

## **Portail WEB cartographique (version V2 beta)**

### **Qualité des eaux des bassins versants bretons : calcul des flux d'azote**

En 2008, le Conseil scientifique de l'environnement de Bretagne (CSEB)<sup>1</sup> avait réalisé avec Hervé Squidant (UMR SAS Agrocampus Ouest - INRA), une application cartographique sur internet (portail V1) afin de rendre plus aisément accessibles des données relatives aux bassins versants bretons, notamment les résultats sur la qualité des eaux en nitrate (calcul de flux de N) pour les stations « bilan » du programme régional GP5<sup>2</sup> et les stations les plus proches des exutoires à la mer .

Dans le cadre de travaux au sein de l'UMR SAS Agrocampus Ouest-INRA en lien avec le CSEB, Jonathan Vanhouteghem et Hervé Squidant ont adapté ce portail WEB cartographique (portail V2 beta) afin :

- d'avoir un outil innovant basé sur les standards OGC (Open Geospatial Consortium)<sup>3</sup> qui permettent un large éventail d'accès pour l'utilisateur (Géocatalogue<sup>4</sup>, GéoBretagne<sup>5</sup>, etc.)
- de transformer le logiciel de calcul de flux d'azote (outil Macroflux sur tableur Excel) en un outil « base de données », actionnable facilement par une requête SQL<sup>6</sup>.
- de développer un outil de visualisation dynamique des graphes de concentration et flux d'azote générés automatiquement, intégré à des couches spatiales diffusées par flux OGC.

### **Choix et détermination des stations « Qualité », « Débit » et « Exutoire »**

- **Les stations « Qualité »** retenues sont celles prises en référence dans le cadre des contrats de bassin versant GP5<sup>2</sup> pour le bilan annuel de la qualité des eaux en nitrate ainsi qu'une quinzaine de stations supplémentaires appartenant à d'autres réseaux de surveillance. L'objectif est d'avoir des données de concentrations et de flux d'azote couvrant le plus grand nombre de bassins versants permettant in fine d'estimer les flux d'azote à la mer.
- **La station « Débit »** retenue est la plus proche de la station "Qualité" afin de calculer des flux d'azote.
- **La station « Exutoire »** est définie, selon 3 situations :
  1. *Le point de référence où est située une station de suivi de la qualité de l'eau* : cette station est considérée comme un exutoire délimitant le tronçon supérieur d'un cours d'eau c'est-à-dire la partie amont d'un BV.
  2. *La confluence entre un affluent et le cours d'eau principal* lorsqu'il s'agit de l'exutoire d'un sous-bv : il s'agit du point d'intersection entre le linéaire de la Masse d'Eau "cours d'eau principal" et le linéaire de la Masse d'Eau "affluent"
  3. *L'exutoire à la mer* de l'ensemble d'un BV (embouchure).

**Les limites hydrographiques des bassins ou sous-bassins versants sont définies à partir de ces « exutoires ».**

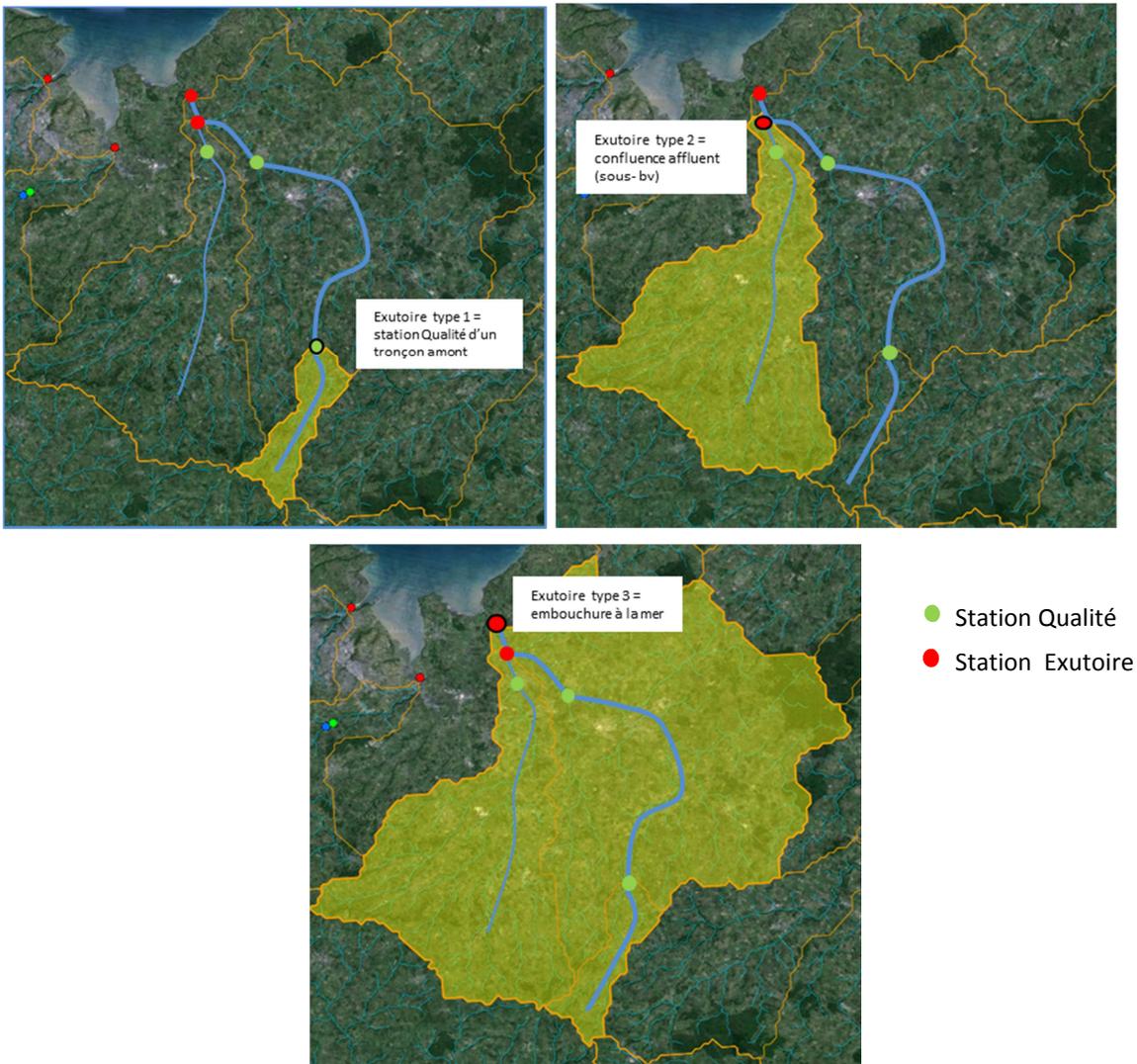
<sup>1</sup> Pierre Arousseau *président*, Josette Launay *chargée de mission permanente* et Patrick Pouline *chargé d'études contractuel*.  
<sup>2</sup> GP5 = Programme régional de reconquête de la qualité des eaux dans le cadre du Contrat de Projet Etat-Region Bretagne 2008-2013

<sup>3</sup> Le consortium OGC a publié un ensemble de normes internationales qui s'étendent à l'ensemble des méthodes, outils et services d'acquisition, de gestion, de traitement, d'analyse, d'accès, de présentation et d'échange d'informations géographiques. Elles apportent l'interopérabilité aux outils de l'information géographique, c'est-à-dire la capacité de fonctionner avec d'autres systèmes existants ou futurs.

<sup>4</sup> Géocatalogue : point d'accès aux métadonnées publiées par les autorités publiques françaises, conformes aux obligations de la Directive INSPIRE. Le Géocatalogue inventorie et restitue les différentes sources d'informations géographiques publiques au niveau national.

<sup>5</sup> GéoBretagne : plate-forme d'échange de données pour la connaissance des territoires en Bretagne.

<sup>6</sup> SQL ("Structured Query Language" ou "Langage de requêtes structuré") est un langage informatique destiné à interroger ou piloter une base de données.



Pour les exutoires à la mer, les règles retenues ont été :

- Soit le point d'intersection entre le linéaire du réseau hydrographique (Masse d'Eau « cours d'eau ») et la Masse d'Eau de Transition (MET) ou la Masse d'Eau Côtière (MEC) (source BD Carthage – masses d'eau définies dans le cadre de la Directive cadre sur l'eau DCE) ;
- Soit la présence d'un Ouvrage Humain (OH) qui, de fait, empêche la remontée de l'eau de mer et contribue à définir la limite eau douce / eau salée ;
- Soit la Limite de Salure des Eaux (LSE). Cette limite, déclarée par décret<sup>7</sup>, est avant tout administrative. Elle définit la limite eau douce / eau de mer des bassins versants.

Ces 3 possibilités ont été comparées et commentées à partir de l'analyse des orthophotos ou de la carte IGN (1/25 000), abondée des connaissances de terrain.

Souvent, il y a cohérence entre la règle « limite de salure des eaux » et la règle « existence d'ouvrage humain » (LSE = OH). Parfois, il y a cohérence entre ces deux premières règles et la règle « limite de la MET ou de la MEC » (LSE = OH = MET ou MEC). Dans quelques cas, il y a cohérence entre cette dernière règle et l'une des deux précédentes (MET ou MEC = OH ; MET ou MEC = LSE).

<sup>7</sup> Décret sur l'exercice de la pêche du 9 janvier 1852 : les limites de cessation de salure des eaux déterminent, dans les fleuves, la ligne de séparation entre le régime de pêche fluviale situé en amont et celui de la pêche maritime en aval. Source : <http://www.ifremer.fr/docelec/doc/2002/rapport-2289.pdf>

## Collecte et traitement des données nécessaires pour le calcul de flux d'azote

Les calculs de flux sont effectués à la station « Qualité » de référence du bassin versant.

### Les données relatives :

- **aux débits** sont issus de la Banque nationale HYDRO (<http://www.hydro.eaufrance.fr/>). Les données utilisées sont journalières<sup>8</sup>. Les courbes de tarage sont régulièrement contrôlées par la DREAL Bretagne. Néanmoins, on considère généralement une incertitude d'environ 10 % sur les mesures de débit.
- **aux concentrations en nitrate** sont issues de la Base de données régionales (BEA) ou de la Base nationale OSUR-Web de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne ([http://www.eau-loire-bretagne.fr/informations\\_et\\_donnees/donnees\\_brutes/osur\\_web](http://www.eau-loire-bretagne.fr/informations_et_donnees/donnees_brutes/osur_web)). Les données sont généralement au minimum à fréquence mensuelle. La longueur de la série chronologique des concentrations en nitrate varie d'un bassin à l'autre. L'année de démarrage des suivis varie de la fin des années 1970 au début des années 2000. Aucune limite n'a été fixée pour la longueur des séries chronologiques.
- **aux surfaces des bassins hydrographiques et aux lames d'eau écoulées interannuelles** associées à chaque station (Qualité, Débit et Exutoire) sont extraites du modèle numérique de terrain développé par Agrocampus Ouest – UMR SAS (MNT Surf, réseau hydrographique modélisé par traitement de MNT à pas de 250 m). Le logiciel établit le bassin topographique associé à chaque station et calcule la surface de ce bassin topographique et les lames d'eau écoulées. Celles-ci sont calculées à partir des modules spécifiques interannuels trentenaires (1960 à 1990) fournis par la DIREN Bretagne. Ces données sont nécessaires pour les calculs de flux, lorsque les stations Qualité, Débit et Exutoire ne sont pas situés au même endroit.

## Calculs des flux d'azote

Le calcul des flux associe une valeur journalière de débit à une valeur journalière de concentration. Ce calcul commence l'année où les données de débits et concentrations sont suffisantes.

**Les mesures de concentration n'étant pas quotidiennes, des valeurs journalières sont reconstituées par interpolation** : les concentrations journalières sont calculées grâce à une régression linéaire entre deux dates de mesures, afin de s'adapter aux mesures de débit journalières.

La fréquence de mesure des concentrations est généralement au moins mensuelle. Néanmoins, il peut y avoir ponctuellement plusieurs mois sans mesure. Pour l'interpolation, l'écart temporel maximal entre deux mesures de concentration a été fixé à 100 jours.

### Les flux sont calculés au point de suivi "Qualité"

Lorsque la station "Qualité" est couplée à une station Débit au même endroit ou très proche, il suffit de multiplier les débits et les concentrations mesurées (même si les coordonnées des stations diffèrent de quelques mètres).

**Lorsque les stations Qualité et Débit ne sont pas superposés, il est nécessaire de procéder à une extrapolation pour le calcul des flux à la station "Qualité"** et donc de reconstituer les débits à la station "Qualité". Pour cela, les débits sont extrapolés au prorata du rapport  $RL1 = LSQ / LSD$  : rapport des lames d'eau écoulées entre station de suivi "Qualité" (LSQ) et station Débit (LSD).

Pour chaque jour, les calculs présentés dans le tableau 1 sont effectués.

<sup>8</sup> Le débit journalier est la moyenne des débits d'un jour donné. Dans la banque HYDRO, le débit journalier a deux sources possibles : En règle générale, il est calculé directement à partir des couples hauteurs-temps et de la courbe de tarage. Il est recalculé automatiquement en cas de modification des couples hauteurs-temps ou de la courbe de tarage concernée. Exceptionnellement, il a été fourni directement par le producteur (Source : <http://www.hydro.eaufrance.fr/aide.php>)

Tableau 1 : Calculs effectués au point de suivi Qualité pour chaque jour de mesure

Formule	Unité	Variable
$Débit-ex = Débit * R_{L1}$	L/s	Débit extrapolé au point de suivi
$NO3-ex$	mg/L	Concentration en $NO3^-$ à la station de suivi Qualité, extrapolée par régression linéaire entre deux points de mesures
$flux = Débit-ex * NO3-ex$	mg $NO3^-$ /s	Flux de $NO3^-$
$F_{jour} = Flux * 86400$	mg $NO3^-$ / jour	Flux de $NO3^-$ journaliers
$F_{no3} = F_{jour} / 10^9$	t $NO3^-$ / jour	Flux de $NO3^-$ journalier en tonnes
$F-N = F_{no3} / (62/14)$	t N / jour	Flux de N journalier en tonnes (62/14 = rapport des masses molaires)
$Fs_{jour} = F_{jour} / S_{SQ}$	mg $NO3^-$ /ha/jour	Flux spécifiques de $NO3^-$ journaliers ( $S_{SQ}$ = surface du BV à la station Qualité, en ha)
$Fs_{jour-kg} = Fs_{jour} / 10^6$	kg $NO3^-$ /ha/jour	Flux spécifiques de $NO3^-$ journaliers
$Fs-N = Fs_{jour-kg} / (62/14)$	kg N /ha/jour	Flux spécifiques de N journaliers
$Ecoulement = Débit-ex * 86400 / 1000$	m <sup>3</sup> /jour	Ecoulement d'eau
$Débit-S = Débit-ex * 100 / S_{SQ}$	L/s/km <sup>2</sup>	Débit spécifique journalier ( $S_{SQ}$ = surface du BV à la station Qualité en ha)

Par la suite, les flux journaliers (F-N ou  $Fs-N$ ) sont sommés pour obtenir le flux annuel d'azote. Le flux annuel a été calculé par année hydrologique :

$$\Phi_a = \sum_{j=1}^{j=365} C_j \cdot Q_j \quad \text{avec} \quad C_j \text{ concentration journalière} \\ Q_j \text{ débit journalier}$$

### Calcul de l'hydraulicité annuelle et des flux pondérés par l'hydraulicité

Le flux pondéré par l'hydraulicité est un indicateur permettant de corriger en partie la valeur des flux de l'effet de la variabilité climatique. Sa variabilité inter-annuelle est plus forte que la variabilité des concentrations. Mais, par rapport aux concentrations, cet indicateur présente l'intérêt de fournir une valeur de flux en kgN/ha/an, qui peut être comparée à un solde de bilan agronomique dans le bassin versant.

L'hydraulicité annuelle est le rapport du débit annuel à sa moyenne interannuelle. Elle permet de positionner simplement une année par rapport à une année "normale".

- Calcul de l'hydraulicité pour chaque année hydrologique  $H_a$  :

$$H_a = \frac{Q_a}{Q_{moyen}} \quad \text{avec,} \quad Q_a \text{ lame écoulée l'année } a \\ Q_{moyen} \text{ lame écoulée moyenne inter-annuelle}$$

- Calcul du flux annuel d'azote pondéré par l'hydraulicité pour chaque année hydrologique :

$$\Phi_{H_a} = \frac{\Phi_a}{H_a}$$

Dans l'absolu, à concentration constante, les flux ne dépendraient que du débit ou des lames d'eau écoulées. En pondérant le flux par l'hydraulicité, on pourrait ainsi lisser totalement la variabilité du flux due à la variabilité des débits et des précipitations.

Dans la réalité, la variabilité des flux a des causes plus complexes et la pondération des flux par l'hydraulicité ne permet d'éliminer qu'une part de la variabilité des flux.

## Précautions relatives aux calculs de flux

Pour faire les calculs des flux, des interpolations et extrapolations de valeur sont utilisées :

- interpolation des concentrations journalières par régression linéaire entre deux valeurs de concentration mesurées ;  
Dans la version actuelle du portail, lorsqu'il y a beaucoup de données manquantes, l'interpolation est quand même effectuée mais les années correspondantes sont signalées par une surbrillance jaune. Dans la version finale du portail, l'objectif serait de limiter l'interpolation sous les conditions suivantes : maximum deux mois manquants consécutifs, maximum 3 mois manquants dans une année, maximum 5 années avec des mois manquants dans une série chronologique donnée ;
- extrapolation des débits à la station de suivi Qualité, en multipliant les débits mesurés à la station de jaugeage par le rapport des lames d'eau écoulées entre ces deux points.

La méthode de comblement des séries de concentration par interpolation linéaire a été choisie d'après les travaux de Vinson et al (2003)<sup>9</sup>. Les travaux de Moatar et Meybeck (2005)<sup>10</sup> et Moatar et al. (2009)<sup>11</sup> comparent une dizaine de méthodes de calcul de flux dont la méthode dite M6, par interpolation linéaire des concentrations (proche de celle-ci). Elle procure des résultats assez proches de la méthode de calcul M5 (produit du débit annuel moyen par la concentration moyenne pondérée par les débits mesurés) retenue préférentiellement par les auteurs.

Nous n'avons pas évalué les incertitudes (biais et imprécision) sur les calculs de flux. En s'appuyant sur les travaux récents de Moatar et al (2012)<sup>12</sup> et Raymond et al (2013)<sup>13</sup>, des calculs d'incertitudes pourraient être menés en fonction de la fréquence d'échantillonnage, de la variabilité hydrologique de chaque bassin versant caractérisée par l'indicateur  $W_{2\%}$  (pourcentage du volume d'eau annuel pendant les débits les plus forts correspondants à 2% du temps, c'est-à-dire pendant les 7 jours de plus forts débits d'une année) et de la variabilité hydrogéo-chimique du nitrate (coefficient b50sup).

---

<sup>9</sup> Vinson J., 2003 - Calculs des flux annuels et des flux spécifiques annuels d'azote nitrique des principaux fleuves et rivières de Bretagne. Rapport d'étude, Agrocampus Ouest - DREAL Bretagne. 65p.

<sup>10</sup> Moatar F. et Meybeck M., 2005 - Compared performances of different algorithms for estimating annual nutrient loads discharged by the eutrophic River Loire. *Hydrol. Process.* 19, 429-444.

<sup>11</sup> Moatar F., Birgand F., Meybeck M., Fauchoux C. & Raymond S., 2009 – Incertitudes sur les métriques de qualité des cours d'eau (médianes et quantiles de concentrations, flux, cas des nutriments) évaluées à partir de suivis discrets. *La Houille blanche*, n°3, 68-76p.

<sup>12</sup> Moatar, F., et al., 2012. River flux uncertainties predicted by hydrologic variability and riverine material behaviour. *Hydrological Processes*, doi:10.1002/hyp.9464

<sup>13</sup> Raymond S., Moatar F., Meybeck M. & Bustillo V., 2013 – Choosing methods for estimating dissolved and particulate riverine fluxes from monthly sampling. *Hydrological Sciences Journal*, DOI: 10.1080/02626667.2013.814915 - <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2013.814915>

## Graphiques présentés

- Graphe de **l'hydraulicité annuelle**, par année hydrologique<sup>14</sup> à la station « Débit »  
L'hydraulicité prend la valeur 1 lorsque l'année correspond à une année hydrologique moyenne. Elle est supérieure à 1 pour les années plus humides et inférieures à 1 pour les années plus sèches.  
L'hydraulicité est calculée sur la période étudiée pour chaque bassin. Ce n'est pas la même période pour tous les bassins, compte tenu de l'hétérogénéité des chroniques de débit entre les bassins versants. La comparaison des hydraulicités entre deux bassins versants doit être nuancée si les bassins ne disposent pas de chroniques identiques.
- Graphes des **concentrations en nitrate** à la station "Qualité", présentées
  - en nuage de points (données mesurées)
  - en courbe de tendance : concentrations reconstituées par régression linéaire et moyenne mobile calculée sur deux années à partir des concentrations journalières reconstituées.
- Graphe des **flux spécifiques annuels**, par année hydrologique à la station "Qualité"  
Ce graphe présente également la courbe des concentrations moyennes annuelles et la courbe des débits spécifiques moyens annuels à la Station Qualité.  
La moyenne annuelle des concentrations est ici une moyenne arithmétique : ce calcul s'effectue à partir des données de concentration journalières, c'est-à-dire des données pour certaines mesurées et pour d'autres reconstituées par interpolation linéaire. Même s'il présente l'inconvénient d'utiliser des données reconstituées par régression linéaire, ce calcul permet de s'affranchir du biais induit lorsque les mesures sont effectuées à des pas de temps variables.
- Graphe des **flux spécifiques pondérés par l'hydraulicité annuelle**, par année hydrologique à la station "Qualité"  
Le graphe des flux spécifiques pondérés par l'hydraulicité fait figurer les mêmes éléments que le graphe des flux spécifiques annuels : concentration moyenne annuelle, débit spécifique annuel moyen, flux spécifiques auxquels s'ajoutent les flux spécifiques pondérés par l'hydraulicité.

Jonathan Vanhouteghem , Hervé Squidant, Josette Launay, Pierre Arousseau,

Agrocampus Ouest  
UMR SAS « Sol- Agro et hydrosystème – Spatialisation »  
65 rue de St Brieuc – 35042 RENNES Cedex

10 juillet 2014

---

<sup>14</sup> Année hydrologique : Période de 12 mois qui débute après le mois habituel des plus basses eaux. En fonction de la situation météorologique des régions, l'année hydrologique peut débiter à des dates différentes de celle du calendrier ordinaire. En France, généralement elle débute au mois de septembre. **Il a été considéré qu'en Bretagne l'année hydrologique s'étend du 1er octobre au 30 septembre de l'année suivante.** Le choix de cette date est justifié par le fait que les premières précipitations automnales significatives ont généralement lieu à partir du début octobre.