



CENTRE DE RECHERCHES  
EN ENVIRONNEMENT CÔTIER  
STATION MARINE  
UNIVERSITÉ DE CAEN - NORMANDIE

# Impact des échouages d'algues sur la dynamique de la signature isotopique $\delta^{15}\text{N}$ des macroalgues marines

Stéphanie Lemesle (Thèse/Post-Doc)  
Anne-Marie Rusig  
**Isabelle Mussio**



UNIVERSITÉ  
CAEN  
NORMANDIE



UPMC  
SORBONNE UNIVERSITÉS

UNICAEN  
UNIVERSITÉ  
CAEN  
NORMANDIE



Institut de Recherche  
pour le Développement  
FRANCE

Université  
des Antilles

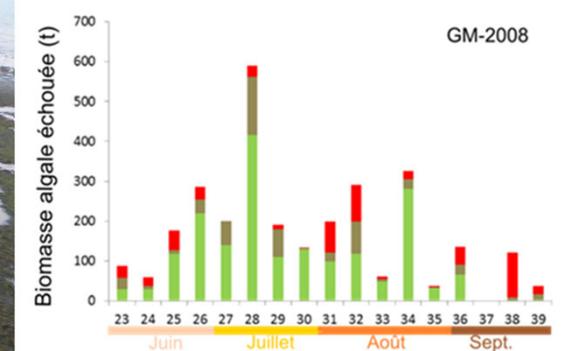
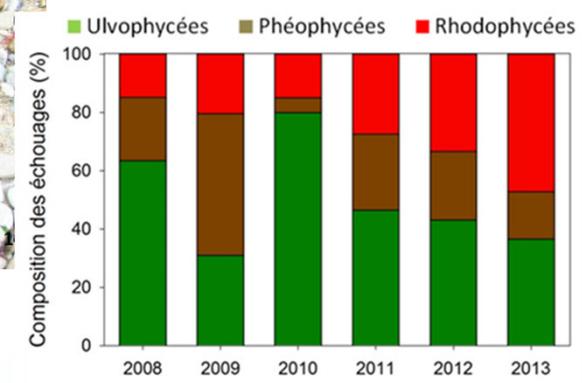


Normandie Université

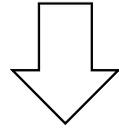


Université de Caen Normandie

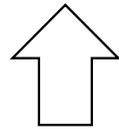
# Echouages hétérospecifics



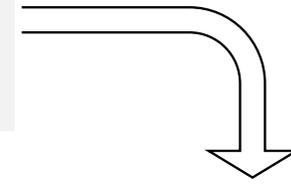
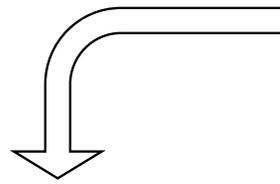
# Echouages d'algues = signe d'un déséquilibre de l'écosystème?



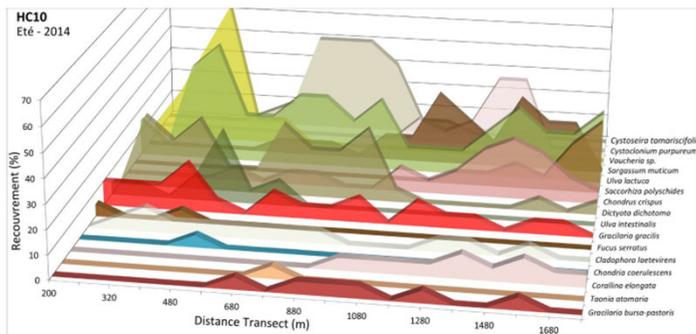
Evaluation de la qualité des eaux côtières



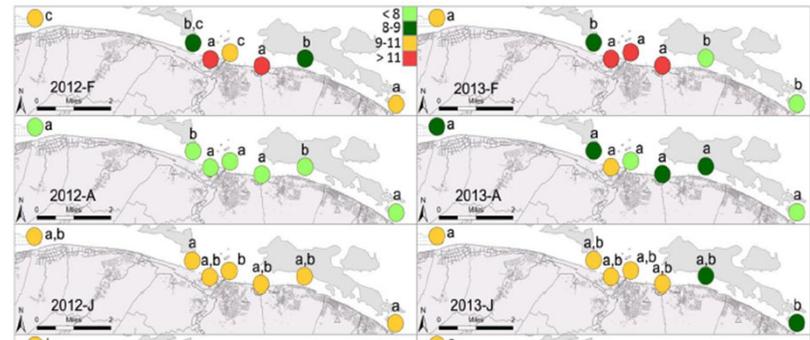
Macroalgues = bioindicateurs



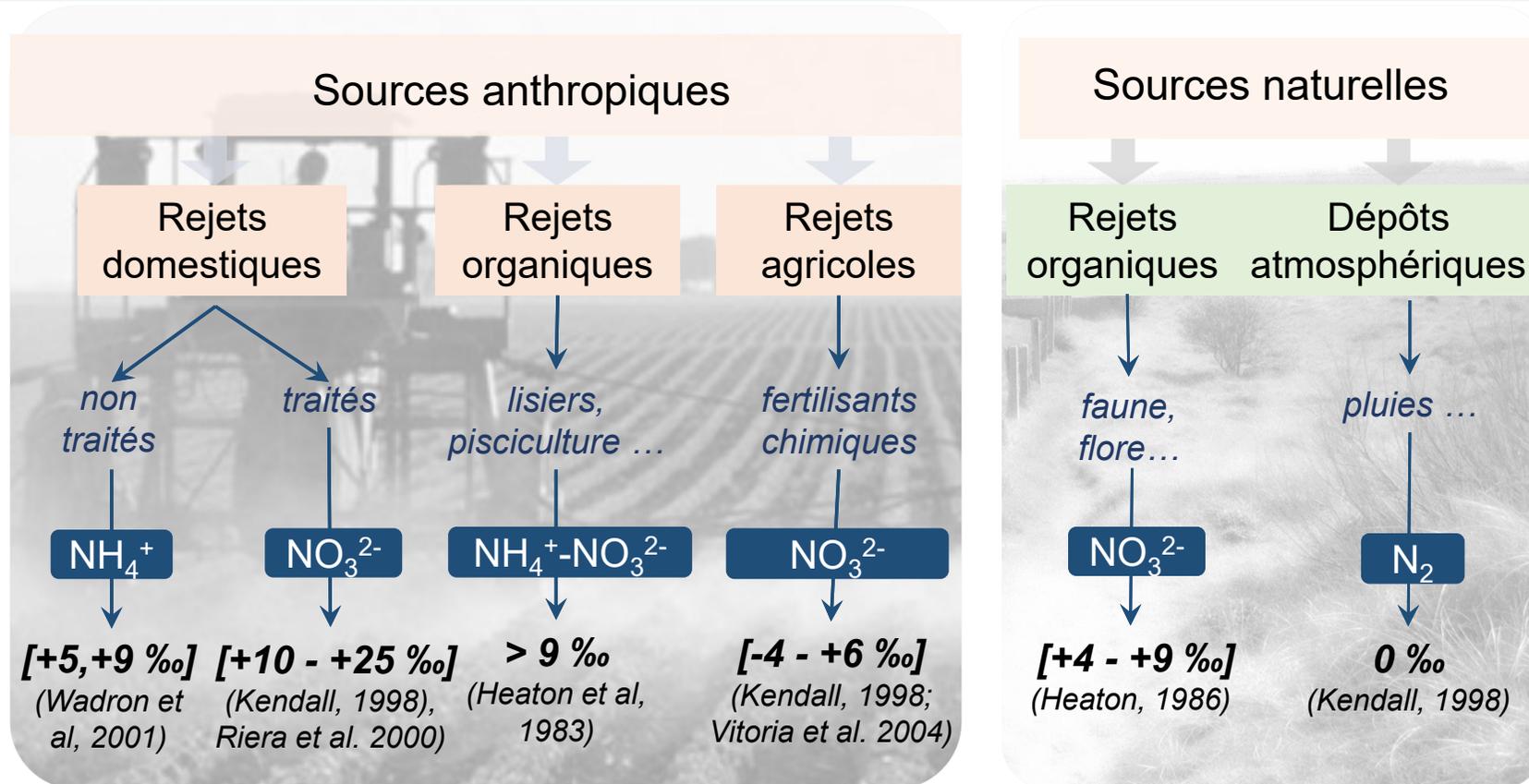
Suivi des communautés algales



Utilisation de l'outil isotopique  $\delta^{15}\text{N}$

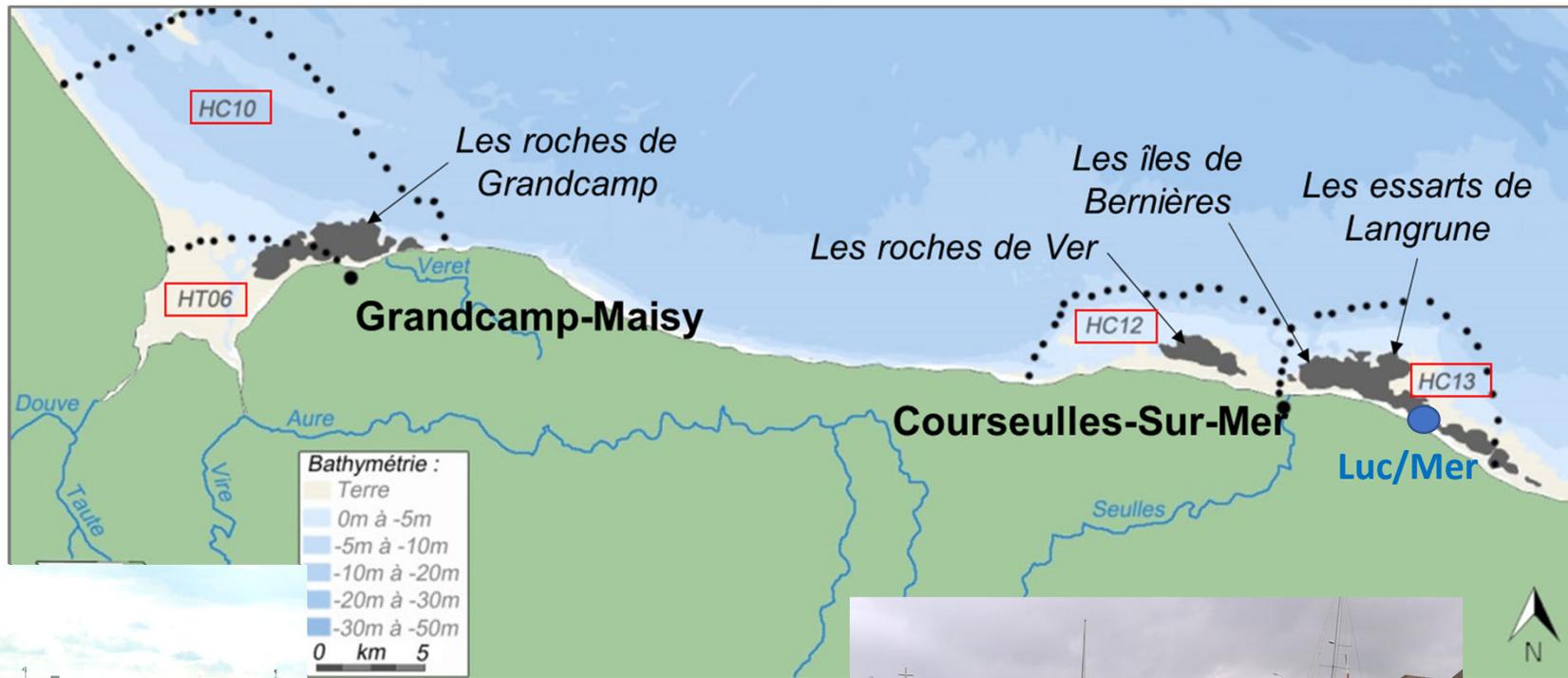


# Signature isotopique $\delta^{15}\text{N}$ – discrimination des sources d'azote



$$\delta^{15}\text{N} = \left\{ \left( \frac{R_{\text{échantillon}}}{R_{\text{standard}}} \right) - 1 \right\} \times 1000 \quad \text{avec } R_{\text{échantillon}} = \frac{{}^{15}\text{N}_{\text{échantillon}}}{{}^{14}\text{N}_{\text{échantillon}}} \quad \text{et } R_{\text{standard}} = \frac{{}^{15}\text{N}_{\text{N}_2 \text{ atm}}}{{}^{14}\text{N}_{\text{N}_2 \text{ atm}}}$$

## 3 sites impactés par des échouages d'algues



Etude *in situ* : Suivi spatio-temporel des paramètres biologiques ( $\delta^{15}\text{N}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$ , %N, %C)



*Ulva sp.*



*F. serratus*



*F. vesiculosus*



*C. crispus*



*Porphyra sp.*

$$\delta^{15}\text{N}_{\text{algues}} \approx \delta^{15}\text{N}_{\text{milieu}}$$

Couplée à une approche *in vitro* (stratégie d'absorption de l'azote, vitesse d'intégration du nitrate et de l'ammonium, cinétique d'acquisition du signal isotopique)

## Plan d'échantillonnage (GM et COU)

### ≠ types de points d'échantillonnage

**R** : platier rocheux

**EM** : émissaire ( $<0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )

**EST** : zone estuarienne

**OST** : activités ostréicoles

**P** : port

**2 années 2012/2013**

5 dates (février-avril-juillet-  
septembre-novembre )

⇒ 10 campagnes

⇒ 17 points (10 GM – 7 COU)

⇒ 464 algues



# Points d'échantillonnage

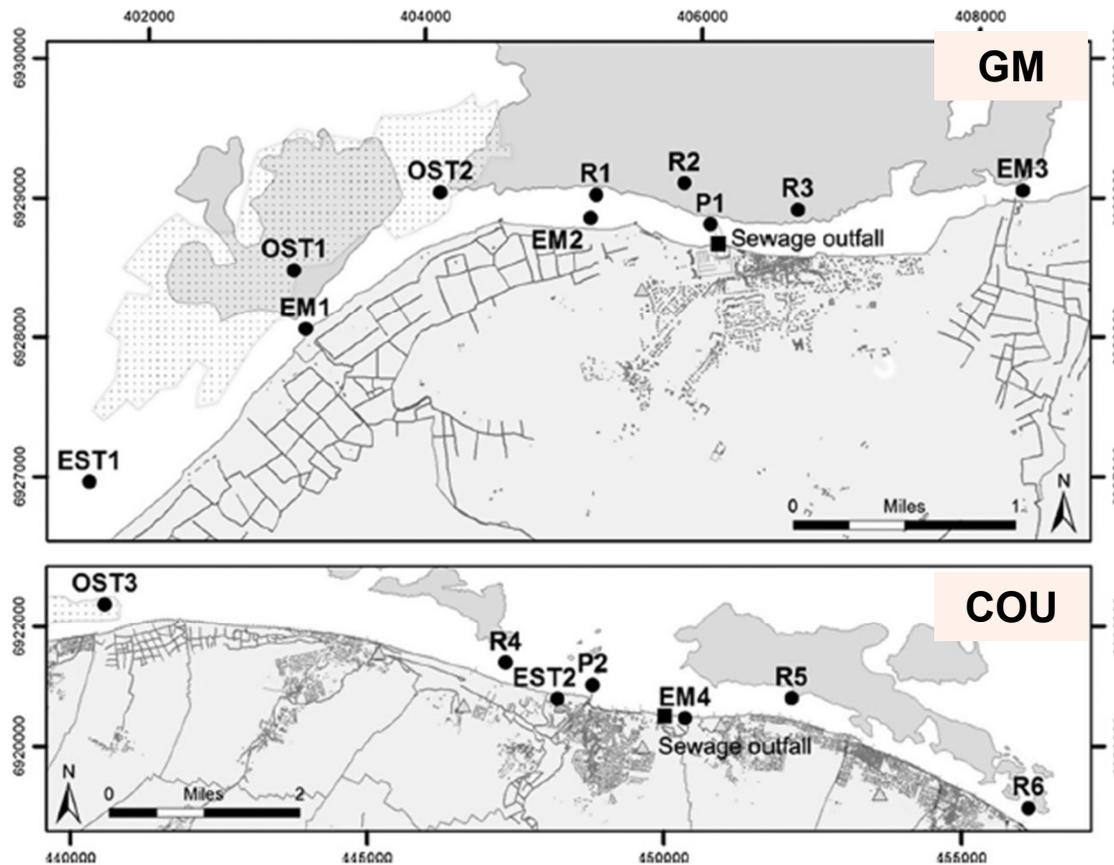
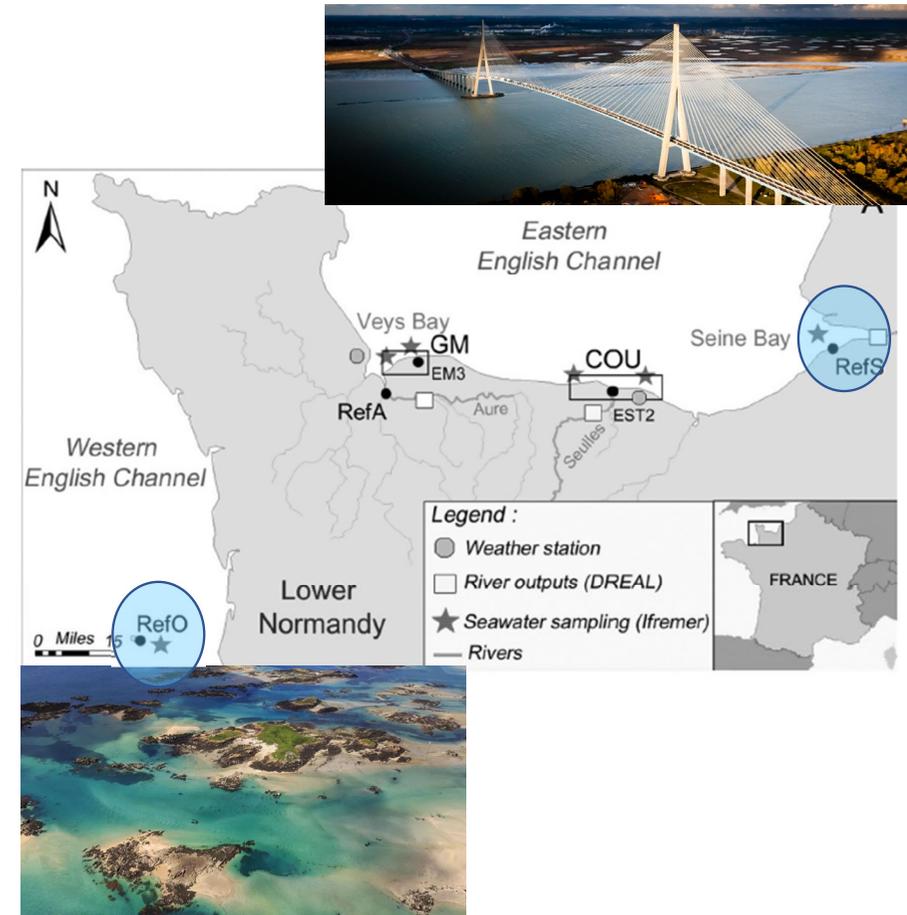


Fig. 1. (A) Study area and location of sampling points at (B) Grandcamp-Maisy (GM), (C) Courseulles-sur-Mer (COU).

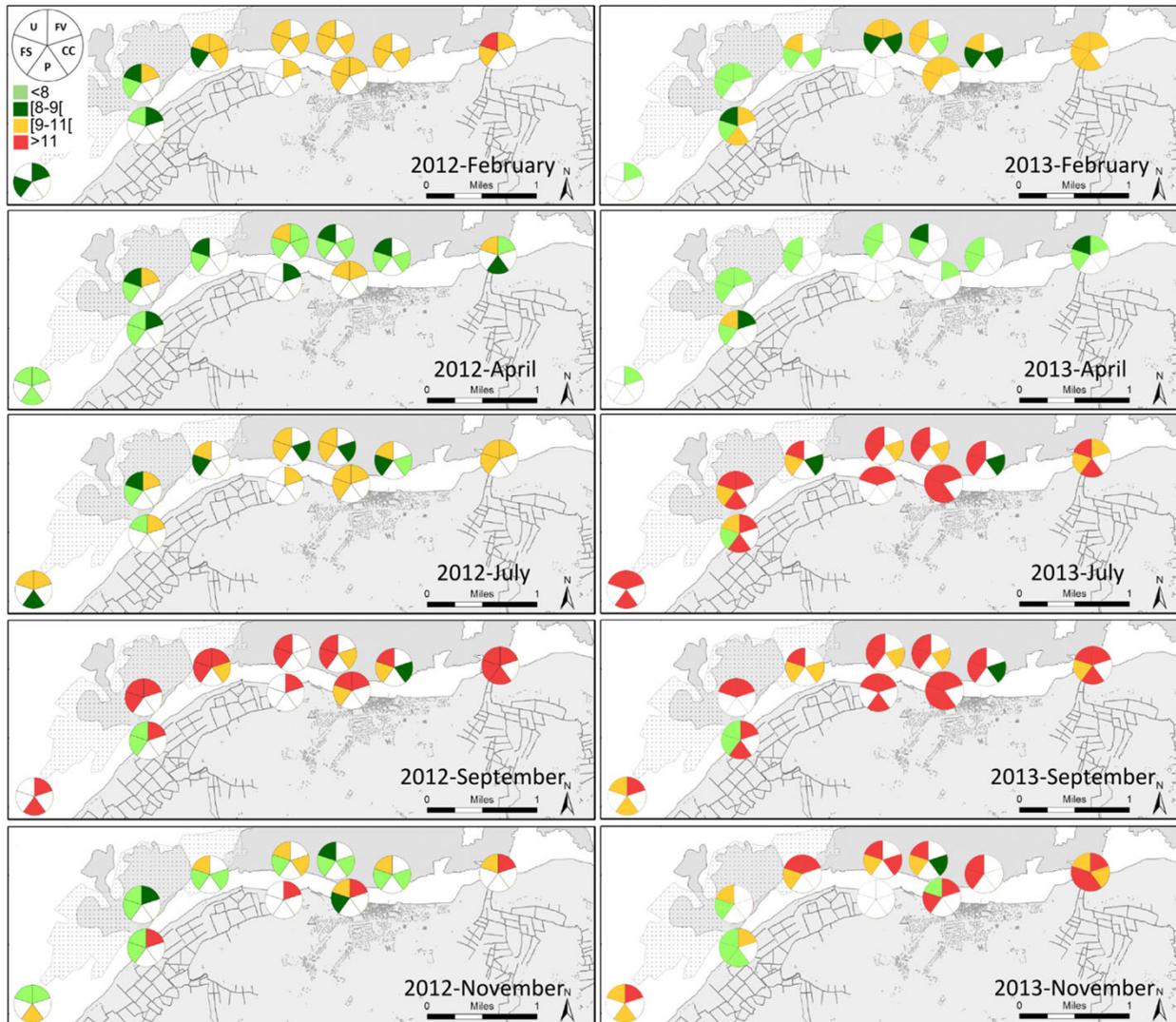
+ 2 points Référence 2013

-RefO Chausey - hors de l'influence de la Seine

-RefS Honfleur- fortement anthropisé



# Evolution spatio-temporelle du $\delta^{15}\text{N}$ – Grandcamp-Maisy (GM)



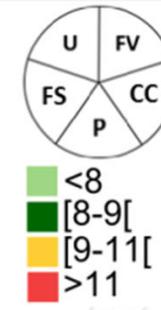
Variables > 9 ‰ (2012)  
[8-11 ‰] (2013)  
Variations interspécifiques

Baisse générale  
< 9 ‰ (2012)  
< 8 ‰ (2013)

Augmentation générale  
+ marquée en 2013

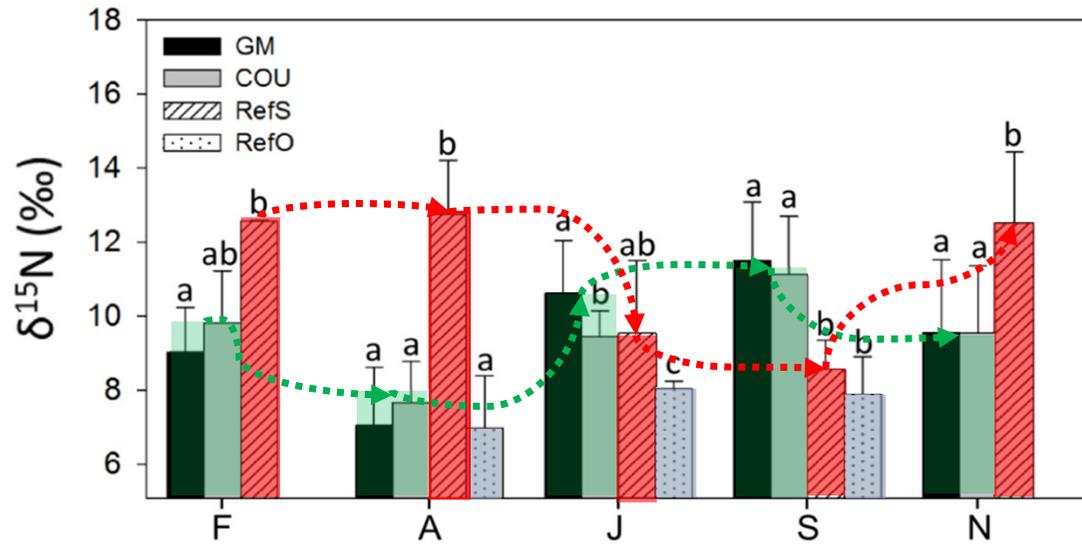
Augmentation générale  
> 11 ‰ (2012-2013)

Baisse + marquée en  
2012  
Variations interspécifiques

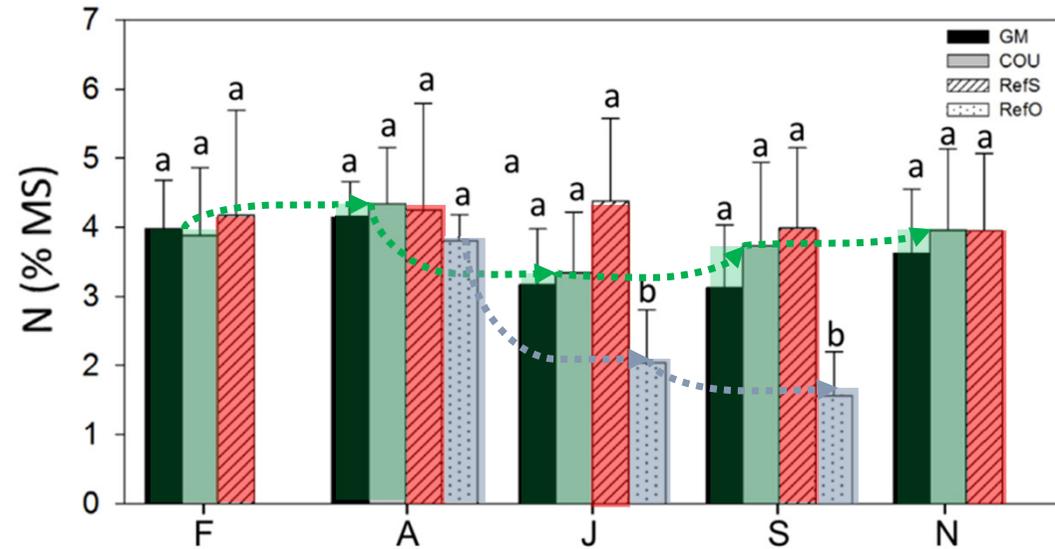


Même évolution à  
COU

## Evolution temporelle du $\delta^{15}\text{N}_{\text{algues}}$ et du contenu $\text{N}_{\text{algues}}$ pour les 4 sites (2013)



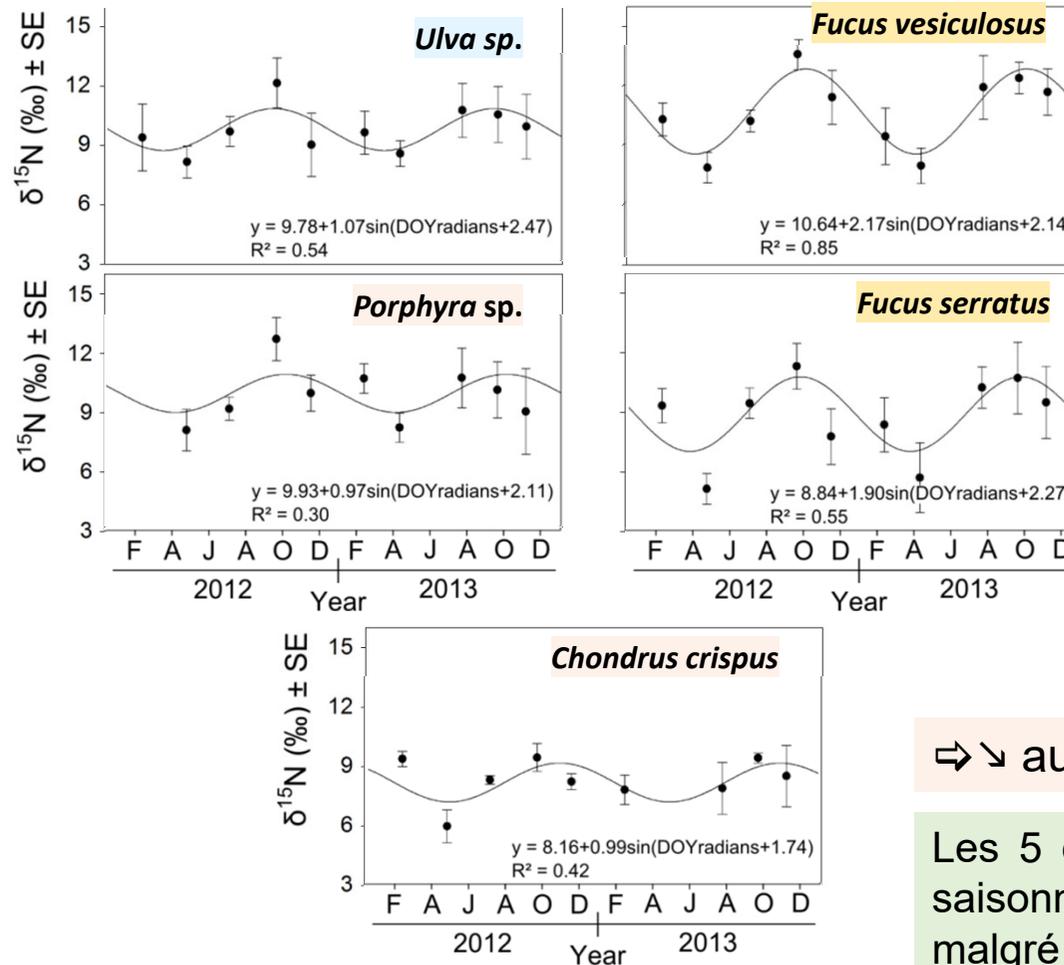
- GM et COU  $\Rightarrow$  même variation temporelle
- $\delta^{15}\text{N}$  RefS  $>$   $\delta^{15}\text{N}$  GM-COU  $\Rightarrow$  variation temporelle inversée
- $\delta^{15}\text{N}$  RefO  $<$   $\delta^{15}\text{N}$  RefS et GM-COU  $\Rightarrow$  pas de variation



- GM et COU  $\Rightarrow$  même variation temporelle
- RefS  $\Rightarrow$  aucune variation temporelle
- RefO  $\Rightarrow$  faible %N en été

GM-COU et RefS  $\Rightarrow$  %N  $>$  2% - milieu eutrophe

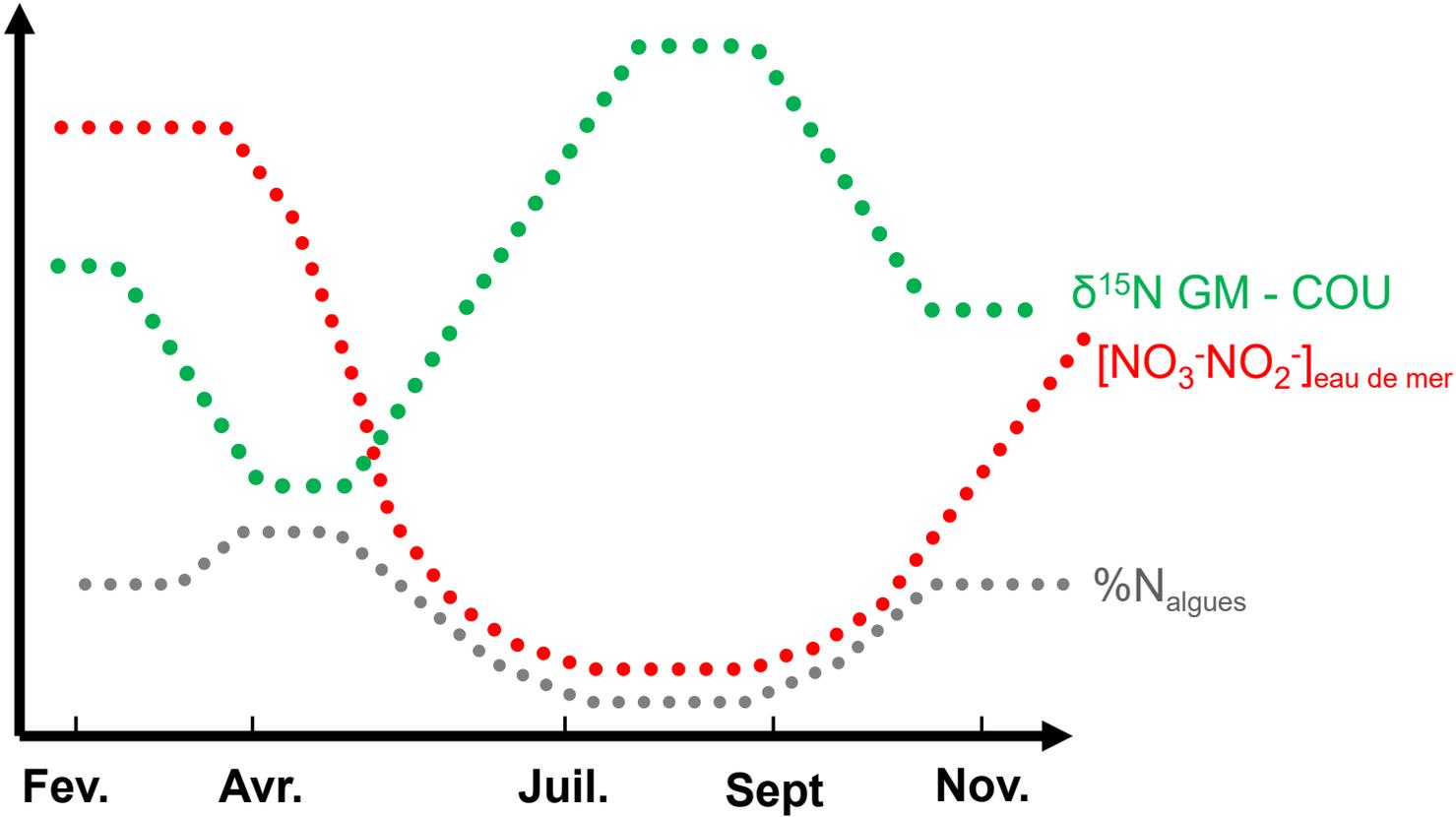
# La variation saisonnière du $\delta^{15}\text{N}$ des algues décrit un **modèle sinusoïdal**



⇒ ↘ au printemps et ↗ en fin d'été

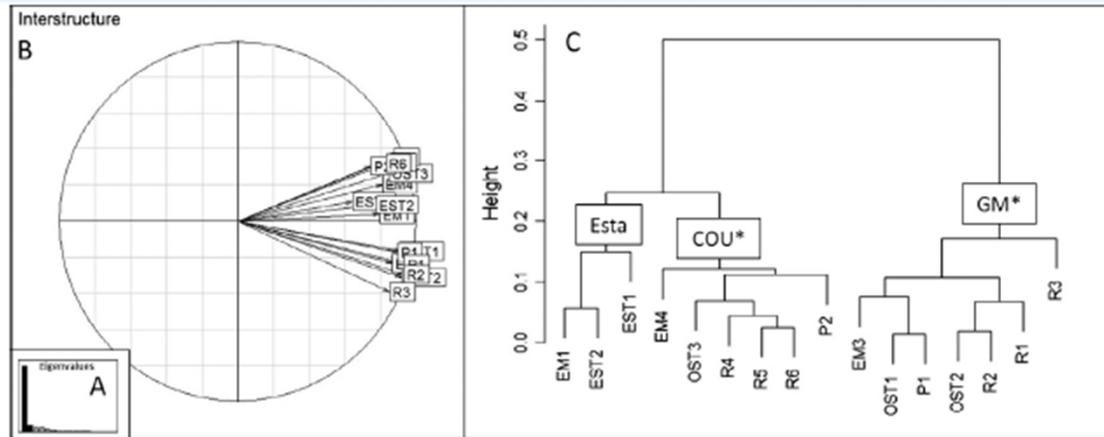
Les 5 espèces ont la même variation saisonnière du  $\delta^{15}\text{N}$  sur les 2 années malgré des traits physiologiques distincts

En résumé.....



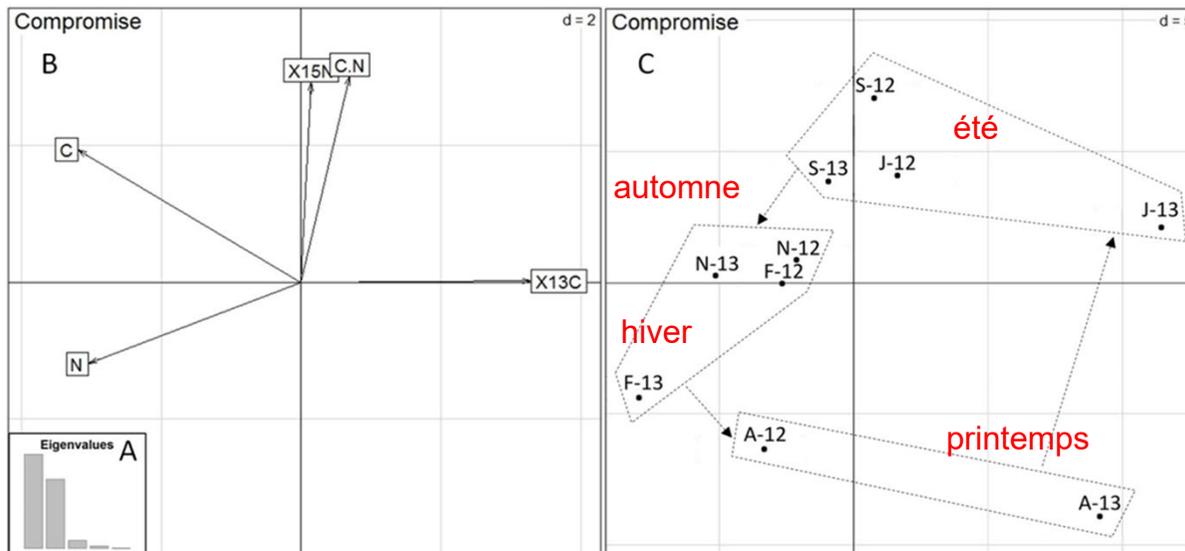
.....Quelle interprétation?

# Comprendre les variations spatio-temporelles des paramètres biologiques ( $\delta^{15}\text{N}$ , $\delta^{13}\text{C}$ , %C, %N, C/N) – Analyse Triadique Partielle



⇒ Regroupement des points d'échantillonnage en 3 groupes distincts

- Esta – eau douce et saumâtre
- COU\*
- GM\*



⇒ Cycle saisonnier des paramètres biologiques

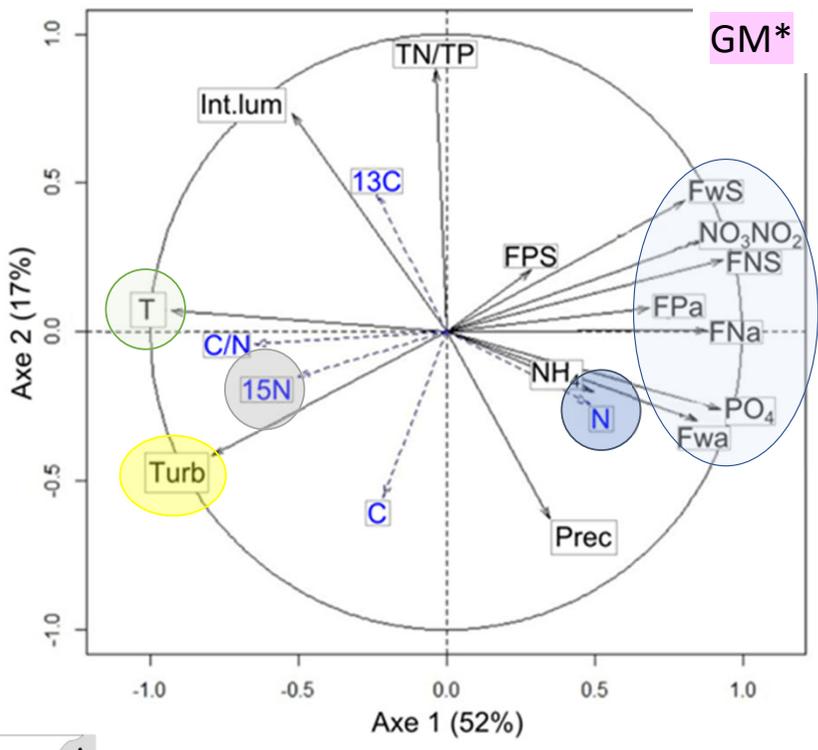
# ACP – relation entre les paramètres physico-chimiques et biologiques pour GM\* et COU\*

**METEO FRANCE**  
-précipitations  
-intensité lumineuse

**DREAL Normandie**  
-débits journaliers / mensuels des rivières

**Ifremer**  
-[sels nutritifs]  
-turbidité  
-T<sub>eau de mer</sub>

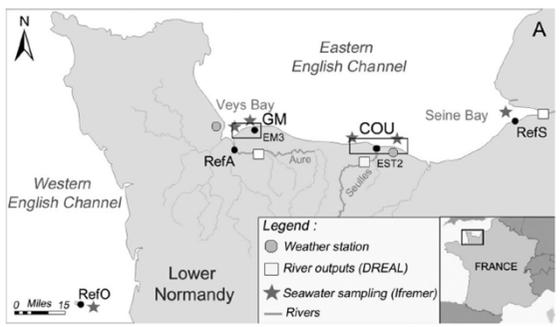
**eau SEINE NORMANDIE**  
-[sels nutritifs] rivières



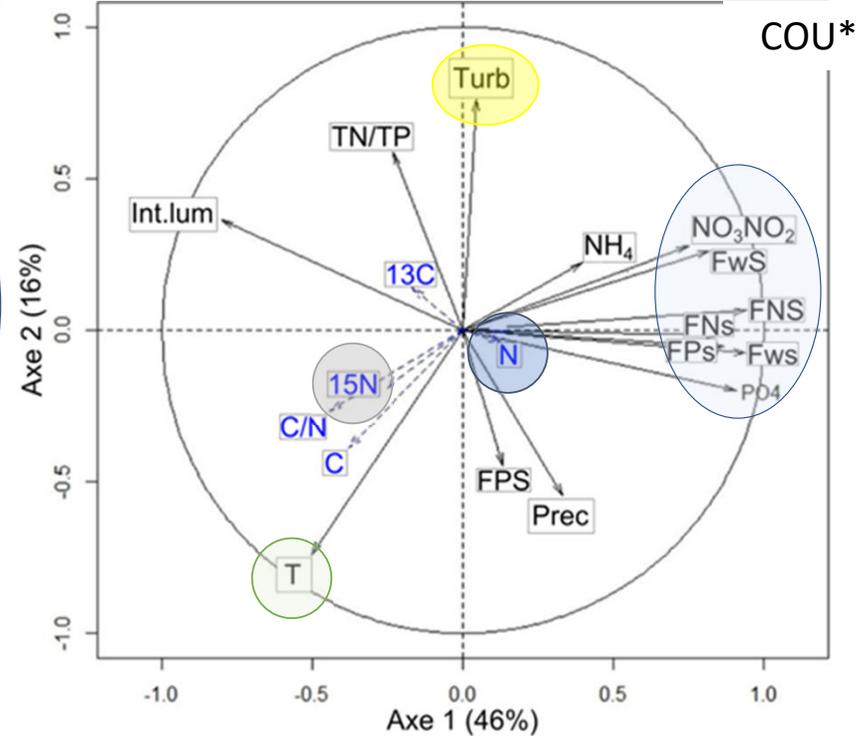
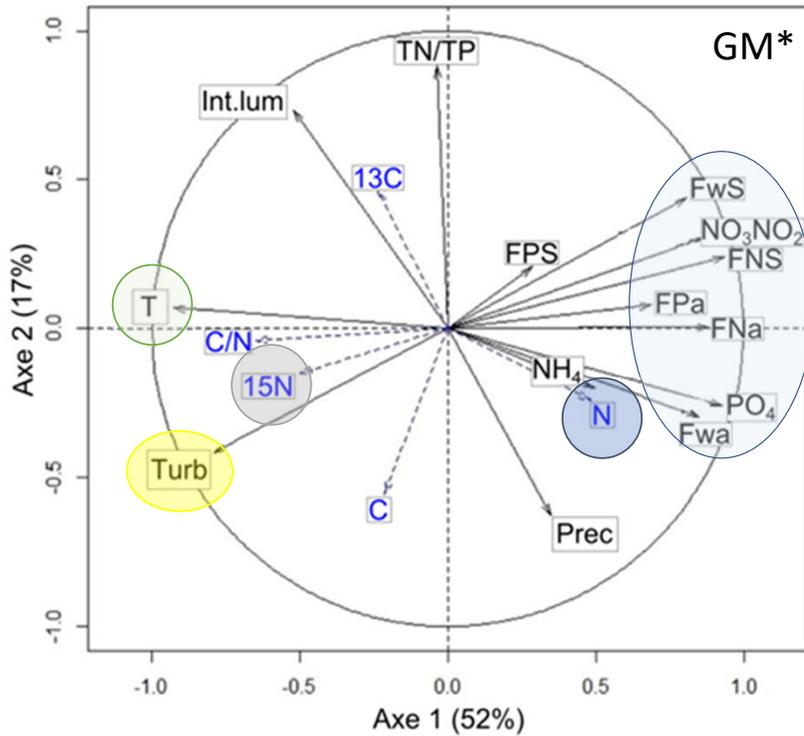
-**Axe 1** = défini par les flux d’N de la *Seine* et de l’*Aure* et  $[NO_3-NO_2]_{\text{eau de mer}}$  - Corrélation positive forte entre  $[NO_3-NO_2]_{\text{eau de mer}}$  et flux d’N de la Seine

Flux de P plutôt liés à l’*Aure*  
- s’opposent à la température et à la turbidité  
⇒ mois d’été plutôt associés à de faibles débits des rivières + faibles  $[NO_3-NO_2]_{\text{eau de mer}}$  + turbidité élevée de l’eau de mer

⇒  $\delta^{15}N_{\text{algues}}$  semble plutôt liée à la turbidité



T : Température ; Turb : Turbidité; Int. Lum. : Intensité lumineuse ; Prec : Précipitations mensuelles ; Fw : Débits moyens mensuels ; FN : Flux mensuels d’azote; FP : Flux mensuels de phosphates, S : Seine, s : Seilles ; a : Aure

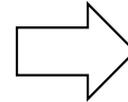
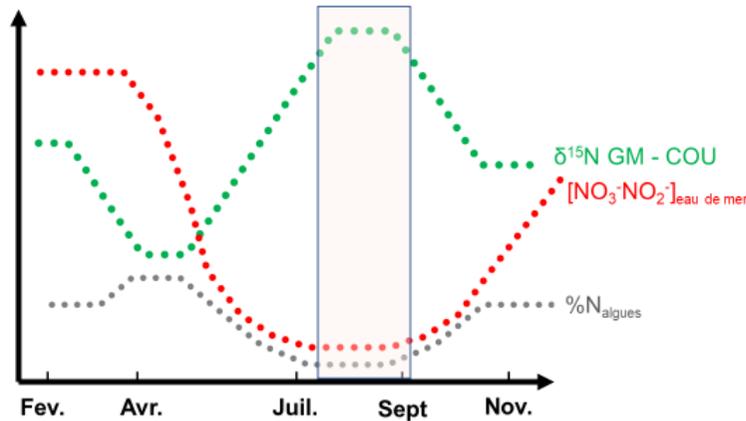


-COU\* ⇒ Même dynamique de  $[\text{NO}_3\text{-NO}_2]_{\text{eau de mer}}$  et  $[\text{PO}_4]_{\text{eau de mer}}$

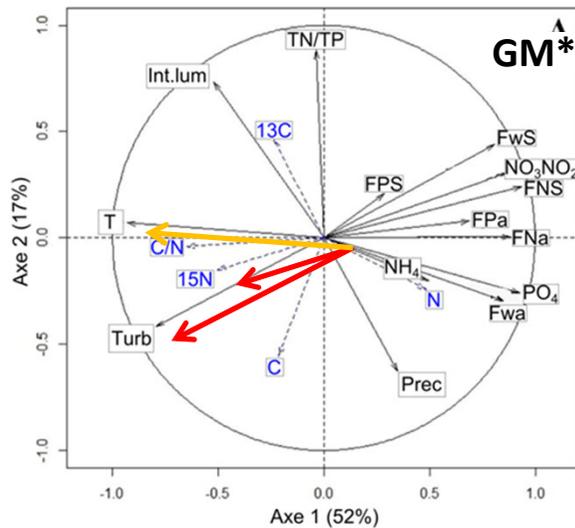
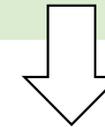
-Mais relations entre variables biologiques et paramètres physico-chimiques pas bien établies (paramètres faiblement représentés sur l'axe 1)



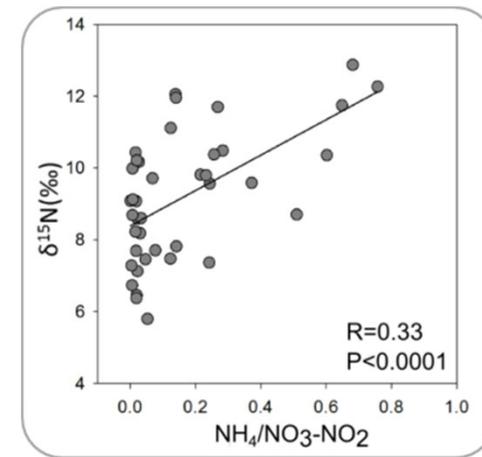
Et en fin d'été ?



Hypothèse d'une **entrée d'azote régénéré**  
 = **décomposition de la biomasse algale**  
 (turbidité?)

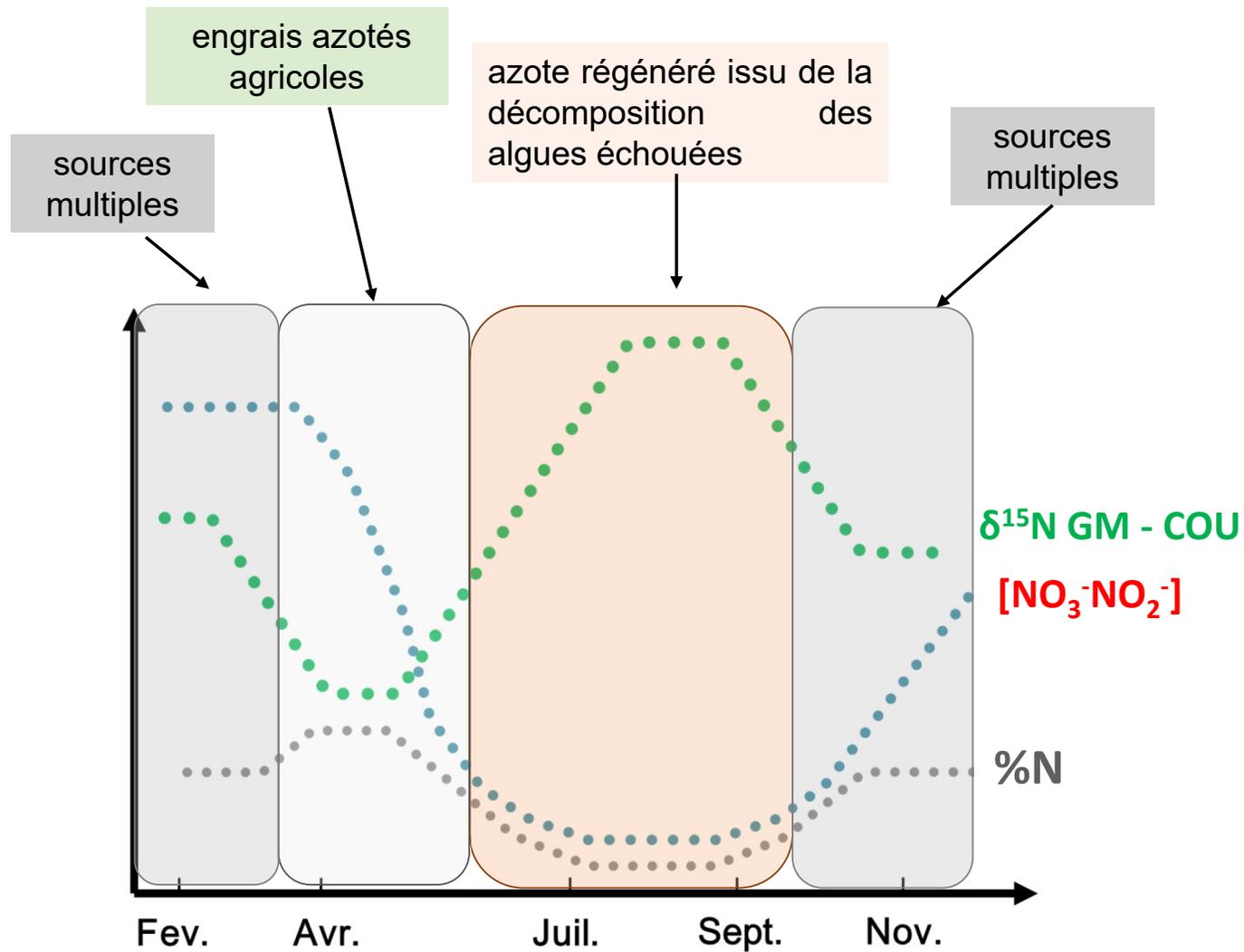


En été : Corrélation positive  $\delta^{15}\text{N}$  et turbidité

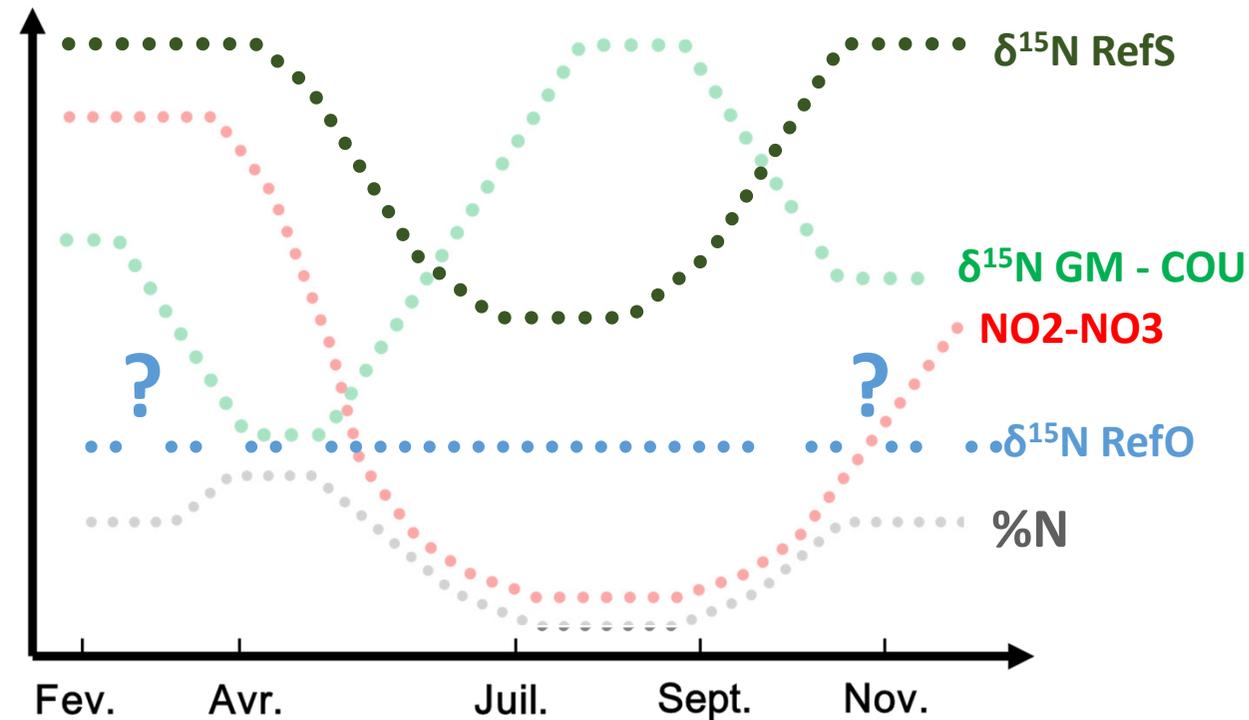


Confortée par les + fortes  $\delta^{15}\text{N}$  mesurées sur les points d'échouages (EST2 et P1)

# BILAN = Quelle source d'azote et à quelle période?



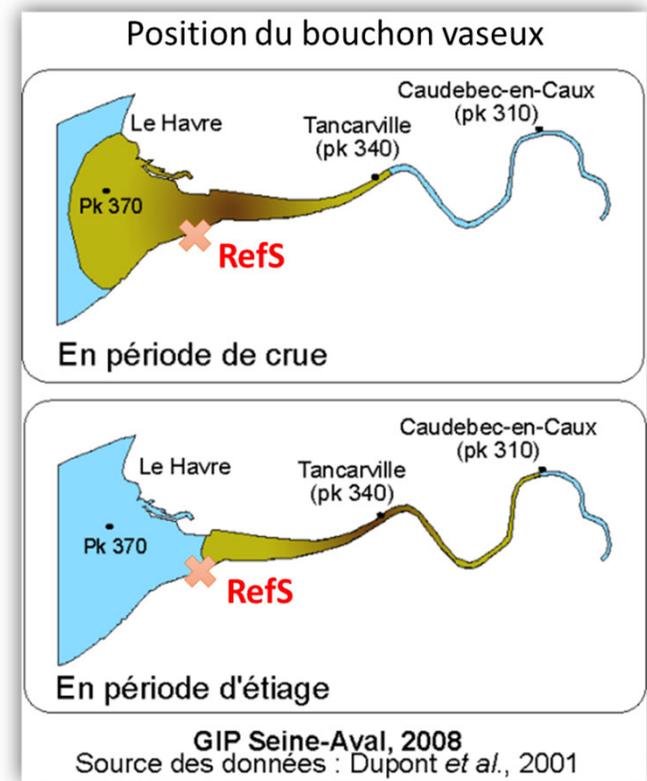
Et pour les 2 sites de référence?



RefO  $\Rightarrow$  Absence de bassin versant

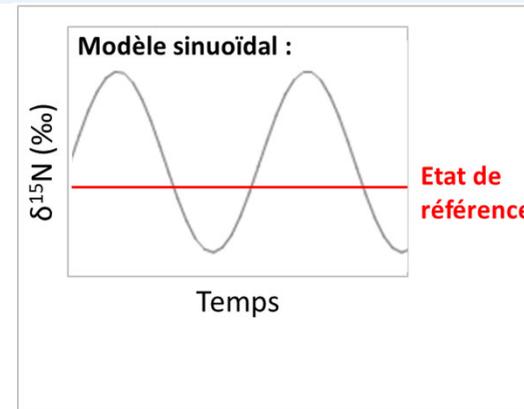
RefS  $\Rightarrow$  Saisonnalité opposée

Bouchon vaseux, siège de la dénitrification



## A l'issue de cette première étude

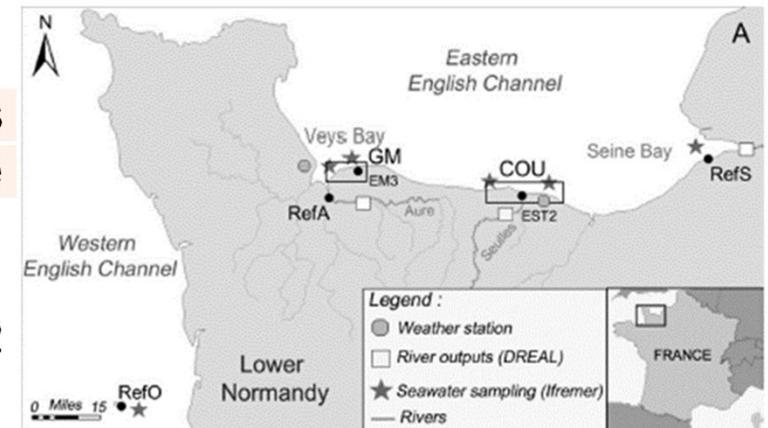
-Variation saisonnière  $\delta^{15}\text{N}$  à valider



-Difficulté à établir des relations claires entre paramètres biologiques et environnementaux en raison de l'absence ou de la faiblesse des données disponibles

-données d'échouages incomplètes

-absence de paramètres physico-chimiques propres aux 2 sites d'étude



-Lemesle S, Mussio I, Rusig AM, Menet-Nédélec F, Claquin P (2015) Impact of seaweed beachings on dynamics of  $\delta^{15}\text{N}$  isotopic signatures in marine macroalgae. *Marine Pollution Bulletin* 97: 241-254.

-Lemesle S, Erraut A, Mussio I, Rusig AM, Claquin P (2016) Dynamics of  $\delta^{15}\text{N}$  isotopic signatures of different intertidal macroalgal species: Assessment of bioindicators of N sources in coastal areas. *Marine Pollution Bulletin* 110: 470-483.

## Site atelier = Luc sur Mer



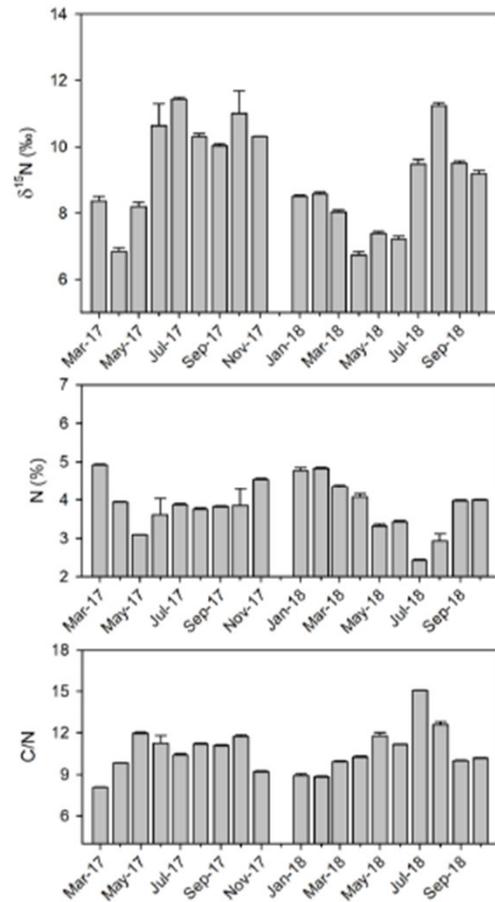
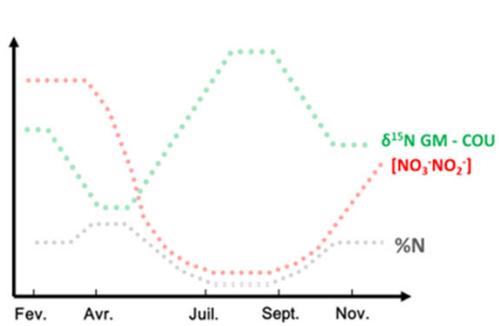
Platier de Luc-sur-mer, 2017 (BOREA)

- Station marine
- Station météorologique
- Paramètres hydrologiques (large, côte)
- Courantomètre
- Suivis à haute fréquence pendant 18 mois (98 suivis des échouages, 19 échantillonnages Ulves benthiques pour paramètres biologiques ( $\delta^{15}\text{N}$ ))

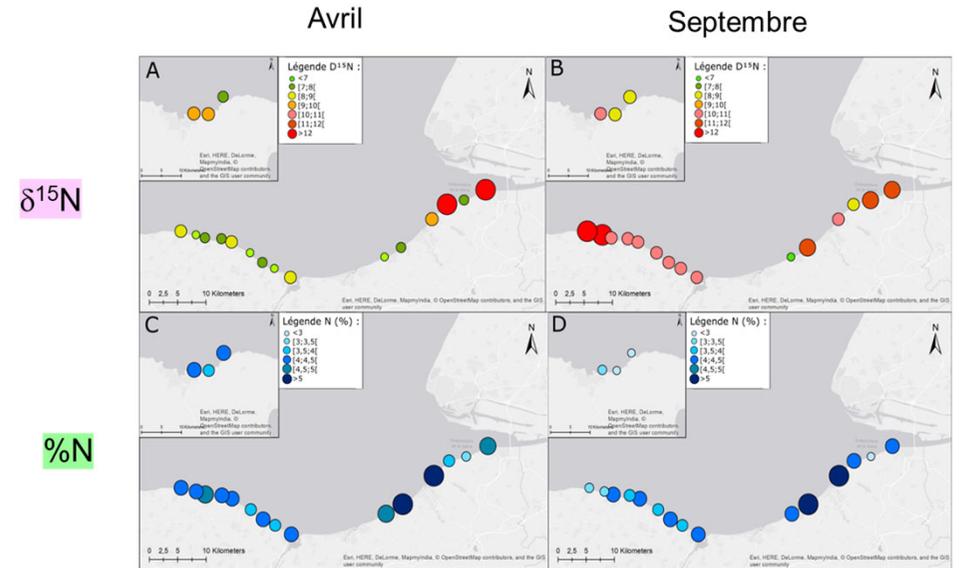


# Confirmation de la variation saisonnière des paramètres biologiques

## À Luc/Mer



## À l'échelle de la baie de Seine



Variation des valeurs moyennes en A) et B) du  $\delta^{15}\text{N}$  (en ‰) et en C) et D) du contenu en N (en %) des ulves récoltées en avril (A et C) et en septembre (B et D) le long des 6 masses d'eau côtières et de transition du bassin Seine-Normandie.

Figure 1 : Temporal variation of mean  $\delta^{15}\text{N}$  values, N content and C:N ratio in *Ulva* tissue collected at Luc-sur-Mer from March 2017 to October 2018.

# Confirmation de la source d'azote en été pour les algues du platier = Azote régénéré issu de la décomposition des algues échouées

Table 1 : Organic matter content (OM) of sediments, sea surface temperature (SST), chlorophyll a (CHLA) and dissolved oxygen (DO) concentrations in intertidal water and Orne river runoff from March 2017 to October 2018.

Date	OM (%)	SST* (°C)	CHLA <sup>a</sup> (µg/L)	DO <sup>b</sup> (mL/L)	Orne Flow <sup>b</sup> (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )
Mar-17	/	8.6	3.06	6.60	23.43
Apr-17	1.56	11.7	5.50	6.99	6.38
May-17	1.28	13.5	4.54	6.89	5.86
Jun-17	1.14	18.0	3.74	5.71	3.05
Jul-17	1.64	19.2	3.36	5.16	1.90
Aug-17	1.27	19.1	2.82	5.80	1.86
Sep-17	2.20	17.9	2.24	4.98	2.30
Oct-17	2.11	16.2	1.50	5.20	2.50
Nov-17	1.37	12.4	1.01	5.92	8.34
Dec-17	1.03	9.3	0.90	6.30	44.50
Jan-18	1.26	9.0	1.66	6.46	100.00
Feb-18	1.61	7.6	1.03	6.62	47.40
Mar-18	1.61	7.3	2.19	6.83	35.60
Apr-18	1.09	9.0	2.34	7.12	34.00
May-18	1.50	13.1	3.44	6.49	17.80
Jun-18	1.21	15.9	6.72	5.77	24.00
Jul-18	1.34	19.8	4.25	5.30	4.95
Aug-18	1.06	18.8	2.03	4.59	2.92
Sep-18	0.83	18.1	0.90	4.75	2.50
Oct-18	/	15.9	1.47	5.23	3.08

<sup>a</sup>SOMLUT data, <sup>b</sup>DREAL data.

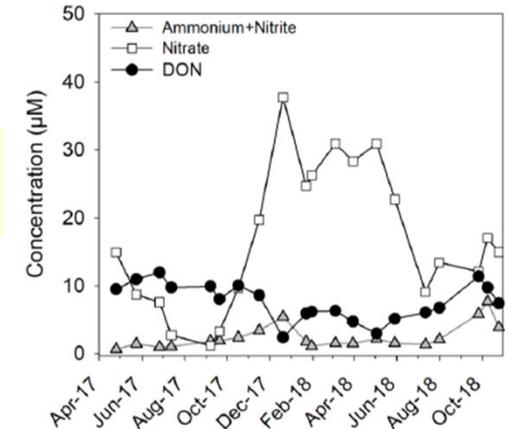
Table 2 : Mean values of the dissolved inorganic nitrogen (NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>) and dissolved organic nitrogen (DON) measured in interstitial water within the midlittoral zone at Luc-sur-Mer from June to October 2018 (+1 std. err., N=2).

Date	DON (µM) ± se	NH <sub>4</sub> (µM) ± se	NO <sub>2</sub> (µM) ± se	NO <sub>3</sub> (µM) ± se
22/6/18	31,77 1,78	50,54 0,26	0,18 0,012	2,19 0,07
28/6/18	12,12 0,67	10,20 0,87	0,31 0,024	4,01 0,52
17/7/18	12,97 0,74	40,83 0,17	0,40 0,070	3,53 0,39
24/7/18	24,13 3,09	60,40 8,47	0,39 0,003	0,73 0,08
3/8/18	23,71 3,22	25,12 7,99	0,60 0,002	6,09 0,17
9/8/18	42,70 9,96	49,57 0,66	0,28 0,034	1,06 0,06
16/8/18	18,60 4,23	8,72 1,01	2,52 0,122	83,11 3,11
24/8/18	11,28 1,19	41,41 3,20	0,24 0,007	3,23 0,78
28/8/18	26,07 1,80	56,36 2,36	0,28 0,068	3,23 1,35
21/9/18	29,79 1,77	53,10 2,98	0,45 0,021	2,64 0,52
5/10/18	34,82 0,32	73,94 2,87	0,18 0,011	1,41 0,06
15/10/18	16,25 1,18	59,18 12,98	0,50 0,366	24,94 20,62
23/10/18	11,03 0,25	16,61 2,42	0,18 0,045	1,12 0,57

Paramètres biotiques et abiotiques de l'intertidal (sédiment et eau de mer) ⇒

Evolution temporelle des DIN et DON de l'intertidal ⇒

⇒ [DON] intertidal élevées en été et en fin d'été



Relations paramètres biotiques et abiotiques ↓

Factors	Spearman correlations		Linear correlations		
	rho	p-value	R	p-value	equation
Wrack vs. OM	-0,16	0,527			
Wrack vs. DO	-0,72	0,0001	0,59	<0,001	O=6,52-(0,42xWrack)
Wrack vs. SST	0,69	0,0006	0,57	<0,001	Wrack=-2,12+(0,25xSST)
DO vs. SST	-0,77	<0,0001			
CHLA vs. DO	0,24	0,29			
δ <sup>15</sup> N vs. DON/DIN	0,62	0,005	0,32	0,018	δ <sup>15</sup> N=8,37+(0,93xDON/DIN)
N vs. DIN	0,47	0,047	0,16	0,09	
N vs. DON	-0,09	0,692			
DIN vs. Orne Flow	0,85	<0,0001	0,40	0,004	DIN=13,67+(0,28xFlow)
DON vs. Orne Flow	-0,70	<0,001			

DIN et DON dans l'eau interstitielle ⇒

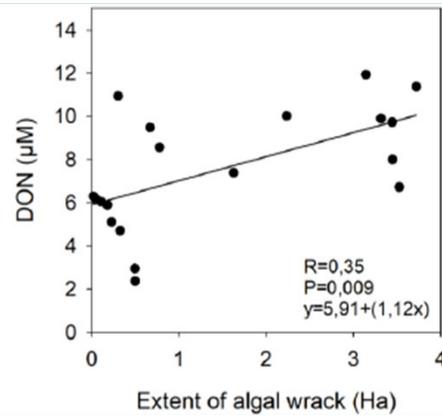
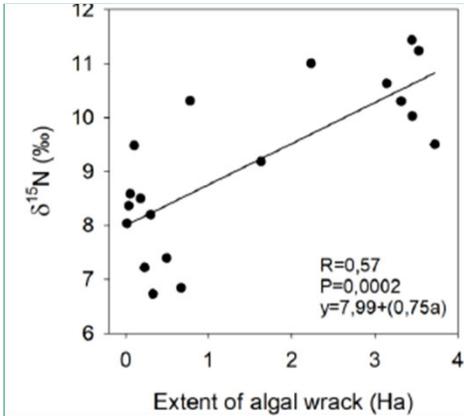
⇒ Pas de tendance claire mais DON -NH<sub>4</sub> > NO<sub>3</sub> - NO<sub>2</sub> sauf exceptions (août et octobre)

⇒ corrélation positive entre rapport DON/DIN<sub>intertidal</sub> et δ<sup>15</sup>N *Ulva* --  
 ⇒ corrélation positive entre DIN et débit de l'Orne (linéaire) et négative entre DON et débit Orne

Mise en évidence de relations significatives entre .....

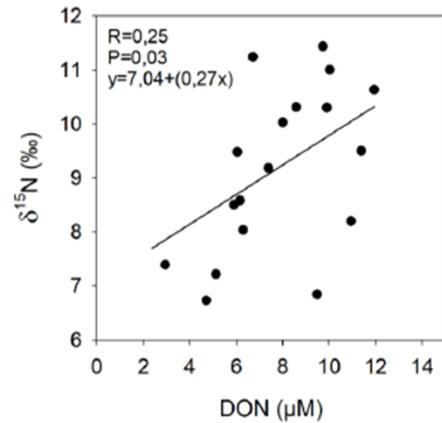
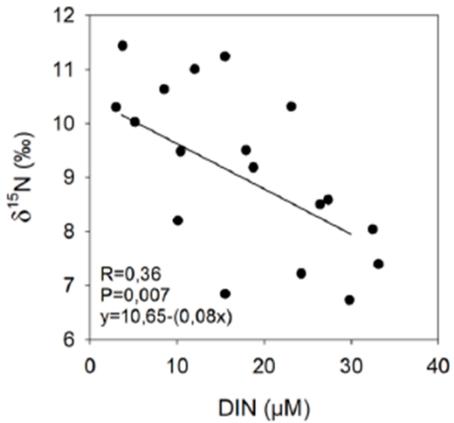
$\delta^{15}\text{N}_{Ulva}$  et échouages

$[\text{DON}_{\text{intertidal}}]$  et échouages

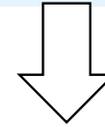


$\delta^{15}\text{N}_{Ulva}$  et  $[\text{DIN}_{\text{intertidal}}]$

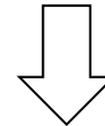
$\delta^{15}\text{N}_{Ulva}$  et  $[\text{DON}_{\text{intertidal}}]$



Décomposition des algues échouées



Accumulation des DON dans le sédiment



↗  $\delta^{15}\text{N}$  Ulves

Confirmée par étude *in vitro* (enrichissement jus d'algues)

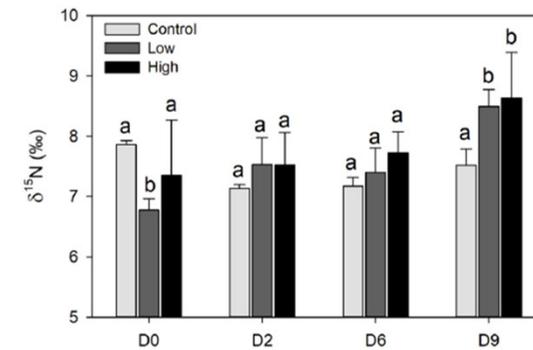


Figure 4 : Variation of the *Ulva*  $\delta^{15}\text{N}$  tissue incubated for 0, 2, 6 and 9 days in low and high algal based nutritive solution and with unenriched seawater (control).

## De nouvelles questions.....



### Rôle des DON dans la croissance des algues benthiques?

- Prendre en compte les DON pour mieux évaluer l'azote disponible pour les producteurs primaires
- Considérer le sédiment comme un réservoir d'azote
- Mieux comprendre les voies de production des DON et leur relargage dans la colonne d'eau

-**Lemesle S**, Rusig AM, Mussio I (2023) Local scale high frequency monitoring of seaweed strandings along an intertidal shore of the English Channel (Luc-sur-Mer, Normandy France) – Effect of biotic and abiotic factors. *Aquatic Botany* 186 : 103606.

-**Lemesle S**, Rusig AM, Clauquin P, Mussio I (2023) Seaweed beachings decomposition, an endogenous source of nitrogen for benthic seaweeds on rocky shores? An *in situ* and *in vitro* approaches. *Soumis Marine Pollution Bulletin* – Septembre 2023