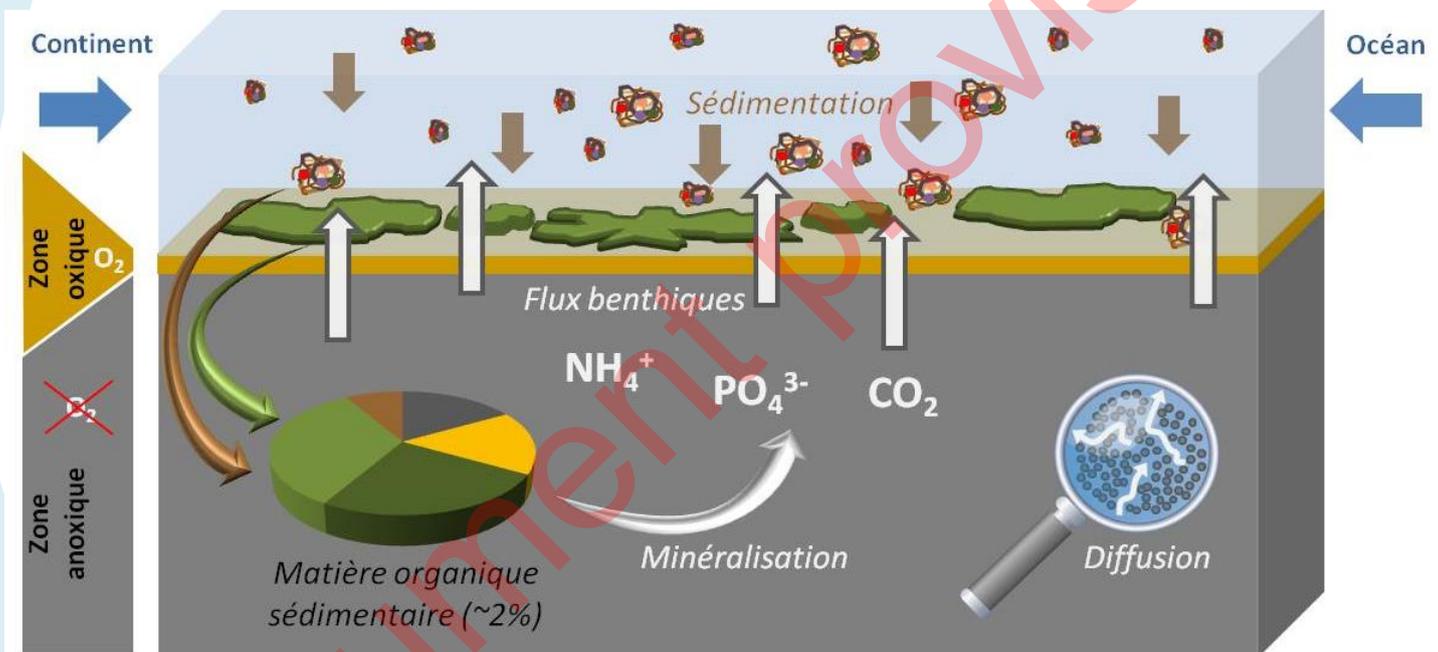


# Impact du sédiment sur la prolifération de macroalgues sur vasières

Résultats de l'axe 1 du projet ImPro 2019-2021

## « Les vasières de Bretagne, un écosystème aux multiples visages »

Les nutriments (azote N et phosphore P) sont des éléments essentiels à la croissance des organismes photosynthétiques. Leur présence en forte concentration sur les littoraux bretons génère la prolifération de macroalgues. En contexte de vasière, ces nutriments peuvent provenir soit des cours d'eau en amont soit du sédiment via la minéralisation de la matière organique. Ce deuxième processus se quantifie à travers la quantité de nutriments émis par les sédiments ou flux benthiques. Les flux considérés ici sont uniquement diffusifs et ne considèrent ni l'advection liée à la remise en suspension des sédiments par les vagues, les courants ou la bioturbation ni le drainage des eaux interstitielles vers les micro-chenaux lors du jusant lié au pompage tidal lors de la marée descendante.



La matière organique sédimentaire (MOS) représente environ 2% en masse du sédiment. Elle est issue des apports autochtones (algues et bactéries) et allochtones, provenant du bassin versant (végétaux terrestres, érosion des sols) ou des océans. Les apports allochtones peuvent être naturels ou issus de pollutions (rejets de stations d'épuration ou d'assainissement, contaminations fécales, résidus de combustion, produits pétroliers, xénobiotiques...). Qu'elle soit autochtone ou allochtone, naturelle ou anthropique, la MOS est incorporée au sédiment via la sénescence des algues, la sédimentation des matières en suspension et la bioturbation\*. En fonction de sa disponibilité, la MOS est minéralisée par les microorganismes du sédiment, libérant de l'azote sous forme de cations ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), du phosphore sous forme d'anions phosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) et du carbone sous forme de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ). Ces molécules diffusent alors à travers la porosité du sédiment dans l'eau porale, alimentant ainsi les flux benthiques sortant vers la colonne d'eau.

\* *Bioturbation*: Réarrangement physique des sédiments lié au mouvement des organismes vivants. Elle implique une modification de la porosité et peut favoriser les transferts diffusifs.

## LES QUESTIONS AU CŒUR DE CE PROJET DE RECHERCHE

Quels sont les ordres de grandeur des flux benthiques de N, P?

Quelle est leur variabilité à l'échelle de la Bretagne?

Quelle est la variabilité de l'origine de la MOS à l'échelle de la Bretagne?

Quel est le contrôle de la physico-chimie des sédiments sur les flux benthiques?

Existe-t-il un indicateur sédimentaire facilement mesurable pour estimer ces flux?

### Question 1: Flux benthiques issus des vasières bretonnes

#### Méthodologie

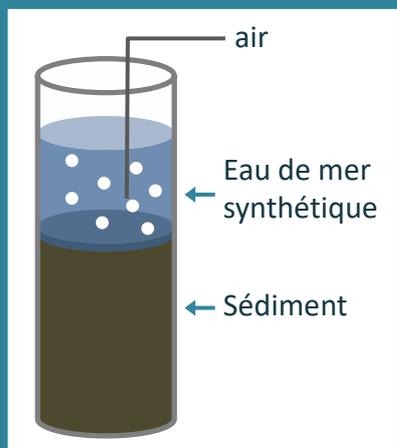


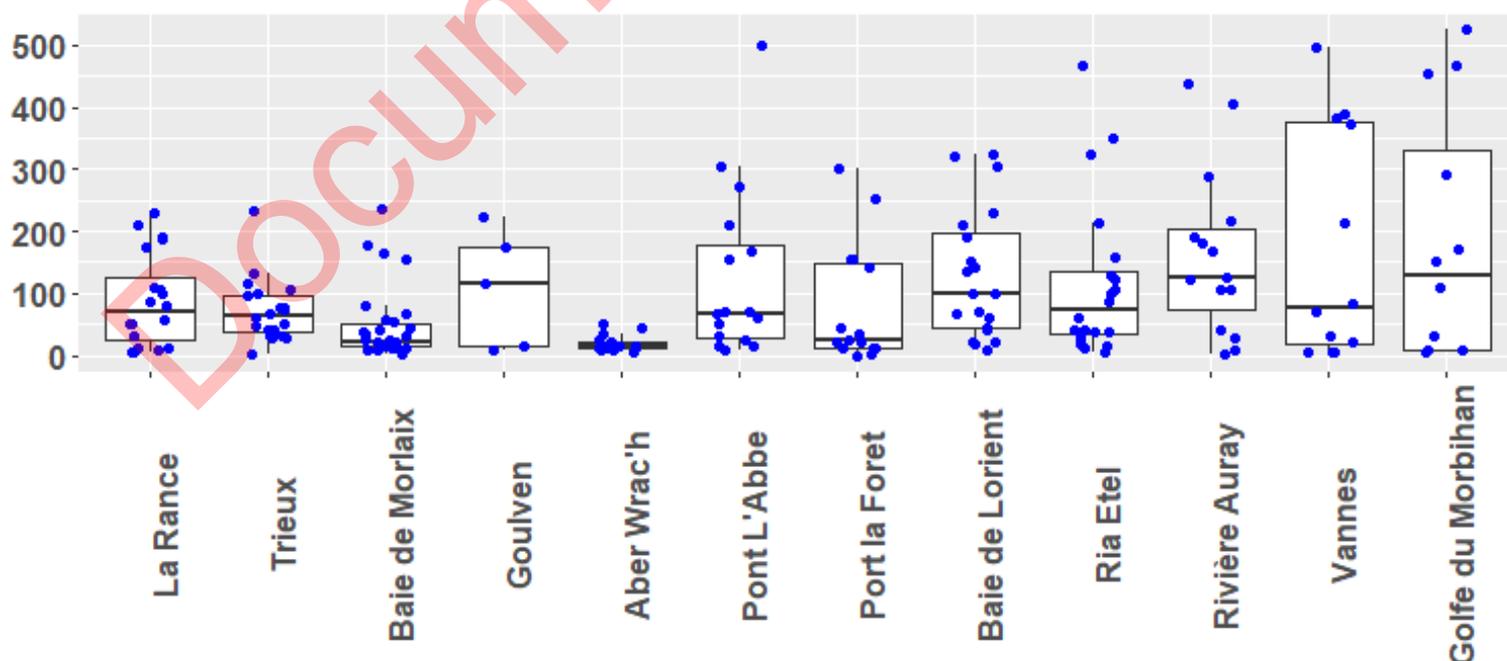
Schéma des expérimentations pour la détermination des flux benthiques

Pour comprendre la capacité des flux benthiques à soutenir les proliférations d'algues vertes, 200 échantillons de vase ont été prélevés au printemps 2019 dans 45 vasières réparties sur 11 sites du littoral breton. Leur composition physico-chimique (granulométrie, porosité, teneur en nutriments, composition de la matière organique sédimentaire) et leur capacité à produire les flux benthiques de N (sous forme  $\text{NH}_4^+$ ) et P (sous forme  $\text{PO}_4^{3-}$ ) ont été étudiées.

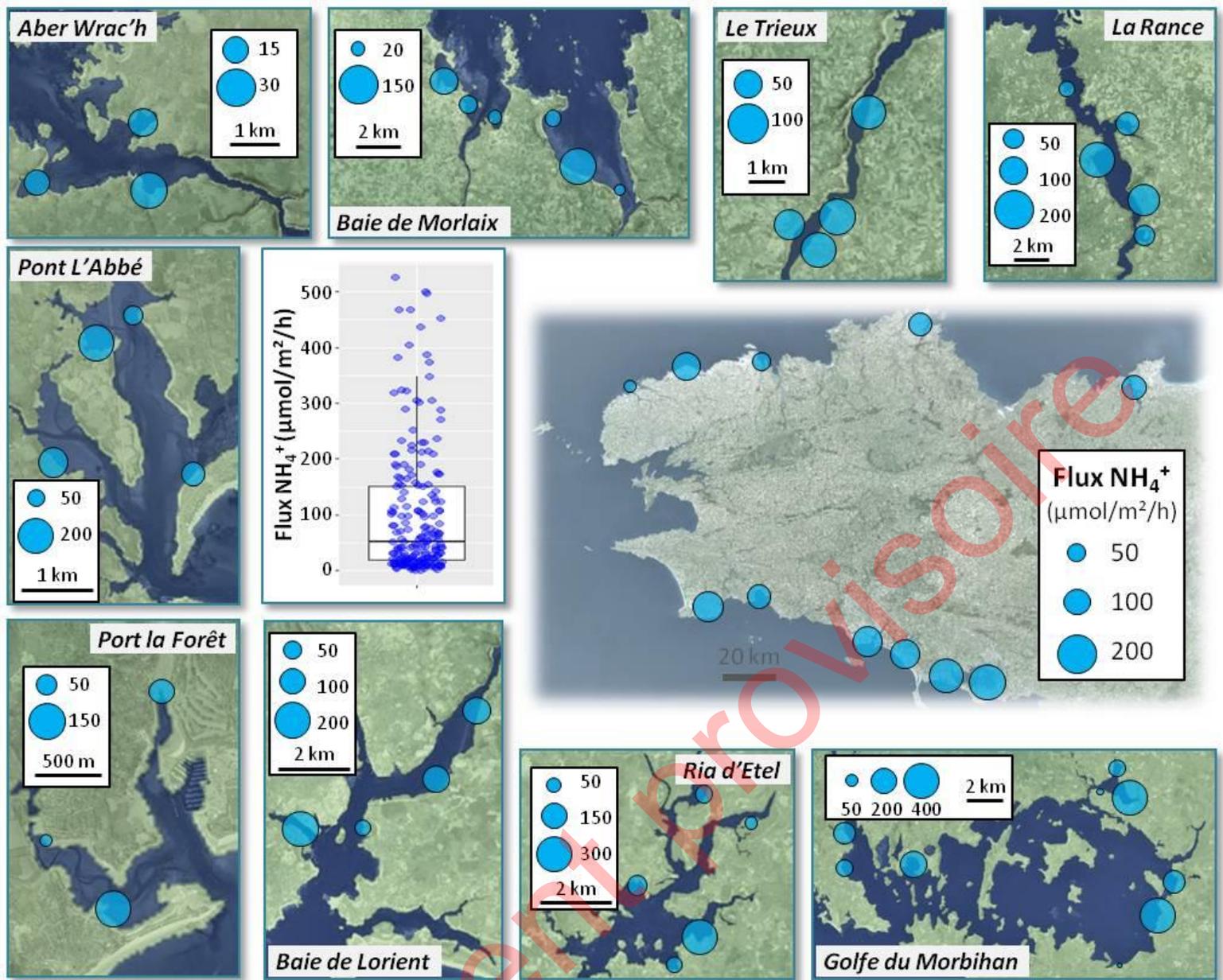
Les flux benthiques ont été déterminés via des expérimentations menées sur le terrain, le jour des prélèvements. Une colonne (10 cm de long, 4 cm de diamètre) de sédiment a été incubée en présence d'eau de mer synthétique aérée à température constante et à l'obscurité pendant 4 h. La capacité du sédiment à produire ce flux est la différence entre les concentrations en fin et en début d'expérience divisé par le temps.

Les résultats sont présentés en bleu et en orange pour l'azote et le phosphore, respectivement. Les graphiques en box plot représentent la médiane, les premiers et troisièmes quartiles ainsi que les premiers et neuvièmes déciles.

#### Flux benthiques d'ammonium $\text{NH}_4^+$ issus des vasières bretonnes



Variabilité spatiale des flux benthiques d'ammonium à l'échelle des sites ( $\mu\text{mol NH}_4^+/\text{m}^2/\text{h}$ )



La carte représente les flux benthiques moyens (4 à 5 échantillons par vasière) en ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) pour les 45 vasières étudiées. Les résultats sont donnés en μmol/m<sup>2</sup>/h. La distribution des 200 flux d'azote mesurés est donnée par les boxplot à l'échelle régionale et à l'échelle de chaque site.

❑ Les flux d'azote déterminés dans les vasières bretonnes sont compris entre 1 et 525 μmol/m<sup>2</sup>/h (101 ± 117; moyenne ± écart type).

❑ Forte variabilité de la capacité des vasières à produire des flux de N tant à l'échelle régionale qu'à celle des sites.

❑ Ces valeurs sont dans la gamme de celles retrouvées dans la littérature internationale pour des écosystèmes équivalents.

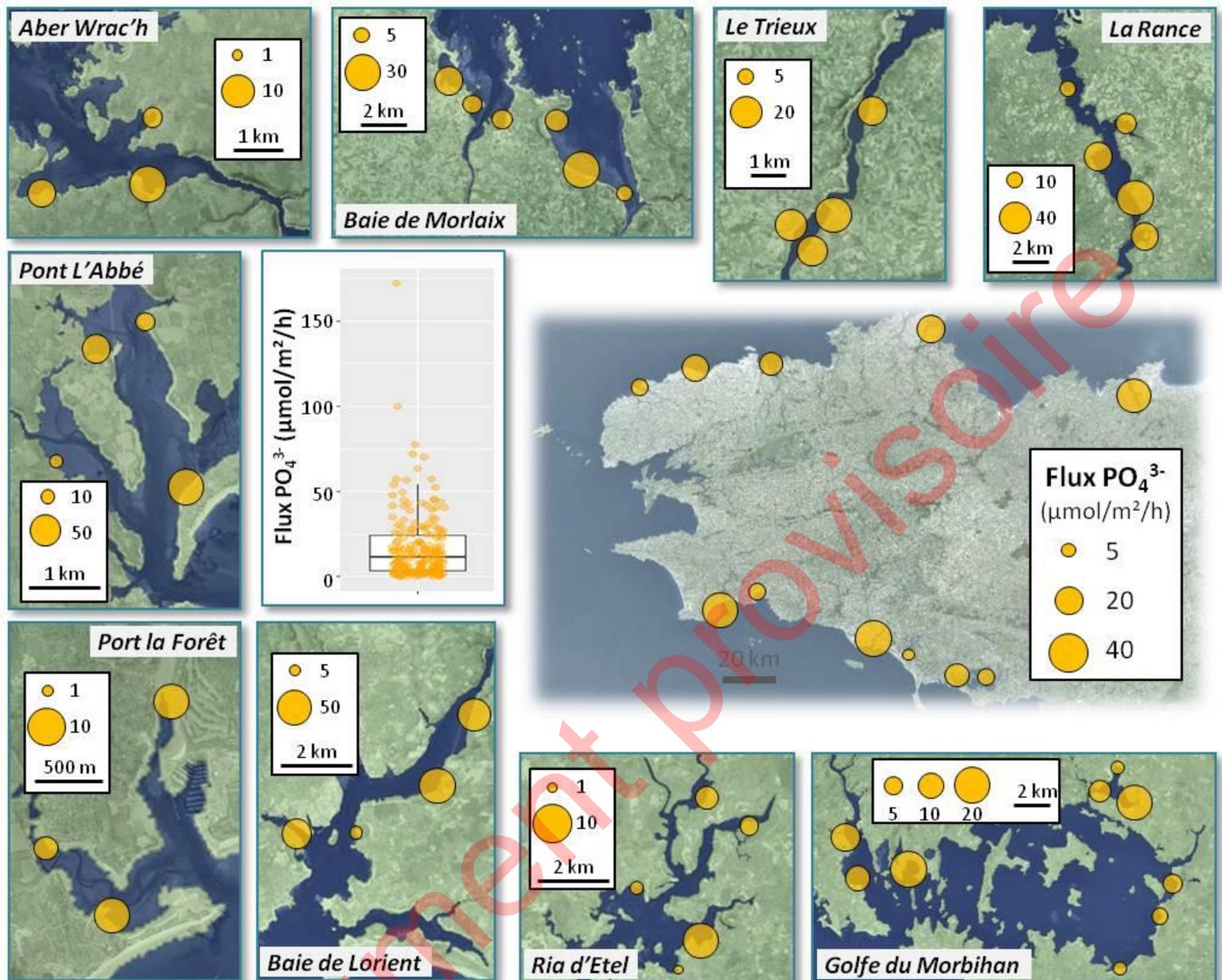
❑ Les flux minimaux sont enregistrés à l'Aber Wrac'h (19 ± 13 μmol/m<sup>2</sup>/h). Les flux maximaux sont enregistrés dans le Golfe du Morbihan (185 ± 199 μmol/m<sup>2</sup>/h) et dans l'estuaire de Vannes (173 ± 186 μmol/m<sup>2</sup>/h).

❑ A l'échelle de la région, la côte nord se caractérise par des valeurs deux fois plus faibles que celles de la côte sud. Les données actuelles ne permettent pas d'expliquer cette observation.

Tableau de conversion

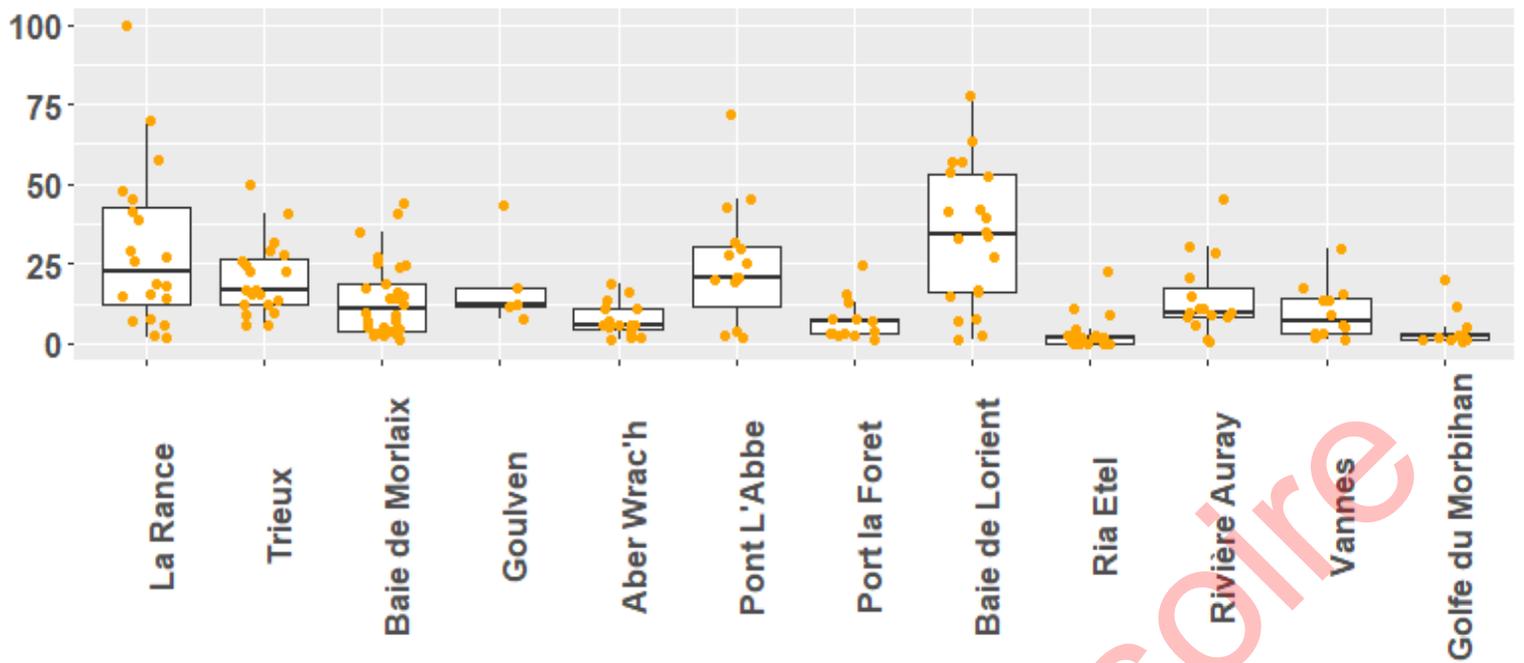
Flux molaire (μmol/m <sup>2</sup> /h)	Flux massique (KgN/ha/an) (KgP/ha/an)	
50	31	68
100	61	136
150	92	204
300	184	407
500	307	679

# Flux benthiques de phosphate $\text{PO}_4^{3-}$ issus des vasières bretonnes



La carte représente les flux benthiques moyens (4 à 5 échantillons par vasière) en phosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) pour les 45 vasières étudiées. Les résultats sont donnés en  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{h}$ . La distribution des 200 flux de phosphore mesurés est donnée par les boxplot à l'échelle régionale et à l'échelle de chaque site.

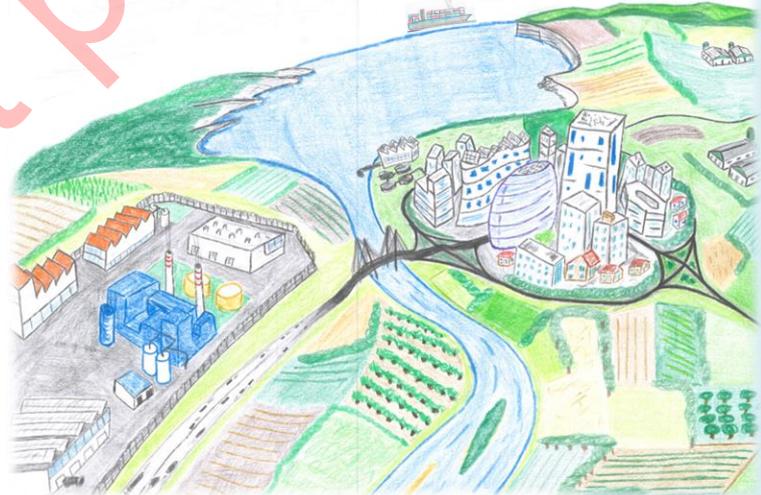
- ❑ Les flux de phosphore déterminés dans les vasières bretonnes sont compris entre 0,1 et 100  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{h}$  ( $16 \pm 17$ ; moyenne  $\pm$  écart type).
- ❑ Forte variabilité de la capacité des vasières à produire des flux de P tant à l'échelle régionale qu'à celle des sites.
- ❑ Ces valeurs sont dans la gamme de celles retrouvées dans la littérature internationale pour des écosystèmes équivalents.
- ❑ Les flux minimaux sont enregistrés dans la Ria d'Etel ( $3,3 \pm 5,4 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{h}$ ) et dans le Golfe du Morbihan ( $4,3 \pm 5,8 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{h}$ ). Les flux maximaux sont enregistrés dans l'estuaire de la Rance, en rade de Lorient et dans la rivière de Pont L'Abbé ( $29 \pm 25$ ;  $34 \pm 22$  et  $34 \pm 41 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{h}$ ).
- ❑ A l'échelle de la région, les flux benthiques de P sont positivement corrélés avec la taille du bassin versant amont ( $r = 0,78$ ,  $p = 0,0016$ ). Les données actuelles ne permettent pas d'expliquer cette observation.



Variabilité spatiale des flux benthiques de phosphore à l'échelle des sites ( $\mu\text{mol PO}_4^{3-}/\text{m}^2/\text{h}$ )

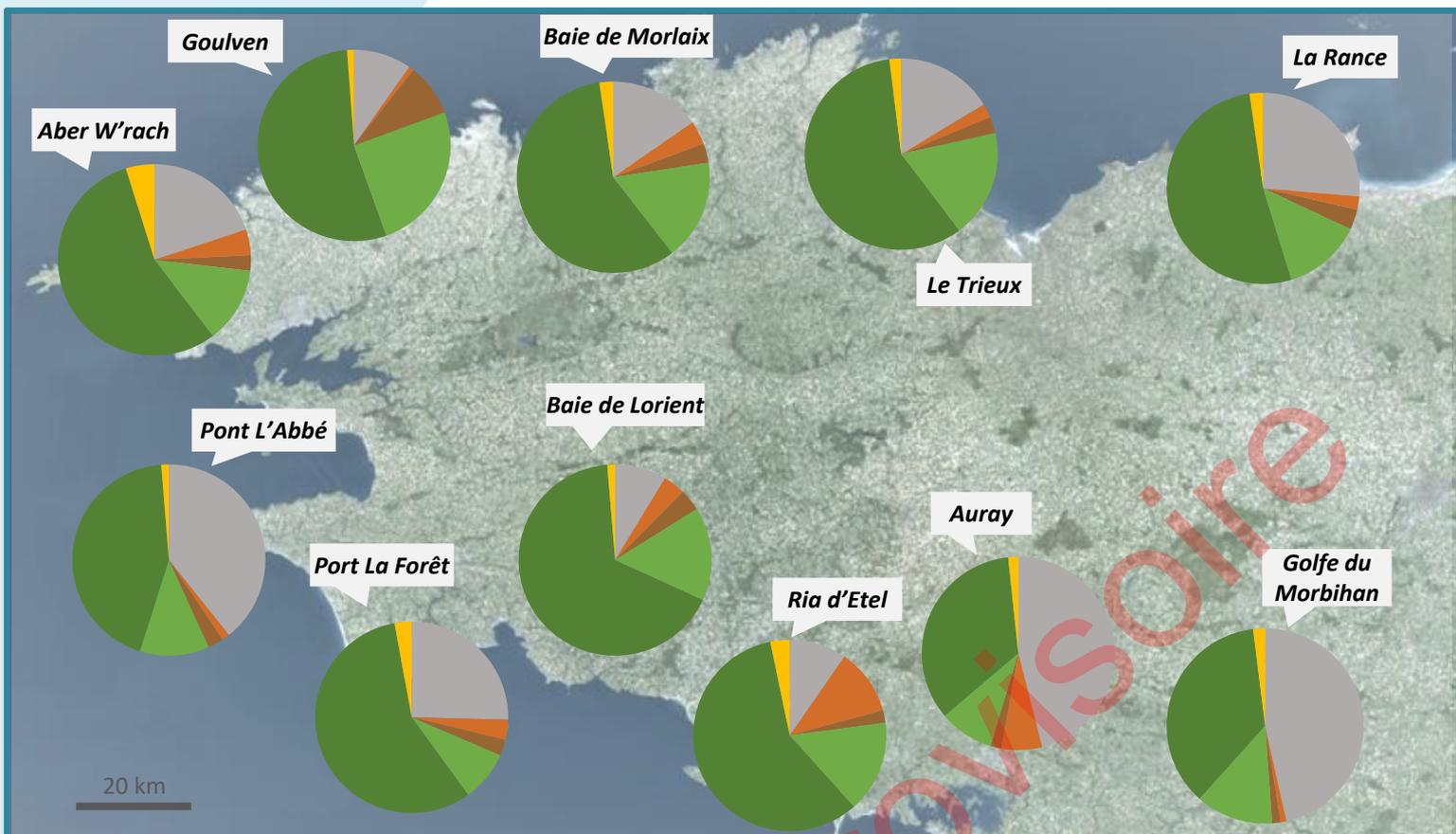
## Question 2: Variabilité de l'origine de la matière organique des vasières bretonnes

Dans le contexte des vasières bretonnes, la MO sédimentaire peut avoir de nombreuses sources qui peuvent être naturelles: érosion des sols, production primaire dans les cours d'eau ou sur les vasières, microorganismes ou anthropiques: produits de la combustion de biomasse et de combustibles fossiles, produits pétroliers issus de déversements accidentels ou volontaires ou de leur utilisation incluant les huiles lubrifiantes, les fiouls, les bitumes routiers ou encore des bruts pétroliers et enfin les matières fécales d'origine humaines et animales issues des stations d'épuration et de l'érosion des surfaces agricoles, respectivement.



**Méthodologie.** La composition de la MO sédimentaire a été étudiée via la distribution de plus de 200 molécules de la famille des lipides. Chaque type de source de MO sédimentaire a une composition en lipide qui lui est spécifique. Bien qu'elle n'utilise qu'une faible proportion de la matière organique sédimentaire (approx. 0,1%), cette méthode est utilisée pour déterminer les niveaux et les sources de pollutions organiques dans les écosystèmes aquatiques continentaux et marins. Les lipides ont été extraits des sédiments lyophilisés et broyés puis séparés par chromatographie liquide en trois familles de composés. Ces trois familles ont été analysées par chromatographie gazeuse couplée à la spectrométrie de masse permettant de séparer et d'identifier les molécules.

*Attention: la proportion de lipides au sein de chaque source de MO sédimentaire est variable et n'est pas connue. Donc les résultats sur la proportion des sources de lipides ne peuvent pas être extrapolés à des proportions de sources de MO sédimentaire. Malgré cela, plus la proportion d'une source de lipides est importante, plus la contribution de cette source à la MO sédimentaire augmente.*



**SOURCES NATURELLES**

Plantes terrestres

Algues

Bactéries et microalgues

**SOURCES ANTHROPIQUES**

Pétrole

Matières fécales

Combustion

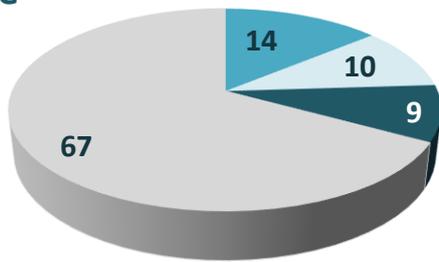
**Proportions moyennes par site des origines des lipides analysés dans les sédiments.**

- ❑ Variabilité de la composition de la MO sédimentaire à l'échelle régionale.
- ❑ Les molécules d'origine naturelle sont majoritaires dans la plupart des vasières et représentent  $70 \pm 17 \%$  (moyenne  $\pm$  écart type) des molécules analysées et jusqu'à 96%.
- ❑ Ces molécules naturelles sont en majorité issues des apports terrestres. Elles représentent  $75 \pm 8 \%$  des molécules naturelles analysées.
- ❑ Cependant certaines vasières, notamment dans le Golfe du Morbihan, la rivière d'Auray et à Pont L'Abbé présentent une majorité de marqueurs anthropiques.
- ❑ Les molécules anthropiques sont en grande majorité issues de sous produits pétroliers ( $69 \pm 23 \%$ ).
- ❑ Deux signatures pétrolières sont distinguées à l'échelle de la Bretagne. Une signature de brut pétrolier au nord et une signature de diesel au sud. Si les différents échouages de navires et les déballastages en pleine mer sont très probablement la source de la signature de brut pétrolier observée au nord, il n'est pas possible en l'état actuel des connaissances de différencier les sources terrestres des sources marines pour la signature de type diesel observée le long de la côte sud.
- ❑ Les molécules marquant les matières fécales (stanols fécaux) soulignent le mélange des contributions d'origine bovine, porcine et humaine dans les sédiments. A l'échelle régionale, les marqueurs fécaux sont majoritairement issus de déjections bovines ( $68 \pm 14 \%$ ) et porcines ( $11 \pm 15 \%$ ), les apports d'origine humaine expliquant  $21 \pm 8 \%$  des distributions de stanols analysées.
- ❑ Les molécules issues des procédés de combustion sont les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) réglementaires ainsi que leurs isomères. Les distributions de ces molécules indiquent qu'elles proviennent majoritairement des gaz d'échappement des véhicules.

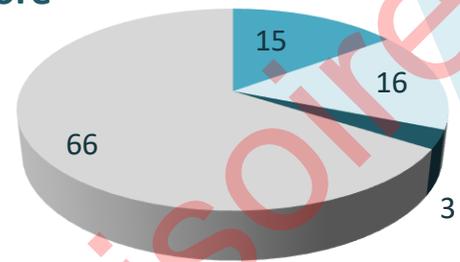
# Quel est le contrôle exercé par la physico-chimie des sédiments sur les flux benthiques?

Les flux benthiques de nutriments et les données de composition physico-chimique mesurées dans cette étude ont été analysés via une analyse statistique de redondance. Cette méthode permet de déterminer la part de la variance des flux benthiques d'azote et de phosphore expliquée par (i) la composition de la matière organique sédimentaire et (ii) les teneurs en nutriments et la granulométrie des sédiments et (iii) la combinaison de ces deux jeux de variables. Les graphiques représentent les résultats avec en gris la part de variance non expliquée par les paramètres étudiés lors de cette étude.

## Azote



## Phosphore



Origine de la MO sédimentaire

Combinaison des deux

Composition physico-chimique

- ❑ Les paramètres étudiés dans ce projet permettent d'expliquer 33 et 34% de la variabilité des flux benthiques de N et P, respectivement.
- ❑ Les paramètres correspondant à la composition physico-chimique des sédiments expliquent 9 et 3 % de la variabilité des flux benthiques de N et P, respectivement.
- ❑ Les paramètres correspondant à l'origine de la MO sédimentaire, pris individuellement, expliquent 14 et 15% de la variabilité des flux benthiques de N et P, respectivement.
- ❑ Les flux de  $\text{NH}_4^+$  sont principalement corrélés à la porosité, aux ratios isotopiques  $\delta^{15}\text{N}$  et  $\delta^{13}\text{C}$ , et aux proportions de marqueurs spécifiques des produits dérivés du pétrole de type diesel et des microalgues.
- ❑ En conditions de faible hydrodynamisme (marquées par la sédimentation du dérivé pétrolier léger), les microalgues peuvent se développer en captant l'azote anthropique ( $\delta^{15}\text{N}$ ) en provenance des bassins versants et sédimenter. Cet apport alimente ainsi un stock de MO sédimentaire ( $\delta^{13}\text{C}$ ) facilement biodégradable induisant la reminéralisation de l'azote sous forme  $\text{NH}_4^+$  qui diffuse d'autant plus facilement vers la colonne d'eau que la porosité est élevée.
- ❑ Les flux de  $\text{PO}_4^{3-}$  sont principalement corrélés aux teneurs en phosphore organique (P-Org) et en phosphore associé aux oxydes de fer (P-Fe) soulignant l'importance des processus de minéralisation de la MO et la dissolution réductrice des oxydes de fer dans la production des flux benthiques de  $\text{PO}_4^{3-}$ .
- ❑ Les flux de  $\text{PO}_4^{3-}$  sont aussi corrélés aux proportions des marqueurs spécifiques des contaminations fécales, mettant en avant l'impact des effluents urbains et agricoles. La prédominance des sources animales (déjections bovines:  $68 \pm 14$  % et porcines :  $11 \pm 15$  %) met en avant l'érosion des surfaces agricoles comme une source importante du P sédimentaire.
- ❑ Une part importante de la variance des flux benthiques (67 et 66 % pour N et P, respectivement) reste inexpliquée. L'action du vivant à travers les activités de bioturbation est une piste de recherche envisagée pour augmenter la part de variance expliquée. Ce processus peut conduire à favoriser la biodégradation de la MO sédimentaire et la diffusion de  $\text{NH}_4^+$  et  $\text{PO}_4^{3-}$  à travers le sédiment.
- ❑ Du fait de la diversité des processus contrôlant les flux benthiques de N et P et de la difficulté et des coûts liés à la mesure de certains paramètres sédimentaires, ces travaux n'ont pas permis de développer un marqueur sédimentaire « simple » utilisable pour approximer la capacité d'un sédiment à produire des flux benthiques de N et P.

# Conclusions et perspectives

- ✓ Les flux benthiques de  $\text{NH}_4^+$  et de  $\text{PO}_4^{3-}$  présentent une forte variabilité à l'échelle régionale avec des écarts types relatifs supérieurs à 100%. Cette variabilité se retrouve à l'échelle des 12 sites et des 45 stations étudiées. Les vasières bretonnes forment ainsi un écosystème aux multiples visages.
- ✓ Les paramètres physico-chimiques présentent eux aussi une forte variabilité que ce soit la granulométrie des sédiments, leur composition élémentaire ou encore l'origine de la matière organique sédimentaire (MOS).
- ✓ Les lipides marquent majoritairement des sources naturelles de MO provenant notamment des végétaux terrestres ce qui indique une contribution importante de l'érosion des sols à la MOS.
- ✓ L'analyse statistique conjointes des flux benthiques de  $\text{NH}_4^+$  et de  $\text{PO}_4^{3-}$  et des paramètres physico-chimiques sédimentaires montrent que les flux benthiques ne sont pas contrôlés par les mêmes paramètres.
- ✓ Les flux de  $\text{PO}_4^{3-}$  sont corrélés avec les teneurs en P organique et en P lié aux oxydes de fer et avec la proportion de marqueurs traçant les contaminations fécales. Ceux-ci présentant une signature majoritairement bovine et porcine, les flux benthiques de phosphore sembleraient liés à l'érosion des surfaces agricoles amendées par des produits résiduels organiques d'origine issus de l'élevage.
- ✓ Les flux de  $\text{NH}_4^+$  sont corrélés à la porosité, au  $\delta^{15}\text{N}$  et à la proportion de marqueurs traçant une contamination due à un produits pétroliers légers, très probablement du diesel. Ces derniers pourraient indiquer des conditions de faibles hydrodynamismes (sédimentation du diesel) favorables à la prolifération de microalgues via les apports d'azote anthropique par les bassins versants ( $\delta^{15}\text{N}$ ), alimentant le sédiment en MO facilement biodégradable.
- ✓ Cependant les paramètres physico-chimiques sédimentaires n'ont permis d'expliquer que 33 et 34% de la variabilité des flux benthiques de N et P, respectivement.
- ✓ Du fait de la diversité des processus contrôlant les flux benthiques de N et P et de la difficulté et des coûts liés à la mesure de certains paramètres sédimentaires, ces travaux n'ont pas permis de développer un marqueur sédimentaire « simple » utilisable pour approximer la capacité d'un sédiment à produire des flux benthiques de N et P.
- ✓ Ce travail suggère deux perspectives: (1) Est-ce que l'activité et la diversité de la micro- et de la macrofaune permettraient d'augmenter la part de variabilité expliquée? (2) Les sédiments pouvant être sources de nutriments, est-ce que cette source seule permettrait de maintenir des efflorescences d'algues vertes et pendant combien de temps?



Avec l'appui des équipes des territoires de SAGE concernés



## Contacts scientifiques:

Biogéochimie de l'azote: Annet Laverman ([annet.laverman@univ-rennes1.fr](mailto:annet.laverman@univ-rennes1.fr))

Biogéochimie du phosphore: Françoise Andrieux ([Francoise.Andrieux@ifremer.fr](mailto:Francoise.Andrieux@ifremer.fr))

Géochimie de la matière organique: Laurent Jeanneau ([laurent.jeanneau@univ-rennes1.fr](mailto:laurent.jeanneau@univ-rennes1.fr))

# Projet IMPRO

## Impact du sédiment sur les PROliférations de macroalgues sur vasières

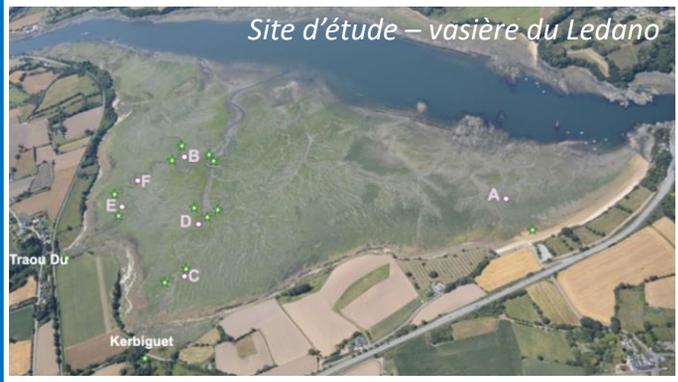
### Fiche 1 : mesure des flux benthiques sur la vasière du Ledano

#### OBJECTIF

Dans le cadre du projet IMPRO visant à acquérir des données précises de **flux sédimentaires** (N et P) sur différents sites bretons affectés par les marées vertes, un des objectifs est de mesurer les flux benthiques sur le site atelier de la **vasière du Ledano**, située sur l'estuaire du Trieux.

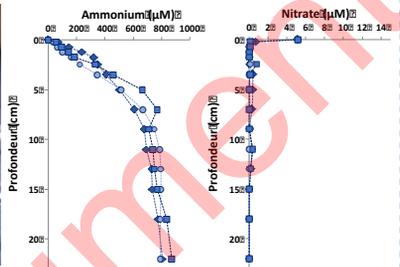
#### APPROCHE

- 6 stations étudiées - 4 saisons (avril 2019 à septembre 2020) - 8 carottes/station
- 21 paramètres physico-chimiques par échantillon => **6000 données/saison**

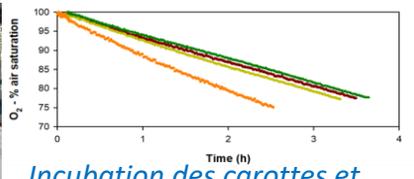


Mesure des **flux benthiques diffusifs** à partir des gradients de concentrations dans les eaux porales, obtenus via la découpe de carottes sédimentaires

Mesure des **flux benthiques totaux** (diffusion + activité biologique) à partir des différences de concentrations dans l'eau de surface lors d'incubations de carottes sédimentaires



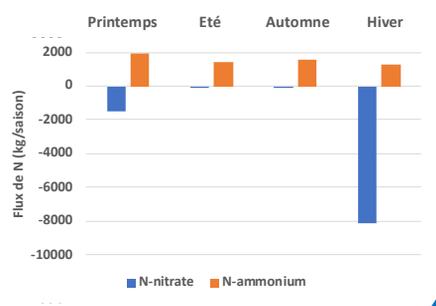
Découpe des carottes et exemples de profils obtenus



Incubation des carottes et évolution de la teneur en oxygène dans l'eau de surface (st. D, oct. 2019)

#### PRINCIPAUX RESULTATS

- Les flux benthiques de N sont gouvernés par deux processus biogéochimiques associés à la **minéralisation de la matière organique** : la dénitrification (puits de N) et la production d'ammonium (source de N)
- Un des mécanismes d'échange entre le sédiment et la colonne d'eau est la **diffusion** à l'interface eau-sédiment, complétée par l'**activité biologique** des organismes benthiques (ventilation, présence de terriers, etc)
- La vasière est un puits de N en hiver (dénitrification > production d'ammonium) et une source de N les trois autres saisons (dénitrification < production d'ammonium)
- A l'échelle annuelle, la vasière est un **puits de N** et une **source de P**, si on se limite à ces processus



Flux benthiques (kg/saison) à l'échelle de la vasière (1,51 km <sup>2</sup> )				
	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Bilan de N
Printemps	18	-1477	1939	462
Été	197	-56	1399	1344
Automne	31	-49	1554	1505
Hiver	41	-8140	1297	-6842
<b>Flux annuel (kg/an)</b>	<b>286</b>	<b>-9721</b>	<b>6190</b>	<b>-3532</b>

# Projet IMPRO

## Impact du sédiment sur les PROliférations de macroalgues sur vasières

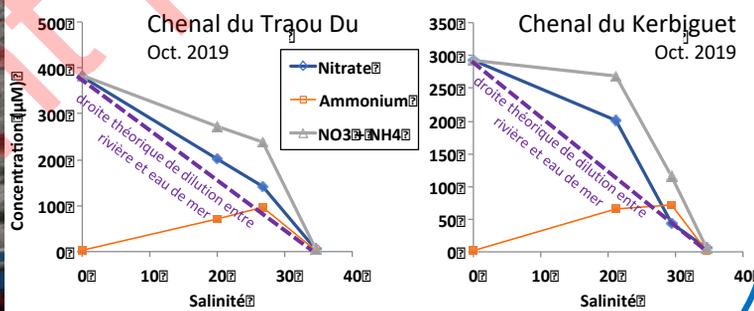
### Fiche 2 : mesure du pompage tidal sur la vasière du Ledano

#### OBJECTIF

Dans le cadre du projet IMPRO visant à acquérir des données précises de **flux sédimentaires** (N et P) sur différents sites bretons affectés par les marées vertes, un des objectifs est de mesurer les flux liés au **pompage tidal** (extraction des eaux porales du sédiment vers les chenaux lors de la marée basse) sur le site atelier de la **vasière du Ledano**, située sur l'estuaire du Trieux.

#### APPROCHE

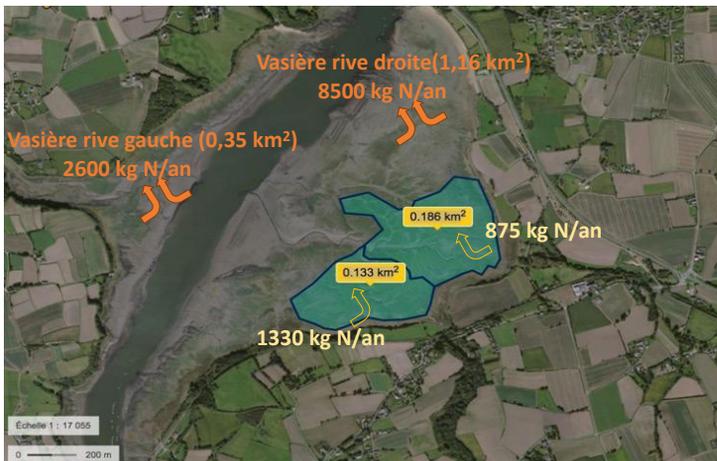
Calcul du **débit** (à marée basse) dans les deux principaux chenaux tidaux  
Mesures de salinité et prélèvements pour les mesures de N et P dissous



Exemple de concentrations en N obtenues le long du continuum rivière-eau de mer dans les deux chenaux principaux en octobre 2019

#### PRINCIPAUX RESULTATS

- Les concentrations en N et P dissous mesurées dans les chenaux principaux ne suivent pas la **droite de dilution** rivière-eau de mer : il y a **ajout de N et de P** par les eaux porales provenant du sédiment par la pompe tidale
- L'azote issu de la pompe tidale est essentiellement sous forme d'**ammonium**
- La vasière, via la pompe tidale, est une **source** de N et P pour les 4 saisons étudiées



	Flux pompe tidale (kg N/saison)		
	Traou Du (0,133 km <sup>2</sup> )	Kerbiguet (0,186 km <sup>2</sup> )	Vasière (1,51 km <sup>2</sup> )
Printemps	255	101	1855
Été	83	111	919
Automne	490	211	3640
Hiver	503	452	4688
<b>Flux annuel (kg N/an)</b>	<b>1330</b>	<b>875</b>	<b>11102</b>

	Flux pompe tidale (kg P/saison)		
	Traou Du (0,133 km <sup>2</sup> )	Kerbiguet (0,186 km <sup>2</sup> )	Vasière (1,51 km <sup>2</sup> )
Printemps	10	15	115
Été	-3	15	41
Automne	10	22	146
Hiver	6	6	56
<b>Flux annuel (kg P/an)</b>	<b>22</b>	<b>57</b>	<b>358</b>

Extrapolation des flux de N et P liés à la pompe tidale à l'échelle de la vasière, à partir des rapports des surfaces drainées au niveau de nos échantillonnages et la surface totale de la vasière

# Projet IMPRO

## Impact du sédiment sur les PROliférations de macroalgues sur vasières

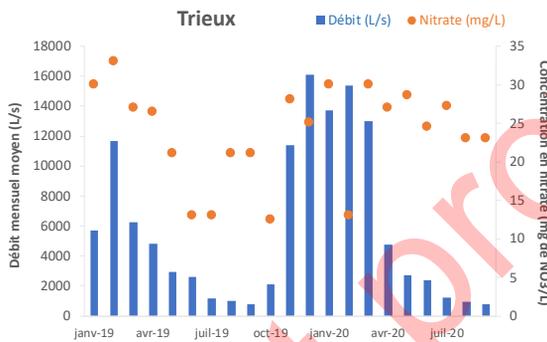
### Fiche 3 : bilan des flux de N et P sur la vasière du Ledano

#### OBJECTIF

Dans le cadre du projet IMPRO visant à acquérir des données précises de **flux sédimentaires** (N et P) sur différents sites bretons affectés par les marées vertes, un des objectifs est de réaliser un **bilan de masse** à l'échelle de l'écosystème afin de comparer ces flux sédimentaires aux autres flux existants sur le site atelier de la **vasière du Ledano**, située sur l'estuaire du Trieux.

#### APPROCHE

- Estimation des **flux benthiques** à partir de carottes sédimentaires (cf. fiche 1)
- Estimation des flux liés à la **pompe tidale** (cf. fiche 2)
- Estimation des flux issus des **rivières** (Traou Du, Kerbiguet, Camarel, Leff et Trieux) : synthèse des données Agence de l'Eau, SAGE ATG et IMPRO)



Flux terrestres d'Azote (kg N/saison)						
	Traou Du	Kerbiguet	Camarel	Trieux	Leff	Somme
Printemps	960	498	5248	130910	76700	214300
Été	1611	433	5425	67170	66960	141600
Automne	1512	1093	6157	446030	313810	768700
Hiver	2137	2172	13950	593580	395170	1007000
<b>Flux annuel (kg N/an)</b>	<b>6 320</b>	<b>4 196</b>	<b>30 781</b>	<b>1 237 690</b>	<b>852 640</b>	<b>2 131 600</b>

Flux terrestres de Phosphore (kg P/saison)						
	Traou Du	Kerbiguet	Camarel	Trieux	Leff	Somme
Printemps	23	5	88	945	746	1807
Été	40	7	51	833	689	1620
Automne	43	14	311	3042	3334	6744
Hiver	31	15	340	3722	3057	7166
<b>Flux annuel (kg P/an)</b>	<b>136</b>	<b>41</b>	<b>790</b>	<b>8 542</b>	<b>7 827</b>	<b>17 336</b>

Exemples de données sur les rivières : mesures sur site ; valeurs moyennes mensuelles du débit et des concentrations en nitrate dans le Trieux (données Naiades) ; flux calculés pour chaque saison sur la période 2019-2020

#### PRINCIPAUX RESULTATS

→ A l'échelle annuelle, la vasière du Ledano est une **source de N et de P** pour la colonne d'eau

→ Le principal processus de cet export est le **pompage tidal**, tandis que les **flux benthiques** représentent une source de P mais un puits de N (à l'échelle annuelle)

→ A l'échelle saisonnière, les flux benthiques sont caractérisés par une forte **dénitrification** (puits de N) dominante en hiver, et une **production d'ammonium** dominante aux autres saisons

→ Ces flux sédimentaires sont du même ordre de grandeur que les flux issus des petites rivières (Traou Du et Kerbiguet), mais 200 fois inférieurs aux flux issus du **bassin versant de l'estuaire du Trieux**, qui reste la principale source de N et P du système

#### Bilan annuel du N



#### Bilan annuel du P



Bilan annuel des flux de N et P à l'échelle de la vasière du Ledano, avec les valeurs saisonnières pour chaque flux étudié

Synthèse des flux à l'échelle de l'estran du Ledano (kg/saison)						
		Printemps	Été	Automne	Hiver	Annuel (tonnes N ou P/an)
Flux benthiques	N	462	1344	1505	-6842	-3,53
	P	18	197	31	41	0,29
Pompe tidale	N	1855	919	3640	4688	11,10
	P	115	41	146	56	0,36
Rivières	N	214300	141600	768700	1007000	2132
	P	1807	1620	6744	7166	17

# - PROJET IMPRO -

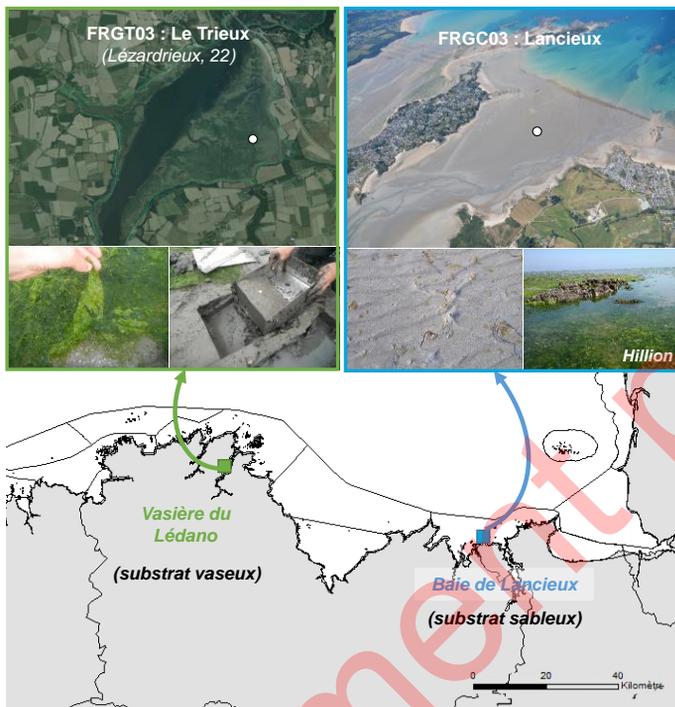
## AXE 3 - COMPLÉMENT D'ÉTUDE SUR LES PROCESSUS D'ABSORPTION DES NUTRIMENTS PAR LES MACROALGUES OPPORTUNISTES DE TYPE ULVES EN ZONE INTERTIDALE

### OBJECTIF

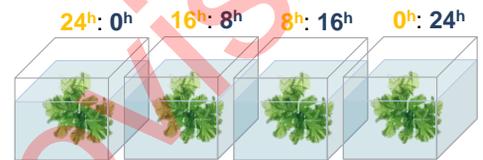
Dans le cadre du projet IMPRO (Impact du sédiment sur les proliférations de macroalgues sur vasières) visant à acquérir des données précises de flux sédimentaires (N et P) sur différents sites stratégiques bretons dont la vasière du Lédano, l'axe 3 a pour objectif d'évaluer l'évolution des processus d'absorption en nutriments (i.e. nitrates, ammonium et phosphates) par les ulves en période diurne / nocturne et en phase d'émerision / d'immersion artificielle pour simuler les conditions rencontrées sur l'estran (cycle des marées). La finalité étant d'utiliser ces données pour calibrer et valider le modèle OD.

### APPROCHE

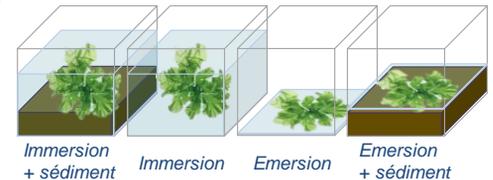
Mise en place de deux types d'expérimentations d'écophysiole sous conditions contrôlées (température, lumière et d'éléments nutritifs) et pour deux sites d'étude caractérisés par des substrats de nature différente.



EXPÉRIMENTATION 1 : étude de l'impact de la photopériode sur l'absorption en nutriments par les ulves (4 cycles jour: nuit testés).



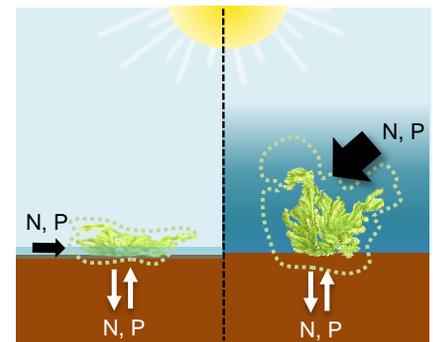
EXPÉRIMENTATION 2 : étude de l'impact des conditions d'immersion/émersion et de la présence/absence de sédiment sur ce processus



Suivi des biomasses algales, des contenus tissulaires en N et P et des concentrations en nutriments du milieu d'incubation.

### PRINCIPAUX RÉSULTATS

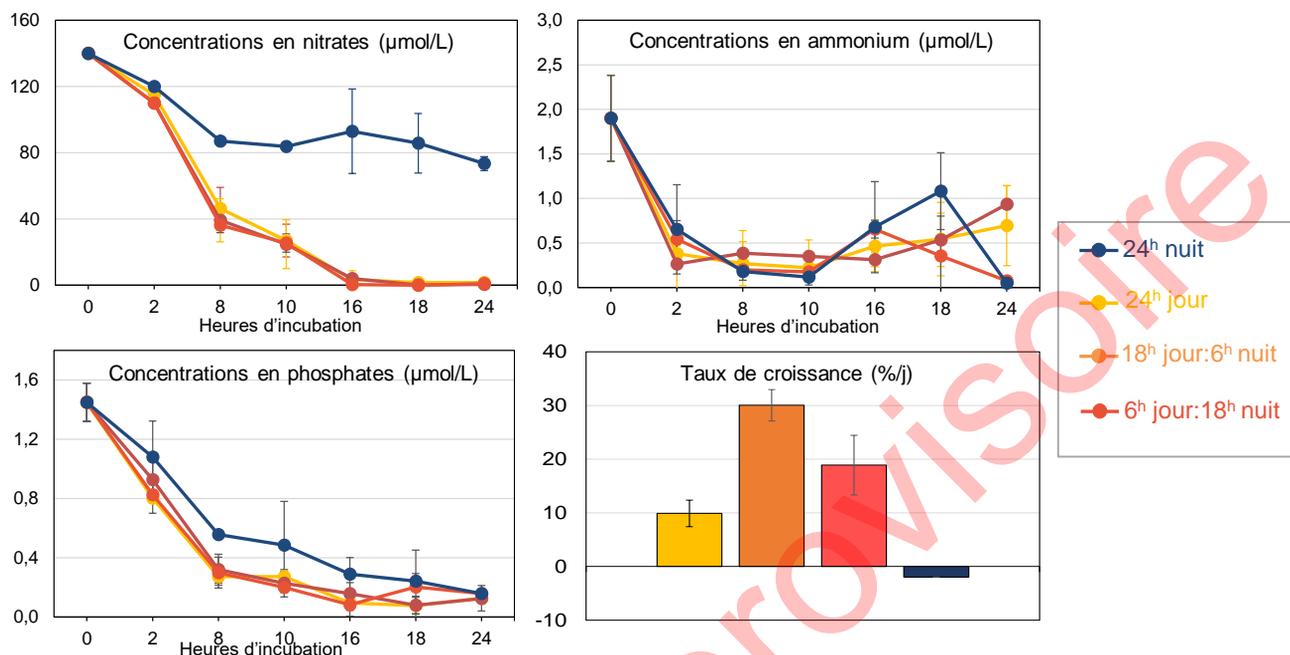
- L'absorption en nutriments (nitrates, phosphates et ammonium) par les ulves des deux sites d'étude ne se limite pas à la période de lumière, et l'immersion constitue la condition optimale pour l'assimilation des éléments nutritifs nécessaires à leur croissance.
- L'absorption en nutriments et les mécanismes de croissance des ulves sur les sites d'étude sont des processus dissociés dans le temps
- Les ulves émergées sont aussi capables d'absorber et d'assimiler, mais de manière plus limitée qu'en conditions d'immersion, des éléments azotés et phosphorés dans la fine pellicule d'eau de mer persistant à la surface du sédiment à marée basse



**Implication** : Selon l'intensité du relargage à l'interface du sédiment, cette capacité pourrait par conséquent jouer un rôle dans le maintien de la marée verte au cours d'une saison caractérisée par de faibles apports terrigènes en azote et en phosphore pendant la période estivale. Le programme IMPRO fournira prochainement des éléments de réponse sur la variabilité saisonnière des flux sédimentaire sur la vasière du Lédano.

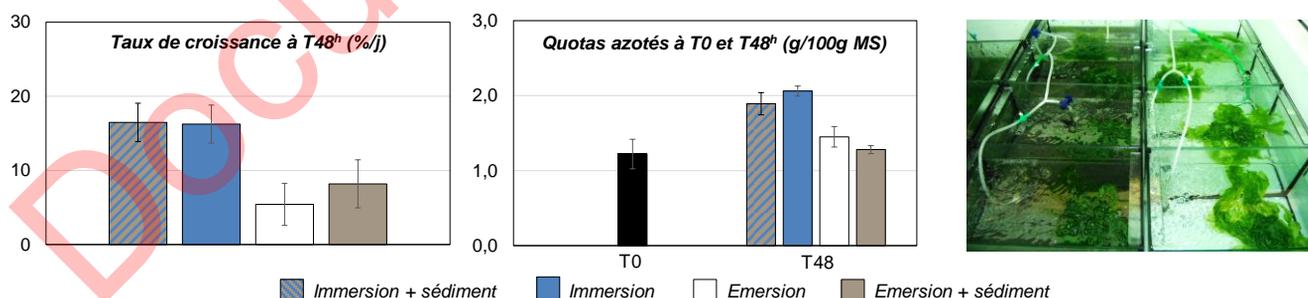
# QUELQUES ÉLÉMENTS DÉTAILLÉS

## EXPÉRIMENTATION 1 : QUEL EST L'IMPACT DE LA PHOTOPÉRIODE SUR L'ABSORPTION EN NUTRIMENTS PAR LES ULVES



- L'absorption en nutriments par les ulves se poursuit à l'obscurité, et celle en nitrates et phosphates semble plus performante à la lumière.
  - Au cours d'un cycle de 24h à l'obscurité, les ulves ne se sont pas développées mais ont absorbé les nutriments du milieu
- ↪ L'absorption en nitrates, ammonium et phosphates est découplée dans le temps des mécanismes de croissance des ulves

## EXPÉRIMENTATION 2 : QUEL EST L'IMPACT DES CONDITIONS D'IMMERSION/ÉMERSION ET DE L'ABSENCE/PRÉSENCE DE SÉDIMENT SUR L'ABSORPTION EN NUTRIMENTS PAR LES ULVES?



- Meilleures croissance et assimilation en azote observées pour les ulves immergées dans l'eau de mer
- L'augmentation des quotas N des ulves émergées suggèrent que les ulves sont capables de poursuivre l'absorption en nitrates / ammonium en condition d'émerision.
- La présence / l'absence de sédiment n'a pas impacté les paramètres écophysologiques suivis dans cette étude (absorption et stockage des nutriments)