

Le Réseau ECOFLUX

Convention entre l'UBO
et le Conseil Général du Finistère

Rapport de printemps 2009



Florent ARNAUD

Brest 2009

SOMMAIRE

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | PRESENTATION DU RESEAU | 2 |
| 1.1 | Rappel des objectifs | 2 |
| 1.2 | Rappel de la circulaire DCE 2007/20 : | 2 |
| 1.3 | Le SDAGE Loire -Bretagne | 3 |
| 1.4 | Les rivières suivies par le réseau..... | 4 |
| 1.5 | Les acteurs du réseau..... | 6 |
| 2 | ACTIONS PEDAGOGIQUES ET COMMUNICATION | 7 |
| 2.1 | Les interventions du réseau ECOFLUX en 2008 | 7 |
| 2.2 | Le projet de suivi pédagogique (2008-2009). | 8 |
| 2.2.1 | Conclusions sur le projet « Au fil de l'eau ou à l'école de l'eau » | 9 |
| 2.2.2 | Perspectives envisagées concernant le développement du projet pédagogique : | 9 |
| 3 | RESULTATS SCIENTIFIQUES | 10 |
| 3.1 | fiabilité des données du réseau..... | 10 |
| 3.2 | Les facteurs influents sur les concentrations en nitrates : | 11 |
| 3.2.1 | Les facteurs naturelles abiotiques..... | 11 |
| 3.2.2 | les facteurs naturels biotiques..... | 11 |
| 3.2.3 | Les facteurs d'origine anthropique : | 11 |
| 3.3 | Les nitrates | 11 |
| 3.3.1 | Concentrations en nitrates | 11 |
| 3.3.1.1 | Le classement SEQ-eau | 11 |
| 3.3.1.2 | Concentrations moyennes annuelles et évolution | 13 |
| 3.3.1.3 | Variations journalières, hebdomadaires et saisonnières..... | 15 |
| 3.3.2 | Flux de nitrates | 21 |
| 3.4 | Les silicates | 22 |
| 3.4.1 | Concentrations en silicates | 23 |
| 3.4.1.1 | Concentrations moyennes annuelles et évolution | 23 |
| 3.4.1.2 | Variations hebdomadaires et saisonnières | 25 |
| 3.4.2 | Flux de silicates..... | 28 |
| 3.5 | Les phosphates | 29 |
| 3.5.1 | Concentrations en phosphates | 29 |
| 3.5.1.1 | Concentrations moyennes annuelles et évolution | 29 |
| 3.5.1.2 | Variations hebdomadaires et saisonnières | 31 |
| 3.5.2 | Les Flux de phosphates | 34 |
| 3.6 | Conclusions et perspectives. | 35 |
| 3.7 | Utilité des données produites..... | 36 |
| 4 | ANNEXES : | 39 |

Liste des figures

| | | |
|------------|---|----|
| Figure 1. | <i>Fleuves suivis par le réseau ECOFLUX.....</i> | 4 |
| Figure 2. | <i>Suivi comparatif de l'évolution des concentrations de nitrates sur l'Elorn.</i> | 10 |
| Figure 3. | <i>Moyennes annuelles des concentrations en nitrates des rivières suivies</i> | 13 |
| Figure 4. | <i>Variations journalières des concentrations en nitrates sur l'Elorn lors de l'été 2008.....</i> | 15 |
| Figure 5. | <i>évolution des teneurs en nitrates et phosphates dans les eaux de l'Elorn pour l'année 2008.</i> | 16 |
| Figure 6. | <i>Concentrations moyennes saisonnières en nitrates présentant les différents types de cycle (P04 : printemps 2004).</i> | 17 |
| Figure 7. | <i>Diagrammes caractéristiques de concentration en nitrates en fonction des débits spécifiques : $C_{moy-sais}=f(Q_{spé})$ et de la saison.....</i> | 19 |
| Figure 8. | <i>Relation théorique concentration/débit pour des éléments dissous (C. Martin, 2003).....</i> | 20 |
| Figure 9. | <i>Comparaison des flux spécifiques estimés pour neuf cours d'eau</i> | 21 |
| Figure 10. | <i>Moyennes annuelles des concentrations en silicates.....</i> | 23 |
| Figure 11. | <i>Variations des concentrations en silicates et en nitrates sur le Dourduff et le Ris au cours des 10 dernières années.....</i> | 24 |
| Figure 12. | <i>Variations des concentrations en silicates sur l'Elorn en début d'année 2008.</i> | 25 |
| Figure 13. | <i>Variations des débits sur l'Elorn en début d'année 2008.</i> | 25 |
| Figure 14. | <i>Concentrations moyennes saisonnières en $mg.L^{-1}$ de silicates de certaines rivières représentatives des deux principaux cycles observés.....</i> | 26 |
| Figure 15. | <i>Evolution des teneurs en silicates ($C_{moy-sais}=f(Q_{spé})$).....</i> | 27 |
| Figure 16. | <i>Comparaison des flux spécifiques estimés pour neuf cours d'eau</i> | 28 |
| Figure 17. | <i>Moyennes annuelles des concentrations en phosphates.....</i> | 29 |
| Figure 18. | <i>Variations des teneurs en phosphates sur l'Elorn au cours de l'année 2008</i> | 31 |
| Figure 19. | <i>Evolution des Concentrations moyennes saisonnières en phosphates</i> | 32 |
| Figure 20. | <i>Diagrammes caractéristiques $C_{moy-sais}=f(Q_{spé})$ pour les concentrations en phosphates</i> | 33 |
| Figure 21. | <i>Comparaison des flux spécifiques estimés pour neuf des bassins versant suivis.</i> | 34 |
| Figure 22. | <i>Evolution des flux spécifiques de nitrates de 31 bassins versants bretons (source : P. Aurousseau - ENSAR, 2004).....</i> | 36 |
| Figure 23. | <i>Localisation géographique des marées vertes en Bretagne en 2006 (site internet n°1) ...</i> | 37 |

1 Résumé

Depuis 1998, le Réseau ECOFLUX, mis en œuvre dans le cadre d'un partenariat entre le Conseil Général du Finistère et l'IUEM, a pour mission principale de décrire la variabilité, à l'échelle hebdomadaire, saisonnière et interannuelle, des concentrations en nitrates, phosphates et silicates de treize fleuves représentatifs du Finistère en terme géologique mais également en termes d'aménagement du territoire.

Les échantillons sont prélevés grâce à l'implication des élèves et professeurs de six établissements scolaires (Lycée de Suscinio, Maison Familiale de Morlaix, l'Institut Rural de Lesneven, l'AGROTECH de Lesneven, le lycée Le Nivot de Lopérec et le lycée de l'Aulne à Châteaulin) ainsi que de 23 bénévoles.

L'ensemble des données acquises par le Réseau ECOFLUX est regroupé au sein d'une base de données, accessible sur internet (<http://www.univ-brest.fr/IUEM/observation/ecoflux/ecoflux.htm>) à tous. Y sont ajoutées les mesures de débit réalisées par la DIREN ainsi que l'Agrocampus Beg Meil, sur huit des rivières suivies (Dourduff, Dossen, Penzé, Guillec, Elorn, Douffine, Aulne et le St-Laurent) permettant ainsi l'estimation des flux parvenant dans les principales zones littorales touchées par l'eutrophisation.

Le présent rapport a pour objet de présenter et d'interpréter l'ensemble des résultats acquis depuis la création du réseau ECOFLUX dans le but de décrire les évolutions de la qualité de l'eau des treize rivières suivies depuis 1998.

Concernant les résultats, la tendance générale actuelle laisse présager d'une relative stabilité des teneurs en nitrates, phosphates et silicates dans les eaux des rivières et dans certains cas d'une amélioration, de la qualité des eaux.

Le réseau ECOFLUX participe aussi à la sensibilisation du public et en particulier des jeunes, à la nécessité de protéger durablement la ressource aquatique, mission réalisée aux moyens d'interventions dans les classes (de dix établissements scolaires), de conférences de presse, d'articles ainsi qu'internet.

2 Présentation du Réseau

2.1 Rappel des objectifs

Les objectifs visés pour l'année scolaire 2008-2009 sont les suivants :

Sensibiliser les élèves de dix établissements de formation finistériens, notamment les élèves de 1^{ère} STAE d'établissement de formation agricole, à la dégradation de la qualité de nos cours d'eau et aux incidences de l'eutrophisation de certaines zones littorales, en les impliquant directement dans un suivi de rivières de leur voisinage.

Connaître les concentrations de nitrates, phosphates et silicates au débouché des 13 cours d'eau suivants : la Flèche, le Quillimadec, le Kerharo, le Lopic, le Ris, le Saint Laurent, le Dourduff, le Dossen, la Penzé, le Guillec, l'Elorn, la Douffine et l'Aulne ; connaître les flux de nitrates, de phosphates et de silicates se déversant au débouché de 9 cours d'eau suivants : le Dourduff, le Dossen, la Penzé, le Guillec, le Quillimadec, l'Elorn, la Douffine, l'Aulne et le St Laurent.

Interpréter et présenter ces données de façon synthétique pour une mise à disposition sur internet. (*voir Site Internet : <http://www.univ-brest.fr/IUEM/observation/ecoflux/ecoflux.htm>*).

Apporter des données complémentaires nécessaires à la compréhension des mécanismes de développement des marées vertes. Les données fournies par les établissements scolaires viendront enrichir les bases de données existantes du Conseil Général et des organismes de recherche.

Actualiser et développer le site internet afin de favoriser les échanges entre les élèves mais aussi les tiers et les professionnels de l'eau.

(...)

Cette mission comprendra également des actions d'information, en liaison avec le Conseil Général, auprès des établissements scolaires partenaires du réseau mis en place. En outre, une opération de communication IUEM/UBO – Conseil Général dirigée vers les médias sera organisée. (*Voir chapitre II*)

2.2 Rappel de la circulaire DCE 2007/20 :

relative à la constitution et la mise en œuvre du programme de surveillance pour les eaux littorales.

Dans le cadre de la mise en œuvre de la directive-cadre européenne (DCE) sur l'eau, un programme de surveillance doit être mis en place pour suivre l'état écologique (ou le potentiel écologique) et l'état chimique des eaux de surface. Ce programme est établi « de manière à dresser un tableau cohérent et complet de l'état des eaux au sein de chaque district hydrographique ». Il comprend plusieurs volets :

- le contrôle de surveillance, destiné à donner l'image de l'état général des eaux, notamment à l'échelle européenne. Il suit une logique « suivi des milieux aquatiques » et non pas une logique « suivi de flux polluants » ou « suivi d'impacts d'altérations » ;
- les contrôles opérationnels, destinés à assurer le suivi de toutes les masses d'eau identifiées comme risquant de ne pas atteindre les objectifs de la DCE, ce qui correspondra à celles sur lesquelles sera retenu un objectif environnemental de « bon état » (ou de bon potentiel) postérieur à 2015 ou un objectif moins strict, ainsi que le suivi des améliorations suite aux actions mises en place dans le cadre des programmes de mesures, et à préciser les raisons de la dégradation des eaux ;
- les contrôles d'enquête, effectués en cas de non-atteinte vraisemblable des objectifs environnementaux et en l'absence d'explication par des pressions déterminées, afin de déterminer la cause (lorsqu'un contrôle

opérationnel n'a pas encore été mis en place) et en cas de pollution accidentelle, pour en déterminer l'ampleur et l'incidence ;

- les contrôles additionnels, sur certaines zones protégées : zones d'habitats et de protection d'espèces lorsque les masses d'eau incluses dans ces zones risquent de ne pas répondre aux objectifs environnementaux visés à l'article 4 de la DCE.

(Circulaire DE/MAGE/MER 07/ n°2)

2.3 Le SDAGE Loire -Bretagne

Le premier Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) de 1996 a défini les grandes orientations de la gestion de l'eau sur le bassin Loire-Bretagne, ainsi que les sous-bassins prioritaires pour la mise en place des schémas d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE).

La loi impose que le SDAGE "définisse de manière générale et harmonisée des objectifs de quantité et de qualité pour les eaux".

Pour satisfaire à cette obligation, les orientations générales du SDAGE Loire-Bretagne prévoient que des objectifs de débit devront être fixés à l'aval des ouvrages et en certains points nodaux du bassin, et que des objectifs de qualité seront à respecter pour des tronçons de cours d'eau et en certains points nodaux du bassin.

Ainsi, " à l'échelle du bassin, la gestion de la ressource s'appuie sur un ensemble de points nodaux, pour lesquels sont définis :

- Un ou des débits de référence pour les rivières,
- Une ou des hauteurs de référence pour les nappes,
- Des paramètres de qualité.

Un suivi continu ou régulier permet de vérifier le respect des objectifs fixés. En cas de nécessité, les préfets des secteurs concernés mettront en œuvre les mesures adaptées permettant un retour vers la normale, sur la base du décret 92-1041 ".

Les points nodaux sont situés en des lieux particulièrement importants du bassin pour permettre le contrôle de l'évolution de la qualité des eaux et des débits au long des cours d'eau : confluents, embouchures, résurgences. Les objectifs qui y sont définis doivent permettre la réalisation d'objectifs de la loi sur l'eau habituellement négligés (respect des écosystèmes) ou du SDAGE (limitation de l'eutrophisation, passage des migrateurs). Il peut s'agir aussi de protéger certains usages locaux importants (potabilisation de l'eau, conchyliculture), de limiter des pollutions particulières (toxiques) et aussi d'assurer un développement des usages compatible avec l'équilibre des écosystèmes et l'exercice d'autres usages ou fonctions du cours d'eau (objectifs de débit).

Cependant, les objectifs aux points nodaux doivent être justifiés par des enjeux qui concernent l'ensemble du bassin d'un fleuve important ou, à défaut, l'ensemble du bassin versant d'un affluent important (site de l'Agence de l'eau).

- La place du réseau dans les SAGE

Pour la majorité des rivières suivies par le réseau ECOFLUX, les objectifs chiffrés de qualité des eaux à atteindre d'ici 2015 (2027) restent encore à définir. Les objectifs définis par le SDAGE pour les cours d'eau concernés par le réseau sont produits en annexe XI. Ce basant sur une expérience de dix ans, le réseau conseille actuellement certains animateurs de bassin (bassin versant du bas Léon) sur la problématique nitrates et phosphates, en matière de suivi, d'évolutions des teneurs, des seuils de tolérances pour l'environnement,...

Ces actions de conseils auprès des professionnels de l'eau sont en cours de développement et devrait s'étendre à d'autres SAGE d'ici à la fin de l'année 2009 (sous réserve d'avoir le temps nécessaire à la mise en œuvre). Un des objectifs du réseau étant de faire reconnaître ses qualités de conseil auprès des collectivités et des services de l'Etat.

2.4 Les rivières suivies par le réseau

Depuis 1998, le réseau ECOFLUX suit différents paramètres de qualité des eaux de treize fleuves finistériens (figure 1).

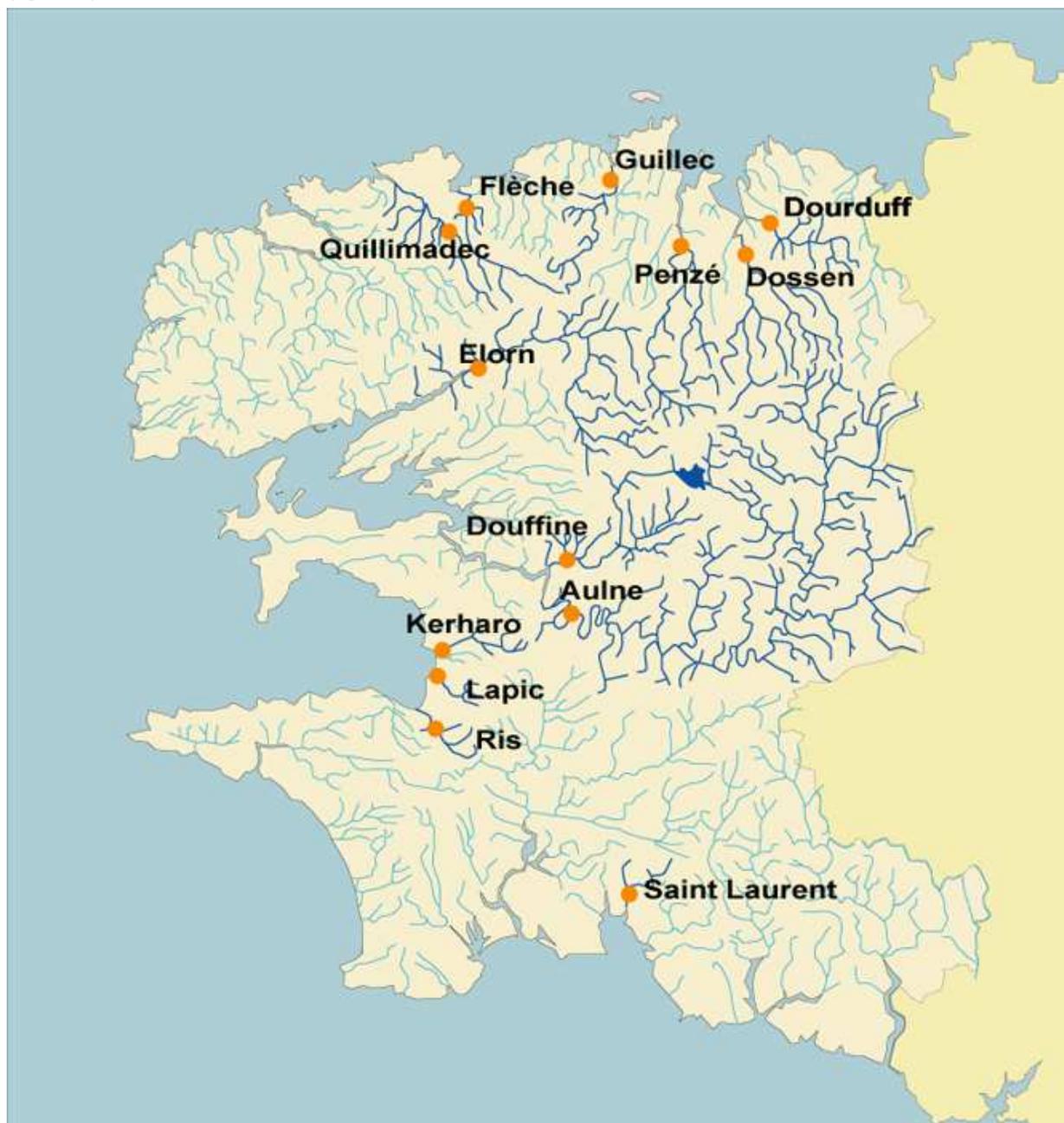


Figure 1. Fleuves suivis par le réseau ECOFLUX

Pour chacune des rivières, les prélèvements sont réalisés à une fréquence hebdomadaire en un point précis ; suivant un même protocole reconnu et défini au préalable (Annexe II).

Sur les six bassins versants où des établissements scolaires font des prélèvements, les bénévoles jouent un rôle complémentaire en assurant le suivi lors des périodes de vacances scolaires. Concernant les autres, ils sont échantillonnés toute l'année par des bénévoles formés au préalable par l'animateur du réseau.

Point de prélèvement pour chacune des rivières suivies par le réseau.

| Rivières | Points de prélèvement | Coordonnées en Lambert II |
|------------------|--|------------------------------|
| Le Dourduff | D 46, Dourduff en terre | X : 147.125 Y : 2420.875 |
| Le Dossen | Port de plaisance de Morlaix | X : 145.125 Y : 2416.125 |
| La Penzé | Entre Le Merdy et Penzé | X : 138.500 Y : 2416.875 |
| Le Guillec | D10 à Saint Jacques, Sibiril | X : 129.375 Y : 2427.1258 |
| La Flèche | D129 à Lanvrein, Tréfléz | X : 113.275 Y : 2422.925 |
| Le Quillimadec | D 125, aire de repos, route de Lesneven | X : 110.125 Y : 2420.375 |
| L'Elorn | Rue des écossais à Landerneau | X : 113.625 Y : 2404.125 |
| La Douffine | D 770 à Pont Neuf (à la sortie Pont de Buis) | X : 124.625 Y : 2382.125 |
| L'Aulne | Centre ville de Châteaulin | X : 122.625 Y : 2374.875 |
| Le Kerharo | Plage de Kerviguen (à l'exutoire) | X : 108.875 Y : 2371.125 |
| Le Lopic | Tréfeuntec (à l'exutoire) | X : 109.125 Y : 2368.375 |
| Le Ris | Entre Kerstrat et Mescalet | X : 106.125 Y : 2364.625 |
| Le Saint Laurent | Beg Menez, La Forêt Fouesnant | X : 106.125 Y : 2364.625 |

2.5 Les acteurs du réseau

Subventionné en majorité par le Conseil Général et coordonné par l'IUEM, le réseau ECOFLUX fonctionne donc grâce à des établissements scolaires et des bénévoles (tableau II). L'annexe III permet d'associer à chaque cours d'eau suivi, l'établissement partenaire.

Récapitulatif des établissements scolaires et des bénévoles associés au réseau

| Rivières | Etablissements réalisant les prélèvements | Bénévoles réalisant les prélèvements |
|------------------|---|---|
| Le Dourduff | L.E.G.T.A. de Suscinio, Ploujean | M. QUERE, Locquéolé |
| Le Dossen | M.F.R. de Morlaix | M. JALLIFIER, Morlaix, SIVOM de Morlaix |
| La Penzé | / | M. CHEVEAUD, St Thégonnec (Syndicat Mixte du Haut Léon -Syndicat Mixte de l'Horn) |
| Le Guillec | / | M. CADIOU, St Pol de Léon (Communauté de communes du Pays Léonard) et M. CHEVEAUD, St Thégonnec (Syndicat Mixte du Haut Léon -Syndicat Mixte de l'Horn) |
| La Flèche | AGROTECH, Lesneven | M. CHAUMONT, Mme CHAPALIN maison des dunes de Keremma |
| Le Quillimadec | Institut Rural de Lesneven | Mme LE GAD, Lesneven (Communauté de Communes de Lesneven) |
| L'Elorn | / | M. MESCAM, Daoulas |
| La Douffine | L.A.P. Le Nivot, Lopérec | M. HERVE, Pont de Buis (APPMA de la Douffine) |
| L'Aulne | L.E.G.T.A. de Châteaulin | M. LE DOARE, Châteaulin (APPMA de Châteaulin) |
| Le Kerharo | / | Mme LAUNAY, Ploeven, M. BRULON Jean-Bernard |
| Le Lapic | / | M. MORVAN, M. TALBOT, M. NOUY, Me HUSE, Douarnenez |
| Le Ris | | M. BERNIER, Le Juch |
| Le Saint Laurent | / | Mlle NEDELLEC, Fouesnant (CEMPAMA de Beg Meil) |

3 Actions pédagogiques et communication

3.1 Les interventions du réseau ECOFLUX en 2008

Différentes interventions ont eu lieu auprès des établissements scolaires participant au réseau. Dans le cadre de ce projet de sensibilisation des futures générations, des exposés ont été réalisés à destination de professionnels et d'élus par les étudiants avec le soutien de l'animateur réseau, développant ainsi la communication du réseau ECOFLUX.

Au total, 15 interventions majeures ont eu lieu depuis le 1^{er} janvier de cette année (tableau III).

Récapitulatif des actions pédagogiques au cours de l'année 2008 dans le cadre du réseau ECOFLUX

| Actions pédagogiques en 2008 | | Nombre de participants | Nature des participants |
|------------------------------|--|------------------------|---|
| Du 07/01 au 18/01 | Accueil de Sebastien TEXERAUD, réalisation d'un travail de recensement des activités anthropiques pour chacun des bassins versants suivis | 1 | étudiant en BTS |
| 30/01 | Accueil d'étudiants du lycée de Juliot Curie de Paris. Discussion sur la problématique des algues vertes en baie de Douarnenez | 4 | étudiants |
| 11/02 | Réunion SRC Bretagne Nord à Morlaix Rencontre avec des professionnels de la conchyliculture | 7 | professionnels |
| 12/02 | Travail pour le lycée de Kérichen auprès d'élèves. Sensibilisation et présentation du travail réalisé par le réseau (exposés et prélèvement) | 30 | élèves de terminale scientifique et professeurs |
| 14/02 | Intervention au lycée Jean Moulin de Chateaulin Traitement et interprétation des données du réseau | 25 | élèves |
| 10/03 | Intervention au Lycée de Brehoulou Réalisation d'une présentation du réseau et des problématiques concernant le littoral breton | 20 | élèves de seconde |
| 27/03 | Semaine du développement durable à CHATEAULIN Conférence sur le thème de l'eau auprès de tous les élèves du lycée | 600 | élèves de toute classe et professeurs |
| Du 14/04 au 20/05 | Accueil de Virginie FLOCH, Réalisation d'un travail sur la corrélation apports sels nutritifs phytoplancton | 1 | étudiante en IUT |
| 24/04 | Réunion SRC Bretagne Nord à Morlaix concernant le projet SUMO | 10 | professionnels |
| Du 01/05 au 31/05 | Début de la réalisation du site internet du réseau ECOFLUX | 1 | professionnel graphiste |

| | | | |
|-------|--|-----|--|
| 14/05 | Rencontre inter établissement concernant 10 classes de lycée du département. | 270 | élèves et professeurs |
| 25/05 | Réunion CAP 2000 concernant l'impact des installations classées agricoles sur les élevages conchylicoles | 50 | professionnels |
| 10/06 | Virginie GOVIGNON dans le cadre de l'établissement du planning de l'année scolaire 2008/2009 | 1 | professeur |
| 12/06 | Virginie GOVIGNON sortie sur le terrain présentation de la biodiversité du littoral Breton | 28 | élèves et professeurs |
| 09/07 | Ria d'ÉTEL, présentation du réseau et de ses objectifs | 1 | professionnel |
| 20/10 | Exposé à Châteaulin | 40 | élèves, professeur et parents d'élèves |
| 6/11 | Exposé à l'IREO | 15 | élèves et professeur |
| 13/11 | Présentation du projet de suivi de la qualité des eaux couplé au suivi du phytoplancton à la CLE du SILVALODET | 30 | professionnels |
| 14/11 | Exposé à la maison familiale de Morlaix | 15 | élèves et professeur |
| 18/11 | Participation au groupe de travail sur la RIA d'ÉTEL | 15 | professionnels |
| 25/11 | Exposé à l'IUEM avec visite labo | 10 | élèves et professeur |
| 5/12 | Entretien conseil avec Alexandre MENIER un étudiant en première année de licence | 1 | étudiant |

3.2 Le projet de suivi pédagogique (2008-2009).

Résumé du projet :

Afin d'impliquer et de sensibiliser les élèves participant aux actions du réseau ECOFLUX, le projet « Au fil de l'eau ou à l'école de l'eau » a été créé en 2005. Il consiste à mettre en place un projet pédagogique (exposés sur l'eau et l'environnement) agrémenté d'un travail technique (prélèvements d'eau) durant l'année scolaire. Une journée inter-établissements, réunissant les élèves de différents établissements scolaires ainsi que professionnels, est organisée en fin d'année scolaire afin de leur permettre d'échanger autour de leurs exposés.

Dans la continuité du projet pédagogique et parce que les établissements scolaires sont demandeurs, nous souhaitons pérenniser ce suivi en développant des actions sur un site internet (échange/forum entre les établissements et le réseau ECOFLUX, accès aux données, création d'articles par les élèves,...), ainsi que des projets pédagogiques s'intégrant dans des programmes scientifiques avec des chercheurs de l'Institut.

Thèmes abordés :

L'eau et sa qualité

Les acteurs de l'environnement

L'éco-citoyenneté

Catégorie du projet :

Agir ensemble sur un projet environnemental

Découverte de l'environnement scientifique

3.2.1 Conclusions sur le projet « Au fil de l'eau ou à l'école de l'eau »

La sensibilisation du tout public est une priorité pour le réseau au même titre que la compréhension des phénomènes de marées vertes et des blooms de phytoplancton toxique. Ce projet mérite de passer d'avantage de temps avec les élèves des différents lycées impliqués ainsi que d'élargir le projet en diversifiant le public visé et les actions de sensibilisation. C'est la raison pour laquelle le réseau se rapproche actuellement du REEB, afin d'améliorer les compétences de l'animateur réseau en matière de sensibilisations des acteurs de l'environnement, mais aussi d'élargir le réseau acteurs en impliquant divers associations, Bretagne Vivants, Eau et rivière de Bretagne,....

Cette mission d'éducation à l'environnement requière un temps considérable pour l'animateur, c'est la raison pour laquelle le réseau cherche actuellement des fonds pour recruter un technicien afin de se décharger du temps consacré à la partie analytique.

3.2.2 Perspectives envisagées concernant le développement du projet pédagogique :

_faire suivre le projet de chaque groupe d'élèves par un professionnel de l'eau et de l'environnement pour les appuyer dans leur travail (proposition du conseil général).

_augmenter le nombre et la durée des interventions du réseau dans les classes des établissements déjà concernés. Le réseau pourrait faire appel à d'autres intervenants du monde professionnel et associatif travaillant sur la problématique « qualité des eaux ». Dans cet objectif, le réseau ECOFLUX participe depuis la fin d'année 2008 aux réunions du REEB (Réseau d'Education à l'Environnement en Bretagne) et devrait intégrer le réseau définitivement d'ici la fin du printemps 2009.

_augmenter le public visé en démarchant à d'autres établissements d'enseignements (enseignement général) et en s'adressant à un plus large public adultes, école primaire...

_former les enseignants, moniteur, professionnels de l'environnement,...., sur les problèmes d'eutrophisation des eaux littorales.

Ce travail requière beaucoup de temps, en conséquence le réseau s'emploie actuellement à réunir les fonds nécessaires à la création un poste de technicien sur la partie analyse des échantillons.

4 Résultats scientifiques

Les données obtenues par le réseau ECOFLUX permettent de mettre en évidence les variations des concentrations et des flux des éléments suivis, entre différentes rivières du département à des échelles de temps variées hebdomadaire, mensuelle, saisonnière et interannuelle.

Tout d'abord, il est important de rappeler que la qualité physico-chimique des eaux varie selon une combinaison de facteurs d'origine naturelle et anthropique et que les nitrates et phosphates sont des éléments indispensables à la croissance des organismes autotrophes (premier maillon de la chaîne alimentaire). Lorsque ces sels nutritifs sont introduits en excès dans un milieu naturel, ils peuvent modifier l'équilibre initial de cet écosystème impliquant parfois la disparition de certaines espèces endémiques d'un secteur au profit d'autres.

Les variations hydrologiques saisonnières (précipitations), couplées aux processus biologiques (consommation, minéralisation, dénitrification) vont agir plus ou moins rapidement sur les teneurs en nitrates dans le fleuve.

pour réduire notablement la prolifération d'ulves (algue prépondérante dans les problèmes de marées vertes).

4.1 fiabilité des données du réseau

Concernant la fiabilité des prélèvements et analyses réalisées par le réseau, la comparaison de la banque de données ECOFLUX avec celles de l'usine d'eau potable de « Pont ar bled » sur l'Elorn donne des résultats similaires concernant le paramètre nitrate (figure 36).

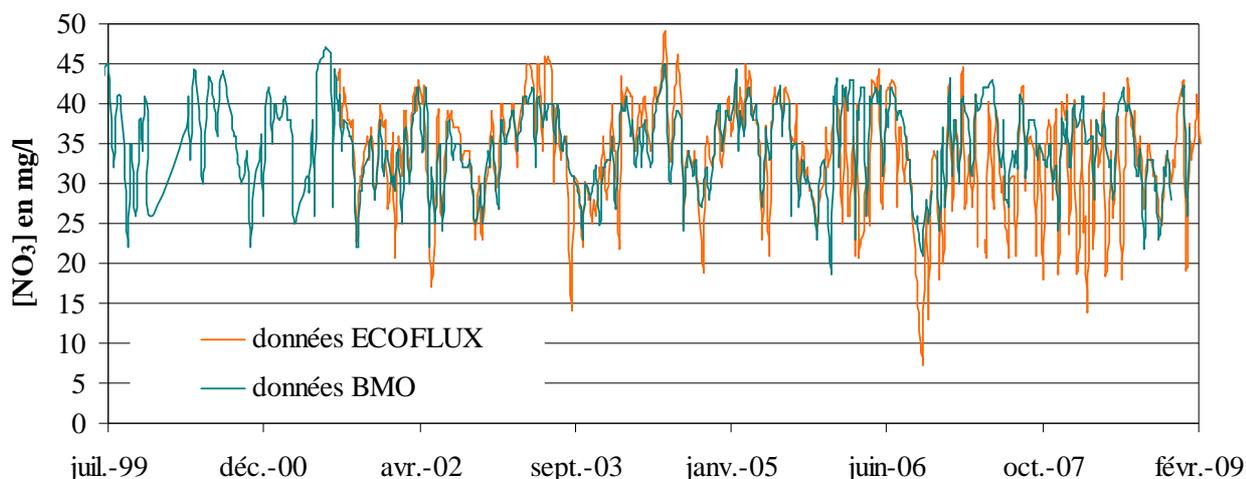


Figure 2. Suivi comparatif de l'évolution des concentrations de nitrates sur l'Elorn.

Les deux courbes se suivent plutôt bien avec parfois certaines disparités surtout au niveau des minimum et maximum, avec une tendance à l'augmentation de ces divergences ces dernières années. Les écarts entre les valeurs de la banque de données ECOFLUX et celle de l'usine d'eau potable sont dus aux différences de fréquence de prélèvement entre les deux structures. En effet, la fréquence de prélèvement de « Pont ar bled » est de l'ordre d'une mesure toutes les heures, moyennée ensuite sur la journée, alors que celle du réseau est hebdomadaire. Les variations journalières ne sont donc pas enregistrées par le réseau.

Le constat est néanmoins significatif, plus les années sont pluvieuses plus les écarts entre les données du réseau et celle de « Pont ar bled » sont importants avec une tendance pour le réseau à sous-estimer les valeurs des concentrations (décembre 2007).

Cette différence étaye l'hypothèse qu'il serait intéressant de démarrer une étude sur les périodes de crue dans le but de compléter les résultats de la banque de donnée sur les quantités réellement exportées lors de ces épisodes de hautes eaux.

4.2 Les facteurs influents sur les concentrations en nitrates :

4.2.1 Les facteurs naturels abiotiques

La géologie : le bruit de fond géochimique des eaux est différent suivant la composition des sols traversés par les eaux, de la perméabilité du sol, de la pente, de l'importance des réserves souterraines, de la vitesse d'écoulement des eaux,....,

Chaque rivière suivie est alimentée par un bassin versant ayant ses caractéristiques géologiques propres. En accord avec le BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières), trois catégories de bassins versants parmi les rivières suivies par le réseau ECOFLUX ont été définies :

- les rivières dont le bassin versant est alimenté par une réserve souterraines (aquifère) importante : le Dourduff, le Dossen, le Guillec, le Quillimadec, la Flèche, le Ris et le Saint Laurent ;
- les rivières dont le bassin versant est alimenté par un aquifère de faible taille : l'Aulne, la Douffine, le Lopic et le Kerharo,
- les rivières dont le bassin versant est alimenté par un aquifère intermédiaire : l'Elorn et la Penzé.

La climatologie : les précipitations efficaces ainsi que les températures affectent directement les débits fluviaux ainsi que la cinétique d'altération des roches.

4.2.2 les facteurs naturels biotiques

Les plantes, ainsi que les autres compartiments de la biocénose, notamment les micro-organismes du sol, interagissent avec les cycles de l'azote et du phosphore via plusieurs processus : celui de la production de matière organique vivante et celui de la décomposition et de la minéralisation de matière organique morte ; d'où l'importance des relations entre la biodiversité et ces processus à l'échelle de l'écosystème ainsi que des saisons qui régulent le cycle de vie des êtres vivants.

4.2.3 Les facteurs d'origine anthropique :

Les activités économiques ainsi que l'urbanisation d'un secteur ont des impacts plus ou moins prépondérant sur la qualité des eaux (agriculture, pisciculture, industrie, tourisme,...) en fonction de la nature des activités économiques, de la taille de l'agglomération et des caractéristiques du milieu récepteur.

Dans le but de distinguer la part anthropique de la part naturelle des concentrations en sels nutritifs dans les eaux, des fiches techniques concernant la géographie, la géologie ainsi que des activités anthropiques ciblées, pour leurs impacts importants sur les paramètres concernés, ont été réalisées sur chacune des rivières suivies (Texeraud S. et al, 2007).

4.3 Les nitrates

Le nitrate (NO_3^-) est une forme chimique particulièrement soluble dans l'eau. Il pénètre dans le sol via les eaux de percolation pour être principalement véhiculé par les eaux souterraines. Toutefois, le ruissellement superficiel peut également être vecteur de nitrates.

La résultante de la combinaison des facteurs naturels biotique (nitrification et dénitrification,...) et abiotique (précipitations, érosion,...) influençant les flux de nitrates, permet de mettre en évidence quatre types de variations des concentrations caractéristiques des rivières Finistériennes : la période de crue, le cycle annuel, les variations interannuelles de quelques années et les grandes tendances sur quelques décennies (C. Martin et al, 2004). Les données collectées par le réseau ECOFLUX permettent essentiellement l'étude des trois premiers types de périodes caractéristiques, la dernière nécessitant un banque de données sur plusieurs décennies.

4.3.1 Concentrations en nitrates

4.3.1.1 Le classement SEQ-eau

Le classement SEQ-eau est actuellement en cours de révision et ne devrait plus se baser que sur les critères chimiques des eaux (quinze composantes ont été définies : matières azotées, nitrates, acidification, etc.) pour qualifier les eaux de surface de très bonne à très mauvaise qualité.

En effet, cette année le nouveau système d'évaluation de l'état des eaux devrait rectifier ce problème et prendra en compte, en plus des paramètres chimiques, les paramètres physique (qui intègre des distinctions comme, le lit mineur, les berges et le lit majeur ainsi que les paramètres morphologiques et hydrologiques des cours d'eau) et biologiques (Indice Biologique Globalisé Normal, Indice Biologique Diatomique, Indice Poisson,...) l'intégrité biologique se mesurant actuellement au moyen de population d'invertébrés benthiques (IBGN), de diatomées (IBD) et de paramètres associés au phytoplancton, des compartiments physiques précités.

D'autres indices tels que l'indice poisson (IP), l'indice macrophytes ou l'indice oiseau sont actuellement au stade de la recherche ou en phase de validation et devraient être intégrés prochainement au SEQ bio. Les éléments sont donc réunis pour pouvoir mettre en œuvre des actions concertées visant à préserver et à restaurer la biodiversité. Il faut également signaler que le SEQ bio comporte une partie informative portant sur les espèces remarquables et sensibles à la pollution, ainsi que sur les espèces susceptibles de générer des nuisances (espèces invasives : spartine, crépidules).

Pour plus d'information n'hésitez pas à visiter le site du SANDRE à l'adresse suivante : http://sandre.eaufrance.fr/article.php3?id_article=79.

Les résultats du SEQ-eau pour les années 1999 à 2007 sont disponibles dans le rapport de janvier 2008.

4.3.1.2 Concentrations moyennes annuelles et évolution

Les variations interannuelles sont dues à la variabilité climatique (précipitations, température, ensoleillement...) d'une part, et d'autre part aux pressions anthropiques, notamment agricoles, qui conjointement vont conditionner les entrées et stockages de nitrates dans le sol.

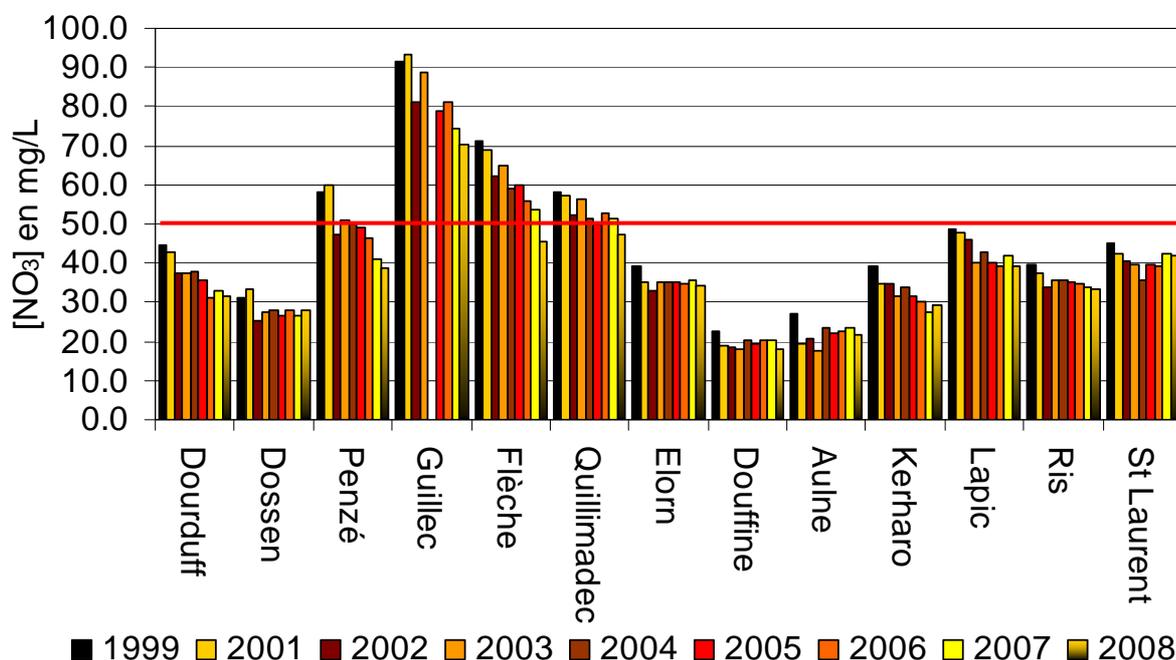


Figure 3. Moyennes annuelles des concentrations en nitrates des rivières suivies

Deux groupes de rivières se distinguent arbitrairement : celles dont les eaux ont une teneur en nitrates en dessous de 50 mg/l et celles dont la teneur est supérieure à cette norme européenne. Ce classement est tiré de la directive eau potable (16/06/1975) concernant la qualité minimale requise des eaux superficielles destinées à la production d'eau alimentaire. La réglementation européenne, et ce au titre de la protection de la santé publique, interdit l'utilisation d'eau, dont le taux de nitrates est supérieur à 50mg.L⁻¹ pour la production d'eau potable. En effet, la surexposition de nourrissons à une eau riche en nitrates peut provoquer la méthémoglobinémie, ou plus communément appelée la maladie du "bébé bleu". Aucune conséquence sur la santé des adultes n'a, à l'heure actuelle, été mise en évidence.

Le constat général sur le Finistère, met en opposition les rivières localisées dans le nord du département, dont les moyennes annuelles des concentrations en nitrates sont très élevées (supérieures ou proche de 50mg.L⁻¹ en 2008), c'est le cas notamment pour le Guillec, la Flèche ainsi que le Quillimadec et les rivières localisées au sud du département dont les moyennes annuelles sont inférieures à 50mg.L⁻¹. Cette opposition est en lien avec les différences de pratiques agricoles entre le nord (plus intensives) et le sud.

L'évolution globale des valeurs des concentrations, depuis la création du réseau, décrivent une tendance à la baisse dans la plupart des rivières ; notamment pour le Dourduff, la Penzé, le Guillec, la Flèche et le Kerharo. Cette année 2008 est toutefois marquée par le passage des valeurs moyennes annuelles des concentrations des eaux de la Flèche et du Quillimades en nitrates au dessous du seuil de 50mg.L⁻¹, seul le Guillec présente des valeurs supérieures (70mg.L⁻¹).

Un autre constat révèle, que les rivières les moins polluées par les nitrates ont tendance à voir leur teneurs augmenter, les rivières aux teneurs moyennes ont tendance à se stabiliser alors que les rivières avec des fortes concentrations ont tendance à baisser.

En effet, les teneurs en nitrates dans les eaux du St Laurent ont tendance à augmenter notamment ces 5 dernières années, pour atteindre des valeurs proches de celles atteintes en 2001.

Des tests statistiques (test ANOVA et le test des étendues multiples) menés sur la période 1999 – 2007 confirment ce changement. A un niveau de confiance de 95%, la différence des moyennes annuelles de 1999 (et de 2001) est statistiquement significative par rapport aux autres moyennes annuelles. Ces dernières ont présenté une baisse des concentrations en nitrates pour la majorité des rivières suivies entre ces deux groupes homogènes (Dourduff, Dossen, Penzé, Kerharo, Ris, Saint Laurent...) Ces tests statistiques confirme également, la baisse observée en 2007 sur la Penzé et le Kerharo ainsi que l'augmentation observée sur l'Aulne en 2007 (annexe VIII).

4.3.1.3 Variations journalières, hebdomadaires et saisonnières

La fréquence élevée des prélèvements permet d'observer les évolutions des valeurs des concentrations des eaux en nitrate à l'échelle hebdomadaire et saisonnière.

De même que les concentrations varient d'une année sur l'autre, on assiste à des variations rapides d'une semaine à l'autre.

- Variations journalières

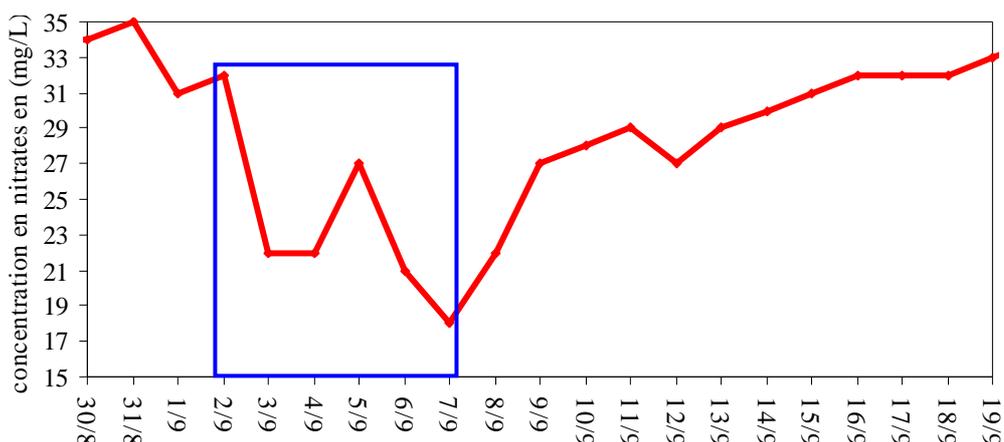


Figure 4. Variations journalières des concentrations en nitrates sur l'Elorn lors de l'été 2008

Les données nous ont été fournies par le service Ressources et Usages de l'Eau de Brest Métropole Océane.

L'évolution des teneurs en nitrates dans les eaux de l'Elorn sont rapides, puisqu'en moins d'une semaine les valeurs peuvent passer de 33 mg.L⁻¹ à 17 mg.L⁻¹ (cadre bleu). Ce phénomène met en évidence l'importance de suivre l'évolution de certains paramètres à une haute voir très haute fréquence pour avoir des valeurs représentatives de l'évolution du milieu et pouvoir ainsi quantifier plus précisément les apports en sels nutritifs vers les eaux littorales.

Dans une autre mesure cette évolution rapide des valeurs permet de comprendre les écarts de valeurs entre la mesure réalisée par le réseau et celles délivrées par BMO (Cf. chap. III.4.1 fig. 28).

La plupart des réseaux de suivi de qualité des eaux du Finistère réalisent des prélèvements à une fréquence mensuelle, ce qui ne permet pas un bon suivi de la qualité des eaux sur certains paramètres.

- Variabilité des concentrations à l'échelle hebdomadaire

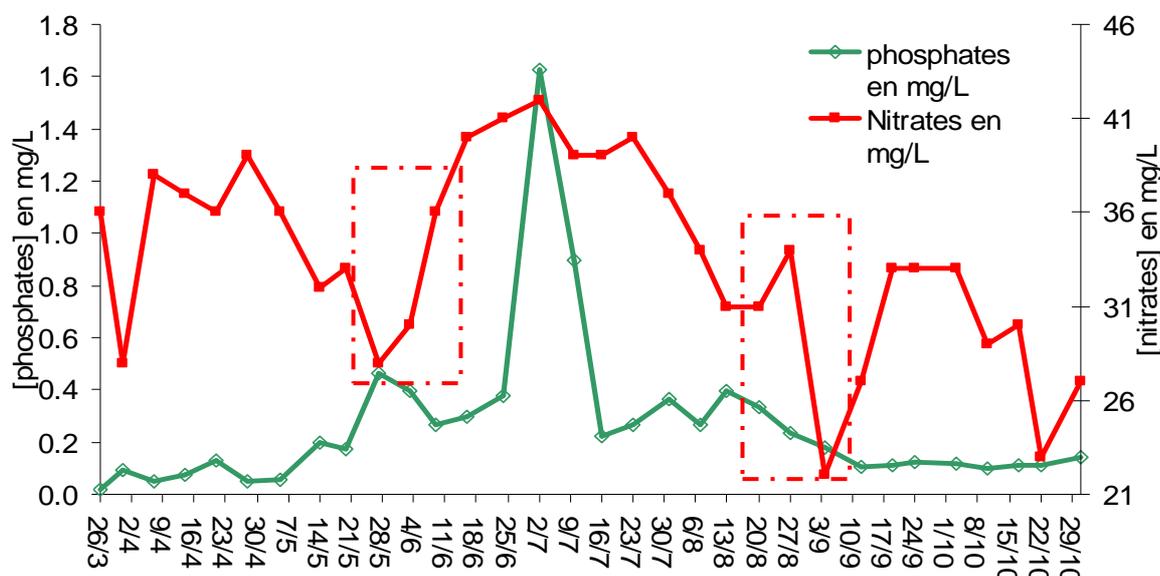


Figure 5. évolution des teneurs en nitrates et phosphates dans les eaux de l'Elorn pour l'année 2008.

L'Elorn a été choisi car il est représentatif des fleuves Finistériens voir bretons, de part la taille moyenne de sa réserve en eaux souterraines et de son bassin versant. De plus, les données fournies par la CUB à la fréquence d'un prélèvement par heure permettent une plus grande rigueur dans l'interprétation des résultats. Ainsi, la concentration en nitrates des eaux peut passer de 26 à 36 mg.l⁻¹ en l'espace d 15 jours et de 35 à 22 mg.l⁻¹ en l'espace d'une semaine (cadres rouges), avec des variations constatées par le passé de plus de 20 mg.l⁻¹ pour les nitrates. A titre comparatif, l'évolution des valeurs des teneurs en phosphates sont beaucoup plus importantes avec des variations de 0.3 à 1.7 mg.l⁻¹ pour les phosphates en l'espace d'une semaine. Cette différence peut s'expliquer par le mode de transport de l'élément en question (cf. chapitre sur le phosphore).

Dans le cas de l'Elorn, l'augmentation des teneurs correspond à une période de déficit hydrique (évapotranspiration), contrairement à d'autres rivières, où c'est lors des périodes de crue que les valeurs maximales des concentrations sont atteintes comme par exemple dans le cas du Dourduff. Ces variations à l'échelle hebdomadaire peuvent également se retrouver à l'échelle des saisons.

- Variabilité à l'échelle saisonnière

Selon les rivières, les variations des concentrations sont plus ou moins marquées et peuvent décrire des cycles annuels. Les facteurs à l'origine de ces variations ; le drainage et le lessivage des sols, les capacités de rétention des eaux de pluies du bassin versant, la topographie du bassin versant, le couvert végétale ainsi que l'activité biologique (pompe et recyclage de la matière organique) vont conditionner les concentrations dans les cours d'eau au fil des saisons.

Différentes formes de variations saisonnières des nitrates peuvent être observées pour les rivières suivies par le réseau ECOFLUX.

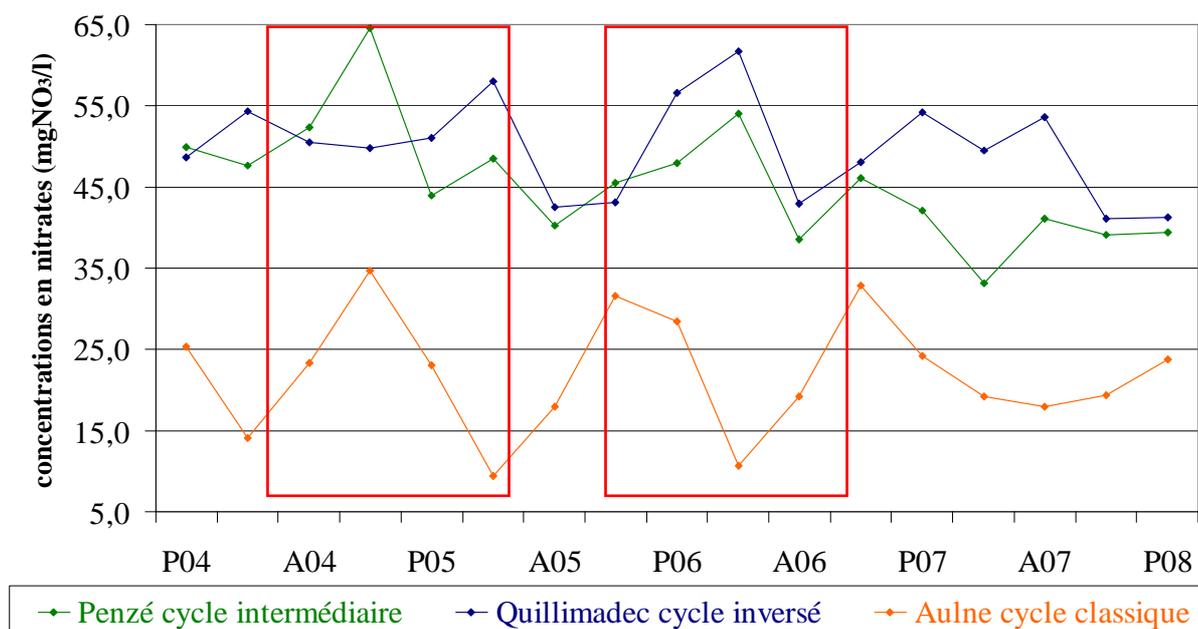


Figure 6. Concentrations moyennes saisonnières en nitrates présentant les différents types de cycle (P04 : printemps 2004).

Le cycle classique, représenté ici par l'Aulne, est le plus répandu sur les différentes rivières de France, du Royaume-Uni ou des Etats-Unis et ce, quelque soit le type d'occupation du sol ou la taille du bassin versant (C. Martin, 2003), il est caractérisé par des teneurs plus élevées en automne et en hiver qui ont tendance à diminuer progressivement au cours du printemps pour atteindre les minima en été.

En opposition, le cycle dit inversé, représenté ici par le Quillimadec, est caractérisé par de fortes teneurs en période d'étiage, suivie d'une diminution progressive des valeurs pour atteindre les minima en hiver.

Les rivières suivies par le réseau dont les valeurs des concentrations en nitrates décrivent un cycle classique sont l'Aulne, le Kerharo, la Douffine et le Lapic en opposition avec le Dourduff, le Guillec, la Flèche et le Quillimadec qui décrivent un cycle inversé.

Entre ces deux grands types, un cycle que l'on nommera intermédiaire peut être observé, représenté ici par la Penzé. Ce cycle est observé sur le Dossen, l'Elorn, le Ris et le Saint Laurent. Pour ce dernier cas, les variations saisonnières des teneurs en nitrates ne sont pas aussi régulières et tendent à être sensiblement différentes pour une même période (les minima ou maxima ne sont pas observés à la même saison chaque année). Ce cycle aura donc tendance à osciller entre une représentation classique et inversée (voir encadré).

Il est intéressant de constater que les cycles inversés sont représentatifs des bassins versants qui ont été classés à plus fortes réserves souterraines par le BRGM, à savoir le Dourduff, le Guillec, la Flèche ou encore le Quillimadec.

Ainsi, il est possible d'émettre les hypothèses suivantes :

le stock de nitrates de ces bassins versants est plus important que ceux des autres rivières suivies, la capacité de stockage d'un aquifère étant proportionnelle à sa taille.

la nappe phréatique joue un rôle prépondérant dans le soutien à l'étiage de la rivière. Plus un aquifère est important plus son inertie est grande (à porosité équivalente, un karst n'aura pas le même temps de réponse qu'un aquifère microporeux), il est donc naturel qu'en période d'étiage, les eaux de la nappe soient en proportion non négligeable dans les eaux de la rivière.

au sein de cette même nappe le processus de dénitrification est moins performant que dans les autres bassins versants.

Le processus de dénitrification dans le sol dépend de plusieurs facteurs notamment du taux de saturation en oxygène et de la disponibilité des cations dans le sol (M. O. Rivett. et al, 2008).

Des diagrammes caractéristiques des cours d'eau suivis permettent également de décrire le fonctionnement des bassins versants. Ils mettent en évidence les comportements des nitrates contenus dans les eaux des rivières qui accompagnent les changements de débits. Ces derniers sont déterminés par les pluies efficaces (figure 13).

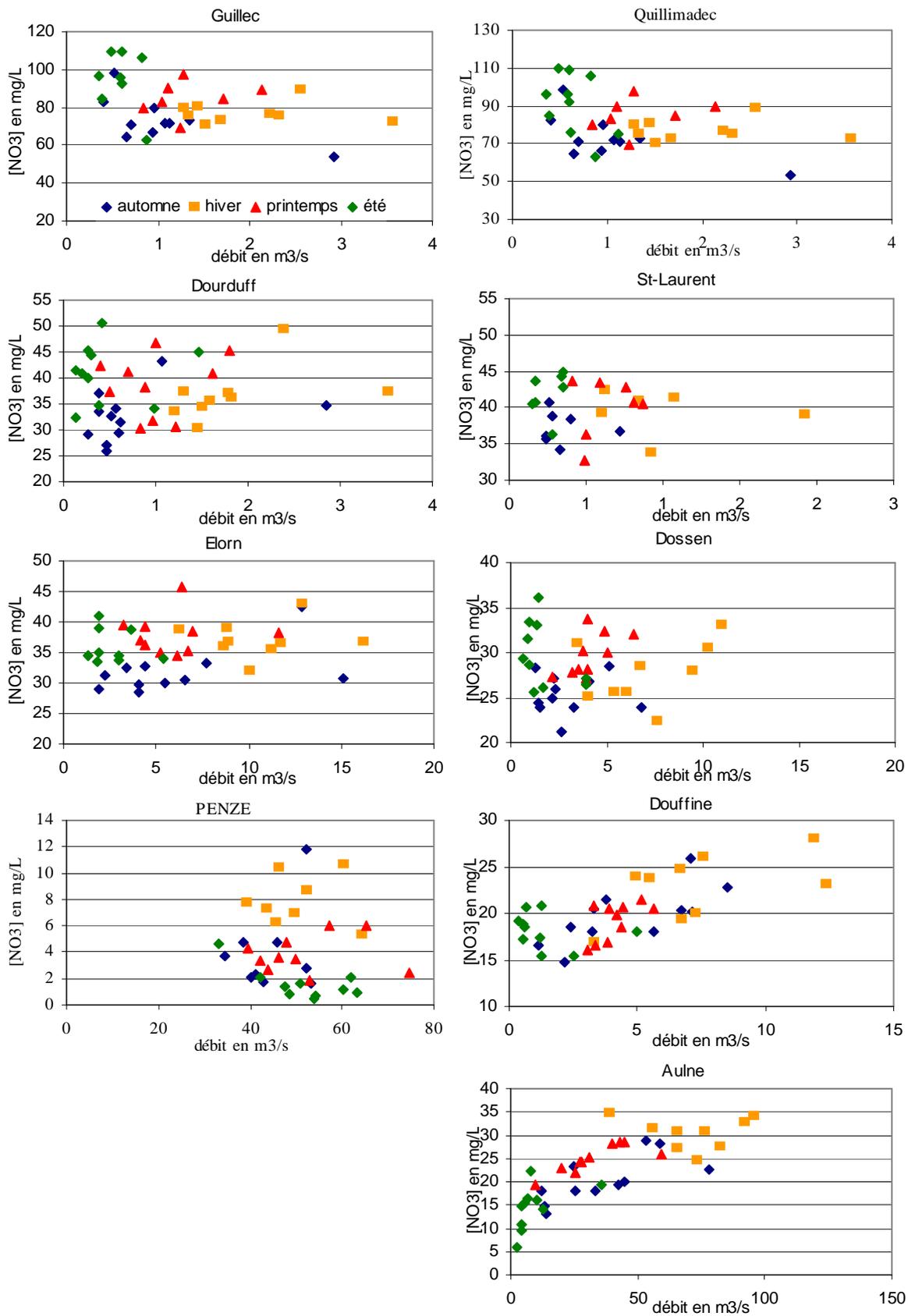


Figure 7. Diagrammes caractéristiques de concentration en nitrates en fonction des débits spécifiques : $C_{moy-sais}=f(Q_{spé})$ et de la saison.

D'une manière générale, la relation entre les valeurs de débit et de concentration en nitrate permet de retrouver l'information sur les différents cycles à savoir :

- la Douffine et l'Aulne présentent un cycle classique (les concentrations augmentant avec les valeurs de débits).

Les valeurs maximales sont donc, atteintes principalement en automne et en hiver, tandis que les minimales sont généralement atteintes au printemps et en été. Elles résultent notamment des processus naturels de dénitrification et de consommation intrinsèques au cours d'eau et au bassin versant (développement de phytoplancton).

- le Guillec et le Dourduff présentent un cycle inversé (les valeurs des concentrations baissent lorsque le débit augmente).

Les maximales sont atteintes en été lors des périodes d'étiages et les minimales hivernales résultent principalement de l'effet de dilution, prépondérant lors de l'augmentation des débits.

- enfin, le Dossen, la Penzé, L'Elorn et le Saint Laurent peuvent être classés dans les cycles intermédiaires avec des valeurs de concentrations qui évoluent différemment pour des valeurs de débits similaires.

Pour toutes les rivières, la figure 14 illustre la relation théorique entre la prédominance du phénomène de lessivage et celui de dilution. La prépondérance de l'un par rapport à l'autre dépend de multiples paramètres tels que : la compacité du bassin versant, le couvert végétal, la saison, l'importance des réserves souterraines...

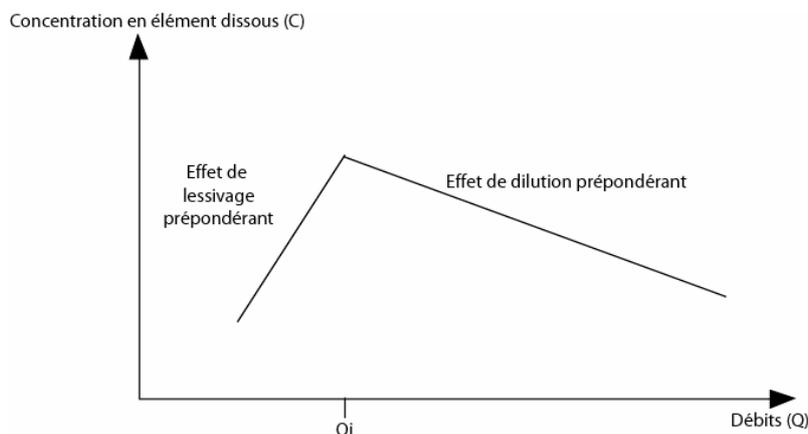


Figure 8. Relation théorique concentration/débit pour des éléments dissous (C. Martin, 2003)

Concernant les cours d'eau dont l'évolution des teneurs en nitrates est assimilable à un cycle inversé, Dourduff et Guillec, l'effet du lessivage des sols n'est pas visible sur les graphiques, alors même que le phénomène de dilution est bien marqué. Deux hypothèses peuvent être à l'origine de ce phénomène :

- le temps de réaction du bassin versant pourrait être trop court (moins d'une semaine) pour la fréquence de prélèvement. Elle serait alors insuffisante pour mettre en évidence le phénomène de lessivage.

- au contraire, une infiltration importante des précipitations dans le sol temporiserait les écoulements de surface et limiterait par la même occasion les apports induits par le ruissellement. Cette hypothèse étant toutefois la moins probable à la vue de la topographie du secteur et de la composition des sols.

Il serait donc intéressant, dans le but de quantifier plus précisément les apports vers le littoral, de réaliser quelques campagnes de mesures à haute fréquence, consécutives à des événements pluvieux, en partenariat avec les scientifiques de l'IUEM afin de déterminer la relation sel nutritifs/débits en période de montée des eaux.

Concernant la Douffine et l'Aulne, les concentrations ont tendance à suivre un cycle classique avec des valeurs proches de zéro (pour l'Aulne seulement) en été. Cette décroissance rapide des nitrates pour de faibles débits correspondrait à une consommation des sels nutritifs par le phytoplancton dulçaquicole (notamment des diatomées) et non pas à un effet dilution. Cette hypothèse est confortée par :

- la mise en évidence de la diminution des teneurs en silicates, (élément nécessaire aux diatomées pour constituer leur frustule) conjointement aux teneurs en nitrates.

- la période printanière à estivale à laquelle ce produit le phénomène qui correspond aux conditions climatiques favorables pour le développement du phytoplancton.

- la présence d'efflorescences phytoplanctonique en période estivale sur l'Aulne mise en évidence par la campagne de mesure hebdomadaire de la chlorophylle en 2008.

4.3.2 Flux de nitrates

Les débits des rivières suivies par le réseau ECOFLUX ne sont connus que pour neuf d'entre elles : pour sept d'entre-elles, les débits sont fournis par la DIREN (Dourduff, Dossen – recalculés à partir des débits du Jarlot, du Tromorgant et du Queffleuth – Penzé, Guillec, Elorn, Douffine et Aulne). Pour le Quillimadec, la communauté de communes de Lesneven fournit les débits journaliers depuis 2003, date de la mise en service du débitmètre. Le débit instantané (au moment du prélèvement) du St Laurent est mesuré par le CEMPAMA, depuis mars 2002. Pour toutes ces rivières, excepté le Saint Laurent, les flux sont estimés à partir de la moyenne des débits et concentrations mensuels ramenée au nombre de jours de l'année considérée (pour le Saint Laurent, le même calcul est fait à partir du débit instantané).

La figure 17 présente les flux annuels, spécifiques en nitrates pour les années hydrologiques des différents cours d'eau. Calculer les flux en années hydrologiques permet de tamponner les décalages induits par les périodes de crue d'une année sur l'autre.

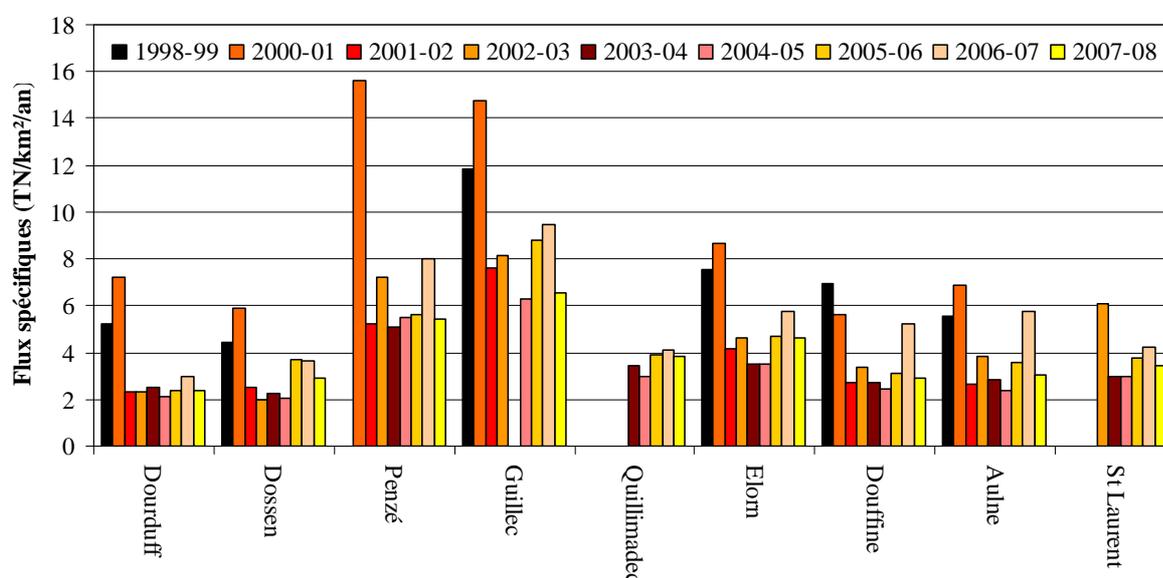


Figure 9. Comparaison des flux spécifiques estimés pour neuf cours d'eau

Qualitativement, le Guillec et la Penzé présentent les plus forts flux spécifiques sur la période étudiée. Comme les concentrations, la hausse du débit spécifique en lien avec la pluviométrie en 2006-2007 a entraîné l'élévation des flux spécifiques. Ces flux restent toutefois inférieurs à ceux de l'année hydrologique de 2000-2001 (les plus forts depuis la création du réseau).

Le caractère exceptionnel de l'année 2006-2007 est confirmé par une baisse des valeurs de 2007-2008 avec des valeurs de flux de nitrates correspondant en moyenne à celles de 2005-2006, et ce malgré les fortes précipitations estivales.

L'impact des éléments nutritifs sur les eaux littorales est essentiellement déterminé par le flux d'éléments nutritifs et non par la concentration de l'élément dans l'eau (P. Aourousseau, 2003). Ainsi, les proliférations d'algues vertes sont conditionnées en partie par les flux d'azote parvenant pendant la période de mai à septembre (J.-Y. Piriou et P. Souchu, 2001).

Il est également important d'étudier plus en détail les périodes de crue car elles sont responsables de la plus grande partie des apports en sels nutritifs pour le milieu littoral. Les crues étant des événements plus ou moins rapides selon le temps de réponse du bassin versant, la fréquence hebdomadaire de prélèvement n'est pas forcément adaptée pour suivre ces événements. Le réseau prévoit donc de mettre en place des campagnes de

mesures sur certaines rivières représentatives à très hautes fréquences (toutes les heures) et lors de périodes pluvieuses afin de quantifier les apports réels lors de ces événements. La fréquence de prélèvement pourra évoluer en fonction des premiers résultats.

4.4 Les silicates

Les apports dans les rivières d'acide orthosilicique (Si(OH)_4), appelé couramment 'silicates', proviennent essentiellement de l'altération des roches et des sols par les pluies. Ce phénomène naturel peut-être accéléré par augmentation de la teneur des eaux pluies en acide carbonique (H_2O , CO_2) (annexe VII). Les plantes et les microorganismes des sols participent également, aux processus d'altération des minéraux silicatés (Meunier J.-D., 2003).

Outre cette origine lithogénique, les silicates présents dans les rivières peuvent être d'origine biologique et provenir de la dissolution des frustules de diatomées ou de phytolithes. Ainsi, contrairement aux deux autres éléments suivis par le réseau ECOFLUX, les silicates ont une origine naturelle peu impactée par les activités humaines, excepté en cas d'érosion forte.

Concernant ce paramètre, la question de l'utilité d'un suivi des teneurs en silicates, sachant que ces derniers sont principalement d'origine naturelle, peu soumis aux activités anthropiques par rapport aux autres paramètres suivis et surtout qu'ils ne sont pas « nocif pour l'environnement » à des fortes concentrations, revient souvent.

Les concentrations en silicates dans les eaux des rivières sont suivies notamment pour deux raisons :

les silicates, comme les nitrates et phosphates sont des éléments indispensables au développement de la majeure partie des espèces de phytoplancton (diatomées, dinoflagellés,...) (Turner R.E. et al, 2002). La quantification des concentrations et notamment des flux de ce paramètre est donc importante et contribue à mieux comprendre les phénomènes d'efflorescences phytoplanctoniques en milieu littoral.

peu soumis aux effets anthropiques et ayant le même comportement en solution dans l'eau que les nitrates, l'évolution des teneurs en silicates dans les eaux peuvent servir de référence pour interpréter l'évolution des concentrations en nitrates. La comparaison des variations en nitrates et silicates (variations interannuelles ou saisonnières par exemple) peut nous renseigner sur l'intensité de l'impact résultant de la pression anthropique.

Le suivi de ce paramètre est donc indispensable à la fois dans la compréhension des facteurs qui régissent les phénomènes d'eutrophisation mais également ceux qui influencent les fluctuations des teneurs en nitrates.

4.4.1 Concentrations en silicates

4.4.1.1 Concentrations moyennes annuelles et évolution

Comme pour les nitrates, les valeurs des concentrations moyennes annuelles en silicates oscillent d'une année sur l'autre mais également au cours de la même année. Ainsi, leur transfert vers les cours d'eau va varier selon la nature du sol et du sous-sol, la topographie du bassin versant, le couvert végétal ainsi que de la climatologie.

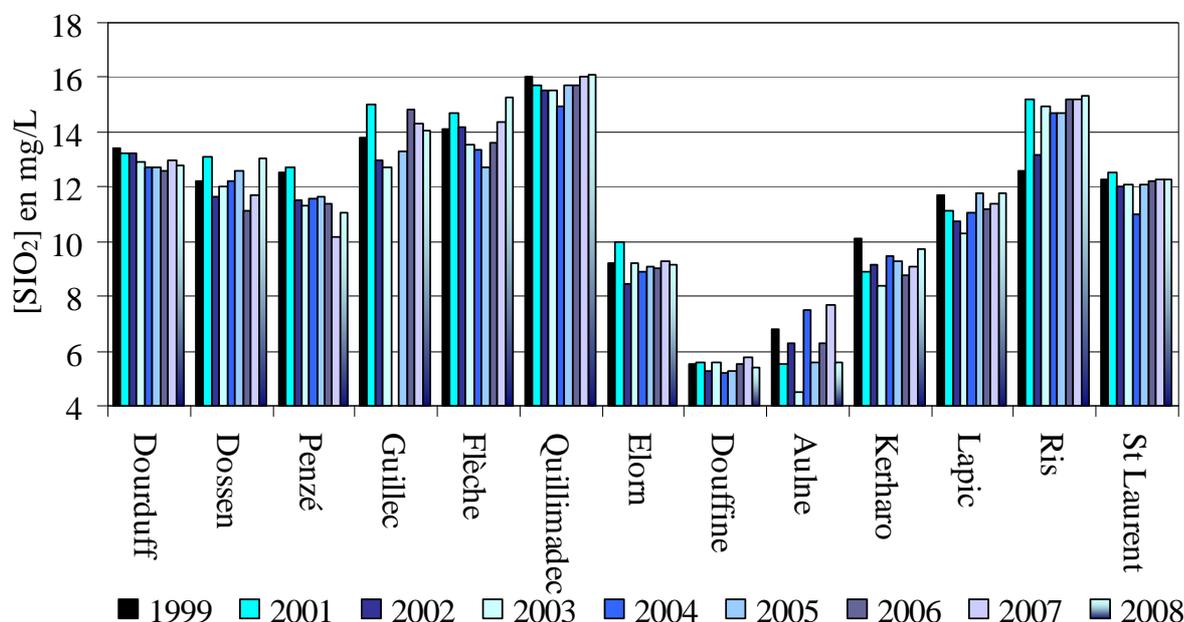


Figure 10. Moyennes annuelles des concentrations en silicates

Deux rivières en particulier se détachent du groupe de rivières suivies : l'Aulne et la Douffine présentent des concentrations moyennes faibles en silicates (inférieure à 6 mg.L⁻¹ pour la majeure partie de la décennie étudiée) dans les eaux par rapport aux autres rivières suivies.

D'une manière générale, la classification des bassins selon les caractéristiques des réserves souterraines est relativement cohérente avec les concentrations en silicates (annexe VI). En effet, plus le réservoir est important, plus le temps de transfert de l'eau est long ; et plus le temps de résidence est long, plus les concentrations en ions dissous de la roche seront élevées. Les concentrations en silicates les plus importantes seront donc constatées dans les rivières alimentées par les aquifères les plus importants.

Pour la période 1999 – 2007, les tests statistiques (test ANOVA et le test des étendues multiples) sur les valeurs des moyennes annuelles en silicates ne montrent aucune différence significative entre les années. Dans l'ensemble, les concentrations en silicates n'ont donc ni augmenté ni diminué au cours de ces dix dernières années.

Toutefois, ces tests statistiques indiquent qu'il existe une différence significative entre les moyennes annuelles du groupe des années 1999, 2001 et celui de 2007 à un niveau de confiance de 95% pour la Penzé (annexe IX).

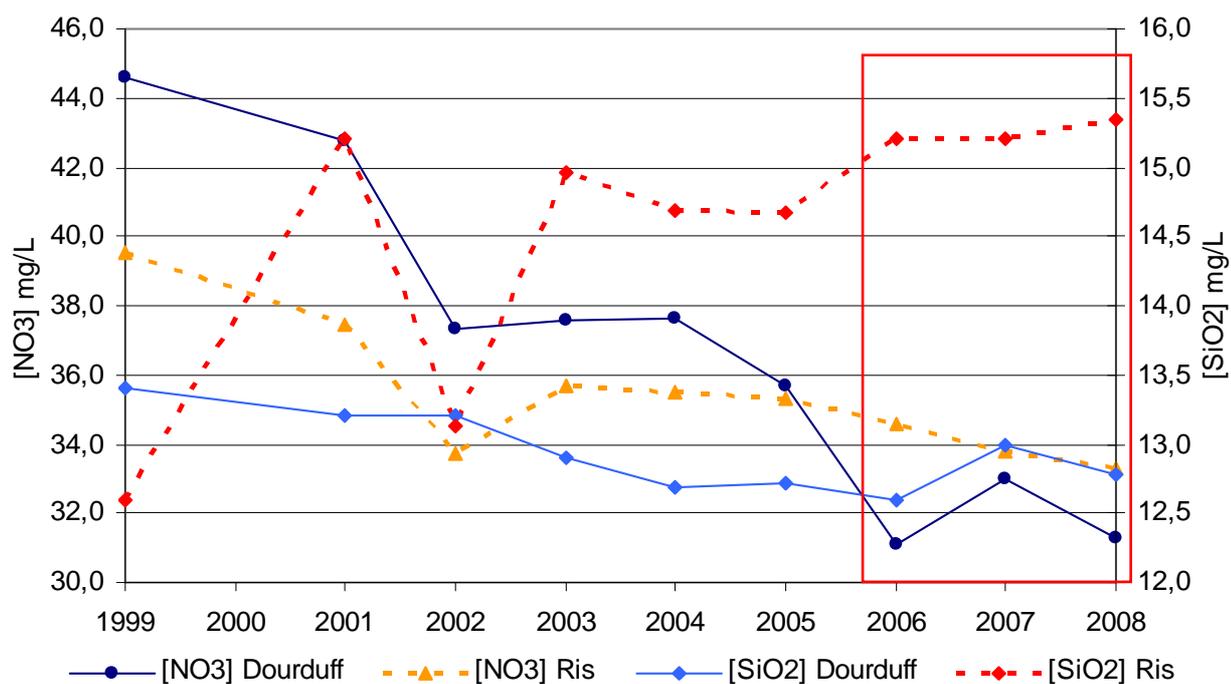


Figure 11. Variations des concentrations en silicates et en nitrates sur le Dourduff et le Ris au cours des 10 dernières années

La comparaison de l'évolution des teneurs en silicates et nitrates sur ces deux cours d'eau illustre bien l'amélioration de la qualité des eaux (concernant le paramètre nitrate) du Ris ainsi que le phénomène de dilution sur le Dourduff ces trois dernières années. En effet, sur la période 2006-2008, les évolutions similaires des teneurs en nitrates et silicates sur le Dourduff par comparaison avec les évolutions divergentes des teneurs en nitrates et silicates sur le Ris (cadre rouge), montrent bien l'opposition entre l'amélioration de la qualité des eaux sur le Ris et les fluctuations dues aux variations climatiques sur le Dourduff.

A contrario, sur la période antérieure à 2006, il est possible de constater une diminution des concentrations plus importante pour les teneurs en nitrates que pour les teneurs en silicates notable des deux rivières concernées toutefois plus marquée sur le Dourduff et correspondant à une amélioration de la qualité des eaux (sur la problématique nitrate).

4.4.1.2 Variations hebdomadaires et saisonnières

- Variabilité des concentrations à l'échelle hebdomadaire

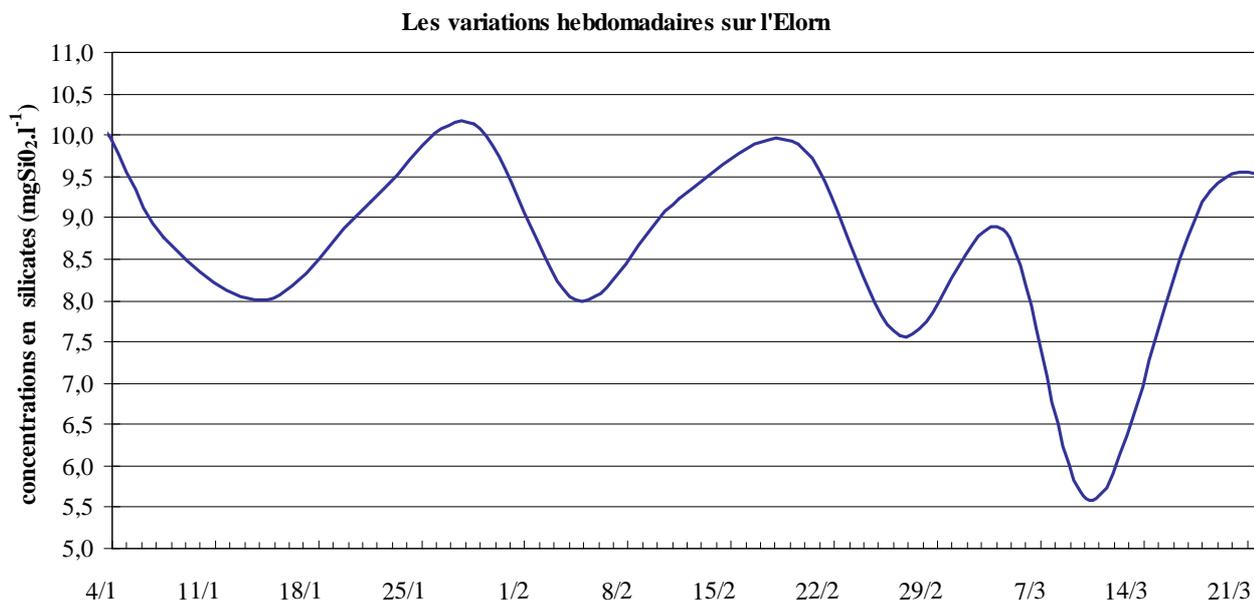


Figure 12. Variations des concentrations en silicates sur l'Elorn en début d'année 2008.

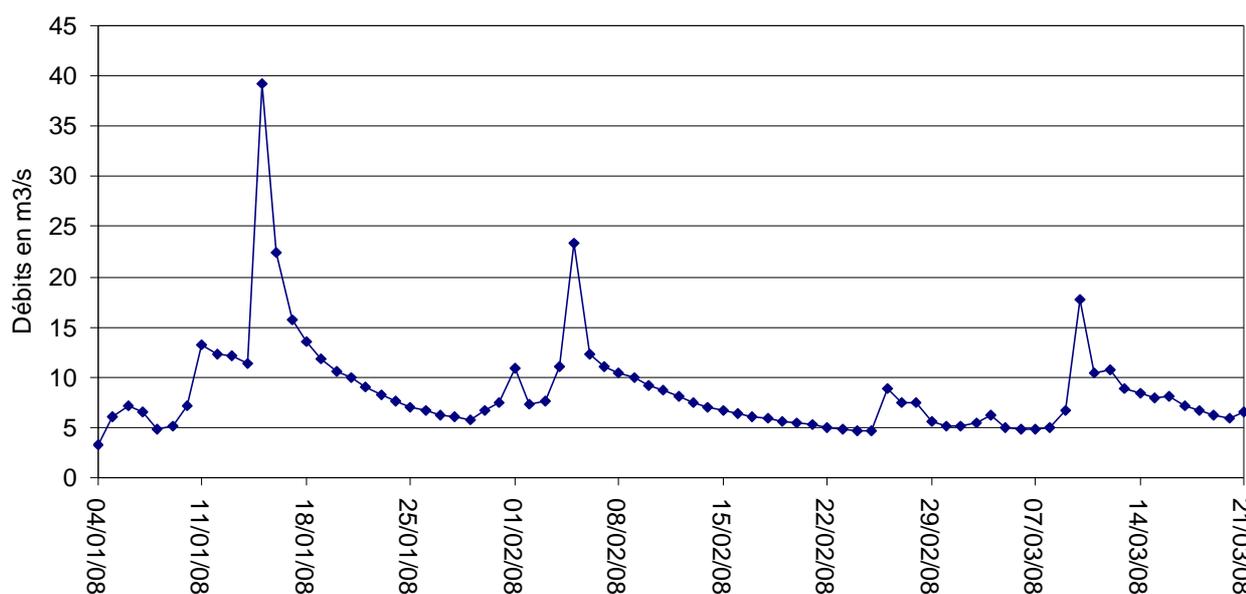


Figure 13. Variations des débits sur l'Elorn en début d'année 2008.

L'Elorn est un bon exemple pour illustrer les variations hebdomadaires des teneurs en silicates des différentes rivières suivies, car son temps de réponse à un événement pluvieux est représentatif de la majeure partie des bassins versants du finistère. Pour cette interprétation la période hivernale choisie permet de faire abstraction des phénomènes de consommation induits par la production primaire. La comparaison avec les débits sur cette même période permet de d'illustrer le phénomène de dilution lié aux précipitations.

Comme pour les nitrates, les variations des teneurs en silicates sont rapides, avec des valeurs passant de 9 mg.L⁻¹ à 5,5 mg.L⁻¹ en l'espace d'une semaine. Ces variations rapides, principalement dues à l'hétérogénéité des précipitations, mettent en évidence la compacité du bassin versant de l'Elorn, avec un temps de réponse d'environ 7 jours, voir même inférieur.

La majeure partie des bassins versants suivis a un temps de réponse court de l'ordre de la semaine.

- Variabilité à l'échelle saisonnière

Comme pour les nitrates, deux principaux types de cycles, résultants des variations des teneurs moyennes saisonnières, peuvent être observés.

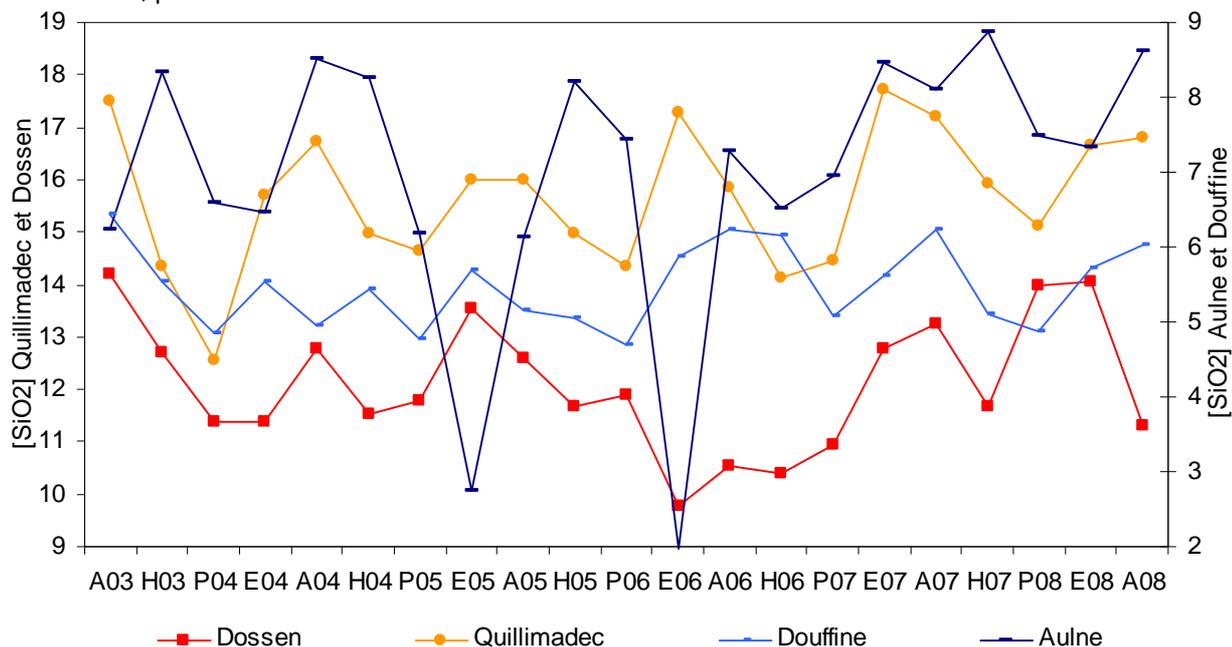


Figure 14. Concentrations moyennes saisonnières en mg.L⁻¹ de silicates de certaines rivières représentatives des deux principaux cycles observés

Les principaux cycles observés sont représentés sur le graphique par l'Aulne et le Quillimadec.

Le premier, le cycle classique, concerne seulement l'Aulne tandis que le second, cycle inversé, regroupe les autres rivières (Quillimadec, Guillec, Ris, Flèche, Dossen, Guillec, Dourduff, Saint Laurent, Penzé, Elorn et Kerharo).

La Douffine semble avoir un comportement différent avec des variations plus faibles que les autres rivières. Les valeurs des concentrations en silicates dans les eaux semblent peut soumises aux variations saisonnières.

Les concentrations en silicates dans l'eau dépendent notamment du temps de résidence de l'eau dans la nappe phréatique. Ce qui implique :

- à l'échelle du territoire, des concentrations en silicates dans les eaux généralement plus fortes dans les eaux des rivières alimentées par des nappes souterraines de capacité plus importante, que dans celles alimentées par de plus petits aquifères.
- à l'échelle d'un bassin versant, des valeurs de concentration en silicates légèrement supérieures en été par rapport aux autres saisons ; sauf pour l'Aulne (figure 26) dont les valeurs concentrations chutent brutalement en période estivale.

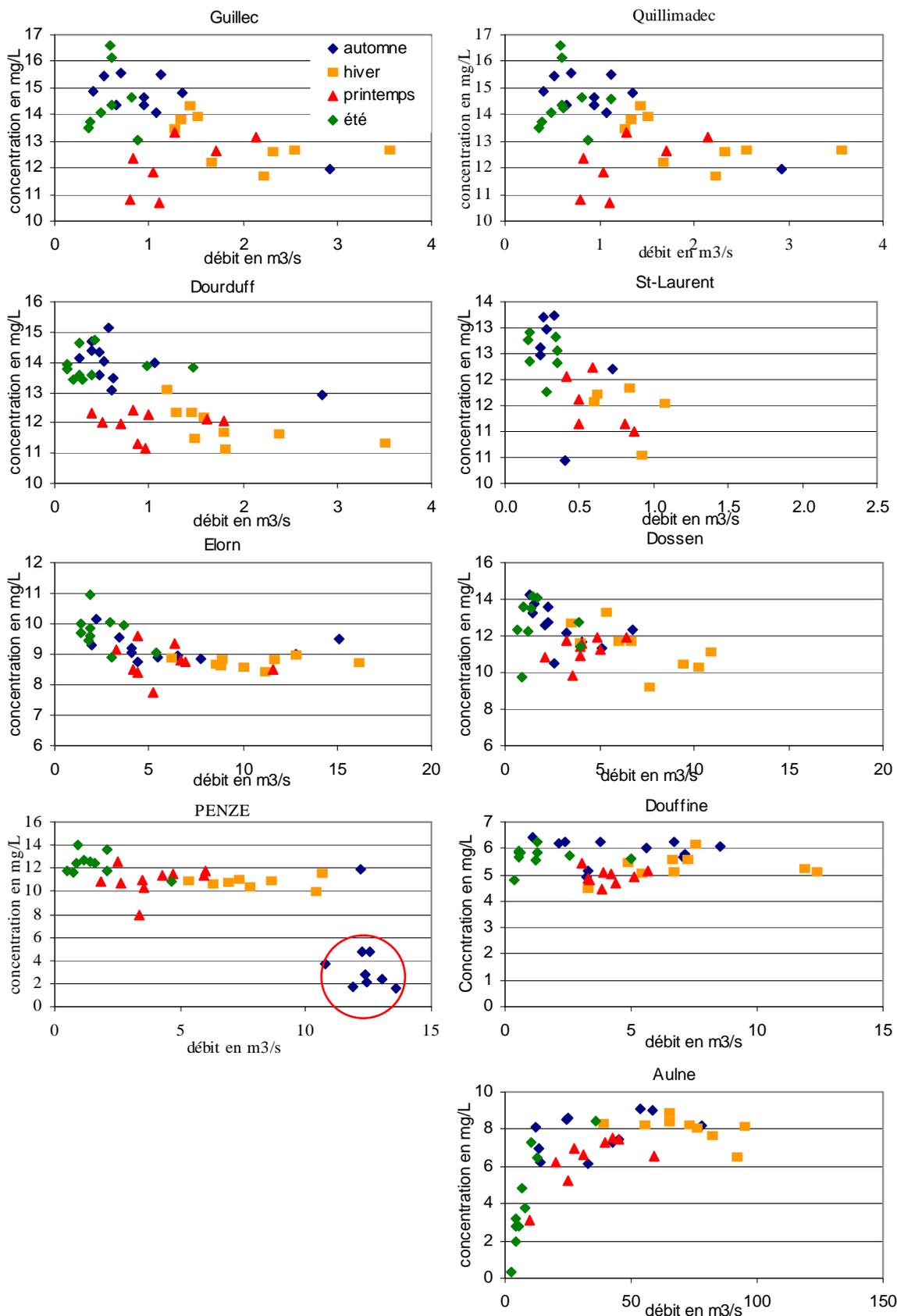


Figure 15. Evolution des teneurs en silicates ($C_{\text{moy-sais}}=f(Q_{\text{spé}})$)

Le diagramme $C_{\text{moy-sais}}=f(Q_{\text{spé}})$ pour la silicates révèle que les concentrations en silicates sont moins sensibles aux effets de dilution que les nitrates ; excepté à partir d'un certain débit (au dessus de $11 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) par exemple pour la Penzé (cercle rouge). En effet, les flux en provenance de la nappe phréatique sont

généralement assez constants (figure 13). Les variations observées, principalement en période d'étiage, sont notamment dues, pour les augmentations, à des apports temporaires le plus souvent liés à de fortes précipitations et pour les baisses, à la production primaire intrinsèque à la rivière qui consomme les nutriments.

Concernant plus particulièrement le cycle de l'Aulne, les apports en silicates se font principalement l'hiver et la chute de la teneur observée est principalement due au développement de phytoplancton. A l'instar des autres cours d'eau, le développement du phytoplancton est plus important sur l'Aulne, en raison des aménagements hydraulique (retenues), qui induisent un ralentissement de la vitesse des courants et permettent la croissance du phytoplancton.

4.4.2 Flux de silicates

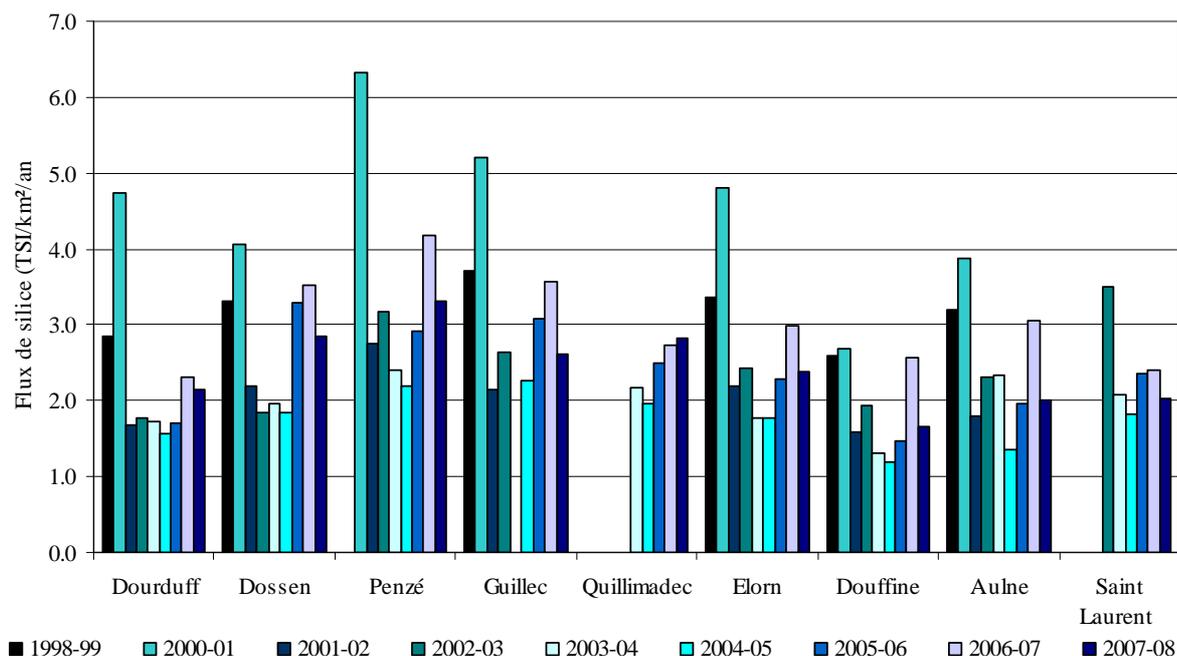


Figure 16. Comparaison des flux spécifiques estimés pour neuf cours d'eau

Les flux de silicates sur les différentes rivières sont variables dans l'espace et dans le temps avec des valeurs maximales atteintes lors des années 2000/2001. Entre 2001 et 2005 les valeurs des flux se stabilisent autour des valeurs du bruit de fond géologique du bassin versant respectif de chaque rivière suivie. Les flux moyens annuels, pour l'ensemble des rivières suivies se situent autour de 2 tSi.km⁻².an⁻¹.

L'année exceptionnelle de 2007 est marquée par une augmentation des concentrations et des flux en silicates pour la plupart des bassins versants. Les apports de silicates dans les cours d'eau n'étant pas d'origine anthropique, l'augmentation en 2007 est en lien direct avec le régime hydrologique. Un certain retour à la normale est constaté pour l'année hydrologique 2007-2008 avec toutefois une relative augmentation des valeurs flux par rapport à la période 2001-2005 induites par des précipitations estivales abondantes (période d'étiage très courte voir inexistante).

4.5 Les phosphates

Dans ce rapport, les orthophosphates (HPO_4^{2-} et H_2PO_4^-) correspondent au phosphore total inorganique dissous, plus communément appelés les « phosphates ». Ils sont directement assimilables par les végétaux contrairement aux autres complexes phosphorés qui doivent subir une transformation au préalable. En effet, le phosphore est caractérisé par une grande complexité comportementale car les phosphates interagissent avec certains constituants minéraux comme le fer, l'aluminium ou encore le calcium pour former des complexes particuliers non biodisponible. Les différentes formes de phosphore présentes dans un milieu sont liées aux caractéristiques physico-chimiques des eaux (pH, température, potentiel redox,...).

Ainsi, contrairement aux nitrates ou aux silicates, les phosphates ne se trouvent pas principalement à l'état libre dans le sol, mais sous forme de complexes qui ont tendance à s'adsorber à la surface de particules organiques ou minérales. Il en résulte, un transfert préférentiel, de ces complexes phosphorés vers la rivière, par l'intermédiaire du ruissellement de surface et non par infiltration comme pour les composés dissous. Le phénomène de stockage dans les réserves souterraines n'intervient donc pas pour cet élément (annexe VII).

Les apports naturels de phosphates dans les eaux des rivières proviennent essentiellement de l'érosion des sols et des déjections des animaux.

Concernant les apports anthropiques, le phosphore provenant des rejets domestiques, industriels et piscicoles est directement exporté dans le milieu, tandis que le phosphore d'origine agricole aura tendance à s'adsorber dans le sol ou sur des particules avant de rejoindre le milieu aquatique. (BUCHET, 2000). La majeure partie de l'année, les apports diffus d'origine agricole priment sur les apports ponctuels dus à l'urbanisme et aux industries (surtout ces dernières années où les agglomérations ont équipé leur station d'une unité de traitement du phosphore), sauf en période de fort étiage ou forte affluence touristique où les apports liés aux autres activités (notamment agglomérations et piscicultures) peuvent influencer les teneurs dans les eaux des rivières.

4.5.1 Concentrations en phosphates

4.5.1.1 Concentrations moyennes annuelles et évolution

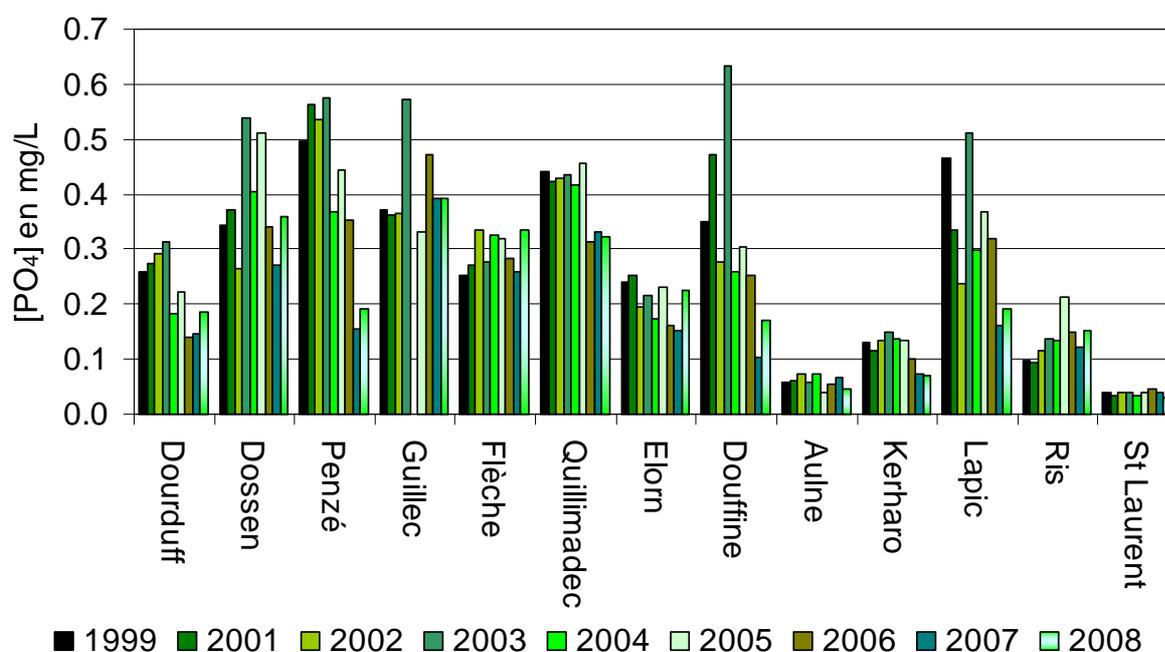


Figure 17. Moyennes annuelles des concentrations en phosphates

L'évolution des valeurs des concentrations en phosphates est très variable selon les années et les cours d'eau. Les fluctuations interannuelles des teneurs en phosphates n'évoluent pas de façon identique à celles des nitrates et silicates. En effet, l'année 2003 est marquée par de fortes concentrations sur certains des cours d'eau suivis (Douduff, Dossen, Penzé, Guillec, Douffine, Kerharo ainsi que le Laptic) alors que les apports en silicates et nitrates ne montrent pas de telles fluctuations cette année là sur l'ensemble des cours d'eau concernés.

La sécheresse exceptionnelle de 2003 (année de la canicule) est le facteur responsable de ces fortes concentrations, la baisse des apports pluvieux et l'évaporation ayant concentré les rejets polluants dans les rivières, et généré des stocks à la surface des sols qui ont été lessivés lors des premières pluies d'automne.

A l'instar, les fortes précipitations de 2006 et 2007, ont provoqué une baisse significative des concentrations dans la majeure partie des cours d'eau, à l'exception de l'Aulne qui voit les valeurs des concentrations en phosphate dans ses eaux augmenter légèrement. Ce phénomène peut-être engendré par un relargage du phosphore particulaire sédimenté en amont des aménagements hydrauliques.

Pour l'année 2007-2008, elle est marquée par une augmentation des concentrations sur l'ensemble des bassins versants par rapport à l'année précédente. Cette augmentation reste toutefois inférieure ou égales aux valeurs enregistrées par le passé.

Les tests statistiques sur la période 1999 – 2007 montrent, à un niveau de confiance de 95%, que dans le cas du Douduff, de l'Elorn, de la Douffine et du Laptic, les concentrations en phosphates ont diminué significativement en 2007 par rapport à 1999 et 2000 (annexe IX). Ces résultats sont toute fois à relativiser vu la complexité des modes de transferts de cet élément.

Si comme dans le cas des nitrates, on retrouve des concentrations importantes dans le Finistère nord, les valeurs sont relativement conséquentes pour la Douffine et le Laptic. Ces valeurs semblent trouver leurs origines dans les activités anthropiques pratiquées sur ces deux bassins versants, 4 piscicultures sur la Douffine et 74% de la surface du BV du Laptic concernée par des activités agricoles.

4.5.1.2 Variations hebdomadaires et saisonnières

- Variabilité à l'échelle hebdomadaire

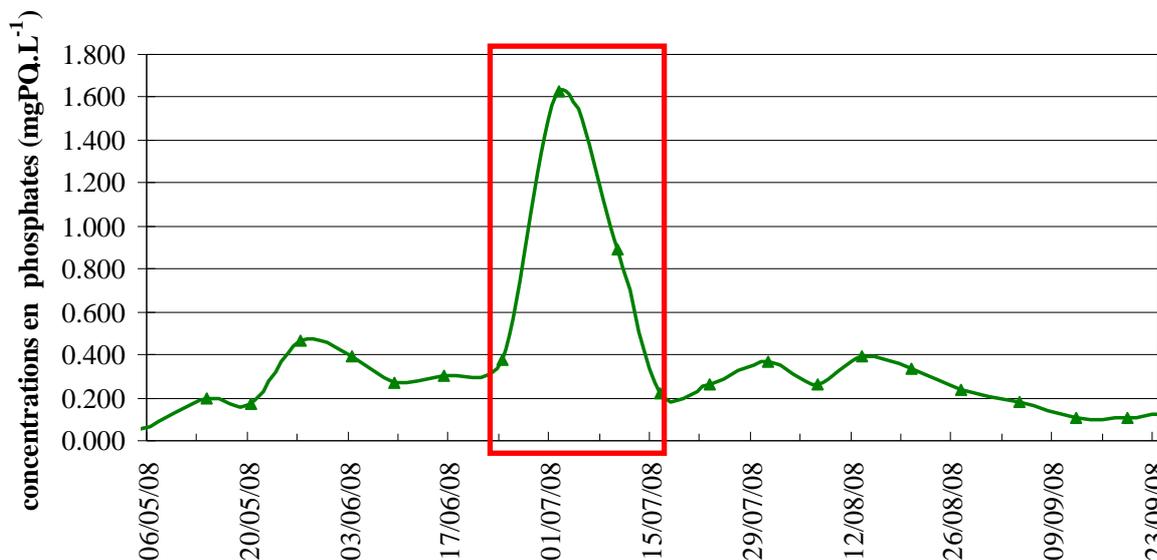


Figure 18. Variations des teneurs en phosphates sur l'Elorn au cours de l'année 2008

Comme pour les deux autres éléments suivis par le réseau, les concentrations varient donc rapidement d'une semaine à l'autre, avec des valeurs pouvant passer de 0.4 mg.L⁻¹ à 1.6 mg.L⁻¹ en l'espace d'une semaine. Il est également possible de constater que la diminution est pratiquement aussi rapide que l'augmentation. Par comparaison avec les autres éléments les variations des teneurs en phosphates sont plus marquées.

A la vue de ces résultats et en tenant compte du comportement des phosphates, il est possible d'en déduire qu'une fréquence hebdomadaire de prélèvement n'est pas suffisante pour quantifier en totalité les apports de phosphates vers le littoral.

Il serait donc intéressant à l'avenir de travailler sur quelques campagnes de prélèvements très haute fréquence (toute les heures) consécutives à de fortes précipitations afin de quantifier plus précisément les apports en phosphate vers le littoral.

- Variabilité à l'échelle saisonnière

Il existe des cycles annuels des concentrations en phosphates pour certaines rivières (figure 17). Alors que pour les nitrates, les concentrations augmentent ou diminuent progressivement au cours de l'année, ici on peut véritablement parler de « pic » des concentrations en automne.

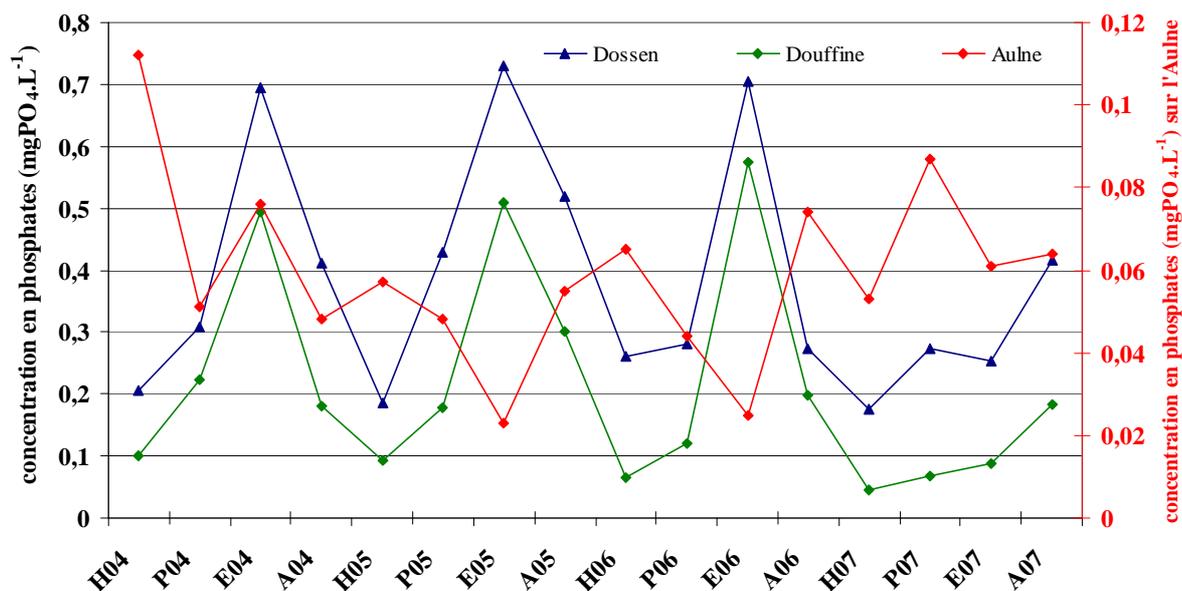


Figure 19. Evolution des Concentrations moyennes saisonnières en phosphates

Les concentrations en phosphates ont tendance à représenter des cycles annuels pour la majeure partie des rivières, avec des valeurs minimales atteintes en hiver et au printemps et des valeurs maximales correspondant à la fin d'été début d'automne.

Dans le cas de la Douffine, du Laptic et de la Penzé, l'amplitude de ces pics est très variable d'une année sur l'autre et les concentrations hivernales peuvent être multipliées par 10 entre l'hiver et l'été (année 2003).

Pour l'Aulne, le Saint Laurent et le Ris, on n'observe pas de cycle à proprement parler. Ces rivières affichent toutefois les valeurs de concentrations moyennes saisonnières pour ce paramètre les plus basses parmi les rivières suivies. Elles sont classées en eau de très bonne qualité pour ce paramètre sur l'ensemble de la période d'étude (figure 17).

Selon C. CANN et al (1999), les concentrations en phosphore des rivières varient très rapidement et avec une grande amplitude en cas de crue. D'après O. FRANCOIS (1994), l'effet climatique sur le transfert de phosphore est essentiellement lié à la pluviométrie, les autres facteurs ayant une influence mineure.

En été, période généralement marquée par un déficit hydrologique plus important que le reste de l'année, le lessivage et les apports de phosphore vers le cours d'eau s'effectuent principalement de façon diffuse. A cette période de l'année, les rejets des stations d'épurations mal dimensionnées ou dépourvues de système de traitement du phosphore gagnent en influence par rapport aux autres sources, notamment en période d'affluence touristique. Les apports liés aux activités piscicoles sont également concernés et peuvent être responsable d'une bonne partie des apports.

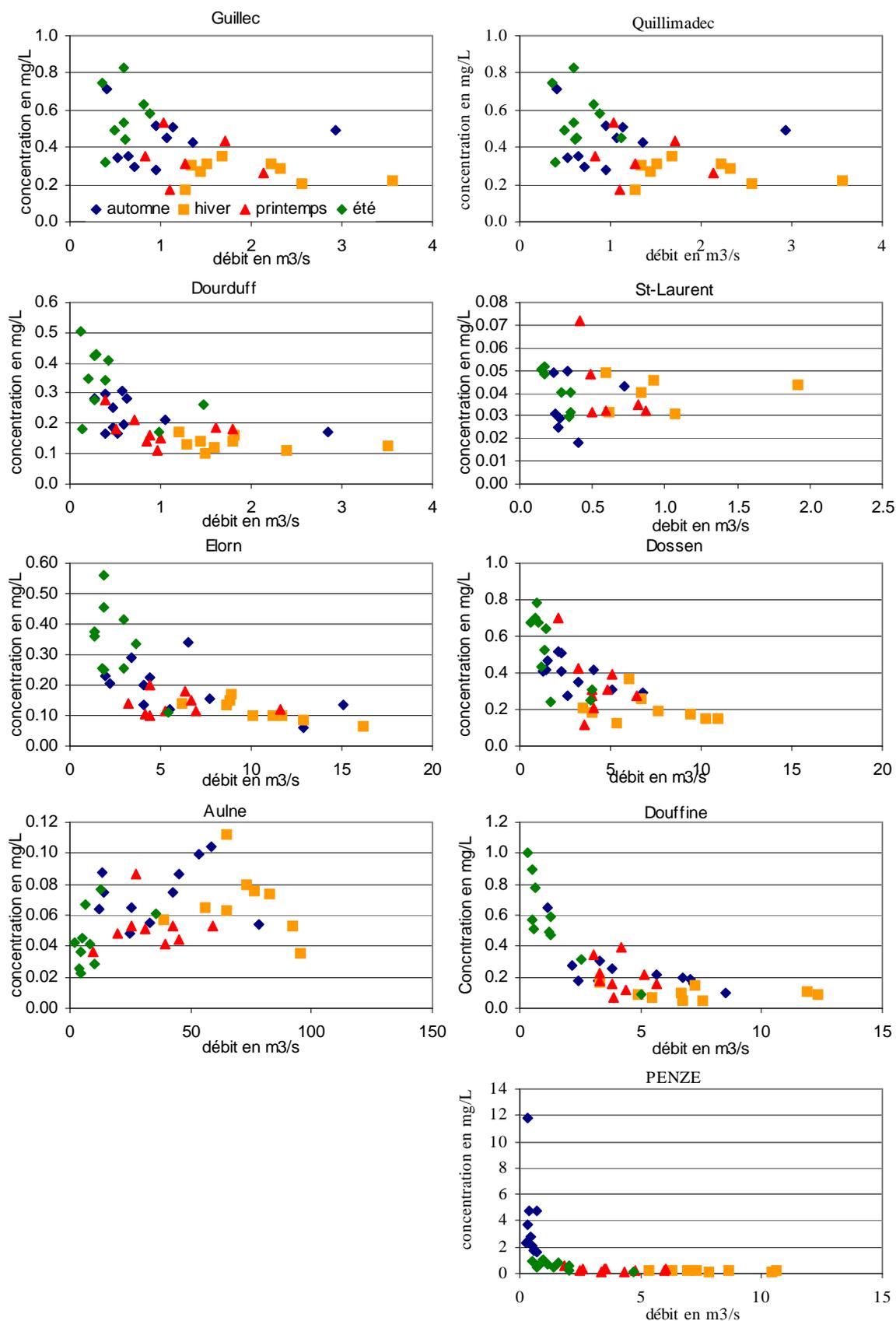


Figure 20. Diagrammes caractéristiques $C_{moy-sais}=f(Q_{spé})$ pour les concentrations en phosphates

L'analyse des diagrammes caractéristiques $C=f(Q_{spé})$ des phosphates révèle une large tendance à la dilution des phosphates avec la croissance du débit (hiver). Ces variations en hiver sont à mettre en relation avec les phénomènes de dilution des concentrations et d'adsorption des phosphates sur les matières en suspensions

charriées par les eaux fluviales. Il en résulte une diminution de la teneur en phosphates dans les eaux avec l'augmentation du débit. Toutefois, certaines valeurs ont tendance à s'écarter de la corrélation $C=f(Q_{spé})$, exemple Guillec, Aulne, St-Laurent,... Ces valeurs plus fortes peuvent s'expliquer par un lessivage abondant des sols, à la suite de fortes précipitations consécutives à une période sèche. En effet, lors des périodes de déficits hydriques, les phosphates ont tendance à s'accumuler à la surface du sol et sont ensuite lessivés lors des premières pluies. Il apparaît donc normal de constater les valeurs de concentration les plus fortes en période estivale et automnale lors d'année sèche (en comparaison avec 2007).

4.5.2 Les Flux de phosphates

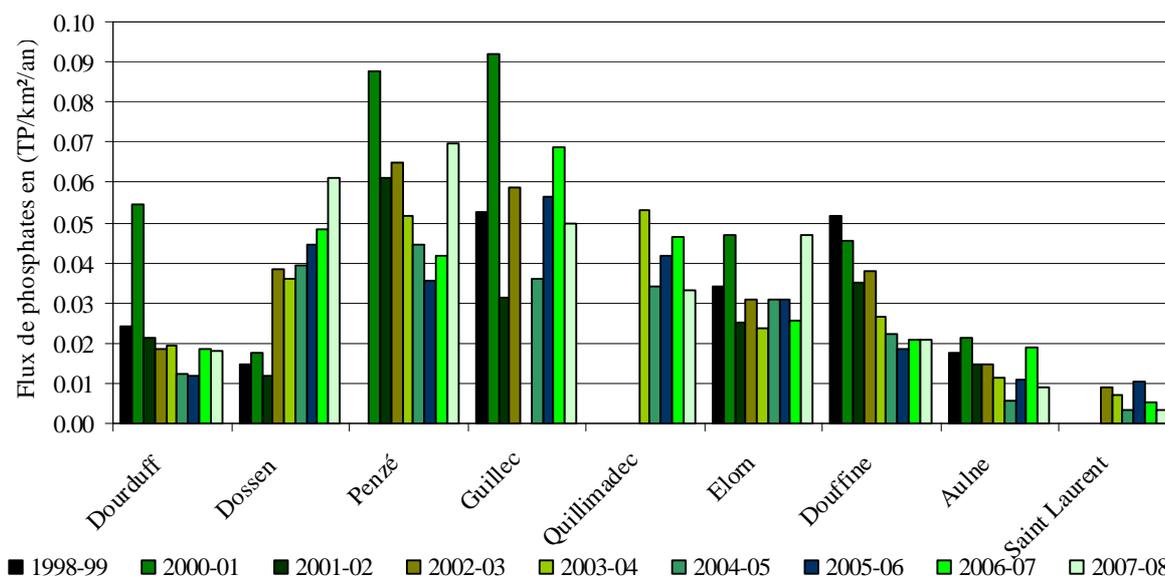


Figure 21. Comparaison des flux spécifiques estimés pour neuf des bassins versant suivis.

Qualitativement, ce sont le Dossen, le Guillec et la Penzé qui présente les flux spécifiques les plus importants en phosphate. En règle générale, pour 2008, les flux spécifiques suivent une tendance à la stabilité et ce malgré la baisse des concentrations ; à l'exception de la Penzé, du Dossen, et de l'Elorn dont les flux augmentent pour atteindre le même seuil qu'en 200-2001.

Concernant plus particulièrement les bassins versants de l'Aulne et du Saint Laurent, les concentrations semblent rester constantes quel que soit le débit et donc la saison. Ils présentent des concentrations en phosphates les plus faibles de l'ensemble des bassins versants suivis expliquant en partie ces résultats. L'évolution des valeurs de concentration de l'Aulne est aussi influencée par la présence de retenues successives qui permettent la sédimentation des particules en suspension, donc du phosphore adsorbée à leur surface (consommation des sels nutritifs).

Les flux de phosphates ont globalement le même comportement que les autres paramètres étudiés avec des flux plus important en automne et en hiver qu'en période d'étiage et ce pour l'ensemble des rivières suivies, avec la particularité de présenter des écarts de valeur plus importants que pour les autres paramètres. Il est donc possible d'en déduire que le facteur précipitations est prépondérant par rapport aux autres facteurs sur les variations des flux à l'échelle saisonnière.

Le comportement des phosphates étant principalement lié aux ruissellements de surface il est beaucoup plus réactif aux précipitations contrairement aux deux autres éléments qui se retrouvent dans la partie dissoute et principalement véhiculé par les écoulements souterrains.

Les mécanismes de transfert des phosphates vers le milieu aquatique sont donc complexes, peut-être même plus que pour les nitrates ou les silicates. Ce phénomène entraîne de fortes variations des apports en phosphates d'une année sur l'autre, et à plus haute fréquence d'une semaine sur l'autre voir d'une journée à l'autre.

4.6 Conclusions et perspectives.

L'évolution des teneurs en nitrates et phosphates dans les eaux superficielles sont soumises à de multiples processus naturels biotiques et abiotiques :

- biologiques (nitrification, dénitrification, consommation...)
- climatiques (température, précipitations...),
- physiques (vitesse d'écoulement de la nappe, dimensions de la nappe, régime hydrologique, topographie...)

Ainsi qu'à des facteurs anthropiques liés aux activités humaines telles que l'agriculture, les piscicultures et les agglomérations.

Actuellement, parmi tous ces paramètres, il est difficile de déterminer avec exactitude la part des facteurs qui influence à un moment « t » les concentrations, d'autant que ces derniers n'ont pas la même inertie. En effet, les apports de nitrates dans les eaux de la rivière, n'évoluent pas avec la même cinétique, qu'ils proviennent d'une agglomération (fluctuations rapides dans le temps) ou d'un aquifère (variations lentes).

Néanmoins, la base de données constituée par le réseau permet de prendre du recul, de mettre en évidence l'influence des divers facteurs et d'interpréter non plus des résultats sur un instant « t », mais permet de déduire des tendances sur une période donnée. Certains phénomènes, comme le temps de réponse des eaux d'une nappe, variable selon la composition du sous sol (entre 3 et 15 ans), nécessite de continuer le travail actuel de bancarisation de données afin de modéliser les interactions entre nappe et rivière.

D'autres phénomènes comme le temps de réponse d'un bassin versant sont à approfondir afin de mesurer quantitativement les apports de nitrates et phosphates vers le littoral. Ce travail devra ce faire sur les périodes de montée des eaux lorsque les concentrations évoluent le plus rapidement. Ces études seront notamment indispensables pour mesurer les flux de phosphates réellement exportés principalement véhiculés par ces évènements.

Concernant plus particulièrement les nitrates, la tendance générale depuis 1999, elle est à la baisse pour la majeure partie des cours d'eau suivis, sauf pour l'Aulne, la Douffine et le St Laurent dont les concentrations sont stables ou augmentent légèrement ces dernières années. L'année 2008 est marquée par le passage de deux rivières supplémentaires sous le seuil arbitraire de 50mg.L⁻¹ (le Quillimadec la Flèche), seules les eaux du bassin versant du Guillec continuent à avoir des concentrations moyennes annuelles supérieures (70mg.L⁻¹). Cette information reste toutefois à prendre avec précaution car il s'agit d'une moyenne annuelle et que sur l'année des valeurs de concentration supérieures à 50mg.L⁻¹ sont encore régulièrement observées.

Depuis la création du réseau, il est possible d'identifier deux tendances générales sur les différentes rivières suivies :

- une certaine stabilisation des valeurs pour les rivières dont les concentrations sont « plus » faible (par comparaison avec les autres rivières du secteur) de 20mg.L⁻¹ à 40mg.L⁻¹, c'est le cas de l'Aulne, du Dossen, de l'Elorn, du Lopic, du Ris, du Kerharo, du Dourduff et de la Douffine, le Saint Laurent faisant exception à la règle avec des teneurs moyennes qui ont tendance à augmenter ces dernières années, les valeurs obtenues en 2008 étant équivalentes à celles de 2001.
- une forte baisse des valeurs pour les rivières dont les valeurs sont « ont été » fortes supérieures à 50 mg.L⁻¹ c'est le cas pour le Guillec, le Quillimadec, la Flèche et la Penzé).

Ce constat plutôt positif, notamment pour les rivières du nord Finistère, se doit toutefois d'être relativisé avec un équilibre possible des valeurs moyennes autour de 30 à 40mg.L⁻¹, qui ne sera pas suffisant pour limiter significativement la prolifération des algues vertes. En effet, le conseil scientifique régional de l'environnement et le CEVA (Centre d'Etude et de Valorisation des Algues) préconise tous deux des valeurs inférieures à 20 mg.L⁻¹

4.7 Utilité des données produites

D'ores et déjà, le réseau ECOFLUX constitue une banque de données départementale utilisable par divers organismes (IUEM, IFREMER, DIREN, CEVA, CAREN, ENSAR) mais également par des professionnels de la gestion des bassins versants (animateurs, techniciens rivières, bureau d'étude). Un recensement des demandes de données a été réalisé en annexe XII afin de valoriser le travail fourni par le réseau ECOFLUX et aussi de suivre l'utilisation faite des données. Ces demandes augmentent d'ailleurs chaque année pour passer de 9 en 2004 à 29 en 2007. Ces chiffres illustrent l'intérêt des différents acteurs de la qualité de l'eau afin d'obtenir des données du réseau ECOFLUX.

P. AUROUSSEAU (2004) a, par exemple, mis en évidence l'existence de 3 cycles identiques pour 31 bassins versants bretons. Au cours de ces cycles, on assiste à une augmentation puis à une diminution des flux annuels de nitrates (figure 20).

La démarche actuelle suivie est d'inscrire le réseau ECOFLUX dans la base de données de DISC'EAU disponible sur le site du Service d'Administration Nationale des Données et Référentiels sur l'Eau SANDRE dans le but de valoriser à la fois le travail du réseau mais également de faire profiter les différents acteurs de l'eau à une échelle nationale.

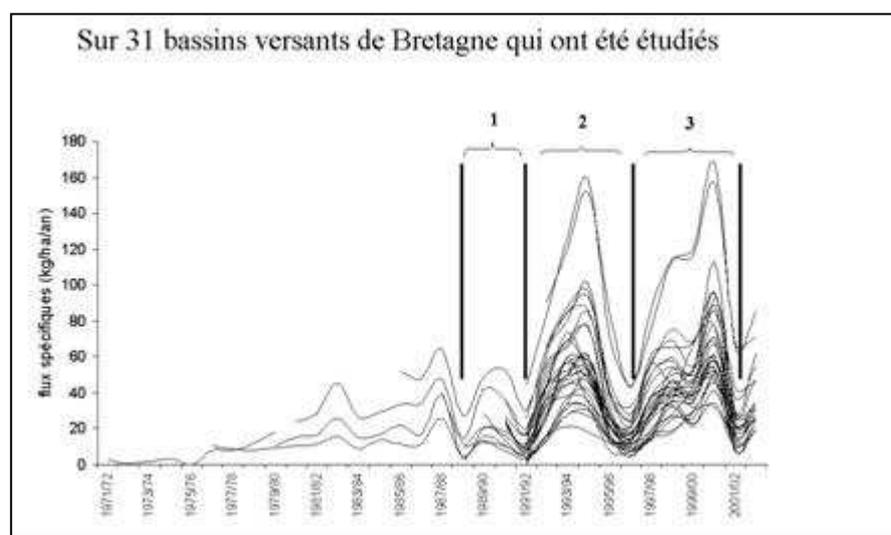


Figure 22. Evolution des flux spécifiques de nitrates de 31 bassins versants bretons (source : P. Arousseau - ENSAR, 2004)

Ces cycles sont dus à la variabilité climatique notamment, non liée systématiquement à l'oscillation Nord Atlantique (NAO), avec des variations de pluviosité entraînant l'alternance d'années plutôt sèches et d'années plus humides. (NAO : oscillation de masses d'air, dans la direction nord-sud, au-dessus des régions arctiques et islandaises vers la ceinture subtropicale près des Açores et de la péninsule ibérique). En effet, les résultats précédents ont mis en évidence le rôle important des précipitations dans le transfert des éléments vers le milieu aquatique.

Les données ECOFLUX, associées à d'autres réseaux de Bretagne et de France ont permis de mettre en évidence que les fleuves côtiers Bretons exportent près de quatre fois plus de nitrates que le fleuve Loire (en terme de flux spécifique).

Ses données devraient aussi permettre de mieux cibler l'origine des apports en nitrates et en phosphates vers le littoral. L'abondance de ces apports en sels nutritifs entraîne, notamment, l'apparition de marées vertes sur les côtes finistériennes (comme en baie de Douarnenez ou en baie de Guisseny) non sans conséquence pour le tourisme et pour l'environnement. La banque de données ainsi constituée permettra à terme de déterminer

l'origine de la pollution ainsi que la modélisation de phénomènes liés au milieu eutrophisé, dans le but de d'endiguer efficacement les phénomènes de marées vertes sur les côtes finistériennes (figure 22).

En Bretagne, c'est la prolifération d'ulves, des macroalgues, qui sont à l'origine des marées vertes. Différents facteurs vont favoriser leur développement : climatiques, hydrodynamiques, géologiques et anthropiques. Pour ce dernier point, les apports en phosphate et en nitrate provenant, par ordre d'influence, des activités agricoles, urbaines et industrielles sont les responsables.

Toutefois, les stocks de phosphates (dans les terres agricoles ainsi que dans le sédiment des rivières et en zone littorale) constitués par le passé étant importants, les nitrates restent le facteur limitant au développement des marées vertes, contrairement au développement des efflorescence de phytoplanctons (CONLEY et al. 2009).

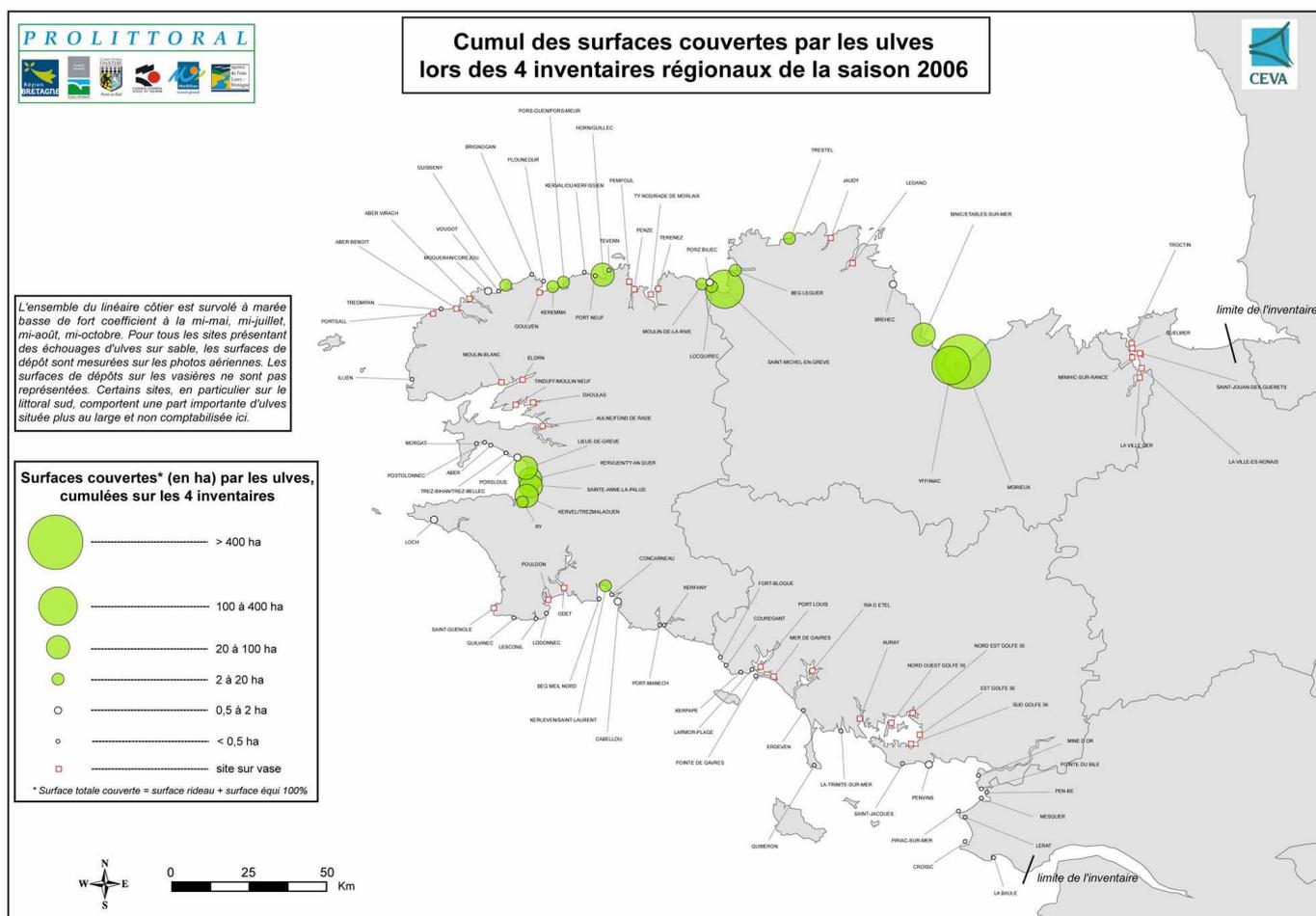


Figure 23. Localisation géographique des marées vertes en Bretagne en 2006 (site internet n°1)

Par exemple, sur la plage de Saint Efflam, une étude de modélisation du phénomène a été réalisée par IFREMER (Menesguen, 2003). La connaissance des flux de sels nutritifs apportés par les rivières concernées, couplée à une modélisation a mis en évidence que seuls les apports de nitrates sont responsables de la prolifération algale. Sans apport de nitrate, il est possible de prévoir un abattement de 95% de la marée verte.

L'importance des flux en nitrates des bassins versants bretons par comparaison avec les données collectées sur le reste de la France implique la poursuite de la veille scientifique afin de mieux comprendre les transferts des éléments nutritifs vers le milieu aquatique, les causes des variations observées ainsi que les conséquences pour l'environnement à moyen et long terme. Cela induit également la nécessité de continuer en parallèle les actions de reconquête de la qualité de l'eau et de la sensibilisation auprès des lycéens ainsi que du grand public.

Ces actions sont déjà vraisemblablement responsables de la diminution de la quantité de nitrates transmise au milieu aquatique dulçaquicole ou maritime.

A ce titre, au cours de cette année 2008, le réseau ECOFLUX continue son action pédagogique dans le cadre du projet « Au fil de l'eau ou à l'école de l'eau » avec l'arrivée très prochainement d'un nouveau site internet. Ce site est destiné à être un outil de travail pour les professionnels de l'environnement, de faciliter les échanges entre le grand public et les acteurs concernés par le réseau, ainsi que valoriser le travail des élèves intégrés dans la démarche du réseau.

5 ANNEXES :

| | |
|--|-------------|
| <i>ANNEXE II : protocole.....</i> | <i>II</i> |
| <i>ANNEXE III : classement BRGM.....</i> | <i>V</i> |
| <i>ANNEXE IV : fiches techniques.....</i> | <i>VI</i> |
| <i>ANNEXE V : Tests statistiques.....</i> | <i>XI</i> |
| <i>ANNEXE VI : Le SEQ-Eau.....</i> | <i>XIII</i> |
| <i>ANNEXE VII : interventions ECOFLUX.....</i> | <i>XV</i> |
| <i>ANNEXE VIII : objectifs du SAGE.....</i> | <i>XVI</i> |

ANNEXE I : objectifs DCE

Objectifs de la DCE en 2015 (en rapport avec ECOFLUX).

L'évaluation est fondée sur trois approches parallèles :

- la biologie, avec en complément les données physico-chimiques et hydromorphologiques,
- les nitrates avec un seuil de 40 mg/l,
- les micropolluants, incluant notamment les pesticides, avec des seuils qui préfigurent les normes de qualité environnementales (NQE) qui seront définies à l'échelle européenne.

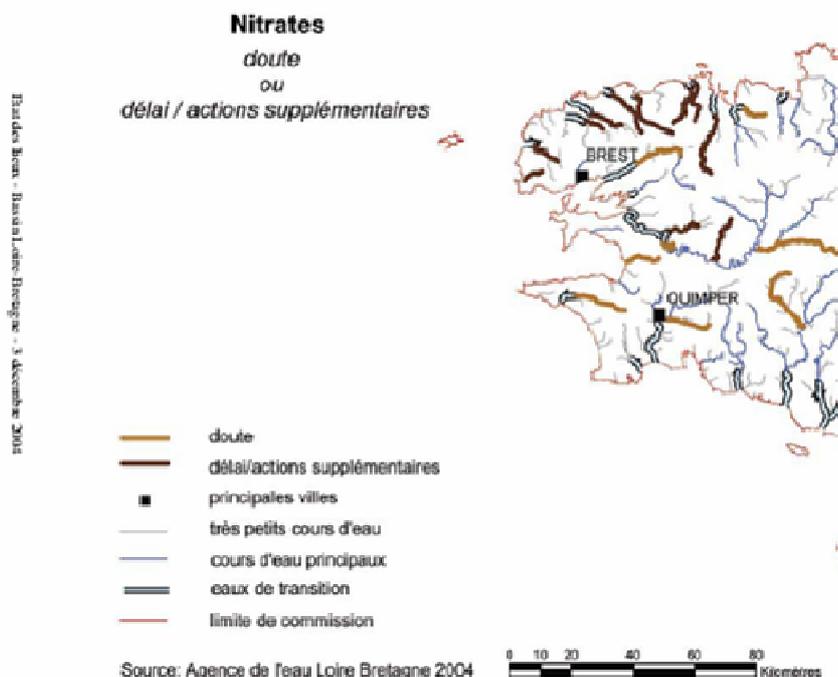
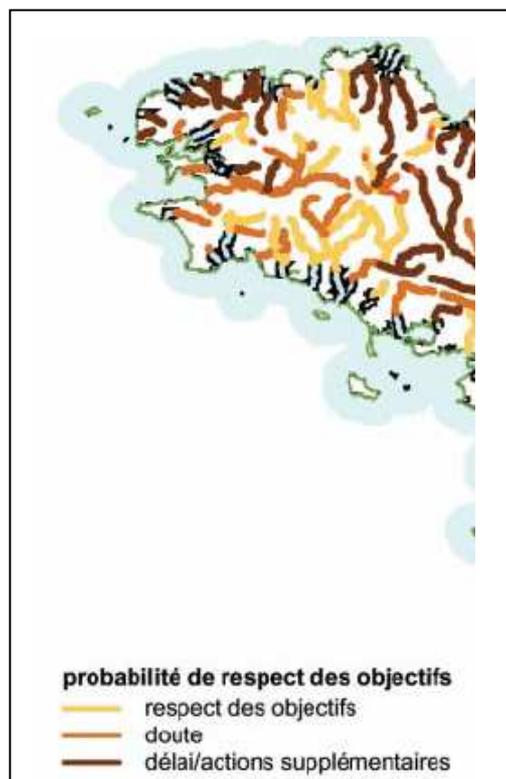


Figure 1 : Objectifs selon les trois approches.

Figure 2 : Objectifs selon l'approche nitrates.

La DCE fixe un calendrier précis aux Etats Membres afin d'atteindre les objectifs qu'elle leur assigne (annexe I). Les grandes étapes pour la France sont les suivantes (La DCE est transposée en droit français par la loi n°2004-338 du 21 avril 2004):

2004 : présentation de l'état des lieux. Il permet l'identification des masses d'eau susceptibles de ne pas atteindre le bon état en 2015 et les questions importantes qui se posent au niveau du bassin.

2005 : début de la démarche de révision des schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE)

Décembre 2006 : mise en place d'un programme de surveillance de l'état des eaux et date limite pour la consultation du public sur le calendrier d'élaboration du plan de gestion

Décembre 2008 : Date limite pour la consultation du public sur le projet de plan de gestion.

2009 : Publication du premier plan de gestion et du programme de mesures correspondant au SDAGE révisé,

Décembre 2015 : Vérification de l'atteinte des objectifs, assortie si besoin d'un second plan de gestion ainsi que d'un nouveau programme de mesures

Décembre 2021 : Date limite pour le premier report de réalisation de l'objectif

Décembre 2027 : Dernière échéance pour la réalisation des objectifs

ANNEXE II : protocole

PROTOCOLE DE PRELEVEMENT

Cette méthodologie de prélèvement est basée sur un ouvrage d'hydrologie de référence d'Aminot et Kerouel (2004), nécessaire pour valoriser qualitativement les résultats et être rigoureux sur le long terme dans une série temporelle.

Afin, de familiariser les bénévoles avec le prélèvement, une formation sur le terrain est effectuée au départ avec l'animateur du réseau ECOFLUX. Puis, en début d'année scolaire et lors des collectes (tous les 45 jours), nous effectuons un bilan sur les prélèvements avec eux.

Voici les étapes pour prélever :

- 1) Rincer la bouteille de prélèvement 3 fois avec l'eau de la rivière.
- 2) Plonger la bouteille de prélèvement
- 3) Rincer les flacons 3 fois avec l'eau de la rivière ainsi que les bouchons et le filtre.
- 4) Positionner le filtre (de 200 μm) sur le flacon et verser l'eau de la rivière. Un crayon, rincé à l'eau de la rivière, peut être utilisé pour donner au filtre la forme de l'encolure du flacon.

Attention: les flacons qui vont au congélateur (nitrates et phosphates) ne doivent être remplis qu'à moitié. Le flacon des silicates peut être entièrement rempli (il va au réfrigérateur).

- 5) Rincer le filtre et la bouteille.

- 6) Indiquer sur chaque flacon:

- le nom et le numéro du site
- l'élément à mesurer (N03, P ou Si)
- la date.

| | |
|-------------------|---------|
| N° de rivière | ECOFLUX |
| Nom de la rivière | |
| Date | |

- 7) Remplir la fiche de prélèvement (nom de la rivière, numéro du site, nom de l'établissement, date de prélèvement, diverses observations).

- 8) Mettre les flacons de:

- silicates au réfrigérateur,
- nitrates au congélateur,
- phosphates au congélateur,

Le plus rapidement possible après le prélèvement afin d'éviter l'action des rayons du soleil (à cause des photons), une activité bactérienne ou des modifications physico-chimiques (tel que le passage du particulaire au dissous) qui changeraient les concentrations des éléments suivis.

9) Les flacons sont collectés tous les 6 semaines environ par l'animateur du réseau ECOFLUX puis déposés au LDV à Quimper pour les nitrates ou analysés directement à l'IUEM, pour les phosphates et les silicates.

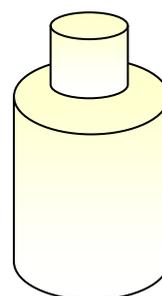
RECOMMANDATIONS GENERALES

1) Le prélèvement doit toujours se faire, chaque semaine, au même endroit, en suivant les indications sur la fiche rivière.

2) Éviter de mettre les doigts sur le matériel, notamment le filtre et l'encolure des flacons. L'eau ne doit jamais être en contact avec les mains (rappel : le savon contient en général des phosphates, le contact des doigts avec le filtre, les goulots ou les bouchons peut fausser les résultats en phosphates).

SILICATES

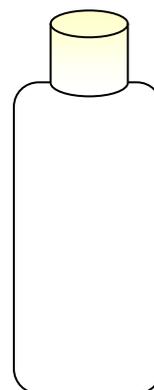
- Remplir entièrement
 - Placer au frigo
 - A conserver jusqu'à ce que je passe.
- 60 ml en plastique



NITRATES

- Remplir à moitié
- Placer au congélateur
- A conserver jusqu'à ce que je passe.

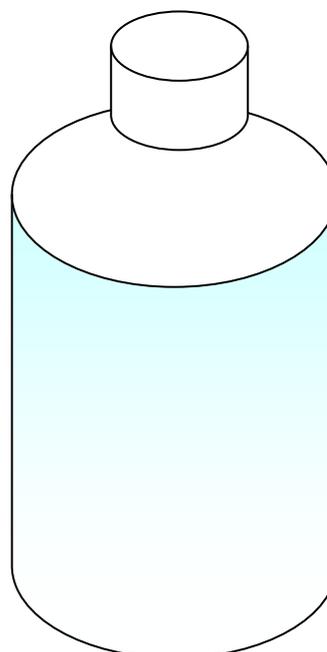
100 ml en plastique



PHOSPHATES

- Remplir à moitié
- Placer au congélateur
- A conserver jusqu'à ce que je passe.

250 ml en verre



ANNEXE III : classement BRGM

Classification des rivières en bassins versants (selon le BRGM)

| Classements rivières | des Rivières |
|-----------------------------------|--|
| | Douffine |
| Réserves souterraines faibles | Aulne Kerharo Lapic |
| Réserves souterraines moyennes | Penzé Elorn |
| | Dourduff |
| | Dossen |
| | Guillec |
| Réserves souterraines fortes | Flèche Quillimadec Ris Saint Laurent |

ANNEXE IV : fiches techniques

Fiche technique sur les sels nutritifs et les matériels et méthodes utilisées pour les analyses

Les nitrates :

L'origine des nitrates :

Les nitrates, de part le cycle de l'azote, ont une origine naturelle provenant de l'action des bactéries nitrifiantes qui oxydent l'ammonium lors de la nitrification (Voir figure 1, d'après site internet n°3). De plus, lors des orages, les décharges électriques produisent des ions nitrates par réaction entre le dioxygène et le diazote atmosphérique. Ils vont, eux aussi, retourner au sol via les eaux de pluie (Buchet, 2000).

Mais la majorité des nitrates provient des activités humaines et, notamment en Bretagne, de l'agriculture, de l'élevage (pour les deux tiers) mais aussi de l'assainissement et de l'industrie (pour le restant). En effet, depuis quelques années, la modernisation de l'agriculture a entraîné des modifications du milieu (Buchet, 2000) :

- Mise en place du remembrement qui élimine les talus et favorise le lessivage des sols
- Changements dans les pratiques agricoles avec une utilisation intensive d'engrais et de produits chimiques,
- Développement de l'élevage intensif
- Epandage des déjections riches en nitrates.

Le transfert des nitrates vers les cours d'eau (Buchet, 2000):

Le transfert d'un élément du sol vers les cours d'eau est lié aux précipitations qui offrent alors à cet élément trois types d'écoulement différents: (Voir figure 2, d'après site internet n°4.)

-Le ruissellement : L'écoulement superficiel est susceptible d'entraîner les particules situées à la surface.

-L'écoulement hypodermique : A une faible profondeur, l'infiltration de l'eau, forme des voies de circulation généralement, riches en sels nutritifs.

-L'infiltration : L'eau s'infiltré en profondeur en se chargeant en composés dissous. Ce type d'écoulement alimente les nappes phréatiques.

Ensuite, selon le débit de la rivière, l'abondance des précipitations et la taille des réserves souterraines, ces trois voies d'entrées jouent un rôle plus ou moins important dans le flux des nitrates. Ainsi, une réserve souterraine importante aura tendance à diluer les concentrations, surtout en période d'étiage où le ruissellement est très faible. A l'inverse, une faible réserve souterraine ne sera pas capable de diluer un apport important en cas de fortes précipitations et donc de ruissellement

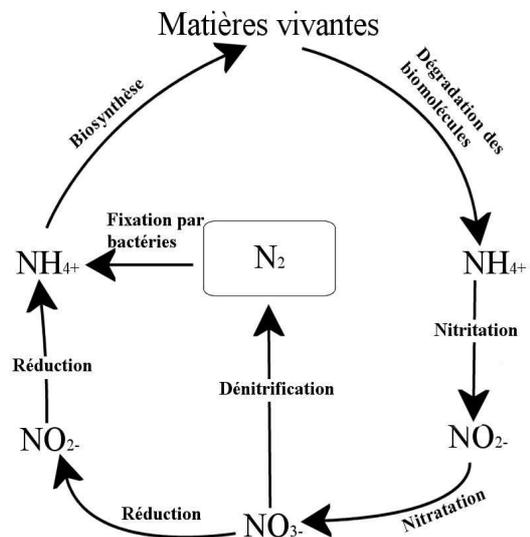


Figure 1 : Cycle de l'azote

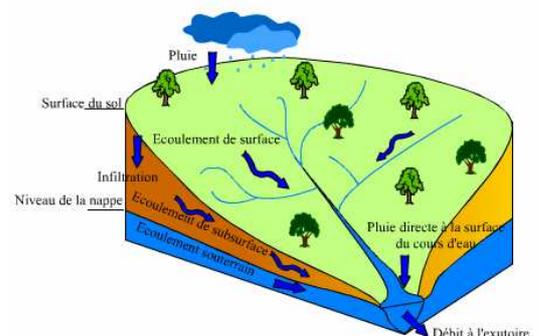


Figure 2 : Les différents types d'écoulement

important.

Dans le cas des nitrates, élément très soluble, les trois types d'écoulement sont utilisés, et c'est la nature du bassin versant qui va influencer sur le type d'écoulement préférentiellement emprunté.

1.1.3) Analyse des nitrates :

Principe de la réaction :

L'analyse des nitrates est effectuée par réduction des nitrates en nitrites puis analyse colorimétrique des nitrites. Les nitrates sont réduits en nitrites par une colonne réductrice cadmium-cuivre, puis les nitrites subissent une diazotation avec de la sulfanilamide. Le composé obtenu est alors analysé au spectrophotomètre. (Voir figure 3)

Protocole :

L'analyse des nitrates est confiée au Laboratoire Départemental Vétérinaire à Quimper. Le protocole utilisé est cité dans la norme NF EN ISO 13395.

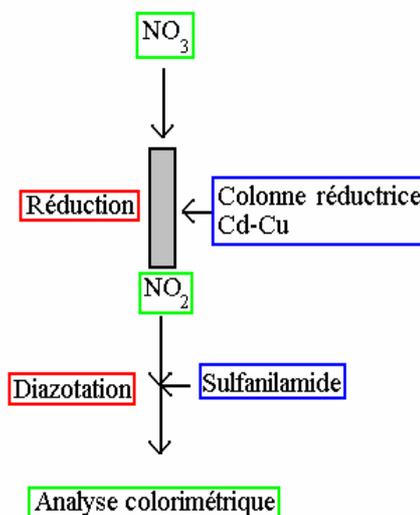


Figure3 : Principe de la réaction

Les phosphates :

2.1.) L'origine des phosphates :

Les phosphates sont naturellement présents dans les roches et, à la faveur de l'érosion, se retrouvent aussi dans les sols. Facilement adsorbables, ils restent fixés aux particules du sol. Une forte érosion peut alors entraîner ces particules riches en phosphates jusque dans les cours d'eau. (Voir figure 4.)

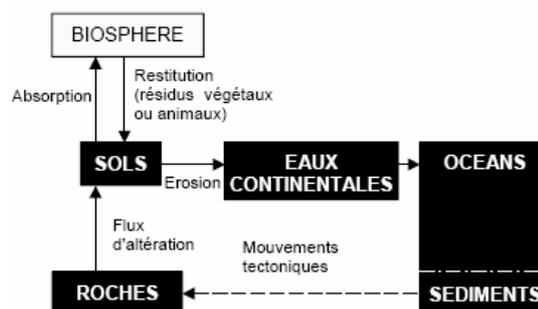


Figure 4 : Cycle du phosphore (Lemerrier, 2003)

Les phosphates sont utilisés très largement dans l'agriculture pour les engrais ou les pesticides et dans les déjections animales épandues. Cette source représente la moitié des apports de phosphates. L'autre moitié provient (Cann et al., 1999):

- Des rejets domestiques, peu ou pas retraités (notamment les lessives riches en phosphates),
- Des effluents d'usines pharmaceutiques et agro-alimentaires très nombreuses en Bretagne
- Du ruissellement urbain, qui constituent également des sources importantes de phosphates.

2.2.) Le transfert des phosphates vers les cours d'eau :

Le cycle du phosphore ne comprenant pas de phase gazeuse, le transport des phosphates est exclusivement effectué par les eaux. Il existe alors deux composés phosphorés susceptibles d'être retrouvés dans les cours d'eau, le phosphore particulaire et les orthophosphates. Ces deux composés ont des origines différentes (Veyssy, 1998) :

-Le phosphore particulaire provient en grande partie de l'érosion de roches qui alimente les cours d'eau en particules en suspension sur lesquelles il s'adsorbe. Mais il peut aussi provenir des effluents urbains ou industriels peu ou pas traités.

-Les orthophosphates sont la forme dissoute du phosphore. Ils proviennent essentiellement de l'épandage agricole, et c'est la seule forme de phosphore pouvant être captée par les végétaux.

Du fait de leur affinité avec les particules du sol, les phosphates n'atteignent pas les réserves d'eau souterraines et leur transport principal est donc le ruissellement.

2.3) Analyse des phosphates :

Principe de la réaction :

La méthode utilisée est adaptée de la méthode de Murphy et Riley (1962).

L'analyse des phosphates met en jeu la réaction entre les ions phosphates et un mélange de réactifs qui donnent une solution de couleur bleue, analysée au spectrophotomètre à 885 nm. Le mélange de réactifs est composée de :

-Molybdate d'ammonium : En réagissant avec les phosphates, ils forment un composé de couleur jaune, le phosphomolybdate d'ammonium.

-Acide sulfurique : La réaction se déroule en milieu acide.

-Acide ascorbique : Il réduit le phosphomolybdate d'ammonium pour donner une solution bleue.

-Solution d'oxotartrate de potassium et d'antimoine : L'antimoine permet de réduire le temps de réaction de 24 heures à quelques minutes. (Voir figure 5)

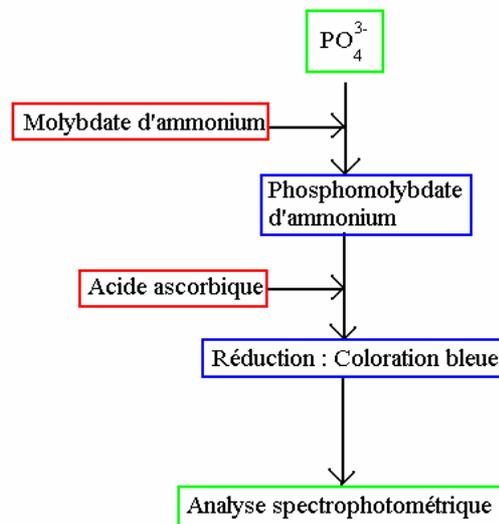


Figure 5 : Principe de la réaction

Protocole :

L'analyse est effectuée sur un spectrophotomètre SHIMADZU UV1700 à double faisceau, dans des cuves de verre de 5 cm de trajet optique (Voir figure 6). Les échantillons sont placés dans des flacons auxquels est ajouté un volume de réactif correspondant à un dixième du volume d'échantillon.

Après le passage de la gamme étalon de phosphates, l'appareil calcule la droite d'étalonnage puis déduit l'influence de la turbidité par comparaison entre deux cuves (avec et sans réactifs dans les échantillons). L'appareil mesure, alors, la valeur de l'absorbance pour chaque échantillon. C'est cette valeur qui sera entrée dans la base de données de façon à calculer la concentration des échantillons.



Figure 6 : Spectrophotomètre à double faisceau

Les silicates3.1.) Le transfert des silicates vers les cours d'eau :

La présence de silicates dans les rivières est généralement liée à la dissolution des frustules de diatomées (origine biologique) ou à l'érosion de la roche et des sols au moment des pluies. Une roche granitique (silicates de potassium + silicates d'aluminium) libérera plus de silicium qu'une roche schisteuse (silicates d'alumine hydratés) : ceci est lié au pH plus acide de l'eau entourant ce type de roche et favorisant l'érosion des roches. Les silicates ont donc une origine essentiellement naturelle.

Les silicates peuvent suivre les trois types d'écoulement, de la même façon que les nitrates. Leur rôle d'élément témoin est donc plus pertinent vis-à-vis des nitrates. La comparaison avec cet élément permet donc de définir une origine anthropique des nitrates. En effet, si on observe une augmentation des taux de nitrates en parallèle à une augmentation comparable au niveau des silicates, cette augmentation est due vraisemblablement aux fortes précipitations, plutôt qu'à un apport anthropique de nitrates.

Par contre, les phosphates ne suivant pas les mêmes voies, la comparaison entre silicates et phosphates est moins évidente à établir.

3.2.) Analyse des silicates :Principe de la réaction :

La méthode utilisée est celle de Le Corre et Tréguer (1976).

Le dosage des silicates repose sur la réaction entre les silicates et plusieurs réactifs, puis sur l'analyse colorimétrique du composé obtenu à 810 nm.

Les réactifs utilisés sont les suivants :

-Molybdate d'ammonium : Les ions molybdates réagissent avec les silicates et forment de l'acide silicomolybdique.

-Mélange d'acides sulfurique et oxalique : Permet d'assurer l'acidité du milieu pour la réaction.

-Sulfate de méthylamino-4-phénol (ou « métol ») et sulfite de sodium : Réduit le complexe formé en « bleu de molybdène ».

(Voir figure 7)

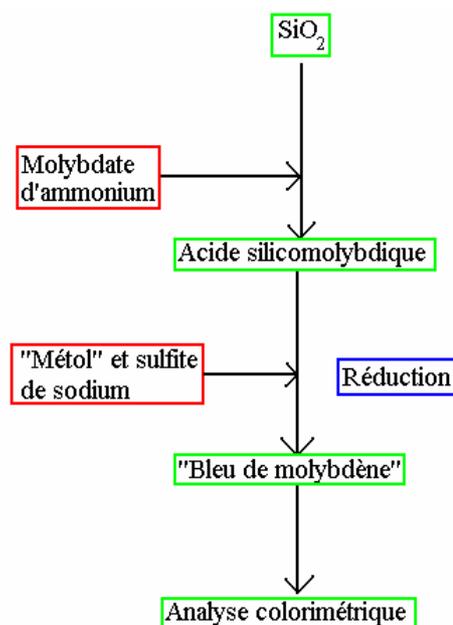


Figure 7 : Principe de la réaction

L'analyse est effectuée à l'aide d'un auto-analyseur AAIII numérique Technicon de Braun+Luebbe, à l'aide du logiciel AACE de Braun+Luebbe.

Protocole :

Le protocole est adapté de l'analyse des silicates dans l'eau de mer. Or, les teneurs en silicates en mer sont très faibles. Les échantillons doivent donc être dilués au 25^{ème} avant d'être analysés.

Le Technicon sert à analyser les silicates (Voir figure 8). Il est un analyseur automatisé et informatisé qui permet de réaliser des analyses de longue durée. Ainsi, le réseau dispose d'un protocole rapide lui permettant de passer les échantillons en triplicats pour plus de précision. Le Technicon permet aussi de réaliser la manipulation de façon

automatisée, ne nécessitant que des contrôles occasionnels du bon déroulement de la manipulation, lors de l'approvisionnement en échantillons du passeur.



Le Technicon se compose de cinq parties : le passeur d'échantillons, la pompe péristaltique, le circuit analytique, le colorimètre et l'ordinateur (A l'aide d'un logiciel fourni par le fabricant du Technicon)

Figure 8 : l'auto-analyseur – vue générale

Avant le lancement de la manipulation, il faut fixer une ligne de base (définie à 8 % par le réseau) et un gain, qui permettent à l'ordinateur de tracer un graphique. Le calcul des concentrations s'effectue donc de la ligne de base au pic de chaque échantillon. Le protocole adapté est ensuite chargé et les échantillons sont placés dans des godets sur le passeur.

La ligne de base pouvant varier au cours de la manipulation, chaque protocole prévoit, tous les dix échantillons, un nouveau calcul de la ligne de base et du gain, permettant de garantir la fiabilité des résultats.

ANNEXE V : Tests statistiques

| | Nitrates | | | Silicates | | | Phosphates | | | |
|--------------------|---------------|------|-------|---------------|------|-------|---------------|-------|-------|-------|
| Dourduff | 0 | 1999 | x | 0,2635 | 1999 | | 0 | 1999 | x x | |
| | | 2001 | x | | | 2001 | | | | x x |
| | | 2002 | x | | | 2002 | | | | x x |
| | | 2003 | x | | | 2003 | | | | x |
| | | 2004 | x | | | 2004 | | | | x x |
| | | 2005 | x x | | | 2005 | | | | x x |
| | | 2006 | x | | | 2006 | | | | x |
| | | 2007 | x x | | 2007 | | | x | | |
| Dossen | 0 | 1999 | x | 0,0008 | 1999 | x | 0 | 1999 | x x x | |
| | | 2001 | x | | | 2001 | | x | | x x |
| | | 2002 | x | | | 2002 | | x x | | x |
| | | 2003 | x | | | 2003 | | x | | x |
| | | 2004 | x | | | 2004 | | x x | | x x |
| | | 2005 | x x | | | 2005 | | x x | | x x |
| | | 2006 | x | | | 2006 | | x | | x x x |
| | | 2007 | x x | | 2007 | x x | | x x | | |
| Penzé | 0 | 1999 | x | 0 | 1999 | x x | 0 | 1999 | x x x | |
| | | 2001 | x | | | 2001 | | x | | x |
| | | 2002 | x | | | 2002 | | x | | x x |
| | | 2003 | x | | | 2003 | | x | | x |
| | | 2004 | x | | | 2004 | | x | | x x |
| | | 2005 | x | | | 2005 | | x x | | x x x |
| | | 2006 | x | | | 2006 | | x | | x |
| | | 2007 | x | | 2007 | x | | x x | | |
| Guillec | 0 | 1999 | x x | 0 | 1999 | x x | 0 | 1999 | x | |
| | | 2001 | x | | | 2001 | | x | | x |
| | | 2002 | x x | | | 2002 | | x x | | x |
| | | 2003 | x x x | | | 2003 | | x | | x |
| | | 2004 | | | | 2004 | | x x | | x |
| | | 2005 | x | | | 2005 | | x x x | | x |
| | | 2006 | x x x | | | 2006 | | x x | | x x |
| | | 2007 | x | | 2007 | x x | | x | | |
| Flèche | 0 | 1999 | x | 0,022 | 1999 | x x | 0,0402 | 1999 | x | |
| | | 2001 | x | | | 2001 | | x | | x x |
| | | 2002 | x x | | | 2002 | | x x | | x |
| | | 2003 | x x | | | 2003 | | x x x | | x x x |
| | | 2004 | x x x | | | 2004 | | x x | | x x |
| | | 2005 | x x x | | | 2005 | | x | | x |
| | | 2006 | x x | | | 2006 | | x x | | x x x |
| | | 2007 | x | | 2007 | x x | | x x | | |
| Quillimadec | 0,0065 | 1999 | x | 0,3791 | 1999 | | 0,003 | 1999 | x | |
| | | 2001 | x x | | | 2001 | | | | x |
| | | 2002 | x x | | | 2002 | | | | x |
| | | 2003 | x x x | | | 2003 | | | | x |
| | | 2004 | x x x | | | 2004 | | | | x x |
| | | 2005 | x | | | 2005 | | | | x |
| | | 2006 | x x x | | | 2006 | | | | x |
| | | 2007 | x x | | 2007 | | x x | | | |
| Elorn | 0,0001 | 1999 | x | 0 | 1999 | x x | 0 | 1999 | x | |
| | | 2001 | x | | | 2001 | | | | x |
| | | 2002 | x | | | 2002 | | x | | x x x |
| | | 2003 | x x | | | 2003 | | x x | | x x |
| | | 2004 | x x | | | 2004 | | x x | | x x |
| | | 2005 | x | | | 2005 | | x x | | x x |
| | | 2006 | x x | | | 2006 | | x x | | x x |
| | | 2007 | x | | 2007 | x | | x | | |
| Douffine | 0 | 1999 | x | 0,0168 | 1999 | x x x | 0 | 1999 | x | |
| | | 2001 | x x | | | 2001 | | x x | | x |
| | | 2002 | x x | | | 2002 | | x x | | x |
| | | 2003 | x | | | 2003 | | x x | | x |
| | | 2004 | x x | | | 2004 | | x | | |
| | | 2005 | x x | | | 2005 | | x x | | |
| | | 2006 | x x | | | 2006 | | x x x | | x |
| | | 2007 | x | | 2007 | x | | x | | |

Résultat du test Anova :
si $< 0,05$ les moyennes
annuelles sont statistiquement
différentes

| | | |
|--------|------|-----|
| 0,0250 | 1999 | x |
| | 2001 | x |
| | 2002 | x |
| | 2003 | x x |
| | 2004 | x |

Résultats du test des étendues multiples :
définition des groupes homogènes

Dans chaque colonne, les niveaux contenant des x forment un groupe homogène desquels il n'existe pas de différences statistiquement significatives au niveau de confiance de 95%.

Cette procédure calcule une analyse de la variance à un facteur pour l'un des paramètres (nitrate ou silicate ou phosphate). Elle affiche divers tests pour comparer les valeurs moyennes du paramètre pour les 5 années suivies. Le test ANOVA teste s'il y a des différences significatives entre les moyennes. S'il y en a, le test des étendues multiples indiquent quelles moyennes sont significativement différentes les uns des autres.

Ex de résultats:

Ici, comme la valeur de probabilité pour le test ANOVA est inférieure à 0,05 au niveau de confiance de 95% (erreurs acceptées ou $\alpha=5\%$), il existe une différence statistiquement significative entre les moyennes du paramètre étudié.

Pour déterminer quelles moyennes sont significativement différentes les uns des autres, nous utilisons le test des étendues multiples :

Ici, le test présente deux colonnes donc les années 1999, 2001, 2003, 2004 forment un 1^{er} groupe homogène et 2002, 2003 forment un 2^{ème} groupe homogène.

Nous pouvons donc en conclure : à $\alpha=5\%$, qu'il existe des différences significatives entre l'année 2002 et le groupe des années (1999, 2001, 2004). Par contre, l'année 2003 appartenant aux deux groupes, nous ne pouvons pas dire si la différence est

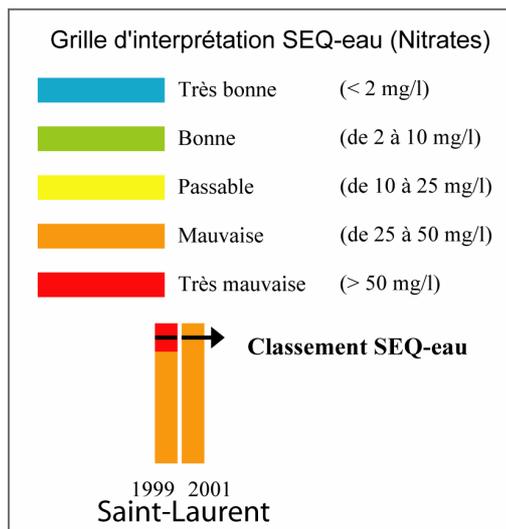
| | Nitrates | | | Silicates | | | Phosphates | | | | | | | |
|----------------------|----------|------|---|-----------|--------|------|------------|---|--------|------|------|------|---|---|
| Aulne | 0,0003 | 1999 | | x | 0 | 1999 | x | x | 0,0526 | 1999 | | | | |
| | | 2001 | x | x | | 2001 | x | | | 2001 | | | | |
| | | 2002 | x | x | | x | 2002 | x | | x | 2002 | | | |
| | | 2003 | x | | | | 2003 | x | | | 2003 | | | |
| | | 2004 | x | x | | | 2004 | x | | x | 2004 | | | |
| | | 2005 | x | x | | | 2005 | x | | | 2005 | | | |
| | | 2006 | x | x | | | 2006 | x | | x | 2006 | | | |
| | | 2007 | x | x | | | 2007 | x | | | 2007 | | | |
| Kerharo | 0 | 1999 | | x | 0,0057 | 1999 | x | | 0,0027 | 1999 | x | x | | |
| | | 2001 | | x | | x | 2001 | x | | x | 2001 | x | x | |
| | | 2002 | | x | | x | 2002 | x | | | 2002 | x | x | |
| | | 2003 | x | x | | | 2003 | x | | | 2003 | x | | |
| | | 2004 | x | x | | x | 2004 | x | | x | 2004 | x | | |
| | | 2005 | x | x | | x | 2005 | x | | x | 2005 | x | x | |
| | | 2006 | x | x | | | 2006 | x | | x | 2006 | x | x | |
| | | 2007 | x | | | | 2007 | x | | x | 2007 | x | | |
| Lapic | 0 | 1999 | | x | 0,0085 | 1999 | x | | 0 | 1999 | x | x | | |
| | | 2001 | | x | | 2001 | x | x | | 2001 | x | x | | |
| | | 2002 | | x | | x | 2002 | x | | x | 2002 | x | x | |
| | | 2003 | x | x | | | 2003 | x | | | 2003 | | x | |
| | | 2004 | x | x | | | 2004 | x | | x | x | 2004 | x | x |
| | | 2005 | x | x | | | 2005 | x | | | 2005 | x | x | |
| | | 2006 | x | | | | 2006 | x | | x | 2006 | x | x | |
| | | 2007 | x | x | | | 2007 | x | | x | 2007 | x | | |
| Ris | 0,007 | 1999 | | x | 0 | 1999 | x | | 0,0001 | 1999 | x | | | |
| | | 2001 | | x | | x | 2001 | x | | | 2001 | x | | |
| | | 2002 | | x | | | 2002 | x | | | 2002 | x | | |
| | | 2003 | x | x | | | 2003 | x | | | 2003 | x | | |
| | | 2004 | x | x | | | 2004 | x | | | 2004 | x | | |
| | | 2005 | x | | | | 2005 | x | | | 2005 | x | | |
| | | 2006 | x | | | | 2006 | x | | | 2006 | x | | |
| | | 2007 | x | | | | 2007 | x | | | 2007 | x | | |
| Saint Laurent | 0 | 1999 | | x | 0 | 1999 | x | | 0,8569 | 1999 | | | | |
| | | 2001 | | x | | x | 2001 | x | | | 2001 | | | |
| | | 2002 | x | x | | | 2002 | x | | | 2002 | | | |
| | | 2003 | x | x | | | 2003 | x | | x | 2003 | | | |
| | | 2004 | x | | | | 2004 | x | | | 2004 | | | |
| | | 2005 | x | x | | | 2005 | x | | x | 2005 | | | |
| | | 2006 | x | | | | 2006 | x | | | 2006 | | | |
| | | 2007 | x | | | | 2007 | x | | | 2007 | | | |

Remarques : De gauche à droite, les colonnes représentent des concentrations croissantes du paramètre.

ANNEXE VI : Le SEQ-Eau

L'état qualitatif des rivières, des plans d'eau, des eaux souterraines et des eaux littorales est évalué depuis 1999 au moyen du SEQ-Eau (Système d'évaluation de la Qualité de l'eau). Le SEQ-Eau considère l'aptitude de l'eau à assurer certaines fonctionnalités : maintien des équilibres biologiques, production d'eau potable, loisirs et sports aquatiques, aquaculture, abreuvement des animaux et irrigation.

L'évaluation de la qualité est réalisée au moyen de 15 indicateurs (appelés "altérations" : nitrates, phosphates, pesticides, etc.) regroupant 156 éléments de qualité. Pour chaque indicateur, l'évaluation produit un indice subdivisé en 5 classes représentées par une couleur, du bleu (très bon) au rouge (très mauvais). Ce classement correspond aux mesures donnant la moins bonne qualité de l'eau, à condition qu'elle soit constatée dans au moins 10% des mesures (règle du "quantile 90" ; représentée par une flèche →) (figure 1).



Ex sur l'indicateur « Nitrates »:

Le classement SEQ-Eau en 1999 du St Laurent est une eau de « **très mauvaise** » qualité sur le nitrate puisque qu'elle correspond aux mesures donnant la moins bonne qualité de l'eau observée (ici, très mauvaise), constatée dans plus de 10 % des mesures. En 2001, aucune mesure n'est de « très mauvaise » qualité en nitrates et plus de 10 % des mesures sont de « mauvaise » qualité ; le classement est donc de « **mauvaise qualité** » en

Figure 1 : grille d'interprétation SEQ eau pour le nitrate

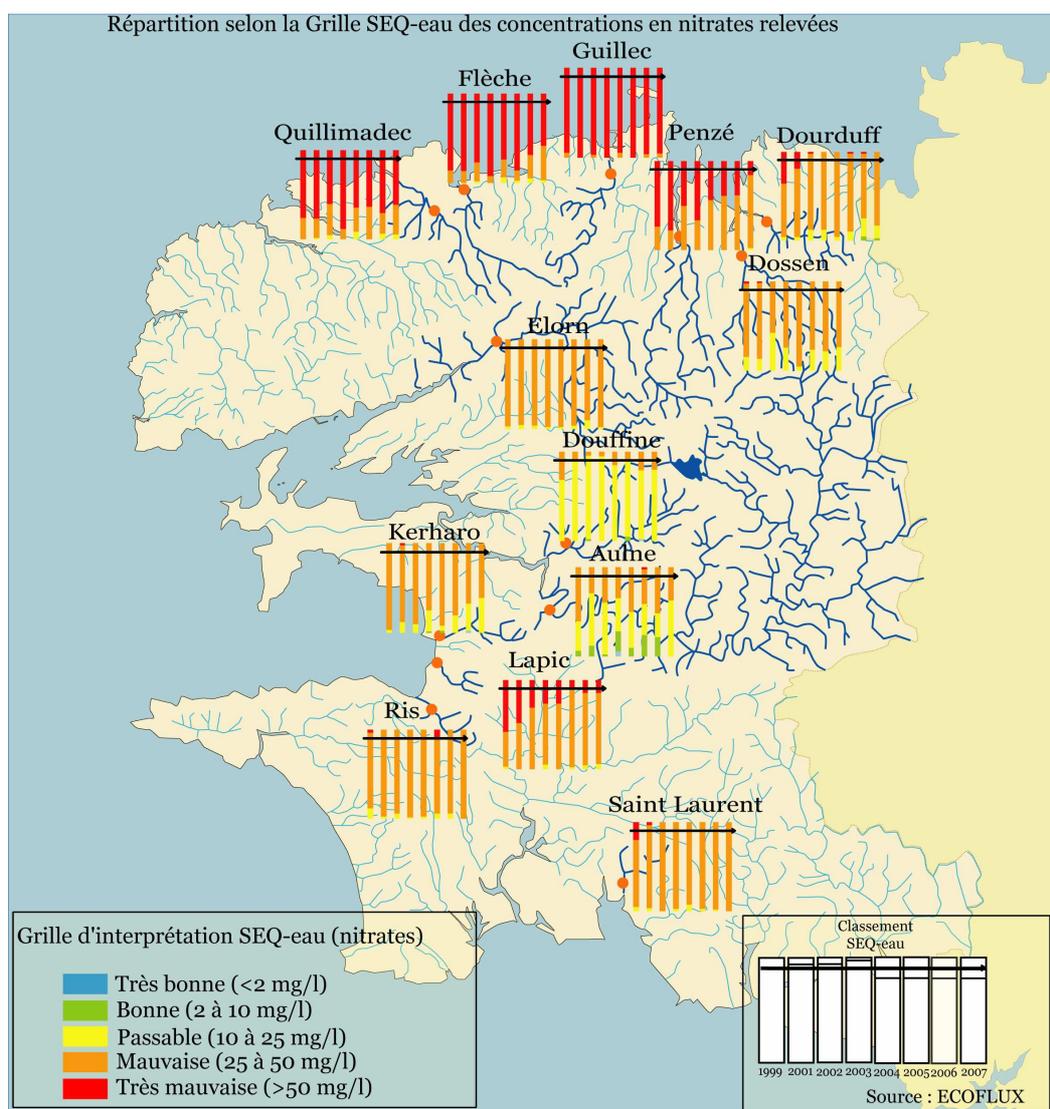
Ainsi, suivant le classement annuel obtenu, l'utilisation de l'eau pourra être défini (figure 2)

| Classes d'aptitudes de l'eau | | | | | |
|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| | Très bonne | Bonne | Passable | Mauvaise | Très mauvaise |
| BIOLOGIE | Tous taxons présents | Taxons sensibles absents | Taxons absents nombreux | Diversité faible | Diversité très faible |
| EAU POTABLE | Acceptable | Traitement simple | Traitement classique | Traitement complexe | Inapte |
| LOISIRS | Optimal | | Acceptable | | Inapte |
| IRRIGATION | Plantes très sensibles Tous sols | Plantes sensibles Tous sols | Plantes tolérantes Sols alc/neut | Plantes très tolérantes Sols alc/neut | Inapte |
| ABREUVAGE | Tous animaux | | Animaux matures | | Inapte |

figure 2: Classes d'aptitudes de l'eau (site internet n°4)

La figure 10 présente les classements SEQ-eau (Système d'Évaluation de la Qualité de l'eau), outil commun aux organismes responsables de la surveillance de la qualité de l'eau, établis pour les années de 1999 et 2007 à l'exception de 2000 pour le paramètre nitrates d'après les résultats du réseau. La présentation proposée permet de visualiser l'importance relative de chaque classe sur l'ensemble des prélèvements réalisés dans l'année considérée. Pour illustrer, l'annexe X explique et présente un exemple de classification SEQ-eau.

Malgré une tendance générale à la baisse sur l'ensemble des fleuves suivis, observée depuis 1999 des teneurs en nitrates, le classement SEQ-eau met en évidence la qualité médiocre (passable à très mauvaise) des eaux de l'ensemble des rivières suivies.



Les rivières les plus mal notées sont localisées, comme les années précédentes, dans le Léon (Nord Finistère) où l'activité agricole est plus intense. Ainsi, comme en 2006, cinq rivières (Penzé, Guillec, Quillimadec, Flèche et Lapic) ont été classées, pour ce paramètre, en eau de très mauvaise qualité, et ce depuis 1999. L'Aulne et la Douffine présentent les meilleurs résultats malgré une légère dégradation de la qualité de eaux au cours de l'année dernière. Le Dourduff, la Penzé, la Flèche, et le Kerharo montrent, quant à eux, de réelle diminution des concentrations en nitrates en 2007 dans leurs eaux.

Les différences parfois importantes observées entre 2003 et 2004 sont sans doute à mettre en relation avec la sécheresse de l'été 2003. En effet, il est possible de remarquer que les concentrations en nitrates avaient fortement diminué dans les rivières à faibles réserves souterraines pendant l'été 2003 (Maguer M. et al, 2004 -annexe VII).

ANNEXE VII : interventions ECOFLUX

Recensement et utilisation des données du réseau ECOFLUX (année en cours)*

| Année | Nom du Destinataire | Fonction | Organisme | Données Rivière | Destination des données |
|-------------------|------------------------------|--|--|--|--|
| 2008 | Mélanie JACOB | Animatrice de bassin versant | Syndicat Mixte des Eaux du Bas-Léon | Flèche Quillimadec | Elaboration du SAGE du Bas-Léon |
| | Corine MADEC | Stagiaire | Communauté de communes de Châteaulin et du Porzay | Lapic Kerharo | Etude suivi de la qualité de l'eau dans le cadre du programme bassin versant algues vertes |
| | Jacques LE GUEN | Président Communauté de communes Baie du Keric | Service Espace Naturel (maison des dunes) | La Flèche | Connaissances des prélèvements effectués et à venir |
| | Emmanuelle LE GAD | Animatrice de bassin versant | Communauté de commune du Pays de Lesneven et de la côte des légendes | Quillimadec | Communication sur l'évolution de la qualité de l'eau |
| | Gwénaél CAREER | Agent Communauté de communes | Communauté de communes de Châteaulin et du Porzay | Kerharo Lapic | Etude sur le fonctionnement du marais de Kervigen |
| | Jérôme JAFFRAIN | Postdoctorant | UMR SAS, INRA Rennes | Aulne Elorn Douffine | modélisation |
| | Jean-François GUILLAUD | Chercheur | IFRREMER | Toutes les rivières sauf la Penzé | Rapport interne sur la relation concentration débits |
| | Johan CHEVEAU | Animateur BV | Syndicat du Haut Léon et de l'Horn | Guillec et Penzé | Intégration dans la base de données |
| | Marie CZAMANSKI | Stagiaire MII | LEMAR | Aulne Elorn | Mémoire de stage |
| Emmanuelle LE GAD | Animatrice de bassin versant | Communauté de commune du Pays de Lesneven et de la côte des légendes | Quillimadec | Communication sur l'évolution de la qualité de l'eau | |

ANNEXE VIII : objectifs du SAGE

| Nom rivière | Code de la masse d'eau | Nom de la masse d'eau | Masse d'eau fortement modifiée / masse d'eau artificielle | Objectif Etat écologique | | Objectif Etat chimique | | Objectif état global | |
|---------------------------|------------------------|--|---|--------------------------|--------------------------|------------------------|---------------------|----------------------|--------------------------|
| | | | | Objectif Etat écologique | Délai Etat écologique | Objectif Etat chimique | Délai Etat chimique | Objectif Etat global | Délai Etat Global |
| RIVIERE | EU_CD | NAME | MEFM | Objectif Etat écologique | Nouveaux Délais Nov 2008 | Objectif Etat chimique | Délai Etat chimique | Objectif Etat global | Nouveaux Délais Nov 2008 |
| DOURDUFF | FRGR0050 | LE DOURDUFF DEPUIS LANMEUR JUSQU'A L'ESTUAIRE | NATURELLE | Bon Etat | 2015 | Bon Etat | 2015 | Bon Etat | 2015 |
| Rivière - Morlaix, DOSSÉN | FRGT06 | | | Bon état | 2015 | Bon état | 2021 | Bon état | 2021 |
| PENZE | FRGR0053 | LA PENZE DEPUIS PLOUNEOUR-MENEZ JUSQU'A L'ESTUAIRE | NATURELLE | Bon Etat | 2015 | Bon Etat | 2015 | Bon Etat | 2015 |
| GUILLEC | FRGR0058 | LE GUILLEC DEPUIS PLOUGAR JUSQU'A L'ESTUAIRE | NATURELLE | Bon Etat | 2021 | Bon Etat | 2015 | Bon Etat | 2021 |
| FLECHE | FRGR0059 | LA FLECHE DEPUIS BODILIS JUSQU'A L'ESTUAIRE | NATURELLE | Bon Etat | 2027 | Bon Etat | 2015 | Bon Etat | 2027 |
| QUILLIMADEC | FRGR0060 | LE QUILLIMADEC DEPUIS PLOUIDER JUSQU'A L'ESTUAIRE | NATURELLE | Bon Etat | 2021 | Bon Etat | 2015 | Bon Etat | 2021 |
| ELORN | FRGR0066c | L'ELORN DEPUIS LA CONFLUENCE DU QUILLIVARON JUSQU'A L'ESTUAIRE | NATURELLE | Bon Etat | 2015 | Bon Etat | 2015 | Bon Etat | 2015 |
| ELORN | FRGR0066b | L'ELORN DEPUIS LA RETENUE DU DRENNEC JUSQU'A SA CONFLUENCE AVEC LE QUILLIVARON | NATURELLE | Bon Etat | 2015 | Bon Etat | 2015 | Bon Etat | 2015 |
| DOUFFINE | FRGR0074 | LA DOUFFINE DEPUIS PLEYBEN JUSQU'A SA CONFLUENCE AVEC L'AULNE | NATURELLE | Bon Etat | 2015 | Bon Etat | 2015 | Bon Etat | 2015 |
| AULNE | FRGR0054 | L'AULNE DEPUIS CARNOET JUSQU'A SA CONFLUENCE AVEC L'ELLEZ | NATURELLE | Bon Etat | 2015 | Bon Etat | 2015 | Bon Etat | 2015 |
| AULNE | FRGR0056b | L'AULNE DEPUIS CHATEAULIN JUSQU'A L'ESTUAIRE | MEFM | Bon Potentiel | 2015 | Bon Potentiel | 2015 | Bon Potentiel | 2015 |

| Nom rivière | Code de la masse d'eau | Nom de la masse d'eau | Masse d'eau fortement modifiée / masse d'eau artificielle | Objectif Etat écologique | | Objectif Etat chimique | | Objectif état global | |
|---------------|------------------------|---|---|--------------------------|--------------------------|------------------------|---------------------|----------------------|--------------------------|
| | | | | Objectif Etat écologique | Délai Etat écologique | Objectif Etat chimique | Délai Etat chimique | Objectif Etat global | Délai Etat Global |
| RIVIERE | EU_CD | NAME | MEFM | Objectif Etat écologique | Nouveaux Délais Nov 2008 | Objectif Etat chimique | Délai Etat chimique | Objectif Etat global | Nouveaux Délais Nov 2008 |
| AULNE | FRGR0055 | L'AULNE DEPUIS LA CONFLUENCE DE L'ELLEZ JUSQU'A SA CONFLUENCE AVEC LE CANAL DE NANTES A BREST | NATURELLE | Bon Etat | 2015 | Bon Etat | 2015 | Bon Etat | 2015 |
| AULNE | FRGR0056a | L'AULNE DEPUIS LA CONFLUENCE DU CANAL DE NANTES A BREST JUSQU'A CHATEAULIN | MEFM | Bon Potentiel | 2015 | Bon Potentiel | 2015 | Bon Potentiel | 2015 |
| KERHARO | FRGR0075 | LE KER HA RO DEPUIS CAST JUSQU'EN BAIE DE DOUARNENEZ | NATURELLE | Bon Etat | 2015 | Bon Etat | 2015 | Bon Etat | 2015 |
| LAPIC | FRGR1324 | LE LAPIC ET SES AFFLUENTS DEPUIS LA SOURCE JUSQU'A L'EMBOUCHURE | NATURELLE | Bon Etat | 2027 | Bon Etat | 2015 | Bon Etat | 2027 |
| RIS (NEVET) | FRGR0077 | LE RIS (NEVET) DEPUIS PLOGONEC JUSQU'A SON ESTUAIRE | NATURELLE | Bon Etat | 2015 | Bon Etat | 2015 | Bon Etat | 2015 |
| SAINT LAURENT | FRGR1250 | LE SAINT LAURENT ET SES AFFLUENTS DEPUIS LA SOURCE JUSQU'A LA MER | NATURELLE | Bon Etat | 2015 | Bon Etat | 2015 | Bon Etat | 2015 |

Les objectifs ont été fournis par l'agence de l'eau Loire Bretagne.

Bibliographie

- AUROUSSEAU P., VINSON J., DE BARMON V., MORISSON C., PRIOUL F., 2003. Calculs des flux annuels et des flux spécifiques annuels d'azote nitrique des principaux fleuves et rivières de Bretagne. *Rapport ENSAR*, 25p.
- AUROUSSEAU P., VINSON J., 2004. Mise en évidence de cycles pluriannuels relatifs aux concentrations et aux flux de nitrates dans les bassins versants de Bretagne. Conséquences pour l'interprétation de l'évolution de la qualité de l'eau. *Article en cours*, 18p.
- BUCHET R., 2000, Identification des voies d'écoulement drainant les sels nutritifs et des interactions biogéochimiques intervenant lors de leur transfert aux cours d'eau. *Rapport de stage. Université de Bretagne Occidentale*. 25 p.
- CANN C., BORDENAVE P., SAINT-CAST P., BENOIST J. C., 1999. Transfert et flux de nutriments - Importance des transports de surface et de faible profondeur. *In Actes de colloques 'Pollutions diffuses : du bassin versant au littoral'.* Ifremer, 125-140.
- CONLEY D. J., PEARL W. H., HOWARTH W. R., BOESCH D. F., SEITINGER S. P. HAVENS K.E., LANCELOT C. LIKENS G. E., 2009. Controlling eutrophication : nitrogen and phosphorus. *Sciences* vol. 323.
- DOUARD A.S., 2002 Recueil de données hydrologiques et géologiques sur les bassins versants ECOFLUX. Réseau ECOFLUX, 48p.
- GUILLEMANT C., 2003. Etude comparative de cinq bassins versants suivis par le réseau ECOFLUX. Rapport de stage. Réseau ECOFLUX, 57p.
- FRANCOIS O., 1994. Modélisation empirique des transferts de phosphore dans des bassins versants ruraux. *Mémoire de DAA génie de l'environnement, option transferts hydriques et énergétiques. Cemagref, Ensa Rennes*, p64.
- JEGOU R., 1999. Analyse et interprétation des teneurs en sels nutritifs des rivières finistériennes pour l'année 98-99. Rapport de stage. Réseau ECOFLUX, 46p.
- LE BAILL C., POULINE P., 2007, Evolution des nitrates sur les bassins versants du réseau ECOFLUX. *Rapport de stage. IUEM*. p23.
- LE CORRE, P., TREGUER, P., 1976, Contribution à l'analyse automatique des sels nutritifs dans l'eau de mer, p57 à 101.
- LEMERCIER B, 2003, La pollution par les matières phosphorées en Bretagne. Rapport DIREN Bretagne. p85.
- MARTIN C, 2003. Mécanismes hydrologiques et hydrochimiques impliqués dans les saisonnières des teneurs en nitrate dans les bassins versants agricoles : approche expérimentale et modélisation. Thèse. INRA Rennes. p255.
- MARTIN., AQUILINA L., GASCUEL-ODOUX C., MOLENAT J., FAUCHEUX M. AND RUIZ L. 2004. Seasonal and inter-annual variations of nitrate and chloride in streamwaters related to spatial and temporal patterns of groundwater concentrations in agricultural catchments, *Hydrological Processes*, 18, 1237-1254
- MEUNIER J.-D, 2003, Le rôle des plantes dans le transfert du silicium à la surface des continents, *C. R. Geoscience* 335
- MURPHY, J., RILEY, JP, 1962, A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters, *Analytica chem. Acta* (27), p31 à 36.
- PIRIOU J. Y., SOUCHU P., 2001. Le rôle des bassins versants dans le calendrier des apports terrigènes de nutriments. In Rapport IFREMER 'L'eutrophisation des eaux marines et saumâtres en Europe, en particulier en France'. Ifremer, 23-26.

TURNER R.E., RABALAIS N.N, JUSTIC D. and DORTCH Q., 2002, Global patterns of dissolved N, P and Si in large rivers, *Biogeochemistry*, 64: 297–317.

TEXERAUD S., POULINE P., 2007. Le réseau ECOFLUX : Présentation des bassins versants. Fiches techniques. *Rapport de stage. IUEM*. p53.

Sites internet :

- 1- http://www.ceva.fr/fr/environnement/prolitto_suivi.php3.
- 2- http://www.eau-loire-bretagne.fr/sdage_et_sage/etat_des_lieux/document_etat_des_lieux/ELV4_chap7.pdf
- 3 - <http://lionsfamily.chez-alice.fr/pages/azote.htm>
- 4- <http://hydram.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre5/chapitre5.html>
- 5- <http://sandre.eaufrance.fr/IMG/pdf/SEQ-Eau.pdf>