



**HAL**  
open science

# Mise en conformité du système d'assainissement de Moulins par temps de pluie : modélisation du réseau d'assainissement, Moulins Communauté (03)

Hajar Afathi

## ► To cite this version:

Hajar Afathi. Mise en conformité du système d'assainissement de Moulins par temps de pluie : modélisation du réseau d'assainissement, Moulins Communauté (03). Sciences de l'ingénieur [physics]. 2019. dumas-02476633

**HAL Id: dumas-02476633**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02476633>**

Submitted on 12 Feb 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Mémoire de fin d'études

# Mise en conformité du système d'assainissement de Moulins par temps de pluie

## -Modélisation du réseau d'assainissement-

### *Moulins Communauté (03)*

Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme : Mastère Spécialisé « Eau Potable et Assainissement » de l'ENGEES

Soutenance : le 19 novembre 2019

**AFATHI Hajar** (EPA 2018-2019)

Stage du 13 mai au 8 novembre 2019

**SAFEGE Direction France Est - Agence  
Auvergne**

Zac du Cheix 3 Rue Enrico Fermi

63540 Romagnat

Tel : 04 73 19 59 80

**Maitres de stage :**

- ANDRIEU Marc, Directeur de l'agence  
Régionale Auvergne
- MEENS Anne, Ingénieur de projet



**Tuteur ENGEES : INSENMANN Gilles**

**Jury de soutenance :**

- DESSEZ Pierre-Jean, ENGEES
- MALFROY CAMINE Michaël, Eurométropole  
de Strasbourg
- BAUER Thierry, BEREST

---

## REMERCIEMENTS

En premier lieu, je remercie ANDRIEU Marc, directeur de SAFEGE Clermont-Ferrand de m'avoir permis de réaliser ce travail au sein de son organisme.

Je remercie particulièrement MEENS Anne, ma tutrice de stage pour son encadrement, sa capacité d'écoute hors du commun, sa compréhension vis-à-vis des difficultés rencontrées lors de ce stage et l'expérience professionnelle qu'elle m'a fait partager tout au long de l'étude.

Merci à toute l'équipe de SAFEGE Clermont-Ferrand pour m'avoir aussi bien intégré dans leur agence.

La première période de ce stage étant réalisée au sein de l'agence Rhône-Alpes de SAFEGE à Lyon, je suis reconnaissante envers cette structure qui m'a permis de vivre une expérience professionnelle et personnelle précieuse.

Je remercie également M. ISENMANN Gilles pour son suivi pédagogique et sa disponibilité.

Finalement, merci à toutes ces personnes qui ont contribué, par leur disponibilité et leur bonne humeur, à rendre mon stage enrichissant et motivant.

## RESUME

### Mise en conformité du système d'assainissement de Moulins par temps de pluie

La communauté d'agglomération Moulins Communauté (03) est une structure intercommunale qui assure sur son territoire plusieurs compétences dont celle liée à l'assainissement.

La station d'épuration intercommunale des Isles située sur la commune d'Avermes à la limite Nord de Moulins traite actuellement les effluents d'environ 37 000 habitants auxquels s'ajoutent des raccordements industriels. Son exploitation démontre qu'elle est capable d'encaisser jusqu'à 24 000 m<sup>3</sup>/j. Mais connectée à un réseau pour moitié unitaire et donc très sensible aux événements pluvieux, les volumes en entrée sont très variables et dépassent fréquemment cette capacité engendrant des non conformités.

Moulins Communauté souhaite donc retourner à la conformité de la collecte par temps de pluie définie par la note technique du 7 septembre 2015 relative à la mise en œuvre de certaines dispositions de l'arrêté du 21 juillet 2015.

Pour parvenir à cet objectif, une analyse du fonctionnement du système d'assainissement existant est réalisée à partir des données de l'autosurveillance. Ensuite, la modélisation des principaux collecteurs du réseau unitaire permet de réaliser des simulations de longue durée afin d'estimer les volumes collectés par l'ensemble du système et les volumes déversés par les déversoirs d'orage. La modélisation hydraulique permet également de simuler les solutions techniques afin de résoudre la problématique.

**Mots-clés :** assainissement, conformité, réseau unitaire, modélisation, temps de pluie, autosurveillance, stockage, déversoir d'orage, simulations de longue durée, solutions techniques, système de collecte, volumes collectés, volumes déversés.

## ABSTRACT

### Compliance of the Moulins wastewater system during rainy events

The agglomeration community Moulins Communauté (03) is an intermunicipal organization that provides on its territory several services including sewerage related ones.

The Isles intermunicipal treatment plant located in the commune of Avermes at the northern limit of Moulins is currently treating effluents of about 37 000 inhabitants that are also connected to industrial wastewater. Its exploitation shows that it is able to reach 24 000 m<sup>3</sup>/d. But the connection to a half-combined sewerage network consequently very sensitive to rainy events makes the input volumes very variable and frequently exceeding this capacity generating non-conformities.

Moulins Communauté therefore wishes to reapply the conformities of the collection in rainy events defined by the technical note of September 7, 2015 related to the implementation of certain provisions stated in the July 21, 2015 's decree.

To achieve this goal, an analysis of the existing sewerage system's functioning is carried out based on the self-monitoring data. Then, the modeling of the main collectors of the combined network enables the long-term simulations in order to estimate the volumes collected by the whole system and the volumes discharged by the combined sewer overflows. Hydraulic modeling also makes it possible to simulate technical solutions in order to solve the problem.

**Keywords:** sewerage, compliance, combined network, modeling, rainy event, self-monitoring, storage, combined sewer overflows, long-term simulations, technical solutions, collection system, volumes collected, volumes discharged.

## SOMMAIRE

<b>REMERCIEMENTS</b> .....	<b>2</b>
<b>RESUME</b> .....	<b>3</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>4</b>
<b>LISTE DES ILLUSTRATIONS</b> .....	<b>7</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>8</b>
<b>LISTE DES ABREVIATIONS</b> .....	<b>8</b>
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>9</b>
1. Présentation de l'organisme d'accueil .....	9
2. Contexte du stage.....	9
3. Problématique et enjeux de l'étude.....	9
<b>CONTEXTE REGLEMENTAIRE</b> .....	<b>9</b>
<b>PROBLEMATIQUE</b> .....	<b>10</b>
<b>METHODOLOGIE</b> .....	<b>10</b>
<b>1. Diagnostic du réseau par temps sec</b> .....	<b>12</b>
1.1 Contexte général de l'étude .....	12
1.1.1. Localisation de la zone d'étude .....	12
1.1.2. Population et organisation de l'habitat.....	13
1.2 Milieu naturel .....	14
1.3 Le système d'assainissement de Moulins .....	17
1.3.1 Caractéristiques du réseau et des ouvrages .....	17
1.3.2 Vérification hydraulique des principaux collecteurs .....	20
1.3.3 Station d'épuration des Isles .....	22
1.3.4 Sectorisation .....	23
1.4 Diagnostic par temps sec du réseau d'assainissement .....	25
1.4.1 Rejets théoriques des eaux usées .....	25
1.4.2 Analyse des mesures d'autosurveillance.....	27
1.4.3 Volumes journaliers des eaux usées .....	29
1.4.4 Quantification des ECPP .....	30
1.4.5 Taux de collecte .....	32
1.4.6 Bilan du fonctionnement par temps sec .....	33
<b>2. Modélisation du réseau</b> .....	<b>34</b>
2.1 Principaux généraux .....	34
2.2 Logiciel PCSWMM.....	34

---

2.3	Construction du modèle.....	36
2.3.1	Création de la structure du modèle .....	36
2.3.2	Bassins versants.....	37
2.3.3	Réseau modélisé.....	38
2.4	Calage du modèle .....	39
2.4.1	Principe du calage.....	39
2.4.2	Choix des pluies de calage .....	40
2.4.3	Validation et bilan du calage .....	41
2.5	Conclusion et limites du modèle .....	42
2.6	Justification de la nécessité d'une campagne de mesure .....	44
2.7	Diagnostic du réseau en temps de pluie et bilan de la conformité.....	46
<b>CONCLUSION.....</b>		<b>51</b>
<b>BIBLIORAPHIE.....</b>		<b>52</b>
<b>ANNEXES.....</b>		<b>53</b>
<b>ANNEXE 1 : SUIVI DE LA NAPPE ET ETAT DE LA PLUVIOMETRIE.....</b>		<b>54</b>
<b>ANNEXE 2 : CRITERES DE L'AUTOCURAGE .....</b>		<b>58</b>
<b>ANNEXE 3 : TRI DES CONSOMMATIONS D'EAU POTABLE .....</b>		<b>70</b>
<b>ANNEXE 4 : CONTEXTE REGLEMENTAIRE EN FRANCE .....</b>		<b>74</b>
<b>ANNEXE 5 : MESURES DE L'AUTOSURVEILLANCE .....</b>		<b>77</b>
<b>ANNEXE 6 : BILAN DU CALAGE .....</b>		<b>79</b>

## LISTE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1: Localisation de Moulins dans le département de l'Allier .....	12
Figure 2: Limite géographique du secteur d'étude .....	12
Figure 3: Bassins versants des ruisseaux du secteur d'études .....	14
Figure 4: Niveau moyen de la nappe alluviale de l'Allier à Moulins.....	16
Figure 5: Evolution du niveau de la nappe et de la pluviométrie (2015-2018).....	17
Figure 6: Plan du réseau d'assainissement fourni par Moulins Communauté.....	18
Figure 7: Localisation des ouvrages de déversement et de stockage du réseau de Moulins .....	20
Figure 8: Coupe verticale du terrain d'un réseau d'assainissement .....	21
Figure 9: Localisation de la station d'épuration des Isles.....	22
Figure 10: Chroniques des débits en entrée de STEP de 2015 à 2018 .....	23
Figure 11: Synoptique du système d'assainissement de Moulins.....	24
Figure 12: Graphique type de débit mesuré (année 2018).....	28
Figure 13: Graphique type de débit mesuré (année 2016).....	28
Figure 14: Représentation conceptuelle d'un bassin versant sur SWMM .....	35
Figure 15: Modèle du réseau d'assainissement de Moulins sur PCSWMM .....	39
Figure 16: Pluies de calage .....	41
Figure 17: Plan métrologique potentiel du réseau d'assainissement de Moulins .....	43
Figure 18: Cumuls mensuels de précipitations (pluviométrie Météo France 03321001 – Yzeure .....	48
Figure 19: Année moyenne reconstituée .....	49
Figure 20: Cumuls mensuels de précipitations + année reconstituée (pluviométrie Météo France 03321001 – Yzeure).....	49



## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Résultats des recensements de population INSEE .....	13
Tableau 2 : Résultats des recensements de logements INSEE de 2015 .....	13
Tableau 3: Aspect quantitatif de l'Allier (source : banque HYDRO-code station : K3450810) .....	15
Tableau 4: Aspect qualitatif de l'Allier (source :Agence de l'eau Loire-Bretagne) .....	15
Tableau 5: Caractéristiques générales du réseau .....	17
Tableau 6: Bassins de rétention existants sur la zone d'étude .....	19
Tableau 7: Récapitulatif du respect du diamètre nominal minimal .....	20
Tableau 8: Caractéristiques et capacités nominales de la STEP des Isles .....	22
Tableau 9: Répartition de la consommation domestique par commune .....	25
Tableau 10: Rejets journaliers d'eau usée théoriques d'origine domestique .....	26
Tableau 11: Rejets théoriques d'eau usée par bassin de collecte .....	27
Tableau 12: Bilan des mesures de l'autosurveillance (en m <sup>3</sup> /j) par temps sec .....	29
Tableau 13: Débit journalier moyen d'eaux usées pour chaque point de mesure .....	30
Tableau 14: Estimation des ECPP selon le niveau de la nappe .....	31
Tableau 15: Débit d'ECPP par bassin de collecte .....	32
Tableau 17: Taux de collecte du réseau d'assainissement de Moulins .....	32
Tableau 18: Débits à traiter par la STEP des Isles en 2018 .....	33
Tableau 19: Notes d'évaluation de la qualité du calage .....	42
Tableau 20: Moyennes mensuelles de pluie sur les 30 dernières années (en mm) .....	44
Tableau 21: Analyse des cumuls mensuels de pluie par rapport à l'écart-type (pluviométrie Météo France 03321001 – Yzeure) .....	48

## LISTE DES ABREVIATIONS

**EH** : Equivalent-Habitant

**DO** : Déversoir d'Orage

**EUST** : Eaux Usées Strictes

**ECPP** : Eaux Claires Parasites Permanentes

**BV** : Bassin Versant

**DN** : Diamètre Nominal

**DBO5** : Demande Biochimique en Oxygène au bout de 5 jours

**EP** : Réseau d'eaux pluviales

**EU** : Réseau d'eaux usées strict

**MES** : Matière En Suspension

**NH4** : Ion ammonium

**PR** : Poste de Refoulement

**Ptot** : Phosphore

**STEP** : Station d'épuration des eaux usées

**SWMM**: Storm Water Management Model

## INTRODUCTION

### 1. Présentation de l'organisme d'accueil

SAFEGE est un bureau d'études historiquement spécialisé dans le domaine de l'eau et de l'environnement, intervient auprès des collectivités, autorités publiques, délégataires de service de l'eau et de d'assainissement et propose des prestations qui sont principalement des études, de la maîtrise d'œuvre, de l'assistance à maîtrise d'ouvrage, de l'expertise, de la recherche et du développement ainsi que de l'assistance à l'exploitation.

SAFEGE regroupe de nombreux métiers à savoir :

- Aménagement urbain et ouvrages d'art
- Eau et infrastructures hydrauliques
- Environnement et déchets
- Energies et télécommunications
- Mobilité et transports
- Gouvernance et finances

Grâce à un réseau de 800 ingénieurs et techniciens répartis sur 43 sites en France, SAFEGE répond aux différentes thématiques pour ses clients en tout point du territoire en France métropolitaine et Outre-Mer. Elle génère un chiffre d'affaires de 111 millions d'euros.

Depuis 2015, SAFEGE porte la marque SUEZ, les métiers de l'ingénierie et conseil pluridisciplinaire constituent désormais l'activité « Consulting » de SUEZ.

### 2. Contexte du stage

Au cours de ce stage, j'ai été intégré au service « études » de l'Agence Rhône-Alpes située à Lyon pour une durée de deux mois, où j'ai eu l'occasion de participer aux diverses études hydrauliques en cours, pour ensuite rejoindre le pôle « hydraulique » à l'Agence de Clermont-Ferrand qui a pour objectif la réalisation de plusieurs études de type Schéma Directeur d'eau potable et d'assainissement.

SAFEGE Clermont-Ferrand a été mandaté par Moulins Communauté pour une mission d'assistance à maîtrise d'ouvrage. C'est dans le cadre de ce marché que j'ai réalisé mon stage de fin d'études dont l'objectif est de trouver des solutions technico-économiques pour mettre en conformité le système d'assainissement de Moulins par temps de pluie vis-à-vis de l'arrêté du 21 juillet 2015. Dans ce contexte, j'ai effectué l'étude du fonctionnement du réseau d'assainissement de Moulins et la réalisation d'un modèle hydraulique sur le logiciel PCSWMM permettant de diagnostiquer le réseau existant, d'évaluer l'impact des rejets sur le milieu naturel et d'étudier les différentes solutions technico-économiques afin de remédier les dysfonctionnements constatés.

### 3. Problématique et enjeux de l'étude

#### CONTEXTE REGLEMENTAIRE

L'arrêté du 21 juillet 2015 relatif aux systèmes d'assainissement collectif et aux installations d'assainissement non collectif, à l'exception des installations d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 1,2 kg/j de DBO5 remplace celui du 22 juin 2007.

Selon cet arrêté, une STEU conforme doit être capable de traiter le débit de référence associé au système d'assainissement. Il est égal au percentile 95 des débits journaliers arrivant à la

STEU (en amont du DO de tête). Pour un réseau de collecte qui contient des antennes unitaires, le débit de référence correspond à la somme des effluents usés et des effluents pluviaux dans la limite des pluies qualifiées de fréquentes, le percentile 95 revenant à exclure 18 événements par an. Une période de mesures minimale de 5 ans (si possible) est préconisée pour le calcul du débit de référence afin d'atténuer les variations saisonnières.

## PROBLEMATIQUE

Le système d'assainissement de Moulins est composé d'une station d'épuration d'environ 55 000 EH et d'un réseau de 220km de collecteurs, pour moitié unitaire.

Par arrêté préfectoral du 26 avril 2018, le débit de référence de la station d'épuration des Isles a été fixé à 41 000 m<sup>3</sup>/j (égal au percentile 95 des débits entrants), alors que son dimensionnement hydraulique ne lui permet de traiter que 24 000 m<sup>3</sup>/j. Des non conformités vis-à-vis de l'arrêté du 21 juillet 2015 sont donc constatées en temps de pluie avec des déversements par le déversoir d'orage en tête de station alors que son débit de référence n'est pas atteint.

Il est donc impératif, pour la remise en conformité du système d'assainissement de Moulins, que des solutions de stockage temporaire des effluents soient aménagées.

## METHODOLOGIE

Pour étudier la conformité du système d'assainissement de Moulins par temps de pluie, la première étape est la prise en connaissance de son fonctionnement de manière globale à partir des données fournies par Moulins Communauté : plans des réseaux à jour, études antérieures, base de données locales (démographie, rôle d'eau, ...), données des points d'autosurveillance, hydrogéologie et pluviométrie, ...

Pour répondre à la problématique qui fait l'objet de la présente étude, la méthodologie adoptée est la suivante :

### **1- Diagnostic du fonctionnement du réseau existant par temps sec :**

L'objectif est d'établir un bilan des charges à traiter sur le système d'assainissement de Moulins en situation actuelle et par bassin de collecte.

A partir du rôle de l'eau (consommations d'eau potable) et selon la sectorisation des bassins versants de collecte réalisée selon la localisation des points d'autosurveillance, les débits sanitaires théoriques domestiques et industrielles sont estimés.

- Analyse des mesures de l'autosurveillance : (des années 2016/2017 et 2018)

Pour quantifier la population réellement raccordée au réseau d'assainissement au point de vue hydraulique, la détermination des débits caractéristiques du réseau d'assainissement est basée sur les mesures de débit des points d'autosurveillance :

- **ECPP : eaux claires parasites permanentes**, deux méthodes sont utilisées et comparées (méthode des minima nocturne et méthode des débits théoriques), la valeur la plus probable sera retenue.
- **EUST : eaux usées strictes**, le volume d'EUST est obtenu à partir de la différence entre le volume moyen journalier de temps sec et le volume journalier d'ECPP.

## **2- Modélisation du réseau d'assainissement :**

Cette phase permet de réaliser un modèle hydraulique du réseau d'assainissement sur le logiciel PCSWMM permettant d'étudier les différentes solutions envisageables pour répondre à la problématique.

- **Construction du modèle du réseau d'assainissement du système de Moulins :** la création du modèle est effectuée sur la base des **données structurelles** des principaux collecteurs du réseau, des plans SIG du réseau et des données des ouvrages spéciaux (déversoirs d'orage, bassins de rétention, poste de refoulement, ...) et des **données fonctionnelles** issues des investigations sur le terrain et des échanges avec les exploitants.

Avant de commencer à utiliser le modèle, une analyse pertinente de la pluviométrie du territoire est indispensable afin de choisir les pluies de modélisation.

- **Calage et la validation du modèle :** la phase du calage est effectuée à partir des événements pluvieux choisis préalablement et validées par l'analyse pluviométrique. Le calage se fait sur deux aspects : qualitatif (en comparant les valeurs simulées et mesurées) et quantitatif (en calculant les écarts des volumes et des débits simulés et mesurés).

- 3- Diagnostic du réseau par temps de pluie à l'état actuel :** à partir du modèle calé et grâce aux simulations de longue durée sur les deux années de pluies réelles représentatives d'années moyennes le calcul d'impact sur le milieu naturel est donc réalisé. Une synthèse des dysfonctionnements est listée et les écarts à la conformité réglementaire sont identifiés.

- 4- La mise en conformité du système d'assainissement de Moulins par temps de pluie :** cette phase représente l'objectif final de l'étude d'actualiser les réflexions avec l'arrêté du 21 juillet 2015. Elle consiste à envisager des scénarios d'aménagement pour remédier aux dysfonctionnements constatés en tenant compte des obligations réglementaires et des aspects techniques et financiers.

Le présent rapport concerne le déroulement des deux premières phases et propose une méthodologie pour la réalisation des dernières étapes de l'étude de la conformité du système d'assainissement de Moulins par temps de pluie.

# 1. Diagnostic du réseau par temps sec

## 1.1 Contexte général de l'étude

### 1.1.1. Localisation de la zone d'étude

Moulins Communauté est une structure intercommunale située au nord du département de l'Allier (03) en France dans la région Auvergne. Elle regroupe actuellement 44 communes s'étendant sur 1336 km<sup>2</sup>. Celles concernées par l'étude sont : Moulins, Yzeure, Avermes et Toulon-sur-Allier.

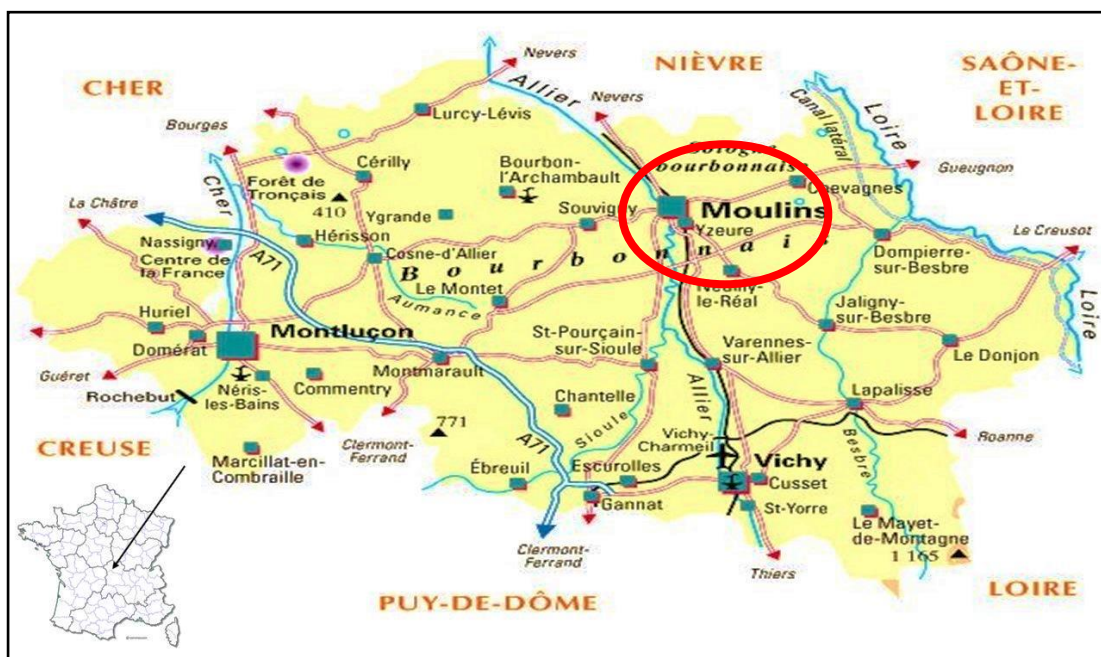


Figure 1: Localisation de Moulins dans le département de l'Allier

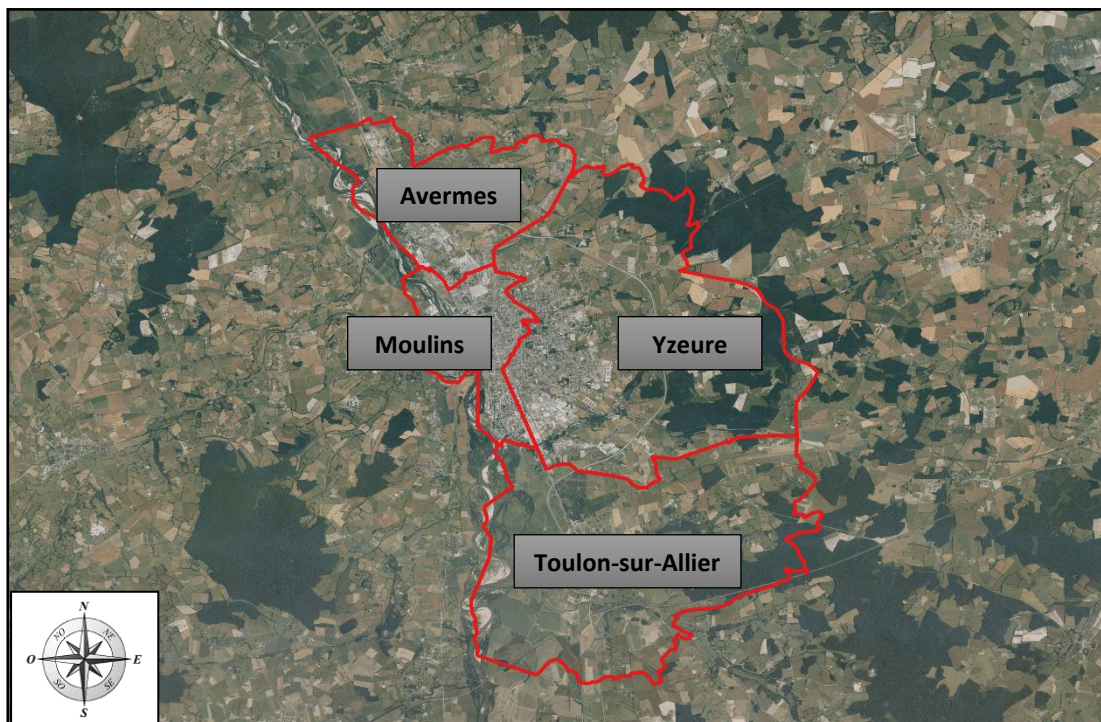


Figure 2: Limite géographique du secteur d'étude

### 1.1.2. Population et organisation de l'habitat

Le secteur concerné par la présente étude concerne les zones suivantes :

- La zone d'assainissement collectif de Moulins
- La zone d'assainissement collectif d'Yzeure
- La petite partie Sud de la zone d'assainissement collectif d'Avermes
- La partie Nord de la zone d'assainissement collectif de Toulon-sur-Allier

La population totale des 4 communes concernées par l'étude est globalement stable depuis 2006, oscillant entre 37 000 et 38 000 habitants (INSEE).

Commune		1996	2006	2015	2016
Moulins	Nombre habitants	21 892	20 599	19 697	19 613
	Evolution		-0.7% par an	-0.3% par an	-0.4% par an
Yzeure	Nombre habitants	12 696	12 488	13 087	13 230
	Evolution		-0.2% par an	0.1% par an	1.1% par an
Avermes	Nombre habitants	3 966	3 843	3 897	3 907
	Evolution		-0.3% par an	1.0% par an	0.3% par an
Toulon-sur-Allier	Nombre habitants	1080	1114	1131	1139
	Evolution		0.3% par an	-0.3% par an	0.7% par an
TOTAL	Nombre habitants	39 634	38 044	37 812	37 889
	Evolution		-0.4% par an	-0.06% par an	0.2% par an

**Tableau 1: Résultats des recensements de population INSEE**

Les communes d'Avermes, Yzeure et Toulon-sur-Allier, ont connu une augmentation très lente de population entre 2006 et 2016.

Moulins est la commune la plus importante qui a connu des variations plus fortes avec une perte d'habitants jusqu'en 2016.

Le nombre de logements en 2015 s'élevait à 21 947 et était décomposé de la manière suivante :

Communes	Résidences principales		Résidences secondaires		Logements vacants		TOTAL
	Nb	%	Nb	%	Nb	%	Nb
Moulins	10 981	86	323	3	1 535	12	12 839
Yzeure	5 934	90	81	1	607	9	6 622
Avermes	1 826	94	14	1	102	5	1 942
Toulon sur Allier	491	90	14	3	39	7	544
TOTAL	19 232	88	432	2	2 283	10	21 947

**Tableau 2 : Résultats des recensements de logements INSEE de 2015**

On peut déduire qu'en moyenne il y a **2 habitant par logement principal**.

## 1.2 Milieu naturel

### 1.2.1 Réseau hydrographique

La zone d'étude est traversée par 3 ruisseaux affluents de l'Allier dont le cours est perpendiculaire à la rivière et qui permettent de la découper en 3 bassins versants, soit du nord vers le sud :

- Le ruisseau de la Sainte Catherine
- Le ruisseau du Grillet
- Le ruisseau du Danube

L'Allier et ces ruisseaux servent d'exutoire à la station d'épuration des Isles et aux déversoirs d'orage présents sur le secteur d'étude.

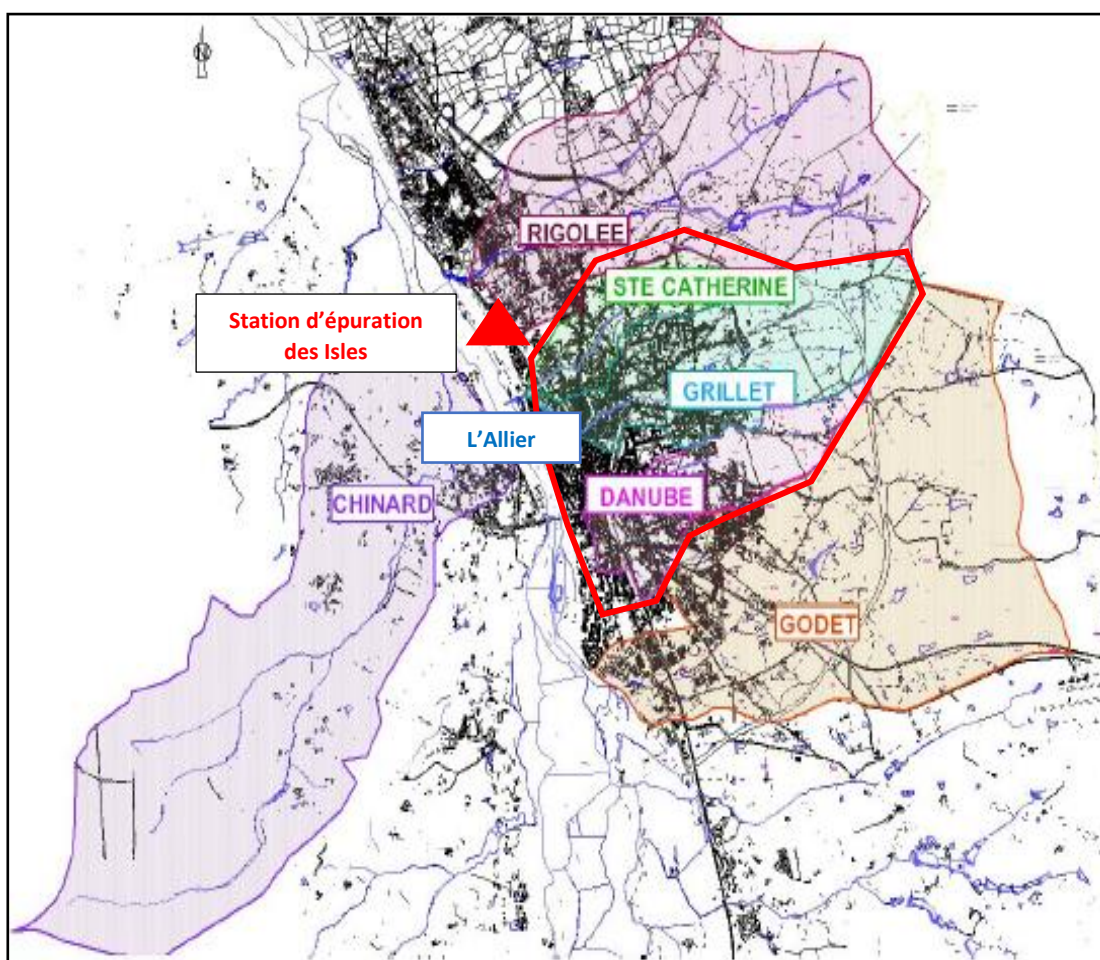


Figure 3: Bassins versants des ruisseaux du secteur d'études

Les bassins versants des ruisseaux de la Sainte-Catherine, du Grillet et du Danube se composent de deux parties :

- **Une partie amont** : non urbanisée assurant par drainage naturel des sols un débit permanent d'eaux claires aux ruisseaux.
- **Une partie aval** : urbanisée où le ruisseau est canalisé constituant les branches principales du réseau unitaire jusqu'à son exutoire.

## 1.2.2 L'Allier

L'agglomération Moulinoise est située sur la vallée de l'Allier dont l'axe découlement est dirigé du nord vers le sud.

- Données quantitatives : Moulins dispose d'une station de suivi de l'Allier située en amont du Pont Régemortes (Roue Départementale 2009).

<b>Surface du bassin versant</b>	12 980 km <sup>2</sup>
<b>Q<sub>MNA5</sub></b>	25.5 m <sup>3</sup> /s

Tableau 3: Aspect quantitatif de l'Allier (source : banque HYDRO-code station : K3450810)

- Données qualitatives :

Selon les données de l'état des masses d'eau de l'Agence Loire Bretagne, la qualité des cours d'eau sur la zone d'étude varie entre « moyenne » et « mauvaise ». Pour atteindre les objectifs du SDAGE à l'horizon de 2027, il faut limiter les rejets de pollution vers le milieu naturel.

Code masse eau	Dénomination	Etat écologique actuel (2015-2017)	Objectif état écologique		Qualité physico-chimique (2015-2017)
		Etat	Etat	Echéance	
FRGR0144a	L'ALLIER DEPUIS LA CONFLUENCE DE LA SIOULE JUSQU'A LIVRY	Médiocre	Bon	2027	Moyen
FRGR1881	LE COLOMBIER ET SES AFFLUENTS (le Godet) DEPUIS LA SOURCE JUSQU'A LA CONFLUENCE AVEC L'ALLIER	Moyen	Bon		Moyen
FRGR1877	LA GOUTTE NOIRE ET SES AFFLUENTS DEPUIS LA SOURCE JUSQU'A LA CONFLUENCE AVEC L'ALLIER	Mauvais	Bon		Bon

Tableau 4: Aspect qualitatif de l'Allier (source : Agence de l'eau Loire-Bretagne)



### 1.2.3 Hydrogéologie

Les alluvions de l'Allier représentent le siège d'une importante nappe d'eau souterraine, qui constitue une ressource en eau importante. Elle est utilisée dans plusieurs activités sur l'agglomération Moulinoise dont l'alimentation en eau potable, l'irrigation et l'industrie.

Les mesures du niveau de la nappe alluviale de l'Allier de la station de pompage de Moulins située route de Clermont permettent d'analyser ses variations en moyennes mensuelles de 2015 à 2018.

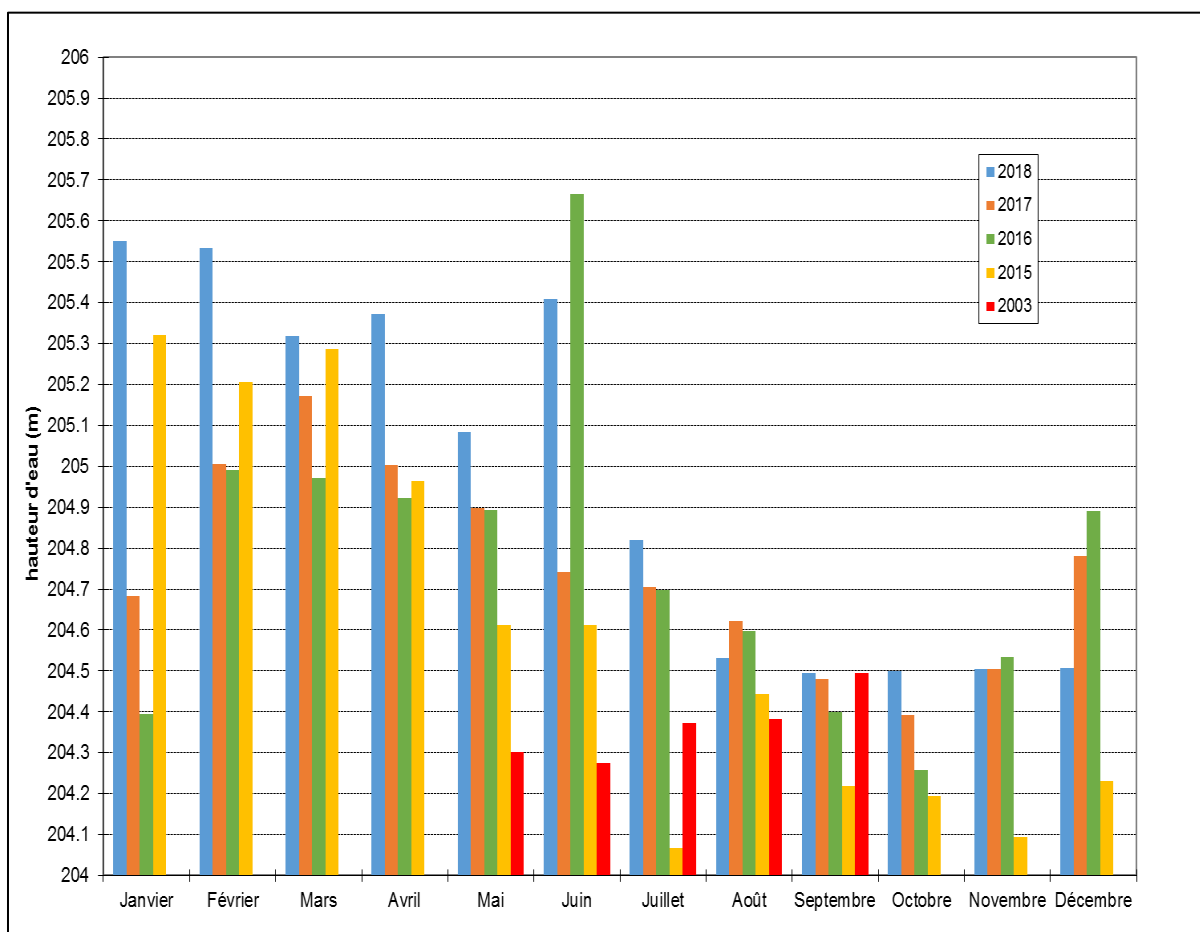


Figure 4: Niveau moyen de la nappe alluviale de l'Allier à Moulins

La hauteur de nappe varie entre 0,7 et 1,4 m selon les années. Le niveau de nappe est observé au plus haut en début d'année (février- avril).

Cette variation du niveau de la nappe suit la pluviométrie moyenne observée sur les 3 pluviomètres de l'agglomération Moulinoise sur les années 2015 à 2018.

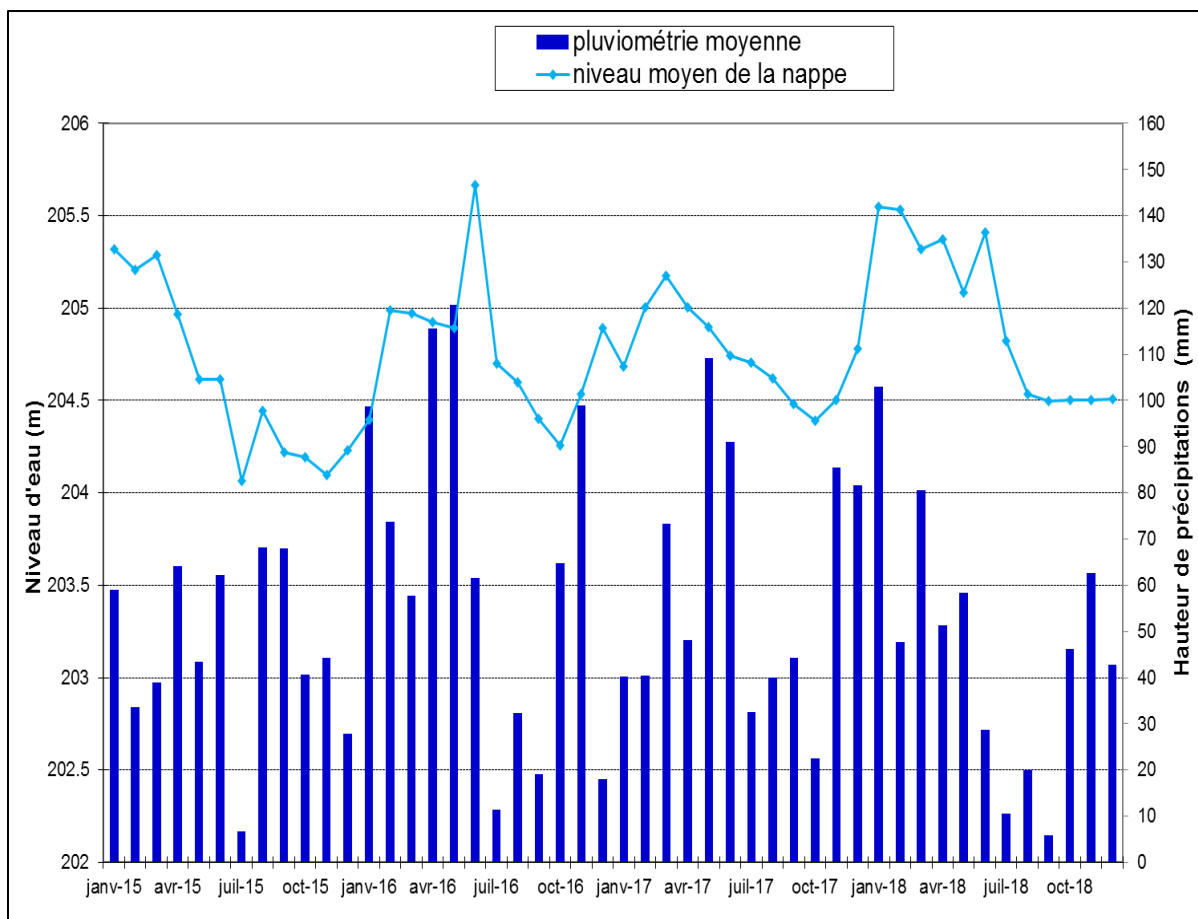


Figure 5: Evolution du niveau de la nappe et de la pluviométrie (2015-2018)

Le niveau de la nappe a connu une chute en 2015 (année particulièrement sèche), puis il est remonté à son maximum en juin 2016.

Au début de l'année 2018, un niveau haut de la nappe est observé. Il est dû à une pluviométrie considérablement importante en 2017 et début 2018.

### 1.3 Le système d'assainissement de Moulins

#### 1.3.1 Caractéristiques du réseau et des ouvrages

Le réseau de l'agglomération est globalement de type unitaire. Les ruisseaux traversant la zone d'étude dans leurs parties canalisées représentent les branches principales du réseau. Le centre de Moulins est à 100% unitaire. Les quartiers les plus récents équipés en séparatif se situent en rive gauche de l'Allier, sur la commune d'Avermes et sur certains quartiers d'Yzeure.

Dans sa globalité, le réseau compte les caractéristiques suivantes :

Linéaire du réseau (km)				Nombre de PR	Nombre de DO
Unitaire	EU strict	EP strict	Refoulement EU		
119	121	117	11	37	21

Tableau 5: Caractéristiques générales du réseau

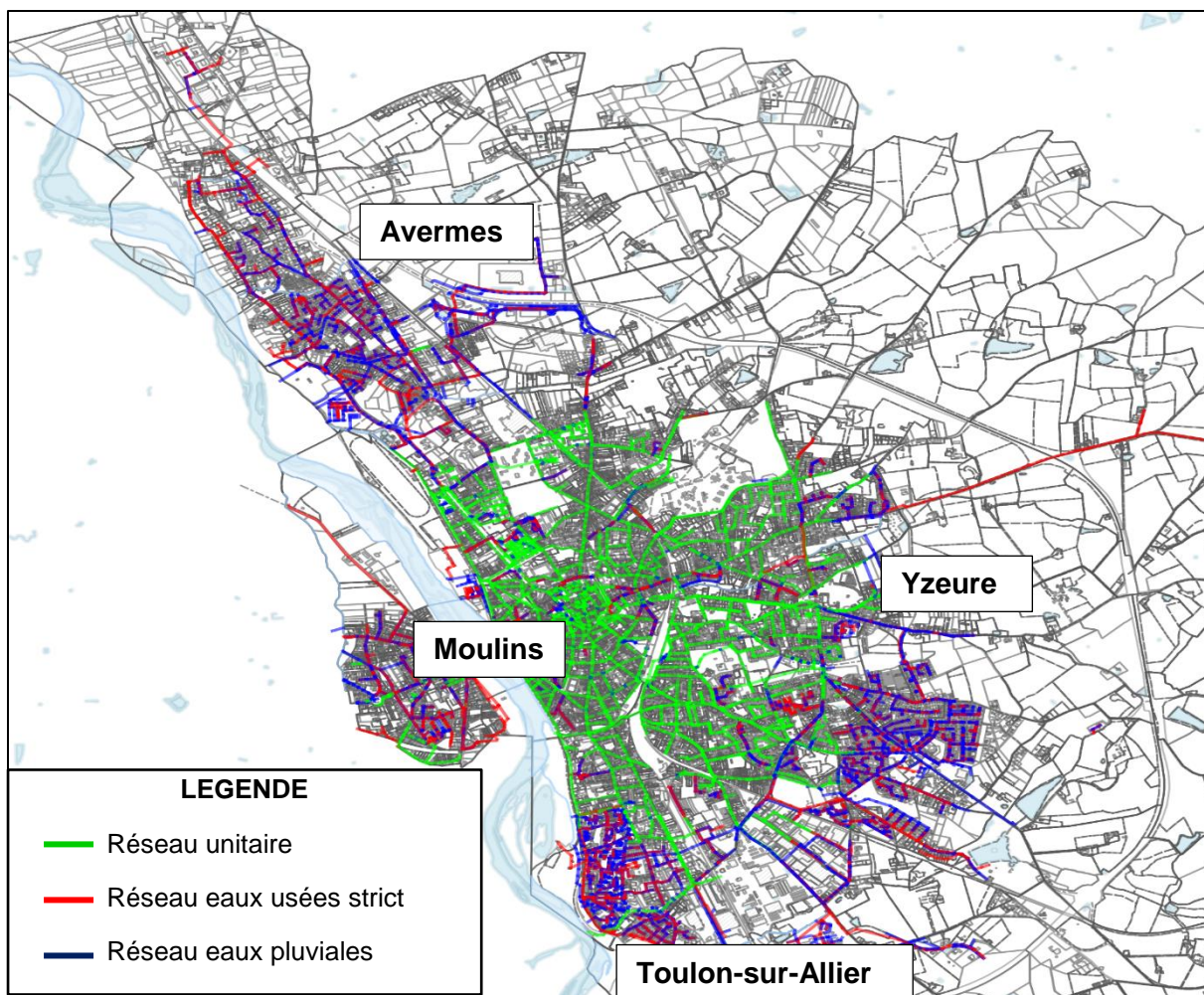


Figure 6: Plan du réseau d'assainissement fourni par Moulins Communauté

Le réseau d'assainissement de l'agglomération de Moulins comporte la particularité de drainer 3 ruisseaux affluents de l'Allier : le ruisseau de la Sainte-Catherine, le Grillet et le Danube. Parmi ces derniers, le Danube transite par un ouvrage de stockage-restitution sur la commune d'Yzeure avant qu'il ne soit canalisé (bassin de rétention de Gherla).

Le tableau 3 détaille l'ensemble des bassins de rétention existants sur le périmètre d'étude :

Bassin de rétention	Bassin versant	Commune	Volume utile (m <sup>3</sup> )	Description	Poste de refoulement	DO/ Trop plein
Gherla	Danube	Yzeure	10 000	Ouvrage à ciel ouvert destiné à recevoir les eaux de Danube avant d'être capté par le réseau d'assainissement	OUI	OUI
Pôle d'Echanges Intermodal (PEI)	Ris garage	Moulins	700	Ouvrage enterré situé sous le parking de la gare de Moulins, il sert d'ouvrage de délestage au collecteur unitaire de la rue de Denis Papin	NON	NON

<b>Sud Sainte Catherine</b>	Grillet	Yzeure	1000	Bassin de délestage du réseau unitaire, il lutte contre les inondations du quartier Debusy en gérant localement les ruissellements routiers	NON	OUI
<b>Marcelange</b>	Grillet	Yzeure	9200	Zone de stockage constituée d'une digue permet de gérer les eaux de ruissellement des zones de prairie et de culture	NON	NON
<b>Les Bouchereux</b>	Grillet	Yzeure	4290	Ancien étang reconverti en bassin sec pour la rétention des eaux pluviales. Il est situé sur la branche sud du ruisseau du Grillet	NON	OUI

**Tableau 6: Bassins de rétention existants sur la zone d'étude**

Depuis la création des bassins de rétention de Gherla et du PEI, leurs capacités ont été très peu utilisées. Leur optimisation semble nécessaire afin d'utiliser pleinement leur potentiel.

Selon les observations de terrains, il semblerait que les bassins de Marcelange et des Bouchereux, situés sur le Grillet en amont des zones urbanisées ne sont que très rarement en eau même après de fortes pluies. Toutefois, du fait de leur situation isolée en amont, il est probable que l'on ne se rende pas compte de leur fonctionnement.

Le réseau d'assainissement de l'agglomération moulinoise est constitué d'un collecteur principal  $\Phi 3000$  dénommé « Le Ris », parallèle à l'Allier. Il est équipé de 4 ouvrages de déversement principaux, déversant par temps de pluie les eaux unitaires du réseau directement dans l'Allier. Soit d'amont en aval :

- Le déversoir du Thonier
- Le déversoir du Pont de Fer
- Le déversoir du Stade
- Le déversoir de la station d'épuration.

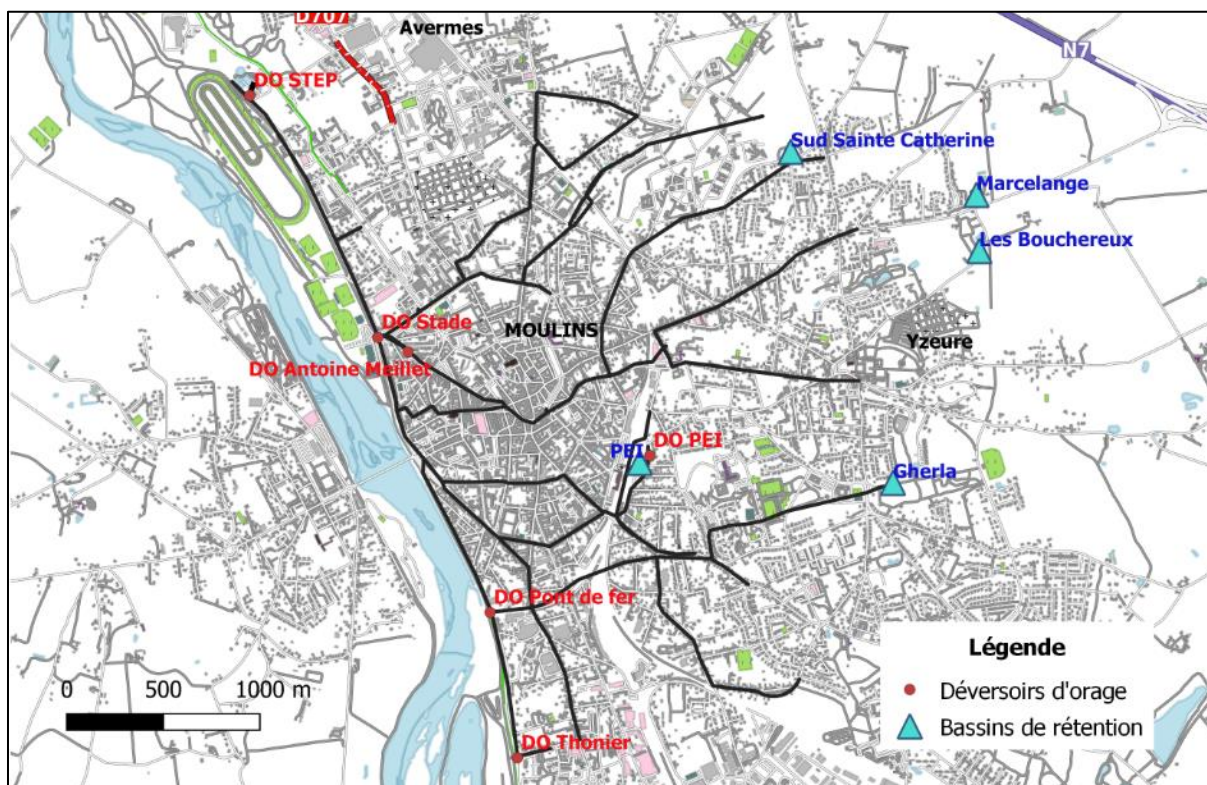


Figure 7: Localisation des ouvrages de déversement et de stockage du réseau de Moulins

### 1.3.2 Vérification hydraulique des principaux collecteurs

- Diamètre minimal des conduites

D'après le Mémento technique 2017 concernant la conception et le dimensionnement des systèmes de gestion des eaux pluviales et de collecte des eaux usées, **les diamètres minimaux** doivent être de :

- $\Phi 200$  mm pour le réseau séparatif d'eau usée
- $\Phi 300$  mm pour le réseau unitaire ou séparatif d'eau pluviale

Sur les réseaux de la zone d'étude, le tableau suivant résume le pourcentage des tronçons respectant cette règle :

Type du réseau	Conduites respectant la règle du diamètre minimal
Unitaire	77%
Séparatif EU	73%
Séparatif EP	46%

Tableau 7: Récapitulatif du respect du diamètre nominal minimal

Toutefois, ces tronçons se situent en bout des antennes de collecte et ne limitent pas l'écoulement des effluents.

- Conditions d'autocurage

Il est important dans un réseau d'assainissement que les canalisations peuvent assurer l'autocurage. Pour cela et d'après l'Instruction technique 77-284, il convient de respecter au moins une des conditions ci-dessous :

- **Pente de pose des canalisations**

- Critère n°1 - **Schütz** : Pente canalisation  $\geq$  Pente critique [1/DN (mm)]

→ Au total, 90% des canalisations respectent ce critère.

- Critère n°2 - **Sander** :  $\begin{cases} \text{Pour DN} \leq 1000 \text{ mm, Pente critique} = \frac{1,2}{\text{DN (mm)}} \\ \text{Pour DN} > 1\text{m, Pente minimale absolue} = 1,2 \text{ ‰} \end{cases}$

→ Au total, 80% des canalisations respectent ce critère.

- **Vitesses d'écoulement** requises pour les réseaux unitaires :

- $\begin{cases} 0,6 \text{ m/s pour } 1/10 \text{ du débit à pleine section} \\ 0,3 \text{ m/s pour } 1/100 \text{ du débit à pleine section} \\ 0,3 \text{ m/s pour le débit de temps sec} \end{cases}$
- Vitesse à pleine section  $> 1\text{m/s}$ , pour les canalisations circulaires.

La vitesse est calculée à partir de l'équation de Manning-Strickler qui décrit un écoulement uniforme et permanent du fluide :

$$v = \frac{1}{n} * R^{2/3} * I^{1/2}$$

Tel que : v : Vitesse moyenne de l'écoulement (m/s)

n : Coefficient de rugosité de Manning

R : Rayon hydraulique (m)

I : Pente de la canalisation (m/m)

→ Au total, 87% des canalisations respectent ce critère.

En conclusion, **90% des canalisations** du réseau d'assainissement unitaire de Moulins respectent au moins une condition de l'autocurage.

- Hauteur de recouvrement

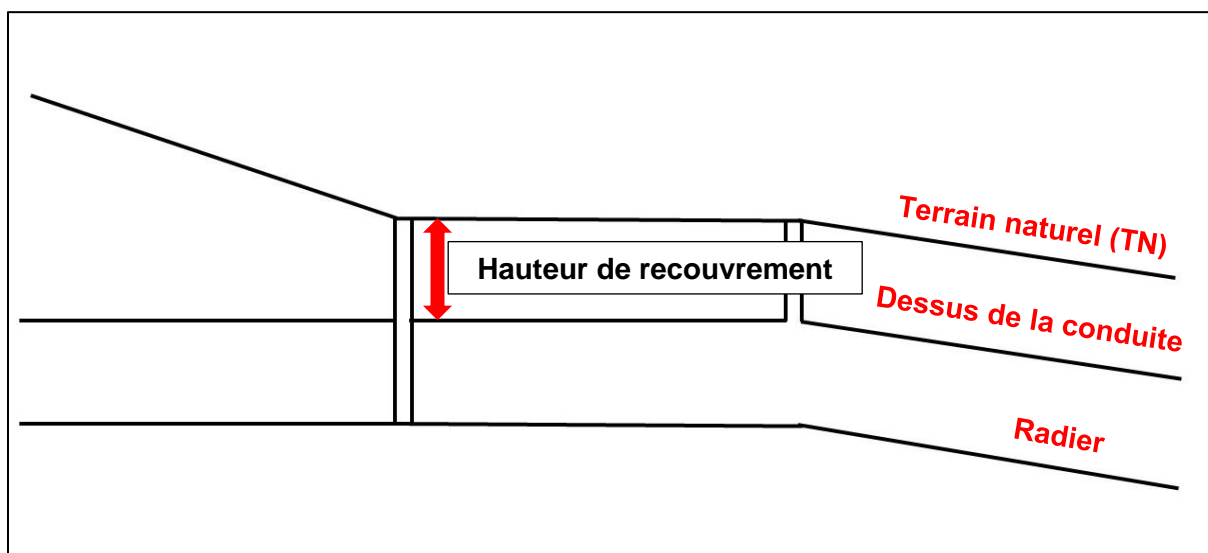


Figure 8: Coupe verticale du terrain d'un réseau d'assainissement

Pour assurer la sauvegarde mécanique des collecteurs, une hauteur minimale de **recouvrement de 80 cm** est exigée (Fascicule 70 du C.C.T.G. Titre I), sinon une mise en œuvre spéciale est indispensable : enrobage en béton, tuyaux renforcés ... **76 % des conduites** du réseau unitaire étudié respectent cette règle.

### 1.3.3 Station d'épuration des Isles

La station d'épuration des Isles se trouve avenue des Isles, sur la commune d'Avermes, au nord de l'agglomération Moulinoise, conformément à la carte de situation présentée ci-après.



Figure 9: Localisation de la station d'épuration des Isles

La station d'épuration des Isles est de type boues activées, ses caractéristiques sont présentes ci-dessous :

<b>Equivalent habitant</b>	EH	55 000	
<b>Débit moyen journalier nominal</b>	m <sup>3</sup> /jour	18 000	
<b>Débit de point traité</b>	m <sup>3</sup> /jour	24 000	
<b>Charges de référence</b>	<b>DBO5</b>	kg/jour	3 000
	<b>DCO</b>	kg/jour	9 000
	<b>MES</b>	kg/jour	4 250
	<b>NGL</b>	kg/jour	660
	<b>Ptot</b>	kg/jour	220
<b>Débit de référence (Percentile 95)</b>	m <sup>3</sup> /jour	41 000	

Tableau 8: Caractéristiques et capacités nominales de la STEP des Isles

Le dimensionnement hydraulique constructeur de la STEP des Isles est d'une capacité de traitement de 18 000 m<sup>3</sup>/j, mais, l'expérience de son exploitation montre qu'elle permet de traiter jusqu'à 24 000 m<sup>3</sup>/j.

Cependant l'analyse des débits d'entrée des dernières années montrent que les volumes dépassent largement cette capacité.

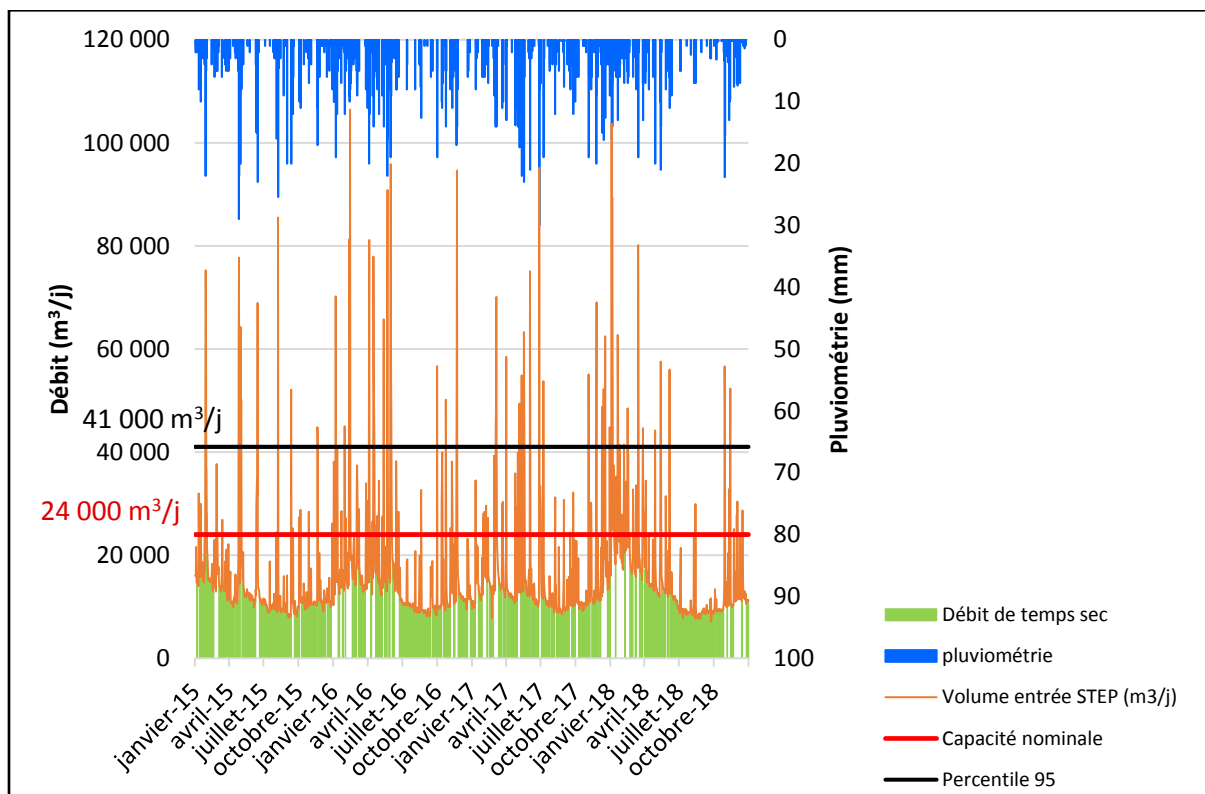


Figure 10: Chroniques des débits en entrée de STEP de 2015 à 2018

### 1.3.4 Sectorisation

#### Réglementation :

#### L'arrêté du 21 juillet 2015 définit les règles d'autosurveillance des systèmes de collecte :

Sont soumis à autosurveillance, tous les ouvrages situés à l'aval d'un tronçon destiné à collecter une pollution journalière supérieure ou égale à 2 000 EH, c'est-à-dire les déversoirs d'orage y compris les trop-pleins des postes de pompe. Ces surverses doivent faire l'objet d'une mesure de temps de déversement et d'une estimation de débit.

#### Cet arrêté définit les règles de diagnostic du système d'assainissement.

Les agglomérations supérieures à 10 000 EH doivent mettre en place un diagnostic permanent du système d'assainissement.

Le réseau d'assainissement de l'agglomération Moulinoise est muni d'un système de diagnostic permanent composé de sondes permettant une mesure de débit en continu à l'aval de chacun des bassins versants principaux (points de transfert).

Conformément à la réglementation, le point A2 (déversoir d'orage en tête de la station d'épuration des Isles) dispose d'un appareillage de mesure hauteur vitesse et d'un préleveur, afin de quantifier les charges by-passées.

Les points réglementaires A1 (déversoirs d'orage) sont également équipés.



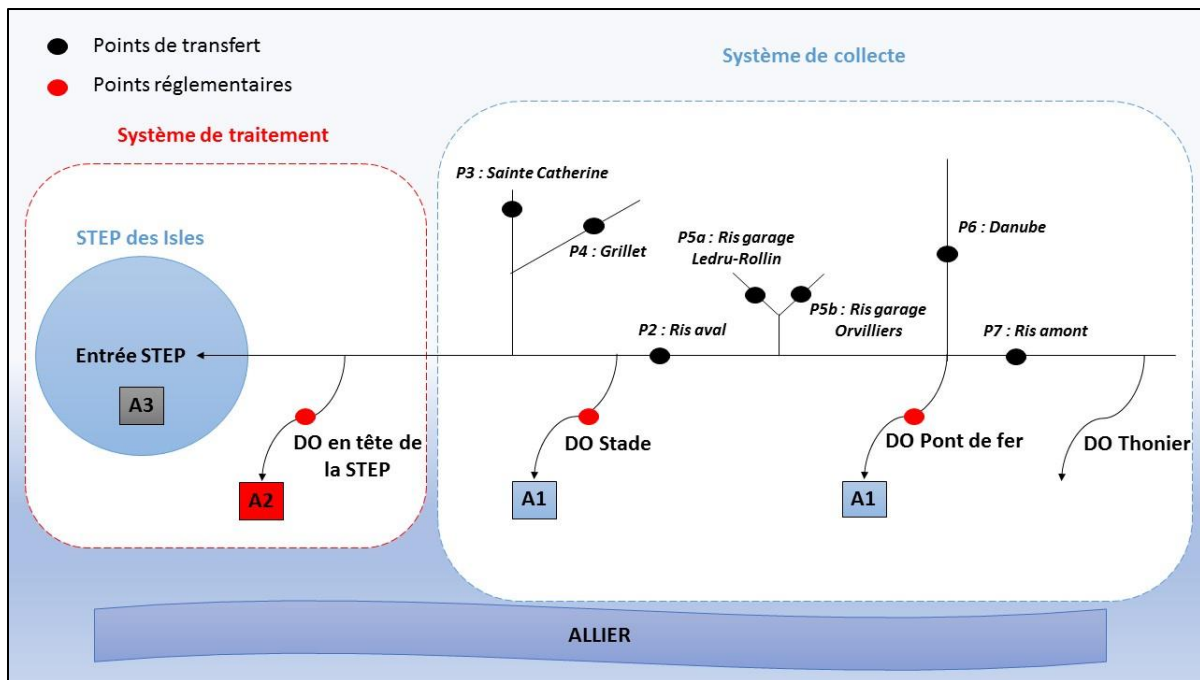


Figure 11: Synoptique du système d'assainissement de Moulins

Pour faciliter l'étude, le réseau d'assainissement de l'agglomération Moulinoise est donc sectorisé en 5 grands bassins versants de la rive droite de l'Allier selon l'implantation des points d'autosurveillance : Sainte Catherine, Grillet, Ris garage, Danube et Ris amont. La figure 11 représente cette sectorisation.

- Antenne « Ris amont » :

Elle est située au sud de la station d'épuration des Isles. Elle collecte les eaux usées du réseau séparatif au nord de la commune Toulon-sur-Allier, qui rejoint le réseau unitaire au niveau de l'intersection entre Boulevard de Nomazy et rue Thonier. Le déversoir d'orage du Thonier est situé le plus en amont de l'émissaire du Ris.

- Antenne « Danube » :

Le point « Danube » mesure la totalité des débits collectés de l'amont à l'aval de la branche principale du réseau. Cette antenne récupère les eaux du réseau unitaire existant au sud de la commune d'Yzeure auxquelles s'ajoutent des branches en séparatif EU. Le déversoir d'orage du Pont de Fer se situe au niveau de la confluence des conduites collectant les eaux du « Danube » et de « Ris amont ».

- Antenne « Ris garage » :

Le réseau des boulevards Ledru-Rollin et Orvilliers est équipé des points de transfert (P5a et P5b respectivement) « Ris garage ». La délimitation de ce bassin versant doit tenir en compte de du bassin versant du Danube car son fonctionnement hydraulique n'est pas indépendant de la branche principale du Danube (répartition des débits au niveau de l'intersection entre Rue des Garceaux et Rue de Narvik).

- Antenne « Grillet » :

Le bassin du Grillet peut être subdivisé en deux secteurs, le secteur amont naturel jusqu'à son entrée dans le réseau d'assainissement au niveau de la rue de Foulet en tenant compte l'effet des bassins de rétention de Marcelange (situé le long de la route de Bourgogne) et du jardin des Bouchereux et le secteur aval canalisé et enterré à partir de la rue de Foulet.

- Antenne « Sainte Catherine » :

Les eaux usées de l'amont du bassin versant sont collectées par deux braches distinctes qui confluent au niveau du cours de Bercy dans le centre historique de Moulins où elles transitent en une conduite ovoïde T170/100 jusqu'à leur arrivée dans le Ris, le point de transfert est installé au bas du cours de Bercy. La branche la plus à l'est du bassin versant collecte les eaux du ruisseau de la Sainte Catherine depuis leur entrée dans le réseau sous les locaux de l'Hôpital d'Yzeure, rue du Beau Crucifix.

En amont de la confluence des antennes « Sainte Catherine », « Grillet » et de la branche Ris aval se trouve le déversoir d'orage dénommé « DO Stade ».

## 1.4 Diagnostic par temps sec du réseau d'assainissement

### 1.4.1 Rejets théoriques des eaux usées

Le nombre d'abonnés et le listing des factures d'eau potable de l'année 2018 fournis par Moulins Communauté permettent d'estimer les débits sanitaires domestiques et industrielles théoriques à la station d'épuration des Isles. Les données du recensement INSEE permettent de compléter cette estimation.

- **Pollution domestique**

#### Population domestique

A partir du nombre d'abonnés total et du nombre d'habitants par commune, le ratio habitant par abonné domestique est calculé. Ce dernier est relativement élevé pour les communes de Moulins et Yzeure vu la présence de nombreux logements collectifs sur ces communes.

A partir de la consommation domestique totale et du nombre d'habitants, le ratio consommation par habitant est calculé.

Commune	Nombre abonnés domestiques	Nombre d'habitants	Ratio hab/ab	Consommation domestique totale (m <sup>3</sup> /an)	Ratio Conso/hab (l/j)
Moulins	4815	19 613	4	761 411	106
Yzeure	4993	13 230	3	452 632	94
Avermes	1253	2506	2	99 442	109
Toulon-sur-Allier	20	40	2	1400	96

**Tableau 9: Répartition de la consommation domestique par commune**

Le produit du nombre d'abonnés associé à chaque bassin de collecte et du ratio habitant/abonné de chaque commune permet d'estimer

- La population domestique (nombre d'EH) totale liée au système d'assainissement de la station d'épuration des Isles.
- Le nombre d'équivalent-habitant (EH) domestique par bassin de collecte défini préalablement selon la sectorisation.

#### Rejets domestiques

Pour calculer le débit théorique d'eau usée d'origine domestique rejeté dans les réseaux d'assainissement sur le secteur de l'étude, un **taux de raccordement de 100%** et un **coefficient de rejet de 0.9** sont pris en considération pour tenir en compte l'eau potable non rejetée dans le réseau.

Bassin de collecte	Synoptique	Population domestique	Volumes d'eau usée stricte rejetée domestique théoriques (m <sup>3</sup> /j)
P7-Ris amont	P7	4104	435
P6-Danube	P6	8931	677
P5b-Orvilliers	P5b	2758	240
P5a-Ledru-Rollin	P5a	1052	73
P4-Grillet	P4	3350	316
P3-Sainte Catherine	P3	3326	347
P2-Ris aval	P7+P6+P5b+P5a+P2	26534	2192
<b>STEP des Isles</b>		36778	3243

*Tableau 10: Rejets journaliers d'eau usée théoriques d'origine domestique*

→ Ainsi la population domestique raccordée à la station d'épuration des Isles est estimée à **36 778 EH** et le débit théorique sanitaire d'origine domestique est de l'ordre de **3 243 m<sup>3</sup>/j**.

- **Pollution industrielle**

Population industrielle

Le secteur d'étude compte de nombreux abonnés non domestiques.

La consommation d'un usager domestique forme une courbe en « M » au cours de la journée et elle se caractérise par deux pics de consommation. Toutefois, des consommateurs domestiques peuvent rejeter des effluents selon une courbe différente de celle d'un abonné domestique classique (écoles, hôtels, restaurants, camping) donc leur rejet est compté dans ce paragraphe.

Le dépouillement des rôles d'eau permet d'appréhender le débit rejeté au réseau lié aux activités et d'estimer également le nombre d'EH non domestique de la manière suivante :

- Pour les consommateurs industriels : à partir de la consommation annuelle d'eau potable et du nombre de jours d'activité.
- Le cas échéant, à partir des ratios théoriques suivants :
  - Etablissement scolaire : 1 élève = 1/3 EH (externat) ou 1 EH (internat)
  - Etablissement hospitalier/maison de retraite : 1 lit = 1 EH
  - Hôtel : 1 lit = 1 EH (sans restaurant) ou 2 EH (avec restaurant)
  - Restaurant : nombre d'EH = 1/4 EH x nombre moyen de couverts servis/jour

Rejets non domestiques

Pour ce calcul, la consommation moyenne considérée est de 150 l/EH/j et 90% de l'eau consommée est rejetée dans le réseau d'assainissement.

→ Le débit lié aux activités actuellement raccordé à la station d'épuration des Isles est estimé à **2015 m<sup>3</sup>/j**.

Le tableau ci-dessous résume les résultats d'estimation des débits sanitaires théoriques collectés par le réseau d'assainissement de Moulins.

Bassin de collecte	Synoptique	EH non domestique	Volumes d'eau usée stricte rejetée non domestique théoriques (m <sup>3</sup> /j)	EH total	EU strict total théorique (m <sup>3</sup> /j)
P7-Ris amont	P7	1997	300	6101	734
P6-Danube	P6	2428	364	11359	1041
P5b-Orvilliers	P5b	838	126	3596	366
P5a-Ledru-Rollin	P5a	361	54	1413	127
P4-Grillet	P4	2628	184	5978	500
P3-Sainte Catherine	P3	2063	309	5388	656
P2-Ris aval	P7+P6+P5b+P5a+P2	9374	1406	35908	3598
<b>STEP des Isles</b>		13436	2015	<b>50 214</b>	<b>5 259</b>

Tableau 11: Rejets théoriques d'eau usée par bassin de collecte

Le débit sanitaire total théorique généré par le secteur d'étude peut être estimé à **5 259 m<sup>3</sup>/j** correspondant à une population d'environ **50 214 EH** raccordée à la station d'épuration des Isles, avec 38% d'eau usée d'origine non domestique.

#### 1.4.2 Analyse des mesures d'autosurveillance

Les données météorologiques des années de 2016 à 2018 fournies par Moulins Communauté correspondent à la pluviométrie sur ces années des 3 pluviomètres appartenant à l'Agglomération : Ecole de musique, Yzeure, STEP et des mesures du débit des points d'autosurveillance et en entrée de la STEP.

Le traitement des données de débit se fait sur les trois dernières années et sur des valeurs moyennées journalières. Les figures 12 et 13 ci-dessous montrent des exemples de courbe de débit issue de la métrologie du réseau d'assainissement.

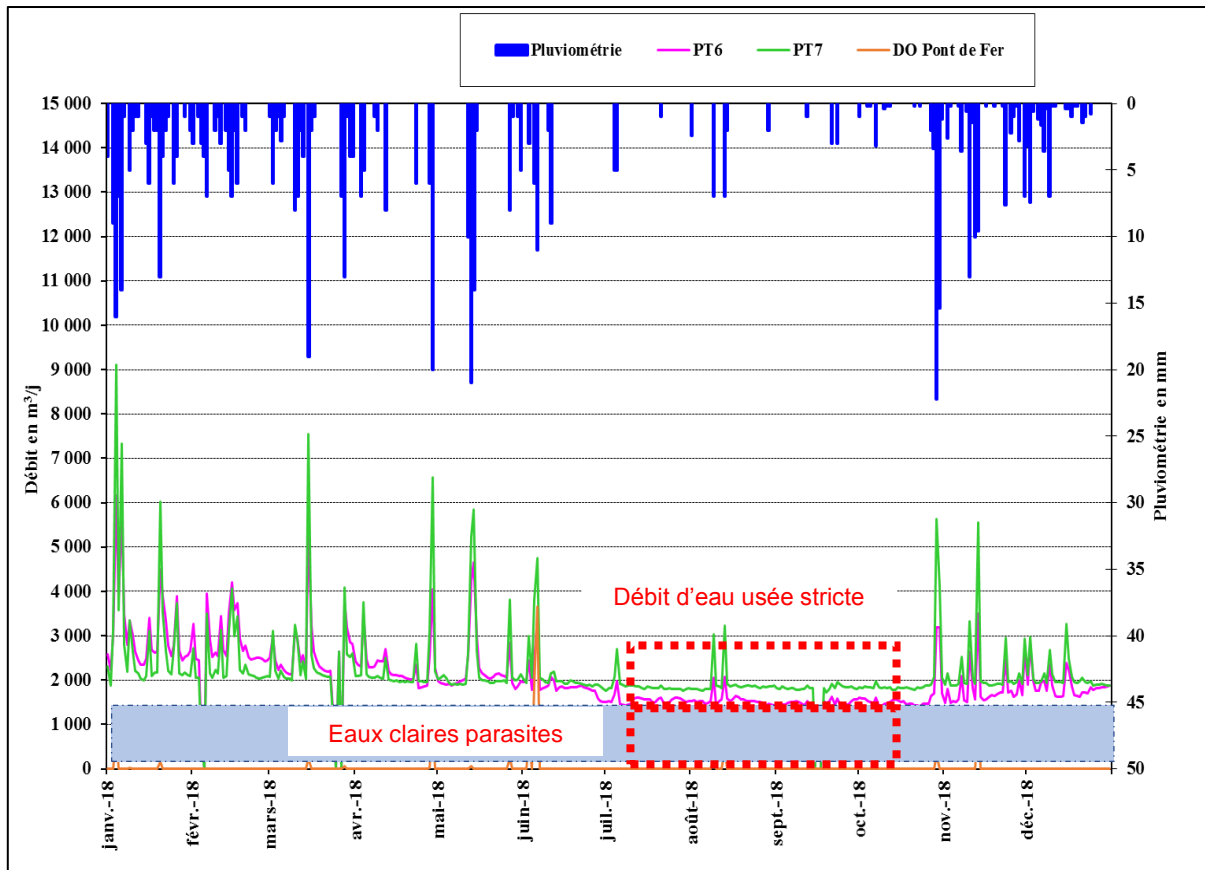


Figure 12: Graphique type de débit mesuré (année 2018)

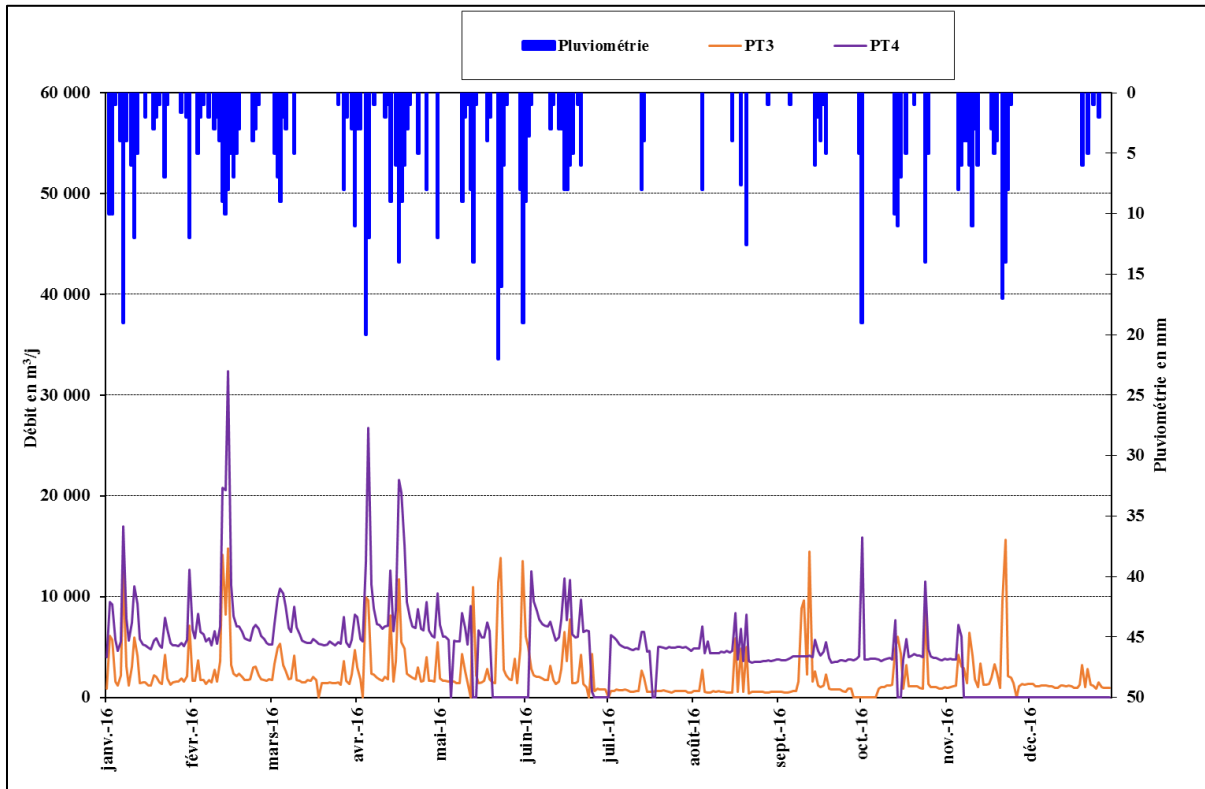


Figure 13: Graphique type de débit mesuré (année 2016)

Lors du traitement des données de débit, il apparaît que pour certains points, la mesure n'était pas enregistrée, comme le cas du point 4 « Grillet » pour derniers mois de l'année 2016, il faut donc faire attention au choix des pluies de calage, car il y a risque que les mesures par pas de temps de 5min ne soit pas disponible lors des événements pluvieux retenus.

De manière générale, le temps de ressuyage observé du réseau d'assainissement est estimé à 24h après l'évènement pluvial. Ce paramètre est nécessaire pour la détermination des jours de temps sec.

L'analyse des mesures de l'autosurveillance en temps sec des trois dernières années montre des anomalies qui peuvent être liées à des erreurs de la mesure. Le tableau ci-dessous résume le bilan des mesures de débit enregistrées sur les points de transfert pour les périodes de temps sec comparées à celles à l'entrée de la STEP des Isles.

Année	P2	P3	P4	P5a	P5b	P6	P7	P2+P3+P4	Entrée STEP	Ecart
2016	7 087	1 060	4 804	142	1 413	2 007	1 907	12 951	11 652	11%
2017	6 726	846	8 338	126	1 319	1 937	1 866	15 910	11 705	36%
2018	6 553	749	8 435	133	1 470	1 775	1 907	15 737	11 334	39%

Tableau 12: Bilan des mesures de l'autosurveillance (en m<sup>3</sup>/j) par temps sec

De énormes écarts entre les débits mesurés à l'entrée de la station d'épuration des Isles et les mesures cumulées des points « Ris aval », « Sainte Catherine » et « Grillet » sont observés.

SUEZ Eau, étant le prestataire en charge de l'entretien des points d'autosurveillance du réseau d'assainissement de Moulins, confirme l'existence des erreurs sur les mesures au niveau des points P2 et P4. Les lois hydrauliques permettant de déterminer le débit aux points de transfert P2 et P4 à partir des mesures de hauteurs faites en réseau ont fait l'objet d'un recalage fin 2018.

Par défaut, les données météorologiques 2016 seront utilisées sur ces deux points pour le calcul des débits de temps sec des eaux usées et des débits d'eaux claires parasites.

### 1.4.3 Volumes journaliers des eaux usées

Les volumes journaliers d'eaux usées sont estimés pour chaque point d'autosurveillance, en sommant les volumes horaires mesurés pour toute l'année 2018. Le minimum et la moyenne du volume horaire sont également déterminés pour chaque jour de l'année 2018.

La moyenne des débits journaliers pour les périodes de temps sec (pour ne pas tenir en compte du volume des eaux pluviales introduites dans le réseau), et pour chaque bassin de collecte est comparée aux débits sanitaires théoriques calculés auparavant à partir des rôles de l'eau fournies par Moulins Communauté

Le tableau ci-dessous présente les débits journaliers mesurés sur chaque point de transfert du réseau d'assainissement comparée aux valeurs théoriques sans cumul.

Bassin de collecte	Débit d'eau usée théorique (m <sup>3</sup> /j)	Débit d'eau usée mesuré (m <sup>3</sup> /j)
P7-Ris amont	734	1907
P6-Danube	1041	2007
P5b-Orvilliers	366	1470

P5a-Ledru-Rollin	127	142
P4-Grillet	500	4804
P3-Sainte Catherine	656	1060
P2-Ris aval	1330	1618

Tableau 13: Débit journalier moyen d'eaux usées pour chaque point de mesure

Les différences constatées entre les débits théoriques et mesurés peuvent être expliquées par la présence des eaux claires parasites dans le réseau.

#### 1.4.4 Quantification des ECPP

Deux méthodes sont utilisées pour la détermination des volumes d'ECPP, leurs résultats sont comparés et la valeur la plus probable est retenue.

Méthode -1- des minima nocturnes : elle consiste à rechercher la valeur minimale de débit enregistrée. Cette valeur correspond à la mesure instantanée du débit minimal horaire sur la période où les rejets d'EUST sont les plus faibles (entre minuit et 6h).

**Limite** : si le temps de transit dépasse 6 heures dans la chaîne de collecte, des erreurs peuvent être présentes dans le calcul.

Méthode -2- du bilan : elle consiste à comparer le volume moyen journalier mesuré en temps sec au débit théoriquement rejeté dans le réseau (déterminé à partir des facturations d'eau potable) :  $Q_{ECPP} = Q(\text{temps sec}) - Q_{EU}(\text{théorique})$

**Limite** : cette méthode ne tient pas compte de la variation saisonnière des consommations d'eau potable tant pour les consommateurs domestiques qu'industrielles.

Certes, la quantification des eaux claires parasites est réalisée selon deux méthodes, mais également selon la variation de la nappe qui joue un rôle important sur les quantités de ces eaux.

La première étape est de comparer les apports des eaux claires parasites permanentes par rapport à la nappe haute et basse et ensuite comparer les deux méthodes afin de trancher soit sur une moyenne des deux méthodes ou d'une moyenne annuelle.

La méthode du bilan ne peut pas être appliquée aux deux points PT4 et PT2 étant donné que le traitement du rôle de l'eau est fait sur l'année 2018, la comparaison est relativement fautive. Donc une moyenne sur l'année 2016 du débit nocturne est prise en considération pour estimer les apports d'ECPP sur ces deux points.

En ce qui concerne les autres points, le calcul des volumes d'eaux claires parasites permanentes transitant dans le réseau donne les résultats sur le tableau ci-dessous.

Valeurs caractéristiques		Unités	PT3	PT5a	PT5b	PT6	PT7
<b>1) - Méthode des minima nocturnes</b>							
Nappe haute (février-avril)	Débit minimal nocturne	m <sup>3</sup> /h	35	1	82	83	74
	Volume d'ECPP	m <sup>3</sup> /j	834	17	1979	1988	1776
	Apport d'ECPP	%	60%	18%	86%	90%	88%
Nappe basse (août-octobre)	Débit minimal nocturne	m <sup>3</sup> /h	14	2	36	51	67
	Volume d'ECPP	m <sup>3</sup> /j	329	60	869	1225	1608
	Apport d'ECPP	%	59%	43%	75%	82%	88%
Moyenne annuelle		m <sup>3</sup> /h	31	3	85	72	74
Volume d'ECPP		m <sup>3</sup> /j	754	66	1398	1717	1776
<b>2) - Méthode du bilan</b>							
Débit d'eaux usées théorique (2018)		m <sup>3</sup> /j	656	127	366	1041	734
Nappe haute (février-avril)	Volume moyen mesuré temps sec	m <sup>3</sup> /j	1396	92	2303	2197	2017
	Volume d'ECPP	m <sup>3</sup> /j	740	/	1937	1156	1283
	Apport d'ECPP	%	53%	/	84%	53%	64%
Nappe basse (août-octobre)	Volume moyen mesuré temps sec	m <sup>3</sup> /j	554	141	1166	1501	1826
	Volume d'ECPP	m <sup>3</sup> /j	/	/	800	460	1092
	Apport d'ECPP	%	/	/	69%	30%	60%
Volume moyen annuel mesuré en temps sec		m <sup>3</sup> /j	1060	142	1470	2007	1907
Volume d'ECPP		m <sup>3</sup> /j	404	15	1104	966	1173

Tableau 14: Estimation des ECPP selon le niveau de la nappe

La méthode (1) surestime l'apport des eaux claires parasites permanentes pour le point PT7 vu qu'il ne collecte les eaux d'aucun ruisseau existant sur la zone d'étude. Ces apports ne varie quasiment pas entre la nappe haute et basse. Une moyenne des deux est donc retenue.

L'antenne du réseau où le point de transfert PT6 est installé collecte les eaux du ruisseau du Danube, donc les proportions des eaux claires parasites présentes dans les volumes mesurés peuvent être relativement élevées, pourtant l'existence du bassin de rétention du Gherla qui récupère les eaux du Danube avant qu'elles soient collectées dans le réseau laissent poser des questions sur le vrai apport des ECPP.

Pour le bassin de collecte « Orvilliers » correspondant au point de mesure PT5b, les apports estimés par les deux méthodes et selon les deux niveaux de la nappe durant l'année sont proches. Une moyenne des deux peut être retenue.

La mesure sur le point PT5a indique que le volume mesuré en nappe haute est inférieur à celui mesuré en nappe basse ce qui n'est pas cohérent donc la deuxième méthode ne semble pas efficace pour le calcul des apports d'eaux claires parasites permanentes au niveau de ce point.

Le bassin versant associé au point PT3 collectent en amont les eaux du ruisseau de la Sainte Catherine, mais ce n'est pas comme le Danube, celui-là ne transite pas par un bassin de rétention avant d'arriver au réseau. La 1<sup>ère</sup> méthode estime qu'en moyenne 60% des eaux mesurées se trouvent sous forme d'eaux claires parasites permanentes, alors que la deuxième indique la présence d'environ 40% de ces eaux transitent dans le réseau. En absence de données supplémentaires, la valeur moyenne des deux méthodes est retenue.



Pour récapituler cette analyse le tableau suivant résume les valeurs retenues des eaux claires parasites permanentes pour chaque bassin de collecte et sans cumul.

Bassin de collecte	Débit d'ECPP r (m <sup>3</sup> /j)	Débit d'eaux usées mesuré (m <sup>3</sup> /j)	Apport ECPP (%)
<b>P7-Ris amont</b>	1187	1907	62%
<b>P6-Danube</b>	1340	2007	67%
<b>P5b-Orvilliers</b>	1251	1470	85%
<b>P5a-Ledru-Rollin</b>	66	142	46%
<b>P4-Grillet</b>	4304	4804	90%
<b>P3-Sainte Catherine</b>	579	1060	55%
<b>P2-Ris aval</b>	1486	1618	92%

*Tableau 15: Débit d'ECPP par bassin de collecte*

Le système de collecte du réseau d'assainissement de l'agglomération Moulinoise est chargé d'eaux claires parasites permanentes avec des apports très importants sur la majorité des antennes du réseau provenant essentiellement des ruisseaux canalisés, de différentes sources captées ou encore du drainage de la nappe.

#### 1.4.5 Taux de collecte

Sur un réseau d'assainissement, les bilans réalisés d'un point de vue hydraulique d'une part et des charges polluantes d'autre part permettent d'estimer le taux de collecte du réseau.

Il est alors possible de l'estimer selon deux approches :

- En comparant les débits d'eaux usées théoriquement rejetées par les riverains (calculé à partir des consommations d'eau potable) avec les débits mesurés en temps sec (en soustrayant les débit d'ECPP)
- En comparant les flux de pollution théoriques rejetées (issus de l'estimation de l'EH) avec les charges polluantes mesurées.

Dans le cas du réseau d'assainissement de Moulins, le taux de collecte est calculé en point de vue hydraulique. Le tableau suivant résume les résultats de calcul du taux de collecte par point de mesure.

Bassin de collecte	Taux de collecte
<b>P7-Ris amont</b>	98%
<b>P6-Danube</b>	64%
<b>P5b-Orvilliers</b>	60%
<b>P5a-Ledru-Rollin</b>	60%
<b>P4-Grillet</b>	100%
<b>P3-Sainte Catherine</b>	73%
<b>P2-Ris aval</b>	10%

*Tableau 16: Taux de collecte du réseau d'assainissement de Moulins*

Compte tenu de la méthode du calcul du taux de collecte pour le réseau d'assainissement de Moulins, les valeurs présentées sur le tableau ci-dessus sont à prendre avec précaution.

Ne disposant pas de mesures de charges polluantes, la comparaison entre les deux méthodes d'estimation du taux de collecte ne peut pas s'effectuer.

Pour les antennes du « Grillet », « Ris amont » et « Sainte Catherine », le taux de collecte est assez satisfaisant pour ce type de réseau.

La pollution transportée par le réseau aval du système de collecte de l'Agglomération Moulinoise est beaucoup plus faible par rapport à celle calculée théoriquement.

#### 1.4.6 Bilan du fonctionnement par temps sec

En période moyenne de temps sec, les résultats mettent en évidence l'importance des débits des eaux claires parasites transités par le réseau unitaire de l'agglomération Moulinoise, qui proviennent essentiellement de la collecte des ruisseaux du Danube, du Grillet et de la Sainte Catherine.

*Quotidiennement, ce sont environ 6000 m<sup>3</sup> d'eau « propre » qui arrivent à la station d'épuration des Isles ce qui représente plus de **50 % du volume journalier traité par la STEP**. De plus, ces apports suivent les variations saisonnières du régime hydraulique des ruisseaux et de l'interaction avec leur nappe.*

	Débit de temps sec (m <sup>3</sup> /j)	Débit sanitaire théorique (m <sup>3</sup> /j)	Débit d'ECPP estimé (m <sup>3</sup> /j)	Proportion d'ECPP
<b>Nappe Haute (février-avril)</b>	15 967	5259	10 708	67%
<b>Nappe basse (août-octobre)</b>	8867	5259	3608	41%
<b>Total</b>	11 334	5259	6075	54%

**Tableau 17: Débits à traiter par la STEP des Isles en 2018**

## 2. Modélisation du réseau

### 2.1 Principaux généraux

Un modèle est une représentation simplifiée de la réalité. Son objectif principal est donc de traduire le fonctionnement d'un phénomène naturel complexe. Il n'a donc pas pour prétention de traduire fidèlement le fonctionnement hydrologique et hydraulique mais uniquement les ordres de grandeurs de son fonctionnement.

La modélisation a pour objectifs :

- La mise en évidence d'éventuels dysfonctionnements comme la mise en charge de conduites, le débordement au niveau de certains regards, des défauts structurels, etc.
- La meilleure connaissance du fonctionnement du système d'assainissement : compréhension des phénomènes hydrologiques impactant l'hydraulique du réseau
- L'optimisation des ouvrages existants et la vérification du fonctionnement hydraulique du réseau actuel
- L'aide à la précision quant à la mise en œuvre des solutions techniques préconisées.

La modélisation se décompose en plusieurs étapes :

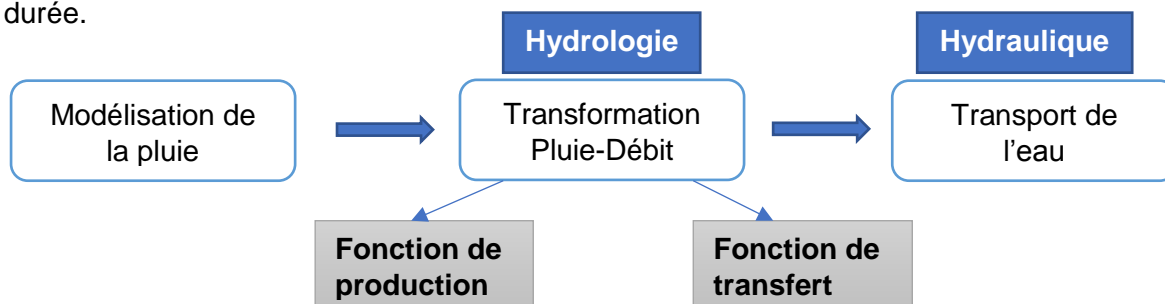
1. La construction du modèle : la structure et les débits initiaux sont renseignés à partir des données SIG et des différentes hypothèses.
2. Le calage : à partir des données d'autosurveillance, le calage se fait en volume et en intensité.
3. Interprétation de la situation actuelle.
4. Simulation de la situation future : le modèle est de nouveau simulé en intégrant les éventuels travaux prévus ainsi que les volumes supplémentaires liés au raccordement de nouveaux hameaux.

Le réseau d'assainissement de l'agglomération Moulinoise est réalisé sur le logiciel PCSWMM.

### 2.2 Logiciel PCSWMM

PCSWMM (Storm Water Management Model) est un logiciel de modélisation des phénomènes hydrauliques et hydrologiques créé par la société Canadienne CHI (Computational Hydraulics International). Les calculs se font selon le moteur SWMM5 développé par US EPA (Environmental Protection Agency).

Comme tout logiciel de modélisation hydraulique, PCSWMM repose sur le principe de la transformation de pluie en débit. C'est-à-dire il réalise des simulations permettant de modéliser la qualité ou la quantité du ruissellement pour un évènement pluvieux ponctuel ou de longue durée.



- **HYDROLOGIE - Méthode de transformation pluie en débit**

Cette méthode consiste à décrire le ruissellement de la pluie à la surface des bassins versants. La pluie est préalablement renseignée selon les données disponibles, qui peuvent être des pluies réelles mesurées sur le terrain, des classes de pluie ou encore des chroniques de pluies réelles.

*Le choix de l'évènement pluvieux est la partie la plus délicate car il dépend de l'objectif du projet, du calcul des périodes de retour, du choix des classes de pluie ...*

L'outil SWMM utilisé par le logiciel PCSWMM modélise un bassin versant sous une forme rectangulaire (plan incliné) avec une pente uniforme et une largeur (w) au sens d'écoulement de drainage.

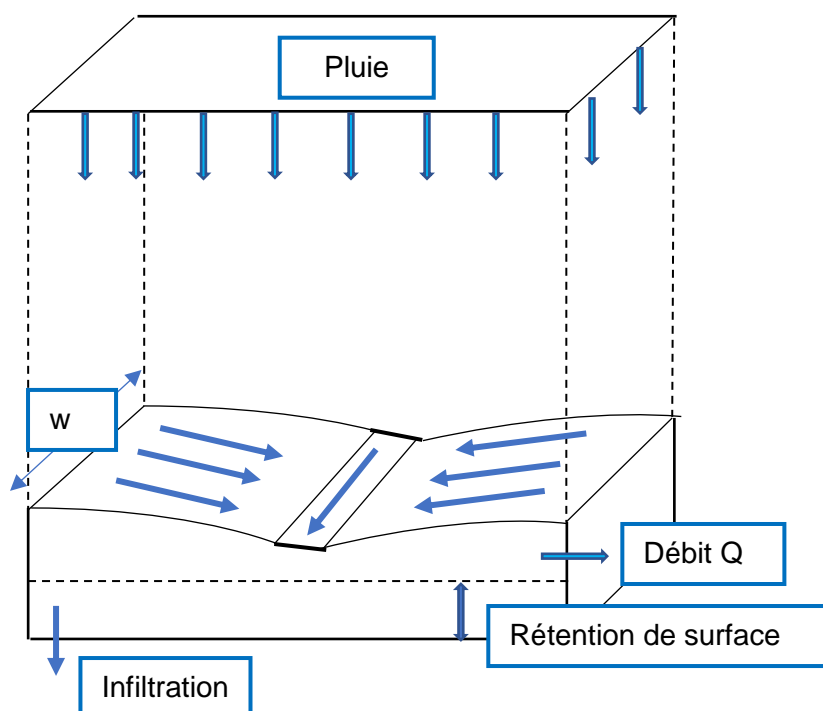


Figure 14: Représentation conceptuelle d'un bassin versant sur SWMM

### Ruissellement sous PCSWMM – la production

Le ruissellement des eaux pluviales selon la méthode SWMM est modélisé à travers plusieurs procédés physiques : l'écoulement de surface, l'infiltration, l'effet de la neige, la rétention des eaux de ruissellement, la variation des eaux souterraines, l'humidité du sol.

Un bassin versant simplifié peut donc être composé de trois types de surfaces :

- Surface imperméable avec dépression de surface :

$\text{Pluie nette} = \text{pluie brute} - \text{rétention de surface}$  (pas de pertes continues)

- Surface imperméable sans dépression de surface :

$\text{Pluie nette} = \text{pluie brute}$  (pas de pertes continues ni de pertes initiales)

- Surface perméable :

$\text{Pluie nette} = \text{pluie brute} - \text{rétention de surface} - \text{infiltration}$  (pertes initiales et continues)

L'infiltration est déterminée par l'une des trois méthodes proposées par le logiciel PCSWMM : la méthode Horton ou la méthode SCS ou la méthode Green et Ampt. Le modèle retenu pour la présente est celui de Horton, car les deux autres méthodes demandent une connaissance parfaite des caractéristiques du sol.

### Ruissellement sous PCSWMM – le transfert

Le plan incliné est donc alimenté par les précipitations qui peuvent subir des pertes par infiltration mais sur des surfaces perméables uniquement. Des pertes liées aux dépressions de surface peuvent aussi se produire, le ruissellement ne démarre que lorsque la profondeur du plan dépasse celle générée par la rétention de surface.

Le débit  $Q$  produit à l'exutoire du bassin versant est une fonction non linéaire de la profondeur du plan incliné.

- Equation de continuité
- Equation de Manning.

→ Les hydrogrammes de ruissellement  $Q(t)$  données à l'exutoire des bassins versants sont l'entrée du module hydraulique.

#### • HYDRAULIQUE

PCSWMM intègre un modèle hydraulique qui se base sur la résolution complète des équations de Barré de Saint Venant en régime transitoire. En assainissement, l'effet transitoire est un facteur déterminant pour le calcul de la propagation de débit, car ce dernier dépend de l'historique du réseau.

Les simulations hydrauliques permettent d'interpréter les résultats de la modélisation qui représentent l'objectif final de cette dernière. PCSWMM permet de visualiser les débordements dans les regards, les mises en charge des canalisations, les déversements aux déversoirs d'orage ...

## 2.3 Construction du modèle

Le modèle d'écoulement des eaux est créé sur les bases d'un plan des réseaux d'assainissement cotés et d'un plan d'ensemble de la ville.

### 2.3.1 Création de la structure du modèle

Il s'agit dans un premier temps de construire la structure du réseau en renseignant les principales jonctions du réseau, les tronçons, les ouvrages hydrauliques ainsi que les exutoires au milieu naturel. La structure rapportée au logiciel est simplifiée par rapport à la réalité de manière à conserver uniquement le réseau structurant.

Pour chaque élément structurel, il faut renseigner leurs caractéristiques à partir des plans des réseaux fournies par Moulins Communauté.

- **Les nœuds (jonctions)** définissent un découpage homogène entre les points structurants. Ces points sont définis aux connexions de conduites principales, aux ruptures de pentes et aux changements de taille de la conduite. Leur position géographique (X, Y) est importée à partir des données SIG. Les paramètres à renseigner dans PCSWMM pour les nœuds sont : *la côte radier* (la plus basse élévation de la jonction) qui représente la sortie du regard et *la profondeur maximale* qui correspond à la distance entre le radier et le terrain naturel.

- **Les conduites (tronçons) :** les différents paramètres qui doivent être renseignés sur PCSWMM sont *la section (la forme et les dimensions de la géométrie) et la rugosité* de Manning (des sections de canalisations personnalisées peuvent être créées sur PCSWMM). Le projet étant géolocalisé, la longueur est automatiquement calculée par le logiciel à partir des coordonnées des nœuds. La pente est donc aussi calculée automatiquement. Pour certaines conduites, un décalage entrée/ sortie doit être renseigné, il correspond à la chute entre le radier de la jonction (amont ou aval) et la conduite spécifiée.
- **Les ouvrages particuliers :**
  - Les déversoirs d'orage sont renseignés selon leur type (latéral ou frontal), il faut rentrer la hauteur et la largeur de la lame de déversement dans les paramètres du modèle. Le coefficient du débit reste sur sa valeur par défaut, il peut être calibrer pour le calage.
  - Les bassins de rétention sont créés selon leur courbe de stockage. Pour les pompes, la courbe de fonctionnement (débit en fonction de la hauteur) est renseignée avec une hauteur de départ et d'arrêt.

### 2.3.2 Bassins versants

Les bassins versants sont créés sur le modèle sous leur forme symbolique à partir des plans de réseau en tenant compte des réseaux séparatifs eaux usées et eaux pluviales raccordés sur le réseau unitaire, de l'occupation du sol et également de la topographie du terrain.

La construction des sous bassins versants sur PCSWMM nécessitent l'affectation de plusieurs paramètres à savoir :

- La superficie du sous bassin versant : (calculée automatiquement) est la multiplication de la largeur par la longueur d'écoulement en tenant compte de l'hypothèse qu'un bassin versant est modélisé sous une forme rectangulaire pour l'outil SWMM
- La largeur de drainage  $w$  : elle représente un élément indispensable pour la méthode de ruissellement SWMM. Elle permet de déterminer le temps de réponse hydrologique du bassin versant. Elle est déterminée à partir du rapport entre l'aire et la longueur maximale du ruissellement de surface, dans le cas de présence de plusieurs parcours potentiels, la valeur moyenne est considérée pour le calcul.

*Pour deux bassins versants d'une même superficie, plus la largeur  $w$  est grande, plus la réponse est rapide. Le débit de pointe se produit rapidement sur la surface avec la largeur la plus élevée.*

- Les paramètres des parties imperméables :
  - *Le coefficient d'imperméabilisation* calculé à partir du rapport entre l'aire imperméable sur le bassin versant (surfaces de toitures, routes, parkings ...) et son aire totale.
  - *Le zéro imperméable* qui représente la partie de l'aire imperméable avec aucune perte, c'est la division des surfaces strictement imperméables sur la surface imperméable du bassin versant.

*Le coefficient d'imperméabilisation a un effet important sur la fonction de production de la partie hydrologique en modélisation. Le volume et le débit de pointe augmentent avec l'augmentation du coefficient d'imperméabilisation.*

- La pente : elle correspond à la pente moyenne pour le ruissellement jusqu'à l'exutoire du sous bassin versant. Elle est obtenue par deux approches : si la pente est homogène à partir du rapport dénivelé sur la longueur du ruissellement, le cas échéant à partir de la pente moyenne pondérée.

*La vitesse moyenne du ruissellement et le débit de pointe augmentent si la pente est importante.*

- Le modèle d'infiltration : les paramètres du modèle de calcul retenu (Horton) sont rentrés par défaut. Il s'agit des coefficients d'infiltration minimum et maximum, la constante de décroissance et le temps de séchage du sol.
- Les débits injectés : ils sont renseignés dans le modèle sous forme de profils temporels. Il s'agit d'un profil journalier pour le temps sec et un profil mensuel pour les eaux claires parasites. Il faut aussi rentrer une valeur moyenne pour le débit de temps sec et une valeur de base pour le débit d'ECPP. Ces modèles temporels sont obtenus de l'analyse du fonctionnement du réseau d'assainissement par temps sec.

### 2.3.3 Réseau modélisé

Le réseau d'assainissement modélisé sur PCSWMM représente l'ensemble des collecteurs principaux du réseau unitaire de l'agglomération Moulinoise. Il est présenté page suivante.

Dans sa globalité, le modèle comprend 231 nœuds de calcul, 241 tronçons de conduites pour 28 km de réseau modélisé et 216 bassins versants (avec une superficie totale de 1400 ha).

- Le bassin versant de la Sainte Catherine : présente peu d'ouvrages hydrauliques. Seule une déflueuse existe sur la branche qui reçoit les eaux du ruisseau, dans la rue du Beau Crucifix. L'autre branche reçoit principalement des eaux de ruissellement du bassin versant amont. Elle vient se reconnecter plus en aval dans la première conduite au niveau du carrefour de la rue du Progrès et de la rue des Geais.

Cette déflueuse est représentée dans le modèle sous la forme d'un décrochement de conduite, le logiciel considère que les débits amont sont répartis selon les capacités hydrauliques des conduites aval.

- Le bassin versant du Grillet : Le réseau principal du bassin versant du Grillet forme un Y, les deux branches en amont se rejoignent au point d'entrée en réseau du ruisseau du Grillet. A leur arrivée à la place de l'Allier, les eaux se partagent entre la conduite équipée du point de transfert et une conduite cadre de 170cm de haut et 140cm de large traversant la place de l'Allier et se prolongeant directement vers le Ris. En temps sec, les 2/3 du débit transitent par cette dernière.

Le ruisseau du Grillet est modélisé sur le logiciel PCSWMM sous forme de rectangle ouvert (fossé), la géométrie est obtenue à partir de la moyenne des sections le long du ruisseau.

Un déversoir dit « Antoine Meillet » est à signaler en aval du point de mesure « Grillet-P4 » : il s'agit d'un mur en béton de 90cm de hauteur. Les eaux déversent dans la conduite d'arrivée au Ris des eaux du Grillet, elle rejoint la conduite principale en aval dans le tampon où se mélangent les eaux du Grillet et de la Sainte Catherine avant leur exutoire dans le Ris.

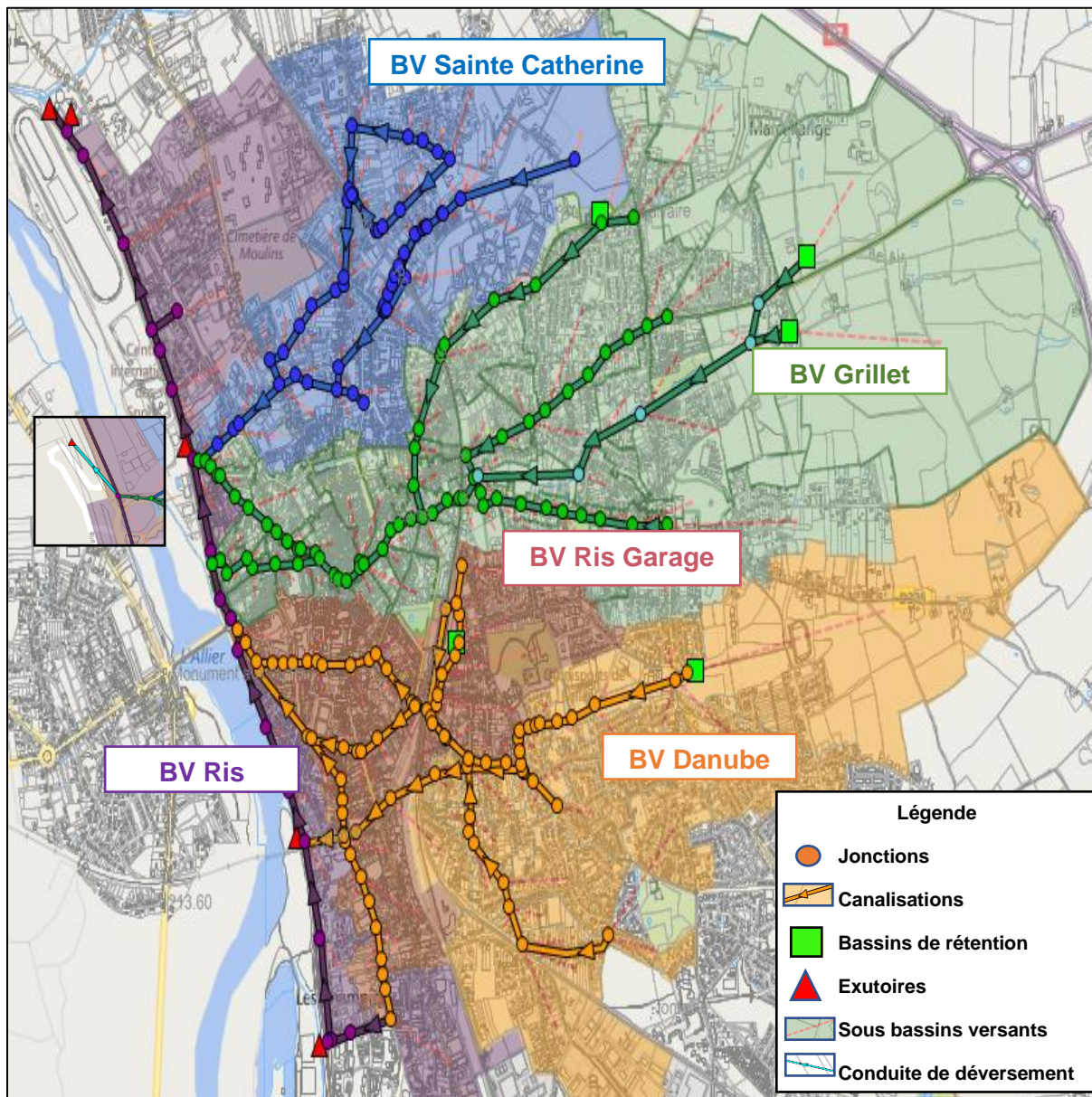


Figure 15: Modèle du réseau d'assainissement de Moulins sur PCSWMM

## 2.4 Calage du modèle

L'étape qui suit la construction du modèle consiste, sur la base des mesures d'autosurveillance de caler les résultats des calculs du modèle numérique d'écoulement sur la réalité.

Les mesures de hauteur/vitesse/débit effectuées dans le réseau, couplées aux données de pluie par pas de temps de 5 minutes enregistrées permettent de caler et valider les paramètres du modèle.

### 2.4.1 Principe du calage

Dans un premier temps, le calage porte sur les fonctions de production des bassins versants pour obtenir les bonnes quantités d'eau à chacun des points de mesure en volume sur la pluie et en débit de pointe. Une fois les volumes d'eau restitués, les paramètres hydrauliques des conduites permettent d'ajuster les hauteurs d'eau dans les canalisations.



Méthodologie générale :

- Si le calage se fait sur plusieurs points de mesures, il doit être réalisé de l'amont vers l'aval.
- Dans un premier temps, le calage se fait en volume, puis en débit de pointe et enfin en hauteur d'eau.
- Il faut privilégier le calage sur les pluies les plus importantes, il vaut mieux surestimer les apports du modèle que de les sous-estimer.

Pour le logiciel PCSWMM, les paramètres du calage sont :

- Paramètres hydrologiques : coefficient d'imperméabilisation, allongement / temps de réponse, largeur du bassin versant, pertes initiales, les stockages des surfaces perméables et imperméables avant ruissellement
- Paramètres hydrauliques : coefficient de débit des ouvrages spéciaux (seuils, vannes, ...), pertes de charge locales.

#### **2.4.2 Choix des pluies de calage**

Dans le cadre de ce projet, aucune campagne de mesure n'est réalisée, le calage est basé donc sur les mesures des points d'autosurveillance.

Le réseau d'assainissement de Moulins a connu des travaux d'assainissement jusqu'à la fin de l'année 2016, donc le choix des pluies de calage repose sur le choix des événements pluvieux pour les années 2017 et 2018.

Il est souhaitable de caler le modèle sur trois pluies au minimum, dont les périodes de retour sont différentes les unes aux autres, la troisième pluie est une pluie de validation du modèle.

Le choix de ces pluies doit tenir en compte des conditions suivantes :

- Les pluies comprennent un temps sec significatif avant et après l'évènement pluvieux.
- Les pluies sont relativement homogènes, c'est-à-dire les données sont les mêmes sur les trois pluviomètres du secteur d'étude.
- Les mesures du début sur cette période sont disponibles et cohérentes.

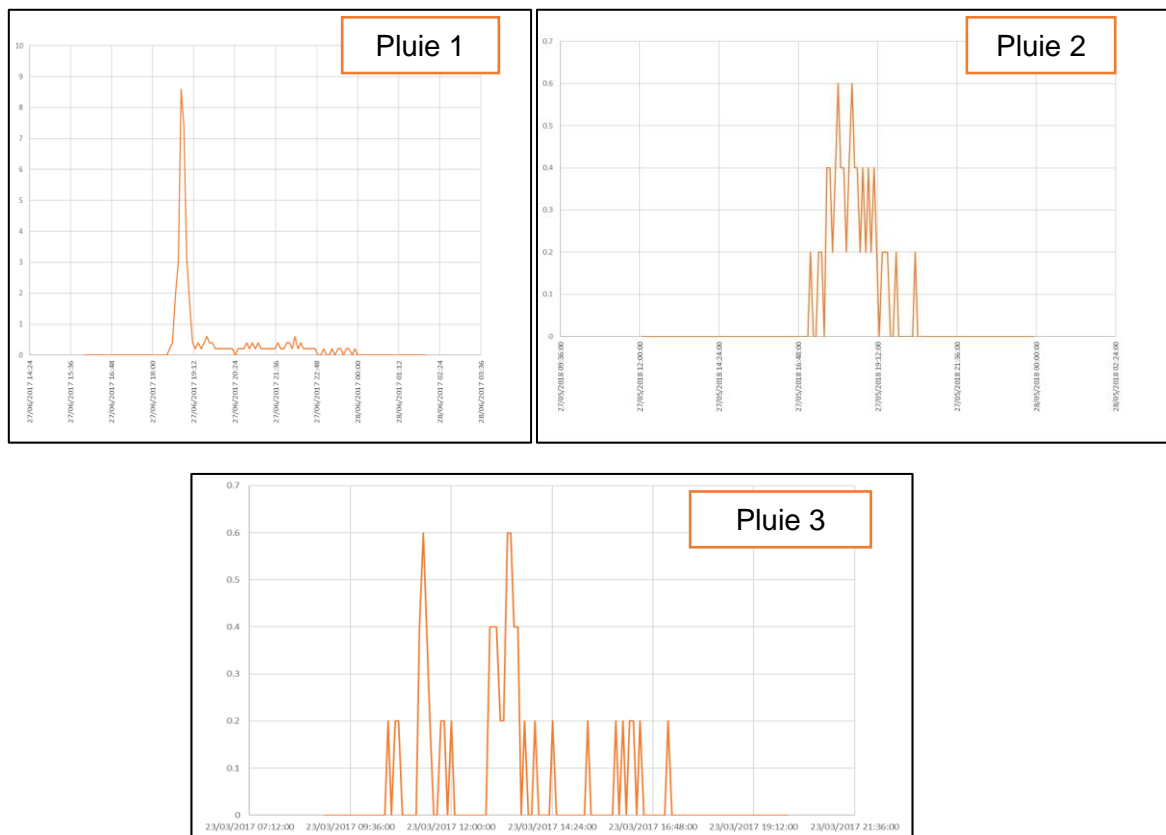


Figure 16: Pluies de calage

- **Pluie 1** : Pluie du 27/06/2017  
→ Pluie courte et intense (annuelle)  
Durée : 35 min  
Cumul : 50 mm
- **Pluie 2** : Pluie du 27/05/2018  
→ Pluie moyenne (mensuelle)  
Durée : 3h  
Cumul : 2.6 mm
- **Pluie 3** : Pluie du 23/03/2017  
→ Pluie moyenne (bimensuelle)  
Durée : 7h  
Cumul : 1.2 mm

### 2.4.3 Validation et bilan du calage

Le calage se fait sous deux aspects : un aspect dit « qualitatif » en superposant les deux courbes de débits mesurés et simulés et en comparant leur forme et un aspect « quantitatif » qui se base sur les critères suivants :

- Intensité : écart sur la pointe en débit ou en hauteur d'eau
- Volume : écart sur les volumes
- Forme de courbes : critère de Nash-Stucliffe (obtenu directement de PCSWMM)

Une note est attribuée pour chacun de ces critères selon la grille d'évaluation suivante :

Qualité du calage	Seuils des écarts sur l'intensité	Seuils des écarts sur le volume	Critère de Nash-Stucliffe
<b>Bonne</b>	$E \leq 20\%$	$E \leq 20\%$	$Nash \geq 0,5$
<b>Acceptable</b>	$20\% < E \leq 35\%$	$20\% < E \leq 35\%$	$0,5 > Nash \geq 0,3$
<b>Mauvaise</b>	$E > 35\%$	$E > 35\%$	$Nash < 0,3$

**Tableau 18: Notes d'évaluation de la qualité du calage**

La qualité du calage est évaluée pour chaque pluie et pour chaque point de mesure. Les critères calculés représentent les écarts entre les valeurs simulés par le logiciel et les valeurs mesurées.

*Malheureusement, le point de mesure PT2 « Ris aval » ne peut pas être calé pour l'instant, vu l'attente des données sur les consommations d'eau potable sur la commune de Neuvy, car la valeur de base injecté des eaux claires parasites permanentes peut changer en fonction de ces raccordements. Ce qui ne permet pas de juger sur la qualité générale du calage.*

D'après le bilan du calage du modèle fourni en annexe 6, ce dernier est majoritairement bon sur tous les points et surtout pour les pluies 2 et 3.

## 2.5 Conclusion et limites du modèle

L'objectif de la création du modèle hydraulique du réseau d'assainissement de Moulins est de pouvoir répondre à la problématique concernant le système d'assainissement, soit :

- La maîtrise des rejets polluants par temps de pluies faibles à moyennes et atteindre la conformité réglementaire.
- L'aménagement des solutions de stockage temporaire des effluents

Certes, le calage de ce modèle est basé sur les données mesurées dans le cadre du diagnostic permanent du réseau d'assainissement de l'agglomération Moulinoise servant à l'autosurveillance. Cependant, des anomalies sur les mesures sont détectées engendrant des limites pour le calage du modèle : les points de transfert à l'aval du système de collecte juste en amont du déversoir en tête de la station d'épuration ne peuvent pas être calés pour l'instant.

En outre, le calage des autres points n'était pas évident vu leur implantation. En effet, ils sont installés dans l'extrémité avale de chaque branche principale du réseau unitaire rejoignant le collecteur du « Ris », donc la connaissance de la réponse du réseau aux événements pluvieux en amont de chaque bassin versant est limitée provoquant des doutes sur son fonctionnement dans ces parties.

Pour parvenir à réaliser une modélisation « correcte » du système d'assainissement de Moulins qui peut être exploitée pour répondre aux objectifs de l'étude, il est souhaitable qu'une campagne de mesure de la pluviométrie, des débits, des hauteurs d'eau et des vitesses dans le réseau ainsi que des prélèvements d'eau pour l'analyse de la qualité des eaux de ruissellement par temps de pluie soit mise en place sur l'ensemble des branches principales en amont du réseau.

Localisation des points de mesure

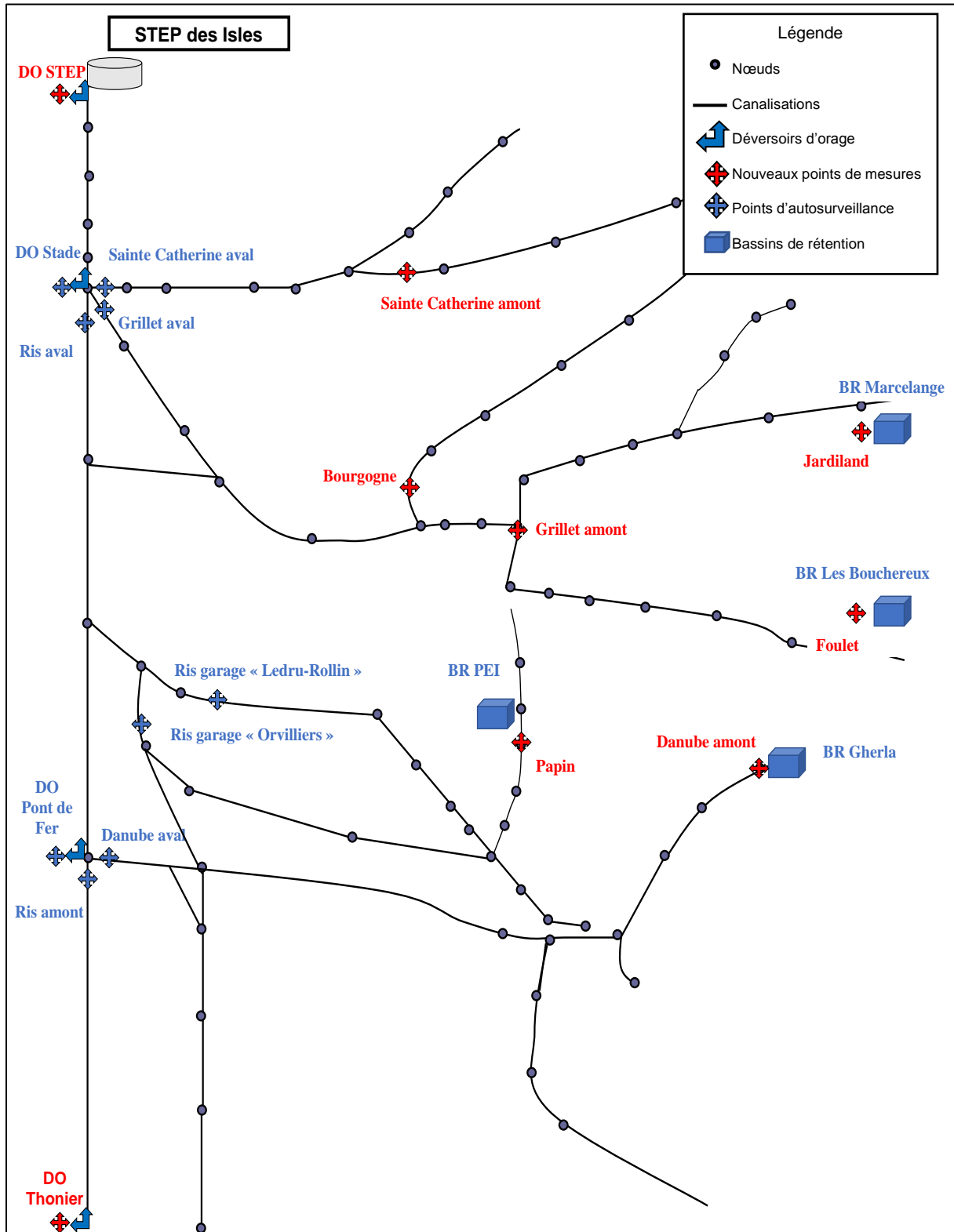


Figure 17: Plan métrologique potentiel du réseau d'assainissement de Moulins

### Choix de la période de mesure

La campagne de mesure sur le réseau par temps de pluie doit permettre d'estimer la capacité du réseau par temps de pluie et la pollution déversée au milieu naturel par le biais des déversoirs d'orage. Elle doit permettre de mesurer les débits caractéristiques sur le système de collecte et de quantifier les eaux claires parasites.

L'analyse de la pluviométrie permet d'identifier des périodes de mesures éventuelles. Cette analyse est réalisée à partir des données pluviométriques des 30 dernières années de la station météorologique d'Yzeure exploitée par Météo France (03321001).

Les caractéristiques générales de la pluviométrie à Moulins depuis les 30 dernières années sont résumées sur le tableau 20.

	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	TOTAL
Moyenne	58.2	51.5	51.0	68.2	82.0	70.7	69.5	65.2	65.7	70.9	82.0	62.2	797.1
Valeur inférieure	26.8	23.9	19.7	27.3	41.9	32.9	29.1	27.2	31.1	36.3	51.3	29.7	672.2
Valeur supérieure	89.7	79.1	82.4	109.1	122.0	108.4	109.9	103.2	100.3	105.6	112.8	94.6	922.0
Ecart-type	31.5	27.6	31.4	40.9	40.0	37.8	40.4	38.0	34.6	34.7	30.8	32.5	124.9

**Tableau 19: Moyennes mensuelles de pluie sur les 30 dernières années (en mm)**

Les mois les plus pluvieux sont en moyenne les mois de mai à juin et d'octobre à novembre.

La campagne de mesure potentielle est choisie selon les exigences de Moulins Communauté sur l'une de ces deux périodes de l'année sachant que la période de nappe haute est vers les mois de février à avril et de nappe basse de septembre à octobre.

## 2.6 Justification de la nécessité d'une campagne de mesure

Pour mettre en conformité son système d'assainissement par temps de pluie, Moulins Communauté doit aménager des solutions de stockage temporaire des effluents. L'étude de ces diverses solutions est approfondie par les résultats des simulations de longue durée réalisées sur le modèle hydraulique sur PCSWMM.

Les solutions techniques, selon la problématique de l'étude, qui peuvent être étudiées sont :

- **SOLUTION 1 : OPTIMISATION DES OUVRAGES EXISTANTS**

Il existe actuellement plusieurs ouvrages de stockage-restitution sur le réseau d'assainissement de l'agglomération Moulinoise :

- **Le bassin de rétention de Gherla** : un ouvrage à ciel ouvert situé sur la commune d'Yzeure. Il est destiné à retenir les eaux du Danube avant que ce ruisseau ne soit capté par le réseau d'assainissement.

Ce bassin dispose d'une capacité totale de stockage de 10 000m<sup>3</sup>. Néanmoins, depuis sa création en 2005, ses capacités ont été très peu utilisées. Le dimensionnement de l'ajustage doit donc être réétudié afin d'utiliser pleinement le potentiel de cet ouvrage.

- **Le bassin de rétention du Pôle d'Echanges Intermodal (PEI)** : un ouvrage enterré situé sous le parking de la gare de Moulins, il sert d'ouvrage de délestage du collecteur unitaire de la rue Denis Papin.

Cet ouvrage de 700 m<sup>3</sup> a été construit en 2014 afin d'éviter les débordements ponctuellement constatés rue Denis Papin. Il s'agit d'un bassin enterré muni de 5 rangées de cadres béton 2500 x 1500 vidangé par l'intermédiaire d'un poste de pompage équipé de 3 électropompes. Les débits sont mesurés en entrée (canal venturi + sonde US) et en sortie (débitmètre électromagnétique). Si cette construction a pu permettre d'atteindre son objectif, il semble lui aussi sous utilisé. Son optimisation est nécessaire.

Les observations de terrain mettent en évidence deux bassins de rétention de capacité de stockage importante. Ils se trouvent en amont des zones urbanisés du ruisseau du Grillet, leur fonctionnement est négligé du fait de leur isolation. Ils semblent que leur optimisation est aussi indispensable.

- **Le bassin de rétention de Marcelange** : il s'agit d'une zone de stockage située le long de la route de Bourgogne.

Cette zone de stockage permet de gérer les eaux de ruissellement d'un bassin versant d'une superficie de 180 ha principalement occupé par des zones de prairies et de culture. Son volume est d'environ 9200 m<sup>3</sup>.

- **Le bassin de rétention des Bouchereux** : il est situé sur la branche sud du ruisseau du Grillet au niveau des jardins des Bouchereux, il s'agit d'un étang converti en bassin sec permettant la rétention des eaux pluviales.

Ce bassin est à un volume utile d'environ 4300 m<sup>3</sup>. L'ouvrage d'évacuation est constitué d'une buse circulaire  $\Phi$  500 mm située au fond du bassin et d'un trop-plein situé au-dessus de cette canalisation. La capacité hydraulique de cette conduite est de 0.4 m<sup>3</sup>/s partant sur les hypothèses d'une pente moyenne du Grillet de 0.9% et d'une rugosité  $K=60$  et en appliquant l'équation de Manning-Strickler.

Par ailleurs, le fonctionnement des déversoirs d'orage doit être analysé afin d'envisager d'éventuelles modifications qui pourraient avoir un impact positif sur la conformité globale du système d'assainissement en temps de pluie.

L'utilisation du modèle hydraulique permet de proposer les bons niveaux de réglage :

- Ajustement des débits de vidange pour mettre l'utilisation maximale des capacités des bassins de rétention.
- Réglage des hauteurs des seuils des déversoirs d'orage.

## ● **SOLUTION 2 : STOCKAGE EN LIGNE DANS LE RESEAU**

Le dimensionnement du réseau d'assainissement aval de Moulins lui confère de grandes capacités de stockage grâce au diamètre relativement grand du collecteur principal dans la partie aval du « Ris », son exploitation précise qu'il est capable de stocker d'environ 8500 m<sup>3</sup> sur environ 2km par temps de pluie.

Pour cela, une ou plusieurs vannes motorisées devraient être disposées sur le collecteur, ces dernières ne laissant passer au plus que le débit de pointe de la station et stockant le surplus jusqu'à atteindre la capacité maximum du collecteur.

- **SOLUTION 3 : CONSTRUCTION D'UN NOUVEL OUVRAGE DE STOCKAGE-RESTITUTION**

Cette solution sera étudiée qu'en dernier recours, s'il s'avère que l'optimisation des ouvrages et le stockage en ligne ne suffisent pas à atteindre les objectifs du projet, car il est fortement probable qu'elle présente un « coût excessif » selon les termes de l'arrêté du 21 juillet 2015.

La construction d'un Bassin de Stockage Restitution (BSR) juste en amont de la station d'épuration est la pire des solutions pour les raisons suivantes :

- Investissement élevé,
- Exploitation contraignante,
- Emprise foncière forte,
- Contraintes de chantiers fortes.

→ Un modèle calé sur les points d'autosurveillance implantés en aval du réseau unitaire est donc suffisant pour étudier la possibilité de faire du stockage en ligne sur le « Ris » ainsi que de dimensionner un bassin de stockage en amont de la station d'épuration.

**En revanche**, la solution qui est en priorité ne peut pas être étudiée. En effet, pour optimiser les ouvrages de rétention existants sur le réseau d'assainissement et pour identifier les secteurs à risque de mise en charge et débordement sur les bassins versants amont, une campagne de mesures est donc nécessaire au niveau de ces ouvrages (voir plan métrologie sur la figure 17).

## 2.7 Méthodologie de diagnostic du réseau en temps de pluie et bilan de la conformité

### Réglementation – Arrêté du 21 juillet 2015

Pour évaluer la conformité du système de collecte, le Maître d'Ouvrage choisit parmi les trois options suivantes :

-Les rejets par temps de pluie représentent **moins de 5% des volumes d'eaux usées produits** par l'agglomération d'assainissement durant l'année

-Les rejets par temps de pluie représentent **moins de 5% du flux de pollution produits** par l'agglomération d'assainissement durant l'année

-**Moins de 20 jours de déversement** ont été constatés durant l'année au niveau de chaque déversoir d'orage soumis à autosurveillance réglementaire.

La formule de calcul des deux critères concernant les volumes et les flux rejetés est :

$$\frac{\sum \text{volumes ou flux de pollution au niveau des A1}}{\sum \text{volumes ou flux de pollution au niveau des A1 et A2 et A3}} \times 100 \leq 5$$

A1 sont les déversoirs d'orage soumis à autosurveillance réglementaire

A2 est le déversoir d'orage en tête de station

A3 est l'entrée STEP.

Le modèle calé en entier permettra de réaliser des simulations de longue durée pour des années de pluies réelles représentatives d'années moyennes, et donc de donner des résultats capacitaires, c'est-à-dire les mises en charges, les risques de débordements et la sollicitation des ouvrages hydrauliques : les bassins de rétention, les déversoirs d'orage ...

Ces résultats seront appuyés par les dysfonctionnements observés en pratique par les services des communes (zones inondées par exemple).

Les simulations permettront donc l'estimation des volumes déversés par l'ensemble des déversoirs d'orage du système et le calcul d'impact sur le milieu naturel. Une liste de déclassements ponctuels annuels sera établie.

→ Une synthèse des dysfonctionnements et des écarts à la conformité réglementaire sera mise en avant et les solutions pour remédier à ces problèmes pourront être étudiées.

### Simulations de longue durée

Les longues séries de pluies réelles sont également utilisées pour le dimensionnement des ouvrages pour lesquels elles permettent une **recherche de l'optimum coût/efficacité**.

Le choix des années de pluies réelles s'avère déterminant pour la fiabilité et la représentativité des résultats. Ainsi, la modélisation de chroniques de pluies doit tenir compte de la sensibilité à la variabilité temporelle de la pluie :

- Simuler une année quelconque est insuffisant (variabilité des résultats pouvant dépasser 15%)
- Simuler plusieurs années avec des mois très proches de la « moyenne » apparaît comme le plus représentatif.

Pour choisir les années représentatives, le raisonnement porte sur la pluviométrie mensuelle moyenne. L'analyse est basée sur la comparaison avec l'écart type calculé sur les 30 dernières années. Les années dont le cumul de pluie est supérieur à « moyenne + écart-type » sont classées pluvieuses ; les années dont le cumul de pluie est inférieur à « moyenne - écart-type » sont classées sèches (l'écart-type calculé entre 1989 et 2018 est de 125 mm).

Année	Nombre de mois moyens	Nombre de mois humides	Nombre de mois secs	Etat général	Ecart avec moyenne
1989	8	1	3	Sèche	-188.2
1990	8	3	1	Moyenne	-41.8
1991	10	0	2	Sèche	-230.6
1992	6	5	1	Humide	132.0
1993	6	2	4	Moyenne	-49.4
1994	9	3	0	Humide	210.1
1995	7	2	3	Moyenne	-27.6
1996	9	2	1	Moyenne	48.8
1997	8	2	2	Moyenne	-49.6
1998	9	1	2	Moyenne	-33.2
1999	9	3	0	Moyenne	35.2
2000	8	1	3	Moyenne	-19.5
2001	8	3	1	Moyenne	78.3
2002	6	3	3	Moyenne	55.4



2003	11	0	1	Sèche	-168.9
2004	6	4	2	Humide	125.9
2005	9	0	3	Sèche	-208.0
2006	9	3	0	Moyenne	73.8
2007	6	4	2	Humide	155.8
2008	10	2	0	Humide	144.3
2009	12	0	0	Moyenne	-79.0
2010	9	2	1	Humide	130.1
2011	8	2	2	Moyenne	-97.0
2012	10	1	1	Moyenne	-8.2
2013	10	2	0	Moyenne	82.6
2014	8	4	0	Humide	182.1
2015	8	0	4	Sèche	-187.1
2016	6	4	2	Moyenne	102.0
2017	9	2	1	Moyenne	-12.9
2018	6	2	4	Sèche	-155.2

Tableau 20: Analyse des cumuls mensuels de pluie par rapport à l'écart-type (pluviométrie Météo France 03321001 – Yzeure)

Les années 2009 et 2012 apparaissent comme les deux années parmi les 10 plus récentes qui se rapprochent des valeurs moyennes sur 30 ans.

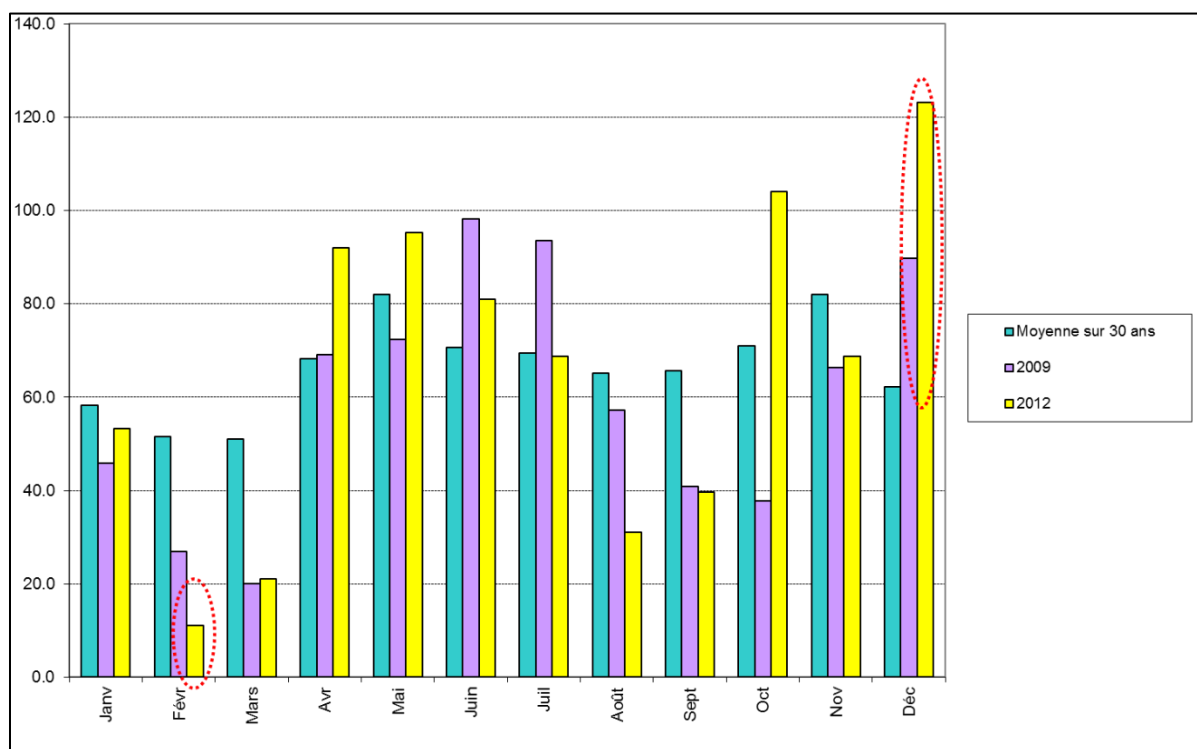


Figure 18: Cumuls mensuels de précipitations (pluviométrie Météo France 03321001 – Yzeure)

Par contre, deux mois en 2012 présentent des écarts significatifs avec la moyenne locale.

On peut également proposer de réaliser les modélisations longues durée à partir d'une année de pluie fictive appelée « année moyenne reconstituée » construite avec les mois les plus proches de la moyenne sur les 10 dernières années.

Année	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	TOTAL
2009	45.8	27	20.1	69.1	72.3	98.1	93.5	57.3	40.9	37.8	66.4	89.8	718.1
2010	48.2	69.4	63.1	39.7	148.1	100.7	78.4	53.3	64.3	59.6	97.6	104.8	927.2
2011	33.8	27.3	42.1	8.3	24.7	34.6	132.3	74.3	58.2	55.2	60.9	148.4	700.1
2012	53.3	11	21.1	92	95.3	80.9	68.7	31.1	39.6	104.1	68.7	123.1	788.9
2013	77.4	56	57.3	112.6	125.8	49.3	72.4	29.6	70.3	88	105.7	35.3	879.7
2014	92.3	92.3	27.9	51.7	63.6	64.4	147.5	101.7	47.8	86.2	122	81.8	979.2
2015	75.2	34.9	43.1	77.6	37.8	57.7	14.1	91.3	52.2	46.5	50.5	29.1	610
2016	109.6	88.5	71.9	115	143.7	67.2	14.2	45.4	43.2	69.8	112.2	18.4	899.1
2017	46	45.5	86.5	32.5	121.8	101.1	38.2	45	51.6	27.8	91	97.2	784.2
2018	126.3	51.5	90.2	57.9	74	32.8	13.5	22.1	8.3	49.1	67.9	48.3	641.9
<b>Année moyenne reconstituée</b>	<b>53.3</b>	<b>51.5</b>	<b>57.3</b>	<b>69.1</b>	<b>74</b>	<b>67.2</b>	<b>68.7</b>	<b>57.3</b>	<b>64.3</b>	<b>69.8</b>	<b>91</b>	<b>48.3</b>	<b>771.8</b>

Figure 19: Année moyenne reconstituée

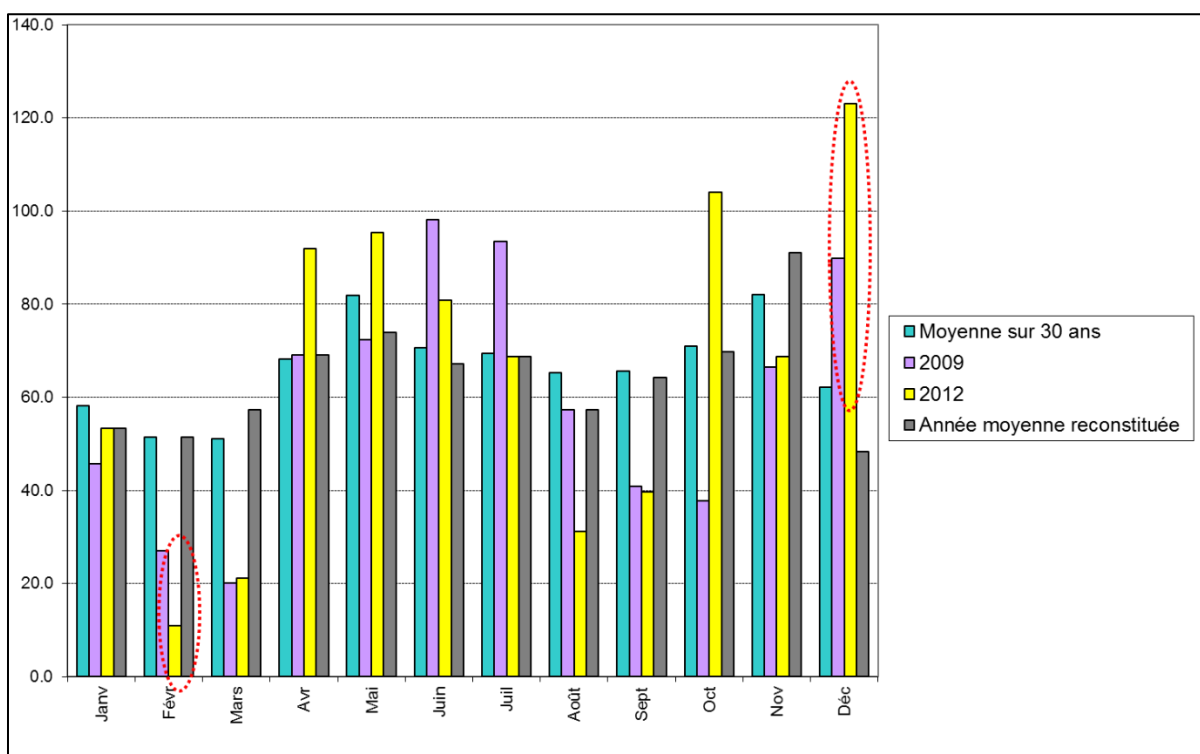


Figure 20: Cumuls mensuels de précipitations + année reconstituée (pluviométrie Météo France 03321001 – Yzeure)

Les modélisations de longue durée pourront se faire donc à partir de :

- L'année de pluie réelle moyenne 2009
- L'année de pluie moyenne reconstituée.

## CONCLUSION

L'objectif de la présente étude a été de mettre en conformité le système d'assainissement de Moulins par temps de pluie vis-à-vis de l'arrêté du 21 juillet 2015. En effet, des déversements par le déversoir d'orage en tête de la station d'épuration des Isles ont été constatés alors que son débit de référence préalablement fixé par arrêté préfectoral n'est pas atteint. Pour cela, de nombreuses phases ont été élaborées afin de répondre à cette problématique.

L'analyse du fonctionnement du système d'assainissement par temps sec de l'agglomération Moulinoise a été réalisée à partir des consommations d'eau potable sur les communes de la zone d'étude et à partir des mesures de l'autosurveillance du diagnostic permanent mis en place sur le réseau d'assainissement.

Quotidiennement, un volume théorique des eaux usées de l'ordre de **5260 m<sup>3</sup>** est à traiter par la station d'épuration des Isles. Ce débit sanitaire prend en compte les rejets d'origine domestique, mais également ceux liés aux activités industrielles sur le périmètre de l'étude avec une contribution aux rejets totaux de 38 %. En plus, l'estimation de la population domestique a montré que 36 780 EH étaient raccordés à la station d'épuration des Isles.

Les mesures de l'autosurveillance sur le réseau ont permis de connaître les débits réellement collectés par le système d'assainissement. Cependant, des erreurs sur ces mesures ont été détectées par des écarts observés entre le cumul des points de transfert et l'entrée de la STEP, des écarts qui s'élèvent jusqu'à 40%.

A partir des mesures métrologiques de débit sur le réseau, un volume de 11 334 m<sup>3</sup> par jour en temps sec arrive à la station d'épuration des eaux usées qui représente le double du débit sanitaire théoriquement estimé. Cette différence a pu confirmer **les apports des eaux claires parasites permanentes** transitant dans le réseau provenant de la collecte des ruisseaux et leur interaction avec la nappe phréatique, elles composent **54 % de l'effluent collecté en aval du réseau**.

Pour réaliser un diagnostic du réseau d'assainissement de Moulins par temps de pluie et pour atteindre **la conformité réglementaire**, un modèle hydraulique sur le logiciel PCSWMM a été créé pour pouvoir faire des simulations de longue durée qui permettront d'une part d'établir un bilan sur l'impact des rejets au milieu naturel et d'étudier d'autre part les solutions de stockage temporaire de l'effluent envisageables par Moulins Communauté soient **par ordre de priorité** :

- *En situation actuelle* : optimiser les ouvrages existants (bassins de rétention, déversoirs d'orage ...)
- *En situation future* : étudier la faisabilité du stockage en ligne **en aval du réseau** unitaire et en dernier recours construire un nouveau bassin de stockage-restitution **en amont de la station d'épuration** des Isles.

Le modèle étant calé sur la base des mesures des points de transfert situés en aval du réseau, il est donc représentatif du bon fonctionnement du système de collecte sur cette partie. En conclusion, l'étude du stockage en ligne et le dimensionnement du bassin d'orage pourront être exécutés. **Mais**, pour étudier la solution prioritaire concernant l'optimisation des ouvrages existants sur les bassins versants amont, une campagne de mesures au niveau de ces ouvrages s'est avérée nécessaire.

La campagne de mesures sera proposée à Moulins Communauté, qui décidera, selon ses exigences, du devenir du projet.

## BIBLIORAPHIE

- [1] **Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques**. Populations légales, Recensement 2015. Disponible sur : < <https://www.insee.fr/fr/information/2008354> >.
- [2] **Eaufrance**. Code station : K3450810, Cours d'eau : Allier, Commune : Moulins. Disponible sur : < <http://www.hydro.eaufrance.fr/> >.
- [3] **VAZQUEZ José, DUFRESNE Matthieu**. « Hydraulique à surface libre ». ENGEES 2016. Support formation d'ingénieur. Disponible sur : < <http://hydraulique-des-reseaux.engees.eu/> >.
- [4] Arrêté du 21 juillet 2015 relatif aux systèmes d'assainissement collectif et aux installations d'assainissement non collectif, à l'exception des installations d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 1,2 kg/j de DBO5. Texte législatif et réglementaire. Disponible sur : < <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2015/7/21/DEVL1429608A/jo/texte> >.
- [5] **DICKO, Lisa**. 2015. « Schéma directeur d'assainissement du système de Souleyrie : Communauté d'Agglomération du bassin d'Aurillac ». Mémoire de diplôme d'ingénieur, ENGEES. 98 p.
- [6] **THEODORE, Cécile**. 2014. « Diagnostic et modélisation des réseaux d'assainissement de la rive gauche du lac d'Annecy ». Mémoire de Mastère Spécialisé, ENGEES. 113 p.
- [7] **CHI Company**. « About CHI ». Article électronique. Disponible sur : < <https://www.chiwater.com/Home/About> >.
- [8] **Hydropraxis**. 2012. « PCSWMM EU France Manuel Utilisateur ». Support technique. 76 p.
- [9] **Agence de l'eau Loire-Bretagne**. « Masses d'eau de cours d'eau ». Base de données. Disponible sur : < [http://www.eau-loire-bretagne.fr/informations\\_et\\_donnees/Etat\\_masses\\_d\\_eau](http://www.eau-loire-bretagne.fr/informations_et_donnees/Etat_masses_d_eau) >.
- [10] **Astee**. 2017. « Mémento technique : conception et dimensionnement des systèmes de gestion des eaux pluviales et de collecte des eaux usées ». Document technique. Disponible sur : < <https://www.astee.org/publications/memento-technique-2017/> >.

# ANNEXES

## ANNEXE 1 : SUIVI DE LA NAPPE ET ETAT DE LA PLUVIOMETRIE

Commune : Mairie de Moulins

Point d'eau : Station Pompage, route de Clermont

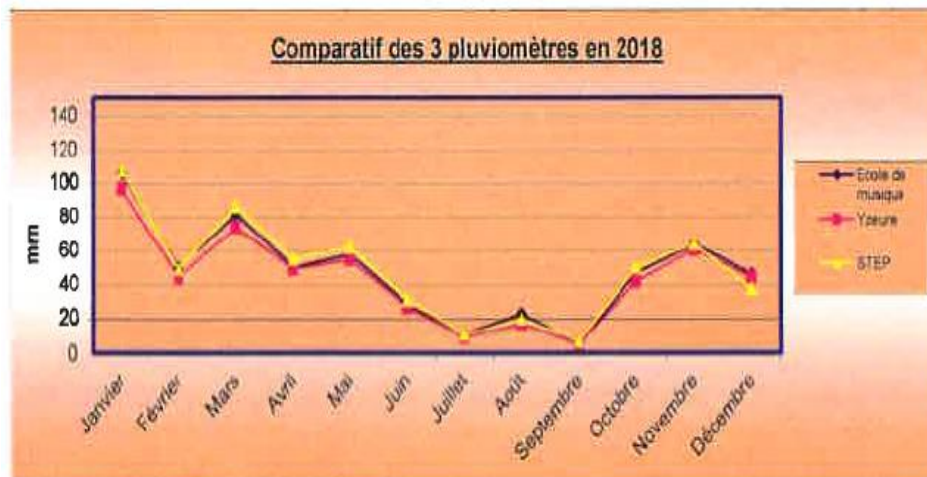
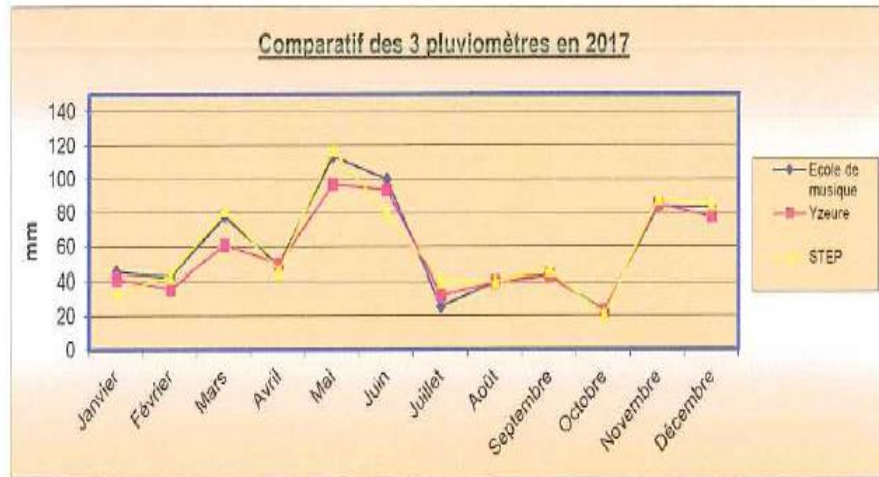
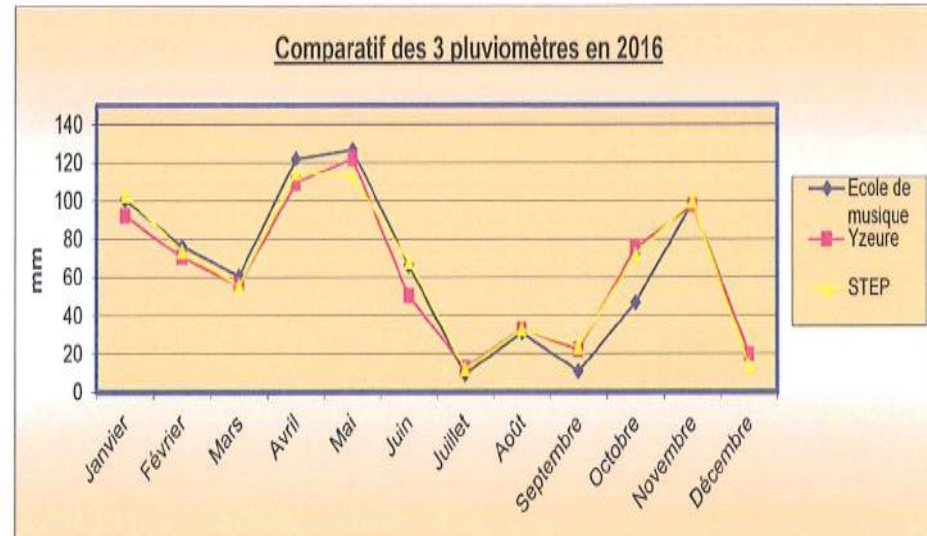
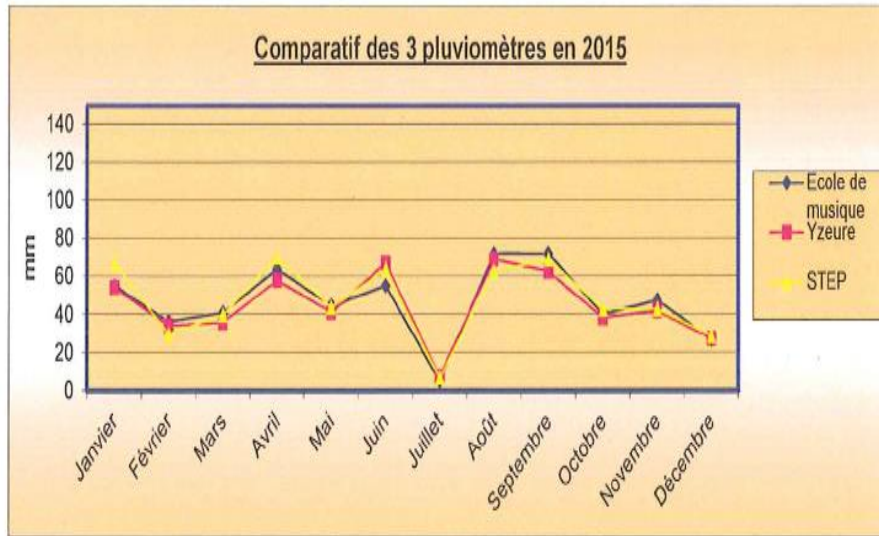
Semaine					NIVEAU NAPPE (m)				
					2018	2017	2016	2015	2003
1	28/12/2015	au	03/01/2016	Janvier	205.26	204.76	203.98	205.51	
2	04/01/2016	au	10/01/2016	Janvier	205.42	204.99	204.24	205.3	
3	11/01/2016	au	17/01/2016	Janvier	205.93	204.51	204.79	205.27	
4	18/01/2016	au	24/01/2016	Janvier	205.56	204.59	204.49	205.26	
5	25/01/2016	au	31/01/2016	Janvier	205.58	204.57	204.47	205.26	
6	01/02/2016	au	07/02/2016	Février	205.58	204.87	204.94	205.04	
7	08/02/2016	au	14/02/2016	Février	205.43	205.25	204.83	205.04	
8	15/02/2016	au	21/02/2016	Février	205.54	205.1	205.21	205.5	
9	22/02/2016	au	28/02/2016	Février	205.58	204.8	204.98	205.24	
10	25/02/2016	au	06/03/2016	Mars	205.34	204.97	205.03	205.66	
11	07/03/2016	au	13/03/2016	Mars	205.25	205.33	205.00	205.21	
12	14/03/2016	au	20/03/2016	Mars	205.24	205.27	205.00	205.1	
13	21/03/2016	au	27/03/2016	Mars	205.44	205.12	204.86	205.18	
14	28/03/2016	au	03/04/2016	Avril	205.46	205.25	204.78	205.31	
15	04/04/2016	au	10/04/2016	Avril	205.3	204.94	205.11	205.01	
16	11/04/2016	au	17/04/2016	Avril	205.51	205	204.94	205.01	
17	18/04/2016	au	24/04/2016	Avril	205.22	204.82	204.86	204.53	
18	25/04/2016	au	01/05/2016	Mai	205.05	204.88	204.62	204.53	
19	02/05/2016	au	08/05/2016	Mai	204.95	204.69	204.62	204.53	204.39
20	09/05/2016	au	15/05/2016	Mai	204.93	204.92	205.06	204.73	204.26
21	16/05/2016	au	22/05/2016	Mai	205.31	205	205.08	204.73	204.30
22	23/05/2016	au	29/05/2016	Mai	205.18	205	205.09	204.54	204.26
23	30/05/2016	au	05/06/2016	Juin	205.48	204.9	206.17	204.42	204.23
24	06/06/2016	au	12/06/2016	Juin	205.26	204.86	205.63	204.51	204.28
25	13/06/2016	au	19/06/2016	Juin	205.42	204.67	205.56	204.7	204.28
26	20/06/2016	au	26/06/2016	Juin	205.48	204.54	205.30	204.82	204.31
27	27/06/2016	au	03/07/2016	Juillet	205.45	204.82	204.80	204.41	204.45

28	04/07/2016	au	10/07/2016	Juillet	204.76	204.82	204.69	204.01	204.36
29	11/07/2016	au	17/07/2016	Juillet	204.66	204.82	204.69	203.97	204.30
30	18/07/2016	au	24/07/2016	Juillet	204.86	204.68	204.63	203.94	204.34
31	25/07/2016	au	31/07/2016	Juillet	204.37	204.38	204.68	204	204.41
32	01/08/2016	au	07/08/2016	Août	204.72	204.66	204.58	204.7	204.35
33	08/08/2016	au	14/08/2016	Août	204.42	204.65	204.64	204.35	204.34
34	15/08/2016	au	21/08/2016	Août	204.35	204.62	204.58	204.39	204.34
35	22/08/2016	au	28/08/2016	Août	204.64	204.56	204.59	204.33	204.5
36	29/08/2016	au	04/09/2016	Septembre	204.57	204.57	204.36	204.09	204.46
43	05/09/2016	au	11/09/2016	Septembre	204.24	204.46	204.37	204.19	204.53
45	12/09/2016	au	18/09/2016	Septembre	204.56	204.57	204.36	204.11	
46	19/09/2016	au	25/09/2016	Septembre	204.61	204.32	204.51	204.48	
47	26/09/2016	au	02/10/2016	Octobre	204.47	204.29	204.01	204.38	
48	03/10/2016	au	09/10/2016	Octobre	204.67	204.46	204.02	204.2	
49	10/10/2016	au	16/10/2016	Octobre	204.41	204.41	204.48	204.07	
50	17/10/2016	au	23/10/2016	Octobre	204.44	204.45	204.56	204.24	
51	24/10/2016	au	30/10/2016	Octobre	204.51	204.35	204.22	204.08	
52	31/10/2016	au	06/11/2016	Novembre	204.26	204.51	204.41	204.09	
53	07/11/2016	au	13/11/2016	Novembre	204.7	204.26	204.41	204.09	
54	14/11/2016	au	20/11/2016	Novembre	204.57	204.61	204.28	204.07	
55	21/11/2016	au	27/11/2016	Novembre	204.49	204.64	205.04	204.13	
56	28/11/2016	au	04/12/2016	Décembre	204.45	204.66	205.12	204.18	
57	05/12/2016	au	11/12/2016	Décembre	204.6	204.44	204.79	204.28	
58	12/12/2016	au	18/12/2016	Décembre	204.54	204.87	204.85	204.23	
59	19/12/2016	au	25/12/2016	Décembre	204.44	205.15	204.80	204.23	

Ces données servent à connaître la variation de la nappe au fil des années et son évolution par rapport à la pluviométrie, ainsi qu'à identifier les niveaux de la nappe (nappe haute et basse).

Pour le secteur d'étude : nappe haute (février – avril) et nappe basse (septembre – octobre)





Comparatif de la pluviométrie des 3 pluviomètres de l'Agglomération Moulinoise : Ecole de musique, Yzeure et STEP sur les 4 dernières années

Pluviométrie moyenne sur les 4 dernières années en mm

	2015	2016	2017	2018
Janvier	58.9	98.7	40.3	103
Février	33.6	73.7	40.4	47.7
Mars	39	57.7	73.3	80.6
Avril	64.1	115.5	48.1	51.4
Mai	43.4	120.7	109.1	58.3
Juin	62.2	61.5	91.1	28.7
Juillet	6.7	11.4	32.6	10.5
Août	68.1	32.4	39.9	20
Septembre	67.9	19	44.2	5.8
Octobre	40.6	64.8	22.4	46.3
Novembre	44.3	98.9	85.5	62.7
Décembre	27.9	18.1	81.7	42.8

## ANNEXE 2 : CRITERES DE L'AUTOCURAGE

- Vérification du critère sur la pente

	Géométrie (m)	Pente (m/m)	Schütz	Autocurage	Sander	Autocurage
SC12G-SC12F	0.3	0.00181	0.00333333	Non vérifié	0.004	Non vérifié
P8-G17	0.3	0.00748	0.00333333	Vérifié	0.004	Vérifié
SC12D-SC12C	0.3	0.00768	0.00333333	Vérifié	0.004	Vérifié
SC12C-SC12B	0.3	0.00786	0.00333333	Vérifié	0.004	Vérifié
amont-SC16	0.3	0.01006	0.00333333	Vérifié	0.004	Vérifié
SC12J-SC12I	0.3	0.01144	0.00333333	Vérifié	0.004	Vérifié
SC12K-SC12J	0.3	0.01144	0.00333333	Vérifié	0.004	Vérifié
SC12H-SC12G	0.3	0.01222	0.00333333	Vérifié	0.004	Vérifié
SC12I-SC12H	0.3	0.01317	0.00333333	Vérifié	0.004	Vérifié
SC7M-SC7L	0.3	0.0152	0.00333333	Vérifié	0.004	Vérifié
C3-C2	0.3	0.01593	0.00333333	Vérifié	0.004	Vérifié
SC12F-SC12E	0.3	0.01639	0.00333333	Vérifié	0.004	Vérifié
SC7O-SC7I4	0.3	0.018	0.00333333	Vérifié	0.004	Vérifié
SC12E-SC12D	0.3	0.02125	0.00333333	Vérifié	0.004	Vérifié
C2-C1	0.3	0.02352	0.00333333	Vérifié	0.004	Vérifié
SC7I3-SC7I2	0.3	0.02647	0.00333333	Vérifié	0.004	Vérifié
SC7N-SC7M	0.3	0.0274	0.00333333	Vérifié	0.004	Vérifié
SC7I4-SC7I3	0.3	0.03403	0.00333333	Vérifié	0.004	Vérifié
SC7I2-SC7I1	0.3	0.03704	0.00333333	Vérifié	0.004	Vérifié
SC7O-SC7N	0.3	0.04556	0.00333333	Vérifié	0.004	Vérifié
SC13-SC12K	0.3	0.17774	0.00333333	Vérifié	0.004	Vérifié
BR_Gherla-D19	0.315	0.00124	0.0031746	Non vérifié	0.00380952	Non vérifié
P9-P8	0.4	0.00132	0.0025	Non vérifié	0.003	Non vérifié
GRD10-GRD9	0.4	0.00166	0.0025	Non vérifié	0.003	Non vérifié
GRD9-GRD8	0.4	0.00316	0.0025	Vérifié	0.003	Vérifié
SC7K-SC7J1	0.4	0.00383	0.0025	Vérifié	0.003	Vérifié
SC7I-SC7J2	0.4	0.00471	0.0025	Vérifié	0.003	Vérifié
GRD8-GRD7	0.4	0.0055	0.0025	Vérifié	0.003	Vérifié
SC7H-SC7G	0.4	0.00691	0.0025	Vérifié	0.003	Vérifié
SC7J-SC7H	0.4	0.01163	0.0025	Vérifié	0.003	Vérifié
SC7I1-SC7I	0.4	0.01173	0.0025	Vérifié	0.003	Vérifié
SC7J2-SC7J	0.4	0.013	0.0025	Vérifié	0.003	Vérifié
SC12EE-SC12DD	0.4	0.01487	0.0025	Vérifié	0.003	Vérifié
SC12DD-SC12CC	0.4	0.02142	0.0025	Vérifié	0.003	Vérifié
SC12B-SC12A	0.4	0.02668	0.0025	Vérifié	0.003	Vérifié
SC7L-SC7K	0.4	0.03135	0.0025	Vérifié	0.003	Vérifié
SC15-SC14	0.4	0.03647	0.0025	Vérifié	0.003	Vérifié
GRD7-GRD6	0.4	0.03751	0.0025	Vérifié	0.003	Vérifié
SC16-SC15	0.4	0.04279	0.0025	Vérifié	0.003	Vérifié
SC12A-SC12	0.4	0.07402	0.0025	Vérifié	0.003	Vérifié
SC7J1-SC7J	0.4	0.25377	0.0025	Vérifié	0.003	Vérifié

P5-P4	0.5	0.00206	0.002	Vérifié	0.0024	Non vérifié
R15-R14	0.5	0.00258	0.002	Vérifié	0.0024	Vérifié
P6-P5	0.5	0.004	0.002	Vérifié	0.0024	Vérifié
SC7G-SC7F	0.5	0.00466	0.002	Vérifié	0.0024	Vérifié
P10-P9	0.5	0.00525	0.002	Vérifié	0.0024	Vérifié
SC12CC-SC12BB	0.5	0.00641	0.002	Vérifié	0.0024	Vérifié
GRD6-GRD5	0.5	0.00825	0.002	Vérifié	0.0024	Vérifié
RGR6	0.5	0.00998	0.002	Vérifié	0.0024	Vérifié
JR-R4	0.5	0.01071	0.002	Vérifié	0.0024	Vérifié
SC13-SC12EE	0.5	0.01466	0.002	Vérifié	0.0024	Vérifié
SC14-SC13	0.5	0.0223	0.002	Vérifié	0.0024	Vérifié
P3-P2	0.6	0.00111	0.00166667	Non vérifié	0.002	Non vérifié
CHS-GRD9	0.6	0.00189	0.00166667	Vérifié	0.002	Non vérifié
SC3A-SC3	0.6	0.00217	0.00166667	Vérifié	0.002	Vérifié
P4-P3	0.6	0.00444	0.00166667	Vérifié	0.002	Vérifié
GRC12-GRC11	0.6	0.00618	0.00166667	Vérifié	0.002	Vérifié
M7-M6	0.6	0.00942	0.00166667	Vérifié	0.002	Vérifié
RGR5	0.6	0.00997	0.00166667	Vérifié	0.002	Vérifié
P2-P1	0.6	0.01142	0.00166667	Vérifié	0.002	Vérifié
P1-G17	0.6	0.03807	0.00166667	Vérifié	0.002	Vérifié
DO_Thonier	0.6	0.0786	0.00166667	Vérifié	0.002	Vérifié
C1-D7	0.6	0.11748	0.00166667	Vérifié	0.002	Vérifié
A9-A8	0.7	-0.02122	0.00142857	Non vérifié	0.00171429	Non vérifié
A17-A16	0.7	0.00161	0.00142857	Vérifié	0.00171429	Non vérifié
A16-A15	0.7	0.00184	0.00142857	Vérifié	0.00171429	Vérifié
A15-A14	0.7	0.00196	0.00142857	Vérifié	0.00171429	Vérifié
A18-A17	0.7	0.00251	0.00142857	Vérifié	0.00171429	Vérifié
A7-A6	0.7	0.00281	0.00142857	Vérifié	0.00171429	Vérifié
A6-A5	0.7	0.00285	0.00142857	Vérifié	0.00171429	Vérifié
GRC11-GRC10	0.7	0.00293	0.00142857	Vérifié	0.00171429	Vérifié
SC7F-SC7E	0.7	0.00347	0.00142857	Vérifié	0.00171429	Vérifié
A13-A12	0.7	0.00348	0.00142857	Vérifié	0.00171429	Vérifié
A12-A11	0.7	0.00384	0.00142857	Vérifié	0.00171429	Vérifié
A14-A13	0.7	0.00392	0.00142857	Vérifié	0.00171429	Vérifié
SC7D-SC7C	0.7	0.00431	0.00142857	Vérifié	0.00171429	Vérifié
SC7E-SC7D	0.7	0.00461	0.00142857	Vérifié	0.00171429	Vérifié
A11-A9	0.7	0.00465	0.00142857	Vérifié	0.00171429	Vérifié
A5-A4	0.7	0.00471	0.00142857	Vérifié	0.00171429	Vérifié
A8-A7	0.7	0.00576	0.00142857	Vérifié	0.00171429	Vérifié
GRD3-GRD2	0.7	0.00592	0.00142857	Vérifié	0.00171429	Vérifié
GRC10-GRC9	0.7	0.00858	0.00142857	Vérifié	0.00171429	Vérifié
GRB9-GRB8	0.7	0.01583	0.00142857	Vérifié	0.00171429	Vérifié
A4-A3	0.7	0.01664	0.00142857	Vérifié	0.00171429	Vérifié
GRD2-GRD1	0.7	0.01709	0.00142857	Vérifié	0.00171429	Vérifié
GRB8-GRB7	0.7	0.01773	0.00142857	Vérifié	0.00171429	Vérifié

GRB7-GRB6	0.7	0.01813	0.00142857	Vérifié	0.00171429	Vérifié
R18-R16	0.7	0.0212	0.00142857	Vérifié	0.00171429	Vérifié
GRC8-GRC7	0.7	0.03094	0.00142857	Vérifié	0.00171429	Vérifié
GRC9-GRC8	0.7	0.03317	0.00142857	Vérifié	0.00171429	Vérifié
SC12-SC11	0.8	0.00524	0.00125	Vérifié	0.0015	Vérifié
D18-D17	0.8	0.01092	0.00125	Vérifié	0.0015	Vérifié
D17-D16	0.8	0.01235	0.00125	Vérifié	0.0015	Vérifié
GRC7-GRC6	0.8	0.01797	0.00125	Vérifié	0.0015	Vérifié
SC12AA-SC12	0.8	0.03804	0.00125	Vérifié	0.0015	Vérifié
SC12BB-SC12AA	0.8	0.12503	0.00125	Vérifié	0.0015	Vérifié
G19-G18	0.9	0.0034	0.00111111	Vérifié	0.0012	Vérifié
D19-D18	1	0.0019	0.001	Vérifié	0.0012	Vérifié
SC11-SC10	1	0.00326	0.001	Vérifié	0.0012	Vérifié
G22-G20	1	0.00501	0.001	Vérifié	0.0012	Vérifié
R17-DOT	1	0.03371	0.001	Vérifié	0.0012	Vérifié
G15-G16	1	0.10961	0.001	Vérifié	0.0012	Vérifié
D6-D5	1.4	0.00656	0.00071429	Vérifié	0.0012	Vérifié
D5-D4	1.4	0.00712	0.00071429	Vérifié	0.0012	Vérifié
D4-D3	1.4	0.00755	0.00071429	Vérifié	0.0012	Vérifié
D3-D2	1.4	0.00815	0.00071429	Vérifié	0.0012	Vérifié
A8-D2	1.4	0.24573	0.00071429	Vérifié	0.0012	Vérifié
GRA2-GRA1	1.5	0.00085	0.00066667	Vérifié	0.0012	Non vérifié
GRA3-GRA2	1.5	0.00668	0.00066667	Vérifié	0.0012	Vérifié
GRA5-GRA3	1.5	0.01139	0.00066667	Vérifié	0.0012	Vérifié
D2-D1	1.5	0.02682	0.00066667	Vérifié	0.0012	Vérifié
G5-G4	1.7	0.00036	0.00058824	Non vérifié	0.0012	Non vérifié
G4-G3	1.7	0.00204	0.00058824	Vérifié	0.0012	Vérifié
G6-G5	1.7	0.00607	0.00058824	Vérifié	0.0012	Vérifié
G7-G6	1.7	0.0077	0.00058824	Vérifié	0.0012	Vérifié
G8-G7	1.7	0.01765	0.00058824	Vérifié	0.0012	Vérifié
G1-R10	2.5	0.00157	0.0004	Vérifié	0.0012	Vérifié
R9-GR7	2.5	0.00166	0.0004	Vérifié	0.0012	Vérifié
R10-R9	2.5	0.00172	0.0004	Vérifié	0.0012	Vérifié
GR7-R7	2.5	0.00183	0.0004	Vérifié	0.0012	Vérifié
RIS1-R6	3	0.0001	0.00033333	Non vérifié	0.0012	Non vérifié
R4-R3	3	0.00057	0.00033333	Vérifié	0.0012	Non vérifié
R3-R2	3	0.00058	0.00033333	Vérifié	0.0012	Non vérifié
R2-R1	3	0.00064	0.00033333	Vérifié	0.0012	Non vérifié
R5-R4	3	0.00116	0.00033333	Vérifié	0.0012	Non vérifié
R7-RIS1	3	0.00221	0.00033333	Vérifié	0.0012	Vérifié
R6-R5	3	0.00247	0.00033333	Vérifié	0.0012	Vérifié
DO_STEU	3	0.00607	0.00033333	Vérifié	0.0012	Vérifié

• Vérification du critère sur la vitesse

Nom	Rugosité	Section	Geom1 (m)	Geom2 (m)	Pente (m/m)	S	P	Vps	Autocurage
RIS1-R6	0.02	Circulaire	3	0	0.0001	2.356194 49	9.424777 96	0.198425 13	Non Vérifié
GRA7-GRA6	0.02	Cadre	1.7	1.55	0.00025	2.635	6.5	0.433030 2	Non Vérifié
GR2-GR3	0.02	Cadre	1.7	1.4	0.00026	2.38	6.2	0.425840 4	Non Vérifié
G5-G4	0.017	Circulaire	1.7	0	0.00036	1.335176 88	5.340707 51	0.442923 78	Non Vérifié
R4-R3	0.02	Circulaire	3	0	0.00057	2.356194 49	9.424777 96	0.473733 51	Non Vérifié
R3-R2	0.02	Circulaire	3	0	0.00058	2.356194 49	9.424777 96	0.477871	Non Vérifié
R2-R1	0.02	Circulaire	3	0	0.00064	2.356194 49	9.424777 96	0.501980 29	Non Vérifié
GRA2-GRA1	0.017	Circulaire	1.5	0	0.00085	1.178097 25	4.712388 98	0.680592 59	Non Vérifié
R12-R11	0.02	Ovoïde	1.8	1.08	0.00093	1.526814 03	4.594857 55	0.731511 02	Non Vérifié
P3-P2	0.017	Circulaire	0.6	0	0.00111	0.471238 9	1.884955 59	0.777748 6	Non Vérifié
GRA25-GRA24	0.022	Cadre	1.4	2.1	0.00114	2.94	7	0.860721 41	Non Vérifié
R5-R4	0.02	Circulaire	3	0	0.00116	2.356194 49	9.424777 96	0.675811 65	Non Vérifié
R14-D1	0.017	Ovoïde	1.5	0.9	0.00123	1.060287 52	3.829047 96	0.876446 74	Non Vérifié
GRA9-GRA8	0.02	Cadre	1.7	1.55	0.00124	2.635	6.5	0.964404 04	Non Vérifié
GRA8-GRA7	0.02	Cadre	1.7	1.55	0.00127	2.635	6.5	0.976000 5	Non Vérifié
GR1-GR2	0.02	Cadre	1.7	1.4	0.00128	2.38	6.2	0.944855	Non Vérifié
P9-P8	0.017	Circulaire	0.4	0	0.00132	0.314159 27	1.256637 06	0.848134 47	Non Vérifié
R13-R12	0.02	Ovoïde	1.8	1.08	0.00132	1.526814 03	4.594857 55	0.871497 94	Non Vérifié
R11-G1	0.02	Ovoïde	1.8	1.08	0.00149	1.526814 03	4.594857 55	0.925918 01	Non Vérifié
G23-G22	0.017	Circulaire	1	0	0.0015	0.785398 16	3.141592 65	0.904114 39	Non Vérifié
G1-R10	0.02	Circulaire	2.5	0	0.00157	1.963495 41	7.853981 63	0.786224 37	Non Vérifié
A17-A16	0.017	Circulaire	0.7	0	0.00161	0.549778 71	2.199114 86	0.936678 8	Non Vérifié
GRD10-GRD9	0.014	Circulaire	0.4	0	0.00166	0.314159 27	1.256637 06	1.154922 07	Vérifié
R9-GR7	0.014	Circulaire	2.5	0	0.00166	1.963495 41	7.853981 63	1.154922 07	Vérifié
GRA28-GRA27	0.022	Cadre	1.3	2	0.0017	2.6	6.6	1.007135 85	Vérifié
SC9-SC8	0.025	Ovoïde	1.7	1	0.00171	1.335176 88	4.312719 63	0.756977 72	Non Vérifié

R10-R9	0.02	Circulai re	2.5	0	0.00172	1.963495 41	7.853981 63	0.822926 22	Non Vérifié
GRA14- GRA13	0.025	Cadre	1.7	1.55	0.00175	2.635	6.5	0.916552 17	Non Vérifié
SC12G- SC12F	0.02	Circulai re	0.3	0	0.00181	0.235619 45	0.942477 8	0.844181 76	Non Vérifié
GR7-R7	0.014	Circulai re	2.5	0	0.00183	1.963495 41	7.853981 63	1.212618 48	Vérifié
A16-A15	0.017	Circulai re	0.7	0	0.00184	0.549778 71	2.199114 86	1.001351 75	Vérifié
G16-L4	0.017	Cadre	1.7	0.8	0.00185	1.36	5	1.062142 73	Vérifié
SC5-SC3	0.02	Ovoïde	1.7	1	0.00186	1.335176 88	4.312719 63	0.986850 87	Non Vérifié
D1-R13	0.02	Ovoïde	1.7	1	0.00187	1.335176 88	4.312719 63	0.989500 14	Non Vérifié
D19-D18	0.014	Circulai re	1	0	0.0019	0.785398 16	3.141592 65	1.235592 99	Vérifié
A15-A14	0.017	Circulai re	0.7	0	0.00196	0.549778 71	2.199114 86	1.033488 83	Vérifié
G4-G3	0.017	Circulai re	1.7	0	0.00204	1.335176 88	5.340707 51	1.054369 5	Vérifié
GRD1- GRA24	0.013	Ovoïde	1.3	0.8	0.00205	0.816814 09	3.345589	1.360506 64	Vérifié
P5-P4	0.017	Circulai re	0.5	0	0.00206	0.392699 08	1.570796 33	1.059525 37	Vérifié
GR4-GR5	0.02	Cadre	1.7	1.4	0.00206	2.38	6.2	1.198653 87	Vérifié
R7-RIS1	0.02	Circulai re	3	0	0.00221	2.356194 49	9.424777 96	0.932809 18	Non Vérifié
SC3-SC2	0.017	Ovoïde	1.7	1	0.00226	1.335176 88	4.312719 63	1.279765 36	Vérifié
R6-R5	0.02	Circulai re	3	0	0.00247	2.356194 49	9.424777 96	0.986154 94	Non Vérifié
A18-A17	0.017	Circulai re	0.7	0	0.00251	0.549778 71	2.199114 86	1.169538 74	Vérifié
R15-R14	0.017	Circulai re	0.5	0	0.00258	0.392699 08	1.570796 33	1.185734 9	Vérifié
M5-M4	0.017	Ovoïde	1.3	0.8	0.0027	0.816814 09	3.345589	1.193988 24	Vérifié
GRA10- GRA9	0.02	Cadre	1.7	1.55	0.00275	2.635	6.5	1.436198 69	Vérifié
A7-A6	0.017	Circulai re	0.7	0	0.00281	0.549778 71	2.199114 86	1.237459 26	Vérifié
A6-A5	0.017	Circulai re	0.7	0	0.00285	0.549778 71	2.199114 86	1.246235 68	Vérifié
C1	0.01	Circulai re	0.7	0	0.00286	0.549778 71	2.199114 86	2.122314 24	Vérifié
GRC11- GRC10	0.02	Circulai re	0.7	0	0.00293	0.549778 71	2.199114 86	1.074064 81	Vérifié
SC10-SC9	0.02	Ovoïde	1.7	1	0.00304	1.335176 88	4.312719 63	1.261629 54	Vérifié
G17-G15	0.017	Circulai re	1.8	0	0.00305	1.413716 69	5.654866 78	1.289221 89	Vérifié
GRD9-GRD8	0.014	Circulai re	0.4	0	0.00316	0.314159 27	1.256637 06	1.593463 71	Vérifié

SC11-SC10	0.02	Circulai re	1	0	0.00326	0.785398 16	3.141592 65	1.132936 26	Vérifié
SC2-GRA1	0.017	Ovoïde	1.7	1	0.00329	1.335176 88	4.312719 63	1.544095 22	Vérifié
M3-M2	0.017	Ovoïde	1.3	0.8	0.00331	0.816814 09	3.345589	1.322002 16	Vérifié
G2-G1	0.02	Circulai re	1.7	0	0.00332	1.335176 88	5.340707 51	1.143314 52	Vérifié
G19-G18	0.017	Circulai re	0.9	0	0.0034	0.706858 35	2.827433 39	1.361185 17	Vérifié
GRA15- GRA14	0.02	Cadre	1.4	2	0.00341	2.8	6.8	1.616019 53	Vérifié
SC10B- SC10A	0.02	Ovoïde	1.25	0.8	0.00345	0.785398 16	3.259041 01	1.137311 92	Vérifié
SC7F-SC7E	0.02	Circulai re	0.6	0	0.00347	0.471238 9	1.884955 59	1.168857 09	Vérifié
GRC1-GRA29	0.022	Cadre	1.3	2	0.00347	2.6	6.6	1.438892 44	Vérifié
A13-A12	0.017	Circulai re	0.7	0	0.00348	0.549778 71	2.199114 86	1.377106 01	Vérifié
G24-G23	0.017	Ovoïde	1	0.6	0.00381	0.471238 9	2.552698 64	1.177175 7	Vérifié
SC7K-SC7J1	0.02	Circulai re	0.4	0	0.00383	0.314159 27	1.256637 06	1.227993 49	Vérifié
A12-A11	0.017	Circulai re	0.7	0	0.00384	0.549778 71	2.199114 86	1.446583 02	Vérifié
A14-A13	0.017	Circulai re	0.7	0	0.00392	0.549778 71	2.199114 86	1.461573 92	Vérifié
GR5-GR6	0.02	Cadre	1.7	1.4	0.00398	2.38	6.2	1.666102 51	Vérifié
P6-P5	0.017	Circulai re	0.5	0	0.004	0.392699 08	1.570796 33	1.476412 61	Vérifié
GRA29- GRA28	0.014	Cadre	1.3	2	0.004	2.6	6.6	2.427662 08	Vérifié
L3-L2	0.017	Cadre	1.7	0.9	0.00421	1.53	5.2	1.688434 37	Vérifié
GR3-GR4	0.02	Cadre	1.7	1.4	0.00423	2.38	6.2	1.717632 96	Vérifié
SC7D-SC7C	0.02	Circulai re	0.7	0	0.00431	0.549778 71	2.199114 86	1.302672 7	Vérifié
G11-G10	0.019	Ovoïde	1.3	0.8	0.00442	0.816814 09	3.345589	1.366861 85	Vérifié
SC7A-SC7	0.02	Ovoïde	1.25	0.8	0.00443	0.785398 16	3.259041 01	1.288759 57	Vérifié
P4-P3	0.017	Circulai re	0.6	0	0.00444	0.471238 9	1.884955 59	1.555497 21	Vérifié
G14-G13	0.014	Ovoïde	1.25	0.8	0.00451	0.785398 16	3.259041 01	1.857634 52	Vérifié
GRA22- GRA21	0.02	Cadre	1.4	2.3	0.00456	3.22	7.4	1.938809 74	Vérifié
SC7E-SC7D	0.02	Circulai re	0.7	0	0.00461	0.549778 71	2.199114 86	1.347246 73	Vérifié
A11-A9	0.017	Circulai re	0.7	0	0.00465	0.549778 71	2.199114 86	1.591857 65	Vérifié
SC7G-SC7F	0.02	Circulai re	0.5	0	0.00466	0.392699 08	1.570796 33	1.354533 14	Vérifié



SC7I-SC7J2	0.02	Circulai re	0.5	0	0.00471	0.392699 08	1.570796 33	1.361780 56	Vérifié
A5-A4	0.017	Circulai re	0.7	0	0.00471	0.549778 71	2.199114 86	1.602094 78	Vérifié
M4-M3	0.017	Ovoïde	1.3	0.8	0.00471	0.816814 09	3.345589	1.576988 84	Vérifié
D14-D13	0.019	Cadre	1.3	0.7	0.0048	0.91	4	1.358901 42	Vérifié
GRA6-GRA5	0.022	Ovoïde	1.7	1	0.00489	1.335176 88	4.312719 63	1.454644 27	Vérifié
G22-G20	0.017	Circulai re	1	0	0.00501	0.785398 16	3.141592 65	1.652329 34	Vérifié
A3-A2	0.017	Ovoïde	1.7	1	0.00521	1.335176 88	4.312719 63	1.943099 28	Vérifié
GRA12- GRA11	0.02	Cadre	1.7	1.55	0.00521	2.635	6.5	1.976819 61	Vérifié
SC12-SC11	0.014	Circulai re	0.8	0	0.00524	0.628318 53	2.513274 12	2.051938 22	Vérifié
P10-P9	0.017	Circulai re	0.5	0	0.00525	0.392699 08	1.570796 33	1.691443 14	Vérifié
M2-M1	0.017	Ovoïde	1.3	0.8	0.00546	0.816814 09	3.345589	1.697909 31	Vérifié
D7-D6	0.014	Circulai re	1.4	0	0.00549	1.099557 43	4.398229 72	2.100316 81	Vérifié
GRD8-GRD7	0.014	Circulai re	0.4	0	0.0055	0.314159 27	1.256637 06	2.102228 8	Vérifié
G3-G2	0.02	Circulai re	1.7	0	0.00563	1.335176 88	5.340707 51	1.488849 76	Vérifié
L1-A3	0.017	Cadre	1.7	0.9	0.00571	1.53	5.2	1.966351 67	Vérifié
A8-A7	0.017	Circulai re	0.7	0	0.00576	0.549778 71	2.199114 86	1.771695 14	Vérifié
GRA18- GRA17	0.02	Cadre	1.4	2	0.00584	2.8	6.8	2.114831 84	Vérifié
A2-A1	0.02	Ovoïde	1.7	1	0.00588	1.335176 88	4.312719 63	1.754622 6	Vérifié
GRD3-GRD2	0.013	Circulai re	0.7	0	0.00592	0.549778 71	2.199114 86	2.348789 91	Vérifié
GRD4-GRD3	0.014	Ovoïde	1.3	0.8	0.00592	0.816814 09	3.345589	2.146841 13	Vérifié
GRC3-GRC2	0.022	Ovoïde	1.3	0.8	0.00599	0.816814 09	3.345589	1.374224 92	Vérifié
G21-G19	0.017	Ovoïde	1	0.6	0.00601	0.471238 9	2.552698 64	1.478481 99	Vérifié
G6-G5	0.017	Circulai re	1.7	0	0.00607	1.335176 88	5.340707 51	1.818746 19	Vérifié
DO_STEU	0.01	Circulai re	3	0	0.00607	2.356194 49	9.424777 96	3.091868 52	Vérifié
L4-L3	0.017	Cadre	1.7	0.8	0.00607	1.36	5	1.923939 27	Vérifié
GRC4-GRC3	0.02	Ovoïde	1.3	0.8	0.00609	0.816814 09	3.345589	1.524213 27	Vérifié
GRC12- GRC11	0.02	Circulai re	0.6	0	0.00618	0.471238 9	1.884955 59	1.559879 01	Vérifié
SC12CC- SC12BB	0.02	Circulai re	0.6	0	0.00641	0.471238 9	1.884955 59	1.588640 72	Vérifié

D6-D5	0.014	Circulai re	1.4	0	0.00656	1.099557 43	4.398229 72	2.295887 25	Vérifié
M1-D6	0.017	Ovoïde	1.3	0.8	0.00665	0.816814 09	3.345589	1.873824 83	Vérifié
GRA3-GRA2	0.017	Circulai re	1.5	0	0.00668	1.178097 25	4.712388 98	1.907945 58	Vérifié
SC7C-SC7B	0.02	Ovoïde	1.25	0.8	0.0069	0.785398 16	3.259041 01	1.608401 94	Vérifié
SC7H-SC7G	0.02	Circulai re	0.4	0	0.00691	0.314159 27	1.256637 06	1.649436 88	Vérifié
D5-D4	0.014	Circulai re	1.4	0	0.00712	1.099557 43	4.398229 72	2.391875 85	Vérifié
GRA24- GRA23	0.022	Cadre	1.25	2.25	0.00743	2.8125	7	2.133379 19	Vérifié
P8-G17	0.017	Ovoïde	1	0.6	0.00748	0.471238 9	2.552698 64	1.649413 71	Vérifié
G9-G8	0.017	Ovoïde	1.5	0.9	0.00753	1.060287 52	3.829047 96	2.168555 11	Vérifié
D4-D3	0.014	Circulai re	1.4	0	0.00755	1.099557 43	4.398229 72	2.463043 67	Vérifié
GRA13- GRA12	0.02	Cadre	1.7	1.55	0.00759	2.635	6.5	2.385992 46	Vérifié
SC12D- SC12C	0.02	Circulai re	0.3	0	0.00768	0.235619 45	0.942477 8	1.738910 73	Vérifié
G7-G6	0.017	Circulai re	1.7	0	0.0077	1.335176 88	5.340707 51	2.048439 37	Vérifié
SC12C- SC12B	0.02	Circulai re	0.3	0	0.00786	0.235619 45	0.942477 8	1.759170 57	Vérifié
D3-D2	0.014	Circulai re	1.4	0	0.00815	1.099557 43	4.398229 72	2.559042 16	Vérifié
GRD6-GRD5	0.014	Circulai re	0.5	0	0.00825	0.392699 08	1.570796 33	2.574693 94	Vérifié
GRA23- GRA22	0.022	Cadre	1.4	2.3	0.00833	3.22	7.4	2.382223 96	Vérifié
GRC10-GRC9	0.02	Circulai re	0.7	0	0.00858	0.549778 71	2.199114 86	1.837978 05	Vérifié
GRA4-GRA1	0.017	Cadre	1.7	1.4	0.00861	2.38	6.2	2.882987 99	Vérifié
G18-G17	0.017	Circulai re	1	0	0.00863	0.785398 16	3.141592 65	2.168618 45	Vérifié
SC10A-SC10	0.02	Ovoïde	1.25	0.8	0.00879	0.785398 16	3.259041 01	1.815367 18	Vérifié
GRA16- GRA15	0.02	Cadre	1.4	2	0.00884	2.8	6.8	2.601929 65	Vérifié
M7-M6	0.01	Circulai re	0.6	0	0.00942	0.471238 9	1.884955 59	3.851697 08	Vérifié
G12-G11	0.02	Ovoïde	1.3	0.8	0.00987	0.816814 09	3.345589	1.940419 67	Vérifié
amont-SC16	0.017	Circulai re	0.4	0	0.01006	0.314159 27	1.256637 06	2.341406 08	Vérifié
SC7B-SC7A	0.02	Ovoïde	1.3	0.8	0.01032	0.816814 09	3.345589	1.984161 15	Vérifié
JR-R4	0.017	Circulai re	0.5	0	0.01071	0.392699 08	1.570796 33	2.415864 02	Vérifié
GRB4-GRB3	0.018	Ovoïde	1	0.6	0.01088	0.471238 9	2.552698 64	1.878752 91	Vérifié

D18-D17	0.014	Circulai re	0.8	0	0.01092	0.628318 53	2.513274 12	2.962169 84	Vérifié
GRA27- GRA25	0.022	Cadre	1.2	2	0.01132	2.4	6.4	2.514903 8	Vérifié
GRA5-GRA3	0.017	Circulai re	1.5	0	0.01139	1.178097 25	4.712388 98	2.491377 93	Vérifié
P2-P1	0.017	Circulai re	0.6	0	0.01142	0.471238 9	1.884955 59	2.494656 78	Vérifié
SC12K-SC12J	0.02	Circulai re	0.3	0	0.01144	0.235619 45	0.942477 8	2.122314 24	Vérifié
SC12J-SC12I	0.02	Circulai re	0.3	0	0.01144	0.235619 45	0.942477 8	2.122314 24	Vérifié
SC7J-SC7H	0.02	Circulai re	0.4	0	0.01163	0.314159 27	1.256637 06	2.139865 78	Vérifié
SC7I1-SC7I	0.02	Circulai re	0.4	0	0.01173	0.314159 27	1.256637 06	2.149045 86	Vérifié
SC12H- SC12G	0.02	Circulai re	0.3	0	0.01222	0.235619 45	0.942477 8	2.193472 93	Vérifié
M6-M5	0.02	Ovoïde	1	0.6	0.01233	0.471238 9	2.552698 64	1.800028 02	Vérifié
D17-D16	0.014	Circulai re	0.8	0	0.01235	0.628318 53	2.513274 12	3.150156 39	Vérifié
GRA21- GRA20	0.02	Cadre	1.2	2.3	0.0125	2.76	7	3.005838 93	Vérifié
D9-D8	0.019	Cadre	1.3	0.7	0.0125	0.91	4	2.192917 73	Vérifié
GRA17- GRA16	0.02	Cadre	1.4	2	0.01267	2.8	6.8	3.114997 66	Vérifié
G20-G18	0.017	Ovoïde	1	0.6	0.01292	0.471238 9	2.552698 64	2.167754 31	Vérifié
SC7J2-SC7J	0.02	Circulai re	0.4	0	0.013	0.314159 27	1.256637 06	2.262394 59	Vérifié
SC12I-SC12H	0.02	Circulai re	0.3	0	0.01317	0.235619 45	0.942477 8	2.277139 12	Vérifié
GRB2-GRB1	0.018	Ovoïde	1	0.6	0.01331	0.471238 9	2.552698 64	2.077993 79	Vérifié
GRA14-GR1	0.017	Cadre	1.7	1.4	0.01331	2.38	6.2	3.584514 03	Vérifié
GRA11- GRA10	0.02	Cadre	1.7	1.55	0.01333	2.635	6.5	3.162010 11	Vérifié
GRB1-GRA30	0.022	Ovoïde	1.3	0.8	0.01355	0.816814 09	3.345589	2.066874 25	Vérifié
D10-D9	0.019	Cadre	1.3	0.7	0.01384	0.91	4	2.307466 36	Vérifié
G13-G12	0.014	Ovoïde	1.25	0.8	0.01439	0.785398 16	3.259041 01	3.318198 78	Vérifié
SC13-SC12EE	0.02	Circulai re	0.5	0	0.01466	0.392699 08	1.570796 33	2.402501 47	Vérifié
SC12EE- SC12DD	0.02	Circulai re	0.5	0	0.01487	0.392699 08	1.570796 33	2.419647 83	Vérifié
GRB3-GRB2	0.018	Ovoïde	1	0.6	0.01513	0.471238 9	2.552698 64	2.215514 94	Vérifié
SC7M-SC7L	0.02	Circulai re	0.3	0	0.0152	0.235619 45	0.942477 8	2.446349 32	Vérifié
GRC5-GRC4	0.02	Ovoïde	1	0.6	0.01542	0.471238 9	2.552698 64	2.012982 11	Vérifié

GRB9-GRB8	0.015	Circulai re	0.6	0	0.01583	0.471238 9	1.884955 59	3.328709 31	Vérifié
C3-C2	0.014	Circulai re	0.6	0	0.01593	0.471238 9	1.884955 59	3.577721 45	Vérifié
GRA30-GRC1	0.022	Ovoïde	1.3	0.8	0.01613	0.816814 09	3.345589	2.255078 12	Vérifié
GRC6-GRC5	0.02	Ovoïde	1	0.6	0.01617	0.471238 9	2.552698 64	2.061354 75	Vérifié
SC12F-SC12E	0.02	Circulai re	0.3	0	0.01639	0.235619 45	0.942477 8	2.540306 7	Vérifié
A4-A3	0.017	Circulai re	0.7	0	0.01664	0.549778 71	2.199114 86	3.011302 69	Vérifié
GR6-GR7	0.02	Cadre	1.7	1.4	0.01701	2.38	6.2	3.444390 16	Vérifié
GRD2-GRD1	0.013	Circulai re	0.8	0	0.01709	0.628318 53	2.513274 12	3.990748 43	Vérifié
G8-G7	0.017	Circulai re	1.7	0	0.01765	1.335176 88	5.340707 51	3.101345 18	Vérifié
D16-D15	0.019	Cadre	1.3	0.7	0.01767	0.91	4	2.607267 6	Vérifié
GRB8-GRB7	0.015	Circulai re	0.6	0	0.01773	0.471238 9	1.884955 59	3.522814 55	Vérifié
GRC7-GRC6	0.022	Circulai re	0.7	0	0.01797	0.549778 71	2.199114 86	2.418121 01	Vérifié
SC70-SC7I4	0.02	Circulai re	0.3	0	0.018	0.235619 45	0.942477 8	2.662152 49	Vérifié
GRB7-GRB6	0.015	Circulai re	0.6	0	0.01813	0.471238 9	1.884955 59	3.562331 37	Vérifié
GRB5-GRB4	0.018	Ovoïde	1	0.6	0.0184	0.471238 9	2.552698 64	2.443228 75	Vérifié
D11-D10	0.019	Cadre	1.3	0.7	0.01864	0.91	4	2.677874 92	Vérifié
SC8-SC7	0.025	Ovoïde	1.7	1	0.0203	1.335176 88	4.312719 63	2.608152 98	Vérifié
SC12E- SC12D	0.02	Circulai re	0.3	0	0.02125	0.235619 45	0.942477 8	2.892518 49	Vérifié
SC12DD- SC12CC	0.02	Circulai re	0.5	0	0.02142	0.392699 08	1.570796 33	2.904065 52	Vérifié
GRA1-RIS1	0.017	Cadre	1.7	1.1	0.02162	1.87	5.6	4.163078 91	Vérifié
GRA20- GRA19	0.02	Cadre	1.8	2.1	0.02167	3.78	7.8	4.541133 38	Vérifié
D15-D14	0.019	Cadre	1.3	0.7	0.02185	0.91	4	2.899299 32	Vérifié
SC14-SC13	0.02	Circulai re	0.5	0	0.0223	0.392699 08	1.570796 33	2.963119 1	Vérifié
C2-C1	0.014	Circulai re	0.6	0	0.02352	0.471238 9	1.884955 59	4.347276 82	Vérifié
GRB6-GRB5	0.018	Ovoïde	1	0.6	0.02361	0.471238 9	2.552698 64	2.767599 3	Vérifié
D12-D11	0.019	Cadre	1.3	0.7	0.02575	0.91	4	3.147429 06	Vérifié
SC7-SC5	0.02	Ovoïde	1.7	1	0.02604	1.335176 88	4.312719 63	3.692457 84	Vérifié
SC7I3-SC7I2	0.02	Circulai re	0.3	0	0.02647	0.235619 45	0.942477 8	3.228298 23	Vérifié

SC12B-SC12A	0.02	Circulaire	0.4	0	0.02668	0.31415927	1.25663706	3.24107879	Vérifié
D2-D1	0.014	Circulaire	1.5	0	0.02682	1.17809725	4.71238898	4.64224464	Vérifié
SC7N-SC7M	0.02	Circulaire	0.4	0	0.0274	0.31415927	1.25663706	3.28452036	Vérifié
Grillet-GRC1	0.014	Cadre	1.15	2.1	0.02861	2.415	6.5	6.24405537	Vérifié
GRC8-GRC7	0.02	Circulaire	0.7	0	0.03094	0.54977871	2.19911486	3.49025238	Vérifié
SC7L-SC7K	0.02	Circulaire	0.4	0	0.03135	0.31415927	1.25663706	3.51330173	Vérifié
GRC9-GRC8	0.02	Circulaire	0.7	0	0.03317	0.54977871	2.19911486	3.61384409	Vérifié
R17-DOT	0.01	Circulaire	1	0	0.03371	0.78539816	3.14159265	7.28628323	Vérifié
SC7I4-SC7I3	0.02	Circulaire	0.3	0	0.03403	0.23561945	0.9424778	3.66039245	Vérifié
A1-G3	0.02	Ovoïde	1.7	1	0.03592	1.33517688	4.31271963	4.33673834	Vérifié
G10-G9	0.017	Ovoïde	1.5	0.9	0.03607	1.06028752	3.82904796	4.74620012	Vérifié
SC15-SC14	0.02	Circulaire	0.4	0	0.03647	0.31415927	1.25663706	3.78934859	Vérifié
SC7I2-SC7I1	0.02	Circulaire	0.3	0	0.03704	0.23561945	0.9424778	3.81884618	Vérifié
GRD7-GRD6	0.014	Circulaire	0.4	0	0.03751	0.31415927	1.25663706	5.48999778	Vérifié
SC12AA-SC12	0.02	Circulaire	0.8	0	0.03804	0.62831853	2.51327412	3.87005316	Vérifié
P1-G17	0.017	Circulaire	0.6	0	0.03807	0.4712389	1.88495559	4.55479872	Vérifié
L2-L1	0.017	Cadre	1.7	0.9	0.03967	1.53	5.2	5.1829168	Vérifié
D13-D12	0.019	Cadre	1.3	0.7	0.04066	0.91	4	3.95504128	Vérifié
SC16-SC15	0.02	Circulaire	0.4	0	0.04279	0.31415927	1.25663706	4.10457145	Vérifié
SC7O-SC7N	0.02	Circulaire	0.3	0	0.04556	0.23561945	0.9424778	4.23534248	Vérifié
GRA19-GRA18	0.02	Cadre	1.4	2	0.05443	2.8	6.8	6.45637257	Vérifié
R18-R16	0.017	Circulaire	0.7	0	0.06359	0.54977871	2.19911486	5.88670352	Vérifié
SC12A-SC12	0.02	Circulaire	0.4	0	0.07402	0.31415927	1.25663706	5.39847652	Vérifié
DO_Thonier	0.01	Circulaire	0.6	0	0.07818	0.4712389	1.88495559	11.0962059	Vérifié
GRD5-GRD4	0.017	Ovoïde	1.3	0.8	0.08086	0.81681409	3.345589	6.53408885	Vérifié
DO_A.Meille	0.014	Cadre	1.3	1.4	0.08104	1.82	5.4	9.84781994	Vérifié
G15-G16	0.017	Circulaire	1	0	0.10961	0.78539816	3.14159265	7.72863576	Vérifié
GRC2-GRC1	0.02	Ovoïde	1.3	0.8	0.11401	0.81681409	3.345589	6.59490533	Vérifié

C1-D7	0.019	Cadre	1.3	0.7	0.11748	0.91	4	6.722786 23	Vérifié
D8-D7	0.014	Cadre	1.3	0.7	0.12238	0.91	4	9.312110 54	Vérifié
GR58-GRA18	0.02	Ovoïde	1	0.6	0.12443	0.471238 9	2.552698 64	5.718212 34	Vérifié
SC12BB- SC12AA	0.02	Circulai re	0.8	0	0.12503	0.628318 53	2.513274 12	7.016229 6	Vérifié
A8-D2	0.017	Circulai re	1.4	0	0.12604	1.099557 43	4.398229 72	8.287660 43	Vérifié
SC13-SC12K	0.02	Circulai re	0.3	0	0.17774	0.235619 45	0.942477 8	8.365449 17	Vérifié
SC7J1-SC7J	0.02	Circulai re	0.4	0	0.25377	0.314159 27	1.256637 06	9.995782 94	Vérifié

## ANNEXE 3 : TRI DES CONSOMMATIONS D'EAU POTABLE

- Nombre de jours d'activité

<b>Etablissements</b>	<b>Hypothèses</b>	<b>Nombre de jours</b>
<b>Camping</b>	4 mois	122
<b>Ecole</b>	365 - (WE+ vacances scolaires)	195
<b>Foyer</b>	365 jours	365
<b>Hôpital</b>	365 jours	365
<b>Hôtel</b>	365 jours - 5 semaines de fermeture	330
<b>Restaurant</b>	365 jours - 5 semaines de fermeture	330
<b>Société/ Direction</b>	365 jours - (WE+ jours fériés +congés imposés)	253

- Répartition de la charge polluante journalière d'origine non domestique à traiter par la station d'épuration des Isles selon la commune

Communes	Etablissements	Conso non domestique (m <sup>3</sup> /an)	Conso journalière (m <sup>3</sup> /j d'activité)	Rejet EU théorique (m <sup>3</sup> /j d'activité)
<b>Moulins</b>	Camping	1566	12.8	11.6
	Direction	54056	213.7	192.3
	Ecole	31140	159.7	143.7
	Foyer	13968	38.3	34.4
	Hôpital	54663	149.8	134.8
	Hôtel	7412	22.5	20.2
	Restaurant	7964	24.1	21.7
	Société	141522	559.4	503.4
			<b>TOTAL</b>	<b>1062.2</b>
<b>Yzeure</b>	Direction	21582	85.3	76.8
	Ecole	1998	10.2	9.2
	Foyer	2192	6.0	5.4
	Hôpital	279	0.8	0.7
	Hôtel	31	0.1	0.1
	Restaurant	2594	7.9	7.1
	Société	74307	293.7	264.3
			<b>TOTAL</b>	<b>363.6</b>
<b>Avermes</b>	Direction	2201	8.7	7.8
	Foyer	414	1.1	1.0
	Hôtel	545	1.7	1.5
	Restaurant	263	0.8	0.7
	Société	22636	89.5	80.5
			<b>TOTAL</b>	<b>91.6</b>
<b>Toulon-sur-Allier</b>	Société	525	2.1	1.9
			<b>TOTAL</b>	<b>1.9</b>



- Tri des adresses de consommateurs pour le calcul de l'EH et des volumes théoriques d'EUST pour chaque bassin de collecte

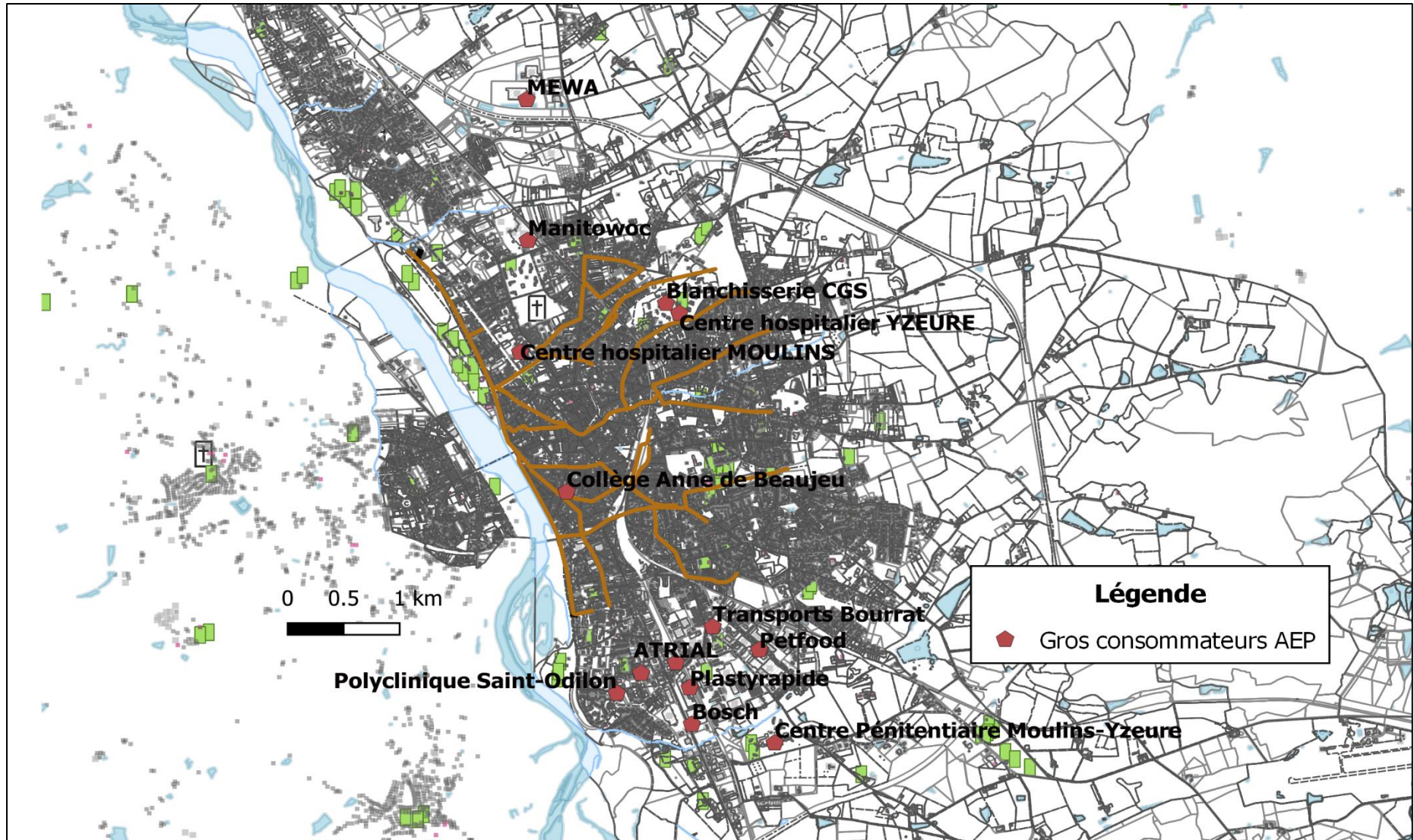
Méthodologie : les données fournies par Moulins Communauté sont des fichiers EXCEL regroupant les facturations d'eau potable sur les 4 communes concernées par le secteur d'étude. Ces rôles de l'eau contiennent plusieurs éléments nécessaires pour l'estimation de l'EH et les volumes journaliers sanitaires à traiter à savoir : les adresses des abonnés domestiques et industrielles, leur consommation annuelle.

Dans un premier temps il faut préparer un fichier commun pour toutes les communes, contenant les adresses des abonnés (adresse + commune +code postal) pour ensuite les localiser sur QGIS (les bassins de collecte sont tracés préalablement). L'outil de géocodage permet de trouver les X et Y des abonnés selon leur adresses et avec l'option « groupe stats », on obtient les abonnés existants sur chaque bassin de collecte.

Le tri des consommations se fait pour l'année 2018 en distinguant les consommations domestiques de celles industrielles.

- Résultats des calculs avec cumul pour tous les bassins de collecte

Bassin de collecte		Nb abonnés dom par bassin	Conso dom par bassin (m <sup>3</sup> /an)	EH DOM d'ap conso	EH DOM théorique avec ratio hab/ab	EH DOM retenu	EU strict DOM théorique (m <sup>3</sup> /j)	Conso NON DOM avec cumul (m <sup>3</sup> /an)	EH non dom théorique	EU strict théorique non dom (m <sup>3</sup> /j)	Conso totale (m <sup>3</sup> /an)	EH total	EU strict total théorique par PDM (m <sup>3</sup> /j)
P7	Ris amont	481	176313	4104	1784	4104	435	49750	1997	300	226063	6101	734
P6	Danube	3026	274546	7104	8931	8931	677	84466	2428	364	359012	11359	1041
P5b	Orvilliers	831	97514	2364	2758	2758	240	28519	838	126	126033	3596	366
P5a	Ledru-Rollin	288	29484	686	1052	1052	73	12976	361	54	42460	1413	127
P4	Grillet	2452	259542	6511	7339	7339	640	75254	2628	394	334796	9967	1034
P3	SC	1018	140605	3326	3373	3326	347	74809	2063	309	215414	5388	656
P2	Ris aval	6051	757429	18435	20225	22545	1868	250758	7613	1142	1008187	30158	3692
STEP		11079	1315389	31882	34505	36778	3243	444359	13436	2015	1759748	<b>50214</b>	<b>5259</b>



Localisation des gros consommateurs sur le secteur d'étude

## ANNEXE 4 : CONTEXTE REGLEMENTAIRE EN FRANCE

- **Directive cadre eau du 23 octobre 2000**

La DCE fixe des objectifs pour la préservation et la restauration de l'état des eaux superficielles (eaux douces et eaux côtières) et pour les eaux souterraines. L'objectif général est d'atteindre le bon état des différents milieux sur tout le territoire européen.

Les grands principes de la DCE sont :

- Une gestion par bassin versant,
- La fixation d'objectifs par « masse d'eau »,
- Une planification et une programmation avec une méthode de travail spécifique et des échéances,
- Une analyse économique des modalités de tarification de l'eau et une intégration des coûts environnementaux,
- Une consultation du public dans le but de renforcer la transparence de la politique de l'eau.

Localement, la DCE est mise en œuvre à travers les SDAGE.

- **Guide de définition ERU de juillet 2013**

Il s'agit d'un guide pratique et méthodologique qui indique :

- Les principales définitions relatives à la Directive ERU : agglomération d'assainissement, station de traitement des eaux usées (STEU), système de collecte,
- Les principaux objectifs de la Directive ERU,
- L'organisation et la validation annuelle des données relatives à l'assainissement : quelles interventions ? par qui ? sous quel délai ?
- Les données descriptives et de suivi de la STEU : débit de référence au-delà duquel les garanties de traitement ne sont plus assurées, niveau de traitement, autosurveillance...,
- Les données descriptives et de suivi du réseau de collecte : DO et charges théoriques collectées, autosurveillance...,
- Les données descriptives et de suivi se rapportant à l'agglomération d'assainissement : taille, rejets directs, rejets temps de pluie, conformité selon la taille...

Ce guide explique les différents éléments qui permettent de juger de la conformité du système d'assainissement dans sa globalité et les méthodes d'évaluation de cette conformité.

- **Arrêté du 21 juillet 2015 et sa note technique du 7 septembre 2015**

L'arrêté du 21 juillet 2015 relatif aux systèmes d'assainissement collectif et aux installations d'assainissement non collectif, à l'exception des installations d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 1,2 kg/j de DBO5 remplace celui du 22 juin 2007.

- **Cet arrêté définit des règles de conception.**

Concernant le système de collecte :

Il doit être conçu afin de pouvoir acheminer, hors situations inhabituelles notamment de fortes pluies, l'ensemble des eaux usées collectées pour traitement avant rejet (article 5).

Pour les systèmes de collecte unitaires ou mixtes, la gestion des eaux pluviales à la source doit être privilégiée (article 5).

Concernant la station de traitement :

Elles doivent être implantées à plus de 100 m des habitations, en zone non inondable.

La STEP doit être hors d'eau pour une crue de retour 5 ans et les installations électriques doivent être hors d'eau pour une crue de retour 100 ans.

Le rejet se fait en milieu superficiel. L'infiltration est une filière dérogatoire sous avis d'un hydrogéologue agréé.

Une analyse du risque de défaillance est une obligation pour les STEU en service supérieure à 2 000 EH et pour les nouvelles STEU supérieures à 200 EH.

- **Cet arrêté définit les règles d'auto surveillance des systèmes de collecte.**

Sont soumis à autosurveillance, tous les ouvrages situés à l'aval d'un tronçon destiné à collecter une pollution journalière supérieure ou égale à 2 000 EH, c'est-à-dire les déversoirs d'orage y compris les trop-pleins des postes de pompe. Ces surverses doivent faire l'objet d'une mesure de temps de déversement et d'une estimation de débit.

Les ouvrages de taille supérieure à 10 000 EH et déversant plus de 10 jours par an en moyenne sur 5 ans sont soumis à une mesure de débit et une estimation des flux de pollution déversés.

- **Cet arrêté définit les règles d'autosurveillance des stations de traitement.**

Les principes généraux sont le suivi météorologique des effluents en entrée de STEP, des effluents rejetés au milieu réception avant tout traitement, les effluents rejetés au milieu récepteur après traitement partiel et les eaux usées traitées. La nature des informations et leur fréquence de recueil augmentent avec la taille des agglomérations. La surveillance peut être renforcée par arrêté préfectoral.

Des agglomérations peuvent être concernées par un suivi du milieu récepteur et par la recherche de micropolluant dans les rejets de la STEP.

- **Cet arrêté définit les règles de diagnostic du système d'assainissement.**

Les agglomérations supérieures à 10 000 EH doivent mettre en place un diagnostic permanent du système d'assainissement.

Les agglomérations inférieures à 10 000 EH sont soumises à un diagnostic périodique du système d'assainissement tous les 10 ans au minimum.

- **Cet arrêté définit les documents à produire pour les suivis des systèmes :**

Cahier de vie et bilans de fonctionnement pour les agglomérations d'assainissement inférieures à 2 000 EH et manuel d'autosurveillance et bilan de fonctionnement annuel du système pour les agglomérations supérieures à 2 000 EH.

- **Evaluation de la conformité**

Une STEU conforme doit également être capable de traiter le débit de référence associé au système d'assainissement. Il est égal au percentile 95 des débits journaliers arrivant à la STEU (en amont du DO de tête). Pour un réseau de collecte qui contient des antennes unitaires, le débit de référence correspond à la somme des effluents usés et des effluents pluviaux dans la limite des pluies qualifiées de fréquentes, le percentile 95 revenant à exclure 18 événements par an. Une période de mesures minimale de 5 ans (si possible) est préconisée pour le calcul du débit de référence afin d'atténuer les variations saisonnières.

Pour évaluer la conformité du système de collecte, le Maître d'Ouvrage choisit parmi les trois options suivantes :

- Les rejets par temps de pluie représentent moins de 5% des volumes d'eaux usées produits par l'agglomération d'assainissement durant l'année ;
- Les rejets par temps de pluie représentent moins de 5% du flux de pollution produits par l'agglomération d'assainissement durant l'année ;
  - Formule de calcul des 2 premières propositions :
  - $$\frac{\sum \text{volumes ou flux de pollution au niveau des A1}}{\sum \text{volumes ou flux de pollution au niveau des A1 et A2 et A3}} \times 100 \leq 5$$
    - Ou A1 sont les déversoirs d'orage soumis à autosurveillance réglementaire,
    - A2 est le déversoir d'orage en tête de station,
    - A3 est l'entrée STEP.

- Moins de 20 jours de déversement ont été constatés durant l'année au niveau de chaque déversoir d'orage soumis à autosurveillance réglementaire.

**La note technique du 7 septembre 2015** rappelle qu'au-delà de la stricte application de la DERU, il convient également de s'assurer que les éventuels rejets du système de collecte ne remettent pas en cause l'état du milieu récepteur au regard des objectifs fixés par la directive cadre sur l'eau ou d'autres directives sectorielles (baignade...).

**Des adaptations préfectorales sont possibles en fonction de la sensibilité du milieu récepteur et du coût engendré pour le respect de ces objectifs.**

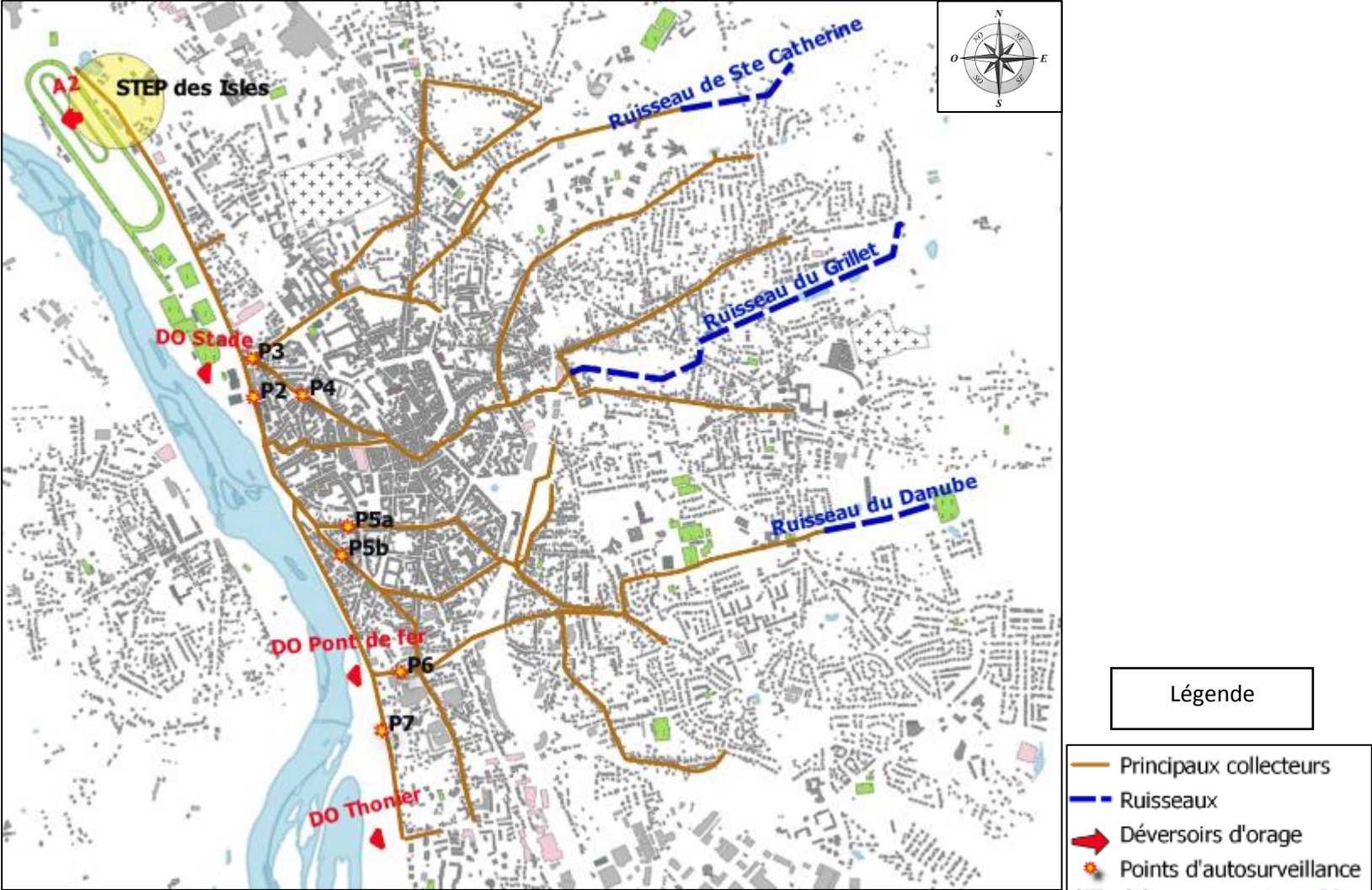
Les modalités d'évaluation sont les suivantes :

- Une évaluation annuelle par la police de l'eau sur la base des données issues de l'autosurveillance réglementaire des 5 dernières années,
  - Une fois proposée par le maître d'ouvrage et validé par le préfet, le critère choisi figure dans l'acte administratif réglementant le système d'assainissement et reste identique au fil du temps,
  - Le système est jugé non conforme si l'autosurveillance est absente, insuffisante ou si les résultats sont non transmis.
  - Le système est jugé conforme si le critère acté est respecté et l'autosurveillance est complète et validée.
- **Cet arrêté II préconise le principe de gestion des eaux pluviales le plus en amont possible pour limiter les apports d'eau dans le système de collecte.**

**Des solutions techniques doivent donc être étudiées et deviennent prioritaires en cas de viabilité technico-économique.**

# ANNEXE 5 : MESURES DE L'AUTOSURVEILLANCE

- Localisation des points d'autosurveillance



- **Bilan des mesures de l'autosurveillance en temps sec en m<sup>3</sup>/j**

L'identification des jours de temps sec est obtenu par la suppression des jours des pluies + les 24 h qui suivent en considérant que le temps de ressuyage est d'un jour.

	Pt2	PT3	PT4	PT5a	PT5b	PT6	Pt7	Pt6+7+5a+5b	Pt2-(6+7+5a+5b)	Entrée STEP	PT2+3+4	Écart
<b>2016</b>												
<b>Nappe haute (avril-juin)</b>	8 850	1 477	6 256	149	1 844	2 289	2 118	6 399	2 450	12879	16 582	29%
<b>Nappe basse (aout-octobre)</b>	6 366	714	3 947	133	1 254	1 771	1 813	4 971	1 395	9167	11 027	20%
<b>Moyenne 2016</b>	7 087	1 060	4 804	142	1 413	2 007	1 907	5 468	1 618	11652	12 951	11%
<b>2017</b>												
<b>Nappe haute (février-avril)</b>	9 563	1 037		124	1 383	2 125	1 921	5 553	4 010	13444	10 600	-21%
<b>Nappe basse (aout-octobre)</b>	3 942	591	7 762	119	1 188	1 739	1 821	4 868	-926	9481	12 295	30%
<b>Moyenne 2017</b>	6 726	846	8 338	126	1 319	1 937	1 866	5 247	1 479	11705	15 910	36%
<b>2018</b>												
<b>Nappe haute (février-avril)</b>	13 088	1 373	10 268	94	2 303	2 233	2 050	6 680	6 408	15967	24 729	55%
<b>Nappe basse (aout-octobre)</b>	3 546	557	7 257	141	1 172	1 502	1 828	4 643	-1 097	8867	11 360	28%
<b>Moyenne 2018</b>	6 553	749	8 435	133	1 470	1 775	1 907	5 285	1 268	11 334	15 737	39%

## ANNEXE 6 : BILAN DU CALAGE

Pluie 1 - 27-06-2017					Pluie 2 - 27-05-2018				
<b>PT8-DO Pont de Fer</b>	<b>Modèle</b>	<b>Métrologie</b>	<b>Différence relative</b>	<b>Calage</b>	<b>PT8-DO Pont de Fer</b>	<b>Modèle</b>	<b>Métrologie</b>	<b>Différence relative</b>	<b>Calage</b>
Débit max (m³/s)	5	4	-25%	ACCEPTABLE	Débit max (m³/s)	0.12	0.15	-20%	BON
Volume (m³)	3612	6073	41%	MAUVAIS	Volume (m³)	258	230	12%	BON
Nash	0.1			MAUVAIS	Nash	0.4			ACCEPTABLE
<b>PT7</b>	<b>Modèle</b>	<b>Métrologie</b>	<b>Différence relative</b>	<b>Calage</b>	<b>PT7</b>	<b>Modèle</b>	<b>Métrologie</b>	<b>Différence relative</b>	<b>Calage</b>
Débit max (m³/s)	0.77	0.87	11%	BON	Débit max (m³/s)	0.18	0.2	-10%	BON
Volume (m³)	7068	5900	-20%	BON	Volume (m³)	2624	2752	-5%	BON
Nash	0.7			BON	Nash	0.7			BON
<b>PT6</b>	<b>Modèle</b>	<b>Métrologie</b>	<b>Différence relative</b>	<b>Calage</b>	<b>PT6</b>	<b>Modèle</b>	<b>Métrologie</b>	<b>Différence relative</b>	<b>Calage</b>
Débit max (m³/s)	Non calé				Débit max (m³/s)	0.14	0.16	13%	BON
Volume (m³)					Volume (m³)	1704	1682	-1%	BON
Nash					Nash	0.9			BON
<b>PT5b</b>	<b>Modèle</b>	<b>Métrologie</b>	<b>Différence relative</b>	<b>Calage</b>	<b>PT5b</b>	<b>Modèle</b>	<b>Métrologie</b>	<b>Différence relative</b>	<b>Calage</b>
Débit max (m³/s)	0.86	0.72	-19%	BON	Débit max (m³/s)	0.4	0.38	-5%	BON
Volume (m³)	9264	6175	-50%	MAUVAIS	Volume (m³)	3812	3167	-20%	BON
Nash	0.1			MAUVAIS	Nash	0.7			BON
<b>PT5a</b>	<b>Modèle</b>	<b>Métrologie</b>	<b>Différence relative</b>	<b>Calage</b>	<b>PT5a</b>	<b>Modèle</b>	<b>Métrologie</b>	<b>Différence relative</b>	<b>Calage</b>
Débit max (m³/s)	2.65	1.91	-39%	MAUVAIS	Débit max (m³/s)	0.04	0.06	33%	ACCEPTABLE
Volume (m³)	2106	2025	-4%	BON	Volume (m³)	154	173	11%	BON
Nash	0.2			MAUVAIS	Nash	0.4			ACCEPTABLE
<b>PT4</b>	<b>Modèle</b>	<b>Métrologie</b>	<b>Différence relative</b>	<b>Calage</b>	<b>PT4</b>	<b>Modèle</b>	<b>Métrologie</b>	<b>Différence relative</b>	<b>Calage</b>
Débit max (m³/s)	Données indisponibles				Débit max (m³/s)	0.48	0.69	30%	ACCEPTABLE
Volume (m³)					Volume (m³)	5046	6065	17%	BON
Nash					Nash	0.5			BON
<b>PT3</b>	<b>Modèle</b>	<b>Métrologie</b>	<b>Différence relative</b>	<b>Calage</b>	<b>PT3</b>	<b>Modèle</b>	<b>Métrologie</b>	<b>Différence relative</b>	<b>Calage</b>



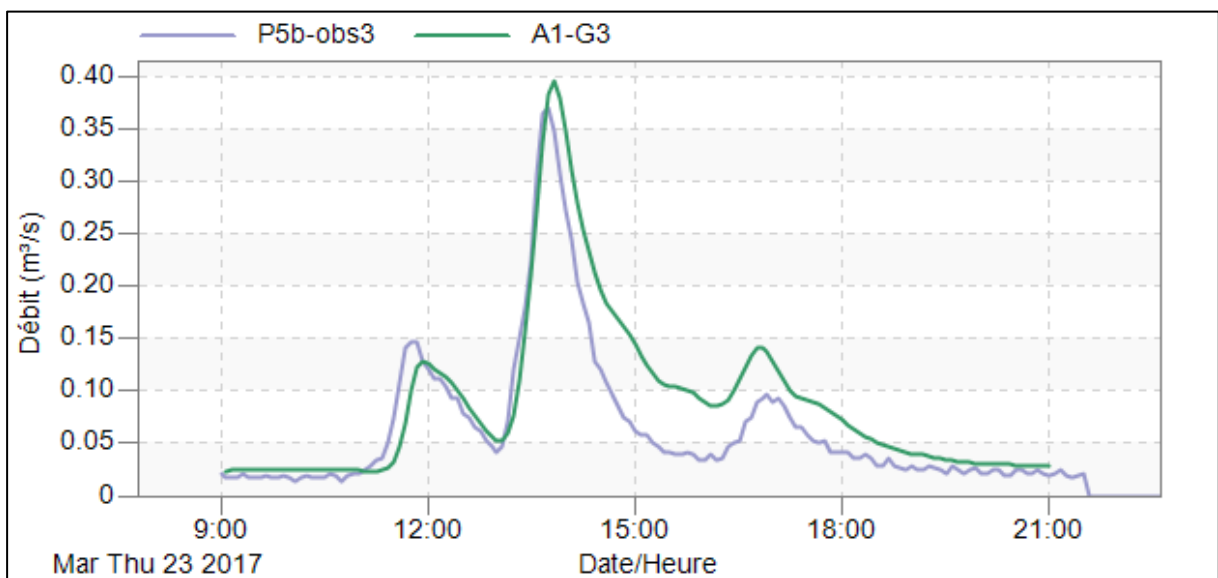
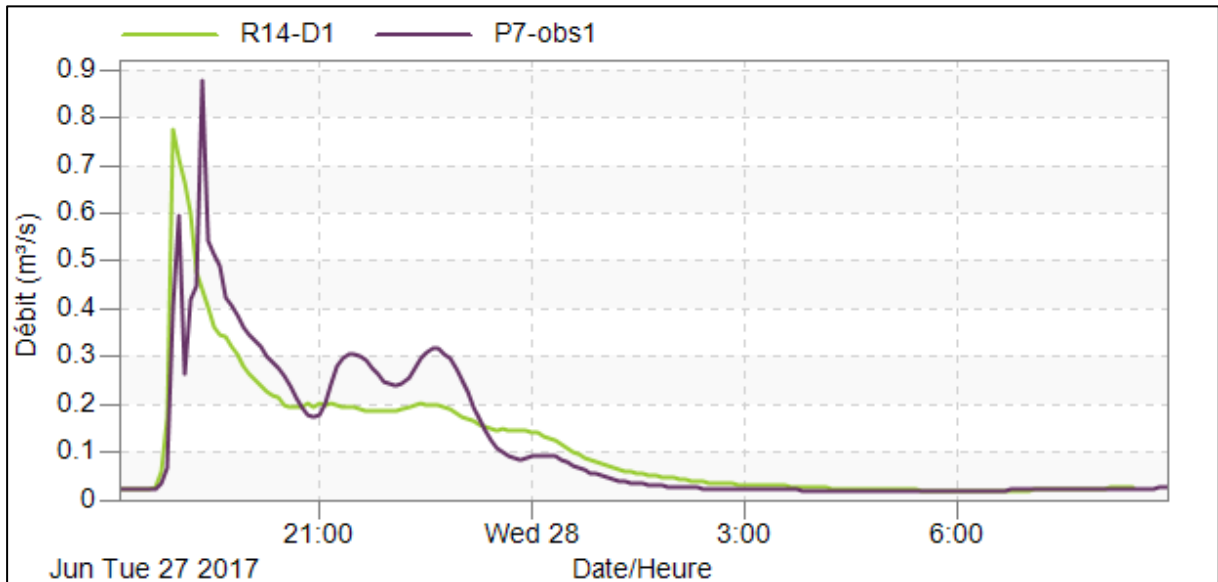
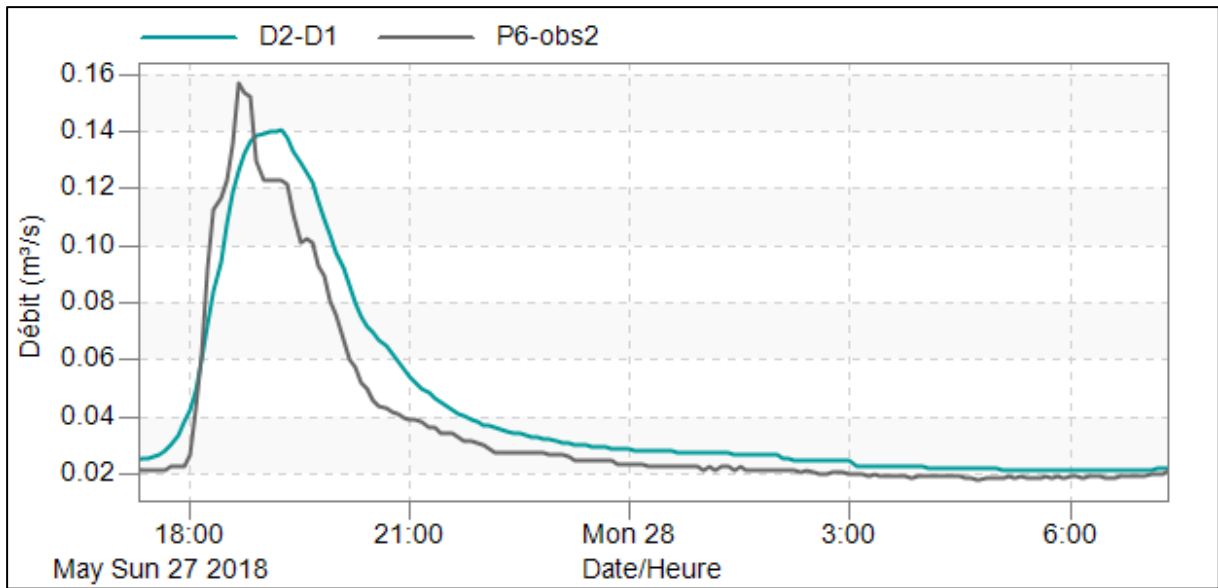
Débit max (m³/s)	2.07	2.91	29%	ACCEPTABLE	Débit max (m³/s)	0.46	0.5	8%	BON
Volume (m³)	20710	18330	-13%	BON	Volume (m³)	3652	3530	-3%	BON
Nash	0.4			BON	Nash	0.9			BON

Pluie 3 - 23-03-2017				
<b>PT8-DO Pont de Fer</b>	<b>Modèle</b>	<b>Métriologie</b>	<b>Différence relative</b>	<b>Calage</b>
Débit max (m3/s)	0.016	0.018	-11%	BON
Volume (m3)	9.1	6.5	40%	MAUVAIS
Nash	0.8			BON
<b>PT7</b>	<b>Modèle</b>	<b>Métriologie</b>	<b>Différence relative</b>	<b>Calage</b>
Débit max (m3/s)	0.29	0.27	7%	BON
Volume (m3)	2301	2218	4%	BON
Nash	0.6			BON
<b>PT6</b>	<b>Modèle</b>	<b>Métriologie</b>	<b>Différence relative</b>	<b>Calage</b>
Débit max (m3/s)	0.13	0.14	7%	BON
Volume (m3)	2245	2097	-7%	BON
Nash	0.5			BON
<b>PT5b</b>	<b>Modèle</b>	<b>Métriologie</b>	<b>Différence relative</b>	<b>Calage</b>
Débit max (m3/s)	0.39	0.37	-5%	BON
Volume (m3)	3261	2959	-10%	BON
Nash	0.8			BON
<b>PT5a</b>	<b>Modèle</b>	<b>Métriologie</b>	<b>Différence relative</b>	<b>Calage</b>
Débit max (m3/s)	0.02	0.03	33%	ACCEPTABLE
Volume (m3)	274	214	-28%	ACCEPTABLE
Nash	0.4			ACCEPTABLE
<b>PT4</b>	<b>Modèle</b>	<b>Métriologie</b>	<b>Différence relative</b>	<b>Calage</b>
Données indisponibles				

PT3	Modèle	Métriologie	Différence relative	Calage
Débit max (m3/s)	0.56	0.64	13%	BON
Volume (m3)	3452	3530	2%	BON
Nash	0.9			BON

Sur la page suivante, des exemples de comparaison de courbes pour le calage, pour les points « P6 », « P7 » et « P5b » extraites directement de PCSWMM.

Explication de la nomenclature : P6-obs2 veut dire la mesure observée sur le point de transfert 6 et 2 fait référence à la pluie 2, et D2-D1 est le nom de la conduite sur le modèle.



## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

**Diplôme : Mastère spécialisé Eau Potable et Assainissement (EPA)**  
**Spécialité : Réseaux d'assainissement**

**Auteur :**

AFATHI Hajar

**Année**

2018/2019

**Titre :** Mise en conformité du système d'assainissement de Moulins en temps de pluie (03) – Modélisation du réseau d'assainissement sur le logiciel PCSWMM

**Nombre de pages** texte : 44                      annexes : 29

**Nombre de références bibliographiques :** 10

**Structure d'accueil :** SAFEGE SAS (Groupe SUEZ-Consulting) – Romagnat (63) - Auvergne

**Maîtres de stage :** MEENS Anne – ANDRIEU Marc

### Résumé

La communauté d'agglomération Moulins Communauté (03) est une structure intercommunale qui assure sur son territoire plusieurs compétences dont celle liée à l'assainissement.

La station d'épuration intercommunale des Isles située sur la commune d'Avermes à la limite Nord de Moulins traite actuellement les effluents d'environ 37 000 habitants auxquels s'ajoutent des raccordements industriels. Son exploitation démontre qu'elle est capable d'encaisser jusqu'à 24 000 m<sup>3</sup>/j Mais connectée à un réseau pour moitié unitaire et donc très sensible aux événements pluvieux, les volumes en entrée sont très variables et dépassent fréquemment cette capacité engendrant des non conformités.

Moulins Communauté souhaite donc retourner à la conformité de la collecte par temps de pluie définie par la note technique du 7 septembre 2015 relative à la mise en œuvre de certaines dispositions de l'arrêté du 21 juillet 2015.

Pour parvenir à cet objectif, une analyse du fonctionnement du système d'assainissement existant est réalisée à partir des données de l'autosurveillance. Ensuite, la modélisation des principaux collecteurs du réseau unitaire permet de réaliser des simulations de longue durée afin d'estimer les volumes collectés par l'ensemble du système et les volumes déversés par les déversoirs d'orage. La modélisation hydraulique sur PCSWMM permet également de simuler les solutions techniques afin de résoudre la problématique.

### Mots-clés

Assainissement, conformité, réseau unitaire, modélisation, temps de pluie, autosurveillance, stockage, déversoir d'orage, simulations de longue durée, solutions techniques, système de collecte, volumes collectés, volumes déversés.