

PROGRAMME REGIONAL & INTERDEPARTEMENTAL DE LUTTE CONTRE LES MAREES VERTES EN BRETAGNE : PROGRAMME PROLITTORAL

BILAN DE LA CHARTE D'ENGAGEMENT

ENJEUX IDENTIFIES PAR LA CHARTE : rappel de la charte

Les marées vertes sont une réponse algale à l'enrichissement des eaux côtières en sels nutritifs. De nombreux pays sont touchés dans le monde, le phénomène d'eutrophisation littorale n'épargnant aucun continent : Europe, Afrique du Nord, Afrique Noire, Australie, côtes Est de l'Inde, Philippines, Japon, plus récemment la Chine et la Thaïlande.... L'origine des sels nutritifs est généralement agricole, mais peut être aussi localement l'aquaculture marine intensive ou des rejets domestiques. Les apports azotés d'origine industrielle via l'atmosphère sont aussi en augmentation.

En Europe un certain nombre de régions côtières sont concernées, riveraines de la mer Baltique, de la mer du Nord, de la Manche, du Golfe de Gascogne, du Golfe du Lion, de l'Adriatique, de la Mer Noire Les côtes bretonnes et la Lagune de Venise sont les deux secteurs les plus affectés par les nuisances occasionnées par ces algues.

En Bretagne, les marées vertes sont des proliférations de macroalgues Chlorophycées de type *Ulva*. Elles se développent au printemps et en été, par croissance et multiplication végétative d'algues dérivantes. D'importants échouages d'algues vertes peuvent ainsi couvrir des estrans entiers à marée basse et être définitivement rejetés en haut de plage où leur dégradation constitue une nuisance visuelle et olfactive. D'une manière générale, ces marées vertes se produisent dans les secteurs les plus enclavés du linéaire côtier, où tend à régner une conjoncture d'apports excessifs en sels nutritifs (zones d'exutoires des rivières) et d'hydrodynamisme faible (renouvellement lent de la masse d'eau côtière).

Les apports d'azote dont l'évolution actuelle contrôle l'extension du phénomène de marée verte sont, en Bretagne, d'origine essentiellement agricole. Cependant, les mécanismes qui conduisent cet azote à favoriser le développement des marées vertes sont extrêmement complexes.

Les premières investigations menées (modélisation à l'échelle d'une baie, reconstitution de flux de nitrates au moment de l'apparition du phénomène) annoncent ainsi des objectifs de concentrations à atteindre aux exutoires des cours d'eau bien plus sévères sur certains sites que la norme réglementaire pour l'Alimentation Eau Potable.

Les premières marées vertes ont fait leur apparition dans les années 60 et le phénomène a connu une forte progression au cours des années 70. Aujourd'hui les grands sites paraissent stabilisés du point de vue des quantités d'algues accessibles à l'observation aérienne, mais on note chaque année un nombre croissant de petits sites et de communes touchés. Un suivi pluriannuel fait apparaître sur la période récente de 1997 à 2000 qu'en Bretagne 83 secteurs de plages ou d'estuaires ont été le siège de productions estivales anormales d'algues vertes, concernant 107 communes riveraines. En 2000, plus de 60 communes ont été contraintes à un ramassage ayant totalisé 70 000 m³, cette collecte restant limitée aux quantités les plus accessibles et les plus gênantes. Ce sont les opérations de ramassage qui, dès le début des années 1970, ont initié les efforts de lutte contre la prolifération des algues vertes.

Aujourd'hui, l'économie de notre région est menacée par ce phénomène qui contribue à donner une image négative de notre milieu naturel et de nos produits.

Il importe qu'en Bretagne, un programme d'actions à la hauteur des enjeux rassemble les partenaires concernés afin qu'ils conjuguent leurs moyens pour susciter et soutenir les initiatives qui sont nécessaires pour lutter contre la prolifération des algues vertes.

CONTENU DU PROGRAMME PROLITTORAL : rappel de la charte

I - VOLET PREVENTIF : PROGRAMMES DE BASSIN VERSANT

Les actions mises en place aujourd'hui dans le cadre de l'Alimentation en Eau Potable s'appuient sur la norme des 50 mgNO³/l. Dans le cadre de la problématique "marées vertes", une norme de ce type ne peut s'appliquer ; seul un examen de la spécificité de chaque secteur peut apporter une réponse quant à la définition des objectifs à atteindre dans la mise en place d'un programme d'actions.

1. - Principes de base

La prise en compte inévitable des contraintes environnementales spécifiques au contexte "marées vertes" (hydrodynamique marine et temps de réponse des bassins versants) montre clairement que seules des actions ambitieuses portées par l'ensemble des acteurs potentiels peuvent permettre d'envisager une amélioration du contexte.

Les actions mises en place nécessiteront une déclinaison et une adaptation spécifiques pour chaque site et s'appuieront sur une dynamique locale faisant le lien entre le préventif et le curatif dans le cadre d'une organisation cohérente.

Ces actions doivent pouvoir s'appuyer sur une réglementation adaptée. Les différents outils réglementaires ou incitatifs mis en place par l'Etat doivent donc s'appliquer en prenant en compte les caractéristiques de ces sites : 2^{ème} programme d'actions de la Directive Nitrate, Installations Classées, mise en œuvre de la résorption des excédents de déjections animales, zonages prioritaires P.M.P.O.A., ...

Dans un souci d'efficacité, ces programmes d'actions doivent s'inspirer étroitement des conclusions des diagnostics réalisés pour chaque site.

Sachant que les résultats des actions préventives ne seront perceptibles que sur le moyen ou le long terme, il importe que ces programmes s'appuient sur une dynamique locale forte associant, à l'initiative des élus locaux, les agriculteurs et les autres catégories socio-professionnelles.

Une communication adaptée sera prévue afin de faire connaître les objectifs à atteindre, les échéanciers, les efforts à mener. On indiquera en particulier que le but poursuivi n'est pas la disparition totale des algues vertes mais leur diminution jusqu'à un niveau acceptable. Enfin, il sera à prévoir des indicateurs intermédiaires de résultats permettant d'évaluer l'impact du programme avant même la mise en évidence de la diminution de la prolifération algale.

Ces programmes s'inscriront dans la recherche d'un mode de développement durable en s'appuyant sur une logique de territoire associant les différents acteurs du site concerné par la marée verte, qu'ils se situent sur la partie littorale ou l'ensemble des bassins versants y débouchant.

2. - Contenu

Les co-signataires de la présente charte s'engagent à examiner en concertation les projets de programmes d'actions qui leur seront présentés par les instances locales.

Ils apporteront leurs financements, selon leurs modalités respectives, au vu de la qualité des programmes d'actions qui leur seront présentés, au regard, d'une part, du respect des principes de base énoncés ci-dessus, et d'autre part, des perspectives de reconquête de la qualité du littoral.

Dès lors, ils s'engageront sur le principe d'un financement pluriannuel, sachant qu'une évaluation de l'intérêt du programme sera effectuée à la fin de chaque année, et que les aides financières seront allouées annuellement au vu des crédits disponibles.

La mise en place d'un programme d'actions préventives s'appuiera nécessairement sur un diagnostic précis du secteur (contexte marin, hydrodynamisme du secteur, diagnostic exhaustif du bassin versant), lesquels sont d'ores et déjà bien engagés

La définition du programme d'actions portera sur les conclusions du diagnostic. Elle devra également s'appuyer sur les programmes généraux existants en les mobilisant et les valorisant au mieux.

Les programmes d'actions présentés pour chaque site feront l'objet d'un examen au cas par cas. On peut penser cependant qu'ils pourront s'articuler autour des axes suivants :

- Un axe agricole qui présentera les moyens envisagés pour réduire les lessivages de nitrates et les fuites de substances indésirables dans le milieu.
- Un axe non agricole de réduction des pollutions issues des autres activités humaines
- Un axe aménagement et gestion de l'espace complémentaire afin de valoriser toutes les possibilités d'épuration et de filtration du milieu.
- Un axe animation, évaluation, communication et dynamique locale comportant les moyens humains et techniques nécessaires à la mise en œuvre et l'évaluation régulière de chaque programme et visant, par ailleurs, à instaurer un élan au sein du territoire permettant une valorisation des efforts accomplis.

II - VOLET CURATIF

1. - Principes de base

Le constat est fait que les actions préventives, même ambitieuses, mises en place dans le contexte des "marées vertes" ne donneront pas de résultats rapides sur la diminution des biomasses algales, ce qui implique la mise en place d'un volet curatif qui accompagnera étroitement les actions préventives engagées sur le terrain.

Les actions de ramassage sont indispensables pour limiter les nuisances dues aux échouages d'algues. Elles semblent de plus nécessaires pour limiter les risques de marées vertes plus importantes dans les années à venir. En effet, l'absence de ramassage peut provoquer une accumulation des stocks hivernaux et par la même, un ensemencement potentiel d'autres sites et un démarrage plus rapide de la marée verte l'année suivante.

2. - Contenu

Les signataires de la présente charte s'accordent sur le fait que des actions curatives de lutte contre les algues vertes sont nécessaires mais ne doivent pas se substituer à l'action préventive à la source.

Dans le respect de leurs modalités d'aides, ils mobiliseront de façon complémentaire leurs moyens financiers sur les axes d'intervention suivants :

- Aides aux collectivités locales pour le ramassage des algues échouées et leur transport vers un lieu de traitement ou de valorisation.

- Recherche d'amélioration des conditions de ramassage par l'amélioration des matériels, l'expérimentation de nouveaux modes de collectes, l'intervention sur le milieu, etc...

- Mise en place de modes de gestion des algues ramassées en adéquation avec les réglementations existantes, respectueux du milieu naturel, selon les moyens les plus appropriés aux sites touchés. La mise en décharge des algues brutes étant à proscrire, les solutions envisagées pourront être la valorisation agricole ou industrielle ou le traitement.

III - SUIVI - ANIMATION DU PROGRAMME REGIONAL & INTERDEPARTEMENTAL

La réussite du programme breton de lutte contre les algues vertes nécessite, en complément de l'engagement ciblé et concerté des crédits des différents partenaires, que des moyens de suivi, d'évaluation et d'animation soient mis en place dès le début de ce programme.

Les signataires de la présente charte créent un Comité de pilotage auquel ils participeront, qui sera une instance de concertation, de réflexion et de propositions pour la mise en œuvre du programme régional & interdépartemental.

Ils s'appuient, pour leurs actions, sur les références et organismes scientifiques existants, notamment l'IFREMER et le CEVA.

D'autre part, conscients de la complexité scientifique, technique et humaine du sujet, les pouvoirs publics et les financeurs de ce programme soutiennent les actions d'intérêt général menées ou initiées par le CEVA sur les proliférations d'algues dans le cadre du Contrat de Plan (convention d'application particulière du 13 juin 2001 et son avenant dans le cadre du programme 12).

Le CEVA deviendra ainsi la structure référente, le Centre de ressources, à même d'apporter des conseils aux signataires de la charte et aux structures porteuses de programme de lutte contre la prolifération des algues vertes et ce, par le biais des actions suivantes :

- Animation du programme régional & interdépartemental : secrétariat et animation du Comité de pilotage, proposition pour la mise en œuvre du programme, suivi- évaluation et synthèse des actions engagées dans le cadre de Prolittoral.

- Conseil aux structures porteuses des programmes de bassins versants

- Suivi général des marées vertes en Bretagne, sans préjudice des suivis spécifiques réalisés dans le cadre des programmes de bassins versants.

- Proposition et/ou réalisation d'essais ou d'expérimentations appliquées utiles à la bonne marche du programme régional & interdépartemental, que ce soit sur les aspects préventifs, curatifs ou amélioration des connaissances.

Les coûts annuels prévisionnels de ces actions, tenant également compte des actions effectivement réalisées sur chaque département sont estimés, à titre indicatif, à 460 000 €.

Ces actions font partie intégrante de la convention d'application particulière du CEVA sus-citée et de son avenant, établis dans le cadre du Contrat de Plan Etat-Région 2000/2006. Conformément à l'article 2-2 de cet avenant, la Région Bretagne, les Département des Côtes d'Armor, du Finistère, du Morbihan et de l'Ille et Vilaine ainsi que l'Agence de l'Eau prévoient de participer financièrement à ces actions.

Ces engagements sont susceptibles d'évoluer en fonction de chaque programme prévisionnel ; ils seront prévus sur la période 2002/2006 sous réserve de l'inscription chaque année à leur budget des sommes requises et de leur vote par les instances délibérantes des différents financeurs.

BILAN 2002-2006

I - VOLET PREVENTIF : PROGRAMMES DE BASSIN VERSANT

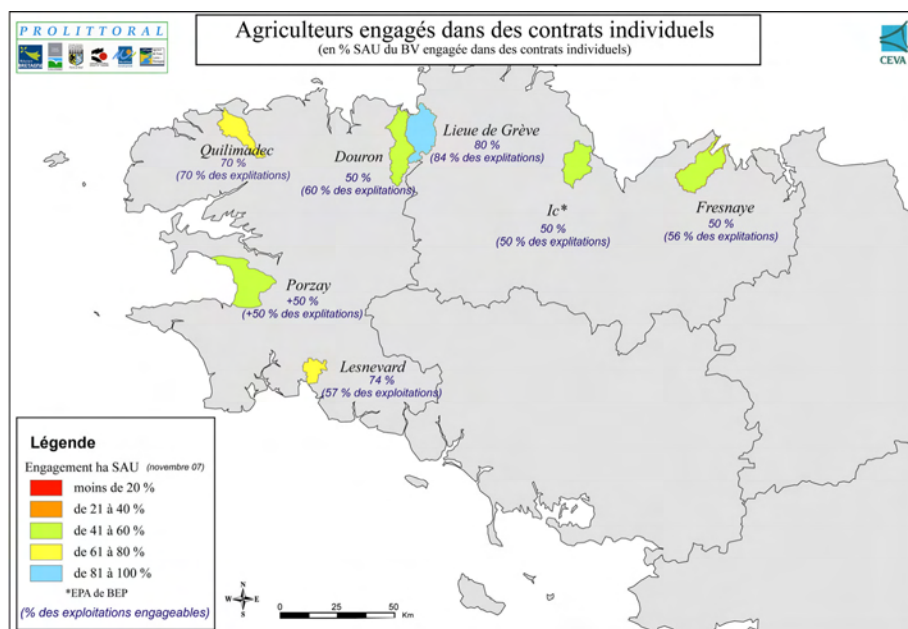
Engagement des acteurs :

7 programmes locaux de bassin versant ont fait l'objet d'un financement spécifique dans le cadre de Prolittoral. Tous sont issus du premier appel à programme Région-Agence de l'Eau de 1998.

	Date de début	Date de fin
Lieu de Grève (22)	01/01/2003	01/01/2008
Porzay (29)	01/07/2003	30/06/2008
Quillimadec (29)	01/01/2004	01/01/2009
Fresnaye (22)	01/01/2004	01/01/2009
Lesnevard (29)	01/01/2004	01/01/2009
Douron (29)	01/01/2005	01/01/2009
Ic (22)	Pas de contrat pluriannuel spécifique	

Sur chacun de ces territoires, les collectivités porteuses de programme ont défini un programme pluri annuel avec l'appui et le financement des différentes partenaires de Prolittoral.

Outre les actions générales de mobilisation des agriculteurs, un des axes forts des programmes pluri annuel consistait en la création d'outils spécifiques pour impliquer les agriculteurs dans des changements de pratiques agronomiques. Chaque contrat d'engagement individuel a été défini dans la concertation locale et ces contrats, tous différents, ne peuvent donc être facilement comparés entre eux. Le principe général de ces contrats est que le porteur de programme apporte aux agriculteurs un appui technique notamment sur la fertilisation des cultures et que l'agriculteur s'engage à mettre en pratique les conseils apportés.

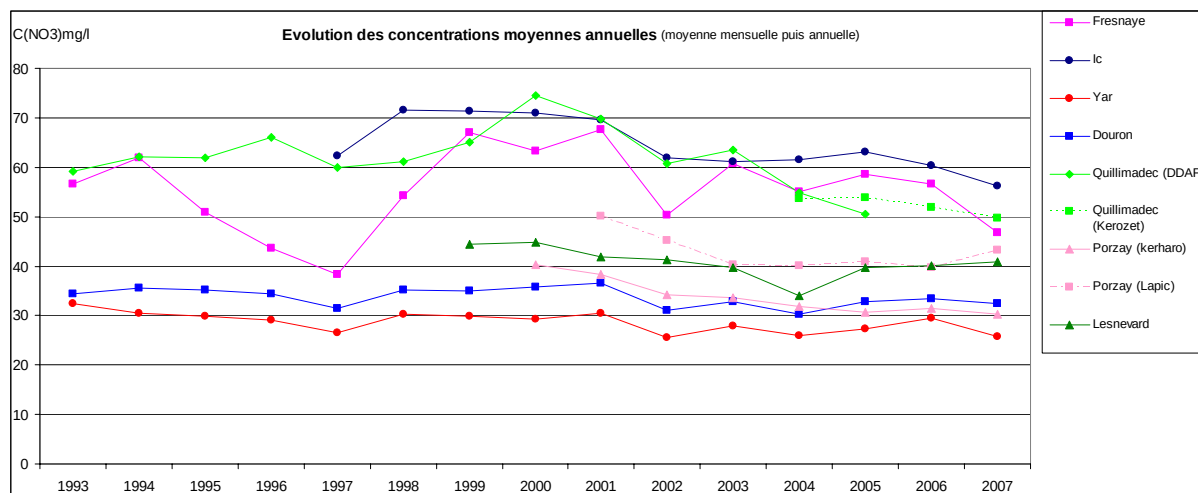


Nombre d'agriculteurs engagés dans des contrats individuels en fin 2007.

On peut constater sur la carte que les pourcentages d'engagement, tant sur le nombre d'agriculteurs que sur les surfaces du bassin versant concernées sont élevés ce qui était un premier objectif. Les contrats proposés semblent donc satisfaisants à cet égard. Les outils définis par les porteurs avec les agriculteurs ont été innovants, ce qui a été vraisemblablement une des raisons de l'adhésion à ces outils.

Une légère diminution des teneurs en nitrate

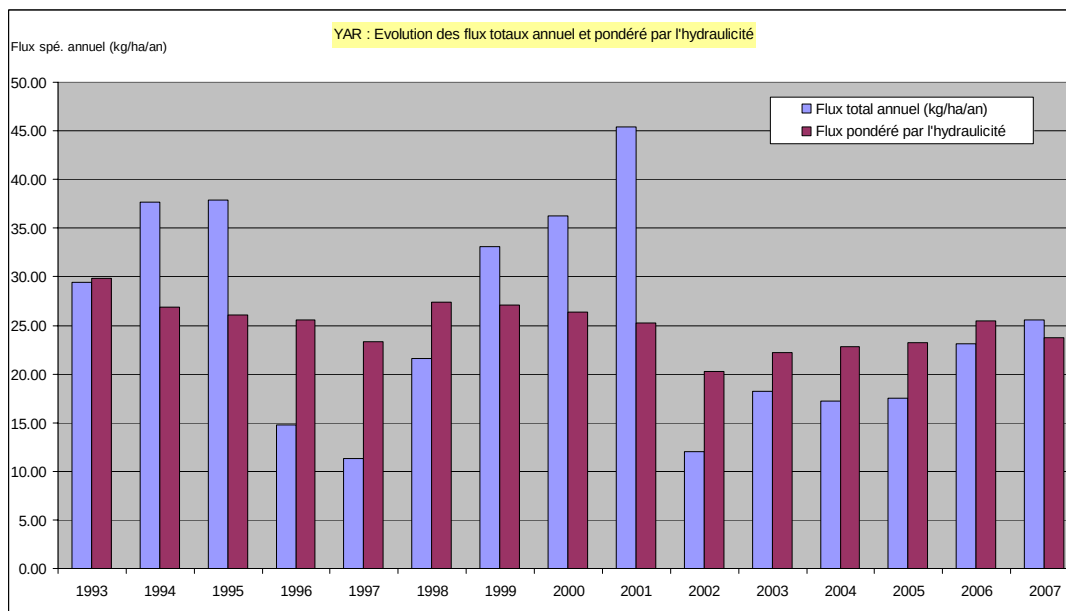
Le temps de réaction, puis le temps de mise à l'équilibre, entre la mise en place d'action et sa perception sur la qualité de l'eau est variable selon les contextes pédo climatiques mais classiquement supérieur à la durée des programmes proposés. Un travail d'homogénéisation des suivis de la qualité de l'eau et de leurs rendus permet de faire un point sur l'évolution de la situation sur les différents cours d'eau.



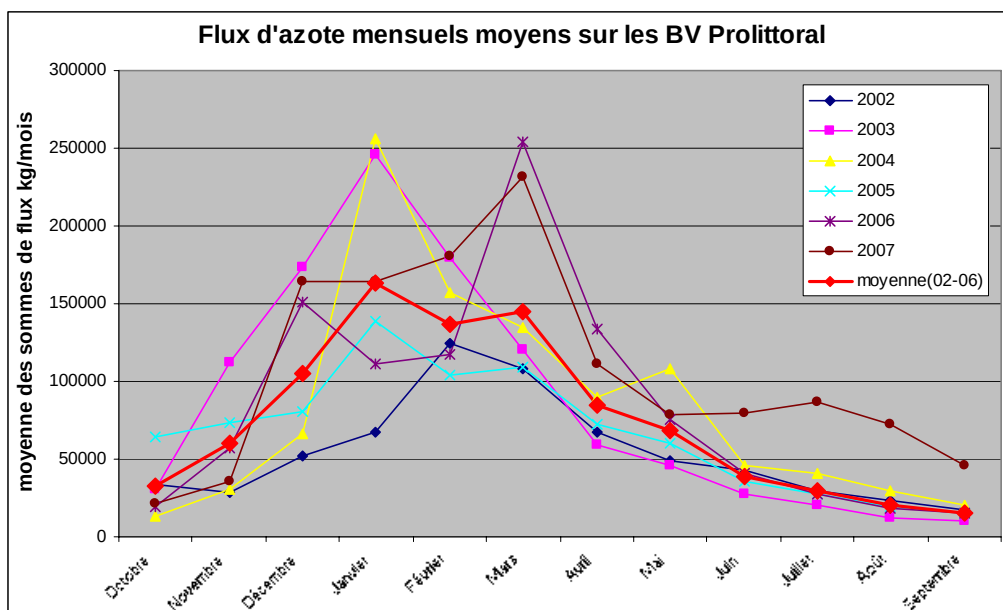
Evolutions des teneurs en nitrates moyennes annuelles aux exutoires des différents cours d'eau.

On distingue bien une évolution nettement à la baisse des concentrations en nitrates depuis l'année 2001, sur la plupart des cours d'eau. Cette évolution favorable de concentrations peut être liée, en partie au moins, aux caractéristiques climatiques de plutôt faible pluviométrie depuis 2001.

Pour ce qui est des flux, ils sont très variables d'une année sur l'autre et d'un cours d'eau à l'autre en fonction des caractéristiques de l'année



Exemple du Yar : Evolution des flux d'azote inorganique par année (et flux pondérés par l'hydraulicité)



Flux mensuels moyens aux exutoires des bassins versants de Prolittoral

L'annexe 1 présente une synthèse des données de caractérisation de l'hydrologie des différents cours d'eau et leur évolution en teneurs en nutriments et en flux.

Perspectives

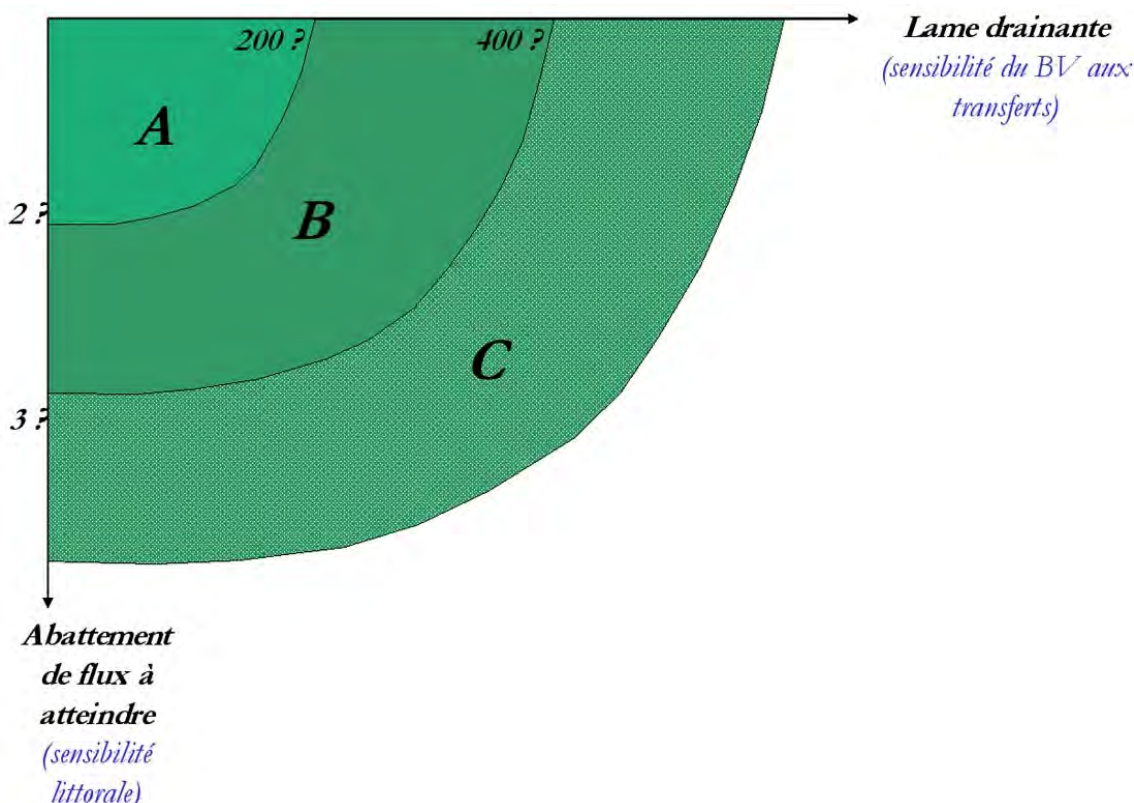
Les actions entreprises durant la période 2002-2006 ont permis d'engager les agriculteurs dans des contrats individuels d'amélioration de leurs pratiques agronomiques. Ces contrats permettent en outre de suivre les pratiques des agriculteurs. On peut y percevoir des améliorations importantes des pratiques, en particulier en ce qui concerne la fertilisation.

Ces améliorations permettront-elles d'avoir un impact marqué sur les flux de nitrates et donc sur les marées vertes ?

La partie III et l'annexe 2 présentent des éléments concernant les objectifs de flux d'azote qu'il semble nécessaire d'atteindre pour un impact marqué sur les marées vertes.

Afin de poursuivre les actions entreprises et d'augmenter leur efficacité, les actions qui seront programmées devront encore plus que ça n'a été le cas durant la durée de Prolittoral, être définies en fonction des spécificités locales : sensibilité plus ou moins grande du littoral aux marées vertes et sensibilité plus moins grande des bassins versants aux transferts d'azote.

La figure suivante illustre les propositions d'actions qui semblent efficaces, en fonction de ces deux critères.



Actions efficaces pour lutter contre les marées vertes en fonction de la sensibilité des sites littoraux et de la sensibilité du territoire aux transferts d'azote. Les actions envisagées peuvent être les suivantes :

A : fertilisation équilibrée (agronomique), respect de l'aptitude des sols (rendement de la culture), bonne gestion des prairies (date retournement), ...

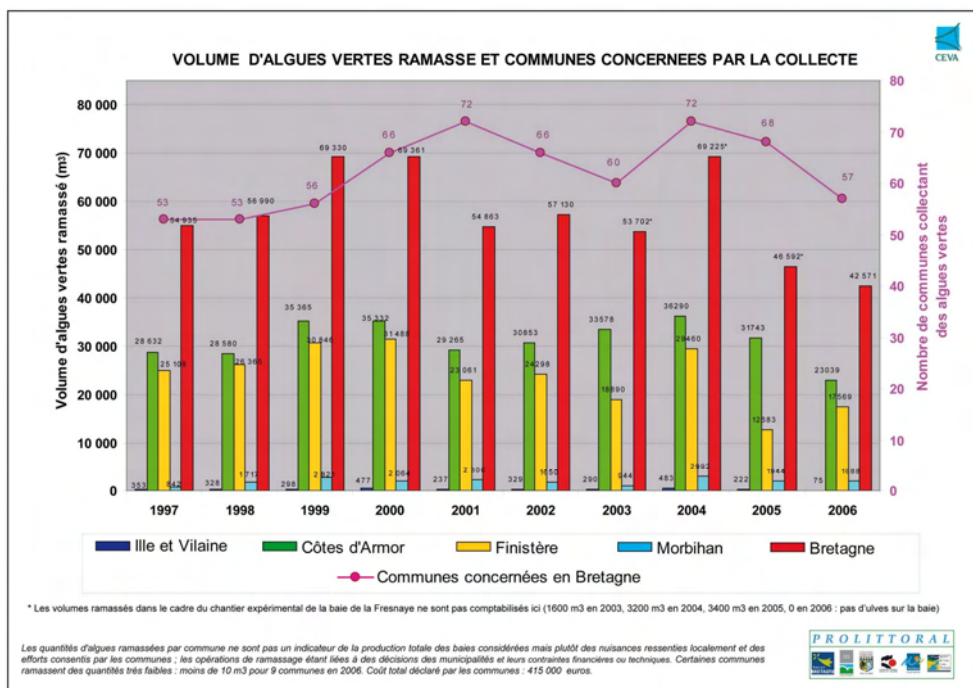
B : A + adoption de cultures capables d'intercepter la minéralisation automnale :

- maïs hâtifs puis CIPAN, céréales de printemps, autre culture ?
- herbe,
- maintien des prairies ou gestion des retournements par cultures spécifiques (betteraves, choux fourragers...)

C : A+B+retrait de SAU (parcelles humides, terres peu profondes à faible RU)

II - VOLET CURATIF

Ce volet correspondait en grande partie à l'appui financier, par les conseils généraux concernés des communes qui doivent entreprendre le ramassage d'algues vertes.



Volume d'algues vertes ramassé de 1997 à 2006.

Dans la série 2002-2006, c'est l'année 2004 qui présente le plus fort ramassage ce qui est bien corrélé avec le niveau atteint par la marée verte cette année là et particulièrement le fait que la prolifération y a été longue.

Sur la période considérée, on peut noter que l'épandage agricole reste le principal mode de gestion des algues ramassées. Ainsi, pour 2006, les réponses des communes sur le mode de gestion des algues ramassées donnent : 56 % des algues épandues sur les terres agricoles, 26 % compostées, 18 % stockées. On peut noter la part plus importante qu'en 2005 du stockage (5 %) ce qui est en bonne partie dû à une commune ayant déclaré de gros volumes mis en décharge en 2006 (plus de la moitié de la mise en décharge régionale, suite à une débarquement massif sur une plage en fin de saison).

Les coûts de ce volet sont présentés dans la partie bilan financier.

III - SUIVI - ANIMATION DU PROGRAMME REGIONAL & INTERDEPARTEMENTAL

L'animation / coordination du programme :

Le CEVA, de 2002 à 2006 a été chargé d'assurer la coordination du programme. Les trois grands axes de cette action étaient :

- animation du comité de pilotage de Prolittoral : composé des six structures signataires de la charte, le comité de pilotage s'est réuni en moyenne 8 fois par an,
- animation du réseau des porteurs de programme de bassin versant : en moyenne 4 réunions par an de toutes les structures auxquelles il convient d'ajouter les contacts réguliers par mel ou téléphone et les réunions locales sur place. Ce réseau a permis la mise en place des programmes pluri annuels puis le bon déroulement de ces programmes, des dires des porteurs de programmes et des

partenaires de Prolittoral, dans le respect de l'objectif affiché de définition locale de ces programmes sans qu'un modèle pré établi et commun à tous ne soit imposé aux structures,

- Information sur le phénomène et les moyens de lutte :
 - participation, à la demande des porteurs de programmes, aux réunions de comité de pilotage ou de bureau,
 - participation aux réunions régionales sur le thème des politiques de l'eau au titre d'expert sur les marées vertes,
 - conférences à destination des associations de protection de l'environnement, des professionnels agricoles, des étudiants et de la presse. Cette activité d'information a été conduite dans le but d'apporter une vision objective et commune à tous sur le phénomène des marées vertes et les actions qui peuvent être mise en place pour lutter contre, préalable nécessaire à la mise en place effective des actions.

Chaque année, à partir de 2003 le CEVA a organisé une réunion générale, « réunion d'étape » regroupant à la fois les structures partenaires de Prolittoral, les porteurs de programme de bassin versant, les associations de protection de l'environnement, la profession agricole et la presse.

Le CEVA a été chargé d'interroger la Recherche agronomique sur la pertinence des différentes actions qui se mettent en place ou qui pourraient l'être pour lutter contre les fuites de nitrates. Les questions ont été établies avec la participation des porteurs de programme de bassin versant. La synthèse « Pratiques agricoles, fuites de nitrates et qualité de l'eau dans les bassins versants : synthèse des références applicables au contexte breton » qui en est issue est **une base solide pour la définition de futurs programmes**. Ces éléments ont ensuite été portés à la connaissance des porteurs de programmes de bassins versants (communications écrites et présentations orales), pour qu'ils soient intégrés aux réflexions locales.

Les suivis environnementaux :

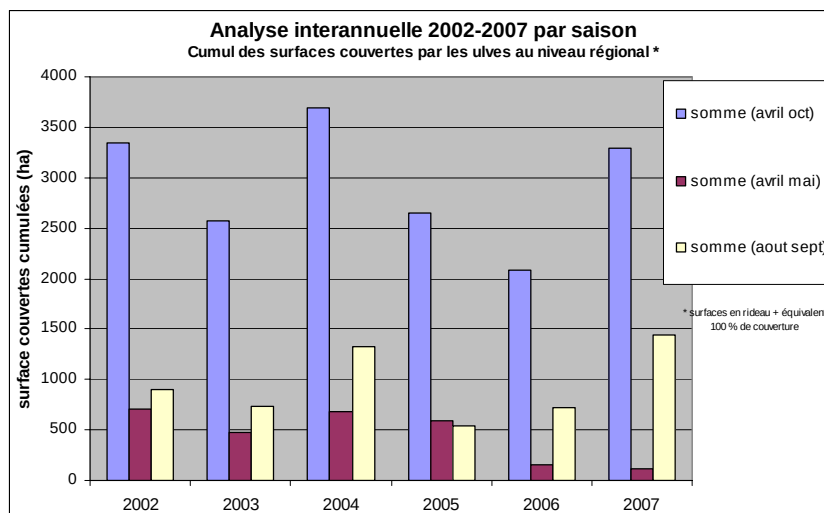
✓ Une mesure objective des marées vertes

Le CEVA, pour pouvoir mesurer objectivement l'évolution des marées vertes a mis en place quatre réseaux de suivis :

- Inventaire de tous les points du littoral touchés par des échouages d'ulves en quantités anormales : survol de l'ensemble du littoral, à basse mer de fort coefficient, à quatre reprises dans l'année pour repérer les sites d'échouage et les occurrences des échouages (mai, juillet, août et octobre),
- suivis mensuels des surfaces d'échouage d'avril à octobre sur les principaux sites bretons : photographie aérienne de tous les échouages, à marée basse de fort coefficient puis intégration des photographies sur Système d'Information Géographique pour mesurer les surfaces couvertes en ulves mois par mois,
- Suivis de l'indice d'eutrophisation azoté de vingt sites : prélèvement tous les 15 jours d'algues dans ces sites et analyse des contenus internes en azote,
- Estimation des biomasses totales atteintes dans les grands secteurs : en plus des estimations surfaciques sur l'estran déjà disponibles par le premier réseau, pour ces estimations sont mesurées les biomasses par unité de surface et, par plongées, les quantités non accessibles à l'observation aérienne qui se trouvent au delà de la limite de basse mer.

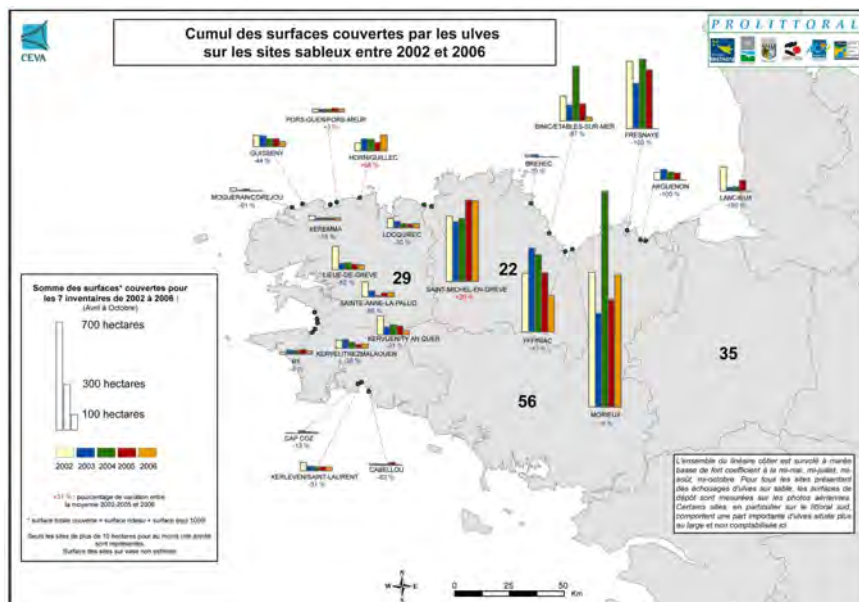
Le suivi des surfaces d'échouage, car il rend compte concrètement des quantités visibles sur les plages reflète bien le niveau de la marée verte de l'année.

Il ressort de ce suivi un niveau annuel qui est très fluctuant d'une année sur l'autre sans que l'on puisse y distinguer des évolutions à plus long terme du phénomène.



Evolution des surfaces d'échouages sur les sites sableux régionaux de 2002 à 2007.

Ce suivi, car il repose sur des mesures chiffrées permet également de rendre compte de l'importance des sites les uns par rapport aux autres



Répartition des surfaces d'échouage sur les sites sableux au niveau régional sur les années de suivi 2002-2006

- ✓ Une meilleure compréhension du phénomène

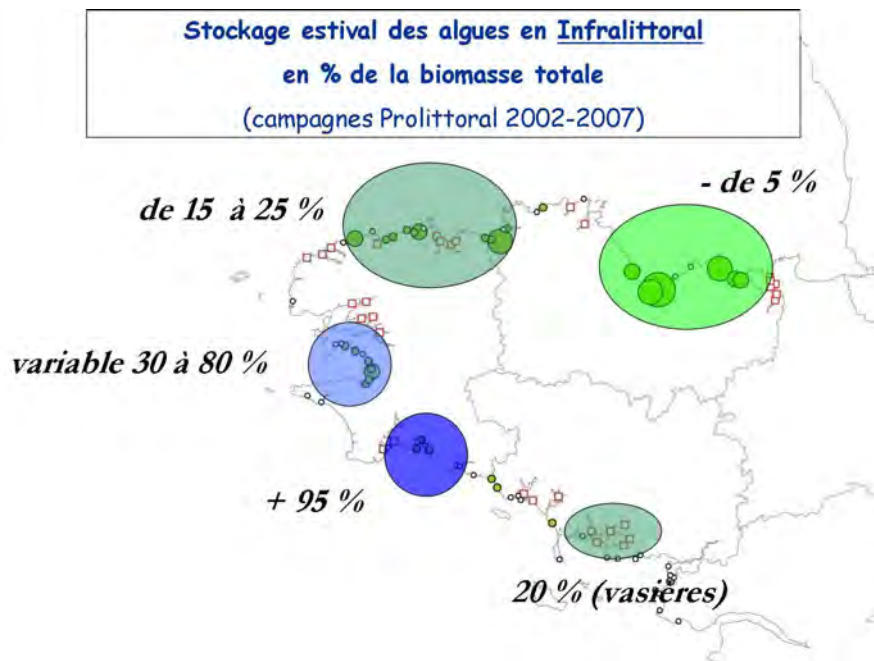
Les suivis qui ont été réalisés permettent de mieux caractériser le phénomène sur plusieurs aspects :

Type de site :

Les suivis permettent de décrire des sites « classiques » sur plage et des sites de « vasière ». La prolifération y est différente (pas de mise en rideau, algues moins mobiles, taux de croissance probablement plus faibles) mais les biomasses instantanées (à l'échelle du site et aussi localement la biomasse/m²) peuvent être comparables à celles qui se trouvent sur les sites « classiques » sur plage.

Répartition estran/infralittoral :

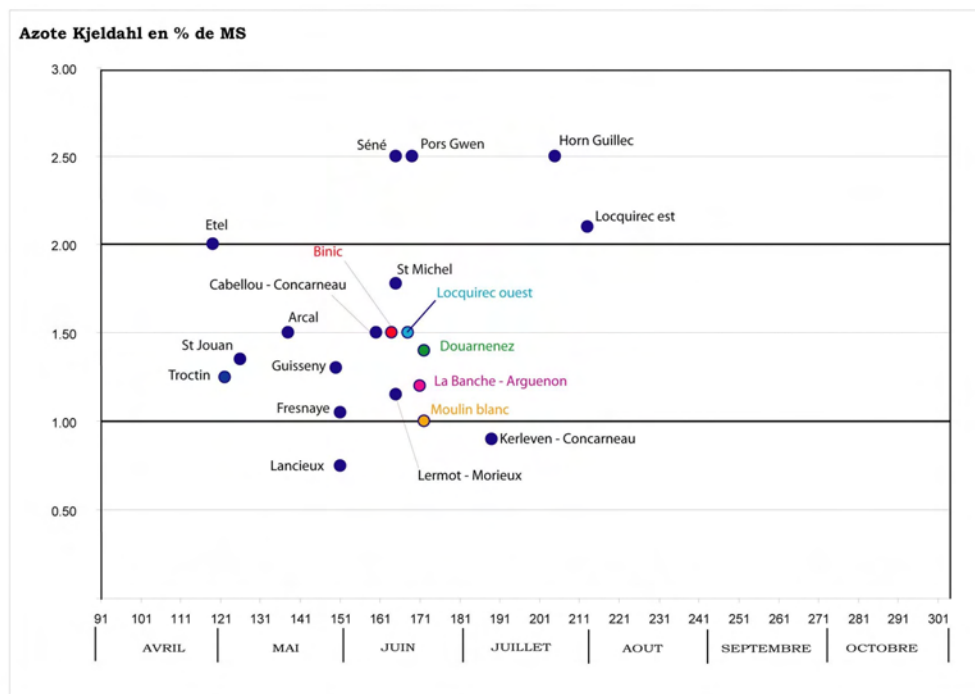
Les suivis en biomasse mettent en évidence des différences marquées entre les sites quant à la répartition des biomasses entre la zone de balancement des marées et l'infralittoral. Cela est important à percevoir pour analyser les données issues des suivis surfaciques.



Stockage estival des algues en infralittoral d'après les mesures effectuées dans le cadre de Prolittoral

Statut nutritionnel :

La mesure des quotas azotés sur les 5 années du programme permet de classer les sites vis à vis de leur statut actuel de limitation de la croissance des algues par l'azote. Cela permet, indépendamment des niveaux de surface couverte de percevoir la plus ou moins grande sensibilité des sites aux baisses des apports d'azote par les cours d'eau. L'analyse conjointe de ces niveaux avec le fonctionnement hydrologique des cours d'eau permet de percevoir un niveau d'abattement à atteindre pour espérer limiter les proliférations (cf. annexe 2).



Exemple de l'année 2005 (année de faible flux) : niveau nutritionnel minimal atteint dans les différents sites suivis dans le cadre de Prolittoral. Plus la limitation est forte (niveau minimal bas) et précoce, plus le site est proche d'un retour à une situation de marée verte limitée.

Lien flux de nitrates / marées vertes :

Aucun lien ne peut être établi entre le niveau de flux arrivant sur un site et l'ampleur de la marée verte mesurée d'après les surfaces d'échouage. Cela est lié à la nécessité, pour expliquer les marées vertes, de configurations particulières favorables aux proliférations sur le littoral : surface d'estran, confinement des sels nutritifs et des algues produites, clarté de l'eau.

Par contre au niveau régional on observe sur les années de suivi une corrélation qui est bonne entre le niveau de flux et les surfaces d'échouage (en fin de saison).

L'analyse de la réaction de chacun des sites aux années climatiques permet d'appréhender un niveau d'abattement minimal des flux d'azote qu'il faudrait atteindre pour qu'une diminution marquée de la marée verte intervienne.

Voir, pour plus de détails, la note de synthèse en annexe 2.

L'aspect pluri annuel de la marée verte :

Les suivis des surfaces d'échouages permettent de percevoir l'aspect pluri annuel du phénomène de marée verte : la marée verte d'une année ne dépend pas que du flux de nutriment de l'année mais également de l'ampleur de la prolifération précédente et des paramètres climatiques de l'hiver et du printemps (dispersion et température de l'eau). Ce point est fondamental à prendre en compte si l'on veut pouvoir modéliser correctement la réponse des sites aux abattements de flux de nutriments.

Voir, pour plus de détails, la note de synthèse en annexe 2.

Des expérimentations appliquées :

Annuellement, le comité de pilotage a décidé d'expérimentations appliquées pour aller au-delà des besoins généraux de suivi définis sur la durée du programme.

✓ **Audit sur le ramassage et l'élimination des algues au niveau des 60 communes touchées par les marées vertes (2002)**

- Consolidation des données d'enquête auprès des 46 communes auditées : zones d'échouage, tonnages, coûts,
- Analyse des caractéristiques du ramassage régional sur les années disponibles 1982-2002,
- Analyse des échouages : comportement à différentes échelles de temps, typologie des échouages qui font l'objet de ramassage, composition apparente des ramassages,
- Audit des chantiers de ramassage : moyens matériels et coûts, mode de gestion des chantiers, contraintes et limites du système, stratégies d'intervention des chantiers,
- Audit des modalités actuelles d'élimination des algues ramassées : type de filière, analyse des contraintes et limites, besoins et attentes des communes,
- Synthèse des évolutions souhaitées dans l'avenir : sur le plan des moyens globaux à affecter au ramassage, sur le plan de l'organisation et des solutions techniques,
- Audit des pratiques de ramassage par les communes, mode de gestion des algues ramassées.

✓ **Test d'efficacité préventive d'actions massives de ramassage sur la marée verte d'un site (2002-2006)**

Les réalisations ont porté **sur trois grands domaines** :

Outils de ramassage :

- 25 essais sur estran
- 16 outils testés

Les essais ont portés sur les paramètres d'efficacité de l'outil, son rendement, sa sélectivité (vis à vis des algues et du sable). Certains de ces essais ayant été réalisés en « vraie grandeur » dans le cadre du chantier de destockage de la baie de la Fresnaye ont permis de confronter les outils aux conditions réelles d'utilisation intensive.

Destockage/ramassage préventif

- Deux campagnes opérationnelles en baie de La Fresnaye ont été conduites en 2004 et 2005 avec des volumes de + de 3000m3. Des enseignements peuvent être tirés de ces campagnes en terme d'efficacité des engins, de réaction du site aux ramassages et d'organisation de chantier (ramassage et gestion des algues ramassées).

Suivis de chantiers

- 9 chantiers ont été analysés pour la composition du ramassage en algue/sable/ eau (variations selon les typologies de dépôt, outils de ramassage et prestataires à l'oeuvre)

Les conclusions qui peuvent en être tirées :

- Entretien / propreté des hauts de plages :
 - Utiliser des engins sélectifs (nettoyeuses de plages professionnelles type ratisseuse).
- Intervention sur des échouages de pointe :
 - Concentrer des moyens pour réduire le temps d'intervention (mutualisation des moyens, chantier mobile...) et limiter les nuisances.
- Ramassage « préventif » :
 - Meilleures simulations de l'intérêt du ramassage pour gêner la reconduction du stock (inter-saison) ou diminuer la pression d'échouage (en saison).
 - Nécessité de chantiers haut débit => récolte à contenu en sable mini => ramasser dans le rideau de préférence => concevoir de nouvelles machines => investissements.

✓ **Atelier courantologique (2002-2006)**

Ce programme a été conduit en partenariat avec l'Ifremer.

Il a permis d'aboutir à un modèle complet « mars ulves » décrivant la marée verte d'un site, les cours d'eau responsables des proliférations (méthode des traceurs) et les niveaux d'abattement à entreprendre pour limiter les proliférations.

En fin de programme on peut distinguer :

- Domaine opérationnel :
 - Contribution des sources à la production algale.
 - Relation abattement flux nitrates / abattement production d'algues en année 1, mais à stock initial et contribution sédimentaire en sels nutritifs donnés.
- Domaine opérationnalisable à court terme :
 - Relation abattement flux/abattement production en année1, à contribution sédimentaire en sels nutritifs connue.
- Domaine opérationnalisable à terme :
 - Relation abattement flux/abattement production d'algues à l'équilibre (année 2, 3 ?) qui tient compte d'une réduction probable du stock initial dans les premières années d'abattement de flux.

✓ **Validation technico économique de filière de valorisation industrielle des algues vertes (2002-2006)**

Les travaux conduits sur la période 2002-2006 ont permis de proposer aux collectivités :

- des solutions pour maîtriser la dégradation des biomasses ramassées, avec 2 finalités :

- stabiliser la matière première pour stockage puis valorisation
- limiter ou éliminer les nuisances (jus, émissions gazeuses)
- des procédés et technologies pour utiliser les algues ramassées dans des applications « exutoires » :
 - meilleure connaissance des cahiers des charges des différents domaines d'application;
 - acquisition de données techniques et économiques sur les procédés de traitement permettant d'appréhender la pertinence des approches des industriels;
 - examen d'applications particulières.

Filière		Forces	Limites
composts	mélanges algues / déchets verts	- simplicité + coût limité - adapté aux grandes quantités - bon contrôle des nuisances	- contrainte du co-compostage - faible valeur, sauf certaines niches - concurrence d'autres MO
	algues stabilisées	- simplicité + coût limité - adapté aux grandes quantités - bon contrôle des nuisances	- concurrence des algues brunes - faire accepter les ulves passe par des tests agronomiques
engrais stimulateurs de défenses naturelles	extraits liquides	- adapté aux grandes quantités - bon contrôle des nuisances - marché demandeur	- valeur ajoutée limitée - dessablage nécessaire - concurrence des algues brunes - sous-produits à gérer
	éliciteurs	- marché demandeur - forte valeur ajoutée	- volumes faibles - contrainte homologation phyto
matériaux pour usages agricoles	godets horticoles	- volumes importants - marché demandeur - formule et procédé validés	- nécessité d'une faible teneur en sable - transfert industriel à finaliser
	bioplastiques	- volumes importants - demande forte	- prétraitements complexes - coût trop élevé
alimentation animale	protéines	- attente forte du marché - adapté aux très grandes quantités	- faible valeur nutritionnelle - marché très gros volume - gestion des sous-produits
	pigments / aviculture	- teneur en zéaxanthine - valeur ajoutée forte	- faibles volumes - coût de production prohibitif
	facteur d'appétence aquaculture	- attentes fortes du marché - potentiel de volume important - faisabilité acquise	- concerne des espèces particulières (saumons,...) - gestion des sous-produits
chimie verte	actifs cosmétiques	- marché demandeur - forte valeur ajoutée	- volumes faibles - contraintes de qualité
	adjuvants cosmétiques (tensioactifs)	- bonne valeur ajoutée - faisabilité technique acquise	- volumes limités - gestion des sous-produits - transfert commercial à finaliser
	nano- technologies	- forte valeur ajoutée - potentiel important si applications matériaux	- contraintes de qualité - secteur émergent, à consolider

✓ **Synthèse documentaire de recadrage sur les rôles respectifs de l'azote et du phosphore dans les phénomènes d'eutrophisation marine et d'eau douce (2004)**

La synthèse propose une revue des situations en eaux douce continentale, en eaux marines et en eaux côtières. La distinction est également faite entre la notion de facteur limitant, de facteur responsable et de facteur de maîtrise. Pour ce qui concerne les marées vertes, l'azote est identifié à la fois comme facteur limitant actuel et comme facteur de maîtrise des proliférations.

✓ **Identification des entéromorphes participant aux échouages d'algues vertes. Analyse de leur cycle de développement sur le terrain et de leurs relations possibles avec l'eutrophisation côtière (2004-2005)**

Certains sites du littoral nord Bretagne (Léon et Trégor) ainsi que du littoral sud (baie de Quiberon/la Trinité sur Mer) présentent des développements de macro algues vertes filamenteuses (désigné comme « entéromorphes »).

L'analyse génétique de quelques échantillons a permis de mettre en évidence au moins deux populations distinctes d'algues filamenteuses (celle de Quiberon-Carnac serait distincte de celle de La Trinité sur Mer et distincte également de celle des côtes du Trégor).

Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer l'augmentation de l'occurrence des proliférations notamment en baie de Quiberon (les plus massives) : l'augmentation de l'eutrophisation générale, l'augmentation de la température de l'eau, modifications dans la nature des substrats de colonisation des algues. La réduction des apports de ces sels nutritifs reste de toute façon le moyen commun essentiel pour réduire ou prévenir ces développements excessifs.

✓ **Nouvelle approche pour résoudre le problème de quantification des algues vertes en estuaire : test du CASI sur la Ria d'Etel (2005)**

Le suivi de la colonisation des vasières par les algues vertes est particulièrement compliqué par la présence sur ces milieux de plusieurs espèces et la difficulté de parcourir ces espaces.

Une image hyperspectrale CASI a été acquise en mai 2004 sur la Ria d'Etel. Les premiers tests méthodologiques permettent de confirmer les potentialités offertes par un tel outil pour suivre les couvertures végétales et discriminer les espèces présentes à distance. Le principal frein actuellement à l'utilisation plus routinière d'un tel outil est le coût que représentent les acquisitions aériennes.

Bilan financier

✓ Rappel des montants prévisionnels indicatifs de la Charte :

PROGRAMME PROLITTORAL : Programme Régional & Interdépartemental de lutte
contre la prolifération des marées vertes en Bretagne

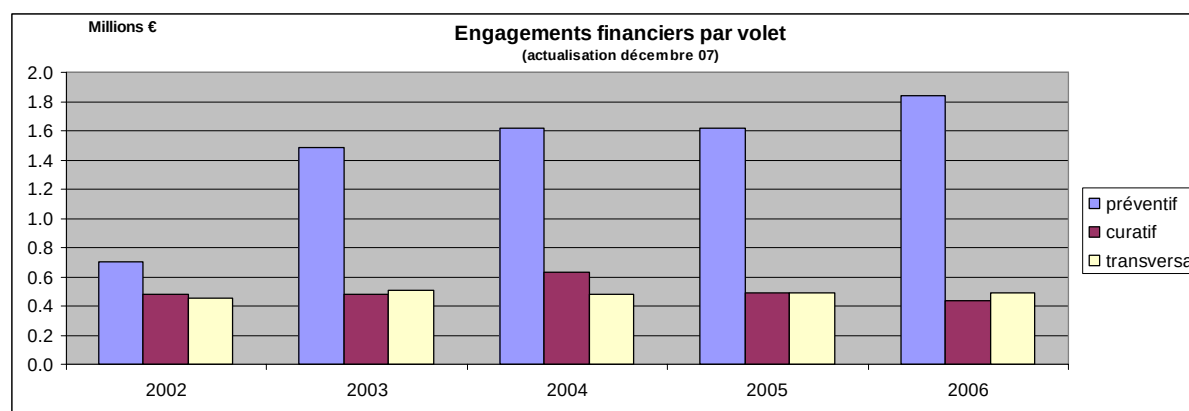
BUDGET PREVISIONNEL INDICATIF SUR 5 ANS

VOLETS	COÛT	FINANCEMENT					
		Agence de l'Eau	RÉGION	Conseil Général Côtes d'Armor	Conseil Général Finistère	Conseil Général Ille & Vilaine	Conseil Général Morbihan
PREVENTIF							
* Diagnostic complémentaire	75 000	22 500	22 500	15 000	15 000		
* Programmes Bassin versant	10 000 000	3 000 000	1 900 000	793 000	1 100 000		
TOTAL PREVENTIF	10 075 000	3 022 500	1 922 500	808 000	1 115 000		
CURATIF							
* Ramassage - transport	2 840 000		0	1 143 000	600 000		
* Gestion des algues ramassées	1 000 000		cas par cas	95 000	cas par cas		
TOTAL CURATIF	3 840 000	0	0	1 238 000	600 000		
SUIVI- ANIMATION							
* Centre de ressources	2 257 500	731 000	451 500	326 500	368 900	178 000	201 600
* Projets hors centre	228 600	0	45 720	45 720	45 720	45 720	45 720
* Communication	381 080	114 330	53 350	53 350	53 350	53 350	53 350
TOTAL SUIVI ANIMATION	2 867 180	845 330	550 570	425 570	467 970	277 070	300 670
TOTAL PROGRAMME	16 782 180	3 867 830	2 473 070	2 471 570	2 182 970	277 070	300 670

Montant prévisionnels indicatif mentionnés dans la Charte Prolittoral

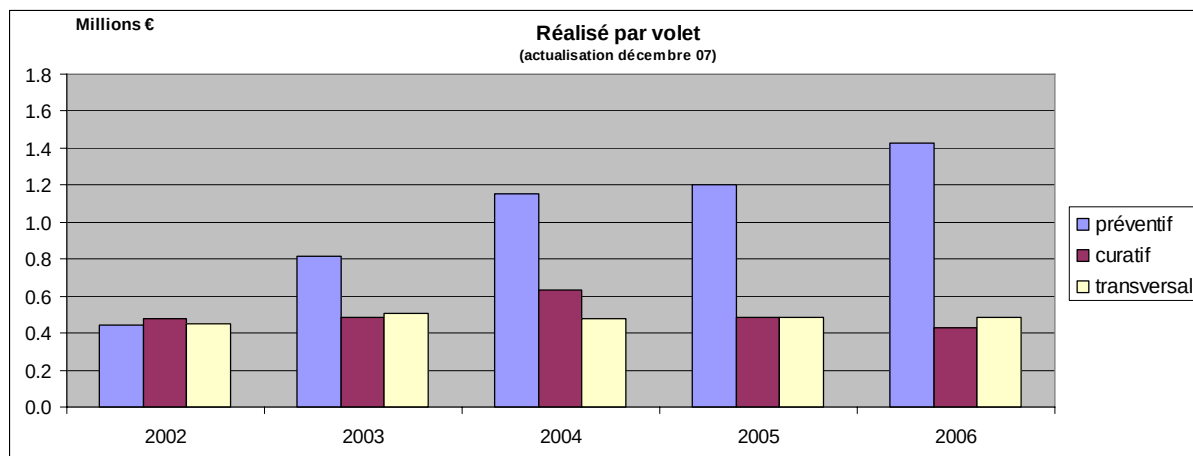
Ces montants dits « prévisionnels indicatifs » avaient été établis d'après les dépenses auxquelles les structures étaient déjà confrontées par le passé (notamment le ramassage par les communes) et une estimation « forfaitaire » de ce que pourrait coûter des actions de bassin versant et des suivis environnementaux. C'est pour cette raison que les montants étaient « indicatifs ».

✓ Engagements financiers annuels par volet :

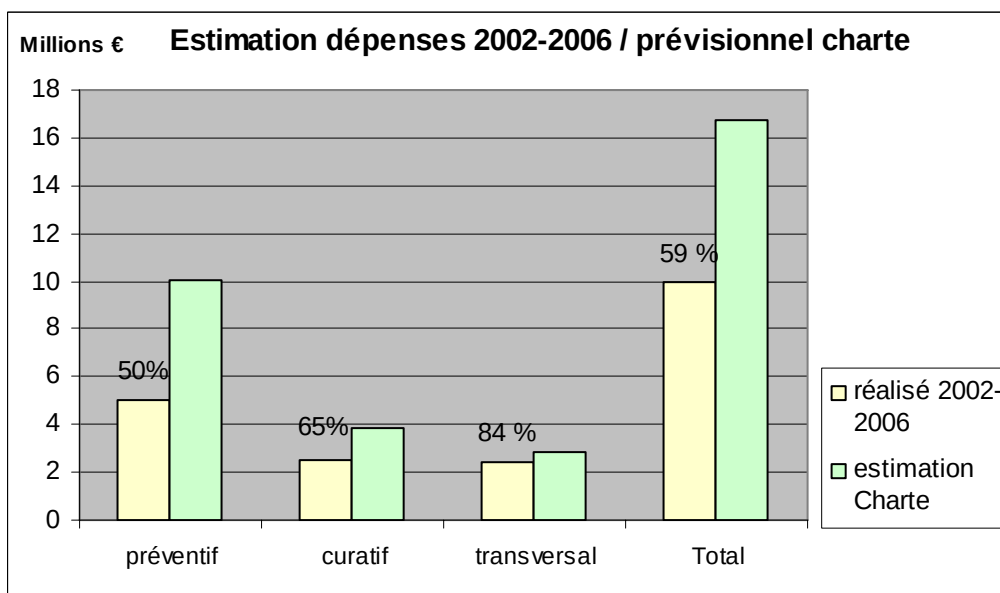


Les engagements présentés correspondent aux programmes prévisionnels annuels pour le volet préventif et transversal. Pour le curatif, aucun montant prévisionnel n'étant défini, c'est le montant des dépenses ayant fait l'objet d'une demande de subvention qui figure ici.

✓ **Montants dépensés :**



L'information concernant les dépenses consolidées (soldées) n'étant pas encore disponible pour toutes les opérations, les montants dépensés, parfois très en dessous des engagements, ont été estimés par les différentes structures (dépenses dites « réalisées »).



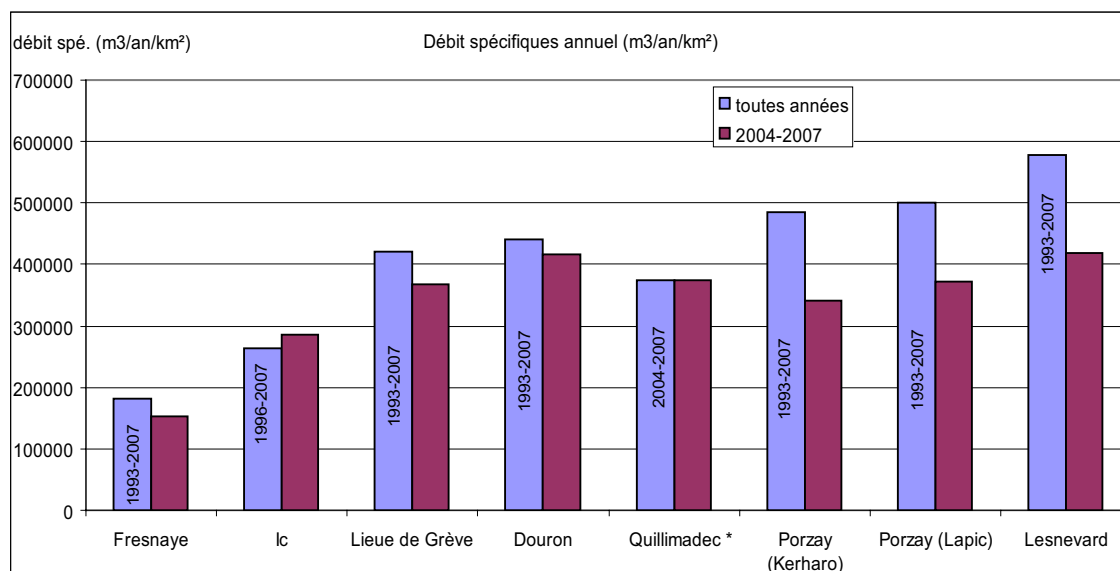
La réalisation, inférieure au prévisionnel « indicatif » établi en début de programme n'est pas du fait des structures partenaires qui auraient limité les budgets, mais de la capacité de mise en œuvre des actions programmées par les différentes parties plus limitées que prévu (les engagements financiers sont de ce fait pour la plupart des actions très supérieurs aux montants réellement dépensés ce qui atteste de budgets prévus par les structures partenaires de Prolittoral mais non dépensés au final).

ANNEXES

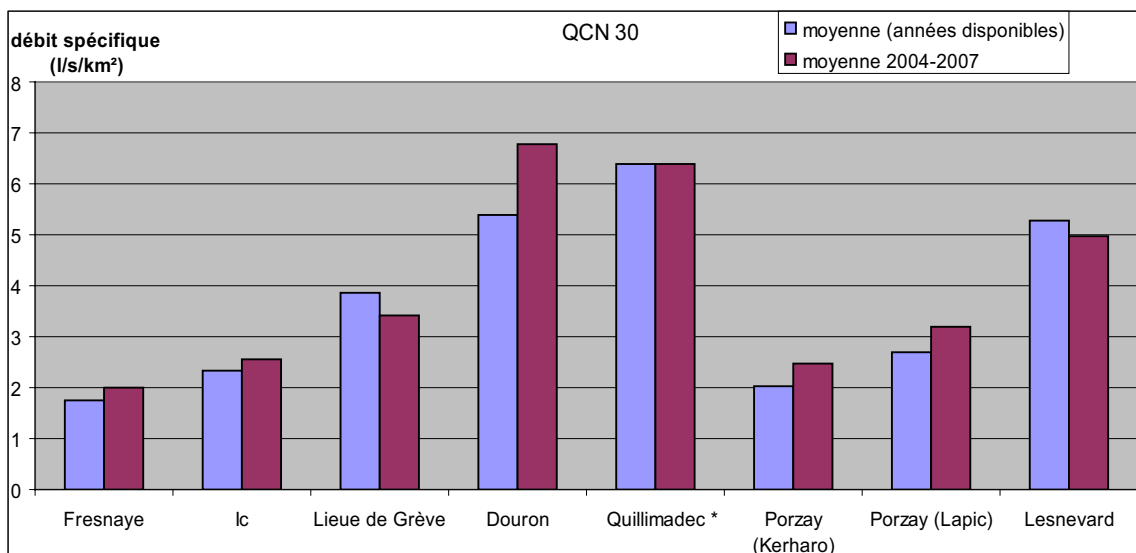
Annexe 1 :

**Caractérisation hydrologique des bassins versants de Prolittoral et
synthèse des données de qualité de l'eau**

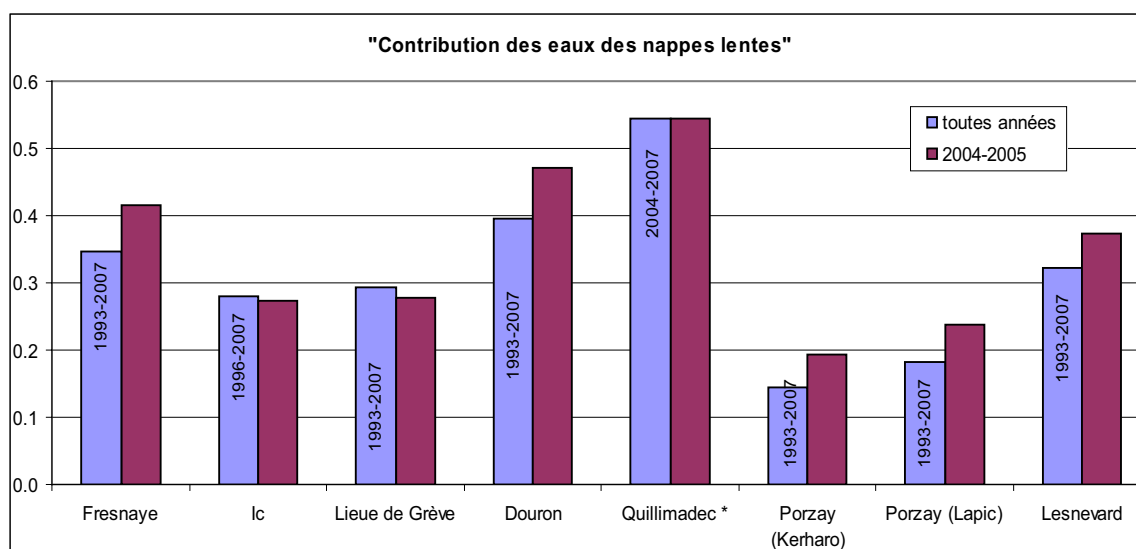
Caractéristiques hydrologiques



Débit spécifique annuel
(m³/an/km²)
sur la moyenne 2004-2007
et sur l'ensemble des années
disponibles
(années hydrologiques)



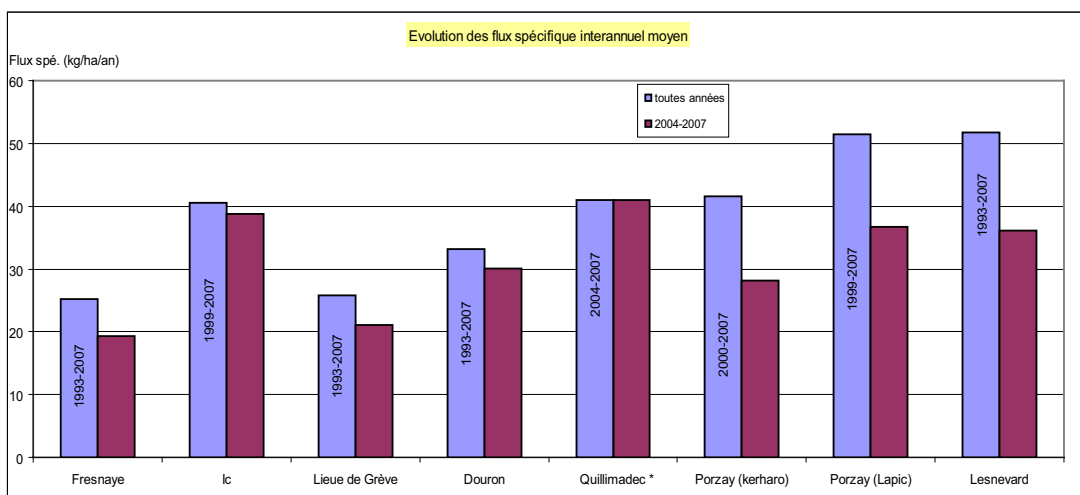
Débit d'étiage (QCN 30)
sur la moyenne 2004-2007
et sur l'ensemble des années
disponibles
(années hydrologiques)



"Contribution des nappes" estimée par la formule : débit moyen/QCN30.
Année hydrologique n = 1er octobre n-1 au 30 septembre n.

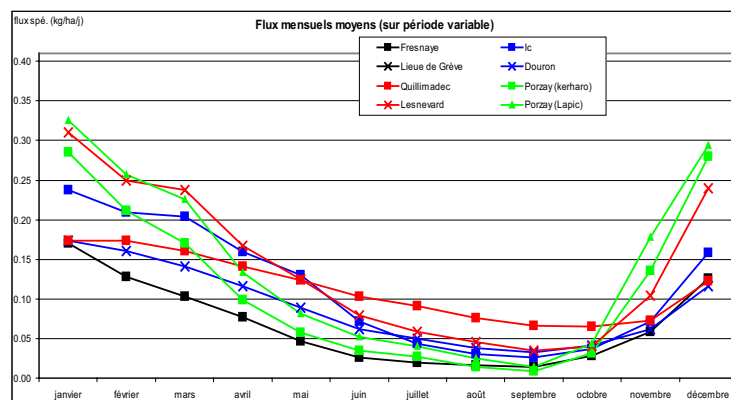
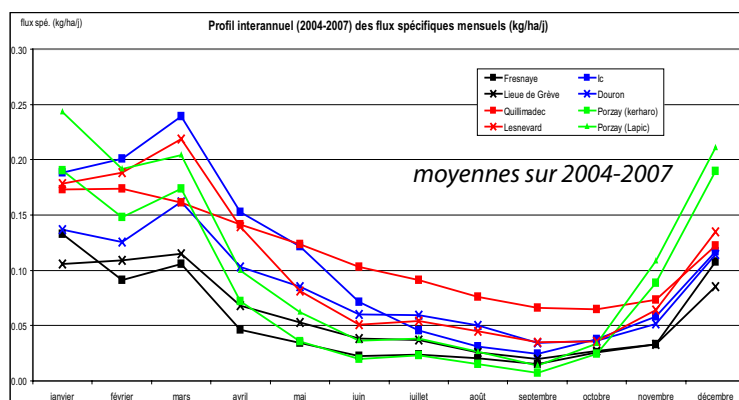
* Pour le Quillimadec, les données de débit utilisées ici pour l'année 2007 devront être modifiées pour tenir compte du changement de profil du cours d'eau qui aurait amené à une modification de la courbe de tarage (hauteur d'eau/débit). La prise en compte de cette modification augmentera les débits de 2007 de 25 % environ

Flux d'azote inorganique

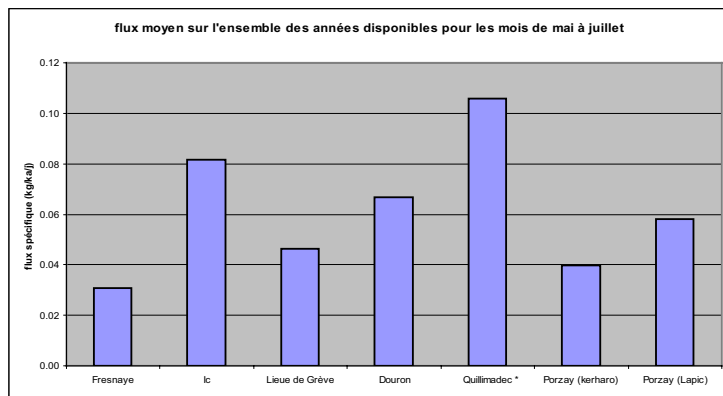
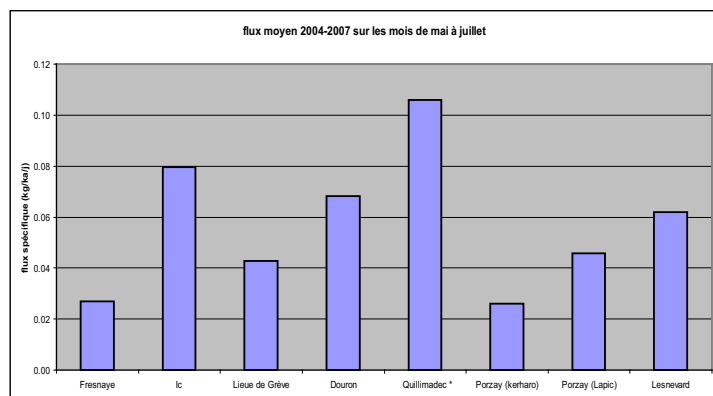


Flux spécifiques annuels d'azote inorganique

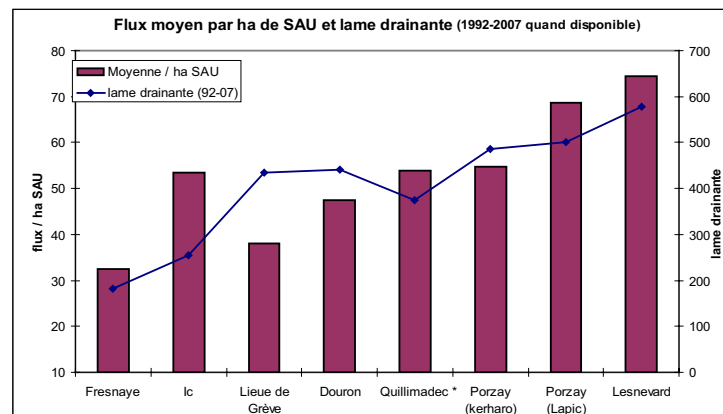
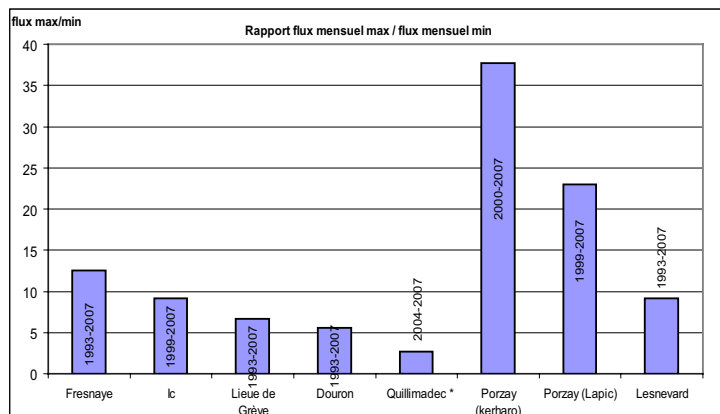
Flux calculés par année hydrologique (oct-sept)



Flux moyens spécifiques mensuels d'azote inorganique (*)



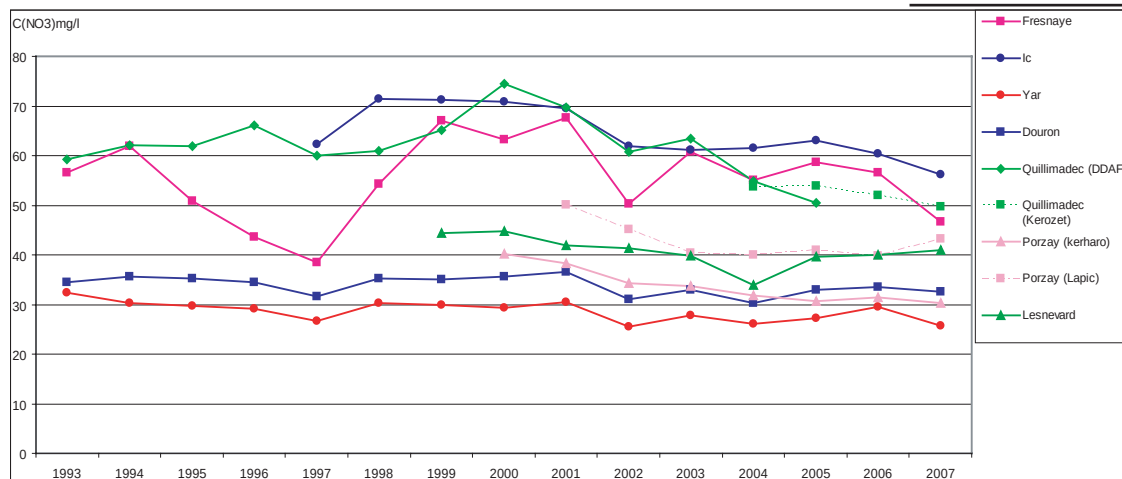
Flux moyen spécifiques d'azote sur les mois de mai à juillet



Flux max / min souvent janvier/septembre.
Pour plus de détail, ce reporter aux fiches par site.

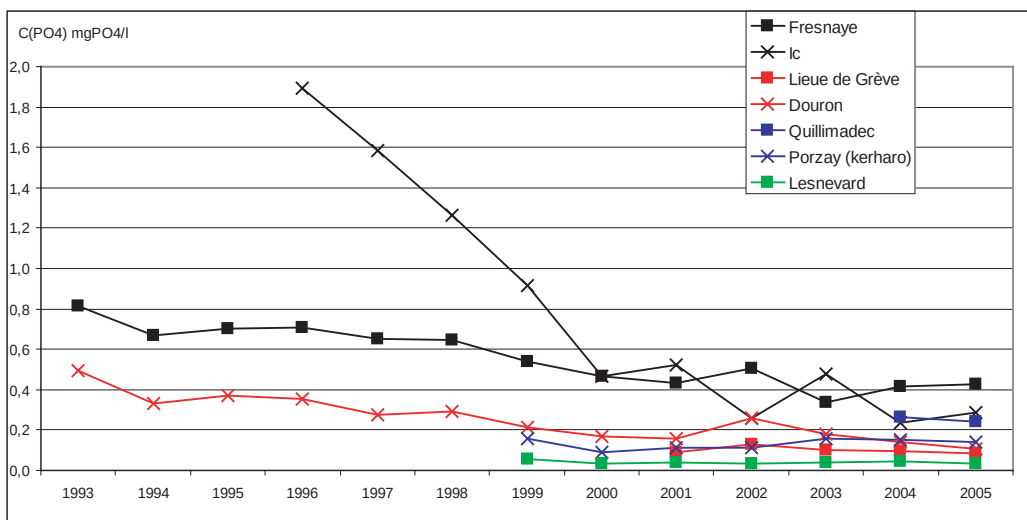
* Pour le Quillimadec, les données de débit utilisées ici pour l'année 2007 devront être modifiées pour tenir compte du changement de profil du cours d'eau qui aurait amené à une modification de la courbe de tarage (hauteur d'eau/débit). La prise en compte de cette modification augmentera les débits de 2007 de 25 % environ

Caractéristiques physicochimiques

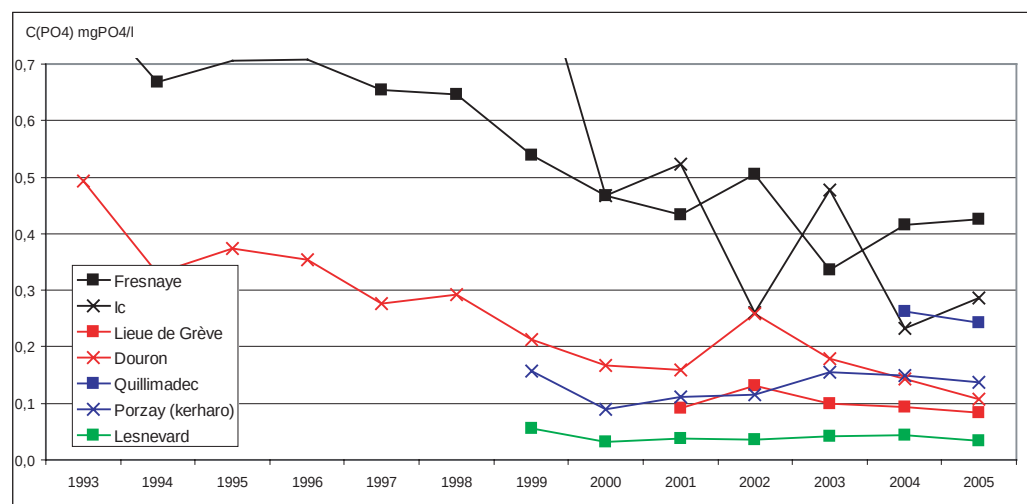


Moyennes annuelles des concentrations en nitrates de 1999 à 2007

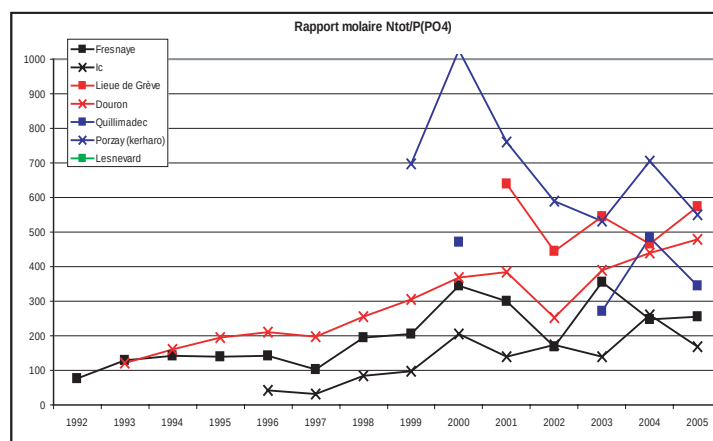
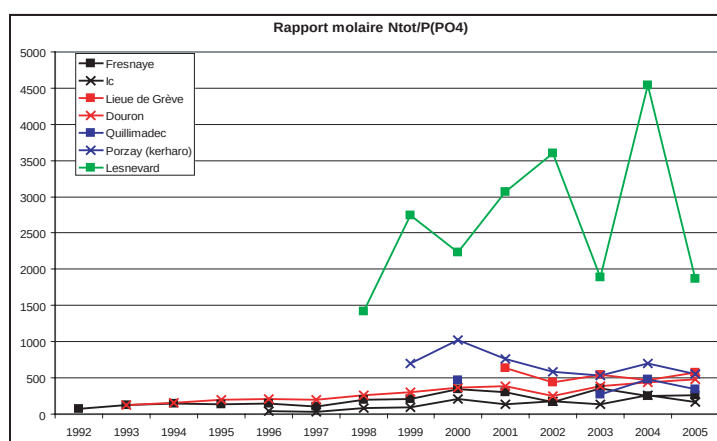
calculées en faisant la moyenne des valeurs mensuelles moyennes (chaque mois à le même poids)



Moyenne annuelles 1993-2005 des concentrations en orthophosphate (mgPO4/l)



échelle différente, mêmes valeurs



Moyennes annuelles du rapport molaire N(Ntot)/P(PO4)

Calculé à titre indicatif, sur les valeurs instantanées, les flux journaliers de PO4 étant particulièrement difficiles à mesurer. Ntot = N inorganique total, dans certains cas seulement NO3 mesuré (se reporter aux fiches par BV).

Annexe 2 :

Note de synthèse

Lutte contre les marées vertes : Apports des suivis environnementaux à la caractérisation des proliférations, détermination des objectifs de qualité de l'eau à atteindre et actions efficaces à mettre en œuvre sur les bassins versants

Lutte contre les marées vertes :
Apports des suivis environnementaux à la caractérisation des proliférations,
détermination des objectifs de qualité de l'eau à atteindre et actions efficaces à
mettre en oeuvre sur les bassins versants.

Note de synthèse
Sylvain Ballu / CEVA

Contexte et objectifs :

Depuis le début des années soixante dix, certains points du littoral breton sont touchés par des développements excessifs d'algues vertes connus en Bretagne sous le nom de « marées vertes ». Le développement de ces algues y est, sur les différents sites, plus ou moins massif et régulier. Les algues incriminées dans ces marées vertes sont des macroalgues de type Ulve (« laitue de mer »).

Le comportement bio géochimique de l'azote et du phosphore ainsi que leur statut actuel vis à vis de la limitation de la croissance des algues sur les sites bretons ont conduit à désigner **l'azote comme le levier opérationnel pour lutter efficacement contre les marées vertes**. Cela ne désigne pas pour autant cet élément comme « facteur responsable » des marées vertes, mais comme élément qui, par sa position actuelle d'élément limitant de la croissance dans la plupart des sites et son absence d'accumulation massive dans l'écosystème, peut permettre de maîtriser le phénomène. Le phosphore, lui aussi indispensable à la croissance des algues, est un moins bon levier de maîtrise du phénomène de par son accumulation « naturelle » dans le proche littoral, aux exutoires des cours d'eau, ce qui explique son abondance, depuis des dizaines d'années au moins, dans les baies à « marées vertes ».

Les marées vertes induisent des **nuisances importantes** dont certaines sont relativement bien décrites parmi lesquelles l'altération de la **qualité de l'air** (forts désagréments voire même risques sanitaires possibles d'après les mesures effectuées pour la DDASS en 2005 et 2006 à proximité de la baie de Saint Michel en Grève), l'entrave à l'accès à la plage, la gêne des activités de petite pêche côtière impliquant l'abandon de certaines zones de pêche, la gêne de certaines activités nautiques,..... d'autres peu ou pas analysées comme l'impact sur l'écosystème côtier dans son ensemble. Pour lutter, au moins en partie contre ces nuisances, les communes riveraines **ramassent ces algues vertes** ce qui représente pour les collectivités bretonnes un coût moyen de l'ordre de 500 000€/an.

Les **4 Départements bretons, la Région et l'Agence de l'Eau Loire Bretagne** se sont associés de 2002 à 2007 dans le cadre du programme **Prolittoral** de lutte contre les algues vertes en Bretagne. Le programme avait pour objet la mise en place d'actions pour lutter, au niveau des **bassins versants** contre les fuites de nutriments, le **curatif** (ramassage des algues) et le **suivi du phénomène**. Le CEVA en a été désigné « centre de ressource » et chargé notamment des suivis du phénomène et d'un appui aux porteurs de programmes de bassin versant.

Les suivis réalisés permettent de décrire de façon beaucoup plus fine le phénomène de marée verte sur les différents sites concernés. L'analyse de la réaction des différents sites aux années climatiques, relativement contrastées sur la période, permet alors de mieux comprendre le phénomène, étape importante dans la définition des actions de lutte et leur intensité.

Après plusieurs années d'actions sur les bassins versants et dans l'attente de la réponse complète en terme de qualité de l'eau (inertie du milieu), la question de la pertinence des actions mises en place se pose. La Directive Cadre sur l'Eau de 2000 (DCE) prévoit maintenant la mise en place d'actions « obligatoires » pour revenir au « bon état écologique ». Il est donc primordial de pouvoir déterminer à la fois :

- en fonction des sites et de leur sensibilité quelle est la **qualité de l'eau qu'il faut atteindre** pour retrouver le « bon état écologique »,
- en fonction des caractéristiques pédoclimatiques des bassins versants alimentant ces sites quelles sont les **actions qu'il faut mettre en place** pour atteindre la qualité de l'eau déterminée.

L'azote ayant été déterminé comme levier opérationnel et cet élément provenant, sur les sites bretons touchés par les marées vertes, **de façon très majoritaire de l'agriculture** sous forme de nitrate, il faut donc déterminer pour chaque site, le type de **pratiques et de système agricoles** permettant d'obtenir un retour au « bon état écologique » sur ce paramètre des marées vertes.

Le rôle du CEVA auprès des porteurs de programmes de bassin versant, pour ce qui est des aspects agronomiques, prenant fin, il a semblé important d'intégrer à la synthèse **les enseignements qui peuvent être tiré du programme sur les années 2002 à 2007.**

1) Apports des suivis à la caractérisation des marées vertes

Le programme Prolittoral a permis, entre autre, de financer un suivi fin des marées vertes bretonnes entre 2002 et 2007. Ces suivis ont été conduits par le CEVA au travers quatre réseaux :

- Inventaire de tous les points du littoral touchés par des échouages d'ulves en quantité anormale : survol de l'ensemble du littoral, à basse mer de fort coefficient, à trois ou quatre reprises dans l'année pour repérer les sites d'échouage et les occurrences des échouages (mai, juillet, août et octobre pour 2002-2006 et mai, juillet, septembre pour 2007)
- suivis mensuels des surfaces d'échouage d'avril à octobre sur les principaux sites bretons : photographie aérienne de tous les échouages, à marée basse de fort coefficient puis intégration des photographies sur Système d'Information Géographique pour mesurer les surfaces couvertes en ulves mois par mois. Pour que les dépôts de différentes typologies puissent être comparés, on détermine, l'indice surfacique égal à la somme :
 - des surfaces en ulves échouées, exprimée en équivalent 100% de couverture (taux de couverture x surface du dépôt pour chaque type de dépôt)
 - des surfaces en rideau (algues en suspension dans l'eau en forte densité dans les premiers mètres, à marée basse).
- Suivis de l'indice d'eutrophisation de vingt sites : prélèvement tous les 15 jours d'algues dans ces sites et analyse des contenus internes en azote,
- Estimation des biomasses totales atteintes dans les grands secteurs : en plus des estimations surfaciques sur l'estran, déjà disponibles par le premier réseau, pour ces estimations sont mesurées les biomasses par unité de surface et, par plongées, les quantités non accessibles à l'observation aérienne qui se trouvent au delà de la limite de basse mer.

En Bretagne, dans l'ensemble des sites de « marées vertes » on distingue deux grands types :

- Les sites « classiques » désignés aussi comme sites « sableux », les plus connus du grand public, sont des secteurs de plages qui sont couverts en plus ou moins grande partie par des échouages qui peuvent s'accumuler sous forme d'andains épais générant des nuisances importantes pour les riverains et touristes,
- Les sites de « vasières », secteurs moins fréquentés par le public, sur lesquels les échouages peuvent être considérables, équivalents aux plus gros sites de plage en biomasse instantanée. Pour autant les dynamiques de prolifération de ces sites et les impacts sur la population et le milieu sont différents des secteurs de plage. Ces secteurs ayant fait l'objet de moins de suivis sont moins bien connus et leur réaction annuelle aux années climatiques plus difficile à caractériser ; **seuls les sites décrits comme « sableux » ont été intégrés dans l'ensemble des analyses présentées** dans ce document.

1.1) Relation entre les apports de nutriments par les cours d'eau et la marée verte à l'exutoire

- Données utilisées :

L'importance de la marée verte est estimée en considérant les surfaces couvertes par les ulves sur les sites à l'aval des cours d'eau : est retenue la moyenne sur la série 2002-2007 des surfaces couvertes lors des sept mesures annuelles.

Les concentrations de nitrates sont issues des suivis aux exutoires des cours d'eau : moyenne annuelle sur la période 2002-2007 quand elle est disponible (ou à défaut 2002-2006 pour les cours d'eau pour lesquels les données 2007 n'étaient pas disponibles). Les données de concentration sont interpolées pour disposer d'une valeur journalière. Pour l'estimation des données de flux d'azote inorganique total ($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$), la période retenue est 2002-2007 (mais pour certains cours d'eau seules les données sur 2002-2004 ont pu être récupérées) ; les débits sont estimés à partir des valeurs des stations de jaugeages à l'exutoire quand elles existent où extrapolés d'après des stations plus en amont sur le même cours d'eau ou sur un cours d'eau voisin ayant un comportement hydrologique proche.

- Résultats :

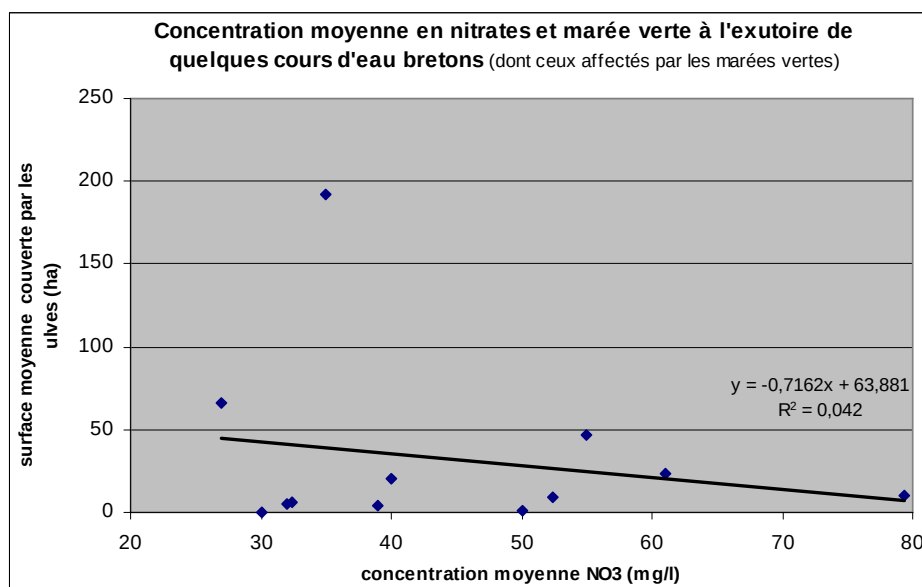


Figure 1 : relation entre la concentration en nitrates des cours d'eau et les surfaces couvertes par les ulves. Les cours d'eau intégrés ici sont : cours d'eau de la baie de la Fresnaye, de l'Ic, de la Baie de Saint Brieuc (Gouet+Urne+Gouessant), du Trieux, du Jaudy, du Léguer, de la baie de la Lieue de Grève, du Douron, de l'Horn et du Guillec, du Kerharo (Baie de Douarnenez), du Lesnevard (baie de la Forêt).

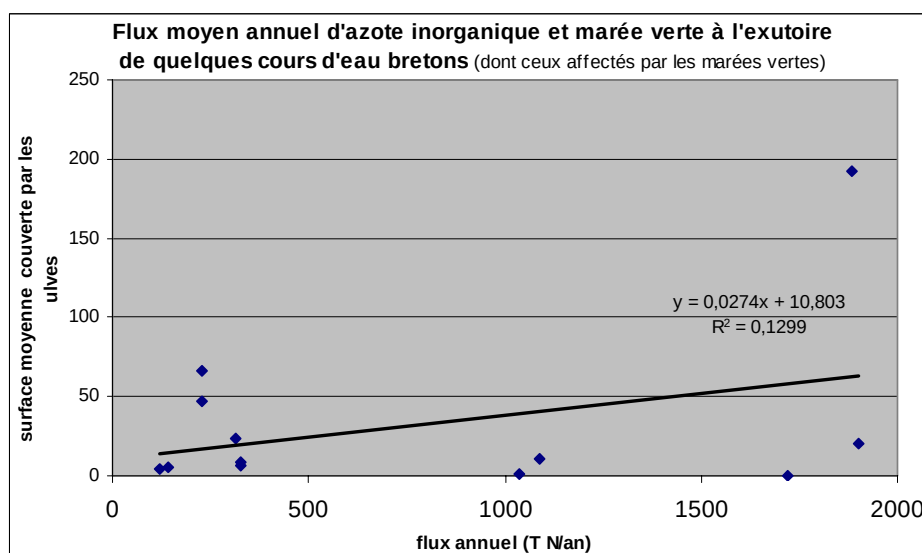


Figure 2 : relation entre le flux moyen d'azote inorganique des cours d'eau et les surfaces couvertes par les ulves. Mêmes cours d'eau utilisés que pour la figure 1.

- Discussion :

Les figures 1 et 2 mettent en évidence :

- ✓ **Une absence de corrélation entre les concentrations et les surfaces couvertes par les ulves** sur les cours d'eau retenus.
- ✓ **Une très faible corrélation quand on considère le flux d'azote** ce qui est dû, en grande partie, à la baie de Saint Brieuc pour laquelle les flux sont forts (grande surface de bassin versant alimentant la baie) et les couvertures en ulves importantes (grande surface d'estran donc « surface potentielle de croissance » importante pour les ulves).

Ici, seul un échantillon de quelques cours d'eau, dont ceux présentant des proliférations d'ulves à leur exutoire, a été intégré à l'analyse. L'ajout à cette analyse des grands cours d'eau aux exutoires desquels on ne note pas d'échouages significatifs (baie du Mont Saint Michel ou baie de Vilaine, par exemple) dégraderait encore la relation flux/surface d'échouage présentée ci-dessus.

Ces faibles corrélations entre les flux de nutriment et les proliférations par site s'expliquent par la non prise en compte ici **des autres facteurs qui traduisent la sensibilité des sites** et qui sont indispensables pour que la prolifération ait lieu :

- **surface de l'estran** (surface potentielle de « culture » pour les algues),
- **courantologie** (confinement des nutriments et des algues produites),
- **clarté de l'eau** (éclairage des algues permettant la photosynthèse)

Ces éléments mettent en évidence la **sensibilité du littoral** qui permet d'expliquer que certains points du littoral sont touchés par des marées vertes malgré une qualité de l'eau meilleure que d'autres secteurs qui en sont indemnes.

1.2) Relation entre les flux de nutriments et la marée verte d'une année

- Données utilisées :

Flux de nutriments : les flux de nitrates aux exutoires des bassins versants de Prolittoral ont été retenus comme indicateurs du flux régional de nutriments azotés d'une année (données plus facilement accessibles, jusqu'en 2007). Les bassins versants de Prolittoral étant répartis sur l'ensemble des secteurs les plus concernés par les marées vertes, peuvent être considérés comme de bons indicateurs du niveau annuel et saisonnier de flux de nitrates vers les sites développant des marées vertes. Sachant que seuls les flux du printemps et de l'été sont éventuellement en mesure de limiter la croissance des ulves, le flux moyen sur les mois de mai à août inclus est utilisé pour rendre compte du niveau nutritionnel de l'année. **L'annexe 1** présente les flux mesurés par mois sur la période 2002-2007 ainsi que les caractéristiques des marées vertes régionales sur les années 2002-2007.

Marée verte annuelle : elle est mesurée en prenant le cumul des surfaces en ulves sur les sites sableux de la région. Trois indicateurs sont présentés : le cumul sur l'ensemble de la saison (sept données mensuelles d'avril à octobre), le maximum de surface dans l'année (parmi les sept inventaires) et, le niveau atteint en fin de saison (somme des échouages d'août + septembre).

- Résultats :

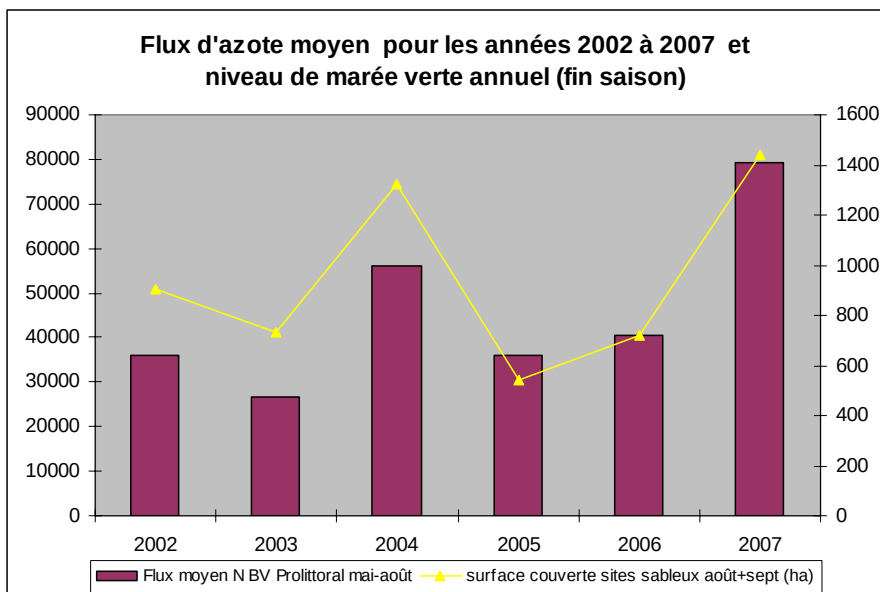


Figure 3 : flux d'azote inorganique moyens de 2002 à 2007 (mois de mai à août inclus) et surfaces couvertes par les ulves en fin de saison (100 % de couverture + rideau pour les mois d'août + septembre)

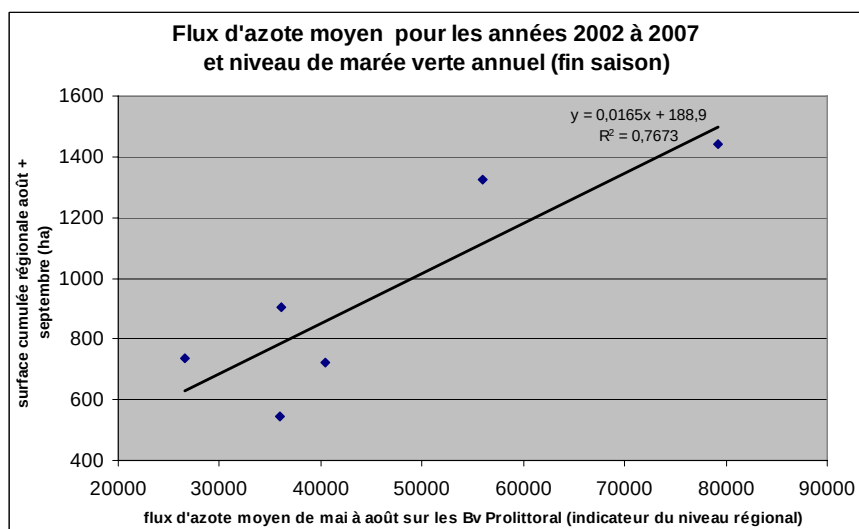


Figure 4 : corrélation entre les flux d'azote inorganique moyens de 2002 à 2007 (mois de mai à août inclus) et les surfaces couvertes par les ulves en fin de saison (surfaces d'août + septembre)

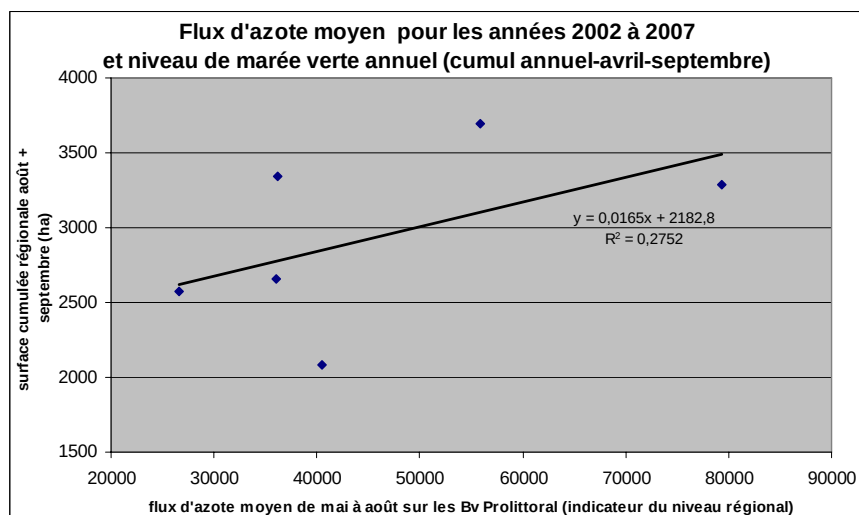


Figure 5 : corrélation entre les flux d'azote inorganique moyens de 2002 à 2007 (mois de mai à août inclus) et les surfaces couvertes par les ulves sur l'ensemble de la saison (somme des surfaces mensuelles d'avril à septembre)

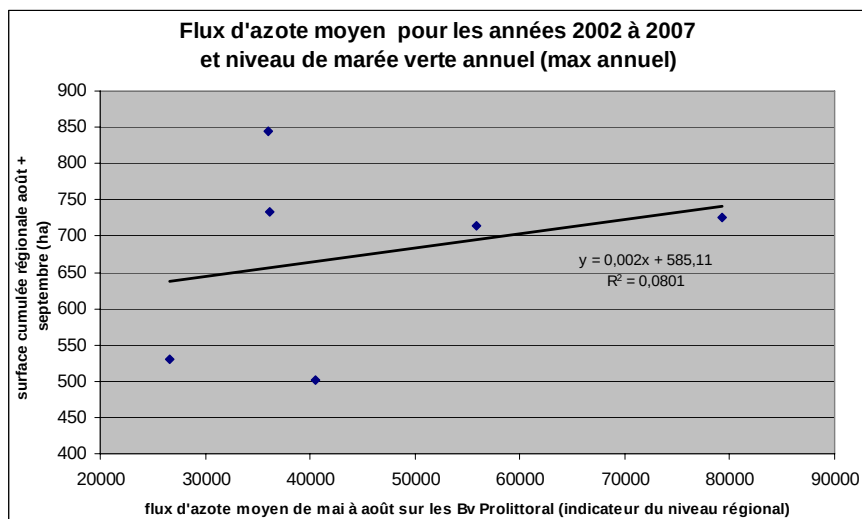


Figure 6 : corrélation entre les flux d'azote inorganiques moyens de 2002 à 2007 (mois de mai à août inclus) et les surfaces couvertes par les ulves au maximum annuel (maximum annuel de la somme des couvertures mensuelles des sites sableux)

- Discussion :

En exprimant le niveau de marée verte annuel sur l'ensemble des sites régionaux « sableux », on s'affranchit du biais lié à la plus ou moins grande sensibilité des sites aux marées vertes dans la recherche de la corrélation entre les flux d'un site et les couvertures par les ulves de celui-ci (cf. 1.1). En se plaçant dans une même configuration de site (intégration de l'ensemble des surfaces sur les secteurs sableux des côtes bretonnes), **on obtient alors une corrélation qui est forte entre la marée verte et le flux d'azote.**

La corrélation la plus forte est obtenue en considérant les **surfaces couvertes en fin de saison** (août+septembre) et les flux de nutriments et plus particulièrement les flux d'azote sur la **période « sensible » (mai à août inclus).**

Le fait de considérer le cumul des surfaces couvertes sur l'ensemble de la saison potentielle (avril-octobre) dégrade la corrélation obtenue en ne considérant que la couverture de fin de saison. L'explication la plus probable est que le démarrage de la prolifération (couvertures d'avril et de mai notamment) n'est pas lié au flux de nutriment, toujours en excès en début de saison. On peut noter que cet indicateur présente l'avantage de probablement mieux refléter la marée verte ressentie par les riverains (notion de durée de la prolifération en plus de son intensité) : il peut alors y avoir une relative divergence entre la marée verte ressentie et le niveau de flux qui n'explique pas seul la marée verte de l'année.

Le maximum annuel est lui aussi, au niveau régional, moins bien corrélé au flux de l'année que ne l'est la surface atteinte en fin de saison. Cela s'explique très probablement par l'importance que revêt la précocité de la marée verte pour que le maximum soit élevé (comme c'est par exemple le cas pour les années 2002 et 2005 malgré des flux bas).

Ces résultats obtenus par l'intégration de toutes les surfaces couvertes sur les secteurs de plage au niveau régional sont fortement influencés par les plus gros sites d'échouages dont la baie de Saint Brieuc pour laquelle les échouages peuvent représenter la moitié de l'échouage régional de fin de saison (août + septembre). **Certains sites peuvent présenter des réactions différentes** de ce qui est perçu au niveau régional. L'analyse de la réaction de chaque site aux flux alimentant le site permet de mieux cerner la plus ou moins forte limitation par l'azote et donc la résistance de la marée verte du site aux diminutions de flux (cf. paragraphe 2).

La poursuite des suivis permettra d'affiner cette perception du lien entre la marée verte régionale et les niveaux de flux.

La simple analyse visuelle des données des années antérieures (non mesurée avec de telles méthodes métriques et pour lesquelles nous ne disposons que de données plus éparées) semble **confirmer le niveau très élevé des marées vertes des années de fort flux au cours de la décennie 1990 et 2001, juste avant le démarrage des suivis de Prolittoral.**

1.3) Mise en évidence du caractère pluri annuel de la marée verte

- par l'analyse des surfaces d'échouage régionales :

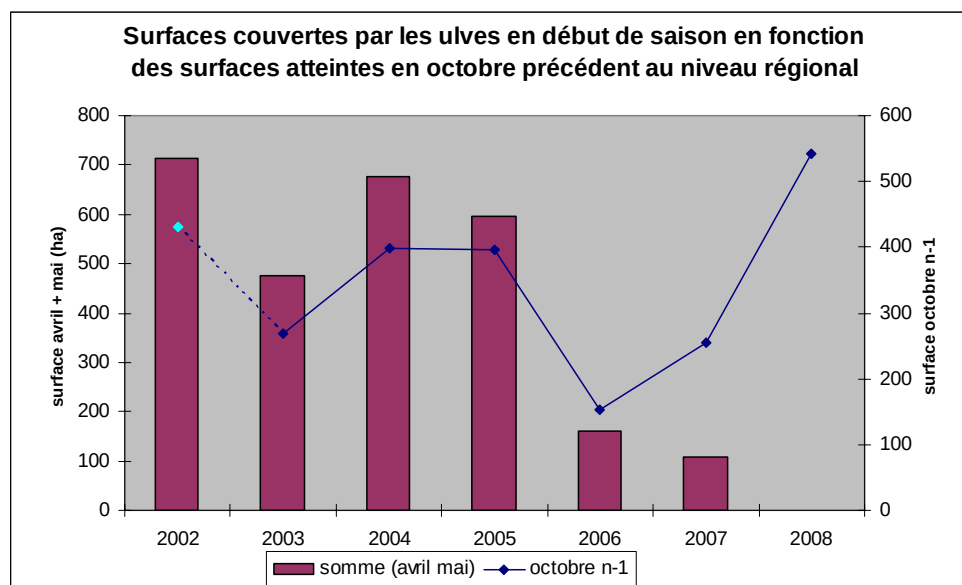


Figure 7 : surfaces couvertes par les ulves en début de saison (avril+mai) et lien avec le niveau de couverture de la fin de l'année n-1. Le niveau de la fin 2001 a été estimé en se basant sur les suivis qui ne portaient, à cette époque, que sur le littoral des Côtes d'Armor (suivis réalisés par le CEVA sur financement du Conseil Général des Côtes d'Armor). La méthode d'estimation était différente : pour rendre compatibles les méthodes, c'est le ratio de la mesure de mi octobre 2001 sur le maximum annuel de 2001 qui a été utilisé.

On observe sur les années disponibles et au niveau régional, une **corrélation forte entre le démarrage d'une année et le niveau atteint en fin de prolifération précédente** (coefficient $R^2 = 0.81$).

Pour les années 2006 et 2007 dont le démarrage semble plus bas que ne le laisse présager le niveau d'octobre de l'année précédente, on peut noter des caractéristiques hivernales particulières peu propices à la reconduction de la marée verte par les stocks hivernaux :

- Le printemps 2006 est caractérisé par une forte anomalie dans les températures de l'eau correspondant à près d'un mois de retard pour mars à juin (en mai 2006 par exemple, 1.55°C de température de l'eau de moins que la moyenne 1985-2006 d'après les données SOMLIT de la Station Biologique de Roscoff). La température de l'eau, paramètre limitant de la croissance des ulves en début de saison, permettrait d'expliquer ce retard dans le démarrage de la prolifération.
- L'hiver 2006/2007 quant à lui est caractérisé par une agitation du milieu très marquée : trois fois plus de jours de houle supérieure à 3 m sur la période novembre 2006-mars 2007 que pour les trois hivers précédents (source : archivage de la dernière prévision d'après le modèle GFS du site Internet Windguru).

- par l'observation du comportement de certains sites en hiver :

Sur certains sites, les stocks hivernaux sont parfois accessibles à l'observation ce qui permet de visualiser cette reconduction. Sur la baie de la Lieue de Grève par exemple étaient notés de forts échouages en février 2002 (ramassage par la commune de Plestin-les-Grèves de 560 m³ le 14 janvier), en mars 2004 et

en février 2005 (estimation CEVA de près de 1000 T en poids égoutté 1 minute soit environ le quart du maximum annuel). Ces hivers à forts stocks interannuels apparents ont tous été suivis d'un démarrage très précoce de la marée verte (le cas le plus net étant l'année 2005 pour laquelle à la mi avril le site de Saint Michel était déjà quasiment à son maximum annuel). En février 2007 des échouages massifs étaient relevés, en baie de Saint Brieuc et baie de la Lieue de Grève notamment, semblant confirmer le caractère exceptionnel de reconduction pour cette année 2007/2008 suite à une marée verte 2007 particulièrement intense en fin de saison.

La baie de la Fresnaye, site majeur au regard des surfaces d'échouage depuis le démarrage des suivis (3ème site régional sur les années 2002-2005) a été exempte d'ulves en 2006. Cela semble pouvoir être expliqué par plusieurs éléments :

- un niveau de stock de reconduction très faible en fin d'hiver 2005-2006 (explicable lui-même par une succession d'années plutôt sèches dont surtout 2005, un hiver relativement dispersif, une température de l'eau exceptionnellement basse en hiver, ... et peut-être aussi l'effort de ramassage des algues dans le cadre du chantier expérimental),
- puis une température de l'eau très basse au printemps 2006, période habituelle d'installation des ulves sur le site, qui a été plus favorable au développement d'une autre algue, brune, le *Pylaiella*.
- La présence durant le printemps 2006 de ces algues brunes, en masquant la lumière peut expliquer que, plus tard en saison, les ulves ne se sont pas développées (dans un contexte nutritionnel qui n'est pas aussi favorable aux ulves que le printemps).

Au printemps 2007, la baie de la Fresnaye a, à nouveau, vu un fort développement de *Pylaiella*, puis d'autres algues rouges et enfin d'une prolifération massive mais tardive d'algues vertes (mi juillet les algues vertes représentent environ 50 % des algues présentes sur la baie) mais pas de présence d'ulve. L'algue verte qui s'est développée est le *Monostroma*, algue dont la morphologie est assez proche de l'ulve. Le fait qu'en l'absence de prolifération d'ulves une année, le site ne redémarre que tardivement une prolifération et avec une autre espèce est un élément fort indiquant **l'habituelle reconduction des marées vertes à partir des stocks résiduels**. La réaction du site au printemps 2008 est, à cet égard, particulièrement à surveiller (reconduction de la marée verte à *Monostroma* ? retour à de l'ulve ?).

Sur d'autres sites, comme par exemple en baie de Guisseny, il semble que le démarrage de la saison ne dépende pas du niveau atteint l'année précédente. La marée verte redémarre chaque année très lentement au printemps et n'atteint son maximum qu'en août voire septembre. La reconduction sur un tel site ne repose probablement pas sur le reliquat de l'année précédente mais plutôt sur la présence d'algues d'arrachage.

Cela conduit à prendre en compte, en plus des caractéristiques du printemps / été, les informations relatives à l'année précédente (voire aux années précédentes) en terme de niveau atteint par la marée verte et de caractère plus ou moins dispersif et froid de l'hiver pour interpréter l'évolution de la marée verte.

- Conclusion :

Les données recueillies dans le cadre de Prolittoral de 2002 à 2007 permettent de confirmer :

- **des niveaux de prolifération mesurés par les surfaces d'échouages qui ne peuvent être reliés aux seules concentrations ou flux d'azote inorganique des cours d'eau, la configuration littorale des sites étant fondamentale,**
- Au niveau de la région on note par contre **une relation très forte entre le niveau de flux annuel d'azote en période « sensible »** (indicateur retenu : flux sur mai à août) **et la marée verte** surtout si l'on considère le niveau atteint en fin de saison (indicateur retenu : surface en août+septembre). La relation avec le maximum annuel ou le cumul sur l'ensemble de la saison est moins bonne ce qui s'explique par le fait que le démarrage de la saison de prolifération est peu ou pas lié au niveau nutritionnel de l'année,
- **Un démarrage de la saison qui s'explique par le niveau atteint en fin de saison précédente et les caractéristiques de l'hiver** (aspect plus ou moins dispersif et température de l'eau). Tous les

sites, pour autant, ne présentent pas aussi nettement un tel caractère pluri annuel, car tous ne conservent pas de la même manière les algues l'hiver.

- Ces différents éléments conduisent à considérer le facteur de la configuration des sites et donc leur sensibilité aux marées vertes comme prépondérant. **Cela implique des niveaux de flux à atteindre pour limiter les marées vertes qui seront plus ou moins bas en fonction de cette sensibilité des sites.**

2) Abattement des flux d'azote à atteindre pour diminuer les marées vertes à un niveau acceptable.

Trois approches semblent pouvoir être utilisées pour appréhender un niveau « objectif » sur les sites :

- la modélisation,
- l'analyse de la réaction des sites aux années climatiques,
- l'analyse des dates d'apparition historiques des marées vertes et le niveau nutritionnel de l'époque.

2.1) La modélisation

La modélisation mathématique pour répondre de façon « absolue » devrait :

- connaître finement le fonctionnement biologique des ulves et des autres compartiments biologiques : croissance journalière et mortalité/sénescence en fonction du niveau en nutriment dans la masse d'eau, de la lumière et de la température,
- pouvoir reproduire finement la dispersion des nutriments et des algues potentiellement produites : courantologie fine, séquestration/relargage en nutriment du sédiment, apports en nutriment par le large (formes détritiques reminéralisables principalement), concentration / dispersion des ulves par la houle pendant la saison de prolifération et en hiver.

En l'absence de données « absolues », la modélisation peut approcher les niveaux à atteindre de façon plus empirique par un calage du modèle pour qu'il représente de façon approchée les marées vertes observées un certain nombre d'années si possible tranchées d'un point de vue climatique.

Sur le site de la baie de Lannion, de premières modélisations ont été conduites par l'Ifremer (A. Menesguen) en 1998 et avaient conduit l'auteur à la conclusion qu'il fallait descendre les concentrations de nitrates en dessous de 10 mg/l sur le Yar pour limiter fortement la prolifération (production d'ulves divisée par deux). Depuis, plusieurs éléments ont conduit l'Ifremer et le CEVA à poursuivre l'amélioration du modèle :

- l'année climatique 1994, utilisée en entrée du modèle, était exceptionnelle avec des flux records liés à la fois aux concentrations qui étaient très fortes cette année et les débits des rivières eux aussi étaient très élevés (près de 1.5 fois les valeurs interannuelles au printemps)
- seul le Yar (environ 55 % des flux arrivant à la baie) était concerné par les scénarii d'abattement alors que le programme de bassin versant, mis en place par la suite, correspond à l'ensemble des cours d'eau de la Lieue de Grève. Obtenir un résultat marqué en tenant compte de toutes les sources imposera un niveau d'abattement moins fort qu'en ne prenant que le seul Yar.
- le sédiment, non pris en compte par le modèle à l'époque, représente des flux de nutriments non négligeables qui pourraient limiter, au moins dans un premier temps, l'impact simulé des réductions des seuls flux terrigènes,
- les modèles courantologiques actuels peuvent représenter beaucoup plus finement la dispersion des nutriments et des algues que ne le permettaient les modèles à boîtes disponibles à l'époque.

Ces différents points, qui justifient la démarche d'amélioration du modèle, conduisent à considérer les résultats antérieurs comme indicateur d'un niveau d'effort sans que le niveau de concentration déterminé ne puisse être considéré comme absolu (fortement dépendant de l'année climatique simulée et du nombre de sources d'azote considéré dans le modèle).

2.2) La réaction des sites aux années climatiques

En l'absence de modèle « absolu » l'analyse, de la réaction des sites aux années climatiques permet la création d'un modèle « empirique » de plus en plus complet. Ces observations du fonctionnement des sites sont des données de bases indispensables au calage du modèle biologique de production d'ulves. Le nombre d'observations croissant permettra d'affiner la compréhension des sites et de consolider cette approche. C'est bien évidemment les années climatiques extrêmes qui enrichiront le plus la compréhension du fonctionnement des sites. En particulier les années sèches, les hivers agités ou des saisons aux températures anormalement élevées ou basses. Pour consolider l'interprétation pluri annuelle du phénomène, les séries les plus intéressantes seraient constituées de plusieurs années sèches et d'hivers agités. Mais bien souvent ce deux paramètres s'excluent l'un l'autre (statistiquement les hivers/printemps agités génèreront des flux de printemps forts, les épisodes de fortes pluies en Bretagne étant plutôt liée aux périodes agitées de dépressions)

2.2.1) Modalité du transfert d'azote par les différents types de bassin versant

L'analyse du **fonctionnement hydrologique** des bassins versants alimentant les sites à marée verte indique que la **part du flux annuel d'azote qui parvient au littoral durant la période « sensible »** est très variable. Certains bassins versants présentent une proportion très importante d'azote restituée durant les mois de mai à août (avant mai on peut considérer que le flux est loin d'être limitant, après août la marée vertes est peu commandée par les flux). Deux éléments expliquent cette proportion d'azote restituée en période sensible : le comportement hydrologique et l'évolution des concentrations au cours de l'année (sur les bassins versants granitiques, on note une augmentation importante des concentrations au cours du printemps puis et de l'été ; sur les bassins schisteux au contraire, les concentrations diminuent l'été). Le substrat géologique et les pentes moyennes sont probablement des éléments déterminants dans ces comportements saisonniers différenciés.

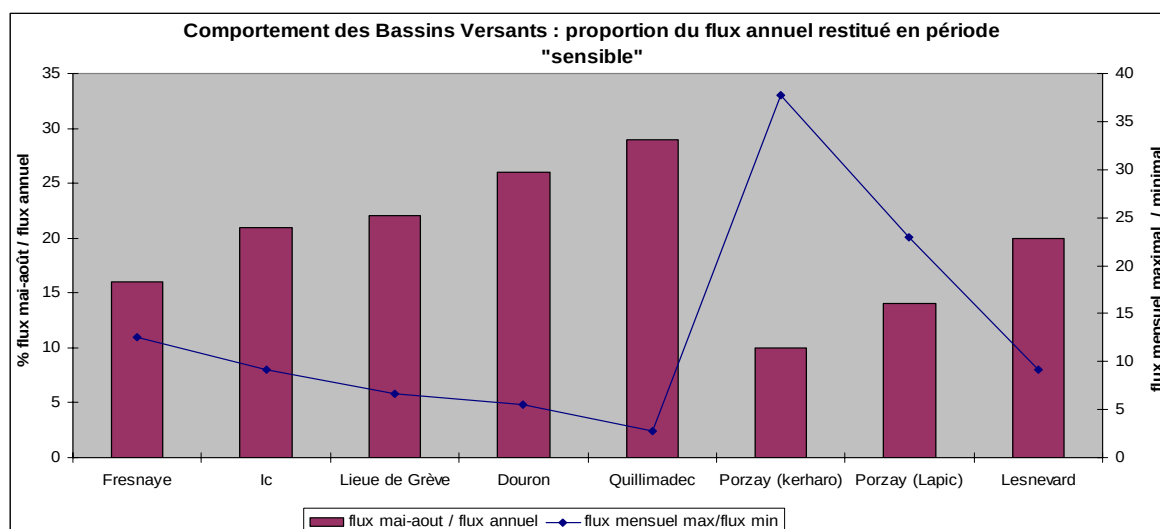


Figure 8 : comportement hydrologique des bassins versants. La proportion d'azote restituée au littoral en période sensible (mai à août) est plus importante sur les bassins versants granitiques et constitue un élément explicatif des marées vertes observées et une difficulté potentielle dans la lutte contre les marées vertes. Le cas du Quillimadec doit être considéré à part, seules les années 2004 à 2007 ayant fait l'objet de mesure de débits fiables. L'exemple du Douron nous montre qu'en interannuel, 25 % du flux arrive au littoral durant la période « sensible » déterminée ici qui représente 33% de l'année. A l'opposé, en année moyenne, seul 10 % du flux annuel du Porzay parvient au littoral en « période sensible ».

2.2.2) Variabilité des niveaux de flux en fonction des années climatiques :

Comme le montrent les suivis des marées vertes réalisés depuis 2002, certains sites réagissent nettement aux années sèches par une production d'ulves très inférieure aux années plus arrosées. Cela conduit à considérer ces sites comme plus facile à reconquérir car étant plus sensible à une diminution des apports

provoquée par des écoulements plus faibles les années sèches. L'analyse plus fine de la réaction hydrologique des cours d'eau montre que les sites pour lesquels la réaction aux années sèches est la plus marquée sont aussi ceux pour lesquels les années sèches génèrent des flux aux exutoires très diminués par rapport aux années plus humides.

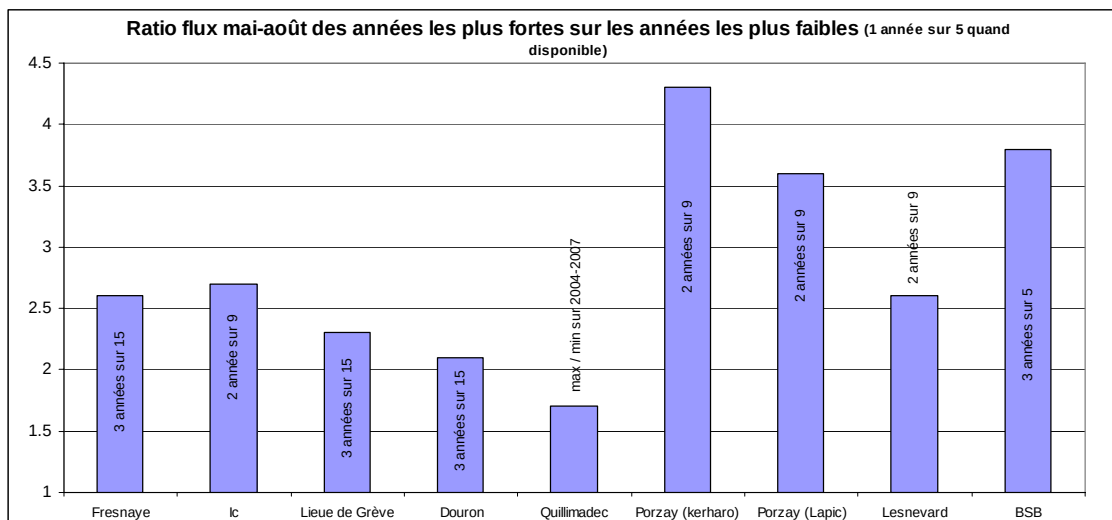


Figure 10 : réaction des cours d'eau aux années hydrologiques en terme de flux d'azote inorganique écoulés sur la « période sensible ». On peut noter par exemple que les années les plus sèches, les flux du Douron sont environ deux fois inférieurs aux flux des années les plus humides alors qu'il existe un facteur 4 sur le Porzay. Pour le Quillimadec nous ne disposons que de 4 années complètes (2004 à 2007) de mesure de flux sur la période sensible ; sa réaction très particulière devra donc être confirmée quand des séries plus longues seront disponibles. Pour ce qui concerne les cours d'eau du fond de la baie de St Brieuc (BSB), le chiffre moyen présenté ici masque des valeurs très différentes pour les différents cours d'eau. Le Gouessant ayant un facteur de près 10 alors que le Gouet présente un facteur de 2,5. Il est à noter également que depuis mi 2005 la STEP de Saint Brieuc élimine le NH_4 de ses rejets ce qui limite de 800 kg par jour environ les apports moyens d'azote par le Gouet.

2.2.3) Exemple d'analyse de la réaction des sites aux années climatiques et tentative de perception d'un niveau d'abattement minimal des flux :

Pour pouvoir analyser la réaction des sites aux niveaux de flux et en déduire une première perception d'un niveau « objectif » à atteindre, il convient de distinguer dans les suivis ce qui dépend, dans la réaction des sites, du niveau de flux, de ce qui est sous dépendance des caractéristiques « inter annuelles » (démarrage très rapide au printemps, dans des conditions de non limitation par les flux d'azote, qui s'explique par la présence d'algues « résiduelles » de la marées vertes de l'année précédente).

Pour déterminer le niveau de flux « objectif » il convient alors de déterminer pour **quel niveau de flux** la marée verte réagit (arrêt de la croissance d'après les niveaux de quota mesurés ou la stagnation des surfaces colonisées d'après les mesures mensuelles de couverture en algue des estrans). Il faut ensuite déterminer à **quelle période ce flux doit intervenir** pour que la marée verte ne puisse pas s'imposer sur le site. On en déduit un **abattement de flux, pour une année hydrologique moyenne** donc, par conséquent, un niveau de concentration à atteindre pour une année hydrologique moyenne.

L'annexe 2 permet d'illustrer le fait que si l'on ne considère que les flux de l'année pour expliquer l'importance de la marée verte de l'année, alors la marée verte serait, sur certains sites, les années les plus pluvieuses, malgré des concentrations abattues d'un facteur 10, au niveau actuellement observé les années sèches, niveau qui est considéré comme totalement inacceptable par les riverains et touristes.

Exemple de la baie de la Lieue de Grève.

Recherche des épisodes de limitation de la croissance par l'azote :

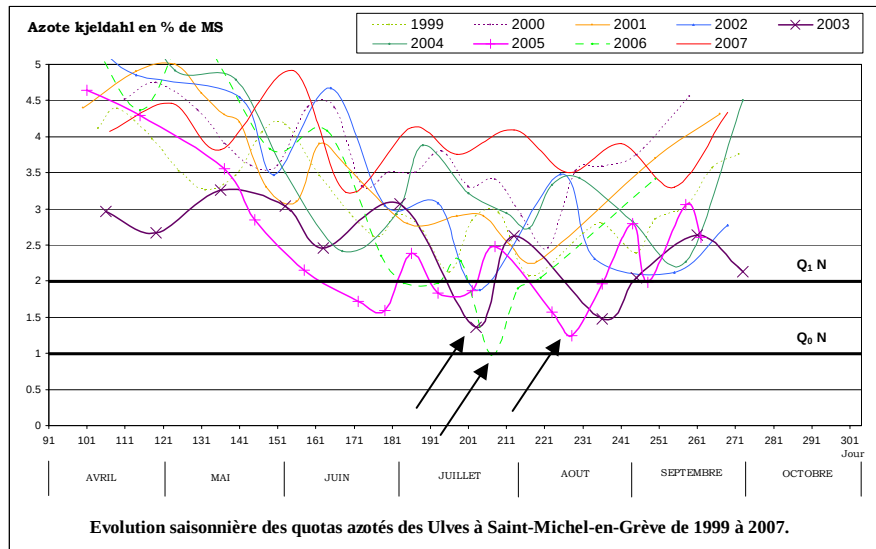


Figure 11 : Evolution des quotas azotés (indicateur nutritionnel). Le Q1N = 2 % de matière sèche représente le seuil sous lequel la croissance des ulves est affectée (moins de 80 % de la croissance maximale, sans limitation) et Q0N le niveau sous lequel la croissance est nulle. On peut retenir les dates suivantes comme présentant des limitations fortes de la croissance par l'azote : mi juillet 03, mi août 05 et fin juillet 06.

- Recherche des flux correspondant à ces périodes :

Le Yar étant équipé d'une station limnimétrique en aval est utilisé comme indicateur du niveau de flux (les autres cours d'eau qui représentent près de la moitié du flux ont des évolutions de flux plus ou moins parallèles au Yar).

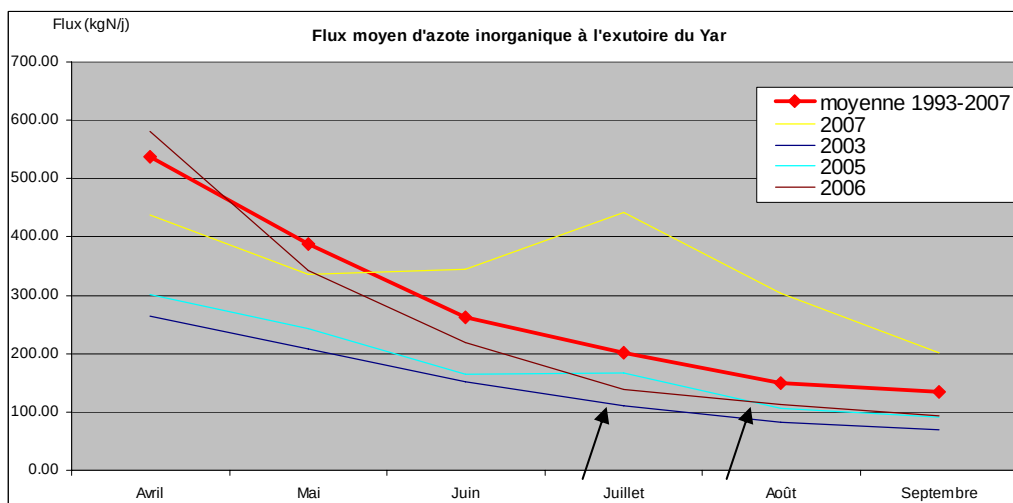


Figure 12 : évolution sur quelques années des flux azotés à l'exutoire du Yar et flux moyen journalier inter annuel.

Le flux correspondant aux épisodes relevés de limitation de croissance par l'azote est dans deux des cas de 100 kg N/j sur le Yar. En fin juillet 2006 le niveau de flux relevé est un peu plus élevé : 110 kg/j. Un tel flux représente 2,6 fois le flux inter annuel de la mi juin, 3 fois le flux interannuel de début juin et près de 4 fois le flux interannuel de mi mai.

- Période à laquelle on doit se fixer ce flux maximal ?

L'analyse du stockage inter annuel des algues sur le site de la baie de la Lieue de Grève montre que lors des marées vertes importantes et tardives les algues restent en quantité très importante devant le site et provoquent le printemps suivant un démarrage très précoce de la marée verte. On doit donc s'attendre,

une fois que le niveau nutritionnel moyen commencera à diminuer sensiblement à avoir, les années sèches au moins, une production bien diminuée en fin de saison donc un stock de reconduction plus limité ce qui induira un démarrage plus tardif, en période moins favorable d'un point de vue nutritionnel.

Par ailleurs, les premières investigations sur le fonctionnement du sédiment semblent montrer que le sédiment des baies génère un flux d'azote (de phosphate également) qui ne peut être négligé et qui constitue un facteur d'inertie dans la reconquête du bon état écologique. On peut cependant considérer que ce flux sédimentaire pourrait diminuer quand le niveau trophique général diminuera (moindre production primaire, de phytoplancton mais également d'ulves qui dans l'état actuel vient enrichir le sédiment en matières organiques reminéralisables). Cet élément peut donc être pris en compte dans la détermination de la période et donc du niveau d'abattement des flux terrigènes.

La réaction du site à l'hiver particulièrement dispersif 2006-2007 qui jusqu'en début juin présentait très peu d'ulves sur la zone estran (zone de croissance rapide des ulves) permet de se fixer comme objectif **raisonnable une limitation à atteindre à cette période de juin.**

La moyenne des concentrations étant sur la même période interannuelle de près de 30 mg/l, un abattement des flux par la concentration (débit fixé à sa valeur inter annuelle) imposerait alors une valeur moyenne annuelle de concentration de l'ordre de 10 à 12 mg/l pour qu'une limitation de la croissance, observée en juillet ou août des années sèches puisse intervenir en début juin / mi juin.

Exemple de la baie de la Fresnaye :

La limitation de la croissance par l'azote sur la baie de la Fresnaye, les années les plus sèches, est forte et précoce. Les limitations aux dates suivantes peuvent être retenues : début juin et mi août 2004, mi juin 2002, mi juin 2005 et fin juin 2003. On peut retenir, pour ces épisodes de forte limitation, un niveau de flux proche de 150 kg d'azote / j (sur le Frémur à Montbran, utilisé comme indicateur du flux global à la baie).

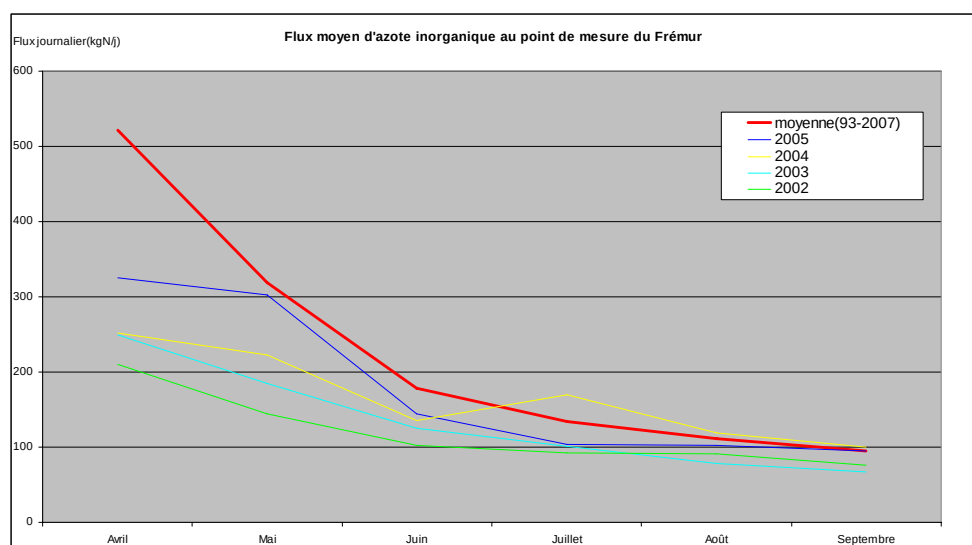


Figure 13 : flux moyen d'azote inorganique sur le Frémur (au point de suivi de Montbran ; point utilisé comme indicateur du niveau nutritionnel de l'ensemble de la baie).

Comme pour la baie de la Lieue de Grève, on peut considérer que la reconduction inter annuelle est importante sur ce site pour expliquer la marée verte, ce qui se vérifie en analysant la corrélation entre le niveau de démarrage d'une année et le niveau atteint en fin d'année précédente et est concordant avec la réaction du site aux années 2006 et 2007 (pas d'ulves, cf. paragraphe 1.3).

Si l'on se fixe un niveau de limitation à atteindre en début juin sur les années hydrologiques moyennes, le facteur d'abattement de flux serait alors un peu inférieur à 2. Cela induirait alors des concentrations moyennes autour de 30 mg/l pour que, les années hydrologiques moyennes, on obtienne à cette date une limitation de la marée verte par les flux d'azote.

Exemple du Quillimadec.

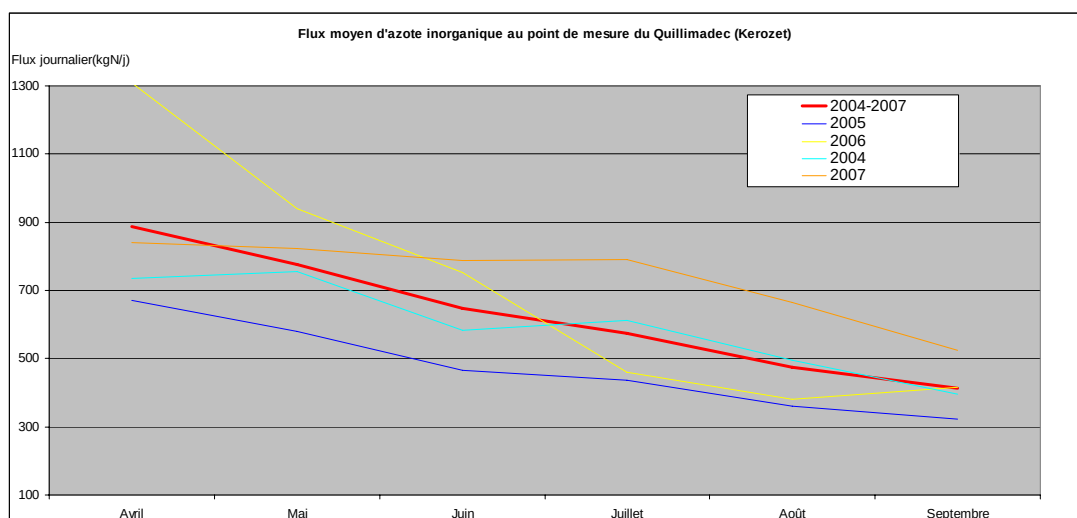


Figure 14 : Flux moyen journalier d'azote inorganique sur le Quillimadec (Kerozet). Ne disposant que de 4 années hydrologiques complètes (pas de données de débit antérieurement à septembre 2003) les données de moyenne doivent être prises avec précaution.

Seule l'année 2005 présentait, dès la mi juin un niveau de limitation fort par l'azote d'après les quotas mesurés dans l'anse du Club Nautique. A cette période, les flux mesurés sur le Quillimadec étaient de 500 kg N/j.

Le démarrage du site est, d'après les mesures réalisées depuis 2002 indépendant de l'année précédente (démarrage tardif quelque soit le niveau atteint en fin de saison précédente et quelques soient les caractéristiques de dispersion hivernale). Il semble donc qu'il faut, pour ce site, se fixer comme objectif une limitation de la croissance des ulves dès leur apparition en quantité notable. La mi mai, date à laquelle le site présente 20 % des quantités maximales annuelles sur la série 2002-2007, semble être une date raisonnable.

Cela suppose alors d'abattre les flux d'un facteur 1.5, donc des concentrations, pour une année hydrologique moyenne de l'ordre de 30 à 35 mg/l (52 mg/l sur Kerozet en moyenne sur 2004-2007).

Malgré une limitation par l'azote peu prononcée, même les années sèches, le niveau à atteindre pourrait, d'après la réaction du site ne pas être aussi bas que sur d'autres sites ce qui pourrait s'expliquer par :

- un site qui est moins favorable à la reconduction interannuelle des stocks,
- une hydrologie particulière entraînant des niveaux de flux qui sont peu variables à l'échelle des dernières années analysées mais qui diminueront fortement quand la concentration sera abattue,

On peut en plus noter, même si cela a été peu analysé que la régulation des flux par l'activité humaine (moulin qui stocke l'eau la nuit en basses eaux pour la libérer en journée) pourrait également expliquer une réaction moins marquée aux années sèches.

- Discussion :

- ✓ Pour affiner cette première analyse de la réaction des sites, **des données d'autres années contrastées** d'un point de vue climatique et présentant des flux bas **sont nécessaires**.
- ✓ Les quotas azotés des ulves indiquent une limitation de la croissance des algues actuellement durant les mois d'été (juillet / août sur Saint Michel en Grève), pour les années les plus sèches. Un même niveau nutritionnel (concentration externe de l'eau de mer) plus tôt dans la saison induira-t-il la même limitation de croissance ou une limitation plus forte (éclairage plus fort, température de l'eau inférieure, état physiologique des algues différent) ?, moins forte ?
- ✓ Le manque d'informations sur le **niveau actuel de contribution du sédiment** de chacune des baies et sur **l'évolution de cette contribution** une fois que le niveau trophique diminuera, rend difficile la détermination d'un objectif à atteindre.
- ✓ Les paramètres intervenant dans la reconduction interannuelle sont mal cernés : ce point est primordial car c'est en fonction de cette plus ou moins bonne reconduction que peut être définie la

date à laquelle les flux doivent être à un niveau limitant (décroissance forte des débits donc des flux au cours du printemps).

- conclusion :

- ✓ L'analyse de ces trois cas semble montrer que **le niveau de concentration à atteindre pour limiter la marée verte est propre à chaque configuration de baie et d'hydrologie des bassins versants**, comme cela était déjà présenté au point 1.1.
- ✓ Ces **premières estimations doivent être consolidées** par le suivis des sites notamment les années sèches qui permettent de simuler, en vraie grandeur, ce que pourraient être les conséquences d'un abattement des concentrations sur la marée verte. Il serait plus particulièrement intéressant de disposer de séries de plusieurs années très sèches consécutives. Ou alors d'une année sèche qui suivrait une hiver très dispersif comme a pu l'être l'hiver 2006/2007 occasionnant un retard important dans le démarrage de la prolifération sur la plupart de sites (mais ensuite l'été 2007 a été particulièrement pluvieux provoquant une marée verte tardive et « record » en fin de saison).
- ✓ L'analyse de la réaction des sites semble pouvoir donner une idée du niveau d'abattement qui sera nécessaire pour limiter fortement la marée verte même si le niveau indiqué doit être considéré comme **indicatif et non absolu**.
- ✓ L'aptitude d'un site à bien conserver les ulves de la saison précédente est un élément clé car c'est ce paramètre qui détermine la date à laquelle l'objectif de limitation par l'azote doit être recherché. Les débits diminuant rapidement au cours du printemps, la date à laquelle on veut descendre sous un flux donné joue beaucoup dans la détermination du facteur d'abattement nécessaire sur les concentrations en nitrates.
- ✓ **La réaction dans le temps du sédiment** à la diminution progressive du niveau trophique du proche littoral est également à approcher pour déterminer la part du flux sédimentaire actuel qui pourrait être ainsi abattue ce qui **limitera d'autant les objectifs sur le flux des cours d'eau** (on peut estimer que le flux sédimentaire étant diffus et non concentré aux exutoires est probablement d'autant plus efficace pour alimenter les ulves).
- ✓ Enfin, la **réaction des sites à une marée verte qui se raccourcirait dans la saison** (limitation de la croissance d'abord sur les étiages puis de plus en plus précocement en saison) est encore mal cernée. Les quantités plus faibles qu'actuellement en début d'hiver seront-elles « érodées » encore plus largement qu'elles ne le sont actuellement ? Cela se traduira-t-il par un simple retard dans la prolifération des ulves ? Ou l'absence d'ulves pourrait-elle se traduire par le développement d'une autre espèce mieux adaptée à ces changements trophiques ?
- ✓ Ces données de suivi sont en tout état de cause **indispensables à la mise au point et au calage réaliste** du modèle actuel qui permettra de définir les objectifs à atteindre.

2.3) Le niveau de flux lors de l'apparition des marées vertes

La recherche du niveau de flux lors de l'apparition des marées vertes à un niveau devenant problématique permet probablement d'approcher le niveau à atteindre sur les cours d'eau (au moins un niveau minimal). Il faut cependant rappeler que d'autres paramètres interviennent dans la marée verte et que leur évolution peut relativiser l'exactitude du niveau déterminé par l'analyse de l'apparition historique. On peut citer en particulier :

- la configuration des sites (modification de la courantologie éventuellement sur certains secteurs, augmentation de la **turbidité** de l'eau)
- la **température de l'eau** (le réchauffement moyen de l'eau, surtout hivernal, est probablement propice au développement des marées vertes par leur meilleure reconduction hivernale et également peut-être par un meilleur relargage du Phosphore du sédiment) et le **taux de CO₂**,
- la « **pression de vert** » : il y a cinquante ans, il est probable que les quantités d'algues vertes (ulves en particulier), dans un contexte nutritionnel plus bas moins propice aux algues pionnières à croissance rapide, étaient moins importantes qu'elles ne le sont aujourd'hui. Le démarrage des proliférations d'algues vertes dans un contexte d'augmentation progressive du niveau nutritionnel

aurait pu demander plusieurs années durant lesquelles on aurait eu une montée en charge des algues vertes, ulves en particulier, aux abords des sites (d'abord sous forme d'algues libres, puis croissance dans la masse d'eau).

2.3.1) Exemple de la baie de la Lieue de Grève

- Date d'apparition des marées vertes :

- ✓ Une photo aérienne prise par l'IGN, en noir et blanc, le 3 mai 1971, atteste d'une prolifération d'algues déjà massive le jour de la prise de vue.
- ✓ Une délibération est prise en conseil municipal de Saint Michel en Grève le 17 mai 1971 pour alerter le préfet sur le phénomène d'échouage de ce « goémon vert » et demander une aide financière pour le ramassage qui a du être entrepris. Les descriptions ne laissent pas de doute sur le fait que se sont bien des ulves. Les nuisances sont décrites : dépôts de 20 à 50 cm, plage transformée en « tas de fumier » dont l'« odeur infecte se répand jusqu'à l'intérieur des terres »... Dans cette délibération, est fait mention d'un phénomène de même nature qui s'était déjà produit l'année passée (1970).
- ✓ En juillet 1973 une pétition adressée au préfet mentionne une marée verte « record » en fin juin et début juillet 1973, un démarrage « surtout en 1971, en début de saison », pas d'échouage en 1972 (année de « relative tranquillité »).
- ✓ Pour ce qui est des années antérieures, les photos aériennes ou prises sur le terrain ne permettent pas de déterminer de présence d'ulve même si des algues sont présentes (algues vertes filamenteuses probablement en 1964 d'après des photos prises sur le terrain, algues brunes pour d'autres dates ?). La description en 1971 d'un phénomène nouveau (qui s'était déjà produit en 1970) et sa description comme assez ponctuel avec des proliférations courtes, en début de saison et irrégulière (pas d'échouage nuisant en 1972) permettent de dater l'apparition de « marée verte », encore limitées, à ces premières descriptions soit 1970-1971.

- Concentration en nitrates :

• Niveau mesuré sur le Yar

Les premières données de concentration en nitrates du Yar (cours d'eau principal, représentant plus de 50 % des apports en azote) disponibles sont issues de mesures effectuées en 1978 par la DDASS des Côtes d'Armor. La moyenne pour cette année (9 prélèvements, 1 par mois à partir d'avril) est de 19 mg/l avec, au printemps et en été, des valeurs qui **dépassent 20 mg/l** (4 valeurs sur 6) et culminent à 25,4 mg/l. Pour les trois années suivantes, aucune valeur n'est disponible au printemps- été.

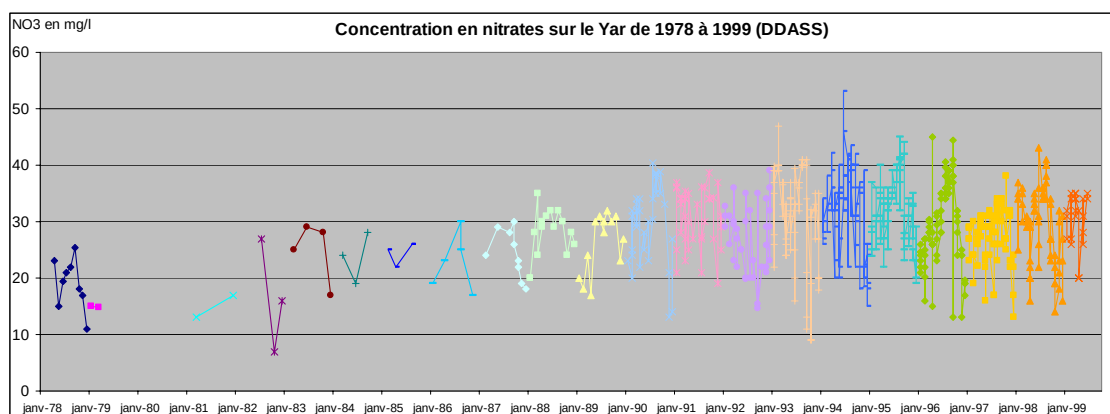


Figure 15 : données de concentration en nitrates d'après les analyses effectuées par la DDASS 22 au point de suivi, proche de l'exutoire (pour distinguer les années, une couleur par année est utilisée).

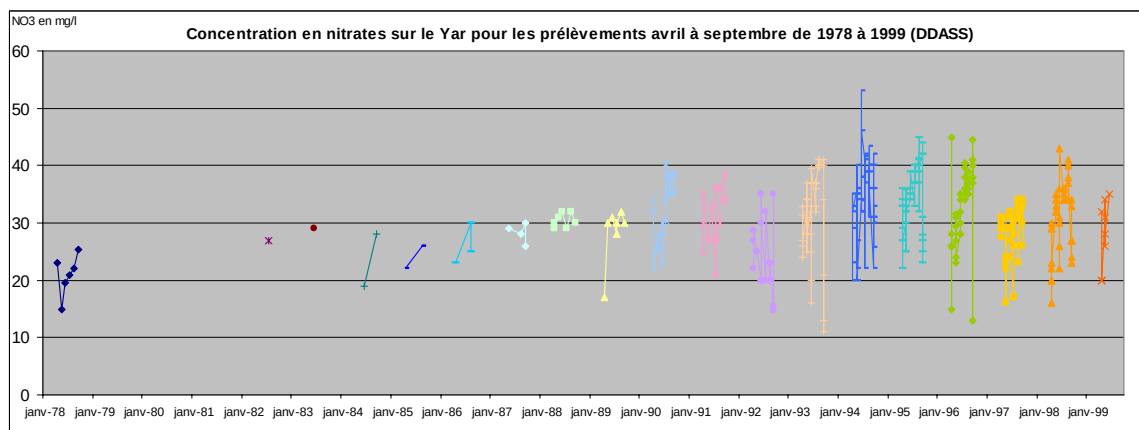


Figure 16 : données de concentration en nitrates d'après les analyses de la DDASS 22 au point de suivi, pour les prélèvements d'avril à septembre (période « sensible »).

- **Tentative de reconstitution du niveau des concentrations dans les années 1960-1970.**

Avec un tel niveau mesuré en 1978 (20-25 au printemps-été), est-il envisageable que le niveau de 1971 ait été de 5 mg/l (niveau admis au niveau régional pour cette période) ?

- ✓ une simple régression sur les données de la période 1978 – 1996 peut donner une idée du niveau antérieur en ne considérant que la période d'augmentation des concentrations.

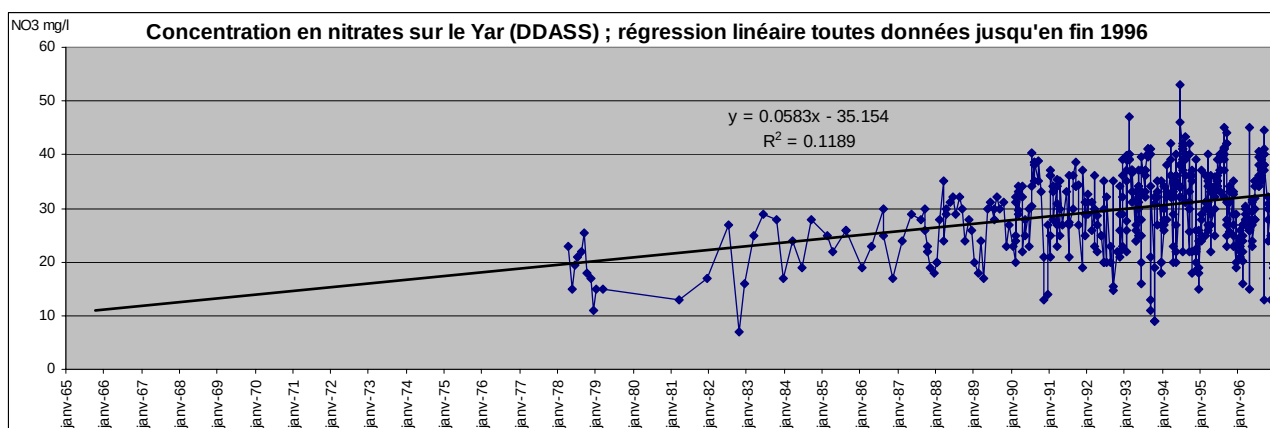


Figure 17 : régression linéaire sur l'ensemble des données de concentration en considérant les années 1978 à 1996 incluses. Le fait d'ajouter les données postérieures à 1997, pour lesquelles le niveau se stabilise ou régresse, diminue le coefficient de corrélation et diminue la pente de la droite laissant apparaître un niveau qui aurait très peu monté depuis 1960 (concentration autour de 20mg/l).

Les années 1979 à 1982 ne présentant que des données hivernales (très faibles sur ce bassin versant granitique) et ces concentrations n'agissant pas sur le phénomène, il semble intéressant de concentrer l'analyse sur les valeurs d'avril à septembre.

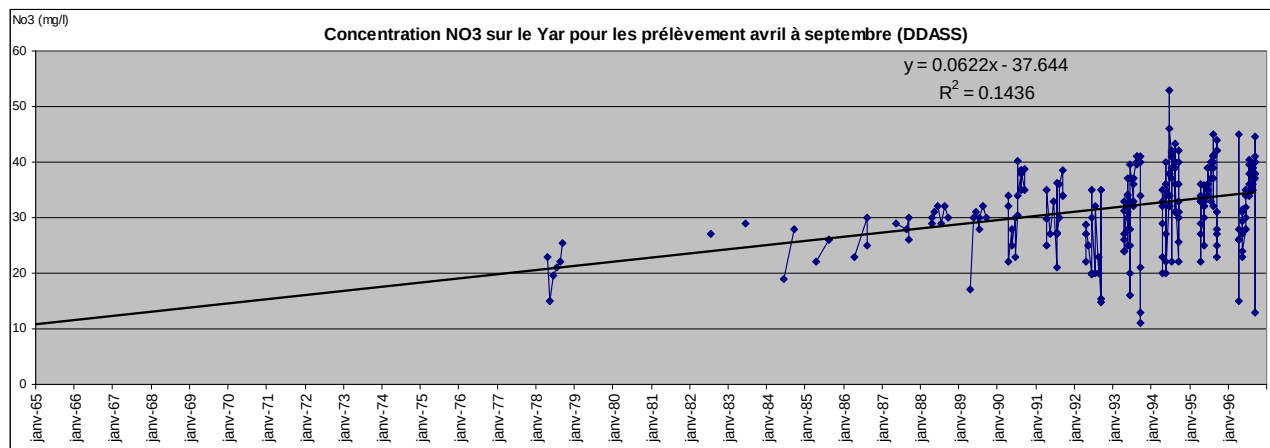


Figure 18 : régression linéaire sur les données de concentration d'avril à septembre en considérant les années 1978 à 1996 incluses. L'intégration des années ultérieures pour lesquelles la concentration se stabilise voire régresse, diminue la pente de la droite laissant apparaître un niveau plus élevé dans les années 1960 ou 1970 (autour de 20 mg/l)

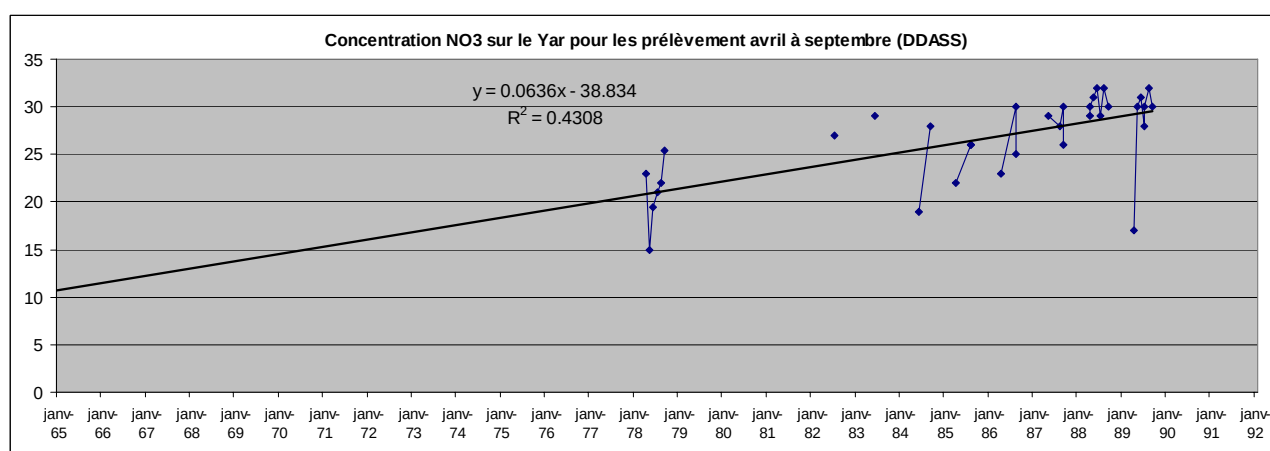


Figure 19 : régression linéaire sur les données de concentration d'avril à septembre en considérant les données d'avril 1978 à septembre 1989. Le coefficient de régression s'améliore. Il est important de noter qu'en fonction des périodes choisies les résultats des régressions peuvent différer sensiblement.

Cette approche simple suggère que les teneurs en nitrates lors des premières marées vertes sur ce site (1971 voire 1970) qui seraient **autour de 15 mg/l**. Rien ne permet cependant d'affirmer que l'augmentation a été linéaire : au contraire même, le niveau naturel n'étant pas de 0 mg/l il faut bien être parti du niveau « naturel » pour ensuite monter progressivement (en fonction des caractéristiques pédoclimatiques, on peut, pour la Bretagne, au moins ses zones côtières, envisager un niveau « naturel » supérieur à 5 mg/l)

- ✓ Comparaison de l'évolution des teneurs en nitrate sur le Yar avec des cours d'eau présentant des chroniques plus anciennes :

- Le Jarlot :

C'est le cours d'eau le plus proche du Yar présentant des chroniques anciennes dans les bases de l'Agence de l'Eau. Le type d'agriculture, le taux de SAU et la pluviométrie sont proches pour les deux cours d'eau.

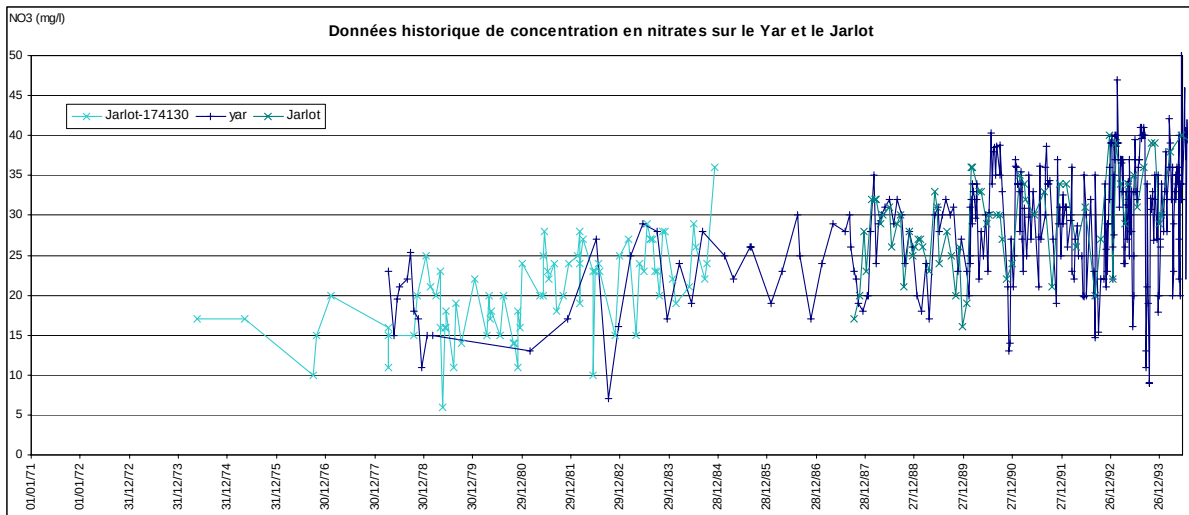


Figure 20 : Evolution comparée des concentrations en nitrates sur le Jarlot (29) et le Yar. Les données les plus anciennes au point 174130 sont issues de prélèvements et analyses réalisés par la DDASS 29 et stockées dans la base de l'Agence de l'Eau (Réseau départementaux et RNB). Avant 1979, les données sont rares et mal réparties dans l'année : il faut donc considérer le niveau absolu indiqué avec prudence. On note que la montée des nitrates semble, sur ces deux cours d'eau (jusqu'en 1994) relativement parallèle ce qui laisse supposer des niveaux dans les années 1970 proches et autour de 15 mg/l. Attention, les méthodes analytiques d'avant 1981 seraient moins fiables et auraient tendance à sous estimer les teneurs (explication du saut entre 80 et 81 ; cf. annexe 4)

- l'Elorn :

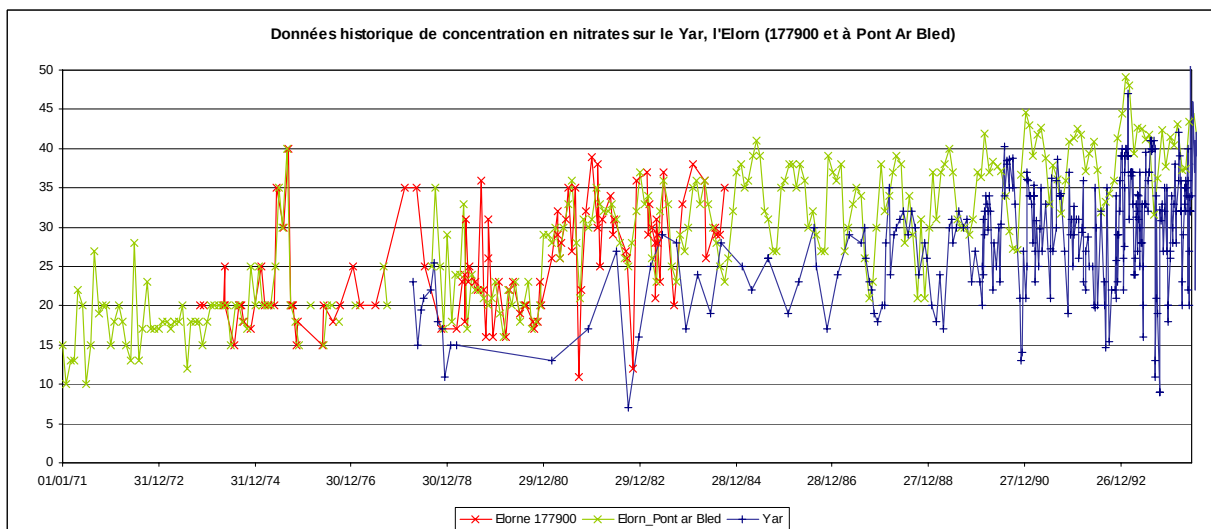
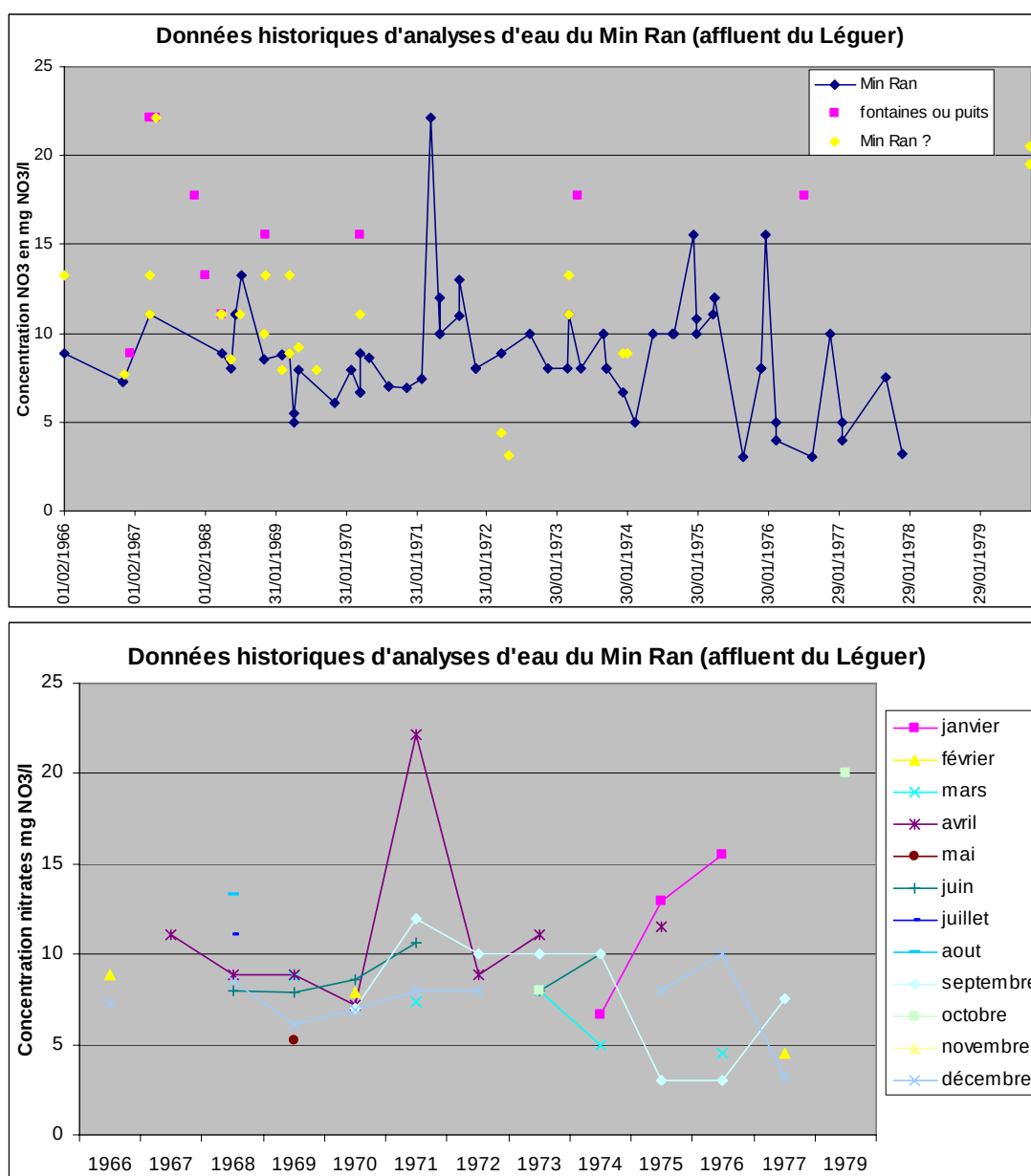


Figure 21 : Evolution comparée des concentrations en nitrates sur l'Elorn et le Yar jusqu'en 1992. Les valeurs de concentration moyenne sur l'Elorn sont supérieures, sur la période récente à celle du Yar (environ + 7 mg/l sur les dernières années) mais l'écart pour les données de la fin des années 1970 ne semble pas aussi important (données de 79 et 81 sur le Yar uniquement en hiver ce qui explique le bas niveau mesuré). Les mesures « Elorn à Pont ar Bled » proviennent de la station de potabilisation et ont été fournies par Brest Métropole Océane. Pour 1971, il s'agit apparemment déjà de valeurs moyennes mensuelles, mais le détail des données utilisées pour établir ces moyennes n'a pu, pour l'instant, être communiqué. D'après ces données, la moyenne annuelle de 1971 s'établit à 17 mg/l. Attention, les méthodes analytiques d'avant 1981 seraient moins fiables et auraient tendance à sous estimer les teneurs (explication du saut entre 80 et 81 ; cf. annexe 4)

- le Min Ran (affluent à l'aval du Léguer) :

Aucune donnée ancienne sur ce cours d'eau ne figure dans les bases de données de l'Agence de l'Eau ou DIREN. Des données anciennes ont cependant pu être récupérées auprès Lannion Trégor Agglomération et aux archives de la DDASS-Service Santé Environnement : il s'agit d'analyses pour la potabilisation de l'eau, pour certaines sur l'eau brute du Min Ran, pour d'autres au niveau de l'usine de

potabilisation, ou sur le réseau de distribution. Les analyses, aussi peu nombreuses ne peuvent permettre d'établir un niveau moyen, mais peuvent donner une « tendances » pour les années anciennes.



Figures 22 a et b : analyses historiques d'eau du Min Ran. Deux sources majeures de données ont pu être exploitées : « DDASS/DSV ; Laboratoire de la Santé Publique et des Services Vétérinaires » et « Laboratoire régional des Ponts et Chaussées, Direction de l'Équipement et du Logement ». Certains prélèvements dont la provenance du cours d'eau Min Ran n'était pas sûre sont représentés en jaune (prélèvements des quartiers Brélévenez, Serval, Buhulien, Loguivy les Lannion : il est en effet possible que dans les années 60-70 ces quartiers aient été alimentés par des sources locales et non en eau superficielle du Min Ran). Certains prélèvements sont clairement décrits comme provenant de puits ou source et ont été représentés en rose : « Fontaine Ste Marguerite Buhulien », « hospice de Kergomar », « puits distillerie Warengheim » : ces valeurs pourraient mieux correspondre aux valeurs d'étiage des cours d'eau. Les analyses exprimées en « mgr d'azote nitritiques » ont été converties en mg de NO₃/l. Attention, les méthodes analytiques des années 60-70 seraient moins fiables et auraient tendance à sous estimer les teneurs (cf. annexe 4)

De cette série de données on peut relever :

- un niveau moyen relativement bas, souvent inférieur à 10 mg NO₃ / l de 1966 à 1978,
- une relative stabilité de ces concentrations sur la période,
- très peu de valeurs en juillet et août (2 sur l'ensemble des valeurs recueillies), qui sont les mois pour lesquels actuellement les concentrations sont les plus fortes,

- des niveaux des puits et des sources beaucoup plus élevés, de 15 à plus de 20 mg/l, qui pourraient refléter les niveaux des étiages pour lesquels la nappe représente l'essentiel de l'eau du cours d'eau.

Ces données n'ayant pas été acquises pour estimer le niveau « moyen » de nitrates, doivent être utilisées avec prudence. Plusieurs points pourraient être approfondis pour mieux cerner la validité de ces données :

- **Protocole de prélèvement** : il se peut que les recherches à l'époque concernant plutôt les contaminations bactériologiques, se faisaient plutôt suite à des événements pluvieux importants ce qui sur des cours d'eau comme le Min Ran provoque une diminution des teneurs en nitrates.
- **fiabilité des dosages** de nitrates de l'époque ? (reproductibilité, précision et justesse du niveau indiqué). De premiers éléments sur cet aspects ont été recueillis auprès des laboratoires et sont présentés en annexe 4
- les plus fortes valeurs semblent être issues de captage et non du cours d'eau (le point « Fontaine Sainte Marguerite Buhulien», présente en mai 67 une valeur de 5 mgr d'azote nitrique soit 22 mg NO₃ /l). Le fait que les valeurs sur les sources soient très supérieures aux valeurs du cours d'eau pourrait indiquer une part importante de ruissellement lors des prélèvements en cours d'eau ? et indiquer un niveau lors des étiages (très peu de valeurs sur les cours d'eau en étiage sur la série) qui serait alors supérieur au niveau reporté ici.
- il devrait être possible, sur d'autres cours d'eau de procéder à de mêmes recherches pour évaluer la rapidité de la montée des concentrations en nitrates, ce qui dans un même contexte pédoclimatique devrait permettre de renseigner sur la montée des nitrates du Yar. **L'annexe 3** présente quelques données complémentaires sur le Gouet qui semblent confirmer cette montée progressive.

Il semble que l'on peut tout de même percevoir dans ces mesures que les **taux de nitrates n'auraient pas connu une montée brutale** entre 1970 et 1978, mais plutôt, à partir d'un niveau déjà relativement élevé (proche de 10 mg/l dès les années 60 ?) **une montée progressive**.

- ✓ L'analyse du fonctionnement hydrologique des bassins versants et des évolutions des pratiques agricoles pour reconstituer l'augmentation des teneurs en nitrates.

Le **fonctionnement hydrologique** du bassin versant (temps de réponse, de mise à l'équilibre,...) décrit par l'INRA et le BRGM conduit à estimer que l'eau qui s'écoule dans le Yar à un instant donné provient pour partie de l'année (parcelles proches des nappes) et pour partie de périodes plus anciennes (l'eau qui s'infiltre sur les parcelles des plateaux, les plus éloignées de la nappe, en « tête de bassin versant » peut mettre une dizaine d'année à atteindre la nappe puis quelques années supplémentaires pour alimenter le cours d'eau). Les teneurs en nitrates mesurées en 1971 seraient alors issues **principalement des pratiques agricoles de la décennie 1960**.

De l'analyse des changements des pratiques agricoles depuis les années 1950, on peut retenir les pratiques suivantes qui semblent pouvoir expliquer des fuites de nitrates vers les cours d'eau :

- **le retournement des prairies** : les premières recommandations agricoles, désignées sous le terme de « révolution fourragère » étaient d'améliorer l'alimentation du cheptel bovin, en particulier en retournant les « vieilles pâtures » pour ressemer des prairies de RGI plus productives. Les études conduites bien plus tard montrent que le retournement de prairies surtout quand elles étaient en place depuis de longues années génère une minéralisation intense de la matière organique du sol (« libérant » environ 500 kgN/ha sous forme de nitrates en 18 mois).
- le passage des **céréales de printemps vers des blés d'hiver**, plus productifs
- la **diminution des cultures traditionnelles de betterave**, des dérobées après céréales de printemps (choux fourragers, colza) puis, plus tardivement la culture du maïs.
- un recours de plus en plus important **aux engrais de synthèse** : très faible en 1955, les quantités par ha à l'échelle de la Bretagne seraient en moyenne en 1964 de 30 kg/ha SAU pour atteindre 55 kg/ha SAU en 1971 (source : Diagnostic régional de la DIREN). Ces quantités ont probablement été atteintes plus tardivement sur le bassin versant du Yar.

Ces changements, ont été adoptés progressivement, certains pionniers les ayant mis en pratique dès les années 1960, d'autres plus tardivement, au milieu des années 70 (passage entre 1975 et 1980 des « stabulation entravées » aux « stabulations libres » permettant une utilisation avantageuse du maïs). Les données chiffrées des Recensements Agricoles (RA) antérieures à 1970 n'ont pu être récupérées. Les données analysées permettent d'établir qu'en 1970 les surfaces en prairie permanente sont encore de plus de 30% sur les communes du Yar, le maïs est encore marginal et ne peut donc être incriminé en tant que tel ; l'orge est très majoritaire sur le blé.

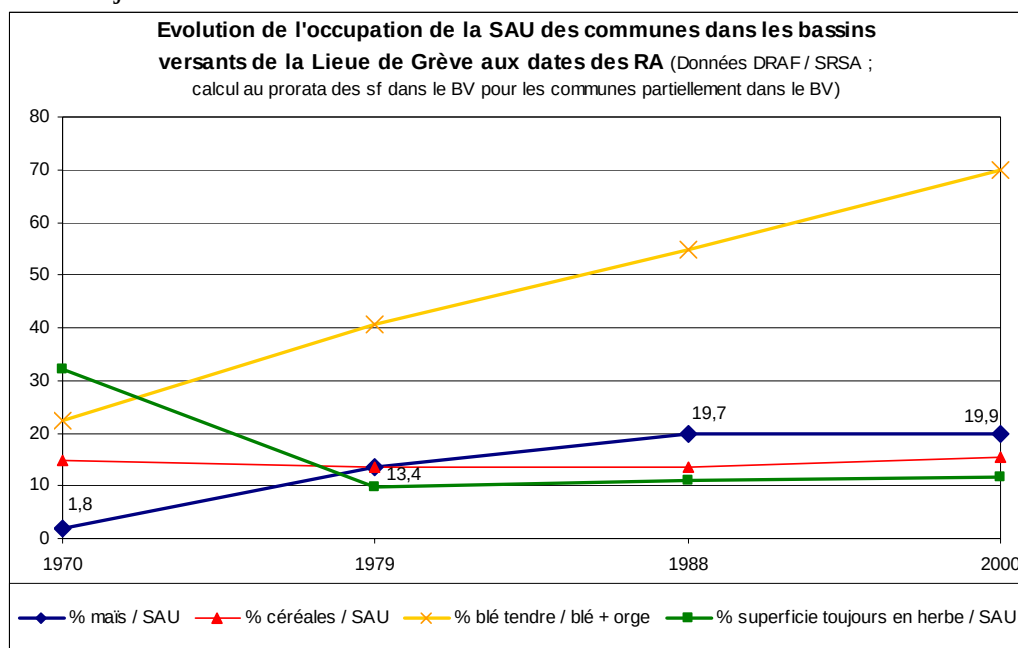


Figure 22 : Evolution de l'occupation de la SAU d'après les chiffres des Recensements Agricoles à l'échelle des communes du bassin versant de la Lieue de Grève (mis à disposition par le SRAS/DRAF). Entre 1970 et 2000, la SAU aurait diminuée de plus de 10 % (non illustré par cette figure). A l'intérieur de cette SAU, le maïs est, en 1970, encore marginal (1.8 % sur l'ensemble des communes et même 1.3 % si l'on ne considère que les communes entièrement incluses dans le bassin versant de la Lieue de Grève). Entre 1970 et 1979 le taux de prairies permanentes passe de plus de 30 % à moins de 10 % pour remonter légèrement après cette date. Si le taux de céréales varie peu (13,5 à 15,5 %) la part de blé dans les céréales passe de 20 % à 70 % au cours de la période et la part de « l'orge + escourgeon » de près de 80 % à 30 %. L'information sur le type de variété « d'hiver » ou « de printemps » ne figure pas dans le RA mais il est probable que le passage de l'orge vers le blé soit bien un indicateur du basculement des variétés de printemps vers les variétés d'hiver, plus productives. Ce basculement semble pouvoir expliquer une part de l'augmentation des fuites de nitrates vers les nappes.

D'après le fonctionnement hydrologique du bassin versant, on déduit que même si les fuites des parcelles agricoles avaient augmenté soudainement, alors l'élévation de la teneur dans les cours d'eau se serait probablement étalée sur une dizaine d'année. De plus, l'analyse des pratiques agricoles montre des évolutions qui sont multiples et progressives.

Ces données sur l'occupation de la SAU ainsi que sur le fonctionnement hydrologique du bassin versant du Yar permettent de conclure que les teneurs en nitrates sont très certainement montées très progressivement partant probablement d'un niveau dans les années 1960 de près de 10 mg/l pour atteindre environ **15 mg/l au début des années 1970** (probablement de 15 à 20 pour la période printemps / été) puis augmenter encore sensiblement (quasi doublement de 1970 à 1990).

A ces teneurs en nitrate il faut probablement ajouter **des teneurs de NH4 qui dans les années 60 étaient probablement plus fortes qu'aujourd'hui** (moins bonne de gestion des pollutions ponctuelles liées aux fumiers et à l'assainissement).

- Débits des cours d'eau, flux d'azote :

D'une année sur l'autre, la concentration n'évoluant que faiblement, c'est le débit qui détermine l'importance du flux annuel ou saisonnier.

Pour le Yar et les autres cours d'eau alimentant la baie de la Lieue de Grève, aucune donnée de débit n'est disponible en fin 1960 début 1970. Pour appréhender les débits de ces années, ont été recherchés les cours d'eau disposant de mesures de débit pour ces années.

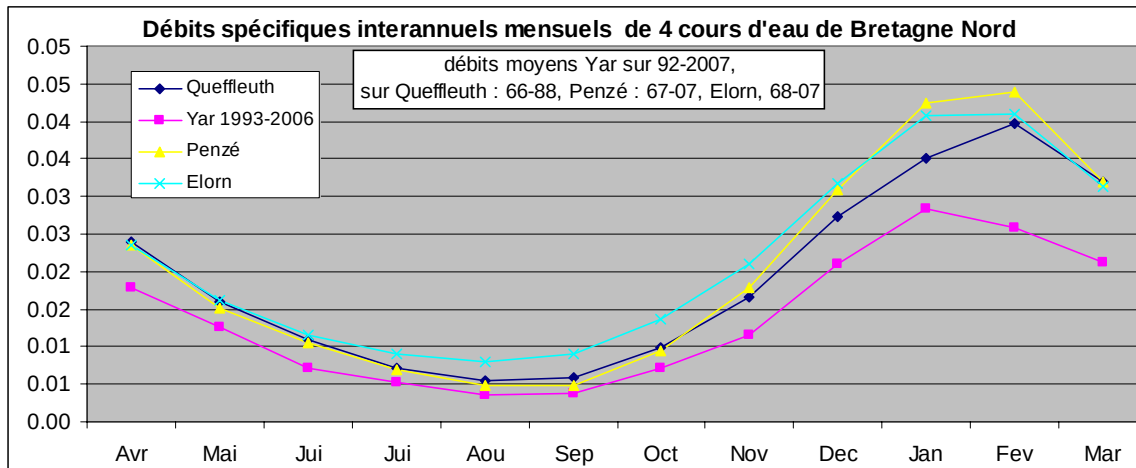


Figure 23 : débits comparés du Yar avec d'autres cours d'eau disposant de chroniques de débit plus longues. Le Queffleuth est à la fois le plus proche géographiquement et celui présentant une réponse en débit interannuel la plus approchée. La distance de vingt kilomètres environ qui sépare les deux cours d'eau permet d'envisager que les épisodes de pluies sont distribués de la même façon et la réponse hydrologique à ces épisodes est assez voisine, ce qui explique une allure générale des débits qui est proche.

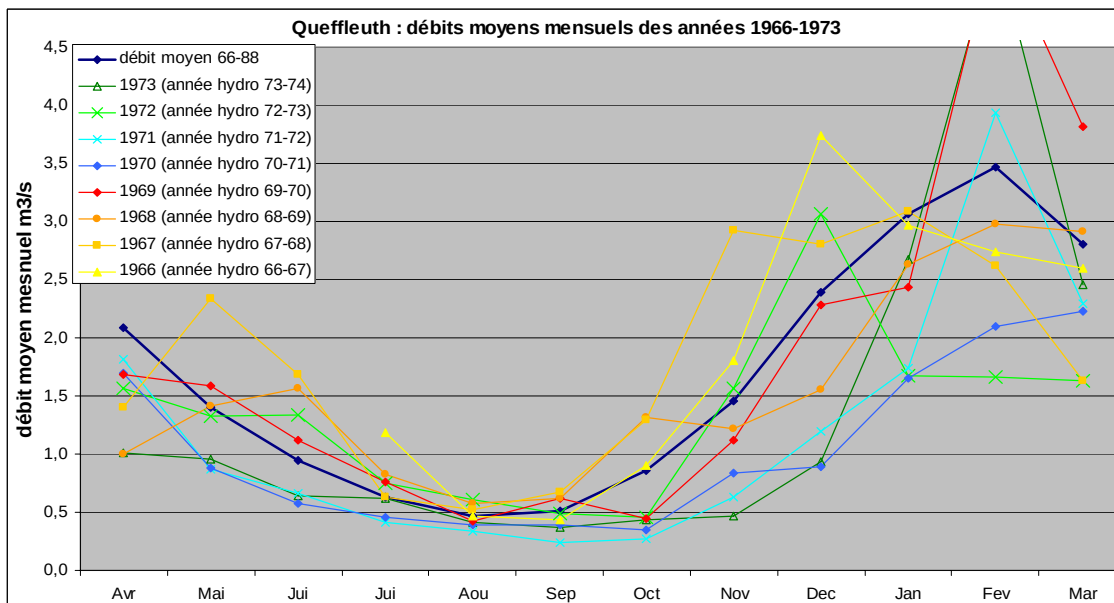


Figure 24 : débits du Queffleuth sur les années 1966-1973. On distingue bien le caractère de sécheresse des années 1970 et 1971, les débits forts des années 67 à 69 et de l'année 1972, puis la sécheresse de l'année 1973.

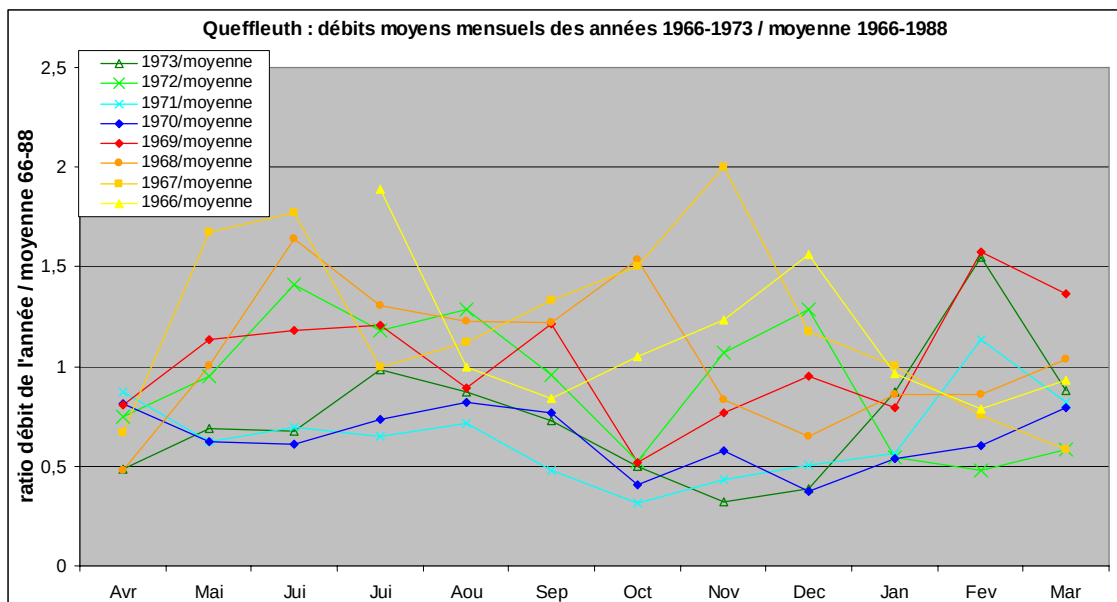


Figure 25 : débits du Queffleuth par rapport à la moyenne inter annuelle. On distingue bien le caractère de sécheresse des années 1970 et 1971, les débits forts des années 67 à 69 et de l'année 1972, puis la sécheresse de l'année 1973.

Les débits lors du début de saison 1971 et 1970 sont, sur les mois d'avril à août, compris entre 60 et 80 % du débit interannuel. Cela signifie donc que le niveau nutritionnel durant la période « sensible » de ces deux années correspond à des teneurs en nitrates de **60 à 80 % du niveau de 1971** pour une année de débit moyen (donc autour de 10 à 15 mg/l si l'on considère qu'en 1971 la concentration est autour de 15-20mg/l).

Par contre, les années 67 à 69 présentent des niveaux de débit en début de saison sensiblement supérieurs à la moyenne interannuelle (1.2 à 1.5 fois plus pour les mois de mai à juillet compris). Le flux de ces années, malgré une concentration probablement autour de 15 mg/l aurait donc été **20 à 50 % supérieur à ce niveau** ce qui équivaldrait à des teneurs de 18 à 22 mg/l pour des années hydrologiques « moyennes ». L'analyse de la marée verte comme pluri annuelle (cf. paragraphe 1.3 et annexe 2) conduit alors à considérer que les années 1967 à 1969, par leurs débits importants, ont généré un niveau trophique qui aurait permis d'installer des proliférations d'ulves. Ensuite, malgré des flux particulièrement bas en 70 et 71 les proliférations de début de saison auraient provoqué des nuisances et une réaction des riverains (délibération municipale) et imposé des ramassages.

Le fait que les **années les plus sèches** sont aussi statistiquement les plus **lumineuses**, celles aussi permettant un **réchauffement** de l'eau plus précoce, **moins dispersives**, permet probablement de mieux comprendre ces proliférations de 70 et 71. Le réchauffement précoce de l'eau est lui-même un facteur favorisant le **relarguage du Phosphore** du sédiment qui dans ces années était probablement moins abondant dans le milieu.

L'année 1972 est présentée, dans la pétition de juillet 1973, comme année sans échouage (« relative tranquillité »). L'explication ne peut-être les flux qui cette année sont, à partir de juin nettement supérieurs à la moyenne interannuelle de débit (et des concentrations que l'on peut supposer particulièrement élevées car venant après deux années sèches). Le niveau bas des flux des années 1970 puis 1971 en provoquant des marées vertes courtes centrées sur le début de saison peuvent permettre d'expliquer cette absence de prolifération importante lors d'une année de flux fort. A l'opposé, l'année 1973, année de la pétition décrivant de gros échouages en juillet est une année de flux particulièrement bas (débit compris entre 50 et 70 % des débits interannuels sur les mois d'avril à juin).

- Conclusion :

De ces analyses des premières descriptions de marée verte sur la baie de Saint Michel en Grève (les mêmes années pour les premières descriptions en baie de Saint Briec) on peut conclure que :

- ✓ l'aspect pluri annuel est indispensable pour expliquer l'apparition, au début des années 70, des marées vertes,
- ✓ le niveau de teneur en nitrate de l'époque provoquait des marées vertes **plus courtes, en début de saison des années les plus sèches** succédant à des années de forts flux. On aurait donc eu un démarrage en « dents de scies » puis quelques années plus tard, avec un niveau nutritionnel moyen probablement un peu supérieur, une période de prolifération qui devient plus longue et un phénomène « incrusté » qui devient régulier. On peut donc parler d'une sorte d'enkystement du phénomène dans les baies les plus propices ce qui rend d'autant plus difficile la modélisation d'un retour à un état « initial » (aspect interannuel pour lequel le comportement hivernal de dispersion des sites est primordial).
- ✓ les teneurs probablement **autour de 15 mg/l** impliquant des flux très variables en fonction des débits de l'année semblent en tout état de cause suffisantes pour que les marées vertes deviennent nuisantes sur cette baie puis s'implantent plus régulièrement avec des teneurs qui augmentent.

Pour analyser plus finement le démarrage historique de la marée verte, il serait intéressant d'ajouter à l'analyse des flux, **les autres paramètres** qui, encore plus que lorsque le phénomène est bien installé dans un site, peuvent avoir une influence forte sur les proliférations. Les paramètres à analyser semblent en premier lieu être la **température de l'eau** qui agit sur le niveau de relargage du sédiment en P (paramètre qui aurait pu être limitant, au moins certaines années, avant les années 70 ?) et sur la croissance des algues notamment au printemps, **l'ensoleillement et la turbidité** (éclairage des algues) et les **caractéristiques de dispersion** du milieu (vent / houle en hiver et au printemps).

2.3.2) Concentration en nitrates régionale :

Pour l'ensemble des cours d'eau bretons on considère généralement que la teneur en nitrate de 1971 était de moins de 5 mg / l (tableau de bord de l'eau édité par la DIREN) ; que celle-ci est passée ensuite dans les années 93-94 à 38 mg/l en moyenne (réseau régional RNB) ; que donc le **niveau nutritionnel aurait été multiplié par 7 à 8 entre ces deux dates**.

La notion de concentration régionale est délicate à utiliser : en fonction des zones pédoclimatiques et des substrats géologiques, les comportements des cours d'eau et les niveaux moyens en nitrates sont très variables. Si ce ne sont pas tous les ans les mêmes points de prélèvement qui sont utilisés (ou du moins les mêmes cours d'eau) et avec les mêmes protocoles (autant de valeurs dans les différentes périodes hydrologiques, classiquement une valeur par mois au minimum) alors les variations ne seront pas facilement interprétables. A partir de fin 1987 le RNB, Réseau National de Bassin, en considérant toujours les mêmes points de prélèvements avec les mêmes protocoles permet de mesurer une évolution régionale. Les données des **années antérieures peuvent constituer une indication tendancielle** mais aucunement un niveau absolu. Afin de percevoir au mieux les tendances, toutes les données enregistrées dans les bases de l'Agence de l'Eau sur l'ensemble des années sont représentées (la plupart des stations de 1971 ayant été rapidement abandonnées, il n'est pas possible d'en suivre l'évolution historique).

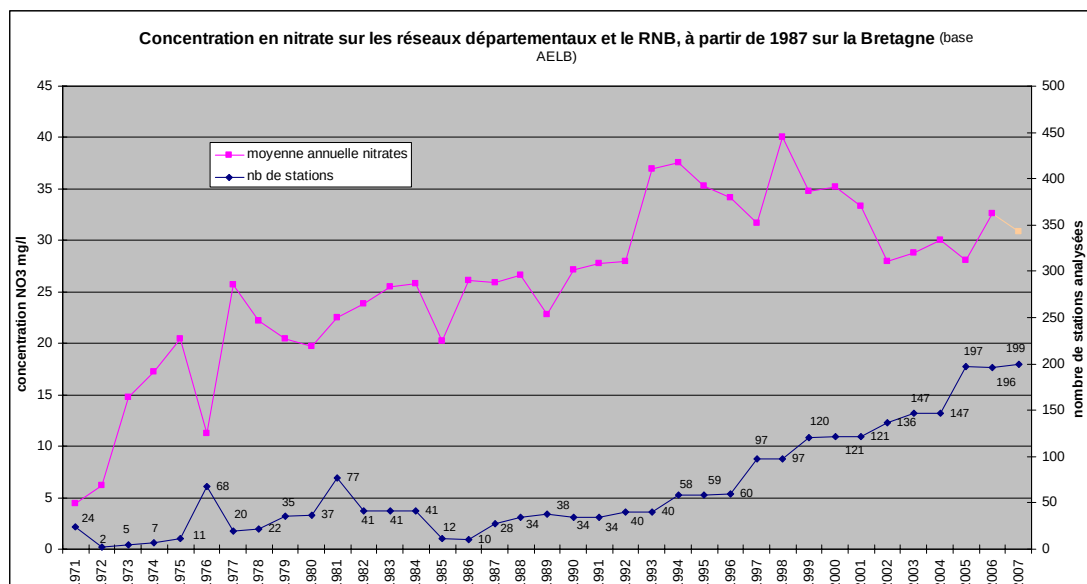


Figure 26 : Concentration en nitrates en considérant l'ensemble des valeurs stockées dans les bases de l'Agence de l'Eau pour la Bretagne et nombre de stations ayant fait l'objet d'au moins une mesure. Pour chaque station est d'abord calculée la moyenne annuelle en nitrates puis est établie la moyenne « régionale » sur ces moyennes par station. On distingue les « inventaires des pollutions » de 1971, 1976 et 1981 qui présentent un nombre de valeurs supérieur. En 1972, les deux données annuelles sont sur la Vilaine (la Vilaine à Rennes et la Seiche à Bruz). En 1973, en plus de ces deux stations, sont mesurées les teneurs dans 3 stations finistériennes ce qui fait monter la moyenne (presque triplement). On peut noter également que les années 1971 et 1976 sont des années de sécheresse prononcée.

Le chiffre « officiel » de moins de 5 mg/l en 1971 provient d'analyses qui ont été réalisées dans le cadre de l'inventaire des pollutions de 1971. En 1971, cet inventaire comportait en Bretagne 24 stations prélevées pour la plupart tous les deux mois (6 dates par an, ou tous les mois / 12 dates par an pour 3 stations ; 2 stations n'ont été échantillonnées que 4 fois dans l'année).

La moyenne des valeurs de nitrates présentes dans la base de l'Agence de l'Eau est de **4.40 mg/l** (moyenne annuelle par station puis moyennes entre elles des stations).

Sur les mêmes stations, la moyenne pour l'azote ammoniacal **NH4** est de **1.76 mg/l**. Cela signifierait qu'en 1971, on **aurait donc eu plus d'azote inorganique apporté par le NH4 que par le NO3** (40 % de plus).

Pour autant, l'analyse plus fine des données montre des différences importantes en fonction des réseaux de suivi : le réseau « ENSP » indique des valeurs très basses en nitrates (4.4 en 1971 pour l'ensemble des stations) et très hautes en NH4 (1.76 en 1971) ce que ne montrent pas les autres réseaux de mesure de l'époque (DDASS 29 à partir de 1973 pour quelques points et DIREN à partir de 1976). Excepté pour les années d'« inventaires des pollutions » le suivi de l'ENSP ne concernait que les cours du bassin de la Vilaine aux caractéristiques particulières.

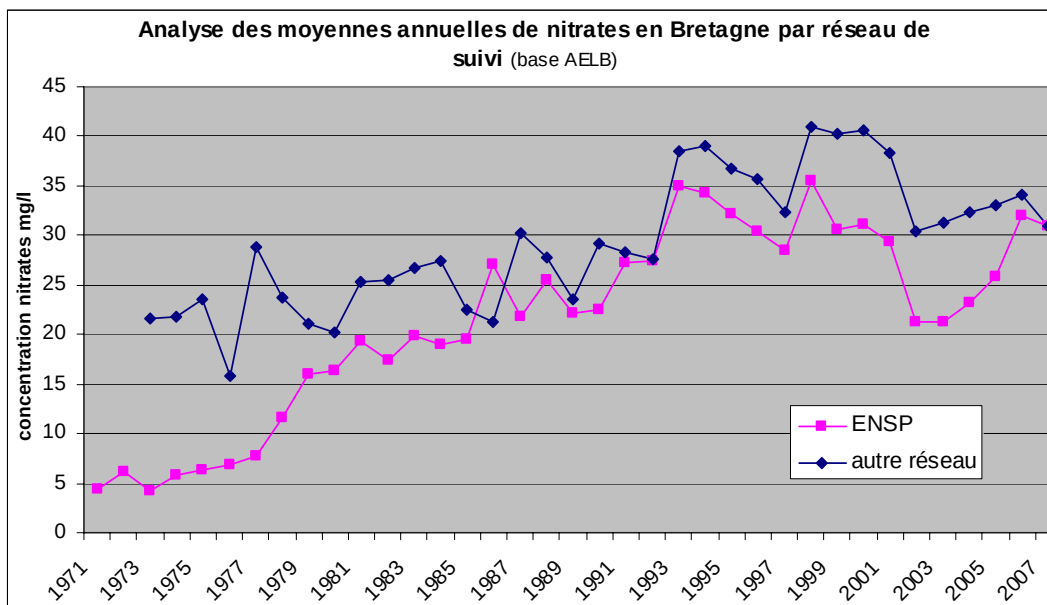


Figure 27 : Concentration moyenne en nitrates suivant les réseaux de mesure. La valeur de 1976 plus basse sur les « autres réseaux » s'explique, en partie au moins, par le fait qu'un nombre important de station (14) est suivi par la DIREN dont une proportion importante (6/14) est dans le bassin de la Vilaine (pour les années antérieures, les analyses n'étant effectuées que par la DDASS 29 se situaient toutes en Finistère). Ensuite, à partir de 1977 et jusqu'en 1981, aucune donnée de la DIREN dans la base ; les données « autres réseaux » sont principalement de la DDASS 29 (exception faite d'un point sur la Vilaine en aval de Redon suivi par le Laboratoire départemental de Loire Atlantique).

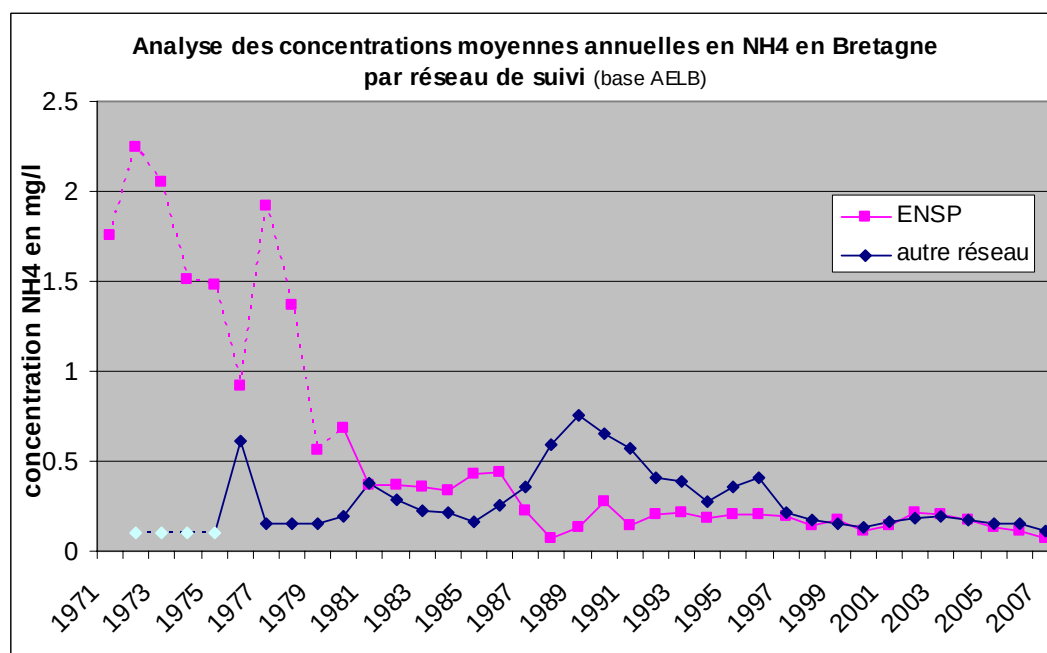


Figure 28 : Concentration moyenne en NH_4 par « réseau de suivi » sur la Bretagne. Les niveaux très importants mesurés par le réseau « ENSP » ne sont pas retrouvés dans « l'autre réseau ». Pour les années 1972 à 1975 seule une station était suivie (Elorn Aval) pour « autre réseau » : on ne peut donc retenir de moyenne. Pour les points du réseau ENSP, pour les années 1972, 73, 74, 75 seuls les cours d'eau de la Vilaine faisaient l'objet de mesure (aucun point en zone Armor Finistère) ; pour 77 et 78, seul un point se trouvait en zone Armor Finistère et en 78 et 79 deux points. Ces moyennes ne peuvent donc être considérées comme représentatives de la Région.

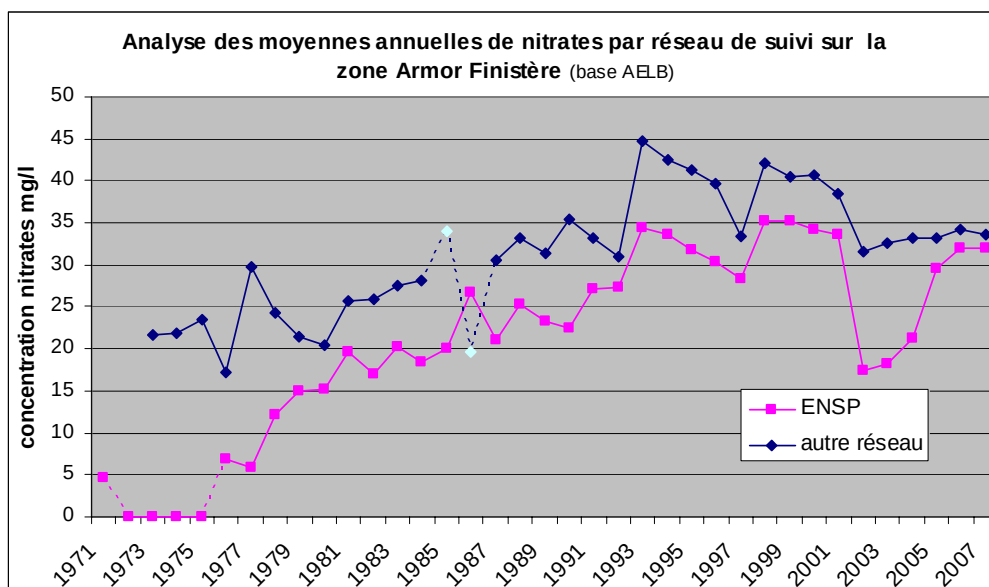


Figure 29 : Concentration moyenne en nitrates par « réseau de suivi » sur la zone « Armor Finistère » de l'Agence de l'Eau. Même en ne considérant que cette zone géographique (donc exclusion du bassin de la Vilaine au comportement hydrologique particulier) on trouve des valeurs très différentes pour les données historiques des deux « réseaux ». A partir de fin 1984, la base ne comporte plus de donnée DDASS 29. En 1985, seule une station (171750, Trieux à Saint Pever) figure dans la base dans « autre réseau » (10 valeurs dans l'année). En 1986, seule une valeur figure dans la base pour « autre réseau » (pour la station 191000 du Blavet à Mur de Bretagne, le 10 juin). A partir de 1987 puis surtout 1988 les prélèvements deviennent plus réguliers (DIREN). L'accroissement très net des concentrations entre 1992 et 1993 résulte très certainement de la succession d'années sèches (1989 à 1992 incluses) avant l'année 1993 plus pluvieuse que la normale.

Cas de l'Elorn :

Sur l'Elorn, les données anciennes de la station de potabilisation de « Pont ar Bled » ont pu être exploitées : on dispose d'une valeur par mois en 1971.

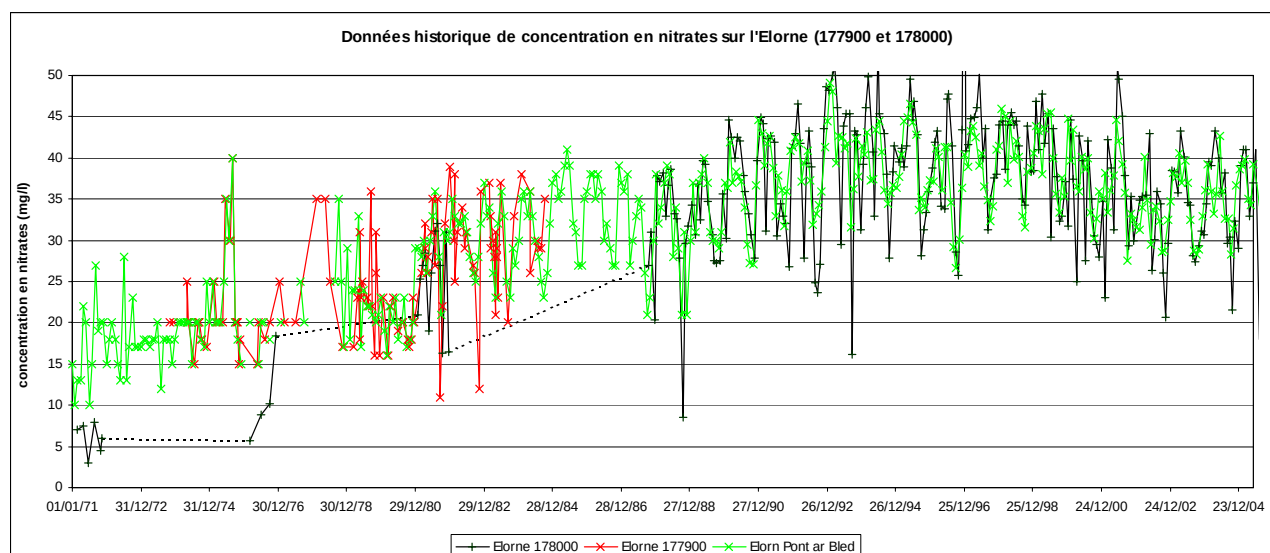


Figure 30 : Concentration en nitrates à l'aval de l'Elorn : les points 178000 et 177900 sont distants de moins d'un kilomètre, sans particularité pouvant expliquer des changements notables de concentration (pas d'affluent ni de source de pollution ponctuelle). Les points nommés Pont Ar Bled et 178000 sont tous les deux à la prise d'eau. Pour les années 71 à 81 les teneurs du point 178000 sont issus du réseau ENSP. Les données historiques « Pont ar Bled » sont apparemment déjà des moyennes mensuelles ; il y aurait donc encore plus de données disponibles et peut-être plus de variabilité que la figure n'en présente (recherche en cours des données « de base »). Il semble bien se confirmer une divergence forte entre les réseaux de mesure. La même divergence peut-être notée sur d'autres cours d'eau pour lesquels des analyses anciennes existent (Jarlot notamment). Attention, les méthodes analytiques d'avant 1981 pour les données autres que ENSP seraient moins fiables et auraient tendance à sous estimer les teneurs (explication du saut entre 80 et 81 ; cf. annexe 4)

Il semble que l'on peut donc affirmer qu'en 1971 les teneurs en nitrates « moyennes » régionales ne pouvaient pas être de moins de 5 mg/ l. Seules les données à partir de 1988 (création du RNB fin 87) peuvent être exploitées pour mesurer une évolution régionale des concentrations.

Les divergences fortes qui apparaissent entre les réseaux de suivi pourraient s'expliquer par :

- des années 1971 et 1976 qui sont des années de très fortes **sécheresses** ce qui sur certains cours d'eau provoque un abaissement marqué des concentrations en nitrates (peut-être encore plus dans ces années où les teneurs montaient progressivement ?). Entre 1971 et 1976, l'ENSP ne suivait que **certain cours d'eau du bassin de la Vilaine** qui pourraient avoir eu un comportement différent des autres cours d'eau bretons (peu de nitrates et beaucoup de NH₄ dans ces années ?).
- des **protocoles de suivis différents** pour les différents opérateurs, le réseau ENSP semblant cibler plus les pollutions ponctuelles (« inventaire des pollutions »), au moins pour les années 1971, 1976 et 1981 (d'où les teneurs en NH₄ fortes, particulièrement en 1971 et les teneurs faibles en nitrate). Les prélèvements étaient-ils réalisés réellement dans le cours d'eau ou au plus près des sources ponctuelles ? (sorties de Station d'épuration par exemple)
- des **méthodes analytiques divergentes** ? (les premiers suivis reposaient d'après l'ENSP, sur des méthodes « a priori » fiables mais délicates à mettre en oeuvre qui ont été abandonnées en 75 ou 76 (il semble qu'à partir de fin 76 les mesures des différents réseaux soient plus convergentes)
- des erreurs de **report dans les unités** ?

En tout état de cause, pour ce qui concerne les marées vertes, si l'on considérait les données du « réseau ENSP » la valeur de 4.4 mg/l de nitrates devrait être augmentée des concentrations en NH₄ ce qui ferait déjà une **concentration en « équivalent nitrate » de plus de 10 mg/l**.

Pour les marées vertes, on peut aussi considérer que les valeurs pour le début des années 1970 qu'il convient de prendre en compte sont celles de la zone **Armor Finistère** qui concentre les plus importants sites de proliférations d'ulves. Les teneurs reconstituées à partir des quelques mesures sporadiques seraient, sur cette seule zone, **alors plutôt autour de 20 mg/l**.

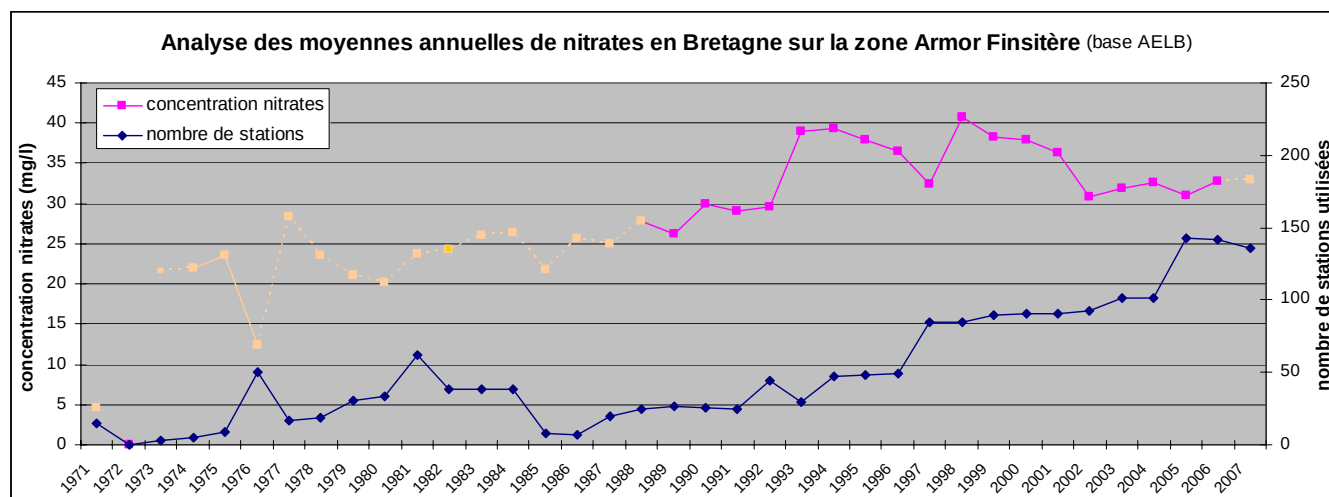


Figure 31 : Concentration en nitrates sur la zone Armor Finistère (délégation de l'Agence de l'Eau, et zone concentrant les marées vertes « classiques » les plus importantes). Les données antérieures à 1988 sont moins fiables et ne permettent que d'indiquer les tendances d'évolution, car le nombre de valeurs est faible et les stations pas réparties pour indiquer une évolution de l'ensemble du secteur géographique. Pour l'année 2007, les données des derniers mois n'étant pas disponibles, la moyenne annuelle devra probablement être revue à la hausse.

- Conclusion :

Des séries disponibles au niveau « régional », ou du moins de la zone « Armor Finistère », on peut déduire :

- ✓ Avant 1987, des données qui ne **peuvent être utilisées pour établir une moyenne fiable** (nombre de stations faible et stations irrégulièrement réparties et variables, parfois une seule valeur annuelle, protocole de prélèvement et fiabilité des analyses à confirmer ; cf. annexe 4)
- ✓ une **hausse incontestable des teneurs en nitrates** depuis le début des années 1970,
- ✓ un niveau historique au début des années 1970 qui serait **probablement plus proche de 15 ou 20 mg/l** que des 5mg/l « officiels », du moins pour ce qui est de la zone Armor-Finistère,
- ✓ des teneurs en nitrates qui auraient augmenté, du début des années 70 au début des années 90, **d'un facteur 2**, pour ensuite diminuer légèrement à partir de la fin des années 1990,
- ✓ un niveau trophique pour le paramètre azote qui varie de façon beaucoup plus importante avec le **débit de l'année** (facteur de 1 à 10 entre les flux des années les plus sèches et les plus humides, sur certains cours d'eau, pour ce qui est des mois de mai à août, « période sensible » pour la marée verte)
- ✓ une augmentation des teneurs en nitrates qui n'est pas partout **intervenue à la même période ni avec la même ampleur** : il semble que sur l'Horn, par exemple, les concentrations étaient déjà voisines de 50mg/l au milieu des années 1970.

3) Actions de bassin versant efficaces pour diminuer les flux d'azote au niveau nécessaire.

3.1) Les flux aux exutoires des bassins versants :

Comme cela est présenté en partie 1) le **raisonnement en concentration** convient mal pour expliquer la marée verte qui se déroule en milieu relativement ouvert où intervient une dilution en mer plus ou moins rapide et forte. Ce qui compte, c'est le **flux et la période à laquelle ce flux arrive au littoral**. Afin d'analyser ces flux un travail d'homogénéisation des modes de calcul de ces flux puis leur analyse a été entrepris par le CEVA avec les porteurs de programme de bassin versant de Prolittoral. Les flux sont calculés en prenant les débits moyens journaliers à l'exutoire quand une station permet de les obtenir. A défaut, les débits sont estimés en utilisant une station limnigraphique voisine pour laquelle les débits sont bien corrélés avec les débits instantanés mesurés à l'exutoire du bassin versant. Pour les concentrations, ont été réalisées des interpolations des valeurs disponibles (une valeur par mois à une valeur par semaine selon les périodes hydrologiques) pour reconstituer des valeurs journalières.

Les flux dépendant en premier lieu des surfaces agricoles des bassins versants, tous les flux ont été rapportés à l'hectare de SAU.

Afin de lisser les fortes variations interannuelles, pour comparer entre eux les bassins versants, **l'objectif était d'exprimer tous les flux sur une période longue, commune** pour tous les bassins versants. La période de 1993 à 2007 (années hydrologiques) a été retenue mais, pour certains cours d'eau, les données étaient insuffisantes pour estimer correctement les flux sur cette période, une période plus courte a alors dû être utilisée, ce qui rend les données de ces cours d'eau plus difficilement comparables.

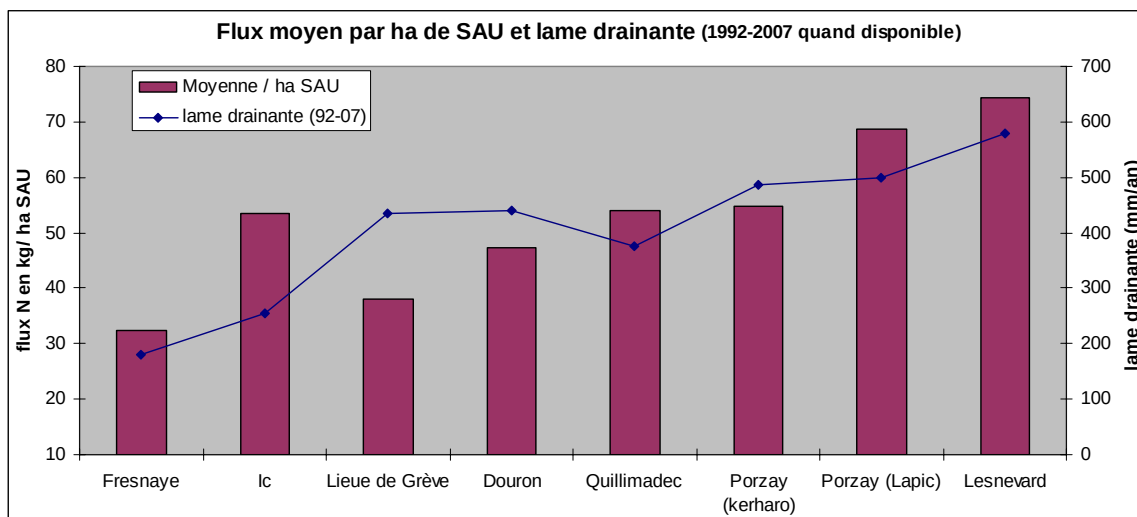


Figure 32 : flux moyen d'azote nitrique par ha de SAU et lame drainante sur la même période (1993-2007 sauf pour l'Ic et le Porzay = 2000-2007, le Quillimadec = 2004-2007, et le Lesnevard = 1999-2007). Le fait d'exprimer tous les flux sur la même période 2004-2007, modifie les valeurs de flux (flux inférieurs sur la série 2004-2007 que sur 93-2007) mais pas la hiérarchie entre les bassins versants.

Les flux par ha de SAU **sont fortement variables** en fonction des bassins versants puisque dans la série les valeurs vont de **32 à 75 kg/ha**. La variation paraît être relativement parallèle à la **lame drainante**. Le bassin versant de la Fresnaye pour lequel la charge d'azote est forte (surtout sur cette période pour laquelle la qualité de l'eau correspond aux charges des années antérieures à la résorption des excédents d'azote) présente le plus faible flux spécifique et ce malgré des concentrations parmi les plus fortes (55 mg/l en moyenne sur 93-07) alors que le bassin du Yar ou du Lesnevard, plutôt peu chargés en azote organique (système bovin majoritairement) présentent des flux supérieurs à très supérieurs.

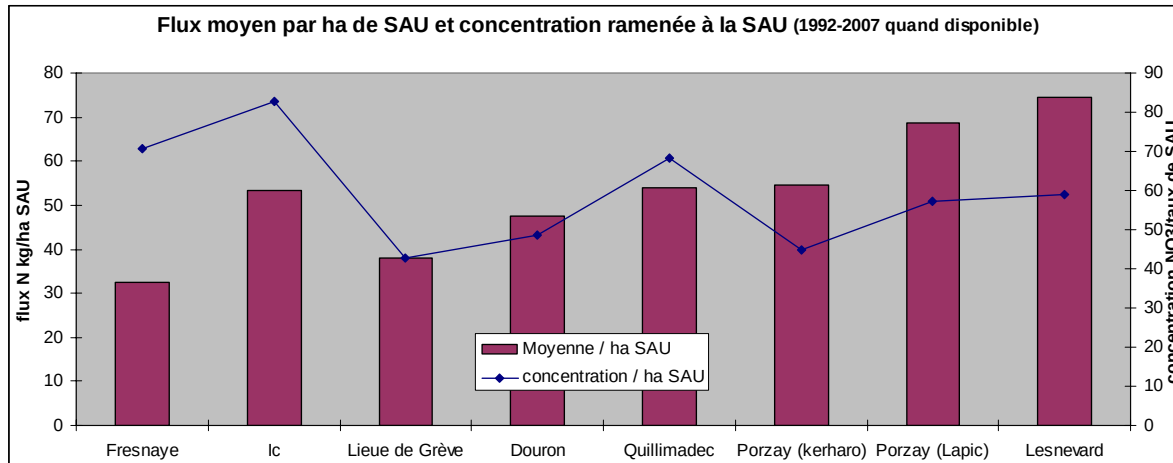


Figure 33 : Flux moyen d'azote nitrique par ha de SAU et concentration / taux de SAU sur les années 1993-2007 (sauf pour l'Ic et le Porzay = 2000-2007, le Quillimadec = 2004-2007, et le Lesnevard = 1999-2007). On note que les flux à l'ha et la concentration, même ramenée à la SAU ne varient pas parallèlement ce qui met en avant l'importance des débits dans la constitution du flux (les débits varient plus fortement que les concentrations à l'échelle des bassins versants étudiés).

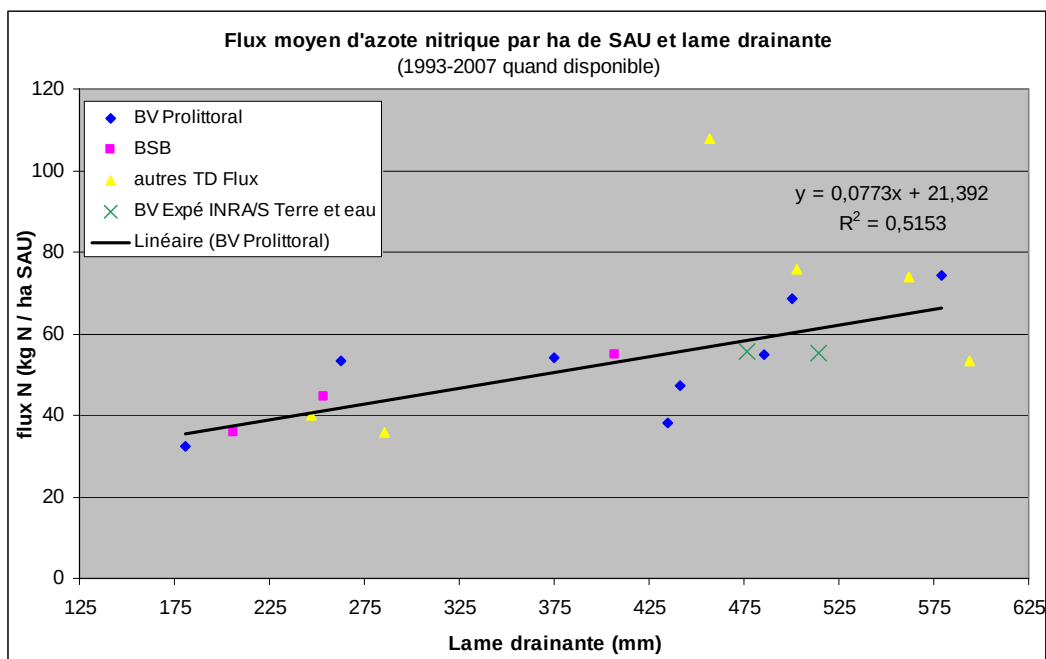


Figure 34 : Flux moyen d'azote nitrique par ha de SAU et lame drainante. Pour les cours d'eau des bassins versants de Prolittoral (points bleus), les flux sont estimés sur la période 1993-2007 (sauf pour l'Ic et le Porzay = 2000-2007, le Quillimadec = 2004-2007, et le Lesnevard = 1999-2007). Les lames drainantes sont estimées sur la période 1993-2007 (sauf pour le Quillimadec = 2004-2007 et l'Ic = 1996-2007). Pour les points roses (baie de Saint Briec) la période d'estimation des flux et des débits est 1992-2006 (concentrations mesurées aux exutoires par la DDE/CQEL). Pour les points représentés en jaune, les flux ont été extraits de l'évaluation BEP volet 1 réalisée par Sogréah (cours d'eau du Léguer, Jaudy/Guindy, Horn/Guillec, Leff, Trieux, Moros) sur l'ensemble de la période disponible (au mieux : 1992-2004). Seuls les cours d'eau de Prolittoral sont utilisés pour la régression linéaire Flux/lame drainante.

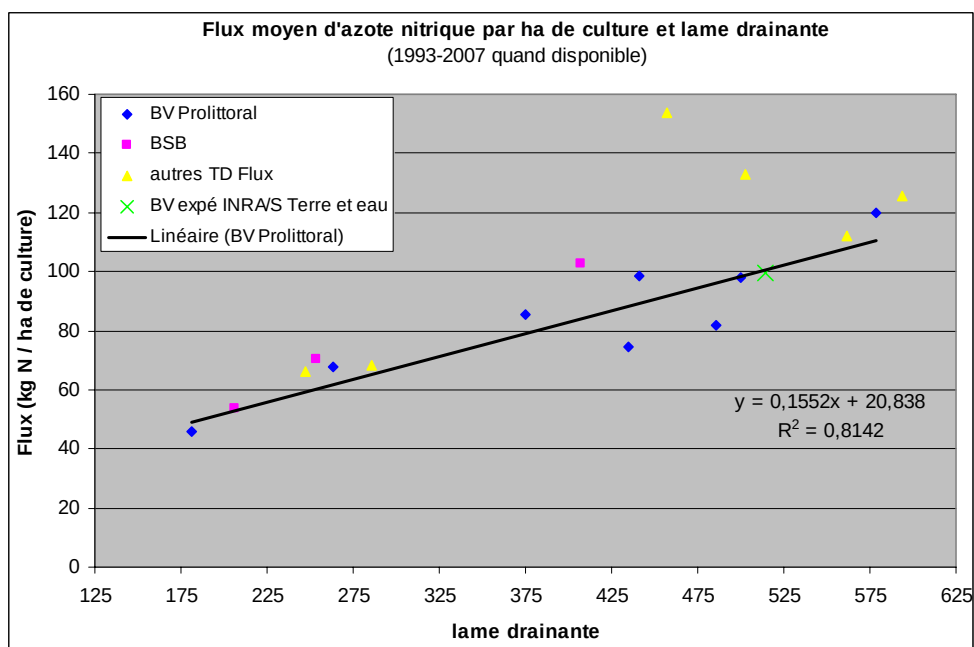


Figure 35 : Flux moyen d'azote nitrique par ha de culture et lame drainante. Si au lieu de ne prendre que les cours d'eau des bassins versants de Prolittoral pour établir la régression linéaire on prend tous les flux disponibles le R2 obtenu passe de 0.81 à 0.67 (sans l'Horn, dont les flux très importants s'écartent des autres points, R2= 0,80)

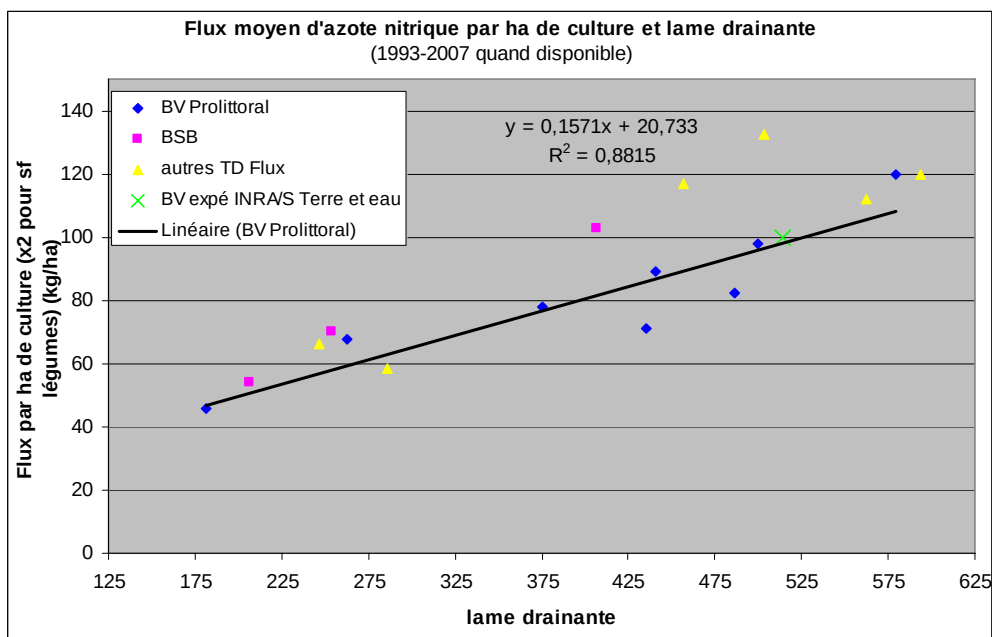


Figure 36 : Flux moyen d'azote nitrique par ha de culture en comptant « double » les ha de légumes et lame drainante. Si au lieu de ne prendre que les cours d'eau de Prolittoral pour établir la régression linéaire on prend tous les flux disponibles le R2 obtenu passe de 0.88 à 0.76 (sans l'Horn R2= 0,82)

- Discussion :

L'analyse des flux spécifiques des différents bassins versants et des lames drainantes correspondantes montre :

- **une corrélation assez forte** de ces deux variables : plus la pluviométrie est importante plus le niveau de flux est fort (l'inverse pour la concentration).
- Aucune corrélation par contre, sur ce jeu de données entre les niveaux de **flux spécifique et la charge organique** d'après l'enquête SRSA ($R^2 = 0.039$; $R^2 = 0.023$ pour ce qui est du paramètre solde N du SRSA). Cela peut, en partie au moins, s'expliquer par le fait que l'enquête SRSA de 2004 n'estimait que les pratiques de la campagne précédente et non des campagnes des 10 ou 20 dernières années. L'exemple du Gouessant (ou de la Fresnaye) est illustratif de cette mauvaise corrélation : la charge organique y est bien supérieure (depuis des années) à celle du Gouet voisin et pourtant ses flux d'azote y sont très nettement inférieurs (un tiers de moins),
- Des corrélations qui s'améliorent quand on passe des flux par ha de SAU aux **flux par hectare de culture** : les flux d'azote seraient donc plus expliqués par les hectares de culture que par la SAU totale,
- Des corrélations qui s'améliorent quand on **double le poids des hectares de culture de légume** : cela pourrait signifier que les légumes génèrent des flux supérieurs aux autres cultures, où alors les légumes peuvent être interprétés comme indicateurs d'un pédo-climat particulièrement favorable ce qui expliquerait, sur ces territoires des taux de minéralisation de la matière organique plus importants (climat doux, sols plus filtrants donc fuites par hectare importantes).

Hypothèses explicatives :

- la proportionnalité entre les flux et la lame drainante pourrait s'interpréter comme liée au facteur « **temps de drainage** » : plus la lame drainante est importante plus la période de drainage est longue donc plus la quantité d'azote entraînée issue de la minéralisation automnale/hivernale pourra être importante,
- la **pédologie** étant largement façonnée par le climat, les zones les plus arrosées sont également celles pour lesquelles les sols sont les plus drainants (faible Réserve Utile, RU), provoquant une migration de l'azote nitrique au-delà de la zone racinaire et limitant les possibilités de dénitrification. Les zones les moins pluvieuses en Bretagne sont aussi celles présentant les sols les plus argileux qui offrent des fortes RU et des conditions favorables à la dénitrification.

La sensibilité des bassins versants aux fuites de nitrates dépendrait donc largement des **caractéristiques pédoclimatiques**, avec une sensibilité d'autant plus forte que la **pluviosité moyenne est importante**. La minéralisation automnale / hivernale est particulièrement forte en Bretagne (climat doux et humide), probablement d'autant plus que le sol reste chaud longtemps et se réchauffe vite : cela semble en particulier être le cas près des côtes au climat plus doux et présentant des sols plus « drainants » qui sont moins vite « refroidis ». L'entraînement des nitrates issus de cette minéralisation est ensuite d'autant plus important que le sol est abondamment lessivé : importance de la lame drainante et faiblesse de la RU (dans les sols plus argileux, avec de plus faibles pluviosités, les conditions sont favorables à la dénitrification).

3.2) Actions efficaces pour lutter contre les flux d'azote :

De la description des flux et leur lien avec la lame drainante (cf. paragraphe 3.1) et du niveau de flux à atteindre pour limiter les marées vertes (cf. paragraphe 2), on peut déduire que les actions pertinentes à mettre en place ne seront pas les mêmes pour tous les territoires alimentant des sites à marée verte.

Les simples actions de **limitation de la fertilisation**, à même système de culture, si elles peuvent avoir une certaine efficacité (surtout quand la fertilisation antérieure était très déséquilibrée), paraissent en tout état de cause **insuffisantes pour les bassins versants les plus sensibles**. En effet :

- ✓ En 1965, la charge organique+minérale au niveau régional était de 80 kg/ha (estimation reprise par la DIREN d'après les chiffres de la DRAF) ; elle était sur la Lieue de Grève très probablement inférieure à ce niveau de cette époque et malgré ce niveau, les flux engendrés par le Yar étaient en 1971 suffisants pour générer des marées vertes qui devenaient nuisantes sur ce site particulièrement sensible. En 1970, la charge azotée régionale serait, d'après les mêmes sources de 130 kg/ha d'azote organique + minéral, probablement plus proche de 100 kg / ha sur le bassin versant du Yar, parmi les secteurs les moins chargés de Bretagne.
- ✓ L'INRA dans son rapport de mai 2006 pour Prolittoral « Pratiques agricoles, fuites de nitrates et qualité de l'eau dans les bassins versants : synthèse des références applicables au contexte breton » rapporte des résultats d'expérimentations sur le long terme (Kerlavić 1995-2004, Bignan 1994-2004) dans lesquelles l'introduction de CIPAN dans une rotation maïs-blé permet de diminuer les fuites de nitrates sous les parcelles de manière importante (respectivement 45 % et 32 % de réduction). Cependant, dans les contextes pédoclimatiques de ces expérimentations (lame drainante d'environ 400 mm/an), malgré une fertilisation équilibrée et malgré l'introduction de CIPAN après le blé, le niveau de fuite sous la succession maïs-blé demeure important (respectivement de 39 et 45 kg/ha) engendrant des concentrations dans l'eau de drainage proches de 50 mg/l.

Les nitrates étant principalement entraînés vers les nappes de novembre à mars (période de « drainage ») et la minéralisation particulièrement intense en Bretagne dès le début de l'automne, les actions les plus efficaces seront probablement celles qui **favoriseront la couvertures des parcelles sur les mois d'automne et du début de l'hiver par des cultures qui assimilent de grosses quantités d'azote, au fil de sa minéralisation**.

A cet égard, la culture, dans le système actuel, sous laquelle les fuites sont les plus importantes, même une fois la fertilisation optimisée est probablement est la culture des **céréales d'hiver** : après un travail du sol en automne qui augmente la minéralisation, la céréales utilise l'espace mais ne fixe que de très faibles quantités d'azote jusqu'en février (environ 15 UN). Cela est d'autant plus problématique que les céréales d'hiver succèdent souvent au maïs qui, lui, reçoit une grosse proportion des déjections animales (outre d'éventuelles surfertilisations, on a une minéralisation importante de ces parcelles ayant reçu une fertilisation organique).

Les **retournements de prairies** génèrent aussi des flux d'azote très importants s'ils ne sont pas suivis de cultures spécifiques capable d'assimiler de grosses quantités d'azote (betterave par exemple ou choux fourrager ou éventuellement maïs hâtif + RGI sous couvert)

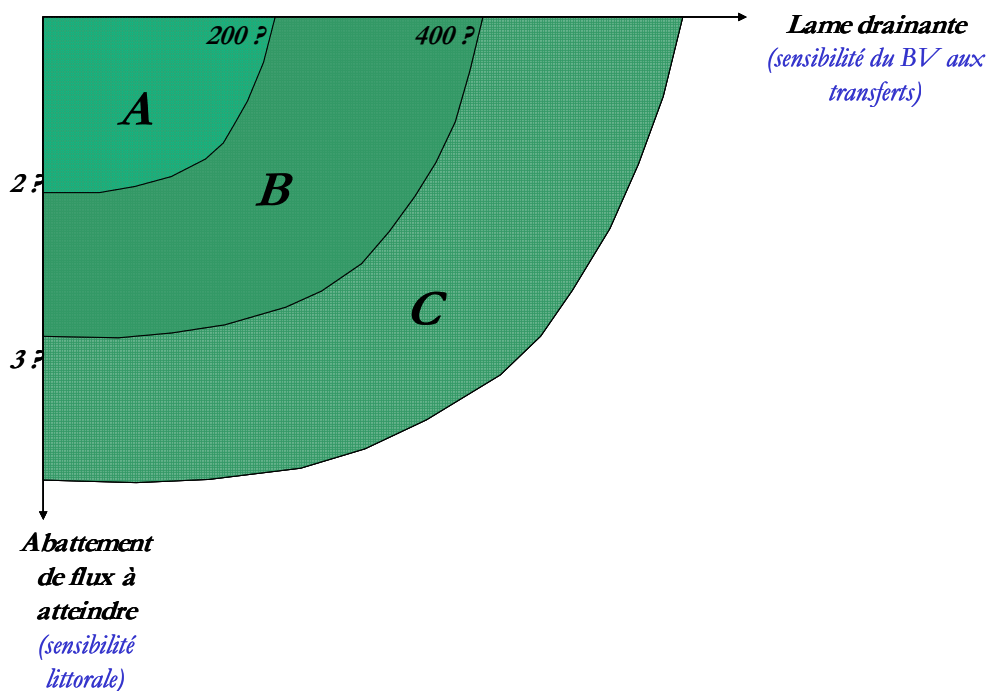


Figure 37 : proposition d'actions efficaces pour lutter contre les marées vertes en fonction de la sensibilité des sites littoraux et de la sensibilité du territoire aux transferts d'azote. Les actions envisagées peuvent être les suivantes :

A : fertilisation équilibrée (agronomique), respect de l'aptitude des sols (rendement de la culture), bonne gestion des prairies (date retournement), ...

B : A + adoption de cultures capables d'intercepter la minéralisation automnale :

- maïs hâtifs puis CIPAN, céréales de printemps, autre culture ?
- herbe,
- maintien des prairies ou gestion des retournements par cultures spécifiques (betteraves, choux fourragers...)

C : A+B+retrait de SAU (parcelles humides, terres peu profondes à faible RU)

Les changements à entreprendre, sur les secteurs les plus sensibles, sont profonds. Pour parvenir à limiter les fuites à un niveau suffisamment bas, **des solutions techniques adaptées** devront être proposées aux agriculteurs. La mise en oeuvre de ces solutions sera ensuite à envisager soit de manière incitative (compensation des exigences supplémentaires de production sur des territoires particulièrement sensibles) soit réglementaires. Un indicateur tel que la « **quantité d'azote présente sous forme organique en fin d'hiver par hectare** » pourraient être mis en place pour exprimer ce que le couvert (implanté dans cet objectif ou pas) a permis d'éviter comme fuite d'azote. Un tel indicateur pourrait permettre d'orienter les choix des types de culture et rotation par les agriculteurs pour aller vers des cultures générant des fuites d'azote compatibles avec les objectifs « marées vertes ».

CONCLUSION :

Les marées vertes se produisent sur des secteurs dont la **configuration littorale est favorable** aux proliférations (confinement des nutriments et des algues produites).

Outre la plus ou moins grande sensibilité du littoral aux proliférations, les **caractéristiques géologiques des bassins versants jouent un rôle important** en contrôlant les périodes auxquelles les nutriments rejoignent le littoral.

Dans l'attente de modélisation « absolue » du fonctionnement des marées vertes, l'analyse de la réaction des sites aux années climatiques permet d'appréhender des **niveaux d'abattement différents** à mettre en oeuvre pour limiter les proliférations sur les différents sites.

Les dates d'apparitions **historiques des marées vertes** permettent également de proposer des objectifs de niveaux à atteindre. Si l'apparition des premières marées vertes sur la baie de la Lieue de Grève, par exemple, est assez bien datée, la concentration en nutriment de l'époque n'est pas connue. Il est possible de tenter par plusieurs approches de la reconstituer. **Il semblerait qu'au début des années 1970, la concentration en nitrates sur le Yar peut être située autour de 15 mg/l** (voire près de 20 en période printemps été). En ce cas les variations **du niveau nutritionnel azoté seraient plus importantes d'une année sur l'autre sur la période actuelle** (en fonction du débit de l'année) qu'entre le niveau moyen des années 70 et maintenant. L'aspect interannuel semble donc particulièrement important à bien analyser pour décrire le phénomène. Les marées vertes, d'encore relativement faible ampleur dans le début des années 1970 (courtes et moins régulières) semblent, à partir de la fin des années 70-début des années 1980 être beaucoup plus régulières et longues, avec un niveau de concentration en nitrates qui semble **dépasser largement les 20mg/l** au printemps et en été.

Pour ce qui est du **niveau moyen de concentration en nitrates régionale** en 1971, le chiffre « officiel » de moins de 5 mg/l à cette époque semble très en dessous de la réalité, du moins pour ce qui concerne le secteur le plus concerné par les marées vertes. Certains cours d'eau du Finistère Nord auraient, déjà au milieu des années 1970 atteint des niveaux élevés, proches de 50 mg/l. Il convient, pour chaque secteur, en fonction des dates d'apparition des marées vertes de rechercher le niveau des concentrations de nitrates correspondant.

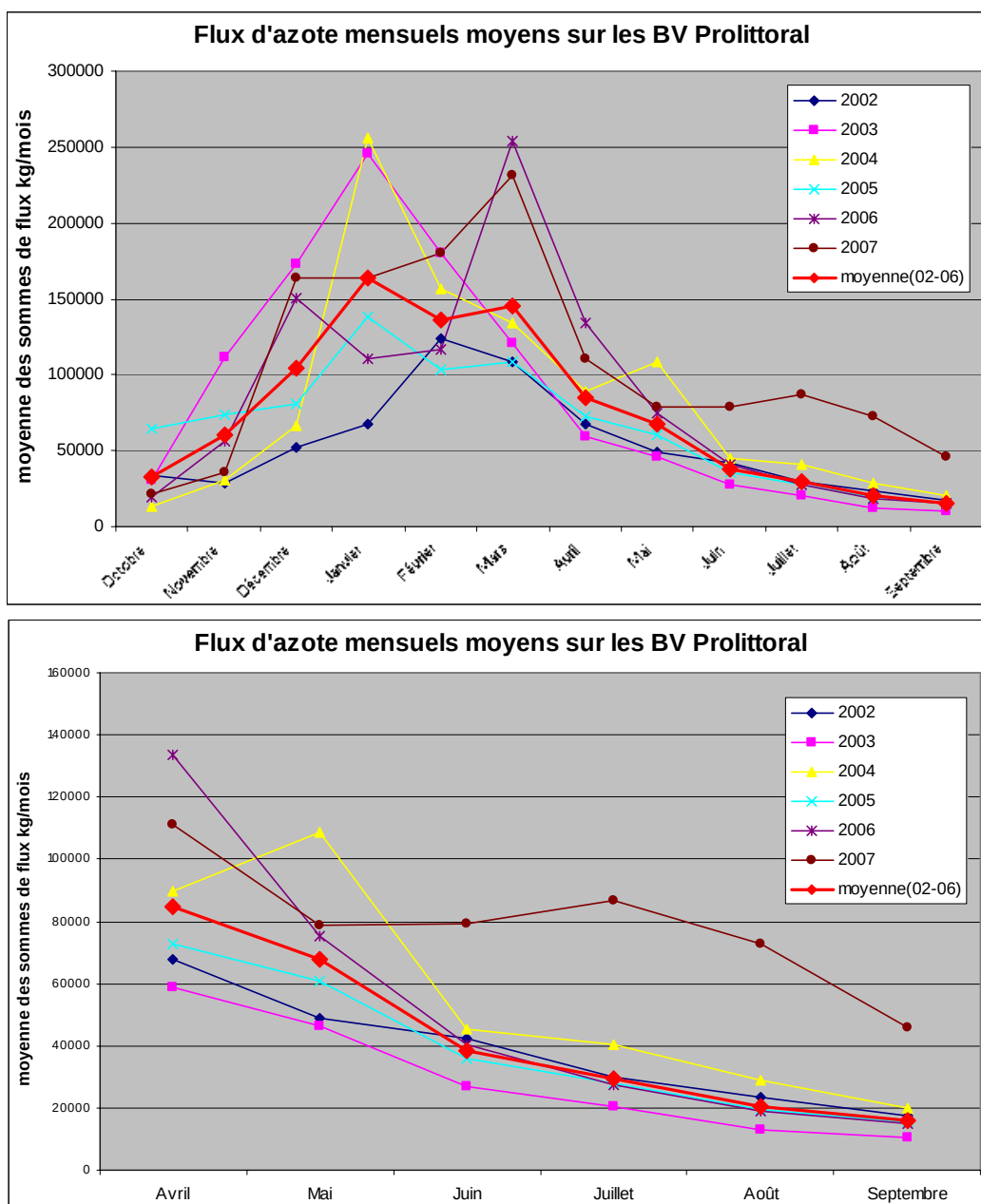
Pour ce qui est des actions les plus efficaces à mettre en oeuvre pour lutter contre les flux de nutriments (nitrates particulièrement) le **facteur de sensibilité du bassin versant aux transferts d'azote** est important à analyser. Il semble en effet assez net que le niveau de flux d'azote nitrique dans le cadre de l'agriculture bretonne dépend assez peu de la **seule charge en azote des parcelles**. Le niveau d'excès pluviométrique (lame drainante) et de type de sol (réserve utile) semble influencer fortement sur les flux à l'hectare ce qui serait dus, en bonne partie, aux flux liés à la **minéralisation automnale des matières organiques du sol**. Pour autant, ce niveau de fuite lié à la minéralisation puis au lessivage des parcelles est d'autant plus important en Bretagne que les parcelles sont régulièrement fertilisées avec des déjections animales (**augmentation des taux de minéralisation des sols**). Pour les territoires les plus sensibles, ces fuites « incompressibles », avec les cultures actuelles, sont vraisemblablement déjà trop importantes pour pouvoir limiter les marées vertes sans remettre en cause le **mode actuel d'utilisation de l'espace agricole**. Les actions à mettre en place sur ces territoires, dans la mesure où elles iraient à l'encontre des intérêts économiques des exploitations agricoles devront probablement être, soit compensées financièrement soit imposées réglementairement, pour devenir effectives.

En fonction des niveaux de qualité de l'eau à atteindre par site, pour lutter contre les proliférations, et de la sensibilité du milieu aux transferts d'azote, devront alors être définis **des types de culture et des modes de production agricole compatibles** avec les spécificités du milieu.

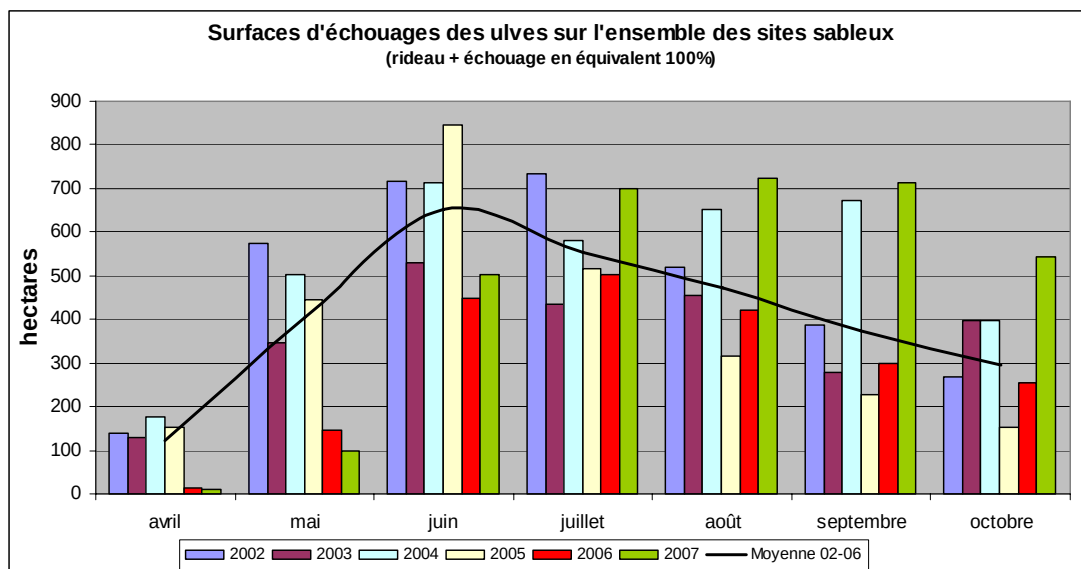
En l'absence d'action aussi radicale, la poursuite et l'amplification des « actions de bassin versant » actuelles, devrait permettre, en limitant les concentrations de nitrates, d'améliorer la situation des sites, au moins en diminuant l'ampleur des marées vertes les années les plus sèches, sur les sites les moins « sensibles aux marées vertes ».

ANNEXES

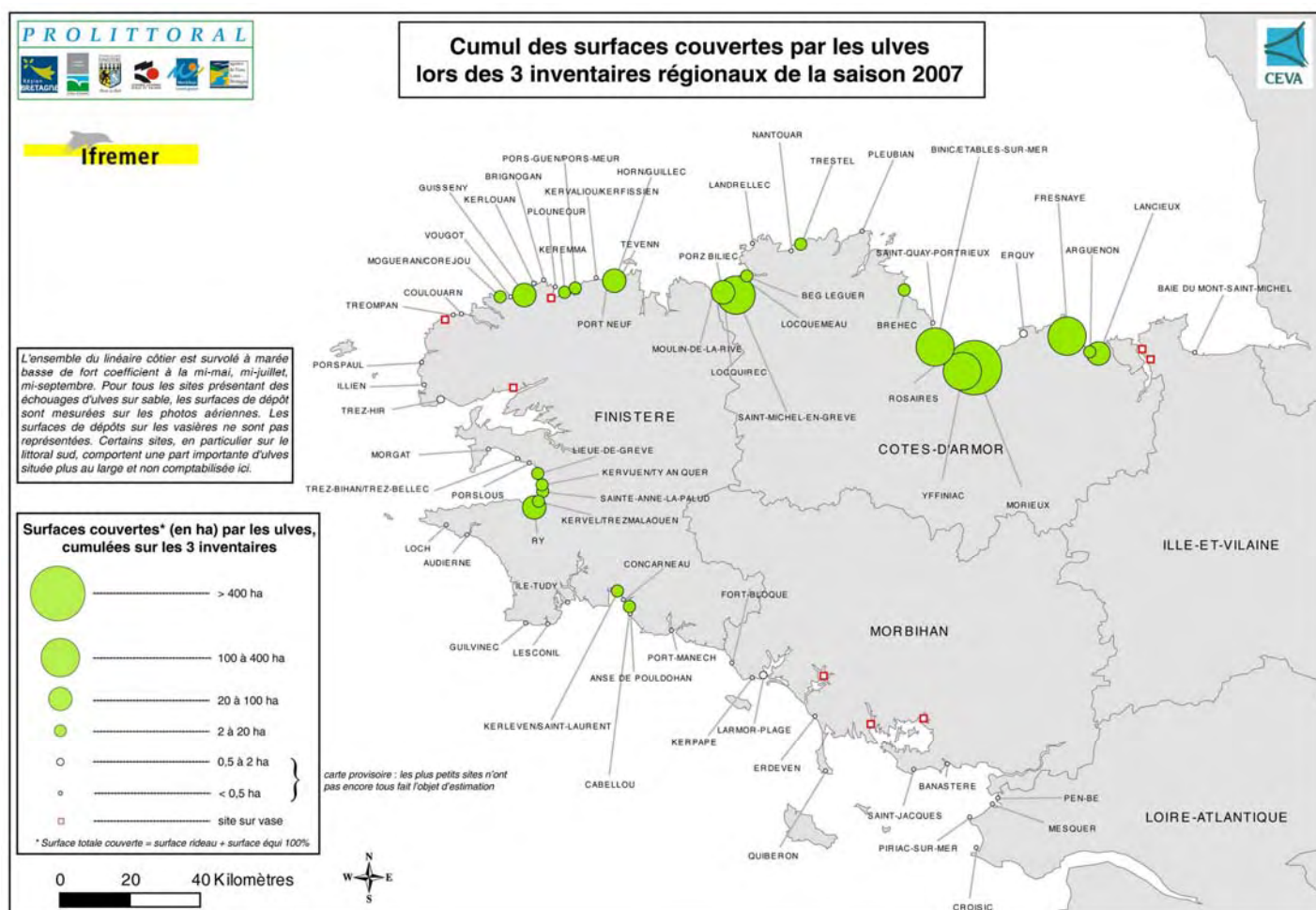
Annexe 1 : Caractérisation des flux en azote inorganique à l'exutoire des BV de Prolittoral sur 2002-2007 et surfaces d'échouages d'ulves mesurées



Flux par mois estimés aux exutoires des bassins versants de Prolittoral (indicateur du niveau régional). On y distingue bien les séries sèches en été (2003, 2002, 2005) des séries de forts flux (2007 tout particulièrement, mais également 2004). Suivants les secteurs, l'année 2002 a été beaucoup plus sèche que ce qui apparaît au niveau régional.



Surface régionale cumulée sur tous les sites sableux bretons. La particularité de 2005 avec un maximum très élevé tôt en saison puis une diminution forte des échouages apparaît bien ici. Les années 2006 et 2007 avec un démarrage particulièrement tardif. Et 2007 avec, en fin de saison, une prolifération record, malgré un démarrage tardif.



Répartition des ulves sur les sites au niveau régional : exemple de l'année 2007 (cumul des surfaces mesurées lors des 3 inventaires régionaux de mai, juillet et septembre)

Annexe 2 :
Mise en évidence sur deux cas particuliers du caractère inter annuel de la marée verte, pour expliquer la marée verte malgré des flux bas.

La photo aérienne de l'IGN du 27 juillet 1992 en baie de Saint Briec montre des échouages massifs. L'analyse des flux (mesurés par la CQEL 22) dans la période qui a permis d'installer cette biomasse donne :

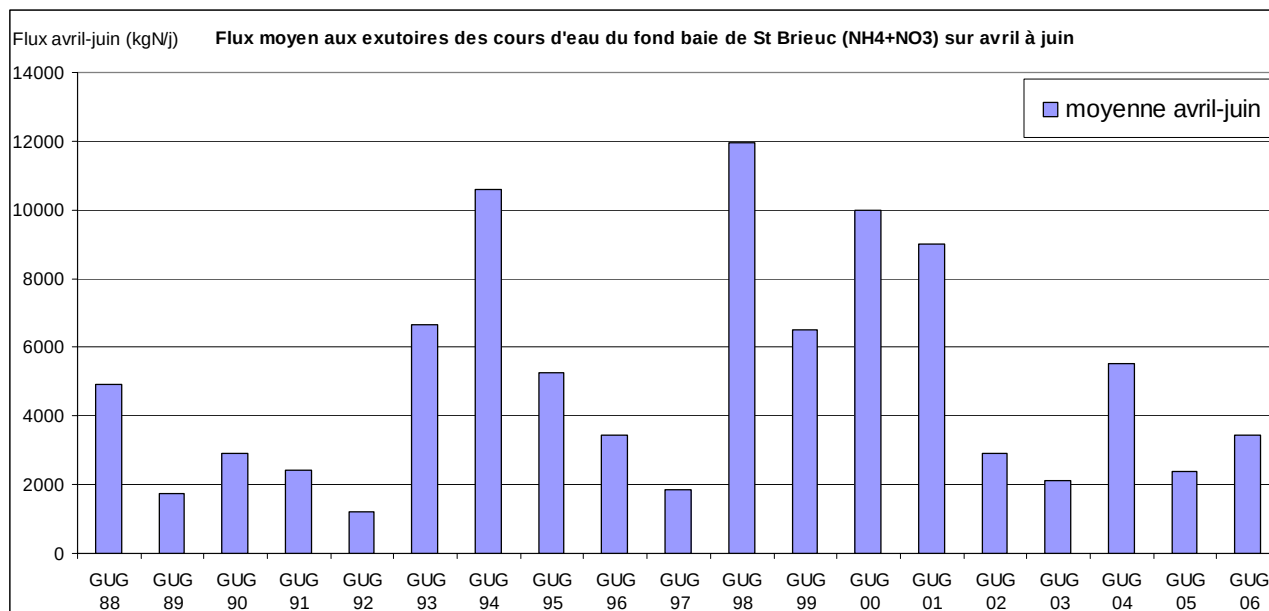
- pour avril à juin 1992 des flux moyens d'azote de 1200 kgN/j
- pour l'année 1998 un flux de 12 000 kgN/j (année de plus fort flux dans les dernières années).

On a donc un facteur 10 entre l'année 92 et l'année 1998 sur la période « efficace » de flux (un facteur de plus de 7.5 pour 4 années sur les 15 dernières années).

Si l'on ne se réfère qu'aux flux du printemps (avril à juin) on peut donc établir que d'abattre les flux des années les plus pluvieuses d'un facteur 8 ne permet pas d'empêcher une marée verte de l'ampleur de celle observée en 1992. Les concentrations relevées en 1998 étant respectivement pour le Gouessant, l'Urne, le Gouet de 50mg/l, 42 et 36, pour abattre les flux d'un facteur 10 par les concentrations pour les années arrosées, il faudrait alors descendre sous les 5 mg/l en moyenne dans l'année. Il est donc primordial de bien considérer la marée verte dans son caractère pluri annuel.



Photo IGN du 27 juillet 1992, baie de Morieux.

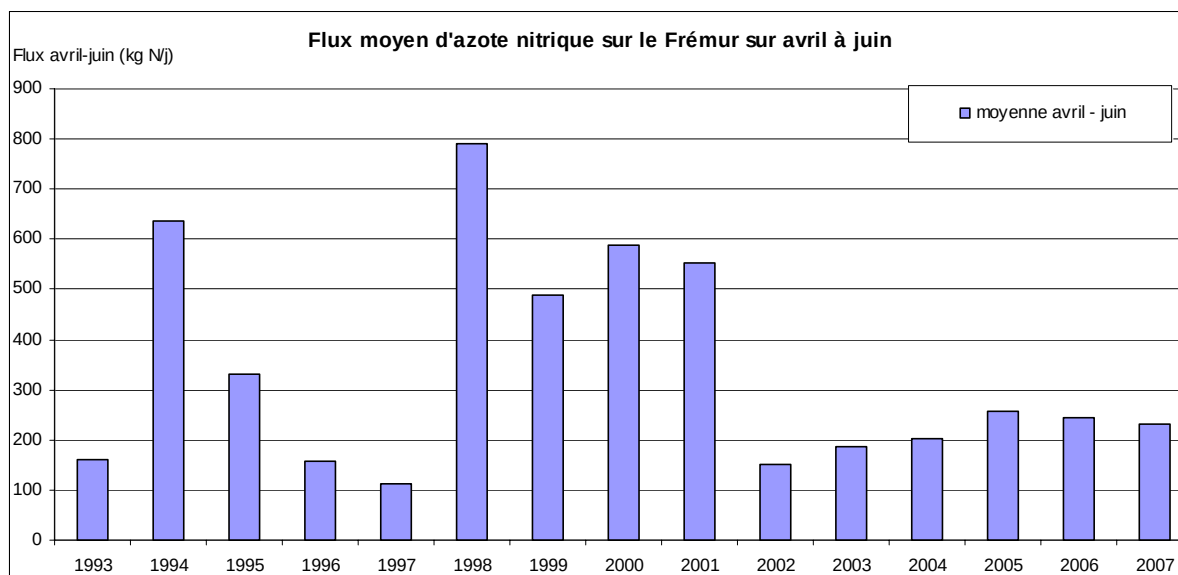


Flux moyens d'azote inorganique apportés par les cours d'eau du fond de baie de Saint Brieuc sur la période « sensible » avril à juin pour les années 1988 à 2006.



Photo IGN de la baie de la Fresnaye du 8 juillet 1997

Les flux du Frémur sur l'année 1997 sont particulièrement faibles : sur la période avril à juin le flux moyen est de 110 kg/j alors que sur la même période de 1998 il avoisine 800 kgN/j soit 7 fois plus (et 5.7 fois plus que sur 1994). La moyenne des concentrations en nitrates étant en 1998 de 54 mg/l, un abattement par 7 des flux par la concentration amènerait à un niveau de moins de 8 mg pour une année de fort débit.



Flux moyens d'azote inorganique apportés par le Frémur (point de suivi à Montbran) sur la période « sensible » avril à juin pour les années 1993 à 2007.

Dans les deux cas, il aurait été intéressant de pouvoir analyser plus complètement la réaction des sites à ces années sèches, mais malheureusement, les suivis à l'époque n'étaient pas aussi fins que depuis 2002 et ne permettaient qu'une appréciation annuelle (maximum annuel ?). La perception de la prolifération en fin de saison de ces années sèches et le niveau de reconduction de la marée verte les années suivantes (mesuré par les surfaces en avril et mai de l'année n+1) aurait permis de contribuer à la détermination d'objectifs à atteindre sur ces sites.

Annexe 3 : Données complémentaires sur les teneurs historiques en nitrates sur le Gouet et le Yar

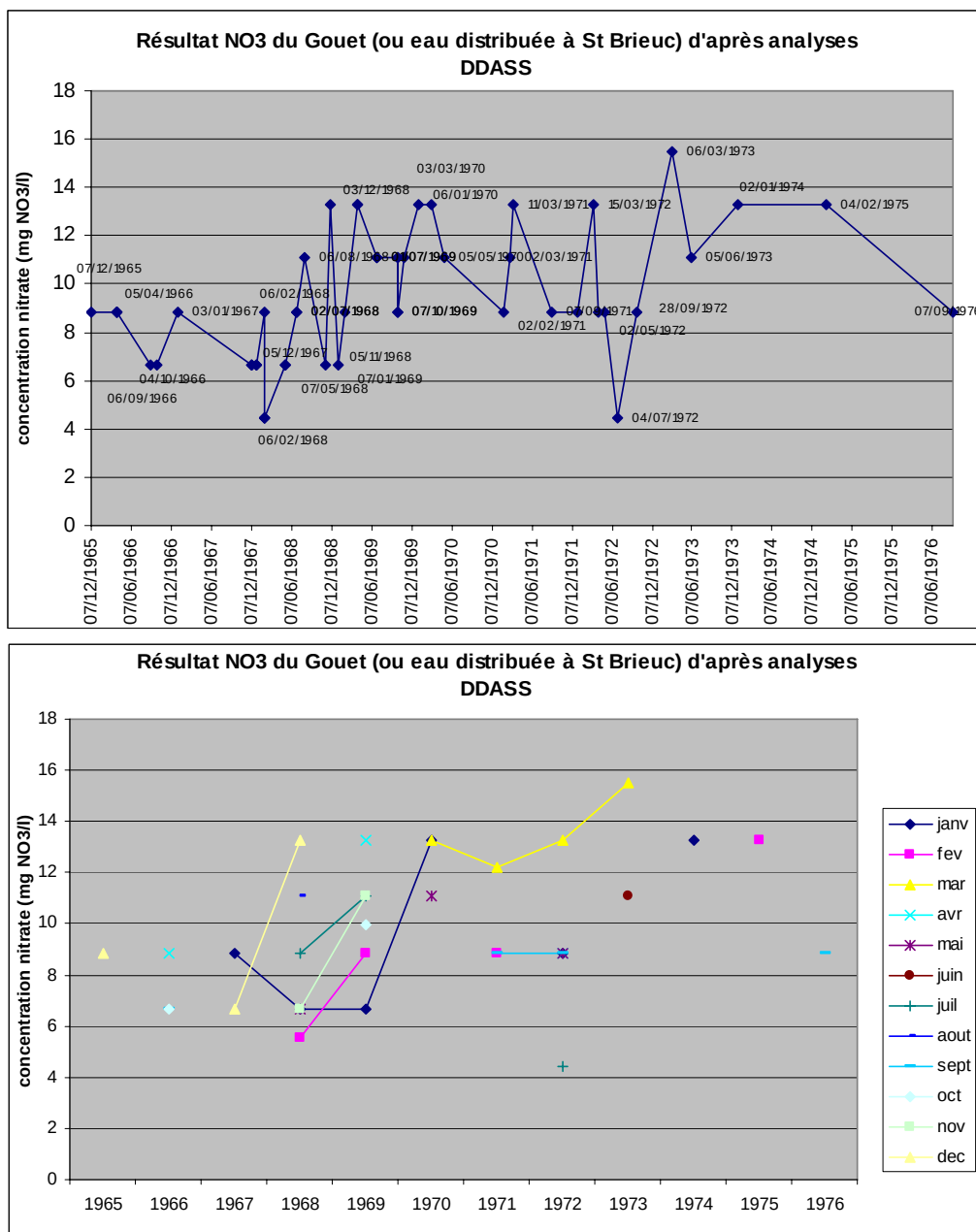


Figure 1a et 1b : Données de concentration en nitrate de la DDASS 22 – Service Santé Environnement. Certaines données concernent l'eau brute à St Barthélémy, les autres des prélèvements aux robinets en différents points du réseau. Les prélèvements qui semblent provenir de puits ou des drains de Plaintel ont été exclus de cette figure. Sur la figure 1b, on perçoit le manque de donnée en période plus sensible de marée verte (avril, mai, juin, juillet). Attention, les méthodes analytiques dans ces années seraient moins fiables et pourraient sous estimer les teneurs (cf. annexe 4)

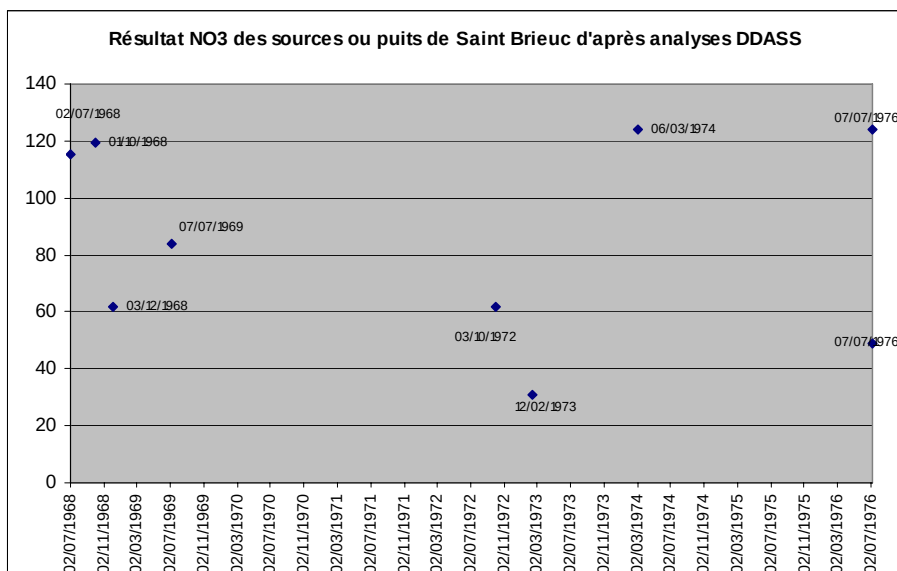


Figure 2 : données issues des archives de la DDASS. Les valeurs des prélèvements sur les sources ou puits sont peu nombreuses sur la période et présentent un niveau très élevé. Les prélèvements auraient pu être conduits sur les sources pressenties comme étant les plus problématiques pour l'alimentation des populations ? Attention, les méthodes analytiques dans ces années seraient moins fiables et pourraient sous estimer les teneurs (cf. annexe 4)

Ces données semblent confirmer une montée progressive des nitrates au cours de la fin des années 60 début des années 70. Cependant ces analyses sont à prendre avec précaution car elles sont ponctuelles et n'étaient pas réalisées pour indiquer un niveau « moyen » de concentration en nitrates. De plus, il est difficile d'être certain de la provenance de l'eau analysée (puits utilisés ?, drains de Plaintel en plus des eaux du Gouet). Le niveau au début des années 70 semble d'après ces analyses être autour de 10-15 mg/l. Une description de la fiabilité et la justesse des analyses réalisées à l'époque pourrait être recherchée pour valider ou non ce niveau (cf. annexe 4).

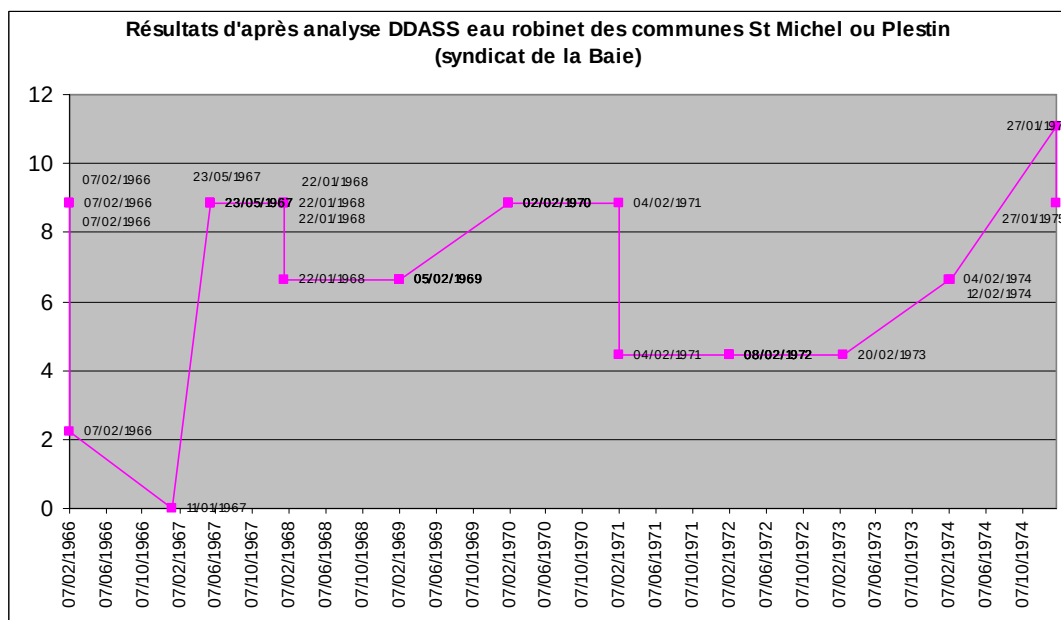


Figure 3 : données DDASS de la qualité de l'eau distribuée sur les communes de Saint Michel et Plestin (communes du Syndicat de la Baie). Il semblerait qu'en plus des eaux du Yar le Syndicat de la Baie disposait à l'époque de ressources souterraines (utilisée en quelle proportion ? de quelle qualité sur le paramètre nitrate ?). Il convient de noter que les données sont très peu nombreuses et presque toutes issues de prélèvement l'hiver. Des données complémentaires sont en cours de recherche et pourront peut être permettre d'améliorer la perception du niveau de l'époque. Sur les années 1992 – 2007, les teneurs en nitrates sur les mois de juin à septembre sont en moyenne 25 % supérieure au reste de l'année. Un même pourcentage pouvait-il séparer les teneurs hivernales des teneurs estivales à l'époque ? ou un pourcentage supérieur ? Attention, les méthodes analytiques dans ces années seraient moins fiables et pourraient sous estimer les teneurs (cf. annexe 4)

Annexe 4 : Méthodes analytiques utilisées et leur fiabilité

✓ Cas des données du Finistère

Jusqu'en 1980 la méthode utilisée par le laboratoire finistérien (ex laboratoire municipal de Brest, puis Pôle analytique des eaux et maintenant IDHESA) était la méthode dite de Caron Raquet. Elle consistait en une réaction de nitration d'un composé phénolé (réaction en milieu anhydre qui nécessitait d'évaporer l'échantillon au bain-marie). Le réactif était l'acide salicylique en milieu sulfurique. Les produits nitrés formés sont de coloration jaune. A l'époque, la lecture n'était pas faite au spectrophotomètre mais par une comparaison visuelle avec des tubes à essais aux colorations correspondant aux différentes gammes de concentration (a priori étalon de jaune de 5 mg/l en 5 mg/l).

Cette méthode est décrite comme délicate à mettre en œuvre (déshydratation des prélèvement, puis acide, ... risque de giclure), mais donnant avec des techniciens bien formés des résultats reproductibles (même prélèvement donne des résultats proches).

D'après le laboratoire, le principal problème vient de la perturbation des analyses par la plus ou moins grande présence ionique du prélèvement. Il a été montré notamment que la présence de chlorures entraîne une sous estimation des résultats en nitrate.

A partir de 1981 et jusqu'à ce jour, la méthode utilisée au laboratoire est une réduction des nitrates au cadmium, puis réaction colorimétrique et lecture au spectrophotomètre.

L'analyse des données de la base de données de l'Agence de l'Eau Loire Bretagne pour ce qui correspond aux analyses de la DDASS 29 (réalisées par le Laboratoire municipal de Brest à l'époque) sur les données des stations communes pour lesquelles on a des analyses régulières :

Opér. -Station	1979	1980	1981	1982	1983	1984
172605	12	12	11	12	12	7
173740	10	12	11	11	9	7
174130	12	12	11	12	13	8
174540	16	12	10	12	11	8
175180	17	12	13	12	12	7
177105	13	12	11	12	12	7
177720	12	13	11	12	12	7
177900	15	12	12	12	13	7
178110	11	12	11	12	12	7
178120	12	13	11	12	12	7
178125	12	12	11	12	12	7
178950	12	8	11	16	12	6
179270	12	12	11	12	11	5
179500	12	12	10	12	12	8
179650	12	12	11	12	11	6
179700	11	12	10	12	10	6
184100	11	12	11	12	10	7
184200	11	12	11	12	9	7
184500	11	12	11	13	10	6
184700	12	12	11	12	10	6
185000	12	12	10	11	12	8
187010	12	12	11	12	12	6
188500	12	12	11	12	10	5

Figure 1 : stations utilisées et nombre de données annuelle

Opér. -Station	1979	1980	1981	1982	1983	1984
172605	7.247213	7.83032667	9.85984909	10.662575	10.2460642	11.7097743
173740	24.49059	22.7412583	30.3519818	29.7158691	30.5438111	29.9884714
174130	17.0767825	16.6602583	22.5367909	22.158155	24.6828154	24.8654375
174540	47.4192875	45.1160125	59.37718	53.2378892	63.7028	66.0996
175180	33.8693529	37.3190083	44.4444538	44.4829167	49.3976917	47.8387714
177105	19.7616331	26.6564333	31.4424636	38.6518167	38.5685083	39.8418429
177720	29.8218583	27.4509846	41.2568727	41.1508583	39.4848167	38.5566286
177900	23.5243067	19.909025	27.8226417	29.821875	29.1426462	31.8449286
178110	26.8078818	22.82455	33.8960727	33.487125	33.6537417	35.2721714
178120	26.9896167	23.5294	35.3500455	33.237225	36.1527917	34.8437571
178125	26.0733167	26.7397083	33.2599545	33.4871333	35.23645	44.1259
178950	15.57735	14.7443138	17.8295209	18.8177656	19.6591033	18.8261033
179270	15.1608392	14.4527758	15.4577055	15.5773375	19.53794	13.5947532
179500	13.4115163	14.5778842	17.278356	19.2426125	17.3266683	20.6170625
179650	12.3285958	13.1282808	13.9628236	15.7439575	14.4490055	16.3270667
179700	19.44706	23.9074583	25.67012	28.1558417	28.68897	29.3220667
184100	14.9033573	17.54326	18.8018545	17.0767767	19.262596	21.7059571
184200	26.8987364	27.9392667	30.8245182	30.7381833	34.4312111	33.2729286
184500	27.5348545	24.9070917	31.4424636	31.3725615	34.48675	30.9880833
184700	26.9063	24.1990192	29.6976818	29.8218833	34.78664	29.32205
185000	23.5742742	23.907475	29.71858	29.8976	32.9206917	33.6120875
187010	20.2422333	17.6598667	21.1555091	19.7424133	22.6579533	25.99
188500	15.743945	13.2865633	15.9938691	16.1604417	16.993486	18.59284
moyenne	22.3830827	22.0447922	27.7144047	27.9322093	29.8266588	30.3112297

Figure 2 : stations utilisées et moyenne annuelle des teneurs en nitrates.

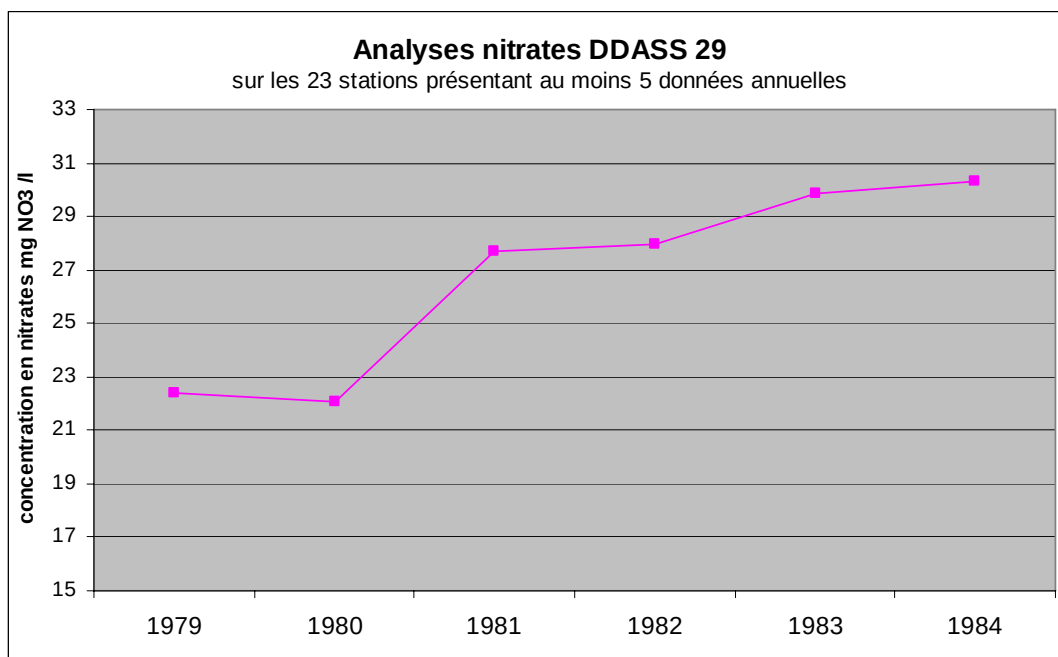


Figure 3 : moyenne annuelle des valeurs sur les 23 stations finistériennes. D'un point de vue hydrologique, les années 1977 à 1981 incluses s'écartent peu de la normale interannuelle. Entre 1980 et 1981, la moyenne de ces stations augmente de 5.7 mg/l alors que sur les années 1981 à 1984 l'augmentation annuelle est de 0.65 mg/l/an. On peut donc supposer que le passage d'une méthode à l'autre en 1981 a provoqué cette augmentation de 5 mg/l et que les analyses antérieures étaient donc sous estimées de 5mg/l en moyenne.

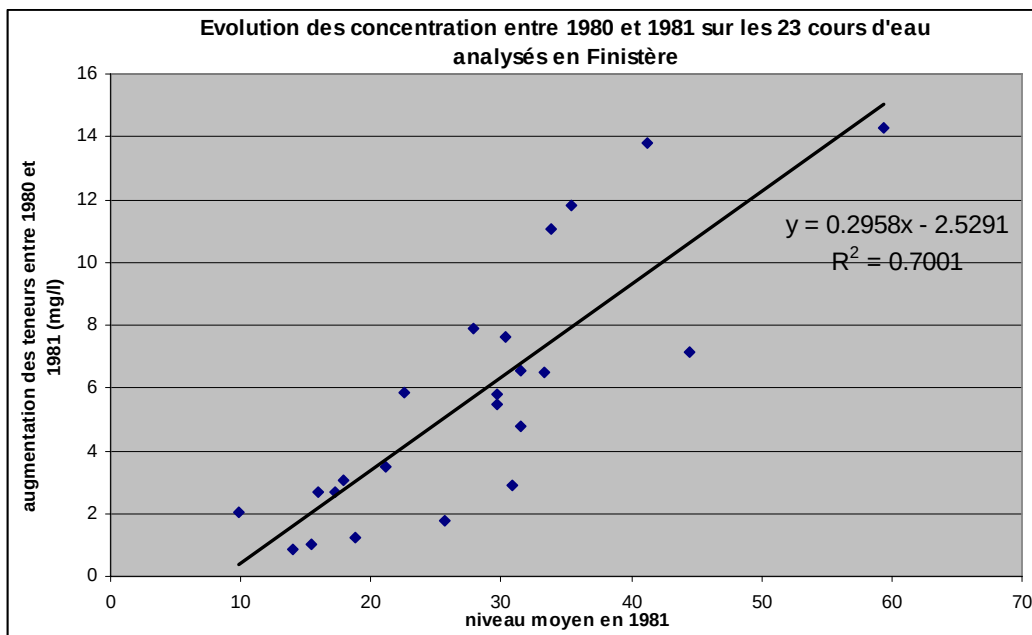


Figure 4 : relation entre le niveau moyen de 1981 et l'augmentation des teneurs. On peut en déduire un décalage qui est proportionnel au niveau atteint en 1981 (3-4 mg à 20 mg, 5 à 25 mg et 6 à 30 mg/l)

✓ Cas des données des Côtes d'Armor :

Il semblerait que les méthodes analytiques en Côtes d'Armor étaient identiques à celle du Finistère. Le passage de l'ancienne à la nouvelle méthode ne peut pour l'instant être daté précisément (recherches en cours). Les premières données du Yar en 1978 ont-elles été établies avec la nouvelle méthode plus fiable et juste ? Les données de la fin des années 60 début 70 ont à coup sûr d'après les techniciens du laboratoire été établies avec l'ancienne méthode.

✓ Cas des données de l'ENSP :

Les données de l'ENSP étaient jusqu'en 75 ou 76 établies avec la même méthode qu'en Finistère et Côtes d'Armor (Caron Raquet). Il semble qu'à l'ENSP au lieu de lecture des résultats d'après des étalons, une lecture au spectrophotomètre était déjà réalisée en 1971. Le résultat devrait donc être considéré comme plus fiable. L'ENSP confirme la perturbation qu'engendre la présence de chlorures ; des travaux avaient été menés pour qualifier ces biais (pourraient être retrouvés).

✓ D'après l'ENSCR (Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Rennes)

La méthode Caron Raquet utilisant de l'acide sulfurique attaque la matière organique de l'eau ce qui peut altérer la lecture (précipités bruns). Il serait possible de refaire des tests sur différentes eaux avec cette méthode pour en analyser la fiabilité et la justesse en fonction des charges organiques et ioniques.