

Hydrologie de la galerie du ruisseau de Broye

Rapport de synthèse



TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION.....	2
1.1	Contexte	2
1.2	Questions à traiter.....	2
2	DONNEES DE BASE.....	3
2.1	Bassin versant	3
2.2	Etudes précédentes	4
3	METHODOLOGIE DEBIT DE CRUE.....	5
3.1	Hypothèses de calcul	5
3.2	Calage du modèle.....	6
3.2.1	Chamberonne	7
3.2.2	Déversoir DO 141	8
3.3	Scénarios de précipitation	8
3.3.1	Calcul des IDF.....	8
3.3.2	Transformation des IDF en hyétogrammes.....	10
3.4	Scénarios simulés	12
4	DEBIT DE CRUE – CHAMBERONNE.....	13
4.1	Débits mesurés	13
4.2	Débits simulés.....	14
4.3	Synthèse et choix du débit HQ100.....	16
5	DEBIT DE CRUE – GALERIE DU RUISSEAU DE BROYE.....	18
6	IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE.....	20
7	REPARTITION DES DEBITS.....	21
7.1	Dérivation des cours d'eau.....	21
7.2	Dérivation vers le réseau unitaire	22
7.3	Répartition des débits de crue.....	22
7.4	Répartition des débits d'étiage (Q347).....	25
8	ECLUSEES.....	26
9	SYNTHESE.....	28
	REFERENCES.....	29

1 Introduction

1.1 Contexte

Galerie du ruisseau de Broye

Le projet de la galerie du ruisseau de Broye doit permettre l'évacuation des crues de surfaces situées sur les communes de Renens, Prilly, Jouxens-Mézery, Lausanne et Romanel-sur-Lausanne (entente de la Galerie de Broye). Il s'agit donc de vérifier son dimensionnement. De plus, le projet impacte fortement le dernier tronçon de la Chamberonne en créant un rejet d'eau de ruissellement important dans le cours d'eau. A la demande de l'OFEV, la DGE-EAU souhaite mieux comprendre l'hydrologie de la Chamberonne et de la galerie à l'état futur.

Hydrologie

Mandat

Le bureau Hydrique Ingénieurs est mandaté par l'ICF Chamberonne (Grégory Sutter), pour estimer les débits de dimensionnement à l'état futur et analyser l'impact de la galerie sur la Chamberonne.

Utilisation du modèle du PREE Chamberonne

Hydrique Ingénieurs réalise la modélisation hydrologique pour le PREE Chamberonne et dispose d'un modèle détaillé du bassin versant. Il propose de l'exploiter pour répondre aux demandes du projet.

1.2 Questions à traiter

Questions à traiter

Ce projet a pour objectif de traiter les points suivants :

- Contrôle et complétion de l'hydrologie à l'état futur (débits de crue et d'étiages) ;
- Proposition de débits de dimensionnement des ouvrages ;
- Description du fonctionnement du "réseau" : quels débits, où et pourquoi
- Analyse des effets de chasses liés à la galerie.

Débits de crue

Pour répondre à ces questions, les débits de crue sont calculés en différents points du réseau. Le modèle pluie-débit développé pour le PREE de la Chamberonne est utilisé et adapté pour les besoins de l'étude.

Résultats PREE Chamberonne

Les séries de débit aux états actuel et futur calculés sur 10 ans (2010-2019) dans le cadre du PREE de la Chamberonne sont également utilisées pour cette analyse.

2 Données de base

2.1 Bassin versant

Bassin versant
Chamberonne

Le bassin versant de la Chamberonne, illustré à la Fig. 1, s'étend à l'ouest de Lausanne sur une surface de 38 km². Il est composé de bassin versant « naturels » en amont, de surface principalement agricole et en partie boisée. La partie aval est urbanisée et reprend les eaux de ruissellement des villes de l'ouest lausannois (Bussigny, Crissier, Renens). Pour ces raisons, la réaction hydrologique du bassin versant n'est pas homogène sur sa surface.

Bassin versant
galerie

Le bassin versant de la galerie du ruisseau de Broye est principalement urbain et s'étend au sud-est du bassin versant de la Chamberonne. Il représente une surface de 4.4 km², soit légèrement plus de 10% du bassin versant de la Chamberonne.

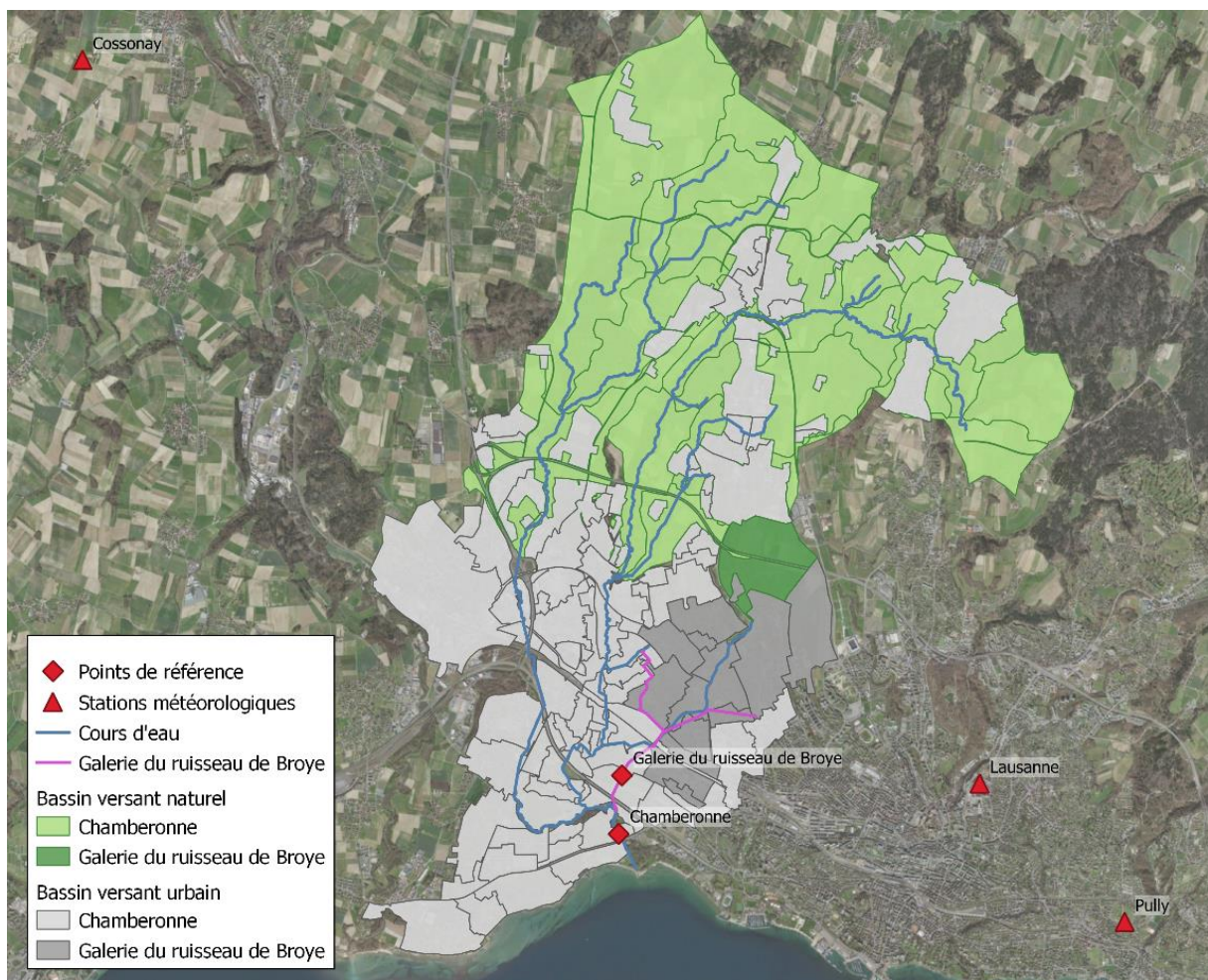


Fig. 1 : Bassin versant de la Chamberonne.

2.2 Etudes précédentes

Etudes
précédentes

L'estimation des débits de crue dans la Chamberonne a fait l'objet de multiples études par le passé. Une liste non-exhaustive de ces études ainsi que les débits estimés pour différents temps de retour sont résumés dans le Tab. 1.

Les débits de crue HQ100 varient entre 38 et 137 m³/s.

Etudes existantes
et débits
caractéristiques

Tab. 1 : Synthèse des études existantes sur les débits de crue de la Chamberonne.

Débits en m ³ /s	Rétention oui/non	Q ₂	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₃₀	Q ₃₇	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₃₀₀	EHQ
Aquavision 2008 Reconstitution d'évènement	Oui					89				
IATE-EPFL (1996)	Non	36.5	47.8	68	78*		98.2	124.8		
Débit EPFL + Galicien	Non							137		
Débit de consensus projet Chamberonne								130		
Etude Ribi Sorge 2016 (imperméabilisation à saturation, réseaux et ouvrages amont redimensionnés)	Oui							115		
CDN-VD (2013) (avec rétentions, $Q_{Chamberonne} = A \cdot$ $(Q_{Mèbre\ exutoire} + Q_{Sorge\ exutoire})$ avec $A = 0.72$)	Oui (jusqu'à T ₁₀₀)				32.1			38	75	91.8
Gesreau (sans rétention et avec décalage des pics de crue Mèbre et Sorge)	Non							69		

* Interpolation

3 Méthodologie débit de crue

La méthodologie appliquée pour déterminer les débits de crue dans la Chamberonne et la galerie du ruisseau de Broye est décrite dans ce chapitre.

Valorisation modèle PREE

Elle repose sur la valorisation du modèle pluie-débit *Routing System* (module *RS URBAM*) qui a été développé dans le cadre du PREE de la Chamberonne [1]. De cette manière, l'hydrologie développée dans cette étude est cohérente avec l'hydrologie considérée dans le PREE de la Chamberonne.

Le modèle se compose de 205 BV, 96 tronçons de cours d'eau et 246 tronçons de collecteurs, permettant de bien reproduire la formation progressive des débits et le routage dans les cours d'eau et le réseau d'évacuation (temps d'écoulement). Il comprend également les principaux ouvrages de décharge (DO).

Méthodologie

La détermination des débits de crue par simulation événementielle s'effectue comme suit :

- Reprise du modèle pluie-débit du PREE de la Chamberonne et définition des hypothèses de calcul ;
- Etablissement de scénarios météorologiques basés sur les analyses IDF des stations à proximité du bassin versant ;
- Définition des conditions initiales de saturation des sols dans le modèle : selon quantiles des saturations simulées sur 10 ans (2010-2020) ;
- Simulation pluie-débit événementielle des scénarios météo pour toutes les durées (10min à 3h) et extraction des débits maximaux.

Les débits sont générés pour plusieurs scénarios de pluie et de conditions initiales. L'objectif est ainsi d'analyser la sensibilité des résultats et d'obtenir une fourchette de valeurs réalistes préparant le choix du débit de dimensionnement.

3.1 Hypothèses de calcul

Hypothèses

Les hypothèses suivantes sont admises pour l'évaluation des débits de crue sur la Chamberonne ainsi que la galerie du ruisseau de Broye :

- Bassin versant : avec galerie du ruisseau de Broye ;
- Bassin versant : séparatif selon état futur PGEE ;
- Coefficients de ruissellement : état futur PGEE ;
- Pas de rétention à la parcelle ;

- Pas de limite de capacité sur le cours d'eau.

Ces hypothèses décrivent un bassin versant à l'état futur, sans rétention ni limitation de capacité.

3.2 Calage du modèle

Calage et mesures

Le modèle de simulation RS URBAN est calé à la fois sur la mesure de la Chamberonne mais également sur une mesure effectuée en amont du déversoir d'orage DO141, également connu sous le nom de déversoir de la Broye.

Mesure Chamberonne

La mesure de la Chamberonne appartient au Canton de Vaud et est située directement sur le cours d'eau, à l'aval du bassin versant.

Mesure DO 141

La mesure en amont du déversoir d'orage DO141 a été effectuée par le bureau RIBI sur une période de 2018 à 2019. Elle est située sur le réseau d'eau usée unitaire qui reprend actuellement une grande partie des bassins versants qui seront à terme raccordés à la galerie du ruisseau de Broye.

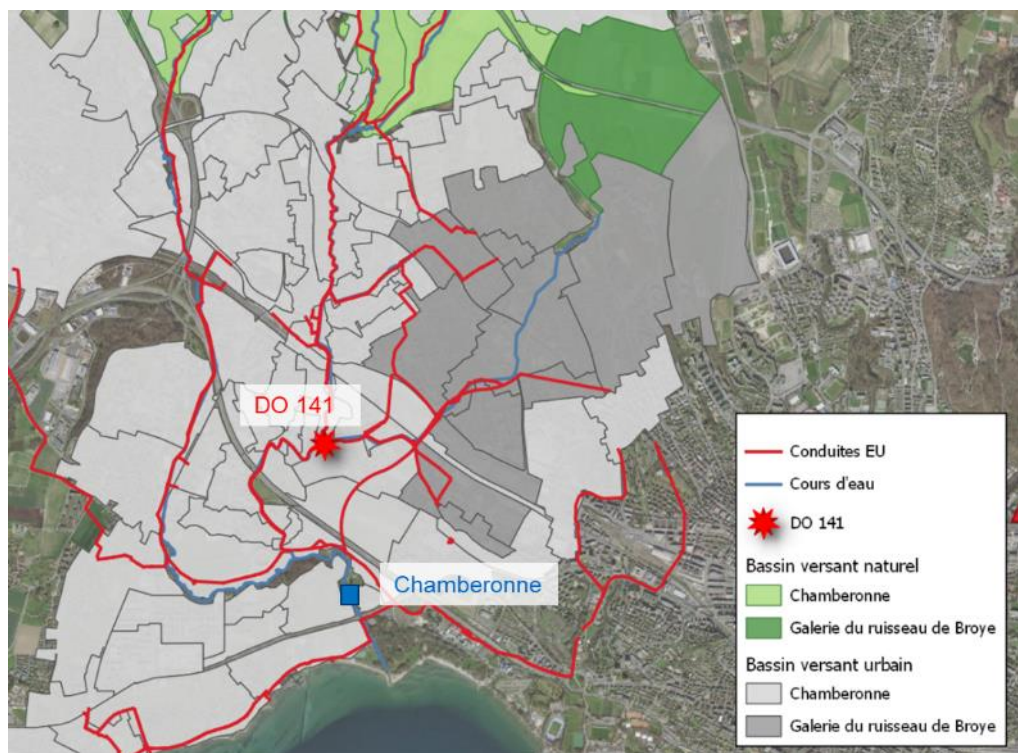


Fig. 2 : Mesures de débit utilisées pour le calage du modèle RS URBAN.

3.2.1 Chamberonne

Calage
Chamberonne

La comparaison des débits simulés et mesurés sur la période de 2010 à 2019 est présentée dans les Fig. 3 et Fig. 4. Il n'y a pas de biais systématique de surestimation ou sous-estimation des pointes de débit par la simulation. Les écarts peuvent provenir de la représentativité spatiale des stations pluviométriques utilisées (Fig. 9), ou de simplifications dans les processus de production du débit (moins probable).

Chamberonne

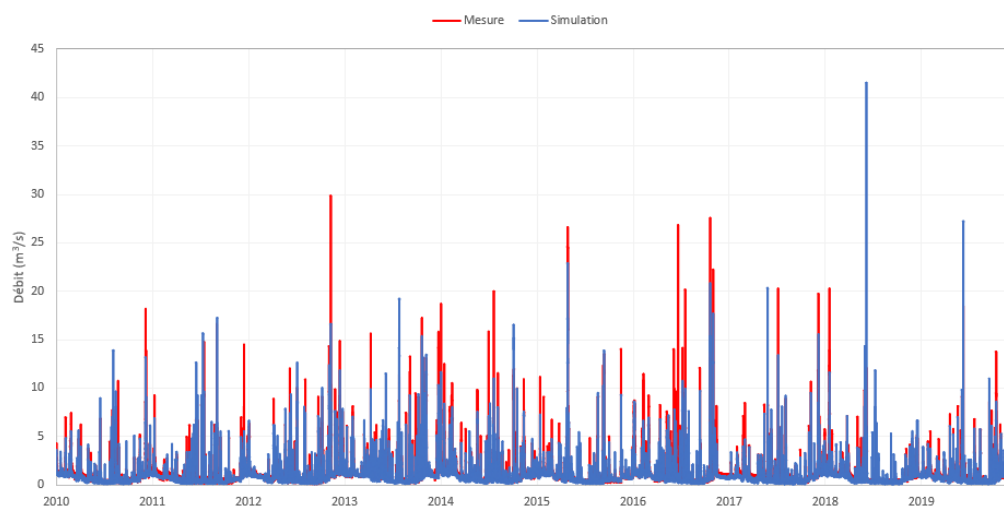


Fig. 3 : Comparaison des débits simulés et mesurés au droit de la station de mesure de la Chamberonne (pas de temps horaire).

Chamberonne

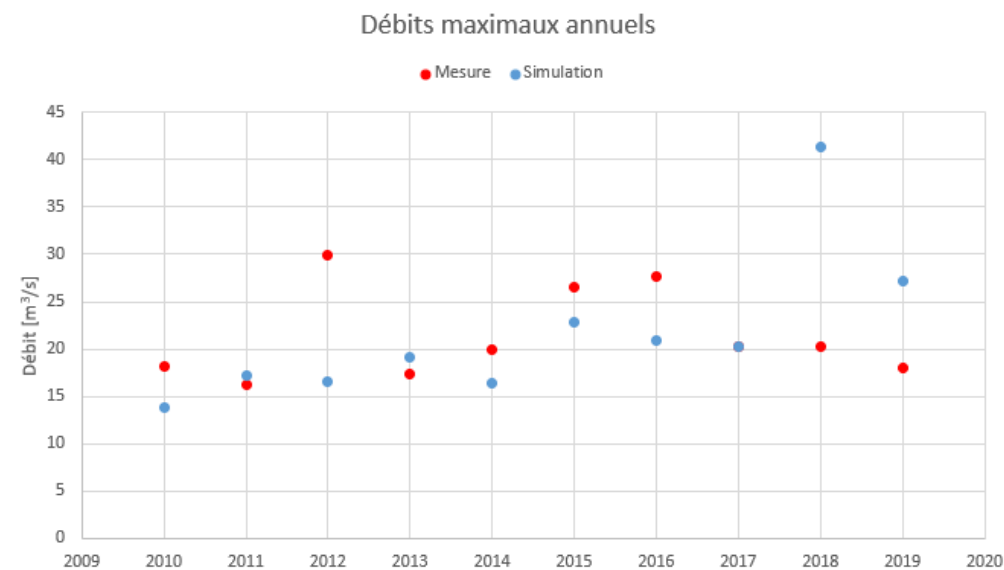


Fig. 4 : Comparaison des débits maximaux annuels simulés et mesurés au droit de la station de mesure de la Chamberonne.

3.2.2 Déversoir DO 141

Calage DO 141

La comparaison des débits simulés et mesurés au DO 141 est présentée à la Fig. 5. Les pointes sont globalement bien représentées à l'exception de l'événement du 15 juin 2019 qui est surestimé dans le modèle. Cette surestimation est due à la généralisation des pluies sur le bassin versant, masquant l'hétérogénéité spatiale réelle des précipitations.

DO 141, Renens

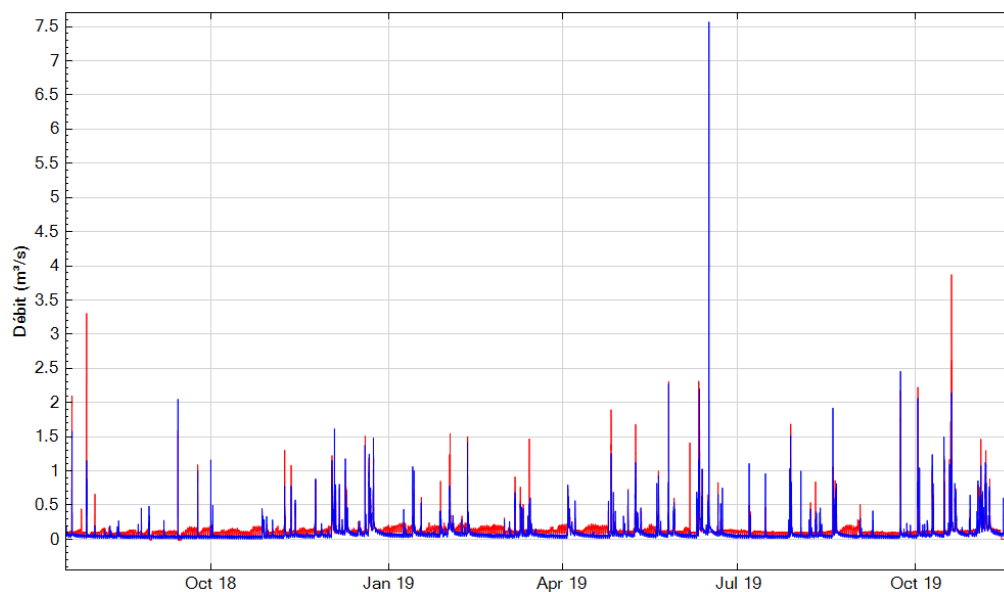


Fig. 5 : Comparaison des débits simulés et mesurés à l'entrée du déversoir d'orage (DO) 141, à Renens.

3.3 Scénarios de précipitation

Scénarios pluie

Les scénarios de précipitation sont développés pour différents temps de retour et durées à partir des courbes Intensité-Durée-Fréquence des stations de Pully, Lausanne et Cossonay. Ces stations sont sélectionnées en raison de leur proximité avec le bassin versant, leur historique de mesure important ainsi que leur fiabilité. La station de Crissier, pourtant idéalement située, est rejetée en raison de ses incohérences trop importantes par rapport aux autres stations.

3.3.1 Calcul des IDF

Les scénarios de précipitation utilisés ont un rôle primordial dans l'estimation des débits de crue. L'intensité et le volume de la pluie définissent en grande partie la pointe de débit qui sera observée à l'aval du cours d'eau.

Stations utilisées Les stations météorologiques de MétéoSuisse les plus proches du bassin versant de la Chamberonne sont utilisées pour établir les IDF (Intensité-Durée-Fréquence) : Pully, Cossonay et Lausanne.

Pully La station de Pully dispose de statistiques IDF établies par MétéoSuisse pour des durées de 10 minutes à 3 heures et des temps de retour de 2 à 300 ans.

Cossonay et Lausanne Les IDF des stations de Cossonay et Lausanne ne sont pas calculées par MétéoSuisse pour des durées inférieures à 1 jour. Elles sont toutefois calculées dans le cadre du PREE de la chamberonne en utilisant les mesures horaires des stations sur la période du 01.01.1980 au 20.10.2020. Elles sont ainsi reprises et adaptées pour les durées inférieures à 1 heure.

Les tableaux IDF des stations de Pully, Lausanne et Cossonay sont présentés dans le Tab. 2.

Les valeurs tirées de la station de Pully sont significativement supérieures à celles issues des stations de Lausanne et Cossonay pour les temps de retour supérieurs à 5 ans. Cela provient probablement du fait que les mesures horaires de ces deux dernières stations ont été reconstituées sur la période 1980-2014 à partir des mesures journalières et des valeurs horaires à Pully. Elles sont donc moins fiables, du point de vue statistique, que Pully.

Tab. 2 : Tableaux Intensité-Durée-Fréquence (IDF) des stations de Pully, Lausanne et Cossonay pour des durées de 10 minutes (0.17 heures) à 3 heures et des temps de retour de 1 à 300 ans.

Cumul sur la durée [mm]							Pully
TR\D	0.17	0.33	0.5	1	2	3	
1	4.7	6.5	7.7	8.4	12.1	15.7	
2.33	11.2	15.7	18.4	20.2	26.9	31.6	
5	13.5	19.2	22.9	25.2	34.1	39.1	
10	15.2	21.9	26.4	29.3	40.4	45.5	
20	16.8	24.5	29.9	33.8	47.1	51.9	
30	18.0	26.2	32.0	36.7	51.5	55.8	
50	19.8	28.9	35.1	41.4	57.6	61.2	
100	23.8	34.2	40.2	49.5	67.2	69.2	
300	33.4	46.0	53.5	69.3	87.3	83.9	
Cumul sur la durée [mm]							Lausanne
	0.17	0.33	0.5	1	2	3	
1	6.4	9.0	10.6	11.6	15.5	17.5	
2.33	11.0	15.4	18.1	19.8	26.0	29.4	
5	13.2	18.7	22.3	24.6	31.4	35.4	
10	14.8	21.3	25.6	28.4	35.9	40.3	
20	16.0	23.3	28.4	32.1	40.1	45.1	
30	16.8	24.5	29.9	34.3	42.6	47.8	
50	17.7	25.8	31.3	36.9	45.6	51.1	
100	19.5	28.0	32.9	40.5	49.8	55.7	
300	22.3	30.7	35.7	46.2	56.3	62.9	
Cumul sur la durée [mm]							Cossonay
	0.17	0.33	0.5	1	2	3	
1	4.4	6.1	7.2	7.9	11.3	15.2	
2.33	9.4	13.1	15.4	16.9	22.0	25.2	
5	12.0	17.1	20.3	22.4	27.5	30.3	
10	13.9	20.1	24.2	26.8	32.0	34.5	
20	15.5	22.6	27.5	31.1	36.3	38.5	
30	16.5	24.0	29.3	33.6	38.8	40.8	
50	17.5	25.6	31.1	36.7	41.9	43.7	
100	19.6	28.2	33.1	40.8	46.1	47.6	
300	22.8	31.4	36.6	47.4	52.6	53.7	

3.3.2 Transformation des IDF en hyétogrammes

RMC

Les cumuls de pluie pour différentes durées et différents temps de retour étant établis, l'étape suivante est de les transformer en hyétogrammes utilisables dans le modèle de simulation. La méthode de la courbe moyenne RMC (Rain mass curve) selon Zeimetz et al. [2] est utilisée.

Les hyétogrammes obtenus pour un temps de retour de 100 ans avec les IDF de Lausanne sont présentés à la Fig. 6. La forme des hyétogrammes favorise la saturation du sol avant que le pic d'intensité ne soit atteint. Le volume cumulé des précipitations augmente avec la durée de la pluie mais l'intensité maximale atteinte est réduite.

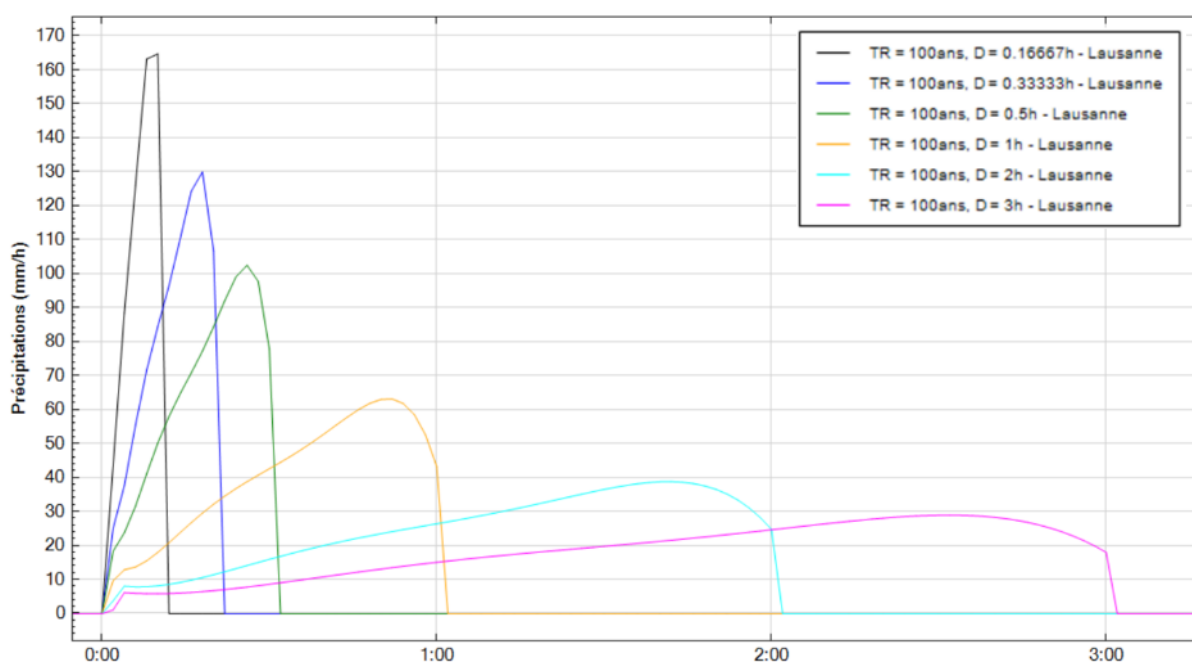


Fig. 6 : Hyétogrammes obtenus avec les cumuls tirés des IDF de Lausanne pour un temps de retour de 100 ans.

Les hyétogrammes issus des trois stations Pully, Lausanne et Cossonay pour un temps de retour de 100 ans sont présentés aux Fig. 7 (durée 20 min) et Fig. 8 (durée 2 h). Les durées de 20 minutes et 2 heures sont déterminantes pour l'estimation des débits de crue respectivement de la galerie du Ruisseau de Broye et de la Chamberonne.

Conformément aux cumuls établis dans les IDF, les hyéogrammes de Pully sont significativement supérieurs à ceux de Lausanne et Cossonay.

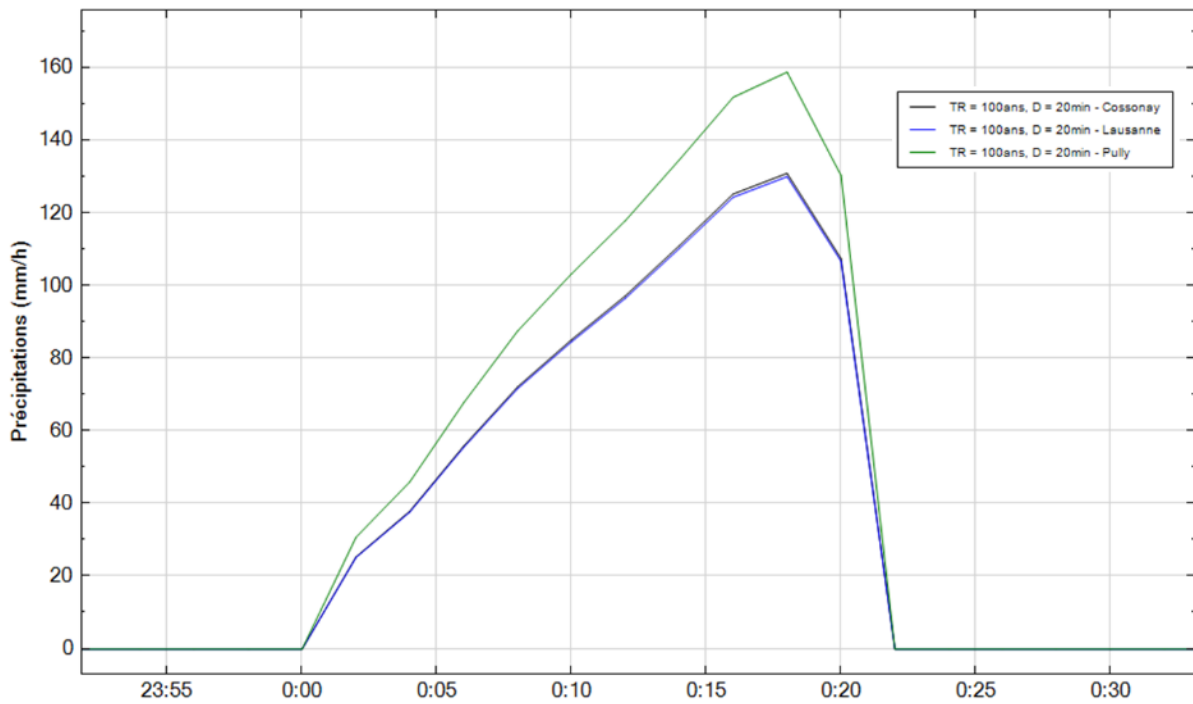


Fig. 7 : Comparaison des hyétogrammes de Pully (vert), Lausanne (bleu) et Cossonay (noir). Temps de retour 100 ans, durée 20 min. Cette durée est déterminante pour les débits de crue du bassin versant de la Galerie du Ruisseau de Broye.

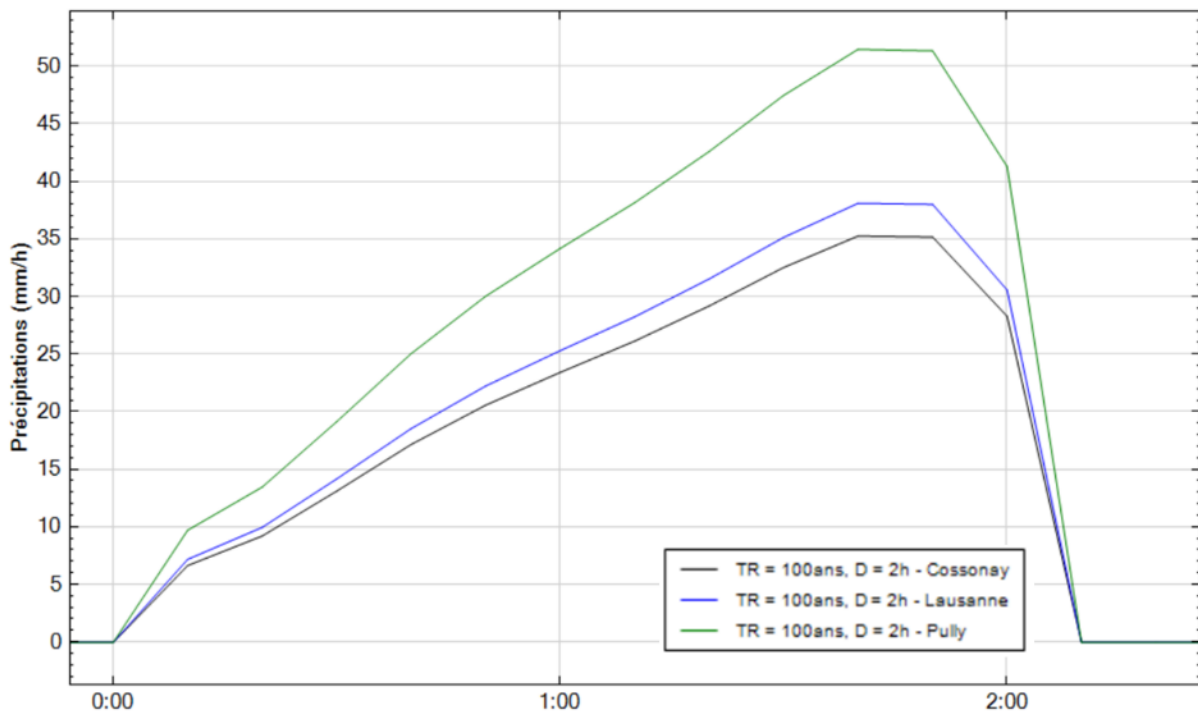


Fig. 8 : Comparaison des hyétogrammes de Pully (vert), Lausanne (bleu) et Cossonay (noir). Temps de retour 100 ans, durée 2 h. Cette durée est déterminante pour les débits de crue de la Chamberonne.

3.4 Scénarios simulés

Précipitations

Scénarios de pluie

L'établissement des IDF des stations de Pully, Lausanne et Cossonay ainsi que des hyétogrammes correspondants montre des différences significatives entre les stations. Ces différences ne sont pas explicables physiquement étant donnée la proximité entre les stations, notamment entre celles de Lausanne et Pully. Il est ainsi difficile de savoir quelle station représente le mieux les conditions sur le bassin versant.

Deux options sont alors testées :

1. Les hyétogrammes des trois stations sont utilisés simultanément dans la simulation : la pluie est généralisée avec un poids plus ou moins important attribué à chaque hyétogramme en fonction de la distance entre les sous-bassins versants et les stations.
2. Les hyétogrammes de Pully uniquement sont utilisés dans la simulation. Ils sont généralisés sur l'ensemble du bassin versant.

Conditions initiales

Scénarios

conditions initiales

Les conditions initiales de saturation du sol ont également un impact important sur les pointes de débit. Elles sont définies dans le modèle en extrayant les percentiles de saturation du sol sur des simulations de 10 ans réalisées dans le cadre du PREE de la Chamberonne. Cette opération est réalisée pour des percentiles 0.5, 0.8 et 0.9 avec les modèles « état actuel » et « état futur ».

Scénarios simulés

Scénarios simulés

Les scénarios suivants sont simulés :

- **CI 0.5** = Conditions initiales médianes de saturation du sol (50%); hyétogrammes issus des IDF de Pully, Lausanne et Cossonay.
- **CI 0.8** = Conditions initiales de saturation du sol correspondant à un percentile 80% ; hyétogrammes issus des IDF de Pully, Lausanne et Cossonay.
- **CI 0.9** = Conditions initiales de saturation du sol correspondant à un percentile 90% ; hyétogrammes issus des IDF de Pully, Lausanne et Cossonay.
- **CI 0.5 Pully** = Conditions initiales médianes de saturation du sol ; hyétogrammes issus des IDF de Pully uniquement.

4 Débit de crue – Chamberonne

Les débits de crue sont estimés à l’aval de la Chamberonne, au niveau de la station de mesure « Chamberonne » appartenant à la DGE-DIRNA-EAU. Son emplacement est indiqué à la Fig. 9.

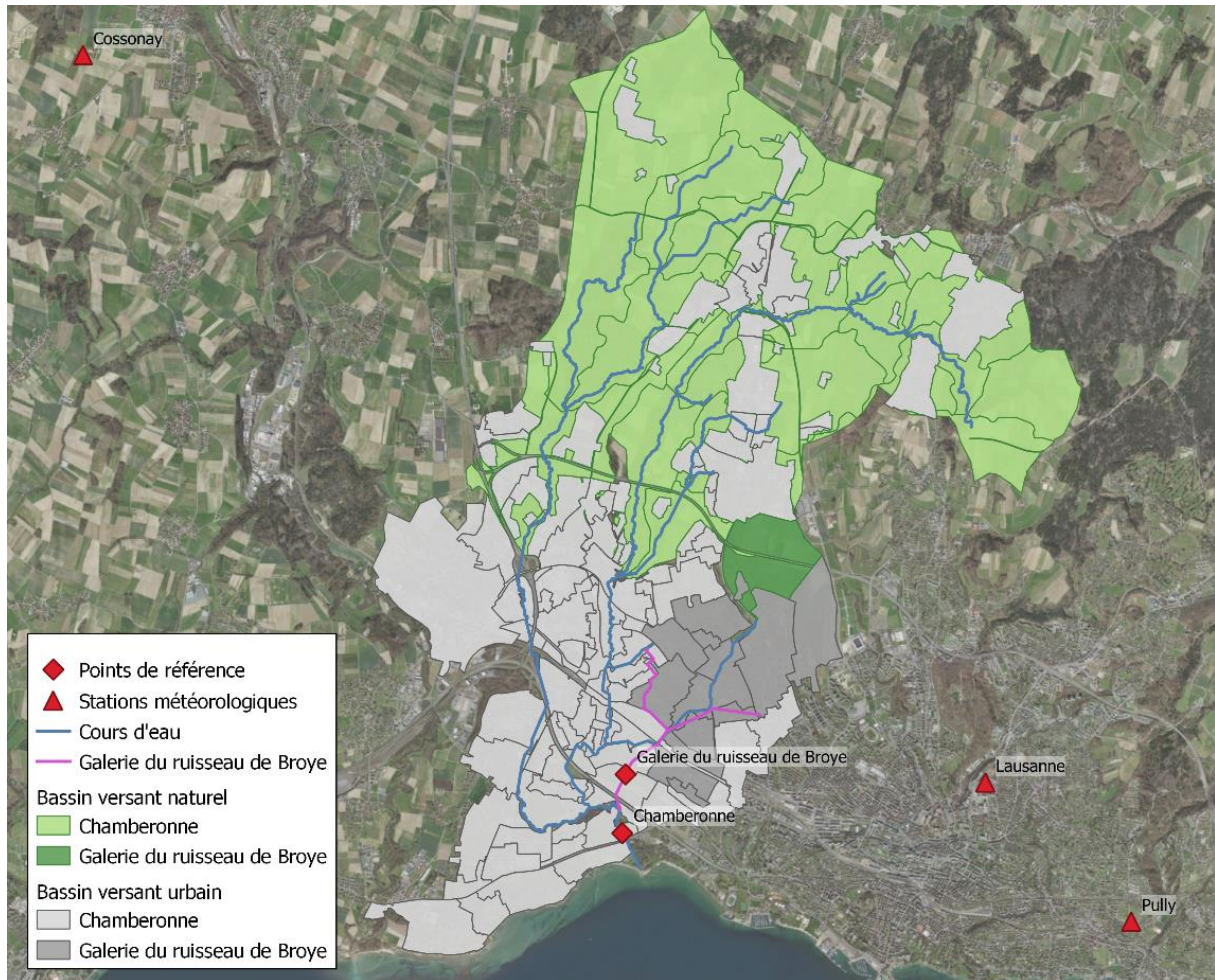


Fig. 9 : Emplacement du point de calcul de la Chamberonne.

4.1 Débits mesurés

Station de mesure
Chamberonne

La station de mesure de la Chamberonne est active depuis 1993 et dispose d’une série de données suffisamment longue pour pouvoir établir des statistiques de débit [3]. Ces débits ne tiennent toutefois pas compte d’éventuels débordements en amont et des irrégularités de l’écoulement peuvent avoir lieu à partir de 42 m³/s (contournement de la station ?).

L'analyse fréquentielle des données mise à disposition sur la Veille Hydrologique Vaudoise est présentée aux Fig. 10 et Tab. 3.

Débit Q100
d'après mesure

D'après ces statistiques, le débit de temps de retour 100 ans en aval de la Chamberonne atteint 45 m³/s. Il peut toutefois être réduit par des mises en charge en amont ou mal estimé par la station (dépassement du domaine de validité de la station).

Débit Q10 d'après
mesure

Le débit de temps de retour 10 ans atteint 33 m³/s à l'état actuel du cours d'eau.

Ces statistiques servent de base de comparaison pour les résultats du modèle mais ne peuvent être utilisées telles quelles pour l'estimation des débits de crue à l'état futur du bassin versant (probable sous-estimation).

Tab. 3 : Débits estimés par temps de retour d'après l'analyse fréquentielle des mesures de la Chamberonne [3].

Temps de retour T [années]:	2.33	10	30	100
Débits [m3/s]:	24	33	39	45

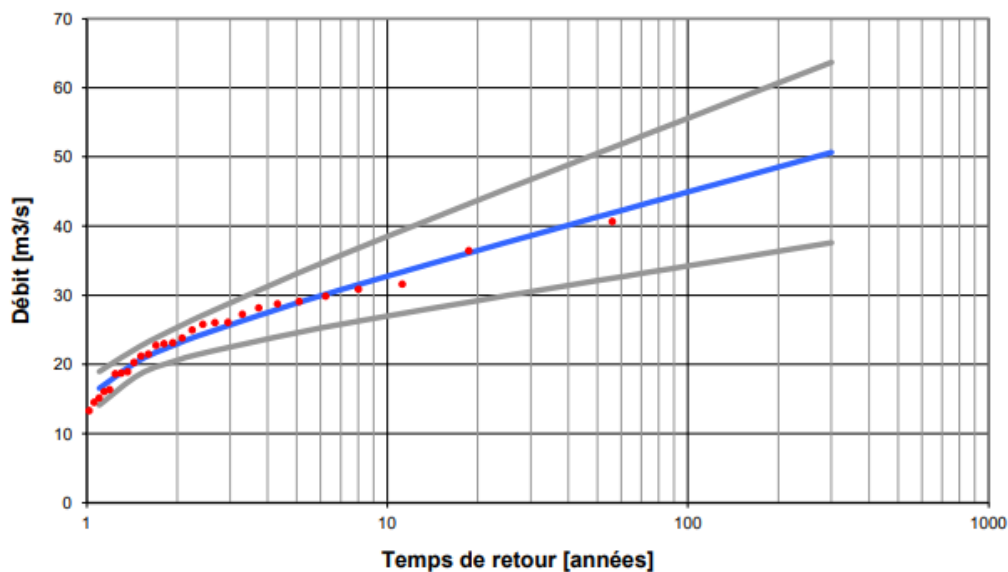


Fig. 10 : Analyse fréquentielle des débits observés selon loi de Gumbel [3].

4.2 Débits simulés

Les différents scénarios de pluie sont introduits dans le modèle de la Chamberonne, d'abord à l'état actuel puis à l'état futur, avec différentes conditions initiales de saturation du sol (scénarios

décrits dans le chap. 3.4). Il en ressort des hydrogrammes de crue à l'aval de la Chamberonne pour tous les scénarios.

La Fig. 11 présente par exemple les débits simulés à l'état futur pour différentes durées de pluie avec les hyétogrammes de Pully pour un temps de retour de 100 ans et des conditions initiales de saturation du sol médianes. On peut observer deux pointes de débit successives pour les durées inférieures à 2 heures. La première correspond à la contribution des bassins versants urbanisés, fortement imperméables, qui produisent rapidement une pointe de crue qui dure peu de temps. Ces bassins versants incluent ceux de la galerie du ruisseau de Broye. La seconde pointe correspond aux contributions des bassins versants naturels en tête de bassin, qui mettent plus de temps à réagir, de par leur nature et leur distance.

La durée déterminante pour la pointe de débit est de 2 heures (courbe jaune). Pour cette durée, les pointes issues des bassins versants naturels et urbains s'additionnent et mènent à un débit de crue de 107 m³/s.

Débits simulés
Chamberonne,
état futur,
TR 100 ans,
saturation du sol
médiane (50%),
hyétogrammes de
Pully

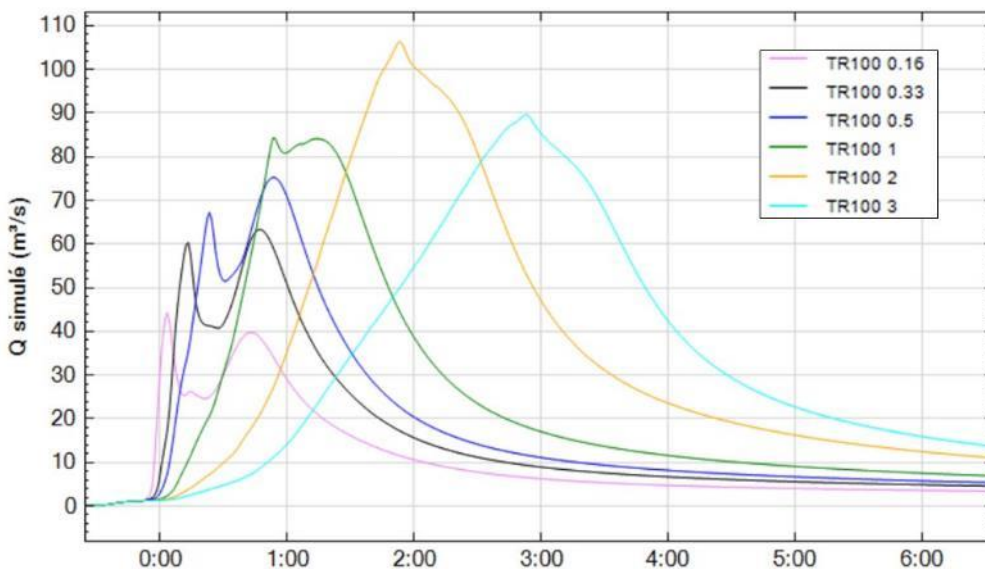


Fig. 11 : Débits simulés à l'aval de la Chamberonne à l'état futur avec les hyétogrammes de pluie issus de la station de Pully pour un temps de retour 100 ans et des conditions initiales de saturation du sol médianes.

Débits de crue à
l'état actuel

Le Tab. 4 présente les débits maximaux simulés avec le modèle « Etat actuel » pour chaque scénario et chaque temps de retour ainsi que les débits issus de l'analyse statistique des débits mesurés. A noter que les débits centenaux issus des mesures ne sont pas représentatifs puisque la mesure est perturbée au-dessus de 42 m³/s.

En comparant les débits mesurés et simulés pour un temps de retour 10 ans, on observe que les débits simulés sont globalement plus élevés que le débit de 33 m³/s issu des statistiques (marge d'erreur allant jusqu'à 39 m³/s). Etant données les incertitudes entourant ce type d'étude, les différences sont jugées acceptables.

Tab. 4 : Comparaison des débits estimés pour différents temps de retour avec la mesure "Chamberonne" et des débits maximaux simulés pour différentes conditions initiales et différents scénarios de pluie. Modèle « état actuel ».

TR	1	2.33	10	30	100	300
Mesure [m³/s]	14*	24	33	39	45	-
<i>fourchette basse</i>	-	21	27	31	34	-
<i>fourchette haute</i>	-	26	39	47	55	-
Simulation état actuel [m³/s]						
CI 0.5	12	24	38	48	60	75
CI 0.8	13	27	42	54	70	87
CI 0.9	14	29	46	59	77	97
CI 0.5 Pully	10	26	44	60	87	126

Débits de crue à l'état futur

Les différents scénarios sont simulés à l'état futur, ce qui permet d'obtenir une fourchette de débit pour les différents temps de retour (Tab. 5). Les débits augmentent de 20 à 28% selon les scénarios pour un temps de retour de 10 ans et de 17 à 26% pour le temps de retour 100 ans. Cette augmentation est due à l'augmentation de l'imperméabilisation des surfaces, l'augmentation de la mise en séparatif des réseaux et à la construction de la galerie du ruisseau de Broye.

Tab. 5 : Débits maximaux simulés pour chaque scénario et chaque temps de retour à l'état futur.

TR	1	2.33	10	30	100	300
Simulation état futur [m³/s]						
CI 0.5	17	33	49	61	76	91
CI 0.8	18	35	53	67	84	102
CI 0.9	20	37	56	71	90	111
CI 0.5 Pully	15	34	56	76	107	150

4.3 Synthèse et choix du débit HQ100

Débit HQ100 proposé

Etant données les incertitudes liées à l'estimation du débit de temps de retour 100 ans d'un bassin versant, en particulier pour l'état futur, il est proposé de choisir un **débit HQ100 de 107 m³/s**, ce qui correspond au scénario de conditions initiales médianes de saturation du sol avec les hyétogrammes issus des IDF de Pully uniquement.

Débit de dimensionnement

Il est proposé de considérer un **débit de dimensionnement de 110 m³/s (107 m³/s arrondi)** à l'aval de la Chamberonne afin de prendre en compte les effets possibles du changement climatique et l'augmentation pressentie des intensités maximales de précipitation.

Le débit HQ100 correspondant en amont de la jonction avec la Galerie de Broye est **de 88 m³/s**. Il est proposé de considérer un **débit de dimensionnement de 90 m³/s** pour le tronçon de la Chamberonne en amont de l'exutorie de la galerie.

5 Débit de crue – Galerie du ruisseau de Broye

Les simulations du modèle de la Chamberonne à l'état futur intègrent la galerie du ruisseau de Broye et les débits simulés à l'aval de la galerie peuvent être extraits pour chaque scénario décrit dans le 3.4.

La Fig. 12 présente par exemple les débits simulés à l'état futur pour différentes durées de pluie avec les hyétogrammes de Pully pour un temps de retour de 100 ans et des conditions initiales de saturation du sol médianes. Le bassin versant étant petit et largement urbanisé, sa réaction est plus rapide que pour la Chamberonne. Une seule pointe est ainsi visible et la durée de pluie déterminante est de 20 min (courbe noire).

Débits simulés
Galerie du ruisseau
de Broye,
état futur,
TR 100 ans,
saturation du sol
médiane (50%),
hyétogrammes de
Pully

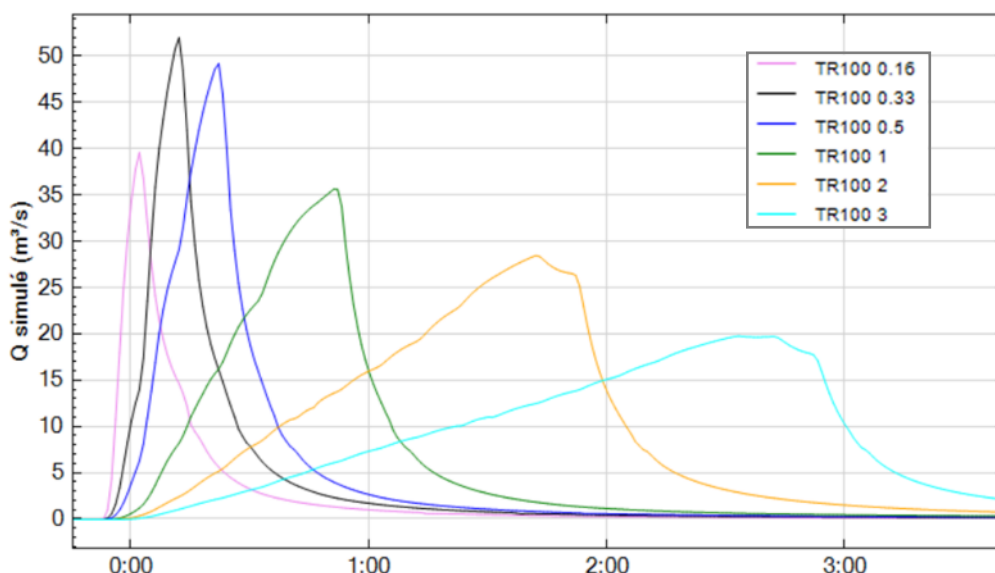


Fig. 12 : Débits simulés à l'aval de la galerie du ruisseau de Broye à l'état futur avec les hyétogrammes de pluie issus de la station de Pully pour un temps de retour 100 ans et des conditions initiales de saturation du sol médianes.

Débits de crue à
l'état futur

Le Tab. 6 présente les débits maximaux simulés avec le modèle « Etat futur » pour chaque scénario et chaque temps de retour.

La plus forte contribution de la pointe de débit est issue des surfaces imperméables. Les conditions initiales de saturation du sol ont alors un impact limité sur le débit maximal atteint.

Le scénario de pluie simulé, avec les IDF des trois stations ou seulement celle de Pully, ont au contraire un impact important sur les pointes de débit simulées.

Tab. 6 : Débits maximaux simulés à l'aval de la galerie du ruisseau de Broye pour chaque scénario et chaque temps de retour à l'état futur.

Galerie du ruisseau de Broye						
TR	1	2.33	10	30	100	300
Simulation état futur [m³/s]						
CI 0.5	10	20	29	35	41	46
CI 0.8	11	21	31	37	44	49
CI 0.9	11	21	32	38	44	50
CI 0.5 Pully	6	20	31	38	52	75

Débit Q100
proposé

Il est proposé de choisir un débit **HQ100 de 52 m³/s**, correspondant au scénario de conditions initiales médianes de saturation du sol avec les hyétogrammes issus des IDF de Pully uniquement. De cette manière, les scénarios sélectionnés pour évaluer les débits HQ100 à l'aval de la Chamberonne et à l'aval de la galerie sont cohérents.

Débit de
dimensionnement

Etant donné que la galerie est un nouvel ouvrage de grande importance dans la gestion de crue de l'ouest Lausannois, il est proposé de garder le **débit de dimensionnement de 65 m³/s** qui a été considéré dans le projet actuel. De cette manière, le débit de dimensionnement correspond à un temps de retour de 100 à 300 ans, ce qui est raisonnable pour un ouvrage prévu pour se mettre en charge lorsque le débit atteint le débit de dimensionnement.

6 Impact du changement climatique

Impact incertain

L'impact du changement climatique sur les crues futures est incertain et difficile à quantifier. Les experts s'accordent toutefois sur le fait que les précipitations extrêmes vont s'intensifier [4], ce qui entraînera une augmentation de la fréquence des inondations urbaines. En ce sens, il convient de prendre une certaine marge de sécurité sur les débits de dimensionnement. Cette marge est appliquée dans cette étude par le biais d'hypothèses conservatives pour l'estimation des débits :

- Les débits Q100 sont estimés selon le scénario le plus pessimiste ;
- Le débit de dimensionnement de la galerie est gardé à 65 m³/s, ce qui correspond à un temps de retour de 100 à 300 ans.
- Les ouvrages existants sur le cours d'eau ne sont pas pris en compte dans la simulation (section enterrée, rétentions...etc). Ces ouvrages limitent le débit en aval, qui ne peut actuellement pas atteindre les valeurs prédites.
- Aucune mesure de rétention n'est considérée sur le bassin versant. A l'état futur, une partie de l'eau devrait être retenue directement sur les parcelles.

Par ces hypothèses, les débits retenus se situent ainsi dans la fourchette haute des débits auxquels il est possible de s'attendre.

7 Répartition des débits

7.1 Dérivation des cours d'eau

Répartition des débits des cours d'eau

La galerie du ruisseau de Broye récupère les eaux de trois cours d'eau : le ruisseau des Baumettes, le ruisseau de Broye et le Galicien. La possibilité de laisser une partie du débit dans le cours d'eau lors des étiages est actuellement évaluée afin de garder ces ruisseaux. Les ruisseaux sont toutefois fortement canalisés, les enjeux environnementaux ou de loisirs ne sont donc pas de grande importance.

Les débits critiques en-dessous desquels l'eau reste dans le cours d'eau sont les suivants :

- Ruisseau des Baumettes : 1.7 m³/s ;
- Ruisseau de Broye : 0.5 m³/s ;
- Galicien : la totalité du cours d'eau est dérivée dans la galerie.

La situation des ruisseaux et leurs débits dérivés sont présentés dans la Fig. 13.

Ces débits correspondent à la capacité des tronçons aval. Ils sont provisoires et peuvent être amenés à évoluer.

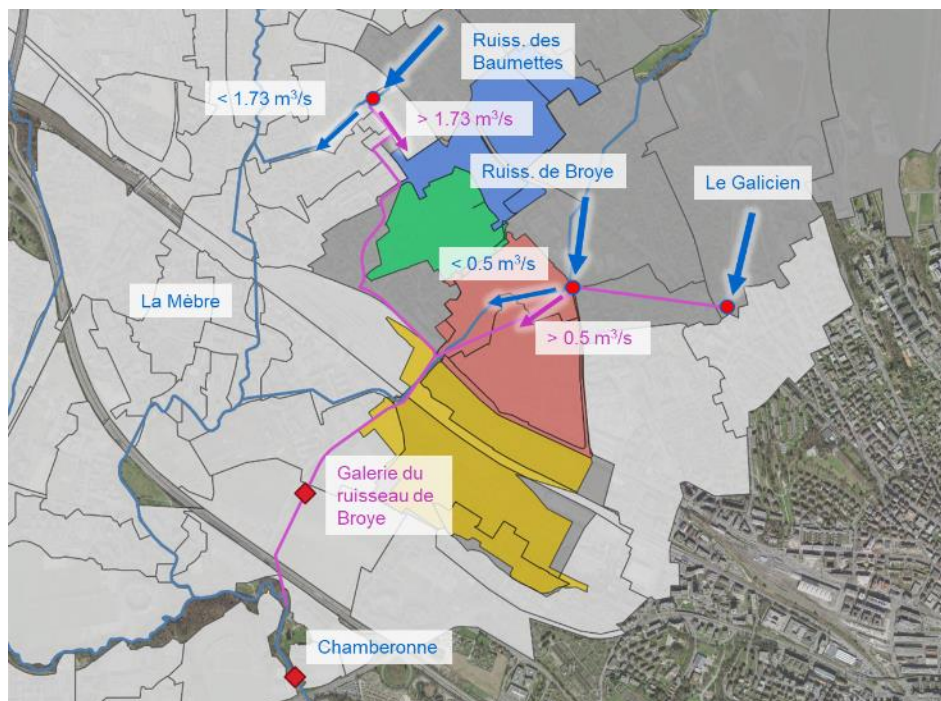


Fig. 13 : Situation des cours d'eau dérivés dans la galerie du ruisseau de Broye.

7.2 Dérivation vers le réseau unitaire

Dérivation du first flush vers la STEP

La construction de la galerie du ruisseau de Broye a un impact non négligeable sur le tronçon aval de la Chamberonne, notamment du point de vue des matières en suspension. Afin de limiter son impact, le PREE de la Chamberonne prévoit de ramener dans le réseau unitaire les premiers 100 l/s d'eau claire des bassins versants colorés (Fig. 14). De cette manière, le « first flush » est traité à la STEP sans que les déversements ne soient augmentés. Les 100 l/s sont répartis entre 4 ouvrages qui reprennent les eaux de 4 bassins versants distincts.

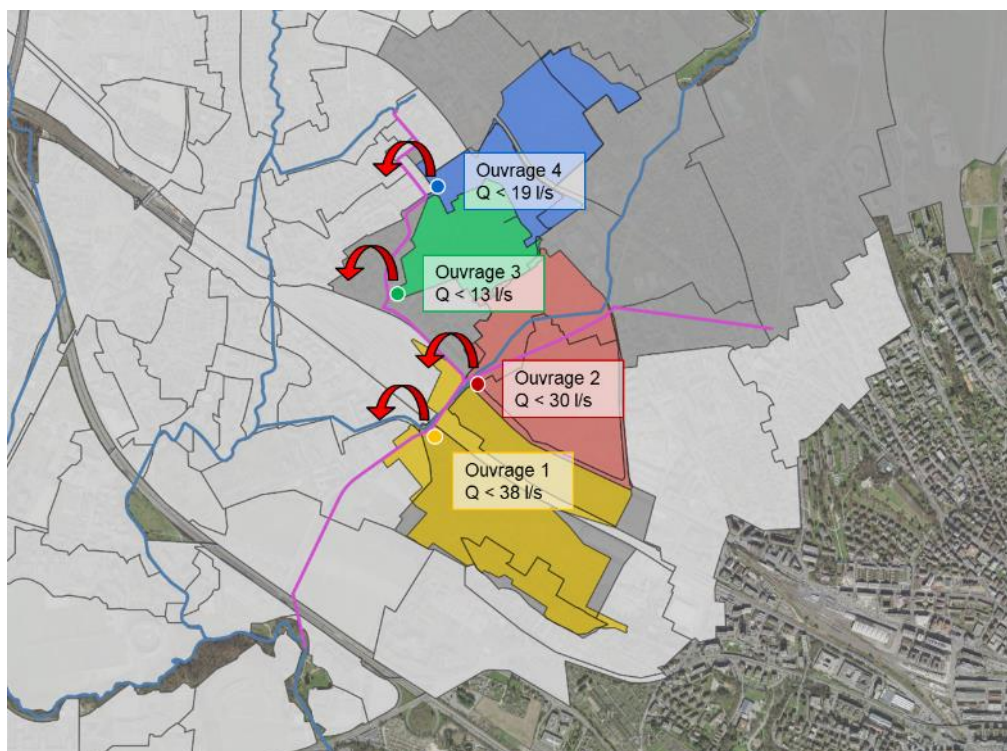


Fig. 14 : Dérivation du "first flush" des bassins versants colorés vers la STEP.

7.3 Répartition des débits de crue

Les débits de crue HQ100 à l'état futur sont calculés pour chaque point d'intérêt avec le scénario retenu de conditions initiales médianes avec les IDF de Pully. De cette manière, il est possible d'analyser leur répartition sur le bassin versant.

Débits HQ100 2h

Les débits maximaux simulés pour une pluie de 2h sont présentés à la Fig. 15. Cette durée est déterminante pour les débits à l'aval de la Chamberonne. On remarque toutefois qu'elle n'est pas déterminante pour les débits dans la galerie du ruisseau de Broye qui n'atteignent que 29 m³/s. La pointe maximale provient en effet principalement de la Mèbre et de la Sorge.

Débits HQ100
20 min

Les débits maximaux simulés pour une pluie de 20 min sont présentés à la Fig. 16. Cette durée est déterminante pour les débits dans la galerie du ruisseau de Broye. La contribution des bassins versants naturels en amont de la Chamberonne arrive toutefois bien plus tard que celle des bassins versants urbains de la galerie et de la partie aval du bassin versant. Ce scénario n'est ainsi pas déterminant pour l'aval de la Chamberonne.

Débits HQ100 max

A noter que les débits affichés sont les débits maximaux simulés et qu'ils ne surviennent pas nécessairement simultanément. Il est alors possible que l'addition des débits amont ne soit pas cohérente avec les débits indiqués à l'aval.

Enfin, les débits maximaux toutes durées confondues (enveloppe) sont affichés dans la Fig. 17. Ils peuvent être utilisés pour le dimensionnement des ouvrages.

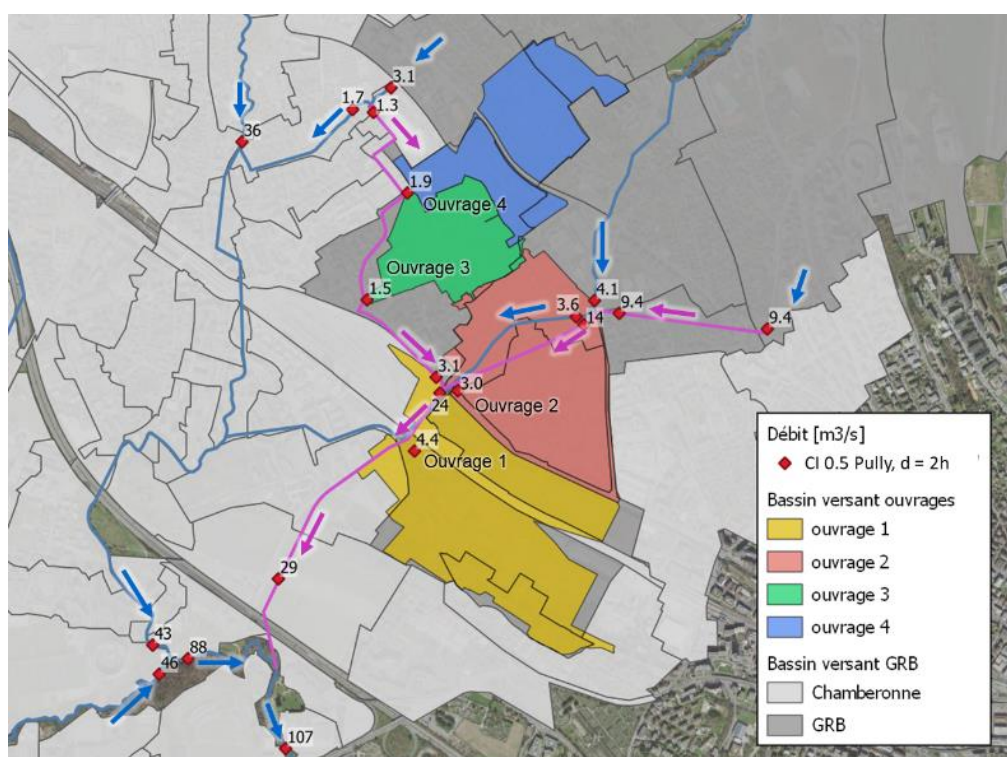


Fig. 15 : Débits maximaux (m³/s) simulés à l'état futur pour des conditions initiales médianes et le scénario de pluie de 2h issu de l'IDF de Pully.

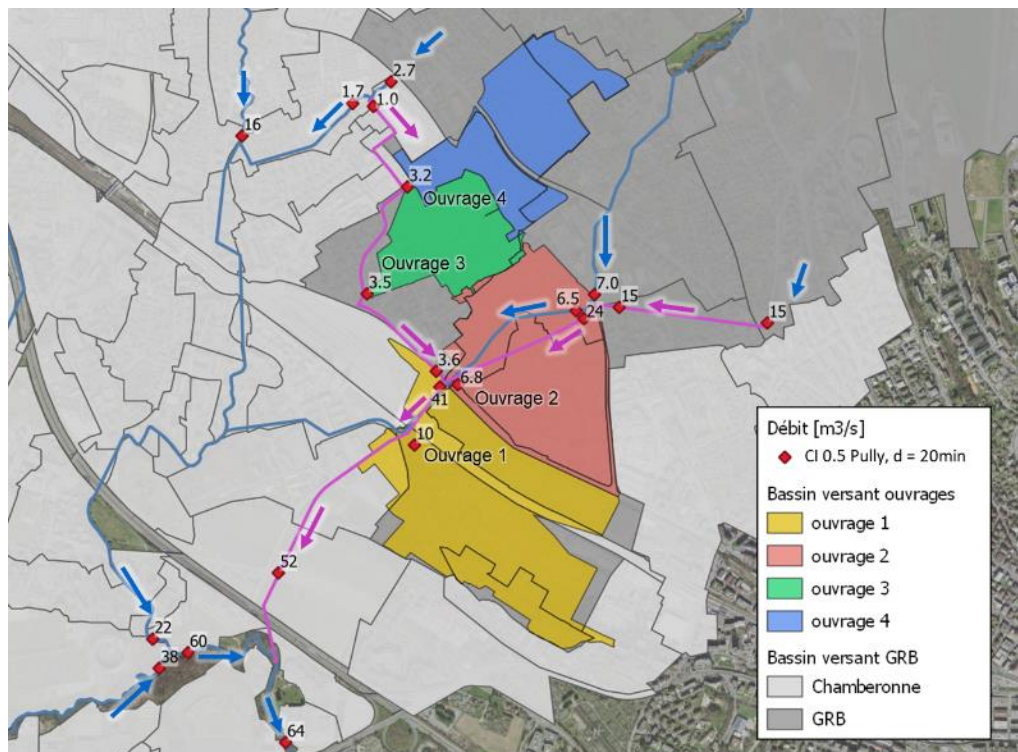


Fig. 16 : Débits maximaux (m³/s) simulés à l'état futur pour des conditions initiales médianes et le scénario de pluie de 20 min issus de l'IDF de Pully.

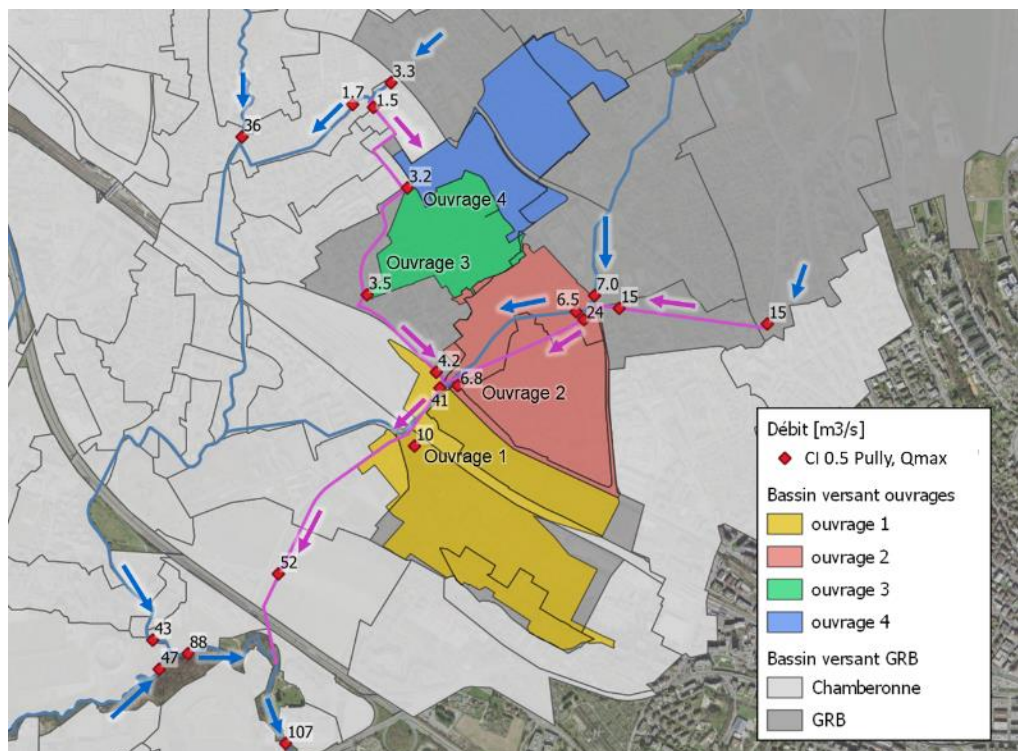


Fig. 17 : Débits maximaux (m³/s), toutes durées confondues, simulés à l'état futur pour des conditions initiales médianes et les scénarios de pluie issus de l'IDF de Pully.

7.4 Répartition des débits d'étiage (Q347)

Débits Q347

Les débits d'étiage à l'état futur de la Chamberonne et de la galerie du ruisseau de Broye ont été estimés dans le cadre du PREE de la Chamberonne. Leur répartition est toutefois affinée dans cette étude, avec notamment l'ajout des différentes dérivations évoquées dans les sous-chapitres précédents.

La Fig. 18 présente les débits Q347 aux différents points d'intérêts, en l/s.

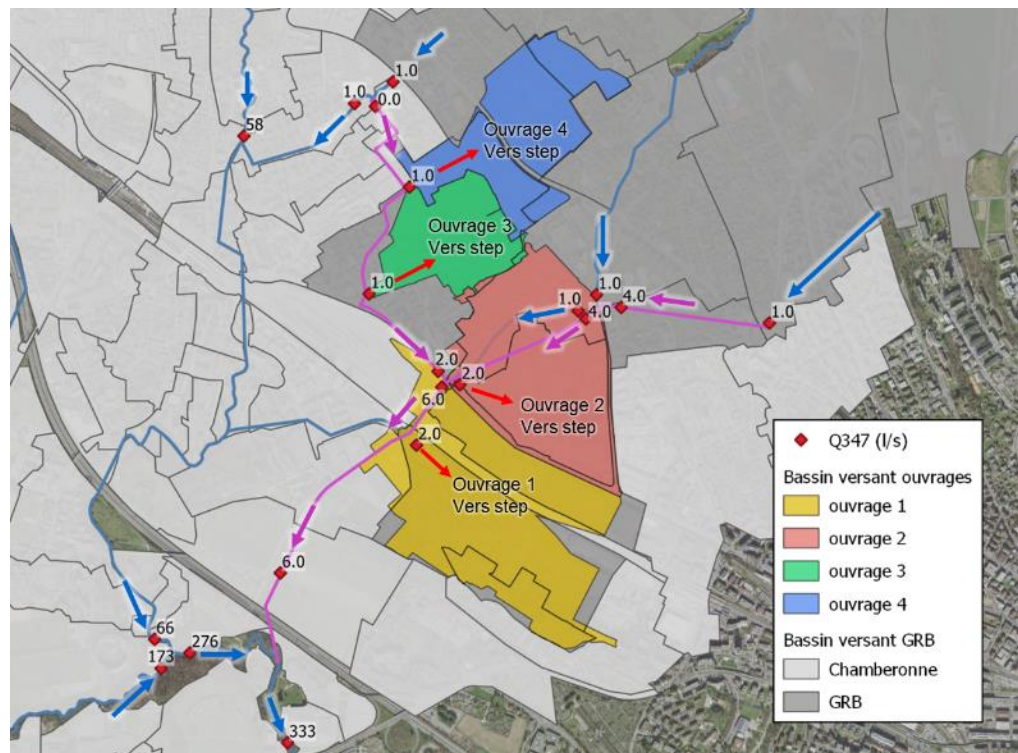


Fig. 18 : Répartition des débits Q347 simulés à l'état futur (l/s).

8 Eclusées

Analyse de l'impact
de la galerie sur la
Chamberonne

L'impact de la galerie du ruisseau de Broye sur le tronçon aval de la Chamberonne est analysé en comparant les débits avec et sans ces apports (Fig. 19, Fig. 20 et Fig. 21). L'analyse des résultats de simulation mène aux conclusions suivantes :

- La galerie du ruisseau de Broye ne crée pas de nouvelles pointes de débit dans la Chamberonne ;
- Elle accentue cependant les pointes déjà existantes ;
- La fréquence des pointes d'un certain temps de retour est ainsi augmentée. A titre d'exemple, les débits de temps de retour 1 an sans la galerie se produisent deux fois plus souvent avec la galerie.
- La forme générale des pointes et notamment la vitesse de montée des eaux reste similaire à l'état sans galerie.

La galerie du ruisseau de Broye a ainsi un impact sur les éclusées à l'aval de la Chamberonne mais cet impact reste limité.

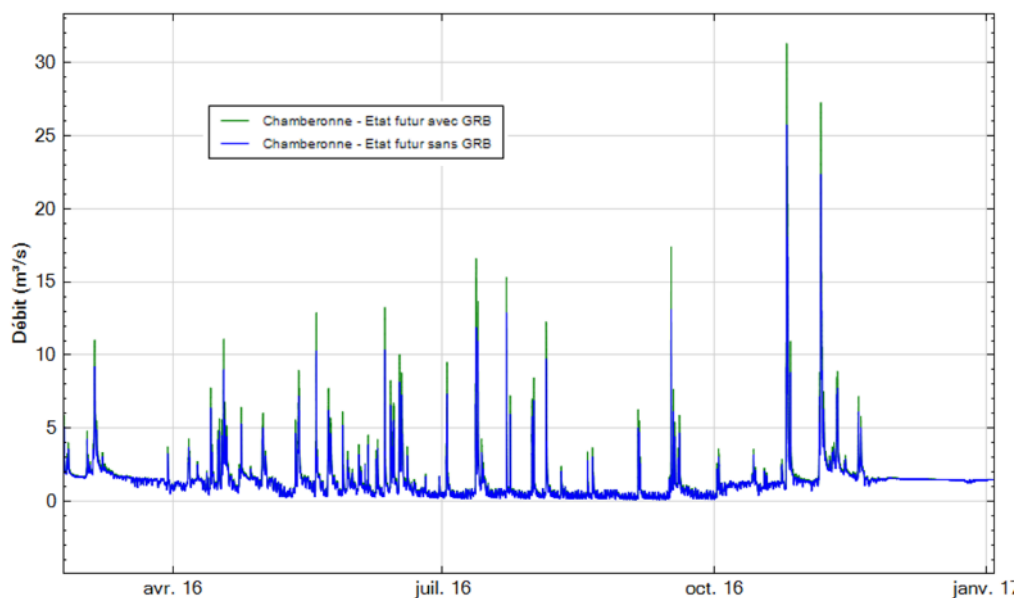


Fig. 19 : Comparaison des débits à l'état futur avec et sans la galerie du ruisseau de Broye à l'aval de la Chamberonne.

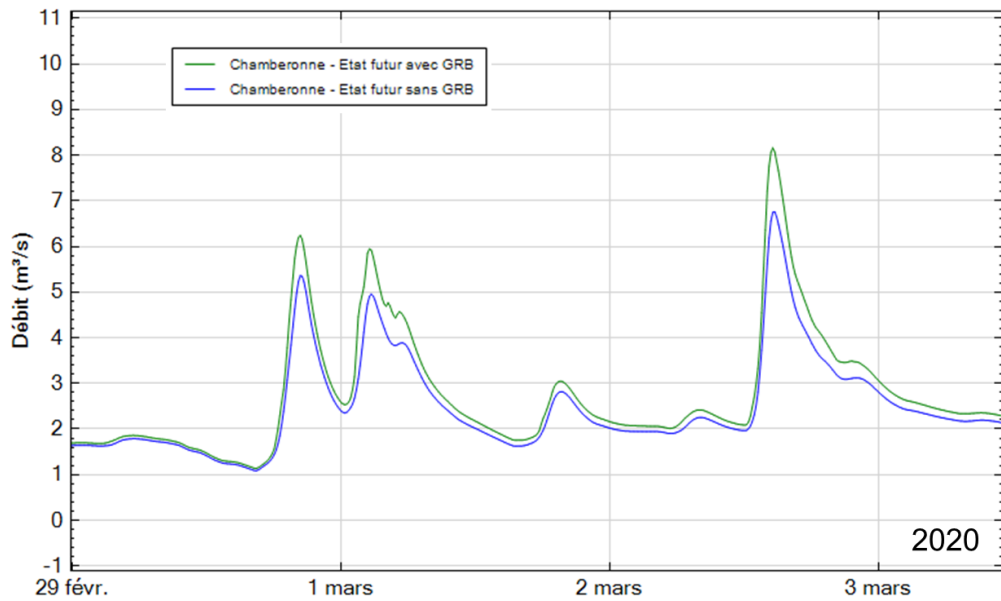


Fig. 20 : Comparaison des débits à l'état futur avec et sans la galerie du ruisseau de Broye à l'aval de la Chamberonne. Zoom sur quelques événements en mars 2020.

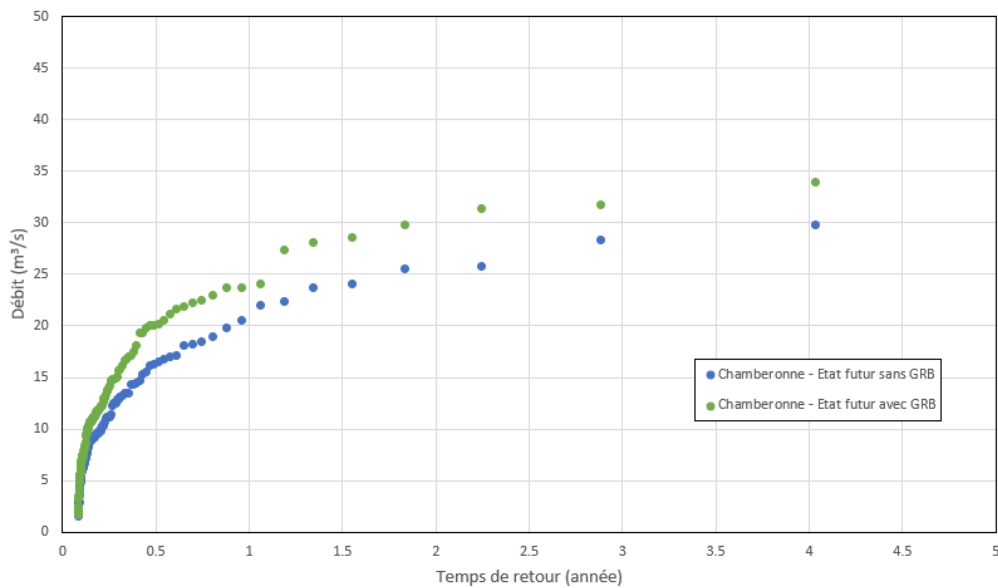


Fig. 21 : Comparaison des débits à l'état futur pour différents temps de retour avec et sans la galerie du ruisseau de Broye à l'aval de la Chamberonne.

9 Synthèse

L'hydrologie de la Chamberonne et de la galerie du ruisseau de Broye est analysée dans cette étude, en particulier du point de vue des débits de crue et de leur répartition.

Scénario débits Q100

Il est proposé de considérer les débits HQ100 correspondant au scénario d'état initial de saturation des sols médian, avec une pluie de période de retour 100 ans issue des IDF de la station de Pully uniquement.

Débits Q100

Les débits HQ100 correspondant sont les suivants :

- Chamberonne aval : 107 m³/s ;
- Chamberonne amont : 88 m³/s ;
- Galerie du ruisseau de Broye : 52 m³/s.

Débits de dimensionnement

Les débits de dimensionnement devraient également prendre en compte une marge de sécurité liée au changement climatique et il est proposé de prendre pour débit de dimensionnement les valeurs suivantes :

- Chamberonne : 110 m³/s ;
- Chamberonne amont : 90 m³/s ;
- Galerie du ruisseau de Broye : 65 m³/s.

Répartition des débits

La répartition des débits sur le bassin versant de la galerie est décrite, notamment en ce qui concerne les cours d'eau dérivés dans la galerie : le ruisseau des Baumettes, le ruisseau de Broye et le Galicien. Les débits critiques en-dessous desquels l'eau reste dans le cours d'eau ne sont pas encore complètement fixés. Les valeurs provisoires sont les suivantes :

- Ruisseau des Baumettes : 1.7 m³/s ;
- Ruisseau de Broye : 0.5 m³/s ;
- Galicien : la totalité du cours d'eau est dérivée dans la galerie.

La répartition des débits tient également compte des premiers 100 l/s d'eau claire d'une partie du bassin versant urbain qui sont ramenés dans le réseau unitaire (PREE Chamberonne).

Débits d'étiage

Les débits d'étiage dans la galerie sont très faibles du fait de l'urbanisation de son bassin versant. Le débit d'étiage à l'aval de la Chamberonne dépend fortement des eaux pompées du lac vers le cours d'eau par les réseaux de chaleur de l'EPFL et de l'Unil.

Impact de la galerie

Enfin, l'impact de la galerie se limite à l'accentuation des pointes déjà existantes dans la Chamberonne. La forme et la fréquence de ces pointes ne devrait pas changer.

Références

- [1] Canton de Vaud – DGE – SC (2021). “ Plan régional d’évacuation des eaux (PREE) de la Chamberonne - Module M7 – Description du modèle – Etat actuel et futur selon PGEE“
- [2] Zeimetz F., Schaefli B., Artigue G., Garcia Hernandez J., Schleiss A. (2018). "Swiss rainfall mass curves and their influence on extreme flood simulation", Water Resour Manage 32:2625-2638
- [3] Veille Hydrologique Vaudoise, page de la station « Chamberonne, Chavannes-près-Renens ». https://www.vhv.ch/xt_vh_718536/station_view.php?cfg=display_VH_DEBIT_LIMNI&measurement_set_id=46
- [4] Scénarios climatiques CH2018. <https://www.nccs.admin.ch/nccs/en/home/the-nccs/priority-themes/ch2018-climate-scenarios.html>

Ce rapport a été réalisé par Anne Leroquais, Ing. Civ. Dipl. EPFL, cheffe de projet chez Hydrique Ingénieurs, et supervisée par Dr Frédéric Jordan, Directeur.

Fait au Mont-sur-Lausanne, le 8 août 2023

Hydrique ingénieurs HJ Sàrl

Dr Frédéric Jordan



Dr Philippe Heller

