

Les excès de nitrates dans les eaux,
avec quelles conséquences pour les eaux littorales ?

Pierre Aurousseau

Professeur à Agrocampus-Ouest

Président du Conseil Scientifique de l'Environnement de Bretagne

En guise de préambule : retour sur azote et nitrate

Le nitrate est la forme dominante de l'azote dans les eaux oxygénées

N : l'azote a pour masse atomique 14 g

NO_3^- : le nitrate a pour masse molaire 62 g

Pour passer d'une quantité d'azote à une quantité de nitrate,
il faut multiplier par $62/14 = 4,428$

Les flux sont toujours exprimés en N par convention
et donc un flux sortant annuel de 75 000 tN
correspond à 332 000 tonnes de nitrates

En guise de préambule : retour sur azote et nitrate

Les océanographes n'expriment pas les concentrations en mg/L mais en mmoles ou μmoles

ce qui a un avantage : la quantité en mmoles ou en μmoles est indépendante de la forme chimique (N, NO_3^- , NH_4^+ , Norg...)

1000 μmoles d'azote correspondent à 62 mg/L de nitrate

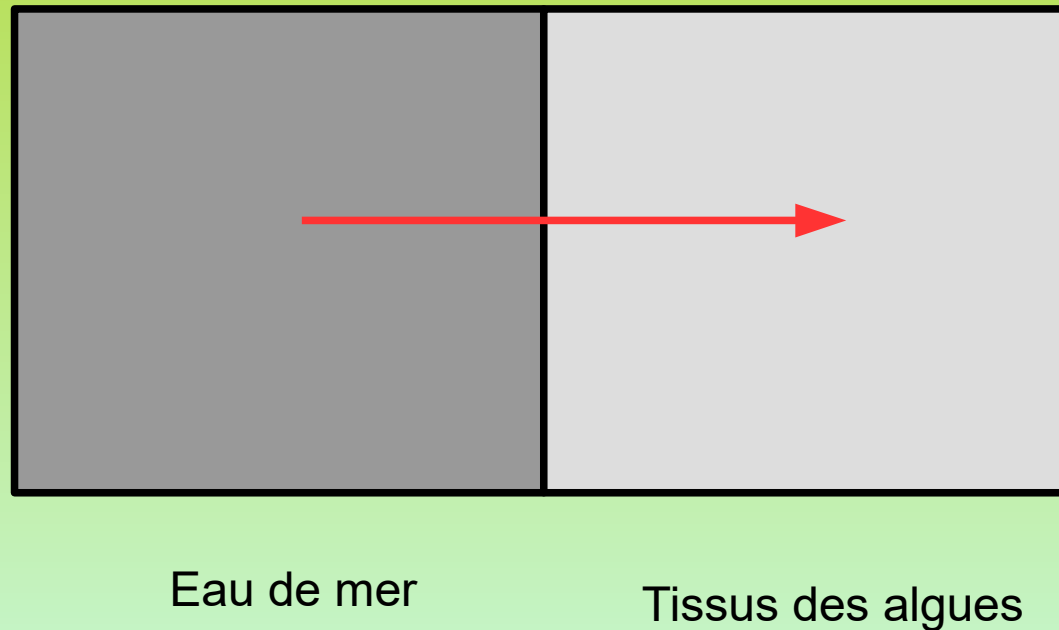
Dans ce qui suit, on va simplifier et dire :

qu'une rivière à 60 mg/L de nitrate contient 1000 μmoles d'azote

qu'une rivière à 30 mg/L de nitrate contient 500 μmoles d'azote

L'eutrophisation à macro-algues : les marées vertes

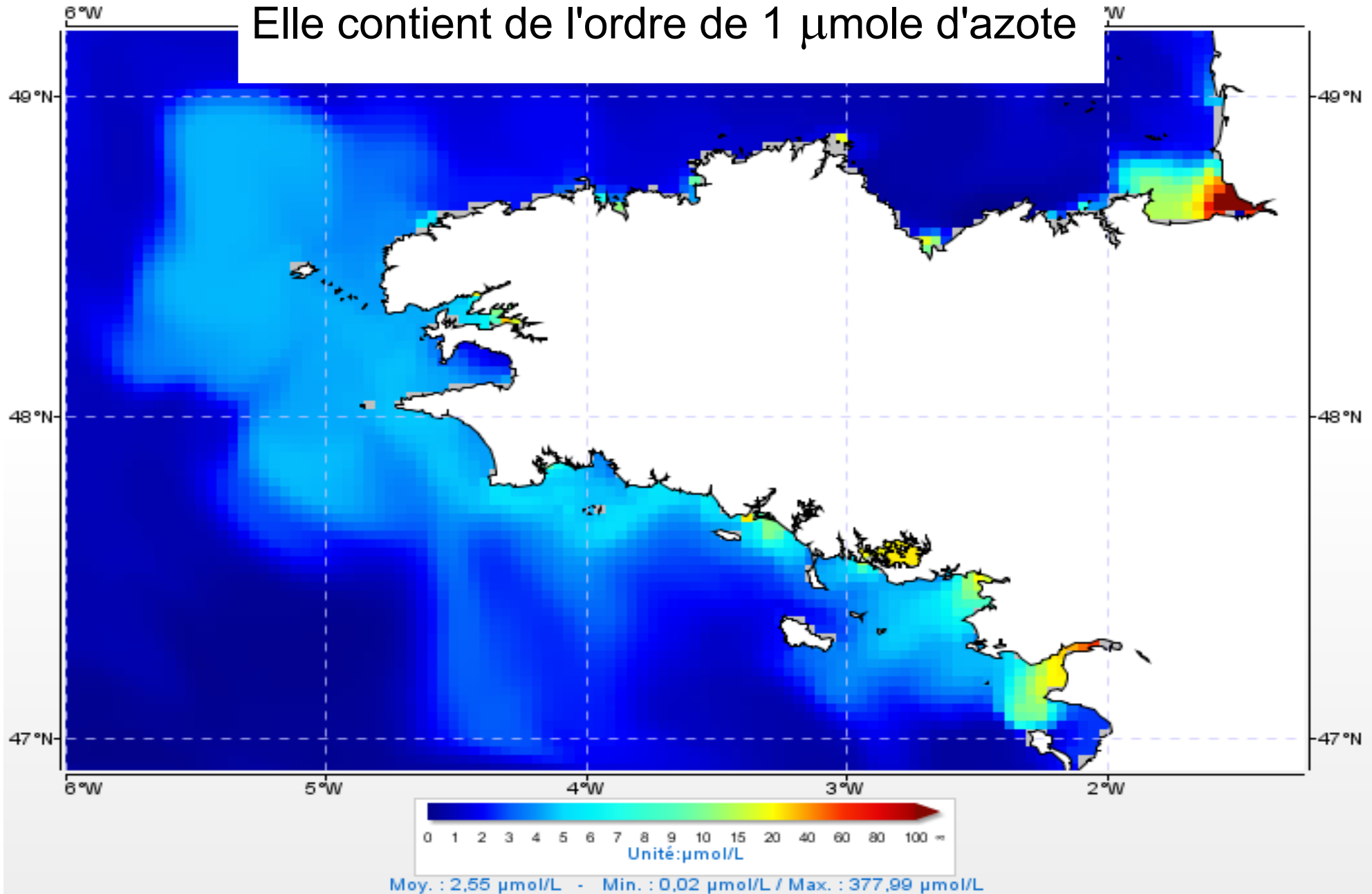
A l'exutoire d'une rivière ou d'un fleuve où les concentrations en azote sont de 500 ou 1000 μmoles ces concentrations sont suffisamment élevées pour permettre le développement des algues vertes.



La concentration dans l'eau de mer est **suffisante** pour que l'azote diffuse de l'eau de mer vers le tissu de l'algue

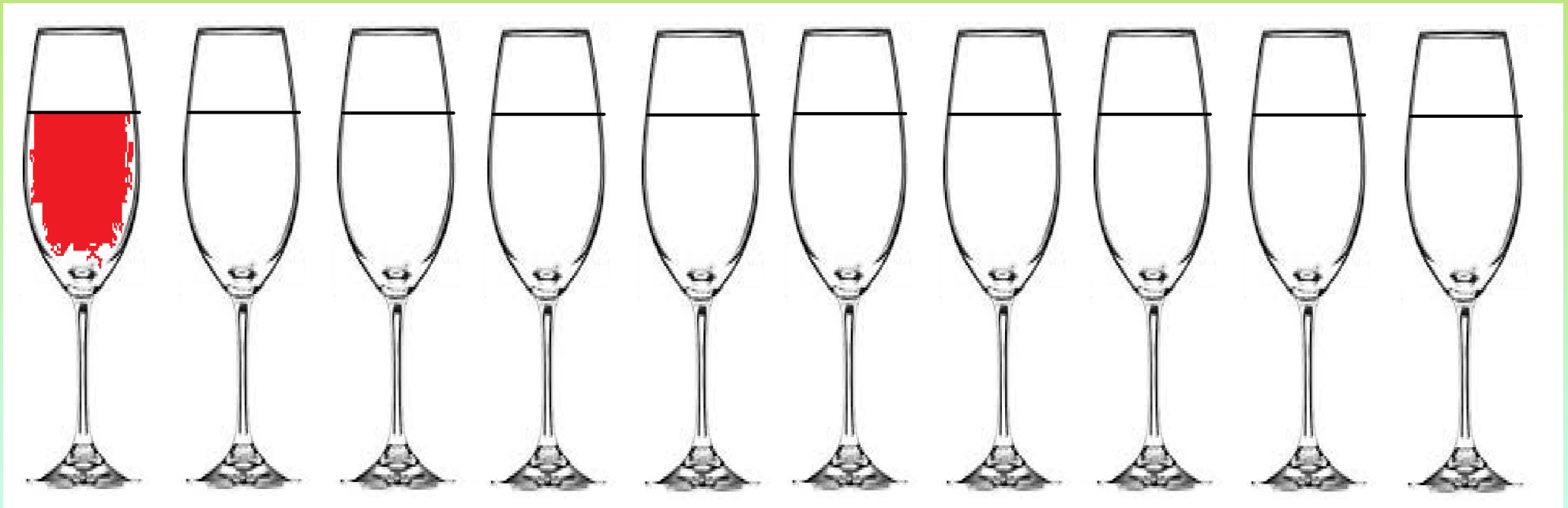
L'eutrophisation à macro-algues : les marées vertes

L'eau de mer est naturellement oligotrophe
Elle contient de l'ordre de $1 \mu\text{mole}$ d'azote

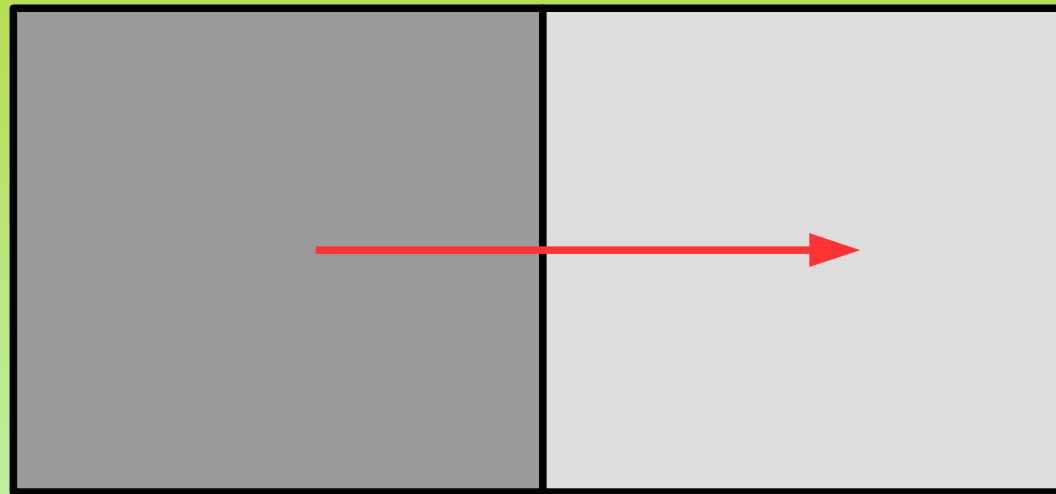


L'eutrophisation à macro-algues : les marées vertes

Si je dilue d'un facteur 10
une eau de rivière contenant 1000 μmoles d'azote
dans une eau de mer contenant 1 μmole d'azote
la concentration finale obtenue sera de 100 μmoles d'azote
soit 6 mg/L de nitrate, concentration suffisante
pour le développement des algues vertes



L'eutrophisation à macro-algues : les marées vertes



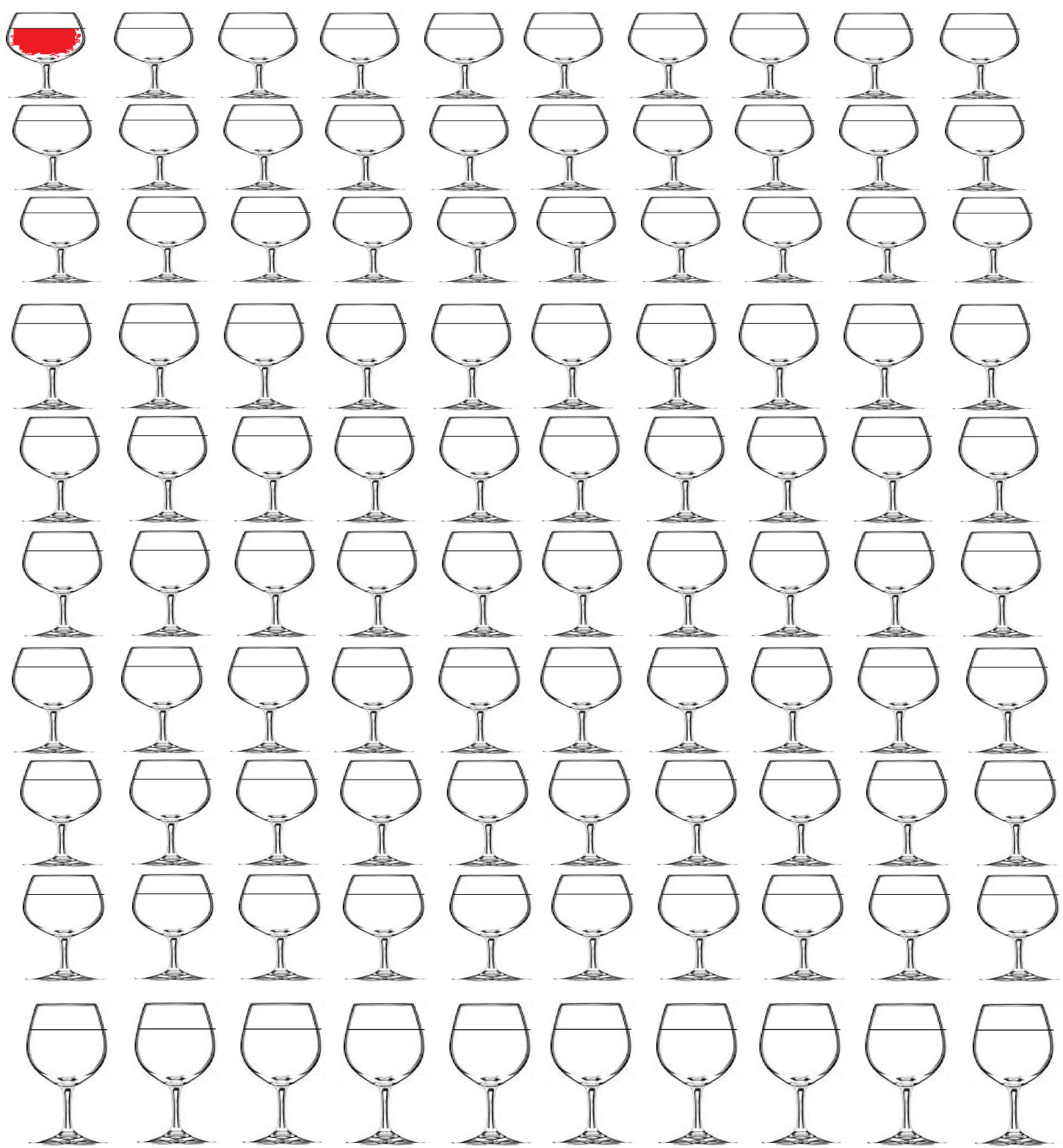
Eau de mer

Tissus des algues

La concentration a été diluée d'un facteur 10 mais la concentration dans l'eau de mer est **suffisante** pour que l'azote diffuse de l'eau de mer vers le tissu de l'algue

L'eutrophisation à macro-algues : les marées vertes

Par contre si je dilue d'un facteur 100
une eau de rivière contenant 1000 μmoles d'azote
dans une eau de mer contenant 1 μmole d'azote
la concentration finale obtenue sera de 10 μmoles d'azote
soit 0,6 mg/L de nitrate, concentration insuffisante
pour le développement des algues vertes



L'eutrophisation à macro-algues : les marées vertes



Eau de mer

Tissus des algues

La concentration dans l'eau de mer est **insuffisante** pour que l'azote diffuse de l'eau de mer vers le tissu de l'algue

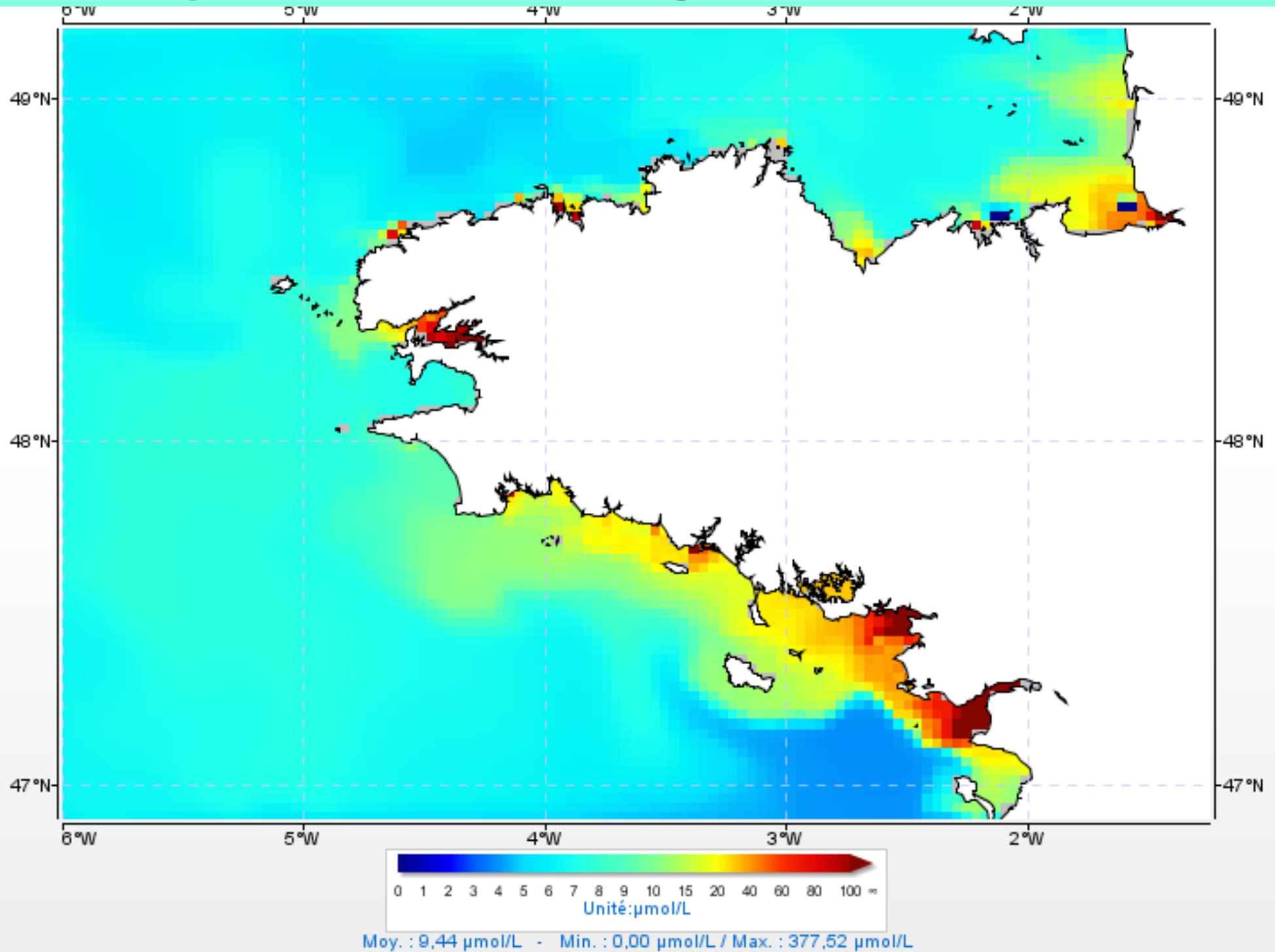
L'eutrophisation à macro-algues : les marées vertes

La concentration finale obtenue sera de $10 \mu\text{moles}$ d'azote soit $0,6 \text{ mg/L}$ de nitrate, concentration insuffisante pour le développement des algues vertes

A partir de là, on comprend pourquoi le phénomène des marées vertes est un phénomène local qui se produit à proximité immédiate des exutoires sur les plages qui commence et finit souvent à l'exutoire même des fleuves

Alors que plus au large, des concentrations de 10 ou $5 \mu\text{moles}$ d'azote seront suffisantes pour déclencher des phénomènes d'eutrophisation à phytoplancton

L'eutrophisation à macro-algues : les marées vertes



L'eutrophisation à macro-algues : les marées vertes

micromoles de N		1		10		100		500		1000
mg/L de NO ₃		0,06		0,6		6		30		60
Taux de dilution		1000		100		10		2		1

Rivières et fleuves

Estuaires et plages à marées vertes

Panaches des fleuves

Blooms phytoplanktoniques

Mer bretonne enrichie en N

Pendant l'hiver

Mer bretonne oligotrophe

Eutrophisation à macro-algues : les marées vertes

Décomposition aérobie (en présence d'oxygène) ou minéralisation		Décomposition anaérobie (en absence d'oxygène)
CO_2	C	CH_4
H_2O	H	
	O	H_2O
NO_3^-	N	NH_3 ou NH_4^+
SO_4^{2-}	S	H_2S
H_3PO_4	P	H_3PO_4

Eutrophication à macro-algues : les marées vertes



Les marées vertes en Chine



Les marées vertes en Chine

Les marées vertes en Chine sont dues à une algue verte filamenteuse qui vit aussi chez nous anciennement appelée *Enteromorpha*

Mais des analyses génétiques ont démontré qu'elle était très proche génétiquement d'*Ulva lactuca* (*armoricana*) bien qu'elle soit morphologiquement très différente.

Le genre *Enteromorpha* a été supprimé et cette algue a été introduite dans le genre *Ulva* avec le nom d'espèce *Ulva prolifera*

Les marées vertes en Chine

Avec *Ulva prolifera*, il y a bien production de sulfure d'hydrogène mais jamais apparemment avec des concentrations mortelles

Car à cause de la morphologie filamenteuse l'oxygène parvient toujours à s'infiltrer dans le tas d'algue

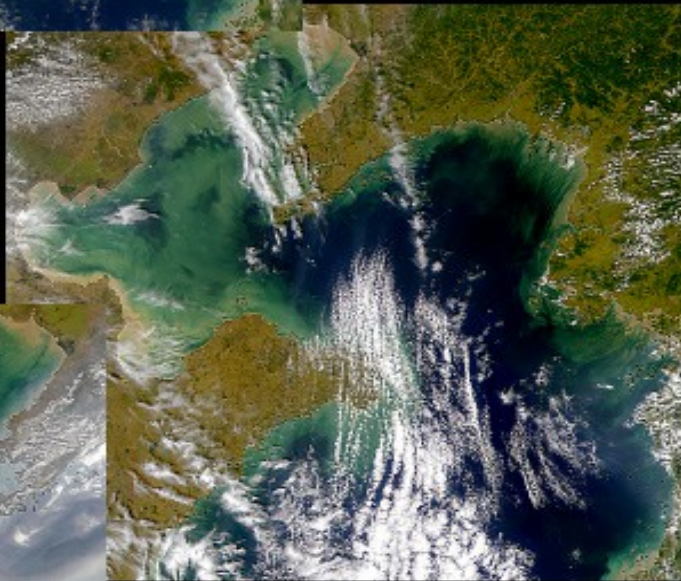
Et le sulfure d'hydrogène produit parvient toujours à s'évacuer du tas d'algue

Eutrophisation des eaux littorales en Chine

Bloom in Bohai Sea



September 16, 1998



September 22, 1998



September 27, 1998

La Mer de Bohai et la presqu'île du Shandong sont simultanément le siège de phénomènes d'eutrophisation à phytoplancton et à macro-algues

Eutrophisation des eaux littorales en Chine



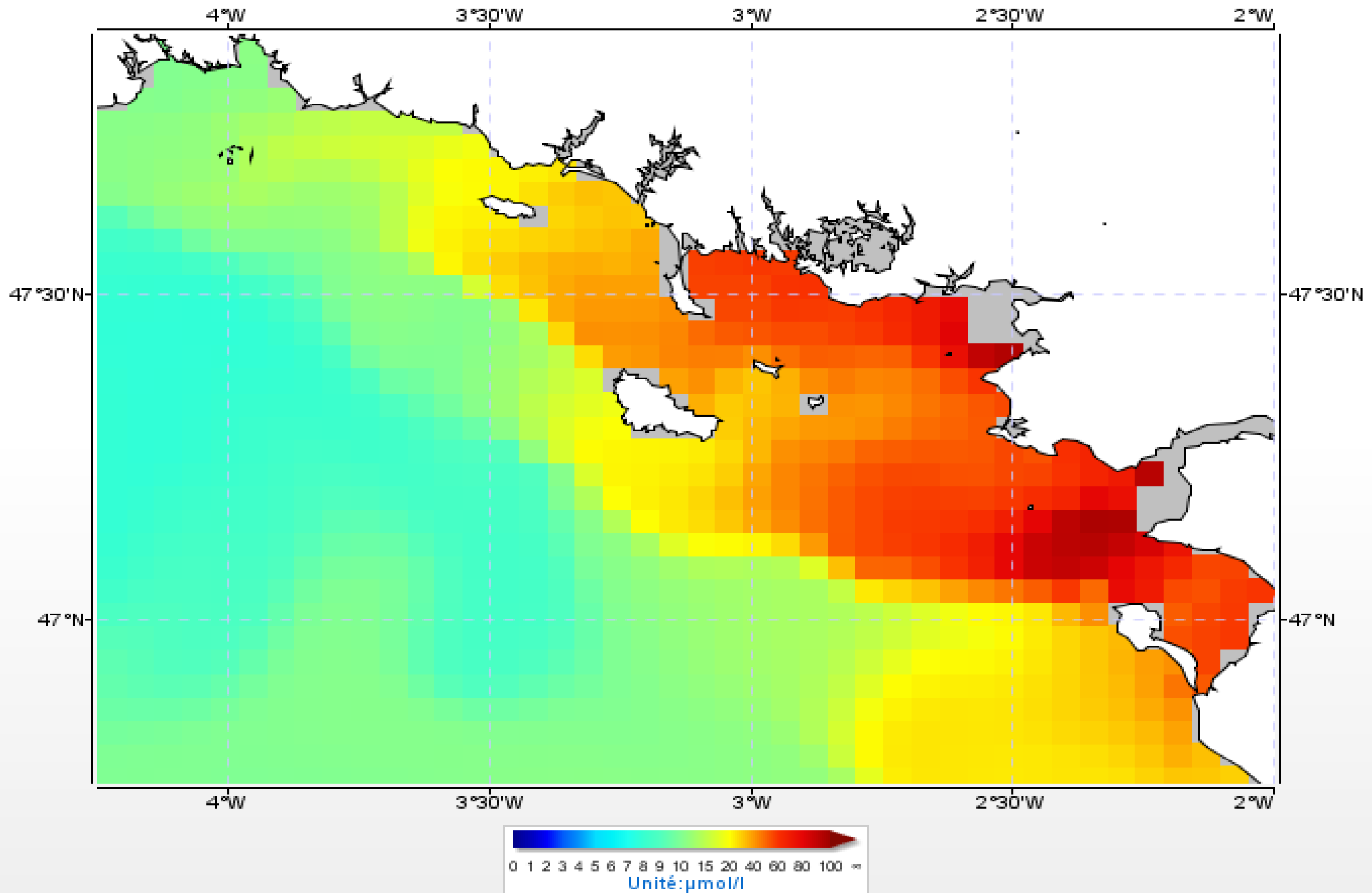
Eutrophisation à phytoplancton : eaux brunes



Photo Yves Le Médec pour Phenomer

Eutrophisation à phytoplancton : eaux brunes

Nitrate simulé en surface
le 13/03/2015 mise à jour du 15/03/2015 15h38



Eutrophisation à phytoplancton : eaux rouges



La Trinité sur Mer le 3 juillet 2014 : **marée rouge à Noctiluca Scintillans**

Eutrophisation à phytoplancton : eaux rouges



**Bloom (marée rouge)
à *Noctiluca Scintillans***

Eté 2013

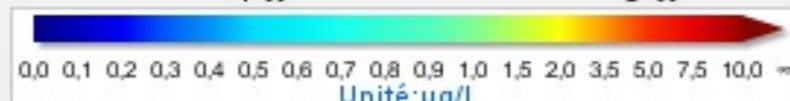
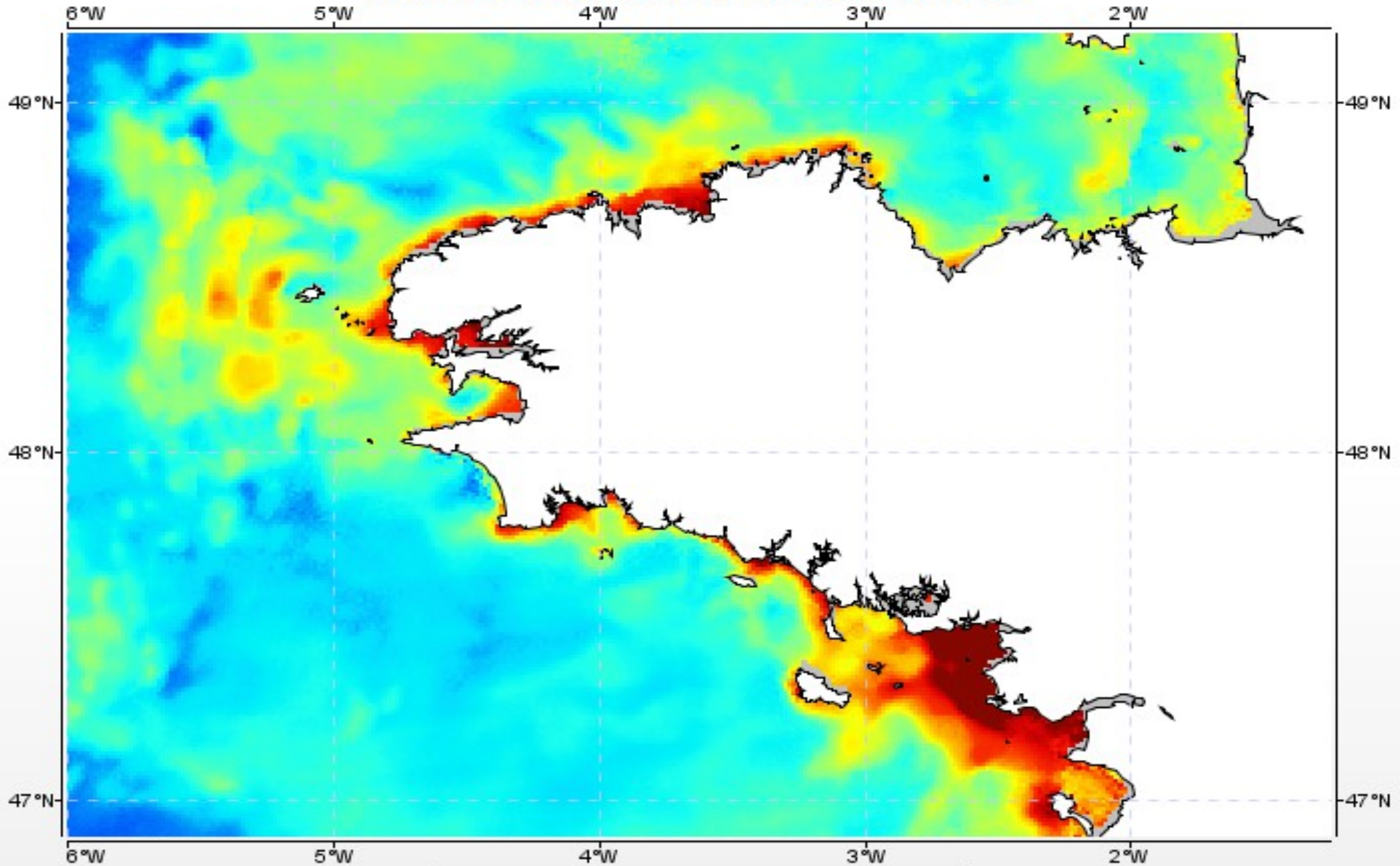
Presqu'île de Rhuys

Photo P Arousseau pour Phenomer

Eutrophisation à phytoplancton : eaux rouges

Observation satellite analysee de chlorophylle-a (5 derniers jours)

le 17/07/2013 (heure légale) mise à jour du 01/08/2013 20h45



Eutrophisation à phytoplancton : eaux vertes



Yves le Medec - Minyvel Environnement 2014

Préfailles - 1er Août 2014 : **Eau colorée à *Lepidodinium Chlorophorum***

Eutrophisation à phytoplancton : eaux vertes



La Plaine-sur-mer , 1er Août 2014 : **Eau colorée à *Lepidodinium Chlorophorum***

Eutrophisation à phytoplancton : eaux vertes



La Turbale, été 2014 :

Eau colorée

à *Lepidodinium Chlorophorum*

Photo : Ludovic Noisette
pour Phenomer

Anoxie des eaux



La Turbale, été 2014 :

Eau colorée à

Lepidodinium Chlorophorum

Photo : Ludovic Noisette
pour Phenomer

Anoxie des eaux



Vendée, été 2014

(Saint-Jean de Monts) :

Eau colorée à

Lepidodinium Chlorophorum

« Il y avait des vagues de boucaux morts, de crevettes, de crabes, de pignons... Tous morts. Avec une odeur, je ne vous dis pas ».

« ça sentait le poisson mort à plusieurs kilomètres à la ronde ».

« j'y suis retourné et là c'était triste à voir. Il y avait des centaines de kilos, voire des tonnes de crustacés morts, que la mer ramenait par brassées à chaque vague. La plage à marée haute était impraticable... »

Lepidodinium Chlorophorum est un dinoflagellé autotrophe.

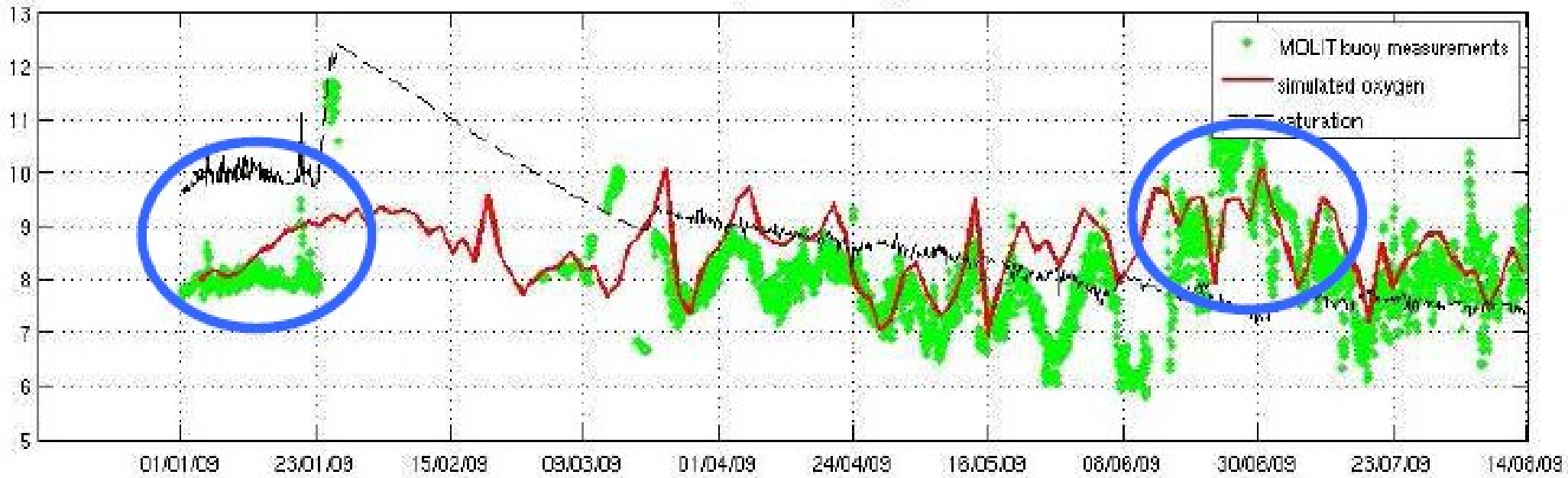
Son bloom fait suite à un épuisement en silice de la colonne d'eau après un bloom primaire de diatomées.

Hypoxie et/ou anoxie suivent le bloom de Lepidodinium.

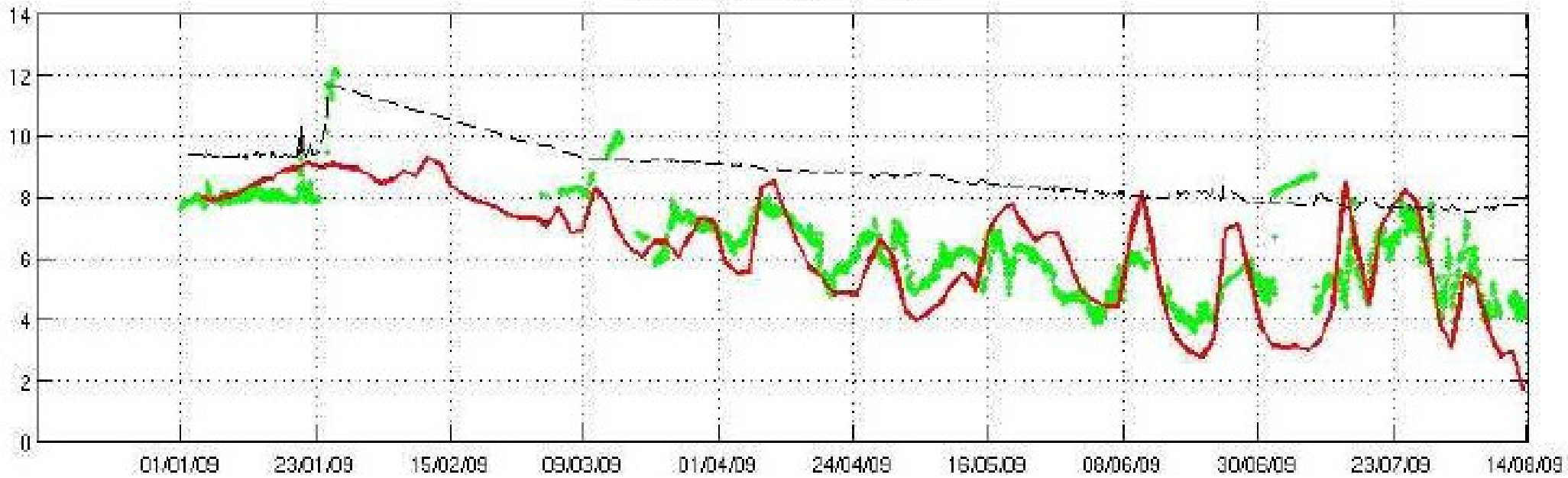
La bouée MOLIT a bien enregistré le bloom du début juillet.

Anoxie des eaux

Vilaine bay surface oxygen



Vilaine bay bottom oxygen



Dystrophie

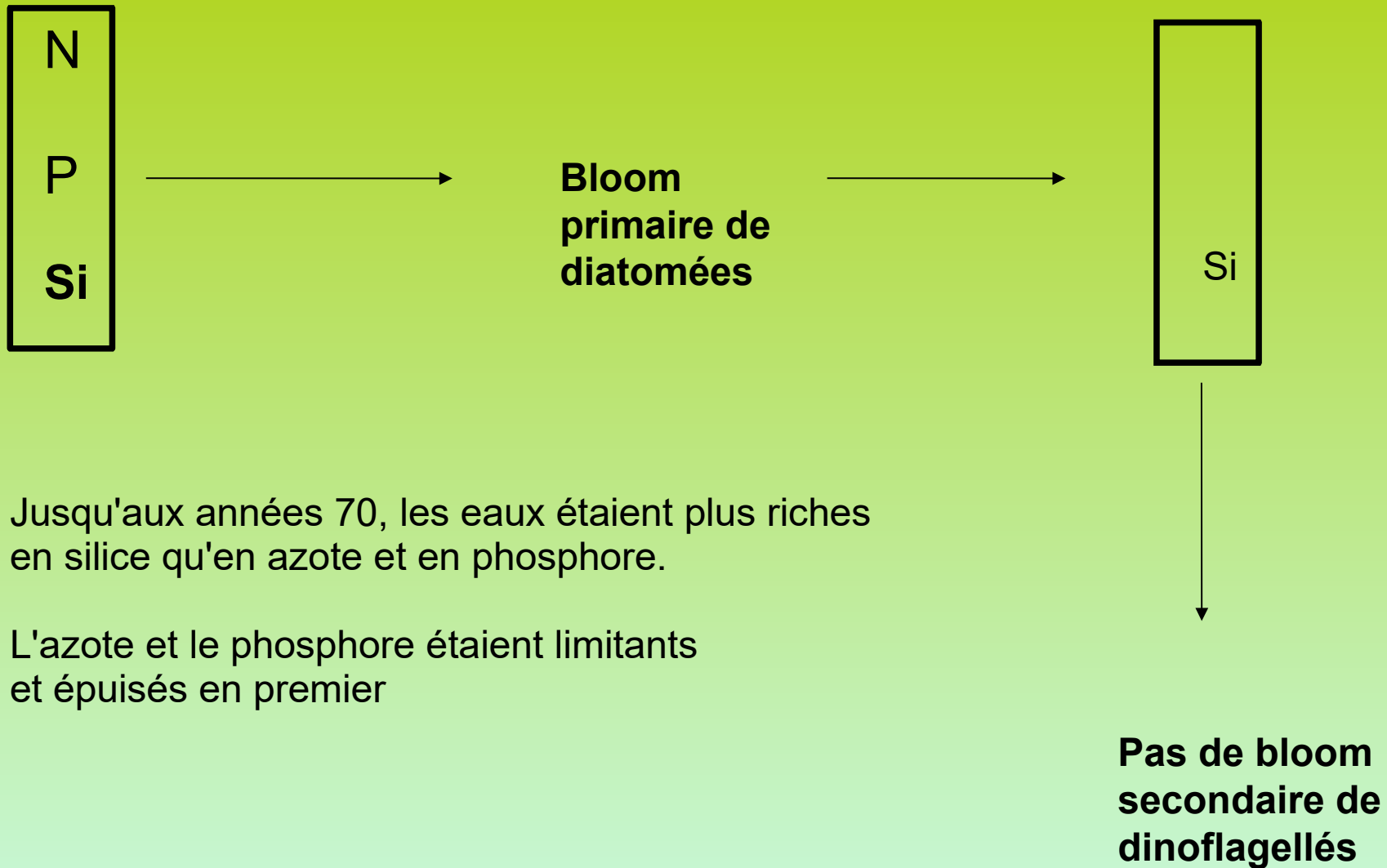


**Bloom
primaire de
diatomées**



**Bloom
secondaire de
dinoflagellés
comme *Lepidodinium*
*Chlorophorum***

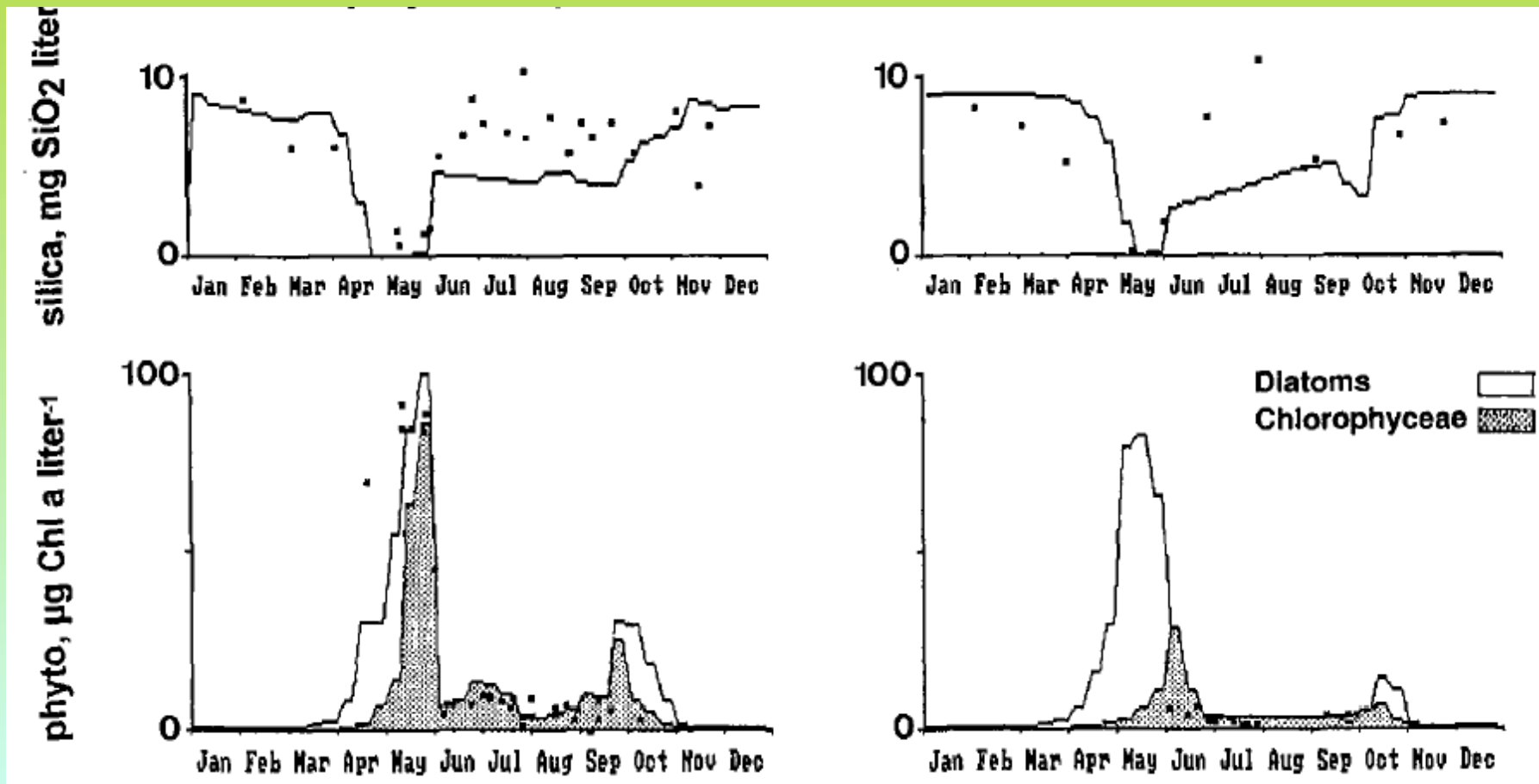
Dystrophie



Dystrophie

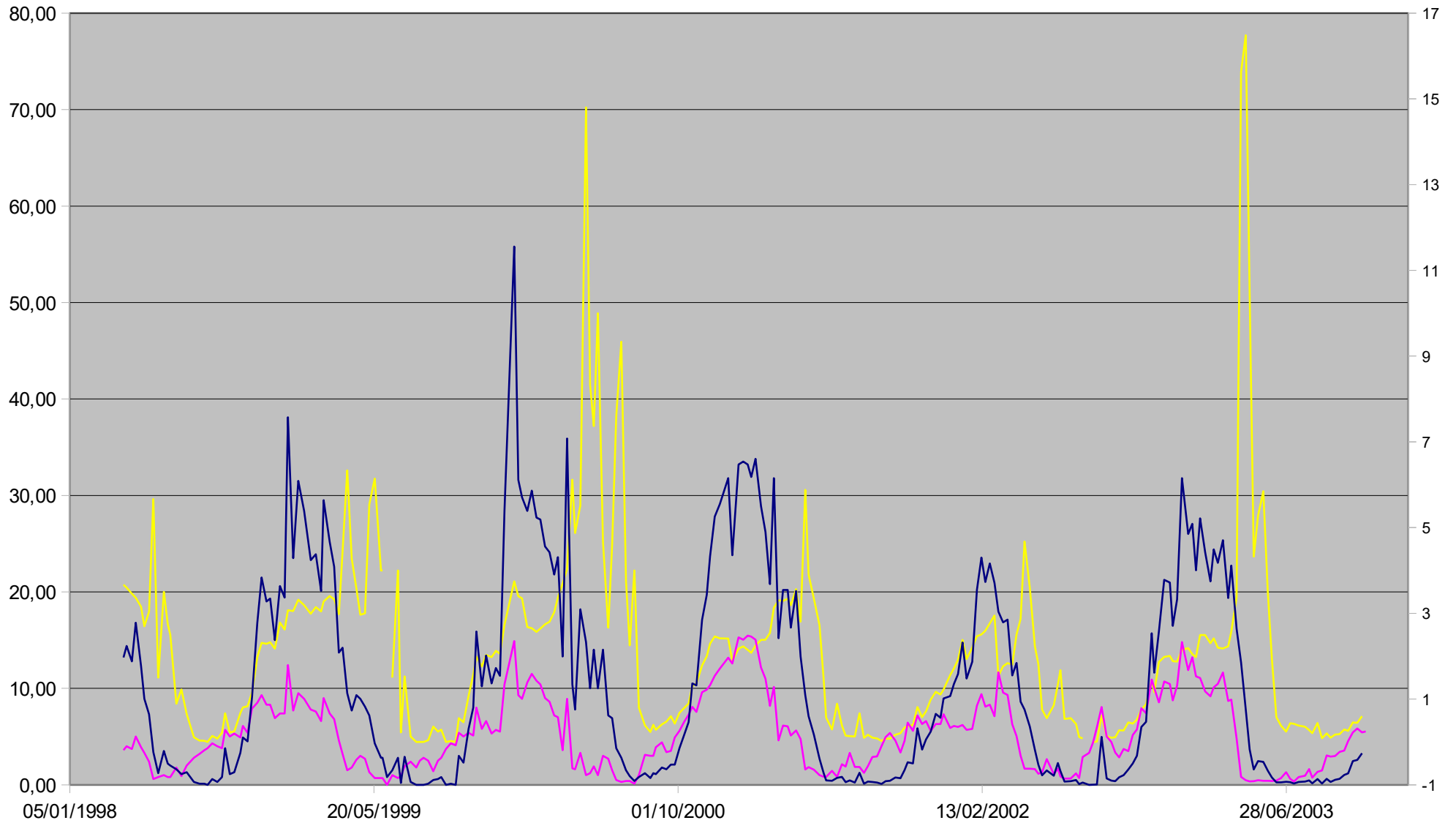
Les déséquilibres de la composition chimique des eaux côtières consécutifs aux blooms de diatomées
déséquilibres dénommés « dystrophies phytoplanctoniques »

L'épuisement en silice des eaux côtières consécutif aux blooms de diatomées



Dystrophie

— NO3(μM) — SiO4(μM) — RAPPORT N:SI



Dystrophie

	Azote	Silice	Rapport N/Si
	micromoles /L	micromoles /L	
Eaux de la Vilaine au début des années 70	100	150 – 200	0,5 – 0,66
Eaux de la Vilaine aujourd'hui	400 – 500	150 – 200	2 – 3,33
Mesures de la bouée Molit	35 – 55	15	2,33 – 3,66

Dystrophie



Dystrophie

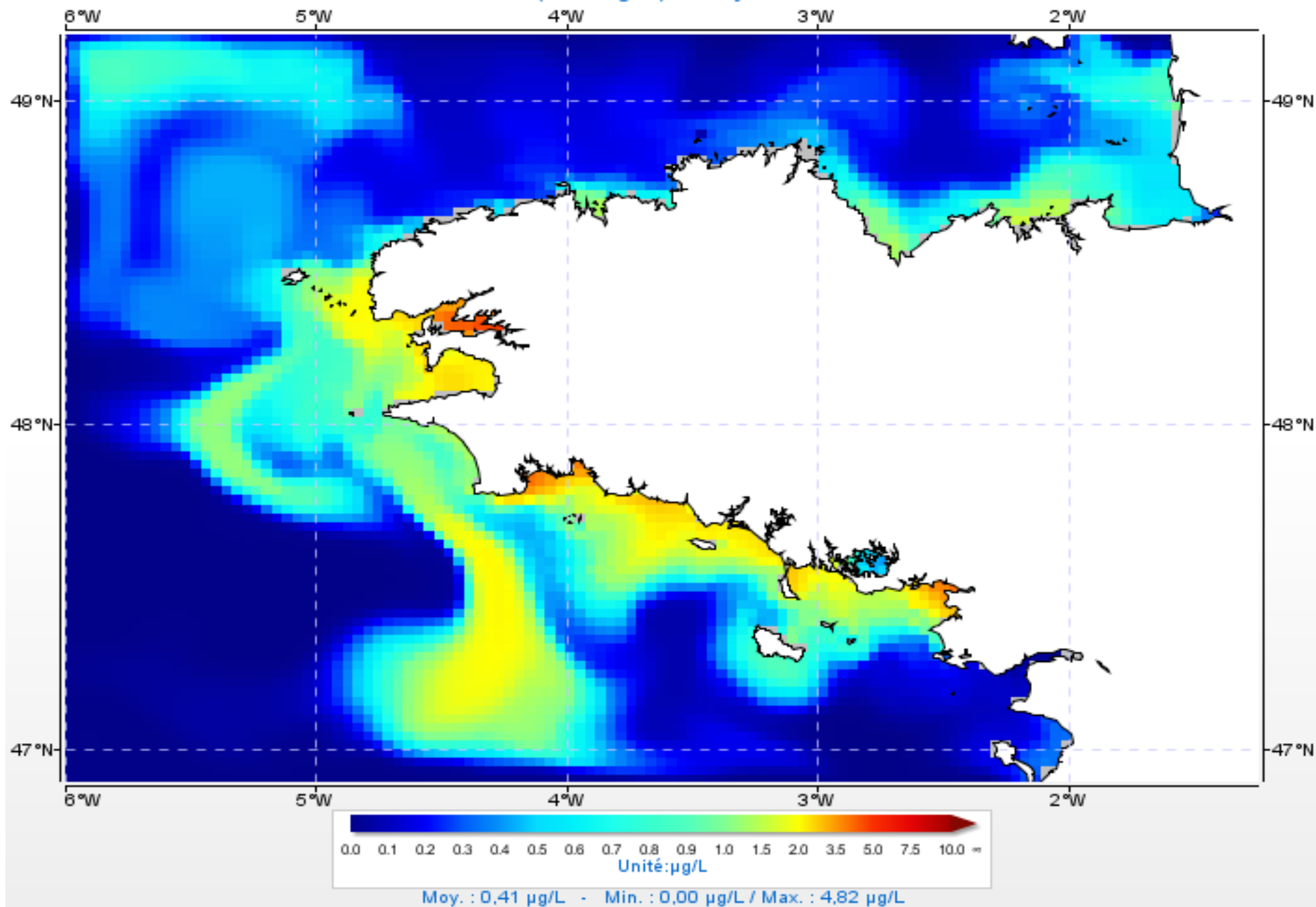
Conséquence des dystrophies :

des blooms d'espèces opportunistes pauvres en silice
comme *Pseudo-nitzschia*, une nano-diatomée pauvre en Si

des blooms de Dinoflagellés,
des espèces sans test siliceux

Chlorophylle des diatomées *Pseudo-Nitzschia* simulée en surface

le 28/04/2010 (heure légale) mise à jour du 06/05/2010 12h13



© Jan Rines

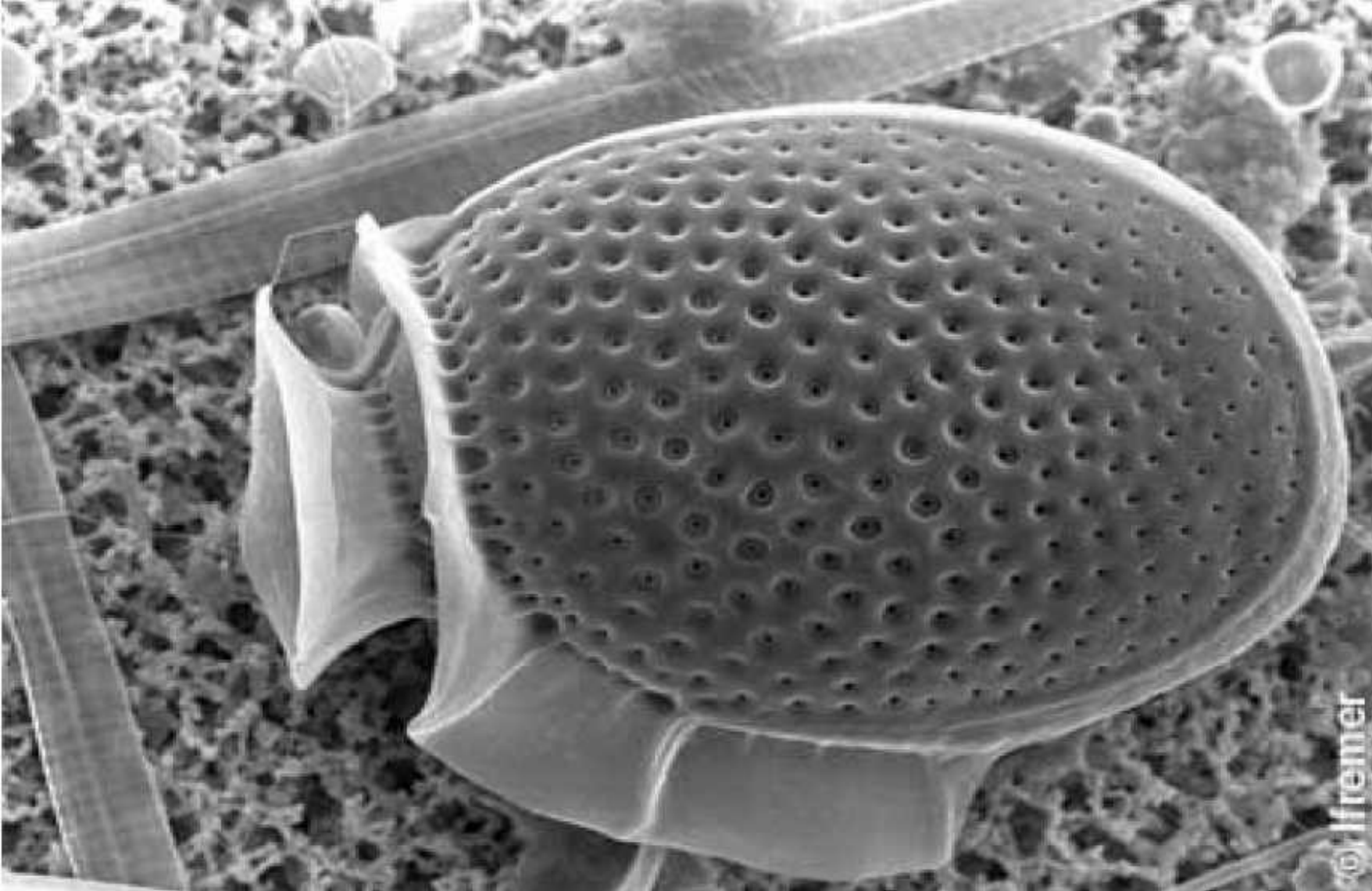


© Jan Rines

Alexandrium
est un dinoflagellé

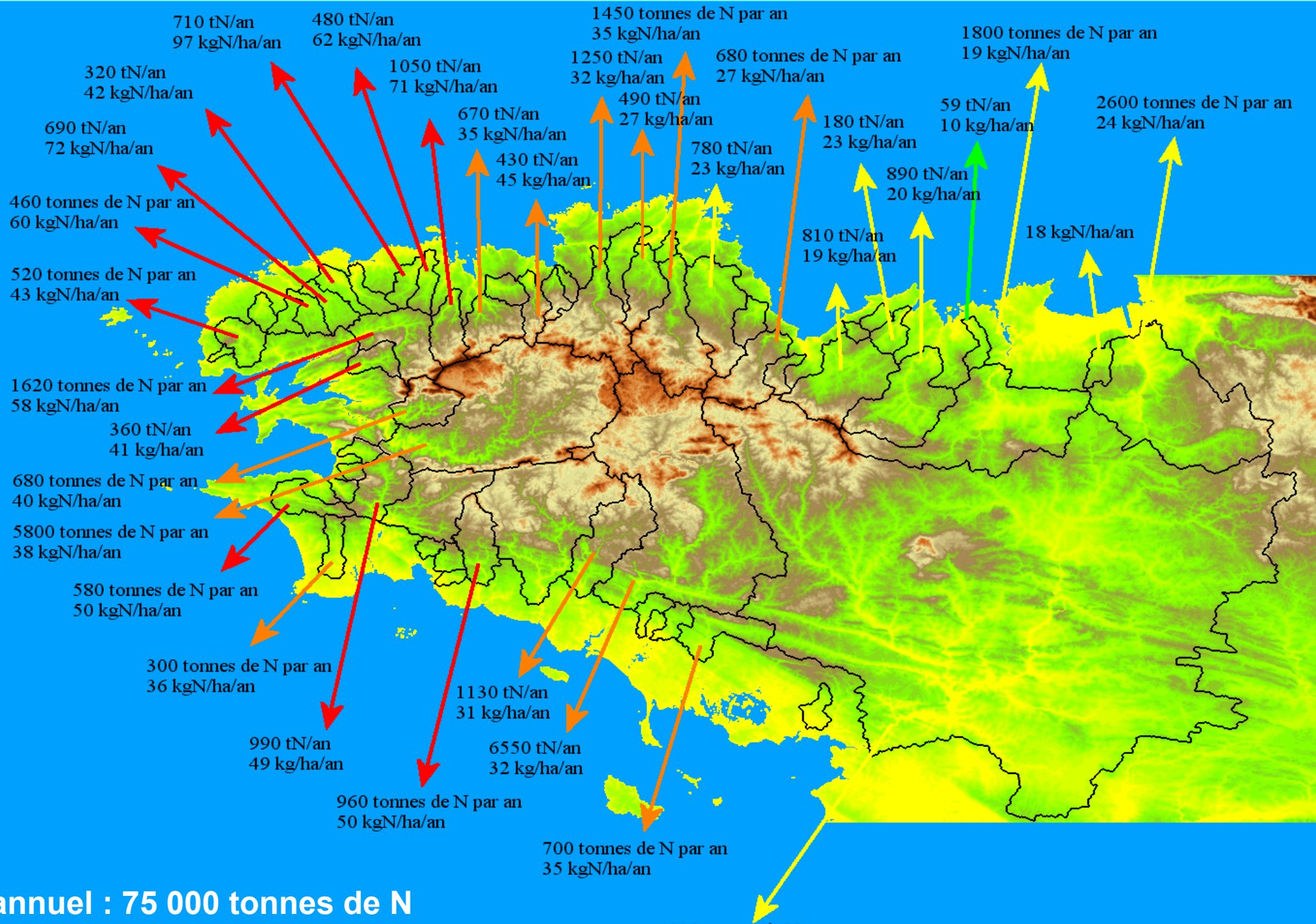
il produit des PSP





Dynophysis, un dinoflagellé qui produit des DSP

La qualité des eaux en Bretagne



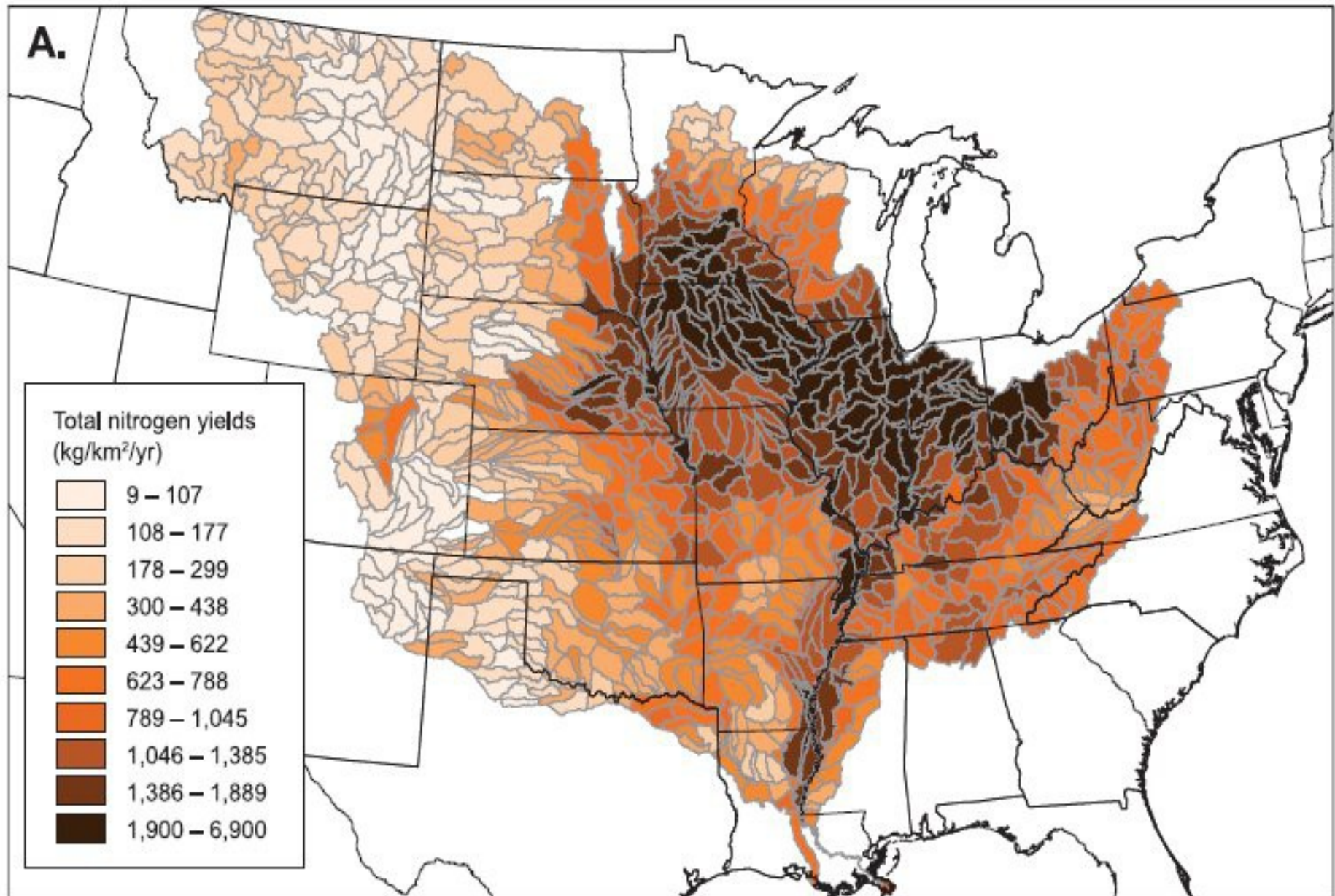
Flux annuel : 75 000 tonnes de N

Flux spécifique moyen régional : 25 kgN/ha/an

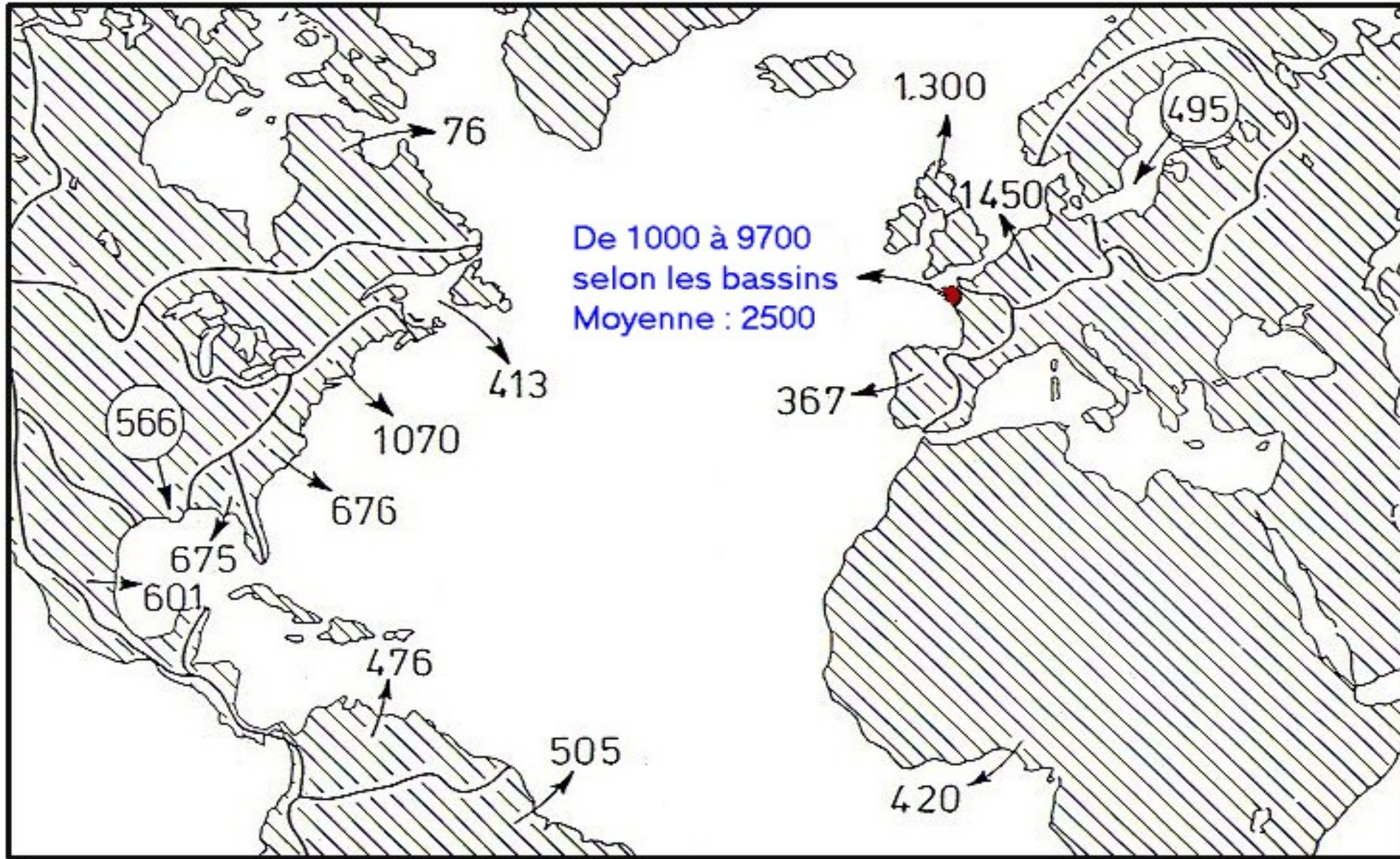
Flux spécifique moyen sans BV Vilaine : 33 kgN/ha/an

La qualité des eaux en Bretagne

Total Nitrogen Yields for HUC8 watersheds in the Mississippi/Atchafalaya River Basin

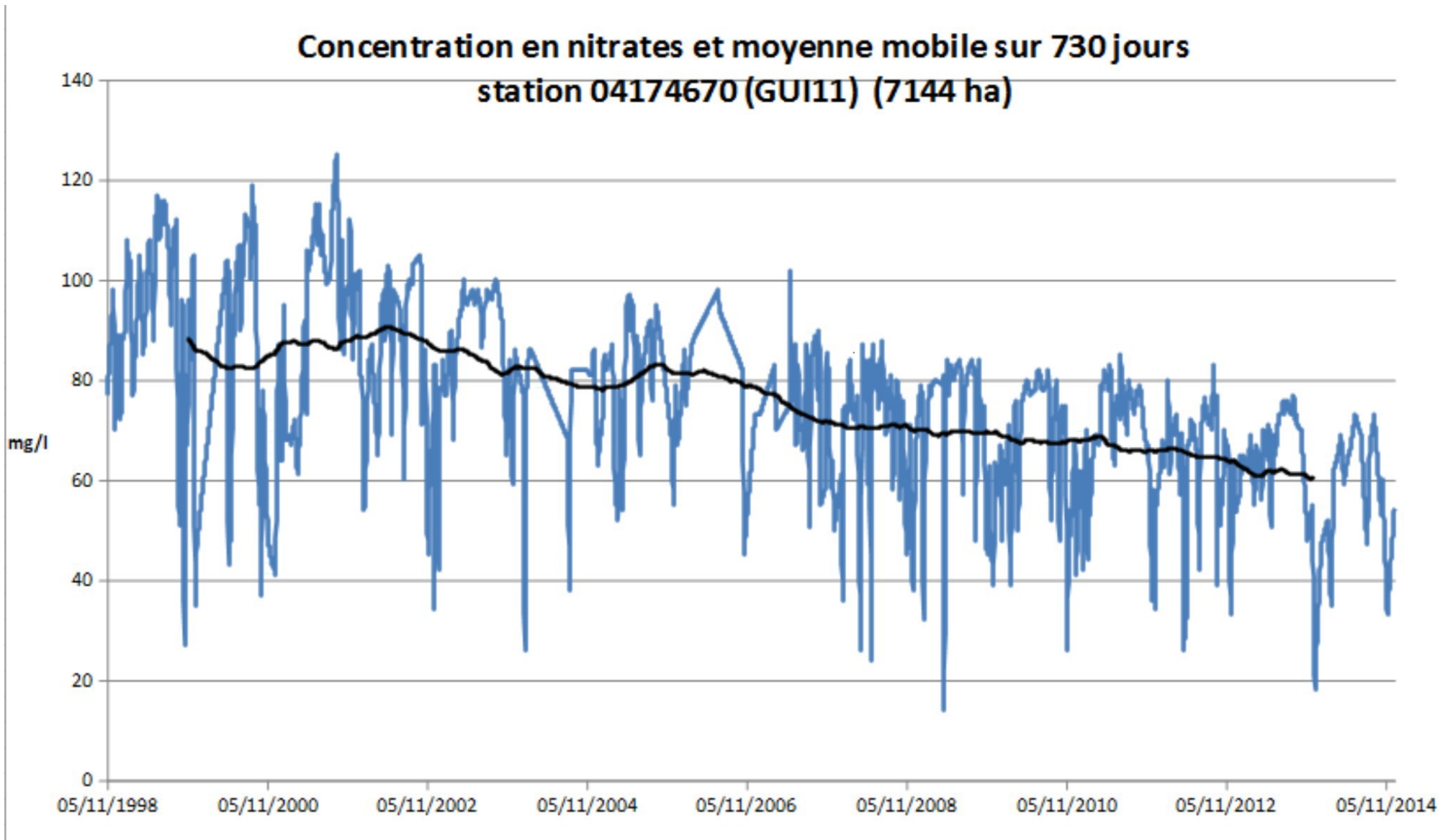


La qualité des eaux en Bretagne



D'après Howarth et al. 1996, complété pour la Bretagne par Aourousseau 2000, corrigé en 2009.

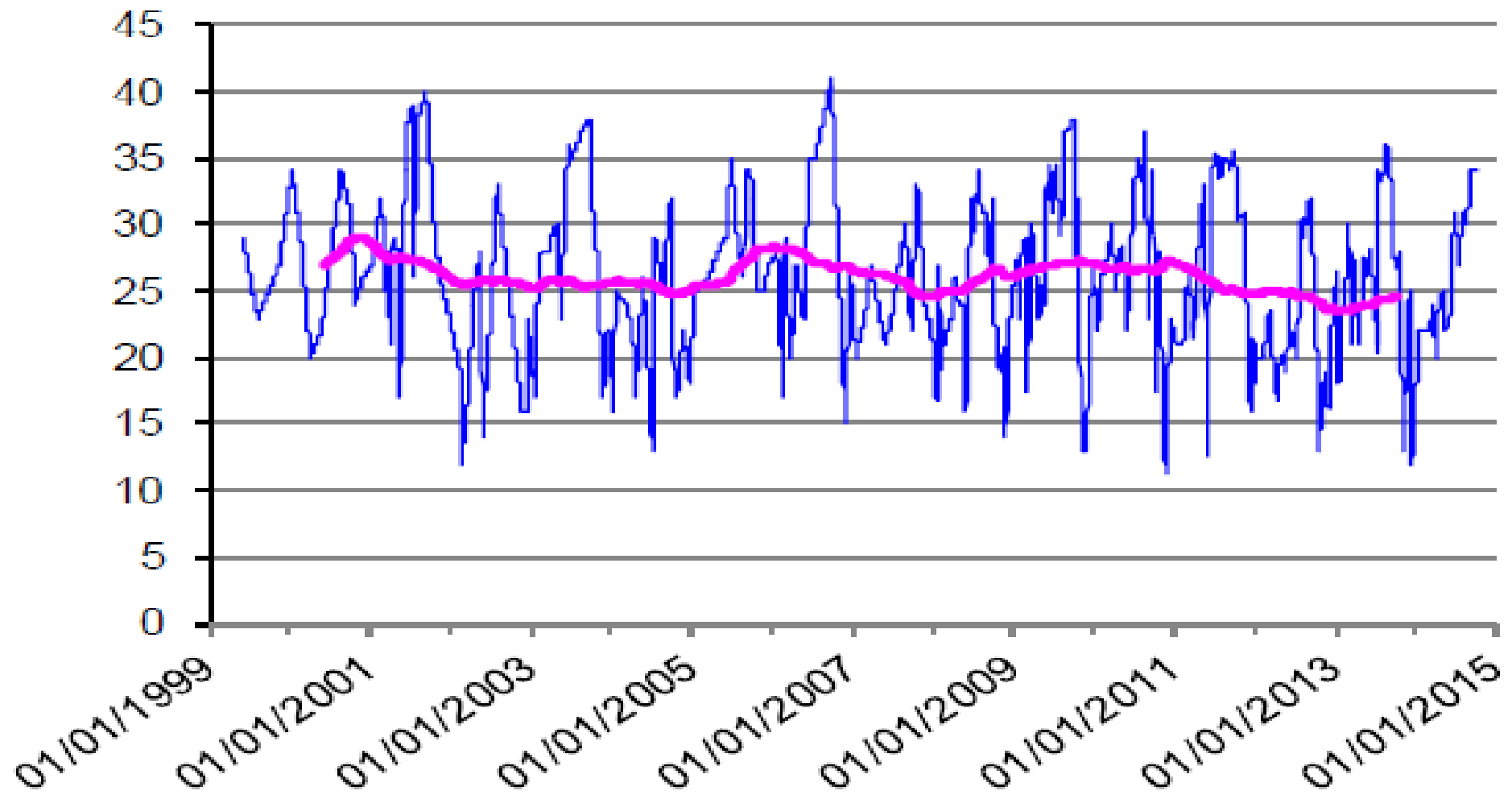
La qualité des eaux en Bretagne



La qualité des eaux en Bretagne

Historique des concentrations en nitrates et moyenne mobile sur 730 jours

mg(NO₃)/l



La qualité des eaux en Bretagne

Les leçons de ces graphiques :

1 – Dans les bassins les plus « chargés »
les améliorations sont substantielles

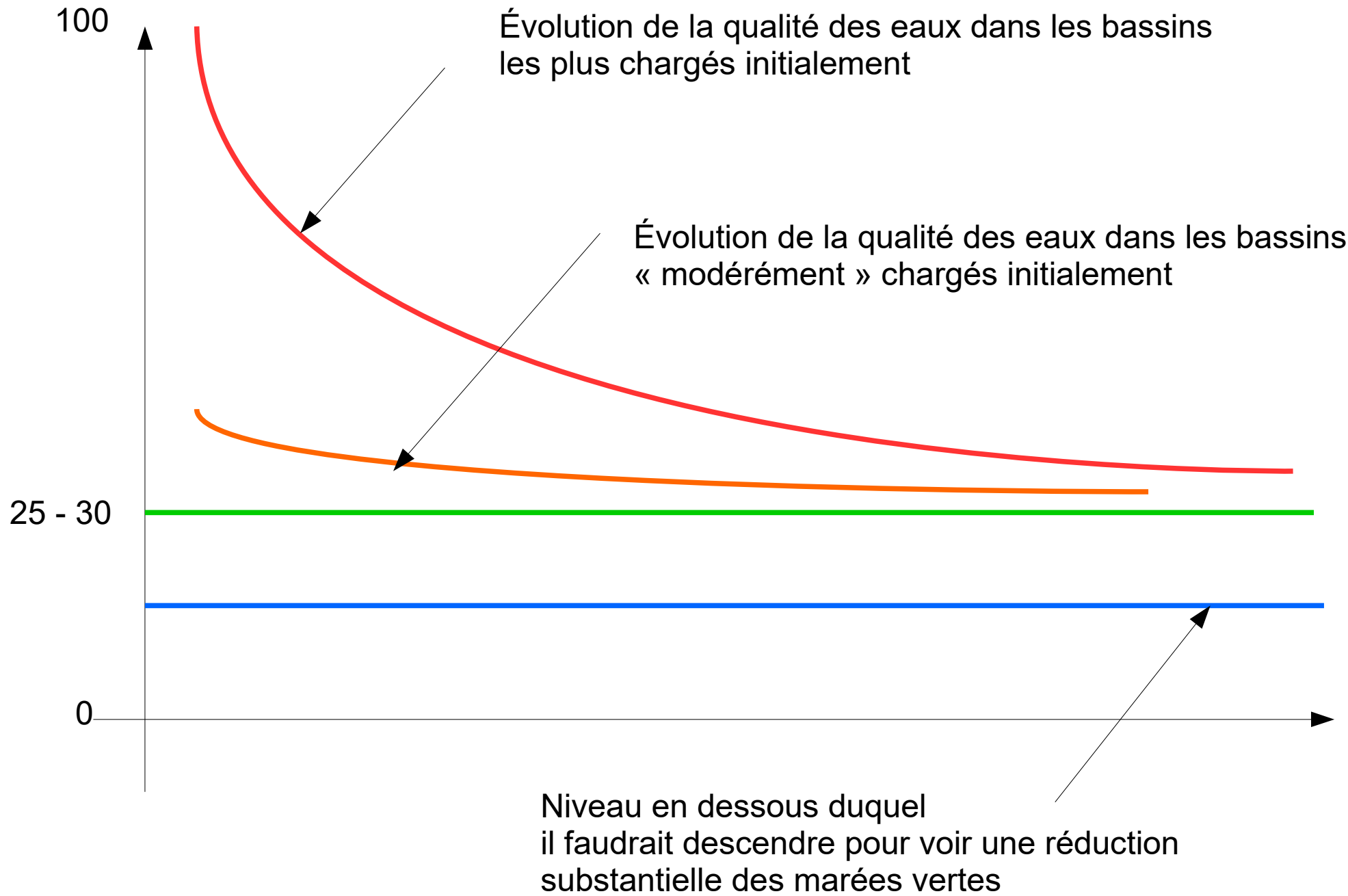
2 – Dans les bassins les moins « chargés »
les améliorations sont très modérées

3 – Ces améliorations se sont toutes produites à partir des années 2000,
soit antérieurement au lancement du programme « Algues vertes »
qui a commencé en 2010.

4 – Il n'y a aucune accélération de l'amélioration à partir
du lancement du programme « Algues vertes »

5 – Le programme « Algues vertes » n'est en rien
la cause de ces évolutions positives

6 - Tous les bassins semblent converger vers une asymptote
autour de 30 mg/L de nitrate



La qualité des eaux en Bretagne

Comme si les évolutions responsables de ces améliorations étaient en mesure de sortir des situations les plus dégradées

mais inadéquates pour faire descendre les concentrations en nitrate en dessous d'un niveau moyen autour de 30 mg/L

C'est-à-dire inadéquates pour descendre en dessous d'un niveau tout à fait insuffisant pour voir les marées vertes se réduire

Et en conséquence, pour l'instant à la question :
« Des marées vertes pour longtemps ? »

On peut répondre :
« Des marées vertes pour longtemps ! »

Le volet du plan « algues vertes »
dont personne ne parle
et qui est pourtant le nerf de la guerre :

Le Volet

« Analyse des reliquats d'azote »

Les pieds dans le PLAV

Plan gouvernemental de lutte contre les marées vertes

Analyse des reliquats d'azote

Rapport de synthèse sur les quatre premières années de mise en œuvre

Bilan et perspectives Juin 2015

Je lis page 79:

« Une analyse de l'évolution de la proportion de résultats classés en D, permet de déceler un progrès de l'ordre de 1 %, sur l'évolution des pratiques de fertilisation »

J'en conclus :

il n'y a pas d'évolution statistiquement significative des pratiques de fertilisation sur la période 2010-2014 dans les bassins « algues vertes » étudiés

Les pieds dans le PLAV

Transmission aux prescripteurs et bassins versants

En moyenne :

75% des agriculteurs ont donné leur accord pour la transmission de leurs résultats de reliquats avant drainage aux prescripteurs et structures de bassins versants (BV).

C'est le cas en 2010, 2011 et 2013.

Les pieds dans le PLAV

J'en conclus :

les agriculteurs dont les parcelles sont en classe D
(avec les reliquats les plus élevés)

refusent

que leurs résultats soient transmis aux prescripteurs
et structures de BV

et échappent ainsi à l'accompagnement agronomique.

Des marées vertes pour longtemps !

ou

La Bretagne condamnée aux marées vertes

à perpétuité !