'après Cloern et al., 2014

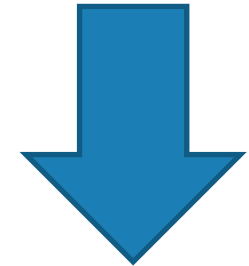
Biomasse = Stock – Image figée
Production = Flux de matière, énergie

La production primaire



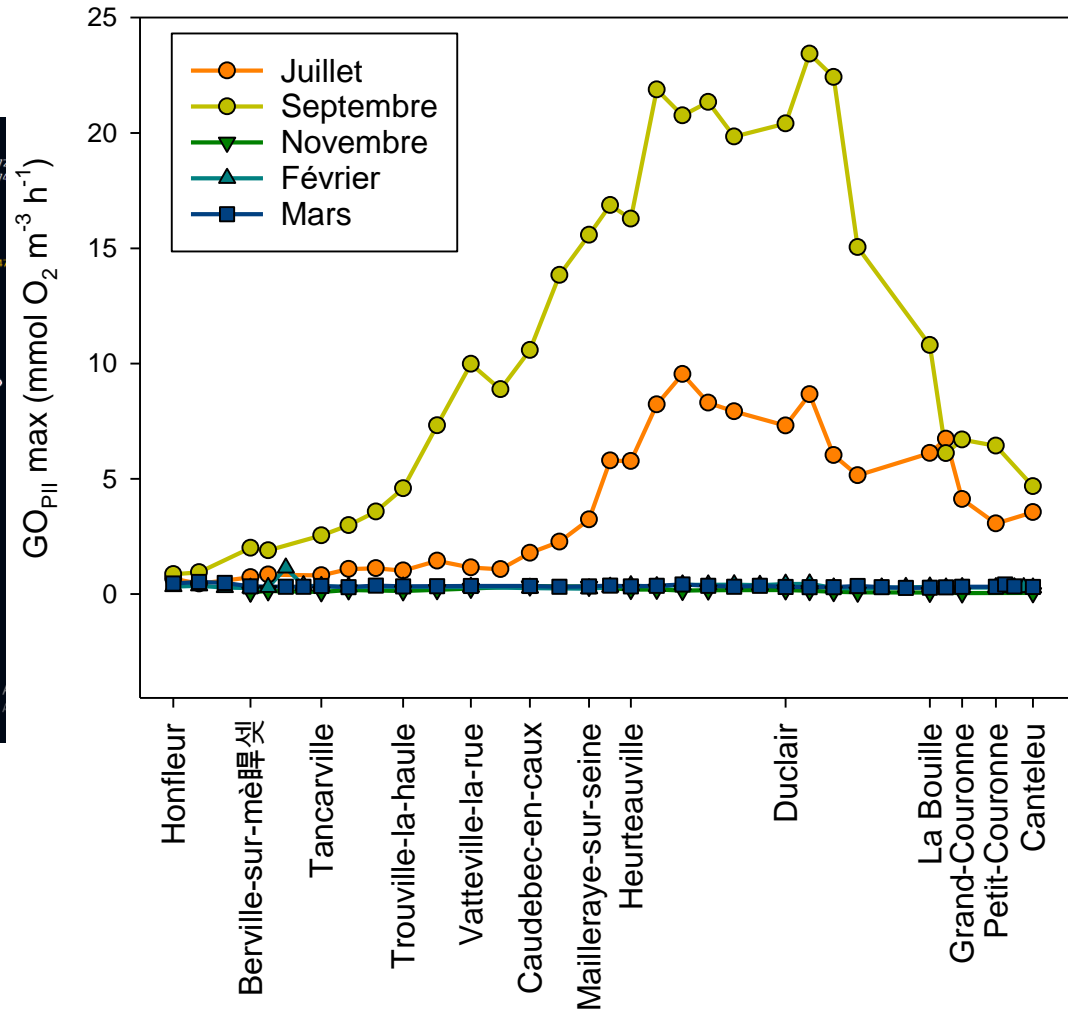
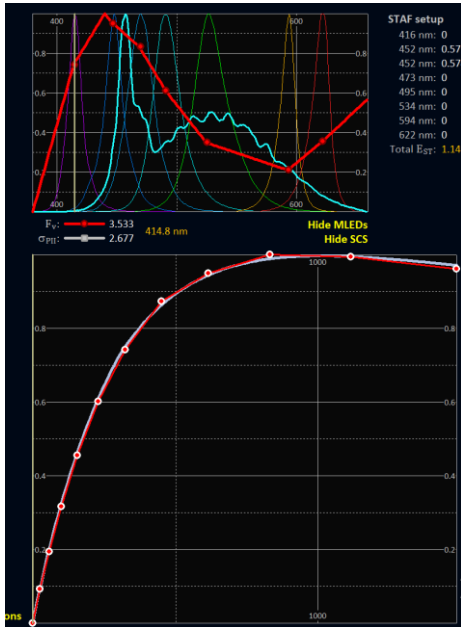
Biomasse = Stock – Image figée
Production = Flux de matière, énergie

Facteurs abiotiques
 Facteurs biotiques

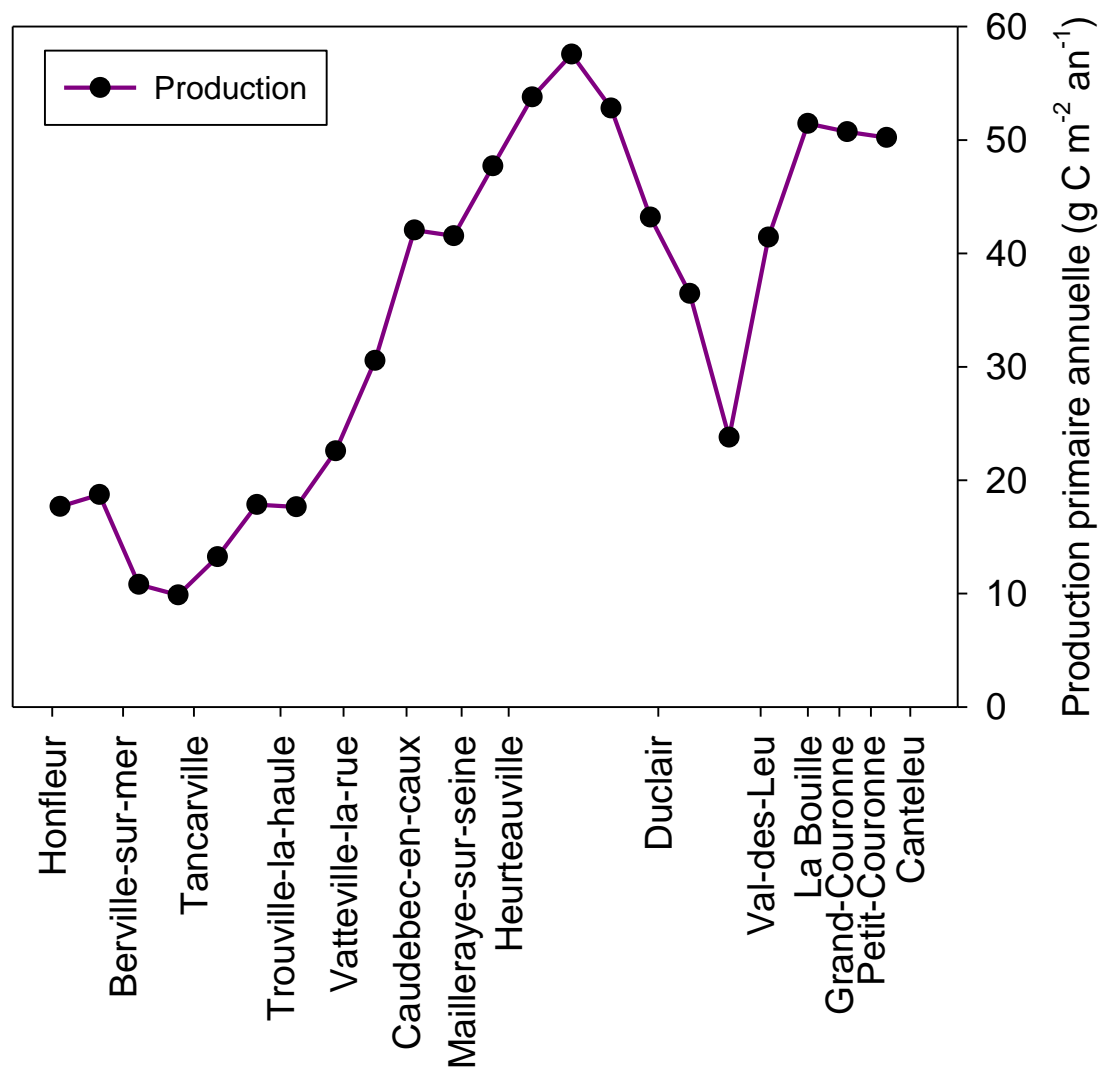


Relations biodiversité/
 productivité

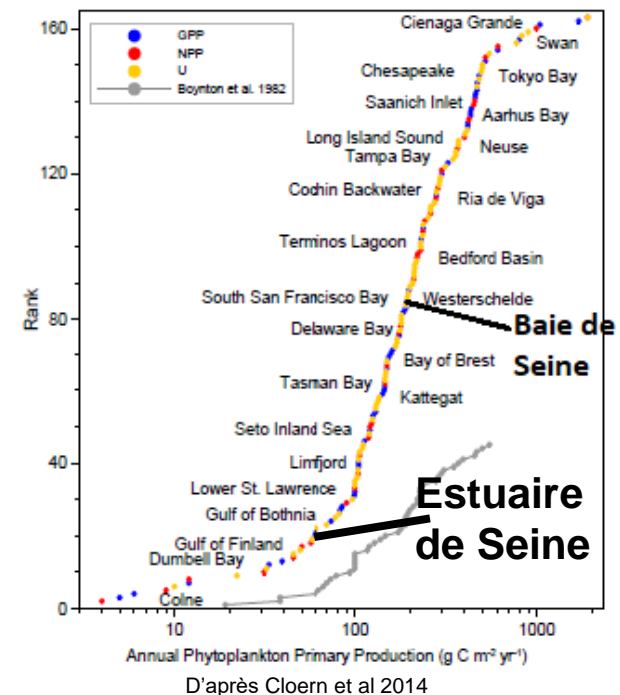
Mesures de photosynthèse (ex 2020)



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

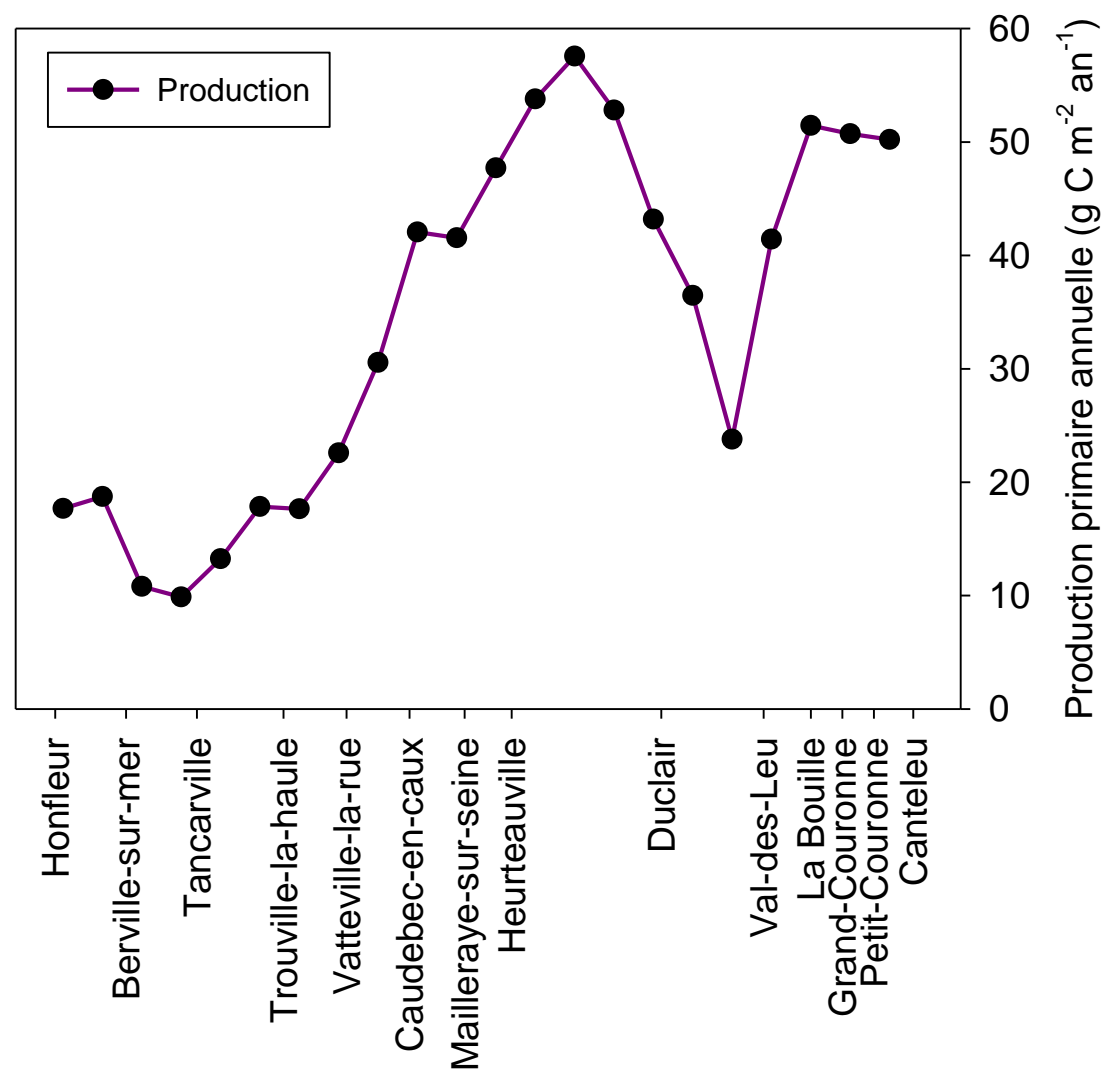


33 g C.m⁻².an⁻¹



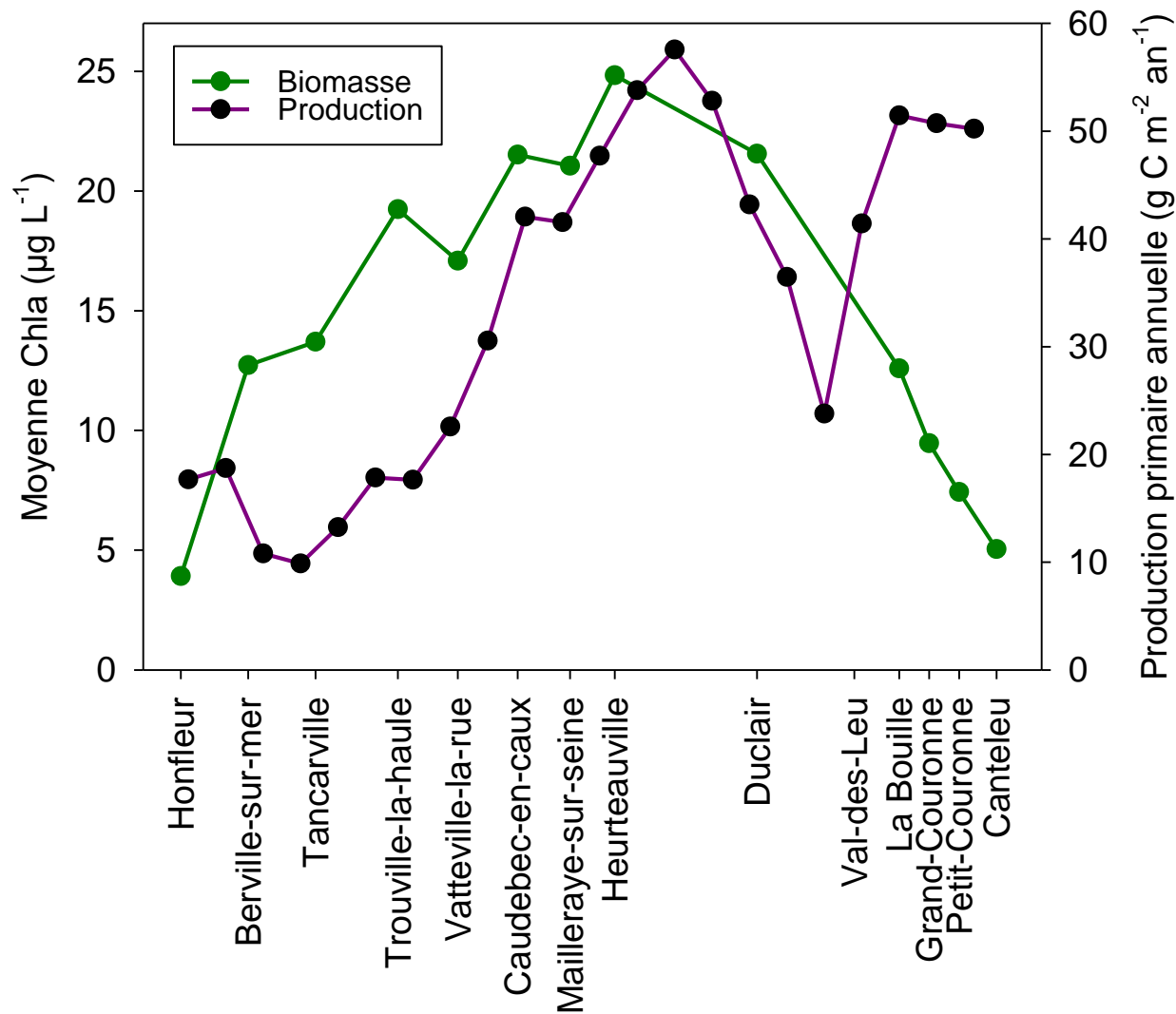
$$PPP = \int_0^{735 \text{ days}} \int_{z=0}^{Z_{eu}} \int_{Kp=246}^{Kp=355} J_{VII}(E_z, t, z, s) / \Phi_{e,c} dt dz ds$$

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



Baisse de la production entre La Bouille et Duclair

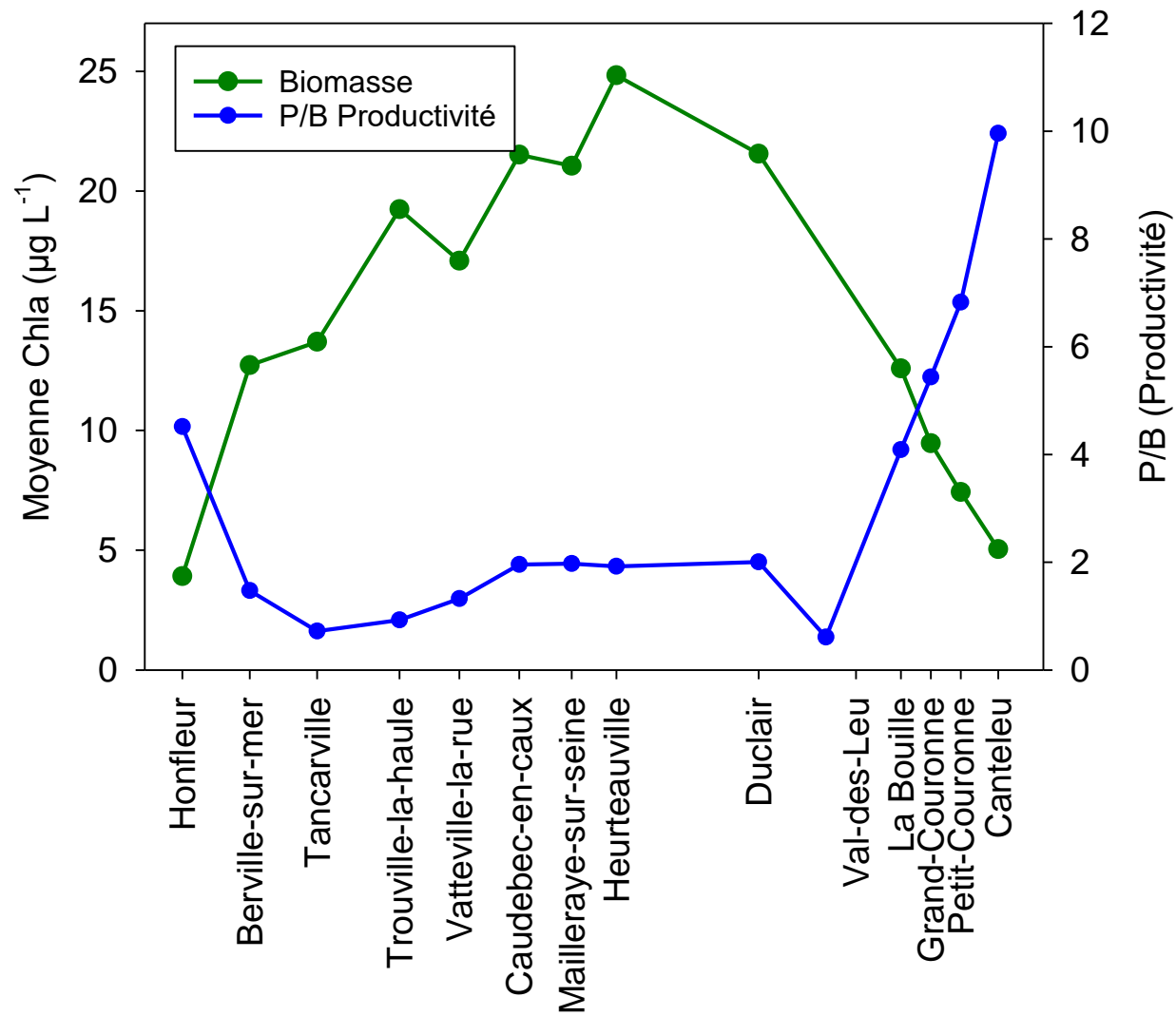
Estimation de la production primaire annuelle ($\text{g C m}^{-2} \text{an}^{-1}$) et de la biomasse moyenne



Baisse de la production entre La Bouille et Duclair

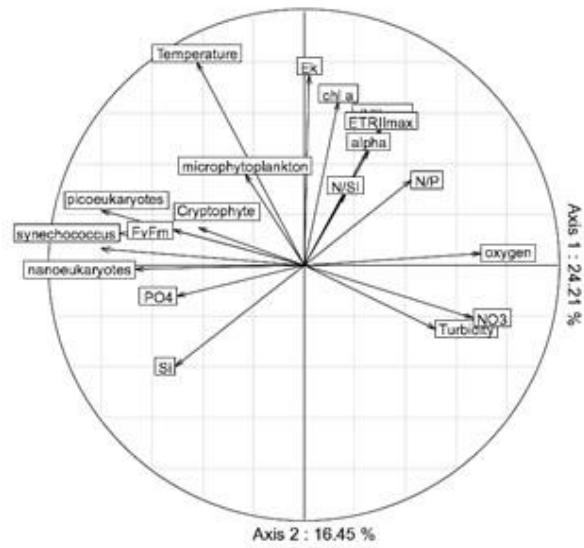
Découplage de la production et de la biomasse à l'amont

Estimation de la biomasse moyenne et du rapport P/B (productivité)

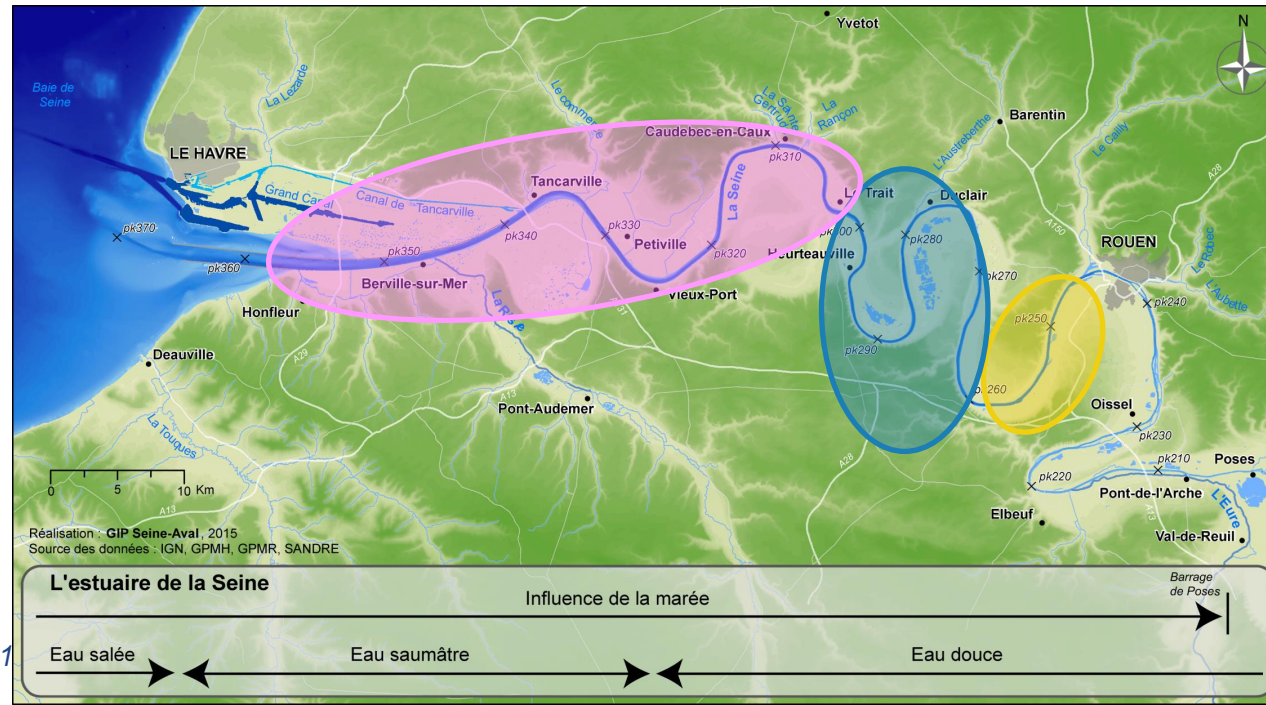
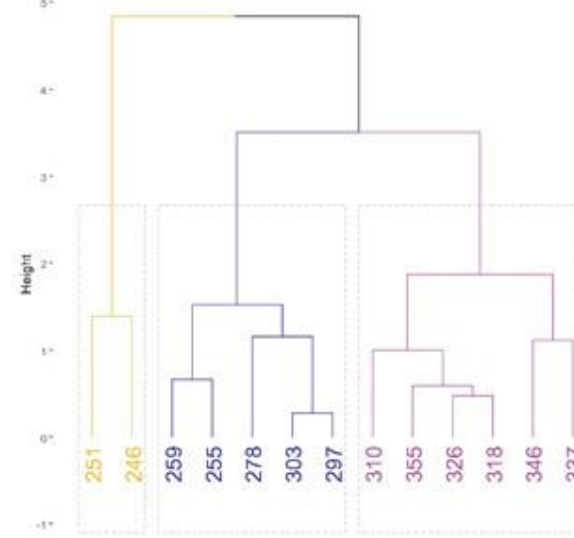


Baisse de la
productivité à l'aval
de Rouen

A Interstructure



B Cluster dendrogram



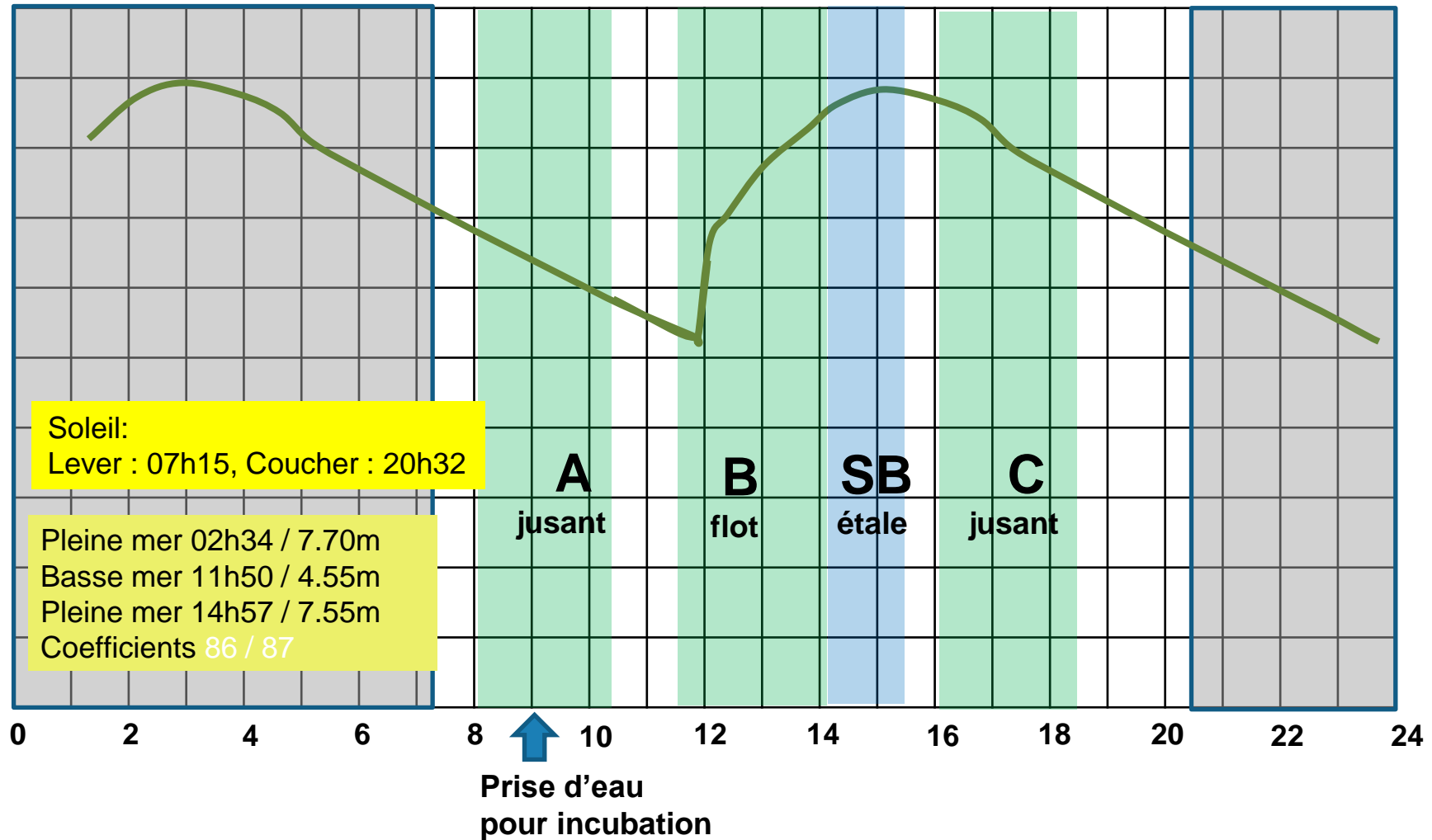
Campagnes communes : 5 stations, 5 campagnes

○ Tancarville ● Caudebec ○ Val des Leux ● Oissel ● Les Andelys



Exemple: VAL DES LEUX – 03/09/2020

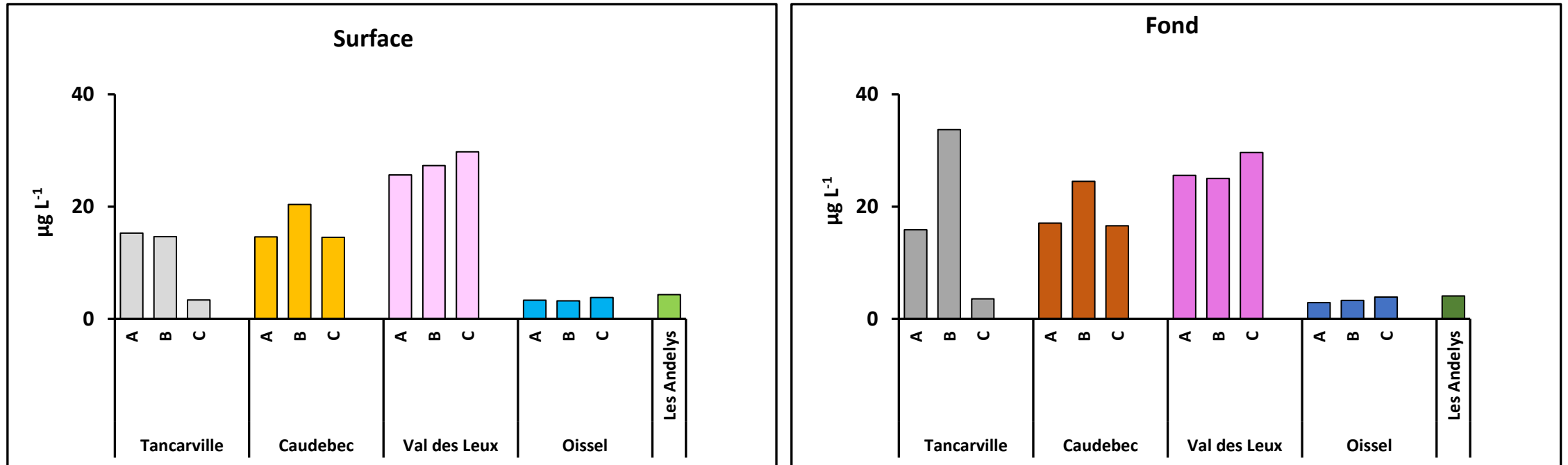
A,B,C = Echantillonnages eau, plancton, etc.
 SB = Echantillonnage supra-benthos



Phytoplancton: biomasse (Chla)

○ Tancarville ● Caudebec ○ Val des Leux ● Oissel ● Les Andelys

Moyenne 5 campagnes

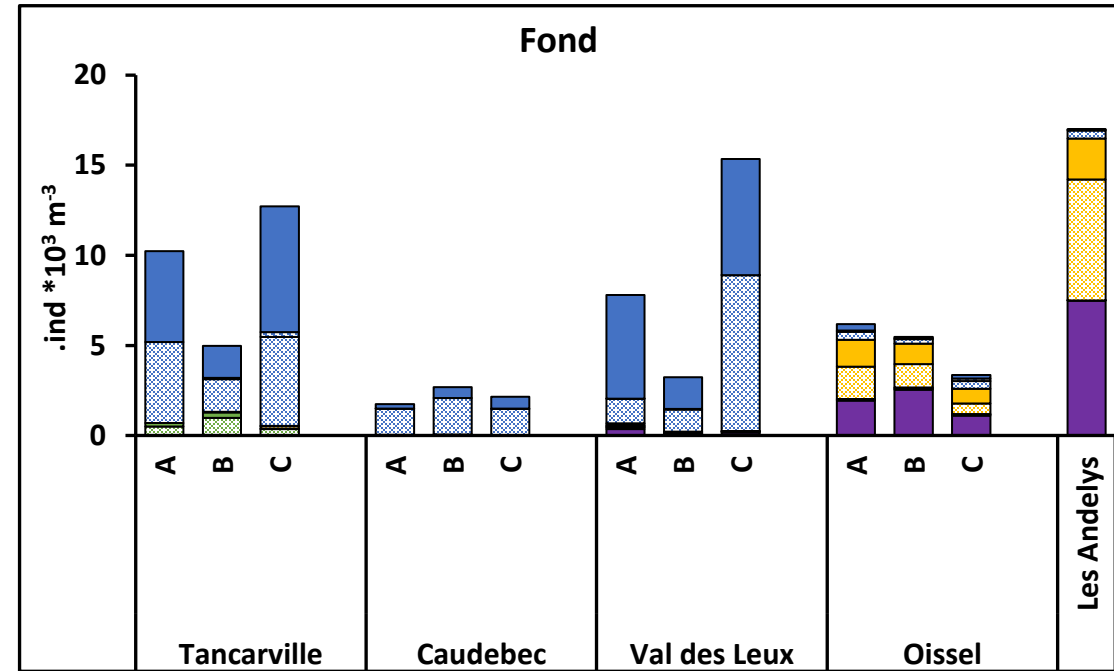
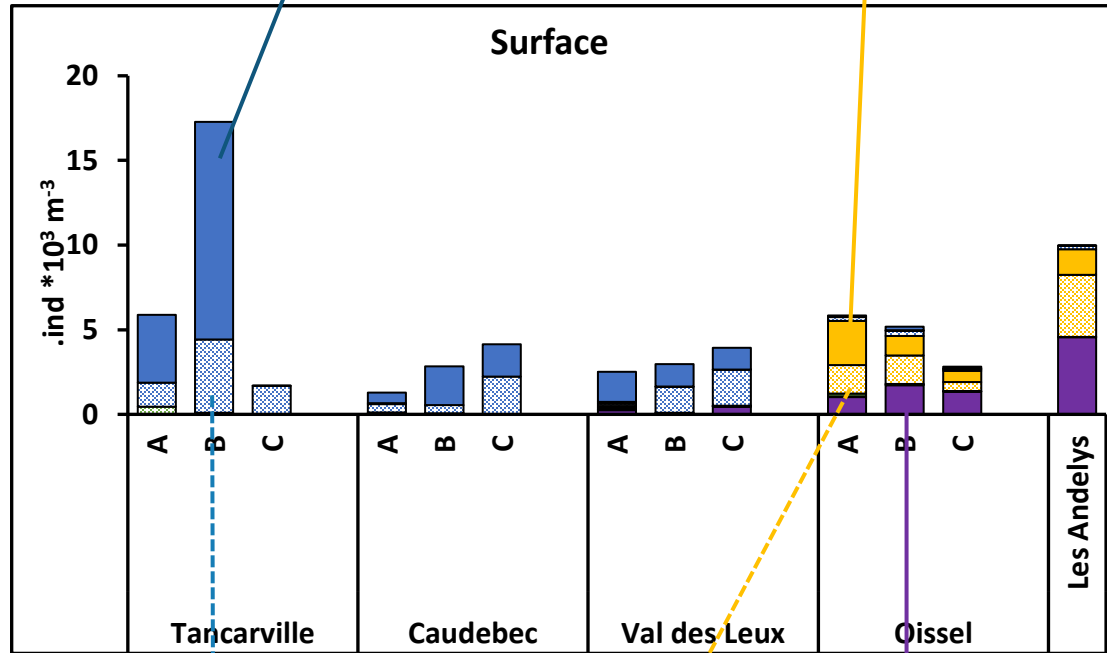
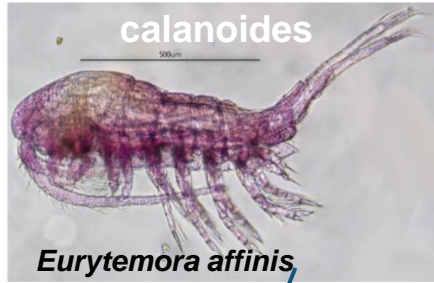


Stock fond ≥ surface

Mélange vertical

Stock amont < aval

Zooplancton: abondance mésozooplancton (crustacés)



calanoides
copépodites

cyclopoïdes
copépodites



Communauté amont ≠ aval

Communauté Oissel ≈ Les Andelys

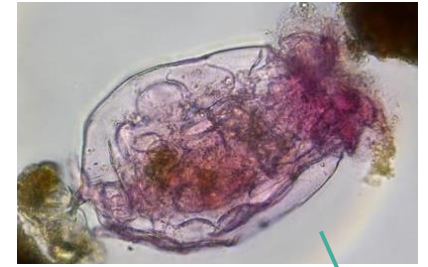
Abondance fond ≈ surface

Zooplancton: abondance rotifères et nauplii

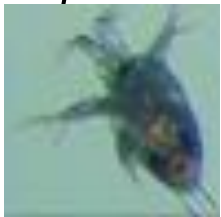
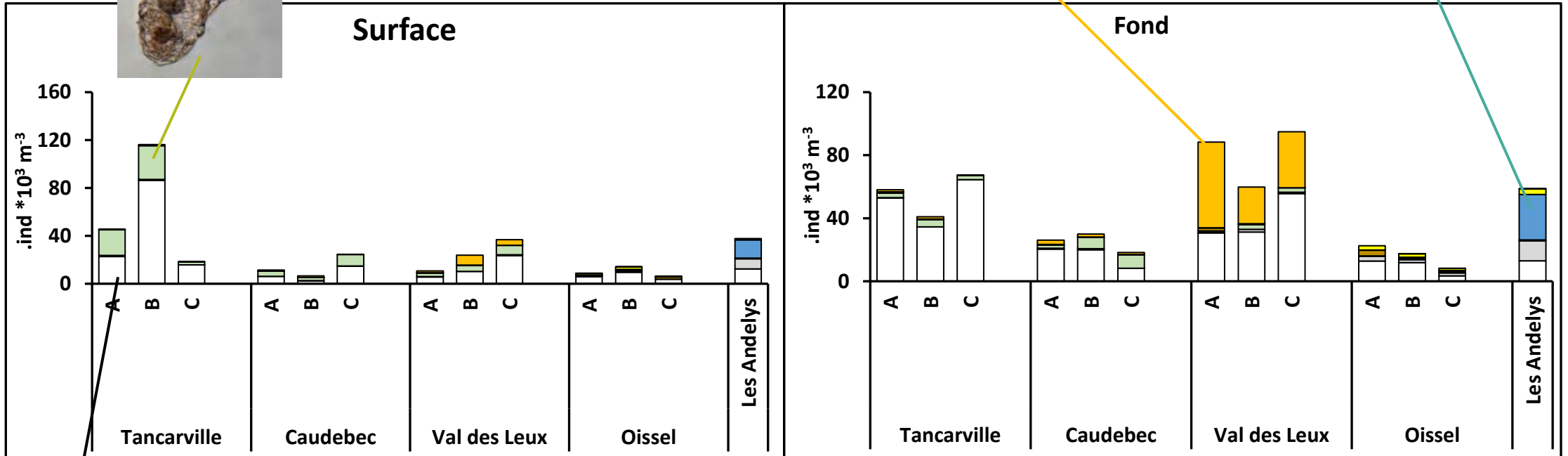
Trichotria tetractis



Brachionus angularis



Synchaeta bicornis

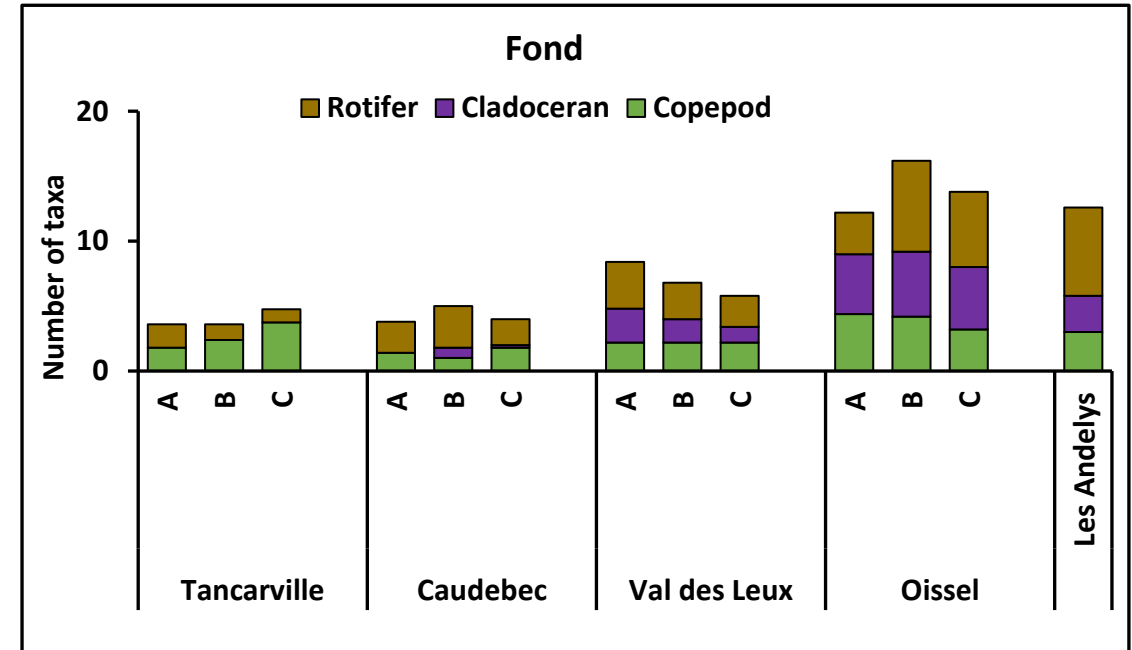
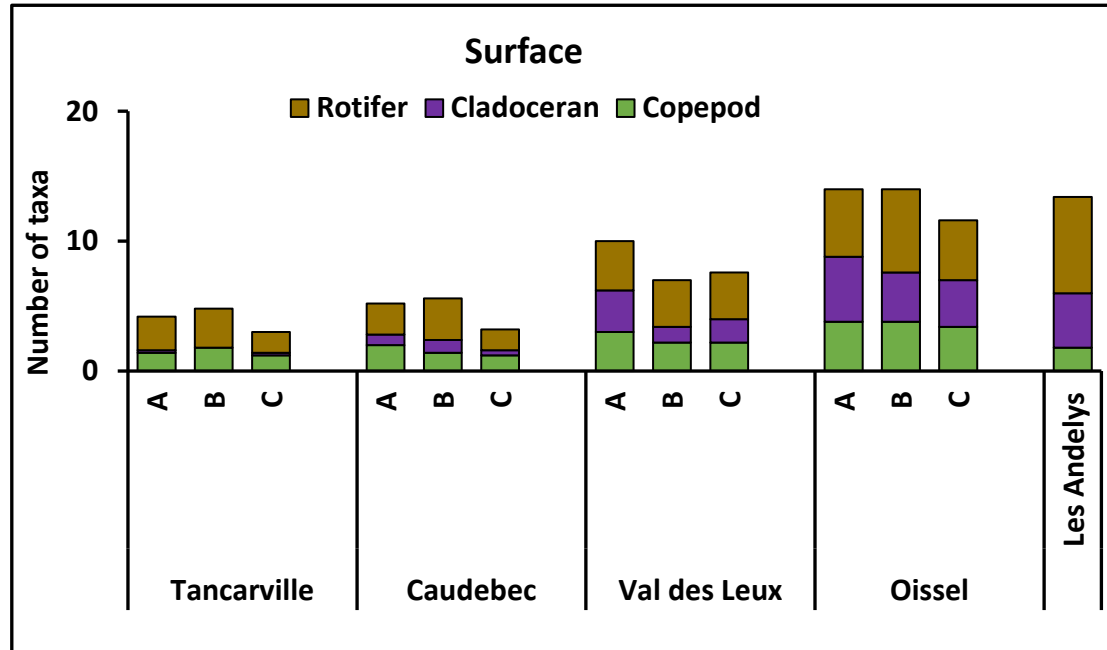


nauplii copépodes

Abondance fond \approx surface

Communauté amont (VDL) \neq aval

Zooplancton: richesse

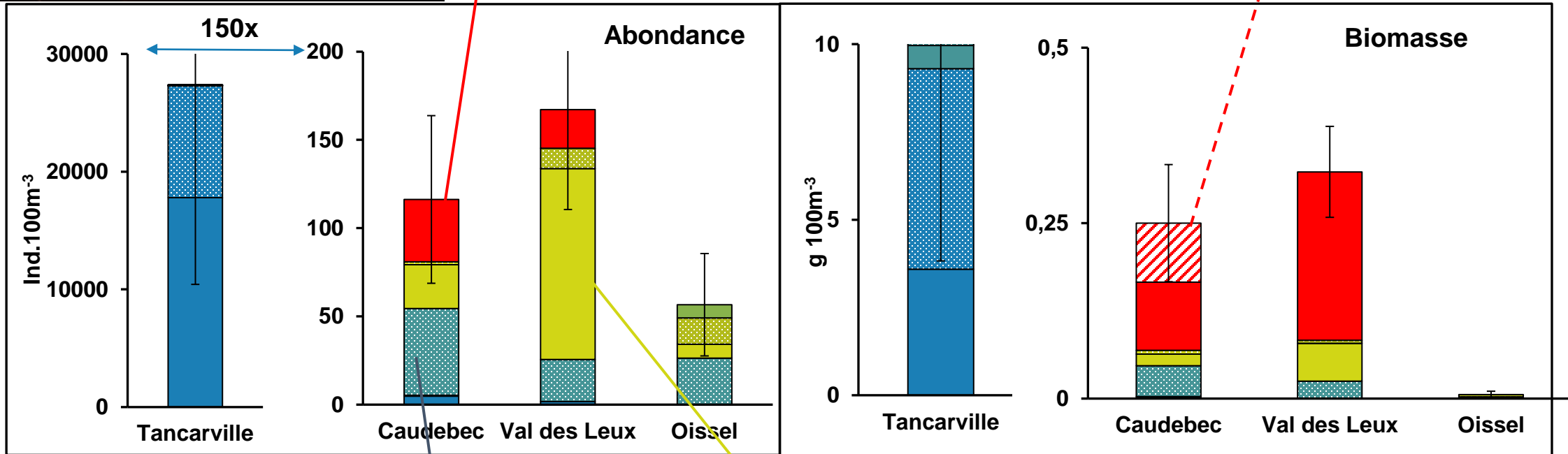


Richesse amont > aval

Suprabenthos



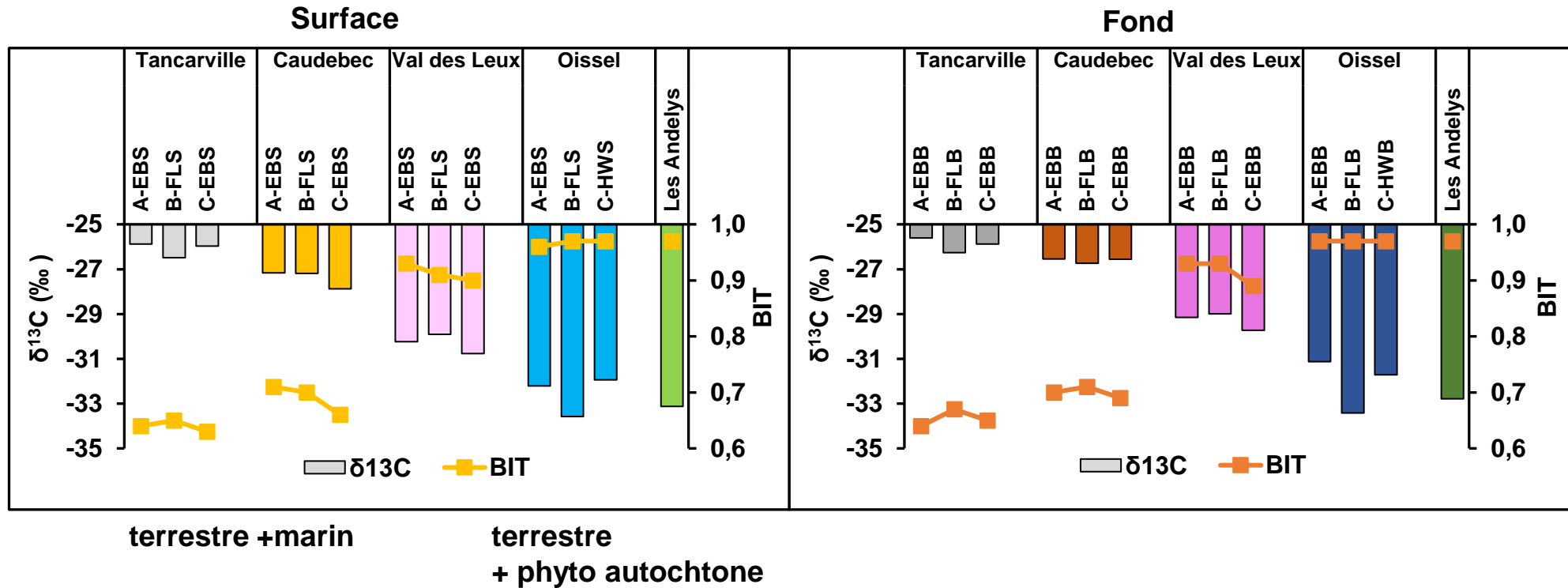
Fond



Marqueurs isotopiques - moléculaires

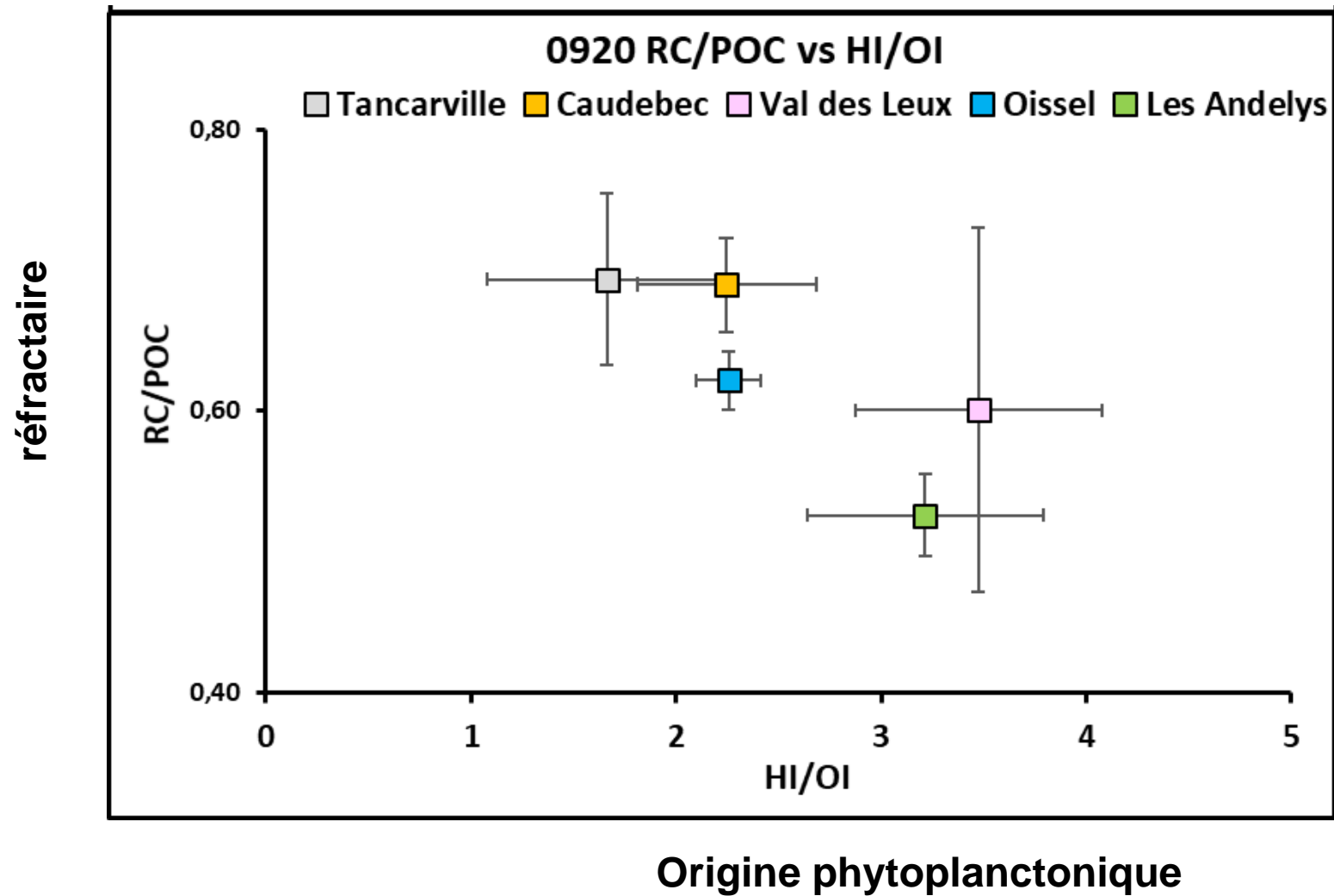
Matière Organique Particulaire (MOP)

> 0.70 µm



Mélange amont - aval de matériel terrestre, phytoplancton autochtone et marin

MOP: analyse Rock-Eval 6

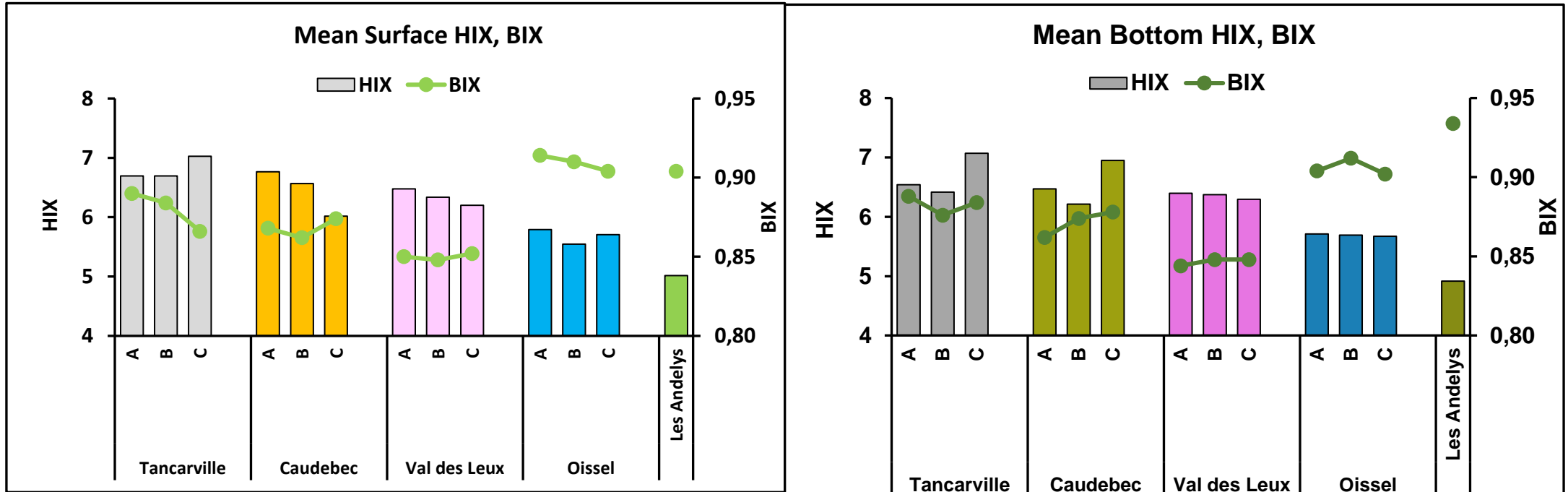


Matière Organique Dissoute (MOD)

< 0.70 µm

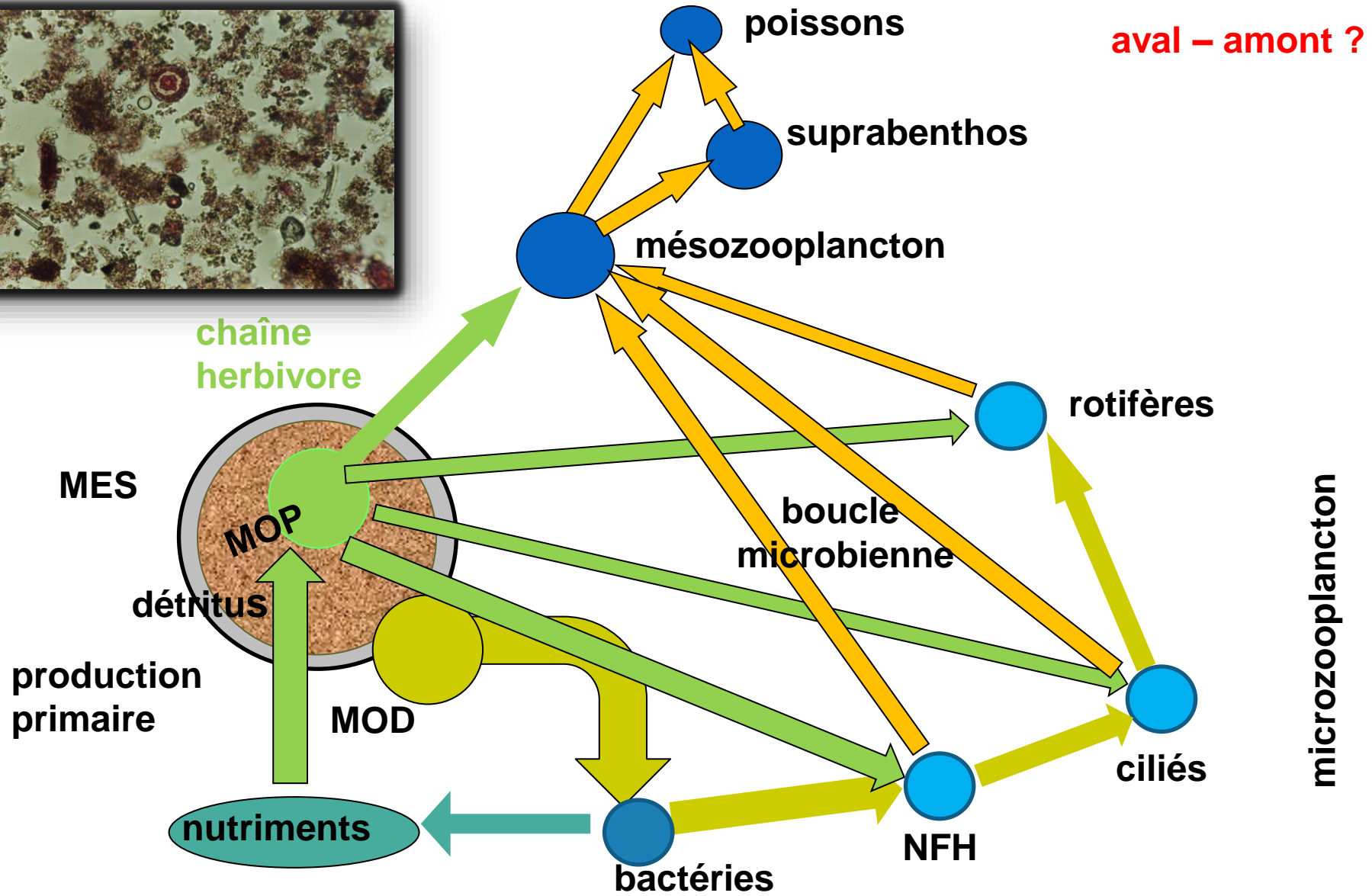
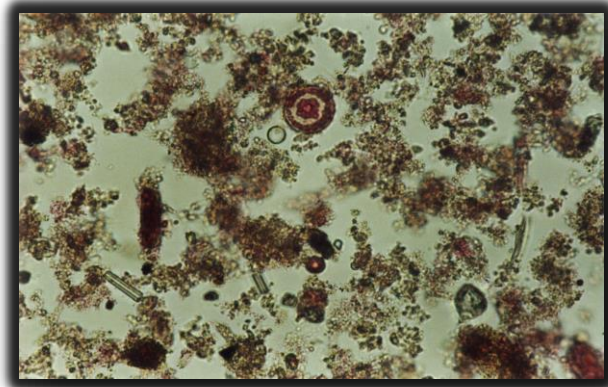
HIX: maturation (terrestre; réfractaire)

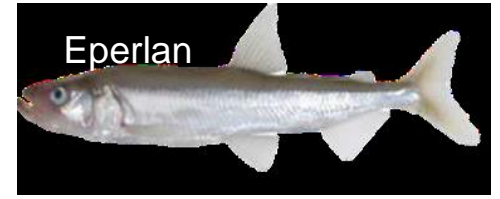
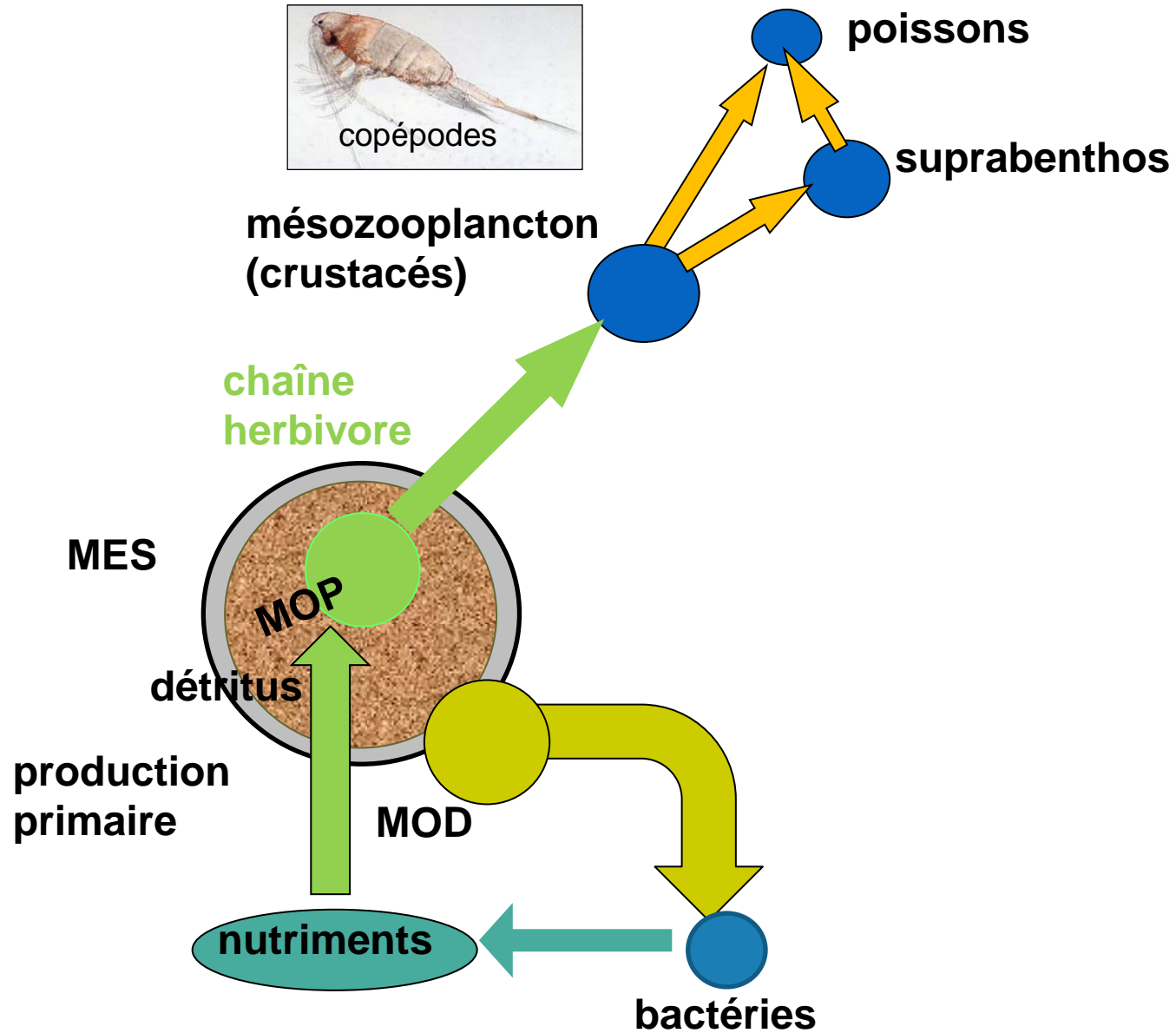
BIX: activité biologique (récemment produit)

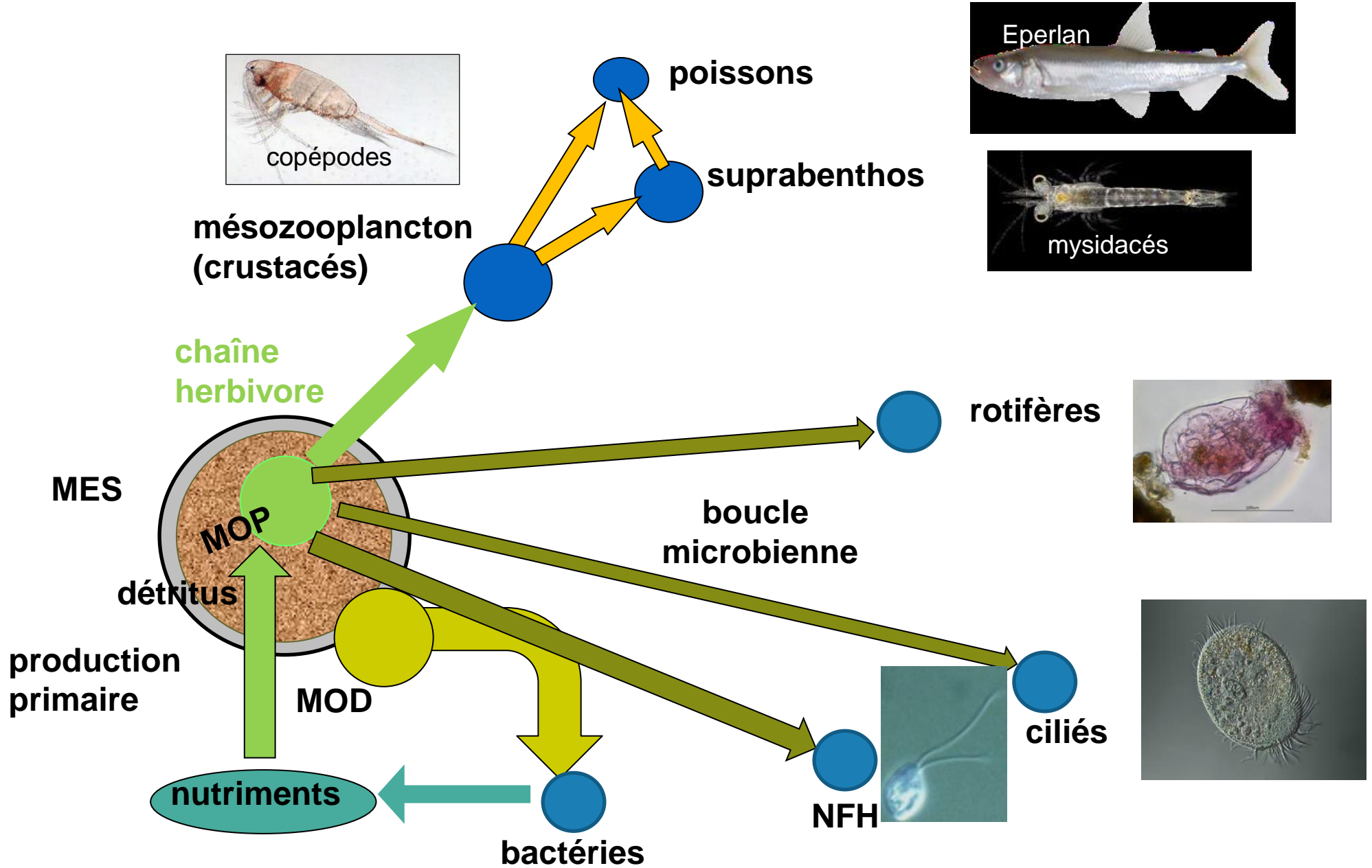


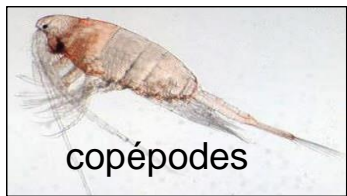
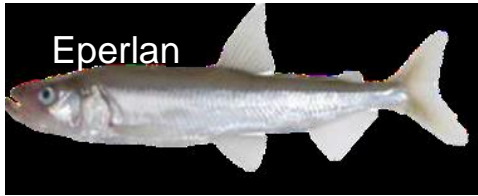
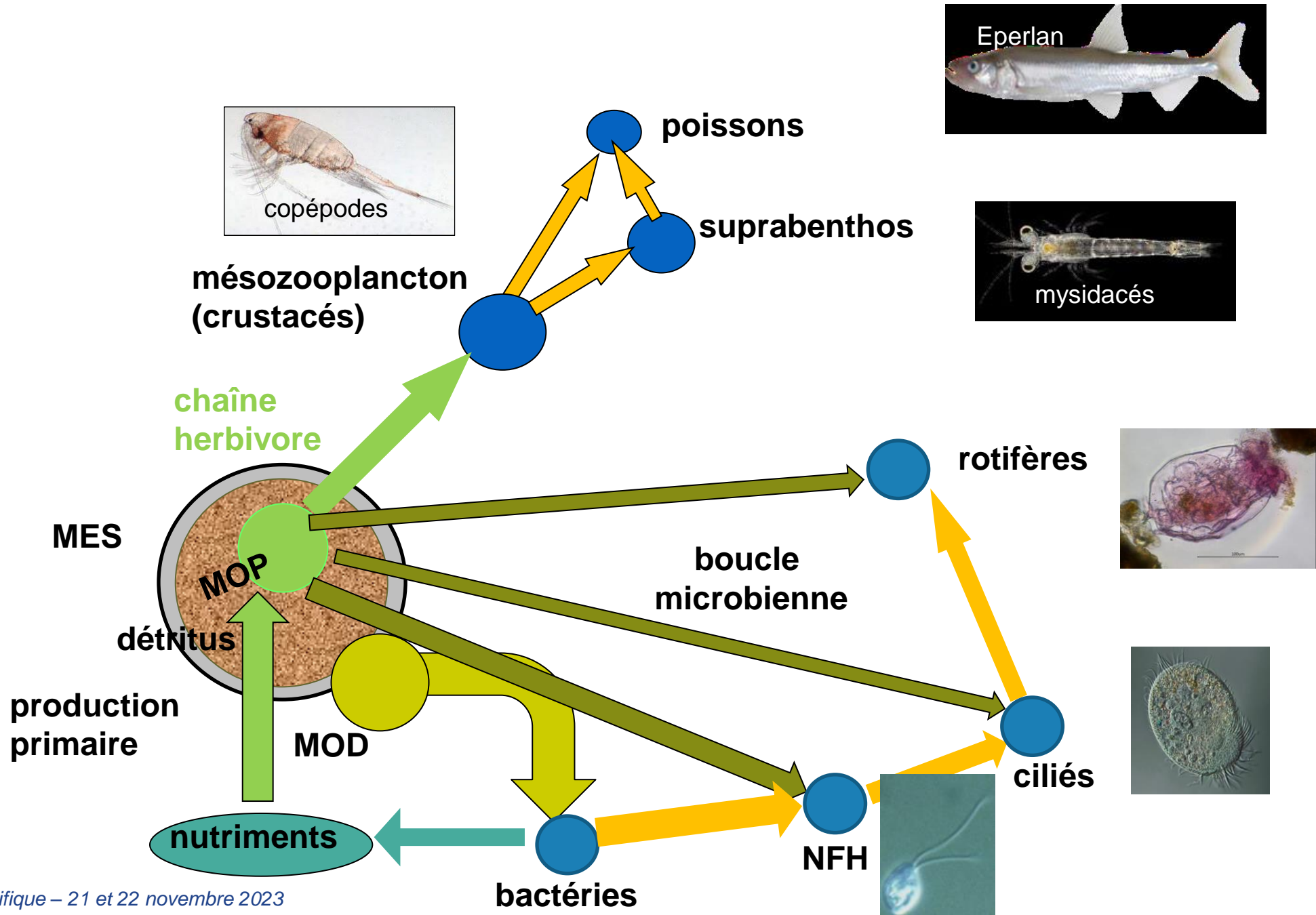
Production autochtone amont > aval
Minimum à VDL

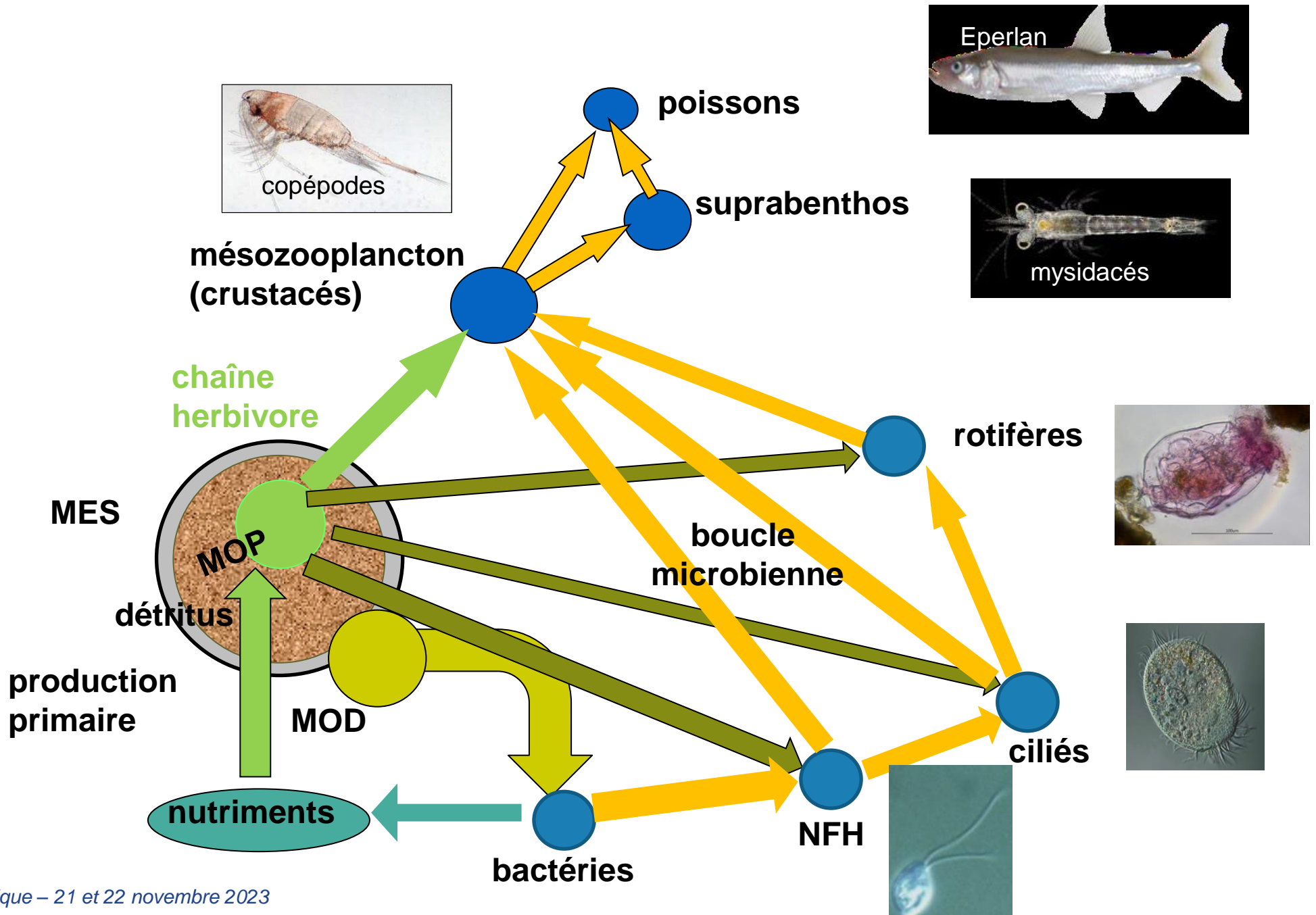
Fonctionnement trophique

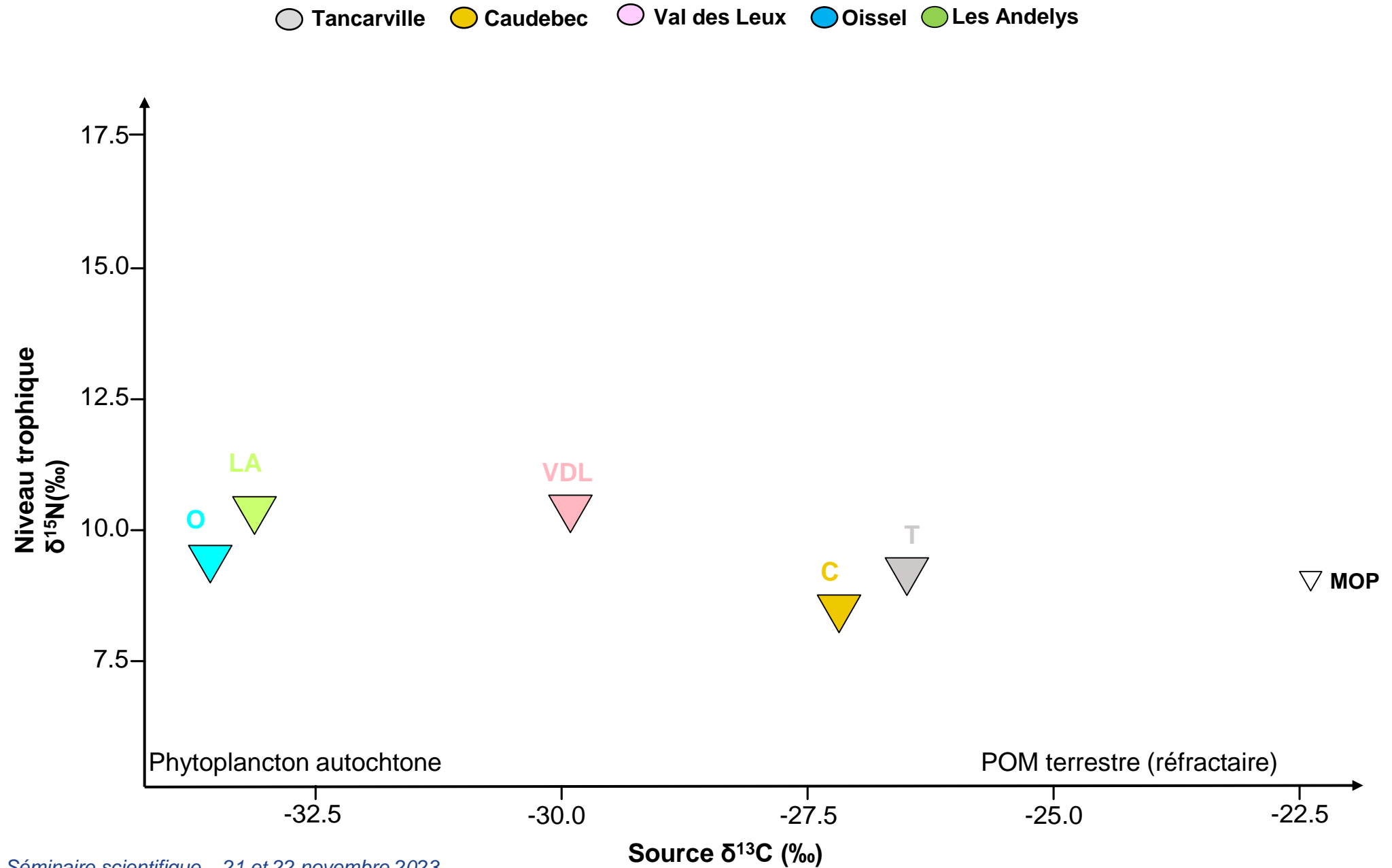


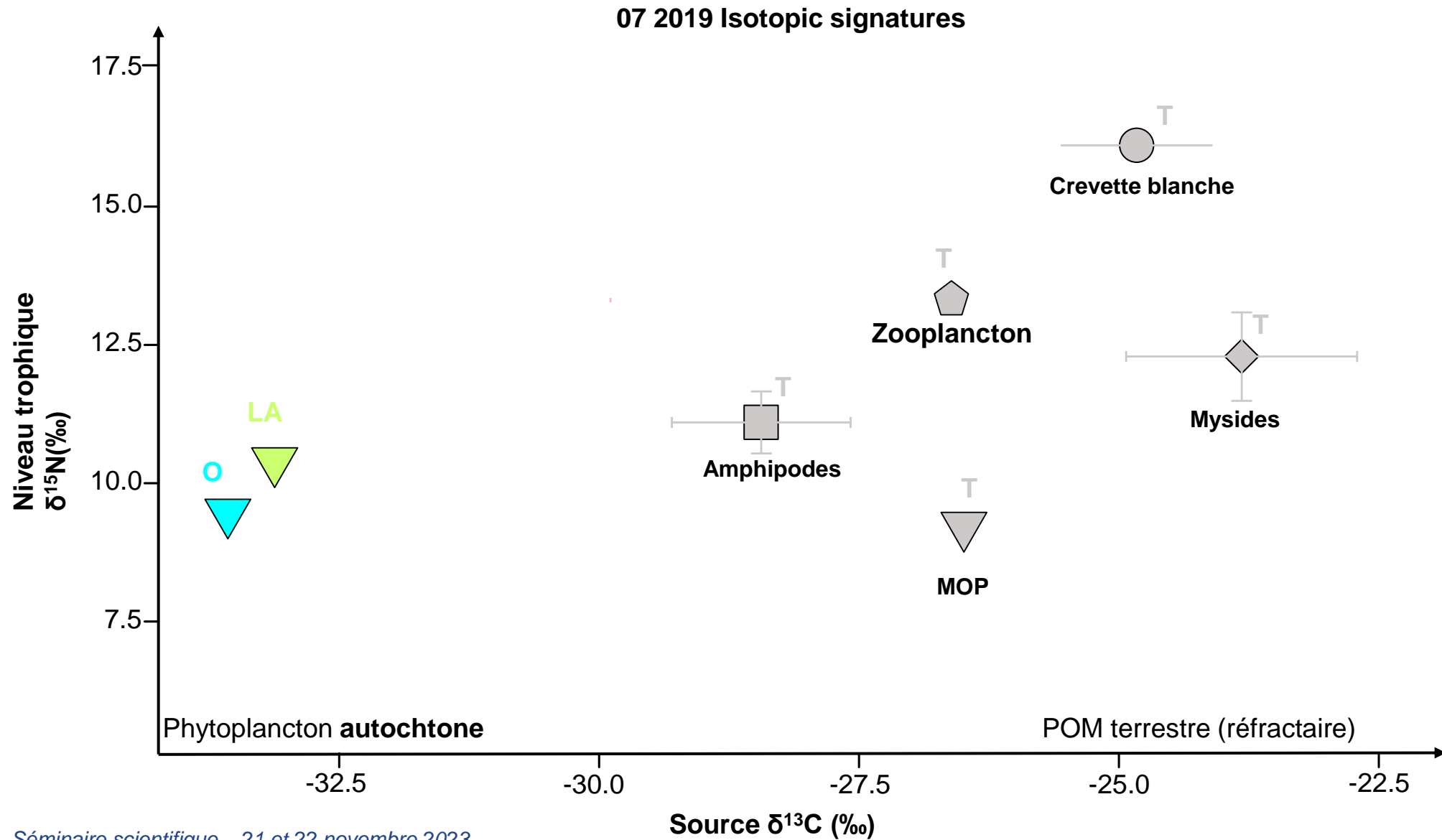




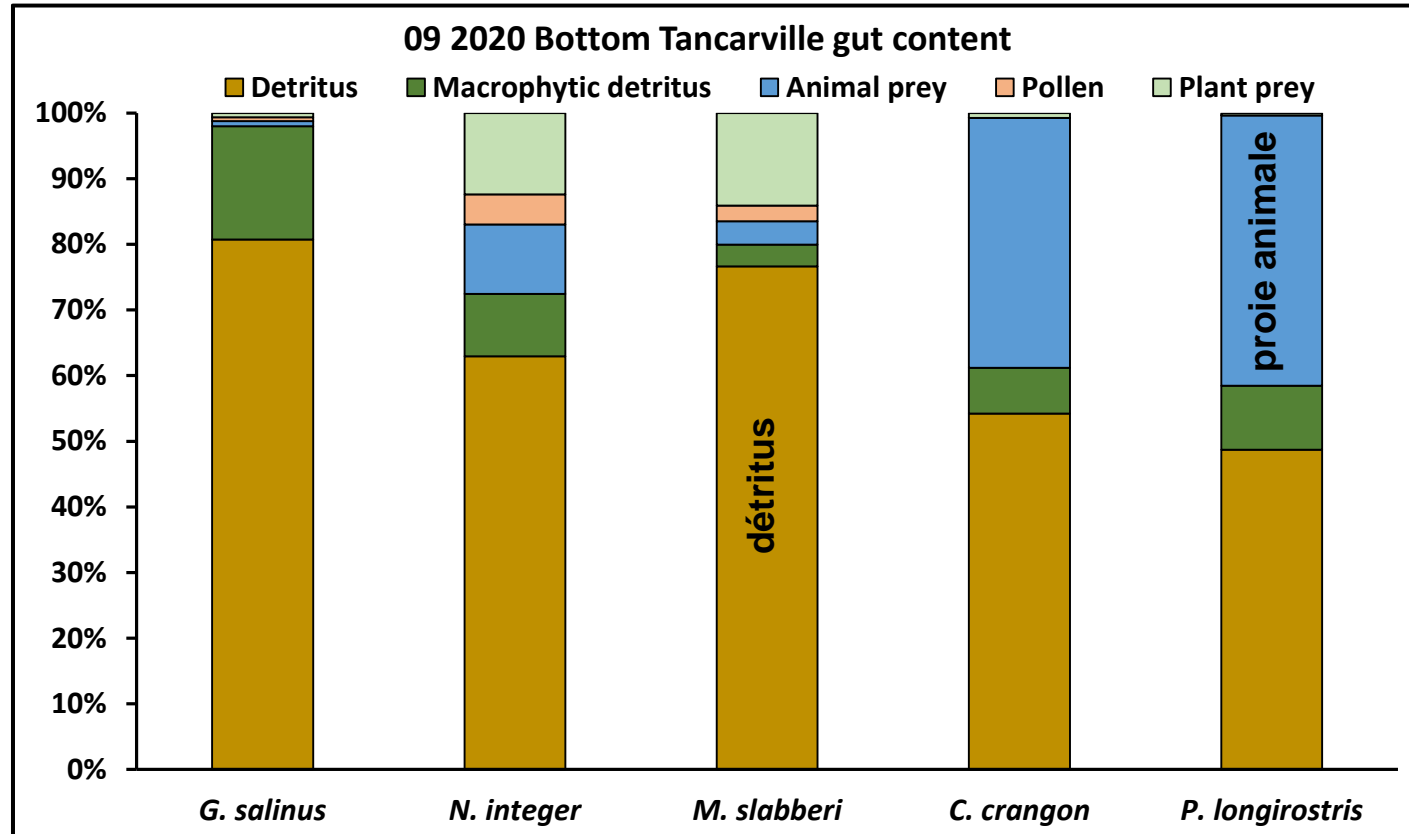




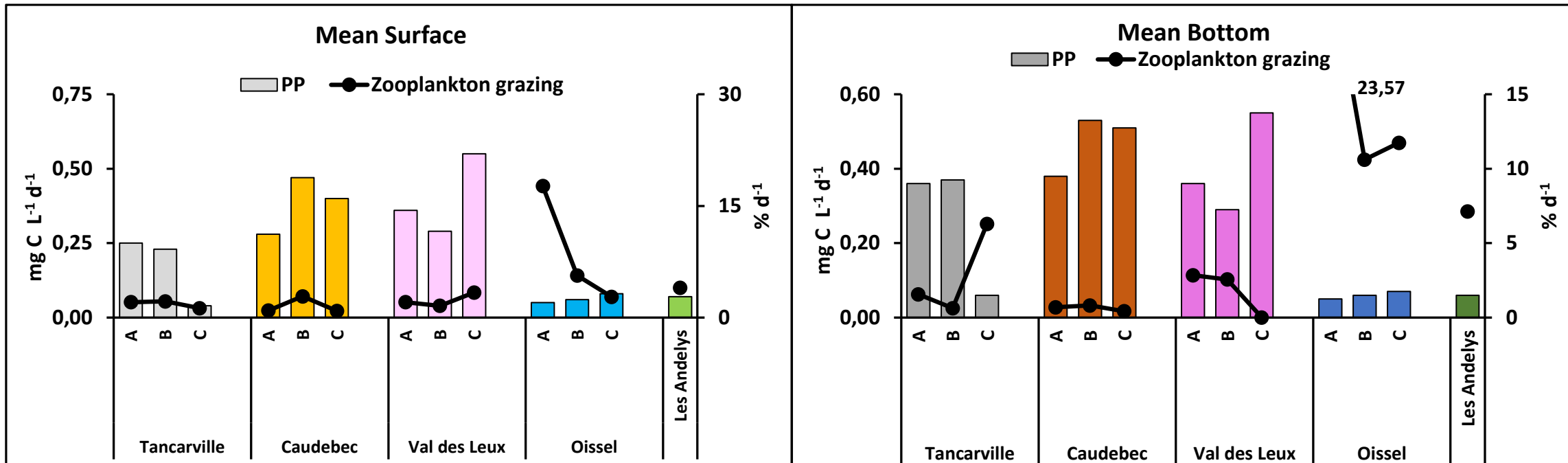




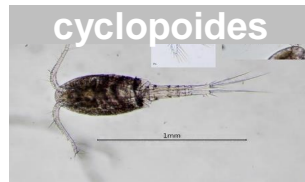
Analyses stomacaux suprabenthos



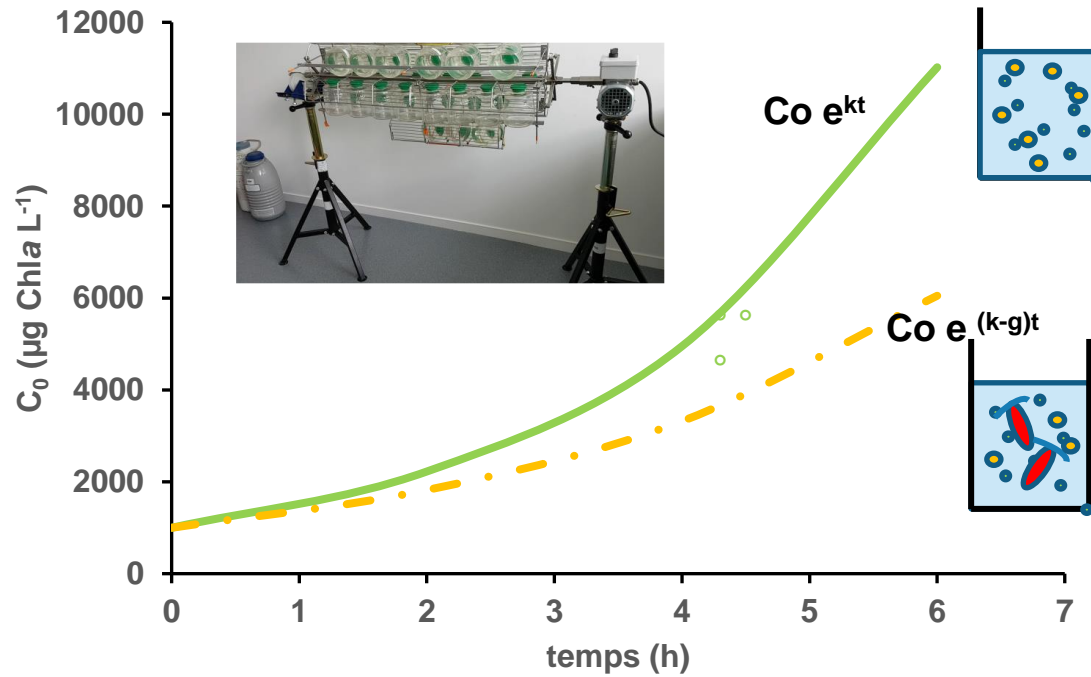
Pression de broutage par le mésozooplancton



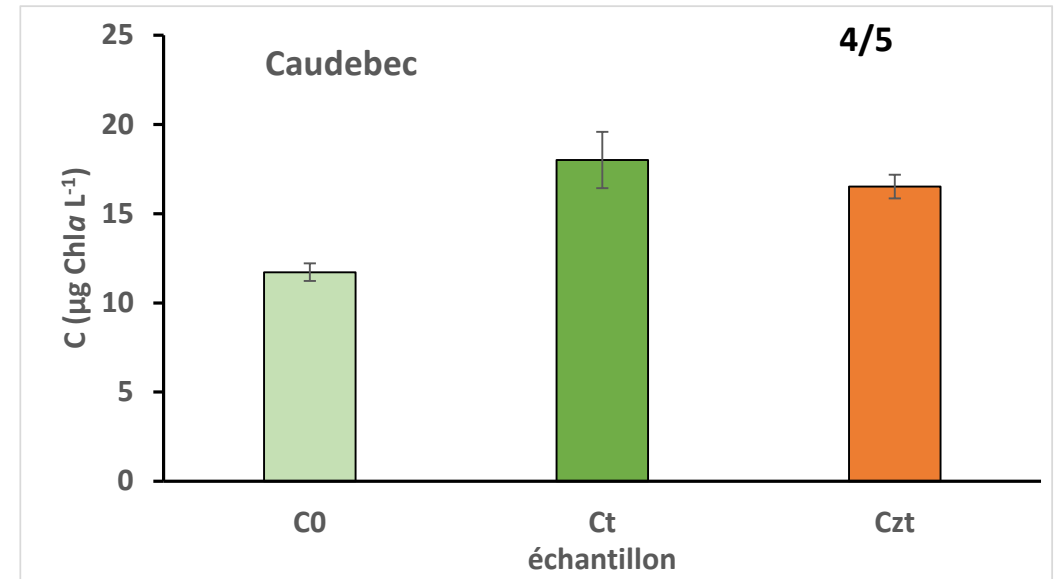
À base de contenus intestinaux en pigments des espèces dominantes



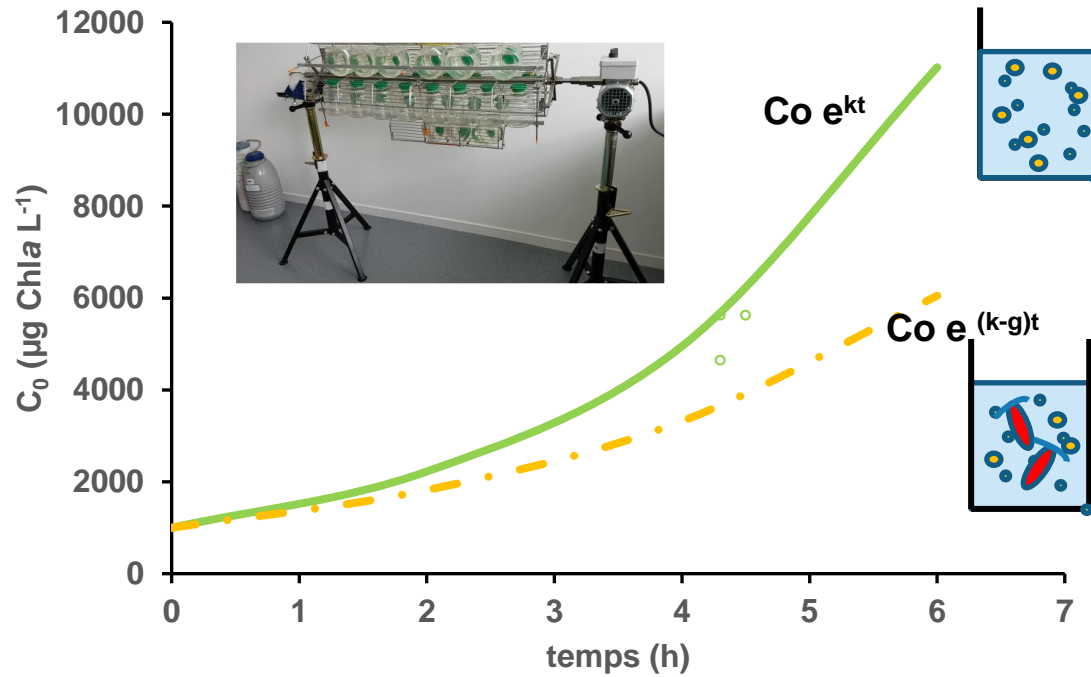
Broutage communauté > 70 µm : mésozoo + rotifères:



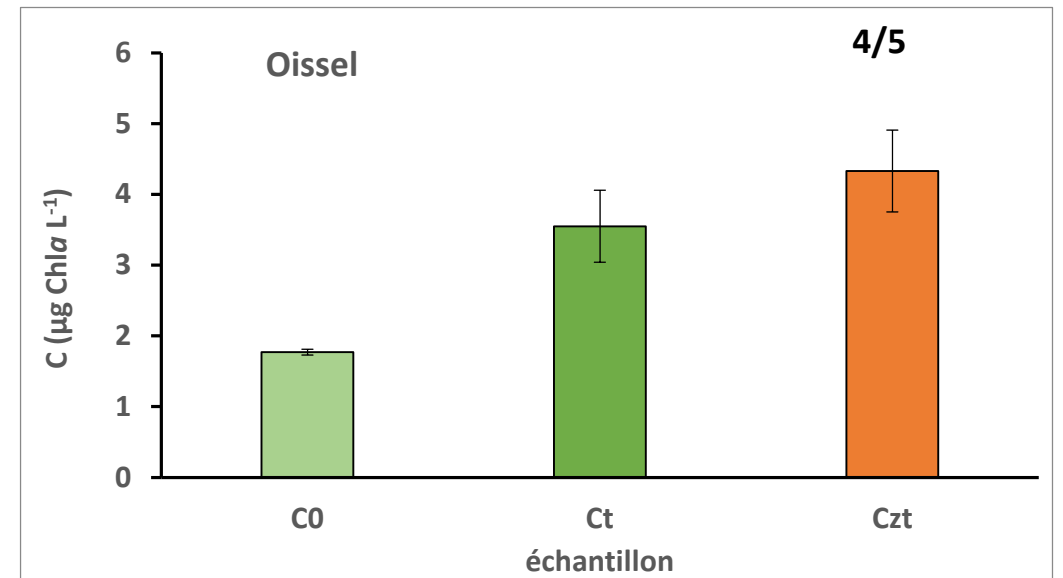
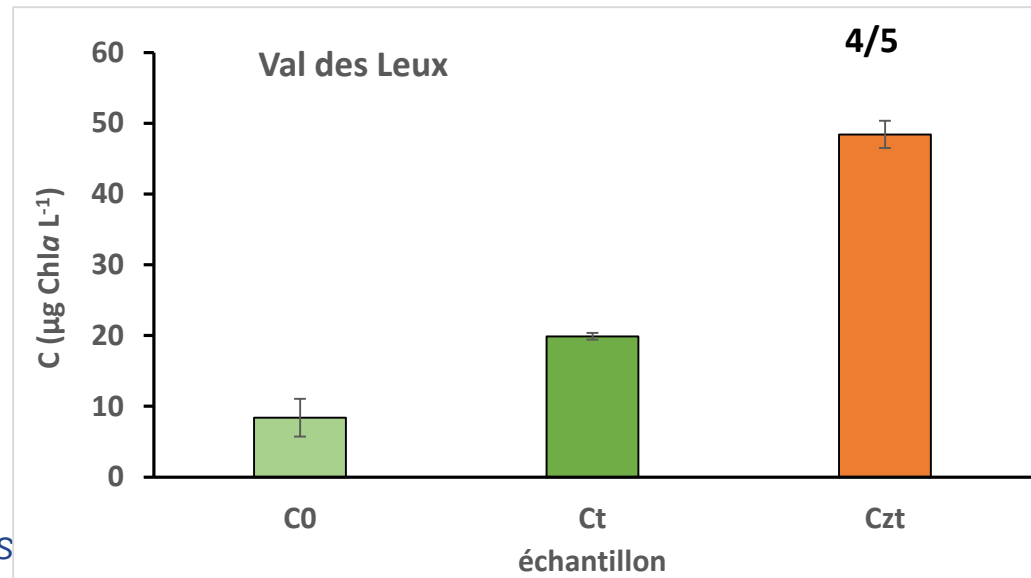
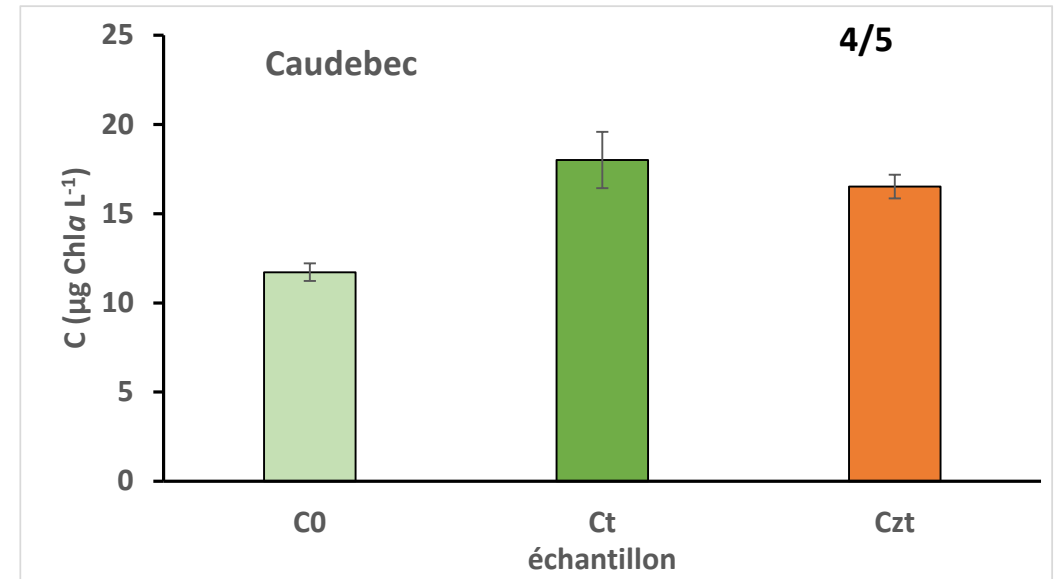
expériences d'incubation



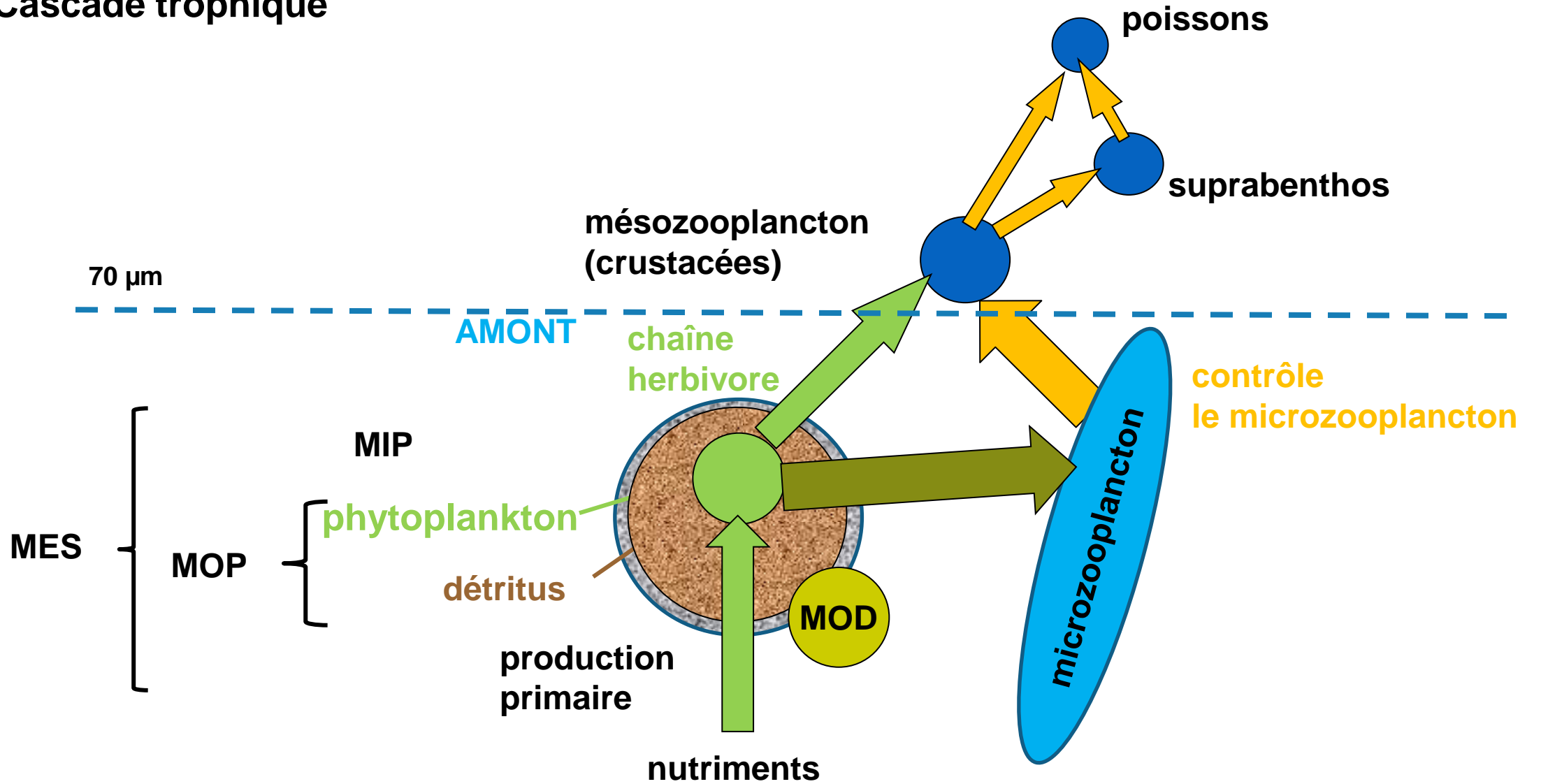
Broutage communauté > 70 µm : mésozoo + rotifères:



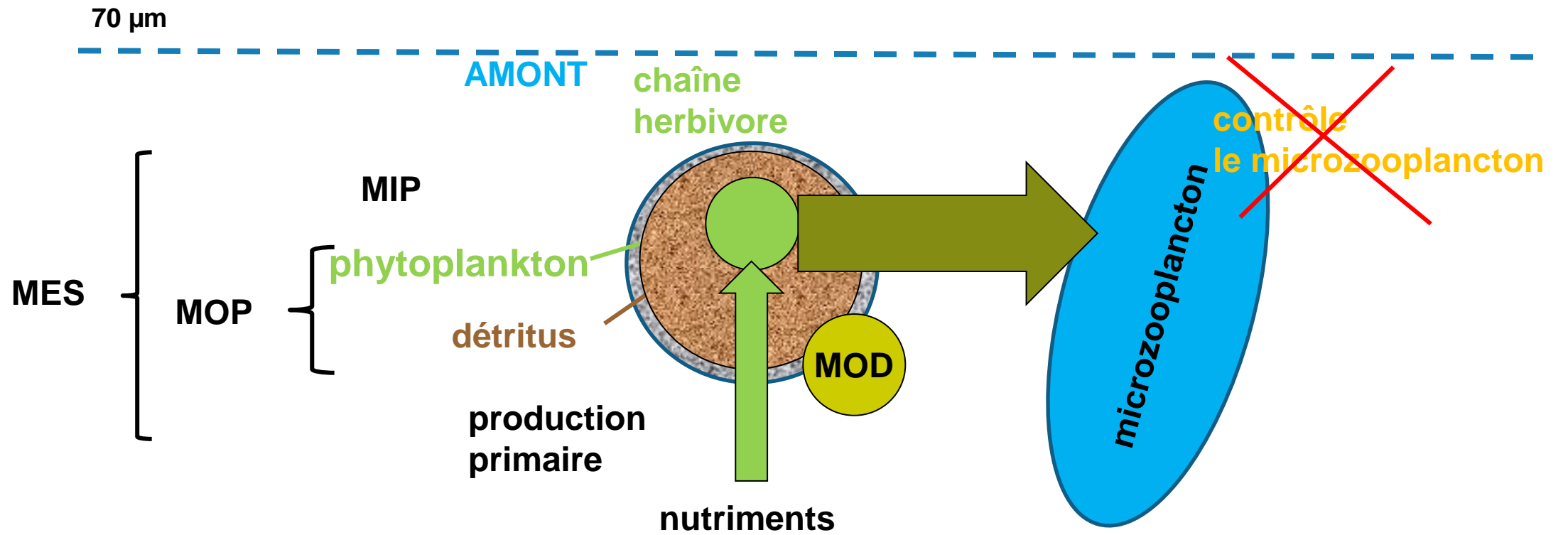
expériences d'incubation



Cascade trophique

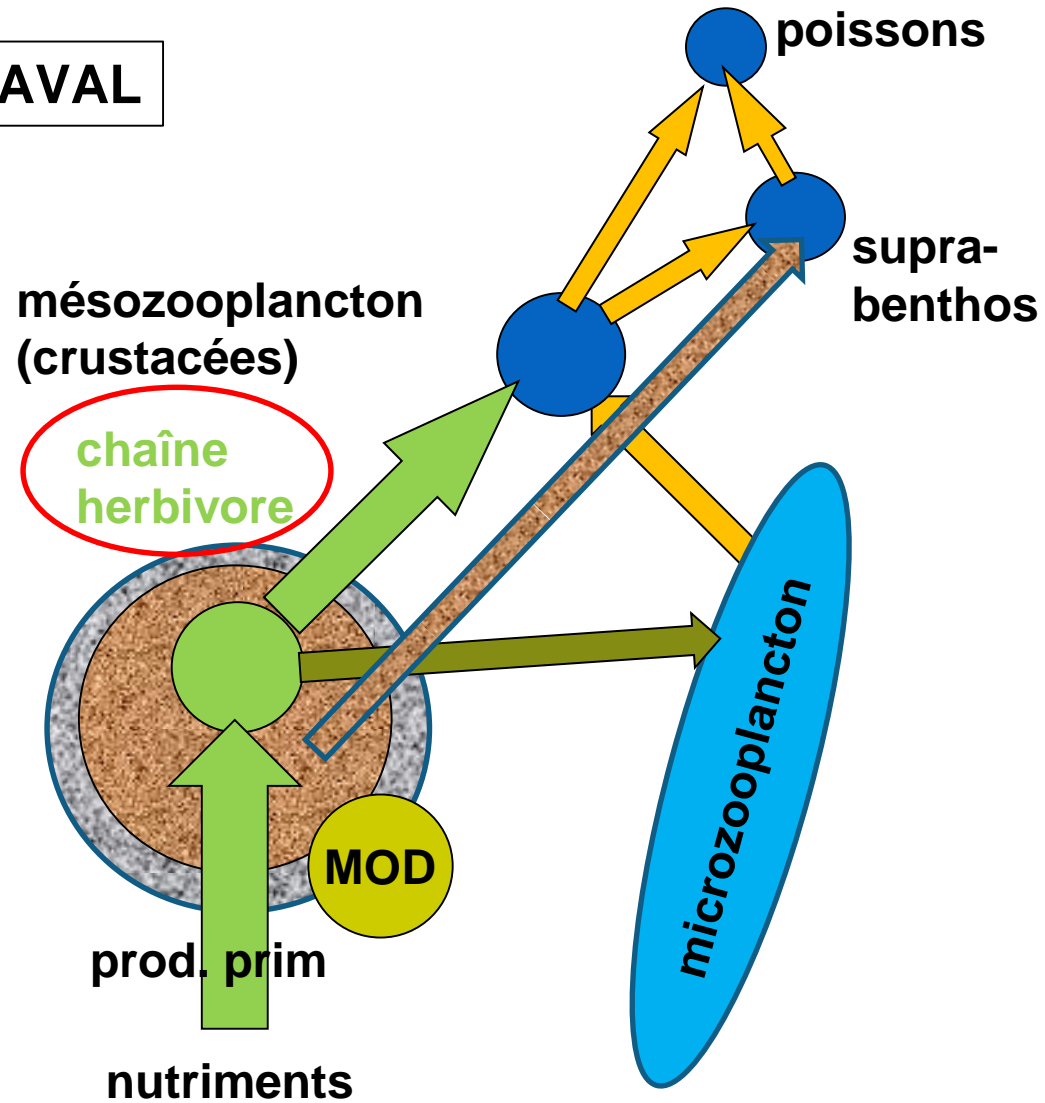


Cascade trophique

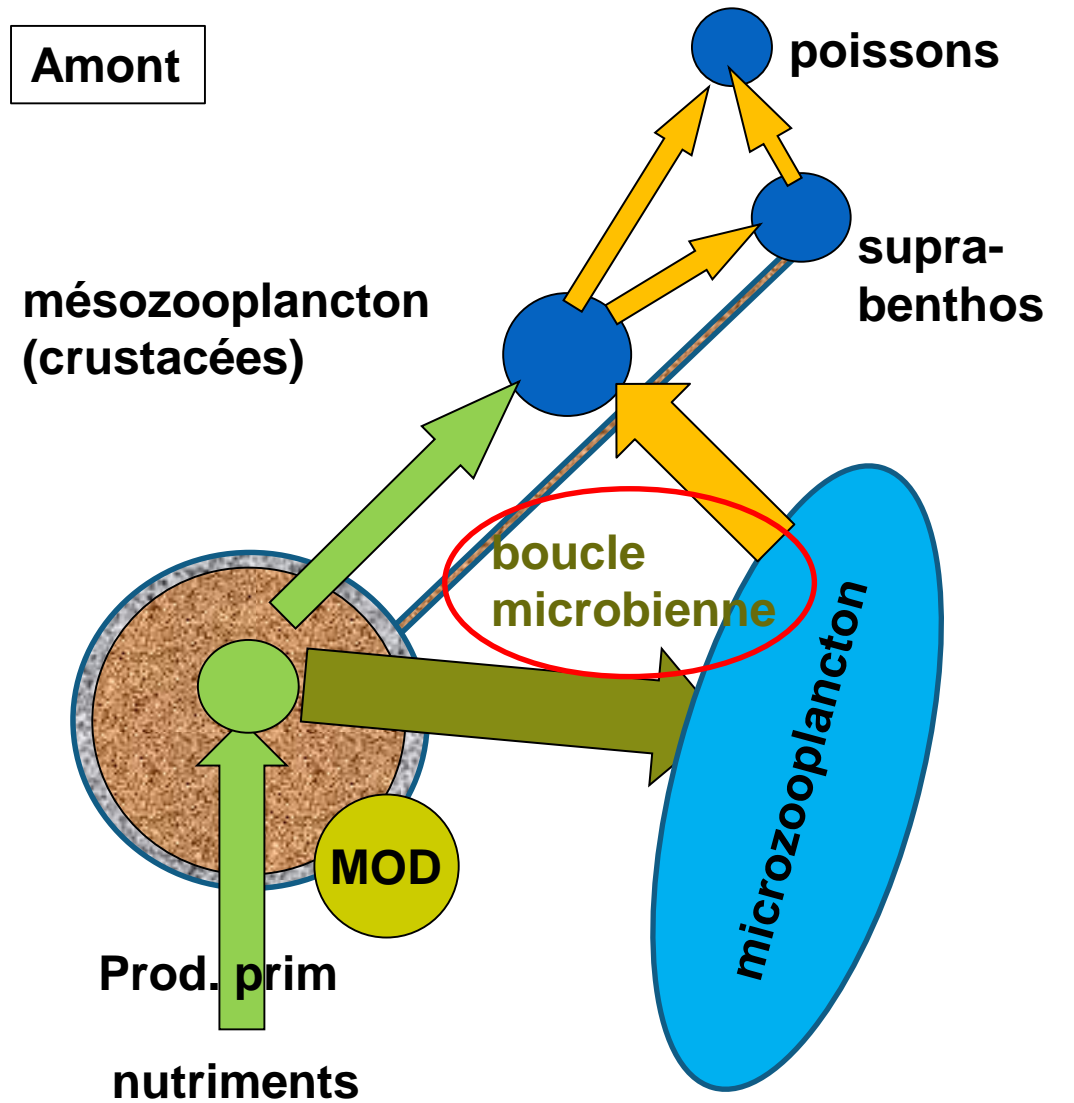


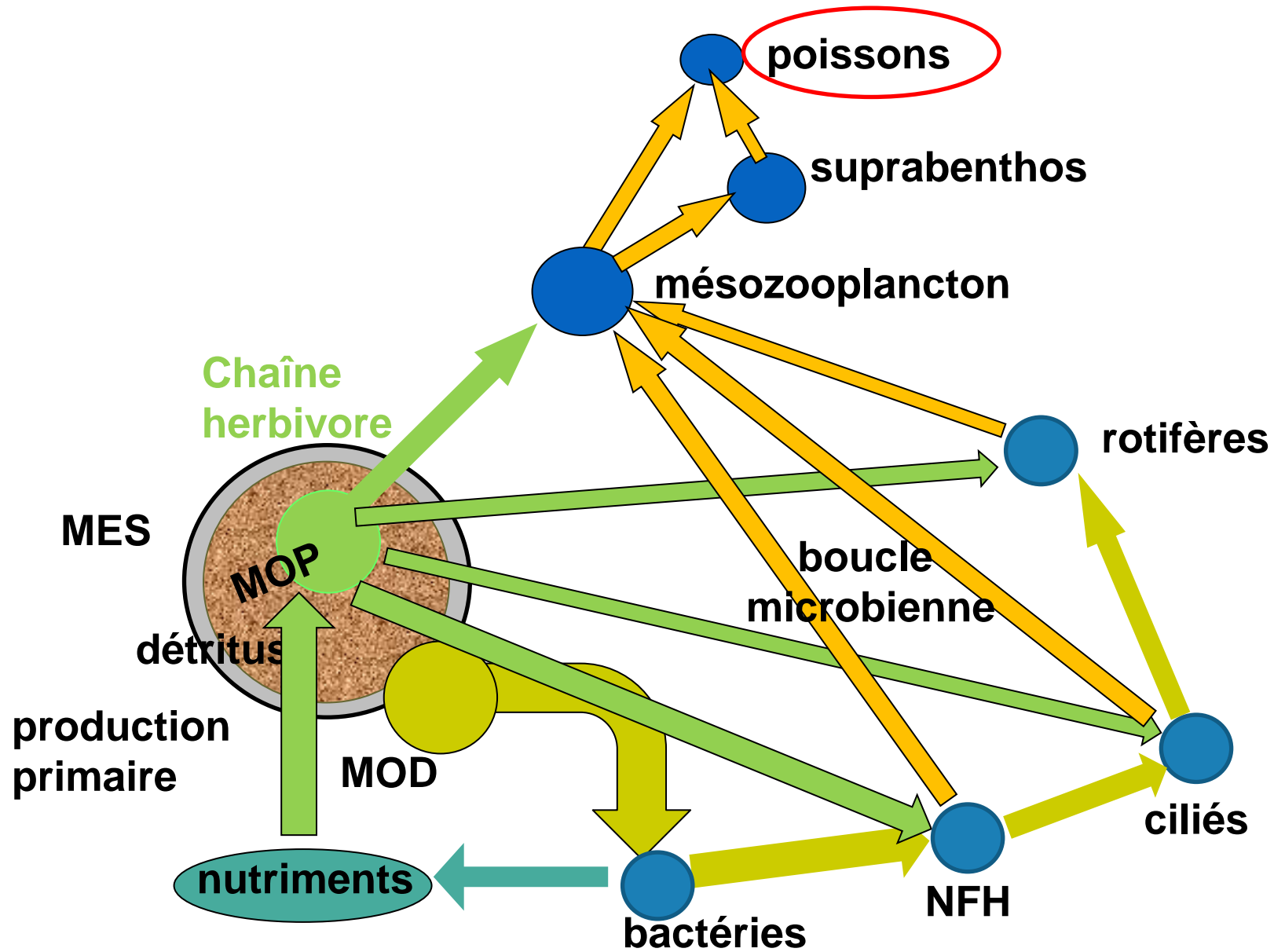
Fonctionnement trophique: hypothèse

AVAL



Amont





Alimentation des poissons dans la partie fluviale de l'estuaire de la Seine en comparaison avec la zone du bouchon vaseux

Sylvain Duhamel : Porteur du projet

A. Crampon, A. Desodt, M. Rey : Prélèvements, analyse de contenus stomacaux, saisie

E. Morvan, I. Perrein : Prélèvements, laboratoire

M. Pavkovic : Prélèvements

Méthodologie

S'appuyer sur les dispositifs de surveillance et de suivi

Surveillance DCE Poissons



Ensemble de
l'estuaire
HT01 / HT02 / HT03

59 traits de chalut

Chalut à perche

Print. + Aut.

[2010 – 2021[

Suivi de la zone d'immersion de Duclair

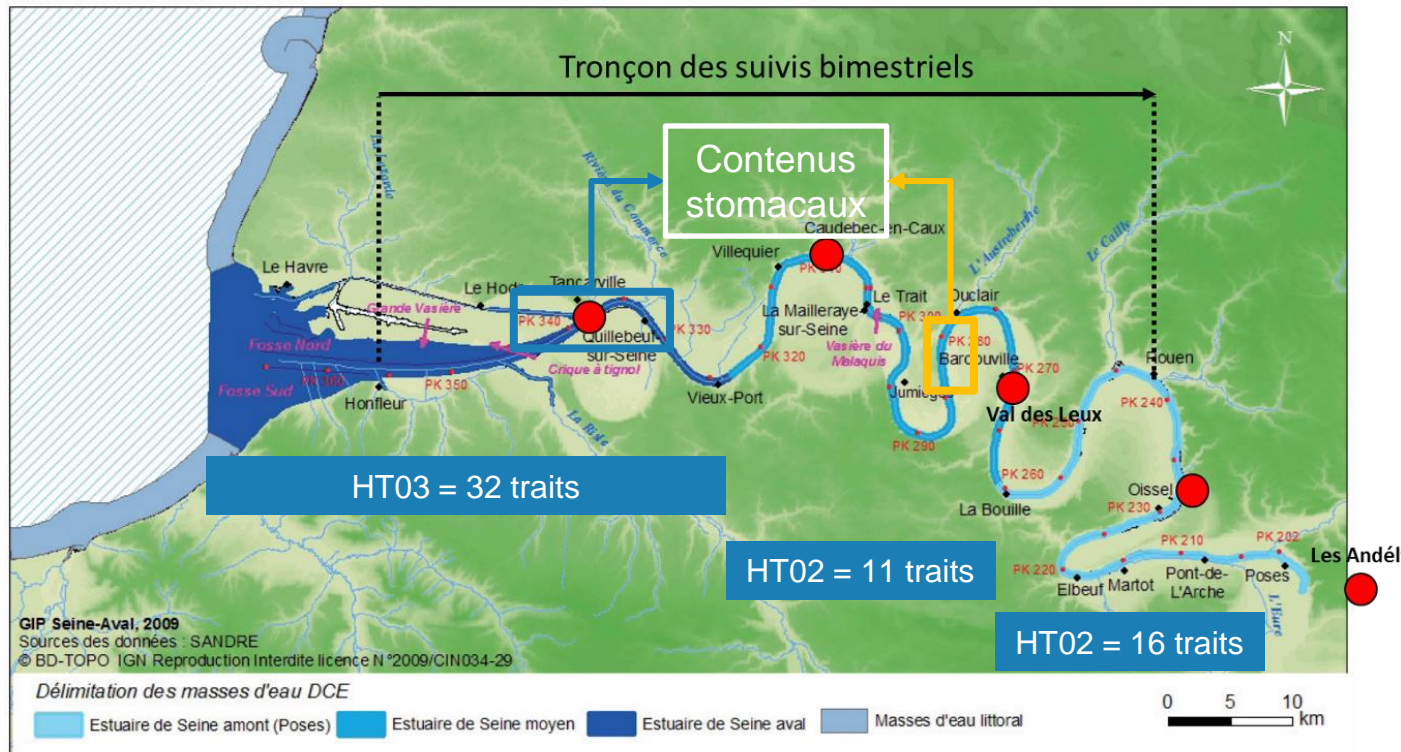


8 traits de chalut (4 stations ≠ stations DCE)

Chalut à perche « DCE »

Print. + Aut.

[2020 – 2021[



Choix des espèces étudiées :
Les plus fréquentes et abondantes
(Cf Chauvel, 2022)

1 poisson benthique

= flet



1 poisson pélagique

= éperlan



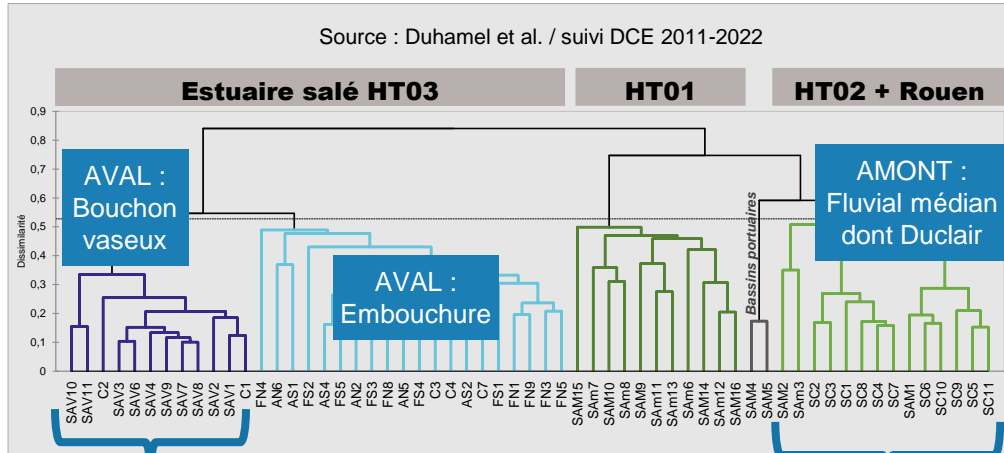
1 poisson suprabenthique

= gobie tacheté



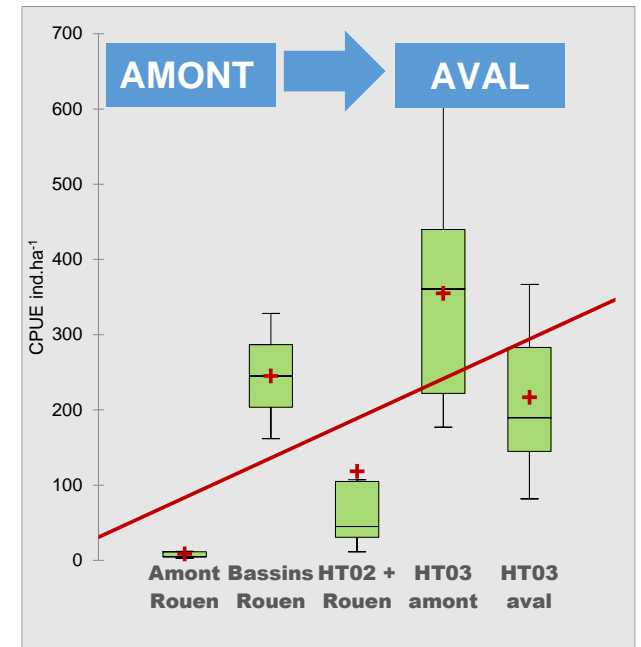
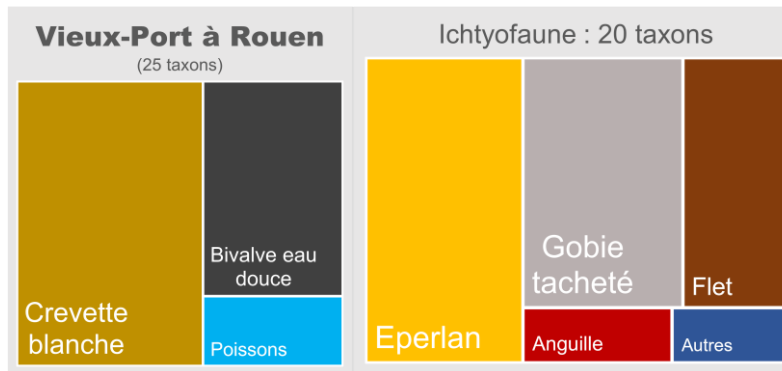
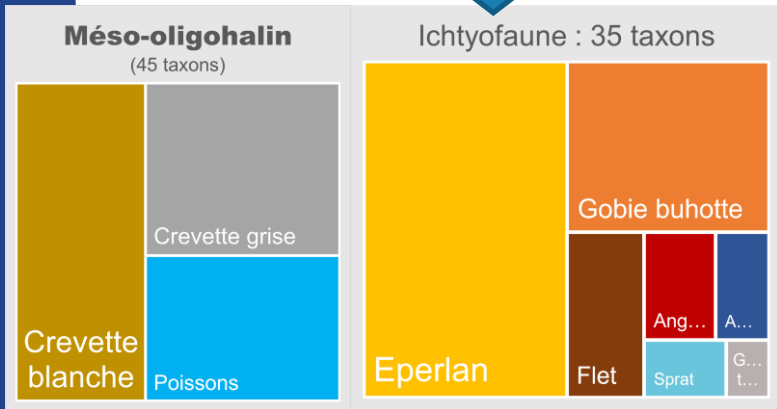
Éléments de contexte

Répartition générale des assemblages piscicoles + autre macrofaune



Source : Duhamel et al. / suivi DCE [2011-2022]

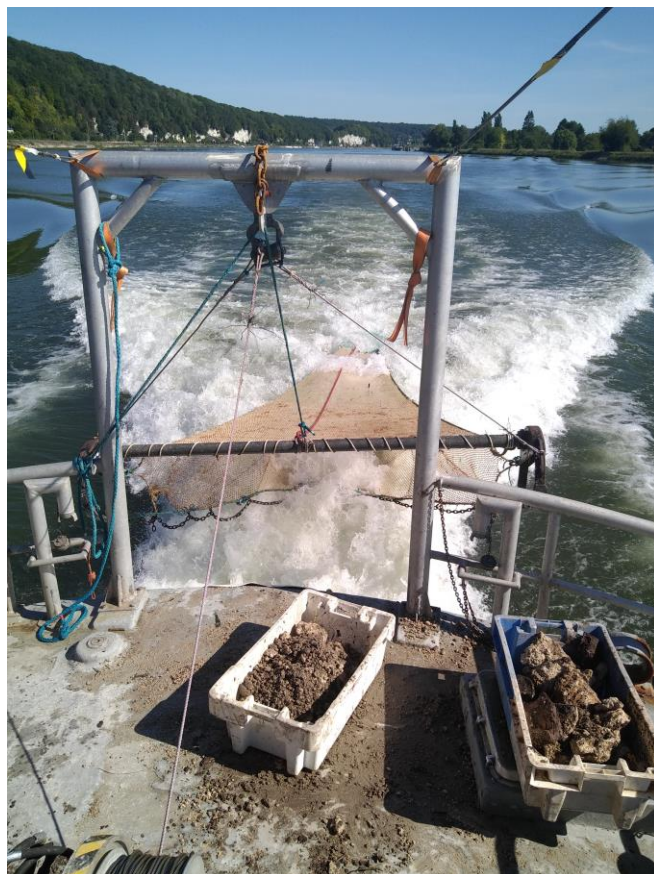
- **Estuaire :** Distinction de 4 assemblages d'espèces
 → Estuaire salé ≠ estuaire fluvial
 → Baisse de l'abondance vers l'amont
- **Eaux douces fluviales :**
 → Changement au niveau de ROUEN (source suivi DCE)
 → Changement au niveau de la Bouille (source Duhamel et al., 2005/ données guideau)



Source : Duhamel et al. / suivi DCE [2011-2022]

Méthodologie

Echantillonnage



Pêche secteur DUCLAIR / Ville de Paris

Secteur	DATE	Moyen nautique	P.M. locale	Coef. marée	Nb traits validés	Conditions de marée
Duclair	13/10/2020	Ville de Paris	11 :38	51	6	3 x Flot 3 x Jusant
	16/09/2021	Ville de Paris	10 :15	43	9	4 x Flot 5 x Jusant
Estuaire aval	29-30/09/2020	Flipper	10 :44 & 11 :20	68 & 77	8	4 x flot 1 x pleine mer 3 x jusant
	27-28/09/2021	Flipper	15 :14 & 15 :42	54 & 41	8	4 x flot 1 x pleine mer 3 x jusant



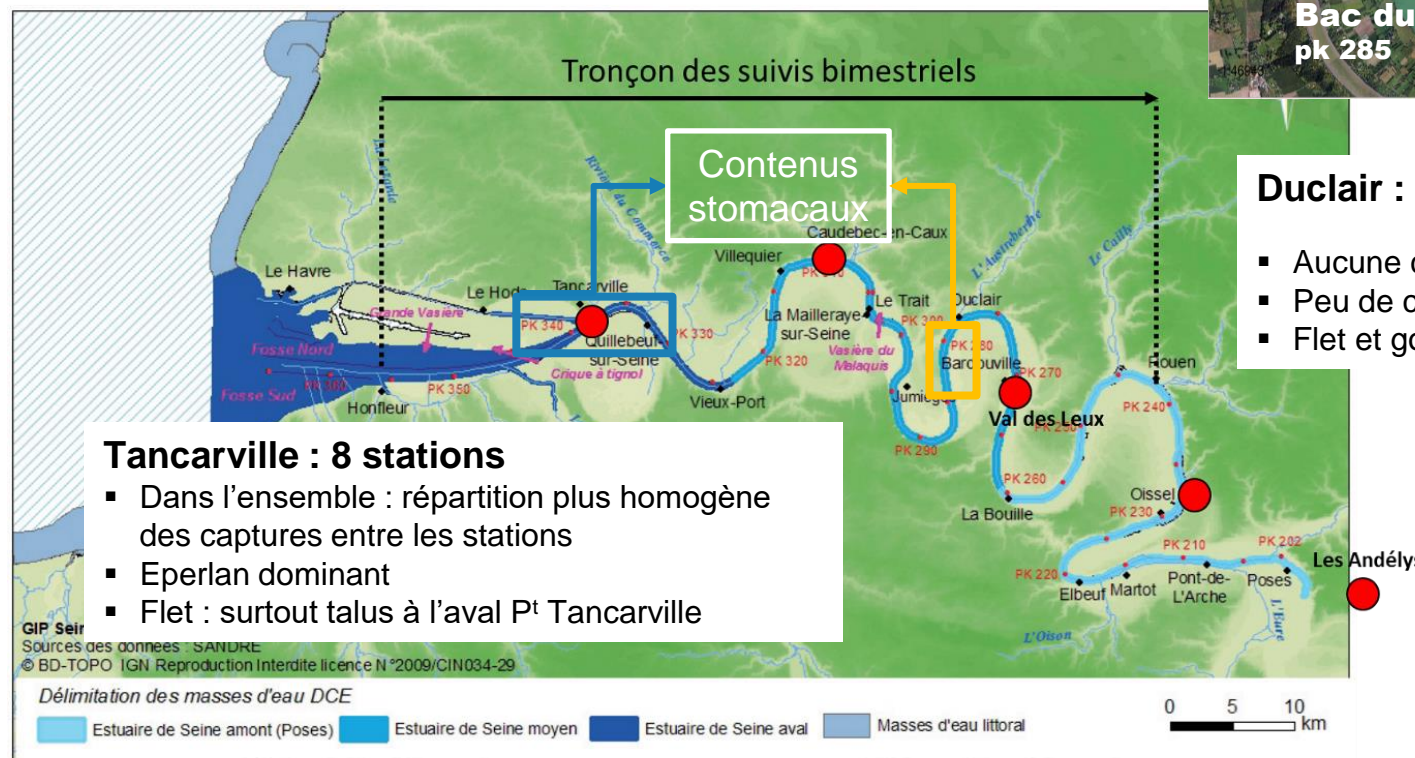
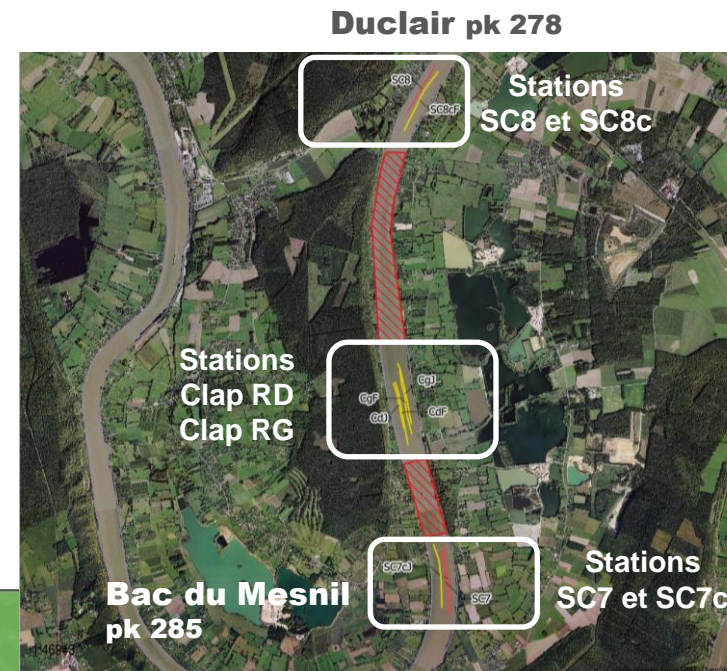
Variabilité du contenu de la poche de chalut sur le secteur DUCLAIR

Méthodologie

Echantillonnage de 466 poissons

(Automne 2020 et 2021)

Eperlan : N = 181	Flet : N = 171	Gobie : N = 114
Lf _{G0} = 86 / 97 mm (N = 153)	Lf G0 = 62 / 80 mm	Lf = 27 / 43 mm
Lf _{G1+} = 126 / 146 mm (N = 28)		

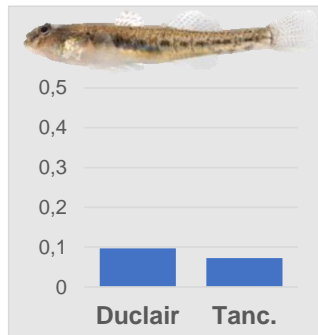
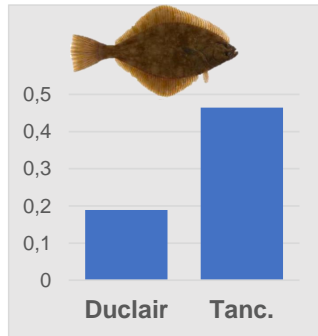
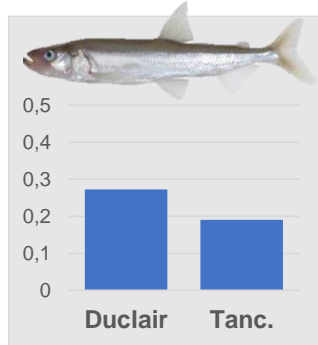


Résultats

Indices alimentaires

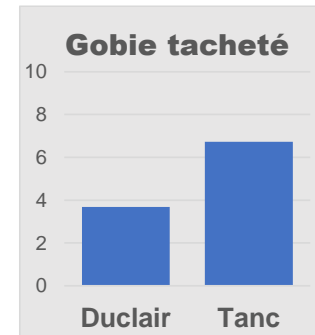
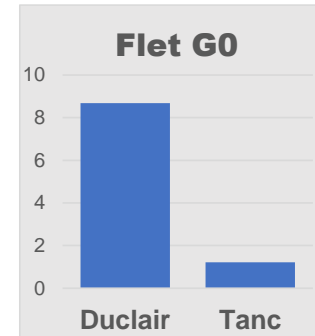
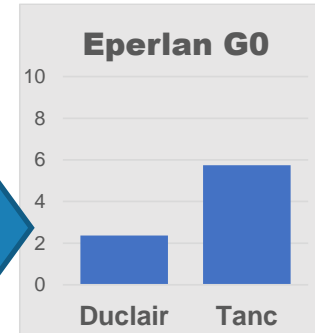
Taux de vacuité des estomacs

- Alimentation sur les deux sites avérée
- Résultats généralement conformes aux données de la littérature (données très variables)
- Peu d'écart entre éperlan G0 et G1
 - V Tanc > V Duc pour le flet



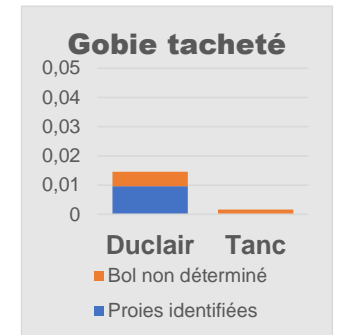
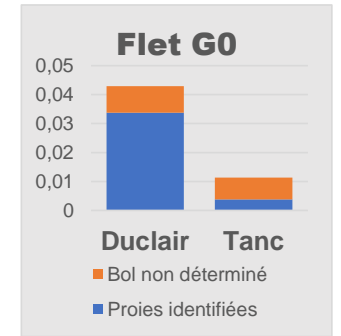
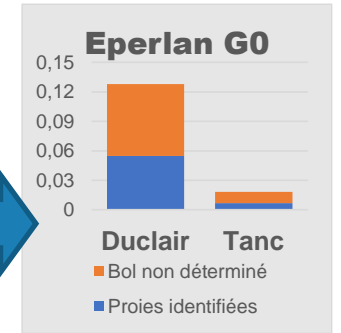
Effectifs de proies ingérées (tests MW)

- Eperlan et gobie : plus élevé à Tancarville
- Flet : nettement plus élevé à Duclair



Biomasse ingérée (tests MW)

- Plus élevée à Duclair pour les 3 poissons (4 à 9 fois)
- Une partie des contenus n'est pas identifiable → important de la prendre en compte, mais ne change pas la tendance.
- Flet : $Tend_{2020} = Tend_{2021}$

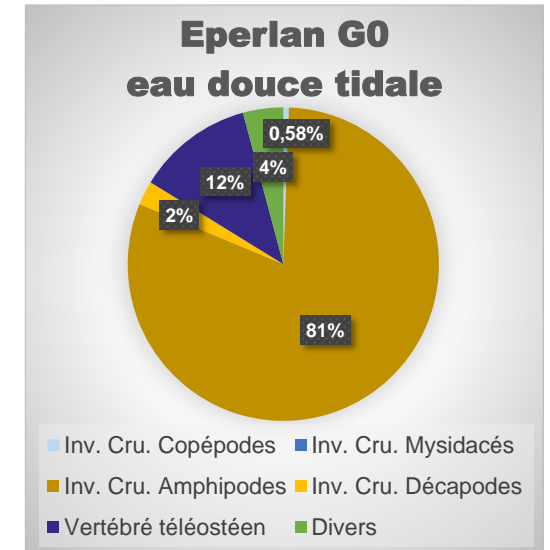
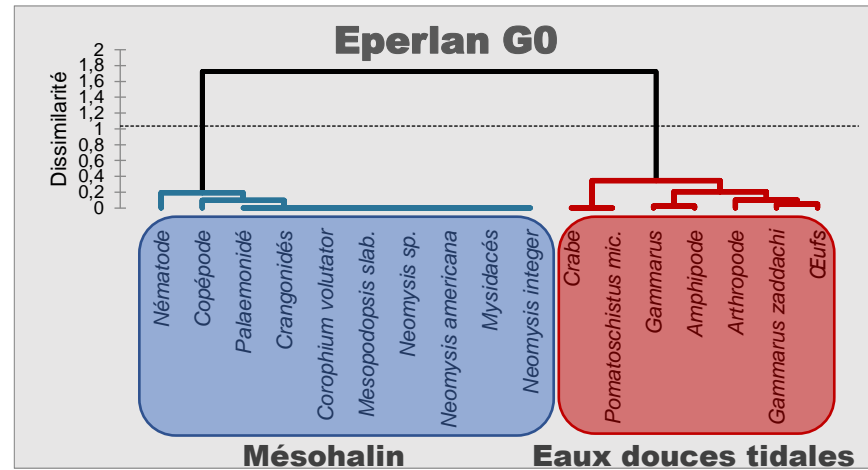
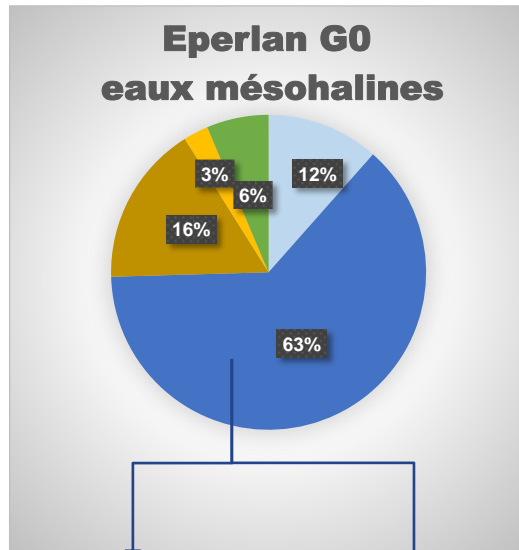


Résultats

Composition de l'alimentation : Eperlan G0



Résultats basés sur le calcul du Main Food Index (MFI) :
$$MFI_i = \left[\frac{(\%B_i \times \frac{[\%N_i + \%FO_i]}{2})^{\frac{1}{2}}}{\sum_i MFI_i} \right] \times 100$$



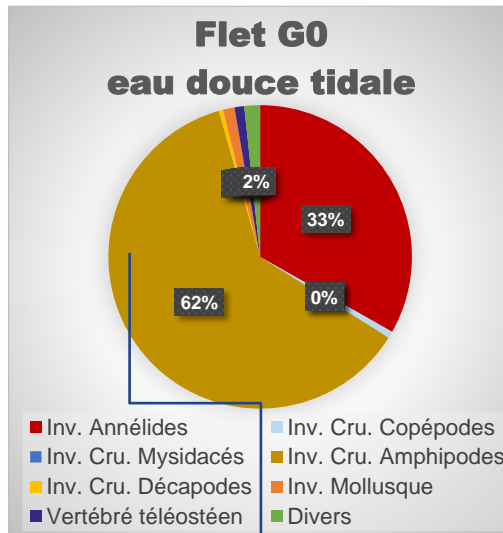
Source <https://www.shetlandlochs.com/>

- Dominance des **mysidacés à l'aval** (i.e. bouchon vaseux) mais aucune présence de cette catégorie de proies détectée sur le site amont,
- Sur le site amont, forte dominance des amphipodes (Gammars).

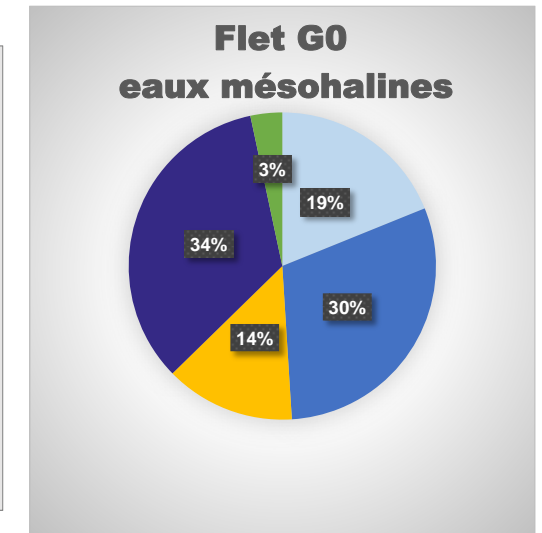
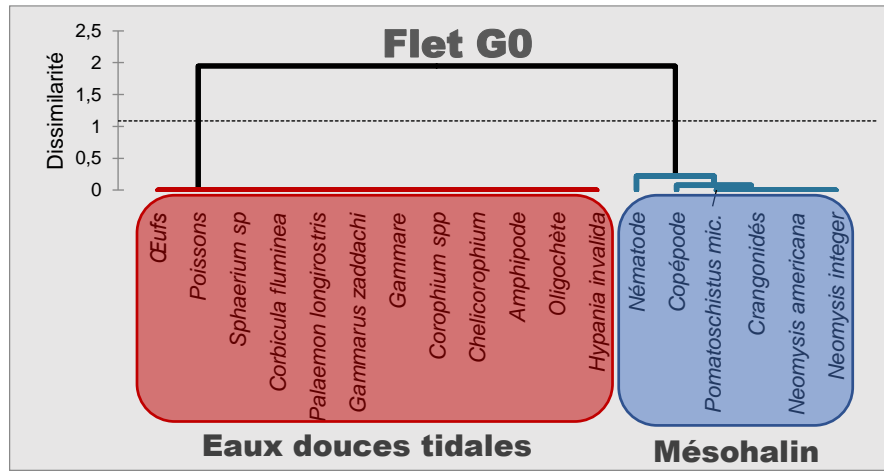
→ L'alimentation diffère nettement entre les deux sites

Résultats

Composition de l'alimentation : Flet G0



Source <https://commons.wikimedia.org/>

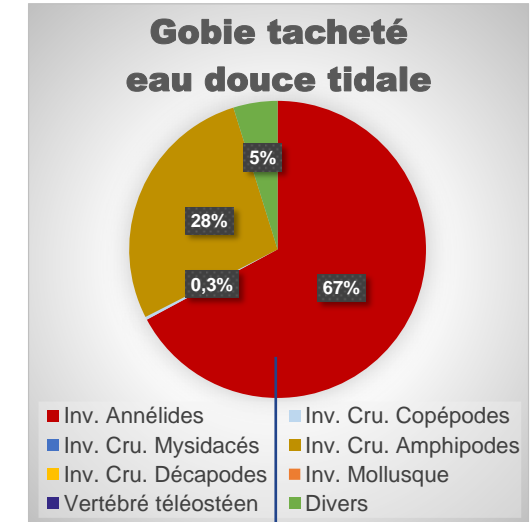
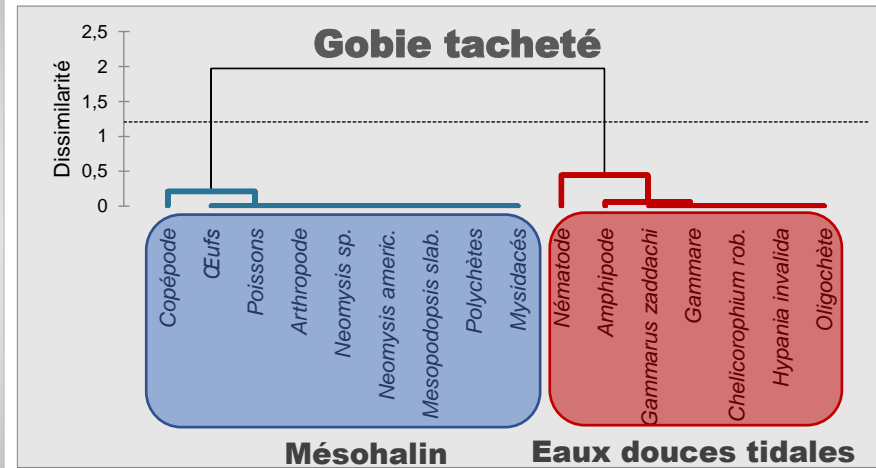
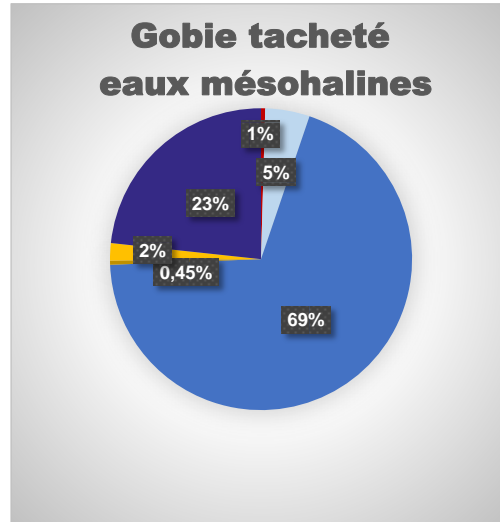


- Dominance des proies vagiles à l'aval (copépodes et mysidacés), catégories de proies ≈ absentes sur le site amont,
- Sur le **site amont, forte dominance des amphipodes** (Gammars)
+ faune endogée typique de vasière (Annélides).

→ L'alimentation diffère nettement entre les deux sites

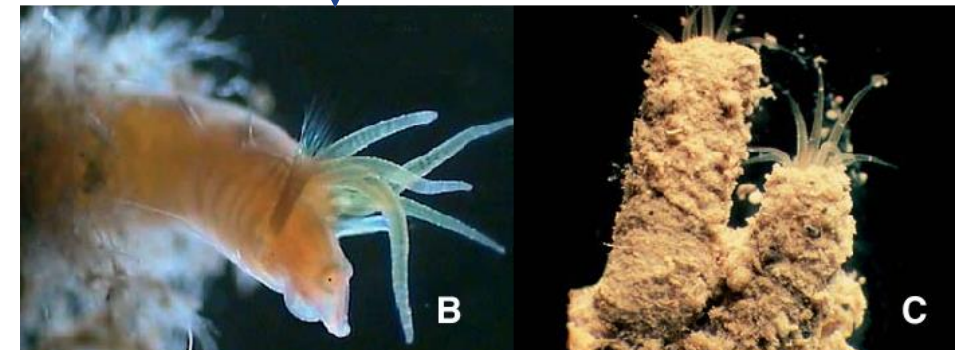
Résultats

Composition de l'alimentation : Gobie tacheté



- Dominance des **mysidacés** à l'**aval** (i.e. bouchon vaseux) mais aucune présence de cette catégorie de proies détectée sur le site amont,
- Sur le **site amont, dominance des Annélides** (faune endogée).

→ L'alimentation diffère nettement entre les deux sites
 → Quelle que soit le poisson, la richesse des proies ingérées dépend aussi du niveau de détermination
 → Nématodes = proies ou parasite ?



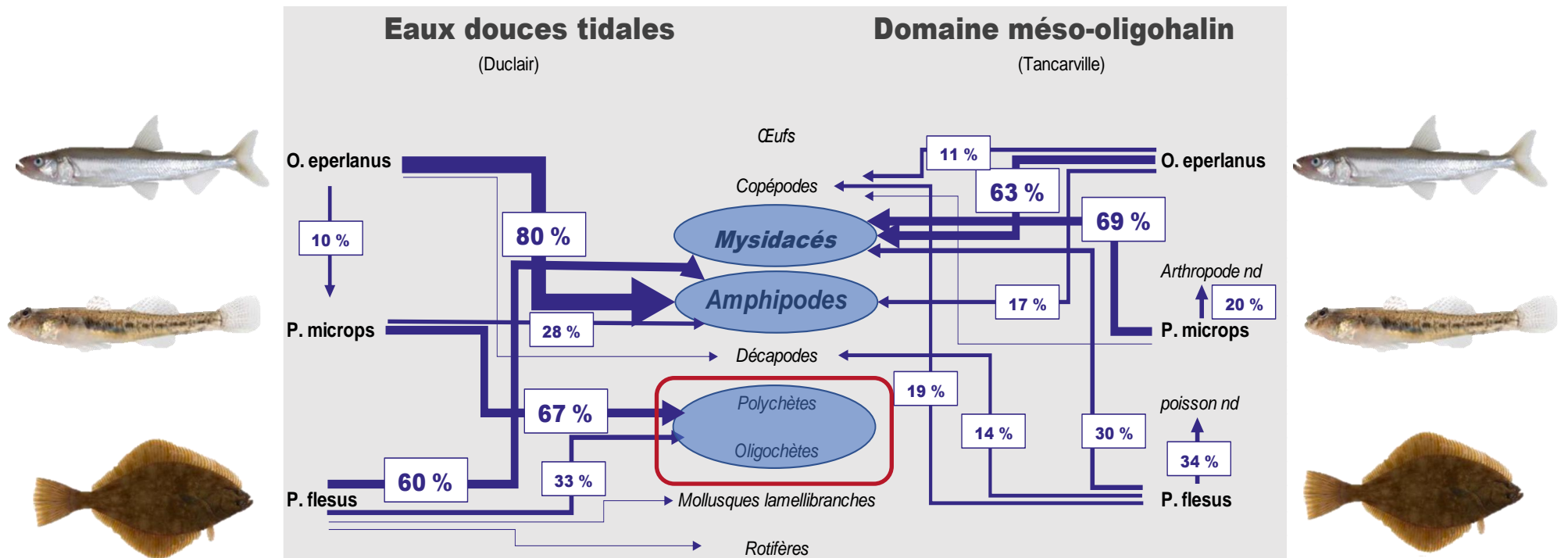
Vers polychète *Hypania invalida* (Source Vercauteren et al, 2013).

Résultats

Stratégies d'alimentation :

Opportunisme ?

Oui, quelle que soit le prédateur, **les proies consommées dépendent de leur quantité aux abords du lieu de capture** (Cf SARTRE et suivi immersion-benthos)



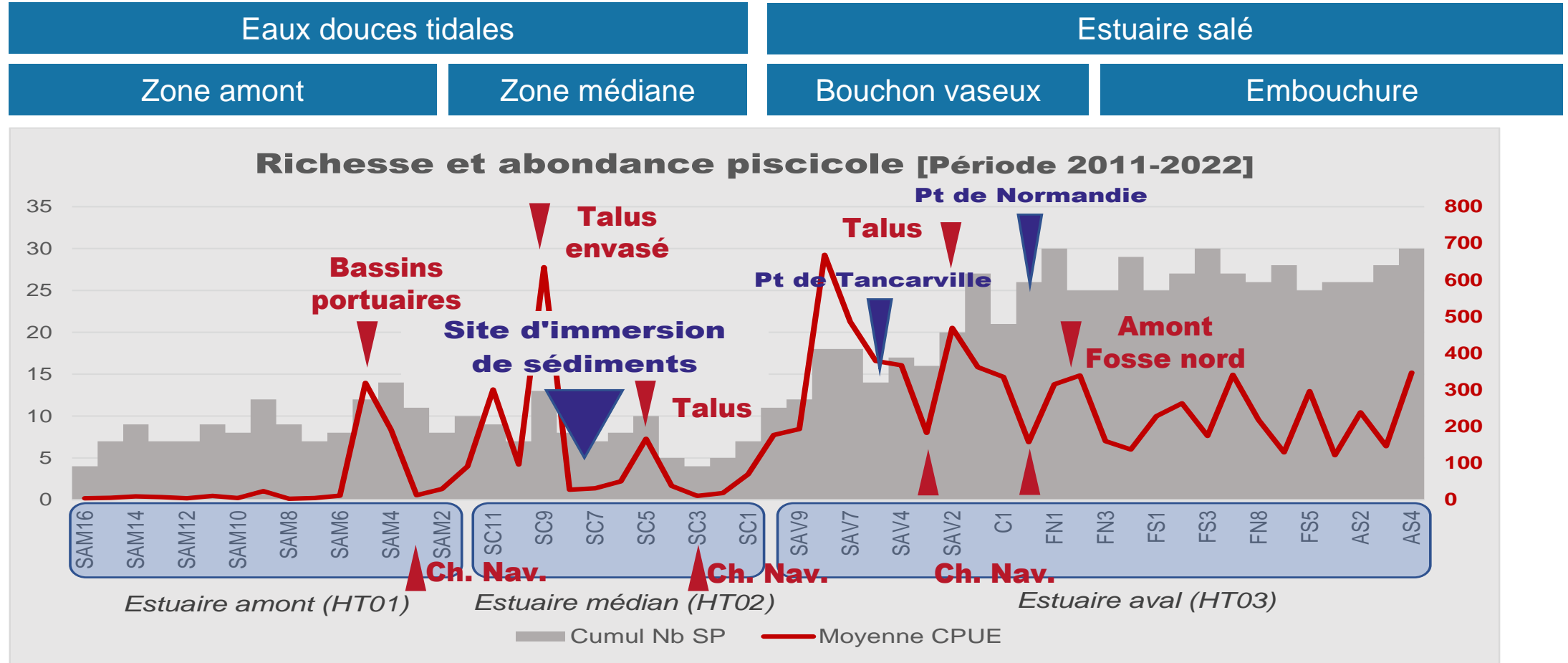
Spécialisation ?

Oui aussi... Les trois poissons n'ont pas la même alimentation.
A Duclair : Faune typique des vasières en berge consommée par flet et gobie tacheté

Liens trophiques mis en évidence dans cette étude (données de MFI)

Résultats

Importance de l'écotope local sur les distributions piscicoles

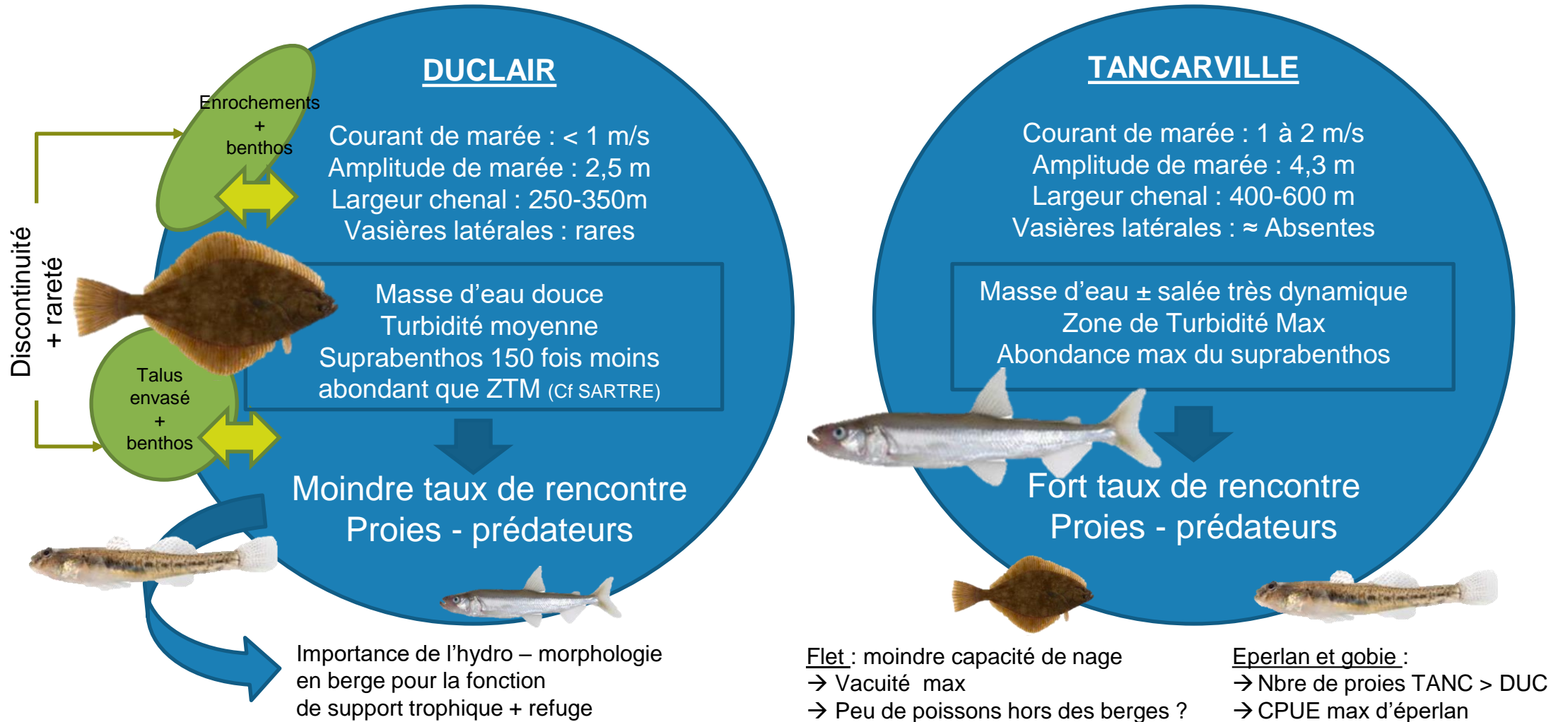


11 ans de suivi DCE

- A l'aval : Concentration des poissons vers l'intérieur de l'estuaire en lien avec le rétrécissement du fleuve
- Fortes variations spatiales, y compris à petite échelle (▲ suivi « immersions » non intégré au graphe)
- Suivi « immersions » : nouvelle station sur talus → CPUE de flet records (5400 ind.ha⁻¹ en oct. 2020)

Résultats

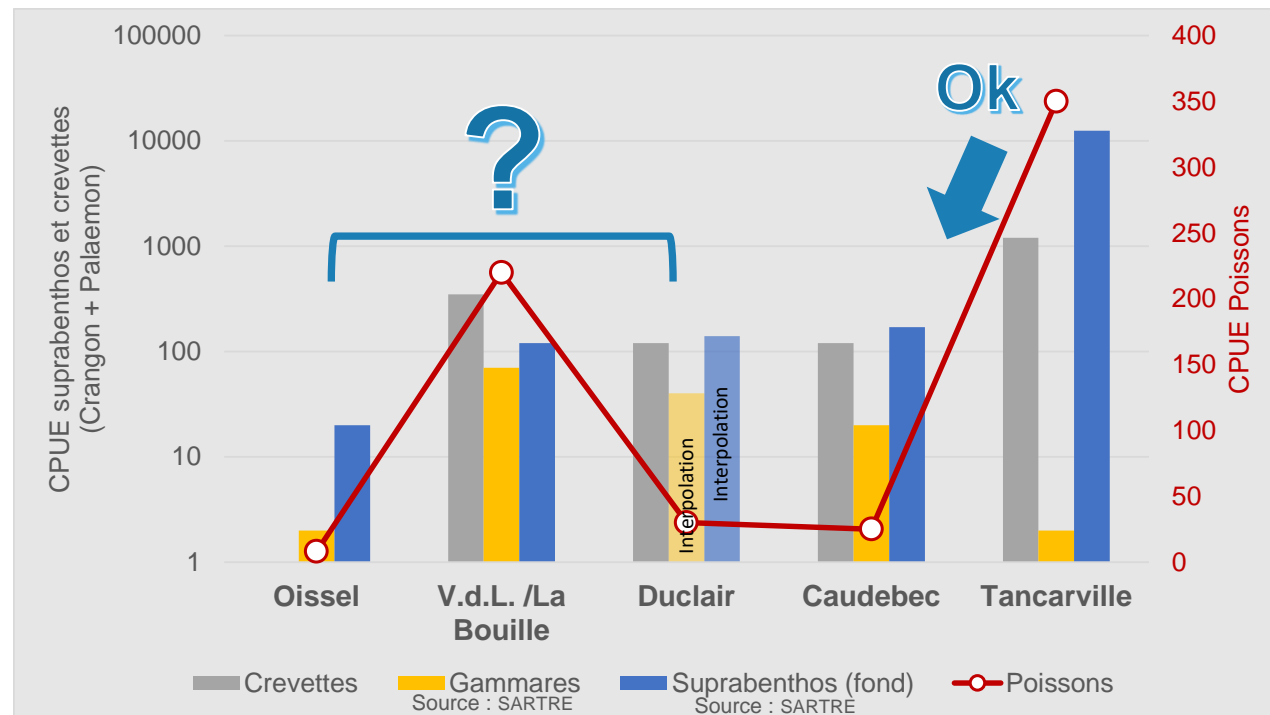
Ecologie des poissons et proies dans le chenal de la Seine :



Résultats

Facteurs explicatifs des distributions faunistiques

Eaux douces tidales		Estuaire salé
Zone amont	Zone médiane	Bouchon vaseux



- Corrélation significative entre l'abondance numérique des poissons et celle des crevettes
- Corrélation à confirmer entre poissons et suprabenthos
- A Tancarville, l'évolution aval-amont est expliquée par la salinité... mais pas celle entre Duclair et Oissel !

Conclusions

- **La fonction de nourricerie n'est pas inféodée à l'embouchure de l'estuaire ! Elle concerne aussi la partie fluviale, surtout en été → automne**
- **Chaîne pélagique ou chaîne benthique : les proies consommées sont étroitement liées à leur abondance au sein de l'écotope (Cf CAPES)**
 - **Rôle essentiel du bouchon vaseux pour la chaîne pélagique** (i.e. éperlan)
 - **Importance d'une chaîne « suprabenthique »**
- **La chaîne benthique fait défaut dans le bouchon vaseux : conséquence des aménagements (≠ Loire)**
- **Le pélagos du chenal (i.e. ressource trophique) s'appauvrit vers l'amont**
 - **Rôle essentiel des berges et de leur configuration en tant que source de nourriture + écotope « nourricerie »** (refuge + alimentation)
- **L'évolution des abondances proies-prédateur pose question dans la région Rouennaise**
- **Comment accompagner les changements liés à l'évolution du climat ?**



Merci à vous...
Aux équipages patients...
Aux ramendeurs...



Synthèse et perspectives

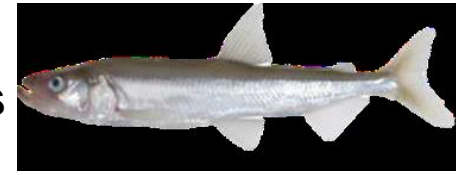


AVAL

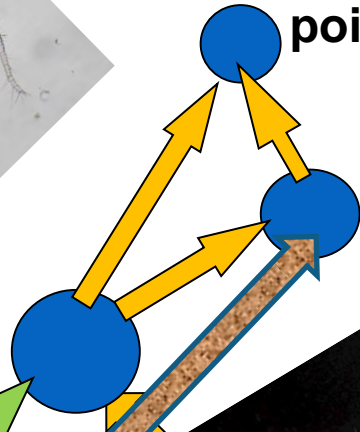
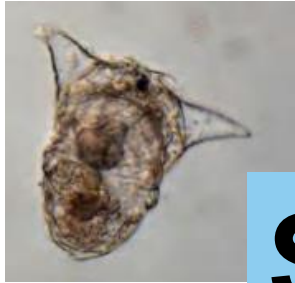


HIX mésozooc... (crustacées)

poissons



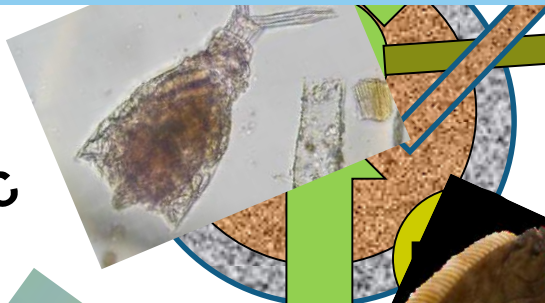
supra-benthos



Synthèse et perspectives

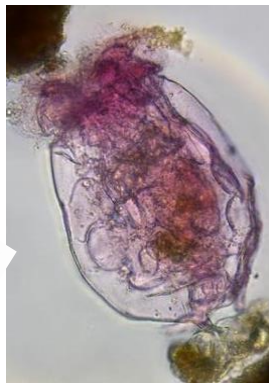
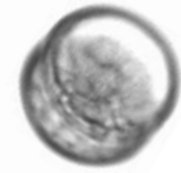
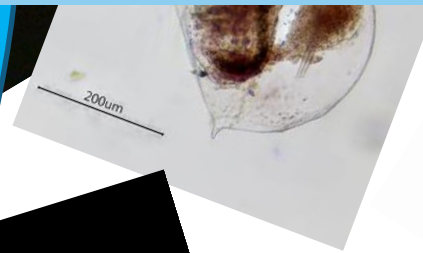


$\delta^{13}C$



BIT

zooplankton

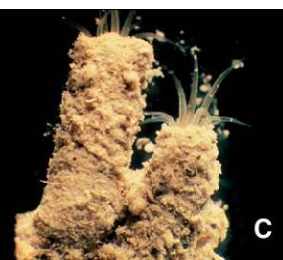


prod. pri

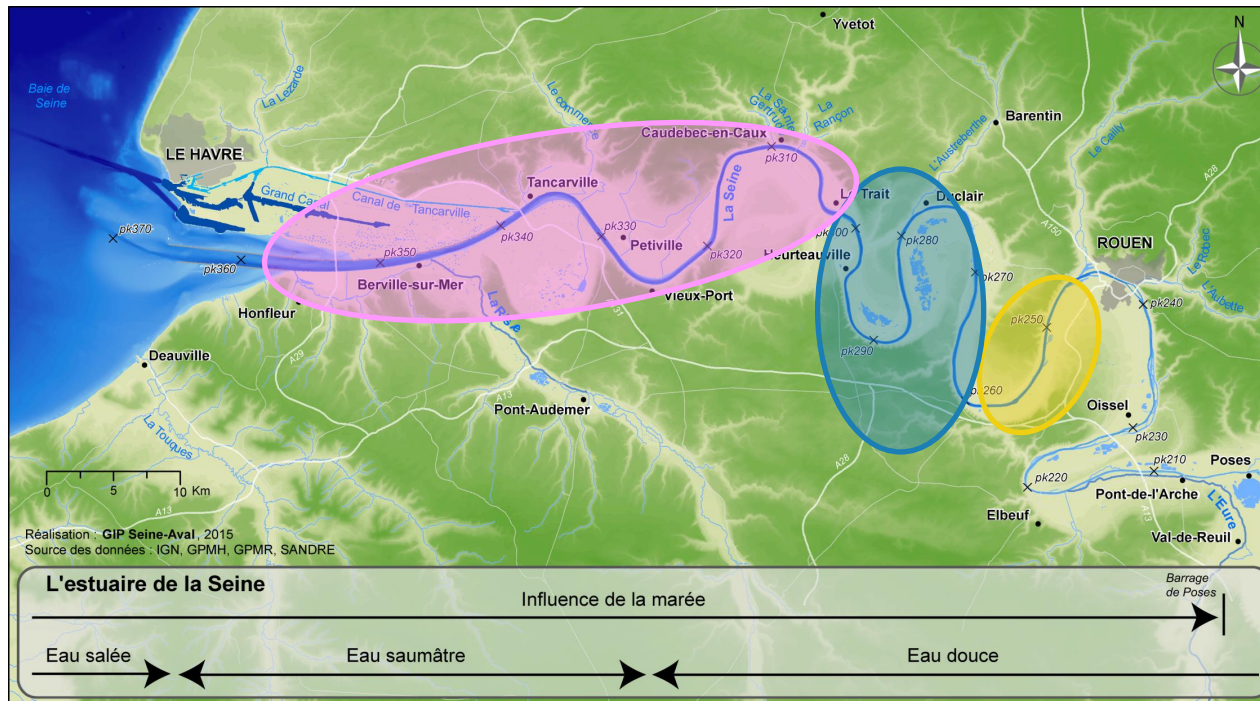
nutrim



BIX



Communautés



Communautés aval

Diversité moindre
(sauf poissons)

Beaucoup de suprabenthos

Plus de poissons

Matériel terrestre + marin

Transition

Limites

Communautés amont

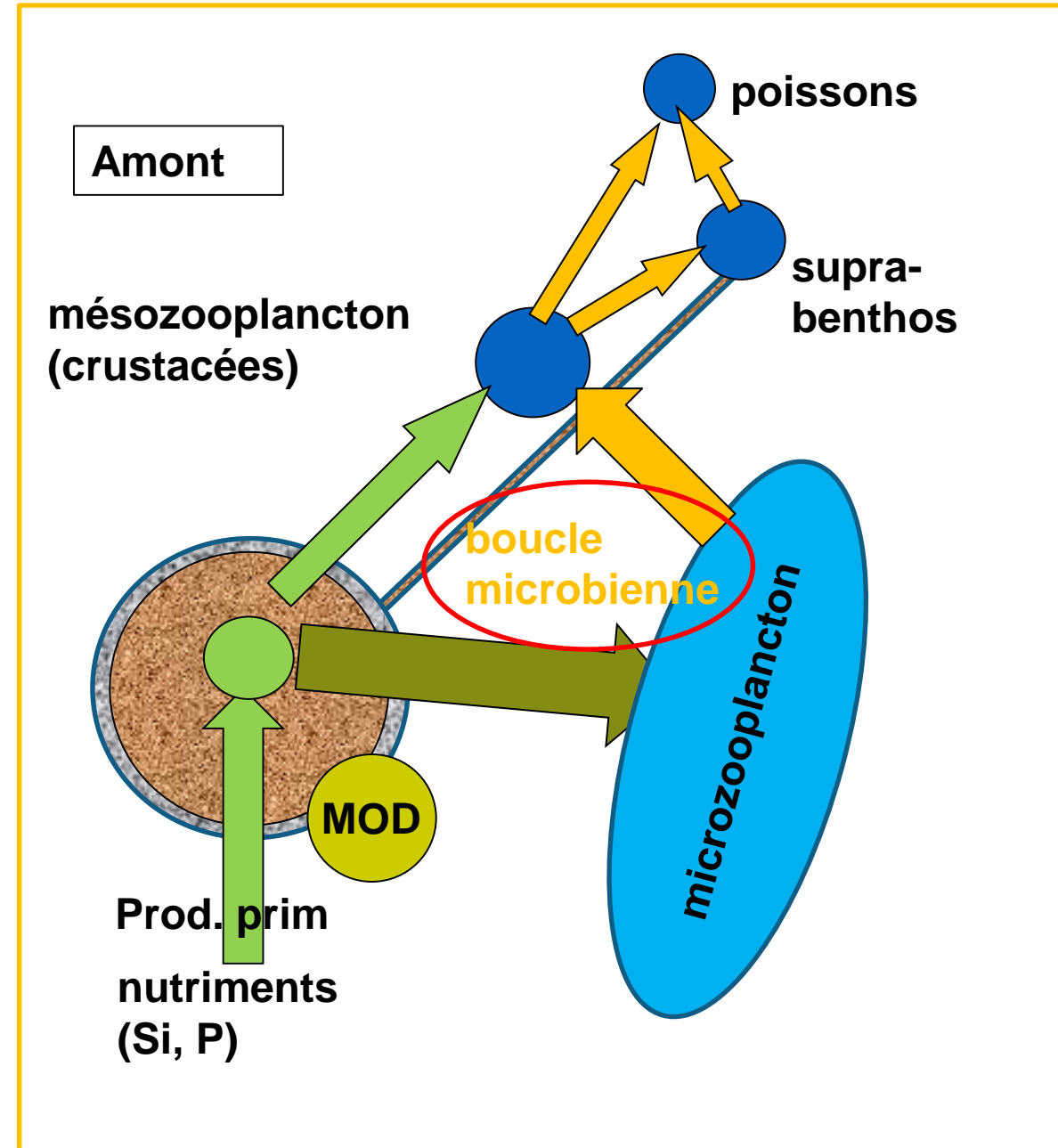
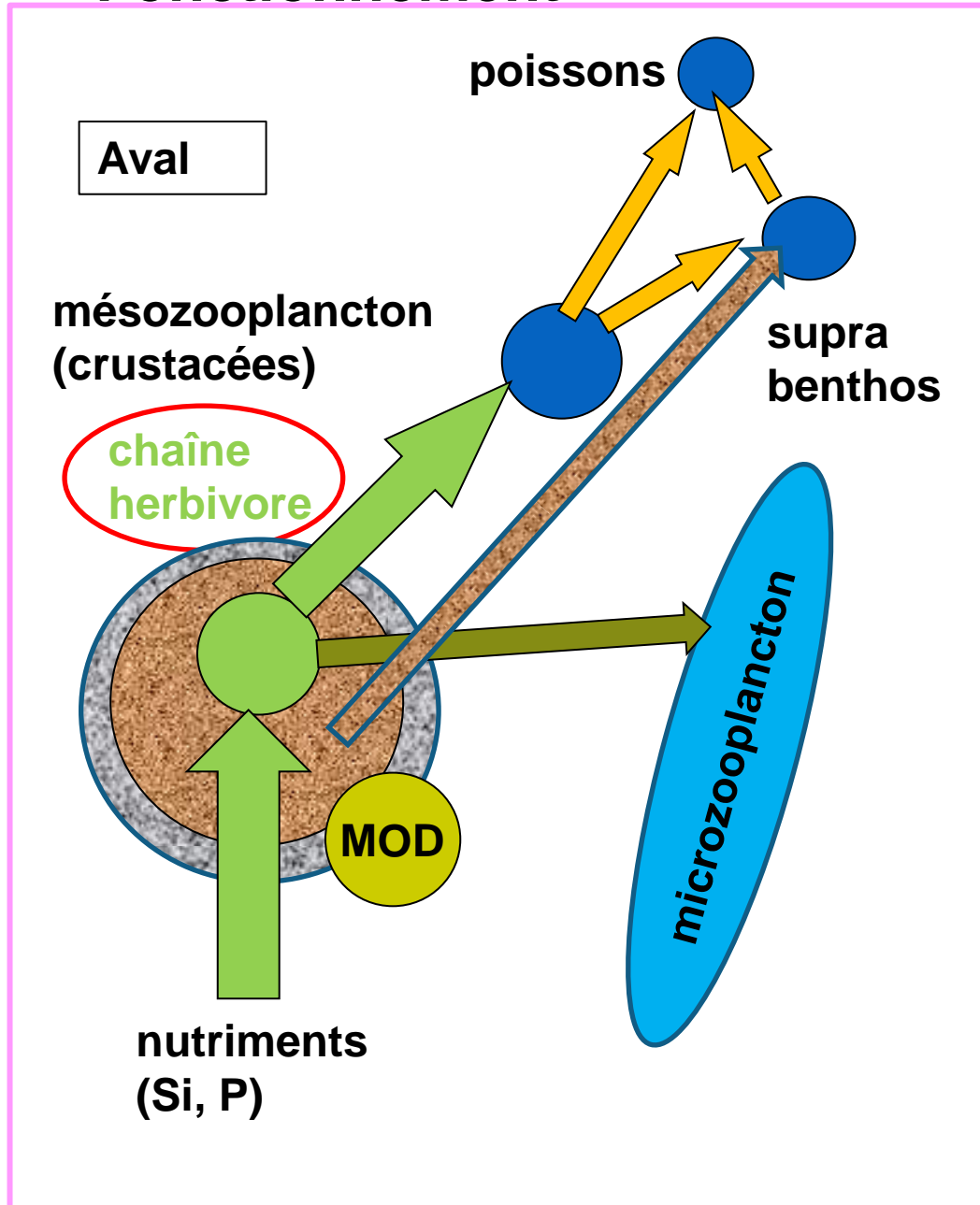
Diversité importante
(sauf poissons)

Peu de suprabenthos

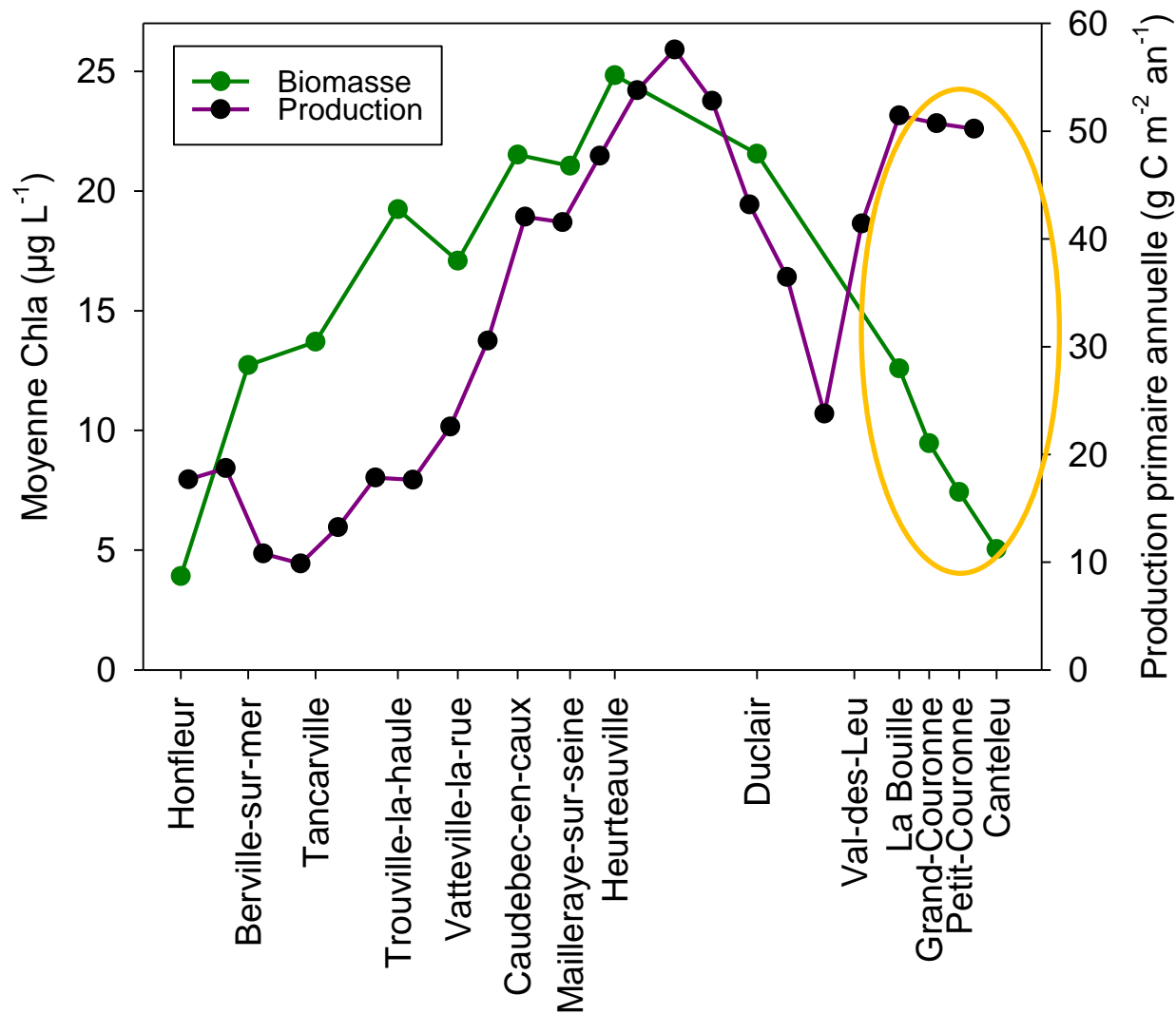
Moins de poissons

Matériel terrestre + phyto

Fonctionnement

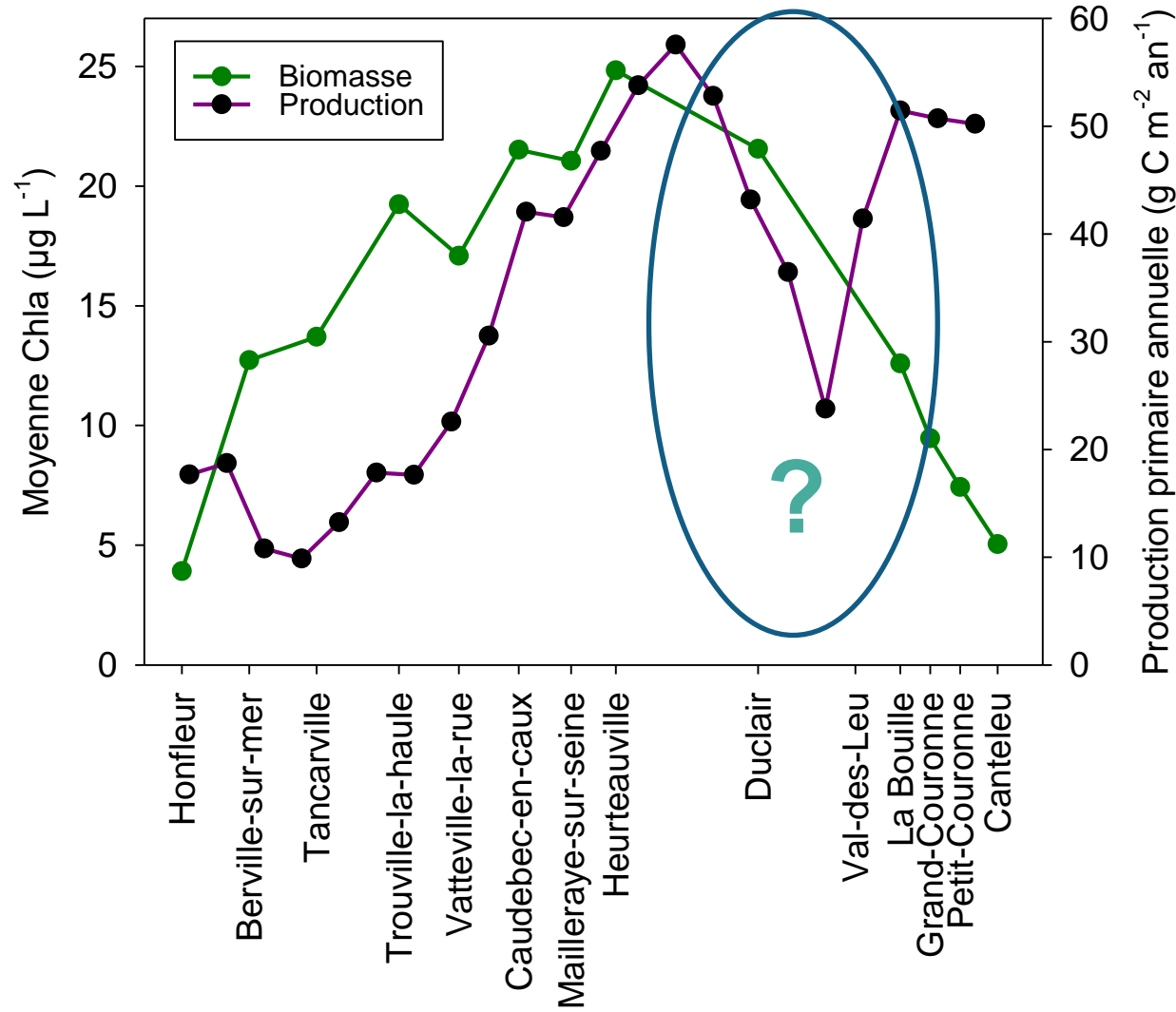


Estimation de la production primaire annuelle ($\text{g C m}^{-2} \text{an}^{-1}$) et de la biomasse moyenne



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

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

hydrologie?

sédimentation?...

polluants?

Conclusion et Perspectives

L'amont est important et intéressant !

Zone de transition: limite des communautés

Fonctionnement?

**Étude interdisciplinaire à long terme
Ecologie, biochimie + hydrologie, sédimentologie, ecotox**

**Vérifier hypothèses sur fonctionnement trophique amont - aval :
Inclure microplancton - boucle microbienne
Exploiter relations biochimie-écologie**

Berges en amont: crucial pour système et notamment pour les poissons





« La nature parle et l'expérience traduit »
Jean-Paul Sartre