



## Etude et détermination des bassins les plus contributeurs en polluants du bassin versant de l'Authion

Master 2 Ecologie et Développement Durable

*Sous la direction de Perrein-Ettajani Hanane*

Session : septembre 2018

### LE CORNEC Marine

Syndicat Mixte Du Bassin versant de l'Authion et de ses Affluents et Entente Interdépartementale pour l'aménagement et la mise en valeur de l'Authion

2 Place de la République – 49250 Beaufort-en-Vallée



Maître de stage : Bastien Delaunay, chargé de mission SIG et Communication

Faculté des Sciences

Département de Biologie et Environnement

Année universitaire : 2017 - 2018

PROJET

## CHARTRE DE NON PLAGIAT

### Protection de la propriété intellectuelle

Tout travail universitaire doit être réalisé dans le respect intégral de la propriété intellectuelle d'autrui. Pour tout travail personnel, ou collectif, pour lequel le candidat est autorisé à utiliser des documents (textes, images, musiques, films etc.), celui-ci devra très précisément signaler le crédit (référence complète du texte cité, de l'image ou de la bande-son utilisés, sources internet incluses) à la fois dans le corps du texte et dans la bibliographie. Il est précisé que l'UCO dispose d'un logiciel anti-plagiat, aussi est-il demandé à tout étudiant de remettre à ses enseignants un double de ses travaux lourds sur support informatique.

Cf. « Prévention des fraudes à l'attention des étudiants »

Je soussignée, Le Cornec Marine étudiante en Master 2 Ecologie et Développement Durable, m'engage à respecter cette charte.

Fait à Angers, le

Signature :

PROJET

# Remerciements

---

En m'acceptant en stage, le SAGE Authion place sa confiance en moi ; il m'ouvre ses portes, autorise mon autonomie et m'intègre dans son personnel. Il me confie un sujet important pouvant lui être bénéfique. Si j'ai eu la chance de participer à la création d'un outil d'analyse des flux et d'aide à l'interprétation des données qualité et quantité, de participer aux prélèvements de terrain, c'est grâce à l'intervention de certaines personnes que je souhaite remercier.

Un grand merci à Bastien DELAUNAY, chargé de mission SIG et communication et maître de stage, pour m'avoir fait confiance dans cette mission en m'intégrant dans ce projet, pour ses conseils en matière de SIG, et pour m'avoir expliqué le fonctionnement hydraulique complexe du bassin versant. Merci à David MOREL, animateur du SAGE et de la Commission Locale de l'Eau, qui m'a également accompagné tout au long de mon stage.

Je salue l'ensemble de l'équipe du SMBAA et de l'Entente Authion, qui m'ont accueilli les bras ouverts et qui effectuent un grand travail dans ce territoire complexe qui est le bassin versant de l'Authion. Je tiens à remercier en particulier Jean-Baptiste DAVID, pour les données qu'il m'a fournies et pour avoir partagé avec moi ses connaissances en gestion quantitative de l'eau, ainsi que Quentin FAILLER pour m'avoir permis de l'accompagner sur la prospection terrain pour le recueil des données qualité.

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à ce projet de fin d'études.

PROJET

# Sommaire

---

## Table des matières

|  |    |
|--|----|
| Glossaire.....   | 3  |
| Introduction.....  | 5  |
| 1. Etat de l'art.....  | 8  |
| 1.1. Présentation de la structure d'accueil.....                                   | 8  |
| 1.2. Présentation du site d'étude.....   | 10 |
| 1.2.1. Contexte général.....   | 10 |
| 1.2.2. Contexte hydraulique et hydrologique.....                                   | 11 |
| 1.2.3. Contexte socio-économique.....  | 13 |
| 1.3. Zones d'Alerte (ZA) et Unités de Gestion (UG).....                            | 15 |
| 1.4. Caractéristiques des nitrates.....  | 17 |
| 1.5. Outils de référence pour le suivi et l'évaluation de la qualité des eaux..... | 18 |
| 1.5.1. Rappels des différents objectifs de qualité des eaux.....                   | 18 |
| 1.5.2. Outil de suivi de la qualité des eaux.....                                  | 20 |
| 1.5.3. Système d'évaluation de l'état des eaux (SEEE).....                         | 20 |
| 1.5.4. Système d'évaluation de la qualité de l'eau (SEQ-Eau).....                  | 21 |
| 1.6. Etude bibliographique de référence et outils existants.....                   | 21 |
| 1.6.1. Outil Macroflux.....  | 22 |
| 1.6.2. Outil Pol(F)lux.....  | 22 |
| 1.6.3. Thèse de Sébastien Raymond.....   | 23 |
| 2. Matériels et méthodes.....  | 24 |
| 2.1. Stations des réseaux existants sur le BV de l'Authion.....                    | 24 |
| 2.2. Acquisition de données et sélection des stations.....                         | 25 |
| 2.2.1. Stations de suivi qualité.....  | 25 |
| 2.2.2. Stations hydrométriques.....  | 28 |
| 2.2.3. Pluviométrie.....   | 31 |
| 2.3. Conclusions intermédiaires : limites du choix des stations.....               | 33 |
| 2.4. Jaugeages.....  | 36 |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 3.     | Calcul des flux .....  | 37 |
| 3.1.   | Formule de base .....  | 37 |
| 3.2.   | Calcul des flux par interpolation des mesures de concentration (IRC) ..... | 38 |
| 3.2.1. | Notion d'hydraulicité .....  | 40 |
| 3.2.2. | Calcul des flux pondérés par l'hydraulicité.....                           | 40 |
| 3.3.   | Calcul des flux par les moyennes pondérées par les débits (DWC) .....      | 40 |
| 3.4.   | Conclusion sur les méthodes de calculs : choix du DWC .....                | 42 |
| 3.5.   | Création de seuil de flux de nitrates .....                                | 42 |
| 4.     | Résultats .....  | 44 |
| 4.1.   | Bilan des apports par secteur géographiques .....                          | 44 |
| 4.1.1. | Nitrates .....   | 44 |
| 4.1.2. | Ammonium .....   | 45 |
| 4.2.   | Bilan par nutriments .....   | 46 |
| 5.     | Interprétations et discussions.....  | 47 |
| 5.1.   | Identification des Unités de Gestion contributrices en polluant .....      | 47 |
| 5.2.   | Cartes bilan .....   | 48 |
| 5.2.1. | Flux par secteurs géographiques .....                                      | 48 |
| 5.2.2. | Evolution des flux dans le temps.....                                      | 51 |
| 5.3.   | Apports du bassin versant de l'Authion à la Loire .....                    | 54 |
| 5.4.   | Comparaison inter bassin-versant.....                                      | 55 |
| 6.     | Conclusions .....  | 56 |
|        | Bibliographie .....  | 58 |
|        | Annexes .....  | 63 |

# Glossaire

---

**Année hydrologique** : période continue de 12 mois choisie de façon à ce que la variation de l'ensemble des réserves soit minimale, de manière à minimiser les reports d'une année sur l'autre.

**AELB** : Agence de l'Eau Loire Bretagne

**AERMC** : Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse

**Bassin versant** : territoire délimité par des lignes de crête où les eaux de pluie se rassemblent et s'écoulent de manière superficielle ou souterraine vers un même exutoire. Même si une commune n'est pas traversée par un cours d'eau, elle appartient toujours à un bassin versant.

**CLE** : Commission Locale de l'Eau

**GEMAPI** : Gestion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations

**Hydro-écorégions** : zones présentant des caractéristiques de géologie, de relief et de climat « homogènes ». Le bassin versant de l'Authion appartient à la grande hydro-écorégion des ables calcaires. Le type d'un cours d'eau (ou tronçon de cours d'eau) est défini par son appartenance à une « hydro-écorégion » et par sa position globale sur le gradient amont-aval au sein de cette entité.

**Module** : Moyenne des débits moyens annuels ou moyenne interannuelle

**PAGD** : Plan d'Aménagement et de Gestion Durable

**RCA** : Réseaux de Contrôle Additionnel

**RCO** : Réseaux de Contrôle Opérationnel

**RCS** : Réseaux de Contrôle et de Surveillance

**SAGE** : Schéma d'Aménagement et de Gestion de l'Eau

**SDAGE** : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion de l'Eau

**SIACEBA** : Syndicat Intercommunal d'Aménagement des Cours d'Eau du Bassin de L'Authion

**SMBAA** : Syndicat Mixte du Bassin de l'Authion et de ses Affluents

**Sous-bassin versant** : chaque bassin versant se subdivise en un certain nombre de bassins élémentaires (parfois appelés « sous-bassin versant ») correspondant à la surface d'alimentation des affluents se jetant dans le cours d'eau principal. Il y a 10 bassin dans le bassin versant Authion, appelés Unités de Gestion (UG).

**Unité de Gestion (UG)** : Découpage opérationnel pour la gestion des ressources en eau. Sur le bassin versant de l'Authion, deux types d'UG ont été définis : les unités de gestion déficitaires (zones sur lesquelles les Dossier des Ouvrages Exécutés et les Plans d'Ouvrages Exécutés ne sont pas respectés 8 années sur 10) et les unités de gestion non déficitaires (zones sur lesquelles les deux documents sont respectés 8 années sur 10).

**Zone d'Alerte (ZA)** : zones hydrographiques cohérentes à l'intérieur desquelles le franchissement de seuils déclenche des mesures, proportionnées au but recherché, pour une durée limitée.

PROJET

# Introduction

---

La politique de l'eau en France est fondée sur quatre grandes lois et encadrée par la Directive Cadre européenne sur l'Eau (DCE) publiée en 2000. Ce texte définit la notion de « bon état des eaux », vers lequel doivent tendre tous les États membres. La DCE s'inscrit dans un contexte législatif français déjà riche, dont elle est en partie inspirée. Les grands principes de cette politique ont été posés dès les années 60 avec la loi sur l'eau du 16 décembre 1964, qui a organisé la gestion décentralisée de l'eau par bassin versant et induit la création des agences de l'eau et des comités de bassin. Avec la loi du 3 janvier 1992, la notion de protection de la qualité et de la quantité de la ressource en eau est renforcée. De nouveaux outils de gestion des eaux par bassin sont créés : les SDAGE et les SAGE. Ces deux textes de loi ont été révisés par la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (LEMA) du 30 décembre 2006. Celle-ci porte notamment sur la reconquête de la qualité écologique et sur la lutte contre les pollutions diffuses. L'adaptation au changement climatique dans la gestion des ressources en eau est un nouveau volet qui est pris en compte dans ce texte juridique.

En France, l'objectif de 2015 de bon état général des masses d'eau n'a pas été atteint. Une dérogation européenne repousse cette échéance à 2021 voire 2027 avec un objectif de 61% des eaux en « bon état » (SDAGE Loire-Bretagne 2016-2021). L'artificialisation des cours d'eau (barrages, dérivations, aménagement des berges...) et les pollutions diffuses par les nitrates, phosphore et pesticides, restent les principales causes de dégradation des cours d'eau. Une gestion à l'échelle d'un bassin versant permet de considérer l'ensemble des usages de l'eau sur son territoire et mobilise de nombreux acteurs pour assurer une bonne qualité des eaux.

Le SDAGE Loire-Bretagne, dans ses orientations 2D et 4F, spécifie de développer les connaissances concernant les pollutions par les nitrates et les pesticides. Pour répondre à cet objectif, le SAGE Authion place la gestion qualitative des eaux souterraines et superficielles en enjeu n°3. Le moyen prioritaire qui doit être mis en œuvre sur le territoire est l'amélioration des connaissances, notamment en étudiant et en déterminant les bassins les plus contributeurs en polluants (disposition n°8.A.3 du SAGE). Les connaissances relatives aux sous-bassins les plus contributeurs en termes de flux polluants sont encore très lacunaires pour le bassin versant de l'Authion. La Commission Locale de l'Eau du SAGE Authion insiste sur *« l'importance de poursuivre l'effort de connaissance sur la détermination des flux dans les masses d'eau superficielles et souterraines. Les stations de suivi qualité du bassin versant de l'Authion les plus déclassantes vis-à-vis des nitrates et des pesticides montrent la nécessité d'étudier plus finement les flux de polluants, notamment sur les secteurs réalimentés et les affluents »*.

La détermination des flux de polluants dans les cours d'eau est restée jusqu'ici une activité accessoire dans la majeure partie des programmes de surveillance de la qualité des eaux en France. De nombreux réseaux de mesures de qualité et de quantité existent afin d'assurer le

suivi et le contrôle de la ressource en eau. Sur le bassin versant de l'Authion, 4 réseaux de contrôle sont mis en place : le Réseau de Contrôle et de Surveillance (RCS), sous la responsabilité de la DREAL et de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne ; le Réseau de Contrôle Opérationnel (RCO), sous la responsabilité des Conseil Départemental d'Indre-et-Loire et du Maine-et-Loire et de l'Agence de l'Eau ; le réseau de suivi de la qualité des eaux, sous la responsabilité du Conseil Départemental de Maine-et-Loire ; le réseau Locale de l'Entente, en partenariat avec le SAGE (RCA). L'ensemble de ces stations de mesures permettent d'évaluer l'état général des eaux et d'assurer le suivi des améliorations des eaux, suite aux actions mises en place dans le cadre des programmes de mesures, ou au contraire, de préciser les raisons de dégradation des eaux.

Dans le domaine des nitrates, les études et analyses actuelles portent essentiellement sur les concentrations en nitrates dans les cours d'eau. Ceci pour une simple raison : la norme européenne fixe la limite de qualité pour l'eau potable à 50mg/L de nitrates. L'attention est donc naturellement portée sur cette limite. A l'échelle du SAGE, il existe deux seuils de qualité mis en place : le seuil de non dégradation et le seuil de non dépassement. Dans une optique plus générale, il est tout aussi important de s'intéresser aux flux de nitrates. La mise en place de la Directive Cadre sur l'Eau confère une importance particulière aux flux car les conséquences environnementales, en particulier en zones côtières et en estuaire en dépendent. Le flux (généralement exprimé en tonnes par an) est la quantité de matière émise par un cours d'eau pendant un temps donné. Il est le résultat du produit entre le débit d'eau (en général en  $m^3/s$ ) et la concentration de la substance étudiée dans la colonne d'eau (en général en mg/L). Le flux permet d'évaluer la quantité de nitrates qu'apporte une rivière en un point donné, par exemple à son exutoire.

En termes écologiques, les flux ont des impacts importants sur de nombreux phénomènes. En particulier sur l'eutrophisation du milieu marin, qui est dû aux apports continentaux d'azote et de phosphore. Il est donc nécessaire de connaître ces flux, et surtout d'étudier leur évolution. En raison de conventions internationales portant sur la réduction des flux de polluants fluviaux arrivant aux océans et aux mers régionales (convention OSPAR de 1992, dont la France est signataire), l'évaluation des flux est devenue une nécessité (Agence de l'eau RMC, Évaluation des polluants à la Méditerranée, 2003).

A moyen terme, les études poussées sur ces flux permettront d'après l'institut français de l'environnement (IFEN, 2002) « d'évaluer l'étendue du problème (qui provient de la terre), de partager les responsabilités (agriculture, industrie, urbanisation, ...) en relation avec le calcul des émissions polluantes, de savoir si les politiques de réduction des apports mises en place sont efficaces ». La détermination des flux vient renforcer l'étude des concentrations que mesurent les laboratoires dans les échantillons d'eau prélevés dans les rivières.

Le bassin versant Authion a un fonctionnement hydraulique complexe. Les différentes rivières du bassin versant sont classées comme sensibles et moyennement sensibles au phénomène d'étiage. Ce déficit hydrologique a conduit, pour le développement agricole, à l'aménagement hydraulique progressif du bassin et trois grands cours d'eau du bassin versant bénéficient de réalimentations par la Loire pendant 5 à 7 mois de l'année. L'étude des flux prendra en compte les apports potentiels en flux de polluants dus à ces réalimentations. Pour les flux de nitrates, un travail important a été réalisé par l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne (AELB) et par DREAL Pays de la Loire, lors de la révision des zones vulnérables (2013-2014). Les programmes d'actions régionaux nitrate (bilans et suivis qualité) vont permettre d'aller plus loin dans la connaissance. Pour un bassin versant comme l'Authion, l'intérêt est d'identifier les zones où les flux sont importants et que l'étude des concentrations n'aura pas mis en évidence.

C'est dans ce contexte réglementaire et hydrologique complexe qu'un outil de calcul des flux de polluants va être développé dans le cadre de ce stage. Il permettra d'identifier les sous bassins du bassin versant Authion, les plus contributeurs en polluants (nitrates).

L'objectif est d'étudier les rivières du bassin versant de l'Authion, et de réaliser les calculs de flux. Les données initiales sont issues des réseaux de stations de suivi (RCO, RCS, RCA). Ces données sont étudiées pour permettre de choisir les stations qui vont permettre de faire les calculs de flux (disponibilité des données). Ensuite, la procédure de calcul est mise en place à l'échelle des 10 Unités de Gestion. Les UG correspondent à un découpage fonctionnel des principaux sous-bassins versants de l'Authion (PAGD du SAGE Authion, 2017). Enfin, quelques analyses sont effectuées sur les valeurs et sur les graphiques obtenus suite aux calculs, qui permettent de comparer les stations entre elles et de les comparer surtout au reste de la France.

Les enjeux sont multiples puisque le SAGE a lancé pour la période 2018-2020, une étude de diagnostic agricole de territoire, pilotée par les Chambre d'Agriculture d'Indre-et-Loire et du Maine-et-Loire. Elle vise à caractériser la sensibilité du bassin aux prélèvements et sa vulnérabilité aux transferts de polluants afin de développer et de poursuivre l'effort sur la connaissance et la détermination des flux dans les masses d'eau superficielles et souterraines et ainsi, apporter des mesures correctives pour le bon état des eaux.

# 1. Etat de l'art

---

La compréhension des flux de polluants doit s'inscrire dans un contexte local. L'hydraulique, l'hydrogéologie, l'occupation du sol et les usages de l'eau sur le territoire, vont influencer les quantités de polluants véhiculés par les cours d'eau. Le bassin versant de l'Authion est découpé en Unités de Gestion (UG). Chaque UG possède les caractéristiques citées ci-dessus, qui lui sont propres. C'est à cette échelle que les calculs de flux se réalisent. L'Etat actuel de la qualité des cours d'eau du bassin versant de l'Authion ainsi qu'une synthèse des outils et des seuils de qualité sont présentés dans cette partie. Enfin, pour que la méthode soit la plus efficace possible, une étude bibliographique des outils de calculs de flux déjà existants a été réalisée.

## 1.1. Présentation de la structure d'accueil

Le Schéma d'Aménagement de Gestion de l'eau de l'Authion (SAGE) a été approuvé le 22 décembre 2017 par l'Agence Régionale des Pays de la Loire par arrêté préfectoral. L'Entente Interdépartementale a porté le SAGE jusqu'à fin 2017. Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2018, c'est le Syndicat Mixte du Bassin de l'Authion et de ses Affluents (SMBAA), qui est la nouvelle structure porteuse du SAGE Authion et qui assure son portage pour sa mise en œuvre et son application sur le territoire. A partir du 1<sup>er</sup> janvier 2019, une nouvelle structure de bassin sera créée dans le cadre de la GEMAPI (Gestion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations), et pour le portage du SAGE.

L'Entente Interdépartementale assure la gestion de la ressource, l'assainissement des terres agricoles<sup>1</sup> du Val d'Authion (gestion des volumes sortants), la prévention des inondations et gère l'alimentation des périmètres réalimentés pour l'irrigation. Elle est propriétaire des stations de pompes en Loire et des principaux ouvrages hydrauliques du bassin versant. C'est une institution interdépartementale de personnalité morale avec une autonomie financière. Elle intervient en partenariat avec deux syndicats de rivière du bassin versant recensés à l'échelle du périmètre du SAGE : le SMBAA et le SIACEBA (Syndicat Intercommunal d'Aménagement des Cours d'Eau du Bassin de L'Authion), issus du regroupement de communes ou de communautés de communes.

Le Syndicat Mixte du Bassin de l'Authion et de ses Affluents a été créé le 1<sup>er</sup> janvier 2015 à la suite de la fusion de différents syndicats. Il conduit les travaux d'entretien et de restauration des cours d'eau, gère (manœuvre et entretien) les ouvrages hydrauliques (clapets, vannes, madiers...) et a un rôle de conseil et d'appui technique aux collectivités. Il assure l'entretien

---

<sup>1</sup> Suppression de l'excès d'eau dans le sol au moyen de fossés ou de drains.

régulier et l'aménagement du réseau stratégique de canaux et de fossés<sup>2</sup>. Il gère la répartition des eaux et des écoulements en période d'inondation.

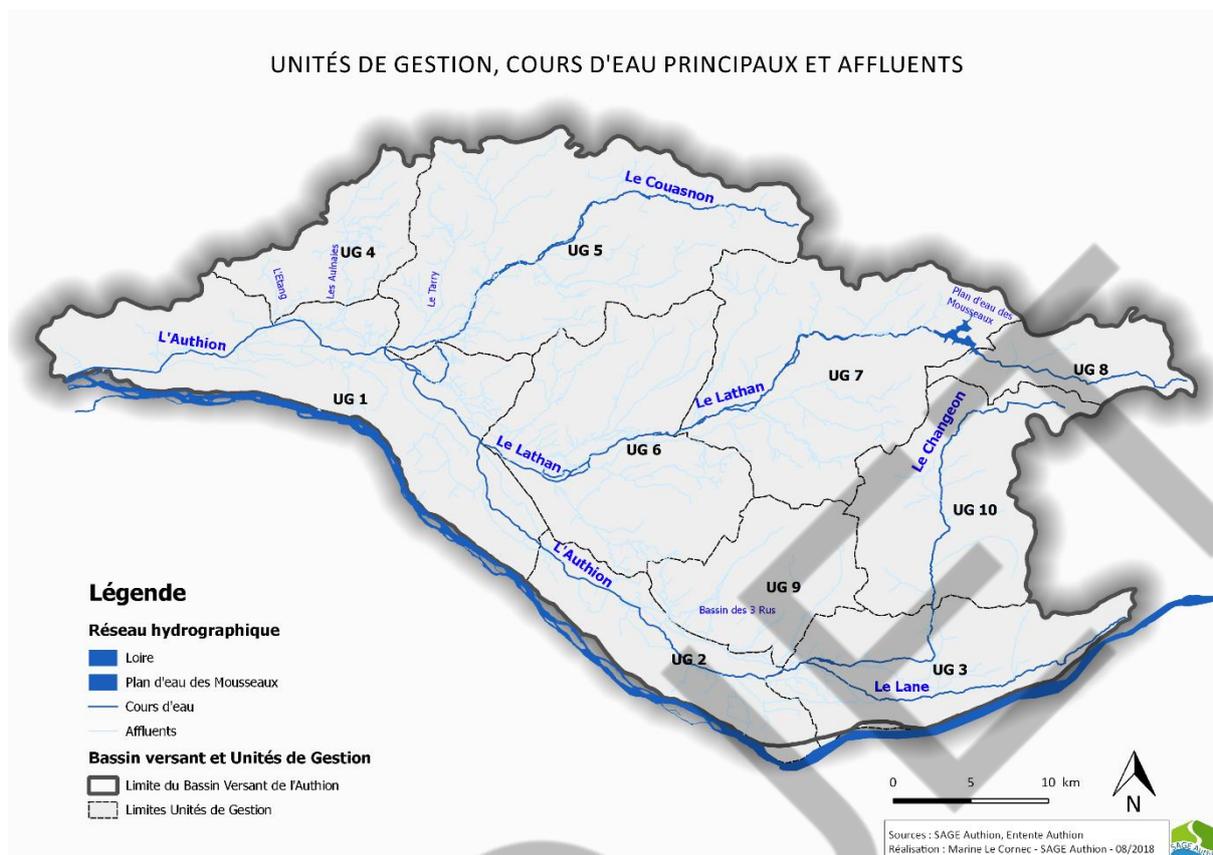
La Commission Locale de l'Eau (CLE) du SAGE du bassin versant de l'Authion a été constituée par arrêté préfectoral le 5 septembre 2005. Elle comprend à ce jour 52 membres répartis en 3 collèges (Annexe 1). La CLE est assistée dans son travail d'élaboration par un bureau (23 membres) et trois commissions thématiques ouvertes à plus de 100 membres dont les thèmes sont : la gestion quantitative de la ressource en eau et les inondations ; les écosystèmes aquatiques et la géomorphologie des cours d'eau et la qualité des eaux superficielles et souterraines. Elle veille à la bonne application des préconisations et des prescriptions inscrites dans le SAGE, ainsi qu'à la mise en place des actions.

Le SAGE est un outil de planification pour la gestion durable de la qualité et de la quantité de l'eau. Il fixe les objectifs et donne les principales orientations qui permettent de gérer la ressource en eau sur son périmètre d'action. Le SAGE, comme le SDAGE (Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux) est né de la loi sur l'eau de 1992. Le SDAGE fixe pour chaque grand bassin hydrographique (6 au total en France) des orientations fondamentales pour une gestion équilibrée de la ressource en eau.

Le SAGE Authion s'applique à un niveau local, sur le bassin versant de l'Authion [Carte 1]. Il doit répondre à de multiples objectifs définis dans un programme d'actions, qui doivent être cohérents avec les objectifs du SDAGE. L'initiative de cet outil de planification et de gestion de la ressource en eau revient à la CLE avec l'appui de la cellule du SAGE (animateur et coordinateur du SAGE, chargé de missions, responsables de terrains, élus, associations, acteurs économiques, aménageurs, usagers de l'eau...). Le SAGE Authion a défini 5 enjeux dans son Plan d'Aménagement et de Gestion Durable (PADG) (Annexe 2). L'étude des flux s'inscrit dans la disposition n°8.A.3 de l'enjeu n°3, qui vise à améliorer la connaissance de la qualité des eaux du bassin versant.

---

<sup>2</sup> Ce réseau de canaux et de fossés permet de limiter les inondations locales. Sur le Val d'Authion, c'est un très gros enjeu puisqu'il est classé Territoire à Risque Important d'inondation (TRI).



Carte 1 : Limite du bassin versant de l'Authion, Unités de Gestion et réseau hydrographique (source : LE CORNEC)

## 1.2. Présentation du site d'étude

Le bassin versant de l'Authion s'étend sur 1493 km<sup>2</sup>, en rive droite de la Loire. Le SAGE a été établi sur les limites naturelles du bassin versant de l'Authion. Il comprend 52 communes, et est à cheval sur les départements de l'Indre-et-Loire (région Centre-Val de Loire), qui représente environ 23 % de la superficie, et du Maine-et-Loire (région Pays de Loire), pour les 77% restants (PAGD du SAGE Authion, 2017). Pour lutter contre les inondations, de nombreux travaux hydrauliques ont été réalisés (création de levées, portes d'isolement de l'Authion) qui modifient en profondeur le fonctionnement naturel des cours d'eau (J. Mourin et al., 2016).

### 1.2.1. Contexte général

L'Authion est un affluent rive droite de la Loire. D'une longueur de 61 km, il prend sa source au niveau de Bourgueil en Indre-et-Loire, à la confluence du Changeon et du Lane, et se jette dans la Loire à Saintes-Gemmes-sur-Loire. Son bassin versant s'étire sur environ 73 km d'Est en Ouest et 40 km du Nord au Sud. Celui-ci fait partie intégrante du vaste bassin versant de la Loire, dont la superficie avoisine 118 000 km<sup>2</sup>, soit 1/5<sup>ème</sup> du territoire métropolitain français (PAGD du SAGE Authion, 2017).

Le relief du bassin versant se décompose en deux parties majeures [Fig. 1]. Au Sud, le Val d'Authion, qui borde la Loire, est un territoire très plat (pentes de l'ordre de 1.5‰) et correspond au lit majeur de la Loire. Les collines et plateaux au nord du Val d'Authion sont drainés principalement par le Changeon, le Lathan et le Couasnon. Les pentes sont comprises entre 5 ‰ et 3 ‰.

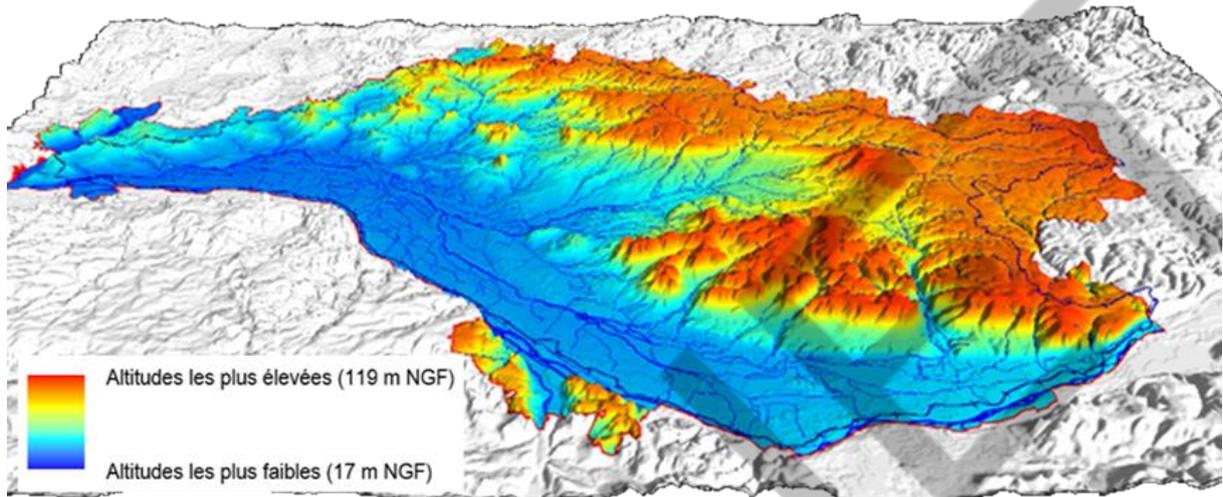


Figure 1 : Relief du bassin versant de l'Authion (source : PAGD SAGE Authion)

### 1.2.2. Contexte hydraulique et hydrologique

Les écoulements superficiels constituent un linéaire de 1283 km de cours d'eau permanents, et 1342 km si on prend en compte les cours d'eaux temporaires, canaux et autres fossés. 4 grands cours d'eau affluent en rive droite, le long des 61 km de l'Authion : le Changeon (25km), le Lane (25km), le Lathan (50km), le Couasnon (30km) (données extraites par SIG).

Le bassin de l'Authion est caractérisé par un aménagement hydraulique très important. Dans les années 1960 - 70, l'aval du bassin a été déconnecté hydrauliquement de la Loire par l'installation de vannes de régulation pour empêcher les inondations de la vallée par la Loire. Pour éviter les inondations par l'Authion lorsque les vannes sont fermées, un complexe de pompage a été mis en place pour évacuer les crues du bassin vers la Loire.

De par sa situation géographique et géologique, le bassin versant de l'Authion bénéficie de ressources en eaux superficielles et souterraines diversifiées :

- Ressources superficielles propres au bassin versant de l'Authion.
- Ressources superficielles liées à la réalimentation à partir de la Loire.
- Ressources souterraines.

#### 1.2.2.1. Les ressources superficielles propres au bassin versant de l'Authion

Sur le bassin de l'Authion, les ruissellements de surfaces sont alimentés par des pluies efficaces moyennes (~ 170 [128-211] mm/an). Sur la base de cette valeur, les écoulements superficiels représentent de l'ordre de 130 M m<sup>3</sup> centrés sur la période hivernale (PAGD du SAGE Authion, 2017). La géologie particulière du bassin versant confère aux cours d'eau une relation très étroite avec leurs nappes d'accompagnement. Toute baisse de niveau des nappes peut donc influencer d'une manière significative sur les débits d'étiage, c'est-à-dire, le débit minimum des cours d'eau pendant la période des basses eaux.

#### 1.2.2.2. Les ressources superficielles liées à la réalimentation de la Loire

Les besoins en eau superficielle exprimés sur le bassin versant (irrigation principalement) sont centrés sur la période estivale. Ces besoins se sont vite révélés très supérieurs aux capacités naturelles de la ressource. La mise en place des réalimentations artificielles du Lathan et de l'Authion a permis de pallier ces déficits en ressources superficielles, liées au regard des besoins exprimés par les usagers de l'eau. 3 ouvrages hydrauliques permettent la réalimentation des zones déficitaires : pompage de Saint Patrice, de Varennes-sur-Loire, et de Saint Martin-de-la-place (21 Mm<sup>3</sup> maximum pour les 3 prises d'eau en Loire) ; et lâchers du plan d'eau de Rillé (5 Mm<sup>3</sup> maximum pour la retenue des Mousseaux du complexe de Rillé) (Antea Group, 2015).

#### 1.2.2.3. Les ressources en eau souterraines variées et très significatives

Les ressources souterraines sont très significatives et diversifiées (nappes alluviales, Cénomaniens, nappe des faluns, Séno-Turonien...). Les recharges de nappes annuelles sont de l'ordre de 80 [40-126] mm/an avec des ratios recharge/pluie compris entre 6% et 21%. La synthèse des prélèvements établie en 2011 a permis d'établir que les prélèvements agricoles pour l'irrigation et par forages concernaient environ 8 350 000 m<sup>3</sup> pour la nappe du Cénomaniens et 2 860 000 m<sup>3</sup> pour celle du Séno-Turonien (Antea Group, 2015).

#### 1.2.2.4. Crues et inondations

Les inondations par la Loire et/ou l'Authion correspondent aux risques majeurs liés à l'eau sur le territoire du SAGE. Cependant d'autres risques sont à prendre en compte tels que les risques de rupture de barrage, les remontées de nappe souterraine ainsi que les retraits-gonflements d'argiles.

Les zones inondables par la Loire couvrent une surface d'environ 370 km<sup>2</sup> soit 25% du territoire du SAGE (dont 65% en aléas de risque forts) (PAGD du SAGE Authion, 2017). Fortement lié au risque de crues par la Loire, le risque de crue par l'Authion était également régulier avant la mise en place des derniers aménagements hydrauliques de contrôle en 1974. Sur les bassins versants des cours d'eau affluents de l'Authion, les problématiques d'inondations sont plus diffuses et souvent corrélées :

- Aux modifications de l'occupation des sols et des pratiques culturales (drainage, arrachage de haies, cultures en pente...) qui accentuent les vitesses d'écoulement,
- À un déficit de régulation ou une mauvaise gestion des eaux pluviales issues des zones imperméabilisées,
- À l'existence d'ouvrages sous-dimensionnés qui deviennent potentiellement des zones d'étranglement susceptibles de générer des inondations localisées en amont.

Le contexte hydraulique et hydrologique a donc influencé l'aménagement du territoire, selon la disponibilité de la ressource en eau.

### 1.2.3. Contexte socio-économique

Les 52 communes du périmètre du SAGE, réparties sur deux départements et deux régions, rassemblent 150 000 habitants (recensement officiel par l'INSEE, 2013) et la densité moyenne de population est de 120 hab. /km<sup>2</sup>.

#### 1.2.3.1. Activités agricoles

Le bassin versant de l'Authion est caractérisé par une activité agricole de type grande culture à polyculture-élevage. Cependant, dans la partie méridionale du bassin versant en Maine-et-Loire (nommé « Val d'Authion »), la réalimentation en eau des canaux et des fossés secondaires en période estivale (pompages en Loire et barrage-réservoir des Mousseaux) ainsi que la ressource en eau souterraine disponible, ont permis le développement de cultures irriguées et spécialisées, formant le cœur du pôle végétal angevin aujourd'hui « labélisé » Végépolys, pôle du végétal à vocation mondiale. L'agriculture est l'activité économique essentielle du bassin versant de l'Authion, en particulier avec les cultures spécialisées telles que :

- La production de semences (maïs semences, semences potagères etc.) avec notamment la présence de groupes internationaux et pour lesquelles le département du Maine-et-Loire se classe au 4<sup>ème</sup> rang national (Evaluation Environnementale du bassin versant de l'Authion, 2017),
- L'horticulture qui représente un poids majeur dans l'activité économique de la Vallée de l'Authion,
- Les cultures maraîchères, légumières et l'arboriculture,
- La viticulture avec ses appellations Bourgueil (1 300 ha) et Saint-Nicolas de Bourgueil.

Les activités d'élevage sont globalement peu concentrées même si les sous-bassins versants du Couason et du Lathan sont plus concernés. En 2016, les céréales sont les plus cultivées, notamment le blé tendre et le maïs grain. Le maïs représente la deuxième culture la plus représentée après les céréales (Chambre d'Agriculture Maine-et-Loire, 2018).

### 1.2.3.2. Usages de l'eau

Chaque année, environ 45 M m<sup>3</sup> sont prélevés sur le bassin versant Authion (Antea Group, 2015). Ces prélèvements sont très majoritairement dédiés à la production agricole. Ils sollicitent préférentiellement les eaux souterraines, avec un ordre de grandeur de 28 M m<sup>3</sup> (Annexe 3). Parmi les prélèvements agricoles, ceux destinés à l'irrigation représentent l'usage le plus conséquent en volume et en nombre de points de prélèvements sur le bassin de l'Authion. En plus du réseau hydraulique alimenté par les eaux de la Loire depuis les 3 prises d'eau en Loire de Saint Patrice, Saint Martin-de-le-Place et Varennes-sur-Loire, il existe de nombreux points de prélèvements directs dans les cours d'eau, les plans d'eau et dans les nappes. En 2016, les prélèvements agricoles effectués dans le périmètre du SAGE se sont élevés à 35,92 Mm<sup>3</sup>, dont 93,59% ont été réalisés en période d'étiage. La pression des prélèvements d'eau pour les usages agricoles (en particulier l'irrigation) est très importante sur le bassin versant de l'Authion.

L'occupation du sol sur le bassin versant peut se résumer à l'aider du tableau ci-dessous [Tab.1].

Tableau 1 : Part de l'occupation du sol par Unités de Gestion (source : Chambre d'Agriculture Maine-et-Loire, 2018)

| Unités de Gestion | Surface BV      | Urbanisation    | Espaces agricoles | Espaces boisés | Eau  |
|-------------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------|------|
|                   | km <sup>2</sup> | Proportions (%) |                   |                |      |
| UG 1              | 229,50          | <b>18,7%</b>    | <b>78,0%</b>      | 3,2%           | 0,1% |
| UG 2              | 93,16           | 6,8%            | <b>91,7%</b>      | 1,5%           | 0,0% |
| UG 3              | 131,24          | 6,1%            | <b>76,1%</b>      | 17,1%          | 0,7% |
| UG 4              | 69,39           | 5,8%            | 65,0%             | 29,2%          | 0,0% |
| UG 5              | 264,86          | 3,9%            | 77,0%             | 19,1%          | 0,0% |
| UG 6              | 197,46          | 4,1%            | 63,8%             | 31,8%          | 0,3% |
| UG 7              | 215,77          | 1,9%            | 66,3%             | 30,9%          | 0,8% |
| UG 8              | 59,88           | 4,4%            | <b>76,1%</b>      | 18,0%          | 1,4% |
| UG 9              | 94,40           | 2,0%            | 45,2%             | <b>52,5%</b>   | 0,3% |
| UG 10             | 146,02          | 1,4%            | 32,6%             | <b>66,0%</b>   | 0,1% |
| Total             | 1493,00         | 6,0%            | 67,7%             | 25,9%          | 0,3% |

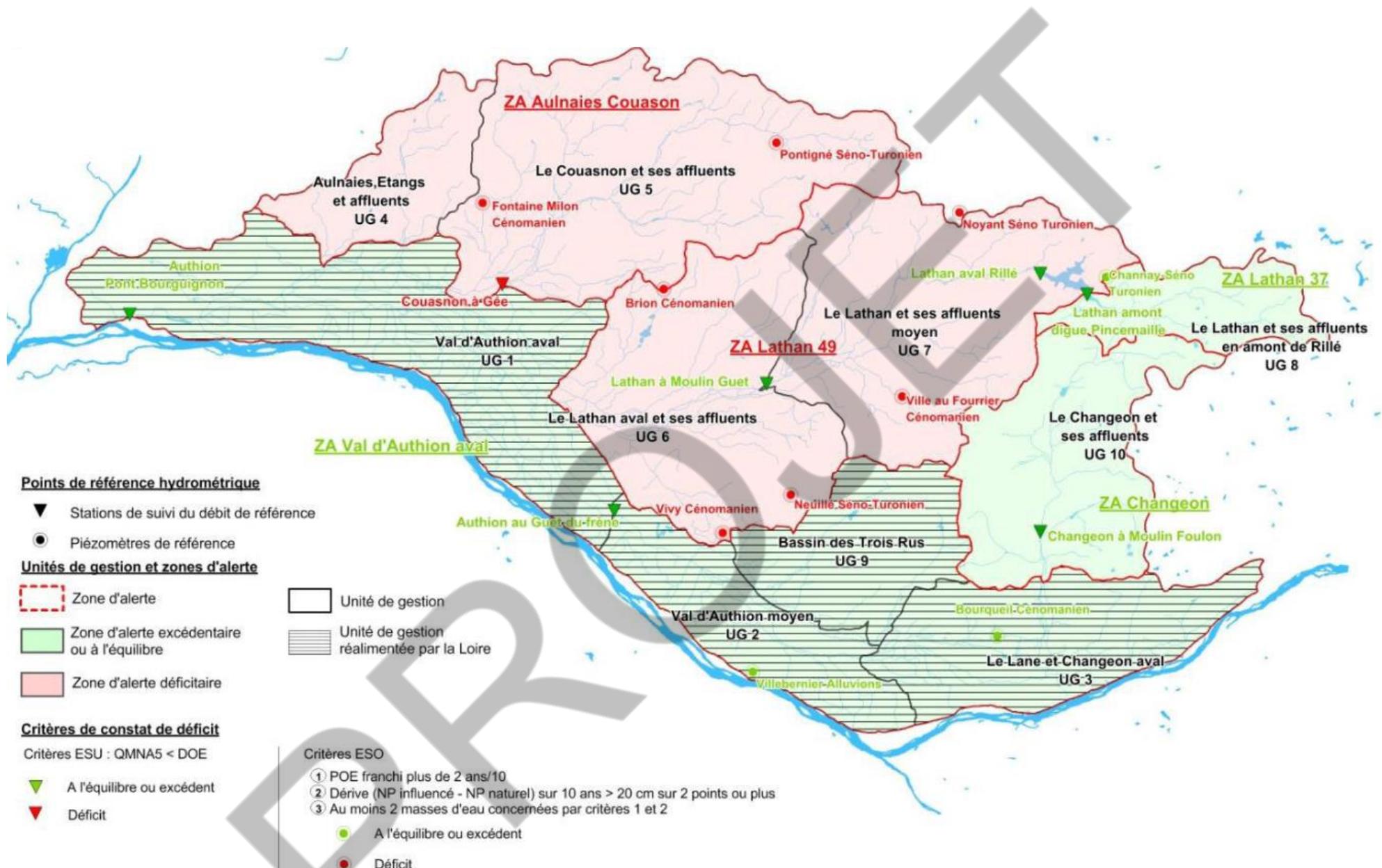
### 1.3. Zones d'Alerte (ZA) et Unités de Gestion (UG)

Dans le cadre de l' « étude de détermination des Volumes Prélevables (VP) sur le périmètre du SAGE Authion » (2012 – 2015), 5 grandes Zones d'Alerte (ZA) ont été déterminées : Aulnaies et Couasnon, Val d'Authion-Lane, Changeon, Lathan 49 et Lathan 37. Ces 5 Zones d'Alerte se déclinent en 10 Unités de Gestion (UG) cohérentes [Carte 2]. Les UG correspondent à un découpage fonctionnel des principaux sous-bassins versants de l'Authion. Le découpage des UG s'est appuyé sur de nombreux zonages concernant les masses d'eau superficielles et souterraines. Les périmètres des UG ont été établis à partir de la gestion actuelle des arrêtés cadre sécheresse, des données de l'état des lieux du SAGE, de la définition de sous-bassins unitaires (limites des aquifères, des nappes libres affleurantes, nappes captives, secteurs réalimentés ou non-alimentés) et enfin à la répartition des niveaux de prélèvements (PAGD du SAGE Authion, 2017).

Pour chaque UG, des seuils de débit déclenchent des mesures graduelles de vigilance, d'alerte, d'alerte renforcée et de crise, s'ils sont dépassés pendant plusieurs jours. Ces seuils prennent en compte les volumes prélevés par les différents usagers de l'eau et les réalimentations par la Loire. Une étude a identifié les UG en situation d'équilibre ou de déséquilibre quantitatif.

Le bilan de l'étude VP montre que les UG1, 2 et 3 au sein du val d'Authion-Lane doivent leur équilibre à la réalimentation par la Loire. 2 ZA sont déficitaires : la ZA Aulnaies-Couasnon pour les eaux superficielles et souterraines et la ZA Lathan 49 pour les eaux souterraines. La ZA Authion-Lane est globalement à l'équilibre.

Les calculs de flux vont être effectués à l'échelle des UG, au croisement de leur limite aval et du cours d'eau. Cette échelle a été choisie car in fine, après avoir identifié les zones les plus contributives en polluants, leurs origines pourront être déterminées plus facilement qu'à une plus grande échelle et des actions cibles pourront se mettre en place.



Carte 2 : Bilan des Unités de Gestion (UG) et des Zones d'Alerte (ZA) (source : PAGD SAGE Authion)

## 1.4. Caractéristiques des nitrates

Les nitrates sont naturellement présents dans l'environnement. Les éléments azotés sont nécessaires pour le développement des plantes, mais en faibles quantités. La contamination des eaux par ces éléments résulte d'apports excessifs de déchets organiques en décomposition, qui peuvent être liés aux activités humaines : engrais chimiques ou organiques, élevage, rejets domestiques et industriels. Leurs origines sont diverses et il est parfois difficile de faire des corrélations pour expliquer les taux de nitrates. Des facteurs tels que les lieux de captages et les profondeurs des prises d'échantillons ne sont pas connus, et peuvent influencer sur les teneurs. Le seuil de 10mg/L de nitrates dans les cours d'eau est la teneur maximale considérée comme naturelle dans les milieux aquatiques (1).

En période pluvieuse, le lessivage des sols, notamment des sols nus entre deux cultures, entraîne les nitrates (solubles dans l'eau) en excès vers les cours d'eau. La végétation joue donc un rôle important pour la régulation des apports de nitrates. Au travers de programmes d'actions spécifiques au territoire, les flux de nitrates peuvent être réduits.

La pollution par les nitrates est un problème complexe. Outre d'être des nutriments pour les plantes, les nitrates sont également consommés par les microorganismes (bactéries et champignons) présents dans la terre. Ils participent ainsi à la synthèse des matières organiques du sol qui stockent l'azote contenu dans les nitrates qui n'ont pas été consommé dans l'année par les plantes, et ce jusqu'à leur mort. Leur décomposition par les bactéries libère alors l'azote qu'elles contiennent sous la forme de nitrates. Mais cette libération peut se produire à tout moment de l'année, notamment lorsque les plantes sont au repos et s'alimentent peu : dans ce cas, ne pouvant être consommés par ces dernières, les nitrates libérés sont lessivés par les eaux de ruissellement et d'infiltration (2).

Les nitrates emportés par les eaux d'infiltration au cours d'une année ne proviennent donc que pour une faible part des engrais apportés cette même année. L'essentiel provient de la production de nitrates par la matière organique morte des sols, c'est-à-dire des nitrates épandus les années précédentes et stockés. À ceci s'ajoute parfois la lenteur de la progression de l'eau d'infiltration dans les sols.

Chaque épandage contribue donc peu chaque année à la contamination des eaux, mais il y contribue durant de nombreuses années. D'année en année, ces contributions " retardées " s'additionnent les unes aux autres et les quantités de nitrates lessivés atteignant les nappes augmentent. C'est ainsi que la pollution actuelle des nappes souterraines provient de 20 à 30 années d'épandage d'engrais. Même si l'on arrêta aujourd'hui de fertiliser les sols, il faudrait attendre plusieurs décennies avant de retrouver une situation normale.

## 1.5. Outils de référence pour le suivi et l'évaluation de la qualité des eaux

Il existe de nombreux outils pour évaluer et diagnostiquer les eaux superficielles et souterraines. Les plus anciennes observations de la qualité des eaux datent de 1971, avec la grille 71. Les paramètres suivis ainsi que les méthodes et le calcul des différents indices et classes de qualité ont beaucoup évolué. Après un rappel des différents seuils qualité, une synthèse de ces outils est détaillée dans cette partie.

### 1.5.1. Rappels des différents objectifs de qualité des eaux

La Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE) impose un objectif général de 50 mg/L de nitrates pour le bon état des eaux. Pour atteindre cet objectif, il faut pouvoir évaluer la qualité des milieux aquatiques pour identifier les sources de pollution et mettre en place des programmes d'actions. La qualité d'une masse d'eau se détermine par l'évaluation de son état chimique ainsi que son état biologique [Fig. 2]:

- L'état chimique se détermine par l'analyse des substances polluantes provenant des activités humaines (nutriments, pesticides, métaux lourds, polluants industriels) dans l'eau.
- L'état écologique se détermine à partir de 3 critères :
  - o L'état physico-chimique,
  - o L'état biologique,
  - o L'état hydro-morphologique

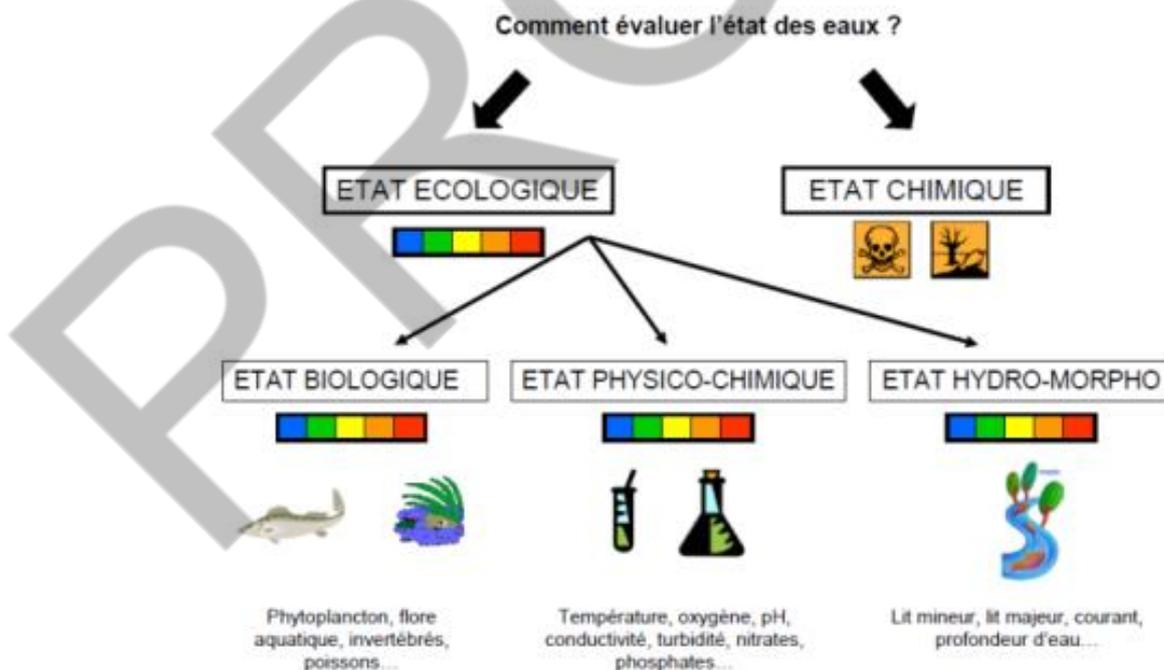


Figure 2 : Schéma d'évaluation de l'état des eaux (source : Secrétariat Technique de Bassin Loire-Bretagne)

Tous ces indicateurs permettent d'identifier les milieux aquatiques suivant 5 classes de qualité [Tab. 2].

Tableau 2 : Classes d'état des eaux superficielles pour le paramètre nitrates en mg/L

| Seuils de références            | Très bon | Bon          | Moyen        | Médiocre     | Mauvais |
|---------------------------------|----------|--------------|--------------|--------------|---------|
| DCE                             | < 10     | ≥ 10 et < 50 |              |              | ≥ 50    |
| Révisions des Zones Vulnérables |          | ≤ 11,5       |              |              |         |
| SAGE Authion : non dégradation* |          | > 13 et ≤ 29 |              |              |         |
| SAGE Authion : non dépassement* |          | ≤ 30         |              |              |         |
| SEQ-Eau                         | ≤ 2      | > 2 et ≤ 10  | > 10 et ≤ 25 | > 25 et ≤ 50 | > 50    |

\* Les seuils de qualité du SAGE sont calculés en centile 90 des concentrations

Il existe différents seuils de référence pour qualifier un cours d'eau. Le plus exigeant est celui du Système d'Evaluation de la Qualité de l'Eau ; à l'inverse de celui de la DCE. Les seuils de la Loire par rapport au paramètre nitrate ont été revus suite à la révision des zones vulnérables par la Directive Nitrate, avec un objectif de 11,5 mg/L de nitrate. En juillet 2018, a été adopté le 6<sup>e</sup> programme de la Directive Nitrates qui englobe désormais l'ensemble du territoire des Pays de la Loire en zone vulnérable (ZV). Ce programme couvre l'équilibre de la fertilisation, le calendrier d'épandage, les conditions d'épandage et les distances, le stockage des effluents, la couverture des sols, les documents d'enregistrement des pratiques agricoles (3).

Pour répondre aux objectifs de la disposition 8.A.2. du PAGD du SAGE Authion « Définir les objectifs de qualité pour les cours d'eau et pour les nappes », la Commission Locale de l'Eau a décidé de déterminer des objectifs chiffrés et datés pour les paramètres « nitrate », « phosphore » et « pesticides ». Pour chacun de ces paramètres, des tableaux de synthèses ont été établis (Annexe 4). Un objectif de qualité a été voté concernant le paramètre nitrates :

- Objectif de non-dégradation de l'existant avec des seuils différents selon les stations (entre 13 et 29 mg/L de nitrates entre 2006 et 2011),
- Soit, un objectif de non-dépassement fixé à 30 mg/L pour l'ensemble des stations du bassin versant.

Ces seuils de concentrations sont exprimés en centile 90 (ou percentile). Le centile 90 d'une série de données est la valeur pour laquelle 90% des données lui sont inférieures ou égales, et 10% supérieures. Le percentile 90 permet de mieux refléter les contaminations saisonnières d'une année hydrologique (cf glossaire) tout en excluant les valeurs extrêmes dans le cas où la chronique comporte plus de dix valeurs.

Des seuils de qualité (concentration) et de quantité (débit) seront créés pour en dégager des seuils de flux nitrates. Ils seront sur la base du seuil de qualité SAGE de 30 mg/L de nitrates (en centile 90) pour le bon état des eaux, et sur la moyenne des débits de l'ensemble des cours d'eau du bassin versant.

L'Agence de l'Eau Loire-Bretagne réalise différents traitements sur les données qualité et notamment au travers de deux outils : le Système d'Evaluation de l'Etat des Eaux (SEEE) et le Système d'Evaluation de la Qualité de l'Eau (SEQ-Eau). Cette dernière méthode est appliquée dans le cadre de la DCE.

### 1.5.2. Outil de suivi de la qualité des eaux

Créé en 1993, le Service d'Administration National des Données et Référentiels sur l'Eau (SANDRE), regroupe des organismes contributeurs, majoritairement publics, du domaine de l'eau. Son pilotage est assuré par l'Agence Française pour la Biodiversité (AFB) dans le cadre du Système d'Information sur l'Eau (SIE) (4). C'est l'outil de partage de données standardisées sur l'eau et l'environnement qui est utilisé en France et qui constitue le format officiel national pour optimiser les transferts de données.

Le SANDRE met à disposition des documents, des services et des données de référence pour faciliter le stockage en base de données, l'échange des données et le contrôle des données depuis son site web. Grâce à la codification des données par le SIE (identifiant unique pour chaque paramètre mesuré, pour chaque station qualité...), les données peuvent être échangées et comparées entre elles.

L'Agence de l'eau met à disposition une trame, au format Excel, conforme au SANDRE pour la saisie des paramètres terrain, des résultats d'analyse physico-chimique et des indices biologiques (avec les paramètres associés à ces indices). Les données sont ensuite bancarisées sur les sites des agences de l'eau selon leur thématique (qualité des eaux, données "industrielles", données "prélèvements eau potable", données "prélèvements irrigation"...). Les données brutes relatives à la qualité des eaux sont répertoriées dans l'outil OSUR-Web (5). Ces données proviennent des réseaux de mesures du bassin en maîtrise d'ouvrage agence de l'eau, DREAL ou l'AFB, ou pour lesquels l'agence assure le financement ou le co-financement.

A une échelle plus locale, les SAGE et bureaux d'études ont développé des outils d'évaluation de la qualité des eaux en interne qui s'appuient sur leurs propres seuils. Ils sont plus exigeants que les outils déjà existants et plus proches des problématiques locales. Les objectifs de qualité sont plus élevés que ceux de la DCE et en meilleur compatibilité avec les caractéristiques du territoire (voir le double objectif de qualité du SAGE Authion).

### 1.5.3. Système d'évaluation de l'état des eaux (SEEE)

Le système d'évaluation de l'état des eaux est une application informatique dédiée au calcul d'indicateurs d'évaluation de l'état des eaux. Elle fonctionne à partir des données de

surveillance des milieux. L'outil fournit des résultats à l'échelle du site. Il a vocation à être le système de référence pour toutes les catégories d'eau.

L'outil d'évaluation permet l'évaluation biologique, physico-chimique et chimique des cours d'eau, ainsi que l'évaluation chimique des eaux souterraines, conformément aux règles en vigueur en application de la DCE. Depuis 2013, il permet le calcul des nouveaux indices biologiques (comme l'I2M2) sur les cours d'eau. Ayant vocation à être le système de référence pour toutes les catégories d'eau, le SEEE intégrera progressivement les indicateurs concernant les plans d'eau et les eaux littorales dans les années à venir (6).

#### 1.5.4. Système d'évaluation de la qualité de l'eau (SEQ-Eau)

Le système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau est fondé sur la notion d'altération. Les paramètres de même nature ou de même effet sur l'aptitude de l'eau à la biologie et aux usages sont groupés en 16 altérations de la qualité de l'eau parmi lesquelles figurent : les matières organiques et oxydables, les matières azotées hors nitrates, les nitrates, les matières phosphorées, les effets des proliférations végétales, les pesticides, etc. (7). Ce système est fondé sur trois volets, ayant pour objectifs :

- D'évaluer la qualité des cours d'eau,
- D'identifier les altérations de la qualité de l'eau ou du milieu physique,
- D'évaluer les effets de ces altérations sur les usages anthropiques ou les fonctions naturelles du cours d'eau.

Le SEQ-Eau fournit des évaluations concernant la qualité physico-chimique de l'eau pour chaque altération d'une part et l'incidence de cette qualité sur la biologie et les usages de l'eau d'autre part.

Le suivi et l'évaluation de la qualité des eaux est donc très bien développé en France. En ce qui concerne les flux, des études et thèses commencent à être publiées pour répondre aux orientations 2D et 4F du SDAGE Loire-Bretagne relatives au développement des connaissances concernant les pollutions par les nitrates et les pesticides. Pour l'étude des flux, les données bancarisées sur la plateforme OSUR vont être utilisées et les seuils du SAGE Authion et de l'outil SEQ-Eau serviront de base pour la détermination des seuils de flux.

## 1.6. Etude bibliographique de référence et outils existants

La problématique complexe de calcul des flux de pollution à partir de l'exploitation de données de qualité et de débits a déjà fait l'objet de différentes études. Dans l'objectif de tirer

les enseignements de ce qui pouvait avoir été réalisé antérieurement, une analyse bibliographique de trois références a été effectuée : l'outil Macroflux, l'outil Pol(F)lux et la thèse de Sébastien Raymond sur les incertitudes relatives aux différentes méthodes de calcul de flux.

### 1.6.1. Outil Macroflux

Un des outils le plus abouti concernant le calcul des flux en France est le logiciel Macroflux, développé sous Excel par Frank Prioul (DREAL Bretagne), Julie Vinson et Pierre Arousseau (Agrocampus Ouest). Il permet de générer des graphiques pour établir un bilan hydrologique-hydrochimique de la qualité des eaux en nitrate ou phosphore d'un bassin versant. A partir d'un fichier Excel renseigné par des données de débits journaliers, de concentrations journalières et de caractéristiques des points de suivis, le logiciel génère une représentation graphique des indicateurs suivants : hydraulité, concentration journalière, concentration moyenne annuelle, flux annuel, flux spécifique moyen, flux pondéré par l'hydraulité.

Ce logiciel a abouti à la création d'une application cartographique sur internet (8) 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>3</sup> et les stations les plus proches des exutoires à la mer.

Ce logiciel utilise la méthode IRC pour les calculs de flux d'azote. Cette méthode sera détaillée ultérieurement.

### 1.6.2. Outil Pol(F)lux

Dans le cadre du protocole régional du réseau de suivi de la qualité de l'eau et des milieux aquatiques dans les bassins versants bretons (version de janvier 2015), l'outil « système expert Pol(F)lux » a été développé par l'Université de Tours et sous la tutelle de Florentina Moatar. Cet outil de calcul a été validé pour des bassins de superficie supérieure à 500 km<sup>2</sup> et est actuellement en cours de test pour de petits bassins versants (Agence de l'Eau Loire-Bretagne, 2015). Cet outil permet de calculer les flux par une vingtaine de méthodes et sélectionne celle qui est optimale pour déterminer les flux avec un minimum d'incertitude. Il peut prédire les incertitudes dans l'évaluation des flux en fonction de la fréquence d'échantillonnage et de ce fait, il peut prédire la fréquence d'échantillonnage optimale pour une incertitude donnée.

Le système expert Pol(F)lux se base sur deux indicateurs<sup>4</sup> qui déterminent la réactivité hydrologique des bassins versants et la dynamique des macropolluants (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, COD, COT, PO<sub>4</sub>, Ptot, Ppart) et des Matière En Suspensions (MES) échantillonnés. Ce logiciel, pourra être utilisé

---

<sup>3</sup> Programme régional de reconquête de la qualité des eaux dans le cadre du Contrat de Projet Etat-Région Bretagne 2008-2013.

<sup>4</sup> La réactivité hydrologique d'un bassin versant en crue est caractérisée par l'indicateur W<sub>2%</sub> et la dynamique des macropolluants pendant la période de hautes eaux est caractérisée par le coefficient b<sub>50sup</sub>.

in fine pour mieux caractériser chaque bassin versant et optimiser les fréquences d'échantillonnage pour tout paramètre (sous réserve d'une validation à venir sur les BV inférieurs à 500 km<sup>2</sup>). L'objectif de ces nouveaux indicateurs est de « dimensionner » les réseaux de mesures non seulement en terme de fréquence d'échantillonnage mais aussi en terme de précision voulue/attendue des résultats (degré d'incertitude de calcul de flux par exemple).

### 1.6.3. Thèse de Sébastien Raymond

La thèse de Sébastien Raymond sur les « Incertitudes des flux transportés par les rivières (MES, nutriments, sels dissous), vers un système expert d'optimisation des méthodes de calcul (2011) » est très complète sur la notion de flux et les incertitudes liées aux calculs de flux. Elle s'appuie sur des travaux précédents, notamment ceux effectués dans le cadre de VARIFLUX (Birgand, Moatar en 2009, ou Moatar, 2006). Ce projet VARIFLUX (2005-2008) soutenue par le programme Ecosphère continentale CNRS/INSU, associe plusieurs laboratoires du CNRS, des universités et de l'IRSTEA. L'objectif de ce projet était d'étudier les variations temporelles des concentrations et flux de matière pour des bassins de nature contrastée. Cette méthode a été utilisée entre autres par Verhoff et *al.* (1980) et Walling et Webbs (1982). L'université de Tours a beaucoup travaillé sur la notion de flux et les incertitudes liées aux calculs de flux.

Le travail de thèse évalue les méthodes de calcul de flux les plus performantes pour chaque composé (MES, nutriments ou sels dissous) en quantifiant les biais et incertitudes. Ces principaux résultats ont montré que :

- Les relations concentrations (de polluants diffus) et débits sont souvent non linéaires et suivent plutôt une relation de type puissance ( $C = aQ^b$ , avec  $b$  compris entre 0 et 1),
- La méthode dite « DWC » ou « méthode des concentrations moyennes pondérées par les débits » est la méthode la plus performante (moins de biais engendrés par les calculs) pour le calcul de flux de polluants diffus (tels que les nitrates, le phosphore...).

Il s'est appuyé sur les travaux de Meybeck et *al.* de 1994, qui ont montré que dans le cas de l'estimation d'un flux annuel d'éléments transportés sous forme dissoute, l'utilisation de la méthode des concentrations moyennes pondérées par les débits est préférable.

Plusieurs SAGE, notamment le SAGE Estuaire de la Loire, ont amorcé un travail de quantification et de qualification des flux. Ce SAGE a mis en place un « diagnostic SAGE Estuaire de la Loire » en 2005 pour compléter les suivis qualitatifs de son bassin versant. De par sa position géographique très particulière, l'estimation des flux est devenue nécessaire. Situé à l'exutoire du plus long fleuve de France, son territoire est soumis à des échanges importants avec, à l'amont, des apports de la Loire fluviale, et à l'aval, des échanges avec l'océan et

latéralement, avec la Sèvre Nantaise et le lac de Grand lieu. Ces échanges d'eau constituent des vecteurs de transfert des matières polluantes. La distinction entre les flux « reçus » et les « flux émis » est nécessaire (SAGE Estuaire de la Loire, 2005). Leur difficulté principale réside dans le déficit d'équipement de mesure de débits sur leurs cours d'eau, dû aux difficultés techniques sur des milieux où l'écoulement n'est pas naturel (écluse), voire à des inversions d'écoulement. Sur le bassin de l'Authion, ces difficultés peuvent se retranscrire, vu le grand nombre d'ouvrages hydrauliques qui tronçonnent les cours d'eau.

L'ensemble de ces références, sont à ce jour, les plus abouties et les plus fiables concernant les méthodes à sélectionner pour le paramètre étudié, avec le moins d'incertitudes liées aux calculs. Ce rapport s'appuie sur l'ensemble de ces travaux. Les deux méthodes de calcul (IRC et DWC) sont décrites dans la partie 3 de ce rapport.

## 2. Matériels et méthodes

---

L'étude des flux de polluants repose sur une analyse des données de concentrations et de débits. Les calculs de flux, réalisés avec Excel, s'appuient sur ces données. Il est donc nécessaire d'avoir une bonne visibilité des variations (saisonniers, interannuelles...). Les calculs sont réalisés sur la base de méthodes déjà existantes. Une revue de ces méthodes et des outils d'estimation des flux permettra de sélectionner les chroniques nécessaires aux calculs, la méthode la plus performante et d'identifier les précautions relatives aux calculs.

### 2.1. Stations des réseaux existants sur le BV de l'Authion

3 réseaux de suivi de la qualité des eaux superficielles sont mis en place sur le bassin versant : le Réseau de Contrôle Opérationnel (RCO), de Surveillance (RCS) et additionnel (RCA). Ce réseau comprend 24 stations de mesure de la qualité des eaux superficielles (dont 6 historiques, qui ne sont plus suivis à ce jour). Concernant le réseau de suivi des débits, il existe 7 stations hydrométriques automatiques (dont 1 sur le plan d'eau de Rillé, qui ne sera pas utilisée dans cette étude) et 3 stations de pompages en Loire. Le SAGE développe depuis 3 ans un réseau complémentaire en différents points afin de compléter les données « quantité ». Ce réseau comporte une trentaine de points, suivis régulièrement. Ces stations temporaires seront consolidées dans le cadre d'un programme d'actions.

## 2.2. Acquisition de données et sélection des stations

Pour faire un choix sur les stations à considérer pour le calcul de flux, une étude des données disponibles et de leur répartition temporelle et spatiale est tout d'abord nécessaire. En fonction de ces critères, les stations hydrométriques répondant au mieux à ces paramètres seront sélectionnées. Les données qualité sont issues de la plateforme OSUR de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne et les données hydrométriques sont issues d'un outil interne à l'Entente (Superviseur).

### 2.2.1. Stations de suivi qualité

Le réseau des stations de suivi de la qualité des eaux superficielles sur le bassin est assez hétérogène concernant la répartition des mesures des concentrations en nitrates. Le nombre de suivis annuels n'est pas constant d'une année à l'autre : les périodes de suivi ne sont pas les mêmes. Les prélèvements sont généralement mensuels (stations les plus importantes) mais la plupart des stations qualité ont une fréquence moins élevée. Un premier recensement des stations de suivi permet d'inventorier les cours d'eau du BV pour lesquels un suivi régulier de la qualité des eaux a lieu. Les données sur eau brute sont recueillies sur les 10 dernières années (2008 -2017) puisque les stations automatiques de débits ont été mises en place en 2008 et dans un souci d'actualité des pressions polluantes, d'homogénéité des méthodes d'analyse. Par ailleurs, les stations doivent être positionnées préférentiellement en aval des UG.

#### 2.2.1.1. Description du jeu de données

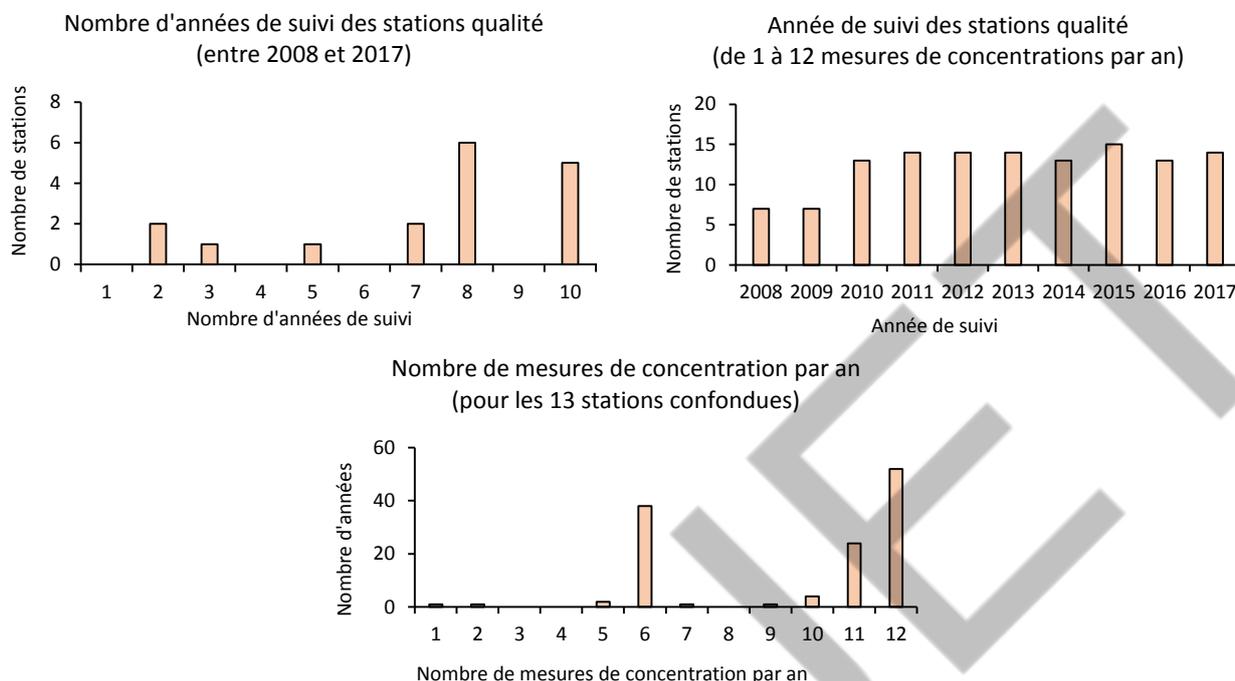
L'objectif est d'avoir des données de concentrations en nitrates couvrant le plus grand nombre de sous bassin, permettant in-fine d'estimer les flux en sortie d'Unité de Gestion. Le jeu de données est initialement de 24 stations qualité sur l'ensemble du bassin versant :

- 8 stations font partie du réseau SAGE (Réseau de Contrôle Additionnel),
- 6 stations font partie du Réseau de Contrôle de Surveillance,
- 4 stations font partie du Réseau de Contrôle Opérationnel,
- 6 d'entre elles sont historiques et ne sont plus suivies à ce jour.

Les 6 stations historiques ne font pas partie de l'étude car leur chronique de données ne sont plus actuelles et ne correspondent pas aux données débits. Par ailleurs, 8 stations (tous réseaux confondus) sont éliminées car leur localisation n'est pas située en aval d'UG, critère de sélection des stations.

Les 10 autres stations font donc l'objet d'une étude de leurs données disponibles. Par ailleurs, pour estimer les flux entrant via les pompages en Loire, 3 stations de mesure de qualité les plus proches des stations de pompages sont incluses dans l'étude. Au total, un effectif de **13**

**stations qualité** est étudié. Les histogrammes ci-dessous présentent la répartition des chroniques des stations qualité et le nombre de mesures de concentration annuel [Graph. 1].



Graphique 1 : Répartition des stations du jeu de données initial (Sources : OSUR-WEB et LE CORNEC)

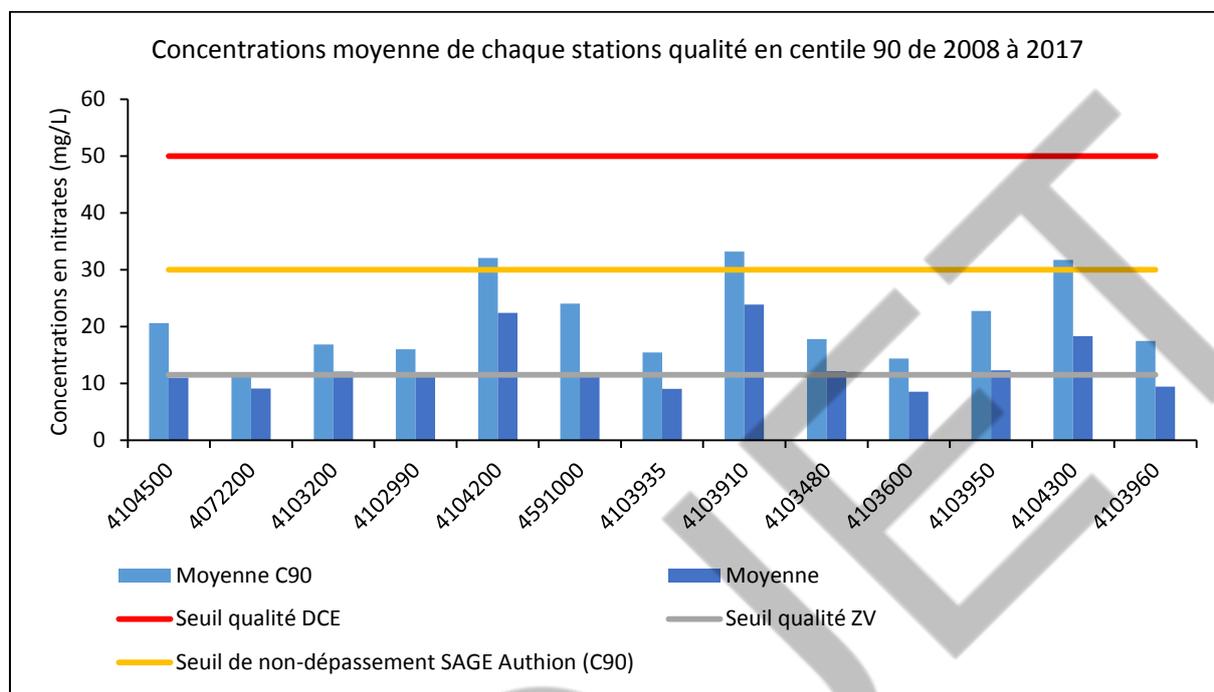
L'ensemble des stations fait l'objet de 1 à 12 mesures de concentrations par an, et de 2 à 10 années de suivi (consécutives ou non), avec une majorité de stations avec 8 ans de suivi. Plus les chroniques de données et le nombre de mesures annuelles sont grands, plus l'estimation des flux sera proche de la réalité et plus les biais seront négligeable.

Il apparait que certaines stations ne pourront pas faire l'objet de calculs de flux, en théorie. Par exemple, les stations n'ayant été suivies que deux ou trois années, ne sont pas intéressantes dans une optique de suivi immédiat des variations de flux. Le calcul des flux se base sur une série de données d'au moins 10 ans. Cependant, l'outil est créé dans le but d'amorcer ce suivi, et très peu de stations du bassin ont un suivi de 10 ans ou plus. De ce point de vu, ces stations seront tout de même considérées pour le calcul. **Les 13 stations sélectionnées sont donc utilisées pour les calculs.**

Le calcul des flux consiste à multiplier une concentration (en mg/L) par un débit (en L/s) ce qui aboutit à une unité de flux en mg/s. Dans la réalité, le calcul est plus complexe car il faut associer une valeur de concentration à une valeur de débit. Or, les mesures de débits sont journalières et les mesures de concentration sont très irrégulièrement réparties dans le temps, comme vu précédemment.

### 2.2.1.2. Traitement du jeu de données

Le graphique ci-dessous [Graph. 2] présente la répartition des concentrations moyennes en nitrates de chaque station de mesure de qualité, entre 2008 et 2017.



Graphique 2 : répartition des concentrations moyennes en nitrates de chaque station de mesure de qualité, entre 2008 et 2017 (source : LE CORNEC)

D'un point de vue du seuil de qualité fixé à 50mg/L de nitrates par la DCE, l'ensemble des cours d'eau du bassin versant sont dits de « bonne qualité » (Annexe 5). Si on compare les concentrations moyennes en centile 90 et par rapport au seuil de non dégradation du SAGE Authion, il apparaît que 4 cours d'eau dépassent le seuil de 30 mg/L : le Couasnon aval (UG 5), le Lathan amont (UG 8), les Aulnaies et l'Etang (UG 4) (Annexe 4). La Riverolle (affluents du Couasnon, UG 7), le Lathan aval (UG 6) et l'Authion moyen (UG 1) et l'amont de l'Authion (UG 2) ont les plus faibles concentrations avec en moyenne 9 mg/L de nitrates.

Les stations 04103200 (Loire à Saint-Maturin sur Loire), 04102990 (Loire à Saumur) et 04072200 (Loire à Langeais) sont des stations qualité en Loire qui correspondent respectivement aux pompages de Saint Martin-de-la-Place, Varennes-sur-Loire et Saint Patrice. Leur moyenne est en dessous du seuil des 11,5mg/L de nitrates. Cependant il y a ponctuellement des dépassements pour chacune des stations. La station proche du pompage de Saint Martin-de-la-Place est celle qui présente le plus de dépassement du seuil, avec 50,8% des données entre 2008 et 2017 qui sont au-dessus de 11,5mg/L.

Les concentrations en amont sont plus élevées qu'en aval de bassin versant. Une hypothèse comme quoi la nappe vient alimenter les eaux superficielles, et donc les diluer peut être émise. Cette hypothèse pourra être vérifiée avec l'étude des flux. La qualité des cours d'eau devra être mise en perspective avec la quantité de flux.

## 2.2.2. Stations hydrométriques

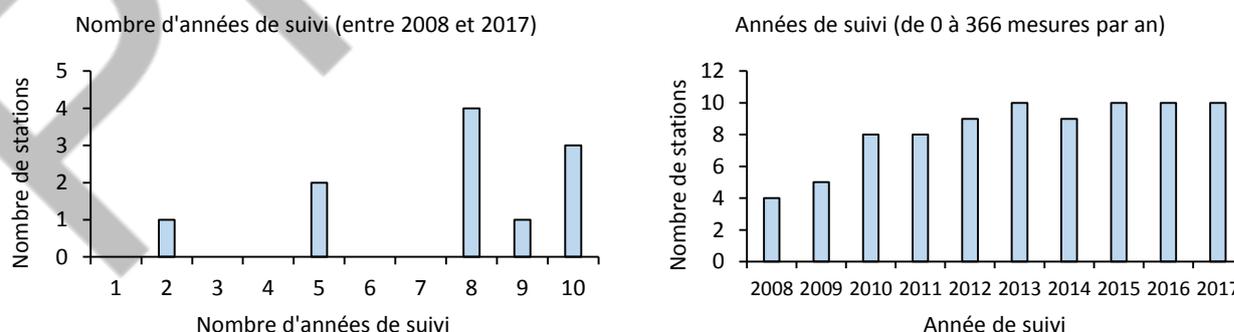
Un recensement des stations hydrométriques a été réalisé sur l'ensemble des cours d'eau du bassin. Les stations « débit » retenues sont celles qui sont les plus proches des stations qualité afin de calculer les flux de nitrates avec le moins d'incertitude possible. Les chroniques de débits aux stations hydrométriques recueillies concernent 10 années de mesures, soit la période 2008-2017 dans l'objectif d'intégrer des années présentant des situations hydrologiques variables et de couvrir les données de mesures de concentration.

### 2.2.2.1. Description du jeu de données

Le jeu de données est initialement de 7 stations automatiques de débit sur l'ensemble du bassin versant. La station débitométrique en aval de la retenue des Mousseaux ne fait pas partie des stations sélectionnées puisque le calcul des flux concerne les eaux de superficielle et non les plans d'eau. Les 6 stations « débit » sont sélectionnées pour le calcul des flux, même si, pour certaines, elles ne sont pas positionnées en aval des sous bassins. Les données de ces stations automatiques sont journalières. Le débit journalier est la moyenne des débits d'un jour donné. Dans la banque HYDRO, le débit journalier a 2 sources possibles : il est calculé à partir des couples hauteurs-temps et/ou de la courbe de tarage. Il est recalculé automatiquement en cas de modification des couples hauteurs-temps ou de la courbe de tarage concernée.

Le SAGE Authion a développé un réseau complémentaire<sup>5</sup> de suivi de la quantité. 15 de ces stations répondant aux critères de sélection seront également utilisées afin de réaliser des corrélations avec les stations hydrométriques automatiques citées précédemment, dans le but d'estimer les débits sortants en sortie d'UG. Les 3 stations de pompage en Loire s'ajoutent à ce jeu de données. Au total, les données des **6 stations hydrométriques automatiques et 15 stations de jaugeage** sont étudiées.

L'ensemble des stations fait l'objet de 0 à 366 mesures de débit par an, et de 2 à 10 années de suivis (consécutives ou non), avec une majorité de stations avec 8 ans de suivi [Graph. 3].

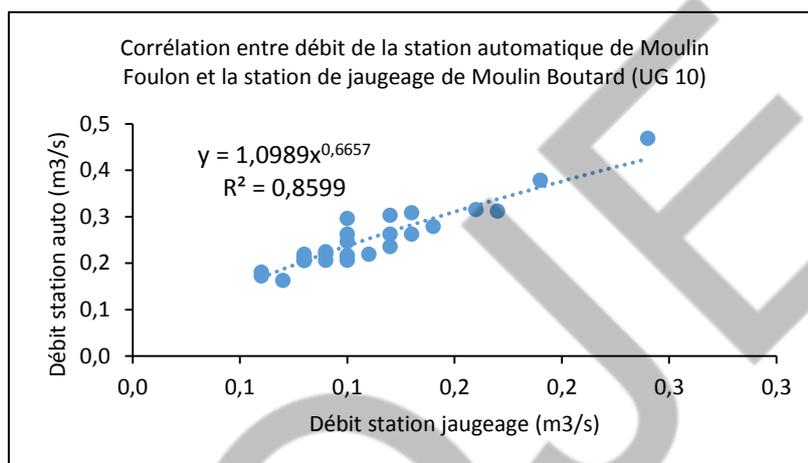


Graphique 3 : Répartition des stations du jeu de données initial en fonction des années de suivi (source : données issues du superviseur de l'Entente ; LE CORNEC)

<sup>5</sup> Ce réseau complémentaire est dense, avec 70 points de suivis. A ce jour, il existe peu de données de mesure de débit.

### 2.2.2.2. Traitement du jeu de données

Les stations hydrométriques n'étant pas situées, pour la plupart, en aval des UG, leurs données sont complétées avec les données des stations de jaugeages, afin de prendre en compte les débits des affluents, en sortie d'UG. Plusieurs corrélations sont réalisées entre stations automatiques et stations de jaugeage du réseau complémentaire afin d'avoir une estimation du débit la plus proche de la réalité des cours d'eau principaux et de leurs affluents, en sortie d'UG. Par exemple, pour le Changeon, la station automatique est 6 km en amont de la limite de l'UG 10 ; elle ne prend pas en compte 2 affluents. Une corrélation a été réalisée avec la station de jaugeage, qui elle, est idéalement placée en sortie d'UG [Graph. 4].



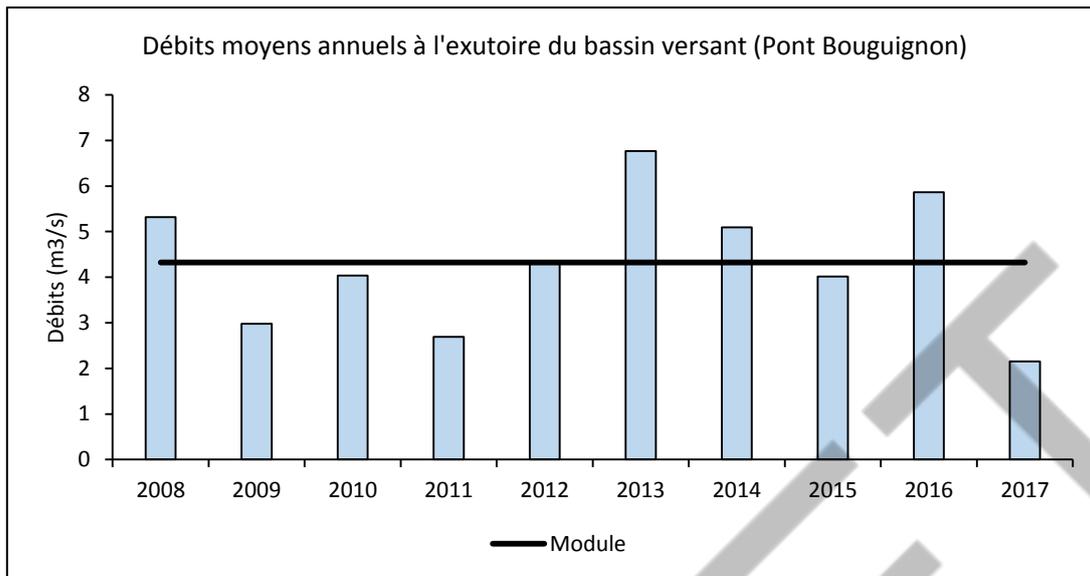
Graphique 4 : Courbe de corrélation entre station automatique et station de jaugeage (source : LE CORNEC)

Par la suite, les débits de la station de jaugeage sont incluses dans la formule  $y = a \cdot x^b$  ; la moyenne de la série de données créée est calculée et additionnée aux débits de la station automatiques. Les courbes de corrélations sont statistiquement correctes lorsque le nombre de données est suffisant et que le  $R^2$  est supérieur à 0,8, soit 80% de corrélation entre les deux mesures.

Cette méthode est appliquée pour les UG 10, UG 6 (corrélation entre la station débitmétrique positionnée en aval de l'UG 7 et les 3 stations de jaugeage en aval de l'UG 6), UG 5 (afin d'inclure le Tarry, affluent du Couason) et UG 3 (corrélation entre la station débitmétrique de l'UG 10 et les 3 stations de jaugeage en aval de l'UG 3, afin d'inclure le Lane et ses affluents).

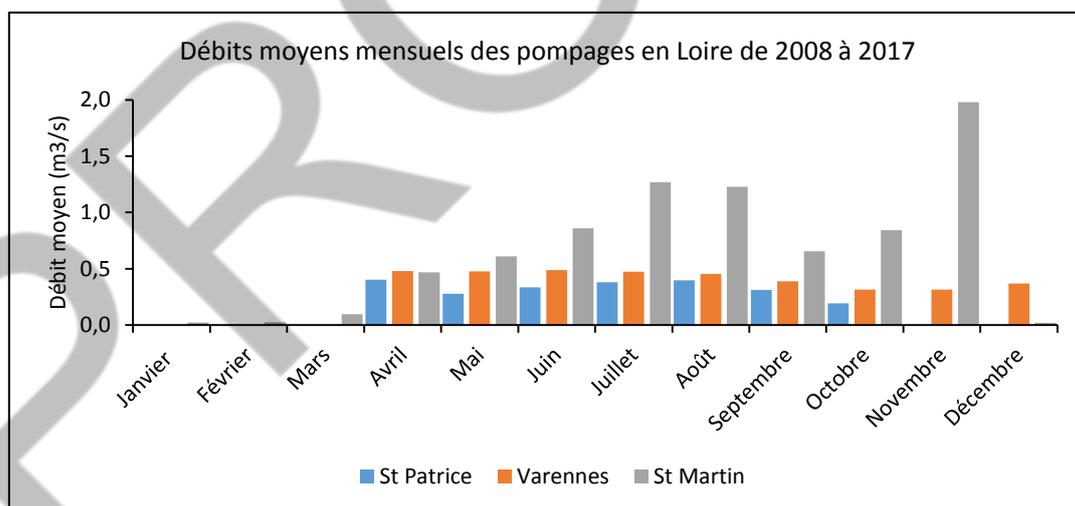
Sont présentés ici :

- Les débits à l'exutoire du bassin versant (Pont Bourguignon) [Graph. 5],
- Les débits estivaux des 3 réalimentations par la Loire [Graph. 6],
- Les débits reconstitués pour chaque UG [Graph. 7].



Graphique 5 : Débits moyens annuels en m³/s à l'exutoire du bassin versant de l'Authion (source : LE CORNEC)

Le module de 2008 à 2017 est de 4,5 m³/s. Le bassin versant est un système hydrologique clos, c'est-à-dire qu'aucun écoulement n'y pénètre de l'extérieur et que tous les excédents de précipitations s'évaporent ou s'écoulent à son l'exutoire. Il est donc défini comme la totalité de la surface topographique drainée par les cours d'eau et leurs affluents de l'amont vers l'aval. Un bassin versant est entièrement caractérisé par son exutoire, à partir duquel nous pouvons tracer le point de départ et d'arrivée de la ligne de partage des eaux qui le délimite (ou ligne de crête). C'est donc à l'exutoire d'un bassin versant qu'on retrouve les débits les plus importants.

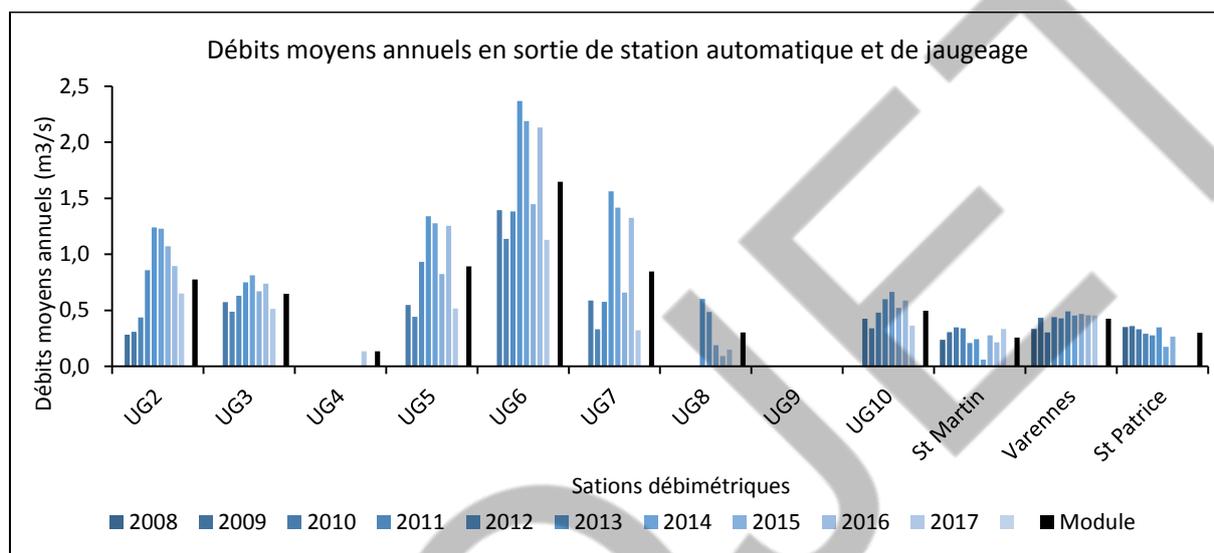


Graphique 6 : Répartition des débits moyens mensuels en m³/s par an des stations de pompage de Saint Patrice, de Varennes-sur-Loire, de et de Saint Martin-de-la-place (source : LE CORNEC)

L'eau de la Loire, est dans la majorité des cas, pompée en période estivale, (avril à octobre), avec quelques épisodes en début et fin d'année. Ces pompages permettent de répondre aux différents usages de l'eau, quand les cours d'eau ne sont plus en capacité de les satisfaire. Ce graphique est à prendre avec précaution : il représente le débit moyen mensuel des 3

pompages afin de rendre compte de la distribution des données dans le temps. Cependant, le nombre de jour concernés par les pompages sont différents entre chaque réalimentation et pour chaque mois. Par exemple, le pompage de Saint Martin-de-la-Place présente des débits moyens plus importants que les deux autres. Cela est uniquement dû au fait que les pompages concernent moins de jours ; la moyenne des débits est donc moins diluée par le nombre de prélèvement de la série de données.

Voici comment se répartissent les débits des cours d'eau en sortie d'UG et par années :



Graphique 7 : Répartition des débits moyens annuels en m³/s en sortie d'Unités de Gestion de 2008 à 2017 (source : LE CORNEC)

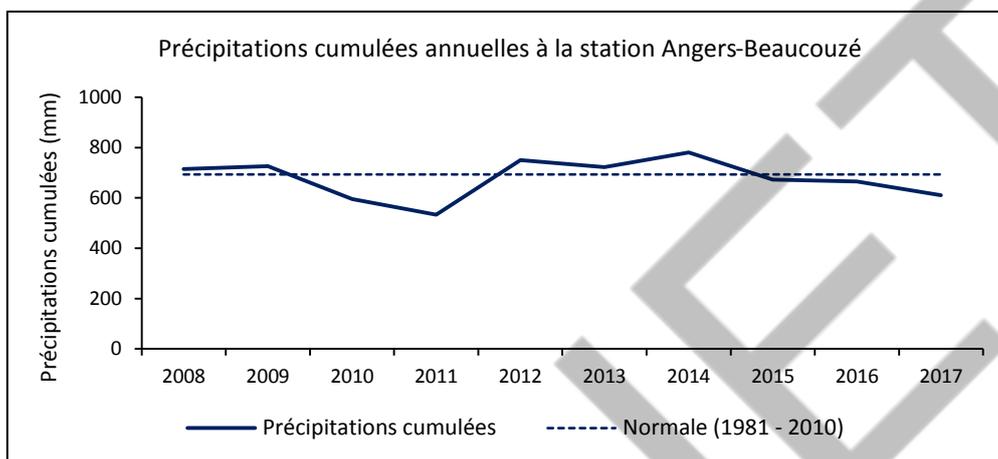
Il apparaît que les débits à l'exutoire du bassin versant sont nettement supérieurs que sur le reste du bassin. Les débits en sortie d'UG 6 sont importants avec un module de 1,7m³/s, soit en moyenne 3 fois plus qu'en sortie des autres UG. La surface drainée est importante (473 km², soit plus d'1/4 du bassin versant). Par ailleurs ses débits sont influencés par les lâchers de la retenue de Rillé.

Les différences de valeur de débit entre les années sont dues aux différences climatiques entre chaque année. Cette variabilité peut être estimée grâce au calcul de l'hydraulicité. La notion d'hydraulicité interviendra dans le calcul de flux avec la méthode IRC, développée dans la partie 3.2.

### 2.2.3. Pluviométrie

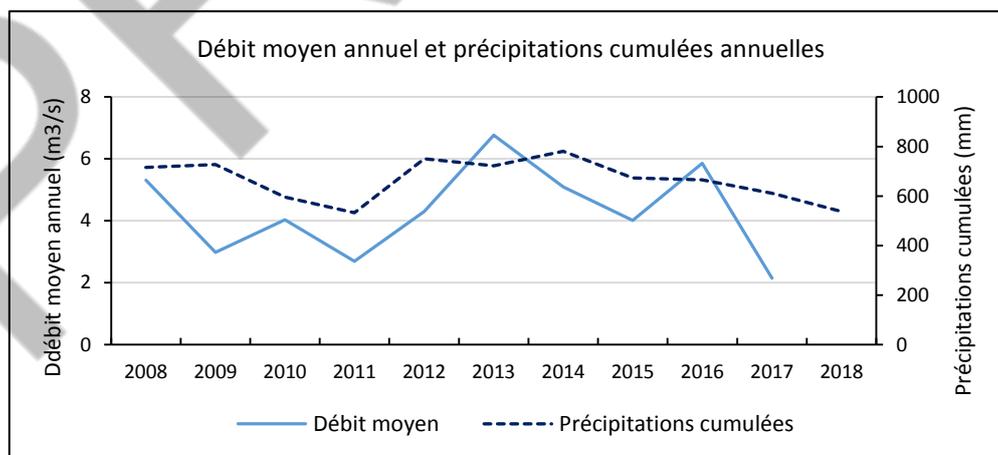
La pluviométrie est une donnée importante pour comprendre l'évolution des flux. Les précipitations vont directement influencer les débits et par conséquent, les flux de polluant. Les données extraites de la station météorologique de Angers-Beaucouzé, issue du site « Infoclimat » (9), détaillent les pluies cumulées annuelles entre 2008 -2017 [Graph. 8].

L'année 2011 est marquée par peu de précipitations avec une période sèche (de mars à juillet, avec une moyenne de 30 mm par mois). Au contraire, 2014 se présente comme une année humide, avec des périodes estivale et hivernale marquées par les précipitations (de mai à août, 80 mm en moyenne par mois, et de novembre à février, 160 mm en moyenne par mois). Après 2014, les pluies cumulées annuellement sont à la baisse et les prévisions annoncent que l'année 2018 sera similaire à celle de 2011.



Graphique 8 : Précipitations cumulées annuelles entre 2008 et 2017 à la station météorologique Angers-Beaucouzé (source : Infoclimat, LE CORNEC)

Les précipitations cumulées (station Angers-Beaucouzé) croisées avec les données débits sortant du bassin versant de l'Authion (Pont-Bourguignon) montrent que les débits évoluent conjointement avec les pluies, de manière décalée dans le temps [Graph. 9]. Les débits sont élevés en 2013 car les réserves des sous-sols sont partiellement reconstituées. De 2009 à 2011, les débits sont faibles, ce qui va de pair avec les faibles pluies cumulées. L'année 2017 a des débits très faibles comparés aux autres années, malgré des pluies cumulées proches de la normale. Cela peut être traduit par une évapotranspiration importante.



Graphique 9 : Débit moyen annuel et précipitations cumulées annuelles à la station débitmétrique des Ponts-de-Cé et à la station météorologique Angers-Beaucouzé (source : Infoclimat, LE CORNEC)

Pour se rendre compte des variations saisonnières des débits, le calcul du QMNA (Débit Moyen Minimum Annuel) est intéressant. C'est un débit statistique qui donne une information sur la sévérité de l'étiage d'une année donnée. Il permet d'apprécier statistiquement le plus petit écoulement d'un cours d'eau sur une période donnée. Il peut être calculé sur 2, 5 ou 10 ans. Il a été choisi de le calculer sur les 5 dernières années de suivi, quand les données disponibles le permettent. Le QMNA5 permet de visualiser rapidement le débit mensuel minimal ayant la probabilité 1/5 de ne pas être dépassée une année donnée, c'est donc la valeur du QMNA telle qu'elle ne se produit, en moyenne, qu'une année sur cinq. Il est communément appelé « débit d'étiage quinquennal » (10). Les QMNA5 et modules (moyenne des débits moyens annuels ou moyenne interannuelle) sont des valeurs de débit calculées à partir d'une chronique de données disponibles à un instant donné. Ces valeurs sont donc susceptibles d'évoluer dans le temps, du fait de l'acquisition de nouvelles données. Une attention particulière doit être portée à la qualité de ces calculs. Pour chaque valeur, le nombre et la période des données utilisées pour ces calculs permettent d'estimer leurs fiabilités. Ces données seront présentées dans la partie « Résultats ».

## 2.3. Conclusions intermédiaires : limites du choix des stations

La sélection des stations de mesure de qualité et de débit a aboutie à prendre en compte :

- 13 stations qualité,
- 6 stations hydrométriques automatiques,
- 15 stations de jaugeage complémentaires du SAGE.

De façon générale, le bassin versant de l'Authion est assez bien couvert par les stations de mesure de qualité, mais elles sont inégalement réparties sur le bassin versant. Les bassins des 3 Rus (UG 9) est déficitaire en équipements de mesure de qualité et de débits. Il existe une station de qualité sur le ruisseau Loges, et une station de jaugeage sur le ruisseau de l'Automne. De ce fait aucun calcul ne peut être effectué puisque ces deux affluents sont déconnectés et les données de qualité et de débits sont très insuffisantes. Il a donc été choisi d'exclure cet UG dans l'étude des flux. Aussi, le bassin des Aulnaies, Etang et Affluents (UG 4), présente une chronique de données débits trop faible et intégralement estivale : les résultats pour cet UG sont tout de même présentés dans la partie 4.1., mais ne feront pas partie des bilans.

Certains affluents sont suivis qualitativement, au vu de leurs concentrations élevées comparées aux autres cours d'eau. Si les données portant sur la qualité des eaux superficielles ne font globalement pas défaut, il en est autrement pour les données portant sur les débits des cours d'eau sur le bassin versant, où seules 6 stations de mesure de débit automatiques existent, avec

un nombre de données suffisamment élevé pour estimer les flux. Pour le calcul de flux, la position géographique des stations est une limite. Etant donné que les limites hydrographiques du bassin Authion et de ses sous-bassins (ZA et UG) sont déjà définies, les stations de mesure de qualité et débits ne vont pas forcément correspondre à leur exutoire.

Les stations de jaugeage, au vu de leur faible chronique de données, ont servi à faire des corrélations avec les stations automatiques. Cette carence au niveau des connaissances des débits s'explique en grande partie par la difficulté technique de mesurer des débits (plusieurs courbes de tarages existent, mais les séries de données sont encore trop faibles pour que les corrélations soient fines) sur des milieux où l'écoulement n'est pas naturel pouvant aller jusqu'à des inversions d'écoulement. De plus, les stations qualité et débit ne vont pas forcément être superposées. Dans ce cas, un travail d'estimation par le calcul va être effectué, avec la surface du bassin à la station qualité. Ceci qui entrainera des biais potentiels et une sous ou surestimation des flux. Les surfaces des sous bassin hydrographiques sont donc à prendre en compte. Elles sont extraites par cartographie via le logiciel QGIS.

En ce qui concerne les années de suivi, la chronique s'étend de 2008 à 2017. Les années manquantes de certaines stations seront recomposées avec la série de données débit des conditions de l'année hydrologique (cf glossaire) la plus proche de l'année manquante.

Dans cette partie d'acquisition des données, seules les concentrations en nitrates ont été présentées. Cependant, il est intéressant de calculer les flux sous d'autres formes azotées, telles que l'ammonium et l'azote organique, afin d'avoir un aperçu des origines de la pollution azotée. Les résultats comparent entre Unités de Gestion les flux sous ses 3 formes azotées.

L'ensemble des stations sélectionnées est présenté dans la carte 3.

## RÉSEAU DES STATIONS HYDROMÉTRIQUES ET DE MESURE DE QUALITÉ POUR LE CALCUL DE FLUX



Carte 3 : Réseau des stations hydrométriques et de mesure de qualité sélectionnées pour le calcul de flux nitrate (source : LE CORNEC)

## 2.4. Jaugeages

Pour pouvoir utiliser les valeurs de débits des stations du réseau complémentaire SAGE dans le calcul des flux, le nombre de données doit être conséquent (supérieurs à 30<sup>6</sup>). Un travail de terrain a donc été réalisé, à raison d'un relevé de débits par semaine.

Le jaugeage consiste à mesurer le débit instantané d'un site hydrométrique à un instant donné. Cette mesure peut être associée à la mesure d'une hauteur sur une station. Dans ce cas, cette opération peut servir au calage d'une courbe de tarage. L'évaluation du débit, ou jaugeage, repose sur trois données :

- La vitesse moyenne d'écoulement,
- La hauteur d'eau dans la rivière,
- La section mouillée délimitée par le profil transversal.

Le débit est calculé en multipliant la section mouillée par la vitesse. Cette mesure se réalise grâce à un courantomètre [Fig. 3]. Les vitesses du courant sont relevées point par point sur plusieurs verticales de la section mouillée, pour calculer la vitesse moyenne. Ce jaugeage ne peut être pratiqué que ponctuellement et seulement si les eaux en crue ne sont pas répandues au-delà des berges, dans un champ d'inondation.

Quand de nombreux jaugeages ont été réalisés, une courbe de tarage de cette station est établie. Elle exprime la correspondance entre les débits et les hauteurs d'eau dans la rivière. Les débits sont donc extrapolés grâce à la lecture de l'échelle limnigraphique. Quand un site n'est pas équipé d'échelle, un repère est utilisé (ouvrage en béton, fer tord...).



Figure 3 : Jaugeage du Bras du Perray (affluents du Lathan, UG 7) et courantomètre (source : SAGE)

---

<sup>6</sup> Un échantillon de 30 données est considéré comme un minimum acceptable pour des traitements statistiques et suivent une distribution « normale » (loi normale).

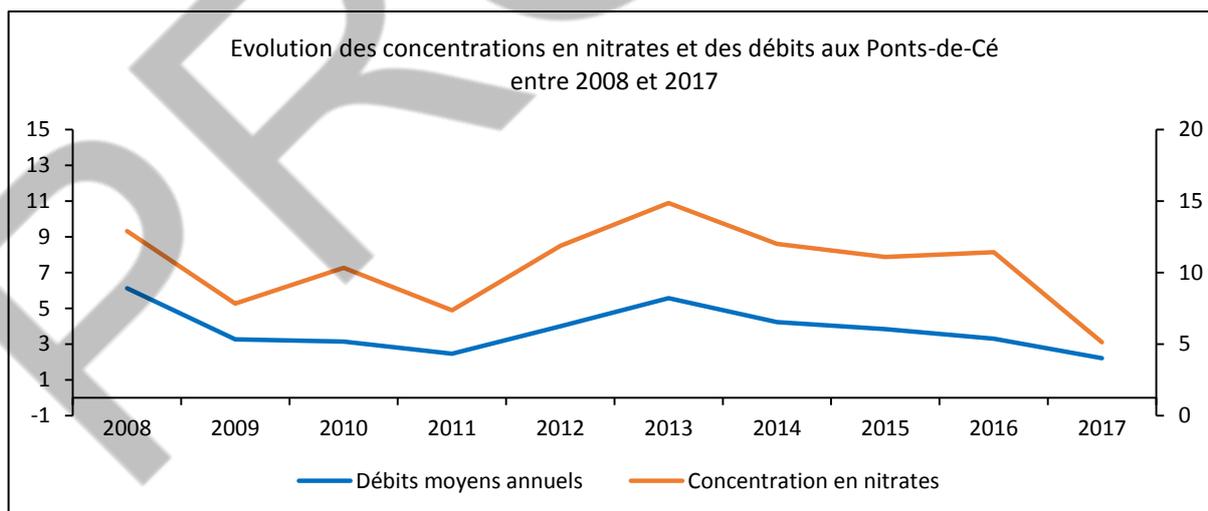
### 3. Calcul des flux

Il existe de nombreuses méthodes de calcul des flux, selon les matériaux que l'on souhaite suivre (MES, nutriments dissous et totaux, ions dissous...). A ce jour, il existe 22 méthodes d'estimation de flux pour différents paramètres (Raymond S., 2010). Suite au travail bibliographique sur les outils et méthodes existantes, deux méthodes de calculs ont été testées pour quantifier les flux de nitrates sur les secteurs du bassin versant : la méthode par interpolation des mesures de concentration et la méthode « DWC », basée sur les moyennes de concentrations pondérées par les débits.

#### 3.1. Formule de base

Ces méthodes sont adaptées à la nature et à la qualité des informations dont on dispose sur les concentrations de l'élément et sur les débits de la rivière : état dissous ou particulaire, comportement avec les débits, variations temporelles, etc... Toutes ces méthodes découlent de l'équation générale selon laquelle le flux (F) d'un élément chimique de concentration (C), transporté par une rivière dont le débit est (Q) sur une période de temps (dt) est déterminé par la relation :  $F = \int C \cdot Q \cdot dt$ . Dans le cas d'un flux instantané (Fi) l'équation est simple et donne :  $Fi = Ci \cdot Qi$  (Raymond S., 2012).

L'évolution des concentrations en nitrates en fonction des débits donne une relation non linéaire de type puissance  $C = aQ^b$  avec  $0 < b < 1$  : les flux croissent plus vite que les débits, leur variabilité leur est légèrement supérieure [Graph. 10]. C'est globalement toujours le cas du paramètre nitrates, sur l'ensemble des stations de mesure de qualité étudiées.



Graphique 10 : Evolution des concentrations en nitrates et des débits aux Ponts-de-Cé entre 2008 et 2017 (source : LE CORNEC)

La corrélation entre le débit des cours d'eau (et donc plus ou moins directement la pluviométrie) et les concentrations en nitrates apparaît clairement pour plusieurs cours d'eau

du bassin versant de l'Authion. A titre d'exemple, les graphiques suivants mettent en évidence la relation entre le débit des rivières et leurs concentrations en nitrates, à l'échelle annuelle. Plus le débit est important, plus la teneur en nitrates est forte. Plus les précipitations sont importantes, plus les nitrates sont entraînés par ruissellement et drainage dans les rivières. La relation n'est cependant pas totalement corrélée. D'autres facteurs entrent en ligne de compte : sensibilité du cours d'eau au ruissellement, alimentation plus ou moins importante par une nappe souterraine, etc.

Entre 2008 et 2017, à l'exutoire (au Pont Bourguignon), le débit varie de 0 à 32 m<sup>3</sup>/s. Les concentrations varient de 0,5 à 27,2 mg/L de nitrates. Ce sont donc les débits qui conditionnent le flux, compte tenu de leur échelle de variation plus importante. Par ailleurs, les conclusions des travaux de M. Meybeck montrent que, pour les paramètres étudiés (nitrates, azote, phosphore, MES...), les flux croissent avec les débits. La distribution des débits dans le temps va donc conditionner celle des flux.

Les flux de polluants sont généralement étudiés sur une année hydrologique (du 1<sup>er</sup> octobre au 30 septembre). Le résultat est exprimé en tonnes de nitrates par an. Cette période d'une année est choisie en fonction des conditions climatiques. Ainsi, en fonction de la situation météorologique des régions, l'année hydrologique peut débuter à des dates différentes de celle du calendrier ordinaire. Au niveau de l'espace, il est d'usage de travailler à l'échelle d'un bassin versant ou d'un sous-bassin (10). La période sélectionnée est du 1<sup>er</sup> octobre au 30 septembre. Elle a été sélectionnée suite aux travaux du SAGE Estuaire de la Loire sur les flux, au vu des conditions climatiques proches des deux territoires (SAGE Estuaire de la Loire, 2005).

2 méthodes ont été testées pour l'estimation des flux sur le bassin versant Authion : la méthode par interpolation des mesures de concentration (IRC), puis la méthode par les moyennes pondérées par les débits (DWC). Toutes deux sont décrites ci-après mais seulement les résultats de la méthode DWC seront présentés, puisque la bibliographie préconise de pour l'estimation de flux de polluants diffus (tels que les nitrates).

### 3.2. Calcul des flux par interpolation des mesures de concentration (IRC)

La méthode de comblement des séries de concentration par interpolation linéaire, méthode dite IRC (pour Integral Rating Curve) a été choisie d'après les travaux de Vinson et al (2003) et a été utilisée pour développer l'outil Macroflux, développé par l'Agrocampus de Rennes.

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 mensuelle. Néanmoins, il peut y avoir ponctuellement plusieurs mois sans mesure. Pour l'interpolation, différentes précautions ont été fixées : l'écart temporel maximal entre deux mesures de concentration a été fixé à 100 jours<sup>7</sup>. L'objectif est cependant de limiter l'interpolation sous les conditions suivantes :

- Maximum 2 mois manquants consécutifs,
- Maximum 3 mois manquants dans 1 année,
- Maximum 5 années avec des mois manquants dans une série chronologique donnée.

Aucune bibliographie n'explique les conditions qui ont été fixées. Josette Launay, Ingénieure d'étude contractuelle à Agrocampus Ouest a donc été contacté par mail. Ces conditions se justifient donc par le fait que, si une interpolation n'est pas faite (et donc un calcul de flux) pour chaque année ou il y a un trou de données supérieur à 45 jours, un certain nombre de stations de suivis ou d'années sont perdues. Il a donc été établi de ne pas dépasser 100 jours entre deux mesures de concentrations. Quand celui-ci est dépassé, l'interpolation n'est pas faite et la période concernée est indiquée dans les résultats de calculs de flux. Etant donné que la période concernée n'est pas prise en compte, l'incertitude sur le flux est plus grande. Le cahier des charges a récemment été rediscuté au sein d'Agrocampus Ouest et il a été évoqué que « au moins 10 mesures mensuelles par an doivent être réalisées, dont au minimum 4 en période hivernale (entre 1er octobre et 31 mars) ». Concrètement, la méthodologie de calcul sur Excel est la suivante (Notice de l'outil Macroflux) :

Tableau 3 : Méthodologie de calcul des flux avec la méthode IRC

| Formule                                | Unité                                    | Variable   |
|--|--|--|
| NO <sub>3</sub> -ex                    | mg/L                                     | Concentration en NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> à la station de suivi Qualité, extrapolée par régression linéaire entre deux points de mesures |
| flux = Débit-ex * NO <sub>3</sub> -ex  | mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /s       | Flux de nitrates   |
| F jour = Flux * 86400                  | mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> / jour   | Flux de nitrates journaliers   |
| Fno3 = F jour / 10 <sup>9</sup>        | t NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> / jour    | Flux de nitrates journaliers en tonnes   |
| F-N = Fno3 / (62/14)                   | t N / jour                               | Flux de N journalier en tonnes (62/14 = rapport des masses molaires)   |
| Fs jour = F jour / SSQ                 | mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /ha/jour | Flux spécifiques de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> journaliers (SSQ = surface du BV à la station Qualité, en ha)                               |
| Fs jour-kg = Fs jour / 10 <sup>6</sup> | kg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /ha/jour | Flux spécifiques de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> journaliers   |
| Fs-N = Fs jour-kg / (62/14)            | kg N /ha/jour                            | Flux spécifiques de N journaliers  |
| Débit-S = Débit-ex * 100 / SSQ         | L/s/km <sup>2</sup>                      | Débit spécifique journalier  |

<sup>7</sup> Au-delà de cet écart, il a été estimé que l'interpolation linéaire induirait des incertitudes trop élevées. En dessous de cet écart, le nombre de données manquantes seraient trop élevées et le calcul de flux serait sous-estimé.

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.

Le calcul de l'hydraulicité vient compléter cette méthode, qui prend peu en compte la variation climatique (via la donnée débit).

### 3.2.1. Notion d'hydraulicité

Pour permettre de pondérer les flux et de les comparer sur l'ensemble des années hydrologiques, on utilise l'hydraulicité. Ce coefficient correspond au rapport du débit annuel d'un cours d'eau comparé à sa moyenne interannuelle. Elle permet de comparer le débit du cours d'eau à une année « normale » (11). Lorsque le coefficient d'hydraulicité est proche de 0, l'année hydrologique est considérée comme « sèche », c'est-à-dire que le cumul des précipitations (inclus dans la donnée débit) de cette année-là est moins important que les autres années. Inversement lorsqu'il est proche de 1, l'année en question est considérée comme « humide ». Le fait de pondérer les flux annuels avec ce coefficient permet d'effectuer des comparaisons pluriannuelles. Des flux pondérés par l'hydraulicité permettent de se rapprocher des conditions climatiques d'une année donnée.

### 3.2.2. Calcul des flux pondérés par l'hydraulicité

L'hydraulicité est un indicateur permettant de corriger en partie la valeur des flux de l'effet de la variabilité climatique. Pour une année hydrologique (Ha), le calcul est le suivant :  $Ha = \frac{Qa}{\bar{Q}}$

Avec :  $Qa$  : débit moyen de l'année  $a$  et  $\bar{Q}$  : débit moyen interannuel (module)

Le calcul du flux annuel de nitrate pondéré par l'hydraulicité pour chaque année hydrologique est le suivant :  $Flux(Ha) = \frac{Flux(a)}{Ha}$

Dans l'absolu, à concentration constante, les flux ne dépendraient que du débit. En pondérant le flux par l'hydraulicité, la variabilité du flux due à la variabilité des débits et des précipitations est lissée. Dans la réalité, la variabilité des flux à des causes plus complexes et la pondération des flux par l'hydraulicité ne permet d'éliminer qu'une part de la variabilité des flux.

## 3.3. Calcul des flux par les moyennes pondérées par les débits (DWC)

La méthode de calcul utilisée ici est celle du produit du volume annuel écoulé par la concentration moyenne pondérée par les débits échantillonnés. Le travail de thèse les

« Incertitudes des flux transportés par les rivières (MES, nutriments, sels dissous), vers un système expert d'optimisation des méthodes de calcul (2011) » évalue les méthodes de calcul de flux les plus performantes pour chaque composé (MES, nutriments ou sels dissous) en évaluant les biais et incertitudes. Il apparaît que l'algorithme utilisé se révèle bien adapté pour le calcul d'un flux annuel de nutriments dissous tels que les nitrates. En effet, cette thèse montre que c'est l'une des méthodes pour laquelle les incertitudes et les biais sur les flux sont les plus faibles.

La méthode du produit de la concentration moyenne pondérée par les débits est utilisée sous le nom de méthode DWC (pour Discharge Weighted mean Concentration method). La méthode DWC est donc basée sur le calcul de la concentration moyenne pondérée par les débits qui est ensuite multiplié par le débit moyen :

$$\text{Flux annuel} = K \frac{\sum_{i=1}^n C_i Q_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} \bar{Q} = K \times C \times \bar{Q}$$

Avec :

$C_i$  = concentration instantanée au moment du prélèvement  $i$  (mg/l)

$Q_i$  = débit instantané au moment du prélèvement  $i$  (m<sup>3</sup>/s)

$\bar{Q}$  = module annuel (m<sup>3</sup>/s), déterminé à l'aide de la chronique journalière des débits

$C$  = concentration moyenne pondérée par les débits (mg/l)

$n$  = nombre de prélèvements sur une année hydrologique

$K$  = facteur de conversion du flux pour un résultat en tonnes/an (pour  $C_i$  en mg/l et  $Q_i$  en m<sup>3</sup>/s ;  $K = 31,536$ )

Concrètement, la méthodologie de calcul sur Excel est la suivante [Tab. 4] :

Tableau 4 : Méthodologie de calcul des flux avec la méthode DWC

| Formule   | Unité                   | Variables   |
|---|-------------------------|---|
| Donnée d'entrée   | Jours                   | Date de prélèvement d'eau superficielle   |
| Donnée d'entrée   | (mg/L)                  | Résultats réels des concentrations de nitrates issus des prélèvements d'eau superficielle   |
| Donnée d'entrée   | (m <sup>3</sup> /s)     | Valeurs de débits correspondant à la date de prélèvement d'eau superficielle  |
| $F = C_i Q_i$   | mg NO <sub>3</sub> /s   | Flux de nitrate sans conversion d'unité   |
| $\Sigma F = \sum_{i=1}^n (C_i Q_i)$                     | mg NO <sub>3</sub> /s   | Somme des flux brut   |
| $\Sigma Q = \sum_{i=1}^n (Q_i)$                         | (m <sup>3</sup> /s)     | Somme des débits  |
| $\bar{Q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i)$              | (m <sup>3</sup> /s)     | Module annuel : moyenne des débits de l'année « a » déterminés à l'aide de la chronique journalière des débits (avec $n$ le nombre de jours de la chronique journalière des débits) |
| $C = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i Q_i)}{\sum_{i=1}^n (Q_i)}$ | (mg/L)                  | Concentration moyenne pondérée par les débits   |
| $F (NO_3^-) = K \times C \times \bar{Q}$                | (t NO <sub>3</sub> /an) | Flux annuel « réel » avec<br>$K = 31,536$ (passage de m <sup>3</sup> /s en L/s puis de mg/s en t/jour)<br>$K = \frac{86400 \times 1000 \times 365}{1\ 000\ 000\ 000}$               |

Cette méthode prend en compte la variabilité des débits entre les périodes d'échantillonnage et minimise la variabilité des concentrations. L'application de cette méthode à des éléments tels que les matières en suspension (MES) ou pigments chlorophylliens est exclue.

### 3.4. Conclusion sur les méthodes de calculs : choix du DWC

La méthode DWC permet de calculer les flux sur des années avec moins de données de concentration qu'avec la méthode IRC. Cela permet de faire des calculs sur plus de stations et sur plus d'années. Par ailleurs, la méthode DWC permet de s'affranchir de l'interpolation, méthode longue et fastidieuse sur un logiciel comme Excel.

Les deux méthodes de calcul procurent des résultats de flux assez proches. La thèse de Sébastien Raymond montre qu'avec la méthode DWC, les biais sont plus bas qu'avec la méthode IRC. Ces conclusions montrent que les flux de nutriments dissous avec la méthode IRC ont tendance à être fortement biaisés : les relations concentrations/débits sont de type puissance ( $C=aQ^b$ ) dans l'ensemble des stations du bassin versant de l'Authion.

Aussi, sa thèse démontre que la méthode IRC ne doit pas être utilisée pour l'estimation du flux de nutriments dissous. En comparaison, les méthodes basées sur les moyennes (DWC) sont plus performantes que les méthodes de régressions segmentées.

**La méthode de calcul utilisée est donc celle des concentrations pondérées par les débits (DWC).**

### 3.5. Création de seuil de flux de nitrates

Comme dit précédemment, des seuils de qualité (concentrations) et de quantité (débits) sont établis pour en dégager des seuils de flux nitrates [Tab. 5]. Etablir des seuils permet par exemple d'avoir un rendu cartographique, où les UG contributrices en polluants sont identifiées de suite et ainsi de tendre vers des objectifs de flux inférieurs.

Ils sont sur la base d'un des seuils de qualité du SAGE : 30 mg/L de nitrates (en centile 90) pour le bon état des eaux, et sur la base du seuil SEQ-Eau de 10 mg/L de nitrates pour le très bon état des eaux. Les seuils quantitatifs sont basés sur la moyenne des débits de l'ensemble des cours d'eau du bassin versant et sur l'ensemble de la période étudiée (2008 – 2017) pour le bon état des eaux. Pour le très bon état et l'état moyen des eaux, ce sont respectivement le minimum et le maximum des débits, toutes stations confondues et de 2008 à 2017, qui sont sélectionnés [Tab. 6]. A noter que les débits des trois pompages en Loire ne sont pas

comptabilisés pour réaliser des limites de seuils, puisque ce sont des stations de pompages automatiques et que leur débits varient selon la demande en eaux des usagers, des précipitations et autres facteurs, difficiles à prendre en compte.

Tableau 5 : Minimum, moyenne, centile 90, minimum et maximum des concentrations (en haut) et des débits (en bas) observés sur les stations sélectionnées, sur la période 2008 – 2017.

| Min  | Moyenne | C90   | Max   |
|------|---------|-------|-------|
| 3,54 | 13,35   | 21,85 | 33,83 |

| Min   | Moyenne | C90   | Max   |
|-------|---------|-------|-------|
| 0,092 | 0,816   | 1,408 | 2,368 |

A noter que pour la moyenne, le minimum et le maximum des données débits, ont été exclues les pompages en Loire. Puisque ceux-ci sont essentiellement estivaux, ils sont peu représentatifs d'une année hydrologique. La station à l'exutoire (Pont Bourguignon) n'a pas non plus été incluse dans les calculs puisque ces données présentent des débits beaucoup plus élevés que sur le reste du bassin. De ce fait, les seuils ne peuvent pas être établis sur des données qui sont peu représentatives de l'ensemble du bassin versant.

Tableau 6 : Classes de flux créés sur la base des seuils de concentrations du SEQ-Eau, du SAGE et de la DCE

| Seuils de références                | Très bon | Bon   | Moyen | Médiocre | Mauvais |
|-------------------------------------|----------|-------|-------|----------|---------|
| Concentration mg/L                  | ≤ 10     | ≤ 30  | < 50  | ≥ 50     |         |
| Débit m <sup>3</sup> /s             | ≤ 0,1    | ≤ 0,8 | ≤ 1,4 | ≥ 1,4    |         |
| Flux révisé (t NO <sub>3</sub> /an) | ≤ 160    | ≤ 350 | < 650 | ≥ 650    |         |

Une précision s'impose ici : les minimums et maximums des débits ne sont pas gage à eux seuls de bonne ou de mauvaise qualité d'un cours d'eau (un cours d'eau est qualifié avec ces caractéristiques écologiques, chimiques et morphologiques comme vu précédemment). C'est la combinaison de la concentration et du débit qui va déterminer un flux élevé ou faible.

Les débits vont conditionner le pouvoir de dilution du cours d'eau en polluants : un débit élevé va masquer les fortes concentrations en polluants véhiculés par le cours d'eau. L'analyse seule de la concentration est donc biaisée. C'est ici que l'intérêt du calcul flux prend son sens. Il permet de rendre compte des concentrations potentiellement élevées dans un cours d'eau. Les seuils quantitatifs sont donc à définir avec précaution.

## 4. Résultats

Pour chaque Unité de Gestion, une fiche synthèse a été créée. Elle représente les chroniques de données d'entrées (débits, concentrations, nombre de prélèvements annuels...) et une représentation graphique des flux annuels de nitrates. Ces fiches sont ensuite traduites en cartographies afin d'identifier les UG les plus contributrices en polluants.

### 4.1. Bilan des apports par secteur géographiques

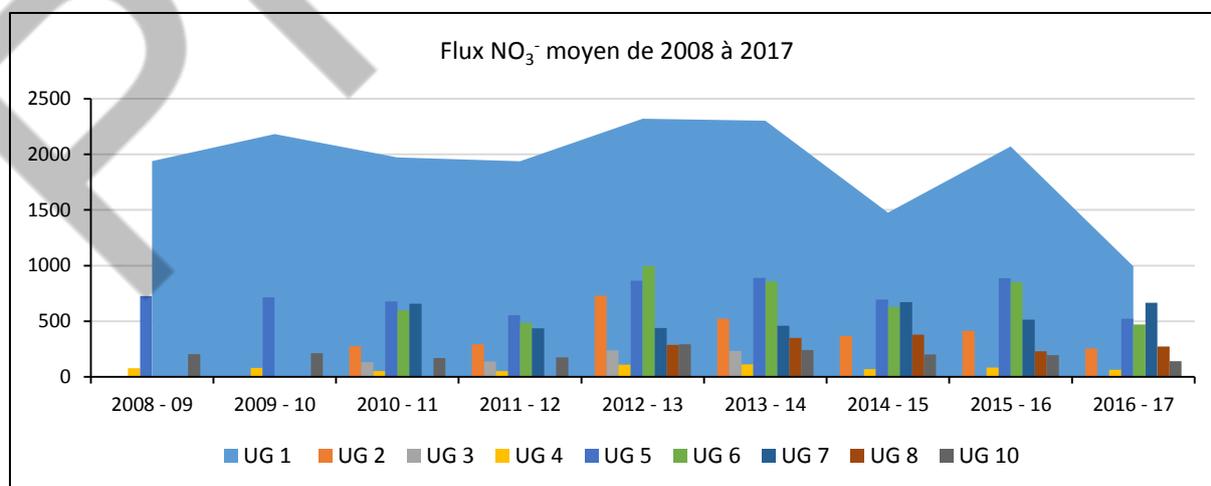
Le traitement des données de mesure de qualité (issues d'OSUR-Web) et de débits (issues du superviseur et de la Banque HYDRO et de l'outil interne à l'Entente), a permis de créer l'outil Excel de calcul des flux. Cet outil se décompose en de multiples onglets [Annexe 6].

Pour les 3 formes de l'azote (azote organique, ammonium et nitrate), les flux ont été calculés (Annexe 7). Les résultats graphiques sont présentés ci-dessous.

#### 4.1.1. Nitrates

L'ensemble du bassin versant apporte en moyenne 2000 tonnes de nitrates par an entre 2008 et 2017. Le Couason apporte en moyenne 40% des flux de nitrates sur le bassin versant, ce qui positionne l'UG 5 en bassin le plus contributeur en flux de nitrates. Le bassin versant du Lathan est aussi une des UG les plus contributrices en flux de nitrates, avec 35% des apports, en moyenne, de 2010 à 2017. Malgré de fortes concentrations en nitrates, le bassin versant des Aulnaies et de ses affluents présente le moins de flux de nitrates (en moyenne, 80 tonnes de nitrates par an, entre 2008 et 2017) [Graph. 11].

L'année hydrologique 2012/13 présente les flux les plus importants et ce, pour globalement l'ensemble des UG. Les variations interannuelles sont faibles entre 2008 et 2017, tandis que l'année 2016/17 présente les flux les plus faibles sur le bassin versant de l'Authion.



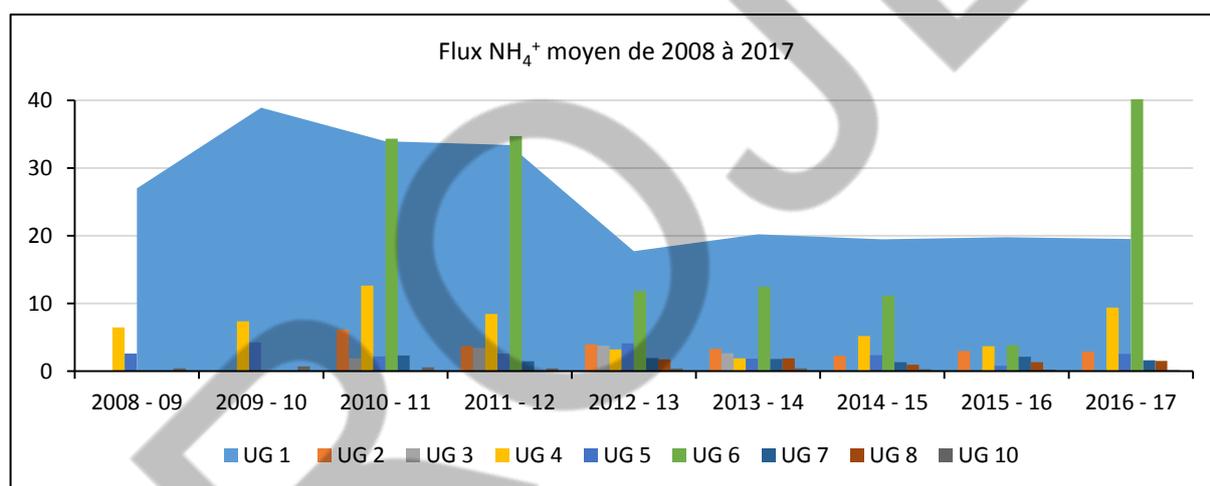
Graphique 11 : Flux de nitrates annuels pour chaque Unités de Gestion, entre 2008 et 2017 (source : LE CORNEC)

#### 4.1.2. Ammonium

Entre 2008 et 2017, l'ensemble du bassin versant apporte en moyenne 26 tonnes de  $\text{NH}_4^+$  par an. Le bassin versant de l'Authion est nettement dominé par les apports du bassin versant du Lathan avec, en moyenne 65% des apports annuellement. Le bassin versant des Aulnaies et de ses affluents présentes également des flux élevés, comparés aux autres UG, avec en moyenne un apport de 25% des flux d'ammonium par an. Les autres UG ont une moyenne cumulée de 10% des flux de nitrates [Graph. 12].

Les variations interannuelles similaires à celles des nitrates, exceptés pour le Lathan aval (UG 6), où les flux d'ammonium sont divisés par 3 entre 2011/12 et multipliés par 10 entre 2015/16 et 2016/17. Dans les eaux naturelles, l'azote ammoniacal provient principalement du lessivage des terres agricoles ainsi que des eaux usées d'origine municipale et industrielle.

La précision de détermination de ces flux est moins grande que dans le cas des nitrates mais les flux en jeu sont relativement faibles (2 à 3 % des apports d'azote).



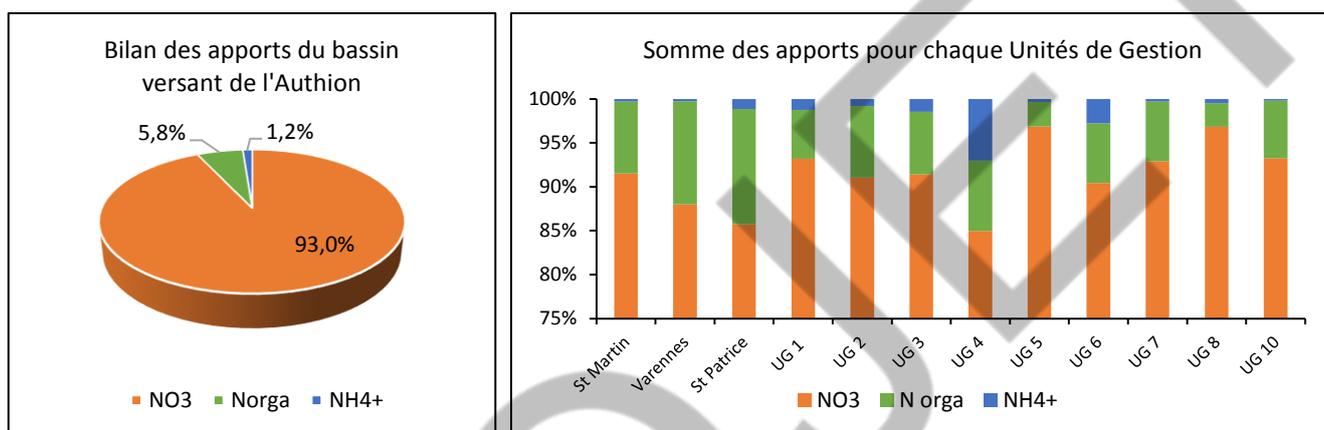
Graphique 12 : Flux d'ammoniac annuels pour chaque Unités de Gestion, entre 2008 et 2017 (source : LE CORNEC)

Les flux en sortie d'UG 1 correspondent au flux cumulé sur l'ensemble du bassin versant. La somme des flux des cours d'eau du bassin versant devrait être quasiment égale aux flux au Ponts-de-Cé (exutoire du BV). On voit sur ces graphiques que ce n'est pas le cas. La partie 5 permettra d'apporter des éléments de réponses.

## 4.2. Bilan par nutriments

Pour chaque UG, voici la part des flux pour chaque paramètre azoté [Graph. 13]. Les flux sur le bassin versant de l'Authion sont très majoritairement des flux de nitrates, avec 93% des apports.

Les maximums se trouvent sur le bassin du Couasnon et du Lathan amont (UG 5 et 8), avec une infime part d'apports d'ammonium. Le bassin versant des Aulnaies, Etang et affluents (UG 4) se démarque avec le maximum des apports de flux d'ammonium. Concernant les apports d'azote organique<sup>8</sup>, les pompages en Loire présentes les flux les plus élevés.



Graphique 13 : Bilan des apports en éléments azotés du bassin versant de l'Authion entre 2008 et 2017 (source : LE CORNEC)

Un tableau de synthèse des données de concentrations de débits et des flux est disponible en annexe 7.

L'outil nécessite de continuer l'acquisition de données et de faire la saisie des nouvelles données. Il est difficile de « l'automatiser », puisqu'on ne sait pas combien de mesure de qualité seront réalisés les années suivantes. De même, les données de débits des stations de jaugeage doivent être complétées régulièrement, afin que les courbes de corrélation gagnent en justesse et fiabilité. Les résultats des calculs de flux des années hydrologiques calculés aujourd'hui ne seront pas les mêmes après la saisie des nouvelles données puisque le module sera recalculé après chaque nouvelle année hydrologique.

L'avantage que présente cet outil est qu'il est facile de compréhension et d'utilisation ; une personne peu expérimentée sur le logiciel pourra le prendre en main et continuer l'acquisition de données. Aussi, les feuilles de calcul étant toutes liées (par UG), il suffit de dérouler les tableaux bilan et les graphiques se mettront à jour automatiquement.

<sup>8</sup> Le flux d'azote organique a été calculé de la manière suivante :  $N_{\text{orga}} = N_k - N\text{-NH}_4$

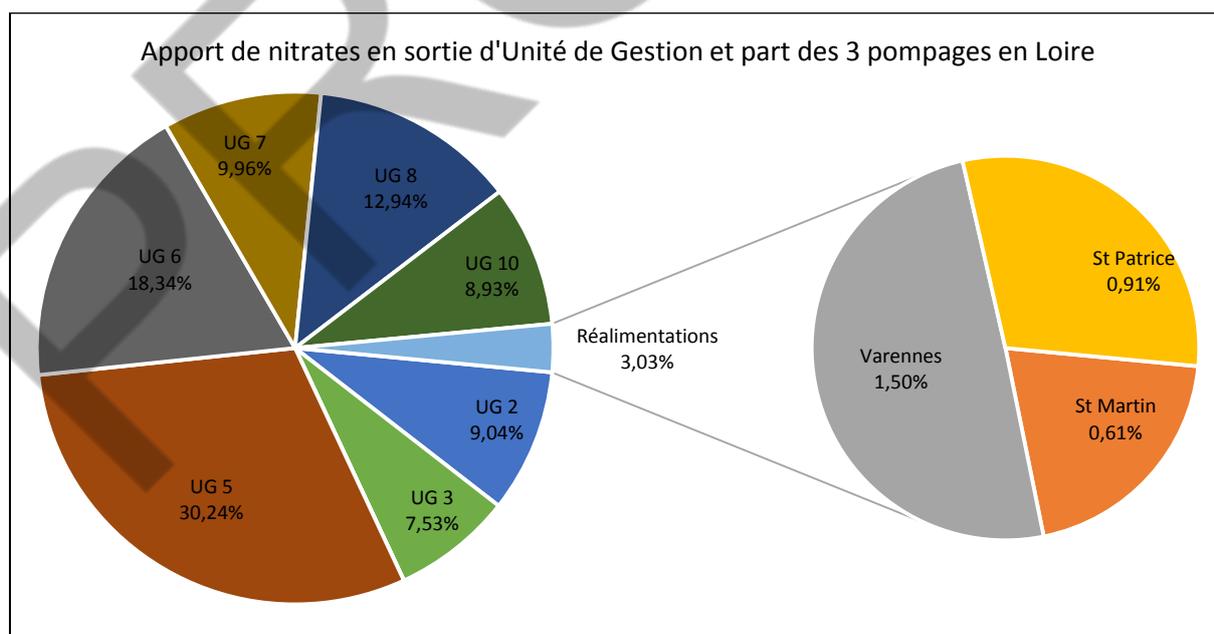
## 5. Interprétations et discussions

Le traitement des données issu de la cartographie représentant les flux permet le classement des cours d'eau par Unités de Gestion les plus contributrice en nitrates.

### 5.1. Identification des Unités de Gestion contributrices en polluant en polluant

En sortie d'UG, les flux représentent la somme des flux de l'amont jusqu'au point nodal de calcul (croisement de l'Unité de Gestion avec le point le plus bas d'un cours d'eau). Par exemple, sur le Lathan, les flux sortant de l'UG 6 sont le cumul des flux de l'UG 7 et 8. Afin d'établir un classement des UG, et d'identifier les cours d'eau qui apportent le plus de flux, ce cumul de flux est soustrait aux flux à l'exutoire de chaque grand cours d'eau [Graph. 14].

Il a été choisi de présenter l'année hydrologique 2013/14 pour effectuer le classement. Cette année peut être considérée comme l'année de référence pour une comparaison des flux interannuels et inter-UG. La pluviométrie est proche de la normale de 1981 – 2010 et les résultats montrent que, pour cette année hydrologique, les données qualité et quantité couvrent les 9 UG de l'étude. Cependant, l'UG 4 (Aulnaies, Etang et affluents) n'est pas présentée ici car ces flux ont été calculés sur des périodes estivales : la comparaison entre UG aurait donc été biaisée.



Graphique 14 : Part de flux de nitrates de chaque Unités de Gestion (gauche) et part des flux induit par les réalimentations en Loire (droite) en 2013/14 (source : LE CORNEC)

Le Couasnon est le cours d'eau qui apporte le plus de flux en sortie d'UG avec 30% des apports de nitrates. Vient ensuite le Lathan aval (UG 6). Le Couasnon et le Lathan aval représentent 50% des apports sur le bassin versant.

Les flux apportés par la Loire ont une faible part sur le bassin versant : les pompages sont essentiellement estivaux ; les flux calculés concernent en moyenne 30% de l'année et les modules sont de l'ordre 0,300 m<sup>3</sup>/s et les concentrations en nitrates sont de l'ordre de 10mg/L en moyenne pour l'année 2013/14. Les réalimentations viennent donc diluer les cours d'eau des UG 1, 2 et 3.

**Les cours d'eau à suivre en priorité sont donc le Couasnon et le Lathan.** Des fiches synthèses ont été réalisées pour chaque UG : elles reprennent la description des données et des flux sur l'ensemble de la période de données disponible (annexe 8).

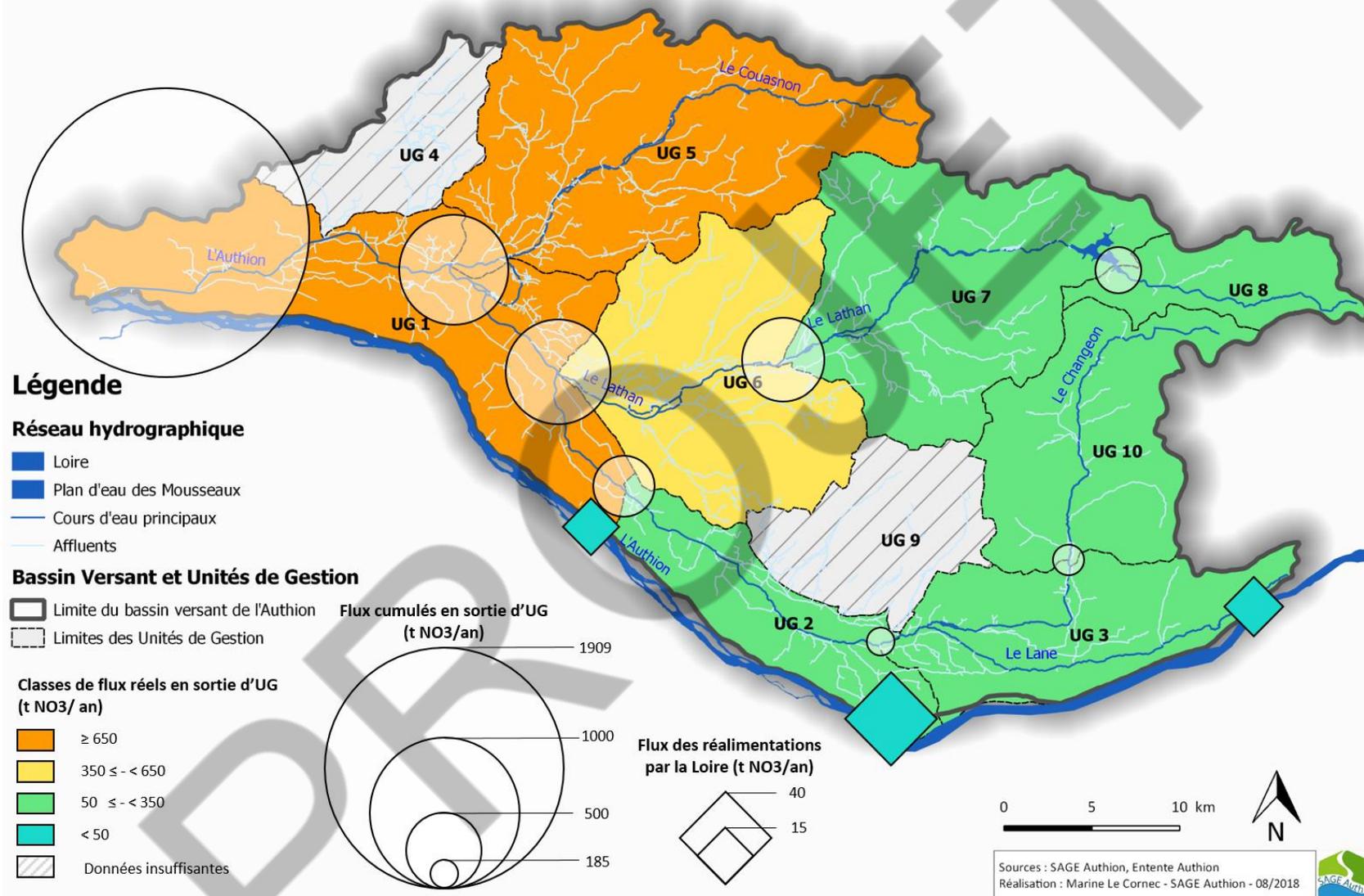
## 5.2. Cartes bilan

Les flux sont représentés par Unités de Gestion et pour les 3 réalimentations, sur les années hydrologiques de 2008/2009 à 2016/2017. Une analyse par secteur géographique d'une part et une analyse des variabilités interannuelles des flux d'autre part est réalisée.

### 5.2.1. Flux par secteurs géographiques

Cette carte permet de voir que les résultats des flux sont cohérents sur l'ensemble du bassin versant de l'Authion : les flux de nitrates dans les cours d'eau superficiels s'accroissent d'amont en aval (cercles proportionnels). Les classes de couleur correspondent aux flux réels en sortie d'UG : très faible (bleu), faibles (vert), moyens (jaune) et forts (orange) [Carte 4].

# FLUX DE NITRATES MOYENS ENTRE 2008/09 ET 2016/17



Carte 4 : Flux moyen de nitrates entre 2008/09 et 2016/17 en sortie d'Unités de Gestion, et des 3 réalimentations par la Loire et classe de flux

De manière globale, les flux sortants à l'exutoire du bassin versant sont nettement plus élevés que sur les cours d'eau pris individuellement. En sortie du bassin versant, en moyenne, 1909 t NO<sub>3</sub>/an sont véhiculés par l'Authion. A l'aval du Couasnon (UG5) et à l'aval du Lathan (UG 6), les flux sont importants comparés aux autres cours d'eau. En moyenne, le Couasnon véhicule 725 tonnes de nitrates par an et le Lathan en véhicule 700 annuellement.

Sur le Changeon (aval de l'UG10), les flux sont également bas, avec en moyenne, 200 tonnes de nitrates par an. Il semble qu'à l'aval du Changeon et du Lane (UG 3), les flux sont peu élevés. Cependant, la chronique de données s'étend sur 4 années hydrologiques ; il est donc difficile d'extrapoler avec cette moyenne annuelle peu représentative.

Les flux induits par pompages en Loire sont nettement inférieurs à ceux sur le bassin versant : en moyenne, le pompage de Saint Martin-de-la-Place apporte un flux de 15 tonnes de nitrates par an, celui de Varennes apporte 40 tonnes de nitrate par an et celui de Saint Patrice apporte 25 tonnes de nitrate par an. Ces faibles flux s'expliquent par le fait que les pompages ne sont qu'estivaux, donc le calcul des flux ne s'est réalisé que sur les périodes allant d'avril à octobre. La réalimentation de Varennes sur Loire apporte plus de flux que les deux autres pompages.

L'étude des concentrations en nitrates montre que le Couasnon (UG 5), les Aulnaies et Etang (UG 4) et le Lathan amont (UG 8), ont les plus fortes teneurs sur le bassin versant. Les flux réels en sortie d'UG permettent d'identifier clairement les UG les plus contributrices en pollution azotée : le Couasnon, le Lathan aval et le val d'Authion. C'est sur ces 3 cours d'eau que les débits sont les plus élevés ; les flux sont donc plus forts qu'en sortie des autres UG du bassin versant, étant donné qu'ils sont fortement corrélés à la donnée débit. Le diagnostic de territoire agricole mené par la chambre d'agriculture du Maine et Loire a permis de caractériser chaque UG.

#### Maillage bocager et ripisylve

Le maillage bocager croisé avec l'hydrographie permet de déterminer la protection du réseau hydrographique par la ripisylve. Sur le bassin versant de l'Authion, la densité de haies est de l'ordre de 49m/ha. Le bocage est très hétérogène d'une UG à l'autre. L'étude a montré que cette densité était indicatrice de bocages effacés avec des linéaires discontinus concentrés le long des routes, du réseau hydrographique et de l'habitat. Des « poches » bocagères relictuelles sont présentes sur les secteurs hydromorphes<sup>9</sup>. Globalement, le maillage sur le bassin versant de l'Authion est insuffisant et trop fragmenté pour avoir une efficacité vis-à-vis de l'érosion et de la qualité de l'eau.

---

<sup>9</sup> Ce dit d'un sol saturé en eau régulièrement

Pour apporter des éléments d'explication aux flux élevés et aux flux faibles, il est intéressant de se pencher sur la couverture du réseau hydrographique par la ripisylve. Sur la totalité du bassin versant, 36% des cours d'eau, fossés et canaux sont bordés de haies et/ou d'espaces boisés. A noter que dans l'étude, pour le Lathan amont (UG 8), les données n'ont pas été communiquées.

Le réseau hydrographique du bassin versant du Couasnon est faiblement couvert par la ripisylve<sup>10</sup> (30% du linéaire hydrographique de son bassin), tandis que le Changeon (UG10) présente la part la plus importante (74% du linéaire hydrographique de son bassin), suivit du Lane (UG 3) et du Lathan moyen (UG 7) (respectivement, 46% et 56% du linéaire hydrographique de leur bassin). Le manque de ripisylve le long de ces cours d'eau peut expliquer les flux élevés, puisque la végétation ne fixe pas suffisamment les apports de nitrate.

Cependant, même si l'effet principal des nitrates sur l'environnement consiste à favoriser la croissance végétale, qui peut apparaître bénéfique dans un premier temps, il s'avère désastreux pour les écosystèmes aquatiques lorsque la prolifération végétale est poussée à l'excès. Le processus d'eutrophisation, qui correspond à un enrichissement naturel des milieux aquatiques en éléments nutritifs et à une augmentation de la productivité végétale, est alors considérablement accéléré.

#### Exploitations agricoles

Plusieurs études ont montrées que les apports de nitrates d'origine agricole, notamment pendant les périodes d'épandage d'engrais azotés (de mars à juin et jusqu'à août pour certaines cultures) ont des répercussions sur l'environnement et la qualité des milieux aquatiques. Sur le bassin versant de l'Authion, il est cependant difficile de conclure sur les origines du nitrates car aucune étude ne la démontré.

La répartition des exploitations agricoles sur le bassin versant de l'Authion montre cependant que le bassin versant du Couasnon en possède le plus (127 grandes cultures, soit 21% des grandes cultures du BV), le Lathan aval vient en seconde place (avec 14% de grandes cultures), suivi du Lathan moyen (13%). Ce sont dans ces secteurs que les flux sont les plus élevés.

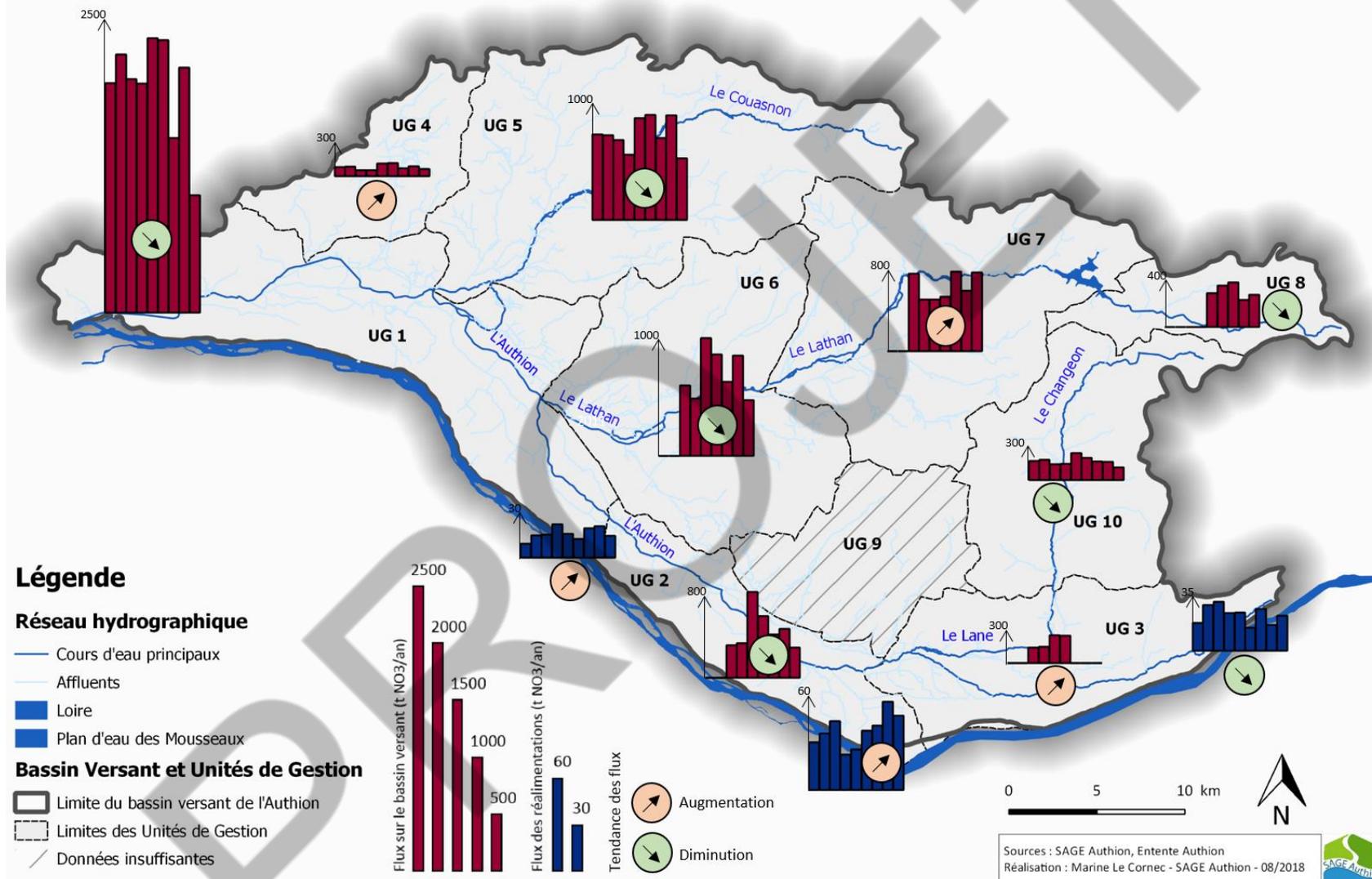
### 5.2.2. Evolution des flux dans le temps

Cette carte permet d'avoir un premier aperçu des UG où les flux sont les plus élevés et ceux où ils sont plus faibles, ainsi que la tendance sur l'ensemble des données disponibles [Carte 5].

---

<sup>10</sup> Haies et espaces boisés

# HISTOGRAMMES DES FLUX DE NITRATES POUR LES ANNÉES HYDROLOGIQUES 2008/09 À 2016/17



Carte 5 : Evolution et tendances des flux de nitrates de 2008/09 à 2019/17 sur le bassin versant de l'Authion (source : LE CORNEC)

Pour certains cours d'eau les variations interannuelles des flux sont fortes. Cela s'explique principalement par l'évolution des débits. Le calcul de l'hydraulicité a permis de mettre en évidence les années sèches et humides, au travers des données débit. Les années 2008, 2013, 2014 et 2016 ont été humides, tandis que l'année 2011 et 2017 ont été beaucoup plus sèches. Les flux étant calculés sur des années hydrologiques (1<sup>er</sup> octobre au 30 septembre), ces variations interannuelles sont lissées, mais restent néanmoins présentes.

Les années hydrologiques 2011/12 et 2016/17 présentent donc les flux plus faibles, puisque comme vu précédemment, les pluies cumulées étaient bien en dessous de la normale 1981 – 2010. Après 2011, les précipitations ont permis de réalimenter les nappes. Les années 2012/13 et 2013/14 présentent les flux les plus élevés : les réserves des sous-sols sont partiellement reconstitués ce qui entraîne d'avantage de ruissellements (donc des débits plus élevés) et une part des sols lessivés plus grandes.

2012/13 est donc l'année de rupture : avant cette année, les flux sont globalement à la hausse ; passé cette année, les flux de nitrates ont une tendance à la baisse.

Pour certaines UG et pour certaines années hydrologiques, les flux à l'amont sont plus forts qu'à l'aval. C'est notamment le cas entre les UG 10 et 3 et les UG 7 et 6. Des phénomènes de dilution et d'infiltration des cours d'eau par les nappes peuvent expliquer ces phénomènes. Aussi, on observe sur l'UG 7 que l'année de rupture est 2013/14 : la station de débit est directement influencée par les lâchers de la retenue de Rillé. Pendant une année sèche, très peu de lâchers sont réalisés afin de garantir la disponibilité de l'eau aux usagers. Le milieu répond de façon plus décalé dans le temps aux précipitations que sur d'autre secteur.

Les deux affluents de l'Authion, l'Etang et les Aulnaies (UG 4), véhiculent très peu de nitrates : ces deux cours d'eau, bien que présentant une qualité écologique classée « mauvaise » (voir la carte qualité de l'AELB de 2013 en annexe 2), ont un flux de nitrate moyen de 80 tonnes par an. Cependant, des données relatives aux débits sont très lacunaires sur cet UG : la campagne de jaugeage se réalise en grande majorité en période estival pour assurer le suivi de la quantité lors des périodes de pompages par les irrigants. Les flux présentés ci-dessus, sont pour l'UG 4, en grande majorité estival, ce qui explique les faibles flux. La donnée débit doit donc être consolidée avec un suivi régulier tout au long de l'année, puisque les Aulnaies et l'Etang et leurs affluents sont susceptibles de véhiculer une grande quantité de nitrate, vu les concentrations élevées présentes dans ces deux cours d'eau.

Sur l'ensemble du bassin versant, les tendances montrent que les flux diminuent sur la période de l'étude. Les UG 3, 4 et 7 ont des flux en légère augmentation, ce qui coïncide avec des concentrations plus élevées. L'Agence de l'eau Loire-Bretagne a récemment développé un outil permettant d'observer les tendances des concentrations en nitrates pour toutes les stations du bassin. Il est intéressant de croiser l'évolution des concentrations et celle des flux.

### 5.3. Apports du bassin versant de l'Authion à la Loire

Afin d'estimer les apports du bassin versant de l'Authion à la Loire, il a été choisi de s'appuyer sur l'étude réalisée par la DREAL Centre « Étude des flux de nitrates sur le bassin Loire Bretagne » (DREAL Centre, 2012). Les données relatives à la surface de bassin versant au point de calcul et le résultat du flux à Loire sont comparées avec les résultats de ce rapport [Tab. 7].

Tableau 7 : Contribution moyenne du bassin versant de l'Authion au bassin versant de la Loire aux Ponts-de-Cé (source : DREAL Centre et LE CORNEC)

| Cours d'eau | Station qualité | Chronique   | Surface BV (km <sup>2</sup> ) | Poids du BV | Flux (t NO <sub>3</sub> /an) | Apports |
|-------------|-----------------|-------------|-------------------------------|-------------|------------------------------|---------|
| Loire       | 4103200         | 1995 - 2010 | 86 289                        | 100%        | 265 630                      | 100%    |
| Authion     | 4104500         | 2008 - 2017 | 1 493                         | 1,70%       | 1 910                        | 0,72%   |

Même si les chroniques de données sont différentes entre les deux études, la comparaison des résultats permet d'avoir un bon aperçu de la part qu'a le bassin versant de l'Authion sur ces apports de flux de nitrates à la Loire.

Le bassin versant de l'Authion représente environ 2% du bassin versant de la Loire aux Ponts-de-Cé et apporte moins d'1% des flux en Loire. Une corrélation peut être faite entre surface du bassin drainé et apports des flux : plus la taille du bassin versant est grande, plus les flux sont importants (DREAL Centre, 2012) [Fig. 4]. De l'amont vers l'aval, les flux sont cumulés et les apports des multiples affluents de la Loire sont intégrés au résultat. De ce fait, la potentielle dilution par les nappes n'est pas suffisante pour inverser la tendance.

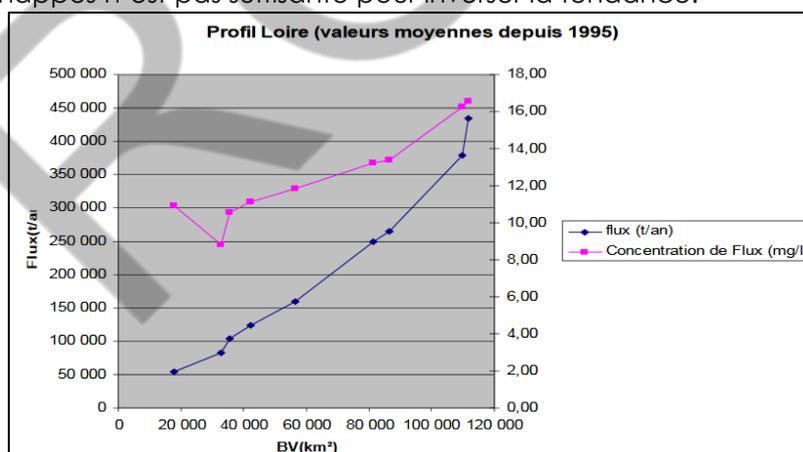


Figure 4 : Evolutions moyennes du flux de nitrates et de la concentration de flux en fonction de la superficie des bassins versants drainés (source : DREAL Centre)

## 5.4. Comparaison inter bassin-versant.

Pour réaliser une comparaison entre les flux de différents bassins versants, les flux, en tonnes de nitrates doivent être convertis en kilogrammes d'azote par hectare. La plupart des études et rapports déjà publiés calculent des flux spécifiques d'azotes nitriques afin de faire un lien entre les origines des apports d'azote (STEU, apports agricoles, industriels...). Ce présent rapport a pour objectif d'estimer les flux, d'identifier les cours d'eau les plus contributeurs en nitrates. Les origines des pollutions azotées seront abordées dans un second temps.

L'IFEN a publié en 2002 les valeurs des flux spécifiques d'azote nitriques pour les principaux fleuves et rivières de France [Tab. 8]. La Bretagne arrive en tête de cette comparaison, avec un flux de 30,7 kg N- NO<sub>3</sub>/ha/an, ce qui fait de la Bretagne un des points noirs de la France en termes de pollution azotée. L'Authion se place en avant-dernière place de ce tableau avec un flux de 2,9, soit 12 fois moins que la Bretagne Nord.

Tableau 8 : Valeur des flux spécifiques d'azote nitriques sur les principaux bassins versant français (source : IFEN, 2002)

| Cours d'eau  | Flux spécifiques<br>(kg N- NO <sub>3</sub> /ha/an) |
|--|--|
| Languedoc, Provence, Corse                           | 2,3  |
| <b>Authion</b>                                       | <b>2,9</b>   |
| Gironde  | 8,1  |
| Loire  | 8,3  |
| Rhône  | 9,3  |
| Bassin de la Seine                                   | 11,6   |
| Rhin   | 13,3   |
| Normandie  | 17,7   |
| Façade de mer du Nord                                | 23,5   |
| Bretagne Sud et autres rivières du golfe de Gascogne | 13,7 à 26,7  |
| Bretagne Nord  | 33   |

Pour se rendre compte de la quantité de flux de nitrate drainé sur le bassin de l'Authion, il semble judicieux de le comparer à d'autre bassin ayant une surface du même ordre de grandeur. Il est cependant difficile de trouver des bassins comparables à celui de l'Authion qui ont fait l'objet d'étude des flux. La plupart des études publiées concernent les bassins versant de Bretagne. La comparaison entre ces bassins et celui de l'Authion est donc à nuancer. Le bassin versant de l'Authion est sur une table calcaire, les relations nappes-rivières sont donc très étroites tandis que la Bretagne repose sur un socle granitique où il y a beaucoup moins d'infiltrations. Les précipitations y sont plus fortes, les pentes plus grandes et l'occupation du sol est dominé par de grandes cultures et par l'élevage. Il est donc logique de trouver des flux nettement plus élevés en Bretagne.

## 6. Conclusions

---

Les concentrations donnent la charge en azote à un temps  $t$  alors que les flux permettent d'évaluer les quantités de nitrates annuels ( $t/an$ ) sortant par bassin versant. Ils sont fonction de la charge en azote (concentration) et de la quantité d'eau écoulée (débit). Les calculs de flux d'éléments dissous dans les eaux de surface sont délicats car, s'il existe depuis très longtemps des chroniques de débits en continu (fréquence journalière) sur de nombreux fleuves et rivières, la mesure des concentrations est instantanée avec des fréquences d'échantillonnage souvent très basses. Cela, entraîne une imprécision sur le calcul de flux de matières.

De nombreux auteurs ont élaboré diverses méthodes pour estimer les flux à partir de chroniques de débits et de concentrations à faible fréquence d'échantillonnage. En France, plusieurs auteurs (Birgand et al., Meybeck et Moatar) ont étudié ces méthodes d'estimation des flux annuels en détail. Dans la même lignée, en 2011, Raymond évalue les biais et précisions de ces méthodes sur un nombre important de rivières et en ressort quelques méthodes préférentielles pour l'estimation des flux dissous, principalement les méthodes dites par pondération de flux (DWC) et par interpolation linéaire (IRC). Les deux méthodes ont été testées. Il en ressort que la méthodologie qui donne des résultats satisfaisants pour des calculs de flux à partir d'une série de données de débits journaliers et d'une série de concentrations renseignées à des fréquences différentes, qui présente le moins d'incertitude et qui est la plus simple à mettre en œuvre, est la méthode de pondérations de concentrations par les débits (DWC). Avec cette méthode, les flux sont fortement corrélés à la donnée débit : les flux augmentent lorsque les débits sont élevés.

L'analyse des données a abouti à la sélection de 11 stations de mesure de qualité, 6 stations hydrométriques automatiques et 15 stations de jaugeage. Plusieurs corrélations ont été réalisées afin de reconstituer les débits en sortie d'Unités de Gestion. La chronique de données s'étend de 2008/09 à 2016/17. Les calculs s'effectuent à l'échelle de 9 Unités de Gestion du bassin versant, afin de cibler les UG les plus contributrices en pollution azotée.

Les résultats montrent que le Couason (UG 5) et l'aval du Lathan (UG6) sont les deux cours d'eau du bassin versant de l'Authion les plus contributeurs en pollution azotée avec 50% des apports du bassin versant. Ce sont sur ces 2 cours d'eau que les débits sont les plus forts. Leur bassin versant est dominé par des territoires agricoles et la couverture du réseau hydrographique par la végétation est faible. Ces caractéristiques peuvent être mises en relation avec les flux mais il est important d'émettre une réserve pour leur explication puisque ce rapport n'identifie en aucun cas les origines des nitrates.

Bien que les concentrations en nitrates soient très élevées sur les Aulnaies et l'Etang (UG 4), l'étude des flux n'a pas mis en évidence cette pollution : les données sont majoritairement estivales, les débits sont négligeables, ce qui induit des flux très faibles. L'effort sur le suivi de la donnée « quantité » sur ce secteur est donc à poursuivre régulièrement et toute l'année pour consolider les séries de données.

Le bassin versant de l'Authion véhicule en moyenne 1909 t  $\text{NO}_3^-$ /an, soit 2,8 kg N-  $\text{NO}_3^-$ /ha/an. Ce petit bassin versant de 1493 km<sup>2</sup> apporte moins de 1% des charges en nitrates à la Loire, aux Ponts-de-Cé. Il est difficile de conclure sur un fort ou un faible apport, puisque la comparaison inter bassin versant montre que toutes les conditions (surface, type et occupation du sol, climat, pente...) doivent être similaires. Il faut tout de même rappeler qu'il y a 3 stations sur le bassin versant de l'Authion supérieurs au seuil de non dépassement (30 mg  $\text{NO}_3^-$ /L) : Aulnaies (UG 4), Couasnon (UG 5) et Lathan amont (UG 8).

Dans une seconde phase, les origines des pollutions azotées devront être identifiées. Quelles qu'elles soient, des solutions pour réduire les flux en polluants azoté existent à l'échelle locale : renforcement des actions de prévention, de mesures incitatives (mesures agro-environnementales), développer les Couvertures Interculturelles Pièges à Nitrates (CIPAN). Des zones tampons et/ou humides sont également des solutions pour les limiter.

L'étude des flux dans les eaux superficielles a permis d'évaluer la contribution de chaque sous bassin versant. Lors de la mise en place du Contrat Territorial et de son programme d'actions du SAGE, cette étude pourra être utilisée afin de tendre vers le meilleur facteur « coût – efficacité – atteinte de l'objectif de bon état », conformément aux indications de la Directive Européenne Cadre sur l'Eau. Cette étude pourra être complétée par d'autres paramètres tels que les pesticides (solubles dans l'eau) et dans les eaux souterraines, afin de rendre compte de la part infiltré dans les sols.

# Bibliographie

---

## Bibliographie

Agence de l'Eau Loire-Bretagne, 2015. Suivi de la qualité des cours d'eau dans les bassins versants. *Protocole régional du réseau de suivi de la qualité de l'eau et des milieux aquatiques dans les bassins versants bretons*.

Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, 2003. *Evaluation des flux d'apports polluants à la Méditerranée (hors Rhône)*.

Antea Group, 2015. Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion. *Phase 4 : Détermination et répartition des volumes prélevables*.

Chambre d'Agriculture Maine-et-Loire, 2018. Bassin versant de l'Authion – Diagnostic agricole de territoire et actions agricoles à mener. Rapport des phases 1 & 2.

Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Centre. (2012). *Révision des zones vulnérables à la pollution par les nitrates d'origine Agricole suite à la cinquième campagne de surveillance*. Rapport soumis à l'avis du comité de bassin.

Dubernet Jean-François, 2007. Evaluation des méthodes d'estimation de flux événementiels des nitrates et d'atrazine sur un bassin agricole. *Water Quality and Sediment Behaviour of the Future: Predictions for the 21st Century*, n° 314 (2007): 117.

Entente Interdépartementale Maine et Loire – Indre et Loire, 2017. *Bulletin suivi quantité*.

Entente Interdépartementale Maine et Loire – Indre et Loire, 2016. *Les enjeux de la qualité de l'eau du bassin versant de l'Authion*. Journée technique entretien des espaces publics : tendre vers le zéro phytyo (Vernantes, 11 octobre 2016).

H. Chambaut<sup>1</sup> et al. (2008). *Modélisation des flux d'azote dans le bassin versant laitier de la Fontaine-du-Theil* (Rapport n°193), pages 35-50.

Journées du diplôme d'études approfondies Sciences et techniques de l'environnement, Christian Le Coz, Bruno Tassin, et Daniel Thévenot, éd. *Transfert des polluants dans les hydrosystèmes: [actes des sixièmes Journées du diplôme d'études approfondies Sciences et techniques de l'environnement, 11-12 mai 1995, Paris]*. Paris: Presses de l'Ecole nationale des ponts et chaussées, 1996.

J. Maurin, A. Boulay, P. Ferreira, R Tourment, B. Beullac, 2015. *Études de dangers des digues de classe A de la Loire et de ses affluents - retour d'expérience.*

J.F. Vernoux. (2015). Revue des outils de modélisation du transfert des nitrates et pesticides pour la protection des captages d'eau souterraine. *Rapport final de l'Étude réalisée dans le cadre de la convention ONEMA-BRGM 2013-2015.*

J. Vanhouteghem, H. Squidant, J. Launay, P. Aurousseau. (2014). *Qualité des eaux des bassins versants bretons : calcul des flux d'azote.* Agrocampus Ouest.

M. Chatelier, N. Sürdyk, F. Bichot (2014). *Modélisation des flux d'azote du sol vers les nappes et les rivières sur l'AAC des sources du Vivier.* Séminaire sur l'utilisation des données spatiales pour la gestion des AAC.

Meybeck M, Moatar F. (2012). Segmentation and truncation of concentration-discharge relationship for better description of the temporal variability of river quality (suspended particulate matter, nutrients, total dissolved solids) *Hydrological Processes.*

Notice de l'outil Macroflux, 2014. Portail WEB cartographique (version V2 beta). *Qualité des eaux des bassins versants bretons : calcul des flux d'azote.*

Raymond S., 2012. Incertitudes des flux transportés par les rivières (Matière en suspension, nutriments, sels dissous) Vers un système expert d'optimisation des méthodes de calcul.

Raymond S, Moatar F, Meybeck M, Bustillo V. (2010). *Optimal methods for annual riverine flux reporting from infrequent sampling. Journal of Hydrology.* 2010

SAGE Authion, 2017. L'Atlas cartographique du SAGE du bassin versant de l'Authion – Année 2017.

SAGE Authion, 2017. Rapport de présentation du SAGE du bassin versant de l'Authion

SAGE Authion, 2016. Les enjeux de la qualité de l'eau du bassin versant de l'Authion. Journée technique, entretien des espaces publics : tendre vers le zéro phyto.

SAGE Authion, 2017. Plan d'Aménagement et de Gestion Durable du SAGE Authion.

SAGE Authion, 2018. Contrat Régional de Bassin Versant (CRBV) du bassin versant de l'Authion.

SAGE Authion, 2018. Evaluation Environnementale du bassin versant de l'Authion.

SAGE Estuaire de la Loire, 2005. Diagnostic SAGE Estuaire de la Loire, annexe technique.

Secrétariat Technique de Bassin Loire-Bretagne, 2013. Etat 2013 publié en 2015 des masses d'eau du bassin Loire-Bretagne établi en application de la Directive Cadre sur l'Eau.

Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux 2016-2021 Bassin Loire-Bretagne. (2015). Pages 49 – 57 et 63 – 65.

Syndicat Mixte du bassin de l'Authion et de ses affluents. (2017). Rapport d'activité 2017 du SMBAA.

Tony Georgette, 2017. *Caractérisation des échanges nappe-rivières sur le bassin versant de l'Authion* (Master 2 : Hydrogéologie, Hydropédologie et Hydrobiogéochimie (H3), Université de Rennes 1 et Agro Campus Ouest).

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

DREAL Centre, 2012. Annexe 5. *Étude des flux de nitrates sur le bassin Loire Bretagne*.

Institut Français de l'Environnement (IFEN), 2002. Flux à la mer : trop d'azote, mais moins de phosphore. Les données de l'environnement, numéro 72, janv-fév 2002.

## Webographie

- (1) Institut Français de l'Éducation. Les nitrates. Consulté le 19 juin 2008. Disponible sur : <http://eduterre.ens-lyon.fr/nappe/html/Ressources/nitrates>
- (2) Centre national de la Recherche Scientifique. La pollution par les nitrates. Consulté le 25 juin 2018. Disponible sur : [https://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/degradation/07\\_pollution.htm](https://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/degradation/07_pollution.htm)
- (3) DREAL Bretagne. Sixième Programme d'Actions Régional Directive Nitrates. Consulté le 3 août 2018. Disponible sur : <http://www.bretagne.developpement-durable.gouv.fr/sixieme-programme-d-actions-regional-directive-r1303.html>.
- (4) Eau France. Mission et organisation du SANDRE. Consulté le 18 mai 2018. Disponible sur <http://www.sandre.eaufrance.fr/missions-et-organisation-du-sandre>
- (5) Eau Loire Bretagne. Osur Web, Mesures de la qualité des eaux de surface. Consulté le 25 mai 2018. Disponible sur : [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)

- (6) Eau France. SEEE, le portail d'évaluation des eaux. Consulté le 30 mai 2018. Disponible sur : <http://seee.eaufrance.fr/>
- (7) Observatoire de l'eau en Bretagne. Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau SEQ-Eau. Consulté le 10 juin 2018. Disponible sur : <http://www.observatoire-eau-bretagne.fr/Ressources-et-documentation/Documents-de-planification/Systeme-d-evaluation-de-la-qualite-de-l-eau-des-cours-d-eau-SEQ-Eau>
- (8) Agrocampus Ouest. Conseil scientifique de l'environnement de Bretagne, interface cartographique des flux. Consulté le 15 juin 2018. Disponible sur : <http://geowww.agrocampus-ouest.fr/portails/?portail=cseb>
- (9) Info Climat. Climatologie de l'année 2018 à Angers-Beaucouzé. Consulté le 15 juillet 2018. Disponible sur : <https://www.infoclimat.fr/climatologie/annee/2018/angers-beaucouze/valeurs/07230.html>
- (10) Eau France. Débits, QMNA5, module, sécheresse et crues : plusieurs utilisations des données des stations. Consulté le 24 juillet 2018. Disponible sur : <http://www.arts-picardie.eaufrance.fr/inondations-et-secheresse/situation-hydrologique-hydrogeologique-et-pluviometrique/article/debits-qmna5-module-secheresse-et>
- (11) Laboratoire d'hydroécologie Echo. Chapitre 1 : cycle et bilan hydrologiques. Consulté le 17 juin 2018. Disponible sur : <http://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre1/chapitre1.html>
- (12) Glossaire sur l'eau. Recherche avancée. Consulté le 22 juin 2018. Disponible sur : <http://www.glossaire.eaufrance.fr/glossaire>

PROJET

PROJET

# Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux du bassin versant de l'Authion



## Composition de la Commission Locale de l'Eau (52 membres)

Les 23 membres du bureau de la CLE

### Représentants des usagers, des propriétaires riverains, des organisations professionnelles et des associations concernées (14 membres)

- **Chambres de commerce et d'Industrie**  
M. Thierry GUILLIEN, Indre-et-Loire  
M. Hubert FLAMAND, Maine-et-Loire
- **Chambres d'agriculture**  
M. Monique MESLET, Indre-et-Loire  
M. Denis LAIZE, Maine-et-Loire
- **Fédérations Départementales de Pêche et de Protection des Milieux Aquatiques**  
M. Benjamin GLATIGNY, Indre-et-Loire  
M. Bernard MERLIN, Maine-et-Loire
- **Association des irrigants du Bassin versant de l'Authion**  
M. Jean Maurice LEROY
- **Syndicat Départemental de la propriété rurale de Maine-et-Loire**  
M. Guy de CHAULIAC
- **Syndicat forestier de l'Anjou**  
M. Jean-Marc LACARELLE
- **Comité Régional de Développement agricole du Baugeois Vallée**  
M. Jean-Denis LAMBERT
- **Associations de Protection de l'Environnement**  
M. Yves LEPAGE, Sauvegarde de l'Anjou  
M. Jean-Pierre MORON, Ligue de Protection des Oiseaux de l'Anjou  
M. Thierry CRESPO, Association ANPER-TOS
- **Associations de Riverains**  
M. Dominique BRESSON, ARCA

### Représentants des collectivités territoriales et des établissements publics locaux (29 membres)

- **Conseil Régional des Pays de la Loire**  
M. Eric TOURON
- **Conseil Régional du Centre**  
M. Alix TERY-VERBE
- **Conseil Départemental Maine-et-Loire**  
M. Guy BERTIN
- **Conseil Départemental d'Indre-et-Loire**  
M. Martine CHAIGNEAU
- **Etablissement Public Loire**  
M. Jean-Luc POIDEVINEAU
- **ENTENTE Interdépartementale du bassin de l'Authion**  
M. Marie-Pierre MARTIN
- **Association Départementale des maires d'Indre-et-Loire**  
M. Patrick SKILET, Maire de Bourgueil  
M. Patrick HUET, Maire de Channay-sur-Lathan
- **Etablissements Publics de Coopération Intercommunale et groupements inter-communaux**  
M. Jean-Paul PAVILLON, Angers-Loire-Métropole  
M. Marie-Edith GILLE, Angers-Loire-Métropole  
M. Jérôme HARRAULT, Saumur Val de Loire  
M. Franck RABOUAN, Communauté de communes Baugeois Vallée  
M. Jean-Louis LE DROGO, Communauté de communes Baugeois Vallée  
M. Jackie PASSET, Communauté de communes Vallée Loire-Authion  
M. Jeannick CANTIN, Saumur Val de Loire  
M. Isabelle MELO, Communauté de communes Touraine Ouest Val de Loire  
M. Xavier DUPONT, Communauté de communes Touraine Ouest Val de Loire  
M. David PIERRE, Communauté de communes Chinon Vienne et Loire  
M. Benoit BARRANGER, Parc Naturel Régional Loire-Anjou-Touraine  
M. Isabelle DEVAUX, SIAEPA de Saint-Clément-des-Levées / Saint-Martin-de-la-Place  
M. Olivier RINGENBACH, Syndicat d'aménagement des cours d'eau du bassin de l'Authion (SIACEBA)  
M. Patrice PEGE, Syndicat Mixte du Bassin de l'Authion et de ses affluents (SMBAA)  
M. Jean-Jacques FALLOURD, Syndicat Mixte du Bassin de l'Authion et de ses affluents (SMBAA)  
M. Christian RUAULT, Syndicat Mixte du Bassin de l'Authion et de ses affluents (SMBAA)  
M. Camille CHUPIN, Syndicat Mixte du Bassin de l'Authion et de ses affluents (SMBAA)
- **Association Départementale des maires de Maine-et-Loire**  
M. Olivier ROBERT, Maire de Loire Authion  
M. Jean-Marc METAYER, Maire de Brion  
M. Hubert D'YOYONVILLE, Maire de Chavaignes  
M. Marcel BLANCHET, Maire des Rosiers-sur-Loire

### Représentants de l'Etat et de ses établissements publics (9 membres)

- M. le Préfet de la Région Centre, préfet du Loiret, coordonnateur du Bassin Loire-Bretagne, ou son représentant
- M. le Préfet de Maine-et-Loire ou son représentant, le sous-préfet de Saumur
- M. le Préfet d'Indre-et-Loire ou son représentant
- M. le Directeur de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne ou son représentant
- M. le Directeur Régional de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement des Pays de la Loire ou son représentant
- M. le Directeur Départemental des Territoires d'Indre-et-Loire ou son représentant
- M. le Directeur Départemental des Territoires de Maine-et-Loire ou son représentant
- M. le Directeur général de l'agence régionale de santé des Pays de la Loire ou son représentant
- M. le Délégué Interrégional de l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques ou son représentant



Arrêté préfectoral du 9 avril 2018

(Arrêtés précédents : 5 septembre 2005 modifié le 13/10/2016 & rectificatif 5/09/2017)

Annexe 2 : Enjeux du SAGE Authion

| Enjeux  | Plus-values attendues du SAGE   | Hiérarchisation des enjeux |
|---|---|----------------------------|
| Gérer globalement la ressource pour assurer la pérennité de tous les usages   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Définition des Volumes Prélevables par ressources et par usages</li> <li>- Réduction des pertes par évaporation et infiltration dans les eaux souterraines des eaux issues de la réalimentation</li> <li>- Amélioration des débits d'étiage</li> <li>- Obtention d'informations complémentaires sur les impacts des rabattements de nappes sur les niveaux des nappes, les débits d'étiage et les zones humides connexes</li> </ul>  | ENJEU N°I                  |
| Protéger et restaurer la morphologie des cours d'eau et les zones humides de manière différenciée sur le territoire | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Définition de programmes d'actions visant à répondre aux exigences de la DCE (nombreuses masses d'eau concernées)</li> <li>- Gestion collective des ouvrages</li> <li>- Actions de renaturation effectuées dans le cadre des contrats territoriaux</li> <li>- Réalisation d'inventaires homogènes des zones humides à l'échelle du bassin versant</li> <li>- Porter une action forte pour reconquérir le patrimoine écologique (milieux aquatiques et milieux naturels)</li> <li>- Guides de gestion des espaces et des espèces aquatiques</li> </ul>                  | ENJEU N°II                 |
| Améliorer la qualité des eaux souterraines et superficielles  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Amélioration locale de la connaissance (déficit de connaissance sur l'Authion et ses affluents, du Lathan et son principal affluent La Riverolle, ainsi que l'Automne, les Loges, l'Anguillière et la Curée)</li> <li>- Définition de programmes de mesures et d'actions pour réduire les apports en polluants</li> <li>- Définition de programmes d'actions pour résorber les sources de pollution en lien avec les captages prioritaires du Grenelle 11 (bassins d'alimentation de captages)</li> <li>- Actions plus ciblées que pour les eaux de surface</li> </ul> | ENJEU N°III                |
| Prévenir le risque d'inondations dans le Val d'Authion  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Plus-values potentielles dans les secteurs fortement contributeurs (Changeon, Couason et Lathan)</li> </ul>  | ENJEU N°IV                 |
| Porter, faire connaître et appliquer le SAGE  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Simplification de la maîtrise d'ouvrage du bassin versant.</li> </ul>  | ENJEU N°V                  |

<sup>11</sup> Captages de Beaufort-en-Vallée, Neuillé et Allonnes.

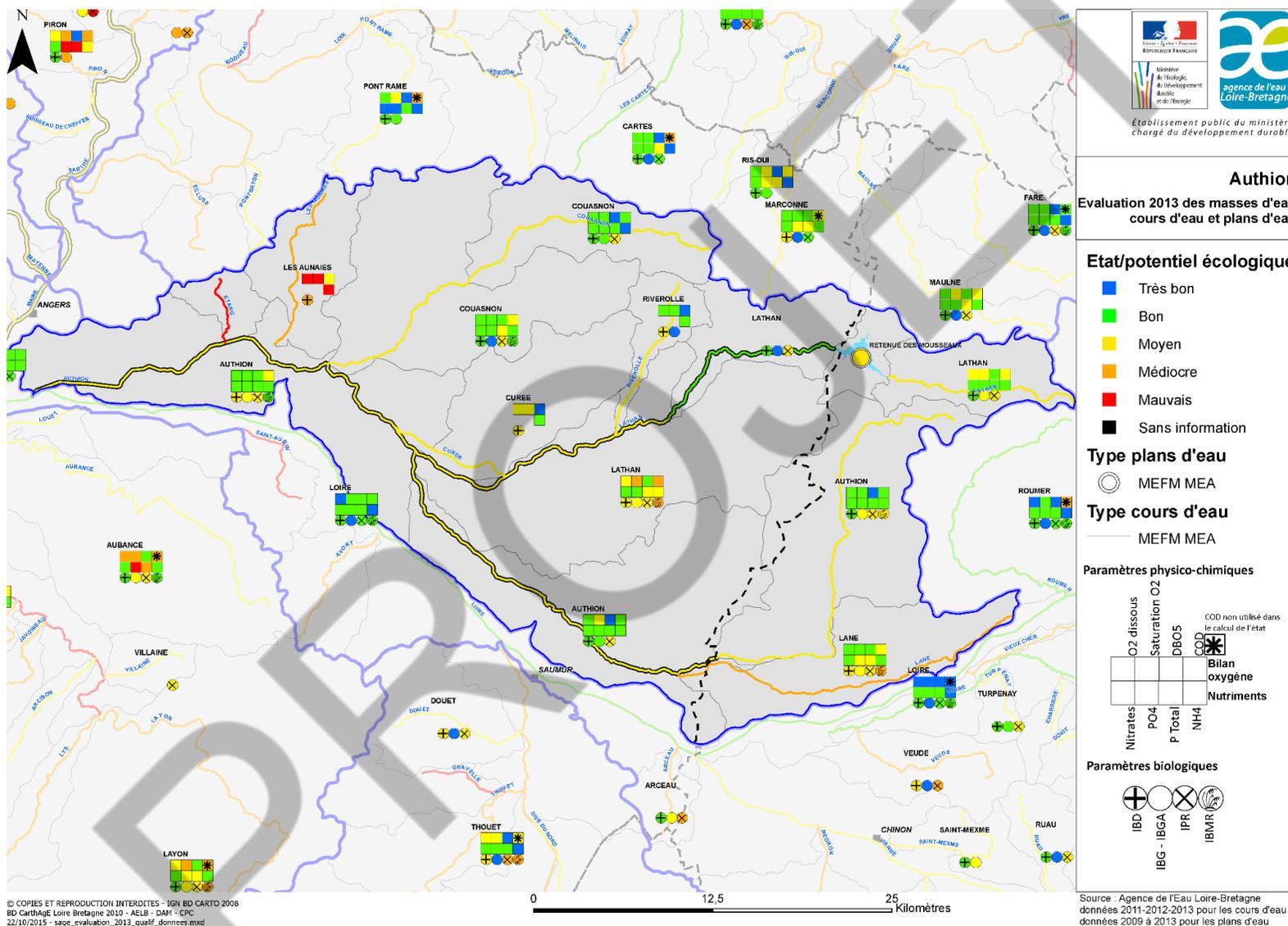
Annexe 3 : Tableau des prélèvements en eau superficielle et souterraine pour l'irrigation

| VOLUMES PRELEVABLES                |                | Réalimentation Loire (m <sup>3</sup> ) |  |                     | Prélèvements de référence année 2011 (m <sup>3</sup> ) |                             |                      |                                 | Volumes prélevables (m <sup>3</sup> ) |                             |                     |                                 |
|------------------------------------|----------------|--|--|---------------------|--|-----------------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|---------------------|---------------------------------|
| Unité de gestion                   | Ressource      | Réalimentation de Loire 2011           | Potentiel maximal en Loire d'après analyse statistique juillet/août 2011 | 10% excédent global | Agricole et assimilé                                   | dont part estivale estimée* | dont part hivernale* | TOTAL ANNUEL (AEP, INDUS, AGRI) | Agricole et assimilé                  | dont part estivale estimée* | dont part hivernale | TOTAL ANNUEL (AEP, INDUS, AGRI) |
| Authion                            | ESU Loire      | 10 564 937                             | 13 605 099   | 304 016             |  |                             |                      |                                 |                                       |                             |                     |                                 |
| aval                               | ESU BV Authion |  |  | -                   | 10 793 162   | 10 102 400                  | 690 762              | 10 793 162                      | 10 793 162                            | 10 102 400                  | 690 762             | 10 793 162                      |
| UG 1                               | ESOUT+PLE      |  |  | -                   | 5 160 566  | 4 830 290                   | 330 276              | 7 607 253                       | 5 160 566                             | 4 830 290                   | 330 276             | 7 607 253                       |
| Authion                            | ESU Loire      | 5 953 130                              | 6 324 480  | 37 135              |  |                             |                      |                                 |                                       |                             |                     |                                 |
| moyen                              | ESU BV Authion |  |  | -                   | 3 788 488  | 3 546 025                   | 242 463              | 3 788 488                       | 3 788 488                             | 3 546 025                   | 242 463             | 3 788 488                       |
| UG 2                               | ESOUT+PLE      |  |  | -                   | 700 270  | 655 453                     | 44 817               | 1 324 956                       | 700 270                               | 655 453                     | 44 817              | 1 324 956                       |
| Lane et                            | ESU Loire      | 4 272 685                              | 7 411 083  | 313 840             |  |                             |                      |                                 |                                       |                             |                     |                                 |
| Changeon aval                      | ESU BV Authion |  |  |                     | 231 716  | 216 886                     | 14 830               | 231 716                         | 231 716                               | 216 886                     | 14 830              | 231 716                         |
| UG 3                               | ESOUT+PLE      |  |  |                     | 86 829   | 81 272                      | 5 557                | 1 048 742                       | 86 829                                | 81 272                      | 5 557               | 1 048 742                       |
| Aulnaies, Etang et affluents       | ESU BV Authion |  |  |                     | 148 571  | 139 062                     | 9 509                | 148 571                         | 148 571                               | 139 062                     | 9 509               | 148 571                         |
| UG 4                               | ESOUT+PLE      |  |  |                     | 1 380 543  | 1 292 188                   | 88 355               | 1 742 461                       | 1 242 489                             | 1 162 969                   | 79 519              | 1 594 351                       |
| Couasnon et affluents              | ESU BV Authion |  |  |                     | 488 792  | 457 509                     | 31 283               | 488 792                         | 488 792                               | 457 509                     | 31 283              | 488 792                         |
| UG 5                               | ESOUT+PLE      |  |  |                     | 4 772 007  | 4 466 599                   | 305 408              | 6 991 175                       | 4 294 806                             | 4 019 939                   | 274 868             | 6 510 573                       |
| Lathan aval et affluents           | ESU BV Authion |  |  |                     | 1 267 634  | 1 186 505                   | 81 129               | 1 267 634                       | 1 267 634                             | 1 186 505                   | 81 129              | 1 267 634                       |
| UG 6                               | ESOUT+PLE      |  |  |                     | 2 399 833  | 2 246 244                   | 153 589              | 3 755 375                       | 2 039 858                             | 1 909 307                   | 130 551             | 3 360 094                       |
| Lathan moyen et affluents          | ESU BV Authion |  |  |                     | 648 004  | 606 532                     | 41 472               | 648 004                         | 648 004                               | 606 532                     | 41 472              | 648 004                         |
| UG 7                               | ESOUT+PLE      |  |  |                     | 2 504 072  | 2 343 811                   | 160 261              | 3 086 872                       | 2 128 461                             | 1 992 240                   | 136 222             | 2 711 261                       |
| Lathan amont de Rillé et affluents | ESU BV Authion |  |  |                     | 39 660   | 37 122                      | 2 538                | 39 660                          | 39 660                                | 37 122                      | 2 538               | 39 660                          |
| UG 8                               | ESOUT          |  |  |                     | 561 498  | 525 562                     | 35 936               | 960 731                         | 561 498                               | 525 562                     | 35 936              | 960 731                         |
| Bassin des 3 rus                   | ESU BV Authion |  |  |                     | 134 754  | 126 130                     | 8 624                | 134 754                         | 134 754                               | 126 130                     | 8 624               | 134 754                         |
| UG 9                               | ESOUT          |  |  |                     | 1 881 022  | 1 760 637                   | 120 385              | 2 381 308                       | 1 881 022                             | 1 760 637                   | 120 385             | 2 381 308                       |
| Changeon et affluents              | ESU BV Authion |  |  |                     | 29 670   | 27 771                      | 1 899                | 29 670                          | 29 670                                | 27 771                      | 1 899               | 29 670                          |
| UG 10                              | ESOUT          |  |  |                     | 261 247  | 244 527                     | 16 720               | 669 980                         | 261 247                               | 244 527                     | 16 720              | 669 980                         |
| <b>TOTAL</b>                       |                | <b>20 790 752</b>                      | <b>27 340 662</b>  | <b>654 991</b>      | <b>37 278 338</b>                                      | <b>34 892 524</b>           | <b>2 385 814</b>     | <b>47 139 304</b>               | <b>35 927 497</b>                     | <b>33 628 137</b>           | <b>2 299 360</b>    | <b>45 739 701</b>               |

Annexe 4 : Tableau de synthèse de l'objectif SAGE de non-dépassement ou de non-dégradation pour le paramètre nitrates

| OBJECTIFS QUALITE FIXES POUR LES NITRATES   |   |  |  |   |
|---|---|--|--|---|
| Masses d'eau et points de mesures   |   | NO <sub>3</sub> mg/l<br>quantile 90<br>(2014-<br>2017) | Objectifs qualité<br>mg NO <sub>3</sub> /l<br>(non dégradation -<br>non dépassement) | Délai<br>d'atteinte des<br>objectifs<br>qualité et du<br>bon état |
| Nom simplifié de la<br>masse d'eau (ME)<br>N° de la masse<br>d'eau (code<br>SANDRE) | Nom de la station<br>N°station de suivi (code<br>SANDRE)                            |  |  |   |
| Le Lane<br>FRGR0451   | Le Lane à La Chapelle-sur-Loire<br>N°04103550                                       | 16,30  | 13 - /   | 2027  |
| Le Changeon<br>(Amont Authion)<br>FRGR0450  | Le Changeon au Port des<br>Grenelles à Saint-Nicolas-de-<br>Bourgueil<br>N°04103500 | 12,48  | 17 - /   | 2027  |
| Le Lathan<br>(amont)<br>FRGR2252  | Le Lathan au pont de la RD749 à<br>Rillé<br>N°04103910                              | 33,90  | / - 30   | 2027  |
| Le Lathan<br>(aval)<br>FRGR0452   | Le Lathan à la Moutonnerie à<br>Longué-Jumelles<br>N°04103950                       | 19,70  | 29 - /   | 2027  |
| Le Couasnon<br>(amont)<br>FRGR1561  | Le Couasnon au pont du terrain<br>de camping à Baugé<br>N°04104100                  | 41,30  | / - 30   | 2021  |
| Le Couasnon<br>(aval)<br>FRGR0453   | Le Couasnon à la Hussonnière à<br>Gée<br>N°04104200                                 | 32,10  | / - 30   | 2021  |
| L'Authion<br>(médián)<br>FRGR0448   | L'Authion au Pont des Malheurs<br>à Brain-sur-Allonnes<br>N°04103600                | 14,00  | 14 - /   | 2021  |
| L'Authion<br>(aval)<br>FRGR0449   | L'Authion aux Ponts-de-Cé (pont<br>RD952)<br>N°04104500                             | 17,80  | 25 - /   | 2027  |
| Les Aulnaies<br>FRGR1027  | Les Aulnaies à Corné<br>N°04104300  | 35,00  | / - 30   | 2027  |
| La Curée<br>FRGR1005  | La Curée au Grésigné (Brion)<br>N°04591001  | 23,60  | 21 - /   | 2027  |
| La Riverolle<br>FRGR1006  | La Riverolle (Mouliherne)<br>N°04103935   | 13,80  | 21 - /   | 2021  |
| Retenue des<br>Mousseaux<br>FRGL089   | Partie Mousseaux du complexe<br>de Rillé (hors Pincemaille)<br>N°L911510            | Valeur max<br>18,2 mg/l<br>(2011)                      | 18 - /   | 2021  |

Annexe 5 : Carte de qualité 2013 de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne



Annexe 6 : Aperçu de l'Outil

| A                                 |                    | B                | C                 | D                 | E      | F      | G     | H                              | I                                   | J                 | K     | L               | M       | N                      | O                        | P                   | Q                       |
|-----------------------------------|--------------------|------------------|-------------------|-------------------|--------|--------|-------|--------------------------------|-------------------------------------|-------------------|-------|-----------------|---------|------------------------|--------------------------|---------------------|-------------------------|
| 1 Bassin versant du Changeon UG10 |                    |                  |                   | Surf. Bassin UG10 |        | 145,92 | km²   |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
|                                   |                    |                  |                   | Hauteur (m3/a)    |        | 9,454  |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
|                                   |                    |                  |                   | C50               |        | 11,00  |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 5                                 | Année hydrologique | Date Prélèvement | Nitrates O1(mg/L) | Débit O1 (m3/s)   | O1O1   | Σ O1O1 | Σ O1  | Prélevement par Jour O1 (m3/s) | Conc. pondérée par Débit, O1 (mg/L) | Écoulement annuel | C50   | C50 (à décaler) | Maximum | Nombre de Prélèvements | Flux nitrates (t NO3/an) | Flux azote (t N/an) | Flux spé (t NO3/km²/an) |
| 16                                | 21/01/2010         | 9,00             | 0,351             | 3,16              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 17                                | 24/01/2010         | 10,00            | 0,401             | 4,01              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 18                                | 12/02/2010         | 12,00            | 0,591             | 6,12              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 19                                | 27/02/2011         | 15,00            | 0,551             | 15,74             |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 20                                | 23/02/2011         | 14,00            | 0,251             | 2,91              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 21                                | 30/03/2011         | 11,00            | 0,251             | 2,74              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 22                                | 27/04/2011         | 9,00             | 0,251             | 2,26              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 23                                | 24/05/2011         | 6,00             | 0,221             | 2,65              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 24                                | 22/06/2011         | 7,00             | 0,331             | 2,31              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 25                                | 19/07/2011         | 8,00             | 0,321             | 2,57              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 26                                | 16/08/2011         | 8,00             | 0,311             | 2,49              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 26                                | 2010 - 2011        |                  |                   |                   | 46,10  | 4,210  | 0,332 | 10,37                          | 121,190                             | 13,80             | 9,00  | 11,00           | 12      | 162,64                 | 32,87                    | 1,16                |                         |
| 27                                | 24/01/2011         | 9,00             | 0,351             | 2,91              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 28                                | 30/01/2011         | 9,00             | 0,341             | 3,05              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 29                                | 19/02/2011         | 11,00            | 0,571             | 10,27             |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 30                                | 24/02/2012         | 14,00            | 0,471             | 4,94              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 31                                | 23/02/2012         | 14,00            | 0,481             | 5,72              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 32                                | 19/03/2012         | 10,00            | 0,291             | 2,91              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 33                                | 24/04/2012         | 10,00            | 0,441             | 4,41              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 34                                | 31/05/2012         | 14,00            | 0,411             | 5,78              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 35                                | 24/06/2012         | 9,00             | 0,311             | 3,42              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 36                                | 19/07/2012         | 9,00             | 0,291             | 3,16              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 37                                | 24/08/2012         | 8,00             | 0,361             | 2,41              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 38                                | 20/09/2012         | 7,00             | 0,241             | 2,52              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 39                                | 24/10/2012         | 23,00            | 0,521             | 10,23             | 57,41  | 5,011  | 0,423 | 11,21                          | 184,100                             | 14,00             | 9,50  | 11,00           | 12      | 176,64                 | 32,85                    | 1,21                |                         |
| 40                                | 24/11/2012         | 24,00            | 0,441             | 10,50             |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 41                                | 13/12/2012         | 17,00            | 0,341             | 9,19              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 42                                | 23/01/2013         | 21,00            | 0,611             | 20,10             |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 43                                | 12/02/2013         | 22,00            | 0,251             | 5,51              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 44                                | 23/02/2013         | 20,00            | 0,371             | 17,41             |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 45                                | 22/04/2013         | 13,00            | 0,541             | 7,01              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 46                                | 23/06/2013         | 16,00            | 0,771             | 12,33             |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 47                                | 18/08/2013         | 15,00            | 0,461             | 7,21              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 48                                | 05/09/2013         | 11,00            | 0,371             | 4,01              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 49                                | 20/10/2013         | 11,00            | 0,411             | 4,52              | 112,94 | 6,077  | 0,606 | 15,75                          | 221,900                             | 24,00             | 17,00 | 27,00           | 11      | 292,50                 | 44,29                    | 2,01                |                         |
| 50                                | 30/11/2013         | 11,00            | 0,461             | 5,29              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 51                                | 24/12/2013         | 21,00            | 0,611             | 12,12             |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 52                                | 19/01/2014         | 15,00            | 0,391             | 5,16              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 53                                | 24/02/2014         | 19,00            | 1,711             | 22,80             |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 54                                | 24/04/2014         | 11,00            | 0,331             | 4,14              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 55                                | 18/06/2014         | 14,00            | 0,451             | 5,21              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 56                                | 23/08/2014         | 10,00            | 0,491             | 4,91              | 79,12  | 5,164  | 0,642 | 15,44                          | 249,170                             | 19,10             | 14,00 | 21,00           | 7       | 241,97                 | 54,64                    | 1,64                |                         |
| 57                                | 27/09/2014         | 13,00            | 0,471             | 5,12              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 58                                | 16/10/2014         | 14,00            | 0,531             | 6,23              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 59                                | 25/02/2015         | 15,00            | 0,721             | 12,97             |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 60                                | 27/05/2015         | 10,00            | 0,471             | 4,71              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 61                                | 30/08/2015         | 9,00             | 0,271             | 2,74              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 62                                | 20/10/2015         | 9,00             | 0,391             | 3,52              | 39,43  | 3,054  | 0,527 | 12,93                          | 162,350                             | 11,00             | 11,50 | 11,00           | 6       | 242,37                 | 45,74                    | 1,39                |                         |
| 63                                | 27/02/2016         | 9,00             | 0,441             | 3,97              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 64                                | 30/02/2016         | 11,00            | 0,511             | 5,61              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 65                                | 23/02/2016         | 19,00            | 0,741             | 14,46             |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 66                                | 31/05/2016         | 12,00            | 0,591             | 6,29              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 67                                | 30/08/2016         | 11,00            | 0,511             | 5,62              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 68                                | 24/09/2016         | 9,00             | 0,311             | 3,42              | 41,25  | 3,234  | 0,599 | 12,94                          | 219,150                             | 15,50             | 11,00 | 19,00           | 6       | 196,64                 | 44,39                    | 1,35                |                         |
| 69                                | 31/05/2016         | 10,00            | 0,401             | 4,01              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 70                                | 01/02/2016         | 11,00            | 0,421             | 4,62              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 71                                | 04/04/2017         | 9,00             | 0,394             | 3,54              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 72                                | 01/06/2017         | 9,00             | 0,351             | 3,16              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 73                                | 21/07/2017         | 7,00             | 0,331             | 2,91              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 74                                | 21/09/2017         | 7,00             | 0,241             | 2,33              | 20,05  | 2,239  | 0,243 | 5,94                           | 72,977                              | 10,50             | 9,00  | 11,00           | 6       | 148,15                 | 31,64                    | 0,94                |                         |
| 75                                | 24/10/2017         | 9,00             | 0,251             | 2,26              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |
| 76                                | 20/12/2017         | 10,00            | 0,441             | 4,41              |        |        |       |                                |                                     |                   |       |                 |         |                        |                          |                     |                         |

| A                                   |           | B                      | C  | D                         | E          | F          | G       | H                      | I                          | J                               | K                   | L                           | M                       |
|-------------------------------------|-----------|------------------------|--|---------------------------|------------|------------|---------|------------------------|----------------------------|---------------------------------|---------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 1 BILAN                             |           |                        |  |                           |            | 145,92     | km²     |                        |                            |                                 |                     |                             |                         |
| 2                                   |           |                        |  |                           |            | 14592      | ha      |                        |                            |                                 |                     |                             |                         |
| 3 Bassin versant du Lathan 49 UG 10 |           |                        |  |                           |            |            |         |                        |                            |                                 |                     |                             |                         |
| 4                                   |           |                        |  |                           |            |            |         |                        |                            |                                 |                     |                             |                         |
| 5                                   |           | Débit spécifique moyen | Concentration en nitrates pondérées par les débits | Écoulement annuel (m3/an) | Centile 90 | C50 (mg/L) | Maximum | Nombre de prélèvements | Flux de nitates (t NO3/an) | Flux spé nitates (kg NO3/an/ha) | Flux azote (t N/an) | Flux spé azote (kg N/an/ha) | Flux spé (t NO3/km²/an) |
| 6                                   | 2008 - 09 |                        |  |                           |            |            |         |                        |                            |                                 |                     |                             |                         |
| 7                                   | 2009 - 10 | 3,014                  | 13,627   | 104,630                   | 21,60      | 11,00      | 24,00   | 8                      | 213,320                    | 14,619                          | 48,169              | 3,301                       | 1,462                   |
| 8                                   | 2010 - 11 | 2,275                  | 10,770   | 121,190                   | 13,80      | 9,00       | 18,00   | 12                     | 168,600                    | 11,554                          | 38,071              | 2,609                       | 1,155                   |
| 9                                   | 2011 - 12 | 2,893                  | 11,285   | 154,800                   | 14,00      | 9,50       | 18,00   | 12                     | 176,659                    | 12,107                          | 39,891              | 2,734                       | 1,211                   |
| 10                                  | 2012 - 13 | 4,151                  | 16,754   | 221,090                   | 24,00      | 17,00      | 27,00   | 11                     | 293,580                    | 20,119                          | 66,292              | 4,543                       | 2,012                   |
| 11                                  | 2013 - 14 | 4,673                  | 15,456   | 248,870                   | 19,80      | 14,00      | 21,00   | 7                      | 241,965                    | 16,562                          | 54,837              | 3,744                       | 1,656                   |
| 12                                  | 2014 - 15 | 3,611                  | 12,927   | 192,350                   | 16,00      | 11,50      | 18,00   | 6                      | 202,366                    | 13,866                          | 45,896              | 3,132                       | 1,387                   |
| 13                                  | 2015 - 16 | 4,103                  | 12,558   | 219,150                   | 15,50      | 11,00      | 19,00   | 6                      | 196,538                    | 13,473                          | 44,393              | 3,042                       | 1,347                   |
| 14                                  | 2016 - 17 | 2,488                  | 8,955  | 72,377                    | 10,50      | 9,00       | 11,00   | 6                      | 140,168                    | 9,607                           | 31,655              | 2,169                       | 0,961                   |
| 15                                  |           |                        |  |                           |            |            |         |                        |                            |                                 |                     |                             |                         |
| 16                                  | Moyenne   | 3,457                  | 13,04  | 166,890                   | 16,90      | 11,50      | 19,50   | 9                      | 204,16                     | 13,99                           | 46,10               | 3,16                        | 1,40                    |
| 17                                  | Min       | 2,275                  | 8,96   | 72,377                    | 10,50      | 9,00       | 11,00   | 6                      | 140,19                     | 9,61                            | 31,66               | 2,17                        | 0,96                    |
| 18                                  | Max       | 4,673                  | 16,75  | 248,870                   | 24,00      | 17,00      | 27,00   | 12                     | 293,58                     | 20,12                           | 66,29               | 4,54                        | 2,01                    |

Annexe 7 : Tableau de synthèse des résultats pour chaque Unités de Gestion

| Unités de Gestion | Cours d'eau         | Surface BV<br>km <sup>2</sup> | Stations qualité<br>SANDRE | Durée           |                | Débits            |                        | Concentrations en nitrates |          |          | Flux                              |                                   |
|-------------------|---------------------|-------------------------------|----------------------------|-----------------|----------------|-------------------|------------------------|----------------------------|----------|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|
|                   |                     |                               |                            | Période étudiée | Nombre d'année | Module            | Débit spécifique moyen | Moyenne                    | Minimale | Maximale | Flux NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Flux NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> |
|                   |                     |                               |                            | Années hydro.   | Années         | m <sup>3</sup> /s | L/s/km <sup>2</sup>    | mg/L                       | mg/L     | mg/L     | t/an                              | t/an                              |
| UG 1 Exutoire     | Authion             | 1493,00                       | 04104500                   | 08/09-16/17     | 9              | 4,289             | 2,873                  | 10,70                      | 0,50     | 27,10    | 1909,97                           | 25,55                             |
| UG 2              | Authion             | 93,16                         | 04103960                   | 10/11-16/17     | 7              | 1,129             | 12,632                 | 9,53                       | 0,50     | 34,00    | 408,31                            | 3,62                              |
| UG 3              | Authion             | 131,24                        | 04103600                   | 10/11-13/14     | 4              | 0,654             | 5,098                  | 8,55                       | 0,80     | 19,20    | 185,58                            | 2,95                              |
| UG 4              | Aulnaies            | 69,39                         | 04104300                   | 08/09-16/17     | 9              | 0,135             | 1,946                  | 18,33                      | 0,50     | 43,00    | 78,39                             | 6,49                              |
| UG 5              | Couasnon            | 264,86                        | 04104200                   | 08/09-16/17     | 9              | 0,899             | 3,391                  | <b>21,09</b>               | 2,10     | 38,30    | <b>725,02</b>                     | 2,60                              |
| UG 6              | Lathan              | 197,46                        | 04103950                   | 10/11-16/17     | 7              | 1,688             | 8,546                  | 11,56                      | 0,70     | 30,10    | <b>697,45</b>                     | 21,31                             |
| UG 7              | Lathan<br>Riverolle | 215,77                        | 04591000<br>04103935       | 10/11-16/17     | 7              | 0,980             | 4,134                  | 14,38                      | 3,00     | 43,00    | <b>549,25</b>                     | 1,82                              |
| UG 8              | Lathan              | 59,88                         | 04103910                   | 12/13-16/17     | 5              | 0,329             | 4,729                  | <b>28,18</b>               | 12,00    | 41,00    | 303,88                            | 1,50                              |
| UG 9              | 3 Rus               | 94,38                         |                            |                 |                |                   |                        |                            |          |          |                                   |                                   |
| UG 10             | Changeon            | 146,02                        | 4103480                    | 08/09-16/17     | 9              | 0,496             | 3,402                  | 12,45                      | 7,00     | 27,00    | 204,16                            | 0,43                              |
| Saint Martin      | Loire               | 229,50                        | 04103200                   | 08/09-16/17     | 9              | 0,257             | 1,119                  | 11,43                      | 3,80     | 28,30    | 15,15                             | 0,05                              |
| Varennes          | Loire               | 93,16                         | 04102990                   | 08/09-16/17     | 9              | 0,441             | 4,939                  | 11,09                      | 4,00     | 31,00    | 36,99                             | 0,11                              |
| Saint Patrice     | Loire               | 131,24                        | 04072200                   | 08/09-16/17     | 9              | 0,315             | 2,171                  | 9,04                       | 2,70     | 17,00    | 22,42                             | 0,29                              |

Annexe 8 : Fiches résultats pour 3 stations étudiées

Cours d'eau : **BV de l'Authion**  
 Surface de BV : 1493 km<sup>2</sup>  
 Années de suivi : 2008/09 à 2016/17

**Stations**

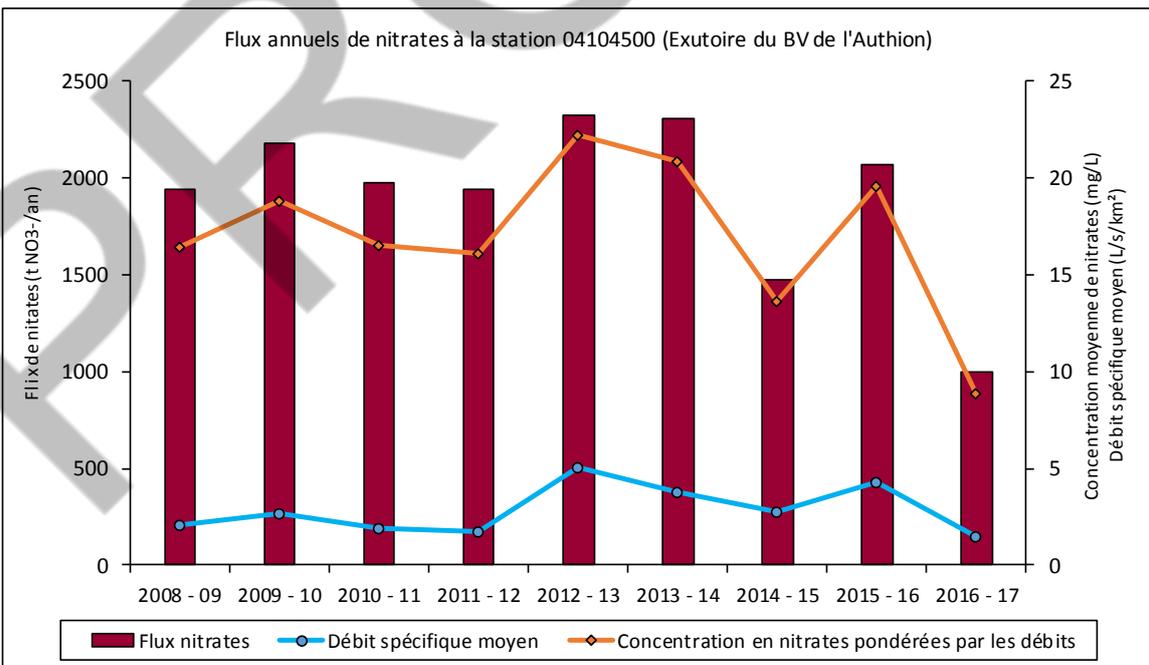
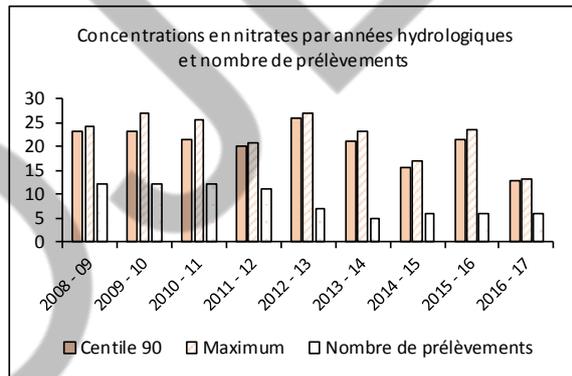
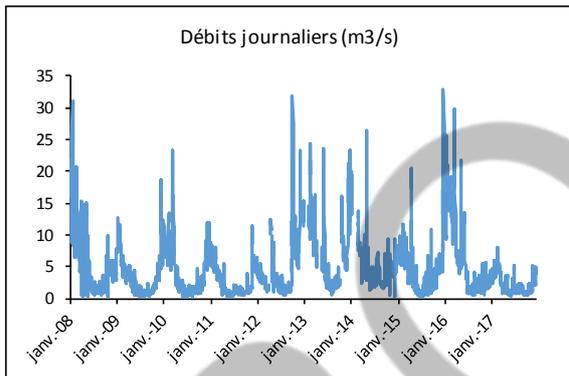
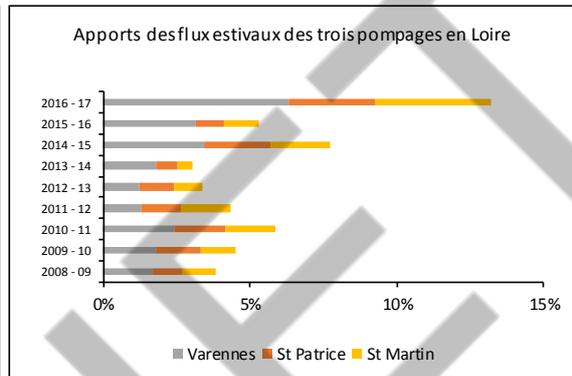
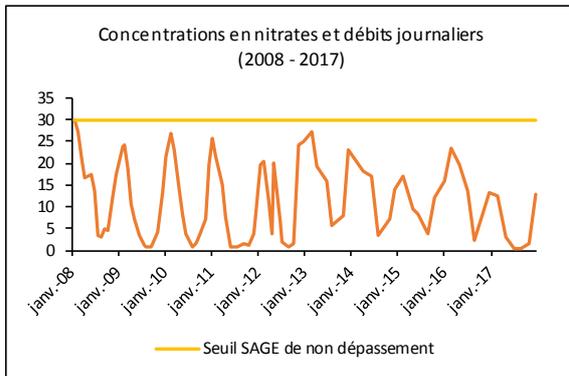
Qualité : 04104500 aux Ponts-de-Cé  
 Débit : Pont Bourguignon

**A l'exutoire du BV**

Débit moyen : 2,866 L/s/km<sup>2</sup>  
 QMNA 5 : 1,360 m<sup>3</sup>/s  
 [NO<sub>3</sub>-] moyen : 14,12 mg/L  
 [NO<sub>3</sub>-] max : 27,10 mg/L

**Réalimentations**

|               | [NO <sub>3</sub> -] (mg/L) | Débit (m <sup>3</sup> /s) |
|---------------|----------------------------|---------------------------|
| Saint Martin  | 11,44                      | 0,257                     |
| Varenes       | 7,47                       | 0,441                     |
| Saint Patrice | 7,51                       | 0,281                     |



## Cours d'eau : Le Couason

Surface du BV : 265 km<sup>2</sup>  
Année : 2009/10 à 2016/17

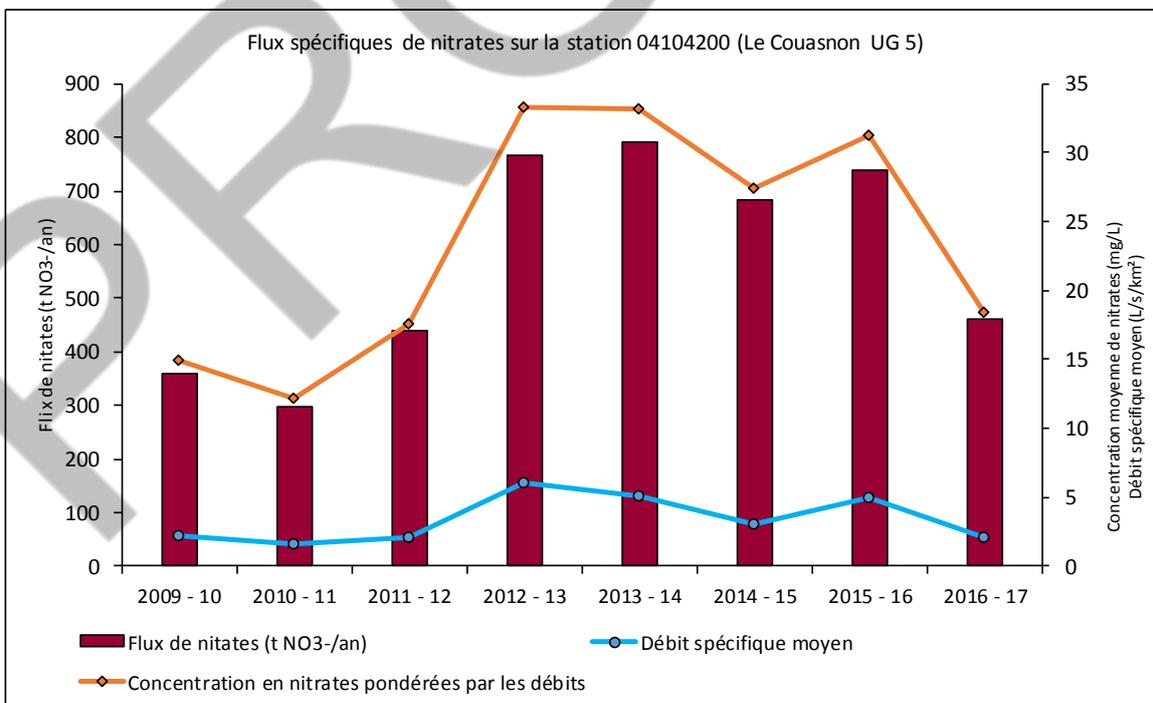
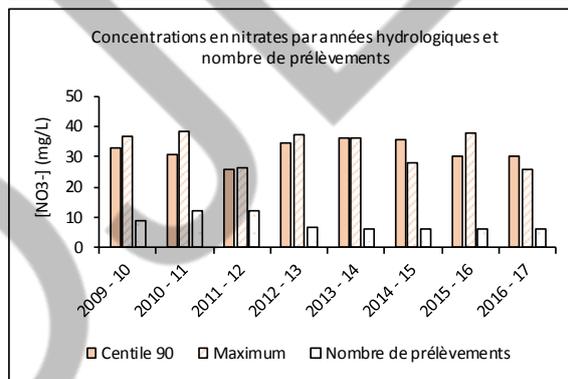
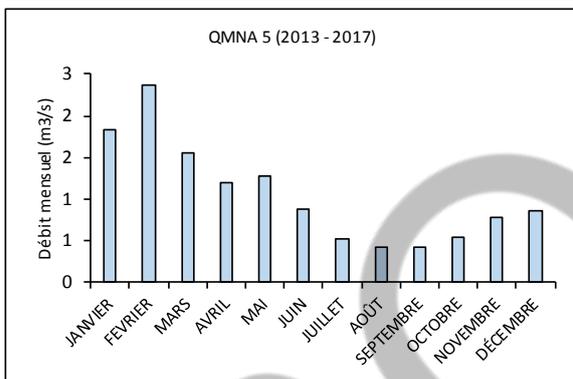
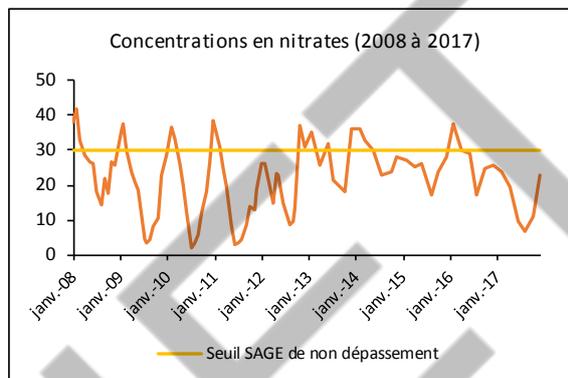
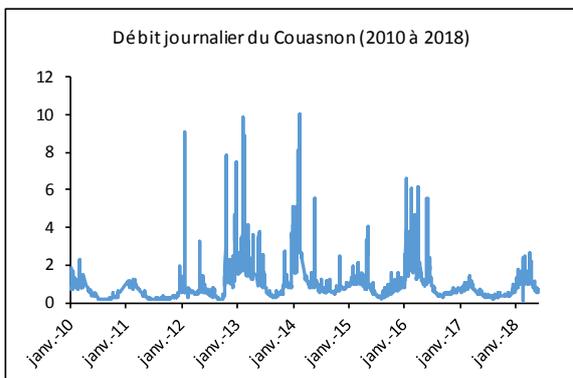
## Stations

Qualité : 04104200 à Gée  
Débit aut. : Gée  
Jaugeage : Mazé

### A l'exutoire du BV

Débit moyen : 3,366 L/s/km<sup>2</sup>  
QMNA 5 (2013/17) : 0,382 m<sup>3</sup>/s

[NO<sub>3</sub><sup>-</sup>] moyen : 20,16 mg/L  
[NO<sub>3</sub><sup>-</sup>] max : 38,30 mg/L



## Cours d'eau : Le Lathan

Surface du BV : 215,49 km<sup>2</sup>

Année : 2010/11 à 2016/17

## Stations

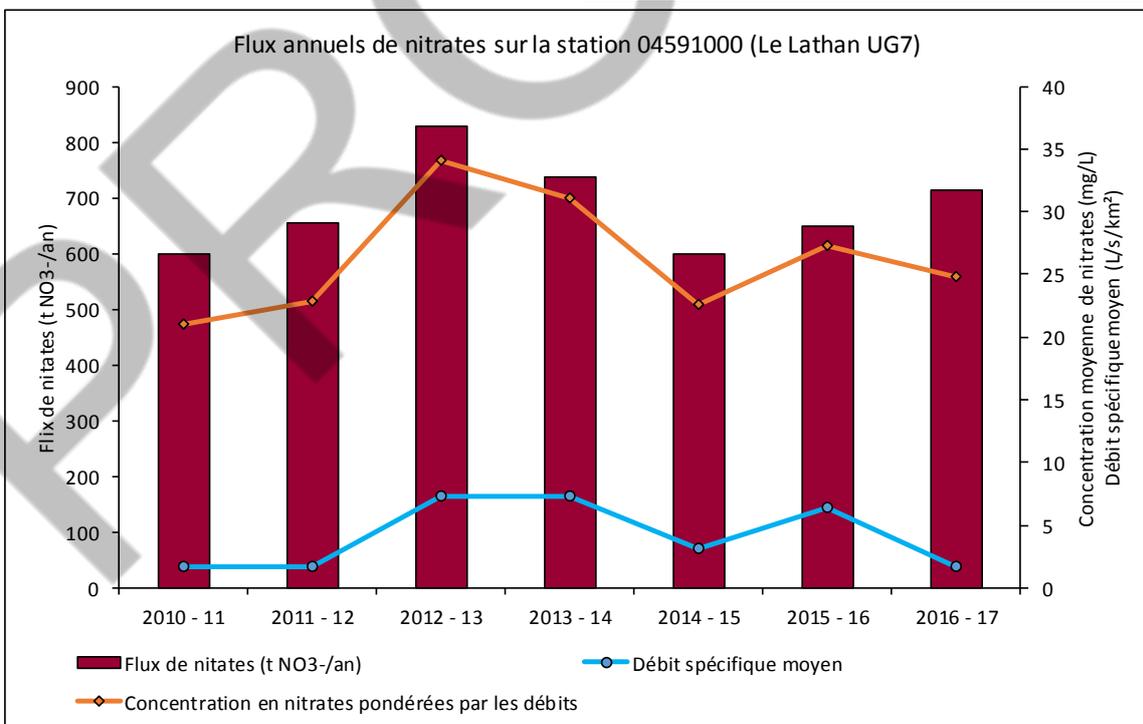
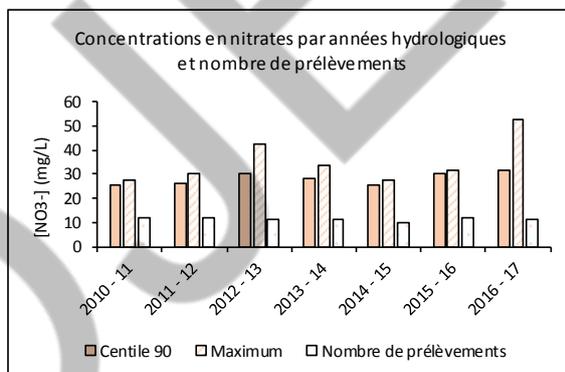
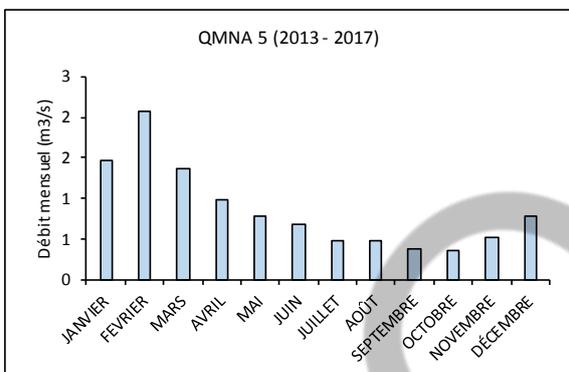
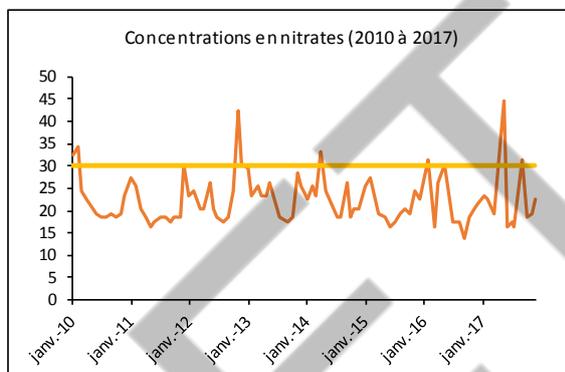
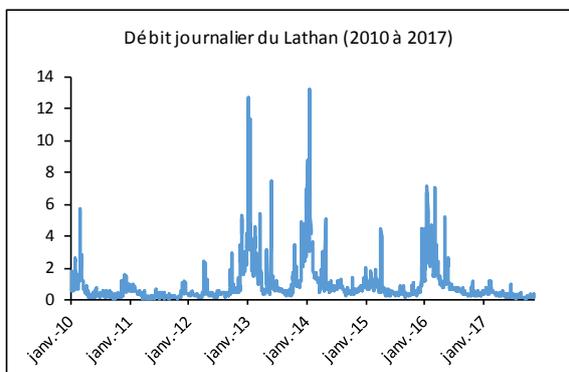
Qualité : 04591000 et 04103935

Débit aut. : Moulin Guet

### A l'exutoire

Débit moyen : 4,134 L/s/km<sup>2</sup>  
 QMNA 5 (2013/17) : 0,332 m<sup>3</sup>/s

[NO<sub>3</sub>-] moyen : 22,09 mg/L  
 [NO<sub>3</sub>-] max : 52,40 mg/L



Marine Le Cornec

PROJET

# Résumés et mots clés

## RESUME

L'Authion est un affluent rive droite de la Loire. Il prend sa source au niveau de Bourgueil en Indre-et-Loire, à la confluence du Changeon et du Lane, et se jette dans la Loire à Saintes-Gemmes-sur-Loire. Le SAGE a été établi sur les limites naturelles du bassin versant de l'Authion. Le bassin de l'Authion est caractérisé par un aménagement hydraulique très important. Dans les années 1960 - 70, l'aval du bassin a été déconnecté hydrauliquement de la Loire. Pour éviter les inondations par l'Authion lorsque les vannes sont fermées, un complexe de pompage a été mis en place pour évacuer les crues du bassin vers la Loire. L'Etat des lieux de 2013 a permis de classer seulement 5% des eaux en « bon état » en Maine-et-Loire. L'objectif 2021 est d'atteindre 26% des eaux en « bon état ». Dans le domaine des nitrates, les études et analyses actuelles portent essentiellement sur les concentrations en nitrates dans les cours d'eau. Ceci pour une simple raison : la norme européenne fixe la limite de qualité pour l'eau potable à 50mg/L de nitrates. En termes écologiques, les flux ont des impacts importants sur de nombreux phénomènes. En particulier sur l'eutrophisation du milieu marin, qui est dû aux apports continentaux d'azote et de phosphore. Il est donc nécessaire de connaître ces flux, et surtout d'étudier leur évolution. En raison de conventions internationales portant sur la réduction des flux de polluants fluviaux arrivant aux océans et aux mers régionales (convention OSPAR de 1992, dont la France est signataire), l'évaluation des flux est devenue une nécessité.

Mots clef : Concentrations, débits, flux, nitrates, outil Excel, seuils de qualité.

## ABSTRACT

The Authion is a tributary right bank of the Loire. It takes its source at Bourgueil in Indre-et-Loire, at the confluence of Changeon and Lane, and flows into the Loire at Saintes-Gemmes-sur-Loire. SAGE was established on the natural boundaries of the Authion watershed. The basin of the Authion is characterized by a very important hydraulic development. In the 1960s-70s, the downstream basin was hydraulically disconnected from the Loire. To avoid flooding by the Authion when the gates are closed, a pumping complex was set up to evacuate the floods of the basin towards the Loire. The inventory of 2013 has allowed to classify only 5% of water in "good condition" in Maine-et-Loire. The 2021 goal is to reach 26% of waters in "good condition". In the field of nitrates, current studies and analyzes focus on nitrate concentrations in rivers. This is for a simple reason: the European standard sets the quality limit for drinking water at 50mg / L of nitrates. In ecological terms, flows have important impacts on many phenomena. In particular, the eutrophication of the marine environment, which is due to continental inputs of nitrogen and phosphorus. It is therefore necessary to know these flows, and especially to study their evolution. Due to international conventions on reducing the flow of river pollutants to oceans and regional seas (the 1992 OSPAR Convention, to which France is a signatory), the assessment of flows has become a necessity.

Keywords : Concentrations, flow rates, flow, nitrates, Excel tool, quality thresholds.