

Étude hydrologique de la ZAC Ferney-Genève-Innovation

Rapport V3

Février 2023

IDENTIFICATION



INGÉROP Conseil et Ingénierie

Agence de Aix-en-Provence - Domaine du Petit Arbois - Pavillon Laënnec - Hall B - BP 20056 - F-13545 Aix-en-Provence cedex 4

Tél. : (33)4 42 50 83 00 - N° Siret 489 626 135 00250 - ingerop.aix@ingerop.com - ingerop.fr

Siège Social : 18 rue des deux gares - CS 70081 - F-92563 Rueil-Malmaison Cedex

S.A.S. au capital de 5 800 000 € - R.C.S. Nanterre B 489 626 135 - APE 7112B - Code TVA n° FR 454 896 261 35



GESTION DE LA QUALITÉ

Version	Date	Intitulé	Obs.	Rédaction	Lecture	Validation
V0	Nov. 2022	Note de cadrage sur les hypothèses hydrologiques		AP	AP	GP
V1	Janv. 2023	Rapport de phase 1	Transmission MOA	AP	ES	GP
V2	Janv. 2023	Rapport de phase 1	Prise en compte des remarques du MOA	AP	ES	GP
V3	Fév. 2023	Rapport de phase 2	Transmission	AP	ES	GP

Observations sur l'utilisation du rapport :

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable ; en conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle de ce rapport et annexes ainsi que toute interprétation au-delà des indications et énonciations d'INGÉROP ne saurait engager la responsabilité de celle-ci.

La société INGÉROP n'est pas responsable de la vérification de la véracité des informations transmises, à l'exception de celles normalement décelables par l'homme de l'art, et celles pour lesquelles le Client a exigé une analyse spécifique.

MAÎTRE D'OUVRAGE ET FINANCEURS



SIÈGE SOCIAL
SPL Territoire d'Innovation
13 C, Chemin du Levant
Immeuble L'Avant Centre
01210 FERNEY-VOLTAIRE
04 50 56 81 80

1. Contexte et objet de l'étude	4
1.1. Contexte	4
1.2. Hydrogrammes à produire pour l'étude hydraulique	6
2. Analyse des études antérieures	7
2.1. Contrat de rivières transfrontalier - Pays de Gex – Léman. Étude hydrologique, hydraulique et géomorphologique, phase 1 : diagnostic, bassin versant du vengeron, 2001, HYDRETTUDES	7
2.2. ÉTUDE « Modélisation hydrologique du Marqué-Gobet-Vengeron », 2011, RCI (Roland Cottier, Ingénieur Conseil)	9
2.3. Étude « Marquet, Gobé et ses affluents - Phase 2 : Établissement des zones inondées et des zones de dangers dus aux crues, rapport technique », CERA Ingénierie, 2011.....	12
2.4. Étude de définition de l'espace à réserver aux cours d'eau – Bassin versant de la Versoix, de l'Allondon, du Gobé, de l'Annaz, du nant des Charmilles et de la Valsérine, 2017, BURGEAP - HYDRETTUDES	16
2.5. Étude de modélisation sur les cours d'eau Gessiens, 2020, ISL	18
3. Hypothèses prises en compte dans la modélisation hydrologique	21
3.1. Données pluviométriques.....	21
3.2. Débits observés	25
3.3. Construction des pluies de projet.....	30
4. Modélisation pluie - débit	31
4.1. Logiciels utilisés	31
4.2. Découpage des sous bassins versants	31
4.3. Caractéristiques des bassins versants.....	33
4.4. Modélisation sous HEC-HMS	36
5. Conclusion.....	58

1. Contexte et objet de l'étude

1.1. Contexte

La SPL Territoire d'Innovation (Terrinnov) est maître d'ouvrage de la ZAC Ferney-Genève Innovation sur la commune de Ferney-Voltaire dont le programme prévoit la réalisation d'activités économiques et commerciales, de logements et d'équipements publics. Ces aménagements sont localisés sur les lieux-dits Très-la-Grange, Paimboeuf et Poterie. À ce jour, seul le secteur de la Poterie est déjà urbanisé.

Le secteur Poterie correspond à un secteur de renouvellement urbain (avec plusieurs lots prévus) qui font l'objet d'une Phase 1 d'aménagement.

Les secteurs de Paimboeuf et Très la Grange correspondent à des secteurs d'extension urbaine sur un site actuellement en prairies. Ces secteurs feront l'objet des phases 2 et 3 d'aménagement.

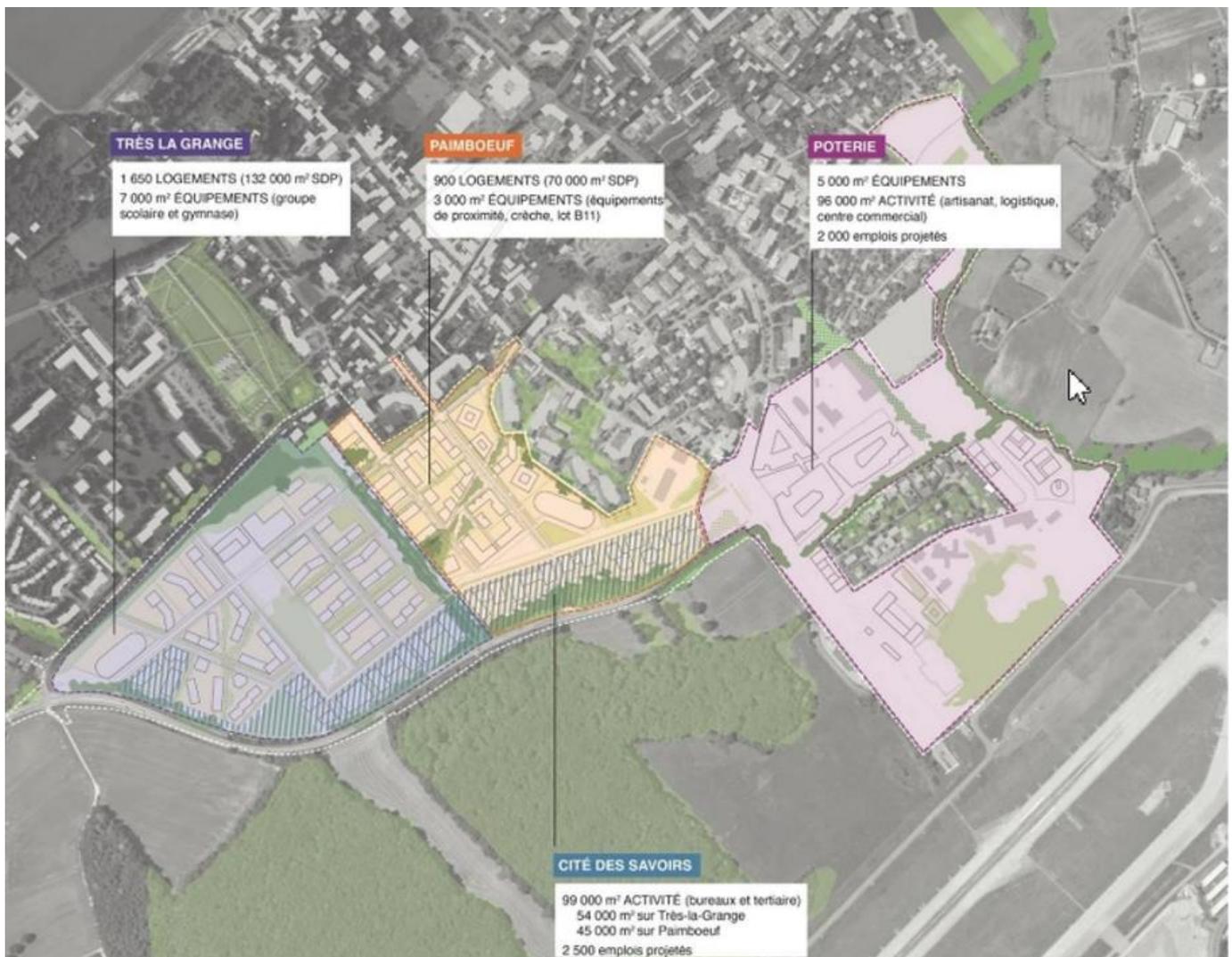


Figure 1 : Secteurs opérationnels de la ZAC Ferney-Genève Innovation (source : Obras- Terrinnov)

Deux réseaux hydrographiques sont présents sur le secteur de la ZAC : le cours d'eau du Nant et son affluent l'Ouye (dans le quartier de la Poterie). Ils rejoignent le Gobé, plus en aval (à l'est de Poterie, frontière).

L'un des objectifs de la ZAC est de valoriser l'ensemble du cours d'eau et de ses abords comme un grand parc parcourant l'ensemble du quartier, plusieurs tronçons seront longés par une véloroute. L'objectif, compte tenu des contraintes en termes d'espèces protégées et patrimoniales (allée de la Tire), est bien la création d'un corridor écologique avec une nette amélioration de la biodiversité. Plusieurs chênes centenaires vont être préservés.

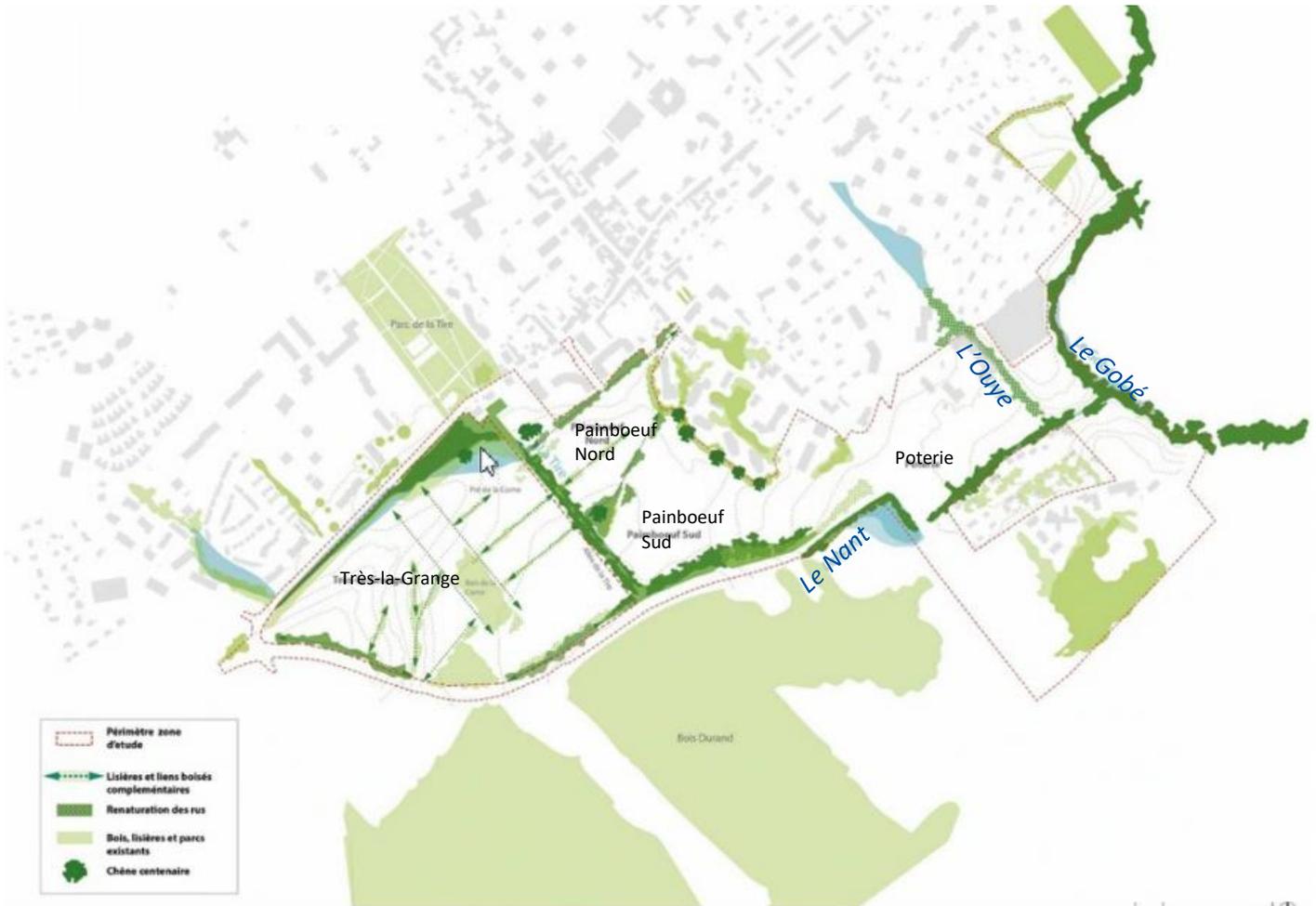


Figure 2 : Valorisation paysagère : le projet d'aménagement s'appuie sur la charpente paysagère existante et sa renaturation (source : Obras - Terrinnov)

Ainsi, l'urbanisation de la ZAC se situe dans le bassin versant du ruisseau du Nant et de l'Ouye. Les débits et les volumes pour les crues de ces ruisseaux seront impactés, du fait de l'urbanisation en elle-même d'une part, mais également du fait des ouvrages de gestion des eaux pluviales prévus [source : CCTP].

Ces évolutions nécessitent d'être étudiées finement compte tenu des enjeux à proximité de ces ruisseaux mais également du fait de la présence d'ouvrages singuliers dans les cours d'eau, difficilement modifiables.

Une étude hydrologique a été confiée à Ingérop afin de comprendre le fonctionnement hydrologique des bassins versants des ruisseaux du Nant, de l'Ouye et du Gobé, et de déterminer finement les hydrogrammes des trois ruisseaux étudiés, à l'état actuel et à l'état projet, afin de permettre au bureau d'étude en charge de la modélisation hydraulique de définir les conditions amont de son modèle.

1.2. Hydrogrammes à produire pour l'étude hydraulique

À ce jour, quelques études ont été réalisées sur des tronçons de ces ruisseaux, mais n'ont pas permis de définir finement, à ce stade, les données essentielles, à savoir :

- ♦ Une répartition claire des débits de pointe, de la crue décennale à la crue centennale, le long des cours d'eau selon l'urbanisation actuelle et à terme,
- ♦ La fourniture d'hydrogrammes de crues de scénarios Q10 à Q100 représentatifs des bassins versants actuels, tenant compte du bassin du Nant situé entre le chemin des marais et le chemin des Blaches, puis d'hydrogrammes d'apport le long du cours d'eau,
- ♦ La fourniture d'hydrogrammes d'apport de scénarios de crues Q10 à Q100 représentatifs des apports des bassins versants construits à terme.

L'étude hydrologique à réaliser a donc pour objectif de déterminer les hydrogrammes des trois ruisseaux au niveau des points suivants, conformément à la demande du Maître d'Ouvrage :

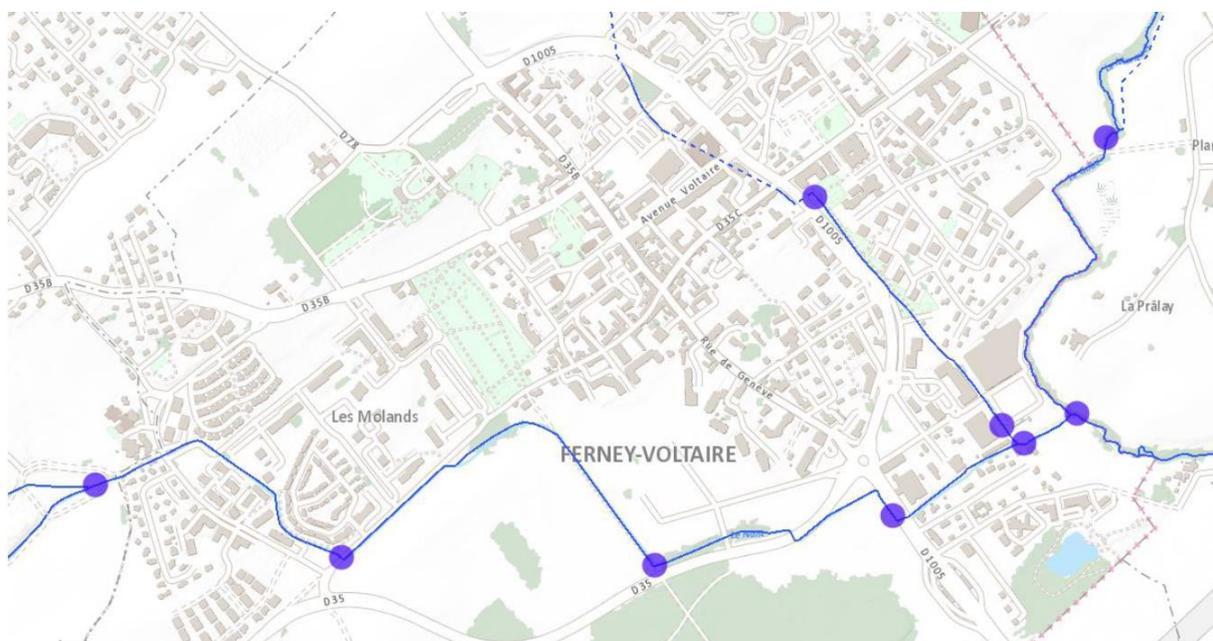


Figure 3 : Hydrogrammes à produire par la modélisation hydrologique [source : CCTP]

De plus, il est attendu que soient bien pris en compte :

- ♦ L'influence des potentiels de rétention existants
- ♦ L'influence des bassins de rétention de la ZAC à l'état projet



2. Analyse des études antérieures

L'analyse des études antérieures est principalement ciblée sur les aspects intéressant l'hydrologie du secteur d'études ainsi que les paramètres pouvant influencer la réponse hydrologique. Les autres aspects qui peuvent être traités dans les études antérieures ne sont pas développés ici, notamment en ce qui concerne la modélisation hydraulique.

2.1. Contrat de rivières transfrontalier - Pays de Gex – Léman. Étude hydrologique, hydraulique et géomorphologique, phase 1 : diagnostic, bassin versant du vengeron, 2001, HYDRETUDES

L'étude a été réalisée pour le compte de la Communauté de Communes du Pays de GEX.

1. Objectif

Les objectifs ne sont pas clairement définis dans ce rapport de phase 1 (les autres phases ne nous ont pas été transmises). Le rapport traite de l'hydrologie, l'hydraulique et la géomorphologie du bassin versant du Marquet Gobé Vengeron.

2. Méthodologie, informations intéressantes issues de l'étude et critique

♦ Calculs hydrologiques réalisés :

– Pluies utilisées :

- Pour la pluie journalière : l'aéroport de COINTRIN, (43 années d'observations journalières). P10 = 67mm. P100=93mm.
- Pour les pluies infra-horaires : Il est indiqué que « Les pluies qui génèrent les plus forts débits dans ce type de bassin versant sont de courte durée (inférieure à 4 h) et de forte intensité. Les données pluviométriques intéressantes sont donc celles qui concernent les faibles pas de temps. Les pluviographes qui permettent ces mesures et dont la période d'étude est suffisamment longue sont assez rares : le poste le plus proche est celui de Genève-Cointrin. Le poste de Challes les Eaux pourra compléter nos estimations. »
- Les quantiles de pluies issus des coefficients a et b de montana et Talbot de ces deux stations sont comparés aux quantiles issus de l'application de la loi de montana à partir des coefficients de l'Instruction Technique relative aux réseaux d'assainissement de 1977 (ITT 1977) de la Région II. Les auteurs concluent sur l'utilisation des coefficients donnés pour la station de Cointrin.

– Modèles pluie-débits :

Les méthodes utilisées pour la transformation pluie-débit sont des méthodes de « l'hydrologie classique ». Elles permettent d'obtenir une valeur de pointe. Elle ne donne pas d'hydrogrammes. Ce sont des méthodes « statiques ».

Aussi, les auteurs ont réalisé les estimations des débits décennaux à partir de la méthode rationnelle, la méthode Crupedix, la méthode du Cemagref applicable pour les bassins versants du Sud-Est et les bassins versants Alps, les abaques Sogreah.

Pour les débits Q30, Q100 et Q300, la méthode du Gradex est appliquée.

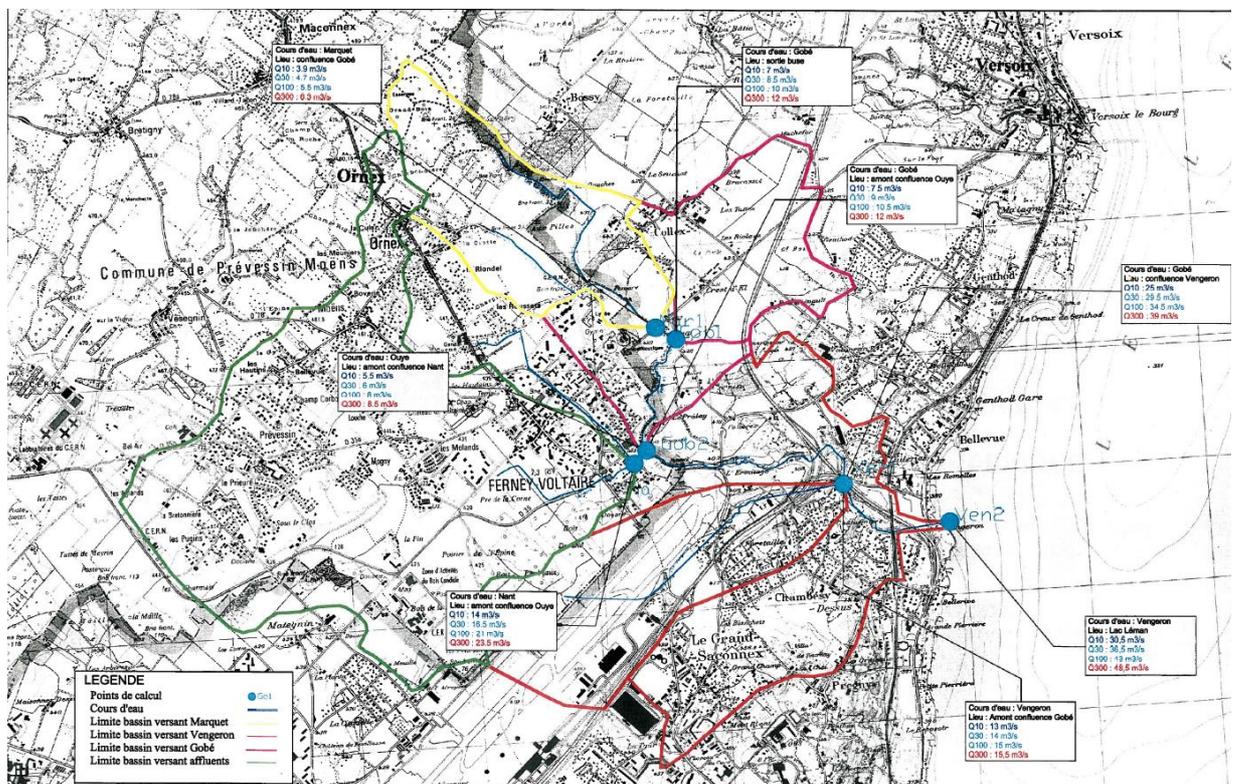
♦ Modèle hydraulique

Le modèle hydraulique réalisé dans le cadre de la mission est un modèle 1D, fonctionnant en régime permanent et transitoire. Le logiciel utilisé est le programme ISIS Flow 4.4 de HR Wallingford et Halcrow. Le régime transitoire est justifié par le fait que les débordements le long de l'Ouye et Nant sont susceptibles de conduire à des écrêtements de débits (et donc une réduction des débits de pointe de l'amont vers l'aval).

3. Résultats

Les débits issus de l'analyse hydrologique sont les suivants :

Lieu	Surface (km ²)	Q10 m ³ /s	Q30 m ³ /s	Q100 M ³ /s	Q300 m ³ /s
Marquet	2,4	4	5	5,5	6,5
Marquet+Gobé	4,1	7	8,5	10	12
Gobé confluence Ouye et Nant	5,0	7,5	9	10,5	12,1
Ouye	1,3	5,5	6	8,5	9
Nant	8,1	14	16,4	21	23,5
Ouye+Nant	9,4	17	20	26	29
Ouye+Nant+Gobé	14,3	22	26	30,5	37
Vengeron	2,8	13	14	15	15,5
Gobé confluence Vengeron	15,2	25	29,5	34,5	39
Gobé+Vengeron	18	30	35,5	41,5	46,5
Vengeron (Léman)	20,2	30,5	36,5	43	48,5



Carte des débits de pointes (source : Hydrétudes, 2001)

4. Critique (au regard de la présente mission)

Il s'agit ici d'une étude hydrologique et hydraulique très classique, relevant de ce qui pouvait être réalisé à cette époque (méthodes de transformation Pluie-Débit issue de l'hydrologie classique, modélisation 1D). Toutefois, on note :

- L'absence de calage du modèle sur un évènement (cela étant sans doute dû à l'absence ou l'insuffisance de données, les stations de mesures de débits ayant été créées récemment par rapport à la date de l'étude (celle au niveau du Gobé, par exemple, a été créée en 1998, cf. fiche §3.2)
- La construction des hydrogrammes pour le fonctionnement en régime transitoire n'est pas décrite.

L'étude est ancienne et mérite donc d'être réactualisée avec les données plus récentes de pluies et débits ainsi qu'avec des moyens plus performants en termes de modélisation hydraulique, sur la base de données topographiques plus précises.

2.2. ÉTUDE « Modélisation hydrologique du Marqué-Gobet-Vengeron », 2011, RCI (Roland Cottier, Ingénieur Conseil)

L'étude a été réalisée pour le compte de la DIM-Direction générale de l'Eau.

1. Objectif

L'objectif de l'étude est d'établir des séries continues de débits pour les principaux tronçons des cours d'eau concernés en vue, d'une part de servir de base pour l'établissement des débits de projet nécessaires à l'élaboration des cartes des dangers, d'autre part de permettre une évaluation, dans le cadre du PREE, de l'impact des rejets urbains sur l'écomorphologie des cours d'eau.

2. Méthodologie, informations intéressantes issues de l'étude et critique

- ♦ Logiciel utilisé pour la modélisation hydrologique : Mike Urban 2009
- ♦ Modèle Pluie-Débit appliqué, différent selon que les bassins versant soient de type rural ou de type urbain :
 - Bassin versant urbain : Modèle NAM sur les surfaces naturelles et modèle B de Mike Urban sur les surfaces imperméabilisées
 - Bassin versant rural : Modèle NAM
- ♦ Modèle de propagation : onde diffusante
- ♦ La fonction des bassins de rétention n'est pas précisée (écrêteurs de crue, zones d'expansions, compensation à l'imperméabilisation, ou autres utilisations...).

Les bassins de rétention (dont la fonction n'est pas précisée) sont pris en compte dans la simulation :

Nom	Vutile [m3]	Qsmax* [l/s]	Source
BR-FRET	3'880	520	Données SDI
BR-P49	790	60	Données SDI
BR-P48	1'850	100	Données SDI
BR-P47	600	38	Données SDI
BR-Nant aval	28'500	3000	Rapport Hydrétudes
BR-Nant amont	4'800	100	Données CCPG
BR-Ouye	10'800	1000	Rapport Hydrétudes
BR-Marquet	22'200	1180	Données CERA
BR-Ornex	3'750	180	Données CERA

Débit de sortie maximum pour $V = V_{utile}$

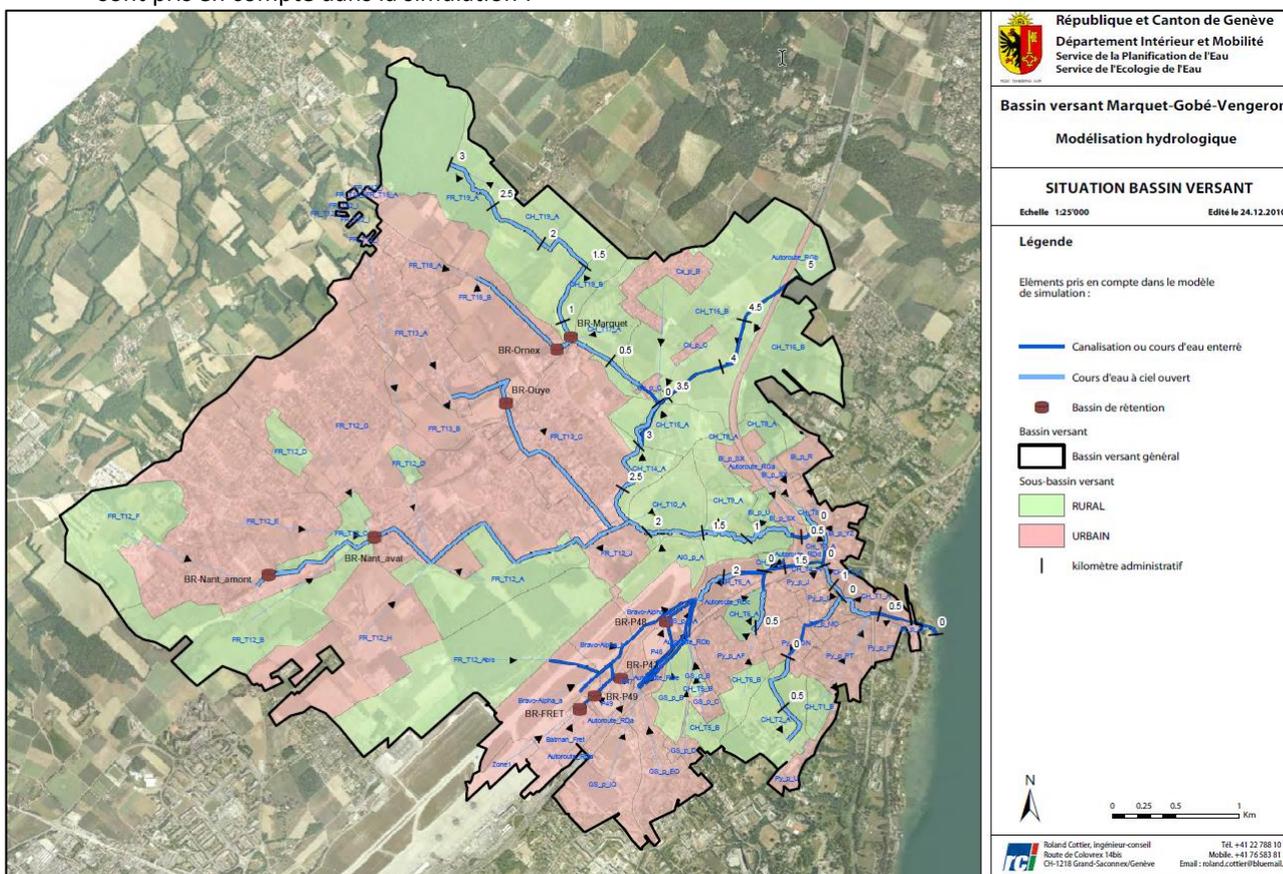


Figure 4 : Architecture du modèle hydrologique réalisé – Source : RCI

- ♦ Calage et validation :
 - Calage à partir des débits de la série Ermitage sur les années 2005 à 2009 (soit 5 années)
 - Calage à partir des débits de la série Vengeron amont (novembre 2008 à décembre 2009)
- ♦ Hypothèses simplificatrices :
 - Pluie homogène sur l'ensemble du bassin versant
 - Non prise en compte de l'impact lié à la fonte des neiges

3. Résultats

L'auteur indique un bon résultat sur son calage hydrologique hormis sur le maximum de la série. Pour ce dernier, le modèle surestime de près de 44% le débit observé (13.8m³/s calculés pour 9.6 m³/s observés). L'explication viendrait du fait d'une réponse exagérée de la zone perméable lors de cet événement

Des graphiques donnent une estimation des quantiles de débits :

Statistique des débits de pointe mesurés (fréquence empirique selon Hazen)

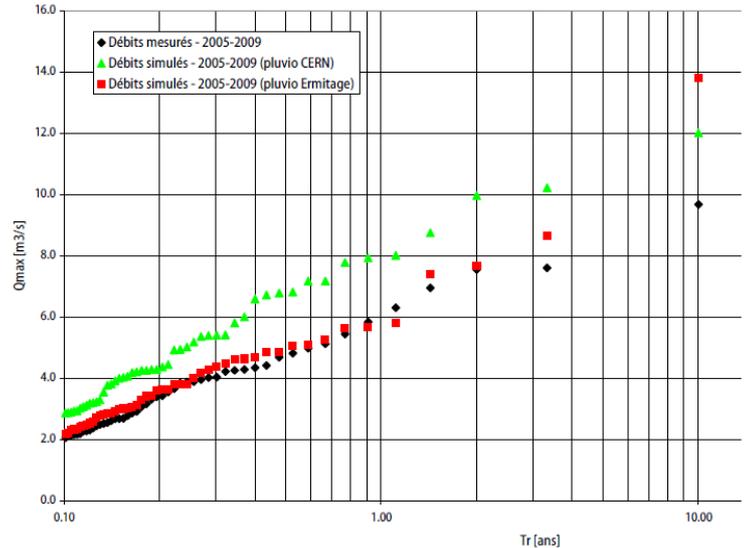


Figure 5 : Station Gobé, comparaisons des débits simulés (modèle calé sur Ermitage) – Source : RCI

4. Critique

L'étude hydrologique n'a pas pour objectif l'estimation des quantiles de débits. L'évènement réel étant calé, il est étonnant que le modèle ne soit pas réutilisé à des fins d'estimations des débits de projet.

Les résultats du calage montrent que si le modèle est bien calé pour les petits évènements pluviométriques, cela est bien moins vrai pour les évènements un peu plus forts, comme le montre la corrélation suivante sur la série Ermitage :

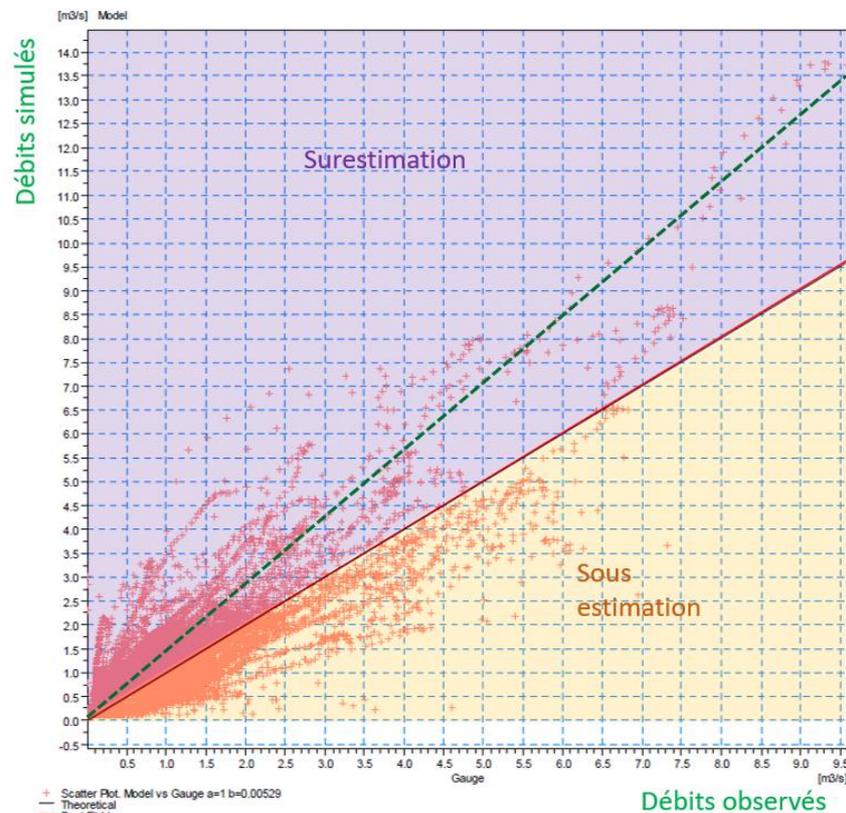


Figure 6 : Corrélation des débits simulés par rapport aux débits observés - Station de l'Ermitage (analysée réalisée à partir du graphique issu de l'étude RCI)

Le graphique montre que pour tous les débits supérieurs à $7 \text{ m}^3/\text{s}$ (soit pour $T > 2$ ans d'après la figure précédente), le modèle est en surestimation de l'ordre de 40 à 50%.

Noir : observé / rouge : simulé

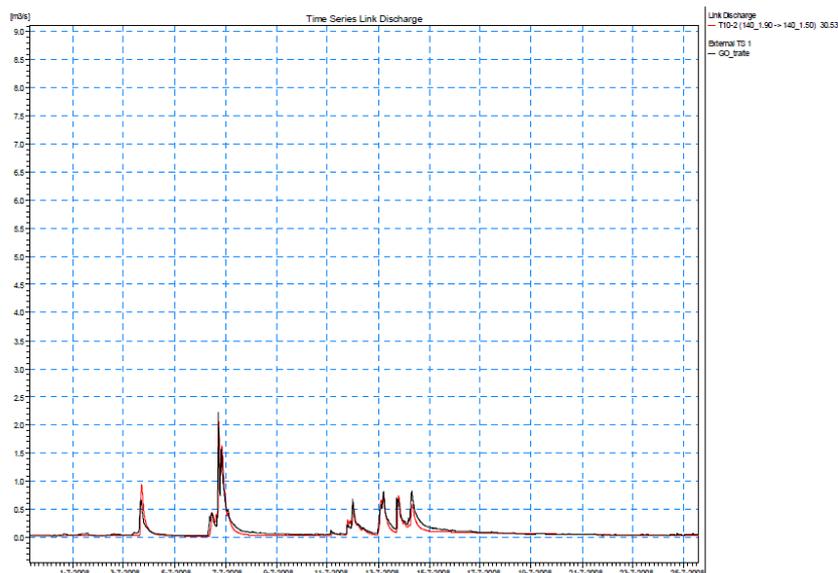


Figure 7 : Exemple de bonne corrélation sur un petit évènement pluviométrique

Noir : observé / rouge : simulé

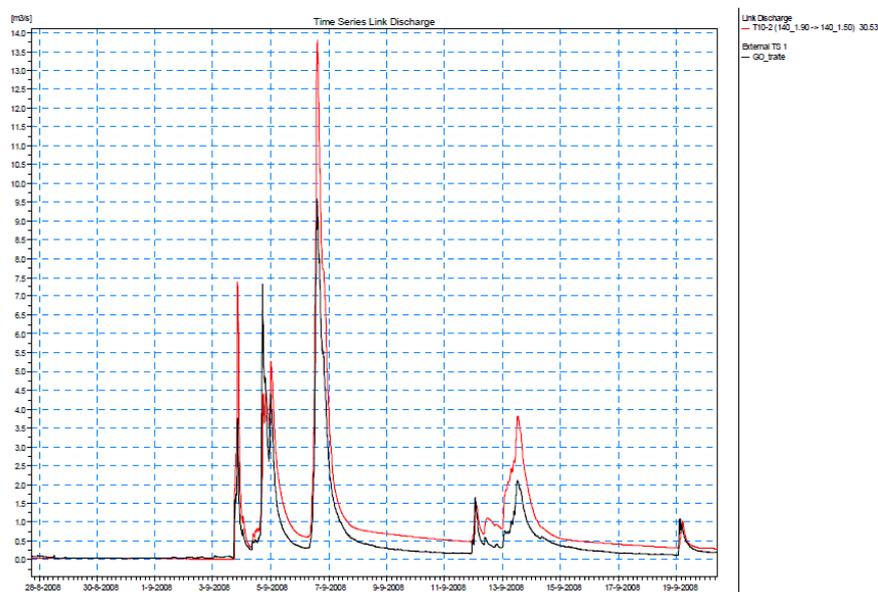


Figure 8 : Exemple de mauvaise corrélation sur un plus fort évènement pluviométrique

Ceci montre qu'il nous semble assez peu utile, dans le cadre d'une étude portant sur le risque inondation, de réaliser un calage sur l'ensemble des débits, y compris les faibles débits. Le risque étant de s'assurer un bon calage en moyenne alors que les résultats du calage sur les pics de crues restent critiquables.

Il nous semble plus intéressant de ne retenir que les crues les plus importantes pour l'exercice de calage, dans le cadre de l'étude de zones inondables.



2.3. Étude « Marquet, Gobé et ses affluents - Phase 2 : Établissement des zones inondées et des zones de dangers dus aux crues, rapport technique », CERA Ingénierie, 2011

L'étude a été réalisée pour le compte de la République et Canton de Genève, Service de l'écologie de l'eau (SECOE) – Entité de la dynamique de l'eau (DomEau). Seule la phase 2 de l'étude a été transmise. Elle fait suite à a phase 1 de reconnaissance du réseau hydrographique.

1. Objectif

L'étude a pour objet l'établissement des cartes de dangers dus aux crues et à l'élaboration de concepts de protection pour les cours d'eau du Marquet, Gobé, Vengeron et de leurs affluents.

La phase 2 constitue notamment à l'analyse hydraulique et hydrologique des cours d'eau Marquet-Gobé-Vengeron et affluents.

2. Méthodologie, informations intéressantes issues de l'étude

♦ Événements historiques observés :

Plusieurs événements historiques ayant conduit des inondations sont donnés :

- **Intempéries du 2 janvier 2001** : inondations dus à un débordement de cours d'eau et/ou une remontée de nappe phréatique rue des Hortensias, rue des Tournay et rue de Campagnette à Pregny-Chambésy.
- **Intempéries du 8 mars 2001** : inondations dus à un débordement de cours d'eau et/ou une remontée de nappe phréatique rue des Hortensias, rue des Hortensias et rue des Tournay à Pregny-Chambésy.
- **Crue du 14 et 15 novembre 2002** : Inondations des champs sur le cours d'eau du Marquet. Inondation à l'aval du Ruisseau des Ecrevisses, rue Valérie et au chemin des Châtaigniers, route des Fayard et avenue de Tournay à Pregny-Chambésy.
- **Crue du 13 janvier 2004** : Selon les observations du SRCE – Renaturation des cours d'eau et des rives, en fin d'après-midi, le Marquet est sorti de son lit et a inondé la route de Vireloup (qui a dû être fermé à la circulation) et de nombreux champs. Le débit maximum de la crue est estimé à environ 3.8 m³/s à l'entrée du collecteur de la route des Fayards (capacité théorique 2.5 m³/s).

♦ Quantification des débits :

L'étude hydrologique est basée d'une part sur les données hydrologiques issues de l'étude Roland Cottier Ingénieur Conseil et d'autre part sur une estimation des quantiles de débits 2, 10, 30, 100 et 300 ans à partir des données statistiques des débits journaliers maximum annuels :

- Les quantiles Q2, Q10 et Q30 ans ont été obtenus via l'ajustement des débits journaliers maximum annuels sur une loi de Gumbel.
- Les quantiles Q100 et Q300 ans par la méthode du gradex. Sur certains bassins versants très urbanisés, il a été décidé de comparer les valeurs obtenues via la méthode du Gradex avec les valeurs données par la borne supérieure de l'ajustement de Gumbel (intervalle de confiance à 80%). Pour chaque bassin versant, les débits de pointe les moins pénalisants ont été retenus.
- La pluie utilisée pour la méthode du gradex est la pluie du CERN (données de de juillet 1991 à mars 2010).
- Les hydrogrammes ont ensuite été produits sur la base des séries de débits disponibles où les auteurs ont identifié une crue de projet (la crue qui démarre le 24/02/1995 et se termine le 26/02/1995) présentant :
 - Deux pics de crues dans un intervalle inférieur ou égal à 12 h, soit la durée caractéristique du bassin versant global ;
 - Un coefficient de pointe (rapport entre le débit maximum et le débit moyen maximum sur 12h) d'environ 1,5.
 - Pour décrire chacune des crues de projet, les hydrogrammes extraits ont été ajustés grâce à un coefficient afin que leurs débits de pointe soient les plus cohérents possibles avec les statistiques de crue réalisées.

♦ **Étude hydraulique :**

Les zones inondables sont ensuite évaluées sous le logiciel HEC-RAS, par modélisation en régime transitoire, sur ce bassin versant, afin de tenir compte des potentiels d'écrêtements par les remblais et ouvrages de franchissements. Les résultats sont traduits en termes de tableaux et cartes de zones inondables.

3. Résultats hydrologiques

- ♦ En termes de débits quantiles de débits, les résultats obtenus sont les suivants :

Point	Q2	Q10	Q30	Q100	Q300	Qextrême
136 0.02 - En aval du Nant des Ecrevisses	0.28 m ³ /s	0.46 m ³ /s	0.56 m ³ /s	0.69 m ³ /s	0.81 m ³ /s	1.04 m ³ /s
137 0.10 - Aval du Vengeron	16.10 m ³ /s	23.65 m ³ /s	28.19 m ³ /s	36.48 m ³ /s	43.99 m ³ /s	54.72 m ³ /s
137 0.85 - Vengeron après confluence avec Nant des Châtaigniers	15.62 m ³ /s	23.21 m ³ /s	27.78 m ³ /s	35.95 m ³ /s	43.35 m ³ /s	53.92 m ³ /s
137 0.93 - Vengeron avant confluence avec Nant des Châtaigniers	15.04 m ³ /s	22.30 m ³ /s	26.68 m ³ /s	34.54 m ³ /s	41.66 m ³ /s	51.81 m ³ /s
137 1.26 - Vengeron avant confluence avec Gobé	8.51 m ³ /s	13.19 m ³ /s	16.00 m ³ /s	22.67 m ³ /s	26.23 m ³ /s	34.00 m ³ /s
137 1.95 - Vengeron avant canalisation pour traversée de l'autoroute	7.46 m ³ /s	11.82 m ³ /s	14.44 m ³ /s	20.66 m ³ /s	23.97 m ³ /s	30.98 m ³ /s
137 2.30 - Vengeron après aéroport	7.27 m ³ /s	11.39 m ³ /s	13.87 m ³ /s	19.74 m ³ /s	22.88 m ³ /s	29.62 m ³ /s
138 0.03 - Nant des Châtaigniers avant confluence avec le Vengeron	0.88 m ³ /s	1.40 m ³ /s	1.71 m ³ /s	2.44 m ³ /s	2.83 m ³ /s	3.66 m ³ /s
139 0.04 - Nant de Pregny avant canalisation	1.13 m ³ /s	1.79 m ³ /s	2.19 m ³ /s	3.15 m ³ /s	3.65 m ³ /s	4.72 m ³ /s
140 0.07 - Gobé avant confluence avec Vengeron	11.70 m ³ /s	17.57 m ³ /s	21.09 m ³ /s	27.27 m ³ /s	32.87 m ³ /s	40.90 m ³ /s
140 0.40 - Gobé avant confluence avec ruisseau des Chânatats	11.30 m ³ /s	16.91 m ³ /s	20.29 m ³ /s	26.28 m ³ /s	31.72 m ³ /s	39.43 m ³ /s
140 1.53 - Gobé en amont de la station limnigraphique	10.92 m ³ /s	16.31 m ³ /s	19.54 m ³ /s	25.48 m ³ /s	30.87 m ³ /s	38.23 m ³ /s
140 2.23 - Gobé avant confluence avec Nant	3.67 m ³ /s	5.46 m ³ /s	6.53 m ³ /s	8.69 m ³ /s	10.65 m ³ /s	13.03 m ³ /s
140 3.15 - Gobé amont, partie canalisée	1.48 m ³ /s	2.36 m ³ /s	2.89 m ³ /s	3.58 m ³ /s	4.20 m ³ /s	5.36 m ³ /s
140 3.16 - Marquet aval, avant confluence avec Gobé	2.15 m ³ /s	2.97 m ³ /s	3.46 m ³ /s	4.77 m ³ /s	5.96 m ³ /s	7.16 m ³ /s
141 0.03 - Ruisseau des Chânatats	0.30 m ³ /s	0.43 m ³ /s	0.52 m ³ /s	0.63 m ³ /s	0.73 m ³ /s	0.95 m ³ /s
142 0.25 - Marquet, avant canalisation pour traversée Vireloup	1.84 m ³ /s	2.64 m ³ /s	3.13 m ³ /s	4.60 m ³ /s	5.70 m ³ /s	6.90 m ³ /s
142 0.90 - Marquet avant bassin de rétention	1.29 m ³ /s	2.07 m ³ /s	2.54 m ³ /s	3.25 m ³ /s	3.90 m ³ /s	4.88 m ³ /s
818 0.05 - Ru d'Ornex (France)	0.83 m ³ /s	1.37 m ³ /s	1.69 m ³ /s	2.09 m ³ /s	2.46 m ³ /s	3.14 m ³ /s
819 0.04 - Nant (France)	6.94 m ³ /s	10.28 m ³ /s	12.29 m ³ /s	15.81 m ³ /s	18.99 m ³ /s	23.71 m ³ /s

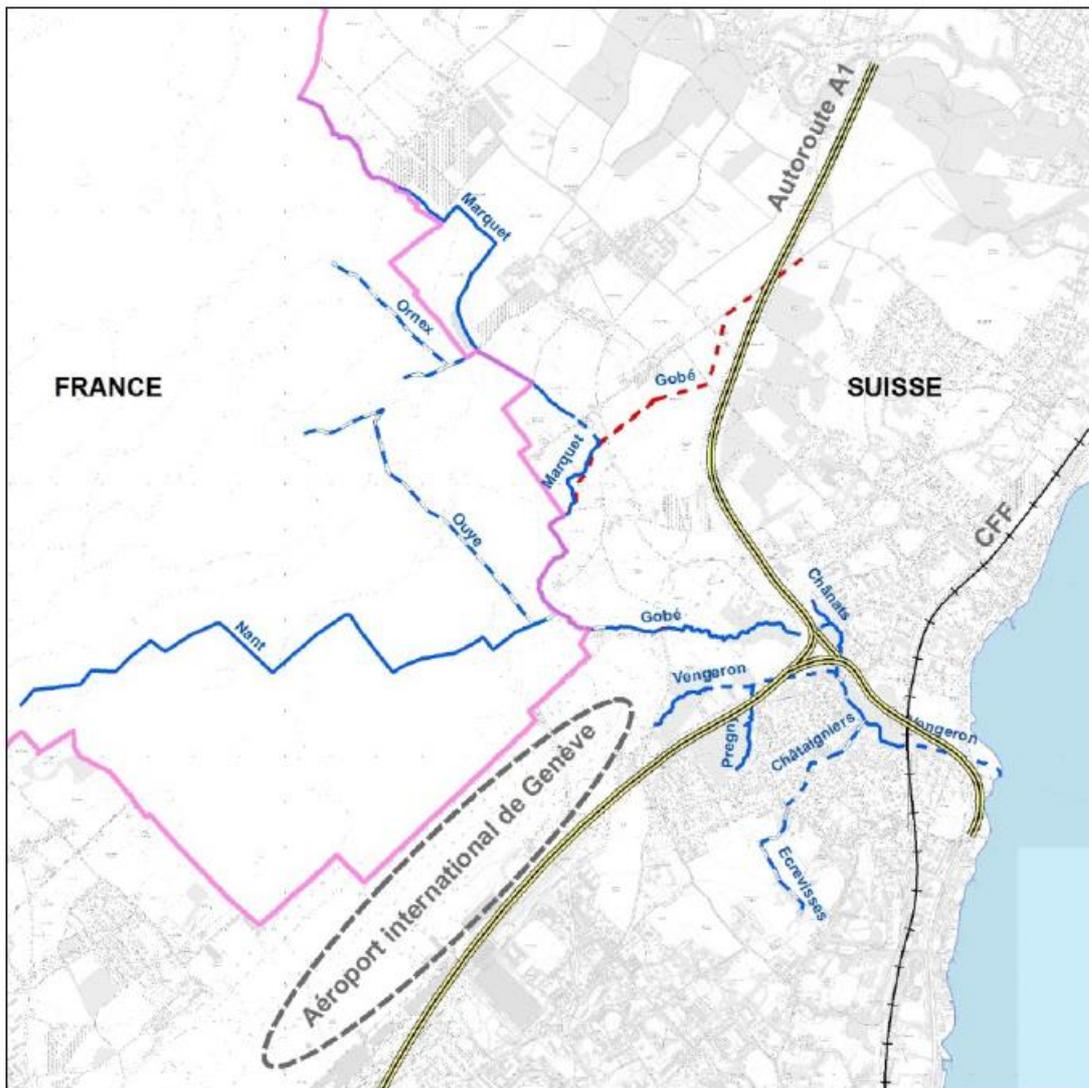


Figure 9 : Plan du réseau hydrographique (source : CERA Ingénierie, 2011)

- ♦ En termes d'hydrogrammes, parmi les résultats donnés en annexe de l'étude, on retrouve :

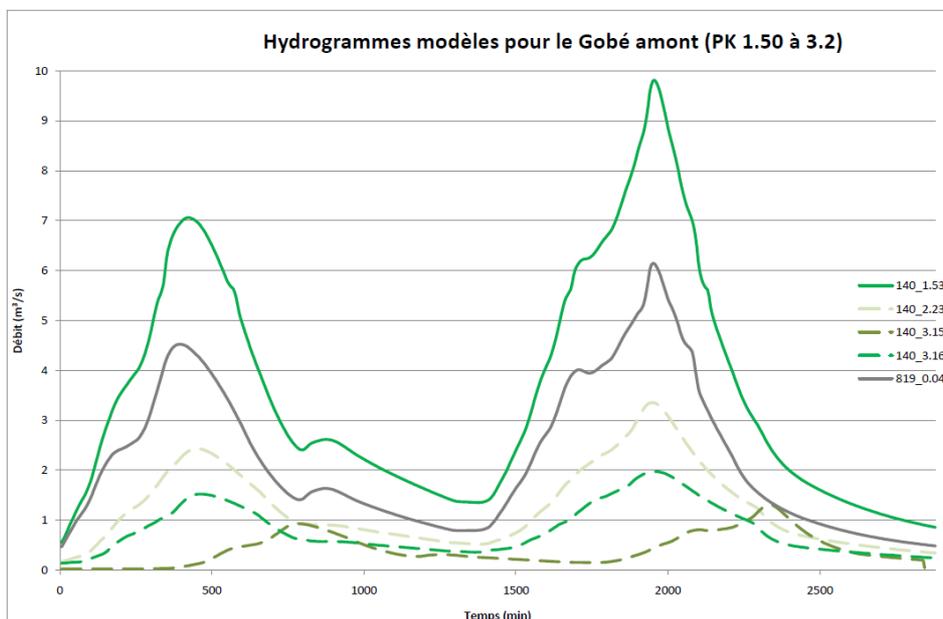


Figure 10 : Hydrogrammes modèles pour le Gobé amont (PK1.50 à 3.2) – CERA Ingénierie



4. Critique

- ♦ La méthode d'évaluation des débits de pointes souffre de plages d'observations réduites aux stations pluviométriques et hydrographiques. Cela rend moins robuste la démarche. De plus, la méthode du gradex est parfois non retenue (pour les bassins versants urbanisés).
- ♦ La méthode d'évaluation des hydrogrammes de projet est intéressante car elle se base sur un évènement réel. Le fait de prendre un évènement à deux pics est sans doute pénalisant pour l'évaluation des zones inondables. L'annexe « hydrogrammes » souffre d'un manque de légendes (de quels hydrogrammes parlent-on ? des hydrogrammes centennaux ?).
- ♦ Concernant la modélisation hydraulique : aurait-il été possible de caler le modèle sur les observations des crues passées ?



2.4. Étude de définition de l'espace à réserver aux cours d'eau – Bassin versant de la Versoix, de l'Allondon, du Gobé, de l'Annaz, du nant des Charmilles et de la Valsérine, 2017, BURGEAP - HYDRETUDES

L'étude a été réalisée pour le compte de la Communauté de Communes du Pays de GEX.

1. Objectif

Le principal objectif est de définir l'espace à réserver au cours d'eau afin d'intégrer cette étude dans les documents d'urbanisme (PLUi et SCoT). Ce projet s'inscrit dans le contrat de corridors Vesancy-Versoix transfrontalier signé le 27 février 2014 entre les partenaires suisses et français, dont la Communauté de Communes du Pays de Gex.

2. Méthodologie, informations intéressantes issues de l'étude

Une grande partie du réseau hydrographique du bassin versant étudiée a été prospectée in situ. C'est notamment le cas des certains tronçons du Gobé et du nant.

Les informations suivantes sont données :

♦ Gobé

Le cours d'eau prend naissance dans les plaines et les bois situés au Nord de Ferney-Voltaire. Il contourne la majeure partie du centre-ville de la commune avant de traverser la frontière Suisse puis de rejoindre le lac Léman.

D'une manière générale, le cours d'eau est relativement naturel, avec une ripisylve présente sur une majeure partie de son linéaire (d'épaisseur variable de 2 à 5 m).

On note la présence de quelques ouvrages de traversée de route et des protections de berge localisées. On note également des zones d'érosion assez marquées à l'aval des zones urbaines liées en partie aux différents rejets pluviaux du centre de Ferney-Voltaire.

En amont de Ferney-Voltaire, on note la présence de plusieurs annexes hydrauliques et zones humides.



Zone naturelle en amont du centre de Ferney-Voltaire



Zone naturelle avec érosion à l'aval de rejets pluviaux

Figure 11 : Photographies des cours d'eau du bassin versant - source : Burgeap - Hydrétudes

♦ Nant

Ce cours d'eau prend naissance dans les marais des Crêts et le marais des Fontaines. Il longe la ZA du Clos de Magny avant de se jeter dans un bassin de rétention artificiel créé pour la prévention des inondations (bassin de rétention du Nant). Le volume du bassin est d'environ **28 500 m³** avec un **débit de crue limité à 2.60 m³/s** calé pour la crue centennale estimée à environ 11.21 m³/s.

Le cours d'eau traverse le quartier des Mollands dans lequel il est contraint par des propriétés privées de type résidentiel et des protections de berges. La ripisylve est relativement en bon état, d'une largeur de 2 à 5 m mais uniquement dans les portions non protégées.

À l'aval du quartier des Mollands, le cours d'eau redevient plus naturel sur un linéaire d'environ 1 km puis traverse une dernière zone urbanisée sur 500 m avant de se jeter dans le cours d'eau du Gobé.

D'une manière générale, le cours d'eau est relativement contraint par des habitations, des routes, des ouvrages et des protections de berge. Les érosions sont régulières et marquées en raison d'apports pluviaux rapides et intenses. Le bassin de rétention a été créé pour prévenir les inondations dans les zones urbanisées.



Panneau d'informations du bassin de rétention du Nant



Protection de berge sur la zone urbanisée et berge naturelle sur la zone non urbanisée

3. Critique

Cette étude ne fournit pas d'analyse hydrologique. Elle donne néanmoins un aperçu de la morphologie des cours d'eau les bassins versants étudiés dont quelques informations sur le Nant et le Gobé. Une partie est dédiée aux activités économiques.

2.5. Étude de modélisation sur les cours d'eau Gessiens, 2020, ISL

L'étude a été réalisée pour le compte de l'agglomération du Pays de GEX.

1. Objectif

L'étude a pour objet l'établissement d'un état des lieux et un diagnostic complet des cours d'eau et des ouvrages de protection existants sur l'ensemble « Pays de Gex – Léman » et « Valserine », qui comporte l'approfondissement des réflexions sur les zones inondables de l'ensemble « Pays de Gex – Léman » à partir d'une modélisation hydraulique des 178 km des cours d'eau côté lémaniques ainsi que la recherche de solutions de protection sur la totalité du territoire de Pays de Gex aggro.

2. Méthodologie, informations intéressantes issues de l'étude

- ♦ **Le secteur du bassin versant du Gobé (couvrant celui du Nant) fait partie du secteur d'étude n°2 de l'étude ISL.**

- ♦ **Analyse des études antérieures :**

Une analyse critique est réalisée sur les études Hydretudes de 2001 et de Hydretudes / Burgeap de 2017 (Etude préalable à l'élaboration des espaces de mobilité, phase 2A).

Pour l'étude de 2001, est à noter : les débits hydrologiques rappelés en tableau de synthèse de l'étude sont parfois discordants avec l'étude mentionnée.

Pour l'étude de 2017 – phase 2 (que nous n'avons pas à disposition) : les auteurs sont très critiques vis-à-vis des résultats hydrologiques obtenus, qui leur semblent tous en surestimation. Pour le démontrer, les auteurs comparent les résultats avec les débits SHYREG et considèrent que le coefficient de ruissellement (=volume total écoulé/ volume total précipité) serait, selon les résultats de l'étude, en moyenne de 80% pour la crue centennale, non cohérent avec la réponse hydrologique des bassins versants du secteur d'études.

- ♦ **Calculs hydrologiques réalisés :**

- Pluies utilisées :

Au niveau du Gobé, les pluies utilisées ne sont pas précisées : les ingénieurs ISL se basent-ils sur la station de Genève Cointrin de la même façon que cela a été fait et décrit pour le bassin versant d'Allondon ? Les pluies de projet sont-elles les mêmes que celles construites pour le bassin versant d'Allondon ? (ce qui serait critiquable au vu des superficies sensiblement différentes des bassins versants ?) Avec un temps de montée indiqué de 1h30 (au niveau des débits du Gobé), il semble qu'ISL ait utilisé un autre jeu de pluies de projet. Celles-ci ne sont pas données dans le rapport.

- Logiciel de modélisation hydrologique utilisé et modélisation Pluie-Débit :

- Logiciel : HEC-HMS
- Calcul de volumes de ruissellement et du ruissellement direct : modèle du Curve Number (CN), méthode SCS (Soil Conservation Service) ;
- Modélisation des écoulements fluviaux : modèle de Muskingum-Cunge.

- Prise en compte des bassins écrêteur :

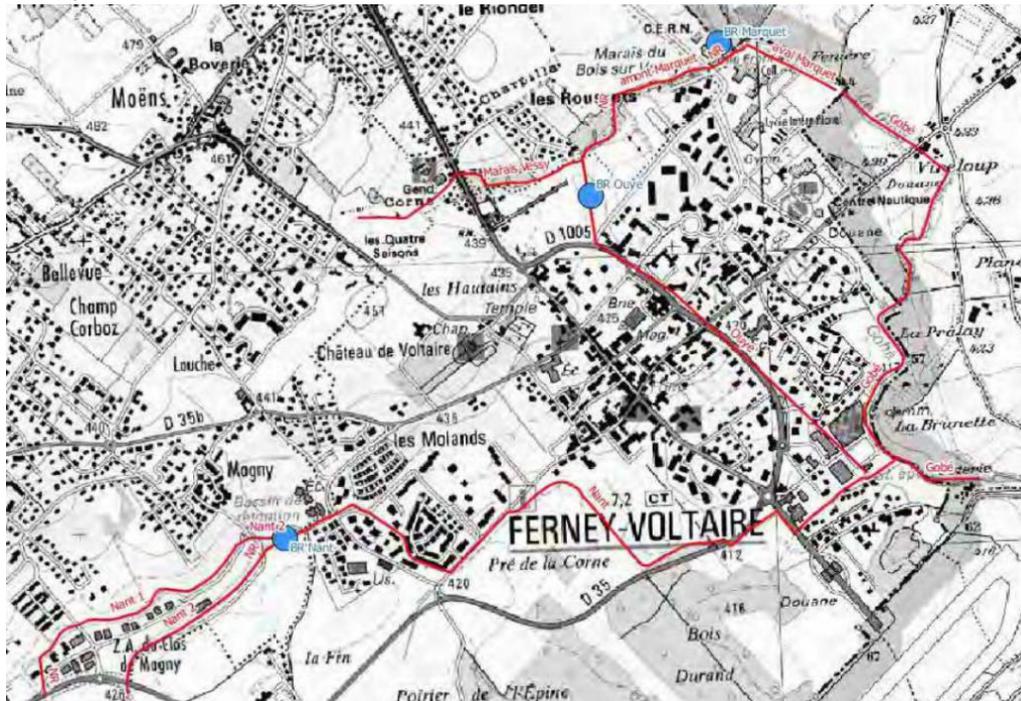


Figure 12 : Situation des bassins de rétention (source : ISL)

- Calage du modèle : Sur le Gobé, ISL n'aurait pas obtenu les chroniques de débits de la station de 2004, 2015 et 2018, raison pour laquelle le modèle n'a pas pu être calé sur ce bassin versant en particulier.

3. Résultats obtenus

♦ Écrêtement des bassins de rétention sur le secteur Gobé

	Q2 (m3/s)		Q10 (m3/s)		Q30 (m3/s)		Q100 (m3/s)	
	Débit non écrêté	Débit écrêté						
Bassin Nant	1,7	0,7	4,3	1,5	6,7	1,9	10	2,6
Bassin Ouye	0,7	0,4	1,9	0,9	2,9	1,1	4,3	1,3
Bassin Marquet	1	0,6	2,5	1	3,9	1,2	5,8	1,3
Aval Gobé	5,5	3,2	14,3	7,4	22	11,1	32,6	16,2

♦ Débits de pointe obtenus sur le bassin versant Gobé

Bassin versant	Cours d'eau	Lieu	Surface du bassin versant (km ²)	Q2	Q10	Q30	Q100
				(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)
MARQUET-GOBÉ-VENGERON	Marquet	amont passage busé au lieu-dit Vireloup (débit écrêté)	2.5	0.9	1.7	2.2	2.9
	Gobé	amont confluence Ouye et Nant	5.0	2.1	4.8	7	9.9
	Gobé	aval confluence Ouye et Nant	14.3	4.9	12.2	18.4	27.1
	Ouye	confluence Ouye-Nant	1.3	0.8	2.2	3.4	5.1
	Nant	confluence Ouye-Nant	8.1	2.4	6.1	9.3	13.8
	Ouye et Nant	confluence Gobé	9.4	3	8	12.3	18.4

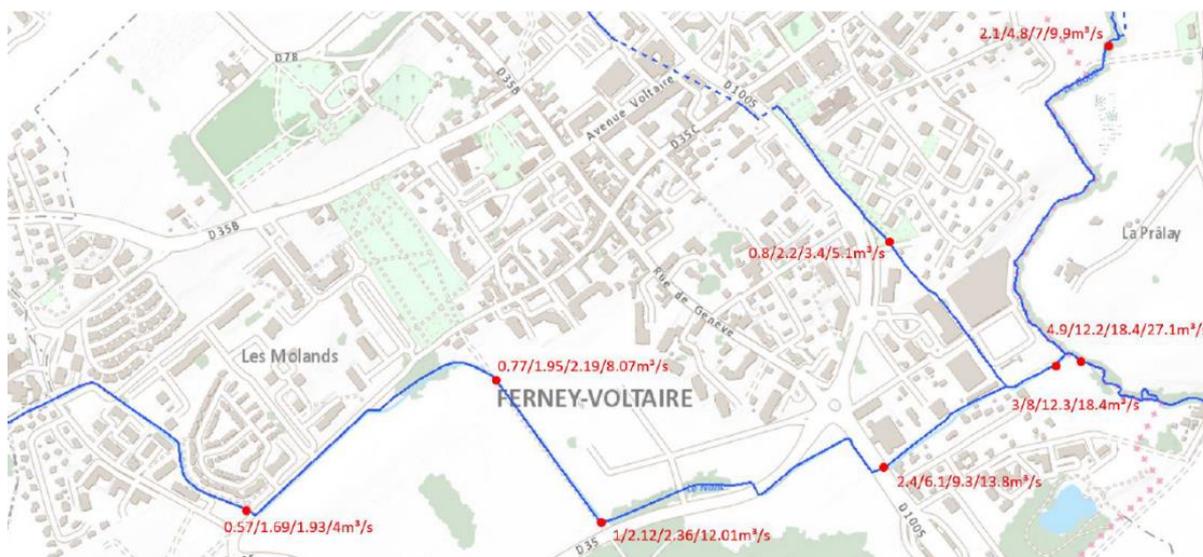


Figure 13 : Débits obtenus par ISL sur le Gobé (d'après étude CERA, avril 2022)

4. Critique

L'analyse des études antérieures est intéressante et apporte des compléments d'informations.

Concernant l'étude hydrologique, pour le bassin versant du Gobé, l'analyse des événements pluvieux antérieurs n'a pas été réalisée et le modèle n'a pas pu être calé.

De plus, les paramètres du modèle Pluie-Débit sous HEC-HMS ne sont pas donnés (valeurs des CN notamment). La pluie utilisée n'est pas définie. Il est donc difficile de pouvoir émettre une critique. Les volumes des bassins de rétention, les paramètres réglant les débits de fuite ne sont pas décrits. Le découpage des sous bassins versants n'est pas présenté.

On note que les résultats obtenus sont plus de deux fois moins importants que ceux de l'étude Hydrétudes de 2001.

3. Hypothèses prises en compte dans la modélisation hydrologique

3.1. Données pluviométriques

3.1.1. Courbes IDF

La station de Genève – Cointrin, gérée par MétéoSuisse est la plus intéressante des stations du Canton de Genève, puisque située à toute proximité de la ZAC et disposant d'une longue période d'acquisition des données (station ouverte depuis 1950).

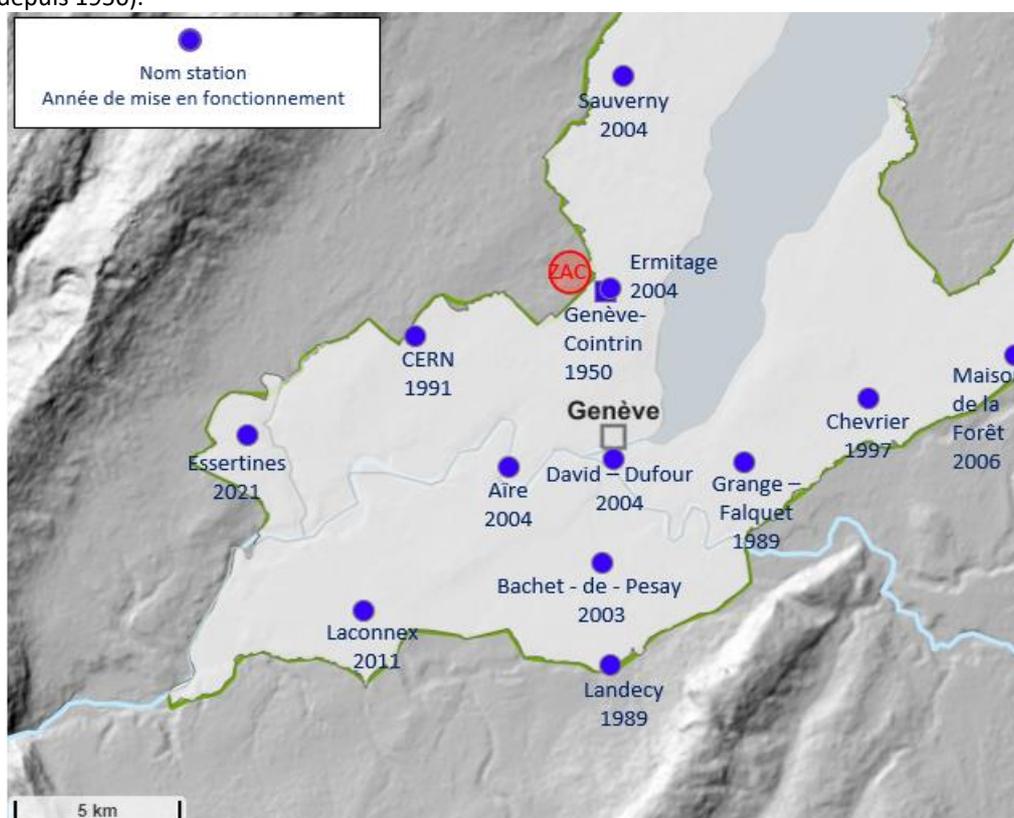


Figure 14 : Carte de situation des stations pluviométriques

Les données pluviométriques à cette station ont pu être récupérées sur le site de meteoSuisse : <https://www.meteosuisse.admin.ch/home/climat/le-climat-suisse-en-detail/analyses-des-valeurs-extremes/periode-standard.html?station=gve>.

De plus, la république du canton de Genève a publié en 2010 une directive sur l'intensité des pluies de la région genevoise, intitulée Directive IDF 2009 (Intensité – Durée – Fréquence) des Pluies Genevoises (version 2.0 – novembre 2010).

Nous avons comparé les valeurs entre les intensités issues de cette directive et celles relevées à la station de Genève Cointrin. Les courbes IDF ont été tracées dans le graphique suivant.

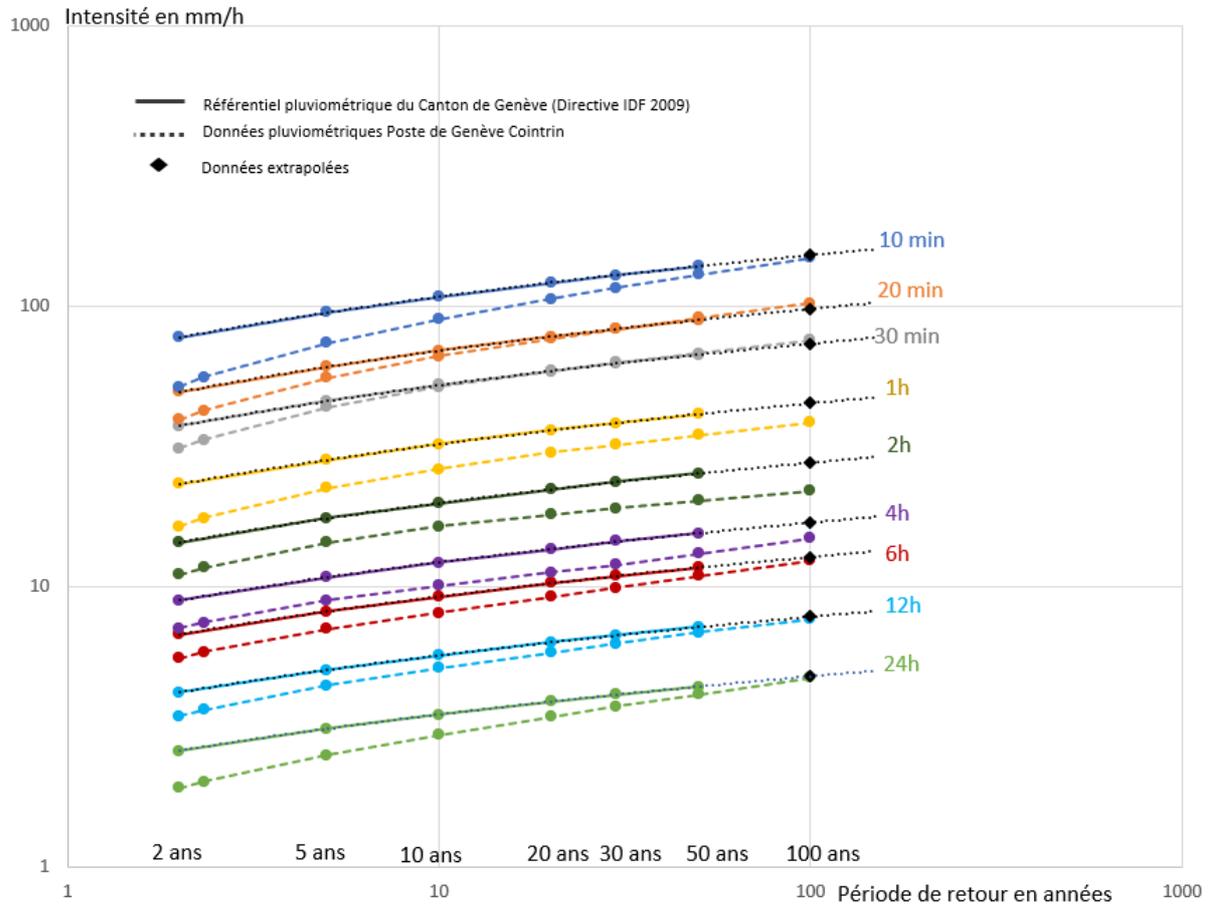


Figure 15 : Courbes IDF station de Genève Cointrin (1961-2020) et Directive IDF2009 du canton de Genève

Il apparaît que les intensités proposées dans le référentiel du canton de Genève sont globalement plus fortes que celles relevées à la station de Genève-Cointrin, surtout pour les plus faibles périodes de retour. Pour T=30 et T=50 ans, les écarts se resserrent. On note que pour les durées de 1 et 2h, les écarts sont plus forts.

La directive ne propose pas de valeurs pour la période de retour centennale. Aussi, nous les avons extrapolées par ajustements statistiques.

Pour la suite de l'étude, nous proposons de retenir les courbes IDF les plus pénalisantes, ce qui revient à utiliser les valeurs issues de la Directive IDF2009 du canton de Genève. Pour les intensités centennales, nous retiendrons les valeurs extrapolées.

Les valeurs sont données dans le tableau suivant :

Intensités pluviométriques en mm/h (Directive IDF2009 – Canton de Genève)

Période de retour T(an)	10 min	20min	30min	1h	2h	4h	6h	12h	24h
2	77.4	49.4	37.4	23.2	14.4	8.93	6.76	4.2	2.6
5	94.9	60.7	45.8	28.3	17.5	10.8	8.16	5.04	3.12
10	108	69.3	52.3	32.2	19.8	12.2	9.21	5.68	3.5
20	121	77.9	58.7	36.1	22.2	13.6	10.3	6.32	3.89
30	129	83	62.4	38.3	23.6	14.5	10.9	6.7	4.12
50	139	89.3	67.1	41.2	25.3	15.5	11.7	7.17	4.4
100	<i>152.0</i>	<i>97.9</i>	<i>73.5</i>	<i>45.1</i>	<i>27.7</i>	<i>16.9</i>	<i>12.8</i>	<i>7.8</i>	<i>4.8</i>

Pluies en mm (Directive IDF2009 – Canton de Genève)

Période de retour T(an)	10 min	20min	30min	1h	2h	4h	6h	12h	24h
2	12.9	16.5	18.7	23.2	28.8	35.7	40.6	50.4	62.4
5	15.8	20.2	22.9	28.3	35.0	43.2	49.0	60.5	74.9
10	18.0	23.1	26.2	32.2	39.6	48.8	55.3	68.2	84.0
20	20.2	26.0	29.4	36.1	44.4	54.4	61.8	75.8	93.4
30	21.5	27.7	31.2	38.3	47.2	58.0	65.4	80.4	98.9
50	23.2	29.8	33.6	41.2	50.6	62.0	70.2	86.0	105.6
100	25.3	32.6	36.8	45.1	55.3	67.7	76.5	93.7	115.0

En italique : valeurs extrapolées

3.1.2. Pluies réelles

Depuis la mise en service du poste météorologique de Genève-Cointrin, plusieurs évènements pluviométriques notables ont été relevés à la station :

- ♦ **Pluie du 2 juillet 1998**
 - **21.9 mm en 10 minutes (soit T=54 ans) – rang 1**
 - **27.4 mm en 20 minutes (soit T=29 ans) – rang 1**
 - 27.6 mm en 30 minutes (soit T=14 ans) – rang 2
 - 27.4 mm en 1 heure (soit T= 12 ans) – rang 3

La pluie a été très intense sur une très courte durée.

- ♦ **Pluie du 7 juin 2007 :**
 - 16.7 mm en 10 minutes (soit T=15 ans) – rang 3
 - 26.7 mm en 20 minutes (soit T=25 ans) – rang 2
 - **33 mm en 30 minutes (soit T=41 ans) – rang 1**
 - 30.6 mm en 1 heure (soit T= 23 ans) – rang 2
 - **37.9 mm en 2 heures (soit T=29 ans) – rang 1**
 - 38.9 mm en 3 heures (soit T=20 ans) – rang 2

La pluie a été intense sur une très courte à moyenne durée.

♦ **Pluie du 12 juin 2018 :**

- **31.8 mm en 1 heure (soit T= 29 ans) – rang 1**
- 37.5 mm en 2 heures (soit T= 27 ans) – rang 2
- 39.7 mm en 3 heures (soit T=23 ans) – rang 3

La pluie a été intense pour des durées entre 1 à 3 heures.

♦ **Pluie du 8 octobre 2014 :**

- 34.8 mm en 2 heures (soit T=15 ans) – rang 3
- 38.6 mm en 3 heures (soit T=18 ans) – rang 3
- **51.4 mm en 4 heures (soit T=44 ans) – rang 1**
- **67.1 mm en 6 heures (soit T=58 ans) – rang 1**
- 70 mm en 12 heures (soit T=20 ans) – rang 2

Pluie importante sur une durée de 4 à plus de 6 heures

♦ **Pluie du 14-15 novembre 2002**

- **92.6 mm en 24 heures (soit T=35 ans) – rang 1**
- 98.6 mm en 2 jours (soit T= 13 ans) – rang 3
- 122.5 mm en 3 jours (soit T= 22 ans) – rang 2

Pluie importante sur 24 heures.

Nota : les périodes de retour ont été estimées par Météo-Suisse.

3.2. Débits observés

3.2.1. Pluies réelles

Une station limnigraphique existe sur le Gobé. Elle est suivie par le réseau DGEau – SECOE – Genève. Les informations sont les suivantes :

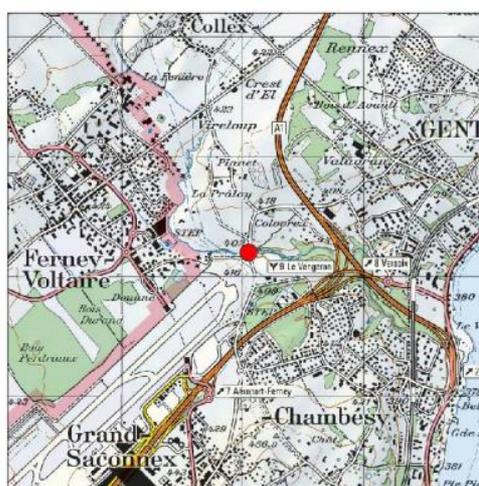


ETAT DE GENEVE

DGEau - SECOE - Dynamique de l'Eau

Station limnigraphique : GOBÉ Niveau du Gobé

Code Station	GO	
Cours d'eau	140 - Le Gobé	
Kilométrage admin	1.52	
Commune	Bellevue	
Début des mesures	15 janvier 1998	
Fin des mesures	-	
Altitude ("0.00" du limnimètre)	397.84	[m.s.m]
Altitude débit nul	397.85	[m.s.m]
Coordonnées nationales	2'499'054 / 1'123'204	
Surface du bassin versant	15.6	km ²
Gestionnaire station	SECOE-Genève	
Gestionnaire données	SECOE-Genève	
Référence temporelle	GMT+1	(h. hiver)
Paramètres mesurés	Niveau	[m]
	Débit	[m ³ /s]



HLM Hauteur
limnimétrique
(Débit nul) = 0.01 [m]



Figure 16 : Fiche de la station limnigraphique du Gobé (140_H_GO_Fiche.doc- 01/02/2017), source : Veille Hydro-météorologique du Canton de Genève, https://vhg.ch/xt_vh_718536/station_view.php?cfg=display_VH_DEBIT_LIMNI&measurement_set_id=79

Les débits les plus importants relevés à la station du Gobé, sur la période de 1998 à 2020, sont les suivants :

Date	Débits en m ³ /s
15 novembre 2002 - 05:00:00	16.29
8 mars 2001 - 16:00:00	12.83
13 janvier 2004 - 10:00:00	12.14
10 novembre 2012 - 22:00:00	10.64
25 octobre 1999 - 14:00:00	10.30
6 septembre 2008 – 15 :00 :00	8.86

En comparant les évènements pluvieux les plus importants relevés aux valeurs de débits maximums relevés à la station du Gobé, on observe :

- ♦ La pluie du 2 juillet 1998 a provoqué un débit de 2.4 m³/s à la station du Gobé
- ♦ La pluie du 7 juin 2007 a provoqué un débit de 2.7 m³/s à la station du Gobé.
- ♦ La pluie du 12 juin 2018 a provoqué un débit de 5.1 m³/s à la station du Gobé.
- ♦ La pluie du 8 octobre 2014 a provoqué un débit de 7.4 m³/s à la station du Gobé.
- ♦ La pluie du 14-15 novembre 2002 a provoqué un débit de 16.3 m³/s à la station du Gobé. C'est le plus fort débit relevé.

D'après l'étude CERA de 2011, parmi la liste des maximums de débits relevés ci-dessus, on retrouve des observations sur les inondations produites du bassin versant pour :

- ♦ **L'évènement du 8 mars 2001** (inondations dus à un débordement de cours d'eau et/ou une remontée de nappe phréatique rue des Hortensias, rue des Hortensias et rue des Tournay à Pregny-Chambésy).
- ♦ **L'évènement du 14 et 15 novembre 2002** (inondations des champs sur le cours d'eau du Marquet. Inondation à l'aval du Ruisseau des Écrevisses, rue Valérie et au chemin des Châtaigniers, route des Fayard et avenue de Tournay à Pregny-Chambésy).
- ♦ **L'évènement 13 janvier 2004** (débordements du Marquet qui a inondé la route de Vireloup et de nombreux champs).

La pluie de 2001 n'est pas répertoriée dans les évènements historiques au niveau des stations de Genève Aires et Cointrin. Les relevés à la station du CERN montrent que l'évènement pluviométrique a été important.

Aussi, le bassin versant du Gobé est peu réactif aux pluies intenses de petites durées. Cela est sans doute dû au fait que les zones de marais existantes sur le bassin versant agissent comme des zones tampons qui doivent d'abord être remplies avant de provoquer un écoulement dans la rivière. De plus, la durée caractéristique de crue du bassin versant du Gobé, d'après l'étude CERA, est évaluée à 12h.

Ainsi, la pluie des 14-15 novembre 2002 a été très défavorable. Cette pluie, de période de retour d'environ 30-35 ans sur 24 heures est caractérisée par deux pics. Le premier, qui se produisit le 14 novembre sur une dizaine d'heure, a permis de remplir les zones de marais et saturer les sols. Le débit observé au Gobé s'élève tout de même à 11.8 m³/s. La seconde averse dure environ 8 heures et provoque une seconde montée du Gobé qui atteint 16 m³/s.

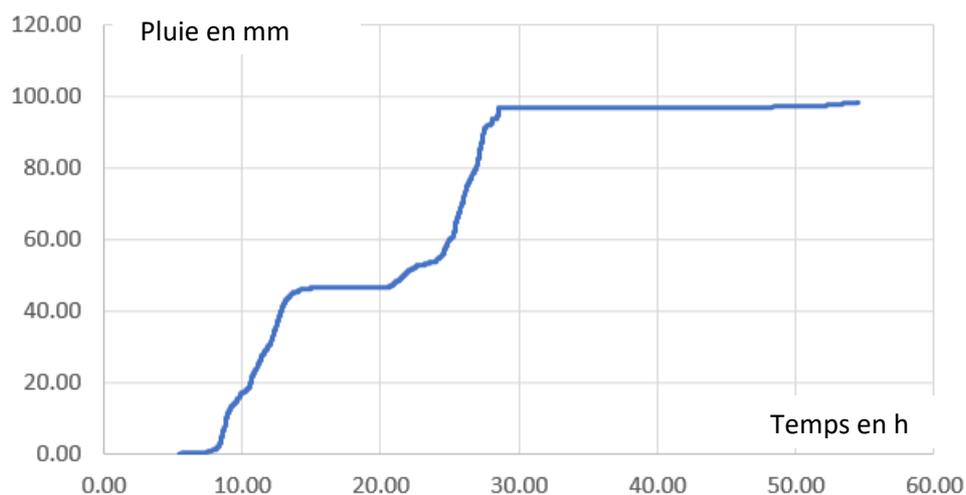


Figure 17 : Pluie cumulée des 14-15 novembre 2002 (station du CERN)

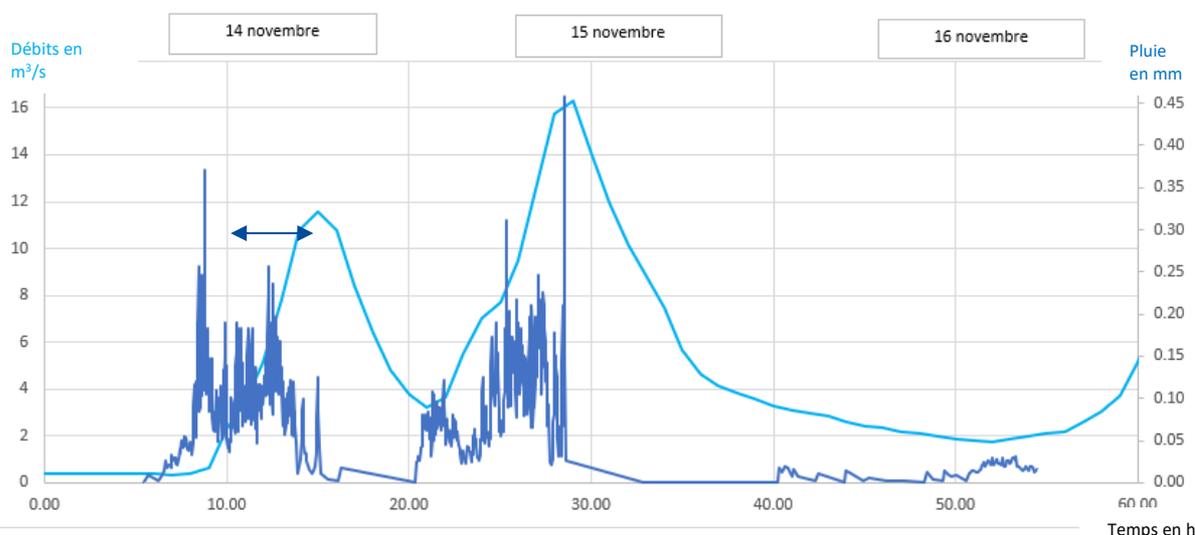


Figure 18 : Évènement du 14 et 15 novembre 2002

La forme de l'évènement (deux averses successives) a d'ailleurs contribué à générer une augmentation des débits lors de la deuxième averse. Deux hypothèses sont avancées pour expliquer ce phénomène :

- ♦ La première averse a eu pour effet de saturer les sols (augmentant ainsi le coefficient de ruissellement)
- ♦ La première averse a rempli les marais. A la seconde averse, le potentiel d'écroulement devait être plus faible et a induit une surverse plus rapide de ces zones de stockages temporaires naturelles.

De plus, au niveau pluviométrique, la probabilité d'apparition de deux pics successifs est plus faible (c'est-à-dire plus rare) qu'un évènement pluviométrique à 1 seul pic.

Ensuite, la probabilité d'une crue résultante à un évènement pluviométrique de ce type (avec les deux pics successifs) est également plus élevée que la période de retour associée à l'évènement pluviométrique ($T_{\text{pluie}} < T_{\text{débit}}$), compte tenu du fait de la plus faible possibilité d'écroulements (voire même l'impossibilité d'écroulement) des espaces de rétention, lors de la survenue du second pic.

À noter que les pluies de projet utilisées par CERA (étude de 2011) s'étaient basées sur un évènement historique d'une durée de l'ordre de 12h, à deux pics (épisode ayant débuté le 24/02/1995 et se terminant le 26/02/1995). L'évènement de 2002, par comparaison est également composé de deux pics mais chaque pic durant près de 10h.

La pluie de 2002 est sans conteste la pluie ayant provoqué le plus fort débit sur le bassin versant du Gobé. La période de retour associée est estimée à T=35 ans d'après Météo-Suisse. C'est également celle qui semble avoir

provoqué le plus de désordres. Elle s'explique par une durée de pluie longue qui a d'abord permis de saturer les sols et remplir les bassins de rétention et autres zones de stockages du bassin versant (zones de marais, champs...) et qui, ensuite, lors du second pic de pluie, n'a pas permis au bassin versant d'écrêter le maximum qu'il aurait pu, ce qui a, semble-t-il, conduit à un débit de pointe plus fort à l'aval.

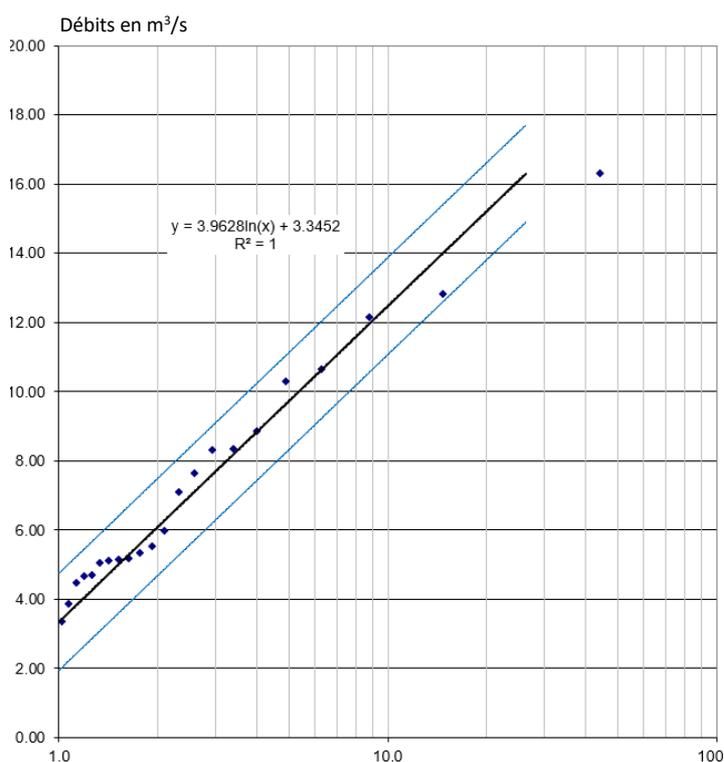
En effet, les deux séquences de pluies sur cet évènement ont, à peu près les mêmes formes et les mêmes cumuls. Celles-ci, prises séparément, auraient conduits à des débits de pointes de même ordre de grandeur. Ce n'est pas le cas ici, ce qui est normal, puisque ces deux séquences, en termes de réponse hydrologique, ne sont pas indépendantes (la première ayant des répercussions sur la seconde).

3.2.2. Ajustements statistiques des débits

A partir des données disponibles à la station du Gobé (débits toutes les heures de 1998 à 2020), des ajustements statistiques sont effectués sur les maximums annuels selon deux lois, à partir de 22 années d'observations (ce qui reste un peu faible pour permettre d'évaluer correctement le débit centennal, les valeurs pour cette occurrence doivent être prises à titre indicatif) :

- ♦ La méthode du renouvellement (loi exponentielle)
- ♦ La loi de Gumbel

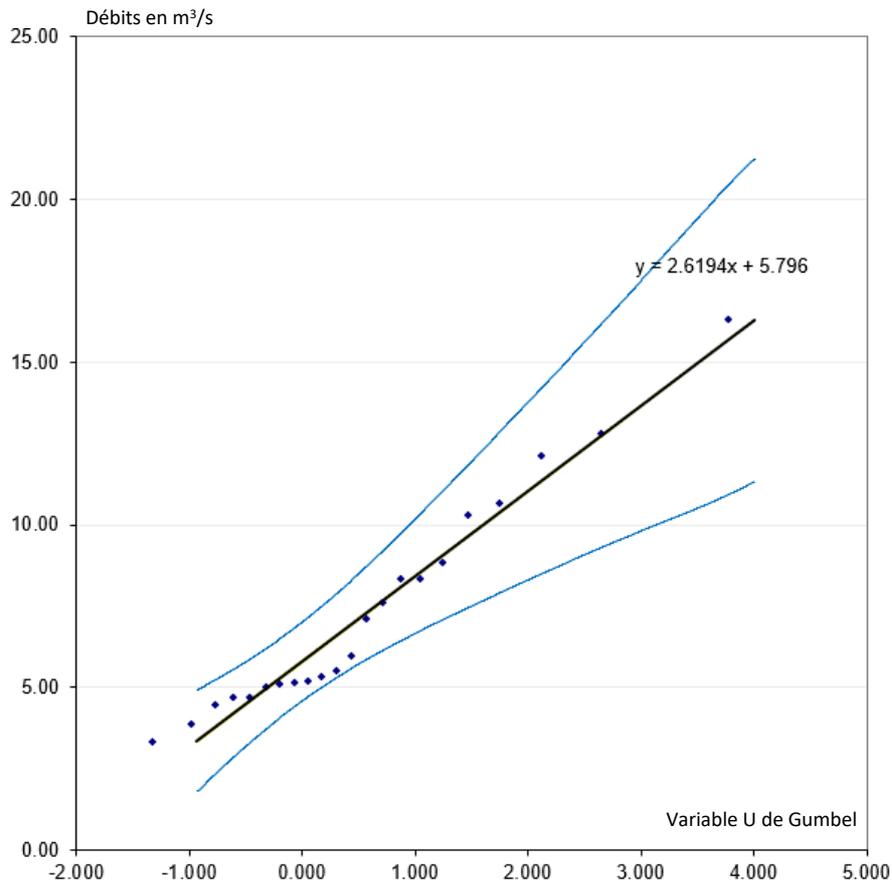
Méthode du renouvellement



T (années)	10	30	50	T(an) 100
Q (m³/s)	12	17	19	22
Intervalle de confiance	9 - 16	12 - 22	13 - 25	15 - 28



Ajustement de Gumbel



T (années)	10	30	50	100
Q (m ³ /s)	12	15	16	18
Intervalle de confiance	9 - 15	10 - 19	11 - 21	12 - 23

3.3. Construction des pluies de projet

La méthodologie de création des pluies de projet reprend de façon similaire la méthode employée par CERA en 2011 pour la création des débits de projet.

Les pluies de projet sont basées sur la pluie réelle de 2002 qui a une forme défavorable pour le bassin versant, tel qu'expliqué ci-avant.

Les hyétogrammes des différentes périodes de retour étudiées (10, 30 et 100 ans) sont ensuite ajustés grâce à un coefficient afin que les pointes et les volumes représentent globalement les quantiles de pluies définies au chapitre précédent.

Il vient les pluies de projet suivantes :

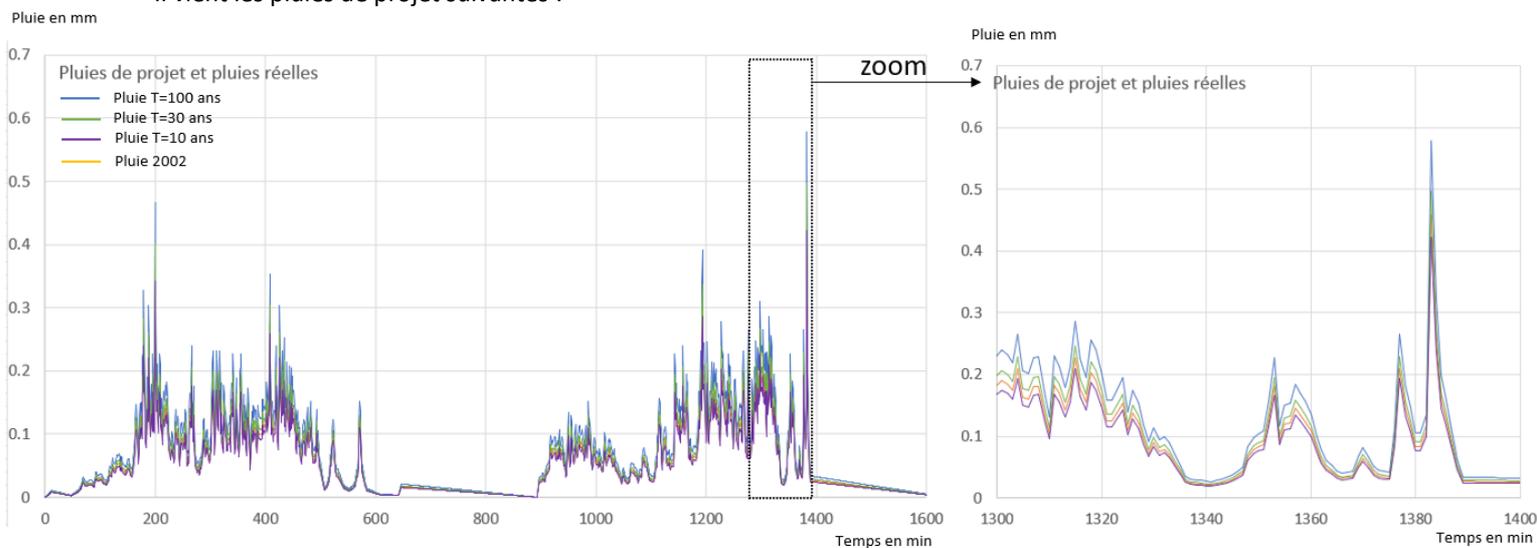


Figure 19 : Pluies de projet

4. Modélisation pluie - débit

4.1. Logiciels utilisés

Plusieurs logiciels ont été utilisés dans le cadre de cette étude, à différents stades.

Le découpage des bassins versants a nécessité l'utilisation des logiciels :

- ♦ Pour la première étape : HEC-HMS qui a permis un découpage automatique des bassins versants à partir du MNT
- ♦ Pour la seconde étape : Le logiciel HEC-RAS a été utilisé pour simuler un ruissellement qui interviendrait dans de façon exceptionnelle, sans prise en compte des ouvrages et réseaux. Cela permet d'avoir une idée des axes potentiels de ruissellements sur le bassin versant ainsi que les sites d'écrêtements (bassins, marais...). Cela donne une évaluation du volume de stockage potentiel dans ces secteurs.
- ♦ Le logiciel de cartographie Q-GIS a été utilisé pour prendre en compte, l'impact potentiel des réseaux enterrés dans le découpage des bassins versant, par analyse croisée et à dire d'expert.

In fine, le découpage est réalisé par expertise de l'ensemble de ces données sous QGIS.

- ♦ Ensuite, pour la transformation Pluie-Débit, le logiciel HEC-HMS est utilisé. Certains calculs de pré-traitement pour la définition des paramètres (CN et Lag-Time) ont cependant fait appel à Q-GIS et Excel.

4.2. Découpage des sous bassins versants

Le découpage des bassins versants a nécessité un travail en plusieurs étapes :

- ♦ **Étape 1** : Réalisation d'un découpage automatique des bassins versants à l'aide du MNT sous HEC-HMS.

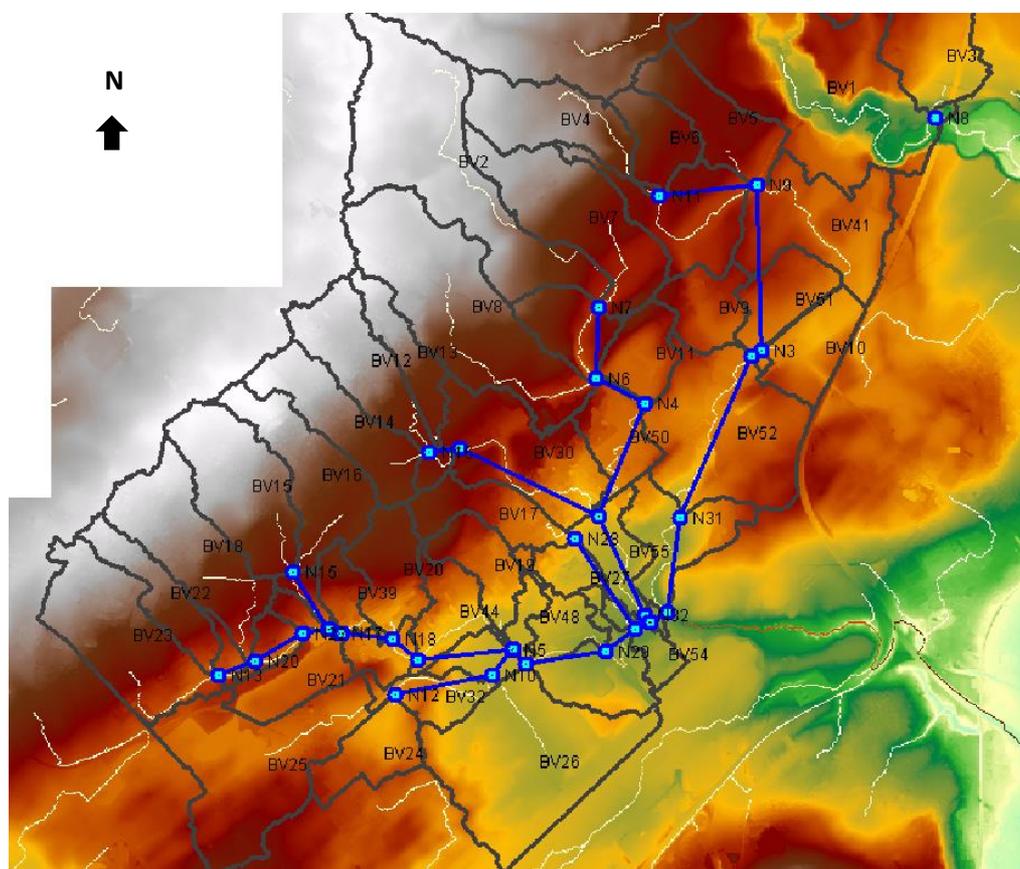
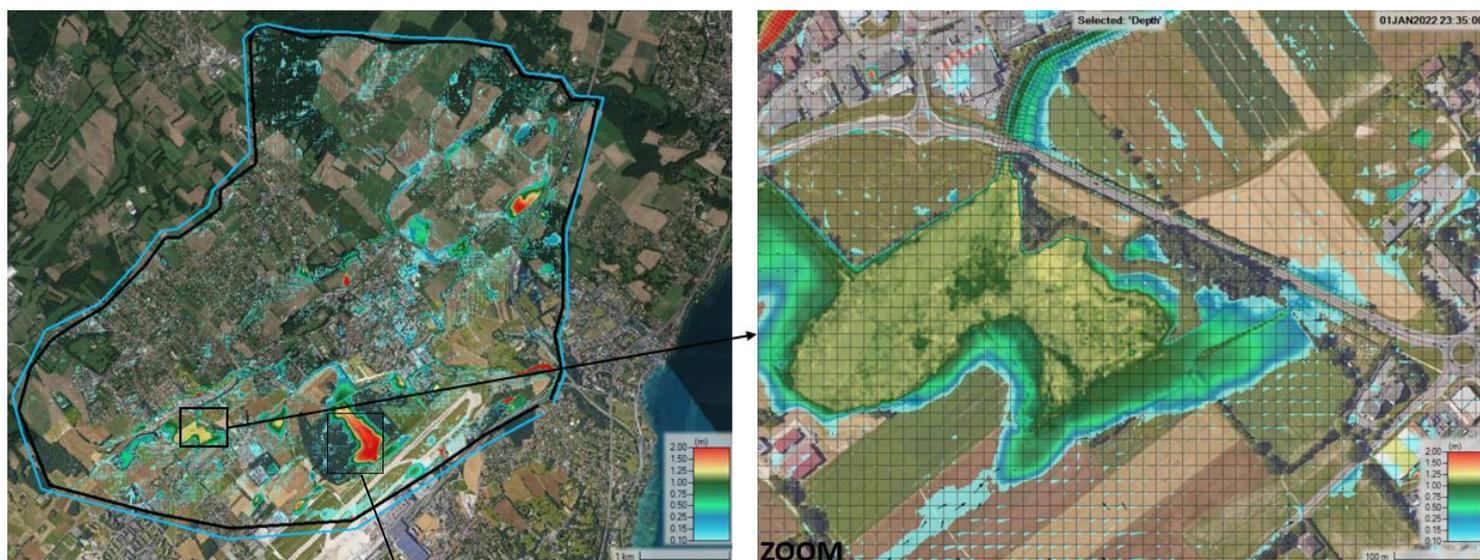


Figure 20 : Découpage automatique réalisé sous HEC-HMS (image extraite depuis le logiciel)

Nota : le découpage automatique doit être vérifié (voir les étapes 2 et 3) car des erreurs de raccordements peuvent se produire. C'est par exemple le cas des cuvettes : Hec-Hms recherche automatiquement un exutoire, même dans les zones d'endoréisme (alors qu'en elle-même, une zone endoréique est un exutoire). Par exemple, au niveau du bassin versant « BV26 » sur la figure ci-dessus, en réalité, les ruissellements n'atteignent pas le Nant (voir figure 21).

♦ **Étape 2** : Carte du ruissellement sous HEC-RAS2D.

La pluie de 2002 est injectée sur chaque maille du modèle. Ici, les ouvrages de transparence (ouvrages de traversées hydraulique) ne sont pas pris en compte et les lits mineurs ne sont pas correctement représentés. De plus, il est considéré une infiltration nulle de débits. Cette simulation ne permet pas de reproduire le ruissellement de la pluie de 2002 mais elle a l'intérêt de pouvoir mieux comprendre le fonctionnement du ruissellement en surface. C'est une aide au découpage des bassins versants.



Les ruissellements dans ce secteur se dirigent vers le Sud et rejoignent le ruisseau du Vengeron (ruisseau qui prend naissance dans les bois avant d'être canalisé sous les pistes de l'aéroport). Le BV n°26 de la figure 18 ne se raccorde donc pas au système hydrographique du Nant.

Figure 21 : Carte de ruissellement obtenu sous HEC-RAS2D (images extraites du logiciel)

♦ **Étape 3** : prise en compte des réseaux

Les réseaux enterrés peuvent avoir une influence sur le découpage des bassins versants. Pour en tenir compte, une analyse à dire d'expert est réalisée afin d'affiner le découpage des sous bassins versants dans les zones urbanisées et équipées de réseaux enterrés¹.

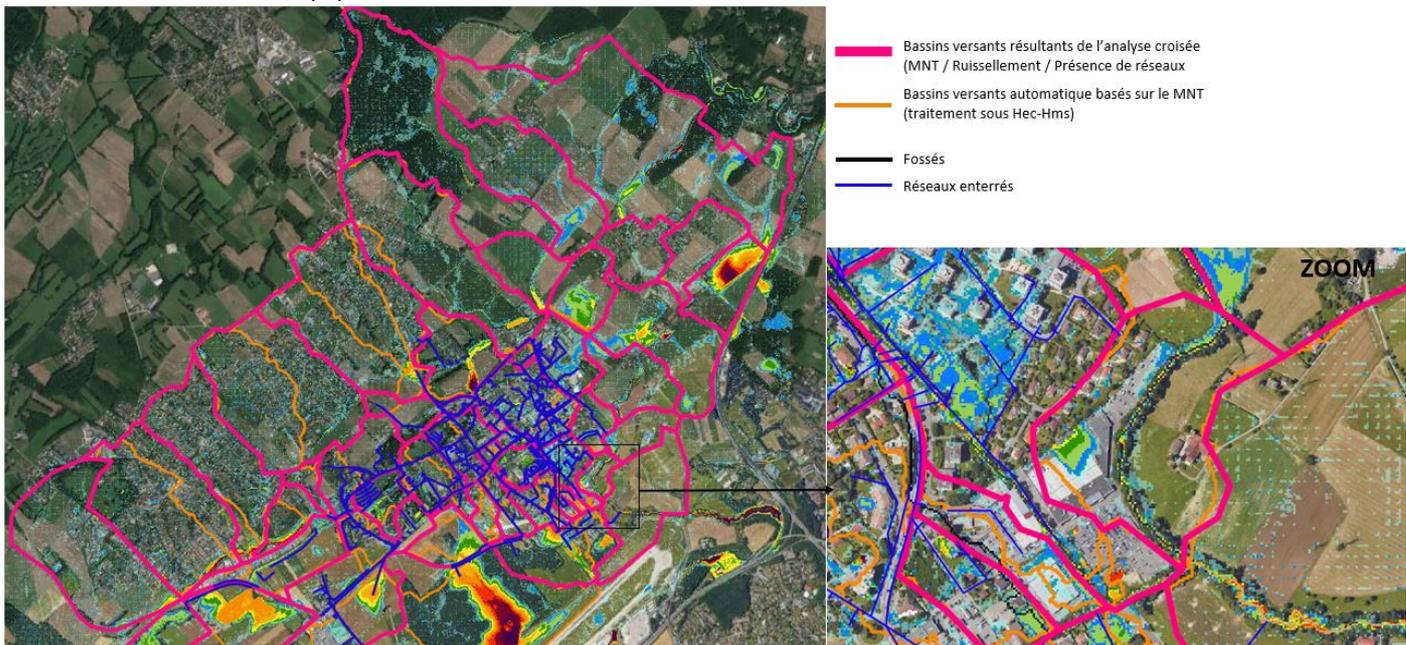


Figure 22 : Analyse croisée pour la réalisation du découpage des bassins versants

La carte finale des sous bassins versants est ainsi créée (Cf §4.3).

4.3. Caractéristiques des bassins versants

Les caractéristiques des bassins versants ont été définies à partir :

- ♦ De la couche SIG des surfaces urbanisées recueillie auprès de Pays de Gex Agglo (pour le calage sur la pluie de 2002, nous avons repris cette carte pour soustraire les zones qui n'étaient pas encore urbanisées, à l'aide de la photo aérienne). À l'intérieur des zones urbanisées, il est considéré, compte tenu de la densité de l'habitat du secteur (essentiellement habitat de type pavillonnaire), que les surfaces réellement imperméabilisées représentent 60% de la surface totale.
- ♦ Le MNT pour définir les pentes des bassins versants
- ♦ Le découpage précédemment réalisé (pour définir la surface)

¹Le réseau pluvial ne fait pas l'objet d'une modélisation hydraulique 1D « réseaux ».

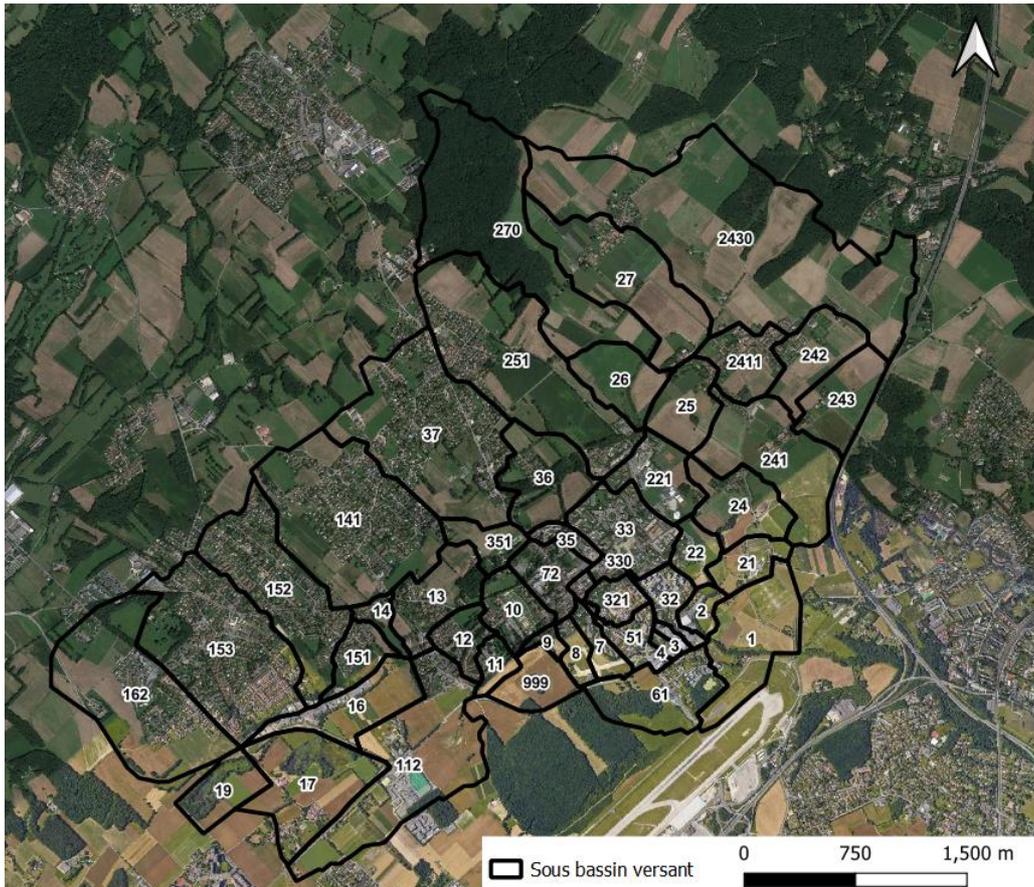
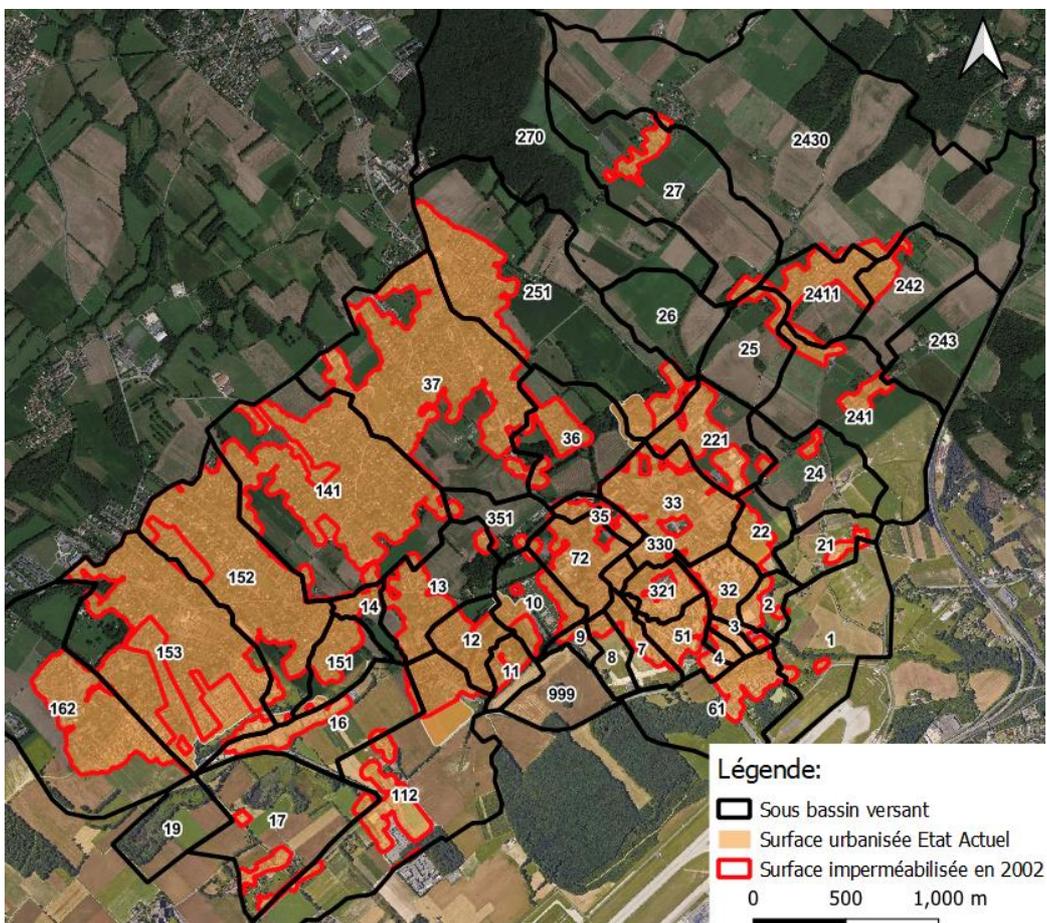


Figure 23 : Découpage des bassins versants et numéro associé



Surfaces urbanisées prises en compte pour le calage (crue de 2002) et pour la modélisation de l'état actuel

Les caractéristiques sont les suivantes :

Num ²	Surface en km ²	Taux d'imperméabilisation (2002) en %	Taux d'imperméabilisation (actuel) en %	Longueur en km	P en %	Tc en min	lag-time en min
1	0.4203	2	2	0.96397	6.16	30.6	18.36
2	0.0713	25	25	0.56561	11.41	15	9
3	0.021	58	58	0.34925	4.6	15.6	9.36
4	0.0206	48	48	0.33436	5.62	13.8	8.28
7	0.0885	32	32	0.34533	6.54	13.2	7.92
8	0.0736	11	11	0.55464	6.08	19.8	11.88
9	0.0338	18	18	0.3295	6.71	12.6	7.56
10	0.1742	20	28	0.76439	7.72	22.8	13.68
11	0.0744	32	32	0.49114	7.8	16.2	9.72
12	0.1245	50	51	0.58526	7.32	18.6	11.16
13	0.2709	26	26	0.92132	6.59	28.2	16.92
14	0.0621	27	27	0.54615	6.57	18.6	11.16
16	0.2835	15	15	1.32508	5.77	40.8	24.48
17	0.4757	6	6	1.29062	4.04	47.4	28.44
19	0.1778	0	0	0.93779	2.96	43.2	25.92
21	0.1349	7	7	0.82982	5.4	28.8	17.28
22	0.1053	31	31	0.64602	6.83	21	12.6
24	0.2678	2	2	1.08768	6.17	33.6	20.16
25	0.2162	6	6	0.96903	6.13	30.6	18.36
26	0.2291	0	0	0.942	7.45	27	16.2
27	0.593	5	5	2.06738	4.93	62.4	37.44
32	0.1176	53	53	0.82874	6.79	25.8	15.48
33	0.2925	54	54	1.2096	7.9	32.4	19.44
35	0.0558	44	44	0.65861	6.7	21.6	12.96
36	0.3233	14	16	1.04891	7.4	30	18
37	0.9421	38	38	2.05152	6.59	54	32.4
51	0.1368	52	52	0.96658	6.18	30.6	18.36
61	0.3349	13	13	0.9925	6.07	31.2	18.72
72	0.1757	51	51	1.00027	5.89	32.4	19.44
112	0.7755	15	17	1.06031	4.23	39.6	23.76
141	0.9539	37	39	2.02285	6.72	52.8	31.68
151	0.1351	28	32	0.80968	8.62	22.8	13.68
152	0.5919	47	52	2.16178	6.95	54.6	32.76
153	0.8442	40	50	2.37464	7.63	56.4	33.84
162	0.8142	18	18	2.41546	6.16	63	37.8
221	0.2241	32	32	1.1168	5.56	36	21.6
241	0.5098	7	7	0.98133	3.49	40.8	24.48
242	0.2462	9	9	1.1608	3.2	49.2	29.52
243	0.2499	0	0	0.81138	3.54	34.8	20.88
251	0.9703	15	17	2.8357	5.87	73.8	44.28
270	1.0367	0	0	2.59578	4.43	112.2	67.32
321	0.0932	50	50	0.64166	8.31	19.2	11.52
330	0.0286	58	58	0.36995	7.49	13.2	7.92
351	0.1221	6	6	0.57047	4.92	22.8	13.68
2411	0.2112	29	29	0.84912	4.9	30.6	18.36
2430	1.8613	1	1	4.13284	4.06	119.4	71.64
999	0.1631	0.5	0.5	0.77039	1	62.4	37.44

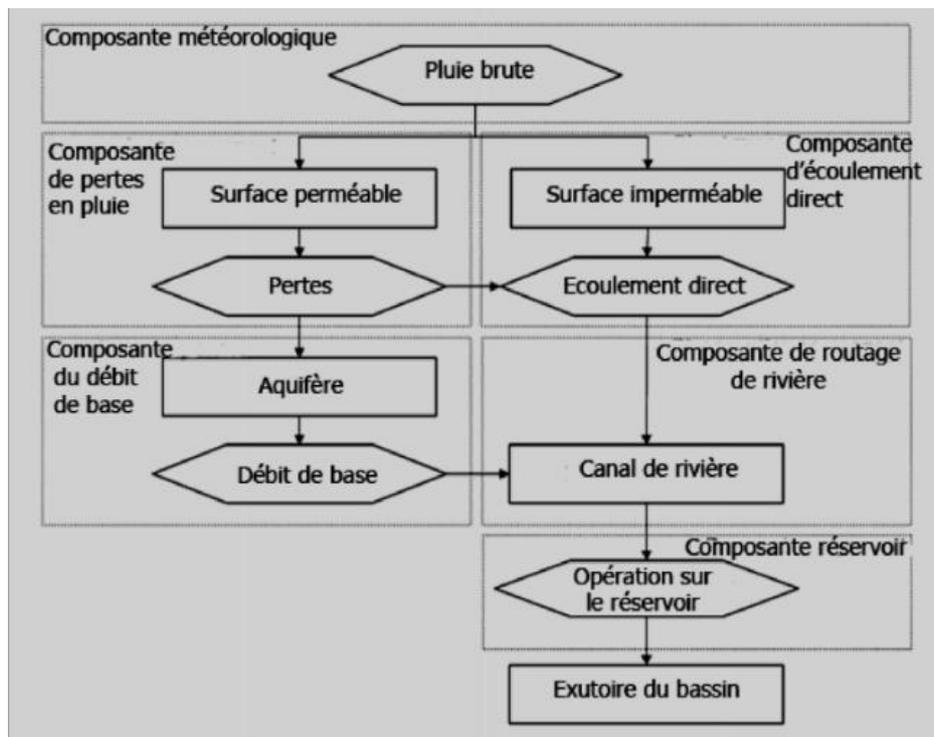
² Voir cartographie des sous bassins versant

4.4. Modélisation sous HEC-HMS

4.4.1. Principes

La modélisation a été réalisée grâce au logiciel HEC-HMS développé par l'US Army Corps of Engineers. Ce logiciel HEC-HMS permet de simuler le ruissellement d'une pluie de projet sur un ensemble de bassins versants avec ses phénomènes d'infiltration et d'atténuation, puis l'écoulement de ces débits à l'aide d'un module de routage, ainsi que le stockage dans des ouvrages (bassins de rétention).

HEC-HMS attribue à chaque module une étape de la transformation pluie-débit, et c'est la combinaison des résultats des modules les uns aux autres qui donne l'hydrogramme final. En général, c'est l'enchaînement schématisé sur la figure suivante qui est suivi pour aboutir au débit de l'exutoire :



Le module météorologique est la première composante à agir, elle vise à répartir sur la surface du bassin, de manière uniforme dans le temps et l'espace, la hauteur des précipitations brutes saisie. Ensuite, le devenir de ces précipitations diffère selon la perméabilité de la surface :

- ♦ Pour les surfaces perméables, les précipitations brutes vont subir des pertes, suite à des phénomènes d'interception, d'infiltration et d'évapotranspiration, ces pertes seront calculées par la composante de perte en pluie régie par la fonction de production, les précipitations nettes qui en résultent contribuent simultanément à l'écoulement direct et à l'écoulement souterrain dans l'aquifère.
- ♦ Pour les surfaces imperméables, les précipitations sont exonérées de toute perte et rejoignent immédiatement la composante d'écoulement direct où elles se transformeront en écoulement de surface.

Ensuite, l'écoulement de surface et l'écoulement de sub-surface provenant de la composante du débit de base, intégreront tous les deux le réseau hydrographique où se manifesteront les phénomènes d'atténuation et de translation contrôlés par la composante de routage.

Finalement, l'effet des constructions hydrauliques naturelles ou artificielles (réservoir, retenue de barrage, dépression, lac, ...) est déterminé par la composante du réservoir.

4.4.2. Bassins de rétention et zone d'expansion des ruissellements

Plusieurs bassins écrêteur de crue aériens et zones de stockages de ruissellement ont été intégrés au modèle. Les zones d'expansion de crues en cas de débordements du Nant et du Gobé ne sont pas modélisées dans le cadre de cette étude hydrologique. Ils seront étudiés à une phase ultérieure, lors de la modélisation hydraulique des cours d'eau.

Pour le calage sur l'évènement de 2002, les bassins de rétention n°3, 4, 5 et 11 n'étaient pas construits. Ils n'ont donc pas été intégrés dans le scénario de calage.

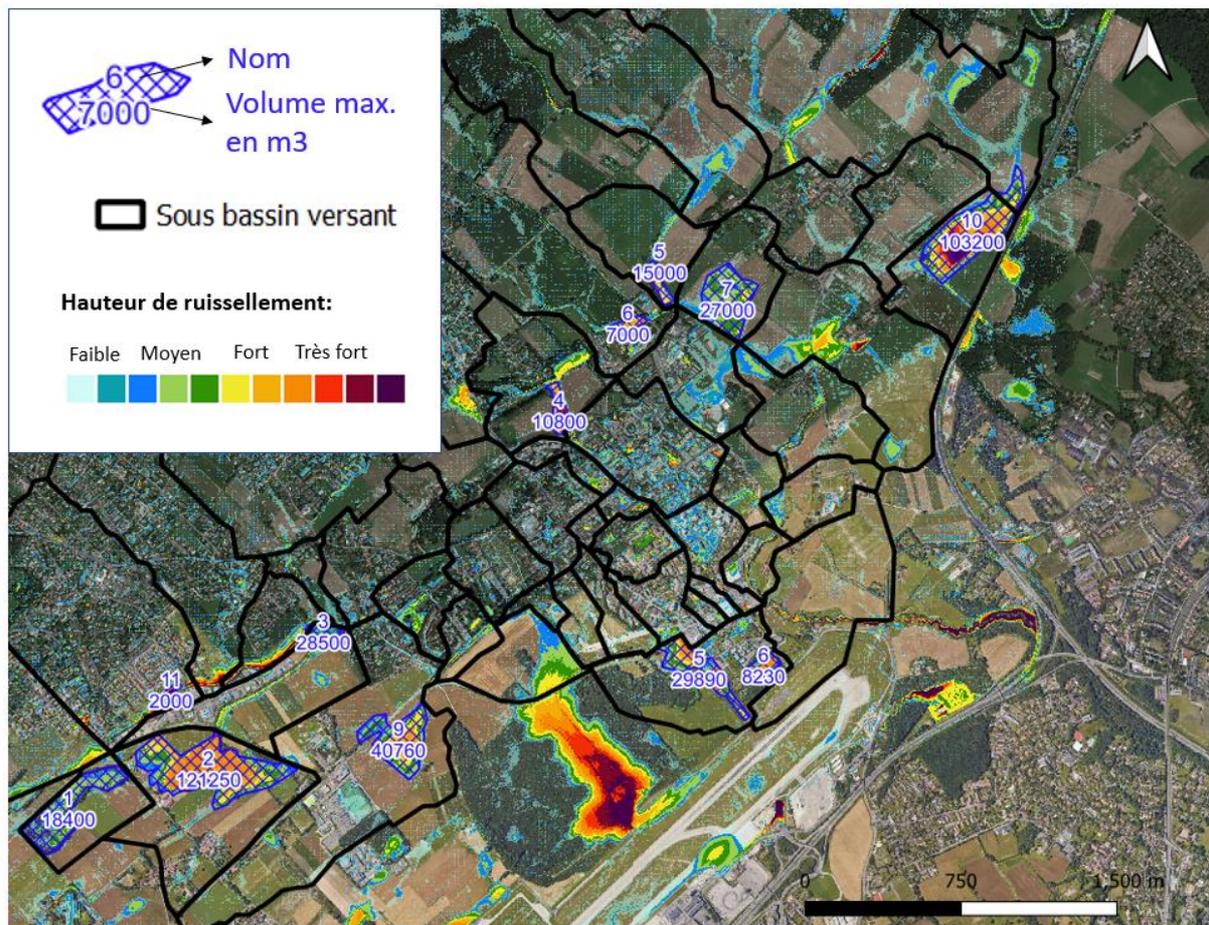


Figure 24 : Bassins de rétention, zones de marais et stockages dans les champs pris en compte à l'aide d'une modélisation ruissellement Hec-Ras2D (Cf §4.2)

Les caractéristiques des bassins n° 3, 4 et 11 nous ont été fournies par la Communauté d'Agglomération du Pays de Gex. Les principales caractéristiques sont les suivantes :

- ♦ **Bassin du Nant (n°3) :**
 - Capacité maximale en m3 : 28 500 m3
 - Cote FE : 422,0 mNGF
 - Orifice de fuite : buse diamètre 1000 mm
 - Crête de la surverse calée à la cote de 424.29 mNGF
 - Longueur de la surverse de 15 m



Figure 25 : Bassin du Nant (source : SIVOM)

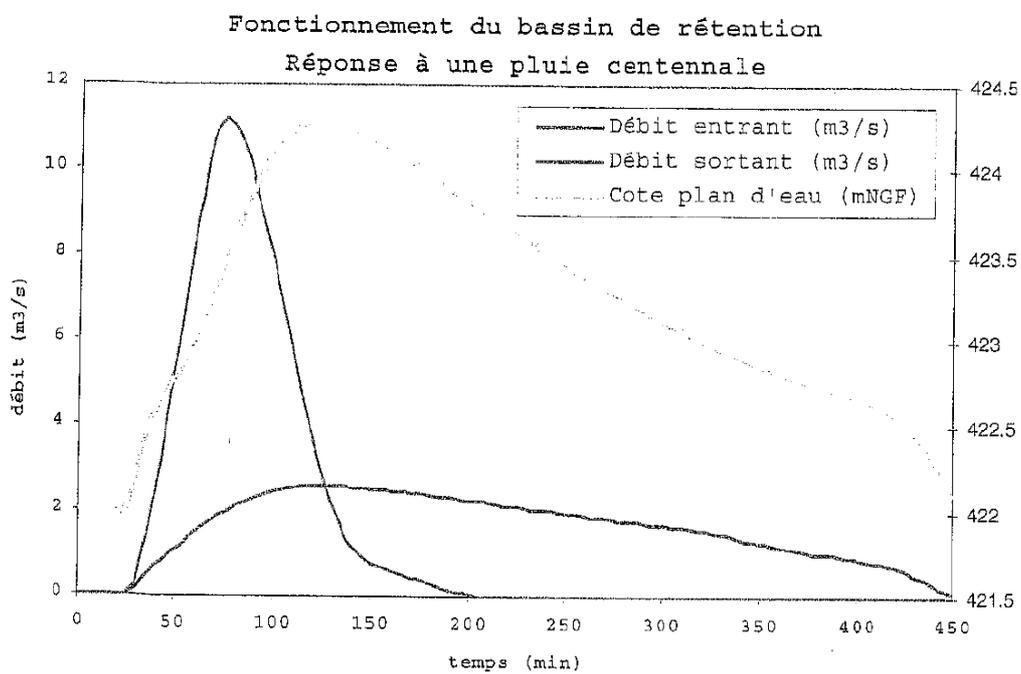


Figure 26 : Réponse du bassin de rétention à une crue centennale (source : AVP du bassin du Nant, Hydrétudes)

◆ **Bassin de l'Ouye (n°4) :**

- Capacité maximale en m³ : 10 800 m³
- Cote FE : 426.65 mNGF
- Orifice de fuite : buse diamètre 600mm
- Crête de la surverse calée à la cote de 429.43 mNGF
- Longueur de la surverse de 9m



Figure 27 : Extrait du plan du bassin de l'Ouye (source : Plan SIVOM)

◆ **Bassin de Magny (n°11) :**

- Capacité maximale en m3 : nc
- Surface : 2883 m² - Hauteur : 1.6m
- Cote FE : nc
- Orifice de fuite : buse diamètre 500mm
- Déversoir : nc



Figure 28 : Bassin de Magny (source : Pays de Gex)

Pour ce bassin de rétention, d'après le MNT et le plan ci-dessus que le volume maximal était d'environ 2000 m³.

◆ Bassin du Marquet (n°5)

Le bassin sur le Marquet (n°5) est situé en Suisse. Il a été réalisé, d'après les différents clichés aériens, entre 2006 et 2009.



Figure 29 : Différents clichés d'images aériennes (source : google earth)



Figure 30 : le bassin du Marquet

Le volume du bassin et ses principales caractéristiques sont issus des plans topographiques (Adrien Kupfer, octobre 2008) : profils en travers et plan masse du bassin.

- Type de bassin : en série du cours d'eau
- Orifice de fuite : section rectangulaire (hauteur 0.6m, largeur 0.5m), calé à la cote 426.46
- Surverse : Longueur : 10m, calée à la cote 429.01
- Volume estimé : 15 000 m³

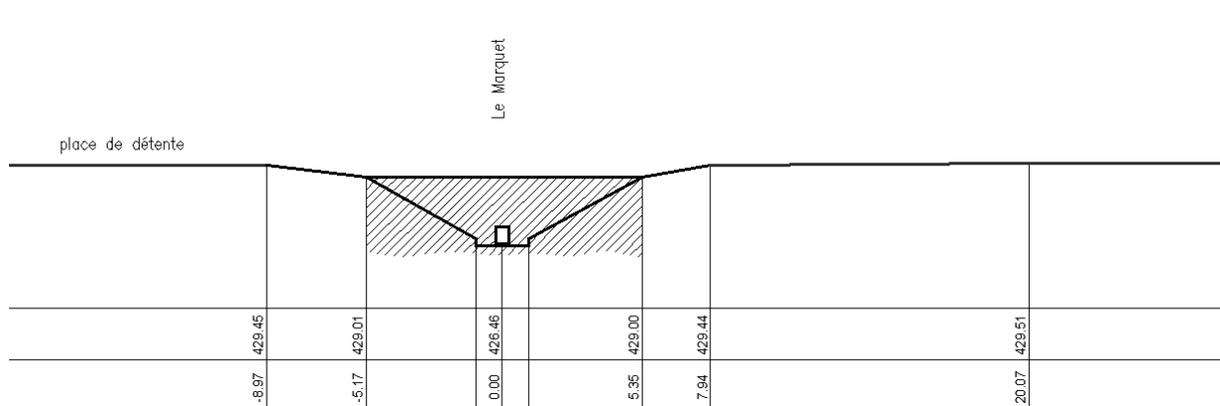


Figure 31 : Profil aval

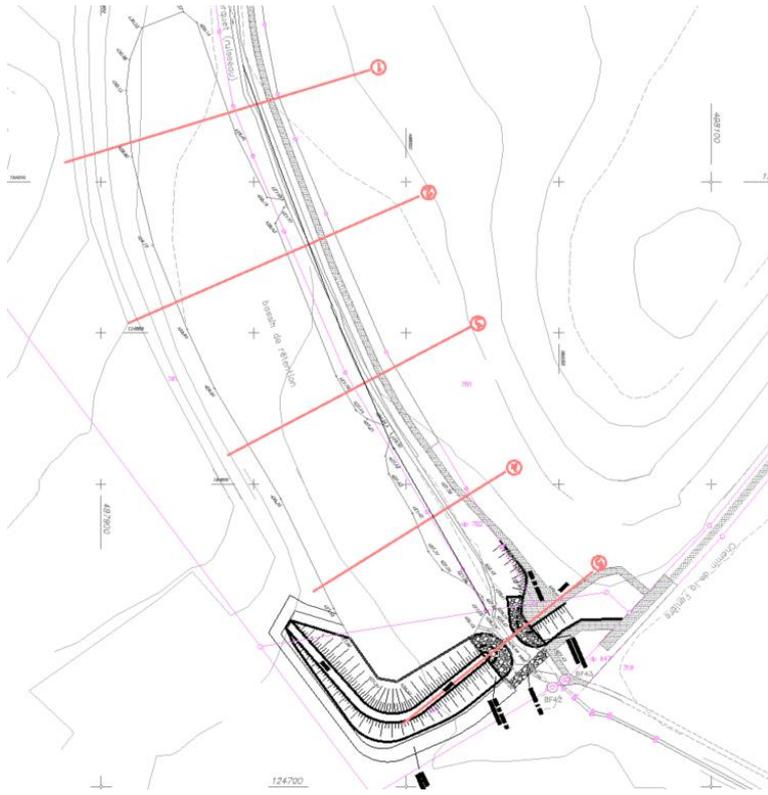


Figure 32 : Plan topographique (vue en plan)

4.4.3. Architecture du modèle

L'architecture du modèle est, in fine, est la suivante :

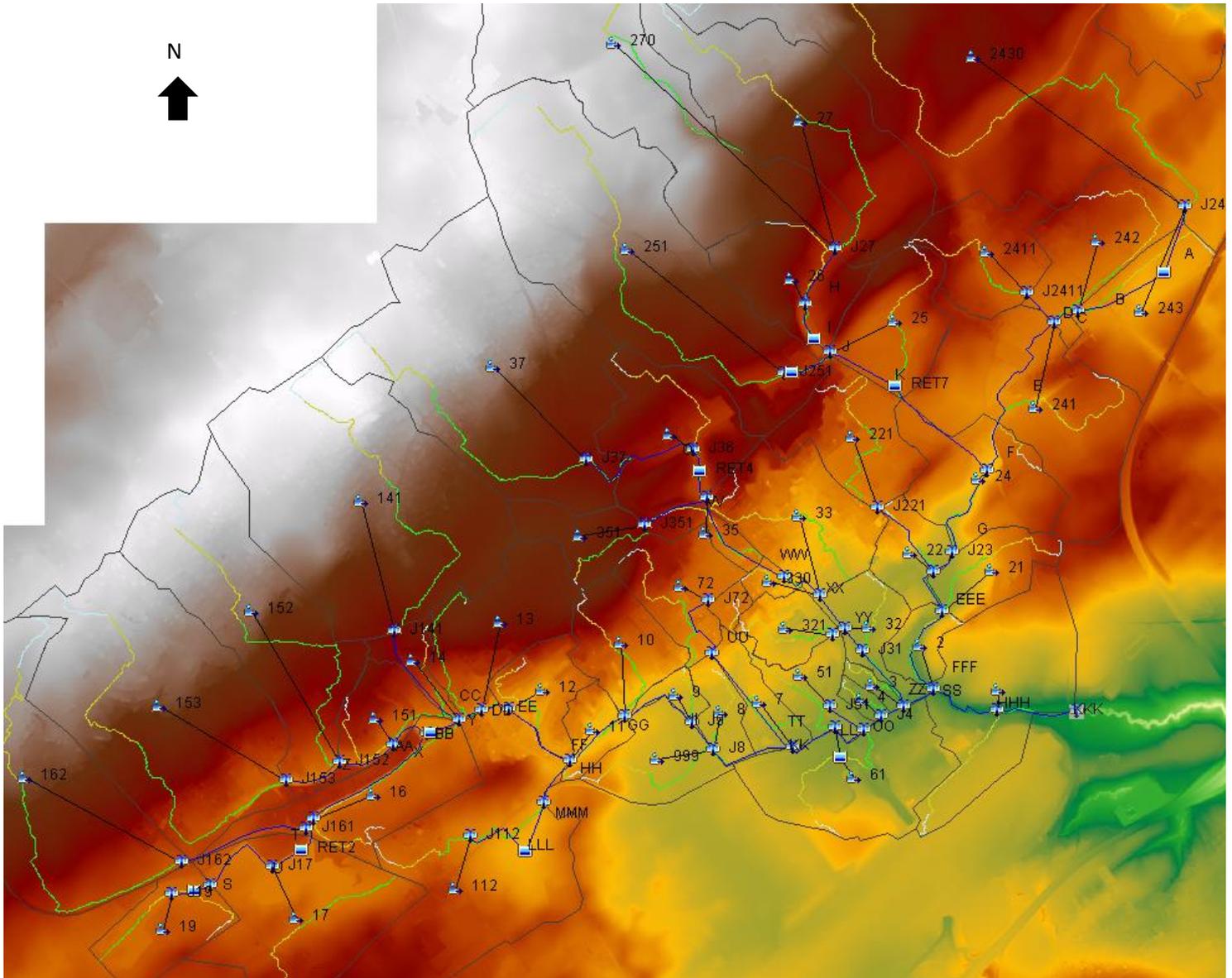


Figure 33 : Architecture du modèle HEC-HMS – état actuel (image extraite du logiciel)

4.4.4. Modèles utilisés

Dans le cadre de cette mission, les fonctions suivantes ont été utilisées :

- ◆ **Fonction de production : méthode SCS-Curve Number (CN)**

Cette méthode relie les pertes en pluie à l'occupation du sol et le type de sol et l'humidité antécédente. La méthode nécessite trois paramètres, la perte initiale, le numéro de courbe et le pourcentage de surface imperméable.

Ces deux derniers éléments ont été calculés à partir des données d'utilisation du sol et du type de sol dans le système d'information géographique.

Ces trois paramètres sont obtenus par la calibration à partir de la pluie de 2002.

La fonction du SCS-CN estime l'excès de précipitations comme une fonction des précipitations cumulées, de la couverture et de l'humidité initiale du sol à partir de l'équation suivant :

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

Où:

P_e ruissellement à l'instant t

P pluie totale à l'instant t

I_a pertes initiales

S rétention potentielle maximale, qui mesure la capacité du bassin versant à retenir et stocker les précipitations.

Le ruissellement ne se produit donc qu'à partir du moment où le cumul des précipitations P dépasse les pertes initiales I_a .

Le SCS a développé une relation empirique liant I_a à S à partir de l'analyse des résultats de nombreux petits bassins versants :

$$I_a = 0.2S$$

Le potentiel de rétention maximum, S , et les caractéristiques du bassin versant sont reliées par l'intermédiaire du nombre de CN par :

$$S = \frac{25400 - 254CN}{CN}$$

Les valeurs de CN sont comprises entre 30 (pour les sols perméables à taux élevé d'infiltration) à 100 (pour les masses d'eau).

- ◆ **Fonction de transfert : l'hydrogramme unitaire du SCS**

La fonction de transfert est la méthode de l'hydrogramme unitaire SCS. Elle repose sur un hydrogramme défini par son temps de réponse ou *lag time* et l'instant du maximum de l'hydrogramme (T_p), défini de manière suivante :

$$T_p = \frac{D_t}{2} + T_{lag}$$

Avec : D_t = pas de temps des données de pluies T_{lag} = temps de réponse du bassin versant

Le temps de réponse a été préalablement calculé à partir du temps de concentration (T_c) par l'équation suivante :

$$T_c = \frac{L^{0.8} (S+1)^{0.7}}{1,140Y^{0.5}} \quad \text{Lag} = 0.6T_c$$

Avec :

T_c temps de concentration en h

l longueur en feet
 Y pente en %
 S S du SCS (rétention potentielle maximale)

Avec cette formule, la vitesse moyenne du ruissellement, testée sur les bassins versants du secteur d'étude, serait de l'ordre de 0.7 m/s.

♦ Routage (propagation) : le modèle de Muskingum

La méthode Muskingum est classée parmi les modèles hydrologiques de propagation des crues basés sur l'équation de continuité g dont les équations s'écrivent :

$$\frac{ds}{dt} = I - O$$

$$S = X.S_i + (1 - X).S_0 = K.O + K.X(I - O)$$

K est associé au temps de déplacement de l'onde de crue à travers les biefs. Lorsque K augmente, la pointe de la crue en aval devient plus tardive. Le coefficient X est un coefficient de pondération ou un facteur de pondération entre le débit entrant et le débit sortant. Une diminution de la valeur de X signifie une atténuation plus forte de la pointe de la crue. Les valeurs de X et de K ont été déterminées par calage du modèle.

4.4.5. Résultats sur la pluie de calage du 14 et 15 novembre 2002

Le résultat du calage donne l'hydrogramme résultant suivant :

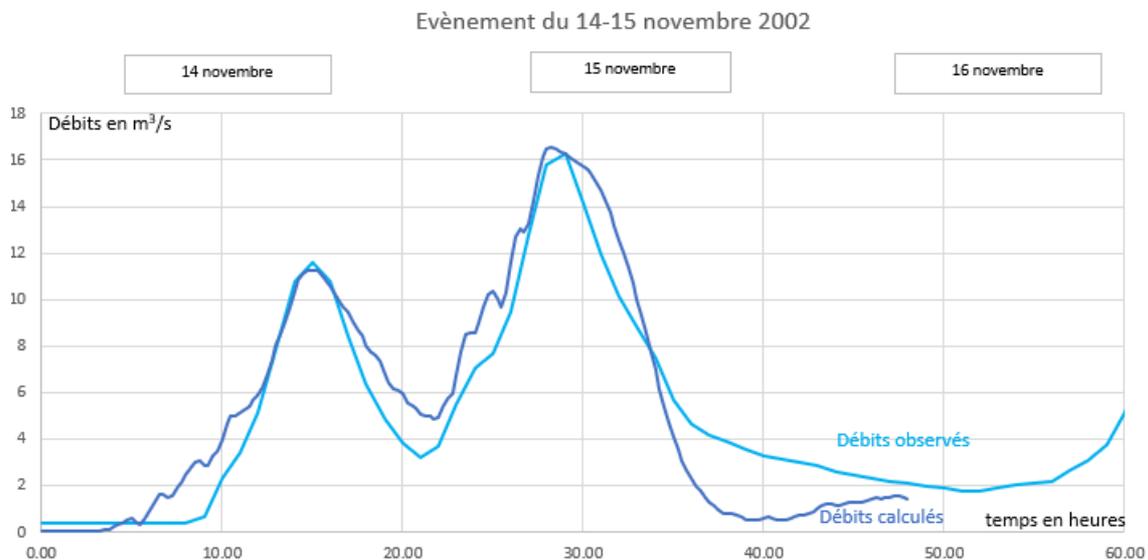


Figure 34 : Débits de l'évènement de 2002 obtenus et observés au droit de la station du Gobé

Le calage mène à prendre des valeurs élevées de CN (une valeur de 82 est prise pour l'ensemble des surfaces naturelles en terrains agricole et friches et de 72, pour l'espace forestier du bassin versant 270). On note que cette valeur traduit plutôt des terrains peu perméables ou bien saturés en eau (plusieurs explications sont possibles : nature des terrains, durée de l'évènement longue permettant une saturation en eau des terrains, hauteur de la nappe haute qui limite l'infiltration).

Le calage des paramètres de routage (modèle de Muskingum) donne :

- $X = 0.5$ (soit une atténuation négligeable)
- $K = 0.65$

4.4.6. Résultats pour les pluies de projet, à l'état actuel

Hydrogrammes obtenus au niveau du Gobé (station)

Pour caler le modèle hydrologique, l'état d'imperméabilisation de l'époque a été prise en compte. Pour la modélisation de l'état actuel, il convient de prendre en compte l'imperméabilisation réalisée entre 2002 et 2022 ainsi que les nouveaux bassins de rétention (cf§4.4.2).

Les paramètres sont intégrés dans le modèle Hec-Hms pour tenir compte de cette évolution.

Les pluies de projet sont également intégrées dans le modèle. Les simulations hydrologiques sont ensuite lancées.

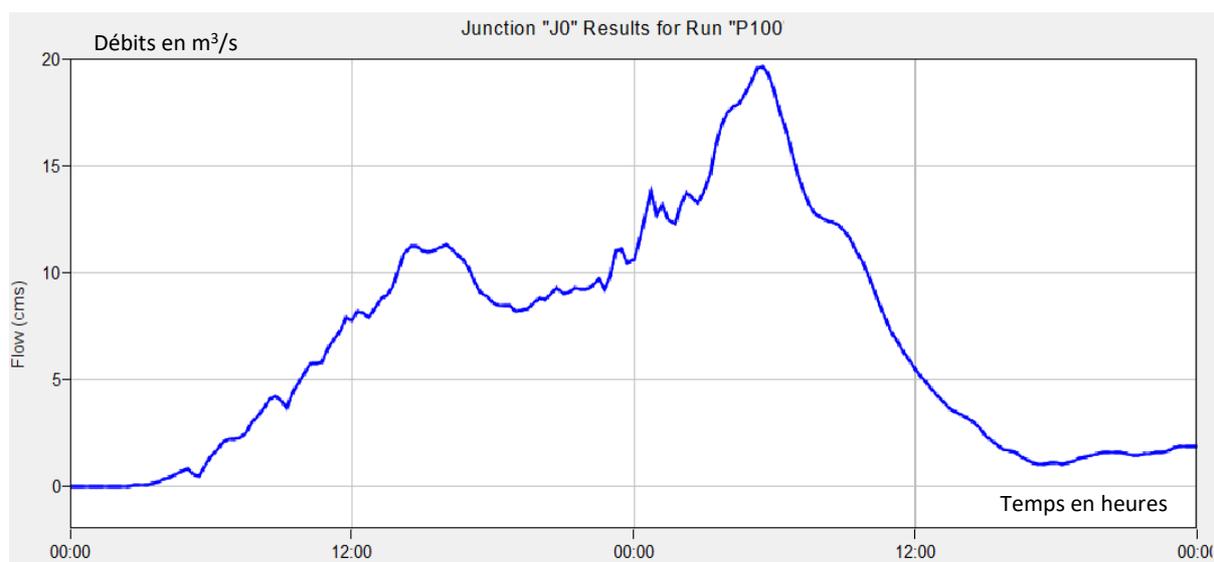


Figure 35 : Hydrogramme du Gobé pour la crue centennale (Q100= 19.7 m³/s)

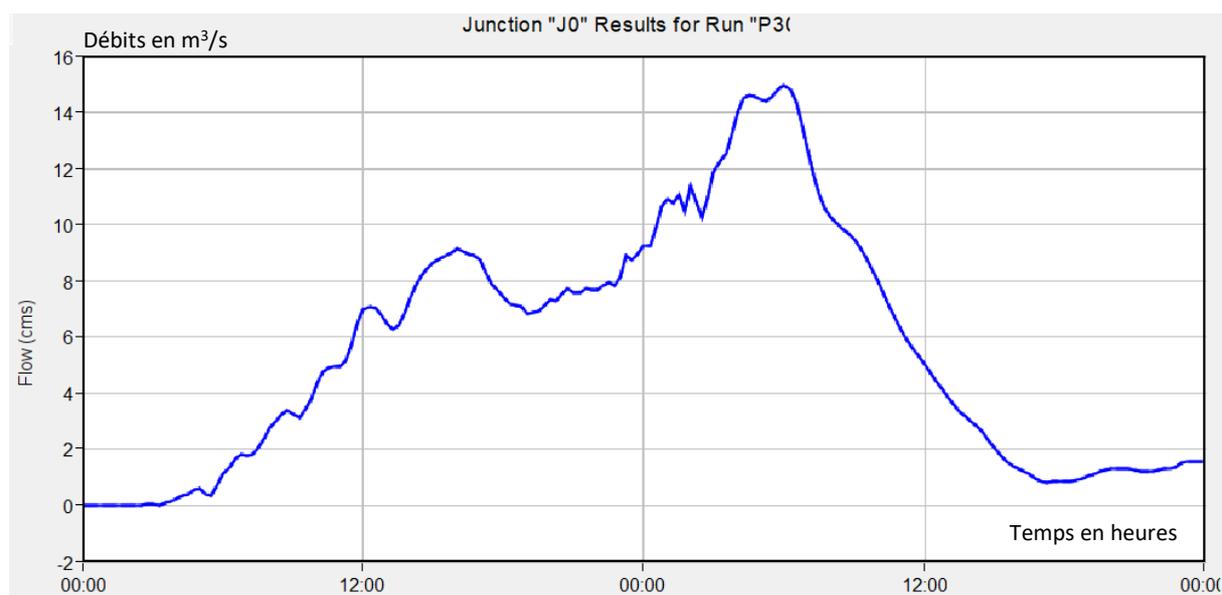
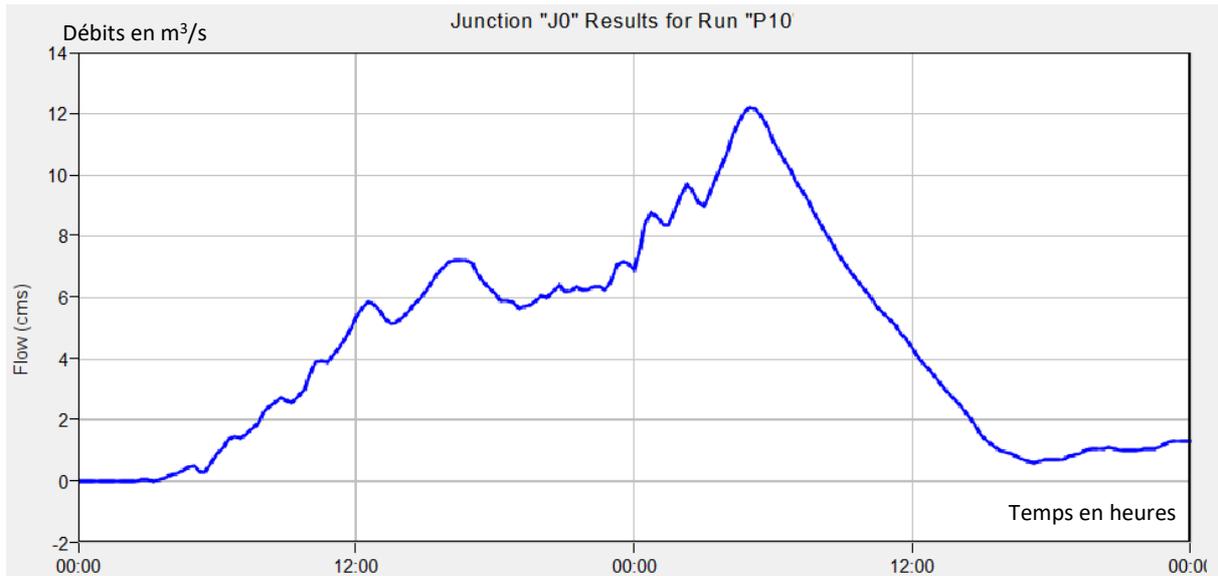


Figure 36 : Hydrogramme du Gobé pour la crue trentennale (Q30 = 15.0 m³/s)

Figure 37 : Hydrogramme du Gobé pour la crue décennale (Q10=12.2 m³/s)

Hydrogrammes obtenus en différents points du réseau hydrographique

Les nœuds hydrologiques sont numérotés selon le principe suivant :

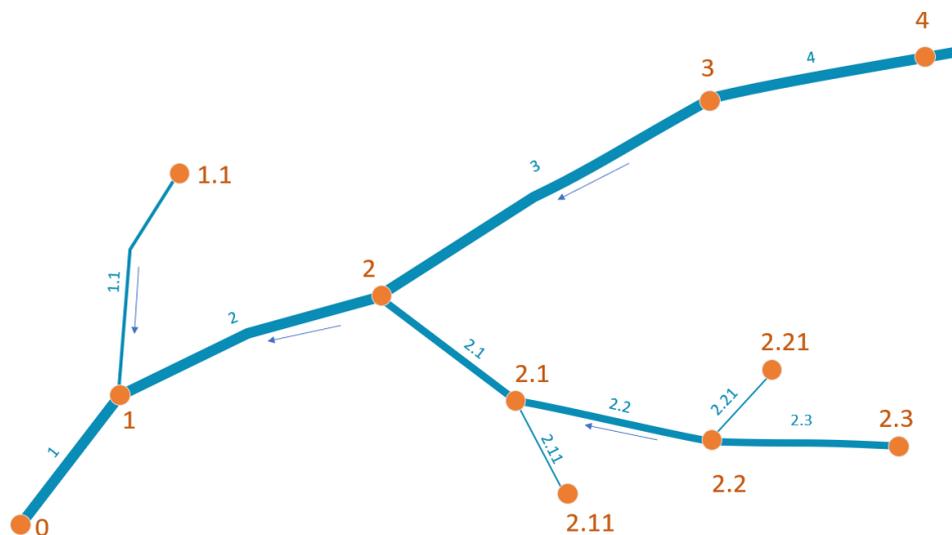


Figure 38 : Principe de notation

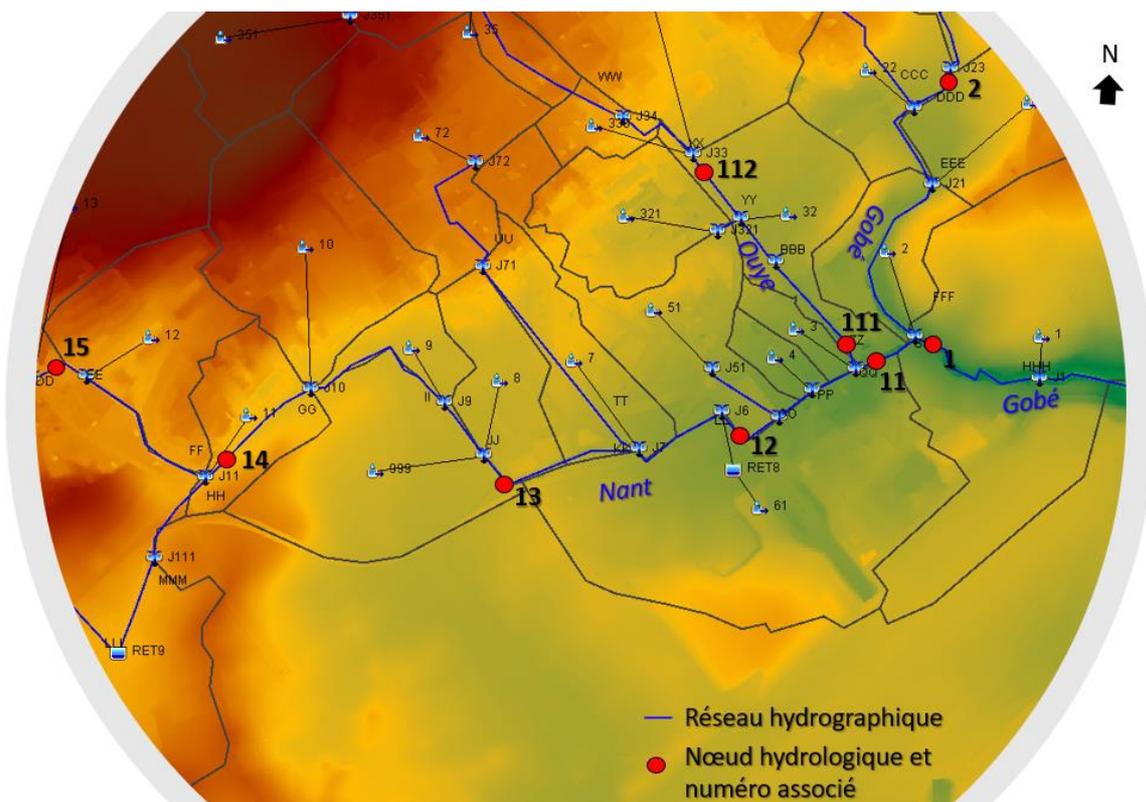


Figure 39 : Nœuds hydrologiques

Les hydrogrammes aux différents nœuds hydrologiques figurés sur la carte ci-avant, obtenus par simulations hydrologiques, sont les suivants :

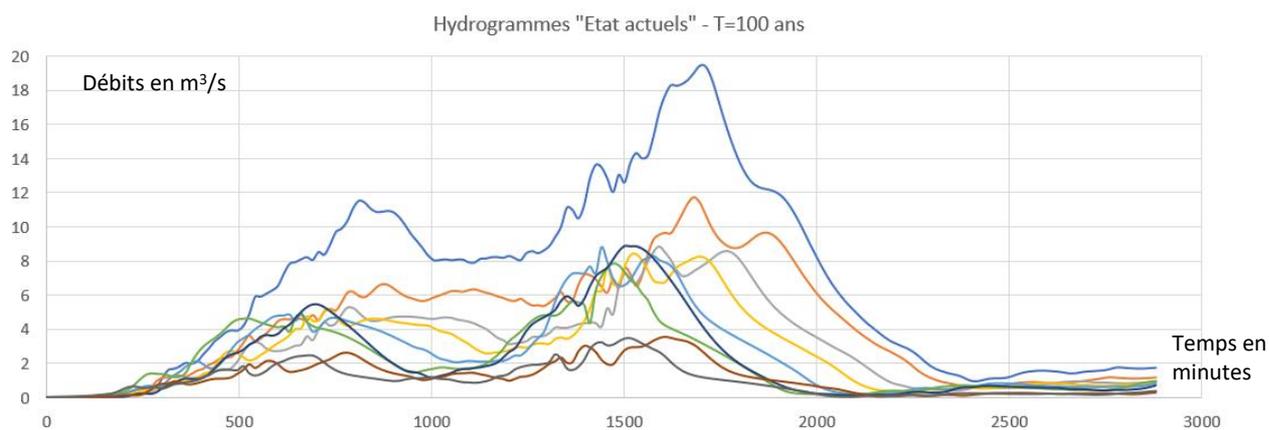


Figure 40 : Hydrogrammes centennaux- État actuel

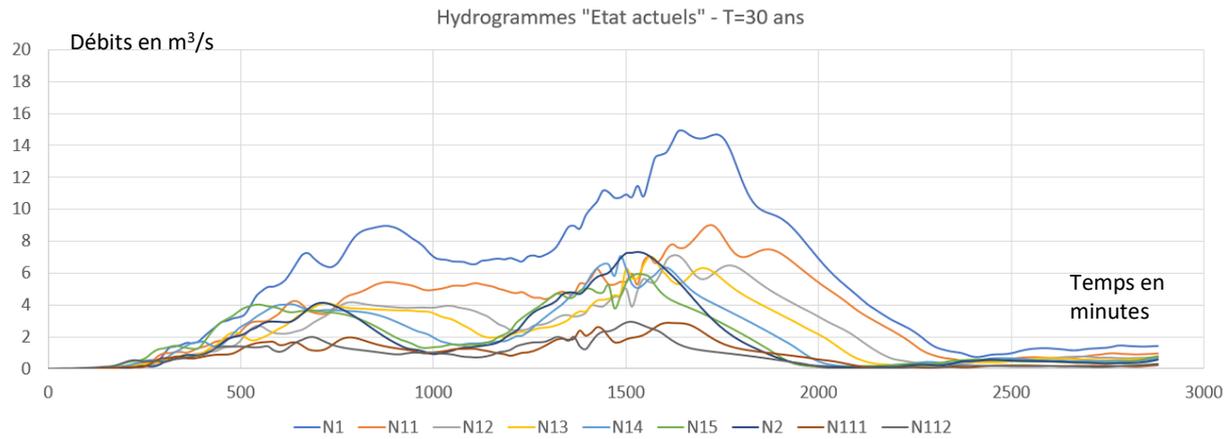


Figure 41 : Hydrogrammes trentennaux – État actuel

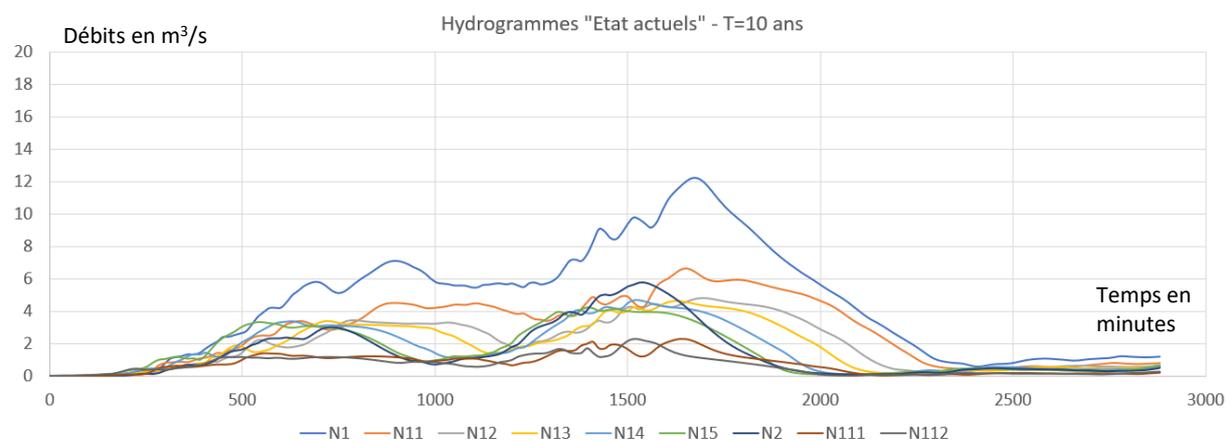


Figure 42 : Hydrogrammes décennaux – État actuel

Synthèses des débits de pointe

Le tableau suivant fait la synthèse des débits de pointe obtenus pour les différentes périodes de retour, au niveau des nœuds hydrologiques :

	Débits de pointe en m ³ /s		
	Q10	Q30	Q100
Station Gobé	12.2	15.0	19.7
Nœud 1	12.2	14.9	19.4
Nœud 2	5.7	7.3	8.9
Nœud 11	6.6	9	11.7
Nœud 12	4.8	7.1	8.8
Nœud 13	4.6	7	8.4
Nœud 14	4.7	7.1	8.8
Nœud 15	4.2	6	7.8
Nœud 111	2.3	2.9	3.5
Nœud 112	2.3	2.9	3.5

Le tableau suivant présente la synthèse des débits obtenus dans le cadre de l'ensemble des études sur le bassin versant :

	Nœud 1	Nœud 2	Nœud 11	Nœud 12	Nœud 13	Nœud 14	Nœud 15	Nœud 111	Nœud 112	
Q10	Ingérop 2023	12.2	5.7	6.6	4.8	4.6	4.7	4.2	2.3	2.3
	Hydrétude 2011		7	14						
	CERA 2011	16.31	5.46	10.28						
	ISL 2020	12.2	4.8	6.1	2.12	1.95	1.69		2.2	
Q30	Ingérop 2023	14.9	7.3	9	7.1	7	7.1	6	2.9	2.9
	Hydrétude 2011		8.5	16.5						
	CERA 2011	19.54	6.53	12.29						
	ISL 2020	18.4	7	9.3	2.36	2.19	1.93		3.4	
Q100	Ingérop 2023	19.4	8.9	11.7	8.8	8.4	8.8	7.8	3.5	3.5
	Hydrétude 2011		10	21						
	CERA 2011	25.48	8.69	15.81						
	ISL 2020	27.1	9.9	13.8	12.01	8.07	4		5.1	

Globalement, au niveau du Gobé en aval de la confluence avec le Nant, les débits obtenus dans le cadre de la présente étude sont dans la fourchette inférieure des débits estimés par les autres bureaux d'études, malgré l'emploi de paramètres plutôt sécuritaires : longue série de pluie venant saturer les zones en creux et les zones de marais, paramètres traduisant des sols imperméables ou saturés en eau, et calage sur la base d'une pluie ayant conduit le plus fort débit au Gobé. C'est surtout au niveau du Nant que les écarts sont les plus importants. Les débits du Gobé en amont de la confluence avec le Nant sont tous dans la même fourchette de débits.

Pour le Nant, on observe que :

- ♦ les débits obtenus dans le cadre de la présente étude sont plus importants en aval du bassin de rétention du Nant (bassin n°3) : Nœuds 13, 14 et 15. Ceci peut s'expliquer par le fait que la simulation d'une pluie de projet longue (calquée sur l'évènement de 2002), dont le volume global de l'hydrogramme est important, occasionne un débordement du bassin de rétention, qui a été dimensionné sur une pluie centennale de courte durée (200 minutes de pluie intense cf. fig. 26). Nous supposons qu'ISL a utilisé une pluie de plus courte durée et donc de moindre volume.
- ♦ Entre les nœuds 13 et 14, les résultats ISL montrent un fort apport de débits. Ceci peut être lié à la prise en compte, en tant que bassin versant d'apport au Nant, la zone boisée située au Sud du bassin versant n°999 et au Sud de l'aéroport, alors que nous considérons dans le cadre de cette étude que les écoulements ne participent pas à l'alimentation du réseau hydrographique étudié.
- ♦ Au niveau de l'Ouye, les débits obtenus sont pratiquement du même ordre.

4.4.7. Résultats pour les pluies de projet, à l'état projet

Impacts des aménagements sur les surfaces imperméabilisées des bassins versants

L'aménagement de la ZAC Ferney-Genève Innovation va entraîner, en moyenne sur l'ensemble du bassin versant, une augmentation de la surface imperméabilisée.



Figure 43 : Plan 3D de l'aménagement de la ZAC (source : Groupement Obras)

La surface imperméabilisée a été estimée en considérant que le type d'urbanisation est peu différent de celui dans les zones urbanisées actuelles (coefficient, en moyenne, de 60% d'imperméabilisation dans les zones urbanisées).

La figure suivante illustre les zones urbanisées sur l'ensemble du bassin versant à l'état futur par rapport à l'état actuel :

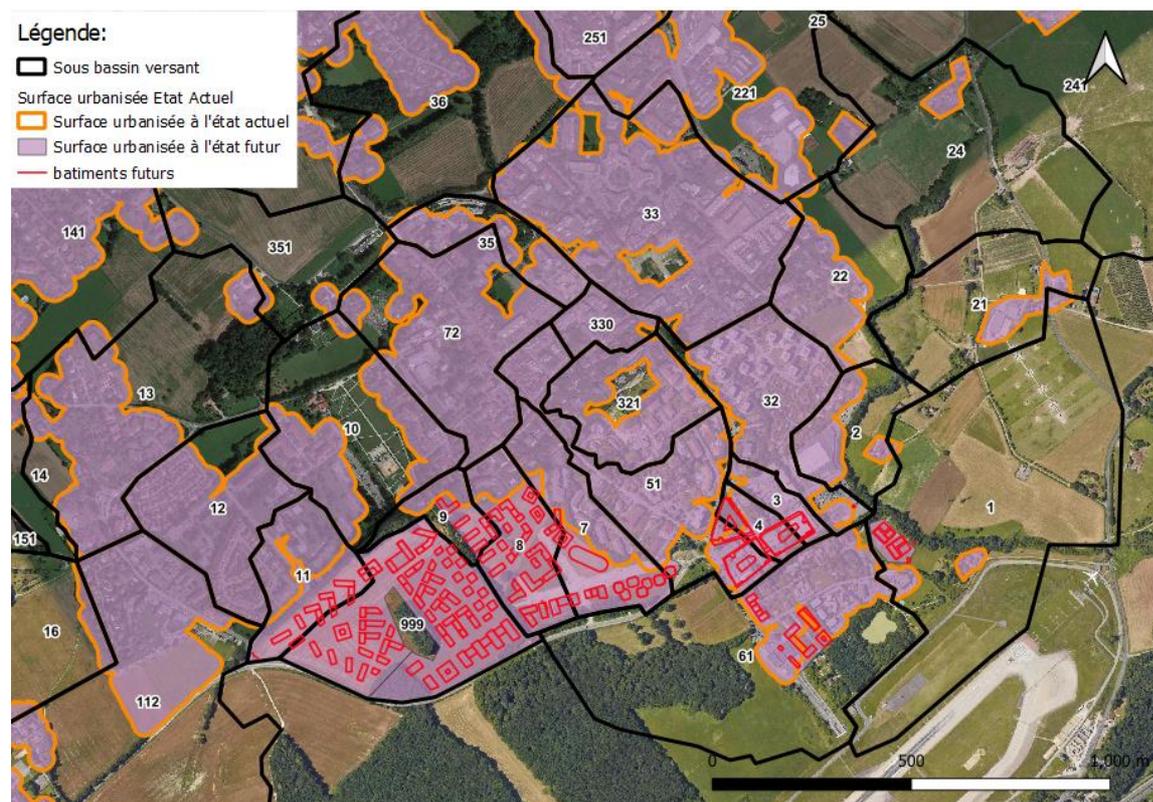


Figure 44 : Évaluation de la surface urbanisée à l'état futur

Le tableau donne les nouvelles surfaces imperméabilisées à prendre en compte dans la modélisation hydrologique :

Nom du BV	Surface imperméabilisées à l'état futur	Coefficient d'imperméabilisation à l'état futur (%)
1	12085	3
10	48608	28
11	44660	60
112	135429	17
12	63342	51
13	71650	26
14	16882	27
141	370343	39
151	43420	32
152	309683	52
153	425947	50
16	42748	15
162	148984	18
17	26368	6
19	0	0
2	17840	25
21	9479	7
22	32441	31
221	72695	32
24	5396	2
241	33142	7
2411	61639	29
242	22898	9
243	587	0
2430	13615	1
25	13977	6
251	161637	17
26	371	0
27	29393	5
270	0	0
3	12047	58
32	61985	53
321	46967	50
33	158642	54
330	16583	58
35	24302	44
351	7225	6
36	52773	16
37	360841	38
4	11862	58
51	72621	53
61	47299	14
7	53168	60
72	90118	51
8	44119	60
9	13058	39
999	91620	56

Impacts des aménagements sur les débits

Évènement centennal

Pour l'évènement centennal, il est considéré que les mesures de compensations aux aménagements (bassins de rétentions, noues, et autres systèmes de gestion intégrée des eaux pluviales) sont saturés (leur période de dimensionnement ne va pas au-delà d'évènements trentennaux) et n'ont donc aucun effet sur les débits. Les résultats sont présentés ci-dessous en différents points du réseau hydrographique.

Débit centennal du Gobé à la station

L'hydrogramme centennal à l'état futur au niveau de la station du Gobé est comparé à l'hydrogramme centennal obtenu à l'état actuel :

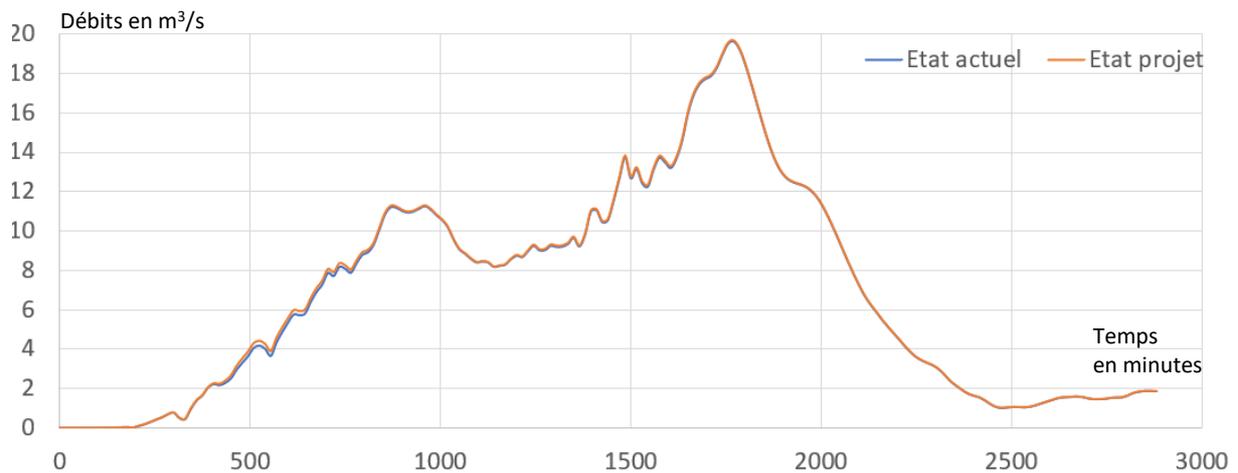


Figure 45 : Hydrogrammes état actuel et futur du Gobé pour la crue centennale – station du Gobé

Il n'y a pas d'impact sur les débits de pointe du Gobé.

Hydrogramme centennal Noeud13

Le nœud 13 se situe sur le Nant et reçoit les eaux du BV999 qui va être urbanisé à l'état futur. Tout comme pour le Gobé, l'impact de l'aménagement de la ZAC n'a pas d'impact sur le débit de pointe bien que le volume global de l'hydrogramme futur soit plus important.

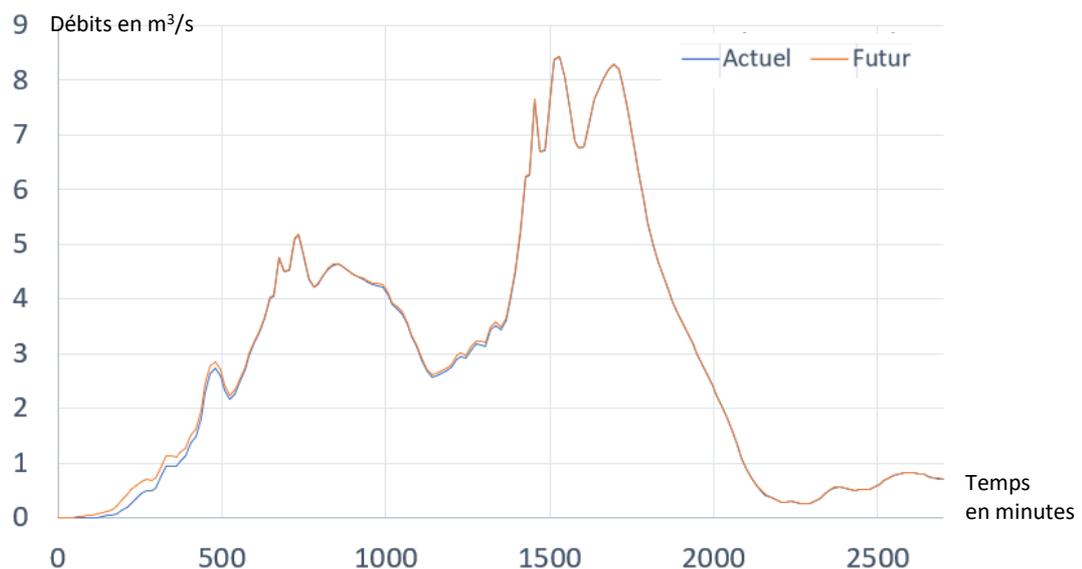


Figure 46 : Hydrogrammes état actuel et futur pour la crue centennale au nœud 13

Il n'y a pas d'impact sur les débits de pointe du Nant.

Hydrogramme centennal BV999

Pour comprendre la raison de l'absence d'impact sur la pointe de crue au niveau du Gobé ou du Nant, il est intéressant d'analyser la réponse hydrologique du bassin versant 999 qui est le bassin versant subissant l'urbanisation la plus importante (par rapport à l'état actuel).

L'analyse des hydrogrammes centennaux qui résultent des simulations permet d'observer que c'est au niveau du premier pic de crue que l'impact est le plus important (Premier pic → +27% de débit par rapport à l'état actuel, second pic → +23% de débit par rapport à l'état actuel).

Or, ce pic est plus faible (en valeur de débit de pointe) que le second. Au niveau du second pic (qui correspond au débit de pointe de l'évènement total), les sols naturels sont d'avantage saturés en eau. Aussi, il est normal que l'impact soit plus faible puisque les sols non imperméabilisés tendent à avoir une réponse semblable à des sols imperméabilisés : le phénomène s'observe très bien au niveau des hyétogrammes (pluie brute et partie pluie infiltrée).

On observe également une différence de forme d'hydrogrammes : le signal de la pluie est mieux conservé à l'état futur par rapport à celui obtenu à l'état actuel, ce qui est tout à fait cohérent avec l'effet de l'imperméabilisation d'un bassin (les sols infiltrent moins et donc peuvent moins emmagasiner et retarder la réponse hydrologique d'une partie des eaux issues des pluies : ainsi la « forme » de l'hydrogramme se calque sans grandes modifications sur la « forme » du hyétogramme de pluie brute).

Enfin, l'impact reste assez faible puisque les coefficients traduisant le ruissellement appliqué pour les surfaces naturelles (paramètre CN de la relation SCS-CN) sont forts (pour rappel, CN utilisé = 82), c'est-à-dire qu'à l'état naturel, les surfaces naturelles modélisées tendent plutôt à ruisseler qu'à s'infiltrer (sur les graphiques : en rouge : l'infiltration, en bleu : le ruissellement).

En quantité, par rapport au débit de pointe du Gobé ou du Nant, l'impact est négligeable. Cela s'explique également par la réponse du sous bassin versant : les pointes sont décalées (compte tenu de sa taille inférieure à celle du bassin du Nant, la réponse du BV999 est presque immédiate après le début de l'averse alors qu'il faut plus de temps au Nant pour réagir).

♦ État actuel

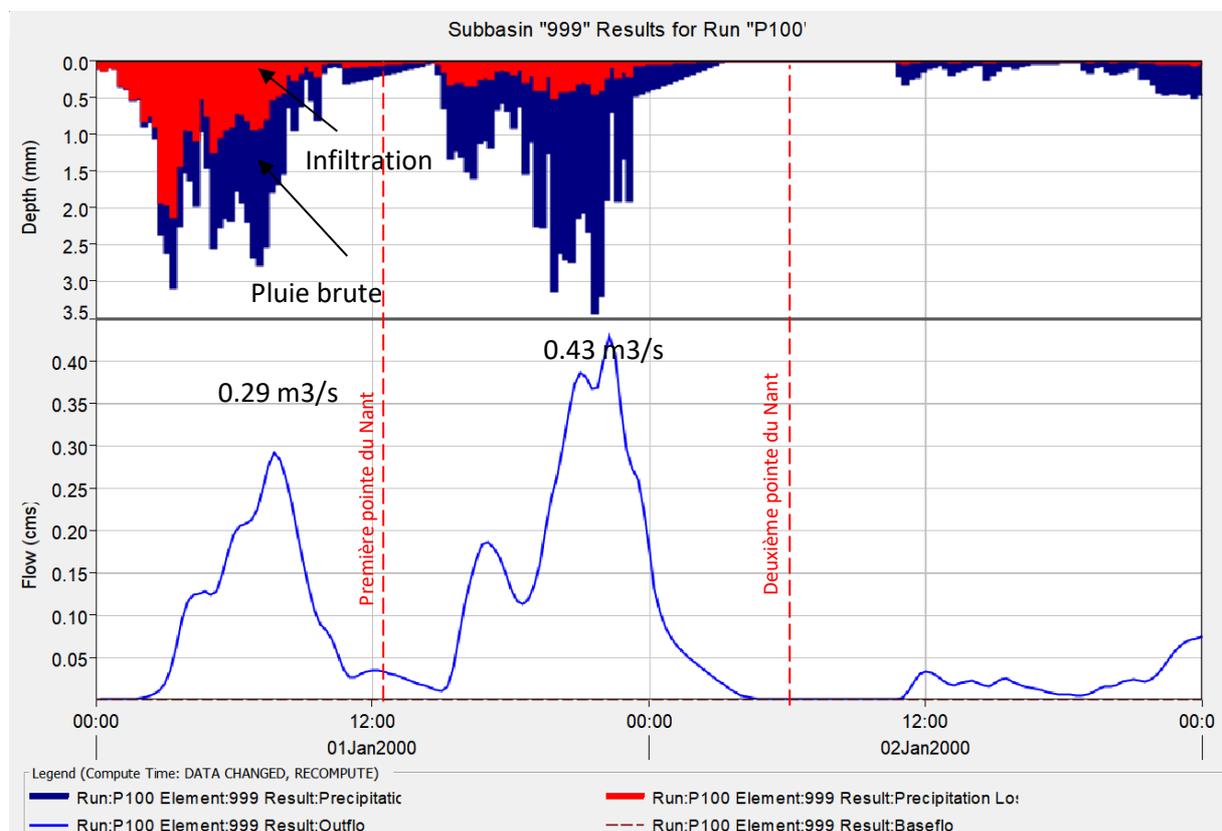


Figure 47 : Hyétogrammes et hydrogrammes pour la crue centennale – État actuel - BV999

◆ **État futur**

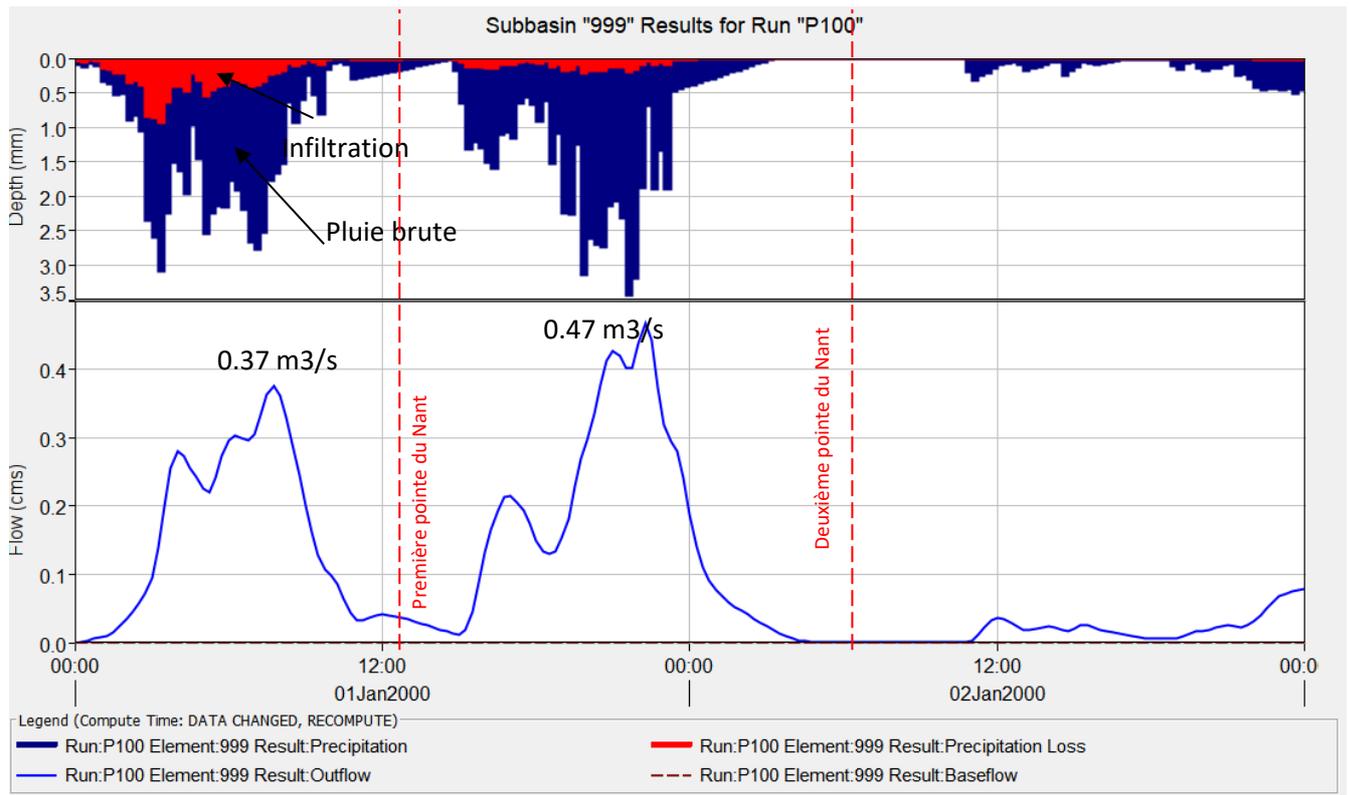


Figure 48 : Hyétochromes et hydrochromes pour la crue centennale – État futur - BV999

◆ **Comparaison des hydrochromes état actuel et état futur**

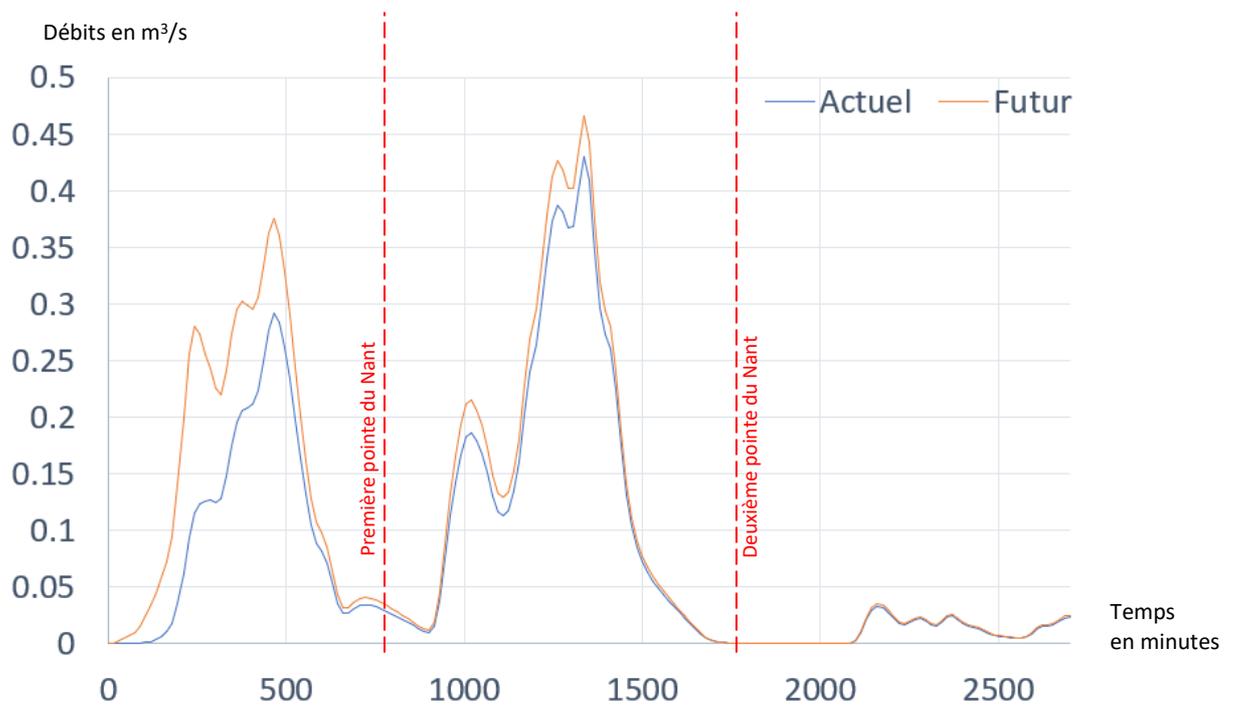


Figure 49 : Hydrochromes état actuel et futur pour la crue centennale – bassin versant 999

Évènements T=30 et T=10 ans

Pour les événements T=30 et T=10 ans, doit être pris en considération le fait que les aménagements projetés comprennent des mesures de rétention à la source, de sorte que les débits de fuite vers le milieu naturel sont contrôlés et limités à 7l/s par hectare aménagé. Ainsi, les nouvelles surfaces aménagées vont fournir au réseau hydrographique les débits de fuites suivants (voir tableau ci-contre) :

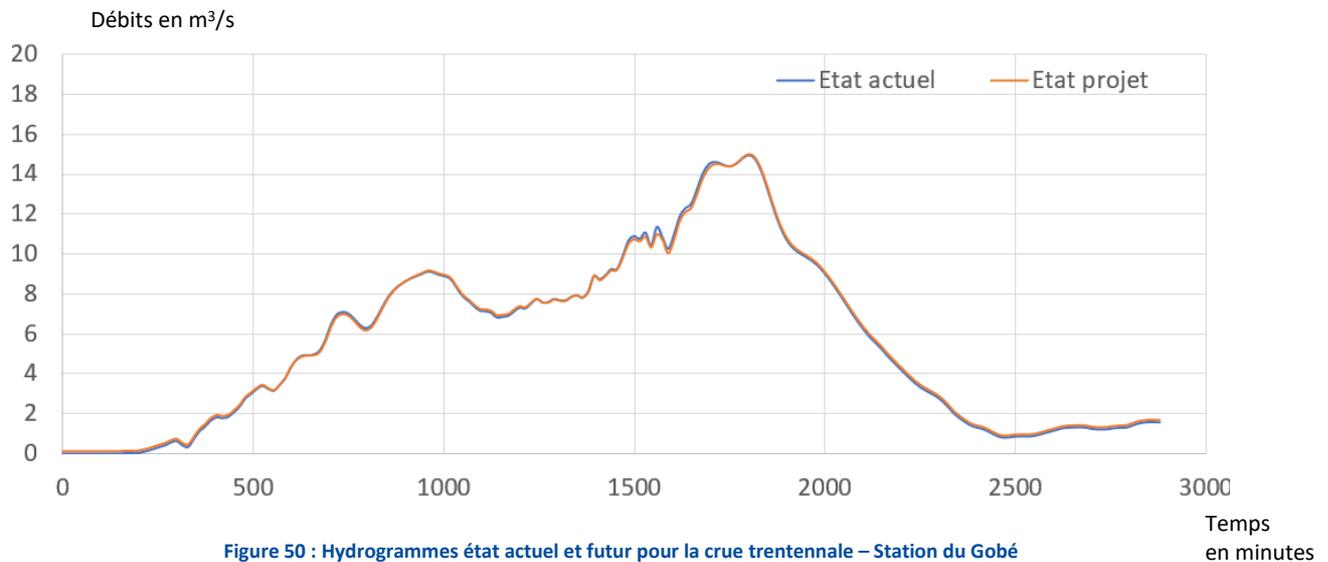
Les débits de fuite sont intégrés dans les modèles sous forme de source à débit constant (hypothèse pénalisante).

Les résultats sont présentés ci-dessous en différents points du réseau hydrographique.

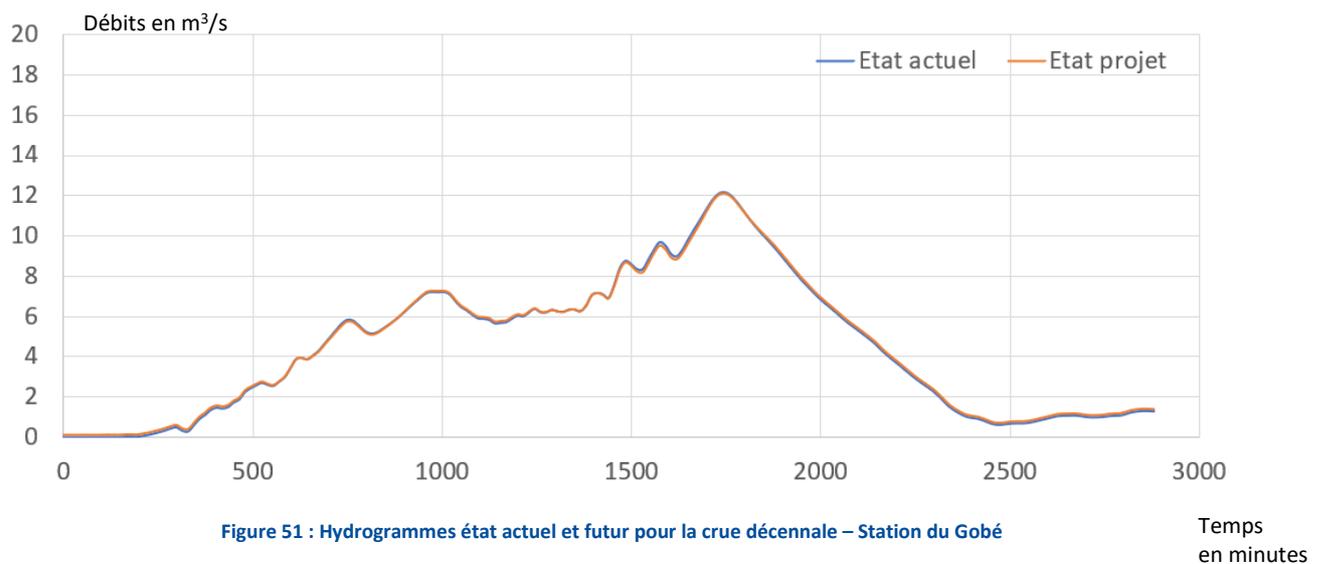
Bassin versant concerné par l'urbanisation	Qf en m ³ /s par calcul sur les surfaces nouvellement imperméabilisées
999	0.0636
8	0.0251
7	0.0173
11	0.0145
9	0.0049
1	0.0033
61	0.0025
51	0.0015
4	0.0014

Débits du Gobé à la station

◆ Pluie trentennale



◆ Pluie décennale



L'impact est négligeable sur le Gobé.

Débits au nœud 13

◆ Pluie trentennale

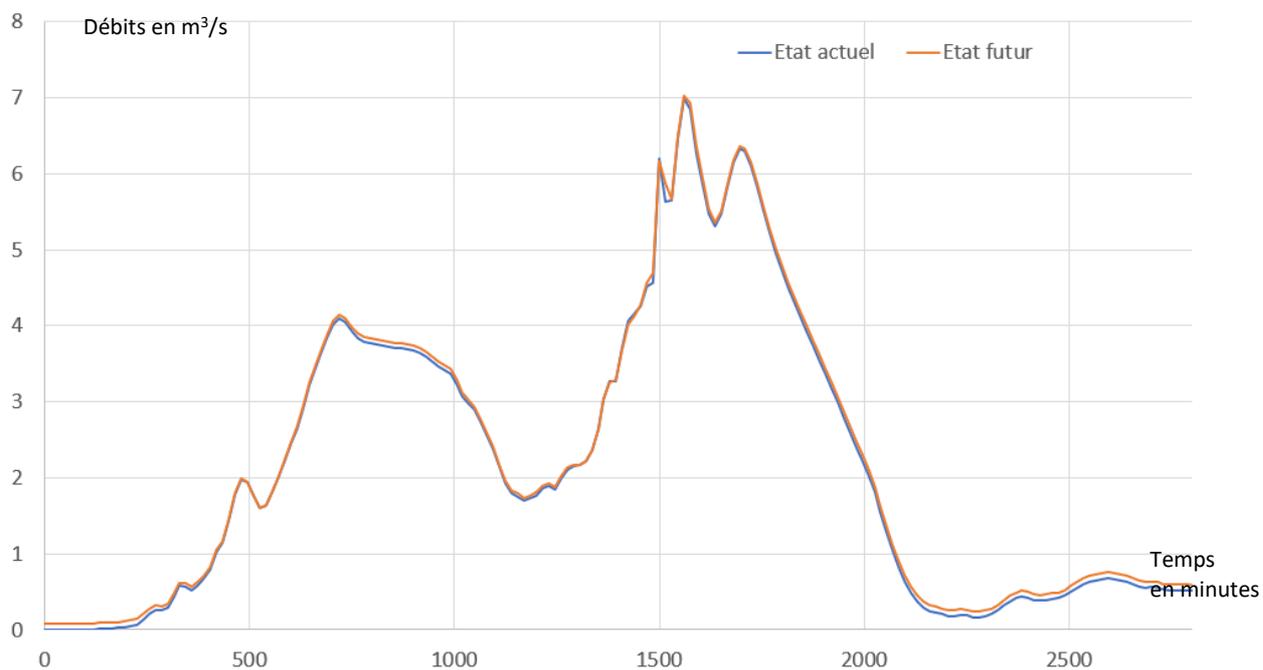


Figure 52 : Hydrogrammes état actuel et futur pour la crue trentennale – Nœud 13

L'impact est négligeable sur le Nant.

◆ Pluie décennale

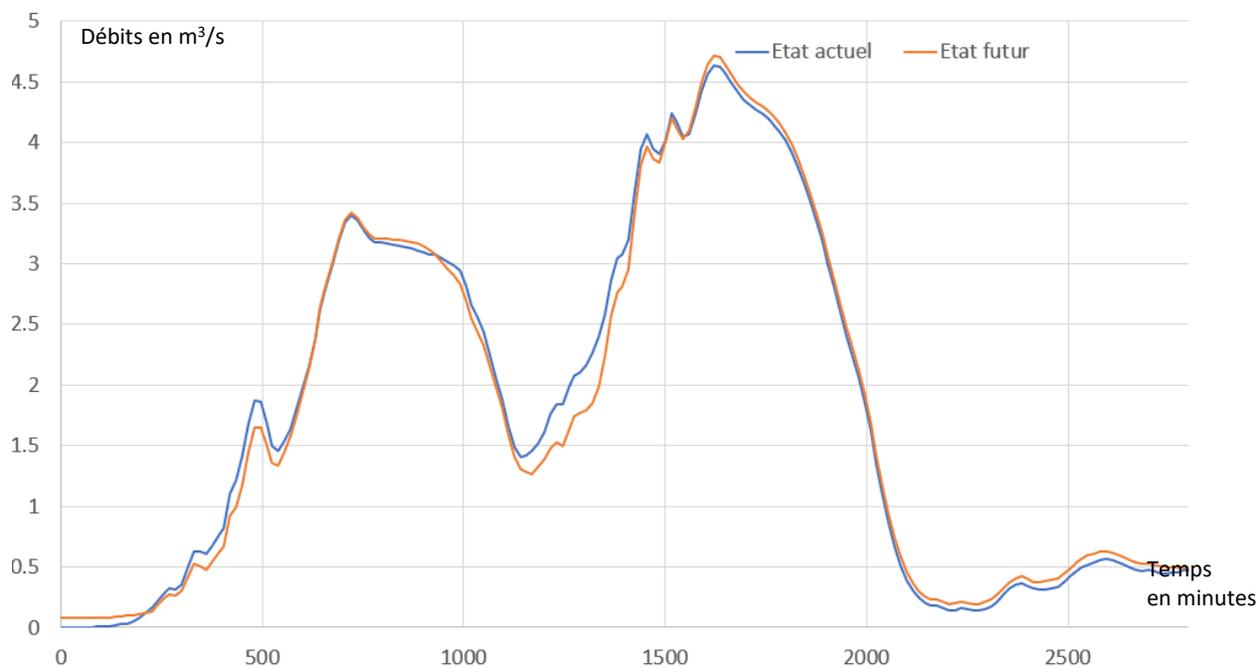


Figure 53 : Hydrogrammes état actuel et futur pour la crue décennale – Nœud 13

L'impact est négligeable sur le Nant.

Débits BV999

♦ Pluie trentennale

A l'échelle du bassin versant 999, pris pour l'exemple, la réduction des débits liés aux mesures de compensation est importante (-40% par rapport au débit actuel). Mais cette réduction n'intervient que sur la période de réaction du bassin versant (ici, entre 165min et 1400min soit 2.7h et 24h après le début de l'averse, comme déjà décrit), avant la seconde pointe du Nant, ce qui explique qu'au niveau du point13, la seconde pointe est légèrement augmentée de la valeur des débits de fuite à taux constant (figure page précédente).

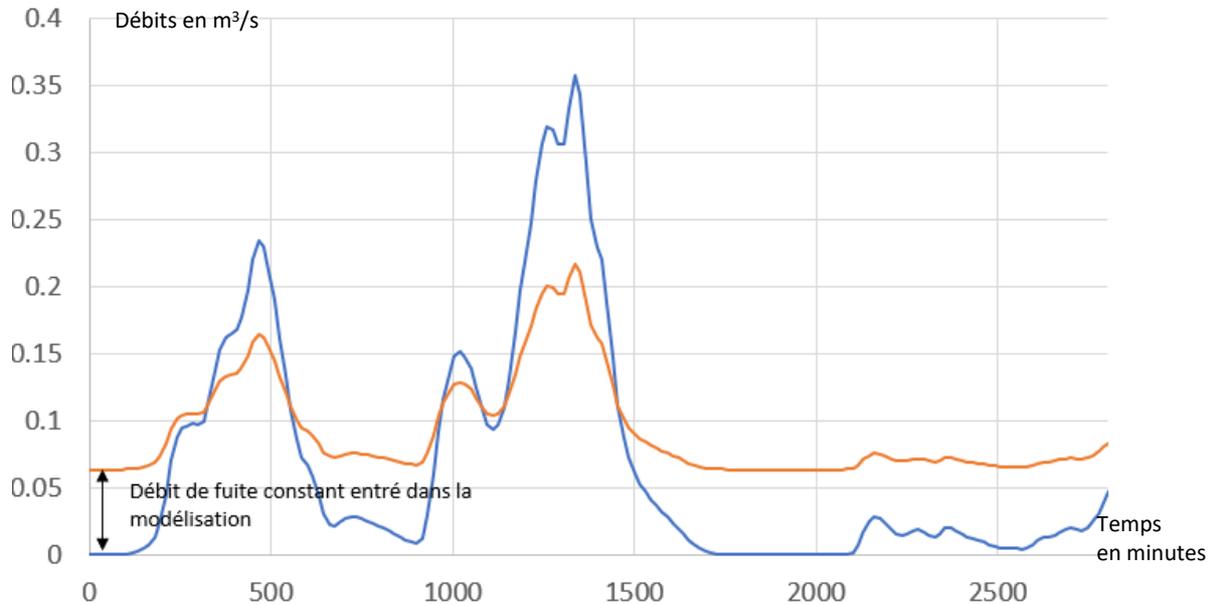


Figure 54 : Hydrogrammes état actuel et futur pour la crue trentennale – Bassin versant 999

Nota : en réalité, le débit de fuite (même s'il est contrôlé par un organe de restitution à débit constant – flotteur ou vortex), ne peut fournir du débit qu'à partir du moment où les ouvrages de rétention se mettent en eau. Ici, la modélisation est simplifiée, le débit est constant depuis le début de l'averse, ce qui serait possible uniquement dans les cas où les ouvrages draineraient une partie de la nappe (ce qui n'est par ailleurs pas recommandé et non recherché).

♦ Pluie décennale

Pour la pluie trentennale, la réduction du débit est un peu plus faible (-35% par rapport au débit actuel). Les mêmes phénomènes indiqués pour la pluie trentennale s'observent pour la pluie décennale.

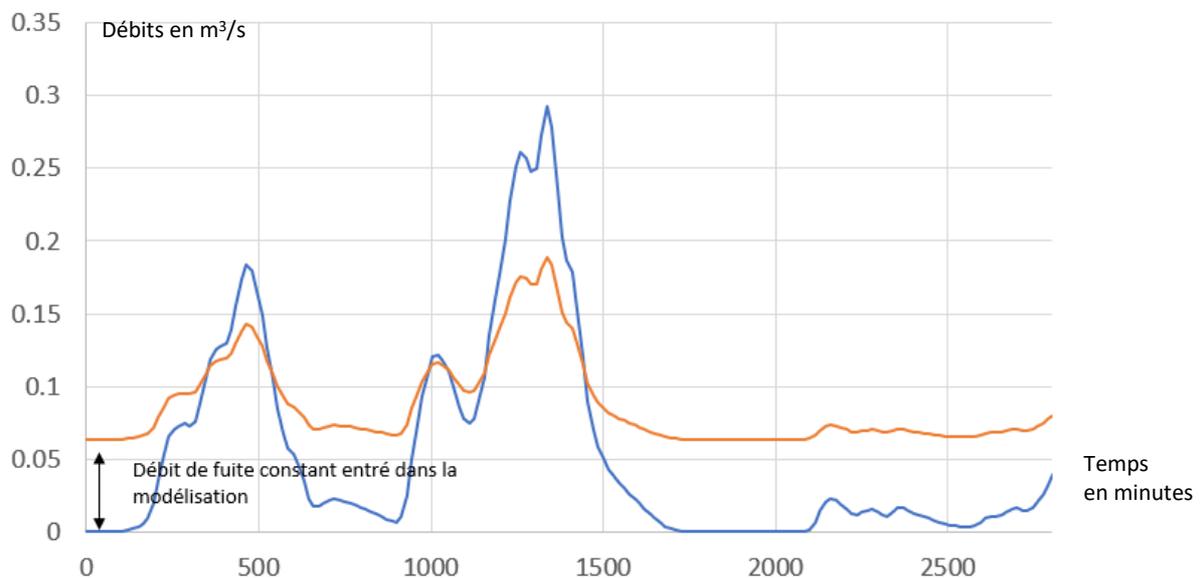


Figure 55 : Hydrogrammes état actuel et futur pour la crue décennale – Bassin versant 999

5. Conclusion

La modélisation hydrologique aura permis d'estimer les débits de périodes de retour T=10, 30 et 100 ans au niveau du réseau hydrographique du Gobé, dans des situations actuelles et futures en prenant en compte l'urbanisation et l'aménagements de la future ZAC Ferney-Voltaire.

Les débits de pointe, à l'état futur d'aménagement de la ZAC, sont les suivants :

	Débit décennal en m3/s	Débit trentennal en m3/s	Débit centennal en m3/s
Station Gobé	12.1	15.0	19.7
Nœud 1	12.1	14.8	19.4
Nœud 2	5.7	7.3	8.9
Nœud 11	6.6	9	11.7
Nœud 12	4.8	7.1	8.8
Nœud 13	4.6	7	8.4
Nœud 14	4.7	7.1	8.8
Nœud 15	4.2	6	7.8
Nœud 111	2.3	2.9	3.5
Nœud 112	2.3	2.9	3.5

L'objectif de l'étude est de permettre la récupération des différentes hydrogrammes et leur injection dans un modèle hydraulique de surface (1D-2D) afin de définir les mesures de réduction du risque éventuelles pour la construction de la ZAC, intégrant un projet de renaturation sur différents tronçons de cours d'eau.

Malgré la quasi-absence d'impact sur les débits de pointe du Nant et Gobé, les mesures de compensation des aménagements de la ZAC (noues, bassins, etc.) permettent une nette réduction des débits à l'échelle des sous bassins versants. Ces mesures sont indispensables pour les rejets dans les réseaux d'eaux pluviales, notamment. De plus, pour des pluies plus courtes et intenses, elles peuvent trouver un réel intérêt pour diminuer les débits sur l'ensemble du réseau hydrographique (Oule, Nant et Gobé). **Ainsi, l'absence d'impact sur les pointes de crues du Nant et du Gobé ne doit pas conduire à minimiser la nécessité de mise en œuvre d'une gestion intégrée des eaux pluviales et d'utilisation des solutions fondées sur la nature (SFN) pour toutes les opérations d'urbanisation sur le bassin versant.**

Il paraît nécessaire d'informer le lecteur non averti que toute étude hydrologique reste entachée d'incertitudes. Les résultats obtenus dans le cadre de la présente étude sont valables au regard des différentes hypothèses et scénarios étudiés.

En effet, les sources d'incertitudes sur les modèles hydrologiques reposent sur facteurs :

- ♦ La fiabilité des données sources utilisées (pluviométrie, hydrométrie) qui servent à alimenter le modèle et à le caler
- ♦ Les autres paramètres utilisés dans le calage des modèles : coefficients d'imperméabilisation, CN (qui traduit indirectement la propension des sols à infiltrer), paramètres utilisés pour la propagation des débits,...
- ♦ Le modèle hydrologique en lui-même qui possède ses propres limites.

Concernant la pluviométrie, en dehors de la problématique liée aux instruments de mesures (fonctionnement, position, etc.) et aux méthodes de relevés, les sources d'imprécisions relèvent souvent du manque d'observations et de la distance du pluviomètre à la zone d'étude. Dans le cas présent, le maillage du territoire en stations pluviométriques est plutôt riche et les périodes d'observations longues (Genève Cointrin, situé à quelques kilomètres de la zone d'étude est en service depuis 1950). La pluviométrie peut être considérée comme fiable.

Le choix d'une pluie de projet plutôt qu'une autre peut induire des incertitudes sur la pointe des débits et sur le volume. En effet, une pluie de projet est une pluie fictive, plausible statistiquement et équivalente à une pluie réelle, bien que jamais observée. Elle peut également être entachée d'une erreur de représentativité, de vraisemblance.

Concernant l'hydrométrie, les sources d'imprécisions sont plus nombreuses et relèvent le plus souvent de l'instrumentation, de la position de la station, aux conditions de relevés et de la fiabilité de la courbe de tarage. Les



étiages et crues extrêmes sont les situations qui génèrent le plus d'incertitudes. Généralement, les services considèrent comme une très bonne station, les stations dont les marges d'incertitudes sont autour de $\pm 5\%$ et peut atteindre plus de 15%. Dans le cas présent, il n'a pas été mentionné d'une problématique liée à l'imprécision de la station du Gobé.

L'analyse fréquentielle utilise l'intervalle de confiance pour traduire l'incertitude liée au phénomène de fluctuation d'échantillonnage due au fait que l'échantillon analysé ne reflète qu'une partie de l'ensemble des réalisations possibles de la rivière, et que sa représentativité n'est donc pas absolue.

Aussi, les plus fortes marges d'incertitudes relèvent des paramètres de représentation des caractères physiques et d'occupation des sols des bassins versants. Or, ces paramètres peuvent varier en fonction de la saison (par exemple en période de nappe haute, les sols sont moins propices à l'infiltration voire totalement étanches), en fonction de l'intensité et la durée des événements pluvieux, en fonction des antécédents pluviométriques.

On peut donc considérer une incertitude comprise entre 10 et 20% sur les débits obtenus par la modélisation hydrologique.

De surcroît, dans les années à venir, avec les effets induits par le dérèglement climatique, il est probable que les événements exceptionnels pluviométriques augmentent en intensité et fréquence ce qui est source d'augmentation des débits de pointe des bassins versants.