UNIVERSITÉ LUMIÈRE LYON 2

Loire LE DÉPARTEMENT

MASTER SCIENCES DE L'EAU
Domaines : Géographie, Environnement, Territoires

Master 2 parcours IREMIR : Ingénierie de la Restauration des Milieux et de la Ressource en Eau

La reconquête de la qualité des eaux du barrage de Grangent : diagnostics, modélisation des flux de phosphore et priorisation des actions

Nisrine BOUDAHK

Septembre 2017

Sous la direction de Maud PONCET

Membres du jury :

Jérôme LEJOT - CNRS UMR 5600 EVS	(Président du Jury)
Norbert LANDON - CNRS UMR 5600 EVS	(Référent universitaire)
Maud PONCET - Conseil départemental de la Loire	(Tutrice professionnelle)

Remerciements

Me voilà arrivée à la fin de mon stage, une expérience passionnante et enrichissante, du point de vue scientifique mais aussi personnel et humain…Il me faut maintenant remercier toutes les personnes qui m'ont permis de mener à bien ce travail, que ce soit dans la réflexion ou tout simplement par leur présence quotidienne, mais aussi les personnes qui ont permis que j'en sois là aujourd'hui…

Tout d'abord, je tiens à remercier Norbert LANDON et Jérôme LEJOT membres de jury qui m'ont fait l'honneur de bien vouloir étudier avec attention mon travail.

Je voudrais exprimer ma profonde reconnaissance à Monsieur Franck BOMPUIS, Directeur du pôle aménagement et développement durable et à Monsieur David MARAILHAC, Chef de service Environnement de m'avoir accueilli au sein de département.

Mes profonds remerciements à ma tutrice Maud PONCET, qui s'est montrée hautement disponible et m'a suivie tout au long de cette expérience professionnelle avec beaucoup de patience et de pédagogie. Je la remercie également de m'avoir donné l'occasion de travailler sur un projet ancré dans une problématique locale.

Je remercie Gonzague pour ses relectures, corrections et orientations. Il a toujours répondu présent, même dans les cas les plus désespérés.

Merci à Thierry du fond du cœur pour ton support inconditionnel tout au long de ce projet. Je suis sans mot pour t'exprimer ma reconnaissance.

Je tiens également à remercier toutes les personnes du Conseil départemental de la Loire qui ont veillé au bon déroulement de ce projet et pour les bons moments lors des pauses café. Un merci particulier à Jérôme qui m'a souvent aidé pour tous les problèmes informatiques.

Je remercie également Olivier COULON, Chef de projet à l'agence de l'eau Loire Bretagne de m'avoir octroyé son temps pour répondre à mes questions et m'aider à mieux cerner le sujet.

J'adresse de profonds remerciements à mes proches qui ont contribué indirectement à la réalisation de ce projet. Je remercie plus particulièrement mes parents pour leurs perpétuels encouragements. Merci d'avoir toujours valorisé l'éducation et la découverte de nouveaux horizons.

Sommaire

Remerciements 2

Sommaire 3

Glossaire 4

Introduction 5

PARTIE1 : CADRAGE DE L'ETUDE 6

1. **Présentation de la structure** 7

2. **Le SAGE Loire en Rhône Alpes** 9

3. **Contexte de l'étude** 11

4. **Problématique et objectifs de l'étude** 14

5. **Démarche méthodologique** 15

PARTIE 2 : ETAT DES LIEUX DE LA RETENUE DE GRANGENT 16

1. **L'eutrophisation et les cyanobactéries** 17

2. **Analyse de la problématique locale :** 20

PARTIE 3 : ESTIMATION DES FLUX DE PHOSPHORE DU BASSIN VERSANT DE GRANGENT 27

1. **Flux de phosphore dans le bassin versant de la retenue de Grangent** 28

2. **Confrontation des flux mesurés avec les résultats de la modélisation par le logiciel PEGASE** 45

PARTIE 4 : ANALYSE DES ACTIONS PREVUES PAR LES SAGE, PRIORISATION ET REFLEXION SUR D'AUTRES AXES DE GESTION. 48

Conclusion : 66

Bibliographie 67

Liste des figures 70

Liste des tableaux 70

Liste des annexes 71

ANNEXES .....

Glossaire

STEP : Stations d'épuration

SPANC : Services public d'assainissement non collectif

ANC : Assainissement non collectif

EH : Équivalents habitants

CLE : Commission locale de l'eau

SATEA : Syndicat d'assainissement des eaux et du service d'assistance techniques à l'eau et à l'assainissement

MDDELCC : ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques

MAET : Mesures Agro-Environnementales Territoriales

EPL : Établissement Publique Loire

CEME : Centre d'Etude et de Modélisation de l'Environnement

SATESE : Service d'Assistance Technique eux exploitants de Station d'Épuration

Introduction

Avec le développement démographique et l'augmentation des activités humaines exerçants une pression sur la ressource en eau, la disponibilité en eau devient de plus en plus rare. Afin de répondre aux besoins en eau potable, en électricité, à l'irrigation…la construction des barrages a connu un développement important au cours du 19ème et 20ème siècle. Depuis, l'occupation des sols s'est modifiée au niveau de ces retenues, les aires urbaines se sont développées, les pratiques agricoles ont évoluées entrainant des rejets massifs (Barillier et al., 2001, Schindler, 2006) se traduisant par des phénomènes d'eutrophisation (Pezet, 2014).

Dans ce cadre, plusieurs études ont montré que le phosphore est à l'origine de l'eutrophisation (Salençon, 1995). Depuis, des politiques de restriction ont été élaborées pour limiter les pollutions d'origines ponctuelles : Rejets des STEP, rejets industrielles, rejets directs des bovins… Ces mesures ont été accompagnées également par des mesures de contrôle des pollutions diffuses agricoles. Malgré les efforts menés pour la réduction des ces pollutions, elles restent mal cadrées (Dorioz, et al., 2007) en raison des changements climatiques qui perturbent les régimes d'exportation des flux de phosphore (Pezet, 2014).

Concernant la retenue de Grangent, son eutrophisation a été remarquée depuis les années 80. La dégradation de la qualité de ses eaux s'est intensifiée après 1988 créant ainsi une limite aux activités touristiques (Salençon, 1995). C'était le cas en aout 2017, où la baignade et les activités nautiques ont été interdites sur le site de Saint Victor sur Loire en raison de la qualité des eaux non satisfaisante liée au développement important des algues.

Depuis plus de 40ans, des études ont traitées l'histoire de Grangent, de son fonctionnement physico-chimique et de son évolution trophique au cours du temps (Salençon, 1995, Carrier, 2016). Cependant, aucune quantification des flux de phosphore n'a été faite en raison du manque de données, de la diversité des acteurs et des usages sur le bassin versant. Toutefois, la connaissance de ces données est indispensable pour établir une relation entre les charges et les rejets de polluants et le suivi de leurs effets sur le milieu. Cette approche doit faire appel à des dispositifs de mesures spécifiques non encore mis en place. En l'état actuel, une caractérisation sommaire des flux (ordres de grandeur, classements relatifs…) peut toutefois être tentée à partir des données disponibles issues des réseaux de mesures existants.

PARTIE1 : CADRAGE DE L’ETUDE

1. Présentation de la structure

Le Conseil Départemental de La Loire est une collectivité territoriale dont les principales compétences sont (Conseil départemental de la Loire, 2016) :

- **L'action sociale** en faveur des personnes âgées, des personnes handicapées, des personnes en difficulté, de l'enfance et de la famille ;
- La construction, l'entretien, l'équipement et le fonctionnement des **collèges publics** ;
- La construction, l'exploitation et l'entretien des **routes départementales** ;
- **L'aménagement du territoire** : équipement rural, gestion de l'eau, soutien aux projets des communes et EPCI ;
- Le **SDIS** (service départemental d'incendie et de secours) ;
- **L'action culturelle, sportive et touristique ;**
- **La protection de l'environnement** : protection des espaces naturels sensibles et périurbains, itinéraires de promenade et de randonnées, etc.

Ces compétences sont le résultat de la dernière réforme territoriale qui a eu lieu en 2015 suite à l'adoption de la loi NOTRe. Les transports routiers non urbains et scolaires sont ainsi devenus une compétence de la Région. De plus, certaines compétences sont toujours partagées entre le Département et la Région. Des conventions sont alors nécessaires afin de déterminer le rôle de chacun (Carrier, 2016).

Le Conseil Départemental de la Loire est composé de 5 pôles :

- Pôle Ressource
- Pôle Attractivité, Animation territoriale et Enseignement (P2AE)
- Pôle Vie Sociale (PVS)
- Pôle Aménagement et Développement Durable (PADD)
- Pôle Stratégie, Management et Performance Globale (SMaP)

Au sein du PADD, la Direction Agriculture, Forêt et Environnement (DAFE) comprend le service agriculture et le service environnement – forêt (figure 1), au sein duquel la mission a été réalisée.

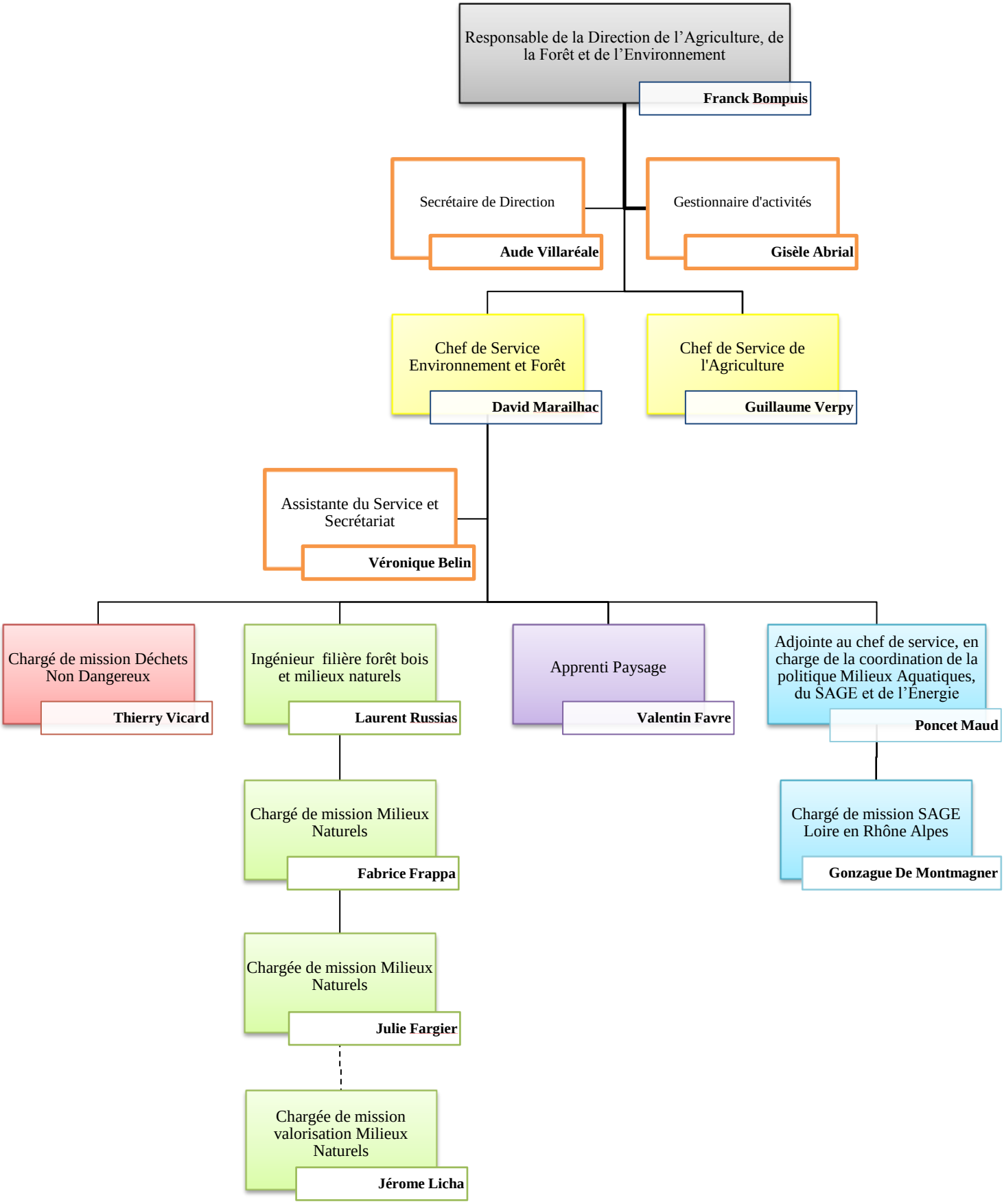


Figure 1 : Organigramme de l'organisation du PADD (Leffondre, 2015).

Le service environnement – forêt travaille sur les espaces naturels sensibles (ENS) et Natura 2000, les déchets, les paysages, l'eau et dans une moindre mesure l'énergie et la filière bois.

Concernant la thématique de l'eau, le Département intervient dans le suivi des contrats territoriaux, l'animation de la cellule ASTER – Animation et Suivi des Travaux En Rivières, la gestion du réseau départemental de suivi de la qualité des eaux, le suivi des STEP. Il porte également le SAGE Loire en Rhône-Alpes en partenariat avec l'Établissement Public Loire (Carrier, 2016).

2. Le SAGE Loire en Rhône Alpes

En 2004, le Département de la Loire a étudié l'opportunité de mettre en place un SAGE et définit un périmètre cohérent hydrologiquement et favorisant la gestion concertée (Carrier, 2016). Ce SAGE a été nommé « SAGE Loire en Rhône-Alpes ». Son périmètre a été approuvé en 2007. Il couvre le bassin versant de la Loire de Bas-en-Basset jusqu'à Roanne, en aval du barrage de Villerest (Figure 2).

Figure 2 : Périmètre du SAGE Loire en Rhône Alpes (Conseil départemental de la Loire, 2014b).

Lors de la phase d'élaboration, le Département de la Loire a été la structure porteuse du SAGE. Il assurait, entre autre, le secrétariat et l'animation de la Commission Locale de l'Eau (CLE), du bureau de la CLE et des différents groupes de travail mis en place. L'organisation est décrite dans la figure ci-dessous (Conseil départemental de la Loire, 2014b):

Figure 3 : organisation du SAGE Loire en Rhône-Alpes lors de son élaboration. Source : CD Loire, 2014b

Le SAGE Loire en Rhône-Alpes a été approuvé, par arrêté, le 30 août 2014 (Conseil départemental de la Loire, 2014b). Il vise à répondre à plusieurs enjeux :

Enjeu n°1 : préservation et amélioration de la fonctionnalité (hydrologique, épuratoire, morphologique, écologique) des cours d'eau et des milieux aquatiques.

Enjeu n°2 : réduction des émissions et des flux de polluants.

Enjeu n°3 : économie et partage de la ressource.

Enjeu n°4 : maîtrise des écoulements et lutte contre le risque d'inondation.

Enjeu n°5 : prise en compte de l'eau et des milieux aquatiques dans le développement et l'aménagement du territoire.

Enjeu n°6 : gestion concertée, partagée et cohérente de la ressource en eau et des milieux aquatiques.

91 dispositions ont été mises en place pour répondre à ces enjeux. L'une d'entre elle concerne la retenue de Grangent (Disposition n° 2.5.3) avec la mise en place d'un programme de reconquête de la qualité de l'eau.

3. Contexte de l'étude

3.1. Présentation du barrage et de sa retenue

Au niveau géographique, le site d'étude est situé au Sud-Est du massif central, à 15 km de Saint-Etienne.

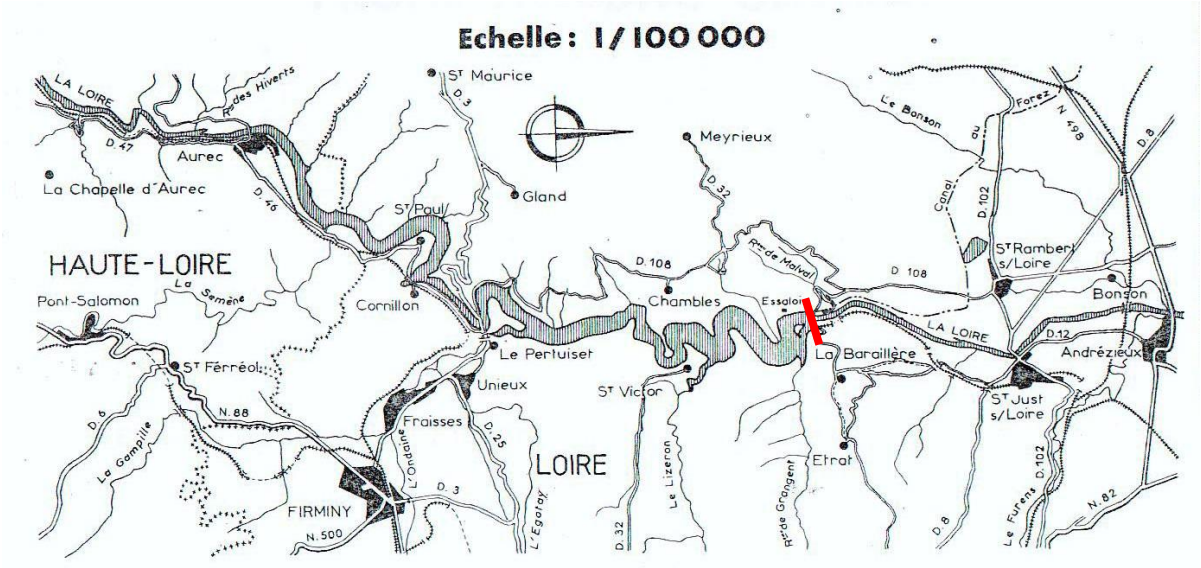


Figure 4 : Localisation du barrage de Grangent. (Salençon, 1995)

Le barrage de Grangent est de type poids-voûte, d'une hauteur de 55m et une largeur de 200 m (EDF, 2012). Il a été construit en 1957 (SAGE Loire en Rhône Alpes) sur la Loire, il draine un bassin versant de 3850 Km^2 (Saumet, 2004).

Se situant dans les anciennes gorges de la Loire, le plan d'eau s'étend à sa côte normale d'exploitation (420 m NGF) sur environ 20 km de long pour une superficie de 365 ha (SAGE Loire en Rhône Alpes). Sa profondeur moyenne est de 20 m avec 55 m au droit du barrage (EDF, 2012), ce qui permet un stockage de 57 millions de m^3 (figure 5). Le temps de séjour de l'eau dans la retenue est de 16jours (EDF, 2012).

Sa retenue compte trois affluents principaux :

- L'Ondaine ;
- La Semène ;
- Le Lizeron.

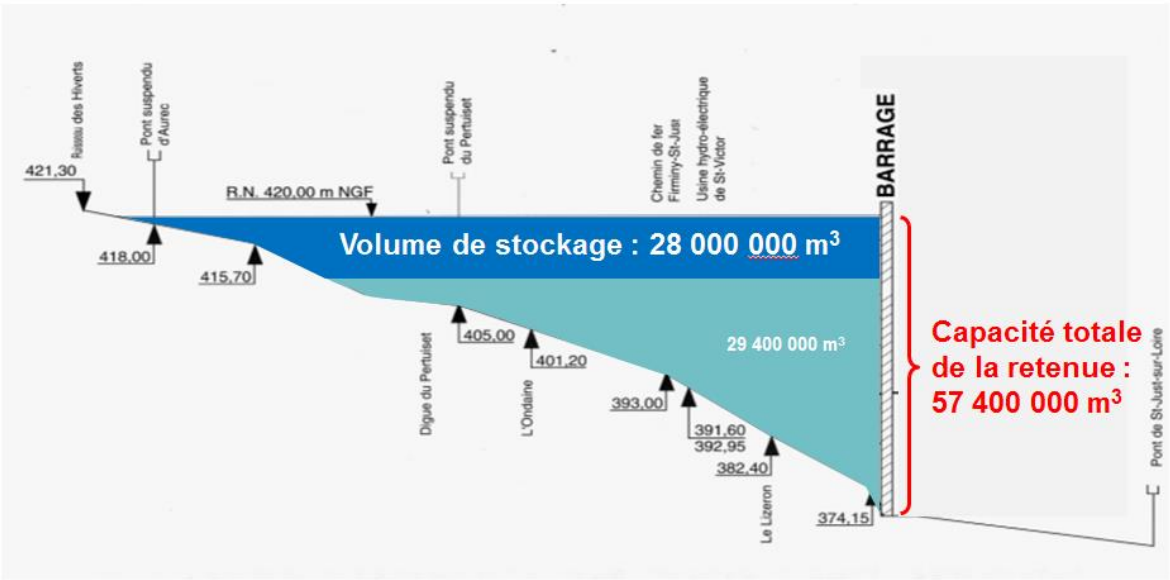


Figure 5: Schéma représentant la retenue de GRANGENT (EDF, 2012).

La vocation de la retenue est principalement la production d'électricité, ensuite l'irrigation des terres agricoles de la plaine du Forez via le canal du Forez (construit en 1865) et l'alimentation en eau potable de la ville de Feurs environ 900 000 m^3/an pour 8 000 habitants (CD Haute Loire, 2008).
D'autres usages se sont ajoutés ces dernières années qui sont dédiés aux loisirs ; baignade, navigation et pêche.

Le fonctionnement du barrage est soumis à des règles conditionnant le niveau d'abaissement de la côte, il a été fixé à 10 m maximum au droit de l'exploitation hydroélectrique, représentant un volume de 28 millions de mètres cubes (figure 5).

Pendant la période estivale du 1er juin au 15 septembre, la côte de la retenue doit obligatoirement être maintenue à 420 m NGF, pour permettre la pratique des activités touristiques (navigation, pêche, baignade…). Ainsi, le marnage de la retenue est de 3 m à 5 m, et le débit de sortie du barrage est partagé entre le débit réservé de la Loire et le débit qui permet d'alimenter le canal du Forez (figure 6).

Disposition n°1.6.1
Utilisation optimale du complexe de Grangent (grand équipement existant)

La CLE propose un scénario de gestion, prévoyant
- Une modulation du débit réservé sur le fleuve en fonction des périodes de l'année (de 3,5m³/s à 4,5m³/s),
- Une mobilisation du stock en eau du plan d'eau pour concilier les usages,
- Une gestion différente en année normale et lors de crise hydrologique (≈ 1/10 année)

SCENARIO Année Normale (débits exprimés en m³/s) :

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	du 1er au 15 sept.	Du 15 au 30 sept.	octobre	novembre	Décembre	Année
Débit minimal au fleuve	4.0	4.0	4.5	4.5	4.5	3.5[1]	3.5[1]	3.5[1]	3.5[1]	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Débit disponible au canal	3.0	3.0	2.5	2.5[2]	2.5[2]	3.5	3.5	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0

[1] Les pointes non consommées par le canal seront à destination du débit du fleuve. Le débit objectif sur le fleuve en aval de Grangent est alors de 4m3/s.
[2] Lors de sécheresse printanière, en avril et mai, le débit au canal de 2.5m3/s pourrait être complété. Cette possibilité devra être encadrée, notamment par un conventionnement EDF/Département de la Loire/SMIF.

Le droit d'eau lié au canal du Forez perdure mais son usage est restreint.

Ce scénario entraine un marnage, sur un mètre, du plan d'eau dans la période du 1er juin au 15 septembre.

Figure 6 : mode de répartition du débit à la sortie de Grangent (CD Loire, 2014b).

3.2. Hydrologie

Le bassin versant présente un régime principalement pluvial : une alternance d'une période de hautes eaux de novembre à mai et une période de basses eaux de juin à octobre (figure7).

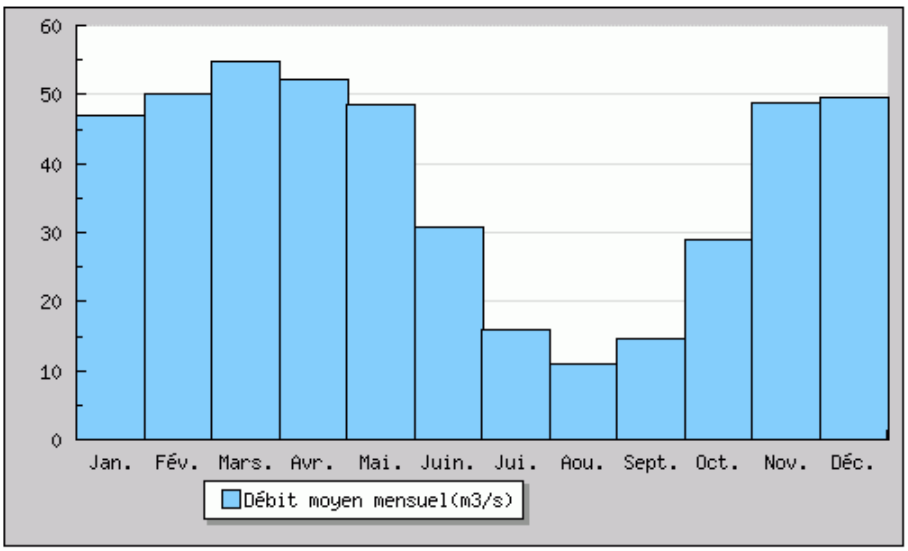


Figure 7 : Débits moyens mensuels à Bas-en-Basset sur 99 ans (Banquehydro, 2017).

Les débits de la Loire sont caractérisés par un écart important entre les hautes eaux et les basses eaux (étiages).

3.3. Occupation du sol

La figure ci-dessous représente l'occupation du sol sur l'ensemble du bassin versant de Grangent.

L'occupation des sols est dominée par les milieux forestiers qui représentent près de 40% de la superficie, forêt de feuillus, conifères et végétation arbustives confondues.

Les prairies et les cultures représentent respectivement 35 % et 22% de la surface totale du bassin versant.

Le tissu urbain quant à lui, ne s'étend que sur 3% du territoire et concerne principalement la Semène, l'Ondaine et le Puy en Velay en haute Loire (Annexe 1).

Sur la Semène la catégorie « Autres » (extraction de matériaux, Décharges et Réseaux routiers et ferroviaire) représente 32% de la superficie, cela s'explique par les extractions importantes qu'a connues la Semène.

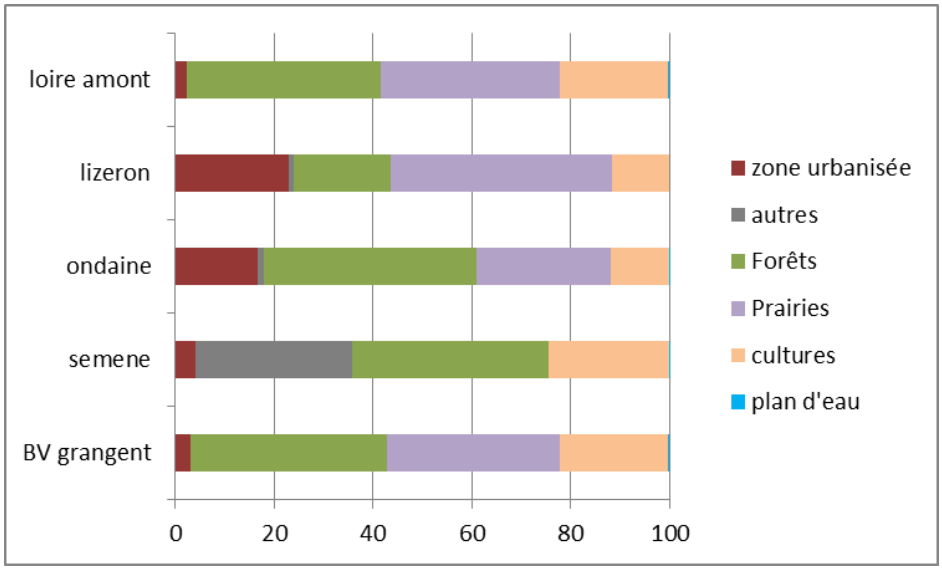


Figure 8 : histogramme représentatif des occupations du sol du bassin versant de Grangent.

(Corine Land Cover 2012)

4. Problématique et objectifs de l'étude

La retenue de Grangent représente une importante réserve d'eau pour la production d'énergie, l'irrigation et la production d'eau potable via le canal du Forez (Berthon, et al., 1996). De plus ce plan d'eau constitue un lieu de pratique des activités nautiques et de baignade, ce qui fait de lui une destination touristique importante.

Néanmoins, l'accroissement des activités humaines au cours du temps a provoqué l'augmentation des rejets industriels, urbains et agricoles entrainant un dysfonctionnement du système. Malgré les efforts menés pour réduire les rejets de polluants, le problème d'eutrophisation des eaux de la retenue de Grangent persiste. En effet, les sédiments

accumulés dans la retenue depuis sa mise en eau en 1957 ont gardé la mémoire des rejets passés.

Ainsi, des engagements ont été pris par le SAGE Loire en Rhône-Alpes, inscrits dans la disposition n° 2.5.3 qui vise à mettre en place un programme de reconquête de la qualité des eaux de Grangent (Figure 9).

Disposition n°2.5.3
Mettre en place un programme de reconquête de la qualité des eaux de Grangent

Le SAGE souhaite le lancement d'un programme ambitieux de reconquête de la qualité des eaux du barrage de Grangent.

Concernant la qualité des eaux de la retenue, les objectifs généraux de ce programme (Loire et ses affluents) sont notamment:
- de connaitre les apports de polluants (toxiques, substances médicamenteuses, et autres substances constituant un danger potentiel pour la santé),
- de définir un plan de reconquête de la qualité des eaux.

La structure porteuse du SAGE étudie les modalités (maîtrises d'ouvrage, juridiques, administratives, techniques, financières) de mise en place de ce programme.

Figure 9: disposition du SAGE Loire en Rhône-Alpes concernant la retenue de Grangent (Conseil départemental de la Loire, 2014b).

Dans ce cadre, le stage vise principalement à :

- Synthétiser et modéliser les flux de phosphore entrant et sortant de la retenue ;
- Analyser les actions des 3 SAGE et les prioriser par rapport à la modélisation des flux de phosphore réalisée ;
- Réaliser une synthèse bibliographique des différentes techniques d'amélioration de la qualité de l'eau et/ou des sédiments des lacs et application à la retenue de Grangent.

5. Démarche méthodologique

Le stage a été axé principalement sur l'estimation des flux de phosphore et l'analyse des sédiments de la retenue dans le but d'améliorer la qualité des eaux à long terme.

Pour cela, et après avoir pris connaissance du contexte et des enjeux au moyen d'une analyse des différents documents mis à ma disposition, et afin de rendre compte de manière fidèle et analytique le travail effectué durant les 5 mois et demi du stage au sein du Département trois phases ont été menées :

- Acquisition des données et analyse bibliographique ;
- Analyses et interprétations des données ;
- Proposition de priorisation d'actions.

PARTIE 2 : ETAT DES LIEUX DE LA RETENUE DE GRANGENT

1. L'eutrophisation et les cyanobactéries

L'eutrophisation est le passage d'un milieu oligotrophe ou mésotrophe à un milieu eutrophie voire hypereutrophe (Austry, 2012). En effet, c'est un enrichissement en éléments nutritifs dissous (phosphore et azote), entraînant la prolifération des algues dans les couches d'eaux superficielles, du fait que les végétaux ont besoin de lumière pour se développer. Lorsqu'elles se décomposent, les algues se déposent en profondeur, les bactéries aérobies s'en nourrissent et consomment de plus en plus d'oxygène (CNRS, 2017). Ainsi, le stock d'oxygène s'épuise, les bactéries ne peuvent plus consommer la matière organique morte et celle-ci s'accumule dans les sédiments.

En été la situation s'aggrave, car la solubilité de l'oxygène dans l'eau diminue quand la température augmente (CNRS, 2017). Le phénomène d'eutrophisation est appelé aussi dystrophisation lorsqu'il est aggravé par les rejets agricoles, industriels et domestiques, ce qui provoque un appauvrissement aigu de l'eau en oxygène et ainsi la mort de l'écosystème aquatique (Vedura , 2017).

Les cyanobactéries ou cyanophycées ou encore algues bleu-vert sont de tailles microscopique, présentant à la fois des caractéristiques d'algues (la photosynthèse grâce à la chlorophylle a) et de bactéries (dépourvues de la membrane isolant le génome du reste de la cellule). (Blais, 2002)

Une grande majorité des cyanobactéries disposent d'une vésicule à gaz à l'intérieur de la cellule permettant de réguler leur niveau dans la colonne d'eau, et ainsi elles peuvent se protéger des chaleurs extrêmes et profiter de l'éclairement en surface et se nourrir des nutriments plus abondants à proximité du fond. Lorsque les conditions ne leur plaisent plus elles sont capables d'entrer en dormance et de revivre quand les conditions sont favorables (Brient, 2004). Elles sont présentes dans tous les milieux ; eaux douces ou saumâtres, eaux salées… mais elles se développent plus dans les eaux douces eutrophisées.

Leur présence est associée à trois facteurs principaux (Levi, 2006):

- Les concentrations élevées en nutriments, principalement l'azote et le phosphore. Les cyanobactéries se développent plus facilement dans des milieux à concentrations supérieures à 20 µg/l pour le phosphore et 1 µg/l pour l'azote ;
- La stabilité de la colonne d'eau ;
- Des conditions météorologiques favorables : luminosité et température de l'eau comprise entre 15 et 30 °C.

Certains types de cyanobactéries représentent un danger majeur pour la vie aquatique et la santé humaine. Cependant, l'estimation de leur degré de toxicité reste complexe à définir. Il y a encore beaucoup d'inconnues, mais leur danger se révèle de plus en plus important.

En effet, les cyanobactéries peuvent produire des toxines à l'intérieur de leurs cellules durant la phase de croissance. Lors de la mort ou la lyse, ces toxines se retrouvent dans l'eau (Vornax, 2017). Selon des auteurs les toxines sont produites pour éliminer les prédateurs et

les potentiels compétiteurs pour les ressources (Vornax, 2017), mais les conditions propices au déclenchement de la production des toxines restent peu connues.

Il existe plusieurs types de toxines, regroupées en 3 trois grandes familles (Austry, 2012) :

- les hépatotoxines, c'est la famille la plus répandue. Elles peuvent causer des hépatoxicitéhémoragiques, fibrose, cytolyse hépatique, tumeur au foie et au tube digestif ;
- les neurotoxines, peuvent avoir comme effets des maux de tête, malaise, vomissement, diarrhées, paralysie ;
- les dermatotoxines, sont les moins dangereuses, elles provoquent néanmoins des allergies cutanées : inflammations, démangeaisons, irritations…

1.1. Conséquences de la présence des cyanobactéries

- Enjeux environnementaux

Le développement des cyanobactéries dans les plans d'eau provoque plusieurs problèmes environnementaux. Leur présence en surface limite les échanges gazeux entre l'atmosphère et l'eau provoquant ainsi un appauvrissement en oxygène. De plus, la décomposition de la matière organique par les bactéries consomme l'oxygène. En conséquence, le milieu devient anoxique et la vie aquatique est perturbée.

En effet, l'anoxie du milieu n'est pas le seul enjeu environnemental de la prolifération des cyanobactéries. Elles peuvent produire également des molécules odorantes du type methylisobornéol et géosmine (molécules odorantes libérées à la suite de la lyse cellulaire de cyanobactéries) qui dégagent des mauvaises odeurs. En outre, la destruction de l'aspect paysager créant une nuisance visuelle (Levi, 2006).

- Enjeux sanitaires

Les effets toxicologiques résultent de l'exposition d'un individu à des contaminants présents dans le milieu (Austry, 2012). En effet, l'intoxication humaine peut se faire selon 3 modes :

- Contact direct avec l'eau contaminée, notamment lors de la baignade, la pratique d'activités nautiques ;
- La consommation d'aliments et d'eaux contaminées
- L'inhalation de l'écume ; exposition plus rare, présentant des risques sur les personnes se tenant près de l'efflorescence (Deharo, 2008).

Cette exposition peut causer plusieurs dommages à la santé humaine selon la nature des toxines et la durée d'exposition.

- Conséquences sur l'économie

La prolifération des cyanobactéries dans les plans d'eau peut avoir plusieurs impacts économiques. En effet, la dégradation de la qualité entraine une réduction des usages du plan d'eau notamment, la baignade, la pratique des sports nautiques et la pêche. Lorsque ces activités sont restreintes voir interdites, la fréquentation des hôtels, campings et bases

nautiques diminue. En conséquence, le tourisme est fortement touché dans les régions impactées par ce phénomène.

En outre, la valeur immobilière des propriétés à proximité du plan d'eau peut baisser de 10 à 15% (COGEBY, 2017).

1.2.Aspects réglementaires de la qualité des eaux

- Eaux de baignade

Les eaux destinées à la baignade et aux sports nautiques sont régies par la directive cadre européenne 76/160/CEE adoptée en 1976 et transposée en droit français par le code de la santé publique (livre III, articles L1332) (Vornax, 2017). Elle ne comporte pas les textes réglementaires relatifs à la gestion des risques liés à la prolifération des cyanobactéries. Ce n'est qu'en 2003, que la Direction générale de la santé a publiée des recommandations de surveillance et de gestion de phénomènes de prolifération de cyanobactéries dans des eaux de baignade (avis du CSHPF du 6 mai 2003).Elle prévoit 3 niveaux d'alerte avec les mesures à prendre (tableau 1).

Tableau 1: Seuils réglementaires et recommandations de gestion et de surveillance en fonction du niveau de contamination par les cyanobactéries (Vornax, 2017).

Niveau d'alerte	Nombre de cyanobactéries et teneur en microcystine	Recommandations
Niveau 1	<20 000 cellules/ml	Surveillance : journalière renforcée et réalisation d'un comptage et d'une identification au moins bimensuelle. Gestion : informations du public au niveau des zones d'écume ou d'efflorescence.
	>20 000 et <100 000 cellules/ml	Surveillance renforcée quotidienne, comptage et identification hebdomadaire. Gestion : informations du public au niveau des zones d'écume ou d'efflorescence et des zones d'usages par affichage sur site.
Niveau 2	>100 000 et taux de microcystine LR < 25µg/l	Surveillance : poursuite du suivi hebdomadaire Gestion : limitation de la baignade dans les zones les plus concentrées, informations du public.
	>100 000 et taux de microcystine LR >25µg/l	Surveillance : poursuite du suivi hebdomadaire. Gestion : interdiction de la baignade et limitation des activités nautiques, informations du public.
Niveau 3	Présence de mousse ou d'écume	Surveillance : suivi de l'évolution des mousses ou écume et de leur localisation, poursuite du suivi hebdomadaire, suivi des concentrations en toxines au moins bimensuel. Gestion : interdiction de la baignade et de toutes les activités nautiques, prévenir tout contact de personnes ou d'animaux avec les écumes, informations du public.

- Eau potable

L'OMS définit une concentration maximale de 1 µg/l de microcystine LR comme valeur acceptable des eaux potables.

Le décret n°2001-1220 du 20 décembre 2001 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux minérales naturelles indique que la recherche de microcystine LR doit être effectuée en cas de prolifération d'algues dans les eaux brutes (Vornax, 2017).

2. Analyse de la problématique locale :

Depuis sa mise en eau, la retenue de Grangent présente un caractère eutrophe voir hyper-eutrophe. Cet état d'eutrophie a souvent des impacts nocifs sur la qualité de l'eau et la santé publique (interdiction de la baignade).

Pour mieux comprendre l'origine de la dégradation de la qualité des eaux de la retenue de Grangent et pouvoir gérer ce problème dans le futur, des paramètres liés à l'eutrophistaion ont été retenus (Thomas & Le Gall, 2009) :

- Température ;
- Oxygène dissous ;
- Chlorophylle a ;
- Matière en suspension ;
- Éléments phosphorés.

L'observation a été faite sur une série de données de 2007 à 2015 en deux points ; à l'amont du barrage à Malvalette et à l'aval du barrage à Saint-Just-Saint-Rambert.

2.1. Variations saisonnières de la qualité des eaux

2.1.1. La température

L'analyse des profils thermiques à l'amont et à l'aval de la retenue montre que la température des eaux varie de 3 °C à 20 °C. Les températures les plus élevées sont en période des basses eaux.

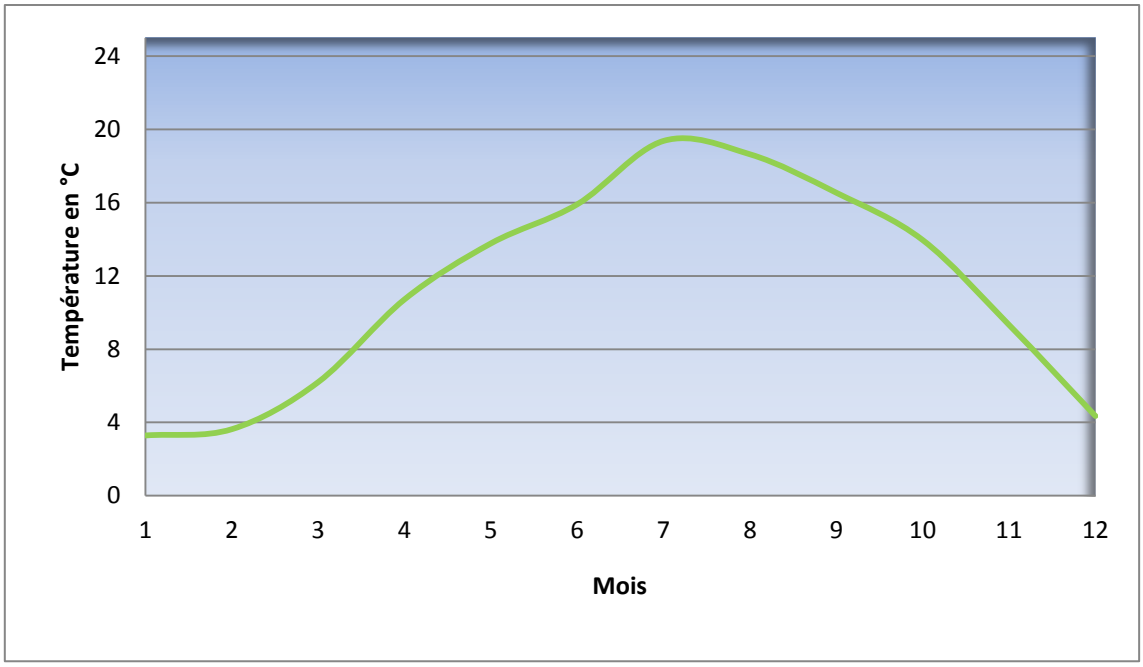


Figure 10 : Évolution de la température (moyennes mensuelles 2010 – 2015).

La température de l'eau est un paramètre important dans les rivières. Elle constitue un facteur majeur d'eutrophisation. Selon des études, la synthèse des toxines est maximale à des températures comprises entre 18 et 25°C. Alors que des températures inférieures à 10°C et supérieurs à 30°C diminuent leur production (Oullet, 2012). De ce fait, les températures observées en été dans le bassin versant de Grangent sont favorables à la production des toxines.

Ces températures peuvent également avoir un impact sur la faune piscicole dominée par la truite fario, le vairon, le chevaine, le goujon, la loche franche et le chabot (Contrat de rivière Ondaine-Lizeron, 2015). En effet, certaines valeurs de températures (basses ou élevées) peuvent impacter des éléments qui deviennent non compatibles avec les exigences d'une espèce. En conséquence le poisson rentre dans un stress et peut mourir si certaines valeurs dépassent ses limites vitales.

Le preferendum thermique de la truite est compris entre 4 °C et 19 °C. Lorsque la température est inférieure ou supérieure à cet intervalle, la truite entre dans un stress. Quand la température dépasse 25 °C les conditions deviennent létales à sublétales pour ce poisson (Caudron, 2011). Les températures moyennes mensuelles de 2010 à 2015 enregistrées en été (à peu près 20°C), représentent alors des conditions non favorables au développement des truites.

2.1.2. La matière en suspension

La matière en suspension reflète la turbidité de l'eau pouvant provenir du développement du phytoplancton ou de la mise en solution des particules inorganiques.

La figure 12 représente l'évolution de la matière en suspension de 2007 à 2015.

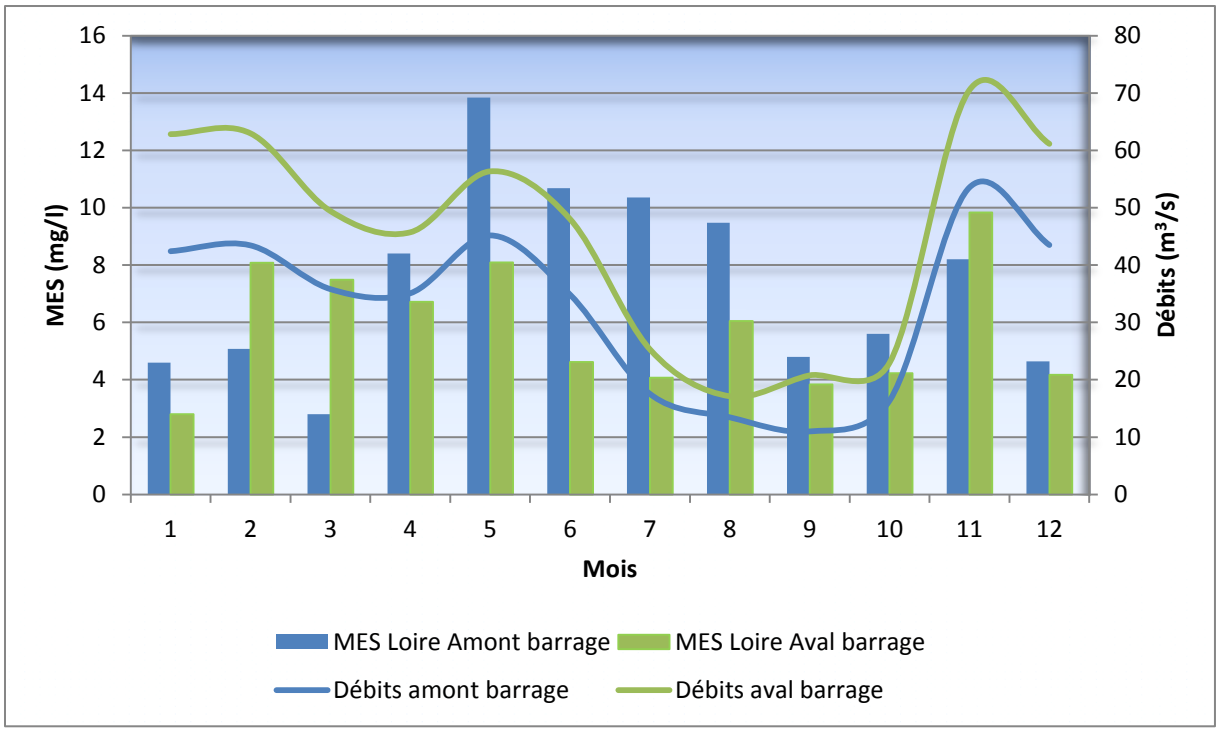


Figure 11 : Évolution de la matière en suspension et des débits à l'amont et à l'aval du barrage (Moyennes mensuelles 2007-2015)

L'analyse des profils montre une corrélation entre l'amont et l'aval du barrage.

Pendant février, mars et novembre, la quantité de matière en suspension est plus importante à l'aval. Cela est expliqué par des plus forts débits enregistrés en aval durant ces périodes, et donc une turbidité élevée.

Durant les périodes estivales, l'écart entre l'amont et l'aval est nettement plus important qu'en période humide. Cette augmentation de quantité de matière en suspension à l'amont du barrage est alors liée à l'ajout de l'origine organique ; dû au développement du phytoplancton.

2.1.3. Oxygène dissous

Globalement l'évolution de l'oxygène dissous se fait selon deux phases ; une phase hivernale où la rivière est riche en oxygène et une phase estivale pauvre en oxygène (Figure 13).

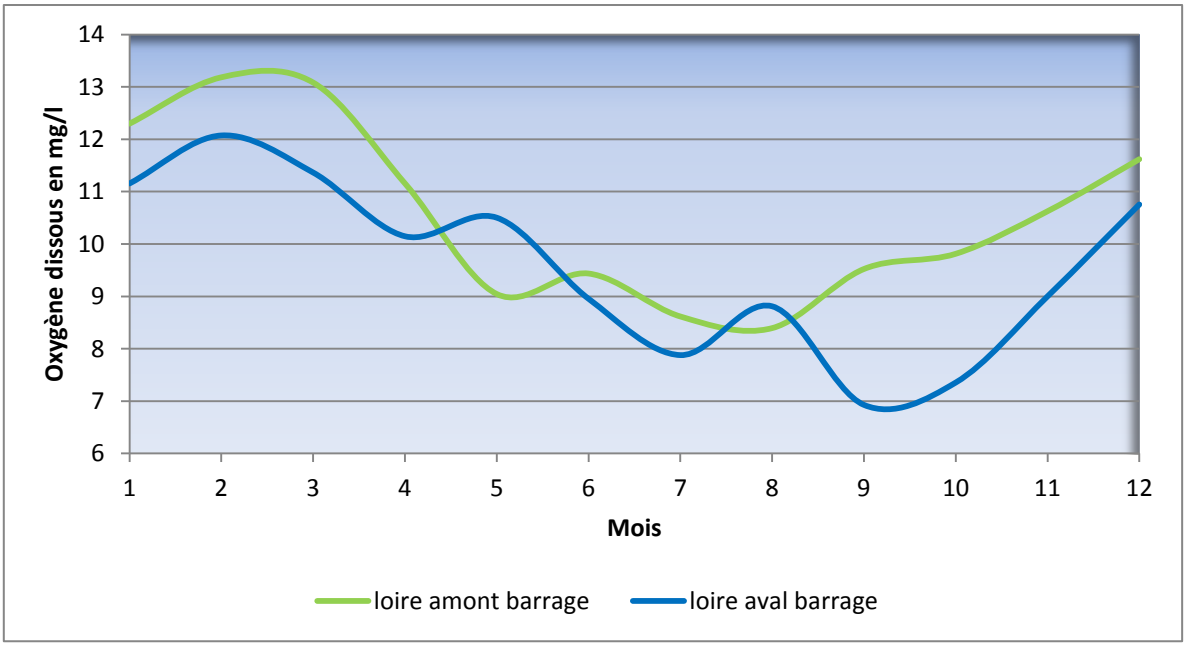


Figure 12 : Évolution de l'oxygène dissous à l'amont et à l'aval du barrage (moyennes mensuelles 2007-2015).

L'abondance en oxygène dissous est fonction de plusieurs paramètres. Elle dépend principalement de la température ; plus la température augmente, plus la concentration en oxygène dissous baisse. De plus, la retenue de Grangent est caractérisée par sa richesse en nutriments (azote et phosphore), permettant le développement des microorganismes consommateurs d'oxygène ce qui explique bien la chute observée en été.

Des mesures ont été faites sur la retenue durant quelques périodes de l'année, mais ne sont pas suffisante pour représenter l'évolution annuelle. Les résultats des mesures sont renseignés dans le tableau 2 ci-dessous.

Tableau 2 : Concentration en oxygène dissous dans la retenue de Grangent (en mg (O_2)/l)

Date	Concentration
01/03/2007	9,1
01/05/2007	6,1
01/07/2007	**4,8**
01/10/2007	**3,8**
01/03/2010	11,0
01/05/2010	10,4
01/08/2010	**4,3**
01/09/2010	5,4
01/03/2013	10,1
01/05/2013	10,1
01/07/2013	**3,3**
01/09/2013	**3,4**

Dans la retenue, où l'eau est stagnante, la concentration en oxygène dissous est beaucoup plus faible qu'à l'amont du barrage. Elle peut atteindre des valeurs inférieures à 5 mg/l de juillet à octobre. Ces valeurs renseignent sur la qualité des eaux qui selon la grille d'évaluation de la qualité des rivières (Annexe 2) représente une pollution nette. En effet, les faibles concentrations en oxygène dissous sont liées à la décomposition de la matière organique provenant d'une importante biomasse algale (Hubert, 2016).

2.1.4. Éléments phosphorés

La figure ci-dessous représente des moyennes annuelles des concentrations en phosphore à l'amont du barrage de Grangent.

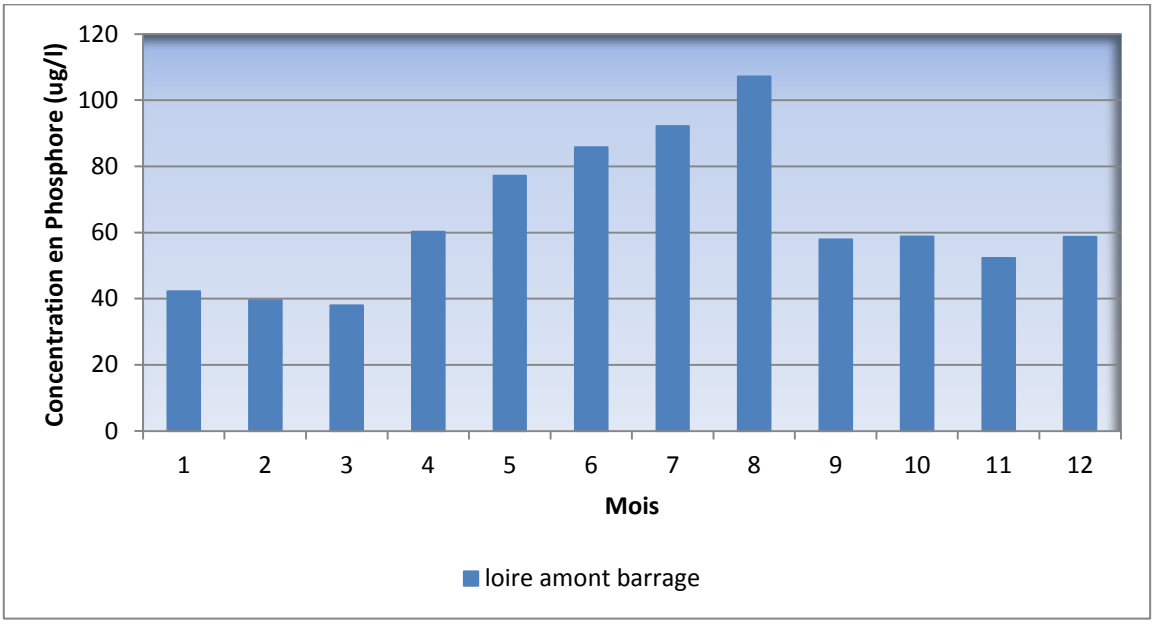


Figure 13 : Évolution des concentrations en phosphore à l'amont du barrage de Grangent

(Moyennes mensuelles 2007-2015).

Les concentrations en phosphore présentent un cycle saisonnier avec une augmentation importante durant le printemps et l'été. En effet, durant les périodes des hautes eaux où le ruissellement est plus important, les apports par ruissellement d'origine agricole s'ajoutent aux rejets ponctuels par intensification de l'érosion des sols. Contrairement à ce cas, les concentrations les plus élevées sont enregistrées durant les périodes des basses eaux, ce qui peut être expliqué par une moindre dilution.

Les concentrations observées dans le cours d'eau sont supérieurs à 20 µg/l, représentant ainsi des conditions favorables au développement des cyanobactéries (Levi, 2006).

2.2.Variation annuelle de la qualité des eaux de la retenue

2.2.1. Chlorophylle a

La chlorophylle a est un pigment présent chez la grande majorité des plantes et des algues. Il indique la quantité d'algues en suspension présentes dans l'eau. En effet, une teneur elevée en chlorphylle a est liée à un développement important des végétaux. Donc, c'est un indicateur de l'état des eaux. D'après le tableau 3 des teneurs supérieurs à 8 µg/l en chlorophylle a indique l'eutrophie du milieu.

Tableau 3 : Critères de qualité des eaux pour la chlorophylle a établis par le MDDELCC (Hubert, 2016).

	Teneurs	Critères
Chlorophylle a	1-3 µg/l	Oligotrophe (RSVL)
	3-8 µg/l	Mésotrophe (RSVL)
	8-25 µg/l	Eutrophe (RSVL)

L'analyse des données indique que les concentrations en chlorphylle a à l'amont du barrage sont généralement inférieur à 8 ug/l ; valeur non déclassente de la qualité des eaux, excepté pour l'échantillonage du mois de septembre 2011 et des mois d'avril 2012-2014 où les valeurs dépassent le seuil.

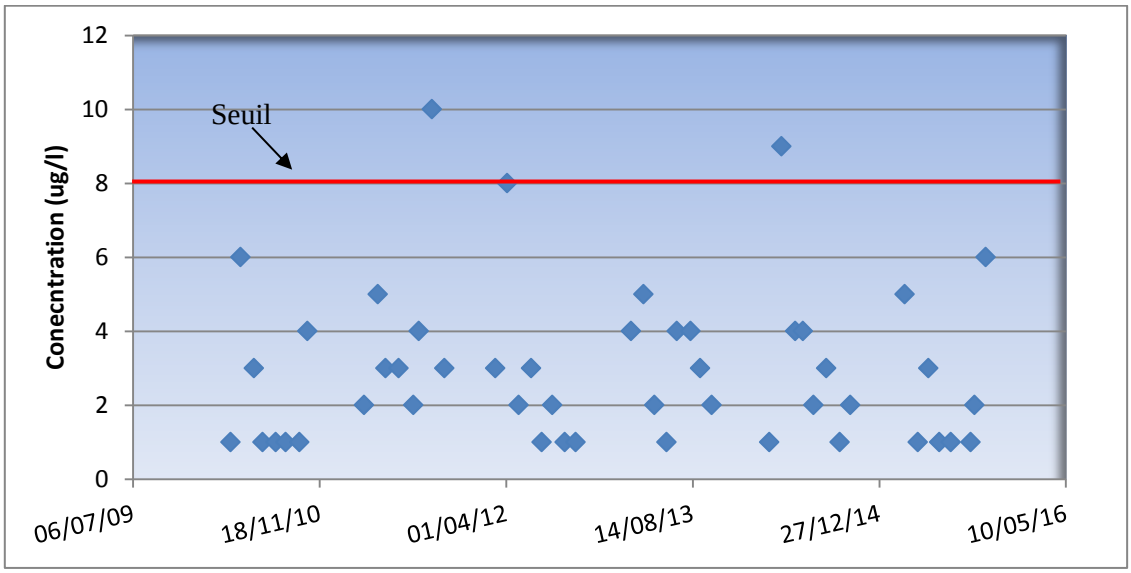


Figure 14 : Évolution des concentrations de chlorophylle a à l'amont du barrage de Grangent.

D'autre part des prélèvements ont été faits au niveau de la retenue en 2007, 2010 et 2013 (Annexe 4).

Les teneurs enregistrées étaient de l'ordre de 133 ug/l permettant de classer cette retenue comme ayant un statut eutrophe voir hyper-eutrophe. Les concentrations sont plus importantes dans la retenue car les eaux sont stagnantes et favorisent le développement phytoplanctonique.

La chlorophylle a est un paramètre important de l'eutrophisation. C'est pourquoi, il est impératif de faire un suivi régulier de ce paramètre.

2.2.2. Matières phosphorés

La figure 16 illustre l'évolution du phosphore de 2007 à 2015.

L'observation de la figure montre une évolution assez stable dans le temps qui varie entre 0.02 et 0.1 mg/l, sauf en 2008 où la concentration en phosphore a atteint 0.34mg/l. Cette augmentation est notamment liée à la crue de novembre 2008 qui a enregistré un débit de

pointe de 2750 m^3/s. Un autre pic a été enregistré en 2013, lié également à une crue en mai 2013 (538 m^3/s).

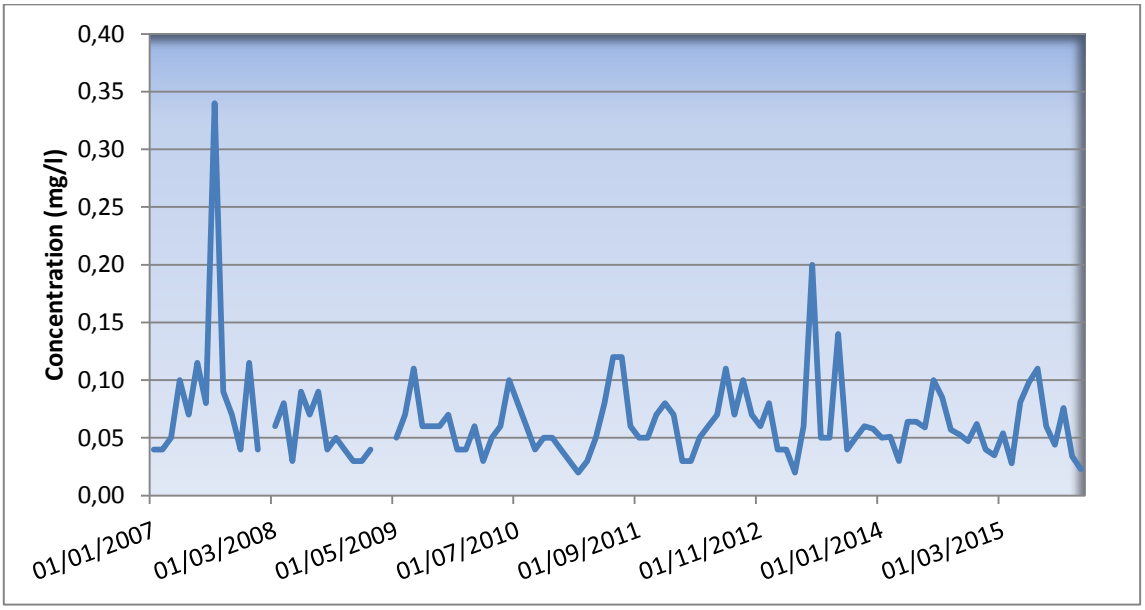


Figure 15 : Évolution des concentrations de phosphore à l'amont du barrage de Grangent.

L'analyse de la chronique temporelle, indique que la concentration en phosphore n'a pas baissé sur les 12 ans. De plus, elle permet de mettre en évidence l'importance du lessivage des sols sur les concentrations en phosphore enregistrées dans le cours d'eau.

PARTIE 3 : ESTIMATION DES FLUX DE PHOSPHORE DU BASSIN VERSANT DE GRANGENT

Jusqu'ici, l'estimation des flux de polluants est une thématique mal abordée au niveau national et international, vu la confidentialité des données dans la majeure partie des programmes de surveillance de la qualité des eaux.

Afin d'établir une relation entre les charges des rejets polluants et leurs effets sur le milieu, il est indispensable d'avoir une connaissance ou une estimation des flux des polluants.

Actuellement, aucun dispositif de suivi n'est mis en place. Toutefois, une estimation des flux (un ordre de grandeur) peut être faite à partir des données disponibles, issues des anciennes études ou des réseaux de mesure existants.

En raison des problématiques liées au transfert de polluants, qui impactent la qualité des eaux de GRANGENT destinées à l'alimentation en eau potable, à l'irrigation et à la baignade, l'évaluation de ces flux est devenue une nécessité.

L'objectif de cette partie de l'étude est d'estimer les flux de phosphore dans la retenue du barrage de Grangent, en se basant sur l'analyse de données existantes.

1. Flux de phosphore dans le bassin versant de la retenue de Grangent

1.1. Calcul de la charge totale en phosphore :

Les sources du phosphore peuvent être ponctuelles ou diffuses. Le phosphore d'origine ponctuelle est généralement émis directement dans le cours d'eau par les rejets des stations d'épuration et les rejets industriels... Alors que le phosphore d'origine diffus se retrouve dans l'eau par ruissellement des sols.

De nombreuses méthodes ont été utilisées pour l'estimation des apports en phosphore. Ces méthodes permettent seulement une estimation globale du flux de phosphore par l'évaluation de flux spécifique ou de coefficients d'exportation de phosphore (Florent, 2014).

1.1.1. Émissions agricoles :

Les flux de phosphore d'origine agricoles émis dans les cours d'eau ont deux sources :

- Les apports par le lessivage des sols
- Les apports par les déjections animales

➢ **Apport par lessivage des sols**

Il existe plusieurs méthodes d'estimation des flux de phosphore en milieu agricole. La méthode utilisée ici est très basique, elle est basée sur l'estimation du transfert par type d'occupation du sol.

Les données utilisées sont :

- CORINE LAND COVER 2012
- Tableau représentant les fonctions d'apport par type d'occupation des sols (Annexe 5).

La superficie reliée à chaque occupation du sol pour les territoires des trois SAGE étant calculé à partir de la CORINE LAND COVER 2012 et ensuite multipliée par les coefficients d'exportation attribués à chaque type d'occupation représenté dans. Ces coefficients représentent les quantités de phosphore émis par unité de surface pour chaque occupation du sol (RAPPEL, 2010).

L'utilisation du RPG (Registre Parcellaire Graphique) qui représente le type de culture par occupation du sol donne des résultats plus précis. Cependant, l'absence de données sur la quantité de phosphore exportée par les plantes et la complexité des formes du phosphore représentent une limite à l'utilisation de cette méthode.

Le tableau 4 ci-après représente les surfaces par type d'occupation sur les territoires des trois SAGE couvrant le bassin versant de Grangent.

Tableau 4: surfaces (en km^2) par type d'occupation de sol.

Type d'occupation	SAGE Loire en Rhône Alpes	Sage Lignon	Sage Loire amont
Zone urbanisée	37.46	16.95	62.09
Forêts	183.52	319.43	991.38
Prairies	115.85	263.41	941.78
Cultures	84.23	106.78	629.35
Plan d'eau	4.41	2.11	4.7
autres	1.64	0.15	1.11
Surface totale	427.11	708.85	2630.40

Le tableau montre que la forêt occupe à peu près de 40% du territoire de chaque SAGE, en additionnant le recouvrement des plans d'eau, on obtient l'ensemble de l'occupation naturelle du bassin versant. Les superficies occupées par des utilisations anthropiques représentent alors plus de 50% du territoire.

En vue d'ensemble le bassin versant de Grangent est orienté vers l'agriculture.

L'estimation de l'exportation du phosphore en milieu agricole prend en compte les forêts, les prairies et les cultures.

Le tableau 5 ci-dessous montre que les cultures sont la principale source du phosphore sont avec 32.7 tonne/an, alors que les forêts et les prairies ne représentent que 6.9 tonne/an.

Le bassin versant du SAGE Loire-Amont draine à lui seul 29.8 tonnes/an, et 9.8 tonnes/an pour les deux autres SAGE, ce qui s'explique par sa plus grande superficie.

Ces valeurs restent non précises, car elles dépendent fortement du choix des coefficients d'exportation ainsi que de l'occupation du sol qui change d'une année à une autre, et ne prennent pas en compte la pente et les conditions hydrologiques qui sont des paramètres importants dans le transfert des polluants. Le diagnostic fait par Evelys à la demande de Saint-Etienne métropole a montré que les conditions pédoclimatiques induisent des risques de transfert potentiel importants sur l'Ondaine et le Lizeron (Envilys, 2011), alors que les

coefficients choisis pour le calcul sont faibles donc les valeurs obtenues peuvent être sous-estimées.

Tableau 5 : les flux de phosphore exportés par ruissellement (tonne/an).

	SAGE Loire en Rhône-Alpes	SAGE Lignon	SAGE Loire Amont
Forêts	0.5	0.9	2.9
Prairies	0.2	0.5	1.9
Cultures	3.4	4.3	25
somme	4.1	5.7	29.8

Sur ce volet plusieurs problèmes sont à l'origine de l'apport important en phosphore (Envilys, 2011) :

- Les exploitants n'ont pas recours à des outils d'aide à la décision en matière de pilotage de nutrition phosphorée en raison du manque de moyens.
- Les exploitants ne connaissent pas les valeurs fertilisantes de leurs engrais, de plus les besoin réels des végétaux et les rendements sont mal connus.
- Les contraintes de l'épandage qui peuvent se décrire en l'éloignement des parcelles épandables, la diminution de ces surfaces par l'explosion démographique, la pente…Ainsi, certaines parcelles reçoivent des quantités importantes ce qui limite l'absorption du phosphore et favorise donc son transfert vers le milieu aquatique.

➢ **Apports par les déjections animales**

Les apports par les déjections animales se répartissent selon deux voies (CEME, 2004) :

- La plus grande partie des déjections est épandue sur les sols agricoles, soit directement quand les animaux sont en pâture, soit par épandage mécanique quand les animaux sont à l'étable. Une part du phosphore contenue dans cette matière organique est assimilée par les plantes et l'autre part est lessivée vers les eaux.
- Une faible partie atteint directement le cours d'eau, mais elle est difficile à estimer.

Les données utilisées pour l'estimation des effluents d'élevage sont :

- Le nombre d'élevages et de cheptels par commune de 2000 et 2010 (Annexe 6) ; données existantes sur le site du ministère de l'agriculture et de l'alimentation. Elles donnent les effectifs des animaux par commune.
- Rejet en P des différences espèces Références CORPEN. Elles sont exprimées en masse de P_2O_5 par animal ou en masse de P_2O_5 par animal par an (Annexe 7). L'estimation ne prend en compte que les animaux qui ont une référence CORPEN (ITP, 2011).

Les calculs sont faits selon deux modes (ITP, 2011):

- Calcul des rejets lorsque la référence CORPEN est exprimée en masse de P_2O_5/animal produit. Elle nécessite une conversion La quantité de phosphore rejeté par l'animal i dans le département j est exprimée par la formule suivante :

$$(P_2O_5)\ i, j = Ni, j\ (P_2O_5)\ j$$

$$Ni, j = \rho j\ (PV)j$$

Avec,

(P2O5) i, j : Rejets en P_2O_5 dans le département i et pour l'animal j considérés (tonne P_2O_5/an)

Ni, j : Nombre d'animaux dans le département

(P_2O_5) j : Références CORPEN définies l'animal j (kg/animal produit)

(PF) i, j : Poids Net d'animaux produits finis j dans le département i (tonne/an)

(PV)j : Poids vif moyen de l'animal j avant abattage en Kg(Annexe 7).

ρj : Rendement en Poids Vif et Poids Net de l'animal j

- Calcul des rejets lorsque la référence CORPEN est exprimée en masse de P_2O_5/animal/an. La quantité de phosphore rejeté par l'animal i dans le département j est exprimée par la formule suivante :

$$(P_2O_5)i, j = Ei, j\ (P_2O_5)i, j$$

Avec,

E i, j : Effectif de l'animal j dans le département i (nombre de têtes).

Les résultats obtenus sont en P_2O_5, alors que les autres rejets sont en P. Afin de pouvoir les comparer il faut avoir une unité cohérente. Pour cela une multiplication par le facteur 0.4364 est indispensable (Agro service international, 2017)

Les rejets totaux calculés représentent la totalité de ce qui est produit en phosphore par les animaux. Afin d'obtenir la fraction rejetée directement par les bovins, des taux peuvent être appliqués (CEME, 2004) :

- En hiver, quand les bovins sont dans l'étable un taux de rejets directs de 3% de la charge totale est appliqué. Ce taux est lié à une large incertitude, il peut varier d'une année à l'autre, selon les conditions météorologiques et l'état des installations.
- En été, quand les bovins sont en pâture, le taux est estimé à 0.5%.

Ainsi, une moyenne annuelle de 2% sera appliquée pour les apports directs des bovins.

Les figures 17et 18 montrent l'évolution et la répartition des types d'élevage entre 2000 et 2010.

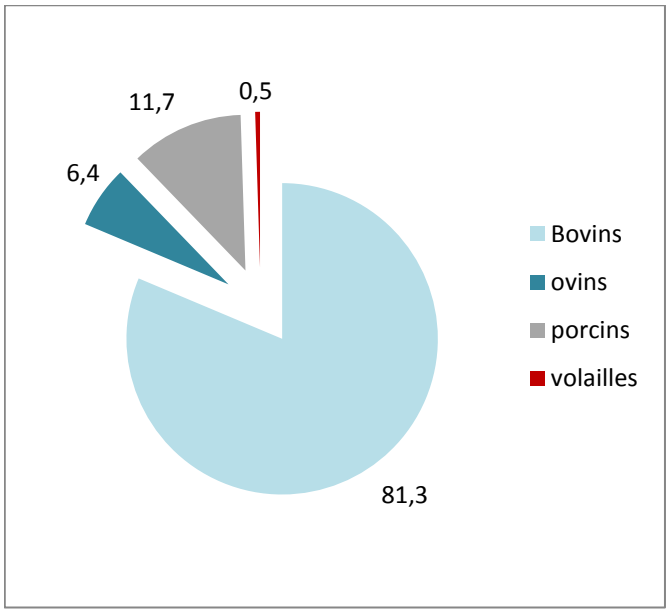


Figure 17 : Pourcentage du phosphore mis en jeu par les différents types d'élevage en 2000 dans le bassin versant de Grangent.

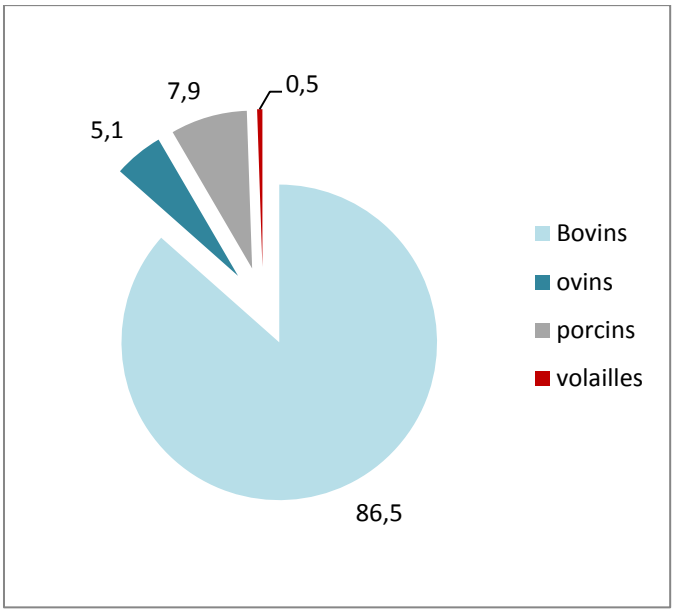


Figure 16 : Pourcentage du phosphore mis en jeu par les différents types d'élevage en 2010 dans le bassin versant de Grangent.

Le bassin versant est dominé par les bovins qui représentent 80% des élevages. Les 20 % restant sont répartis entre les porcins, les ovins et les volailles.

Entre 2000 et 2010, on note une augmentation de 5% pour les bovins, et une baisse pour les porcins et les ovins qui sont respectivement de 3 % et 1.3 %.

Le tableau 6 présente le résultat des apports totaux en phosphore par les effluents d'élevages dans le bassin versant de Grangent.

Tableau 6 : Apport total en phosphore par type d'élevage (tonne/an).

		SAGE Loire en Rhône-Alpes		SAGE Lignon		SAGE Loire Amont	
		2000	**2010**	**2000**	**2010**	**2000**	**2010**
BOVINS	**Vache laitière**	63	53	252	210	660	534
	Vache allaitantes	21	17	73	78	108	120
	Bovins > 1 an	27	29	100	104	185	206
	Bovins < 1an	1	1	37	49	83	107
OVINS	**Brebis**	7	6	21	14	95	64
PORCINS	**Porc**	46	36	78	43	108	60
VOLAILLES	**Poulets**	4	0	3	4	3	5
	somme	**169**	**142**	**564**	**502**	**1242**	**1096**

L'examen du tableau montre que la plus grande partie de phosphore est produite par les bovins avec une quantité de 1610 tonnes de phosphore en 2000 et 1508 tonnes en 2010. Les deuxièmes producteurs sont les porcins avec une valeur de 232 tonnes de phosphore en 2000 et 139 tonnes en 2010, ensuite les ovins et les volailles.

Cette répartition des quantités de rejets est expliquée par le nombre de têtes des bovins dans le bassin versant estimé à 148 318 têtes en 2000 et à 148 221 têtes en 2010. Alors que pour les ovins, porcins et volailles le nombre de têtes est bien inférieur à celles des bovins (Annexe 6). De plus, la référence CORPEN des rejets en phosphore relative aux bovins est supérieure aux autres types d'élevage (Annexe 7).

Ces valeurs ne représentent pas les exportations vers le cours d'eau mais plutôt les apports totaux par les effluents d'élevages.

Rappelons que la fraction directement exportée vers le cours d'eau représente 2 % des apports totaux par les effluents d'élevage. De ce fait, le tableau 7 ci-dessous représente la fraction en phosphore exportée directement vers le cours d'eau par les animaux :

Tableau 7 : Apport réel exporté directement au cours d'eau (tonne/an).

	2000	**2010**
SAGE Loire en Rhône-Alpes	3.3	2.8
SAGE Lignon	11.3	10
SAGE Loire Amont	24.8	22
Somme	39.4	34.8

D'après les résultats du tableau, les apports directs par les animaux ont connu une baisse de 4.6 tonne de 2000 à 2010.

En moyenne, les effluents d'élevage apportent environ 35 tonnes/an de phosphore au cours d'eau. Ces résultats sont affectés d'une large incertitude car ils dépendent des références et des taux appliqués.

En termes d'apports directs par les bovins, le territoire du SAGE Lignon apporte une quantité importante en phosphore par rapport aux SAGE Loire amont et Loire en Rhône-Alpes. En effet, la superficie du territoire du SAGE Loire amont représente 4 fois celle du SAGE Lignon, alors qu'elle apporte que 2 fois la quantité drainée par le territoire du SAGE Lignon. Cette comparaison montre qu'au niveau du SAGE Lignon il existe une concentration importante en bovins sur une petite superficie.

Les effectifs des animaux peuvent augmenter d'une année à l'autre tout en gardant le même nombre de structure ce qui induit à une concentration plus élevée en animaux. Les petites exploitations n'ont pas toujours les moyens pour la mise aux normes, ce qui peut conduire à une augmentation des rejets.

1.1.2. Émissions industrielles

Les données utilisées pour l'estimation des flux d'origine industrielle émanent de la base nationale des émissions polluantes des installations industrielles (IREP, 2017).

Cette base de données est disponible sur le site de Géorisques en accès libre sous format Excel. Elle est mise à jour deux fois par an.

Elle comporte :

- Les émissions ;
- Les établissements ;
- Les prélèvements ;
- Les productions de déchets dangereux ;
- Les productions de déchets non-dangereux ;
- Le traitement de déchets dangereux ;
- Le traitement de déchets non-dangereux.

Dans le cadre de cette étude, seules les émissions de phosphore seront prises en compte. Ainsi, un fichier « rejets industriels » a été généré, qui reprend la charge de phosphore rejetée par industrie avec les coordonnées (x, y) correspondantes.

Le tableau 8 représente les apports industriels en phosphore par territoire du SAGE.

Tableau 8 : Flux de phosphore d'origine industrielle par SAGE (en tonne/an).

	Année	Industries recensées	Flux de phosphore produits	Flux de phosphore rejetés
SAGE Loire en Rhône-Alpes	**2010**	44	6.1	3.1
	2011	39	4.5	1.5
	2012	41	4.2	1.1
	2013	44	5	1.2
	2014	38	4.9	1
SAGE Loire Amont	**2010**	43	7.6	3.6
	2011	42	10.8	4.3
	2012	42	10.8	4.4
	2013	41	8.9	2.8
	2014	44	10.4	4.5
SAGE Lignon	**2010**	12	8.7	6.6
	2011	10	6.7	3.4
	2012	9	6.7	2.3
	2013	10	4.6	0.6
	2014	9	5.4	1.2
Somme (Bassin versant Grangent)	**2010**	99	22.4	13.3
	2011	91	22	9.2
	2012	92	21.7	7.8
	2013	95	18.5	4.6
	2014	91	20.7	6.7

Dans le cas du territoire du SAGE Loire Amont, à peu près 44 industries produisant une pollution phosphorée ont été recensées. Les rejets sur ce territoire ont connu une augmentation estimée à 1 tonne/an de 2010 à 2014. Les principales industries rejetant du phosphore dans le milieu sur le territoire de ce SAGE sont : les abattoirs, industrie du textile, les tanneries et les industries du lait qui représentent plus de 50% des rejets. La zone industrielle sur le SAGE Loire amont est concentrée principalement au niveau du Puy-En-Velay.

Quant au SAGE Lignon, les industries produisant du phosphore sont 3 fois moins nombreuses que sur le territoire du SAGE Loire Amont. Pourtant, ils rejettent presque la même quantité en phosphore. En effet, sur ce territoire les industries dominantes sont celles de la transformation des produits d'origine animalière qui font partie des premiers producteurs de phosphore. L'évolution des rejets de 2010 à 2014 montre une nette amélioration estimée par une baisse de 4.5 tonnes /an. La zone industrielle sur le territoire du SAGE Lignon est située sur la Dunière.

Enfin, le SAGE Loire en Rhône-Alpes à l'amont du barrage de Grangent regroupe un grand nombre d'industries sur un territoire très petit en comparaison avec les autres SAGE. Elles se localisent essentiellement sur la vallée de l'Ondaine. Les rejets industriels sur ce territoire produisent et rejettent donc moins de phosphore, en raison du type d'activité exercée essentiellement dans le textile, le traitement de surface et les activités mécaniques. Le SAGE Loire en Rhône-Alpes a enregistré également une amélioration importante en termes de rejets au fil du temps.

Sur l'ensemble du territoire, le bilan des rejets de phosphore montre une diminution nette entre 2010 et 2014, estimée à 50 %. Les figures 18 et 19 ci-dessous mettent en évidence cette évolution. Elles permettent de voir les efforts élaborés par les trois SAGE (Loire amont, Loire en Rhône Alpes et Lignon) sur leurs territoires respectifs.

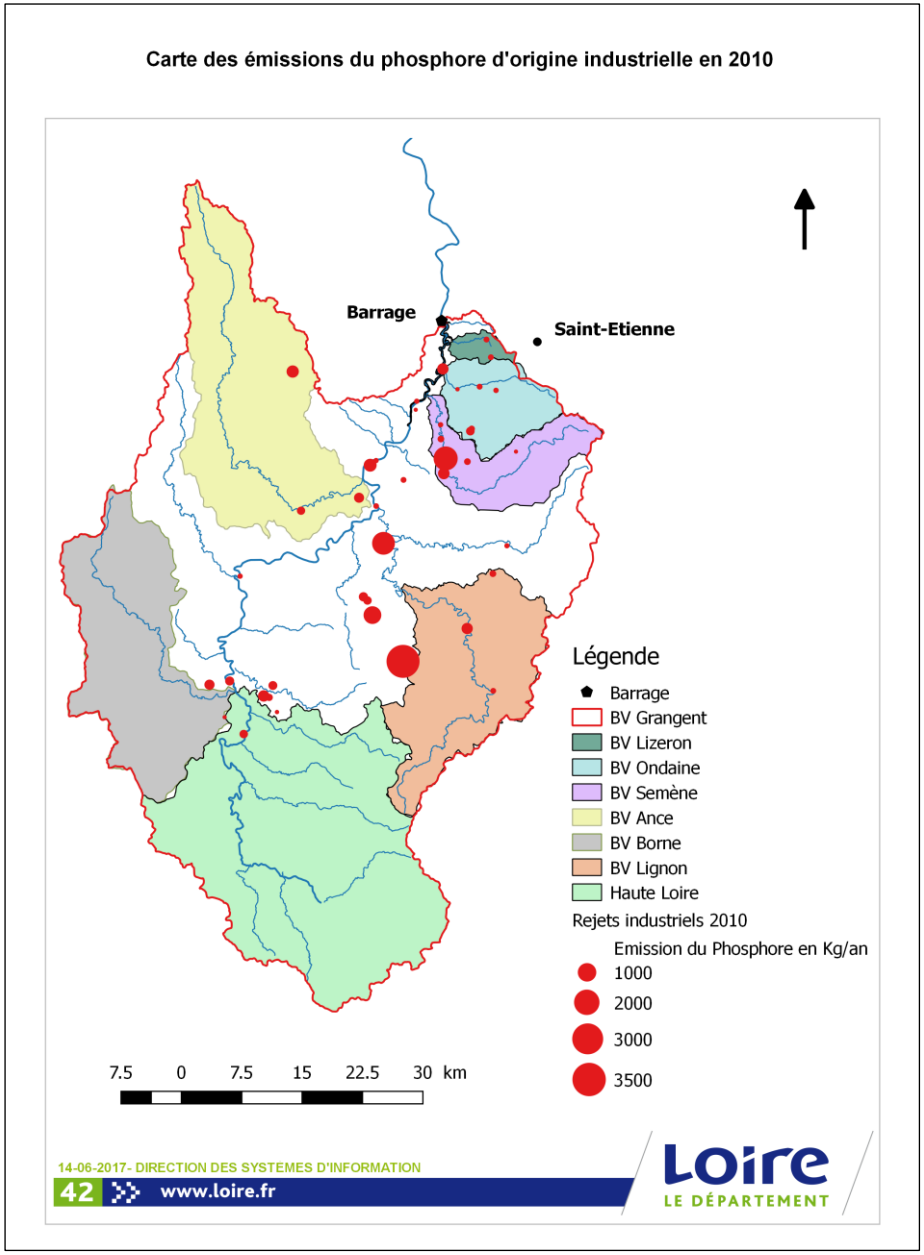


Figure 18 : Émission du phosphore d'origine industrielle en 2010.

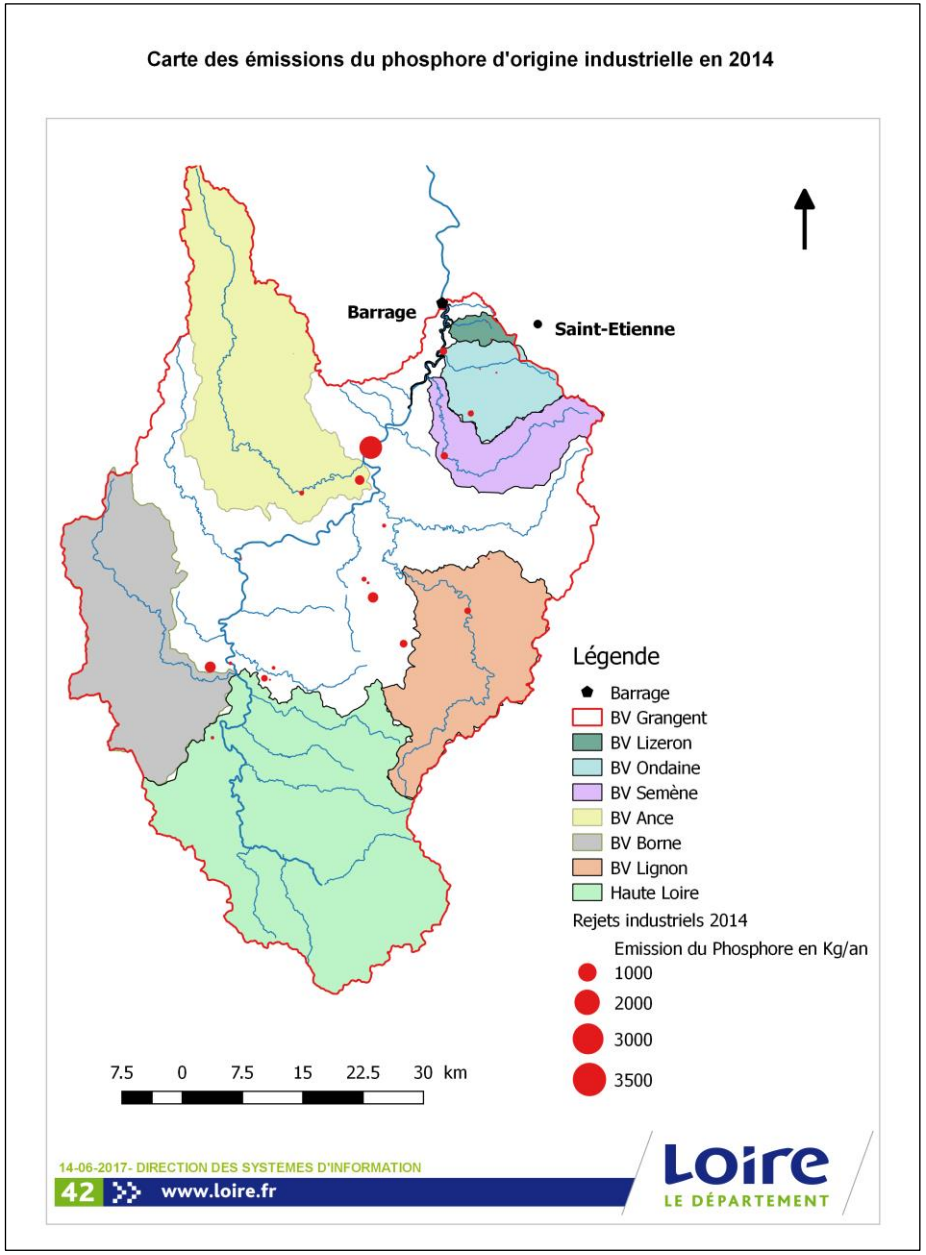


Figure 19 : Émission du phosphore d'origine industrielle en 2014.

1.1.3. Émissions urbaines

Le phosphore d'origine urbaine provient essentiellement des rejets métaboliques (urine, fèces). Les autres sources ; détergents lessiviels ménagers, détergents lave-vaisselle ménagers… sont en faible quantité (POLUTEC, 2010).

Les données utilisées pour l'estimation des rejets des stations d'épuration sont les suivantes :

- Un fichier représentant les équivalents habitants par commune à l'amont du barrage.
- Des fichiers analytiques des stations d'épuration supérieures à 2 000 EH ont été collectés auprès des communes, des syndicats d'assainissement des eaux et du Service d'assistance technique à l'eau et à l'assainissement (SATEA).

Les apports en phosphore en entrée des STEP peuvent donc être calculés en appliquant un apport de 1.6 grammes par personne par jour (Stricker, 2010). Ensuite, à partir des données collectées, les rendements des grandes et petites stations d'épuration peuvent être estimés pour calculer la charge en sortie de station.

Si cette méthode représente plusieurs avantages (estimation des rejets même si on ne dispose pas de mesure, estimation des entrée et des sortie …), elle représente une marge d'erreur importante. Le calcul à partir des données des analyses en station reste la méthode la plus appropriée car elle prend en compte les rejets réels de chaque station d'épuration, sauf que l'obtention de ces données est compliquée et nécessite des autorisations de chaque commune.

Le tableau 9 présente le nombre d'habitants par SAGE et les charges correspondantes en phosphore produits et rejetés dans le réseau hydrographique.

Tableau 9 : Charge en phosphore urbain rejetée par SAGE.

Caractéristiques stations					Charge produite (g/j.Hab)	Charge produite (T/an)	Charge rejetée (T/an)
	Capacité	**Nombre**	**EH**	**Rendement utilisé %**	**Phosphore total**		
SAGE LRA	> 2000	10	143 687	90	229 899	83	8.3
	< 2000	59	14 919	65	23 870	8.73	3
SAGE LA	> 2000	15	130 070	90	208 112	76.6	7.6
	< 2000	329	68 305	65	109 288	36.5	12.7
SAGE Lignon	> 2000	2	4500	90	7 200	2.6	0.26
	< 2000	48	29 810	65	47 696	17.4	6.1
Somme					626 065	224.6	38

Le bassin versant regroupe 463 stations, les grosses STEP de plus de 2 000 EH sont au nombre de 27 : les plus importantes sont notamment le SIVO, Monistrol-Sur-Loire, le Puy-

En-Velay et Bas-En-Basset. Les petites STEP, de moins de 2 000 EH, représentent 58 % des rejets des STEP du bassin versant en rejetant une charge de 22 tonnes/an.

L'ensemble des STEP du bassin versant reçoit une charge de 224.6 tonnes/an. Étant donné que la charge totale en sortie des stations est de 38 tonnes/an, le rendement moyen est de 83 %.

Il est bien évident que cette valeur est sous-estimée vu le nombre des STEP < 2000 EH dont le rendement est généralement inférieur à 60%. Les rendements ont tendance à diminuer lorsque la taille de la station diminue. En effet, les petites STEP ne sont pas soumises à la même réglementation (Annexe 9), car le traitement de phosphore nécessite un coût d'investissement et de fonctionnement difficilement supportable par les petites stations inférieures à 2 000 EH (ONEMA, 2015) et pas forcément adapté aux filières de traitement.

Le tableau ci-après regroupe les données réelles collectées auprès des communes du département de la Haute Loire (données confidentielles) :

Tableau 10 : Résultats des données relatives aux stations d'épuration >2000 Équivalent habitants en 2016.

	Flux (T/an)		Rendement en %
	Entrée	**Sortie**	
Roche la Molière	2.4	0.2	92
SIVO	22	1.7	92
Aurec-Sur-Loire	33	0.2	94
Beauzac	0.9	0.062	93
Monistrol-Sur-Loire	5.5	1	81
Retournac	0.8	0.4	50
Bas-en-Basset	4.8	1.3	73
Puy-en-Velay	18.1	1.8	90
Blavozy-Gravières	2.1	0.8	60
Chambon-sur-Lignon	0.9	0.2	74
Coubon le Bourg	0.8	0.1	89
Crapone-sur-Arzon	1	0.5	53
Cussar-sur-Loire	1.3	0.3	78
Dunière la Ribeyre	1.1	0.3	73
Pont Salomon	1.03	0.2	81
Seauve sur Semène	1.8	0.3	83
Ste-Sigolène la Bâtie	1.5	0.2	87
Ste-Sigolène la Rouchouse	1	0.2	82
St-Julien Chapteuil	0.6	0.1	77
St-Just Malmont	1.7	0.2	86
St-Maurice de Lignon	1.7	0.2	89
Tence le Bourg	1.1	0.4	60.1
Ysingeaux	3.1	0.6	80

En comparant les rejets des stations d'épuration supérieures à 2 000 EH pour les données théoriques (16 tonnes/an) et pour les données réelles (11 tonnes/an) la marge d'erreur est tout de même estimée à 30%. De plus, les résultats obtenus ne tiennent pas compte des apports des déversoirs d'orage qui peuvent rejeter dans le milieu naturel une quantité non négligeable de phosphore en cas d'averse.

La figure 20 ci-dessous représente les concentrations en phosphore des rejets des stations d'épuration supérieurs à 2 000 EH.

La comparaison des rejets avec la norme fixée par l'arrêté préfectoral DDT n°SEF-2013-145 (Communes, 2016), qui impose depuis 2014 une concentration maximale à ne pas dépasser de 2 mg/l en valeur moyenne annuelle montre, au regard des variations mensuelles, que les performances obtenues en matière d'élimination de la pollution phosphorée ne sont pas pleinement satisfaisantes sur un grand nombre de station d'épurations pour ce qui concerne les concentrations et aussi les rendements au vu des exigences du SDAGE Loire Bretagne (Rendement > 90% et/ou 2 mg/l).

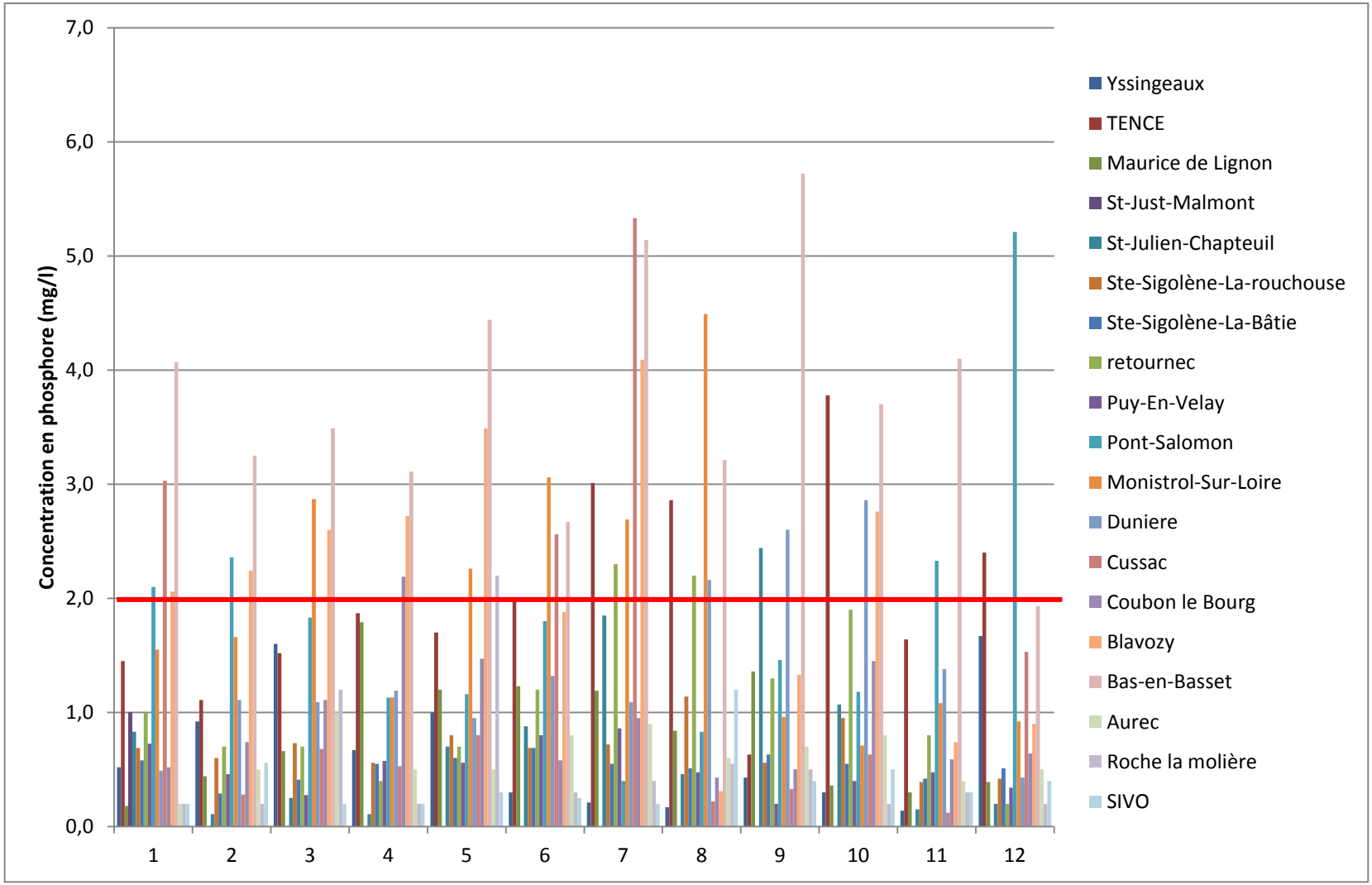


Figure 20 : Rejets des stations d'épuration > 2000 EH à l'amont du barrage de Grangent (en 2016).

À retenir…

Les calculs réalisés dans le cadre de cette étude ont confirmés que l'agriculture et l'assainissement collectif apparaissent comme les deux premières sources de transfert du phosphore vers les cours d'eau avec respectivement 63% et 31% des rejets. Le bassin versant du SAGE Loire Amont est en effet à vocation agricole et les impacts de ce secteur d'activité sont importants (51.8 tonnes sur les 74.4 tonnes par an des rejets agricoles). Quant au territoire du SAGE Lignon, malgré sa taille, il rejette des quantités non négligeables en phosphore d'origine agricole (15.7 tonnes sur les 74.4 tonnes par an des rejets agricoles) dominé par les élevages bovins.

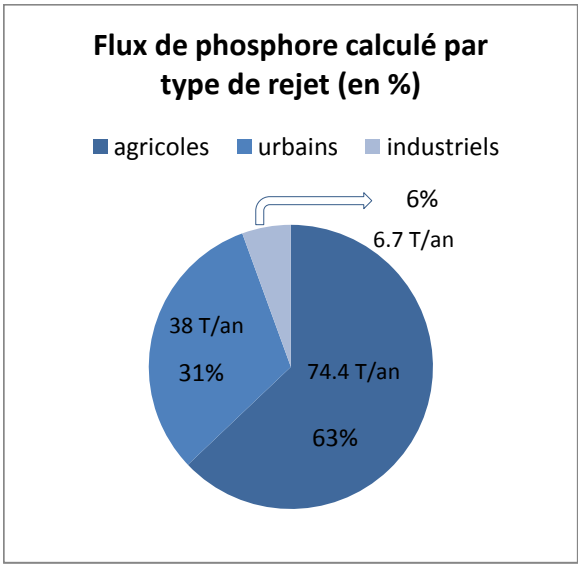


Figure 21 : Pourcentage d'apport en phosphore par type de rejet.

Pour l'assainissement, la problématique concerne aussi bien les grandes STEP > à 2 000 EH (27 STEP) qui ne sont pas en conformité, que les petites STEP < à 2000 EH qui sont au nombre de 59. En effet, les petites stations ont un rendement généralement inférieur à 60%.

Les activités industrielles ne représentent que 6% des rejets totaux de phosphore. Le territoire du SAGE Loire en Rhône Alpes, à vocation industrielle concentrée sur la vallée de l'Ondaine rejette moins de phosphore (1tonne par an) que le SAGE Lignon (1.2 tonne par an). Malgré le peu d'industries sur le territoire du SAGE Lignon, il rejette une quantité plus importante en phosphore. En effet, ces rejets sont liés au type d'activité exercé ; principalement les transformations des produits animaliers.

1.2.Bilan en phosphore dans la rivière

Cette partie vise à calculer les concentrations dans le lac et les flux de phosphore à partir des données de qualité et de débits.

Concernant les données de qualité, elles sont extraites du réseau Lyxea sur les stations amont (Malvalette, Semène, Lizeron et Ondaine) et aval (Saint-Just-Saint-Rambert) du barrage.

Pour les données de débits, ils proviennent de la base de données de la banque hydro. Les débits journaliers ne sont disponibles que pour la Loire amont à Bas-En-Basset, la Semène et la Loire aval à Montrond-les-bains. Les débits au niveau de l'Ondaine et du Lizeron ont été estimés par interpolation avec la Semène en utilisant les formules suivantes :

$$Q_{ond} = Q_{sem} \times (S_{ond} / S_{sem})$$

$$Q_{liz} = Q_{sem} \times (S_{liz} / S_{sem})$$

Avec,

Q_{ond}: Débit Ondaine en m^3/s

Q_{sem} : Débits semène en m^3/s

Q_{liz}: Débit Lizeron en m^3/s

S_{ond}: Surface ondaine en Km^2

S_{sem}: Surface Semène en Km^2

S_{liz}: Surface lizeron en Km^2

Ainsi, le flux Entrant F dans le barrage est la somme des produits des débits Q annuels moyens et des concentrations annuelles moyennes associées C (Quilbé & Rousseau, 2007).

$$F = \sum (Q_i(t) \times C_i(t))$$

Afin d'éviter les problèmes d'eutrophisation du lac, il faut déterminer des pourcentages de baisse, pour cela il est indispensable d'estimer la concentration en phosphore dans le lac. En absence de mesures de concentration dans la retenue, le choix s'est porté sur l'utilisation de la formule de Vollenweider. Elle a été élaborée à partir d'une étude sur 200 cours d'eau en Europe, Amérique du Nord, Japon et Australie (Norlin, 2014). Vollenweider a fait l'hypothèse que le lac est uniformément mélangé, en représentant une relation empirique entre le lac et la charge externe (NORLIN, 2014). Cette formule ne prend pas en compte les apports internes (relargage par les sédiments).

$$P_{lac} = 1.02 \times \left(\frac{P\ riv}{1+\sqrt{ts}}\right)^{0.82}$$

Avec,

P_{lac} : Phosphore dans le lac en mg / m^3

P_{riv} : Phosphore arrivant à la retenue en mg / m^3

t_s : Temps de séjour en an

Le tableau 11 représente les résultats des calculs des concentrations moyennes annuelles à l'amont des barrages, calculées à partir des différents affluents.

Tableau 11: Concentrations moyennes annuelles à l'amont du barrage (mg/m^3) de 2010 à 2016.

Année	Concentration Pt amont barrage (mg/m^3)
2010	59
2011	66
2012	68
2013	69
2014	62
2015	60
2016	86

Les résultats montrent une évolution progressive des concentrations en phosphore, sauf en 2014 et 2015 où on remarque une baisse. La concentration en phosphore varie en fonction du mode d'écoulement. En effet, pendant les périodes de crues les concentrations en phosphore ont deux origines ; diffuse (par lessivage des sols) et ponctuelle.

En période d'étiage, la principale source du phosphore est ponctuelle. Donc pour une année pluvieuse la concentration devrait être plus importante, sauf qu'en 2010 le débit moyen annuel était plus important qu'en 2016 (annexe 3), alors qu'on observe une concentration en phosphore plus élevée durant cette année (86 mg / m^3).

Ces résultats peuvent être expliqués par une augmentation des rejets dans le cours d'eau ou par une dilution plus importante durant les périodes les plus pluvieuses.

Les concentrations observées à l'amont du barrage sont supérieurs à 30 mg/m^3 (tableau 11), ce qui permet de confirmer que la retenue à un caractère eutrophe à un stade très avancé.

Le tableau 12 renseigne sur les flux stockés et relargués par la retenue de Grangent.

Tableau 12 : Le stockage et le déstockage par les sédiments (tonne /an).

Année	Stockage/Déstockage
2010	-20
2011	0
2012	-10
2013	-27
2014	-5
2015	-11
2016	16

La soustraction des flux entrants et des flux sortants de la retenue permettent d'estimer le piégeage ou le relargage du phosphore par les sédiments. L'observation du tableau permet de voir que l'intensité du relargage du phosphore est très variable d'une année à l'autre. Les flux entrant dans la retenue de Grangent sont généralement inférieurs aux flux sortant, ce qui indique qu'il y a un phénomène de relargage.

Ces résultats ne permettent pas d'estimer l'importance des flux de phosphore relargués en été lorsque les conditions physico-chimiques sont favorables (pH et oxydoréduction).

Généralement, les périodes les plus favorables au relargage sont en périodes d'étiage, durant lesquelles le marnage est plus fréquent. En effet, la baisse et la remontée des eaux, remet en suspension les sédiments au sein de la retenue, ce qui peut induire à un relargage de phosphore.

Pour plus de précision des mesures d'oxygène dissous près des sédiments doit se faire car le relargage commence lorsque la teneur en oxygène devient inférieure à 0.5 mg/l (Ruban, 1997).

En 2013, on note un relargage important du phosphore qui est corrélé à un pic de concentration observé en mai 2013 (partie 2 : évolution annuelle du phosphore), ce qui peut être expliquer par ce phénomène.

L'application de la formule de Vollenweider a permis de calculer les concentrations dans le lac du barrage, les résultats sont représentés sur la figure 22.

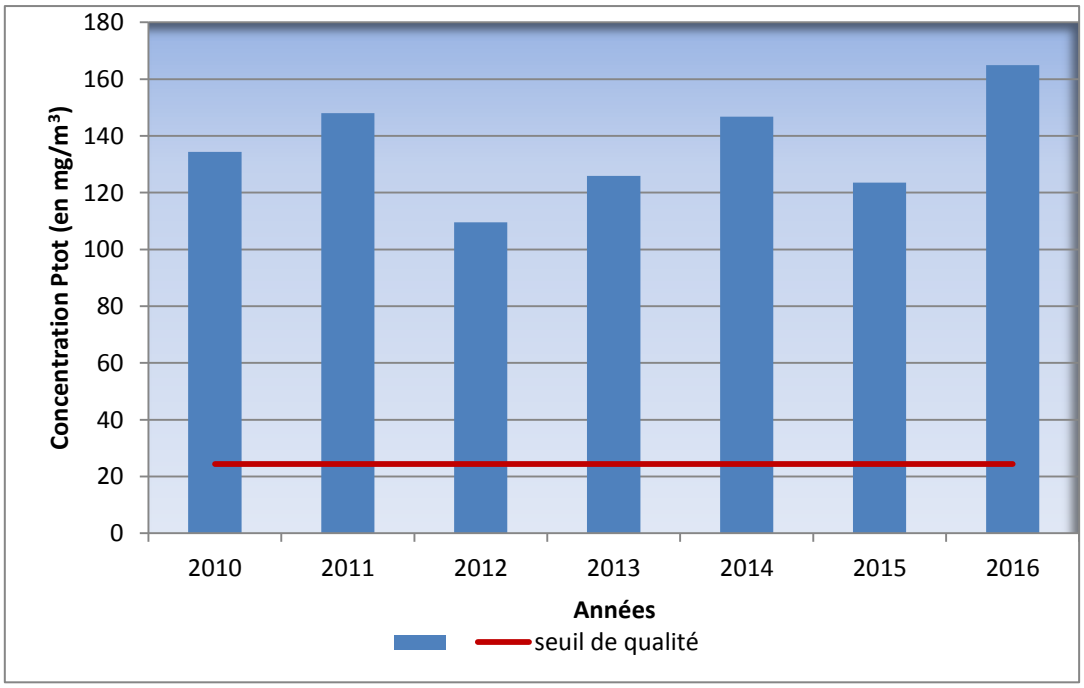


Figure 22 : Concentration en phosphore (en mg/m^3) dans la retenue de Grangent de 2010 à 2016.

La figure représente les concentrations en phosphore dans le lac. On observe que les concentrations en phosphore ont augmenté en 2016. Ces concentrations sont très élevées et sont à la base du phénomène d'eutrophisation. Afin de limiter ce problème des seuils de qualité ont été fixés (Thomas & Le Gall, 2009) :

- Le SDAGE Rhône Alpes Méditerranée Corse de 1996 préconise un objectif de 0.02 à 0.03 mg/l de phosphore total pour les cours d'eau des bassins versants naturels.
- L'objectif utilisé sur le lac Léman est l'atteinte d'une concentration de 0.02 mg/l.

- L'objectif fixé pour la retenue de Villerest est de 0.1 mg/l sauf qu'il est insuffisant pour l'atteinte de son bon état.
- Résultats du travail du groupe national sur l'évaluation de l'état des masses d'eau : À partir des travaux menés sur plusieurs plans d'eau, ils ont fixé une valeur limite de 0.05mg/l pour le phosphore.

Pour la retenue de Grangent un objectif de 0.024 mg/l de phosphore est préconisé pour l'atteinte du bon état des eaux de la retenue. Tout en sachant, que la concentration en phosphore dans la retenue est de 0.16 mg/l (en 2016), l'objectif dans ce cas serait une réduction de 85 % des flux entrant dans la retenue.

2. Confrontation des flux mesurés avec les résultats de la modélisation par le logiciel PEGASE

Le modèle PEGASE (Planification et Gestion de l'Assainissement des Eaux) est un logiciel de simulation qui présente les flux de pollution dans la rivière transférés par le bassin hydrographique pour différentes situations hydrologiques (année hydrologique, périodes des hautes eaux, périodes des étiages…). Il permet de différencier les types de pollution (phosphorée, carbonée et azotée), les usages à l'origine de ces pollutions (industriels, urbains, agricoles) et les apports liés à des phénomènes naturels (biomasse, décomposition végétale, production primaire, apports du sol). (Département de la Haute Loire, 2010)

La modélisation des flux nécessitent des données de débits et de rejets. La détermination des débits est basée sur un modèle d'interpolation hydraulique défini par des stations de jaugeage de référence situées sur le bassin versant. Les valeurs peuvent être différentes de la réalité selon l'éloignement des stations de mesure du point considéré. Ces valeurs correspondent aux moyennes annuelles des valeurs journalières, ils datent de 2016. Les données relatives aux rejets ponctuels émanent de la base de données de l'Agence de l'Eau Loire Bretagne, alors que les rejets diffus (lessivage des sols) sont calculés sur la base d'occupation des sols, ils datent de 2012.

Les bilans peuvent ainsi être réalisés sous différentes échelles : par tronçon (tous les 400 m), par rivière (ou sous bassin versant), par zone hydrographique, par masse d'eau (pour les masses d'eau principales).

Pour cette étude nous avons choisis de travailler par masse d'eau. Les résultats obtenus par la simulation PEGASE sont présentées dans un fichier bilan Excel (bil_wbd) Ce fichier reprend toutes les caractéristiques utiles à l'établissement du bilan des flux d'éléments phosphorés.

Ces données sont incorporées dans un autre fichier Excel (bil_phos) représentant graphiquement les résultats des apports par élément pour chaque masse d'eau. En effet, il présente la part :

- De pollution industrielle,
- De pollution domestique,

- Du ruissellement et du lessivage des sols,
- Des apports des bovins,
- Des apports de biomasse.

L'utilisation du modèle PEGASE fournit par l'Agence de l'Eau Loire Bretagne a permis de modéliser les flux de phosphore à l'amont du barrage de Grangent. Les résultats de la modélisation et des calculs sont présentés dans le tableau 13 ci-dessous.

Tableau 13 : Flux calculés et flux modélisés en 2016 (en tonne par an).

	Flux modélisé (PEGASE)	Flux estimés	Flux entrant
Agricoles :	**67.2**	**74.4**	**-**
Bovins	22.2	34.8	-
ruissellement	45	39.6	-
Urbains :	**26.7**	**38**	**-**
Industriels :	**4.7**	**6.7**	**-**
Somme	98.7	118.7	87

Dans le cas des flux modélisés, les apports agricoles annuels sont de l'ordre de 67.2 tonnes dont 45 tonnes provient du ruissellement (elle prend en compte aussi les épandages des bovins) et 22.2 tonnes des rejets directs par les bovins. Les rejets urbains sont estimés à 26.7 tonnes par an. Enfin les rejets industriels sont de 4.7 tonnes par an.

Bien que les calculs estiment des rejets supérieurs de 22 tonnes que le modèle, les résultats restent tout de même homogènes. Cette différence peut avoir plusieurs origines ; les estimations ont été faites sur des périodes différentes, donc les conditions hydrologiques et les rejets diffèrent, les bases de données utilisées pour les deux méthodes ne sont pas les mêmes…

D'autre part, les flux entrant dans la retenue sont estimés à 87 tonnes par an ; légèrement inférieurs aux autres flux. Ces résultats semblent logiques et cohérents. En effet, des phénomènes de stockage peuvent exister comme en 2016 où il y a eu un stockage de 16 tonnes, ce qui explique que le flux réel entrant est à peu près égale à 103 tonne par an.

À partir de ces résultats, on peut raisonnablement supposer que le bassin versant de Grangent émet en moyenne une quantité de phosphore de 100 tonnes par an.

Une étude sur la retenue de VILLEREST menée en 2009 (THOMAS S et al, 2009) a traité la problématique du phosphore sur son bassin versant qui comprend le bassin versant de Grangent. Les résultats sont renseignés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 14 : Flux modélisé par le logiciel PEGASE en 2005.

	PEGASE (T/an)	NOPOLU (T/an)
	2005	2002 - 2007
Bassin versant de Grangent	86	90

La comparaison des résultats obtenus par PEGASE en 2005 et en 2016 (tableau 14) montre une nette évolution : en effet, le total des émissions en 2005 est de 86 Tonnes/an, ce qui montre une augmentation de 13 tonnes par rapport à 2016.

Ces résultats montrent que les efforts élaborés sur le bassin versant de Grangent pour baisser les apports en phosphore, ne sont pas suffisants.

PARTIE 4 : ANALYSE DES ACTIONS PREVUES PAR LES SAGE, PRIORISATION ET REFLEXION SUR D'AUTRES AXES DE GESTION.

La retenue de Grangent connait depuis sa mise en eau un phénomène d'eutrophisation, lié aux excès des apports en phosphore drainés par son bassin versant.

Le phosphore étant l'élément limitant du phénomène d'eutrophisation, l'atteinte du bon état des masses d'eau (fixé par la DCE pour l'horizon 2021), doit passer par la réduction des flux de phosphore alimentant la retenue.

Les choix de réduction des flux varient selon les problématiques de chaque territoire. Certains acteurs considèrent que les choix doivent porté sur la réduction à la source d'autre se focalisent plus sur la limitation du transfert du phosphore dans le bassin versant…

Concernant la réduction des émissions à la source, trois domaines (industriel, urbain et agricole) doivent être pris en compte par ordre d'importance sur les différents territoires.

La réduction des émissions devra concerner prioritairement les rejets d'origine agricole. Ils représentent plus de 60% de la totalité des rejets. Ils sont difficiles à cerner car essentiellement diffus.

Les rejets d'origine urbaine représentent un peu plus d'un tiers des émissions de phosphore du bassin. Ces rejets sont plus facilement maîtrisables car ponctuels.

Les rejets industriels sont aussi à prendre en considération même s'ils ne représentent qu'une petite part des rejets totaux. Cependant, le coût de réduction dépend non seulement de la quantité de phosphore mais aussi de sa complexité qui varie selon le type des industries : par exemple, les industries de traitement de surface produisent un phosphore très complexe, dont le coût de traitement peut être élevé sans avoir des résultats satisfaisants, c'est-à-dire que son traitement ne permettra pas de réduire efficacement le développement phytoplanctonique (Thomas & Le Gall, 2009).

La figure suivante, synthétise les problématiques phares par territoire du SAGE.

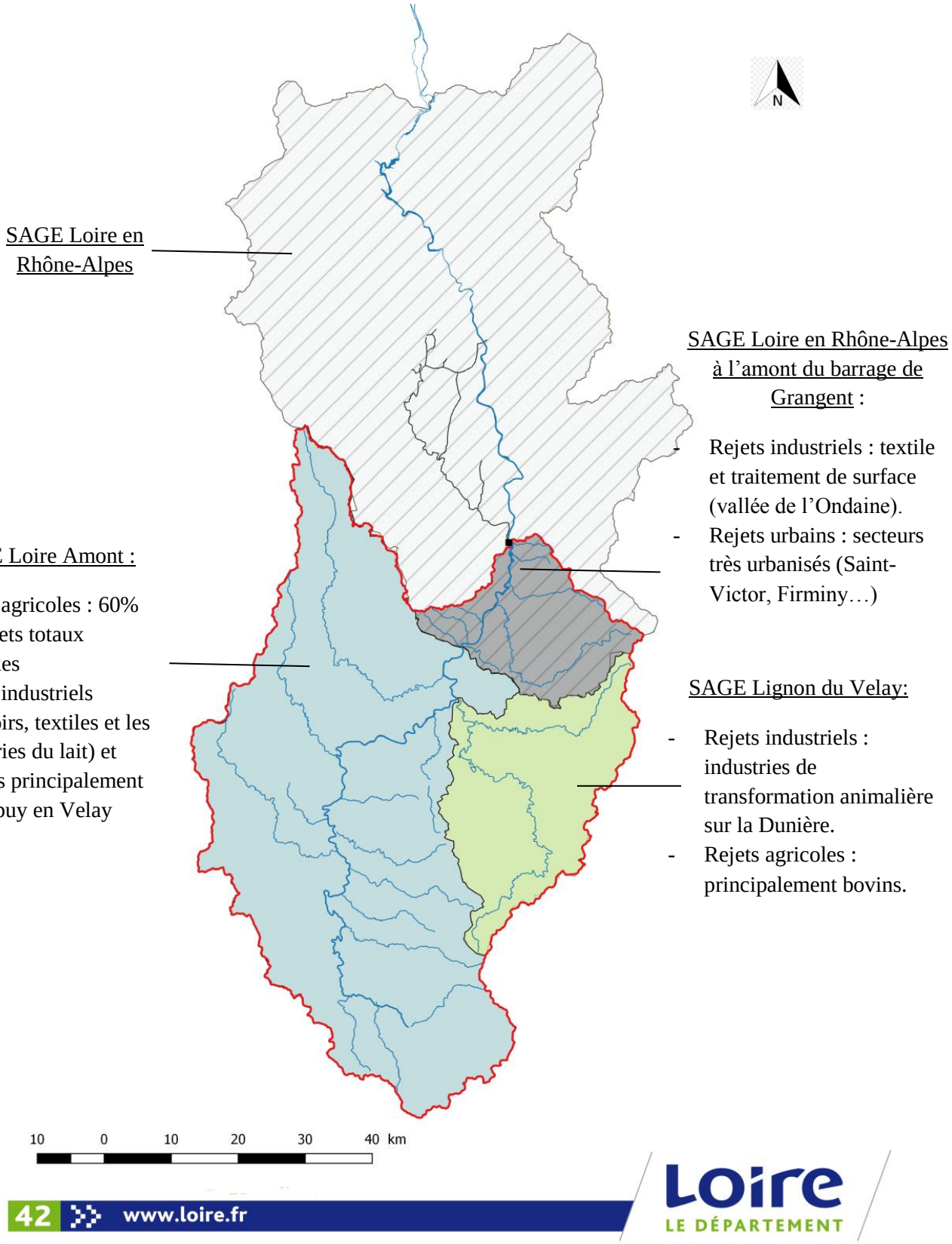


Figure 23 : Carte des problématiques par territoire de SAGE.

Dans le but d'améliorer la qualité des eaux de la retenue, deux grands axes devraient être abordés :

1. Les actions Préventives

Les actions préventives visent à réduire les flux de phosphore à la source. Elles mettent en œuvre des solutions préventives pour limiter la prolifération des cyanobactéries, en se basant sur la réduction des flux de phosphore provenant du bassin versant tout en agissant sur les facteurs de transfert.

L'efficacité des actions préventives, dépendent de l'implication des différents acteurs et à la continuité de la collaboration à long terme, tout en sachant que les résultats ne seront pas visible dès les premières années. La charge interne n'est pas prise en compte dans les actions préventives, ce qui peut limiter la réussite des efforts élaborés sur la réduction du phosphore. De plus, la mise en œuvre de ces actions nécessite un financement important.

Des actions ont été déjà menées sur le bassin versant de Grangent. Cette partie consiste à présenter les différentes actions proposées par origine de pollution sur les trois SAGE et à proposer d'autres axes de réflexion.

1.1. Renforcer les actions pour diminuer le flux de phosphore à la source

- Origine urbaine (domestique et industrielle)

Objectif :

- Réduire à la source les émissions issues des rejets urbains
- Améliorer la qualité des rejets traités et des rendements
- Améliorer la qualité des rejets des eaux pluviales
- Améliorer les performances de l'assainissement non collectif

Localisation :

- Territoires du SAGE Loire Amont, SAGE Lignon et SAGE Loire en Rhône-Alpes

Les acteurs concernés :

Communes, Conseils généraux, Syndicats intercommunaux d'assainissement, gestionnaire de service d'assainissement, SATESE, MAGE, MISE, CLE, AELB…

Cadre juridique :

- L'interdiction des phosphates dans les produits lessiviels

Le décret du 1er juillet 2007 : interdiction des phosphates dans les lessives domestiques (décret n°2007-491 du 29 mars 2007 relatif à l'interdiction des phosphates dans certains détergents).

Le décret du 29 mars 2007 relatif à l'interdiction des phosphates dans certains détergents ont été abrogées par le décret n° 2007-1467 du 12 octobre 2007 qui a inséré un article R. 211-64 du Code de l'environnement aux termes duquel :

« La mise sur le marché de détergents contenant des phosphates et destinés au lavage du linge par les ménages est interdite. »

Article 27 de la LOI n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement : « …il est prévu d'interdire l'utilisation des phosphates dans tous les produits lessiviels à compter de 2012. »

- Réduire les rejets de phosphore by-passés.

Les services de l'état ont exigé (note technique du 7septembre 2015):

- Conformité du système d'assainissement si au moins un des 3 objectifs suivants est respecté :
    - Moins de 5% des volumes d'eaux usées générés par l'agglomération sont déversés directement au milieu naturel
    - Moins de 5% des flux de pollution générés par l'agglomération sont dévérsés directement au milieu naturel
    - Moins de 20 déversements par an au droit de chaque déversoir d'orages de taille ≥ 2 000 EH
- Améliorer les rendements des stations d'épuration.

L'Arrêté du 21 juillet 2017 relatif à la collecte, au transport et au traitement des eaux usées impose en zone sensible à l'eutrophisation un taux de traitement du phosphore de :

- 80% et une norme de rejet de 2mg/l pour les stations d'épuration de 10 000 à 100 000 EH.
- 80 % et une norme de rejet de 1 mg/l pour les stations d'épurations supérieurs à 100 000 EH.

Le SAGE Loire en Rhône-Alpes un rejet :

- Pour les STEP à capacité supérieure à 10 000 EH : une concentration moyenne annuelle du rejet de phosphore total de 1 mg/l, avec une concentration maximum journalière du rejet en phosphore total de 2 mg/l et un rendement de 90 %.
- Pour les STEP à capacité comprise entre 2 000 et 10 000 EH : une concentration moyenne annuelle du rejet de phosphore total de 1 mg/l et un rendement de 90 %.

Le SDAGE Loire-Bretagne impose un rejet:

- < à 2 mg/l de phosphore total pour les stations de 2 000 à 10 000 EH.
- < à 1mg/l de phosphore pour les stations d'épuration de capacité supérieurs à 10 000 EH.
- Améliorer les performances de l'assainissement non collectif

Article 2 de l'arrêté du 7 septembre 2009 (fixant les prescriptions techniques applicables aux installations d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 1,2 kg/j de DBO5) :

« Les installations d'assainissement non collectif ne doivent pas présenter de risques de pollution des eaux souterraines ou superficielles… »

Article 3 de l'arrêté du 7 septembre 2009 :

« La qualité minimale requise pour le rejet, constatée à la sortie du dispositif d'épuration sur un échantillon représentatif de deux heures non décanté, est de 30 mg par litre pour les matières en suspension (M.E.S.) et de 40 mg par litre pour la demande biochimique en oxygène sur cinq jours (D.B.O.5). »

- Encourager les signatures d'autorisation de déversement

Article L1331-10, modifié par LOI n°2010-1563 du 16 décembre 2010 - art. 64 :

« Tout déversement d'eaux usées autres que domestiques dans le réseau public de collecte doit être préalablement autorisé par le maire ou, lorsque la compétence en matière de collecte à l'endroit du déversement a été transférée à un établissement public de coopération intercommunale ou à un syndicat mixte, par le président de l'établissement public ou du syndicat mixte… »

Dispositions des SAGE :

Le tableau 15 ci-dessous résume les dispositions des SAGE (Loire Amont, Loire en Rhône-Alpes et Lignon du Velay) qui visent à reconquérir la qualité des eaux urbaines.

Les rejets de phosphore d'origine urbaine représentent une part non négligeable de la pollution de la retenue de Grangent, ils apportent 37% (31% apportée par les STEP et 6% par les industries) des rejets totaux. L'amélioration de qualité des rejets, des rendements d'épuration est ainsi un bon levier d'action pour réduire les flux de phosphore à l'amont du barrage.

D'une part, la réduction de l'utilisation du phosphore dans les détergents est l'une des actions les plus déterministes dans la baisse des concentrations en phosphore. En effet, leur réduction après les années 1980 a permis de réduire les émissions de 4 g P/j/habitant à moins de 2.5 g P/j/habitant (Thomas & Le Gall, 2011). L'objectif actuel à atteindre est de 1 à 1.5 g P/j/habitant en réduisant les phosphates des produits lessiviels industriels. Le SAGE Loire Amont et Loire en Rhône-Alpes ont donc établis plusieurs outils (Connaissances des acteurs utilisant ces produits, Communication, interdiction …) pour supprimer les phosphates des produits lessiviels (tableau 15), alors que le SAGE Lignon du Velay ne propose aucune disposition.

Étant donné que la réduction du phosphate des produits lessiviels est une solution non coûteuse et qui permet d'avoir des résultats instantanés, il serait alors souhaitable de la prendre en compte dans les objectifs du SAGE Lignon.

D'autre part, l'amélioration des performances de l'assainissement collectif est indispensable à la réduction des flux de phosphore. Sur ce volet tous les SAGE proposent des actions pour réduire l'impact des eaux usées urbaines sur la qualité des eaux. De plus, Le SAGE Loire

Amont prend aussi en considération les petites STEP (Dispositions D.1.6), ce qui n'est pas intégré dans les plans de gestion du SAGE en Rhône-Alpes et du SAGE Lignon du Velay. En effet, la réhabilitation des stations d'épurations inférieures à 2 000 et l'amélioration de leurs performances peut avoir un impact important sur la qualité des eaux, vue leur prédominance dans le bassin versant de Grangent.

D'autre part l'amélioration des systèmes d'assainissement non collectif est un objectif prioritaire pour les SAGE. En effet des SPANC se mettent progressivement en place pour le contrôle des installations existantes, la réhabilitation et l'entretien des ouvrages ainsi que la réalisation de travaux neufs.

Enfin, les eaux claires parasites causent des surcharges qui induisent à des rejets directs des eaux par temps de pluie. En cas de crues, les rejets risquent d'impacter fortement la qualité des eaux.

Tableau 15 : Les recommandations du SAGE Loire Amont, Loire en Rhône-Alpes et Lignon du Velay pour diminuer les risques de pollution d'origine urbaine.

	SAGE Loire en Rhône-Alpes	SAGE Loire Amont	SAGE Lignon
Réduire à la source les émissions issues des rejets urbains : phosphate des produits lessiviels	**Disposition n°2.1.1** : Encourager la suppression des phosphates dans tous les produits lessiviels	**Disposition D.1.1** : Réduire l'usage de produits avec phosphates, notamment lessiviels - Renforcer la connaissance sur les acteurs utilisant des produits à base de phosphore - Établir une liste de réduction des flux - Définir des objectifs ambitieux pour la réduction de l'usage des produits lessiviels avec phosphates - Sensibilisation des industriels et des agriculteurs	Pas d'action identifiée
	Disposition n°2.4.4 : Renforcer la communication et la sensibilisation à la réduction de l'usage des phytosanitaires		
	Disposition n°2.4.2 : Maîtriser et réduire les phytosanitaires à l'échelle des bassins versants		
Améliorer les performances de l'assainissement collectif	**Disposition n°2.1.4** : Améliorer les performances des STEP des collectivités territoriales et de leurs groupements et des industries sur l'épuration du phosphore	**Dispositions D.1.6** : Limiter l'impact des petites stations d'épuration	**1B-2-1 :** Planifier les travaux d'amélioration de l'assainissement collectif (finalisation, actualisation des schémas d'assainissement et diagnostics des réseaux)
	Disposition n°2.2.3 : Améliorer la collecte des eaux usées et le transfert vers les stations d'épuration		
	Disposition n°2.2.1 : Réaliser ou mettre à jour les zonages et schémas directeurs d'assainissement	**Disposition D.1.7** : Améliorer la gestion des eaux pluviales (amélioration de la collecte et du transfert)	**1B-2-2** : Améliorer et fiabiliser les réseaux d'assainissement
	Disposition n°2.2.2 : Améliorer la gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement		**1B-2-3** : Améliorer et fiabiliser les STEP
	Disposition n°2.2.6 : Réaliser des règlements d'assainissement		
Améliorer les performances de l'ANC	**Disposition n°2.2.4** : Suivre l'Assainissement Non Collectif	**Disposition D.1.5** : Privilégier l'ANC et promouvoir l'entretiens des installations	**1B-2-6 :** Améliorer l'assainissement non collectif
Améliorer la qualité des rejets	**Disposition n°4.1.3** : Réduire le débit et la charge des rejets d'eaux pluviales	**Disposition D.1.7, action 1 :** Suppressions des rejets directs par temps sec (eaux claires parasites)	**1B-2-2** : Améliorer et fiabiliser les réseaux d'assainissement
	Disposition n°2.2.5 : Régulariser la mise en place d'arrêtés d'autorisation de rejets et signer des conventions de rejet avec les industriels et les hôpitaux		

- Origine agricole :

Objectif :

- Limiter les surplus en matière phosphorée liés aux fertilisants
- Limiter les risques de pollutions des bâtiments d'élevage

Localisation :

- Territoires du SAGE Loire Amont, SAGE Lignon et SAGE Loire en Rhône-Alpes.

Les acteurs concernés :

Communes, Conseils généraux, Syndicats de bassins versants, Chambre d'Agriculture, État, Département, AELB…

Cadre juridique :

➢ Limitation des surplus en matière phosphorée liés aux fertilisants

Article 39 du règlement (CE) n° 1698/2005

RÈGLEMENT (CE) N° 1974/2006 DE LA COMMISSION du 15 décembre 2006 :

« Les exigences minimales relatives aux engrais doivent inclure, entre autres, les codes de bonnes pratiques introduits par la directive 91/676/CEE pour les exploitations situées en dehors des zones vulnérables aux nitrates, et les exigences concernant la pollution au phosphore; les exigences minimales relatives aux produits phytosanitaires doivent inclure, entre autres, l'obligation de détenir une autorisation d'utiliser les produits et l'obligation de suivre une formation, l'obligation d'assurer un stockage sûr, le contrôle des équipements destinés à l'épandage et des règles relatives à l'utilisation de pesticides à proximité d'étendues d'eau et d'autres sites sensibles, telles qu'établies par la législation nationale »

➢ Limiter les risques de pollutions des bâtiments d'élevage

Arrêté du 24 septembre 2009 relatif au plan de modernisation des exploitations d'élevage bovin, ovin, caprin et autres filières d'élevage.

- Article 2 : « Une subvention peut être accordée aux exploitations agricoles ou aux Coopératives d'utilisation de matériels agricoles (CUMA) situées en zone de montagne pour compenser les surcoûts liés à l'utilisation de certains matériels agricoles en zone de montagne dénommée aide à la mécanisation en zone de montagne ».
- Article 3 : « L'objectif du plan de modernisation des bâtiments d'élevage vise à conforter sur le plan économique les exploitations agricoles qui doivent moderniser leur outil de production… »
- Article 4 : « Le soutien public prévu à l'investissement privé dans les exploitations agricoles concerne la construction d'un bâtiment, l'extension et/ou la rénovation d'un bâtiment existant ainsi que certains matériels de mécanisation d'exploitation située en

zone de montagne lorsqu'ils contribuent à améliorer les performances de l'exploitation...)

Dispositions des SAGE :

Le tableau 16 regroupe les dispositions des trois SAGE qui visent à améliorer les pratiques agricoles pour réduire à la source les rejets en phosphore.

Les rejets en phosphore d'origine agricole représentent la part la plus importante des flux de phosphore, 63 % des rejets totaux des émissions du bassin versant de la zone d'étude. La limitation du phénomène d'eutrophisation de la retenue de Grangent dépend fortement donc de la réduction des flux de phosphore d'origine agricole.

En effet, la limitation des surplus agricoles de matière phosphorée constitue la démarche la plus efficace de la diminution des apports en phosphore. Des études sur le bassin du Haut Lignon, ont montrées une sufertilisation des prairies et des céréales, ce qui peut entrainer une perte par lessivage (SICALA, 2014). Il convient donc de sensibiliser les agriculteurs sur les bonnes pratiques et leurs intérêts environnementaux (protection de la ressource en eau), pédologiques (blocage de certains éléments) et économique (surcoûts induits). Ces objectifs de limitation des surplus sont pris en considération au niveau des trois SAGE.

D'autre part des études ont montrées que la réduction des doses journalières en phosphore des bovins peut réduire de 30% les teneurs en P_2O_5 des fumiers (THOMAS et al, 2011). Ainsi, la réduction de la ration en phosphore apportée aux bétails et aux sols (souvent supérieure aux besoins) devrait permettre de réduire les apports en phosphore. Cet objectif devrait être intégrer au plan de gestion du SAGE Lignon du Velay.

Dans certaines conditions climatiques, où les bétails restent une longue durée dans les bâtiments, le stockage d'effluents est très important. Ainsi, un mauvais stockage de ces effluents peut être la cause d'une pollution majeure en phosphore. La gestion des effluents d'élevage est alors une des priorités pour améliorer la qualité des eaux du bassin versant. Cette action devrait être renforcée surtout au niveau de SAGE Loire Amont (à vocation agricole) et du SAGE Lignon qui connait une concentration de bétails dans des petites structures.

Tableau 16: les recommandations du SAGE Loire Amont, Loire en Rhône-Alpes et Lignon du Velay pour diminuer les risques de pollution d'origine agricole.

	SAGE Loire en Rhône-Alpes	**SAGE Loire Amont**	**SAGE Lignon**
Limiter les surplus en phosphore liés aux fertilisants	**Disposition n°2.1.2 :** Promouvoir les bonnes pratiques de fertilisation et limiter les surplus agricoles de matières phosphorées.	**Disposition D.1.3** : Poursuivre l'accompagnement de l'évolution des pratiques liées à l'usage des phytosanitaires, notamment agricoles sur le plateau du Devès et sur l'Yssingelais	1B-4-3 : Réduire / supprimer l'usage des pesticides
	Disposition n°2.3.1 : Suivre les actions agricoles à l'échelle des bassins versants.	**Disposition D.1.2** : Réduire les apports et limiter du phosphore d'origine agricole	
Limiter les risques de pollutions des bâtiments d'élevage	**Disposition n°2.1.3** : Informer sur l'adaptation de l'alimentation animale en vue de la réduction des teneurs en phosphore des effluents d'élevage.	Aucune action	**1B-3-1** : Améliorer les bâtiments d'élevage et la gestion des effluents d'élevage
	Disposition n°2.3.2 : Encourager une bonne gestion des effluents d'élevage.		**1B-3-2** : Encadrer les bâtiments d'élevage et la gestion des effluents

1.2.Renforcer les actions pour diminuer le risque de transfert de phosphore

Objectif :

- Assurer une bonne fonctionnalité des zones humides
- Limiter le ruissellement et l'érosion des sols
- Limiter les risques de transfert du phosphore des boues des STEP

Localisation :

- Territoires du SAGE Loire Amont, SAGE Lignon et SAGE Loire en Rhône-Alpes.

Les acteurs concernés :

Communes, Conseils généraux, Syndicats de bassins versants, Chambre d'Agriculture, État, Département, AELB…

Cadre juridique :

- Assurer une bonne fonctionnalité des zones humides

L’article 211-3 du code de l’environnement modifié par la loi n°2016-1087 du 8 août 2016 - art. 148 démontre :

- L’intérêt des zones humides : « zones humides d’intérêt environnemental particulier »,
- L’importance de les délimiter : « Délimiter, afin d'y établir un programme d'actions… », « …Le programme d'actions peut prévoir l'interdiction de l'usage de substances dangereuses pour la santé ou l'environnement sur ces zones ».

➢ Limiter les risques de transfert du phosphore des boues des STEP

Article L2224-8 :

« Les communes assurent le contrôle des raccordements au réseau public de collecte, la collecte, le transport et l'épuration des eaux usées, ainsi que l'élimination des boues produites… »

Dispositions des SAGE :

Le tableau 16 regroupe les dispositions des trois SAGE qui visent à améliorer les pratiques agricoles pour réduire à la source les rejets en phosphore.

Les zones humides jouent un rôle important, elles permettent d’intercepter et de filtrer naturellement les pollutions diffuses, notamment le phosphore. Il est donc essentiel d’assurer leur bonne fonctionnalité. De ce fait, les SAGE fixent plusieurs objectifs qui visent à inventorier, à restaurer et à gérer les zones humides, en plus de les intégrer dans les documents d’urbanisme.

Quant aux boues provenant des stations d’épuration de plus de 2 000 EH, qui ne sont pas évacuer dans les centres d’enfouissement, elles sont alors valorisées en milieu agricole. Étant donné que ces boues sont riches en phosphore leur gestion lors de l’établissement des plans d’épandage est une nécessité à prendre en compte par le SAGE Lignon pour limiter les surplus en phosphore.

Tableau 17 : les recommandations du SAGE Loire Amont, Loire en Rhône-Alpes et Lignon du Velay pour limiter le risque de transfert du phosphore par ruissellement.

	SAGE Loire en Rhône-Alpes	**SAGE Loire Amont**	**SAGE Lignon**
Assurer une bonne fonctionnalité des zones humides	**Disposition n°1.1.1 :** Inventorier les zones humides	**Disposition C.1.1** : Améliorer la connaissance des zones humides	**2A-1** : Améliorer et diffuser la connaissance sur les zones humides
	Disposition n°1.1.3 : Intégrer les zones humides dans les documents d'urbanisme		
	Disposition n°1.1.3 : préserver les zones humides	**Disposition C.1.2 :** Intégrer les zones humides dans les documents d'urbanismes	**2A-2 :** Protéger les zones humides
	Disposition n°1.1.5 : accompagner à la gestion des zones humides		
	Disposition n°1.1.6 : Restaurer les zones humides	**Disposition C.1.4 :** Favoriser la restauration et la protection durable des zones humides	**2A-3 :** Restaurer les zones humides
	Disposition n°1.1.7 : Informer et sensibiliser sur la préservation des zones humides		
Limiter le ruissellement et l'érosion des sols	**Disposition n°1.5.**1 : Préserver les têtes de bassin	**Disposition C.2.1 :** Améliorer la connaissance des zones «têtes de bassin»	**2B-1** : Améliorer et diffuser la connaissance sur les têtes de bassin versant
	Disposition n°2.3.5 : Prévenir et lutter contre l'érosion des sols	**Disposition C.2.2 :** Restaurer la morphologie des têtes de bassin	**2B-2 :** Mettre en place des mesures spécifiques aux têtes de bassin versant
	Disposition n°4.1.4 : Favoriser l'écoulement superficiel	**Disposition D.1.2 :** Réduire le transfert au réseau hydrographique du phosphore d'origine agricole	
Limiter les risques liés aux boues des STEP	**Disposition n°2.1.5** : Prendre en compte l'élément Phosphore dans la gestion des boues issues du traitement des eaux.	Pas action identifiée	1B-2-5 : Organiser une filière « boues de station d'épuration »

À retenir…

Les actions préventives qui peuvent être proposées dans le cadre d'un plan de gestion de la retenue de Grangent sont :

1- **Mettre en place un protocole de suivi de la retenue,** pour améliorer la connaissance du fonctionnement de la retenue et suivre l'évolution de son état de qualité (mesure de l'oxygène dissous près des sédiments, mesure des concentrations en phosphore dans la retenue et à l'aval du barrage…). Cette action est en cours de définition. Elle pourrait être financée par l'AELB, Saint-Etienne Métropole, EDF et le Conseil Départemental de la Loire.

2- **Mettre en place une station de mesure à l'aval immédiat du barrage** pour connaître la qualité réelle de l'eau qui sort du barrage.

⇨ Ces deux mesures ont pour objectif de disposer des données plus précises à l'amont et à l'aval du barrage en termes de qualité de l'eau. En effet, elles permettront de faire un bilan entrée/sortie du barrage, afin d'avoir une meilleure connaissance sur le relargage et le stockage du phosphore par les sédiments de la retenue, et ainsi pouvoir estimer plus précisément la baisse en phosphore à la source.

3- **Prioriser la gestion des apports d'origine agricole en renforçant les actions proposées par les SAGE :**

- La limitation des surplus liés au fertilisants (connaître les valeurs fertilisantes et limiter les apports de phosphore en incitant les agriculteurs aux bonnes pratiques agricoles, mise en place de MAET…)
- La limitation des risques liés aux bâtiments d'élevage, notamment dans les territoires où les périodes d'hivernage sont plus longues (informer sur l'adaptation de l'alimentation animale, encadrement et suivi des bâtiments,…)

4- **Améliorer la qualité des rejets des stations d'épuration :**

- Réduire à la source le phosphate des produits lessiviels (encourager la suppression des produits lessiviels industriels sur tous le territoire, renforcer ces actions au niveau du SAGE Lignon car aucune action n'a été identifiée…)
- Limiter les risques liés aux boues des STEP (par exemple, ajouter une disposition au SAGE Loire Amont concernant la gestion des boues des STEP,…).
- Renforcer les visites de contrôle des STEP et des déversoirs d'orage, pour contrôler leur bon fonctionnement.

2. Les actions Curatives :

Les actions curatives, proposent des solutions pour agir directement sur la retenue sans prendre en compte les apports en phosphore, en perturbant le développement des cyanobactéries. Elles permettent de réduire les concentrations en phosphore dans la colonne d'eau et dans les sédiments.

Cette partie consiste à présenter les actions curatives menées sur la retenue de Grangent et d'en proposer d'autres qui semblent, au regard du diagnostic et de retour d'expériences les plus adaptées à la retenue de Grangent.

2.1.Les actions menées sur le lac de Grangent :

- Le brassage artificiel

Afin de limiter la prolifération des cyanobactéries au niveau de la zone touristique de Saint-Victor, des lignes de brassages artificiels ont été installé à l'amont et à l'aval de cette station suite à un plan d'action renforcé mis en place en 1990par le Conseil Général de la Loire (Latour et al, 2002). Par la suite, le suivi de la qualité de l'eau qui a été réalisé en 1997 et 1998 a montré que l'impact du système de bullage est limité dans la retenue de Grangent, en raison sa profondeur importante (45 m de profondeur).

En effet, TOTEZ (1981) a démontré que si la profondeur du brassage est en dessous de la zone de compensation photique un phénomène d'apport de nutriment en surface peut se produire (LATOUR, 2002). Ainsi, les cyanobactéries auront plus de nutriments à leur disposition et leur taux de croissance augmentera.

D'un autre point de vue VISSER et al (1996) supposent que l'obtention d'un résultat positif nécessite un mélange de 80% des eaux de la retenue, ce qui n'est pas le cas de la retenue de Grangent, dont une petite partie a été aérée par le système de bullage (LATOUR, 2002).

- Étude préalable d'un projet de curage

Une étude préalable à un projet de curage du Bec de l'Ondaine à l'amont de la retenue de Grangent a été réalisée en 1995 à la demande du Conseil Général de la Loire.

Compte tenu de la topographie des lieux, des risques de crues et des impacts liés au transport, c'est l'extraction en eau qui a été privilégiée, deux techniques ont été présentées ; la drague aspiratrice et la pelle hydraulique.

Plusieurs appels d'offre ont été proposé, trois candidats ont été choisis pour cette étude (groupement EXTRACT, groupement, SADE et groupement GEOCLEAN) mais le coût étant trop élevé (environ 40 millions de Francs) et les financements manquants, le projet a été abandonné.

2.2.Propositions d'actions curatives sur la retenue de Grangent

L'action déjà menée (brassage artificiel) sur le lac de Grangent n'a pas permis de limiter la prolifération des cyanobactéries. Par ailleurs, les méthodes de curage de plans d'eau sont

nombreuses, AUSTRY E (2012) a pu synthétiser dans son étude sur la prolifération des cyanobactéries dans le lac au Duc (Morbihan) les méthodes existantes et les conditions favorables à leur mise en œuvre et cela en comparant leur efficacité sur d'autres plans d'eau eutrophisés. Le tableau de synthèse a été repris est appliqué sur le lac de Grangent.

Actions curatives	Conditions favorisant une éfficaacité réelle	Cas du lac de Grangent	
		Oui	Non
Soutirage hypolimnique	Hypolimnion volumineux et stratification intense	x	
	Charge externe réduite		x
Dillution/Chasse	Système de vidange (vannes)		x
	Point d'apport en eau en amont (de meilleure qualité)		x
Mise à assec	Système de vidange (vannes)	x	
	Présence de batardeaux		x
Abaissement permanent du niveau d'eau	Système de vidange (vannes)	x	
	Présence de batardeaux		x
Pré barrage	Au minimum 1 m de profondeur	x	
Curage-Dragage	Faible profondeur d'eau		x
	Envasement	x	
	Charge interne >> charge externe		x
Destratification	Lac profond (5m-15m à cause du coût)	x	
	Lac avec stratification peu profonde		x
	Temps de séjour < 15 jours en été		x
Recouvrement des sédiments	Petites surfaces		x
	Faible apport des sédiments en amont		x
Contournement du plan d'eau	Discontinuité écologique du cours d'eau		x
	Petits plans d'eau		x
Efacement du plan d'eau	Discontinuité écologique du cours d'eau		x
	Usages peu nombreux et relatifs		x
Aération hypolimnique	Charge externe réduite		x
	Hyplimnion stable, volumineux, épais		?
Précipitation/Inactivation du phosphore	Précipitation : importance de la charge externe	x	
	Précipitation : lac petit à moyen et de faible profondeur		x
	Inactivation : charge externe réduite		x
	Incativation : lac creux et profond	x	
Diminution de la lumière incedente	Couverture si abscence d'activités nautiques et de pêche		x
	Encres si abscence d'usine AEP		x
	Encres : plans d'eau avec profondeur moyenne > 1m	x	
Ultra-sons	Petites surfaces		x
Algicides	Plans d'eau peu profond (< 1 m)		x
Bioadditifs	Taille petite à moyenne		x
	Accumulation de sédiments dont le taux de MO > 20 %	?	
Biomanipulations	Fertilisation azote : carence en azote	x	
	Empoisonnement : charge externe < 0.69g P/m^2/an		x
	Connaissance du peuplement piscicole	x	
	Macrophytes : plan d'eau peu profond		x
	Concentration en P < 0.15mg/l		x
Pré-retenue tampon	Apport externe conséquent	x	

Le choix des actions curatives doit se faire en adéquation avec les caractères du site.

Ainsi, la retenue présente une stratification importante, néanmoins sa charge interne en phosphore est inférieure à sa charge externe, de plus elle est très profonde (45m), ce qui rend certaines actions curatives inadaptées : le soutirage hypolimnique, l'aération hypolimnique, le curage et le dragage.

La qualité des eaux à l'amont n'est pas très bonne, donc l'action par dilution et chasse ne peut pas être entreprise.

L'action par utilisation de bioadditifs ou d'ultra-sons convient aux traitements des petites surfaces, ce qui n'est pas le cas de la retenue de Grangent. Par contre, elles peuvent être utilisées pour une action rapide sur le plan d'eau à Saint-Victor.

L'alimentation en eau potable par le barrage limite les actions liées aux traitements par diminution de la lumière incidente en déversant de l'encre, ou l'utilisation d'algicides provoquant le relargage des cyanotoxines. La suppression du plan d'eau est également impossible du fait de la production hydro-électrique.

La complexité et les caractéristiques de la retenue de Grangent présentent une limite à plusieurs méthodes de curage. Toutefois, il est impératif de faire un choix pour améliorer la qualité de ses eaux. Ainsi, des actions peuvent être proposées :

1- **La mise en place d'une pré-retenue** à l'aval de l'Ondaine reste envisageable. Cette retenue permettrait d'une part de limiter le déplacement des sédiments de l'Ondaine vers le barrage de Grangent, d'autre part, de limiter les apports en phosphore provenant du bassin versant, et qui ne seraient pas encore maitrisées.

2- **Le traitement par biomanipulations** peut être une bonne technique dans le cas de la retenue de Grangent. À titre d'exemple, une introduction de macrophyte tels que Phalaris arundinacea et Juncus effusus (connu sous le nom de Baldingère faux-roseau et le Jonc épars) dans des endroits non gênant les usages peut avoir un impact positif (Austry, 2012). En effet, ils créent une compétition pour le phosphore, ce qui limite le développement des cyanobactéries.

3- **Intégrer Grangent à l'étude en cours portée par l'EPL** sur les sédiments de Villerest, afin de connaitre la composition et l'impact des sédiments sur la qualité de la retenue et pouvoir étudier les incidences d'un curage ou d'une remobilisation de ces sédiments sur la qualité des eaux à l'aval de la retenue.

Conclusion :

Cette étude a permis d'établir les premiers calculs de flux de phosphore transitant dans le cours d'eau et d'identifier les principales sources d'émissions par territoire de SAGE. Dans ce cadre deux méthodes ont été utilisées ; la modélisation par PEGASE et le calcul manuel par application de formules. Ainsi, trois sources ont été définies :

- les flux urbains : assainissement collectifs ;
- les flux industriels : rejets des industries ;
- les flux agricoles : déjections animales et exportation par les cultures.

A la lumière des résultats obtenus, les apports d'origine agricoles représentent plus de la moitié des apports totaux que le lac reçoit (74 tonnes sur les 118 tonnes par an de phosphore) principalement provenant du territoire du SAGE Loire Amont (52 tonnes sur les 74 tonnes par an des rejets agricoles) et du SAGE Lignon. Les rejets d'origine urbaine représentent la deuxième source de phosphore du bassin versant. En effet, même les stations d'épuration supérieures à 2 000 EH ne sont pas toutes conformes aux normes. Ainsi, des actions doivent êtres entreprises pour mettre en conformité ces stations que ça soit sur les stations en elles-mêmes ou sur les réseaux de collecte. De plus, une amélioration des systèmes de traitement des stations d'épuration inférieures à 2 000 EH est souhaitable. Enfin le domaine industriel, étant la troisième source de phosphore dans le bassin versant, émet un flux de 6.7 tonnes par an, provenant principalement du territoire du SAGE Loire en Rhône-Alpes (4.9 tonnes par an des rejets industriels).

Il a été supposé qu'une concentration moyenne de 0.024 mg/l de phosphore au niveau du barrage de Grangent est une valeur limite à ne pas dépasser pour limiter le développement des cyanobactéries et améliorer l'état trophique de la retenue. Cela, reviendrait alors à une diminution drastique des flux entrants estimée à une valeur de 25 tonnes par an d'émissions de phosphore total, correspondant à une division par 4 des émissions évaluées pour 2016 (100 tonnes d'émissions de phosphore totale).

Cependant, la reconquête de la qualité des eaux de la retenue sera très longue même avec la diminution des flux entrants, car le stock de phosphore accumulé dans les sédiments contribue de manière significative au maintien du processus d'eutrophisation. Ainsi, L'amélioration de l'état de la retenue peut nécessiter un curage des sédiments, sauf que ses conséquences sont mal connues. Une étude détaillée sur la composition des sédiments de la retenue devra être faite pour déterminer leurs impacts en cas de mobilisation.

Bibliographie

Agro service international, 2017. [En ligne]
Available at: http://www.agroservicesinternational.com/Education/Fert6.html
[Accès le 25 07 2017].

Anon., s.d. *Banquehydro.* [En ligne]
Available at: http://www.hydro.eaufrance.fr/
[Accès le 20 05 2017].

Austry, E., 2012. *Apports de phosphore et prolifération de cyanobactéries dans le lac au Duc (Morbihan) : Diagnostic et propositions préventives et curatives potentielles,* s.l.: s.n.

Banquehydo, 2., s.d. *Banquehydo.* [En ligne]
Available at: http://www.hydro.eaufrance.fr/
[Accès le 20 05 2017].

Banquehydo, s.d. *Banquehydo.* [En ligne]
Available at: http://www.hydro.eaufrance.fr/
[Accès le 20 05 2017].

Banquehydro, 2017. *Banquehydro.* [En ligne]
Available at: http://www.hydro.eaufrance.fr/
[Accès le 20 05 2017].

Barillier, A., Nivon, C., Campagne, M. & Fournier, D., 2001. Aide à la déision pour le traitement des plans d'eau - manuel technique. *Etude sur l'eau en France,* Issue 38, p. 104.

Berthon, J. et al., 1996. *déterminisme de l'eutrophisation de la retenue de Grangent (Loire) : étude des apports en nutriments, de la dynamique des populations phytoplanctoniques et des relations phyto-zooplancton en 1990 - 1991.*

Blais, S., 2002. *La problématique des cyanobactéries (algues bleu-vert) à la baie Missisquoi,* s.l.: s.n.

Brient, L., 2004. *Eau et rivière.*

Carrier, G., 2016. *Élaboration d'un programme d'actions de reconquête de la qualité de l'eau de la retenue multi-usages de Grangent sur la Loire.*

Caudron, A., 2011. *Températures d'eau et poissons, un équilibre fragile et complexe.*

CD Haute Loire, 2008. *SAGE Loire Amont : Etat des lieux. p. 37.*

CD Loire, 2014b. *SAGE Loire en Rhône-Alpes : Plan d'aménagement et de gestion durable approuvé par arrêté interpréfectoral du 30 août 2014. 262.*

CEME, 2004. *Application du modèle PEGASE au basson Loire Bretagne.*

CNRS, 2017. *CNRS.* [En ligne]
Available at: http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/ecosys/eutrophisat.html
[Accès le 18 05 2017].

COGEBY, 2017. *Conseil de gestion du bassin versant de la Yamaska.* [En ligne]
Available at: http://www.cogeby.qc.ca/
[Accès le 2017].

Communes, 2016. *Rapport annuel STEP.*

Conseil départemental de la Loire, 2008. *Grands ouvrages: Barrage de Grangent, Canal du Forez. p. 14 .*

Conseil départemental de la Loire, 2014b. *SAGE Loire en Rônes-Alpes : plan d'aménagement et de gestion durable approuvé par arrêté interpréfectoral du 30 aout 2014.*

Conseil départemental de la Loire, 2016. [En ligne]
Available at: http://www.loire.fr/jcms/j 4149/acueil
[Accès le 6 mai 2017].

Contrat de rivière Ondaine-Lizeron, 2015. *Etat des lieux.*

Cours, 2017. *Eklablog.* [En ligne]
Available at:
http://data0.eklablog.net/ocan/perso/cours%20et%20tp%20en%20ligne/qualite%20eau.pdf
[Accès le 2017].

Deharo, L., 2008. *Risques sanitaires lors de la prolifération des cyanobactéries.*

Département de la Haute Loire, 2010. *SAGE Loire Amont.*

Dorioz, J. M., Aurousseau, P. & Bourrié, G., 2007. *Lle phosphore dans l'environnement : Bilan des connaissances sur les impacts, les transferts et la gestion environnementale.*

EDF, 2012. *Barrage et usine de Grangent (42) - mémoguide.*

Envilys, 2011. *Diagnostic agricole sur les bassins versants de l'Ondaine et du Lizeron.*

Florent, P., 2014. *Bilans et transferts de phosphore dans le bassin versant du lac du Bourget : Caractérisation, interprétation et modélisation des flux.*

Hubert, K., 2016. *Programme de suivi de la qualité de l'eau des lacs et rivières.*

IREP, 2017. *Géorisques.* [En ligne]
Available at: http://www.georisques.gouv.fr/dossiers/irep-registre-des-emissions-polluantes
[Accès le 06 2017].

ITP, 2011. *Institut technique du porc: Phosphore et environnement..*

Leffondre, A., 2015. *Elaboration de la stratégie de valorisation et d'ouverture au public des espaces naturels sensibles de la Loire.*

Levi, 2006. *Evaluation des rsiques liés à la présence de cyanobactéries et de leurs toxines dans les eaux destinées à l'alimentation, à la baignade et autres activités réactives.*

Norlin, R., 2014. *Lake Singletary Trophic Status Model and Management Plan.*

ONEMA, 2015. *Eléments de méthode pour la définition des niveaux de rejets du petit collectif.*

Oullet, M., 2012. *Ecotoxicologie des toxines des cyanobactéries.*

Pezet, F., 2014. *Bilans et transferts du phosphore dans le lac du Bourget : caractérisation, interprétation et modélisation des flux.*

Quilbé, R. & Rousseau, N., 2007. *an integrated modelling system for watershed.*

RAPPEL, 2010. *Regrouppement des assocaitions pour la protection de l'environnement des lacs et des cours d'eau. Bilan de phosphore et évaluation de la capacité de support du lac Troussers.*

Ruban, 1997. *Potentialités de relargage du phosphore dans la retenue hydroélectrique de Bort-les-Orgues.*

Salençon, M. J., 1995. *Evolution de l'écosystème de la retenue de Grangent de 1978 à 1992-EDF.*

Salençon, M. J., 1995. *Evolution de l'écosystème de la retenue de Grangent en 1995 : comparaison aux années précédentes.*

Saumet, M., 2004. *En passant par l'Ondaine.*

Schindler, D. W., 2006. Recent advances in understading and managment of eutrophication. *Limnology and Oceanography,* 51(1), pp. 356-363.

SICALA, 2014. *Projet agro-environnemental et climatique du haut Lignon.*

Stricker, 2010. *Journée d'échange. Traitement des eaux usées, des boues et des matières de vidange pour les petites et moyennes collectivités.*

Thomas, S. & Le Gall, G., 2009. *Définistion d'une stratégie de réduction des flux de phosphore dans le bassin versant de la retenue de illerest : Stratégie et action sectorisés pour limiter les flux de phosphore.*

Thomas, S. & Le Gall, G., 2011. *Définition d'une stratégie de réduction des flux de phosphore dans le bassin versant de la retenue de VILLEREST.*

Vedura , 2017. *Vedura.* [En ligne]
Available at: http://www.vedura.fr/environnement/pollution/eau-eutrophisation-ecosystemes-aquatiques
[Accès le 18 05 2017].

Vornax, J., 2017. *Planet Vie.* [En ligne]
Available at: https://planet-vie.ens.fr/content/cyanobacteries-et-cyanotoxines#chap3
[Accès le 05 06 2017].

Liste des figures

Figure 1 : Organigramme de l'organisation du PADD (Leffondre, 2015)..... 8
Figure 2 : Périmètre du SAGE Loire en Rhône Alpes (Conseil départemental de la Loire, 2014b)..... 9
Figure 3 : organisation du SAGE Loire en Rhône-Alpes lors de son élaboration. Source : CD Loire, 2014b..... 10
Figure 4 : Localisation du barrage de Grangent. (Salençon, 1995)..... 11
Figure 5: Schéma représentant la retenue de GRANGENT (EDF, 2012)..... 12
Figure 6 : mode de répartition du débit à la sortie de Grangent (CD Loire, 2014b). 13
Figure 7 : Débits moyens mensuels à Bas-en-Basset sur 99 ans (Banquehydro, 2017)..... 13
Figure 8 : histogramme représentatif des occupations du sol du bassin versant de Grangent..... 14
Figure 9: disposition du SAGE Loire en Rhône-Alpes concernant la retenue de Grangent (Conseil départemental de la Loire, 2014b)..... 15
Figure 10 : Évolution de la température (moyennes mensuelles 2010 – 2015)..... 21
Figure 11 : Évolution de la matière en suspension et des débits à l'amont et à l'aval du barrage 22
Figure 12 : Évolution de l'oxygène dissous à l'amont et à l'aval du barrage (moyennes mensuelles 2007-2015). 23
Figure 13 : Évolution des concentrations en phosphore à l'amont du barrage de Grangent 24
Figure 14 : Évolution des concentrations de chlorophylle a à l'amont du barrage de Grangent. 25
Figure 15 : Évolution des concentrations de phosphore à l'amont du barrage de Grangent..... 26
Figure 16 : Pourcentage du phosphore mis en jeu par les différents types d'élevage en 2010 dans le bassin versant de Grangent..... 32
Figure 17 : Pourcentage du phosphore mis en jeu par les différents types d'élevage en 2000 dans le bassin versant de Grangent..... 32
Figure 18 : Émission du phosphore d'origine industrielle en 2010. 36
Figure 19 : Émission du phosphore d'origine industrielle en 2014. 36
Figure 20 : Rejets des stations d'épuration > 2000 EH à l'amont du barrage de Grangent (en 2016). .. 40
Figure 21 : Pourcentage d'apport en phosphore par type de rejet. 41
Figure 22 : Concentration en phosphore (en mg/m^3) dans la retenue de Grangent de 2010 à 2016. ... 44
Figure 23 : Carte des problématiques par territoire de SAGE..... 50

Liste des tableaux

Tableau 1: Seuils réglementaires et recommandations de gestion et de surveillance en fonction du niveau de contamination par les cyanobactéries. (Source : Vonarx J) 19
Tableau 2 : Concentration en oxygène dissous dans la retenue de Grangent (en mg (O_2)/l) 23
Tableau 3 : Critères de qualité des eaux pour la chlorophylle a établis par le MDDELCC (Hubert, 2016)..... 25
Tableau 4: surfaces (en km^2) par type d'occupation de sol..... 29
Tableau 5 : les flux de phosphore exportés par ruissellement (tonne/an)..... 30
Tableau 6 : Apport total en phosphore par type d'élevage (tonne/an)..... 32
Tableau 7 : Apport réel exportée directement au cours d'eau (tonne/an)..... 33

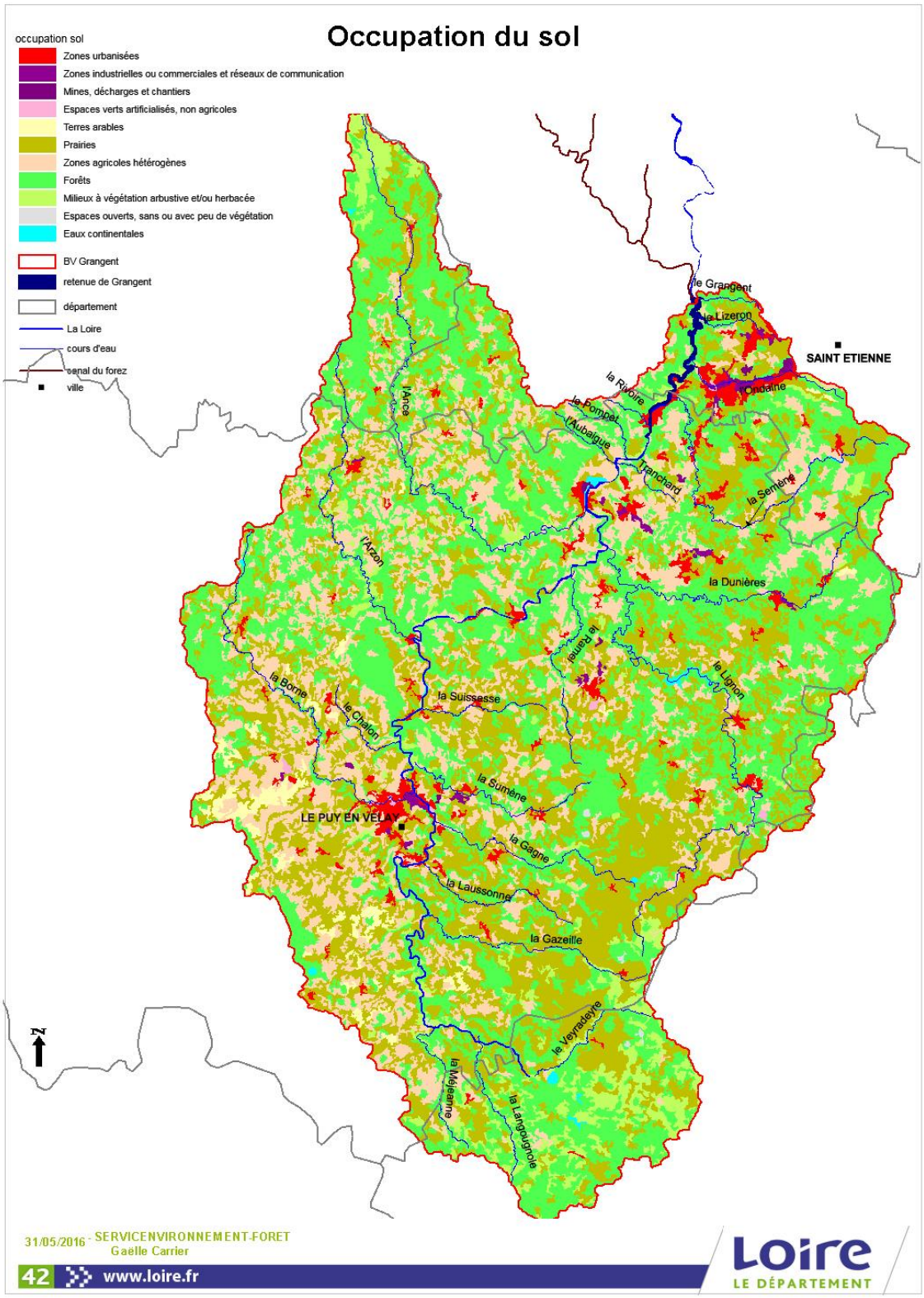
Tableau 8 : flux de phosphore d'origine industrielle par SAGE (en tonne/an)..... 34
Tableau 9 : Charge en phosphore urbain rejetée par SAGE..... 37
Tableau 10 : Résultats des données relatives aux stations d'épuration >2000 Équivalent habitants en 2016..... 38
Tableau 11: Concentrations moyennes annuelles à l'amont du barrage (mg/m^3) de 2010 à 2016. 43
Tableau 12 : Le stockage et le déstockage par les sédiments (tonne /an)..... 43
Tableau 13 : Flux calculés et flux modélisés en 2016 (en tonne par an)..... 46
Tableau 14 : Flux modélisé par le logiciel PEGASE en 2005..... 46
Tableau 15 : Les recommandations du SAGE Loire Amont, Loire en Rhône-Alpes et Lignon du Velay pour diminuer les risques de pollution d'origine urbaine..... 56
Tableau 16: les recommandations du SAGE Loire Amont, Loire en Rhône-Alpes et Lignon du Velay pour diminuer les risques de pollution d'origine agricole..... 59
Tableau 17 : les recommandations du SAGE Loire Amont, Loire en Rhône-Alpes et Lignon du Velay pour limiter le risque de transfert du phosphore par ruissellement. 61

Liste des annexes

Annexe 1 : Occupation des sols (Source : Rapport Gaelle Carrier, 2016) 73
Annexe 2 : Grille d'évaluation de la qualité des eux de rivière (Cours, 2017). 74
Annexe 3 : Débits moyens annuels à l'amont du barrage. 74
Annexe 4 : Concentration en chlorophylle a de la retenue de Grangent. 75
Annexe 5 : Les fonctions d'apport par occupation de sol (TURPIN et al., 2010)..... 75
Annexe 6 : Nombre de têtes par type d'élevage dans le bassin versant de Grangent..... 75
Annexe 7 : Rejets en P des différentes espèces Références CORPEN (ITP, 2011)..... 76
Annexe 8 : Poids vif des animaux. 76
Annexe 9 : Exigences minimales et maximales de rejets selon la taille des agglomérations (ONEMA, 2015)..... 76

ANNEXES

Annexe 1 : Occupation des sols (Source : Rapport Gaelle Carrier, 2016)



Annexe 2 : Grille d'évaluation de la qualité des eux de rivière (Cours, 2017)**.**

O_2 dissous mg/l	DBO_5 mg O_2/l	DCO mg O_2/l	NH_4^+ mg NH_4^+/l	Phosphore total mg P/l	Coliformes fécaux par 100 ml
> 7	< 3	< 20	< 0,1	< 0,1	< 20
7 – 5	3 – 5	20 – 25	0,1 – 0,5	0,1 – 0,3	20 – 2000
5 – 3	5 – 10	25 – 40	0,5 – 2	0,3 – 0,5	2000 – 20
3 – 1	10 – 25	40 – 80	2 – 8	0,5 – 3	> 20 000
< 1	> 25	> 80	> 8	> 3	-

Grille simplifiée pour l'évaluation de la qualité des eaux de **rivière**

1ère ligne : classe 1A :bonne : absence de **pollution de l'eau** significative.
2ième ligne classe 1B : Assez bonne. **Pollution de l'eau** modérée.
3ième ligne : classe 2 : Médiocre. **Pollution de l'eau** nette.
4ième ligne : classe 3 : Mauvaise. **Pollution de l'eau** importante.
5ième ligne : Hors Classe. **Pollution de l'eau** très importante

Annexe 3 : Débits moyens annuels à l'amont du barrage.

Année	Q en l/s
2010	39 514
2011	18 847
2012	31 281
2013	43 539
2014	48 431
2015	25 687
2016	32 178

Annexe 4 : Concentration en chlorophylle a de la retenue de Grangent.

Date	Concentration en chlorophylle a	unité
21/03/2007	133	µg/L
21/03/2007	133	µg/L
25/05/2007	133	µg/L
25/05/2007	133	µg/L
26/07/2007	133	µg/L
26/07/2007	133	µg/L
18/10/2007	133	µg/L
18/10/2007	133	µg/L
24/03/2010	133	µg/L
25/05/2010	133	µg/L
09/08/2010	133	µg/L
06/09/2010	133	µg/L
06/03/2013	133	µg/L
23/05/2013	133	µg/L
31/07/2013	133	µg/L
23/09/2013	133	µg/L

Annexe 5 : Les fonctions d'apport par occupation de sol (TURPIN et al., 2010).

Occupation du sol	P en kg/ha/an	Valeur retenue
Forêts	< 0.3	0.03
Pelouse drainée	0.01 à 0.23	-
Prairies et forêt	0.02 à 1.7	0.02
polyculture	0.08 à 2.4	-
Polyculture élevage	0.08 à 1.3	-
céréaliculture	0.03 à 1.24	-
Vigne	0.07 à 6.95	-
Agriculture	0.16 à 0.69	0.4

Annexe 6 : Nombre de têtes par type d'élevage dans le bassin versant de Grangent.

	Nombre de têtes	
	2000	2010
BOVINS	148 318	148 221
OVINS	49 580	34 483
PORCINS	25 913	15 502
VOLAILLES	78 194	74 364

Annexe 7 : Rejets en P des différentes espèces Références CORPEN (ITP, 2011)

		unité	Rejets P_2O_5
Porcins (1996)	Porc à l'engrais produit	Kg/animal	2.1
	truie	Kg/animal/an	15
Bovins (1988)	Vache laitière	Kg/animal/an	36.0
	Vache allaitante	Kg/animal/an	25.2
	Bovin viande 0 – 1 an	Kg/animal/an	10.8
	Bovin 1- 2 an	Kg/animal/an	21.6
Ovins (1988)	Brebis	Kg/animal/an	6.0
Volailles (1997)	Poulet de chair	g/animal	31

Annexe 8 : Poids vif des animaux.

	Poids Vif (PV) (Kg)
Porc à l'engrais	108
Porc en post sevrage	28
Veau de boucherie	130
Agneau	34
Poulet de chair	1.9
Dinde	7.9

Annexe 9 : Exigences minimales et maximales de rejets selon la taille des agglomérations (ONEMA, 2015)**.**

Capacité (EH)	Exigences minimales Réglementaires[1]	Exigences maximales abordables : valeurs guides pour les paramètres responsables du déclassement
< 200 EH	**DBO5** : 35 mg O_2/l ou 60 % **DCO** : 200 mg O_2/l ou 60 % **MES** : 50 %	**DBO5** : 25 mg O_2/l, **DCO** : 125 mg O_2/l, **MES** : 35 mg /l **N-NH_4** : 10 mg/l, **Nk** : 15 mg/l **Pt** : **Pas de traitement car coût très élevé.** *Si enjeu démontré [3], alternatives au traitement [2]* **NO_3 ou Ngl** : **Pas de traitement (voir chapitre IV.3).** *Si rare cas à enjeu[4], alternatives au traitement [2],*
200 à 2000 EH	**DBO5** : 35 mg O_2/l ou 60 % **DCO** : 200 mg O_2/l ou 60 % **MES** : 50 %	**DBO5** : 15 mg O_2/l, **DCO** : 90 mg O_2/l, **MES** : 20 mg /l **N-NH_4** : 10 mg.l, **Nk** : 15 mg/l **Pt** : Coût élevé, risque de difficulté de financement[3] et d'exploitation. *Si enjeu démontré [3], alternatives au traitement ou traitement à 2 mg/l, en moyenne annuelle* **NO_3 ou Ngl** : **Pas de traitement (voir chapitre IV.3).** *Si rare cas à enjeu[4], alternatives au traitement [2],*
2000 à 10 000 EH — 2000 à 5000 EH	**DBO5** : 25 mg O_2/l ou 80 % **DCO** : 125 mg O_2/l ou 75 % **MES** : 35 mg O_2/l ou 90 %	**DBO5** : 15 mg O_2 /l, **DCO** : 90 mg O_2/l, **MES** : 15 mg /l **N-NH_4** : 8 mg.l, **Nk** : 10 mg /l **Pt** : 2 mg /l, en moyenne annuelle **N-NO_3** : 5 mg /l, **Ngl** : 15 mg /l, en moyennes annuelles
2000 à 10 000 EH — 5000 à 10 000 EH		**DBO5** : 15 mg O_2 /l, **DCO** : 90 mg O_2/l, **MES** : 15 mg /l **N-NH_4** : 5 mg.l, **Nk** : 8 mg /l **Pt** : 1.3 mg /l, en moyenne annuelle **N-NO_3** : 5 mg /l, **Ngl** : 15 mg /l, en moyennes annuelles