

Commission Locale de l'Eau de la baie de Saint-Brieuc

JOURNEE D'ECHANGES SUR LA CONNAISSANCE DES MAREES VERTES

12 novembre 2015

Schéma d'Aménagement
et de Gestion des Eaux
SAGE
de la Baie de Saint-Brieuc


Commission Locale de l'Eau
de la baie de Saint-Brieuc


PAYS de SAINT-BRIEUC
Etablissement Public Territorial de Bassin


Bassin versant du
Guéssant


COMMUNAUTÉ DE COMMUNES
CÔTE DE PENTHIÈVRE


SAINT-BRIEUC
Agglomération
Baie d'Armor
www.saintbrieuc-agglo.fr


SMEGA
Territoires & Environnements

Intervention de M. Jean-Luc BARBO, Président de la CLE, en ouverture de la journée

Cette journée a été proposée afin que les membres de la CLE mais plus largement l'ensemble des acteurs concernés par le plan de lutte sur la baie de Saint-Brieuc puissent bénéficier des connaissances nécessaires pour comprendre le phénomène et la façon dont on agit et dont on peut envisager agir pour la suite.

Une journée similaire avait été organisée le 25 juin 2009 et elle a été essentielle à la Commission Locale de l'Eau pour bâtir sa stratégie de réduction des flux d'azote. C'est cette stratégie qui a été ensuite mise en œuvre dans le cadre du Plan de lutte. C'est à ne pas oublier : la stratégie a été construite ici, par l'ensemble des acteurs, à partir d'une connaissance pointue et partagée du phénomène : elle n'a pas été imposée d'en haut, et elle ne pouvait pas l'être.

Cette journée a été jugée nécessaire afin de faire le point, six ans plus tard, d'une part sur l'état des connaissances - à partir des derniers travaux menés sur le sujet par les partenaires scientifiques ; mais également et d'autre part sur nos interrogations, après quatre à cinq ans de mise en œuvre des actions, et au vu des premiers résultats.

Il est indispensable que tous les participants aux débats concernant le SAGE et le Plan de lutte disposent d'une connaissance approfondie de ce sujet complexe. On ne peut que regretter une nouvelle fois, à ce propos, que ce ne soient pas toujours ceux qui travaillent le plus sur le sujet dont la voix est entendue ou relayée.

Intervention de Jean-Yves LOYER, Président de la Commission agriculture et gestion de l'espace

L'objectif aujourd'hui est de mettre à jour notre connaissance du phénomène des marées vertes, son évolution, mais aussi son suivi : comment mesure-t-on les quantités d'algues qui sont échouées, comment cela évolue, quel lien avec l'évolution des flux qui les nourrissent et les actions que nous mettons en place ? Quelles questions cela pose ? Il s'agit de commencer aujourd'hui à poser les bases de travail pour la suite, pour le long terme, pour les décisions que nous aurons à prendre demain quant à l'avenir des actions sur la baie de Saint-Brieuc.

Pour continuer à agir, il nous faut en effet bien partager la connaissance que l'on a du phénomène, qui est complexe : identifier ce que l'on sait, ce que l'on peut prévoir, ce que l'on sait moins et dégager en conséquence nos besoins en termes de connaissance et de compréhension.

La prise de parole au cours de cette journée doit être la plus libre possible, il s'agit d'une journée d'échanges et de travail et chacun pourra poser ses questions aux intervenants au cours des exposés.

Le présent compte-rendu entend rendre compte à la fois des interventions mais également des échanges tenus au cours de la journée.

Sommaire

1. Introduction 3

Présentation de W. MESSIEZ-POCHE, EPTB Baie de Saint-Brieuc

Echanges/Débat

2. Proliférations macro-algues en baie de Saint-Brieuc, caractérisation et grille d'évaluation 7

Rappels sur le phénomène 7

Suivi des proliférations 9

Evolution du phénomène 12

Présentation de S. BALLU, CEVA

Echanges/Débat

3. Evaluation de l'état de la masse d'eau littorale sur le paramètre « bloom à macro-algues » dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau 17

Présentation de S. BALLU, CEVA

Echanges/Débat

4. Les mécanismes de transfert de l'azote vers les milieux littoraux..... 20

Le lien entre pratiques agricoles et flux d'azote aux exutoires 21

Le cycle de l'eau et les processus hydrologiques 22

Le rôle particulier des zones humides 23

Variations saisonnières des teneurs en nitrates..... 23

Variations saisonnières des teneurs en nitrates : conclusion..... 25

Comment l'azote est lessivé se transfère à l'exutoire ? 25

Conclusion 27

Présentation de P. DURAND, INRA

Echanges/Débat

5. Les travaux de modélisation des flux en baie de Saint-Brieuc..... 30

Principe général du modèle TNT2 utilisé..... 30

Ce que le modèle prend en compte, ce qu'il ne prend pas en compte..... 31

Les performances de prédiction du modèle..... 31

Présentation de P. DURAND, INRA

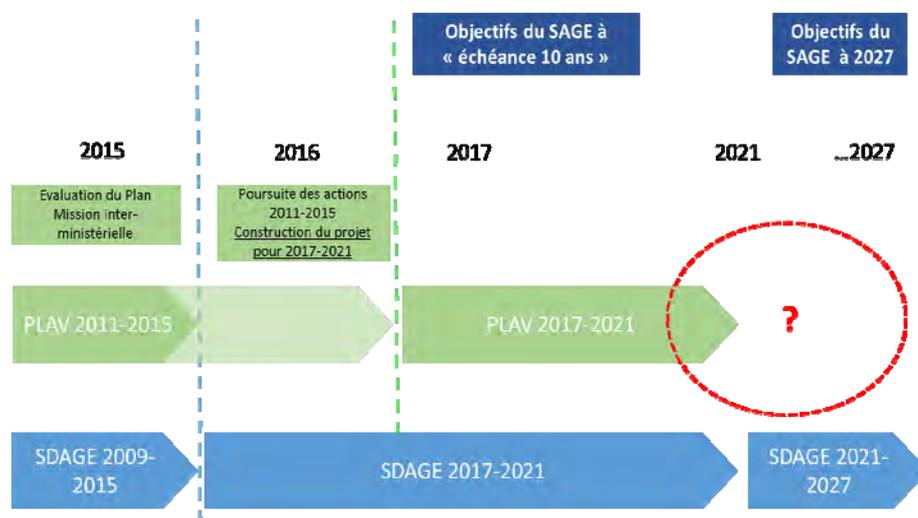
Echanges/Débat

1. Introduction

Wilfrid MESSIEZ, Coordinateur du SAGE de la baie de Saint-Brieuc

La journée d'aujourd'hui prend place au bout d'une première phase de déploiement des actions de la Charte de territoire sur la baie de Saint-Brieuc, qui correspond au premier plan d'action du SAGE sur 2011-2015.

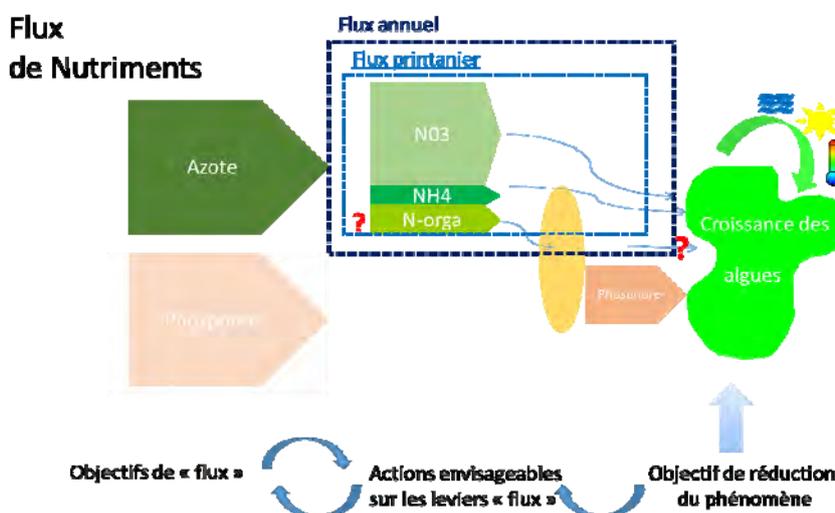
L'année 2016 sera consacrée à la poursuite des actions, de façon à se rapprocher des objectifs fixés en 2011, mais également à concevoir la poursuite du projet pour la baie, sur la période 2017-2021.



Mais au-delà de la conception de la suite du programme d'action, la connaissance du phénomène ainsi que des mécanismes impliqués évolue. Les premiers résultats observés peuvent également interroger la CLE, et l'amener à questionner l'analyse faite en 2007-2009 qui a abouti à la stratégie dont la Charte de territoire constitue le programme de mise en œuvre. Au vu de ces évolutions, des besoins de connaissance ou d'outils de suivi nouveaux ou complémentaires peuvent se faire jour, connaissances que la CLE aura à mobiliser pour concevoir la suite des programmes, questionner la validité des objectifs fixés à 2020 et peut-être surtout à 2027¹.

Lorsque la CLE a analysé la situation en 2007-2009, le levier « azote » a été identifié comme le levier sur lequel agir afin de limiter la croissance des algues en baie et réduire le phénomène des marées vertes.

Le flux d'azote connu était composé d'azote sous forme



¹ Le SAGE de la baie de Saint-Brieuc, arrêté le 30 janvier 2014, fixe comme objectif à 2027 un bon état écologique des eaux du fond de, traduit par un objectif de réduction des flux d'azote en baie réduits de 30 % à échéance 10 ans (2017-2021) et d'au moins 60 % à terme (2027). Cela correspond, selon la période prise en référence par le SAGE (1988-2006), à des flux globaux annuels inférieurs à 850 T par an, et de moins de 130 T sur la période mai-septembre (flux corrigés de l'hydrologie). Le SDAGE 2016-2021, adopté par le Comité de Bassin lors de sa séance du 4 novembre dernier, vise également le bon état écologique du fond de baie à 2027 et demande au SAGE de se fixer un objectif de réduction des flux « printaniers » d'au moins [-30%], voire jusqu'à [-60 %] « en tenant compte de l'écart entre la situation actuelle et le bon état. » Les programmes de réduction des flux sont à réviser si nécessaire avant le 31 décembre 2017.

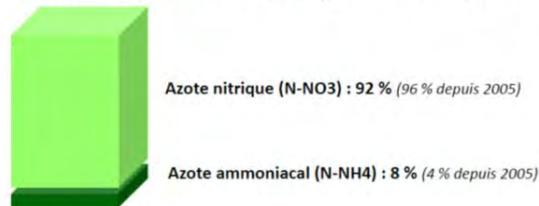
nitrique (nitrates, NO₃-) et sous forme ammoniacale (Ammonium NH₄⁺). Aucune mesure de l'azote sous forme organique n'était réalisée aux exutoires à cette date. La CLE a sollicité qu'un suivi de l'azote organique soit mis en place en complément.

La CLE a fixé dans le SAGE des objectifs en « flux d'azote global » en référence aux flux estimés cumulant flux d'azote sous forme ammoniacale et sous forme de nitrates. Ces objectifs de flux annuels ont été traduits en flux dits « printaniers » susceptibles d'alimenter directement la croissance des algues (les formes nitrates et ammoniacale étant directement assimilables par les algues) durant la période mai-septembre, où les algues sont présentes et où les autres paramètres (température de l'eau, ensoleillement) ne limitent plus leur croissance.

Les mesures réalisées depuis 2007 montrent que la part de cet azote organique dans le flux total n'est pas forcément négligeable suivant les années (Cf. ci-contre).

Que devient cet azote organique ? Est-il utilisable par les algues pour leur croissance ? Est-il stocké dans les sédiments estuariens pour être rendu disponible ensuite ?

Flux d'azote (N-NH₄ + N-NO₃), mesuré depuis 1988

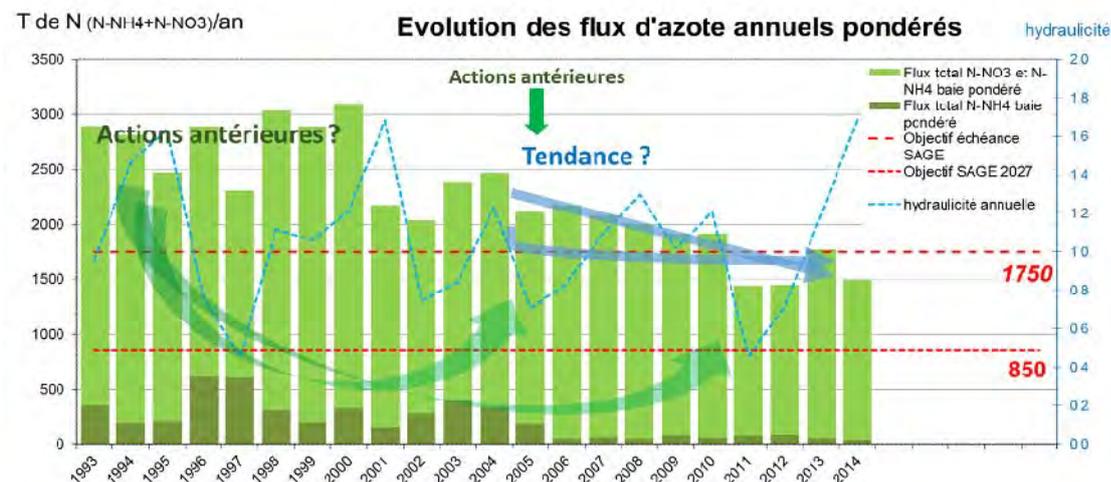


Flux d'azote total (NTK + N-NO₂ + N-NO₃), mesuré depuis 2007



Suivis : Suivi CQEL exutoires Urne (filière), Gouët, Gouessant et Ic

Par ailleurs, cette estimation des flux d'azote organique, à partir d'une seule mesure mensuelle, permet-elle une estimation correcte de leur participation aux flux totaux d'azote ?



Selon l'estimation des flux faite aux exutoires, une baisse des flux d'azote (ammonium et nitrates) est constatée. Si l'on compare la période 2010-2014 à la période 1988-2006 (ou 1999-2003), l'objectif d'une baisse d'au moins 30 % de ces flux annuels, est atteint. Nous savons que nous bénéficions là des actions antérieures : réduction drastique des rejets d'ammonium par les STEP du fond de baie (Saint-Brieuc en particulier) à partir de 2005, mais également de l'ensemble des mesures d'équilibre de la fertilisation, de résorption des excédents et de couverture des sols mises en œuvre dès les années 90. Quelle est, dès lors, la tendance d'évolution à prévoir ? Ne risque-t-on pas, malgré ces progrès importants, de voir cette baisse rencontrer un pallier qui se situe à des valeurs au-delà des objectifs fixés et jugés nécessaire pour réduire la prolifération des algues ?

Le phénomène d'eutrophisation est ingrat : même si une forte baisse des flux nutritifs est observée, si le seuil à partir duquel les algues sont réellement « affamées » n'est pas atteint, elles seront certes en moins bonne santé, mais elles pourront toujours être présentes en quantités gênantes...

Lorsqu'elle a construit le projet territorial pour réduire les flux d'azote, la CLE a travaillé sur la base d'un certain nombre d'hypothèses (Cf. ci-contre) issues du compromis trouvé dans l'élaboration de sa stratégie.

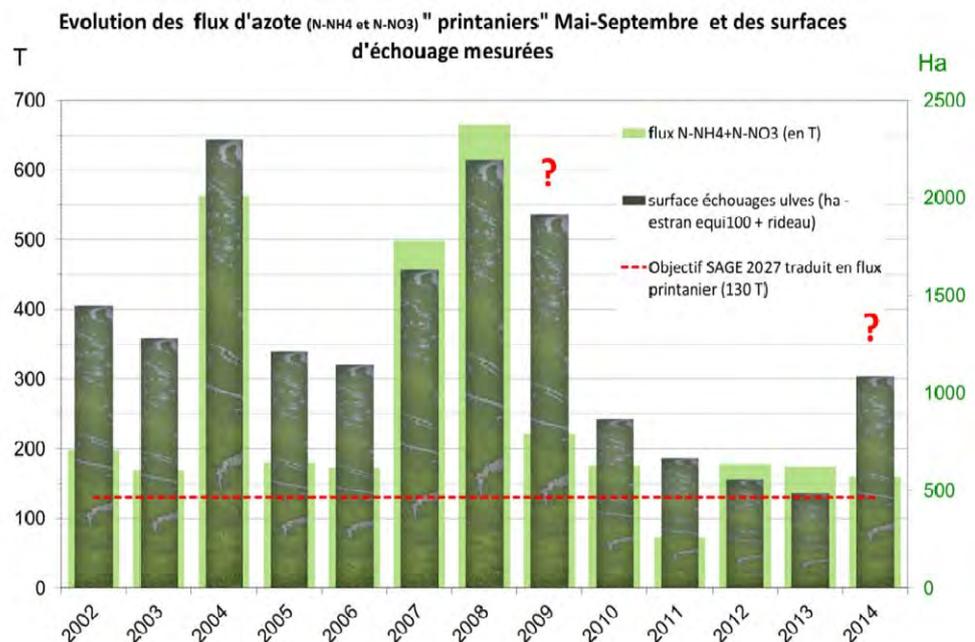
Baie de Saint-Brieuc : réduction du flux d'azote, sous forme de nitrates, lié aux fuites depuis les parcelles agricoles = levier principal. Mais où sont les marges de manœuvre ?

- **Maintien du « potentiel de production » ?**
- **Respect de la diversité des systèmes en place**
- **« Excédents » résorbés ou quasi résorbés**
- **Travail technique et agronomique fin nécessaire**
- **Évolutions de la sole et des systèmes possible sous conditions économiques ?**
- **Marges importantes d'amélioration des fonctionnalités des « ZH » ?**

Certaines d'entre elles se sont avérées inexactes ou à réévaluer :

- ✓ en réalité, entre 2007 et 2014, le niveau de production animale a baissé sur le bassin (notamment en volailles et en porcs);
- ✓ les évolutions de soles (baisse des céréales d'hiver) et les évolutions de systèmes (incluant des baisses de chargement) ont été beaucoup plus limitées que prévues, du fait en particulier de débouchés économiques insuffisants dans les filières en place et de l'incapacité du territoire à les motiver ;
- ✓ Enfin, le levier « reconquête de zones humides », s'est avéré moins important que prévu (plus faible extension de zones humides cultivées que ne le prévoyait l'enveloppe initiale, zones potentielles dont l'aménagement s'avère extrêmement contraint).

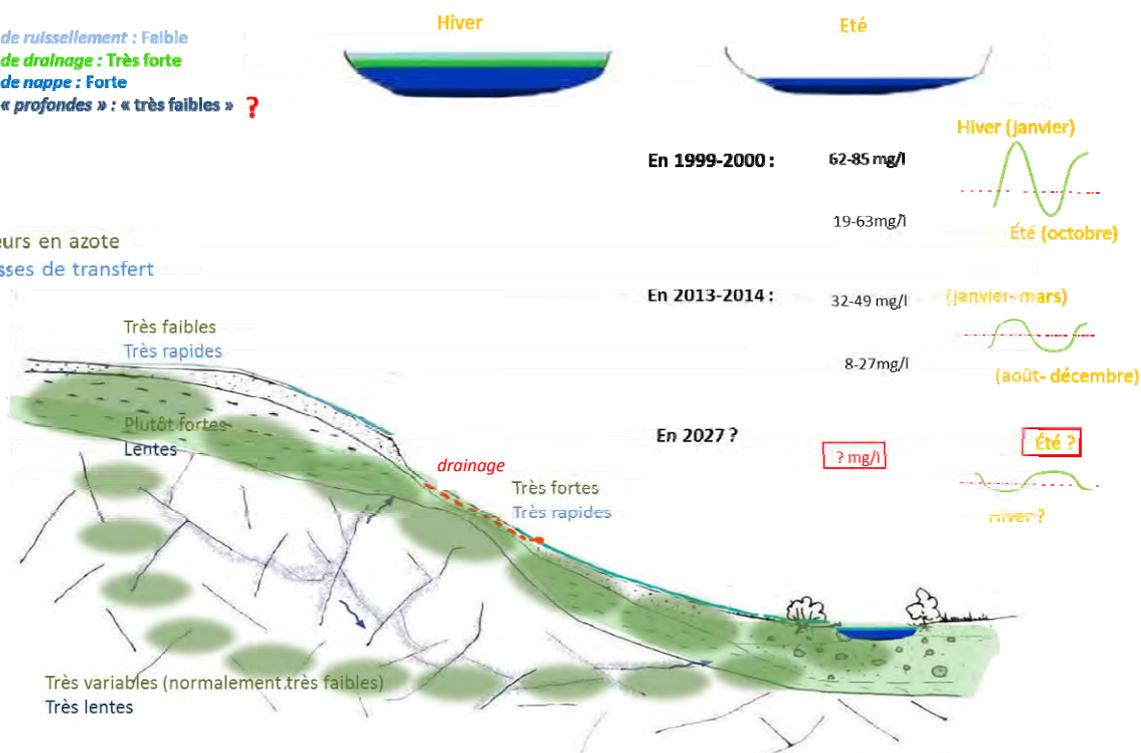
Le suivi des échouages d'algues vertes dans la baie de Saint-Brieuc (Anses de Morieux et d'Yffiniac, et baie de Binic) tel que réalisé par le CEVA depuis 2002 montre une réduction de ces derniers que l'on peut mettre en lien avec la baisse des flux « printaniers » (mai-septembre) telles qu'estimée au travers des suivis de l'azote ammoniacal (NH₄) et nitrique (NO₃) aux exutoires de l'Ic, du Gouët, de l'Urne et de ses affluents et du Gouëssant.



Mais certaines années (en 2014 en particulier), les surfaces échouées mesurées augmentent tandis que le flux estimé est stable ou légèrement à la baisse. On peut s'interroger sur la conjugaison de facteurs susceptibles d'expliquer ces « rebonds » (températures favorables, stock d'arrière-saison de l'année précédente, reprise de précipitations – et donc de flux - en fin d'été, etc.). Enfin, l'évolution des quantités ramassées par les collectivités (qui interviennent pour des raisons sanitaires, et donc à partir d'une certaine épaisseur de dépôt), ne correspond pas du tout à la fluctuation des surfaces couvertes par les échouages (Cf. Bilan 2014 Tableau de bord du SAGE).

Eaux de ruissellement : Faible
 Eaux de drainage : Très forte
 Eaux de nappe : Forte
 Eaux « profondes » : « très faibles » ?

Teneurs en azote
 Vitesses de transfert



Si les flux d'ammoniaque aux exutoires ont radicalement chuté grâce aux travaux réalisés sur les stations du fond de baie, on observe aussi une baisse des maximums comme des minimums des concentrations en nitrates depuis le début des années 2000. Mais le comportement des bassins-versants se différencie : si tous les maxima étaient observés en 1999-2000 durant le mois de janvier et les minima en fin d'été (octobre), en 2013-2014, ces valeurs sont observées de façon beaucoup plus étalée sur l'année (de janvier à mars pour les maxima et d'août à décembre pour les minima).

Cela pourrait conduire à se demander si pour certains des bassins-versants, en voie nette d'amélioration, ce ne sont pas aujourd'hui les eaux les plus anciennes (qui ont transité par les compartiments profonds, caractérisés par les vitesses de transfert les plus lentes) qui apporteront demain la majeure partie de l'azote au cours d'eau, entraînant des concentrations plus fortes durant la période d'étiage lorsque c'est la participation de ces compartiments profonds qui fournit l'essentiel du débit aux cours d'eau. Le problème est que c'est précisément à cette période estivale que ces flux vont nourrir la prolifération algale. Pour le dire autrement, du fait de ce phénomène il n'est pas évident qu'en réduisant le flux annuel de 60 %, le flux « printanier » mai-septembre le soit également...

Débat - échanges

MME. GAUTIER (SAINT-BRIEUC AGGLOMERATION) : Où sont mesurés les flux dont il est question ?

M. MESSIEZ-POCHE (EPTB BAIE DE SAINT-BRIEUC) : Les flux sont estimés à partir des concentrations mesurées par la DDTM 22 (Pôle Eau et Littoral) aux exutoires des principaux cours d'eau, à savoir le Gouët au niveau du Légué, l'Ic au niveau des clapets du port de Binic, L'Urne et ses effluents après confluence dans la filière de l'Anse d'Yffiniac et le Gouëssant en aval de Pont-Rolland.

M. CORBEL (VIVARMOR NATURE) : Que sait-on de l'azote organique par rapport à l'azote minéral et au phosphore ?

M. MESSIEZ-POCHE (EPTB BAIE DE SAINT-BRIEUC) : On sait que ce flux, très fluctuant suivant les précipitations - y compris pour ce qui est des rejets ponctuels - est a priori particulièrement mal estimé au travers d'une seule mesure mensuelle. La question ensuite est de clarifier son devenir dans la baie : est-il stocké au moins en partie dans les sédiments ? minéralisé ? relargué et rendu disponible pour la croissance des algues ? dans quelles conditions ? quelle temporalité ? Autant de questions auxquelles on ne sait pas bien répondre pour l'instant.

2. Proliférations macro-algues en baie de Saint-Brieuc, caractérisation et grille d'évaluation

Sylvain BALLU, Ingénieur au Centre d'Etudes et de Valorisation des Algues, chargé du suivi des proliférations

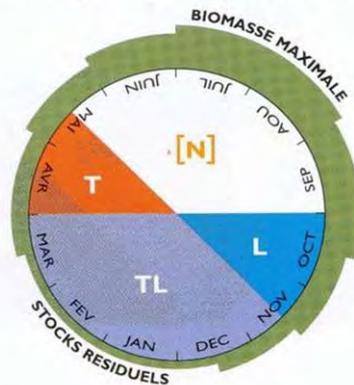
Rappels sur le phénomène



Les marées vertes sont une des formes de manifestation d'eutrophisation, qui a pour caractéristique d'affecter le milieu littoral et d'impliquer des algues verte du genre *Ulva* dont la croissance, au moins dans le cas des grandes baies, se fait de façon libre dans la masse d'eau. Dans des conditions « naturelles », ces algues se développent de façon limitée, fixées aux roches.

Il s'agit d'un phénomène saisonnier affectant des systèmes eutrophes dans lesquelles la limitation de la croissance des algues par les sels nutritifs durant la période printanière et estivale ne se fait plus.

Cycle saisonnier des facteurs limitants de la marée verte

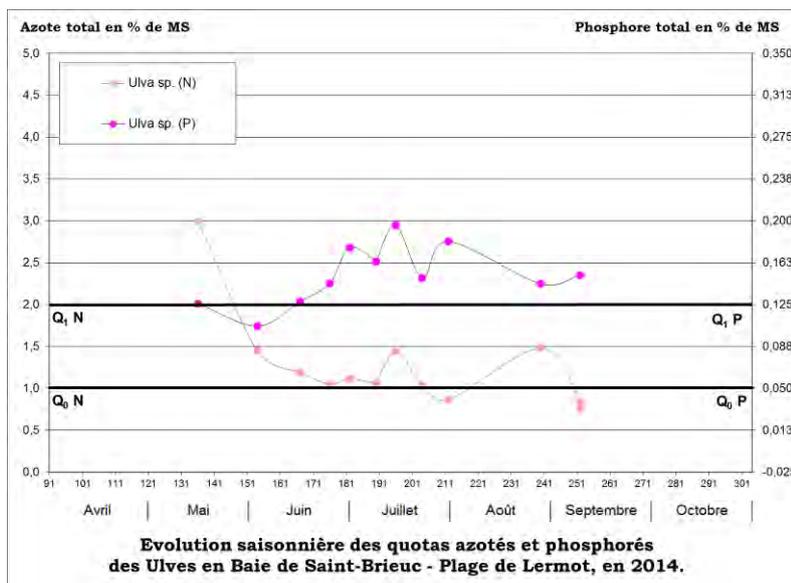


Facteurs limitants :

- T** Température
- L** Lumière
- [N]** Azote

Cette prolifération de la biomasse affecte des sites où la situation est favorable :

- Confinement dynamique des eaux (et donc des nutriments et des algues),
- Baies larges et peu profondes, dotées d'eaux translucides et de fonds clairs.



L'analyse des teneurs en azote et en phosphore (quotas azotés N et phosphorés P), principaux nutriments alimentant la croissance des algues, a permis de déterminer les teneurs en-deçà desquelles leur croissance ralenti (Q1) puis s'arrête (Q0).

Au printemps la disponibilité des sels nutritifs dans le milieu diminue rapidement alors que les besoins liés à la croissance des algues augmentent, d'où la baisse saisonnière des quotas internes en N et P des ulves

Depuis les premières analyses faites en 1996, on observe sur la baie de Saint-Brieuc que ces teneurs

internes sont limitantes, souvent fortement et durablement durant la saison pour l'azote, quasiment jamais pour le phosphore.

Situation actuelle de la disponibilité de l'azote et du phosphore par rapport aux besoins des algues vertes

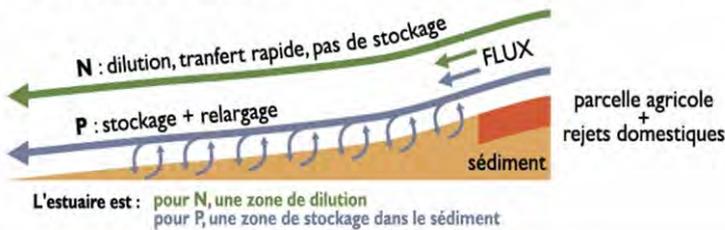
Bilan : la disponibilité du Phosphore ayant dépassé les besoins de la croissance des algues, seul l'Azote limite (contrôle) encore le développement des marées vertes



Sur la plupart des grands sites (baies sableuses ouvertes), les statuts des deux nutriments est similaire : l'azote seul est capable de limiter la croissance saisonnière des algues (le phosphore se trouve en position limitante sur certains sites, mais sans qu'il soit possible de l'abaisser).

Enfin azote et phosphore n'ont pas le même comportement dans le milieu, ce dernier étant disponible en stock dans les sédiments et facilement relargué dans le milieu.

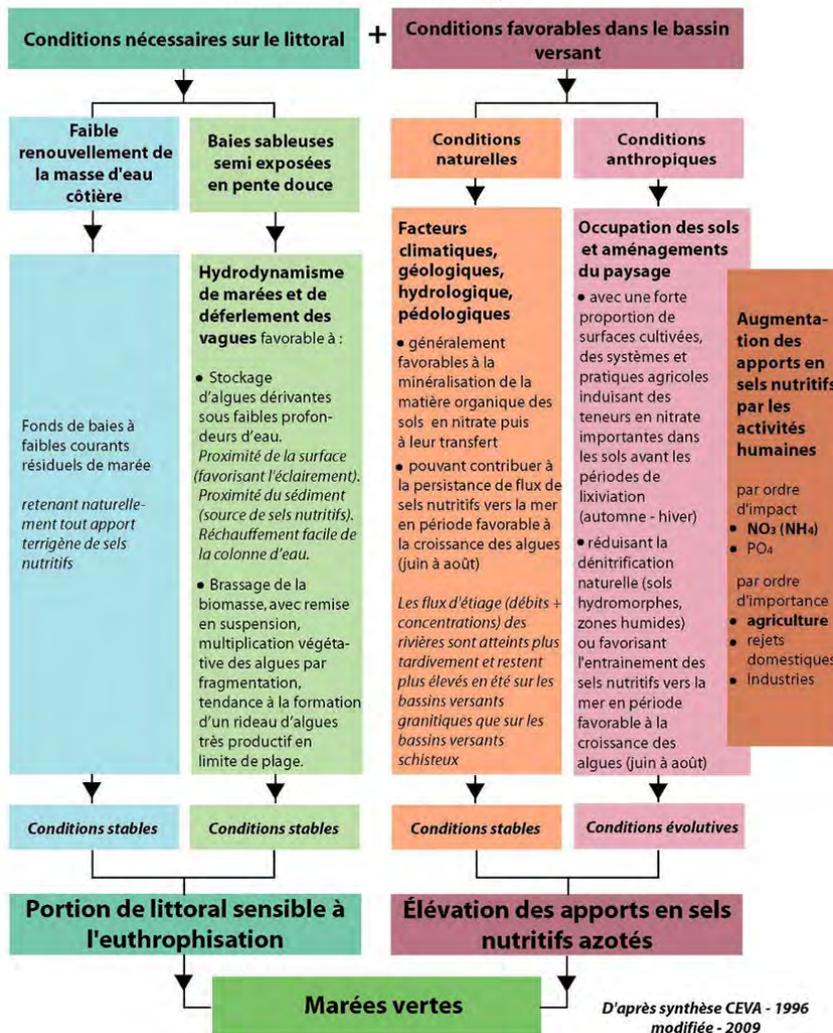
Comportement de transfert vers le large des flux de nitrates et de phosphates apportés par les rivières



Ce sont ces constats qui ont conduits à identifier les flux d'azote, en particulier « printaniers » comme le levier d'action pour limiter le développement des marées vertes.

Pour certains autres phénomènes de prolifération, en particulier dans les eaux continentales, c'est plutôt le phosphore qui constitue le levier de contrôle.

Conditions actuelles du développement des marées vertes dans les baies sableuses de Bretagne



Débat - échanges

- M. CORBEL** (*VIVARMOR NATURE*) : On distingue bien les facteurs anthropiques des facteurs naturels influençant le phénomène. En ce qui concerne ces derniers, le climat (l'ensoleillement) influence-t-il les marées vertes au vu de leur spectre d'absorption ? La Baie de Saint-Brieuc représentant 50 % des échouages, 50 % des surfaces agricoles concernées, il serait intéressant d'y analyser finement les conditions d'évolution du phénomène.
- M. BALLU** (*CEVA*) : Effectivement, les algues du genre *Ulva* sont des végétaux chlorophylliens et leur spectre d'absorption correspond à celui des autres végétaux chlorophylliens, et des mois de mars avril ensoleillés favorisent le démarrage de leur croissance. Ensuite, le système météo le plus favorable est une alternance d'orages (apport de nutriments du fait de la reprise des débits) et de temps ensoleillé, comme pour les autres plantes. Par contre, il est difficile d'analyser l'ensemble de la fluctuation de ces conditions météo sur une saison complète pour expliquer leur influence sur le phénomène...
- M. HAMON** (*CHAMBRE D'AGRICULTURE*) : On a bien compris la réflexion menée à partir des quotas d'azote et de phosphore qui a conduit à identifier l'azote comme le facteur de contrôle des marées vertes. Les rejets d'azote ammoniacal ont été fortement réduits du fait des travaux sur les STEP en 2005, n'en est-il pas de même avec le phosphore, et cela n'a-t-il pas d'influence malgré tout sur leurs conditions de développement ?
- M. BALLU** (*CEVA*) : Sur ce point, on a de la chance d'avoir des éléments concrets sur la baie de Saint-Brieuc : entre 1988 et 1997, on a testé sur les principales stations une dé-phosphatation qui a permis d'abattre fortement la part urbaine du flux de phosphore (soit environ 50 %, le reste étant issu du reste du bassin et d'origine plus agricole). Cela n'a pas eu d'impact ni sur l'ampleur du phénomène ni suffisamment sur les quotas phosphorés des algues mesurés pour en limiter la croissance. On a bien perçu une baisse, mais sans impact sur leur croissance. La dé-phosphatation est désormais en place sur les stations, étant devenue réglementaire, et cela va contribuer à l'amélioration de la trophie globale de la baie, mais il ne faut pas en attendre de limitation directe du phénomène.
- M. JUBERT** (*EPTB BAIE DE SAINT-BRIEUC*) : ne serait-il pas plus pertinent d'utiliser la mesure des quotas comme un indicateur de suivi des plans d'action, plutôt que les surfaces échouées ?
- M. BALLU** (*CEVA*) : La mesure des quotas dans les algues est complémentaire, mais c'est bien la mesure des échouages qui permet de suivre l'évolution du phénomène de prolifération et d'évaluer l'état écologique de la masse d'eau sur ce paramètre (Cf. grilles d'évaluation mises en place dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau).

Suivi des proliférations

Deux suivis sont menés sur la baie de Saint-Brieuc, relevant de deux objectifs différents et sous deux maîtrises d'ouvrages différentes :

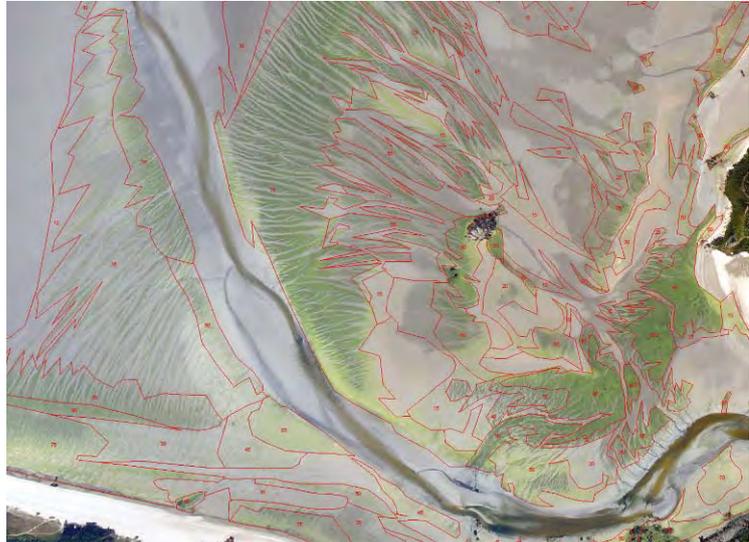
- ✓ Le premier, sous maîtrise d'ouvrage de l'Iframer, est basé sur trois survols annuels (Mai, Juillet, Septembre), qui couvrent l'ensemble du littoral du bassin Loire Bretagne. Il consiste en contrôles de terrain, une enquête sur les ramassages opérés et d'une mesure des surfaces échouées. Il a pour vocation d'estimer les couvertures algales afin de déterminer l'état écologique de la masse d'eau (Cf. Point 3).
- ✓ Le second, sous maîtrise d'ouvrage du CEVA, et un suivi complémentaire qui ne concerne que les principaux sites (au nombre de 35, dont Binic et le fond de la baie de Saint-Brieuc). En place depuis 2002, à l'origine dans le cadre de Prolittoral et désormais dans le cadre du volet « eau » du contrat de projet Etat-Région. Il est basé sur 4 survols complémentaires (avril, juin, août et octobre), il inclut également le relevé d'indices d'eutrophisation (prélèvement d'algues tous les 15 jours et même 7

jours en pleine saison puis analyse des teneurs en N et P des tissus) et des évaluations de la biomasse présente.

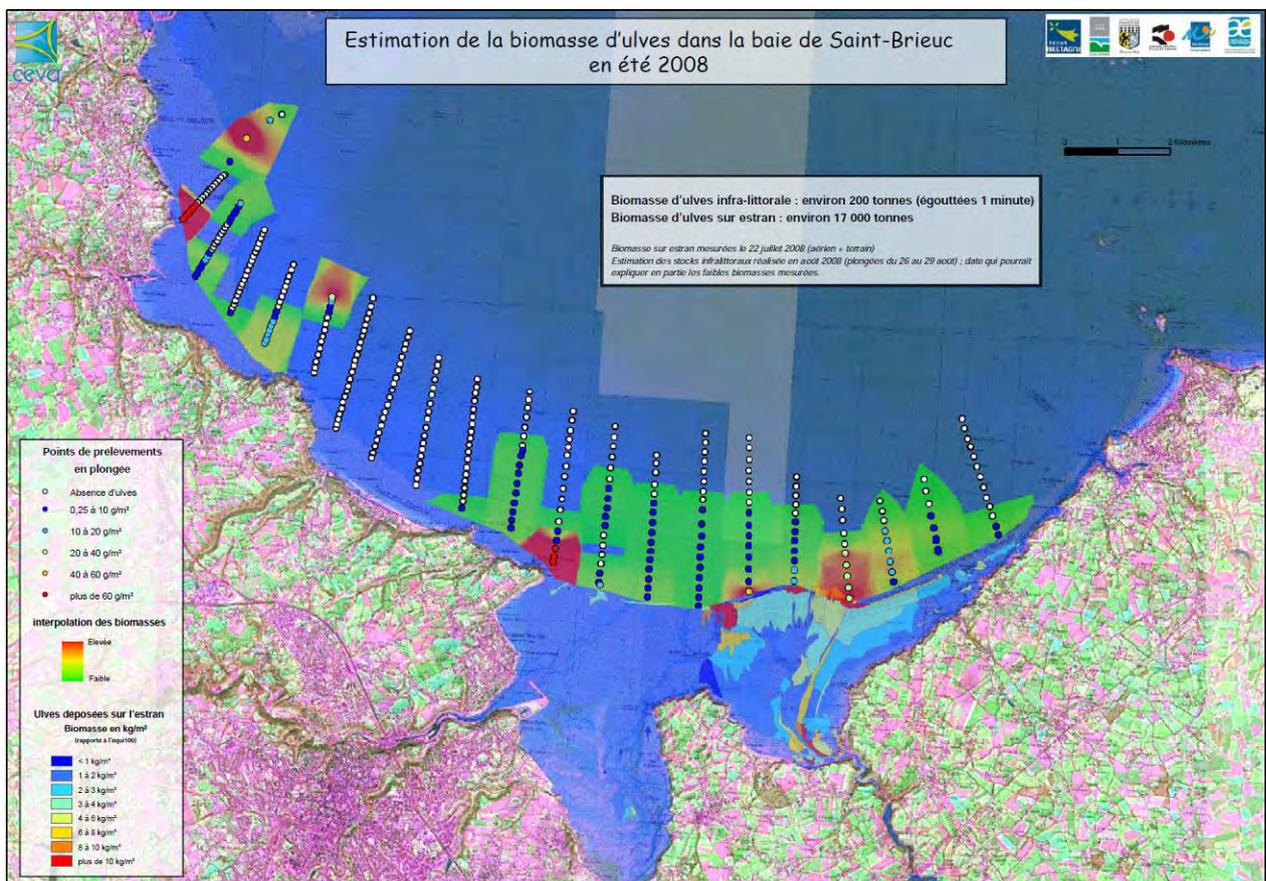
Ces deux suivis conjugués permettent, sur les sites de Saint-Brieuc, d'avoir une vision mensuelle de l'évolution des surfaces couvertes par les échouages entre avril et octobre.

Les suivis surfaciques des deux réseaux reposent sur les opérations suivantes :

- Prises de photos à marée basse
- Intégration dans le SIG
- Géoréférencement (rectification)
- Mosaïquage
- Digitalisation des surfaces (Cf. ci-contre), ce qui représente environ 800 polygones pour couvrir la baie de Saint-Brieuc
- estimation du taux couverture pour chaque polygone (en %)
- stockage BDD, analyses



Sur la baie de Saint-Brieuc, la dernière estimation de la biomasse a été faite en 2008. Elle montrait une très faible part d'algues en arrière du rideau (infralittoral) par rapport aux quantités échouées.



Ces suivis permettent de disposer, sur la baie de Saint-Brieuc :

- ✓ D'une estimation des surfaces couvertes : 7 données de mesure par an sur 2002-2015,
- ✓ D'Indices d'eutrophisation : mesure tous les 15 j au moins sur 2002-2015 (N puis N et P à partir de 2008),
- ✓ D'une évaluation des biomasses échouées et infralittorales : août 2002, juillet 2005, juillet 2008,
- ✓ D'une évaluation des biomasses ramassées : « enquête » annuelle Ceva auprès des communes.

L'évaluation des surfaces échouées est une mesure objective du phénomène et sa reconduction à pas de temps resserrés permet de suivre finement son évolution, ce qui est essentiel aux travaux de modélisation : pour modéliser et faire des prédictions, il faut avoir la vision la plus détaillée possible de ce qui se passe, en fonction des conditions météorologiques de l'année.

Débat - échanges

M. LE ROUX (*EAUX ET RIVIERES*) : Y-a-t'il un suivi du soufre contenu ou dégagé par les algues ?

M. BALLU (*CEVA*) : On mesure le soufre dans l'air (sous forme de H₂S) sur les sites de putréfaction à l'aide d'appareils de détection pour protéger les opérateurs. Les fortes teneurs en soufre sont une caractéristique globale des milieux océaniques (eaux riches en sulfates). Le soufre représente près de 5% du poids des algues en matière sèche, et la plupart des algues sont très riches en soufre, d'où, lors de leur décomposition en absence d'oxygène le fort dégagement de H₂S.

MME. GAUTIER (*SAINT-BRIEUC AGGLOMERATION*) : Peut-on avoir des précisions concernant l'estimation du « taux de couverture » ?

M. BALLU (*CEVA*) : Le détournage des polygones identifie des surfaces de dépôt homogènes. Ensuite, on estime cette densité de dépôt ou taux de couverture. Ainsi, un polygone de 1 ha dont la couverture est estimée à 100 % correspond à 1 ha de surface couverte – équivalent 100%, un polygone de 1 ha dont la couverture est estimée à 50 % correspond à 0.5 ha de surface couverte – équivalent 100 %. Un calibrage est réalisé sur des « dépôts types ».

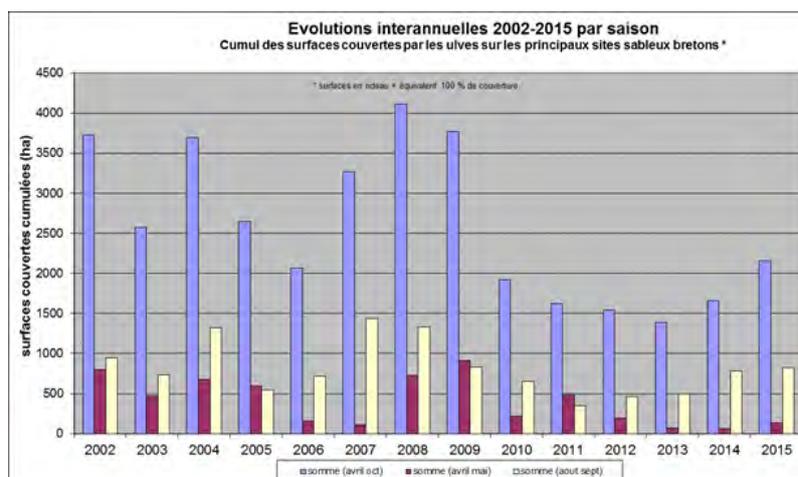
M. CORBEL (*VIVARMOR NATURE*) : L'indice nutritionnel est relevé tous les 15 jours, sur un point représentatif du site, mais ne peut-on pas estimer la biomasse présente à partir de ces relevés de terrain ?

M. BALLU (*CEVA*) : les quotas ou indices nutritionnels sont réalisés à partir d'un échantillon d'algues prélevé toujours au même point (sur la baie de Saint-Brieuc, il se situe au droit de Lermot, en milieu d'estran). Le protocole est très précis afin de disposer d'un échantillonnage représentatif du site (7 à 10 poignées de 20 à 50 g prélevées à une dizaine de mètres les unes des autres). Sur la baie de Saint-Brieuc, le milieu est relativement homogène (algues brassées). Le calcul de la biomasse présente est très coûteux en temps. Il a été réalisé pour la dernière fois en 2008 sur la baie. Il faut disposer de beaucoup de monde sur le terrain, au moment précis du survol (trois équipes de deux techniciens). On procède par échantillonnage, on pèse les algues et on détermine la masse par unité de surface, que l'on extrapole à l'ensemble du site d'après les polygones tracés sur les photos aériennes. Mais il faut également mesurer la biomasse présente dans le rideau et en infralittoral, et il s'agit là d'un travail sur une semaine à trois plongeurs. On préfère pour ces évaluations infralittorales cibler les sites où l'on a une forte biomasse non échouée, hors de la zone de balancement des marées (exemple : Baie de la Forêt ou de Douranenez).

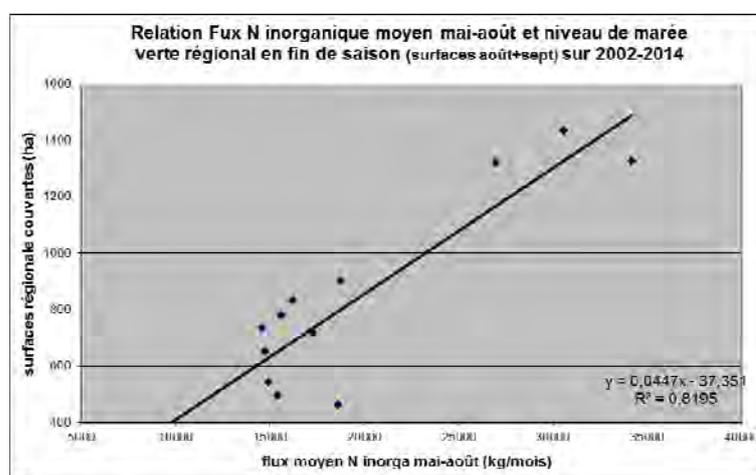
Evolution du phénomène

On constate par ces suivis une très forte variabilité interannuelle (de 1 à 3) des échouages à l'échelle régionale, avec un pic généralement situé en juin et une décroissance ensuite, plus ou moins rapide suivant les années.

La variabilité la plus forte est observée au niveau du démarrage en début de saison, ou la variation des surfaces échouées est de 1 à 14.



L'effet de reconduction (lien entre le niveau de prolifération en fin de saison de l'année N-1 avec le niveau de prolifération en début de saison en année N) est bien identifié. Les caractéristiques hivernales (vent, houle et température de l'eau) viennent cependant moduler cette reconduction. Plus tard dans la saison, le niveau de prolifération est sous l'influence plus directe du flux d'azote inorganique de la saison en cours.

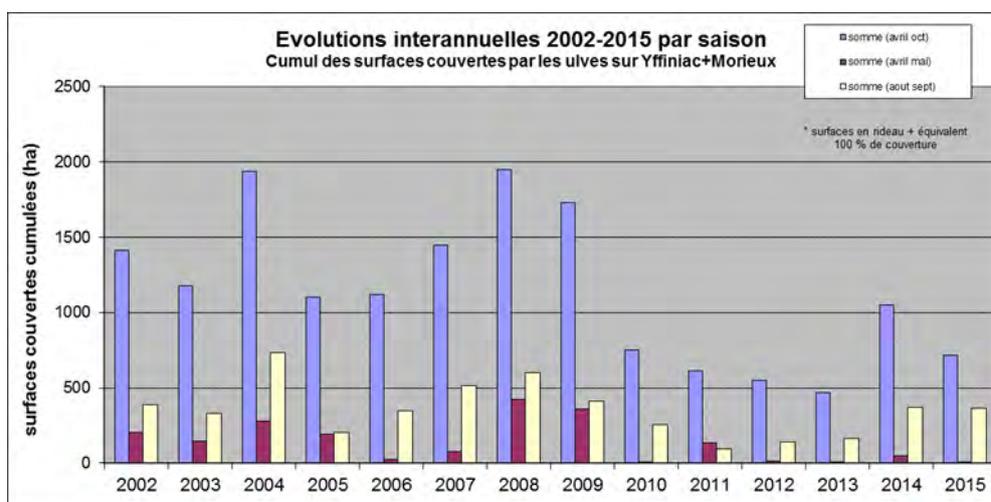


Sur la période 2002-2014, avec Binic, le site de la baie de Saint-Brieuc représente environ 50 % de la somme des surfaces échouées en Bretagne sur les sites de type plage.

Sur le site du fond de **baie de Saint-Brieuc** (Morieux et Yffiniac), on observe :

- ✓ Des démarrages de prolifération erratiques, avec un poids important du stock disponible en début de saison (reconduction)

- ✓ Des fluctuations interannuelles très fortes (1- 4 entre 2013 et 2008 ou 2004)



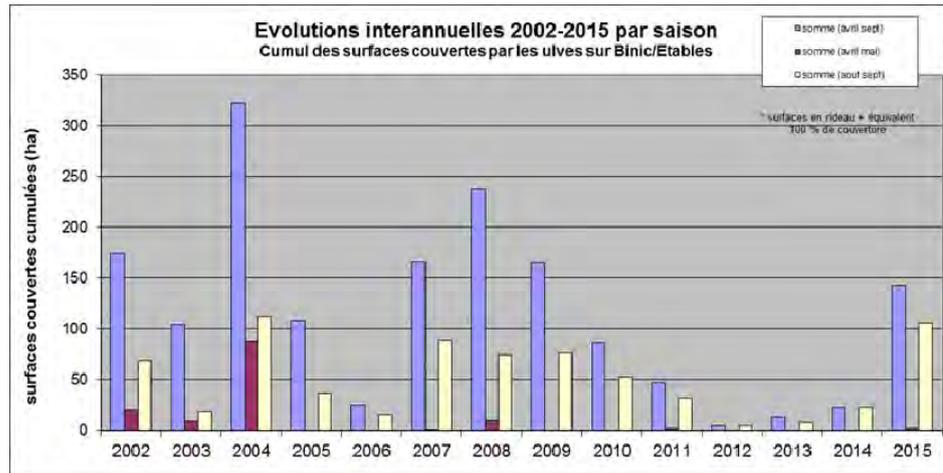
- ✓ Un maximum en moyenne en juin puis une diminution plus ou moins rapide,

- ✓ Une forte diminution en 2010 et les années suivantes et un rebond relatif en 2014 et 2015,

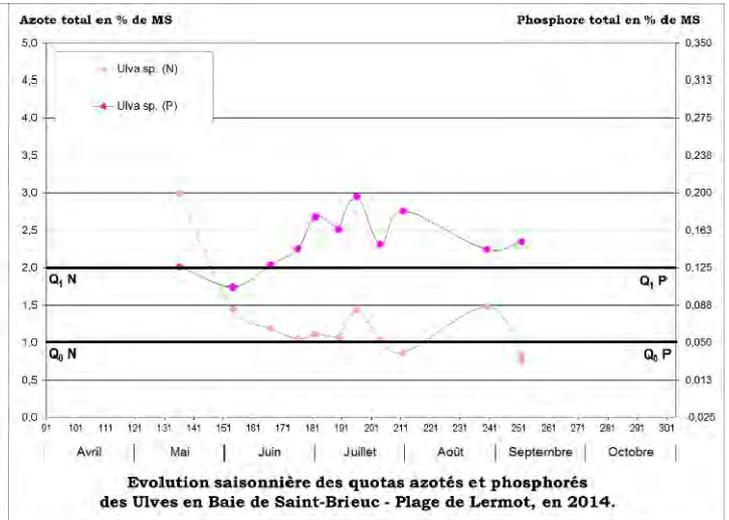
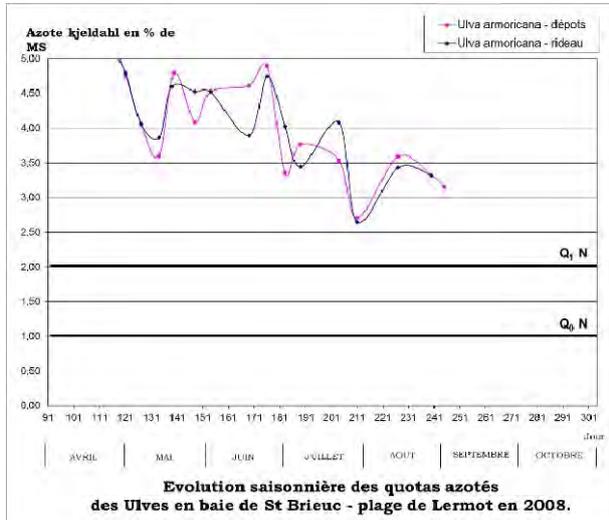
- ✓ Depuis 2011, un développement parfois massif d'autres algues (Pylaiella) en arrière-saison.

Sur le site de **Binic** :

- ✓ Un démarrage des proliférations encore plus irrégulier avec une influence du positionnement du stock de la « grande baie de St Brieuc »,
- ✓ Des fluctuations interannuelles extrêmes (près de 1 à 100 entre 2012 et 2004),
- ✓ Des quantités en fortes régression depuis 2010, avec un net rebond en 2015 à partir de juillet,
- ✓ Lien apparemment fort avec situation en baie de Saint Brieuc (importation d'algues, notamment pour le démarrage de la saison).



Si l'on compare l'évolution des quotas azotés dans les algues au cours des saisons 2008 et 2014 (Cf. ci-dessous), on constate bien la différence entre une saison où l'azote ne limite jamais la croissance des algues (2008), et une autre où il devient limitant dès le mois de juin (2014). On observe en 2014 également des « rebonds » qui deviennent significatifs : de plus ou moins courtes périodes au cours de l'été (mi juillet, fin août) au cours desquelles il y a une réalimentation en azote (orages, périodes pluvieuses de reprise des flux) et une reprise relative de la croissance des algues.



Sur la baie de Saint-Brieuc, la corrélation entre le flux « printanier » de mai à août et les surfaces couvertes en fin de saison est très sensible jusqu'en 2011, mais se dégrade légèrement ensuite : à partir de cette date, les flux sont plus bas et d'autres espèces d'algues entrent en compétition (Pylaiella).



Facteurs influençant les marées vertes annuelles autres que les flux d'azote et explications des écarts entre l'évolution des flux et celles des échouages mesurés.

Si l'ensemble des flux d'azote sur la période de présence des algues favorise leur croissance, en début de saison, ce qui va le plus déterminer l'installation ou non de la marée verte résulte des conditions de la fin de saison précédente. Sur le fond de baie de Saint-Brieuc, le démarrage des proliférations est très erratique : parfois précoce (2008, 2009, 2004, 2002, 2005) et parfois très tardif (2013, 2015, 2012, 2010, 2006). Il est lié principalement :

- au niveau de la marée verte de la fin de saison précédente (reconduction),
- aux conditions hivernales et de sortie d'hiver (houle dispersive, température des eaux).

Or ces conditions de démarrage de la prolifération vont fortement peser sur la capacité des algues à s'installer sur le reste de la saison au moment où flux et conditions lumineuses sont les plus favorables, quels que soient les flux d'azote qui caractériseront la saison en question.

Il faut en second lieu prêter attention à ce que l'on ne mesure pas forcément très bien dans ces flux :

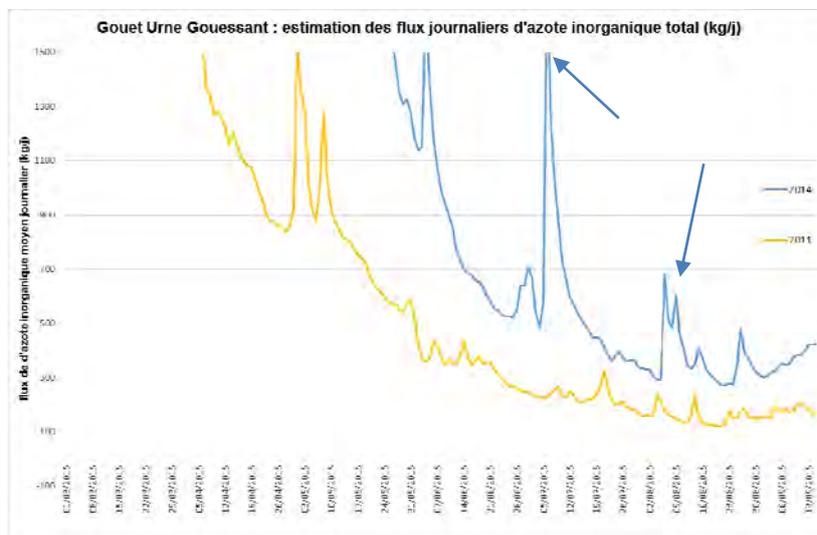
La fréquence de mesure mensuelle des concentrations induit d'importantes incertitudes sur le calcul des flux et des biais potentiels existent quant à l'évaluation des débits (extrapolations des stations hydrométriques plus à l'amont sur les portions de bassins à l'aval non jaugées). Enfin, les autres formes de l'azote, mal connues, mal mesurées, ne sont pas prises en compte dans la corrélation (azote organique).

Il y a également des apports d'azote provenant des sédiments, qui sont potentiellement importants mais très variables suivant la saison, l'année, et peuvent influencer sur la croissance des algues suivant leur localisation, etc.

La position des algues dans le système de la baie, sous l'effet du vent et de la houle, des marées, va également leur permettre de profiter au mieux ou non des panaches de flux azotés en provenance des fleuves du fond de baie. En général, l'Anse d'Yffiniac est « mieux » alimentée, en période estivale, en azote, du fait de débits d'étiage plus soutenus.

Enfin, un flux mensuel bas peut cacher des variations sur quelques jours particulièrement favorables ou défavorables qui influenceront fortement sur le phénomène de prolifération et d'échouage (Cf. ci-contre et fluctuation des quotas azotés des algues au cours de la saison 2014 vu précédemment).

Des épisodes de reprise des flux journaliers liés aux précipitations qui, conjugués à l'ensoleillement dans les jours qui suivent vont favoriser fortement la croissance des algues mais ne seront pas visibles dans la valeur globale du flux printanier ou même mensuel.



Enfin, et en particulier depuis 2011, les flux et les échouages sont plutôt bas, et le phénomène devient plus visiblement sensible aux facteurs dont l'influence jusque-là était peut-être moins perceptible, comme la compétition avec les nouvelles algues (*Pylaiella* en particulier) qui deviennent dominante en fin de saison depuis cette date.

Débat - échanges

M. HAMON (*CHAMBRE D'AGRICULTURE*) : Pourquoi cette baisse des échouages depuis 2010 ?

M. BALLU (*CEVA*) : A partir de 2006, on a 500 à 600 kg/jour d'azote en moins du fait de l'abattement lié aux travaux sur les STEP. Les printemps secs de 2010 puis 2011 se traduisent dès lors par des flux particulièrement bas, et ils ont un impact sur la marée verte. En juillet, août et septembre, les années sèches, le flux des STEP pouvait représenter jusque-là 50 % du flux d'azote inorganique.

M. DAVID (*SAINT-BRIEUC AGGLOMERATION*) : Les travaux sur les STEP ont eu lieu en 2005, leur abattement joue déjà les années précédentes, la pression de ramassage a changé, en disposant de plus de moyens à partir de 2010, ne peut-on voir un lien avec les proliférations ? Enfin, 2013 est l'année de plus faible échouage, et l'année jusque-là de plus faible ramassage. Par contre 2015 est estimée comme un rebond des quantités échouées alors que c'est l'année de plus faible ramassage, inférieure à 2013 !

M. BALLU (*CEVA*) : L'impact des travaux sur les STEP n'a été visible dans les flux qu'à partir de la saison 2006, et les années qui ont suivi ont été des années de printemps pluvieux, avec de forts débits et donc de fort flux de nitrates dans les rivières. 2009 a subi l'effet de reconduction de 2008, ce qui explique qu'il a fallu attendre 2010, une année sèche, avec une faible reconduction, pour voir la marée verte véritablement chuter. Enfin, concernant le lien ou l'absence de lien entre quantités ramassées et échouages, les ramassages n'interviennent que sur une très faible fraction des échouages : ceux situés en haut de plage, sur les sites accessibles.

MME. GAUTIER (*SAINT-BRIEUC AGGLOMERATION*) : De 2011 à 2013, on constate une forte amélioration, et un rebond ensuite en 2014-2015, à quoi peut-il être lié ?

M. BALLU (*CEVA*) : Il faut rappeler que les concentrations en nitrates ne baissent que de 3 à 4 % d'une année à l'autre, tandis que le débit et donc les flux varient d'un facteur 1 à 10 ! La quantité d'azote disponible pour la croissance des algues peut suffire, au moment où elles vont pouvoir en profiter, malgré des flux globalement en baisse sur la période dite "sensible". Enfin, il y a le poids de l'ensemble des autres facteurs (climatique, effet de reconduction...) que l'on a évoqué et sur lesquels on n'a pas de prise.

M. CORBEL (*VIVARMOR NATURE*) : Comme cela a été déjà évoqué, la baie de Saint-Brieuc représente près de 50 % des échouages, et elle n'est dépendante que des flux que son bassin génère, par rapport à d'autres sites influencés par le panache de la Loire : l'étude du panache de la Loire et les cartes publiées par l'Ifremer l'ont montré. Peut-on confirmer que l'azote présent dans nos eaux littorales provient exclusivement du bassin-versant ?

M. BALLU (*CEVA*) : Les marées vertes sont essentiellement un phénomène local, qui touche des estuaires localisés. Les apports marins ont été pris en compte dans la modélisation du phénomène, en tenant compte des teneurs moyennes en azote des eaux de la Manche (mesurées au niveau de l'île de Batz). En sortie d'hiver, on estime qu'environ 30 % de l'azote présent dans les algues provient du « large », mais les flux locaux sont ensuite dominants et hors de proportion. Attention aux différentes cartes produites concernant le panache de la Loire : les premières prenaient comme hypothèse que l'azote en milieu marin était « conservatif » et traitait des situations de crues hivernales ! Le panache pouvait par conséquent se diffuser très loin...

M. LE ROUX (*EAUX ET RIVIERES*) : A-t-on chiffré l'azote qui peut être apporté aux algues par la voie atmosphérique ?

M. MESSIEZ (*EPTB BAIE DE SAINT-BRIEUC*) : Dans le cadre de l'Etat des lieux du SAGE, la commission Marées vertes et littoral avait missionné un groupe de travail pour évaluer les flux d'azote susceptibles d'alimenter la prolifération des algues. Ce groupe s'était penché sur cette question et avait, à partir de la littérature

disponible sur le sujet abouti à évaluer comme négligeables ces apports² par comparaison à ceux issus des cours d'eau.

- M. HAMON** (*CHAMBRE D'AGRICULTURE*) : Vous avez présenté les facteurs influençant le phénomène et sur lesquels nous n'avons pas de prise, comme la houle, la température de l'eau, l'ensoleillement, etc., ainsi que la reconduction d'une année sur l'autre. Le changement global ne peut-il avoir d'influence, comme en ce qui concerne la température moyenne des eaux ?
- M. BALLU** (*CEVA*) : Sans pouvoir dire que le changement global ne peut affecter le phénomène (modification du régime des pluies, etc.), il faut faire attention aux effets de seuils : en ce qui concerne par exemple la température de l'eau, la croissance des algues est déjà quasiment maximale dès 14°C, les évolutions de température entre 15 et 20 °C n'ont pas d'influence particulière sur leur développement. Ce qui peut jouer c'est la température de l'eau en fin d'hiver et début de printemps : des eaux plus chaudes sur cette période permettent un démarrage plus précoce et une meilleure reconduction des algues d'une année sur l'autre.
- M. COUPEL** (*COOP DE FRANCE OUEST*) : La prolifération de *Pylaiella* pose-t-elle problème comme les ulves ?
- M. BALLU** (*CEVA*) : Ce sont également des échouages importants qui peuvent couvrir de grandes surfaces d'estran, mais ces algues ont moins tendance à s'accumuler en haut de plage, elles ont des croissances plus faibles et les biomasses générées sont moins importantes. Enfin leur forme filamenteuse et cotonneuse fait qu'elles sèchent plus vite et ont moins tendance à la putréfaction. Elles posent a priori moins de problèmes sanitaires même si des phénomènes de putréfaction, lorsqu'elles s'accumulent en grandes quantités, restent possibles.
- M. BARBO** (Président de la CLE) : il existe une forte pression du public concernant le ramassage, mais on ne peut intervenir sur tout l'estran, ni sur des pellicules de dépôt trop minces, cela peut expliquer le décalage entre quantités ramassées et l'estimation des surfaces échouées.
- M. DAVID** (*SAINT-BRIEUC AGGLOMERATION*) : Il faudrait pouvoir comparer les clichés pris, la localisation des échouages lors des jours d'intervention de ramassage. Il faut bien rappeler que le ramassage n'intervient qu'en fonction du risque sanitaire : avoir des algues sur les plages, c'est normal ! On ne ramasse que si les quantités, l'épaisseur des dépôts sont susceptibles d'induire un risque de putréfaction. Par exemple, aux Rosaires en 2015, nous ne sommes pas intervenus lorsque la pellicule était inférieure à 1 cm et allait être reprise par la marée suivante.
- M. BALLU** (*CEVA*) : Qu'il y ait une différence d'appréciation entre les quantités ramassées et les quantités échouées paraît normal. Les quantités ramassées sont aussi fonction des coûts de ramassage. Il y a toutefois un lien : les algues en haut de plage, celles qui sont visées par le ramassage, sont issues d'un « trop plein » de la biomasse présente globalement dans la masse d'eau et sur le reste de l'estran, qui va se déposer à la faveur des conditions de marées. Rappelons que le ramassage n'intervient que sur environ 1% des surfaces où des algues sont présentes. Il y a bien un lien de proportionnalité entre le stock d'algues présent dans la baie et les échouages en haut de plage, mais lorsque les niveaux de prolifération baissent, il devient a priori moins évident.
- M. DAVID** (*SAINT-BRIEUC AGGLOMERATION*) : Le ramassage n'est pas vraiment aujourd'hui une question de coût, mais parfois la capacité d'accueil du site de traitement peut induire le report du ramassage d'un jour à l'autre. C'est l'évaluation du risque sanitaire qui déclenche ou non un ramassage. Il y a parfois également des limites imposées aux opérations de ramassage par la possibilité de gérer ou non au moment voulu un stock transitoire en haut de plage.

² Cf. estimation faite par la CLE en 2007 (CR Annexe 2 Commission Marée verte et littoral du 11 janvier 2007) : en prenant la fourchette de valeurs trouvée dans la littérature sur les teneurs en azote des eaux de pluie et des dépôts atmosphérique et comme surface d'apport 3 000 ha (surface de l'estran colonisable estimée à l'époque) l'estimation des apports était de 2 à 120 T/an. En prenant les valeurs de dépôts atmosphériques moyens pris en référence en agriculture en Bretagne, elle était de 69 T/an, à comparer aux apports par les principaux cours d'eau variant sur la période, selon les estimations issues des mesures de la DDTM 22, de 650 à plus de 4 000 T/an.

3. Evaluation de l'état de la masse d'eau littorale sur le paramètre « bloom à macro-algues » dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau

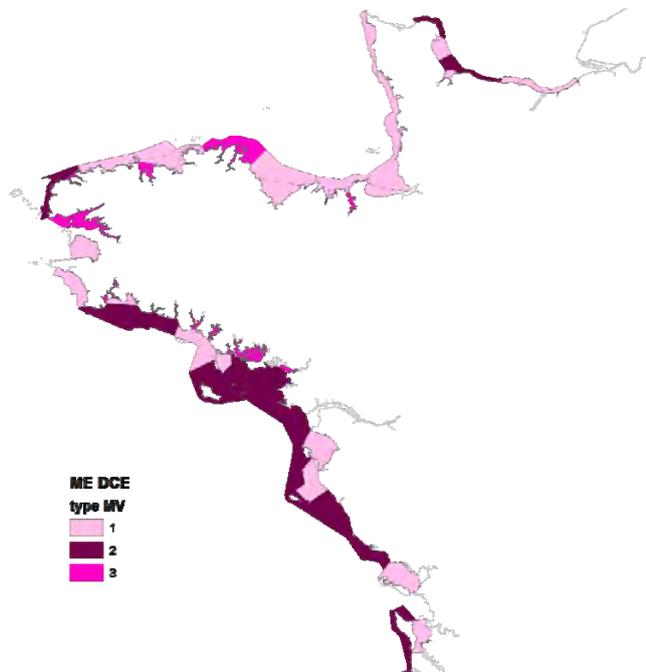
Trois types de grilles sont appliqués, suivant le type de site et le fonctionnement des proliférations. La baie de Saint-Brieuc, caractérisée par une forte production, des échouages mono-spécifiques d'Ulves dérivant dans la colonne d'eau et une forte reconduction interannuelle liée aux stocks résiduels hivernaux, dont la masse d'eau (« fond de baie », FRGC05) conjugue les 3 sites d'échouages de Binic-Etables, de l'Anse d'Yffiniac et de la baie de Morieux, est de type 1.

Les sites dits de type 2 se caractérisent par des échouages régulièrement mixtes et une forte contribution de l'arrachage des algues aux échouages observés. Le type 3 correspond aux échouages sur vasières peu mobiles et à effet colmatant.



Pour les marées vertes dites de type 1, l'évaluation de l'état de la masse d'eau sur ce paramètre résulte de la conjugaison de 3 métriques :

- ✓ Métrique 1: Pourcentage maximum de l'aire potentiellement colonisable recouverte par les ulves (traduite en EQR 1)
- ✓ Métrique 2: Pourcentage moyen de l'aire potentiellement colonisable recouverte par les ulves (EQR 2)
- ✓ Métrique 3: Fréquence des dépôts d'ulves > 1.5 % de l'aire potentiellement colonisable (EQR 3)



| Métrique 1 (%) | Métrique 2 (%) | Métrique 3 (%) | EQR | Etat écologique |
|----------------|----------------|----------------|-----------|-----------------|
| [0-0.5] | [0-0.25] | [0-10] | [1-0.8] | Très bon |
| [0.5-1.5] | [0.25-0.75] | [10-30] | [0.8-0.6] | Bon |
| [1.5-4] | [0.75-2] | [30-60] | [0.6-0.4] | Moyen |
| [4-10] | [2-5] | [60-90] | [0.4-0.2] | Médiocre |
| [10-100] | [5-100] | [90-100] | [0.2-0] | Mauvais |

Chaque métrique est estimée sur la moyenne de 6 années de suivi.

L'aire potentiellement colonisable est définie pour chaque masse d'eau :

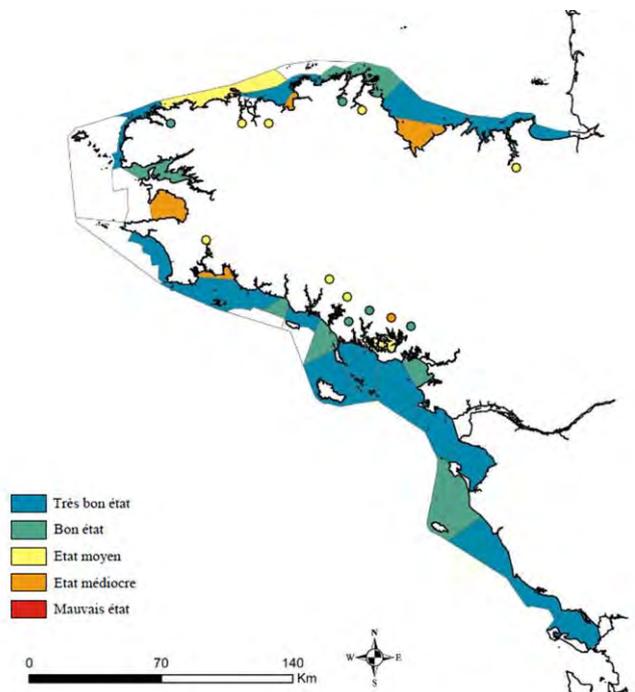
Annexe 1 : Aires potentiellement colonisables (AIH) issues de la somme des substrats meubles (sable et vase) sur les masses d'eau côtières et de transition des bassins Loire-Bretagne et Seine Normandie. Le classement d'un substrat en sable ou en vase est effectué par photointerprétation (échelle 1/10000ème) et ne repose donc pas sur des critères géologiques stricts

| CODE ME | Roches (ha) | Sable (ha) | Schorres (ha) | Vase (ha) | AIH (ha) |
|---------|-------------|------------|---------------|-----------|----------|
| FRGC01 | 170 | 8482 | 1138 | 0 | 8482 |
| FRGC03 | 648 | 3627 | 150 | 56 | 3683 |
| FRGC05 | 295 | 4432 | 105 | 11 | 4443 |
| FRGC06 | 279 | 471 | 23 | 0 | 471 |
| FRGC07 | 4652 | 457 | 27 | 3895 | 4352 |
| FRGC09 | 2155 | 890 | 23 | 374 | 1263 |
| FRGC10 | 325 | 911 | 10 | 0 | 911 |
| FRGC11 | 874 | 622 | 0 | 300 | 921 |
| FRGC12 | 2278 | 2548 | 144 | 74 | 2621 |
| FRGC13 | 1541 | 993 | 30 | 130 | 1123 |
| FRGC16 | 560 | 95 | 19 | 1340 | 1435 |
| FRGC20 | 260 | 946 | 14 | 23 | 969 |
| FRGC26 | 479 | 755 | 0 | 0 | 755 |
| FRGC29 | 285 | 564 | 47 | 145 | 709 |

La baie de Saint-Brieuc est caractérisée par une dominante de substrats sableux, son aire potentiellement colonisable a été estimée à un estran représentant 4 443 ha.

L'exercice d'inter-calibration à l'échelle européenne a consisté à comparer sur les mêmes sites les résultats des différentes grilles mises en place dans les états membres et à vérifier que l'évaluation d'état en résultant était cohérente.

L'évaluation a été faite en 2014 sur la base du suivi 2009-2014 :



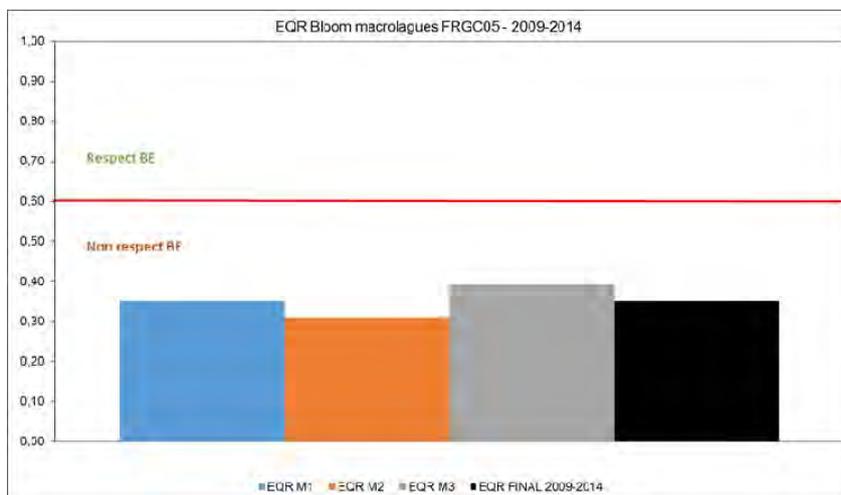
L'état de la masse d'eau « fond de baie » ainsi évalué est « médiocre », et la métrique la plus pénalisante est la métrique N°2, soit le pourcentage moyen de l'aire colonisable recouvert par les algues sur la période 2009-2014.

Carte 9 : Résultat cartographique du classement DCE pour l'EQR calculé à partir des macroalgues de bloom sur la base des années 2009 à 2014 (ou période plus restreinte pour les ME ne disposant pas de donnée pour l'ensemble de la période ; cf. § ci-dessus). Les masses d'eau côtières sont directement colorées par la couleur correspondant à leur état écologique et l'état écologique des masses d'eau de transition est représenté par un disque coloré placé en amont de la masse d'eau concernée.

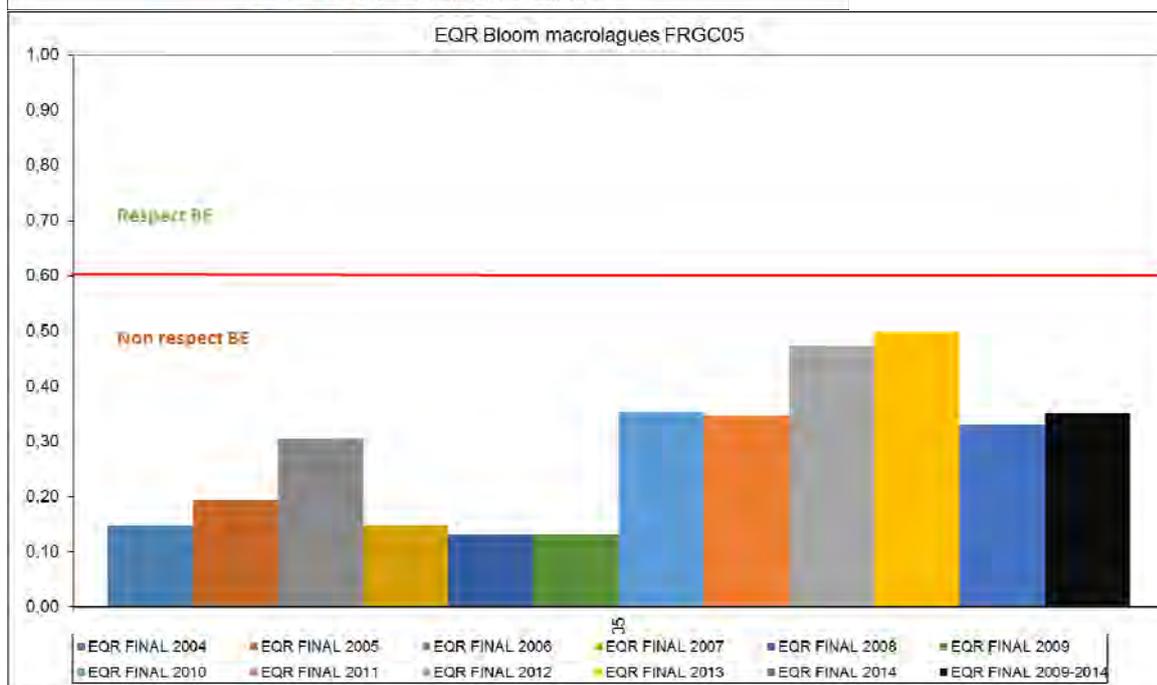
Tableau 13 : Classement DCE 2014 des masses d'eau du bassin Loire-Bretagne pour l'EQR calculé à partir des macroalgues opportunistes – Marées vertes de type 1

| CODE ME | Données utilisées | Métrique 1 (% couv max /APC) | Métrique 2 (% couv moy /APC) | Métrique 3 (f > 1.5 %APC) | EQR Métrique 1 | EQR Métrique 2 | EQR Métrique 3 | EQR FINAL |
|---------|-------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------|----------------|----------------|----------------|-----------|
| FRGC01 | 2009-2014 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| FRGC03* | 2009-2014 | 0,53 | 0,25 | 5,56 | 0,79 | 0,80 | 0,89 | 0,83 |
| FRGC05 | 2009-2014 | 5,46 | 3,34 | 61,11 | 0,35 | 0,31 | 0,39 | 0,35 |
| FRGC06 | 2009-2014 | 0,76 | 0,35 | 5,56 | 0,75 | 0,76 | 0,89 | 0,85 |
| FRGC09 | 2009-2014 | 0,43 | 0,21 | 0,00 | 0,83 | 0,83 | 1,00 | 0,89 |
| FRGC10 | 2009-2014 | 11,81 | 7,80 | 83,33 | 0,20 | 0,19 | 0,24 | 0,21 |
| FRGC12 | 2009-2014 | 2,90 | 1,63 | 55,56 | 0,49 | 0,46 | 0,43 | 0,46 |
| FRGC20 | 2009-2014 | 6,66 | 4,49 | 83,33 | 0,31 | 0,23 | 0,24 | 0,26 |
| FRGC26 | 2007-2012 | 0,27 | 0,15 | 0,00 | 0,89 | 0,88 | 1,00 | 0,92 |
| FRGC29 | 2009-2014 | 3,88 | 2,93 | 72,22 | 0,41 | 0,34 | 0,32 | 0,36 |
| FRGC34 | 2009-2014 | 0,46 | 0,30 | 0,00 | 0,82 | 0,78 | 1,00 | 0,86 |
| FRGC35 | 2009-2014 | 0,89 | 0,41 | 5,56 | 0,72 | 0,73 | 0,89 | 0,78 |
| FRGC36 | 2007-2012 | 0,06 | 0,02 | 0,00 | 0,98 | 0,98 | 1,00 | 0,99 |
| FRGC48 | 2007-2012 | 0,31 | 0,19 | 0,00 | 0,88 | 0,85 | 1,00 | 0,91 |
| FRGC49 | 2009-2014 | 1,11 | 0,61 | 5,56 | 0,68 | 0,66 | 0,89 | 0,74 |
| FRGC53 | 2009-2014 | 0,84 | 0,51 | 0,00 | 0,73 | 0,70 | 1,00 | 0,81 |

* prolifération de *Pylaiella* (qui concerne très fortement cette ME) non intégrée au calcul de l'indicateur présenté ici (évaluation de l'intégration de ces autres algues en cours)



Même si des valeurs annuelles de ces métriques - par définition calculées sur une moyenne de 6 années - n'ont pas de sens, la simulation a été faite afin de percevoir l'évolution du phénomène et prendre conscience de la distance à l'objectif de « bon état » pour la masse d'eau du fond de baie de Saint-Brieuc :



On constate bien une amélioration du phénomène depuis 2004 tel qu'évalué selon ces métriques. Mais l'année de plus forte régression des algues jusqu'à aujourd'hui, soit 2013, reste encore en-deçà des valeurs nécessaires pour atteindre le « bon état ». L'atteinte du bon état en 2027 suppose donc d'obtenir des résultats meilleurs que ceux de 2013, chaque année, entre 2022 et 2027.

Débat - échanges

M. HAMON (CHAMBRE D'AGRICULTURE) : Peut-on dire un mot des autres méthodes employées dans l'UE pour évaluer ce même critère ?

M. BALLU (CEVA) : Le travail d'inter-calibration mené l'a été principalement avec les métriques anglo-irlandaises appliquées à des sites semblables. Les jeux de données de suivi ont été confrontés, et les résultats des différentes méthodes aboutissent à des évaluations identiques pour une même situation. Ces métriques ont l'intérêt de fixer les choses pour une période donnée, de stabiliser l'évaluation des phénomènes.

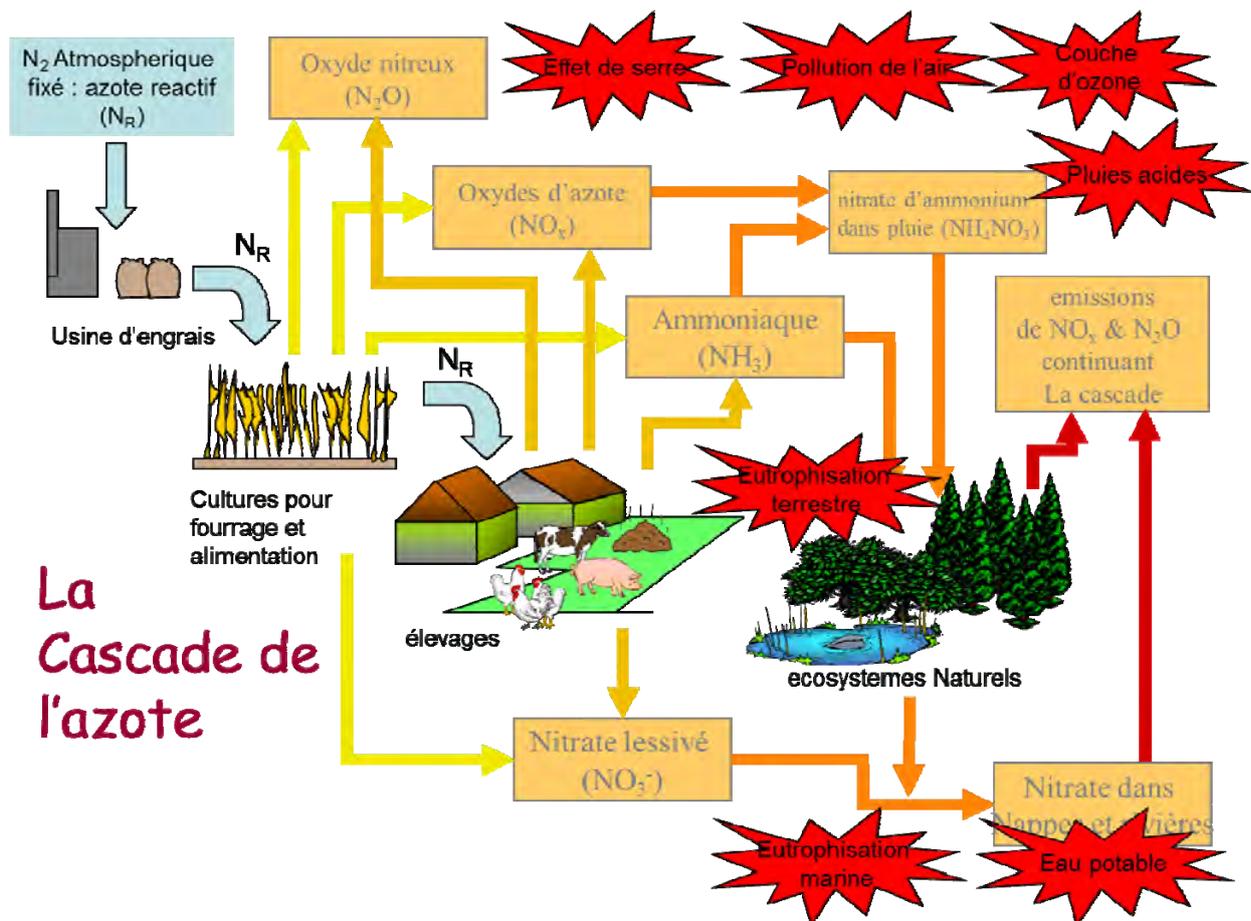
MME. WITTEN (REGION) : C'est avec ces grilles que sera évalué l'état des masses d'eau côtières en 2021 ?

M. BALLU (CEVA) : Effectivement.

4. Les mécanismes de transfert de l'azote vers les milieux littoraux

Patrick DURAND, Directeur de l'Unité Mixte de Recherche Sols, Agronomie et hydrosystèmes, Spatialisation de l'INRA

Il est important de préciser que les marées vertes ne sont qu'un des phénomènes de déséquilibre du cycle global de l'azote. Depuis le XIX^{ème} siècle, la quantité d'azote réactif (NR) dans l'atmosphère, sous forme de N₂O en particulier a été multipliée par deux. Il faut savoir que ce gaz est 300 fois plus efficace que le dioxyde de carbone (CO₂) en matière d'effet de serre.



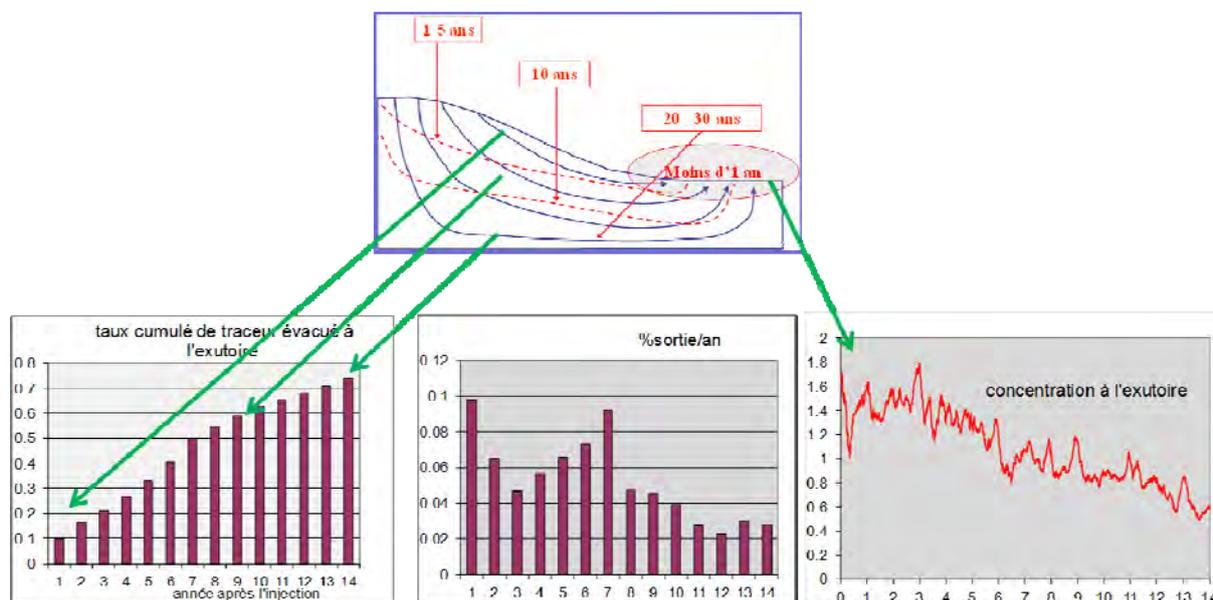
Le cycle de l'azote est le cycle le plus perturbé à l'échelle de la planète. Au début du XIX^e, on a commencé à transformer l'azote atmosphérique en engrais afin d'augmenter la production agricole, l'élevage, et de réduire les famines. Cela a entraîné dans le même temps un déséquilibre global du cycle avec l'introduction massive d'azote réactif (NR) dans les écosystèmes. Or plusieurs composants de cet azote ont des effets néfastes sur l'environnement (effet de serre, fogs, pluies acides, eutrophisation, couche d'ozone, etc.).

Le rééquilibrage du cycle de l'azote est un enjeu global pour l'humanité au XXI^{ème} siècle. Comme la surface de zones humides où de l'azote est « neutralisé » diminue et que la charge en azote réactif augmente, le problème global va croissant.

Maîtriser la pollution azotée implique donc d'être attentif à ne pas favoriser pour résoudre un problème une solution représentant un transfert de pollution, c'est-à-dire d'améliorer les teneurs en azote réactif dans l'eau en dégradant celles dans l'atmosphère.

Le lien entre pratiques agricoles et flux d'azote aux exutoires

Le transfert de « l'azote lessivable » aux exutoires des bassins-versants n'est ni immédiat, ni uniforme



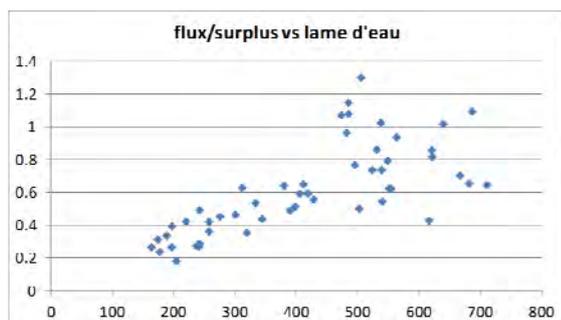
Pour illustrer les difficultés pour mettre en relation des pratiques sur un bassin-versant avec des flux aux exutoires, on peut faire l'expérience suivante : on injecte un traceur conservatif qui suit les voies de l'azote lessivable, c'est-à-dire présent dans le sol au moment où la pluie tombe, et on regarde au bout de combien de temps il arrive à l'exutoire. Dans l'exemple illustré ici, au bout de 15 ans, 70% de l'azote initial est sorti. Au bout de 7-8 ans, 50% de l'azote est sorti : on parle de 7-8 ans de temps de résidence moyen. On remarquera que la quantité d'azote sortie par année varie, et c'est essentiellement fonction de la pluviométrie de l'année en question.

On identifie bien la complexité de la réaction du bassin, ses variations au cours du temps et ceci rien qu'en s'intéressant aux variations des transferts d'eau, en supposant tout l'azote « injecté » instantanément. On comprend bien que la concentration à l'exutoire à un instant donné est la résultante « de tout ce qui s'est passé » durant les 10, 15 ou 20 dernières années... Cela signifie que suivant le bassin considéré, ce qui a été fait durant les 10-15-20 dernières années « a des chances » de composer le flux que j'observe au moment où je fais ma mesure, suivant la pluviométrie de l'année en question.

Maintenant, cela se complique en intégrant le fait que l'azote lessivable n'est ni apporté de façon immédiate et instantanée, ni de façon uniforme sur le bassin-versant, ni conservatif.

...ni conservatif

**BGA/
Flux N exutoire**

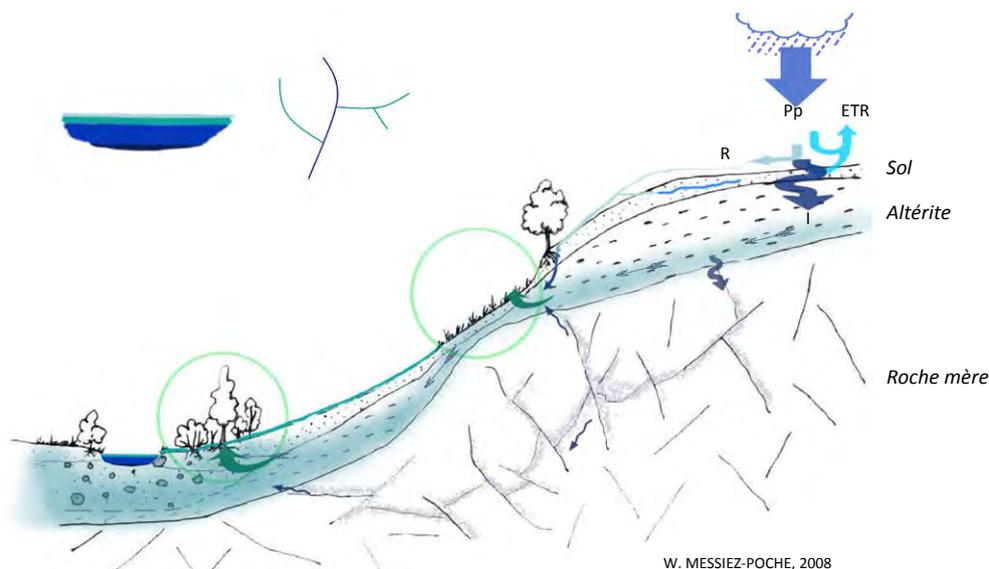


BGA : Balance Globale Azotée, soit la différence entre entrées et sorties d'azote des systèmes présents sur le bassin

Lame d'eau : quantité d'eau annuelle (en mm, ou en l/m^2) issue des précipitations, qui n'est pas évapotranspirée et transite par le sol du bassin vers son exutoire.

Si l'on représente comme sur ce graphique le rapport entre le flux en sortie et la balance entrées – sorties d'azote (BGA) sur un bassin-versant, en fonction de la lame drainante de ce bassin, on observe que l'on a une relation plutôt satisfaisante en-deçà de 500mm de lame drainante (par exemple pour environ 200 mm, le flux en sortie représente de 0.2 à 0.4 fois la valeur de l'excédent de la balance), et une très grande variabilité au-delà (pour 500 mm déjà les valeurs vont de 0.5 à 1.3 fois la valeur de l'excédent !). Cela remet en cause pas mal de raccourcis ou de choses que l'on croyait encore il y a peu de temps : il n'y a pas de lien direct entre une pression en azote sur un bassin et le flux en sortie de ce bassin à un moment donné.

Le cycle de l'eau et les processus hydrologiques

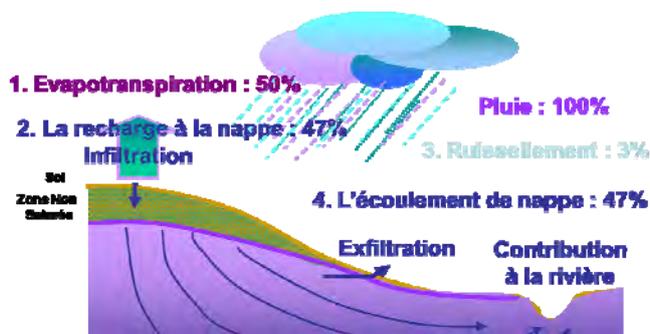


En hydrologie, le ruissellement (R) correspond à l'écoulement de l'eau à la surface du sol, sans aucune infiltration.

Les altérites correspondent à l'altération de la roche mère. Leurs propriétés sont très différentes selon le type de roche mère détériorée et induisent des comportements différents en termes de rétention de l'eau infiltrée, de filtration, etc. La grande majorité de l'eau qui alimente les rivières passe un temps plus ou moins long dans la nappe d'altérites. Celle-ci stocke à la fois l'eau et les éléments dissous tels que les nitrates.

Une partie de l'eau circulant dans la nappe d'altérites peut s'infiltrer plus en profondeur dans la roche mère (ou roche saine), en fonction de la présence d'un réseau de failles et/ ou du système de fissuration de cette roche. On parle alors de nappe de fractures ou de fissures. Il s'agit là d'un compartiment de transfert très difficile à appréhender en raison d'une circulation de l'eau dans ce milieu hasardeuse et complexe, propre à chaque contexte local.

Les zones humides constituent des sites importants où les eaux issues du sous-sol entrent en contact avec le sol, et si leur temps de séjour est suffisant, peuvent y subir des transformations avant de rejoindre le réseau hydrographique. Il s'agit de milieux très réactifs, notamment en matière de biochimie.



En Bretagne :
Le ruissellement est de 30% maximum. Crues hivernales
La nappe est très réactive et représente plus de 95 % du bilan annuel d'écoulement d'eau

Au final, l'eau des rivières est un mélange des eaux provenant de tous ces compartiments.

A l'échelle d'une année, sur 100% d'eau précipitée :

- l'évapotranspiration (ETR) concerne en moyenne 50 % de cette eau, mais cela va en réalité de 40% à près de la totalité (pluies d'été).

- 47 % servent à recharger la nappe

- 3 % seulement alimentent le ruissellement. Cette proportion ruisselée peut néanmoins atteindre 30 % de l'eau précipitée lors des quelques jours de crue hivernales.

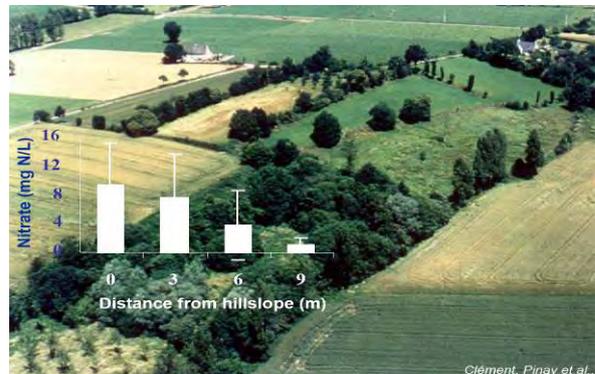
Ces chiffres représentent des moyennes sur plusieurs années. Certaines années, la nappe se recharge plus qu'elle ne restitue, et inversement.

Le rôle particulier des zones humides

Les zones humides ont un rôle hydrologique essentiel, sont des milieux écologiques remarquables et sont un lieu de forte activité biologique.

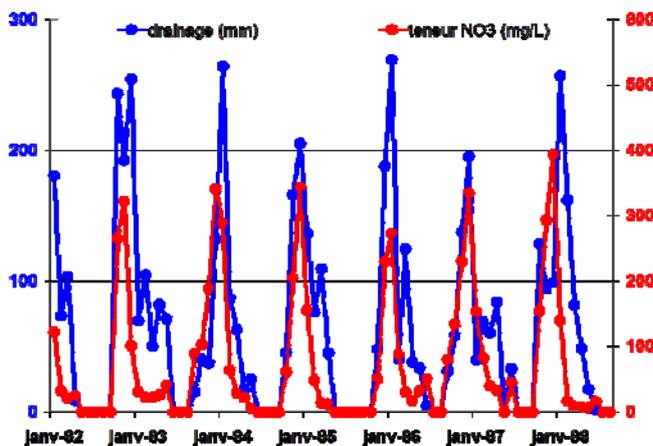
Marquées par des sols et des végétaux très particuliers permettant leur délimitation, elles ont une activité dénitrifiante reconnue, essentielle mais très variable, très localisée et peu prévisible dans le temps et dans l'espace. Les estimations de pertes par dénitrification qui peuvent être faites globalement ne sont jamais valables pour une zone particulière.

Elles sont un lieu de forte accumulation de matière organique (puits de carbone), mais représentent également une source de matière organique dissoute pour le cours d'eau.



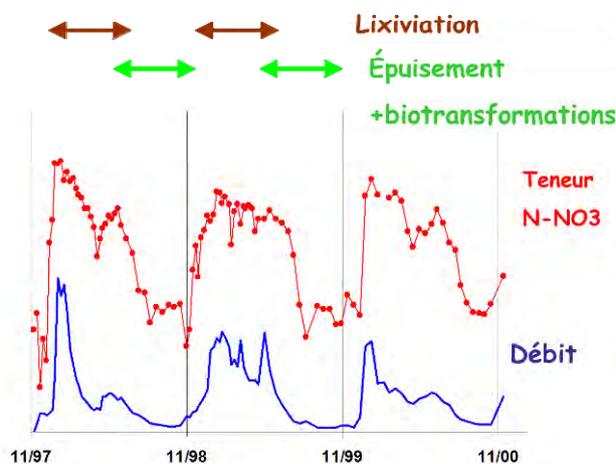
Variations saisonnières des teneurs en nitrates

Les teneurs en nitrates des eaux des cours d'eau varient suivant la saison. Classiquement, on retrouve des maximums en hiver et des minimums en été, et les teneurs ré-augmentent à l'automne. La première hypothèse que l'on peut faire pour expliquer ces variations repose sur le fonctionnement des sols :



Le graphique ci-contre est issu de mesures réalisées sur la station expérimentale de l'INRA de Quimper (Kerfily) où l'on interceptait les eaux de drainage du sol et où l'on mesurait au cours de l'année leur teneur en nitrates.

On observe bien une hausse de ces teneurs qui accompagne le drainage hivernal et le lessivage des sols, avant une chute des valeurs au cours du printemps lorsque les écoulements s'épuisent.

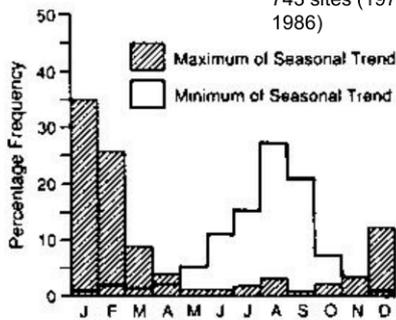


On peut compléter l'analyse en prenant un peu de hauteur et en se plaçant non plus au niveau de la parcelle et de son sol, mais en intégrant les **échanges avec la rivière** : les teneurs mesurées dans la rivière répondent ainsi à la période de lixiviation (lessivage et drainage), et s'épuisent ensuite lorsque les débits s'amenuisent et que l'azote est en partie également repris dans la matière organique des sols, intercepté et en partie dénitrifié avant de parvenir à la rivière, en particulier dans les zones humides.

Betton et al., 1991

UK

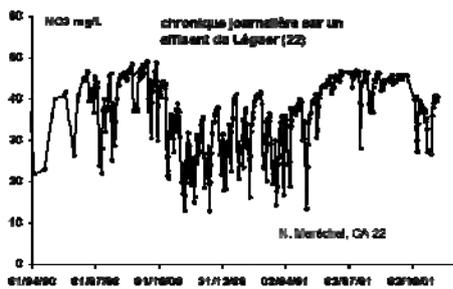
743 sites (1974-1986)



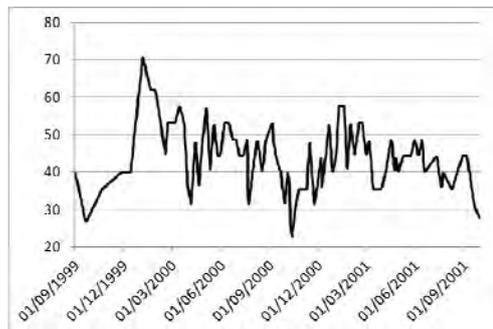
Le problème est que l'on rencontre des cas où la situation est inversée : les teneurs sont maximales en été et minimales en hiver

Hors ces cas ne sont pas rares, comme le montrent les travaux réalisés par Betton et al, sur 743 sites du Royaume-Uni, où si 35 % des sites connaissent un maximum des teneurs en azote dans les cours d'eau au mois de janvier, près de 30% le connaissent au mois d'août.

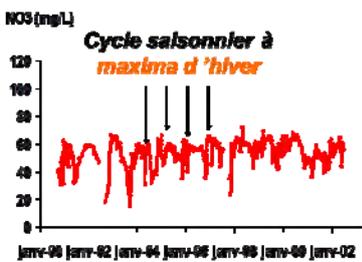
Une autre hypothèse pour expliquer ces variations saisonnières fait intervenir le **sous-sol** : on considère que la majorité des bassins-versants « sur granite » ont des nappes souterraines importantes et ont des maxima en été du fait que la participation de ce compartiment domine les écoulements sur cette période. A l'inverse, les bassins sur schiste ont des nappes d'altérite plus réduites, des débits d'étiage très faibles et des concentrations à cette période basses du fait des processus de biotransformation décrits plus haut et de la faible contribution de la nappe.



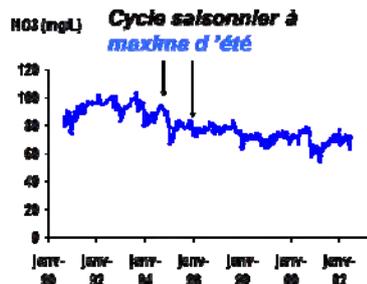
Bassin sur granité : altérite perméable, nappe importante -> maxima en été



Bassin sur schiste : altérite imperméable, nappe faible -> minima en été

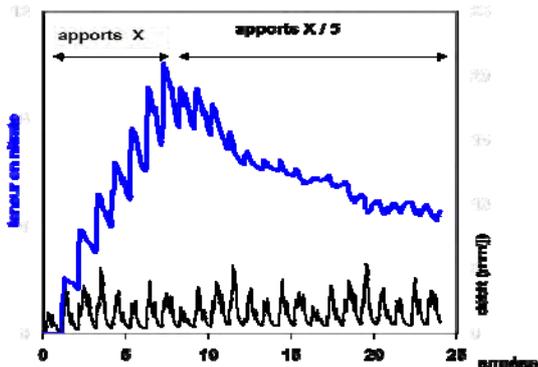


KERRIEN



KERBERNEZ

Cependant, on rencontre des bassins-versants appartenant au même contexte géologique (granite), voisins l'un de l'autre qui ont des comportements inverses (Cf. ci-contre).



Une dernière hypothèse peut être avancée qui fait intervenir la dimension temporelle ou l'**histoire** des bassins.

Ici, on sépare arbitrairement dans un modèle théorique les écoulements dans le bassin en deux compartiments : un compartiment « lent » où les eaux mettent plusieurs années voire dizaines d'années avant d'atteindre le cours d'eau, et un compartiment « rapide » au sein duquel le transfert est de l'ordre de quelques mois à quelques années. On injecte des apports d'azote, puis, au bout de 7-8 ans, on les divise par 5. On observe comment évoluent les concentrations à la sortie.

On s'aperçoit que les teneurs augmentent sur la première période, puis diminuent progressivement à partir de la chute des apports, mais toujours avec des maxima l'hiver et des minima l'été. Mais à partir d'un certain moment (ici une quinzaine d'années), les teneurs baissent toujours, mais le profil s'est inversé : les maxima sont atteints l'été et les minima l'hiver.

En été, ce sont les apports de la nappe « lente », plus profonde, qui dominent, et sont le reflet de pratiques plus anciennes. En hiver ce sont les apports de la nappe « rapide » qui dominent, qui sont le reflet de pratiques plus récentes. Un bassin en voie d'amélioration voit donc ses maxima intervenir durant l'été.

Variations saisonnières des teneurs en nitrates : conclusion

Il n'y a pas d'explication unique et simple du fonctionnement des bassins-versants, et chaque bassin-versant est un cas particulier !

On peut identifier différents facteurs qui vont favoriser des concentrations printanières et estivales faibles sur les bassins-versants :

- Une rivière importante, lente, marquée par des barrages ou des successions de plans d'eau,
- Une contribution estivale de nappe très profonde et/ou dénitrifiée,
- De faibles débits d'été.

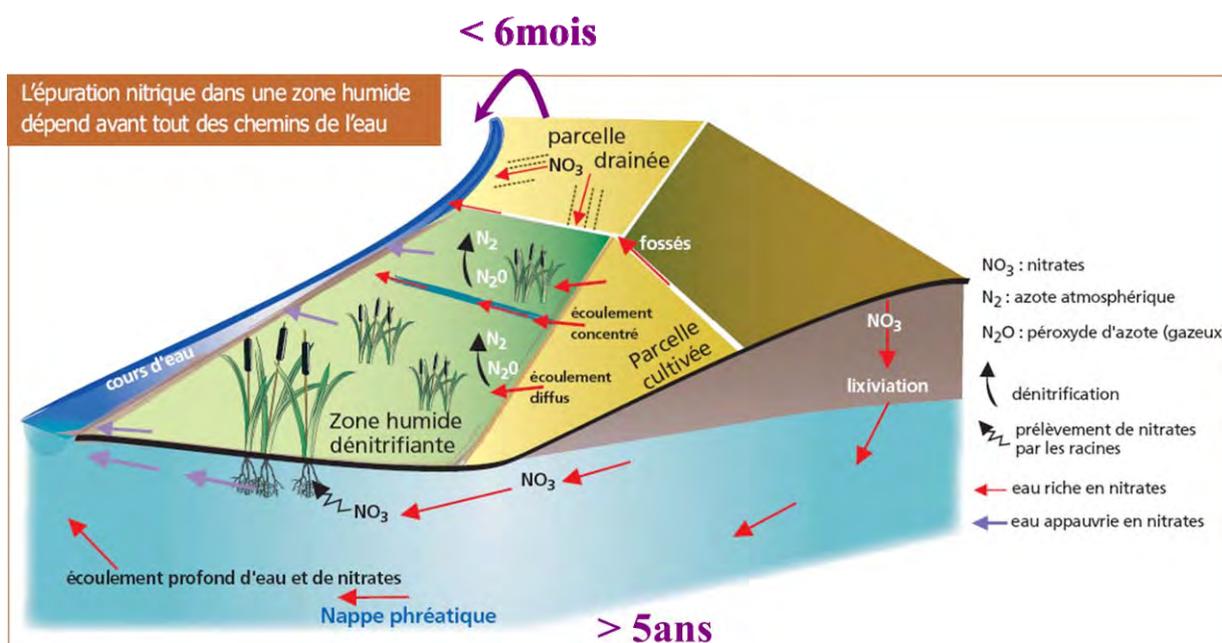
Et a contrario des facteurs qui vont favoriser des flux printanier et estivaux forts:

- Un débit estival soutenu,
- Un bassin versant très chargé, depuis longtemps.

La question à se poser est en fait d'où vient l'eau en été ?

- Si le bassin est marqué par des zones humides importantes à l'aval, les eaux à l'exutoire vont être marquées par la dénitrification qui s'y opère, particulièrement durant la période printanière,
- Si le bassin possède des sources importantes, profondes, il sera victime, de façon importante, du « poids du passé ».

Comment l'azote lessivé se transfère-t-il à l'exutoire ?

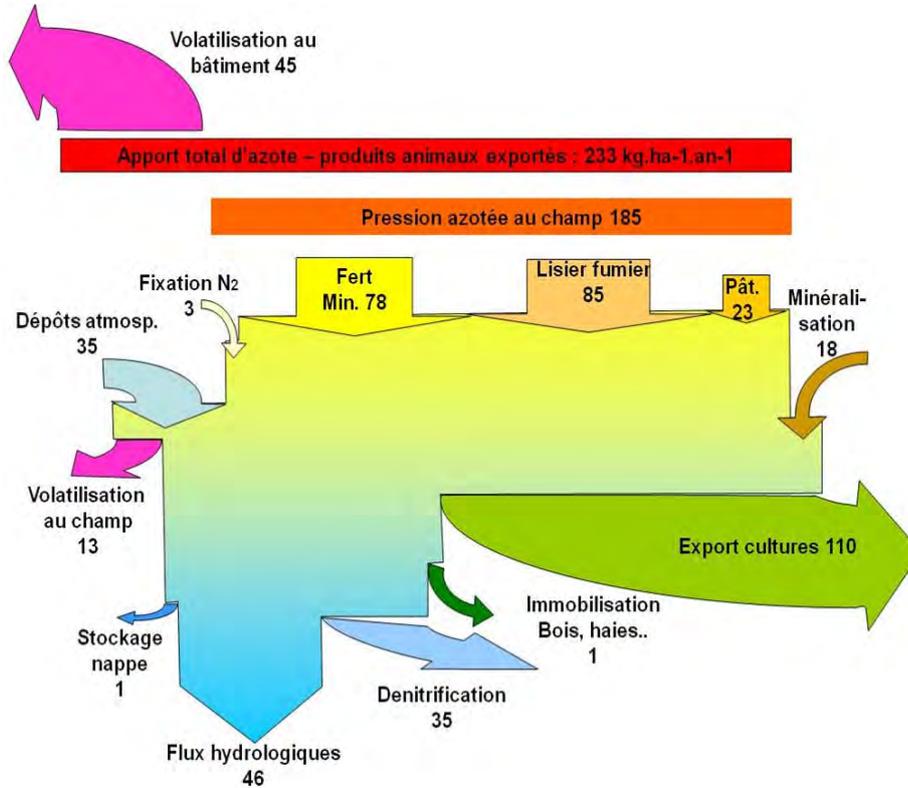


C'est la structure du paysage, la localisation des fuites dans ce dernier et l'histoire du bassin-versant qui déterminent la façon dont l'azote lessivé depuis les parcelles se transfère à l'exutoire du bassin-versant. Il n'existe donc pas de relation simple entre azote lessivé et flux à l'exutoire.

En Bretagne, la différence entre l'azote lessivé et le flux à l'exutoire varie de 0 à 70 %, avec une moyenne autour de 30%.

On peut réaliser des bilans à l'échelle du bassin pour examiner les liens entre les apports, l'azote lessivé et les flux à l'exutoire, comme sur l'exemple ci-dessous :

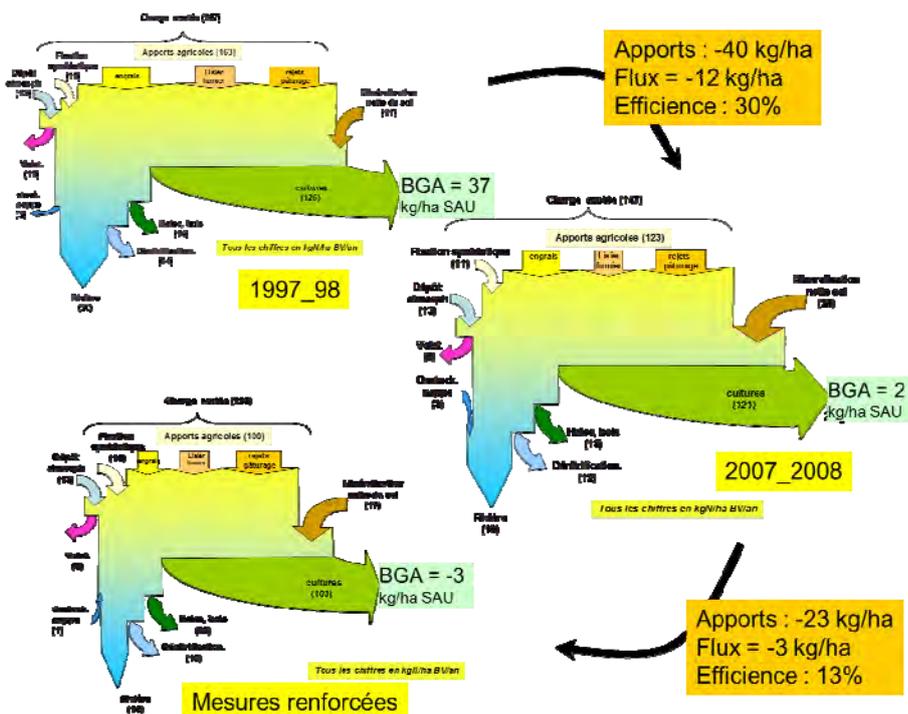
Il faut avoir conscience qu'il y a dans ce bilan autant d'azote volatilisé dans l'atmosphère que d'azote transitant dans la rivière.



La redéposition de cet azote sur les terres se fait aux deux tiers dans les 5 km alentour de l'émission. La prise en compte ou non de ces apports induit énormément d'incertitude dans les travaux.

Une autre source d'incertitude est le stockage - ou le déstockage dans la nappe, lié aux variations annuelles de pluviométrie (mais sur le long terme, ces variations se compensent), et aux variations à long terme des concentrations : ainsi, quand les concentrations augmentent, la nappe stocke de l'azote, qui de ce fait ne rejoint pas l'exutoire.

Quand on agit sur ce type de système, il faut avoir conscience que l'on intervient sur toutes les parties du bilan.



Sur l'exemple ci-contre, on passe d'une Balance Globale Azotée (apports agricoles – exportations par les cultures) de 37 kg/ha SAU en 1997-1998 à 2 kg/ha de SAU en 2007-2008, avec une baisse des apports de 40 kg/ha.

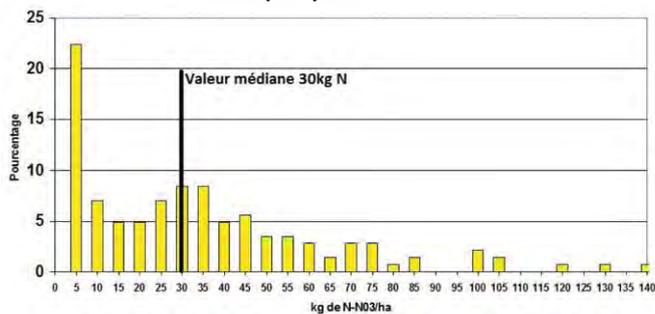
Mais les flux dans le cours d'eau ne baissent que de 12 kg/ha : on a gagné 1 kg de flux à l'exutoire pour 3 kg d'apports en moins.

Le système global à réagit : les rendements, donc les exportations ont baissés, ainsi que la dénitrification, et la nappe se déstocke alors qu'elle stockait auparavant.

Les mesures renforcées mises en place ensuite ont une efficacité encore moindre : pour 23 kg/ha d'apports en moins, sans agir sur les systèmes, on n'obtient qu'une baisse de 3 kg du flux dans le cours d'eau, et le rendement a cette fois baissé de façon importante, avec 15 % d'exportation d'azote en moins par les cultures.

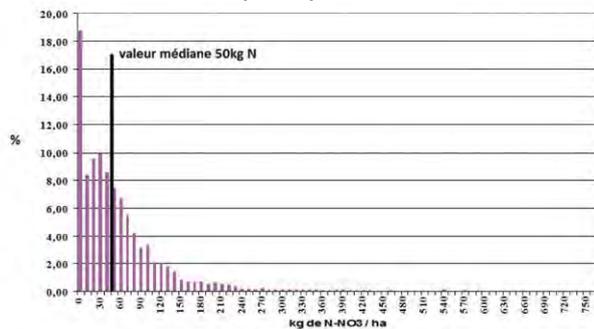
Lorsqu'on se trouve dans une situation non optimale ou d'apports excessifs, on peut agir sur le raisonnement de la fertilisation et ajuster les apports et cela sera efficace. Mais si l'on doit obtenir des flux inférieurs, le raisonnement sur les apports est insuffisant. On n'est plus en train de parler d'excédents, il faut augmenter l'efficacité globale du système, utiliser au maximum l'azote apporté, en perdre le moins possible, et en recycler le maximum au sein du système. Le raisonnement sur la balance globale azotée ne suffit pas.

Parcelles de référence (240)



Par ailleurs, on voit que sur des parcelles où la fertilisation est très maîtrisée, les reliquats post récolte ou « d'azote potentiellement lessivable » sont autour d'une médiane de 30kg/ha, avec des valeurs qui vont jusqu'à 140. Or même à moins de 30 kg/ha, il y aura certaines années des fuites importantes vers la nappe, en fonction du climat.

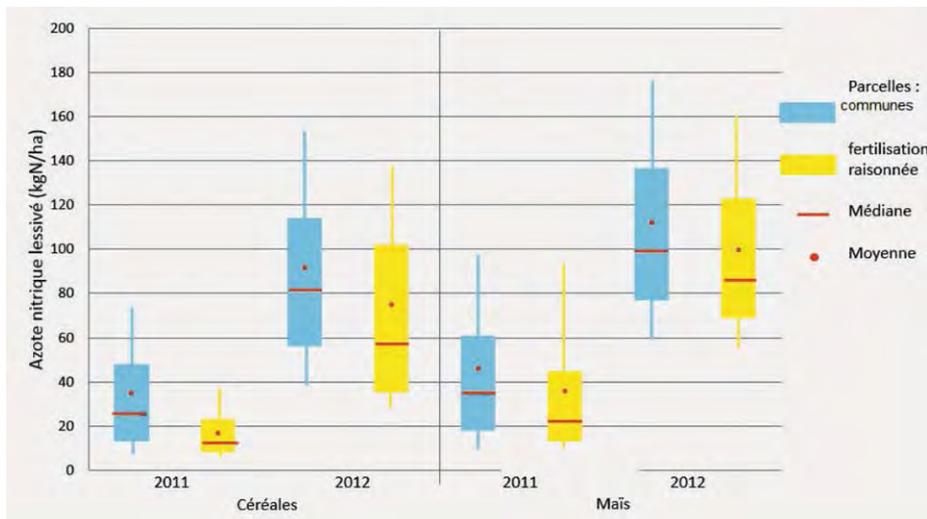
Parcelles « communes » (7 000)



NB : Sur les parcelles communes, la médiane se situe déjà à 50 kg/ha, et les valeurs s'éparpillent dans des valeurs très hautes...

La question est ensuite de savoir comment ces parcelles sont représentées à l'échelle du bassin-versant.

Même les parcelles très bien gérées généreront certaines années des fuites importantes :



Conclusion

L'azote lessivé à la parcelle...

- N'est pas nul quand la « fertilisation est équilibrée » au sens réglementaire ;
- N'est pas nul quand le reliquat post absorption est nul.

La captation de la minéralisation automnale et hivernale est cruciale, d'où la nécessité d'assurer une bonne couverture des sols, efficace, sur cette période.

Or, par rapport aux systèmes de culture aujourd'hui en place :

- les céréales d'hiver ne sont pas des CIPAN³, et par conséquent les systèmes fourragers à base de maïs ensilage sont « forcément » à risque,
- la gestion des prairies (et de leur retournement) influe grandement sur leur rôle de source ou de puits de nitrate.

Débat - échanges

M. CORBEL (*VIVARMOR NATURE*) : Ne peut-on pas prévoir, à partir des données dont on dispose (sol, hydrologie, relief, etc.) la présence de zones humides ?

M. DURAND (*INRA*) : On peut probabiliser la présence de zones humides (c'est ce qu'a fait la modélisation hydrologique à l'origine de l'enveloppe de référence des zones humides), mais c'est la durée de présence d'eau dans le sol qui va permettre à la zone humide de s'exprimer réellement et aux mécanismes notamment géochimiques d'y prendre place. C'est à partir de ces travaux de probabilité de localisation qu'on a pu mesurer que l'on perd environ 5 % de surface en zones humides par an en Europe du fait de l'urbanisation.

M. CORBEL (*VIVARMOR NATURE*) : Ne faudrait-il pas travailler bassin par bassin au sein du périmètre du SAGE de la baie pour différencier les fonctionnements de ces derniers ?

M. DURAND (*INRA*) : Ce n'est pas parce qu'on a un fonctionnement différent d'un bassin à l'autre qu'il faille forcément mener une politique différente sur chacun des bassins. Par contre, on peut comprendre pourquoi, pour une même action, la réaction diffère d'un bassin à l'autre.

M. LE ROUX (*Eaux et Rivières*) : Les ions nitrates dans un contexte de sols acides breton ne peuvent-ils pas entraîner le calcium apporté à ces sols ?

M. DURAND (*INRA*) : Paradoxalement, ce sont les apports d'ammonium (NH_4^+) qui acidifient les sols, du fait de leur transformation en nitrates. Cette acidification est en effet susceptible d'entraîner des ions basiques. Mais le pH des sols cultivés est aujourd'hui très contrôlé, dans le cadre de la gestion de la ressource « sol » par l'agriculteur.

M. CORBEL (*VIVARMOR NATURE*) : Ne dispose-t-on pas de valeurs pour l'azote ammoniacal atmosphérique ?

M. DURAND (*INRA*) : On dispose d'études très précises, mais à l'échelle du « petit paysage », or cet azote se distribue ensuite de façon très hétérogène sur le territoire. On sait qu'une très grande partie est redéposée en Bretagne, avec des concentrations nulles à la pointe ouest de la Bretagne, on va ensuite de 5 à 40 kg/ha de redéposition dans le bassin rennais. Ces valeurs de retombées sont prises en compte dans les modélisations. Mais on sait également que très localement, à proximité immédiate des bâtiments, ces valeurs peuvent atteindre plusieurs centaines de kilos par hectare. Enfin, l'ammoniac gazeux est un précurseur dans l'atmosphère de particules fines tout comme le gasoil.

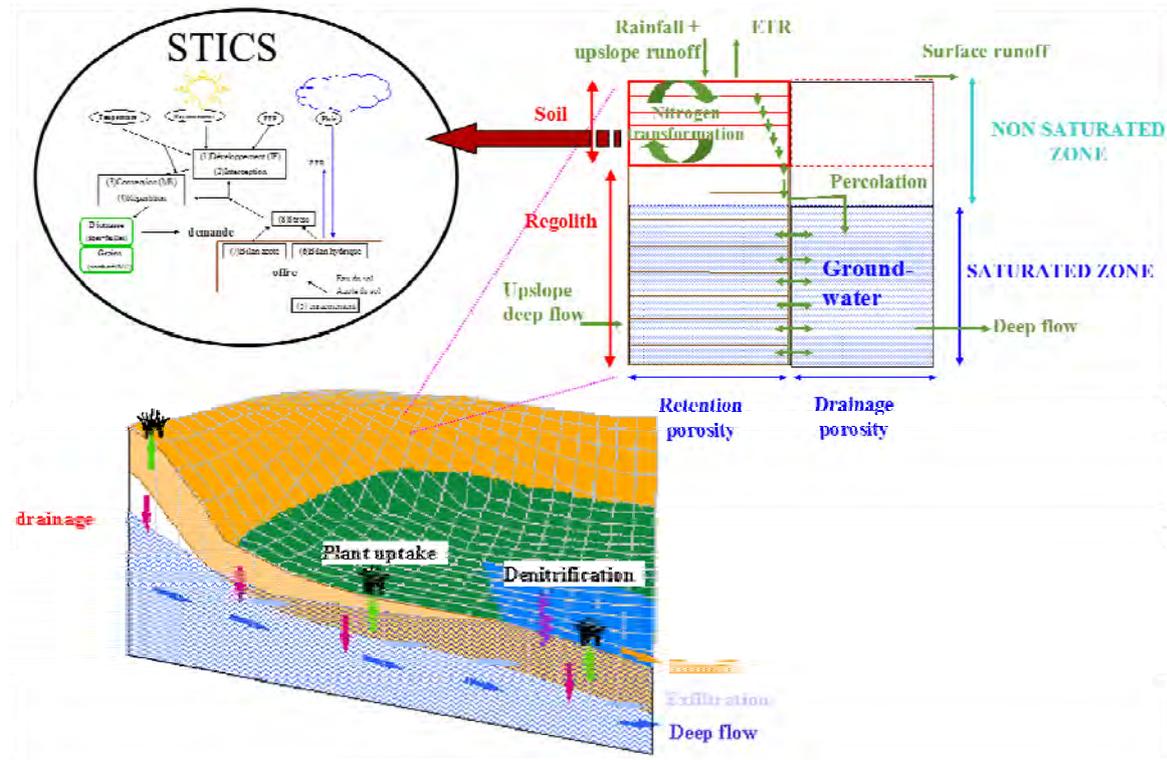
M. HAMON (*CHAMBRE D'AGRICULTURE*) : Dans le réseau de reliquats certains prélèvements ont été ciblés sur les parcelles à proximité des bâtiments, or les résultats n'ont rien mis en évidence de notable sur ces parcelles par rapport aux autres.

³ CIPAN : Culture Intermédiaire Piège A Nitrates

- M. DURAND (INRA)** : Le problème est d'apprécier la notion de « proximité » pour mener l'analyse et tenter de détecter quelque chose. L'influence du vent est ici déterminante, et les retombées peuvent être très localisées.
- M. HAMON (CHAMBRE D'AGRICULTURE)** : On met souvent en avant les systèmes bovins, valorisant mieux l'herbe, par rapport aux systèmes porcins. Or les flux spécifiques sont du même ordre aux exutoires de la baie de Lannion, largement dominée par ces systèmes et à ceux de la baie de Saint-Brieuc, où ils ne sont pas dominants.
- M. DURAND (INRA)** : Il y a une très grande différence de lame drainante entre ces bassins-versants. Celle-ci induit de facto un lessivage et des flux plus importants.
- M. COUEPEL (COOP DE FRANCE OUEST)** : Si l'on revient à la conclusion, alors comment on fait pour baisser les flux ?
- M. DURAND (INRA)** : Beaucoup de solutions sont expérimentées aujourd'hui, et rien n'est moins sûr que la solution vienne des scientifiques : la plupart des solutions viendront des expériences tentées dans les fermes par les agriculteurs eux-mêmes, en cherchant à optimiser les systèmes, à rendre la gestion de l'azote beaucoup plus efficiente. A cette échelle, il est possible de réfléchir aux solutions intégrant les aspects économiques, le sens donné à son travail, en recherchant les marchés derrière, lorsque les marges se raréfient. Il est clair que produire les mêmes quantités, avec beaucoup moins de fuites d'azote et en respectant toutes les contraintes amont et aval est difficile pour l'agriculteur.
- M. CORBEL (VIVARMOR NATURE)** : Il faudrait peut-être réfléchir à une redistribution des plus-values en matière de production agricole...
- M. HAMON (CHAMBRE D'AGRICULTURE)** : Dans les systèmes en place, l'implantation et la bonne gestion des intercultures est déterminante.
- M. LEBRETON (MISEN)** : Effectivement, mais malheureusement, ce que l'on observe de plus en plus, c'est un décalage des semis et des récoltes : le maïs est récolté de plus en plus tard, jusque fin novembre désormais, et la CIPAN n'est plus efficace implantée après cette date.
-

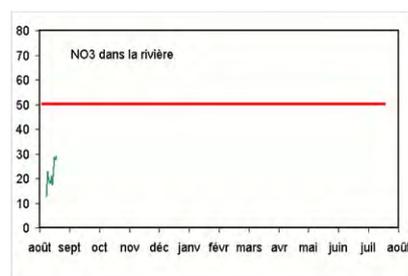
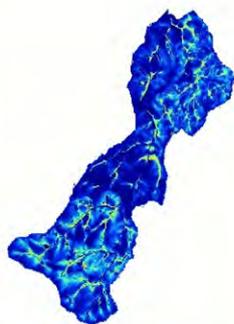
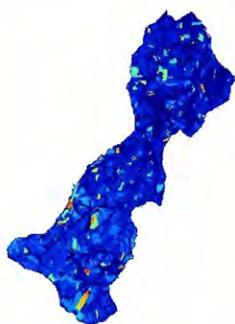
5. Les travaux de modélisation des flux en baie de Saint-Brieuc

Principe général du modèle TNT2 utilisé



Le modèle développé se base sur une « maille unitaire » ou parcelle de paysage où est appliqué, en fonction de l'occupation du sol et de la connaissance des pratiques en place (ou des scénarios d'évolution de ces pratiques, lorsqu'il s'agit de tester un scénario), un modèle de devenir de l'azote dans le sol, le modèle SITCS. TNT2 permet ensuite de combiner ces mailles dans l'espace et d'intégrer les dynamiques d'échanges entre le sol et la nappe, en tenant compte des fluctuations de cette nappe et de la présence des zones humides dans le paysage. Il prend en compte les différents trajets que l'eau emprunte (et donc l'azote) et les différents temps de transfert dans le bassin.

Les temps de transfert longs (très longs) sont moins bien pris en compte, mais leur participation sera intégrée lors du calibrage du modèle sur la période reconstituée où l'on dispose de mesures.



Le stock d'azote dans le sol... Flux nappe-rivière... ...Jusqu'à la rivière

Ce que le modèle prend en compte, ce qu'il ne prend pas en compte

Il y a tout d'abord une question d'échelle : plus le bassin modélisé est petit, plus les risques d'erreur sont importants. Le modèle reconstitue très mal ce qui se passe à l'échelle parcellaire, mais intègre bien la complexité des mécanismes interagissant à l'échelle d'un bassin plus étendu.

Les pratiques agro-écologiques ou le non labour sont peu ou mal prises en compte, parce que l'on connaît mal leur influence sur les fuites d'azote, très dépendantes de la nature des sols à l'échelle parcellaire et de leur historique. Il intègre également assez mal le comportement des prairies avec légumineuses.

Le modèle simule également mal l'existence de nappes distinctes au sein du bassin-versant.

Processus pris en compte :

- Relation pratiques agricoles (quand ? Comment? Quoi ? Où?) et utilisation de l'azote par la plante -> rendement, lessivage ;
- Interaction sol-nappe-rivière (zones humides) ;
- Variabilité des sols, du sous-sol ;
- Diversité des chemins d'eau et des temps de résidence ;
- Effets de quelques infrastructures écologiques : haies, zones humides, bandes enherbées ;
- Effet des variations climatiques.

Processus non pris en compte

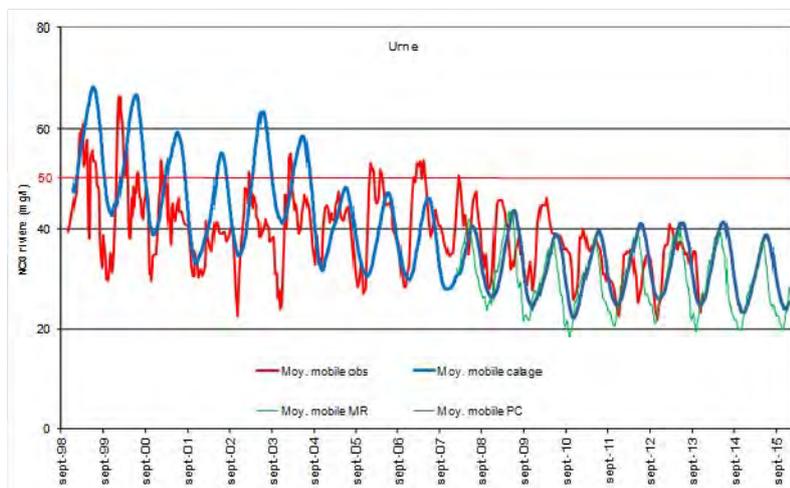
- Simplifications et approximations nombreuses pour les pratiques agricoles (liées aux données disponibles et à la taille des bassins-versants) ;
- Calibration là où données débits concentrations sont disponibles depuis 10 ans (pas au littoral...) ;
- Certaines pratiques « agro-écologiques »: non labour, associations végétales, certaines cultures et variétés....
- Superposition de nappes très différentes ;
- Ruissellement de surface ;
- Drainage artificiel ;
- Pollutions domestique et urbaine ;
- ...

Les performances de prédiction du modèle

Ce modèle a été utilisé en 2007 sur 5 bassins-versants bretons dits « en contentieux » : l'Horn, le Haut Gouessant, l'Urne, l'Aber Wrach, et les Echelles.

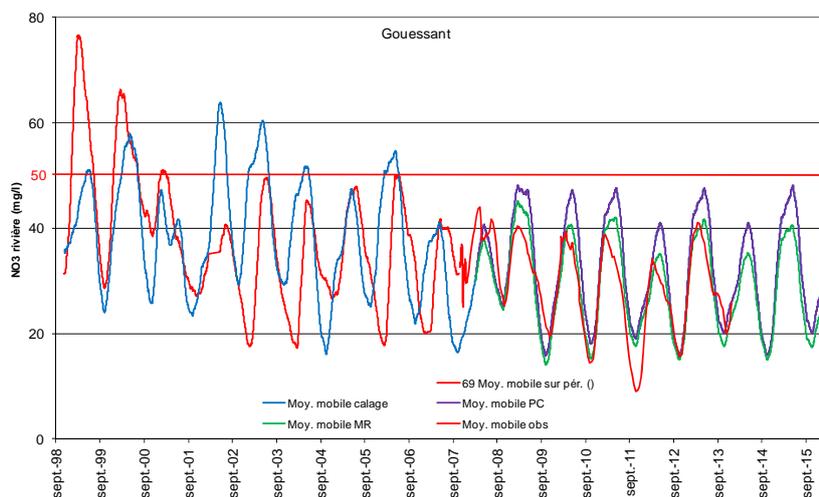
2 scénarios ont été testés :

- En extrapolant les pratiques identifiées en 2007 (Pratiques Constantes - PC)
- En appliquant immédiatement et totalement le plan d'action prévu (réduction des apports - MR : mesures renforcées).



On peut ainsi comparer jusqu'en 2014 les prédictions faites (Moy. Mobile PC et Moy. Mobile MR) selon les deux scénarios avec les mesures de concentrations nitriques effectuées depuis (Moy. Mobile obs) - ci-contre pour l'Urne.

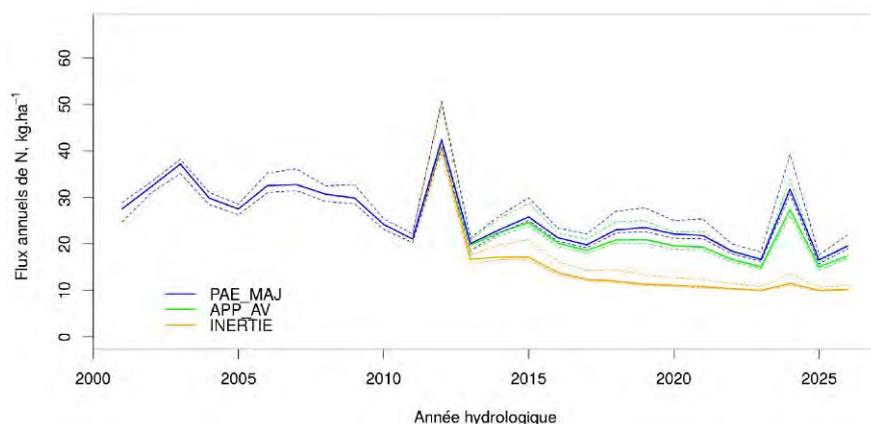
Sur tous les bassins modélisés, la prédiction à 6-7 ans s'avère plus proche des observations que ne le sont les résultats du modèle sur la période de calage. Sur l'Urne, la réalité se rapproche plus du scénario à pratiques constantes.



Sur le Haut-Gouessant, les observations depuis 2007 montrent des résultats proches, voire légèrement meilleurs que le scénario à mesures renforcées.

Dans tous les cas, les deux scénarios prédits « encadrent » à peu de chose près la réalité observée depuis.

Grâce à l'approche menée par le bureau d'études SCHEME, une approche des incertitudes des résultats est désormais possible :



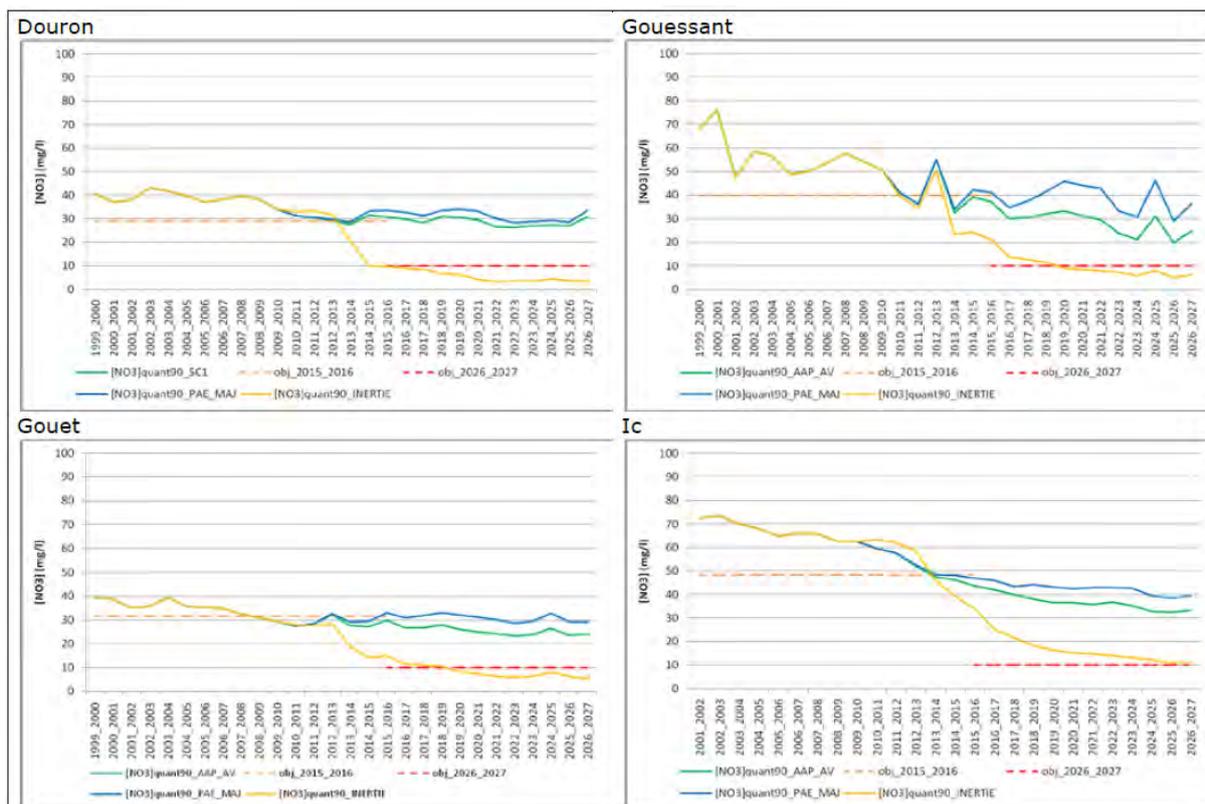
PAE_MAJ : scénario d'évolution des flux spécifiques à pratiques constantes

AAP_AV : scénario avec mise en application des actions prévues dans le PLAV

INERTIE : scénario avec arrêt de toute alimentation en azote de la nappe (test de l'inertie)

Les courbes en pointillés « encadrent » les prédictions du modèle suivant les scénarios, en tenant compte de l'incertitude estimée.

La modélisation qui a été faite sur les baies à algues vertes en 2011 a testé les scénarios des différents plans d'actions sur les bassins concernés. Les résultats ont été présentés comparés à une valeur de percentile 90 « objectif » à 10 mg/l (Cf. graphiques page suivante, Scénario AAP_AV).



Si l'on traduit ces mêmes résultats en flux 'printaniers' ou estivaux, de mai à septembre, afin de les comparer aux objectifs du SAGE en matière de réduction des flux d'azote, tout d'abord, on voit que si les bassins-versants ne réagissent pas tout à fait de la même façon, le modèle prédit un rapport entre flux d'été et flux annuel à peu près comparable suivant les scénarios.

| bassin | scénario | [NO3]été/[NO3]hiver | % débit été/an | % flux été/an |
|-----------|---------------------|---------------------|----------------|---------------|
| Urne | pratiques actuelles | 0.81 | 17.5% | 15.1% |
| | plav | 0.81 | 17.4% | 14.7% |
| Ic | pratiques actuelles | 0.93 | 22.7% | 21.5% |
| | plav | 0.95 | 22.7% | 21.7% |
| Gouet | pratiques actuelles | 0.85 | 21.4% | 18.7% |
| | plav | 0.85 | 21.4% | 18.7% |
| Gouessant | pratiques actuelles | 0.65 | 21.3% | 14.6% |
| | plav | 0.66 | 21.3% | 14.8% |

Prédictions du modèle traduits en flux spécifiques moyens durant la période estivale pour les différents bassins-versants et comparés aux objectifs du SAGE sur la période mai-septembre (en kgN/ha/saison) - l'objectif du SAGE est traduit comme une réduction de 60% des flux de chaque bassin entre la période de référence prise entre 1998 et 2002 (4 ans) et la période finale de 2024 à 2027 (3 ans) :

| bassin | scénario | Flux été 2024-2027 | Objectif SAGE |
|-----------|---------------------|--------------------|---------------|
| Urne | pratiques actuelles | 3.68 | 3.21 |
| | plav | 2.89 | 3.21 |
| Ic | pratiques actuelles | 5.35 | 2.84 |
| | plav | 2.83 | 2.84 |
| Gouet | pratiques actuelles | 4.20 | 3.00 |
| | plav | 3.82 | 3.00 |
| Gouessant | pratiques actuelles | 2.76 | 2.85 |
| | plav | 1.98 | 2.85 |

Ces mêmes résultats de modélisation, une fois traduits en flux spécifiques (kgN/ha) sur la période mai-septembre et non plus en percentiles 90 sur l'année montrent que l'on atteindrait en 2024-2027 les objectifs du SAGE, sur 3 des 4 bassins.

On observe toutefois des situations contrastées :

- L'**Urne** dépasse l'objectif grâce aux actions mises en place et ne l'atteindrait pas sans ces dernières, même si la différence n'est pas si importante (21 % en moins entre le scénario pratiques constantes et mise en œuvre du plan) ;
- L'**Ic** atteint de très peu l'objectif, grâce aux actions mises en place et serait très loin de l'atteindre si rien n'était entrepris ;
- Le **Gouët** n'atteint pas l'objectif, et les actions mises en place ont un effet limité par rapport au scénario à pratiques constantes ;
- Le **Gouessant** dépasse largement l'objectif (de 30 %), et l'atteindrait, mais de très peu, selon le scénario à pratiques constantes.

Il est à noter que le modèle, pour le Gouët ainsi que pour l'Urne, n'a pas été calé aux points de suivi aux exutoires de ces deux bassins⁴.

Le Gouët a les débits d'étiage les plus soutenus et représente une part dominante dans les flux vers la baie sur la période mai-septembre. Le modèle prédit que cette part est amenée à augmenter dans les années à venir.

Si l'on considère l'objectif global du SAGE en flux total, le modèle prédit bien une baisse d'environ – 60 % des flux cumulés de l'Ic, du Gouët, de l'Urne et du Gouessant suite à l'application des mesures du plan de lutte sur la baie : les baisses plus fortes sur l'Urne et sur le Gouessant venant compenser celle moins forte – parce que plus lente - sur le Gouët.⁵

Ces résultats traduisent surtout le comportement du bassin sur le long terme, et c'est principalement l'effet du passé du bassin qui se fait sentir, avec en plus des actions qui vont dans le bon sens. Il est donc important de poursuivre les efforts en sachant que le modèle a simulé – ce qui est une hypothèse très forte – que toutes les actions du plan étaient déployées simultanément, et partout !

Débat - échanges

M. CORBEL (*VIVARMOR NATURE*) : Le drainage est important sur certaines parties du bassin, et induit des réponses forcément particulières qui doivent être prise en compte, au moins dans le calibrage...

M. DURAND (*INRA*) : Oui, lors du calibrage du modèle sur la série de données existantes, on peut « rattraper » l'influence du drainage, de la même façon que l'on « rattrape » l'influence de la nappe très profonde pour caler au mieux le modèle en s'appuyant sur des hypothèses connues.

⁴ Le point de suivi utilisé pour le calage du modèle est le point 014171010 au niveau de St-Barthélémy pour le Gouët et le point 04168256 situé à Magenta pour l'Urne. On sait que l'extrapolation des flux spécifiques à partir de ces points surestime le flux final à l'exutoire (cf. Tableau de bord 2014 du SAGE – Carte 4 page 13 et Tableau 4 page 18). Le calage sur le Gouessant a été fait à Andel, ce qui néglige d'une part les apports de l'Evron dont les débits d'étiage sont plus soutenus, et l'influence des deux retenues terminales successives des Ponts-Neufs et de Pont Rolland. Cela peut avoir une influence sur l'estimation des valeurs absolues des flux sur la période initiale et dans les prédictions. En termes relatifs, c'est-à-dire dans le cadre d'une comparaison entre les deux périodes, cela n'a d'incidence sur les résultats que si l'on considère que les parties non modélisées du bassin sont susceptibles d'évoluer différemment des parties modélisées.

⁵ Par contre, il n'est pas sûr que le flux du Gouët, supérieur à l'objectif, ne suffise pas à alimenter le phénomène de prolifération et d'échouages dans l'Anse d'Yffiniac (Cf. Point 2, Evolution du phénomène, p.15) et à dégrader l'état global de la masse d'eau du fond de baie.

- M. DAVID** (*SAINT-BRIEUC AGGLOMERATION*) : Les différents types d'effluents apportés sur les parcelles, qui induisent des comportements de l'azote différents dans le sol sont-ils pris en compte ?
- M. DURAND** (*INRA*) : Oui, dans la mesure où l'information est disponible, on peut différencier les apports suivant qu'il s'agit de lisier, de compost ou de fumier frais, etc.
- MME. MELET** (*LAMBALLE CTE*) : Dans la détermination des incertitudes des résultats en matière de prédiction de l'évolution des flux faites par le modèle, peut-on distinguer ce qui relève de ce qui est pris en compte de ce qui n'est pas pris en compte par ce dernier ?
- M. DURAND** (*INRA*) : Oui, cette analyse des résultats est possible.
- M. LE ROUX** (*Eaux et Rivières*) : La prise en compte du drainage est un point important : le taux de surfaces drainées dépasse les 25 % sur certains sous-bassins de la baie.
- M. DURAND** (*INRA*) : On peut très bien modéliser le fonctionnement des parties drainées du bassin, par contre, la localisation précise des parcelles drainées est souvent moins évidente, et ces drains sont-ils réellement efficaces ? Au bout de quelques années, très souvent, les drains se colmatent et leur efficacité est fortement diminuée.
- M. HAMON** (*Chambre d'Agriculture*) : Le drainage peut également avoir un effet positif sur les fuites d'azote, dans la mesure où il améliore les rendements et donc l'efficacité de la gestion de l'azote sur la parcelle, c'est autant d'azote capté par les cultures qui n'ira pas à la nappe. De plus, les flux issus du drainage sont principalement exportés durant la période hivernale, l'impact du drainage sur le bilan de l'azote et les flux visés est un peu plus compliqué qu'il n'y paraît : tout n'est pas blanc ou noir.
- M. DURAND** (*INRA*) : Dans la mesure où des portions de bassin sont identifiées comme drainées à plus de 25 %, il est possible de conduire une approche particulière en en tenant compte. Effectivement, on peut retenir qu'il faut se méfier des idées toutes faites en la matière.
- M. DAVID** (*Chambre d'Agriculture*) : Est-on en mesure, selon ces résultats, d'identifier au sein du plan les actions les plus contributives à la baisse des flux ?
- M. DURAND** (*INRA*) : Cela n'a pas été fait et ce n'est pas sûr que cela soit très faisable.
- M. CORBEL** (*Vivarmor Nature*) : Lors des travaux de modélisation de 2007-2008 sur les bassins en contentieux, l'influence de la nappe avait été montrée comme prépondérante et les données agricoles insuffisamment précises. Cela a-t-il été affiné depuis ?
- M. DURAND** (*INRA*) : On a effectivement amélioré les méthodes, et l'on a réalisé une première quantification des incertitudes, mais le modèle n'a pas changé fondamentalement. En 2008, réajustant le modèle par calibrage, on retrouvait ses petits, mais on sous-estimait forcément ce l'impact des pratiques. Il serait intéressant de comparer les résultats du modèle avec des mesures « intermédiaires » comme les reliquats sortie hiver, etc.
- M. CORBEL** (*Vivarmor Nature*) : N'est-il pas envisageable de combiner ces résultats, en les consolidant si possible avec ces mesures intermédiaires, avec les outils de modélisation du CEVA sur la prolifération des algues en baie ?
- M. DURAND** (*INRA*) : C'est à priori assez simple de combiner ces modèles, du moins en ce qui concerne la partie bassin-versant, cela peut être fait très rapidement. Ce serait tout à fait intéressant, sinon nécessaire.
- M. BALLU** (*CEVA*) : Comment expliquer la faible réactivité du Gouët : une très forte inertie ? Une sensibilité plus importante liée au lessivage ?
- M. DURAND** (*INRA*) : L'impact des mesures du plan est à priori plus faible sur le Gouët amont, où les marges de progrès sont moins importantes, les surfaces en herbe déjà importantes, les zones humides relativement préservées, etc. La lame drainante, plus forte que sur le reste du bassin doit jouer également.

M. DAVID (*SAINT-BRIEUC AGGLOMERATION*) : C'est ce qui avait été identifié dans le projet et avait conduit à se doter d'objectifs plus poussés sur les secteurs dits « sensibles », soit l'entier bassin amont du Gouët, où les mesures visant aux mutations des systèmes devaient être renforcées par rapport au reste du bassin.

MME. MELET (*LAMBALLE CTE*) : L'Evron n'a pas été pris en compte dans le bassin-versant du Gouessant modélisé (cf. note 5), or ce cours d'eau représente le tiers du bassin total du Gouessant et son comportement n'est pas tout à fait le même, ses flux spécifiques sont importants. Il faudrait pouvoir le prendre en compte.

MME WITTEN (*REGION BRETAGNE*) : Ces travaux sont utiles pour réfléchir aux objectifs du nouveau plan 2017-2021. Quel recours à la modélisation pour travailler ces objectifs ? Comment cet outil peut-il être mobilisé ?

M. DURAND (*INRA*) : Il faut bien construire les questions qui seront posées avec les porteurs de projet, cibler tel ou tel questionnement. Il n'y a pas d'intérêt à réinjecter dans le modèle de nouveau plan d'action tout fait. Il faut intégrer les suivis aux exutoires, prendre en compte l'Evron, se caler sur les mesures faites, et identifier la nature des actions que l'on souhaite tester. L'utilisation de la modélisation pour co-construire des scénarii prospectifs, ce qui était le but au départ, me paraît un exercice de plus en plus difficile. Si l'on teste un scénario, c'est qu'il y a des acteurs pour vouloir le mettre en place. Le problème est de ne pas s'interdire des possibles. Il y a du travail pour mettre en place des techniques de co-construction adéquates.

MME WITTEN (*REGION BRETAGNE*) : Le pas de temps de la prédiction demandée influe-t-il sur le résultat ?

M. DURAND (*INRA*) : Oui, si on modélise pour une prédiction sur 4-5 ans, on montrera toujours un impact faible des actions prévues. Elles n'auront pas le temps de s'exprimer dans les résultats.

M. HAMON (*CHAMBRE D'AGRICULTURE*) : il y a également des évolutions imprévisibles, des « effets collatéraux » liés aux plans d'actions mis en place, qui vont influencer sur les résultats finaux : par exemple sur les bassins en contentieux, on a vu se développer très rapidement la conduite des troupeaux au bâtiment et la diminution du pâturage au champ suite à l'instauration des nouvelles normes vaches laitières.

M. DURAND (*INRA*) : Est-ce bien spécifique aux bassins en contentieux ? Il me semble que c'est là le système des grands troupeaux qui se développe un peu partout...

M. LE ROUX (*Eaux ET RIVIERES*) : Il a été question au cours de la journée des retombées d'azote atmosphérique, et il a été dit que ces dernières étaient négligeables en ce qui concerne l'alimentation des algues par rapport aux flux issus des cours d'eau, le confirmez-vous ?

M. DURAND (*INRA*) : Oui, effectivement, la surface du littoral où les algues sont présentes et où ces retombées pourraient avoir un impact est bien trop limitée, la surface de réception est trop faible et ces retombées sont marginales par rapport aux apports des cours d'eau. Sur un grand bassin-versant, elles doivent par contre être prises en compte dans le bilan global, dans les apports aux parcelles.

M. CORBEL (*VIVARMOR NATURE*) : Il serait intéressant de connaître ou d'estimer le « volume drainable » annuel de la nappe pour chaque bassin, cela permettrait d'affiner les perceptions, l'appréhension globale du problème.

M. DURAND (*INRA*) : Dans le modèle, on calcule ce volume en fonction de l'hydrologie. Mais un autre modèle utiliserait une autre valeur. Il ne s'agit pas là d'une grandeur univoque et la réalité est bien plus complexe, plus difficile à appréhender. Peut-être vaut-il mieux comparer les réactions des bassins entre eux, la valeur absolue d'une telle grandeur est peu significative.

* * *

Fin des échanges