



RAPPORT DE STAGE – SETEC HYDRATEC

Ecole polytechnique de l'université
De Tours,
Génie de l'aménagement et de
l'environnement

Rapport de 2^e année

Thomas CHARPIGNON | DAE 2019 – 2021

Maître de stage | Sophie LE GAC

Tuteur académique | Sébastien LARRIBE

➔ *RAPPORT CONFIDENTIEL*



REMERCIEMENTS

Avant de commencer la présentation de mon stage de quatrième année d'école d'ingénieur, je souhaiterais commencer ce rapport par des remerciements, à ceux qui m'ont beaucoup apporté au cours de cette expérience. Je pense notamment à Madame LE GAC, Madame YOYOTTE, Monsieur GUICHONNET et Monsieur LE GUERINEL qui m'ont accompagné avec bienveillance dans mes différentes missions. Mais également Monsieur PODGORSKI et Monsieur RIMBERT de l'agence d'Angers qui m'ont beaucoup appris sur les visites terrains que nous avons pu effectuer ensemble.

Je remercie également Monsieur PEETERS, professeur d'hydraulique à Polytech Tours mais également ingénieur à Hydratec Angers, qui a pu me mettre en contact avec Madame LE GAC.

Sommaire

0 Table des matières

1	INTRODUCTION	5
2	PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE.....	5
2.1	SETEC HYDRATEC, une filiale du groupe SETEC.....	5
2.2	Agence de Tours – Equipe de Sophie LE GAC.....	6
3	Etude 1 : Réutilisation de l'eau pluviale pour un site industriel.....	6
3.1	Phase 1 : Analyse des apports dans chaque bassin en fonction de la chronique de pluie réelle.....	7
3.1.1	Contexte et méthode de la phase 1.....	7
3.1.2	Résultats de la phase 1.....	8
3.2	Phase 2 : Modélisation de journées de pluie type sur les bassins aménagés.....	16
3.2.1	Contexte et méthode de la phase 2.....	16
3.2.2	Résultats de la phase 2.....	16
3.3	Phase 3 : Analyse de sensibilité sur les bassins aménagés.....	19
3.3.1	Contexte et méthode de la phase 3.....	19
3.3.2	Résultats de la phase 3.....	19
3.4	Phase 4-5 : Etude du transfert de l'eau de pluie vers le bassin d'eau douce et impact économique de ces aménagements.....	27
3.4.1	Contexte et méthode de la phase 4-5.....	27
3.4.2	Résultats de la phase 4-5.....	27
4	Etude 2 : Schéma directeur de gestion de l'eau pluviale de Tours Métropole Val de Loire.....	28
4.1	Méthode, déroulé et premiers résultats du pré-diagnostic.....	30
4.1.1	Organisation et restitution des visites terrains.....	30
4.1.2	Estimation de la charge polluante aux exutoires.....	32
5	Retour sur les apports de cette période de stage	34
5.1	« Savoir-être ».....	34
5.2	« Savoir-faire ».....	35
6	Annexes.....	35
7	Bibliographie.....	42
8	Résumé et Abstract.....	42

Table des illustrations

Figure 1. Configuration des aménagements des bassins considérés	7
Figure 2. Onglets des tableurs Excel	8
Figure 3. Bassins versants du site industriel	9
Figure 4. Logigramme de calcul des volumes journaliers dans les bassins en fonction du volume de stockage dédié (V stockage) dans le bassin et des volumes journaliers vidangés.....	10
Figure 5. Hauteur de pluie annuelle sur l'ensemble de la chronique 1991-2016	12
Figure 6. Répartition statistique des journées de pluie (en mm)	13
Figure 7. Evolution du taux de réponse au besoin annuel en eau pluviale en fonction de la capacité de stockage dans le bassin 1.....	15
Figure 8. Evènements pluviométrique de juillet 2008.....	17
Figure 9. Sensibilité sur le débit de pompage – Evolution de la cote dans le bassin 4.....	18
Figure 10. Comparaison des hauteurs de pluie annuelle entre les chroniques RCP 4.5, RCP 8.5 et la chronique réelle	21
Figure 11. Hauteur de pluie journalière moyenne par saison sur le point le plus proche du site- période 2040-2065	22
Figure 12. Carte des communes de Tours Métropole Val de Loire	29
Figure 13. Exemple de planche DWG du linéaire de réseaux de la commune de St-Genouph	31
Figure 14. Coefficient d'imperméabilisation pour chaque bassin versant de la métropole de Tours	33
Figure 15. Estimation de la charge de MES (en kg) sur les différents bassin versants de la métropole	34

Table des tableaux

Tableau 1. Hauteur de pluie mensuelle moyenne pour l'ensemble des mois de la chronique	12
Tableau 2: Hauteur de pluie journalière moyenne pour l'ensemble des mois de la chronique	12
Tableau 3. Nombre de jours de temps sec consécutifs maximum par saison selon deux méthodes	14
Tableau 4. Comparaison des hauteurs de pluie annuelle entre la chronique réelle et les scénarios RCP	20
Tableau 5. Tableau de comparaison des périodes de temps sec entre la chronique réelle et des scénarios RCP	22
Tableau 6. Tableau de comparaison des valeurs extrêmes de la chronique réelle et des scénarios RCP.....	23
Tableau 7. Comparaison des valeurs de performances du bassin 1 entre la chronique réelle et les scénarios RCP	24
Tableau 8. Abaque de coefficients de ruissèlement - GUIDE SETRA - Assainissement routier (2006)	25
Tableau 9. Tableau de comparaison des résultats de performance des bassins après modification du coefficient de ruissèlement des surfaces perméable	26
Tableau 10. Liste des ouvrages recensée par la pré-étude de Naldéo sur la commune de Berthenay	32
Tableau 11. Pollution mobilisable pour chaque type d'occupation des sols	33

--

1 INTRODUCTION

Après un stage de première année au sein de la régie de l'eau de la communauté de communes de la Vallée Dorée (60), j'ai décidé de poursuivre dans le domaine de l'hydraulique urbaine en choisissant, pour ma deuxième année au sein du département Génie de l'aménagement et de l'environnement de Polytech Tours, l'option RESEAU (Réseaux et Systèmes de l'Environnement et des Aménagements Urbains). Au sein de cette option, j'ai continué à nourrir mon intérêt sur les questions d'hydrauliques avec, par exemple, un projet pédagogique sur la gestion de l'eau pluviale pour l'université de Tours. C'est, dans ce contexte, que j'ai débuté ce stage dans un bureau d'étude en hydraulique, setec hydratec.

Mes objectifs de stage s'articulent autour de deux volets :

- Un volet technique avec le suivi, la compréhension, la réalisation de plusieurs études,
- Un volet économique et social avec la découverte de la vie et du travail au sein d'un bureau d'étude.

Dans ce rapport de stage, je présenterai tout d'abord le groupe setec et plus particulièrement la société setec hydratec. Je m'attarderai sur leur histoire, leurs domaines d'action mais également l'organisation interne des différentes agences et des différents services. Je passerai ensuite à la présentation des 2 missions qui ont rythmé mes 3 mois de stage au sein de ce bureau d'étude :

Une première affaire sur la faisabilité d'un projet d'utilisation de l'eau pluviale pour un site industriel, ainsi qu'une seconde sur la réalisation du pré-diagnostic du schéma directeur de gestion de l'eau pluviale de Tours Métropole Val de Loire.

Enfin je conclurai en synthétisant sur les thèmes abordés durant mes 13 semaines de stage ainsi que sur les compétences, personnels et professionnels, que j'ai pu acquérir après ces 3 mois en bureau d'étude.

2 PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE

2.1 SETEC HYDRATEC, une filiale du groupe SETEC

Les prémices de l'entreprise setec voient le jour en 1957 avec deux ingénieurs diplômés de l'École Polytechnique, Henri Grimond et Guy Saias, dans le cadre de projets de reconstruction d'après-guerre en Europe. Encouragés par leurs réussites, ils créent la société « setec », qui va rapidement mener d'importantes missions dans les domaines de l'aménagement du territoire.

Aujourd'hui, le groupe setec est l'une des plus importantes sociétés d'ingénierie française, rassemblant plus de 2600 collaborateurs en France et à l'international.

Setec hydratec, une des filiales du groupe setec, est un bureau d'étude technique fondé en 1974 employant 200 collaborateurs œuvrant dans tous les domaines de l'ingénierie de l'eau, pour le compte de collectivités, des services de l'État et des industriels. Cette affiliation permet à setec hydratec de bénéficier du concours des autres sociétés du groupe setec pour les aspects géotechniques, génie civil, énergie, économie et planification et donc d'élargir ses champs d'étude.

Les missions de ce bureau d'études couvrent toutes les étapes d'un projet d'aménagement, à savoir, l'étude et le conseil, la maîtrise d'œuvre, la conduite d'opération, la modélisation et la métrologie.

De multiples domaines sont étudiés à setec hydratec :

- L'hydraulique fluviale : problématiques liées aux cours d'eau et leurs aménagements (étiages, crues, inondations, digues et barrages) ;
- Le traitement des eaux : conception d'usines de toute taille et de toute technologie, adaptées aux besoins des collectivités et des industriels ;
- L'hydraulique maritime : génie côtier, ouvrages portuaires, études d'agitation, gestion du littoral ;
- L'hydraulique urbaine : fonctionnement et aménagements des réseaux urbains ;
- L'hydrogéologie : étude de l'état des nappes et de la qualité des eaux souterraines
- L'environnement industriel : décontamination des sols
- Conseils aux collectivités : Conseil et suivi des transferts de compétences en eau potable, assainissement et eaux pluviales et conseils sur les modes de gestion.

2.2 Agence de Tours – Equipe de Sophie LE GAC

L'agence de Tours dirigée par Sophie LE GAC a été créée en 2007 pour, dans un premier temps, s'attarder sur des missions dédiées à des industriels.

Aujourd'hui, l'agence de Tours compte 6 collaborateurs qui travaillent principalement sur des sujets d'hydrauliques industrielles et de traitement d'eau mais se diversifie sur des missions hydrauliques urbaines et de conception de schéma directeur pour des métropoles françaises.

L'organigramme des agences de setec hydratec est disponible en annexe [G].

3 ETUDE 1 : REUTILISATION DE L'EAU PLUVIALE POUR UN SITE INDUSTRIEL

Cette mission a été commandée par un industriel français. Pour des questions de confidentialité, l'industriel ne sera pas nommé dans le rapport et les données sensibles du site ne seront pas explicitées en détail. Cet important site de production a réalisé plusieurs études de valorisation d'eaux pluviales et souhaite désormais orienter ses études vers la collecte des eaux de ruissellement des bassins versants extérieurs.

Actuellement les ressources disponibles et utilisées par l'industriel sont des eaux de surface, provenant d'un cours d'eau à proximité. Le client souhaite développer la réutilisation (REUSE) des eaux traitées de la station d'épuration voisine et des eaux pluviales. L'objectif de cette étude est de prendre en compte la réutilisation de l'eau pluviale pour préserver la ressource en eau de surface et pallier d'éventuelles périodes d'étiage du cours d'eau.

Cette mission a donc comme vocation :

- D'étudier la collecte des eaux de ruissellement des bassins versants via des bassins de rétention, existants ou nouveaux.
- De quantifier la quantité d'eau ruisselée annuelle dans ces bassins pour satisfaire un besoin annuel en eaux pluviales de 170 000 m³/an soit 465 m³/jour.
- D'étudier le mode de transfert de l'eau pluviale stockée vers le bassin d'eau douce cible,
- De réaliser un chiffrage technico économique des solutions retenues.

Le site d'étude comporte actuellement plusieurs bassins temporisateurs d'eaux pluviales :

- Bassin 1
- Bassin 2

- Bassin 3
- Bassin 4

(La localisation de ces bassins ne peut être fournie dans ce rapport)

Cette étude se déroule en 5 étapes :

- Etape 1 : Analyse des apports dans chaque bassin en fonction de la chronique de pluie réelle sur 25 ans
- Etape 2 : Modélisation de journées de pluie type sur les bassins aménagés
- Etape 3 : Analyse de sensibilité sur les bassins aménagés
- Etape 4 : Etude du transfert de l'eau de pluie vers le bassin d'eau douce
- Etape 5 : Rédaction de l'étude technico-économique de faisabilité

Mon stage a porté sur la phase 1 ainsi que la phase 3 à ce stade. Un retour succinct sur la méthodologie et les résultats de la phase 2,4 et 5 seront tout de même présentés.

⇒ Dans le cadre de cette étude, j'ai pu participer à la réunion de démarrage de l'affaire avec le client au début de mon stage, cela m'a permis de comprendre le contexte en début d'affaire, connaître mes interlocuteurs clients et collègues. J'ai pris connaissance des étapes du projet et de la planification notamment grâce à l'offre transmise par setec hydratec qui répondait au cahier des charges du client. Par ailleurs, j'ai été sensibilisé au caractère confidentiel des données du client et de l'étude en signant un engagement de confidentialité.

3.1 Phase 1 : Analyse des apports dans chaque bassin en fonction de la chronique de pluie réelle

3.1.1 Contexte et méthode de la phase 1

Cette étape porte sur la quantification d'un volume d'eau collectable et valorisable par le site. Dans l'optique de proposer un aménagement des bassins permettant de garantir le rôle de stockage pour le REUSE souhaité ainsi qu'un rôle de rétention nécessaire aux problématiques d'inondation, en concertation avec le client, les bassins seront configurés de la manière suivante :

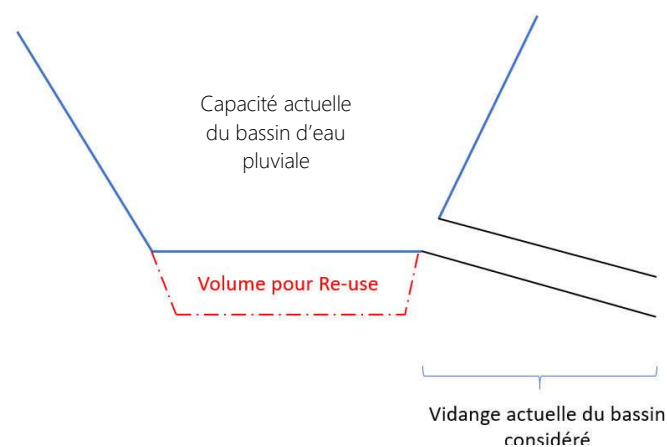


Figure 1. Configuration des aménagements des bassins considérés

En partant de cet aménagement ainsi que des données des hauteurs pluviométriques au pas de temps 10 minutes du site sur la période 1991-2016, la réalisation d'un fichier Excel par bassin de stockage permet de mettre en avant :

- Une liste de bassins versants associés à chaque bassin de rétention,
- Les cumuls pluviométriques journaliers sur la chronique 1991-2016 ainsi que les grandeurs moyennes journalières, mensuelles, saisonnières et annuelles,
- Une synthèse de la satisfaction des besoins journaliers en fonction de la pluviométrie réelle sur les 25 années étudiées.

3.1.2 Résultats de la phase 1

Pour chaque bassin, un tableur Excel a été mis au point afin de répondre au questionnement sur ses performances.

Les tableurs se décomposent en 4 onglets.

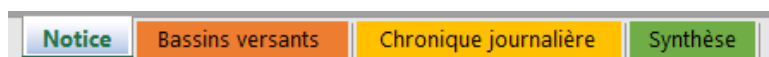


Figure 2. Onglets des tableurs Excel

3.1.2.1 Présentation de la table de calcul

a) Onglet « Notice »

L'onglet Notice synthétise le fonctionnement du fichier Excel et des différents onglets.

Il présente les 5 hypothèses de l'étude, présentées au client et validées en réunion :

- **Hypothèse n°1** : Le volume de stockage dédié au réseau REUSE (V_{stockage}) dans le bassin est fixé à 500 m³ de façon arbitraire, en première approche. Ce volume correspond à un aménagement :
 - Limitant l'impact foncier,
 - Permettant de répondre au besoin journalier en eau pluviale.
- **Hypothèse 2** : Les données de la chronique de pluie comportent des défauts du pluviomètre qui ont été traités de la façon suivante :
 - Suppression de l'année 1993 pour laquelle 141 journées consécutives étaient erronées (valeur affichée 999), après ce traitement, la plage la plus longue de valeurs erronées est de 6 jours ;
 - Suppression de l'ensemble des valeurs erronées pour estimer la période temps sec la plus longue sur la chronique et par saison (voir les deux méthodologies présentées au §3.1.2.2) ;
 - Mise à zéro de la pluviométrie mesurée quand le pluviomètre a été en défaut pour toutes les mesures en dehors de l'année 1993 dans le cadre de l'estimation des volumes d'eau pluviale généré ;

Ce traitement a concerné 9% des enregistrements de départ au pas de temps 10 minutes.

- **Hypothèse 3** : La hauteur de pluie minimum enregistrée par le pluviomètre est de 0,2mm pour 10 minutes. Tous les enregistrements ont été considérés pour calculer la hauteur de pluie journalière.
- **Hypothèse 4** : Les coefficients de ruissèlement considérés sont de 0,9 pour les surfaces imperméables et de 0,2 pour les surfaces perméables. La sensibilité des résultats à ce choix sera traitée au §3.3.2
- **Hypothèse 5** : Certains bassins versants sont orientés vers plusieurs bassins de rétention. Dans ce cas, on considère pour le bassin de rétention étudié dans le tableur qu'il collecte 100% du volume ruisselé depuis le bassin versant.

b) Onglet « Bassins Versants »

L'onglet « Bassins versants » fait l'inventaire des différents bassins versants sur le site d'étude, de leurs caractéristiques ainsi que des bassins de rétention associés.

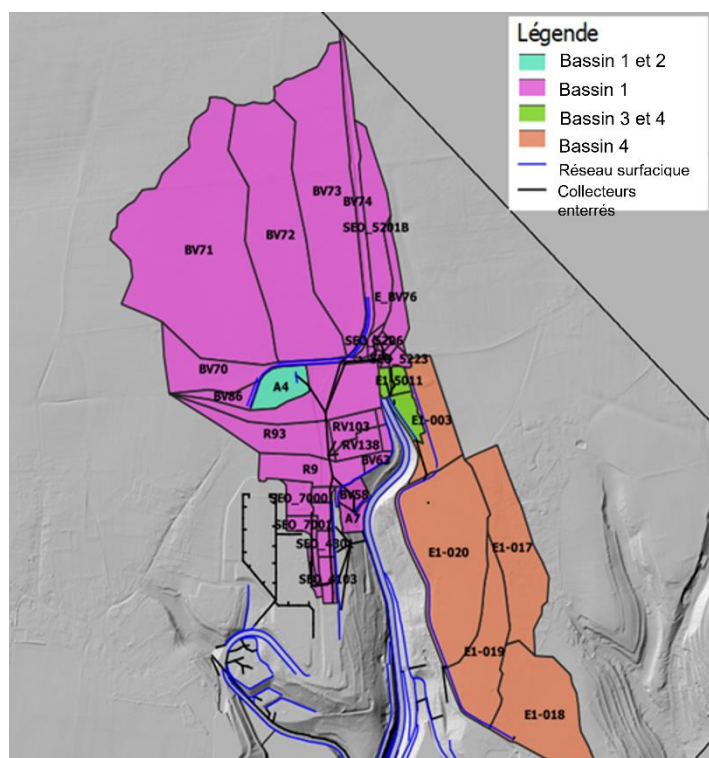


Figure 3. Bassins versants du site industriel associés aux bassins d'orage

La décomposition de la surface des bassins versants en surface perméable et imperméable permet de calculer un coefficient moyen de ruissèlement :

$$\text{Coef}_{\text{moyen}} = \frac{S_{\text{imper}} * \text{Coef}_{\text{imper}} + S_{\text{per}} * \text{Coef}_{\text{per}}}{S_{\text{totale}}}$$

Ce coefficient de ruissellement permet de faire le lien entre la pluie brute et la pluie nette que chaque bassin aménagé pourra collecter. La différence entre la pluie brute et la pluie nette s'explique par les pertes liées à l'infiltration ou encore l'évapotranspiration.

c) Onglet « Chronique journalière »

L'onglet « Chronique journalière » est l'onglet qui permet le traitement des données de cette étude. La chronique de pluie au pas de temps 10min de 1991 à 2016 a été compilée pour obtenir une hauteur de pluie journalière.

Chaque jour, un bilan de volume journalier est établi pour le bassin et prend en compte :

- Le volume ruisselé le jour j vers le bassin en fonction de la pluviométrie,
- Le volume restant dans le bassin suite à l'apport d'eau pluviale au jour $j-1$,
- La consommation journalière, estimée à 465 m³.

Ce bilan de volume est calculé de la façon suivante :

$$Bilan_j = V_{ruisselé_j} + V_{bassin_{j-1}} - Conso_journalière$$

Les volumes dans le bassin de stockage et s'évacuant par la vidange sont déterminés par la logique présentée dans le logigramme ci-dessous.

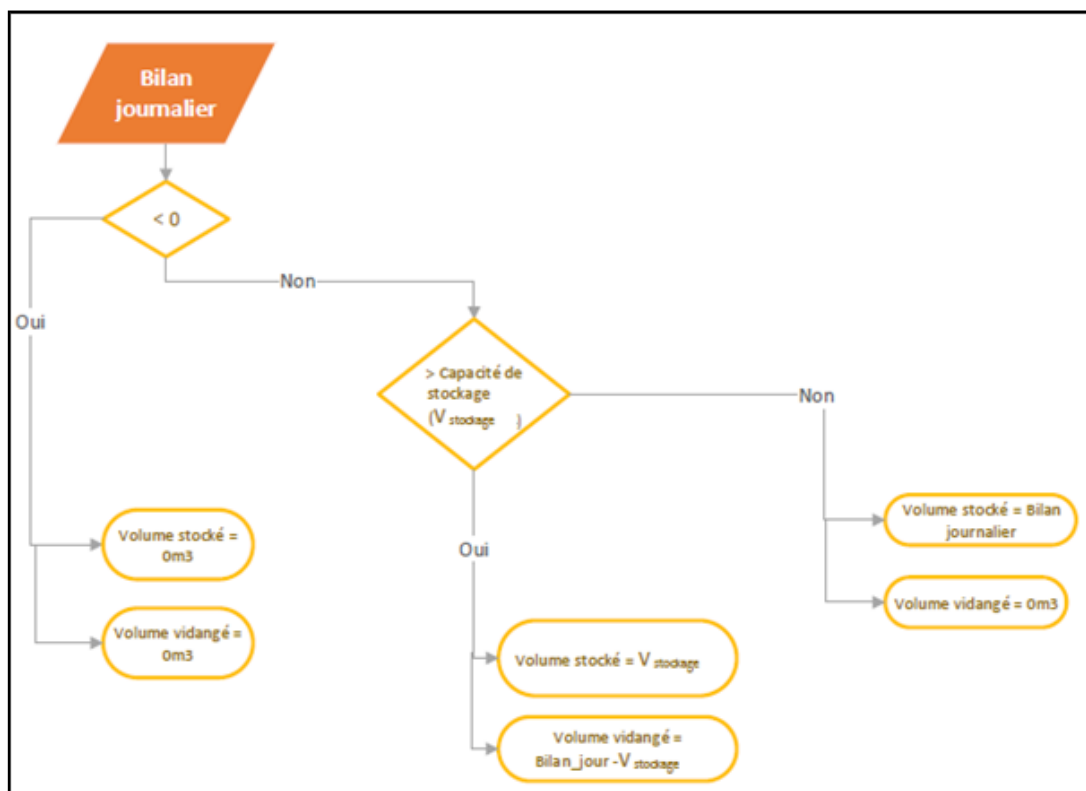


Figure 4. Logigramme de calcul des volumes journaliers dans les bassins en fonction du volume de stockage dédié (V stockage) dans le bassin et des volumes journaliers vidangés

La notion de « Volume valorisé pour la capacité de stockage définie » correspond au volume consommé dans la journée en réponse au besoin en eau pluviale (en fonction des apports dus aux précipitations du jour et du volume restant dans le bassin suite aux précipitations de la veille), ce volume est compris entre 0 m³ et 465 m³.

Les bilans journaliers établis sur cette base permettent de définir :

- Le nombre de jours où le besoin en eau pluviale est satisfait (avec un bilan journalier positif),
- Le nombre de jours de déficit en eau pluviale (avec un bilan journalier négatif),
- Les volumes stockés pour chaque journée de pluie (en cas d'apport en eau pluvial journalier > au besoin journalier en eau pluviale mais inférieur au volume de stockage)
- Les volumes vidangés (le volume résiduel après apport d'eau pluviale journalier et consommation journalière étant supérieur à la capacité de stockage).

d) Onglet « Synthèse »

L'onglet Synthèse reprend les résultats importants sur l'étude de la chronique de pluie, avec en particulier, les résultats de performance des bassins étudiés. Ces résultats sont détaillés ensuite pour chaque bassin.

Dans cet onglet se trouvent également les paramètres modifiables du tableur ayant une influence sur les résultats de l'étude :

- Besoin annuel en eau pluviale
- Besoin journalier en eau pluviale
- Coefficients de ruissèlement,
- Capacité de stockage dans le bassin.

=> J'ai participé à la rédaction de la note méthodologique à destination du client ainsi qu'à la réalisation des tableurs Excel de calcul. J'ai également pu participer à la restitution des résultats de cette phase auprès des clients. J'ai du également prendre en compte les remarques du client sur les premières versions du fichier Excel.

3.1.2.2 Analyse de la chronique de pluie 1991-2016

Nota : La pluviométrie annuelle, comme l'ensemble des résultats de cette étude, est affectée par le traitement effectué sur la chronique pour corriger les mesures erronées du pluviomètre considéré.

a) Analyse de la pluviométrie

La chronique de pluie 1991-2016, détaillée dans l'onglet « Chroniques journalières » des tableurs, se caractérise de la façon suivante :

- La chronique traitée (voir hypothèses §a)3.1.2.1) comporte 9 093 journées, soit 24,9 ans.
- La hauteur de pluie annuelle sur cette chronique varie entre 323 mm et 1 026 mm et sa moyenne est de 718 mm.

Les hauteurs de pluie annuelle ainsi que les taux de mesures erronées par année sont présentées dans la figure ci-dessous.

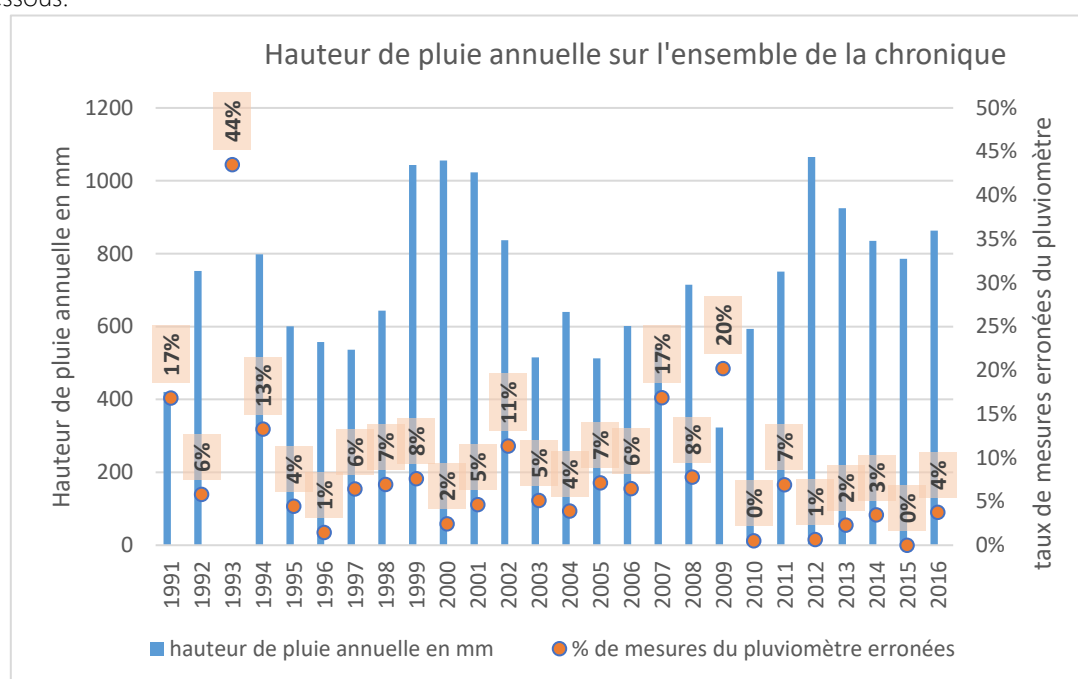


Figure 5. Hauteur de pluie annuelle sur l'ensemble de la chronique 1991-2016

- En moyenne, il pleut 60 mm/mois sur la totalité de la chronique. La hauteur de pluie mensuelle moyenne est rappelée dans le tableau ci-dessous pour chaque mois de la chronique. L'écart-type des moyennes mensuelles par rapport à cette valeur est de 14 mm.

MOIS	JANV	FEVR	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT	SEPT	OCT	NOV	DÉC
Hauteur de pluie mensuelle moyenne (mm/mois)	58	46	46	47	56	47	50	67	62	87	81	73
Ecart-type (en mm) (*)	36	36	35	38	32	28	35	39	39	56	54	53

Tableau 1. Hauteur de pluie mensuelle moyenne pour l'ensemble des mois de la chronique

- La hauteur de pluie journalière moyenne est de 1,97 mm sur la totalité de la chronique. La hauteur de pluie journalière moyenne est rappelée dans le tableau ci-dessous pour chaque mois de la chronique. L'écart-type des moyennes journalières par mois de la chronique, par rapport à cette valeur est de 0,44 mm. On remarque que la pluviométrie la plus importante est répartie d'août à décembre. La pluviométrie journalière maximum enregistrée sur la chronique est de 45,8 mm.

MOIS	JANV	FEVR	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT	SEPT	OCT	NOV	DÉC
Hauteur de pluie journalière moyenne pour le mois (mm/j)	1,9	1,7	1,5	1,6	1,8	1,6	1,6	2,2	2,1	2,8	2,7	2,4
Ecart-type (en mm) (*)	3,3	3,1	3	3,4	4,5	3,9	4,4	5,2	4,7	5,2	4,8	4,5

Tableau 2. Hauteur de pluie journalière moyenne pour l'ensemble des mois de la chronique

L'analyse de la répartition statistiques des données de la chronique de pluie 1991 – 2016 permet de caractériser les apports sur le site.

Sur l'ensemble de la chronique, on remarque que :

- 46% des journées de la chronique traitée sont des jours de temps sec,
- Sur les 4 862 jours de pluie de la chronique, on note une répartition statistique des évènements pluvieux sur le site homogène. 75% des hauteurs de pluie journalière sont inférieure au 3^e quartile 4.8 mm. Cette répartition est présentée dans le graphique ci-dessous.

On notera que ce site industriel connaît des journées à pluviométrie importante. 4% des journées de la

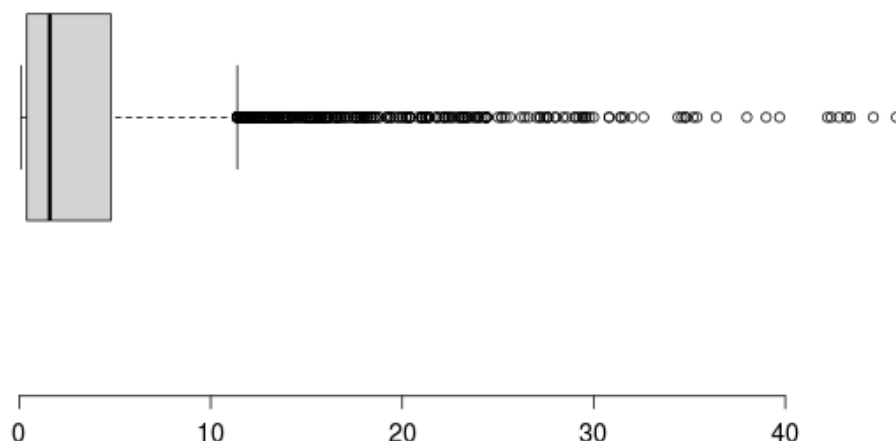


Figure 6. Répartition statistique des journées de pluie (en mm)

chronique (soit 380 jours) présentent une pluviométrie supérieure ou égale à 11 mm/jour. Cette valeur appelé « Upper Whisker » représente un seuil quant à la dynamique général de l'échantillon d'étude.

Toutefois, en considérant la méthodologie de l'étude, l'intensité de ces évènements ne peut pas être caractérisée, la dynamique de l'évènement pluvieux au sein de la journée n'étant pas étudiée ce stade. Elle fait toutefois l'objet de la phase 2.

b) Analyse des périodes de temps sec :

En complément de l'hypothèse n°2 présentée au §3.1.2.1, nous présentons une analyse plus fine des périodes de temps sec. Cette grandeur possède une importance dans les problématiques de REUSE car elle caractérise les périodes de temps où le site n'aura pas accès à la ressource et devra trouver une autre alternative.

Les périodes les plus longues étant identifiées selon 2 méthodes :

Méthode 1 : Chronique traitée en supprimant les jours présentant un défaut d'enregistrement ainsi que l'intégralité des mesures de l'année 1993.

Dans cette approche, en cas de suppression d'une journée encadrée par deux journées de temps sec, on considère un temps sec continu.

Méthode 2 : Chronique traitée en supprimant les jours présentant un défaut d'enregistrement ainsi que l'intégralité des mesures de l'année 1993

Dans cette approche, en cas de suppression d'une journée encadrée par deux journées de temps sec, on considère que la période de temps sec est interrompue.

Par exemple :

- 12/02/1992 : hauteur de pluie 0mm
- 13/02/1992 : erreur d'enregistrement → Suppression de la journée.
- 14/02/1992 : hauteur de pluie 0mm
- 15/02/1992 : hauteur de pluie 0mm

Pour cet exemple, la méthode 1 considèrera une période de temps sec maximum de 3 jours, tandis que, la méthode 2 considèrera une période de temps sec maximum de 2 jours consécutifs.

Nous présentons ci-dessous les périodes de temps sec les plus longues identifiées par saison et sur la chronique entière selon ces deux méthodes. Ces résultats sont tirés d'un programme Python dont le code est disponible en annexe [A].

			Période de temps sec max.
Méthode 1	Chronique traitée en supprimant les jours présentant un défaut d'enregistrement ainsi que l'intégralité des mesures de l'année 1993 (En considérant les journées valides continues)	Hiver 2010	24 jours
		Printemps 2010	20 jours
		Été 2009	36 jours
		Automne 1997	11 jours
		Total 2010	40 jours
Méthode 2	Chronique traitée en supprimant les jours présentant un défaut d'enregistrement ainsi que l'intégralité des mesures de l'année 1993 (En considérant les journées supprimées comme des interruption des plages de temps)	Hiver 2010	24 jours
		Printemps 2010	15 jours
		Été 1997	15 jours
		Automne 1993	7 jours
		Total 2010	25 jours

Tableau 3. Nombre de jours de temps sec consécutifs maximum par saison selon deux méthodes

La chronique de pluie fera l'objet d'une analyse comparative le cadre des phases suivantes de l'étude, notamment au regard des prévisions de la DRIAS qui seront traitées dans l'étape 3.

⇒ J'ai réalisé l'analyse statistique et rédigé l'interprétation dans un rapport à destination du client. Dans cette étude, j'ai été limité par l'outil Excel sur le calcul des périodes de temps sec. J'ai décidé de rédiger un programme Python permettant de résoudre ce problème. De plus, appréhender un tableau de calcul Excel déjà existant a été assez compliqué et plusieurs jours de travail ont été nécessaire pour comprendre l'ensemble du fichier

3.1.2.3 Analyse des résultats de performance pour les bassins étudiés

La présentation des résultats se fera, ici, sur le bassin 1. Ce bassin possède les meilleures performances parmi ceux étudiés dans cette phase. La méthodologie reste similaire pour l'ensemble des bassins.

Avec sa surface active de 35,7 ha lui permettant le ruissellement de 254 377 m³ sur une année ainsi que l'aménagement de la capacité de stockage de 500 m³ proposé au §3.1.1, 3.1.2 le bassin 1 pourra **valoriser 86 019 m³/an soit 51% du besoin annuel de 170 000 m³**.

Le graphique ci-dessous présente l'évolution du taux de réponse au besoin annuel en eau pluviale en fonction de la capacité de stockage aménagée dans le bassin 1.

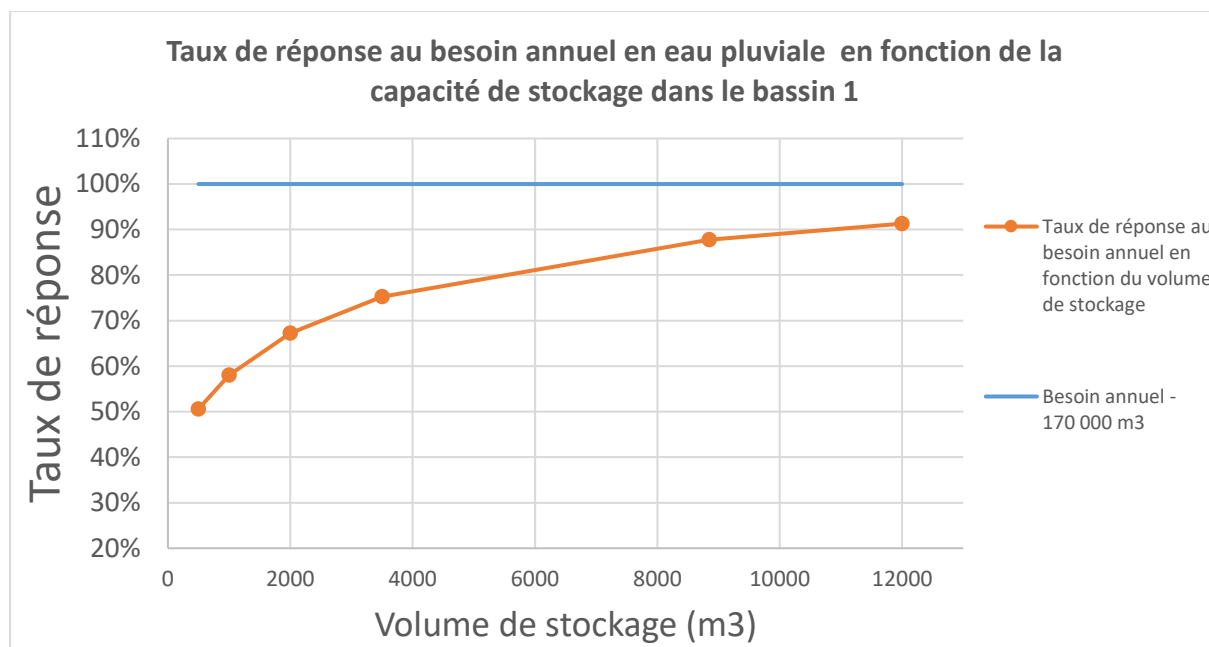


Figure 7. Evolution du taux de réponse au besoin annuel en eau pluviale en fonction de la capacité de stockage dans le bassin 1

En s'appuyant sur la simulation du taux de réponse au besoin annuel en fonction de la capacité de stockage et dans une optique de recherche d'un point d'inflexion de cette fonction, on remarque qu'**une optimisation de ce volume à 2 000 m³ permettrait de satisfaire à 67% des besoins annuels fixés soit environ 114 257 m³**. Ce volume a donc été également étudié et proposé au client pour sa capacité à répondre à un certain besoin sans générer un aménagement trop conséquent du foncier.

Un aménagement d'une capacité de stockage de 2 000 m³ dans ce bassin (soit une augmentation de 25% de sa capacité actuelle) permettrait de répondre à une part importante des besoins annuels pour une pluviométrie comparable à celle de la chronique disponible.

On notera néanmoins qu'au regard de la chronique pluviale disponible, ce bassin n'est pas en mesure de répondre seul à l'intégralité des besoins en eau pluviale du site.

A la suite de cette phase, seuls 2 bassins sont retenus grâce à leur performance satisfaisante pour le client.

⇒ J'ai réalisé l'interprétation des résultats pour l'ensemble des bassins et rédigé le rapport de cette phase pour le client. Pour cette phase de nombreuses explications au client ont accompagné le rendu du rapport, je suis revenu sur la méthodologie de calcul avec le client pour les points qu'il ne comprenait pas.

3.2 Phase 2 : Modélisation de journées de pluie type sur les bassins aménagés

3.2.1 Contexte et méthode de la phase 2

Cette étape porte sur la modification du modèle numérique (couplage hydrologique et hydraulique) Hydra [F] existant du site industriel. Cette modélisation prend en compte les aménagements décidés dans l'étape 1 et permet d'affiner les calculs de performances résultants de la phase 1.

La phase 2 vise à étudier le comportement des ouvrages de manière dynamique en prenant en compte la temporalité et l'intensité des apports pluviométriques, du marnage des bassins ainsi que des différents scénarios de pompage qui sont les limites de l'approche calculatoire de la phase 1.

3.2.2 Résultats de la phase 2

3.2.2.1 Détermination d'une période hydrologique représentative

Dans le but d'étudier le comportement hydraulique dynamique des différents ouvrages associés à la réutilisation des eaux de pluie (bassins d'orage et dispositifs de pompage), il a été choisi de modéliser une partie de la chronique de pluie réelle brute.

Il est alors recherché une période permettant d'observer plusieurs phases hydrologiques (périodes de temps sec, succession de petits événements pluvieux, épisode pluvieux important), il a été décidé de modéliser un mois avec une pluviométrie moyenne dans une année moyenne de la chronique d'étude.

Après l'analyse statistique complète, le mois de juillet 2008 est sélectionné car il respecte les critères suivants :

- L'année 2008 est associée à un cumul annuel proche du cumul annuel moyen sur les 25 ans considérés,
- L'ensemble des mois de juillet sur les années considérées présentent des cumuls similaires et moyen (autour de 40 mm),
- Le taux de données erronées sur le mois de juillet est inférieur à 10%

Ce mois de juillet 2008 se compose des événements pluviométriques suivants :

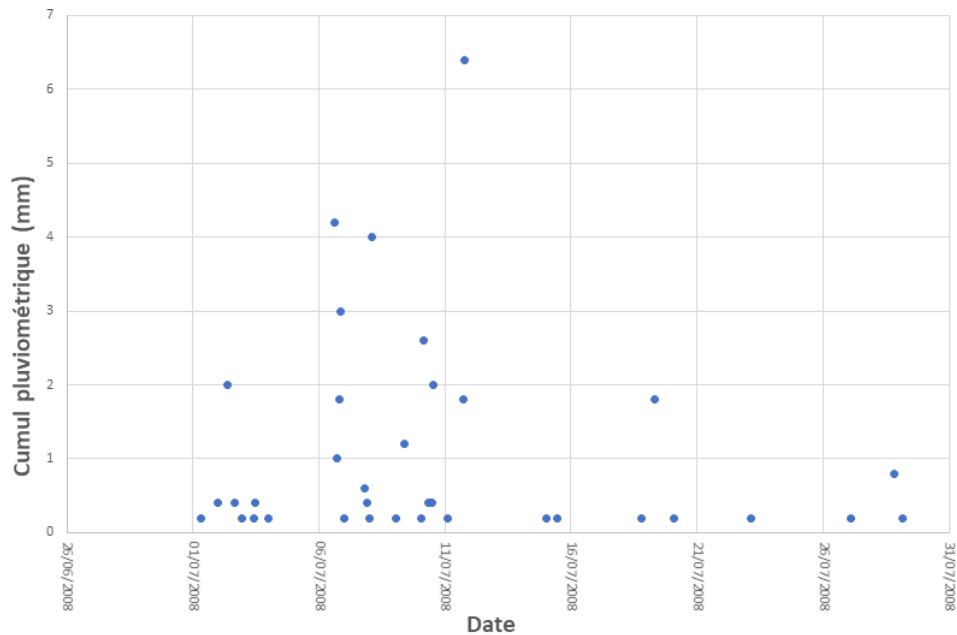


Figure 8. Evènements pluviométrique de juillet 2008

- ➔ Présence d'un pic de hauteur 6-7 mm considéré comme important sur une durée de 30 min donc évènement intense,
- ➔ Périodes sèches de plusieurs jours,
- ➔ Plusieurs évènements moins importants (entre 1 et 5 mm).

3.2.2.1 Modélisation : sensibilités sur le débit de pompage

A la suite des résultats de la phase précédente, le choix d'un aménagement de 2000 m³ de réserve a été modélisée sur le modèle numérique du site d'étude. Cette modélisation numérique permet de simuler plusieurs débits de pompage afin d'étudier le marnage des bassins cible et réaliser un diagnostic sur les modalités de pompage vers le bassin d'eau douce.

Dans cette phase de modélisation, on considère que les bassins d'eaux pluviales collecteront au maximum 1 000 m³ d'eau pluviale chaque jour. Ce volume détermine alors le volume maximal journalier pompable vers les bassins d'eaux douces cibles.

3 modalités de pompage ont été étudiées :

- 2h de pompage par jour, à un débit constant de 500 m³/h,
- 10h de pompage par jour, à un débit constant de 100 m³/h,
- 24h de pompage par jour, à un débit constant de 41.7 m³/h.

L'étude de faisabilité considérera dans un premier temps un pompage journalier aléatoire et constant (entre 00h et 02h pour le premier cas).

La figure ci-dessous représente le volume dans le bassin de rétention n°4 en fonction du temps pour les 3 modes de pompage présentés plus haut :

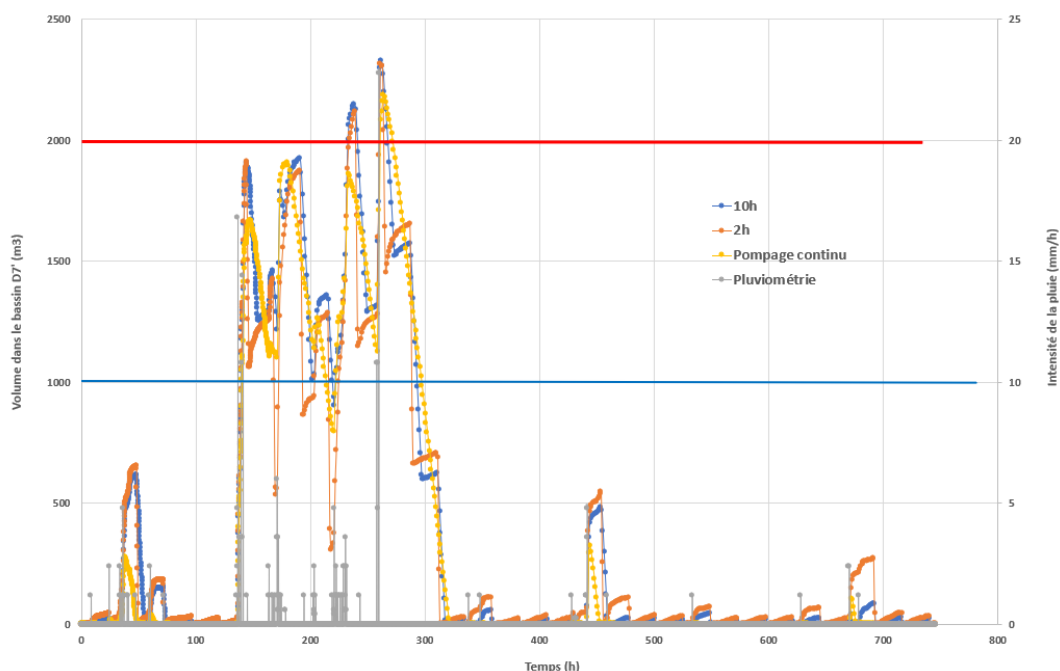


Figure 9. Sensibilité sur le débit de pompage – Evolution du volume dans le bassin 4

Les conclusions de cette modélisation sont les suivantes :

- Les courbes sont très similaires pour les trois pompages. Cette tendance est explicable par des apports rapides et simultanés des bassins versants en amont du bassin 4.
On notera néanmoins qu'un pompage lent mais continu ne permet pas de maintenir un niveau bas pendant le pic de crue d'autant plus quand ce pompage démarre à 00h.
- Le mois de juillet 2008 ne génère que deux débordements par la surverse du bassin sur des temps courts (environ 300 m³ de débordés sur tout le mois). Ce comportement témoigne de la pertinence du volume sanctuarisé (2 000 m³) et du volume de pompage journalier (1 000 m³),
- Le volume de 1 000 m³ (consommation max d'eau pluviale par les bassins d'eau douce) est souvent dépassé dans le bassin pluvial. Une réduction du volume sanctuarisé génèrerait alors d'importantes pertes par la surverse du bassin d'eau pluviale.
- Les débits d'apports issu de la pluviométrie sont du même ordre de grandeur que les débits de pompages modélisés confortant la solution de pompage pour ces bassins.

Un pompage plus complexe, régulé par la cote d'eau dans le bassin de rétention et affiné sur le volume disponible dans le bassin d'eau douce ne sera pas étudié à ce stade mais semble être intéressant à aborder dans le cadre d'études plus détaillées.

⇒ J'ai pu suivre la réalisation de cette phase en débattant avec mes collègues sur la méthodologie et l'approche à prendre autour de cette phase d'étude.

3.3 Phase 3 : Analyse de sensibilité sur les bassins aménagés

3.3.1 Contexte et méthode de la phase 3

Cette étape se porte sur la sensibilité du modèle sur les hypothèses et les données utilisés à la phase 1. Cette phase se porte sur l'analyse de l'impact de deux paramètres :

- La pluviométrie choisie : dans une optique de prise en compte de la menace des changements climatiques, la méthodologie de la phase 1 sera réutilisée avec deux chroniques futuristes de pluie de la DRIAS. Une comparaison, même limitée, sera effectuée avec les résultats de la phase 1 reprenant les dynamiques actuelles de pluie.
- Les coefficients de ruissellement : le test de sensibilité sur le choix du coefficient de ruissellement se fera en faisant évoluer celui des surfaces perméables de 0.1 à 0.3.

3.3.2 Résultats de la phase 3

3.3.2.1 Présentation de la méthodologie des RCP

Dans le but d'étudier la faisabilité et la disponibilité de la ressource en eaux pluviales dans le futur, une futurisation de la pluviométrie a été réalisée sur le site à l'horizon 2100 pour intégrer le changement climatique.

Afin de répondre à cet objectif, le client nous a fourni les données de modélisation du projet DRIAS (Donner accès aux scénarios climatiques Régionalisés français pour l'Impact et l'Adaptation de nos Sociétés et environnements). Ces données sont basées sur des simulations climatiques régionales qui répondent à des forçages basés notamment sur les émissions de gaz à effet de serre.

Dans le cadre de cette étude, le client souhaite étudier 2 scénarios [1][2]:

- RCP 4.5 – modèle CNRM-ALADIN63 : ce scénario décrit une voie intermédiaire dans laquelle les émissions continuent de croître pendant quelques décennies, se stabilisent avant la fin du XXI^e siècle, puis décroissent à un rythme modéré. Dans cette situation, le forçage radiatif atteint 4.5 W/m² d'ici 2100 soit une évolution moyenne de 2°C sur l'ensemble du globe. Ce scénario a été établi sur la base du modèle ALADIN réalisé par le CNRM (Centre National de Recherches Météorologiques).
- RCP 8.5 - modèle ICRP-RegCM4-6 : ce scénario décrit un futur pessimiste où aucune politique de réduction des gaz à effet de serre n'est mise en place. Il est ainsi prévu une constante évolution du forçage radiatif atteignant 8.5 W/m² en 2100 et continuant son augmentation les années suivantes, conduisant ainsi à une augmentation des températures allant, en moyenne, jusqu'à 5°C sur l'ensemble du globe. Ce scénario a été établi sur la base du modèle réalisé par l'ICRP (International Commission On Radiological Protection).

3.3.2.2 Choix des hypothèses d'études

Avant de débiter l'étude sur les ces modèles RCP, il semble important de mettre en avant les limites quant à l'appropriation de ces jeux de données. L'utilisation des modèles RCP de la DRIAS est encadrée par des

contraintes liées aux méthodes de modélisation de ces données. L'ensemble de ces remarques sont rappelés dans l'annexe [D]

Les données d'entrées des scénarios RCP fournissent des données pour 15 points géographiques situés dans un rayon de 30 km autour du site d'étude.

Plusieurs approches ont été considérées quant au point de mesure à choisir :

- 1) Moyenne pondérée par la distance des valeurs des 15 points,
- 2) Point le plus proche du site,
- 3) Moyenne pondérée sur les 4 points les plus proches du littoral.

Il est connu que les précipitations sont généralement moins fréquentes et moins abondantes sur la frange littorale .

→ Cela nous amène à ne pas retenir l'approche 1

Nous avons également comparé la pluviométrie annuelle réelle de 2006 à 2016 aux projections RCP 4.5 et 8.5 sur la même période. L'analyse montre que les 4 points géographiques RCP proches du littoral possèdent les mêmes écarts à la pluviomètre réelle.

→ Cela nous amène à ne pas retenir l'approche 3

→ Nous retenons l'approche 2 utilisant le point le plus proche du site pour la suite de cette étude.

L'utilisation des mêmes tableaux de calculs que pour la phase 1 entraînent également l'utilisation des mêmes hypothèses de travaux présentées au §3.1.2.1

3.3.2.3 Résultats pluviométrie

Les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5, détaillés dans l'onglet « Chroniques journalières » des tableurs, se caractérisent de la façon suivante :

- Les chroniques traitées comportent 9 497 jours, soit 26 ans s'étalant sur la période 2040-2065.

	Chronique réelle du site (1991-2016)	RCP 4.5 (2040-2065)	RCP 8.5 (2040-2065)
Hauteur minimum de pluie annuelle (en mm)	323	674	588
Hauteur maximum de pluie annuelle (en mm)	1026	1110	1345
Hauteur moyenne de pluie annuelle (en mm)	718	856	928

Tableau 4. Comparaison des hauteurs de pluie annuelle entre la chronique réelle et les scénarios RCP

Les scénarios de la DRIAS prévoient une pluviométrie annuelle moyenne plus importante sur le site d'étude sur la période 2040-2065. En comparaison avec la période actuelle, le cumul annuel moyen augmente de 20% pour le RCP 4.5 et de 30% pour le RCP 8.5.

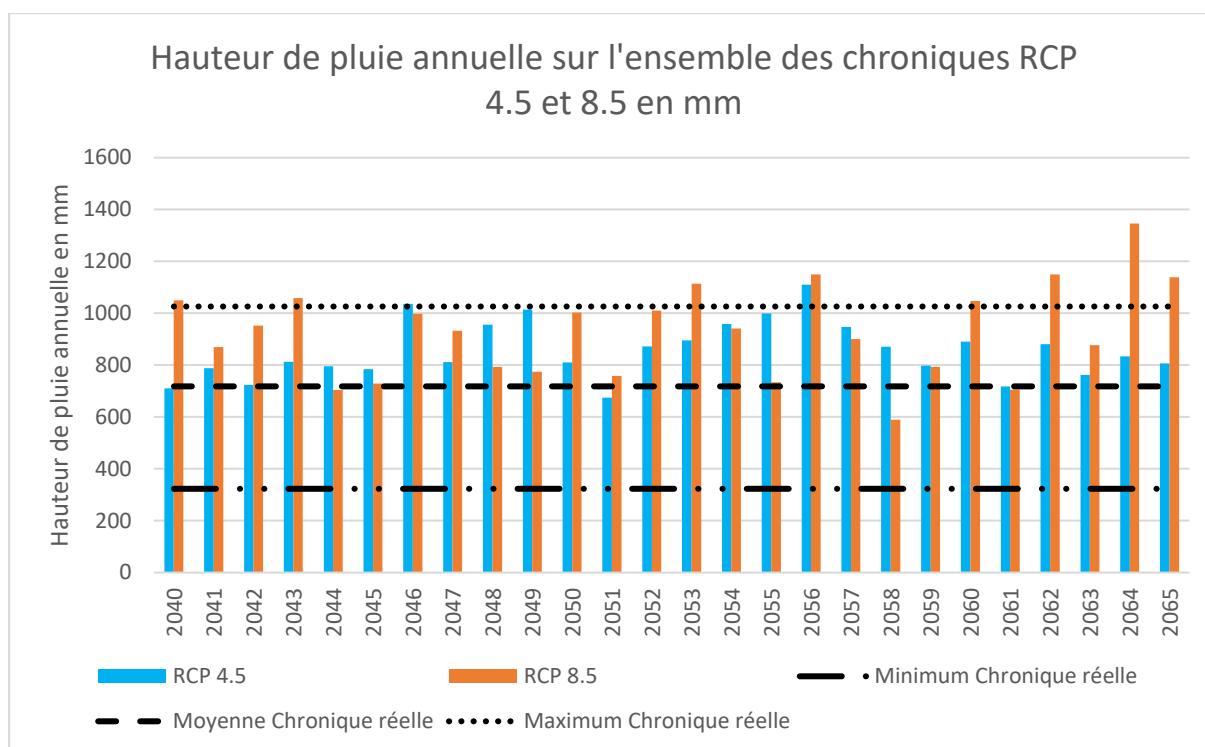


Figure 10. Comparaison des hauteurs de pluie annuelle entre les chroniques RCP 4.5, RCP 8.5 et la chronique réelle

De manière analogue aux résultats annuels, les scénarios RCP se traduisent par une augmentation des hauteurs moyennes de pluie mensuelles et journalières. Des écarts-types importants et croissants entre les scénarios RCP et la chronique réelle sur les hauteurs mensuelles montrent un accroissement de l'hétérogénéité des mois de l'année.

a) Echelle saisonnière

A l'échelle saisonnière et d'après la littérature [1], les scénarios RCP prévoient des évolutions importantes sur la pluviométrie :

- Une hausse d'environ 30% de la hauteur de pluie saisonnière est à attendre sur les périodes hivernales entre la période actuelle et la période futuriste.
- Une baisse drastique (de l'ordre de 50%) est attendue pour les périodes estivales.

Le graphique ci-dessous présente les hauteurs de pluies journalières moyennes sur les saisons de la chronique RCP 4.5 et RCP 8.5

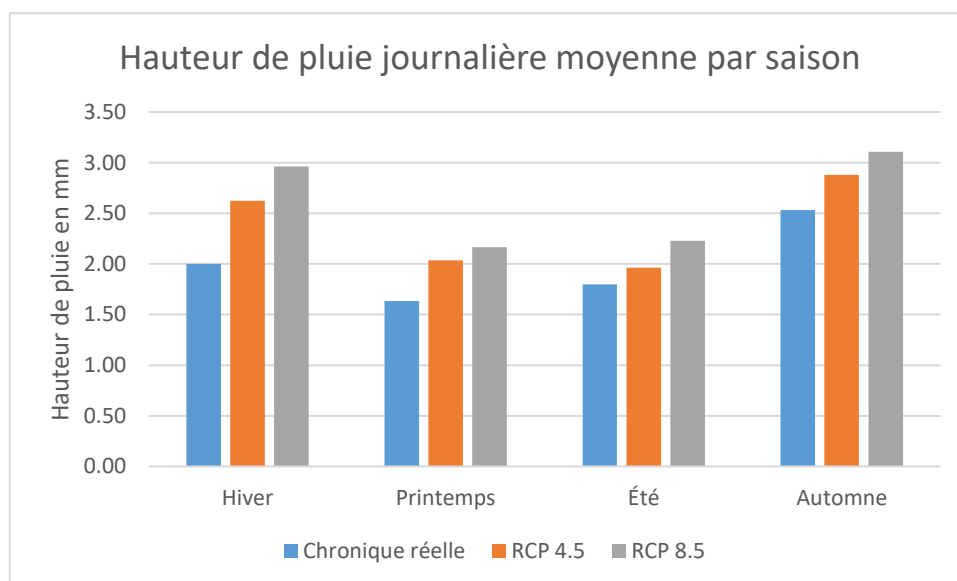


Figure 11. Hauteur de pluie journalière moyenne par saison sur le point le plus proche du site - période 2040-2065

Comme prévu dans la littérature, une augmentation des hauteurs de pluies en hiver est présente sur notre période d'étude avec un accroissement de 50% entre la chronique réelle et le RCP 8.5. On remarque également que la diminution pluviométrique attendue pour la période juin-août sur la France métropolitaine n'est pas observée sur le site d'étude sur la période d'étude 2040-2065, cette tendance est même inversée (+20% entre la chronique réelle et le scénario RCP 8.5). Il est possible que cet écart dans les tendances d'évolution soit issu de l'exploitation d'un unique modèle pour chacun des scénarios sur une plage de temps restreinte.

b) Analyse des périodes de temps sec

Le tableau ci-dessous présente, pour les 3 chroniques considérées, la moyenne des périodes de temps sec maximale observée pour chaque année de la chronique et la part de temps sec sur l'intégralité de la chronique.

	Chronique réelle (1991-2016)	RCP 4.5 (2040-2065)	RCP 8.5 (2040-2065)
Plus grande période de temps sec (en jours)	40*	26	36
Moyenne de la période max de temps sec annuelle (en jours)	14.2	14.5	16.7
Proportion de temps sec (en %)	47%	48%	49%

Tableau 5. Tableau de comparaison des périodes de temps sec entre la chronique réelle et des scénarios RCP

*Cette donnée de 40 jours a été analysée en phase 1, elle ne nous permet pas de comparer de façon précise la chronique réelle avec les résultats des RCP en raison des erreurs fréquentes du pluviomètre du site.

La part de jours de temps sec reste du même ordre de grandeur entre la chronique réelle et les scénarios RCP sur la période 2040-2065.

Néanmoins, dans le cas d'une étude de la répartition statistique des durées des périodes de temps sec pour les scénarios de la DRIAS sur la période 2040-2065, les représentations (box-plot) [E] permettent une analyse plus fine.

La « Upper Whisker », traduit la valeur limite de l'homogénéité de la répartition statistique. Elle permet d'affirmer que les périodes de temps sec sont généralement :

- Inférieures à 7 jours pour la chronique réelle ;
- Inférieures à 9 jours pour le scénario RCP 4.5 ;
- Inférieures à 12 jours pour le scénario RCP 8.5.

De plus, on observe pour ces chroniques futuristes un plus grand nombre de valeurs sortant de leurs dynamiques générales respectives (plus grande fréquence d'évènements extrêmes).

c) Analyse de la répartition des journées de pluie sur les scénarios RCP

En ce qui concerne l'intensité des jours de pluies, l'analyse des données des chroniques des scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5 permet de caractériser les possibles apports sur le site.

Sur l'ensemble des chroniques, on note une répartition statistique homogène des événements pluvieux sur le site. 75% des hauteurs de pluie journalières sont inférieures au 3^e quartile 5.9 mm pour le RCP 4.5 et 6.6 mm pour le RCP 8.5.

Avec le même constat que l'étude statistique sur la chronique réelle, les scénarios RCP prévoient des événements ponctuels et importants sur le site d'étude. En considérant qu'une pluie de 14 mm/jour est une pluie importante pour ce site (cette valeur correspond à la moyenne des « Upper Whisker » des scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5), on remarque que les scénarios RCP prévoient des journées à la marge des dynamiques habituelles du site :

	Chronique réelle (1991-2016)	RCP 4.5 (2040-2065)	RCP 8.5 (2040-2065)
Nombre de jours sortant des dynamiques du sites _ supérieur à 14 mm/jour (en %)	3.9%	3.3%	4.2%
Hauteur maximum de pluie journalière (en mm)	45.8	68	55
Hauteur de pluie journalière moyenne (en mm)	0.44	0.53	0.61

Tableau 6. Tableau de comparaison des valeurs extrêmes de la chronique réelle et des scénarios RCP

Ces évènements, sortant des dynamiques homogènes du site, représentent entre 3% et 4% des jours des chroniques.

Ces pluies présentent des hauteurs de pluie 6 à 22 fois supérieures aux moyennes journalières des chroniques étudiées. Nous observons que le scénario RCP 8.5 prévoit un plus grand pourcentage de pluies extrêmes sur le site d'étude par comparaison avec le RCP 4.5.

On note également que la hauteur maximum de pluie journalière sur le scénario RCP 8.5 est inférieure à celle du RCP 4.5 sur la période 2040-2065.

Pour conclure, l'ensemble de ces résultats montrent une augmentation des durées des périodes de temps sec et de l'intensité des épisodes pluvieux sur les scénarios de la DRIAS sur la période 2040-2065.

3.3.2.4 Impact sur les performances bassins

La présentation des résultats se fera, ici, sur le bassin 1. Ce bassin possède également les meilleures performances parmi ceux étudiés dans cette phase. La présentation des résultats reste similaire pour l'ensemble des bassins.

Ci-dessous le comparatif des performances du bassin 1. Ces données correspondent aux résultats de la modélisation pour une capacité de stockage de 2000 m³ et d'un besoin annuel de 170 000 m³ avec pompage journalier fixé à 465 m³/jour et à 1000 m³/jour.

	Bassin 1 (Besoin de 170 000 m ³ /an avec pompage de 465 m ³ /jour)			Bassin 1 (Besoin de 170 000 m ³ /an avec pompage de 1 000 m ³ /jour)		
	Chronique réelle 1991-2016	RCP 4.5 2040-2065	RCP 8.5 2040- 2065	Chronique réelle 1991-2016	RCP 4.5 2040- 2065	RCP 8.5 2040- 2065
Cumul annuel moyen sur les années de la chronique en mm	711	856	928	711	856	928
Proportion de temps sec sur la chronique (%)	47%	48%	49%	47%	48%	49%
Taux de satisfaction du besoin annuel (%) <i>Par rapport au 170 000 m³/an</i>	67%	74%	70%	97%	109%	108%
Nombre de jours de déficit (j)	3 495	2 957	3 284	5 745	5 559	5 522
Nombre de jours d'équilibre ou de surplus (j)	5 598	6 540	6 211	3 246	3938	3 843
Part des journées dont le besoin est satisfait (%)	61%	69%	65%	36%*	41%*	40%*
* : en considérant un pompage de 1000 m ³ /j						

Tableau 7. Comparaison des valeurs de performances du bassin 1 entre la chronique réelle et les scénarios RCP

Les scénarios RCP prévoient une satisfaction plus importante du besoin annuel en comparaison de la chronique réelle. Les hauteurs de pluies journalières plus importantes attendues pour les scénarios RCP permettront une meilleure satisfaction des besoins annuelles mais également des besoins journaliers.

Le taux de satisfaction est plus important sur la période 2040-2065 avec la projection RCP 4.5 par rapport au RCP 8.5.

La différence s'explique par les dynamiques des pluies des scénarios RCP, comme expliqué au §3.3.2.3. Le scénario RCP 8.5 prévoit, à la marge, des périodes de temps sec plus longues en moyennes et plus de journées extrêmes (hauteur journalière de pluie > 14mm).

⇒ J'ai réalisé l'interprétation des résultats sur la pluviométrie et sur les performances pour l'ensemble des bassins et rédigé le rapport de cette phase pour le client. J'ai pu réaliser cette phase en quasi-autonomie, j'ai pu donc organiser mon temps de travail et mes objectifs journaliers sur cette phase. Il est à noter que de nombreuses hypothèses ont été posées et des réflexions ont été faites sur l'utilisation de ces données RCP [D]. J'ai également participé à un entretien téléphonique avec Antoine Colmet Daage, Docteur en futurisation des pluies.

3.3.2.5 Sensibilité sur les coefficients de ruissèlement

Cette analyse concerne l'impact du choix des coefficients de ruissèlement dans l'étude et sur les résultats de performances des bassins de rétention.

Cependant aucune réglementation n'existe sur l'estimation de ce coefficient. Certains abaques permettent cependant d'obtenir des valeurs pour les surfaces perméables :

Couverture végétale	Morphologie	Pente %	Terrain sable grossier	Terrain limoneux	Terrain argileux
Bois	presque plat ondulé montagneux	p < 5	0,10	0,30	0,40
		5 ≤ p < 10	0,25	0,35	0,50
		10 ≤ p < 30	0,30	0,50	0,60
Pâturage	presque plat ondulé montagneux	p < 5	0,10	0,30	0,40
		5 ≤ p < 10	0,15	0,36	0,55
		10 ≤ p < 30	0,22	0,42	0,60
Culture	presque plat ondulé montagneux	p < 5	0,30	0,50	0,60
		5 ≤ p < 10	0,40	0,60	0,70
		10 ≤ p < 30	0,52	0,72	0,82

Tableau 8. Abaque de coefficients de ruissèlement - GUIDE SETRA - Assainissement routier (2006)

Le site d'étude est caractérisé par une diversité de natures, d'occupations du sol et de pentes. Les bassins versants en amont des bassins de rétention sont principalement des pâturages à pentes variables et des cultures très peu pentues.

Le coefficient de ruissellement des surfaces perméables a été pris à :

- 0.1,
- 0.2,
- 0.3.

Les tableaux ci-dessous présentent les résultats importants de l'étude à la lumière d'une évolution du coefficient de ruissèlement des surfaces perméables. Ces résultats reprennent les indicateurs de performances et non les indicateurs sur la pluviométrie qui n'est pas impactée par ce changement de coefficient.

Les taux de performance valent pour une capacité de stockage de 2 000 m³ dans le bassin de rétention considéré et une consommation journalière d'eau pluviale de 465 m³/jour.

	Bassin 1			Bassin 4		
	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3
Volume non valorisé moyen (m ³ /jour)	209	392	586	55	108	171
Volume non valorisé moyen (m ³ /an)	76 265	143 272	214 199	20 067	39 605	62 448
Volume valorisé moyen (m ³ /jour)	286	313	329	221	253	376
Volume valorisé moyen (m ³ /an)	104 335	114 257	120 259	80 894	92 554	100 866
Taux de réponse au besoin annuel (%)	61%	67%	71%	48%	54%	59%
Nombre de jours de déficit (j)	4 086	3 495	3 140	5 601	4 840	4 313
Nombre de jours d'équilibre ou de surplus (j)	5 007	5 598	5 953	3 492	4 253	4 780
Part des journées dont le besoin est satisfait par an (%)	55%	62%	65%	38%	47%	53%

Tableau 9. Tableau de comparaison des résultats de performance des bassins après modification du coefficient de ruissèlement des surfaces perméable

Le tableau ci-dessus met en avant l'impact important du choix du coefficient de ruissèlement dans l'étude. Le choix d'un coefficient de ruissèlement de 0.3 plutôt qu'un coefficient de 0.1 va dans le sens d'une considération plus imperméable du site d'étude. Ce choix entraîne des évolutions de l'ordre de 10% sur la capacité des bassins à répondre au besoin annuel.

Le coefficient de 0.2 pour les surfaces perméables est donc le plus pertinent pour cette étude :

- Il influence de façon pénalisante les volumes d'eau valorisable dans les bassins de rétention (un coefficient de ruissèlement de 0.1 serait moins pertinent au regard de l'occupation réelle des sols sur l'emprise du site),
- Il est cohérent avec les coefficients choisis pour l'ensemble des études hydrauliques menées précédemment sur le site d'étude.

Le coefficient de ruissèlement associé aux surfaces imperméables est fixé à 0.9 et n'est pas soumis à discussion dans le cadre de cette étude pour les raisons suivantes :

- Un coefficient de ruissèlement de 1 étant irréaliste,
- Il est cohérent avec les coefficients choisis pour l'ensemble des études hydrauliques menées précédemment sur le site d'étude.

⇒ J'ai également réalisé l'interprétation des résultats sur l'impact du choix de coefficient du ruissellement sur les performances des bassins et rédigé le rapport de cette phase pour le client.

3.4 Phase 4-5 : Etude du transfert de l'eau de pluie vers le bassin d'eau douce et impact économique de ces aménagements

3.4.1 Contexte et méthode de la phase 4-5

Ces étapes portent sur l'étude du transfert de l'eau de ruissellement stockée vers le bassin d'eau douce. En reprenant les aménagements décidés dans la phase 1, il est choisi un cheminement (tracé et altimétrie), un type de matériau de conduite, un système de pompage ainsi qu'un mode de fonctionnement pour ce système de transfert d'eau.

Ce tracé est conforté par l'étude des réseaux concessionnaires sur le site.

Ces étapes portent également sur l'évaluation économique des aménagements des bassins existants ou nouveau et le coût de transfert vers le bassin d'eau douce avec une marge de 50%.

3.4.2 Résultats de la phase 4-5

Les eaux recueillies dans les réserves sanctuarisées des bassins d'orage 1 et 4 sont acheminées vers le bassin d'eau douce par pompage.

Pour les bassins 1 et 4, il est proposé, dans le but de minimiser les aménagements et les contraintes de travaux, de se raccorder à la canalisation existante en provenance du cours d'eau. Après discussion avec le client, cette canalisation est utilisée uniquement de nuit, sur des créneaux horaires courts.

Aux vues de ces informations, les travaux suivants ont été proposés pour les deux bassins :

Bassin :

- Terrassement de 2000 m³ pour la capacité de stockage,
- Imperméabilisation de la réserve pour annihiler toute infiltration dans le sol,
- Evacuation des matériaux de terrassement
- Création d'accès temporaire en fond de bassin

Station de pompage :

- Terrassement supplémentaire pour la mise en place du puisard où seront situées les pompes,
- 2 pompes de 100 m³/h
- Capteur de niveau dans le cas d'un asservissement du pompage
- Débitmètre
- Armoire et raccordement électrique
- Accès fixe pour la maintenance des pompes

Refoulement :

- Mise en place du collecteur de refoulement en PRV en DN 300 à une profondeur de 1 m (fourniture, terrassement, pose, remblai, mise en décharge)

- Piquage sur la canalisation existante et mise en place d'un clapet anti-retour
- Essai annexe de mise en fonctionnement et d'étanchéité

Il est à noter que dans le cadre de cette étude de faisabilité, une marge de 50% pour les aléas est attendue sur l'estimation des coûts de travaux.

Des différences sont également notables entre les deux bassins :

- Pour le bassin 1, 30 ml doit être rajouté sous la voirie (par forage) et un rehaussement du fossé proche est à prévoir pour consolider l'aménagement

A titre informatif, les travaux sur le bassin 1 sont estimés à 660 000 euros (hors-taxes).

⇒ *J'ai pu suivre la réalisation de cette phase et m'informer, auprès de documentation et de retours d'expérience, du coût type de certains travaux.*

4 ETUDE 2 : SCHEMA DIRECTEUR DE GESTION DE L'EAU PLUVIALE DE TOURS METROPOLE VAL DE LOIRE

La présente mission a été commandée par Tours Métropole Val de Loire. A la suite d'une pré-étude réalisée par Naldéo en 2018, cette étude consiste en la réalisation d'un schéma directeur et de zonage des eaux pluviales sur le territoire de 22 communes de la métropole représentées ci-dessous.

La collectivité doit répondre aux enjeux suivants :

- Assurer la sécurité publique des personnes et des biens : prévenir et minimiser les inondations par une meilleure gestion des écoulements (collecte par les réseaux publics et gestion des ruissellements) ;
- Veiller à la protection du milieu naturel : pour les pluies fréquentes, limiter les apports de pollution au milieu naturel en retenant les eaux à la source ;

- Penser l'aménagement du territoire en accord avec la maîtrise des eaux pluviales : concilier la dynamique des projets urbains et les objectifs de maîtrise des risques et impacts.

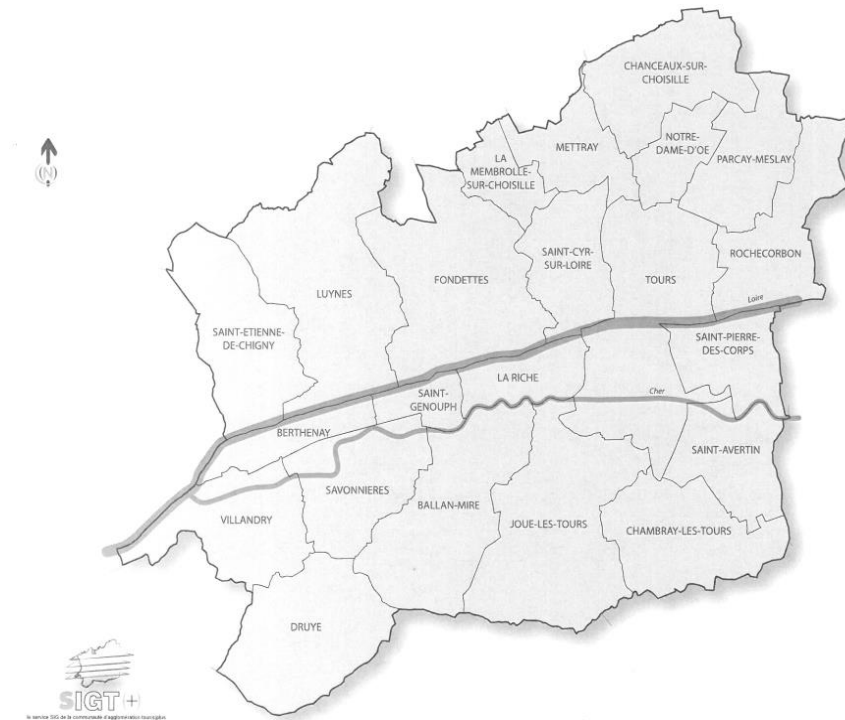


Figure 12. Carte des communes de Tours Métropole Val de Loire

Face à ces enjeux, le schéma directeur aura pour rôle :

- Parfaire la connaissance patrimoniale du territoire : identifier l'ensemble du patrimoine d'assainissement eaux pluviales avec un recensement précis des ouvrages et des réseaux ;
- Etablir un diagnostic de l'état de fonctionnement tant au niveau structurel que fonctionnel ;
- Caractériser l'impact des ruissellements sur la qualité des milieux : étudier les pollutions engendrées par les écoulements pluviaux ;
- Être un véritable outil à la décision et à la planification pour le développement de l'urbanisation.

Cette étude s'axera sur 6 étapes s'étalant sur 2 ans :

- Etape 1 : Collecte et Analyse des données existantes – Cette phase permet de définir l'état des connaissances et des données disponibles ainsi que de la vérification des plans de réseaux en programmant des visites sur le territoire de la métropole. Un inventaire des points noirs et autres disfonctionnement hydrauliques sur le territoire de la métropole sera effectué pour mettre en évidence les faiblesses de réseaux. Cette phase débute également les études sur les écoulements et les découpages des bassins versants. Ces informations permettant, par la suite, d'établir une synthèse des caractéristiques du milieu récepteur, de sa capacité d'infiltration à l'évaluation de ses charges polluantes.
- Etape 2 : Modélisation des réseaux, campagnes de mesures et calage – Cette phase consiste en la réalisation des mesures sur le réseau avec pour objectif la modélisation de ceci sur Hydra [F].

- Etape 3 : Etude diagnostique actuelle et future – Cette phase consiste à réaliser un diagnostic actuel et futur du fonctionnement hydraulique des réseaux pluviaux et unitaires à l’aide des modèles calés et validés de la phase 2 ainsi que des pluies projets à modéliser. Il sera modélisé l’impact des projets d’urbanisme futurs sur les bassins versants et les réseaux de la métropole.
- Etape 4 : Schéma directeur pluvial métropolitain – Cette phase permet, à l’aide des conclusions de la phase 3 ainsi que les enjeux identifiés en phase 1, de définir les actions à mener ainsi que l’établissement du programme d’actions pour la métropole. Ce programme d’action devra permettre de définir la mise en œuvre de ces différentes actions de façon à approcher les objectifs et de fournir à Tours métropole Val de Loire les éléments de programmation à court, moyen et long terme.
- Etape 5 : Dossier de déclaration d’antériorité des rejets pluviaux – Cette phase consiste en la régularisation, à la suite des lois soumettant à déclaration les installations impactant le mode d’écoulements des eaux de pluies, de la situation administrative des réseaux d’assainissement pluvial existants.
- Etape 6 : Zonage pluvial métropolitain – Cette phase consiste en la réalisation des plans de zonage qui feront apparaître le schéma de fonctionnement hydraulique des bassins versants, les zones où les eaux pluviales devront faire l’objet d’un traitement ainsi que les zones où prévoir la mise en place de techniques alternatives et cela en cas de pluies courantes, fortes ou encore exceptionnelles.

Mon stage a porté sur la phase 1 avec l’organisation et la participation des visites terrains et une étude sur les charges polluantes sur le réseau d’eaux pluviales.

4.1 Méthode, déroulé et premiers résultats du pré-diagnostic

4.1.1 Organisation et restitution des visites terrains

La présentation de l’organisation des visites terrains se fera, ici, sur la ville de St-Genouph. A ce jour, 18 des 22 communes de Tours Métropole Val de Loire ont été visitées. L’organisation des visites ainsi que la forme des fiches de restitution restent les mêmes pour l’ensemble des villes.

Avant la visite sur le territoire de la commune, un rendez-vous en mairie avec les acteurs et les élus est organisé pour clarifier en amont différents points :

- L’exhaustivité de l’inventaire de pré-étude sur le nombre et la position des possibles bassins, exutoires, ouvrages de traitements, poste de crue, vannes ou encore clapets.
- Faire l’état des points de vigilances et autres dysfonctionnements, structurels ou non, sur le réseau pouvant être le sujet d’une vérification par les techniciens.
- Prendre connaissances des futurs projets d’urbanisation ou travaux importants pouvant être impactant sur la stratégie de gestion de l’eau de pluie sur la commune.

Dans le cas de St-Genouph, 14 exutoires ainsi que 2 clapets ressortent de la réunion en mairie.

La préparation des journées de terrains débute par un état des données d'entrée de la commune avec un regard attentif sur la présence de plans des linéaires de réseau sur la commune.

Les informations structurales que sont les diamètres, les côtes de ces réseaux ainsi que les gabarits des fossés présents sur la commune sont également des points majeurs dont la véracité doit être vérifiés durant la visite sur la commune.

La ville de St-Genouph ne possède pas de couche SIG reprenant ces linéaires mais possède des DWG de ces tracés.



Figure 13. Exemple de planche DWG du linéaire de réseaux de la commune de St-Genouph

A partir de ces plans et en sachant que la métropole attend la vérification de près de 2000 regards sur l'ensemble des 22 communes, il est possible de débiter les visites sur le terrain. Les commentaires fait durant ces visites permettent l'élaboration d'une fiche regard permettant de caractériser le linéaire du réseau. [B]

De la même manière, l'observation des exutoires du réseau de la commune permet l'élaboration d'une fiche exutoire reprenant ces caractéristiques (diamètre, localisation, état du rejet) [C]

La ville de St-Genouph ne possède pas d'ouvrages de traitements comme des séparateurs d'hydrocarbures. Dans les autres communes cibles, ces ouvrages sont également les sujets de fiches d'identification.

La création de ces fiches ouvrages par les techniciens et les ingénieurs permettent la mise à jour d'un inventaire réalisé durant la pré-étude en 2018.

Secteur	Commune	Nom / Localisation	Ouvrage	Equipement	Quantité
2	Berthenay	Toulifault	Bassin d'infiltration aérien enherbé	Ensemble	Ensemble
2	Berthenay	Derrière le cimetière	Bassin d'infiltration aérien enherbé		
2	Berthenay	3	Ouvrage de crue	Vanne de crue automatique	1
2	Berthenay	2	Ouvrage de crue	Vanne de crue automatique	1
2	Berthenay	1	Ouvrage de crue	Vanne de crue automatique	1
2	Berthenay	4	Ouvrage de crue	Vanne de crue automatique	1

Tableau 10. Liste des ouvrages recensée par la pré-étude de Naldéo sur la commune de Berthenay

Cet inventaire permet de faire l'état des lieux des ouvrages oubliés par les techniciens dans leurs visites, et également des ouvrages visités par les techniciens et non présent sur l'inventaire (représenté ici en surbrillance violet) mettant en évidence la non-exhaustivité des données d'entrées de l'étude.

⇒ J'ai pu organiser dans cette phase différentes visites sur le territoire de la métropole et produire différents livrables et compte-rendu pour cette affaire. Être complètement indépendant sur la préparation de ces visites et avoir pu former un duo avec M. PODGORSKI a été une très bonne expérience et m'a permis de mieux saisir la réalité matérielle des ouvrages hydrauliques d'un territoire.

4.1.2 Estimation de la charge polluante aux exutoires

Cette étude consiste en l'évaluation des bassins versants les plus polluants sur la métropole dans le cadre de l'organisation de la campagne de mesure de la deuxième phase de cette affaire.

a) Définition des coefficients d'imperméabilisation

Le calcul du coefficient d'imperméabilisation est réalisé à partir de l'occupation du sol. Ces données sont récupérées à partir de la base Corine Land Cover (CLC).

Le calcul est réalisé en trois étapes :

- Définition de la couverture du territoire ;
- Affectation d'un coefficient d'imperméabilisation caractéristique à chaque type de zone (par exemple 0.85 pour les réseaux routier, 0.05 pour les forêts ou encore 0.5 pour le tissu urbain) ;
- Calcul du coefficient d'imperméabilisation pour chaque bassin versant par intersection et pondération avec la couverture du territoire.

La carte ci-dessous présente les coefficients d'imperméabilisation calculé par bassin versant.

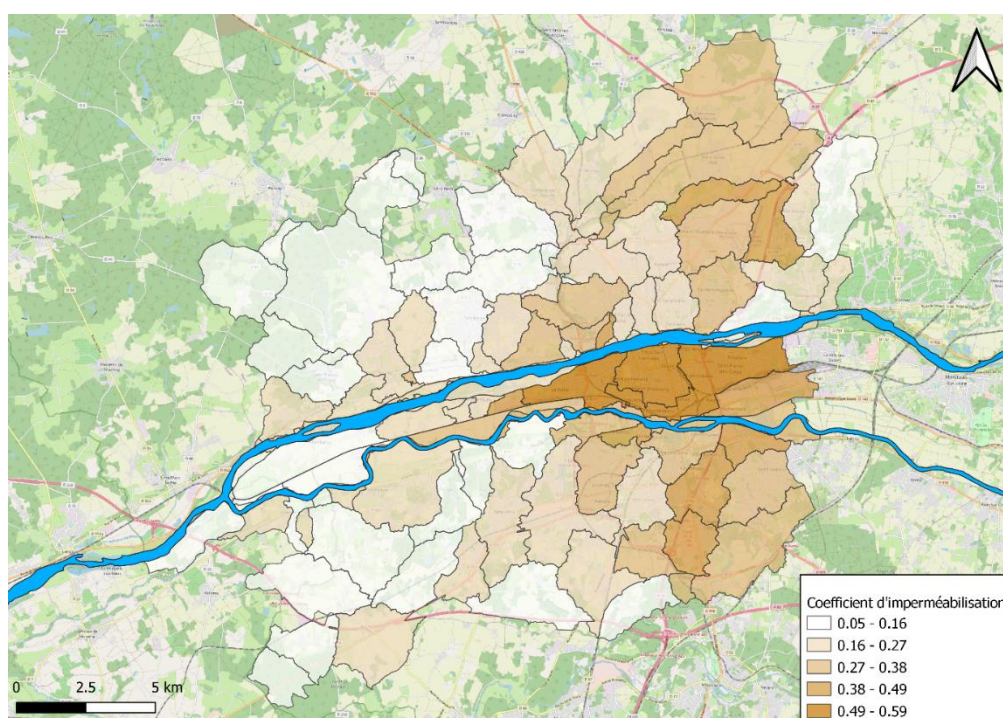


Figure 14. Coefficient d'imperméabilisation pour chaque bassin versant de la métropole de Tours

b) Définition des charges aux exutoires

Le découpage des bassins versants et les plans d'occupations des sols sur le territoire a permis de définir le type de territoire : rural, pavillonnaire, urbain et industriel.

Cette partie estime différent type de pollution récoltable par le ruissellement des eaux de pluies, cette pollution mobilisable, exprimé en kg/ha, est défini sur les différents types de sols à l'aide du tableau suivant :

Occupation du sol	MES (kg/ha)	DBO (kg/ha)	DCO (kg/ha)	NTK (kg/ha)
Type rural	18	2	6	0.3
Type pavillonnaire	36	4	12	0.6
Type urbain	68	8	24	1.2
Type industriel	95	10	30	1.6

Tableau 11. Pollution mobilisable pour chaque type d'occupation des sols (document interne à hydratec)

La charge polluante à l'exutoire d'un bassin versant est donc calculée à partir des pollutions mobilisables et des surfaces de chaque type d'occupation des sols. Par exemple, la charge polluante pour un bassin versant en MES est calculée ainsi :

$$CP = 18 * S_{rural} + 36 * S_{pavillonnaire} + 68 * S_{urbain} + 95 * S_{industriel}$$

Ce calcul est réalisé pour chaque type de pollution. Les cartes ci-dessous présentent les charges polluantes des bassins versants.

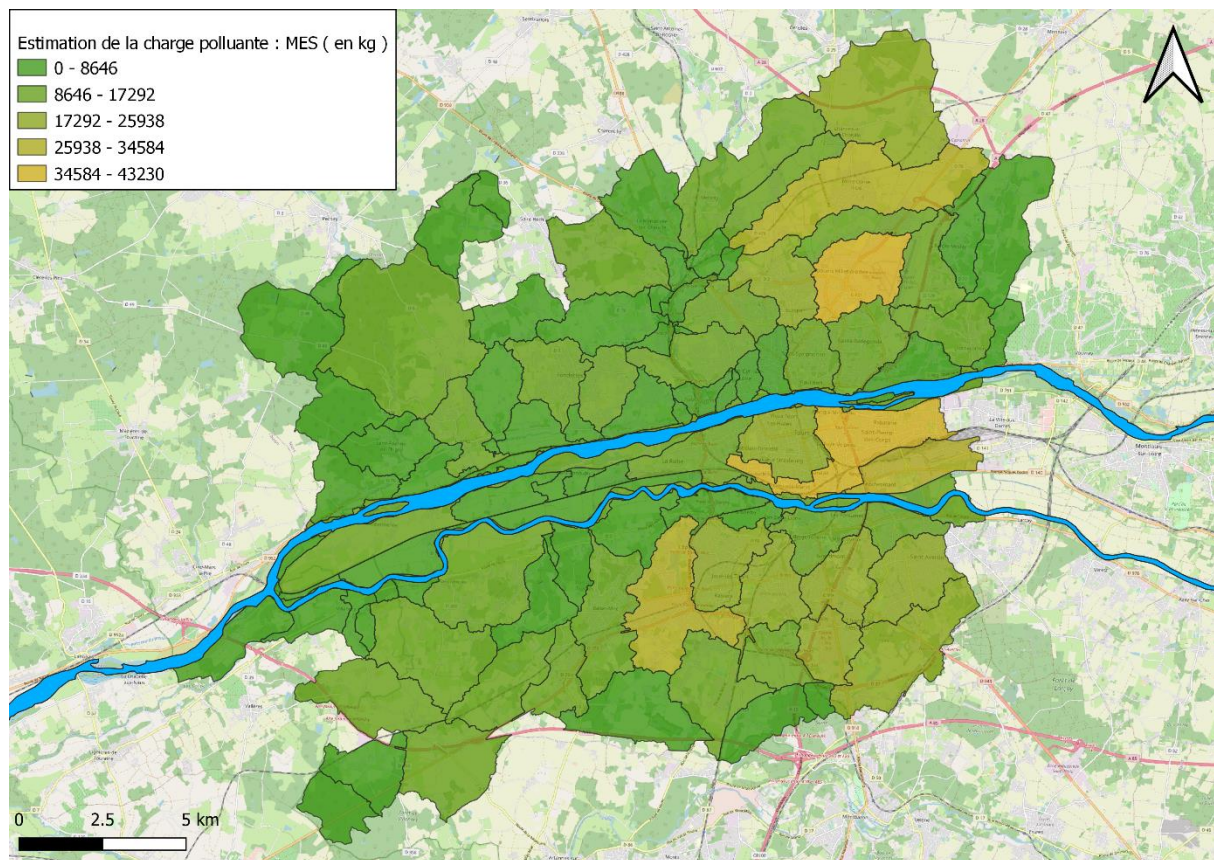


Figure 15. Estimation de la charge de MES (en kg) sur les différents bassin versants de la métropole

Les zones les plus polluées de la métropole sont les espaces à l'Est entre la Loire et le Cher regroupant le centre de Tours ainsi que la commune de St-Pierre des Corps, l'espace autour de l'aéroport sur le nord de Tours ainsi que la zone de l'hôpital de Trousseau au sud de la métropole.

5 RETOUR SUR LES APPORTS DE CETTE PERIODE DE STAGE

5.1 « Savoir-être »

Ces 3 mois en bureau d'étude ont été une excellente première expérience dans le monde du travail. Dans un cadre de bureau de 4 personnes, j'ai pu m'intégrer facilement dans les dynamiques d'équipe et j'ai pu participer activement aux diverses réunions quotidiennes au sein du bureau. Les points équipes du lundi matin m'ont permis de toujours suivre les affaires de mes collègues et de discuter sur mes objectifs et ma charge de travail de la semaine. Les réunions mensuelles m'ont permis de suivre les résultats globaux de l'agence et de l'évolution de celle-ci.

De plus, cette intégration rapide dans l'équipe m'a permis de suivre également le processus de recrutement d'un nouvel ingénieur dans l'équipe qui nous a rejoint 1 mois après le début de mon stage.

Dans le cadre de ce stage, j'ai également dû travailler en équipe sur certaines études. Ce travail a demandé une écoute particulière des propositions et du travail de mes collègues mais également une capacité à faire entendre et à expliquer mon point de vue.

5.2 « Savoir-faire »

La communication avec les clients reste le point majeur à améliorer pour la suite de ma carrière. Malgré mon aisance à l'oral qui s'est confirmée avec les différentes réunions avec les ingénieurs d'études que j'ai pu faire, j'ai identifié des axes de progression quant à la rédaction des rapports.

Ce stage m'a également demandé d'améliorer mes compétences de planification et d'organisation surtout dans les cadres des visites terrains sur la métropole de Tours. Dans ce cadre, j'ai dû anticiper, m'informer et préparer ces différentes journées pour pouvoir en discuter avec le technicien qui m'accompagnait. Cette partie a été parfois complexe au vu des données d'entrée incomplètes.

La capacité à appréhender ou encore proposer des outils de calcul m'a été utile durant ces 13 semaines, mon aisance sur les questions de programmation et de traitement des données m'a permis, par exemple, de proposer des alternatives de calculs sur certains problèmes (cf §3.1.2.2). J'ai également pu participer à une formation de 2 jours dans les bureaux du siège de setec hydratec à Centrale Seine à Paris 12^e. Outre la rencontre avec d'autres jeunes ingénieurs venant de diverses agences setec hydratec en France, j'ai pu me former à l'utilisation du logiciel de modélisation hydraulique Hydra [F]. Etant formé à l'utilisation de SIG, j'ai pu rapidement appréhender l'utilisation de ce logiciel.

6 ANNEXES

[A] Programme Python de calcul des périodes de temps sec

```
import csv

#Récupération des données de la chronique de pluie
file=open("/Users/thomas.charpignon/Desktop/Code/Test temps sec (python)/C2 - Copie.csv","r")
read = csv.reader(file, delimiter=";")
L=[]
for row in read:
    L.append(row)
file.close()

#Gestion et classification de ces données pour le traitement
Jour = [] ; Mois = [] ; Annee = [] ; Valeur = [] ; Saison = []
ListeSaison = ['hiver','printemps','ete','automne']

for i in range(len(L)):
```

```

if i == 0 :
    Jour.append(int(1))
    Mois.append(int(L[i][1]))
    Annee.append(int(L[i][2]))
    Valeur.append(float((L[i][3])))
else :
    Jour.append(int(L[i][0]))
    Mois.append(int(L[i][1]))
    Annee.append(int(L[i][2]))
    Valeur.append(float((L[i][3])))

for j in range(len(Mois)):
    if Mois[j] == 12 or Mois[j] == 1 or Mois[j] == 2:
        Saison.append(ListeSaison[0])
    if Mois[j] == 3 or Mois[j] == 4 or Mois[j] == 5:
        Saison.append(ListeSaison[1])
    if Mois[j] == 6 or Mois[j] == 7 or Mois[j] == 8:
        Saison.append(ListeSaison[2])
    if Mois[j] == 9 or Mois[j] == 10 or Mois[j] == 11:
        Saison.append(ListeSaison[3])

#Traitement des données et récupération des résultats
for s in ListeSaison:
    sauv = 0 ; compt = 0 ; sauv_date = [] ; date = []
    for i in range(len(Valeur)):
        date = [] ; date.append((Jour[i],Mois[i],Annee[i]))
        if Saison[i] == s:
            if Valeur[i] == 0:
                compt += 1
            else:
                if compt > sauv:
                    sauv = compt
                    sauv_date = date
                compt = 0
        else :
            if compt > sauv:
                sauv = compt
                sauv_date = date
            compt = 0
    if compt > sauv:
        sauv = compt
        sauv_date = date
    print("La plus grande période de temps sec en", s , "est de", sauv , "jours __" , sauv_date[-1])

```

[B] Exemple de fiche regard sur la commune de St-Genouph

Date de visite : 2021-06-08
Météo : Sec

Fiches d'état des ouvrages



Identification et localisation de l'ouvrage

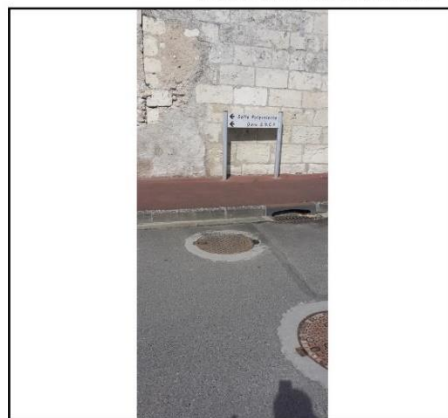
Ouvrage : R9

Fonction : Regard simple

Réseau : EP

Adresse : ST GENOUPH - RUE DE LA GARE

Domainialité : Communale
Localisation : Voirie, Accessible



Eaux usées

- Regard borgne
- Regard mixte
- Regard simple
- Boîte de branchement

Eaux pluviales

- Grille/Avaloir
- Regard borgne
- Exutoire
- Regard simple
- Boîte de branchement

Unitaire

- Grille/Avaloir
- Regard borgne
- Regard fictif
- Regard simple
- Boîte de branchement

Réseaux

- Eaux pluviales
- Fossés

Situation

Caractéristiques de l'ouvrage

Equipements :

Tampon : Rond, Articulé, Etanche, Etat : Bon
Etat du cadre : Bon
Palier : NON
Cheminée : Préfabriquée, Rond, mm, état : Bon
Radier : Cunette
Vanne :
Canne : NON
Echelons : NON

Etat structurel de l'ouvrage :

Etat général du regard : Bon
Branchements en mauvais état : NON
Affaissement : NON
Cassures : NON
Corrosion : NON
Déboisement de la cheminée : NON
Dégradation du radier : NON
Fissure : NON
Joint décalé : NON
Joint ouvert : NON
Perforation : NON
Racine : NON
Traversé de concessionnaire : NON

Etat fonctionnel de l'ouvrage :

Problème d'écoulement : NON
Hauteur de mise en charge le cas échéant (cm) : 0
Hauteur de la trace de mise en charge (cm) : 0
Quantité de dépôt : Nulles
Type de dépôts :
Trace d'EU dans un réseau EP : NON



Intérieur

Remarques du technicien :

Réf : 01648886

Tours Métropole Val de Loire
Schéma Directeur eaux pluviales

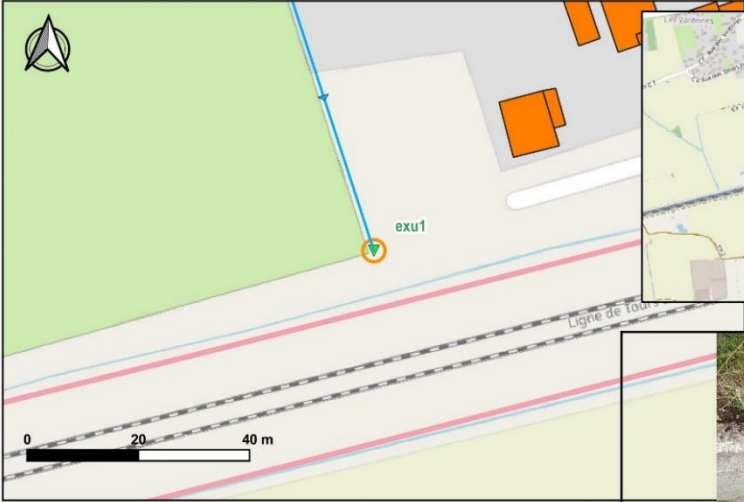
juillet 2021

[C] Exemple de fiche exutoire sur la commune de St-Genouph

Fiches d'état des exutoires

Numéro de l'ouvrage : exu1		Fonction : Exutoire	Réseau : EP
Adresse : RUE DES PETITS PRES (ST GENOUPH)		Date de visite : 2021-08-06	
Domanialité : Communale		Localisation : Voirie	Météo : Sec
		Accessibilité : Accessible	Météo des jours précédents : sec

Caractéristiques



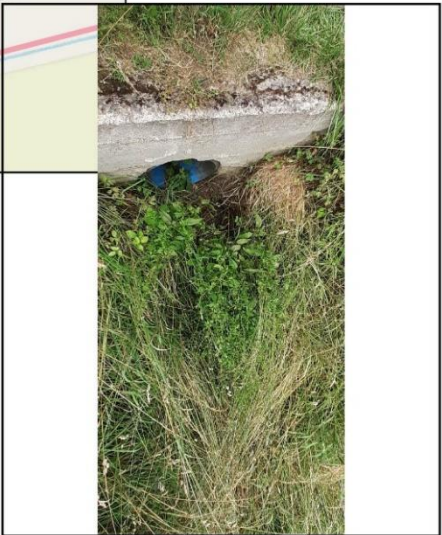
Localisation X : 1518765.62 / Y : 6244095.95
(L93 CC47)

Diamètre : DN 500 PVC

Fe : 0 m

Lieu de rejet : DOUVE SNCF

Exutoire final : CHER

Equipements :

NON Clapet anti retour	NON Grille	NON Vanne (Type :)
--	--	--

Etat du clapet : Etat de la grille : Etat de la vanne :

Etat structurel de l'ouvrage : Bon

NON Corrosion	NON Présence de perforations	NON Présence de fissures
NON Affaissement	NON Présence de racine	NON Présence de cassures
NON Cassure	NON Radier dégradé	

Etat fonctionnel de l'ouvrage :

NON Ecoulement	Cause de la mise en charge :	NON Traces d'EU dans réseau EP
Quantité de dépôts : Nulles	hauteur : (0 cm)	Débit : 0 l/s
		DCO = 0 mg/l , NH4 = 0 mg/l , DBO5 = 0 mg/l

Remarques du technicien :

Réf : 48886

SDEP TMVL

Technicien : JPK TCH

[D] Limites, contraintes et remarques autour de l'utilisation des données RCP

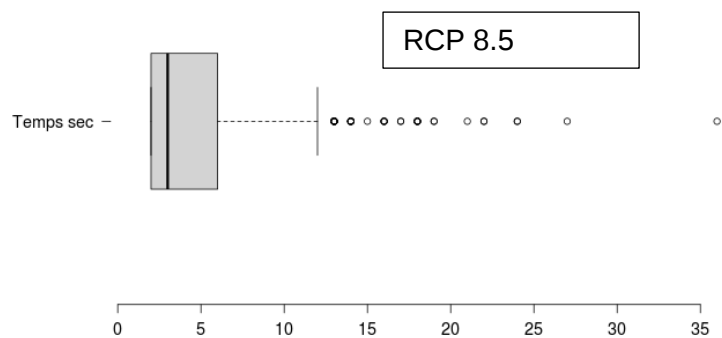
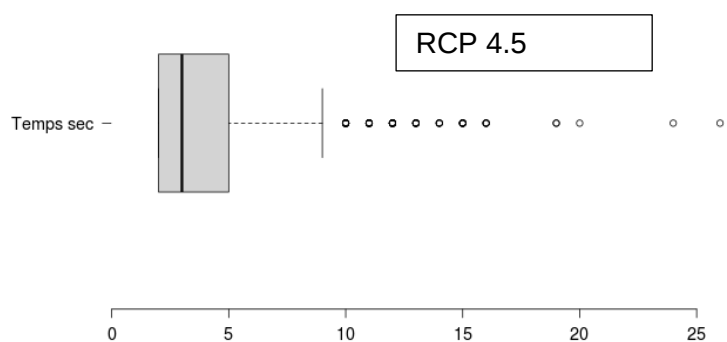
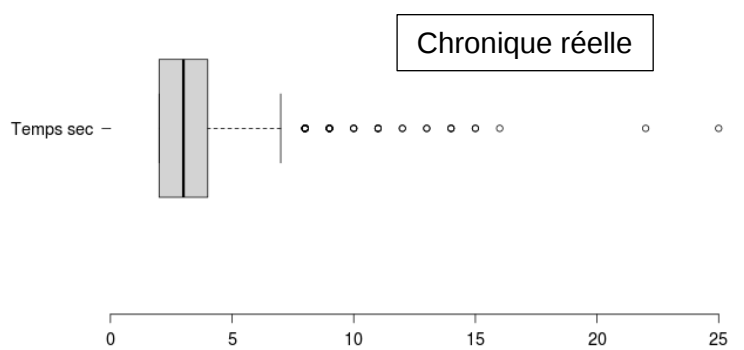
Nous identifions les limites suivantes :

- Les deux scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5 fournis par le client ont été établis sur la base de deux modèles différents :
 - ⊖ Le modèle CNRM-ALADIN63 pour le RCP 4.5,
 - ⊖ Le modèle ICRP-RegCM4-6 pour le RCP 8.5.

De ce fait, nous émettons une réserve sur la conduite d'une analyse comparative pertinente des deux chroniques.

- Dans le cadre d'une étude effectuée avec les données de la DRIAS, il est plus robuste de travailler avec plusieurs modèles pour un même scénario. Or, les chroniques communiquées ne reposent pas sur une combinaison de modèles mais sur un unique modèle par scénario. A ce jour, aucune étude ne statue sur la prédominance d'un des modèles numériques de futurisation des pluies disponibles.
- Les modèles RCP possèdent des fragilités d'interprétation sur la plage médiane pour la période 2020 - 2100. Or, c'est cette plage de temps qui intéresse la présente étude.
- Les jeux de données de la DRIAS sont davantage utilisés à des fins statistiques, et non pour des études chronologiques. Les cumuls de pluie au pas de temps journaliers sont marqués par de fortes incertitudes. Nous nous intéresserons par conséquent aux dynamiques générales d'évolution de la pluviométrie (notamment au travers des cumuls mensuels et annuels moyens).
- Des méthodes de correction sont mise en œuvre sur les données de modèles régionaux de la DRIAS. Les méthodes de correction varient entre les modèles mais sont globalement jugées robustes.
- Les données de précipitations utilisées pour établir les chroniques de pluie futuriste exploitées pour cette étude sont issues de modèles régionalisés. L'échelle spatiale est donc grossière comparativement à celle des événements étudiés (8 km²). En particulier pour ces modèles, les événements de précipitations importantes sur une journée sont mal représentés. Par exemple, pour le modèle RCP 8.5 utilisé dans cette étude, la journée du 02/09/2087 est marquée d'un cumul de pluie de 321 mm, ce qui n'est pas cohérent par rapport au reste de la chronique et ferait l'état d'une possible instabilité du modèle.

[E] Répartition statistique des durées des périodes de temps sec de la chronique réelle sur la période 1991-2016 / du scénario RCP 4.5 sur la période 2040-2065 / du scénario RCP 8.5 sur la période 2040-2065



[F] Présentation de l'outil « Hydra »



Hydra est un logiciel de modélisation intégré à QGIS. Les outils de gestion classiques des SIG est couplé à un module permettant de modéliser tout le cycle de l'eau.

La modélisation des réseaux d'assainissement ainsi que celle d'objets tels que les rivières ou les surfaces peuvent être interconnectés pour permettre une modélisation globale et complète des phénomènes hydrologiques et hydrauliques.

Ce logiciel dispose également d'une large gamme d'outils permettant de renseigner la pluviométrie et de générer des scénarii.

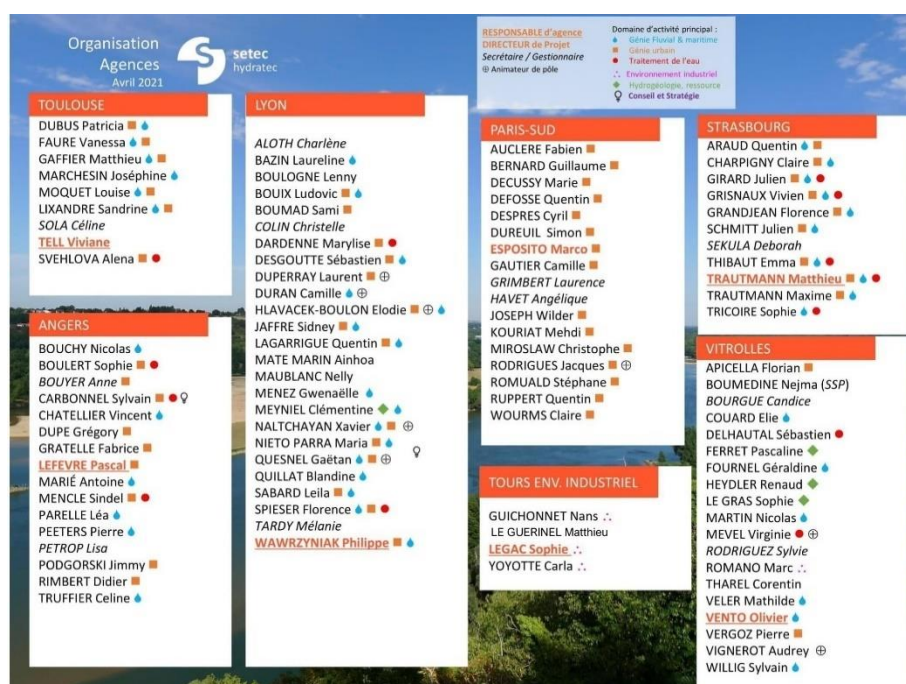
Il est possible de définir ces scénarii de temps de pluie à partir :

- De pluies de projet
- De pluie réelles pouvant être réparties uniformément ou selon l'emplacement des différents pluviomètres.
- De pluie radar, si les données météo sont disponibles.

Le logiciel Hydra dispose d'outils d'exploitation des résultats de modélisation comme :

- Un module de génération de graphique et autres visuels afin d'imager les changements de débits, d'hauteurs d'eau ou de vitesse
- Une mise en page cartographique afin de spatialiser les zones de débordements et de ruissellements.

[G] Organigramme agence hydratec



7 BIBLIOGRAPHIE

- [1] Les nouvelles projections climatiques de référence DRIAS 2020 pour la France métropolitaine : RCP 4.5 et RCP 8.5

- [2] Synthèse de la Direction générale de l'énergie et du climat – Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie : Découvrir les nouveaux scénarios RCP et SSP utilisés par le GIEC _ Septembre 2013

8 RESUME ET ABSTRACT

Ces 3 mois à l'agence de setec hydratec Tours ont permis un travail sur des études différentes : Une étude de faisabilité autour de la proposition d'aménagements de récupération de l'eau de pluie et à leurs capacités à répondre à des besoins ainsi que la réalisation d'un pré-diagnostic du schéma directeur de gestion de l'eau pluviale de Tours Métropole Val de Loire. La première mission a permis d'étudier des données météorologiques et de conclure quant à la performance des aménagements prévus en apportant des résultats issus d'étude statistique ou de modélisation numérique. Ces aménagements retenus ont pu être critiqués aux vues de leur faisabilité technico-économiques et présentés au client. La seconde mission, portant sur le pré-diagnostic, a permis de faire l'inventaire du patrimoine hydraulique de la métropole de Tours. Les visites sur le territoire ont permis la réalisation de fiche d'identification des ouvrages et d'avoir une meilleure compréhension d'un réseau existant. Cette phase va également permettre d'entamer les démarches de réflexions propres à la conception d'un schéma directeur. L'amélioration des compétences de savoir-être avec la vie en bureau d'étude mais également de savoir-faire avec les compétences de communication écrite et oral et les techniques de l'hydraulique ont été des axes majeurs de cette période de stage.

These three months at hydratec Tours agency allow to work on different studies. A feasibility study around the proposal for rainwater recovery system and their capacity to meet the needs and the realization of a pre-diagnosis of the master plan for management of rainwater in Tours Métropole Val de Loire. The first mission allow to study the data and to conclude on the performance of the planned system with some results of statistical studies or numerical modeling. These selected arrangements have been retained in view of their technical et economical possibilities and they could be presented to the client. The second mission, relating to the pre-diagnosis, allow to make an inventory of the hydraulic equipments of the metropolis of Tours. Several visits to the territory allow to produce an identification sheet for hydraulic structure and to gain a better understanding of existing network. This phase will also make it possible to begin the process of specific reflections to the design of master plan. The improvment of soft-skill with office life and hard-skill with written and oral skills and the technique of hydraulics were majors axes of this period of internship