

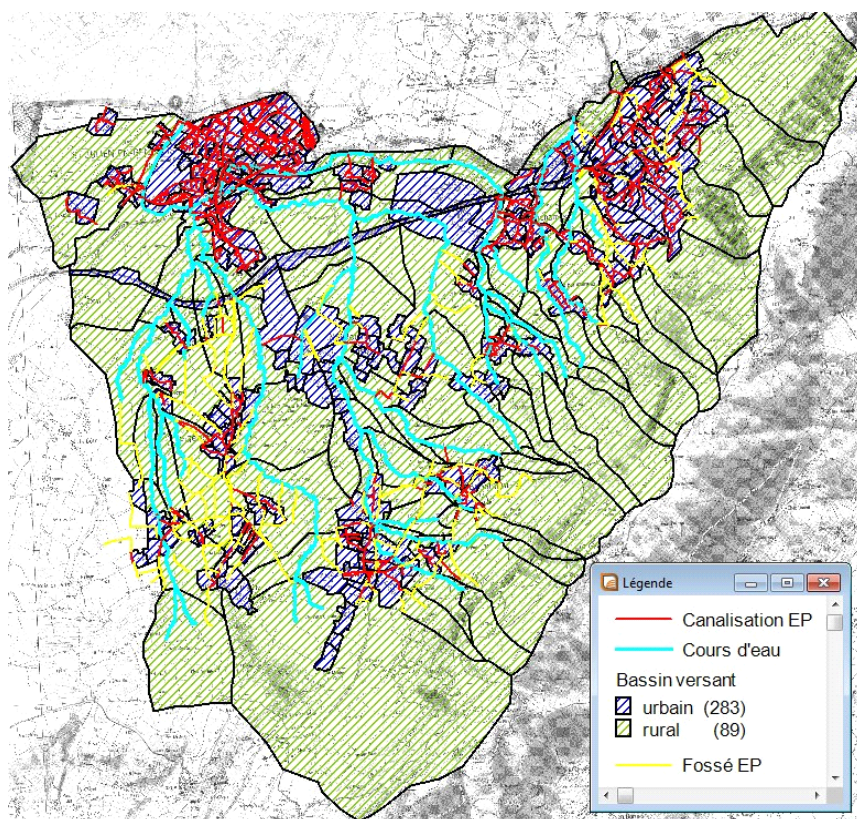
COMMUNAUTE DE COMMUNES DU GENEVOIS

ETAT DE GENEVE - DT

MANDAT MODELISATION

AIRE-DRIZE
Secteur FRANCE

RAPPORT TECHNIQUE



B+C Ingénieurs SA

Rue des Grand-Portes 2
1213 Onex-Genève
Tél. 022 312 06 50
Fax 022 312 06 51
mail@bcing.ch

Sommaire

1. Méthodologie	2
1.1. Principe de calcul du modèle	4
1.2. Modèle EP	4
1.3. Réseau d'assainissement	5
2. Données de base	6
2.1. Données reçues	6
2.2. Synoptique de la modélisation	8
3. Calage du modèle	10
3.1. Stratégie de calage	10
3.2. Données de calage	10
3.3. Calage	10
3.4. Validation	17
4. Phase diagnostic	24
4.1. Modélisation des scénarios d'occupation du sol	24
4.2. Indicateurs du régime hydrologique	24
4.3. Estimation des débits de pointe	25
4.4. Diagnostic capacitif des systèmes d'assainissement pluviaux	26
5. Phase Concept	26
5.1. Choix des tronçons tests	26
5.2. Scénario de gestion « idéal »	27
5.3. Evaluation des scénarios	28
5.4. Concept de gestion	30

Dans le cadre du Contrat de Rivières transfrontalier entre Arve et Rhône frontière, le Département de l'Intérieur et de la Mobilité (DIM) du canton de Genève et la Communauté de Commune du Genevois (CCG) ont décidé de mener une étude commune pour une approche globale de la gestion des eaux pluviales à l'échelle des bassins versants de l'Aire et de la Drize. Concrètement, cela se traduit par l'établissement d'un Schéma Directeur des Eaux Pluviales (SDEP) pour la partie française et d'un Plan Régional d'Evacuation des Eaux (PREE) sur le territoire suisse. Un outil informatique commun de modélisation a été choisi dont la charge a été confié au bureau B+C Ingénieurs S.A. Le mandat modélisation a pour but de déterminer les impacts des réseaux d'assainissement sur les cours d'eau. Pour cela, il s'appuie sur un outil de simulation des écoulements permettant de travailler à l'échelle du SDEP/PREE Aire-Drize. Les résultats produits par cette étude sont transmis aux mandataires SDEP et PREE qui ont pour mission de les analyser et de les confronter aux réalités du terrain pour la réalisation de leurs études.

Ce rapport présente les principes de calcul, la stratégie de calage ainsi que l'exploitation du modèle global mis en place par le bureau B+C Ingénieurs.

1. Méthodologie

Le déroulement du mandat se fait en trois étapes principales comme illustrées sur la figure 1. Dans un premier temps il s'agit de récolter les données de base telles que bassins versants, réseaux d'assainissement pluviaux, données hydrométéorologiques et sur les milieux récepteurs afin d'établir un synoptique de modélisation adapté à l'échelle de calcul. Le modèle, une fois établi, est ensuite calé et fait l'objet d'une validation.

Les deuxième et troisième phases du mandat concernent l'exploitation du modèle. La phase diagnostic s'appuie sur la modélisation de trois états d'occupation du sol pour produire les indicateurs quantifiant l'impact de l'urbanisation sur le régime hydrologique des cours d'eau.

Après la définition d'objectifs, la dernière phase permet d'aboutir à l'établissement d'un concept de gestion des eaux pluviales à l'échelle du bassin versant. A partir de tronçons pilotes on teste plusieurs scénarios de gestion en analysant la réponse des indicateurs cours d'eau afin d'obtenir le compromis le plus réaliste entre les objectifs fixés et la faisabilité des mesures envisagées.

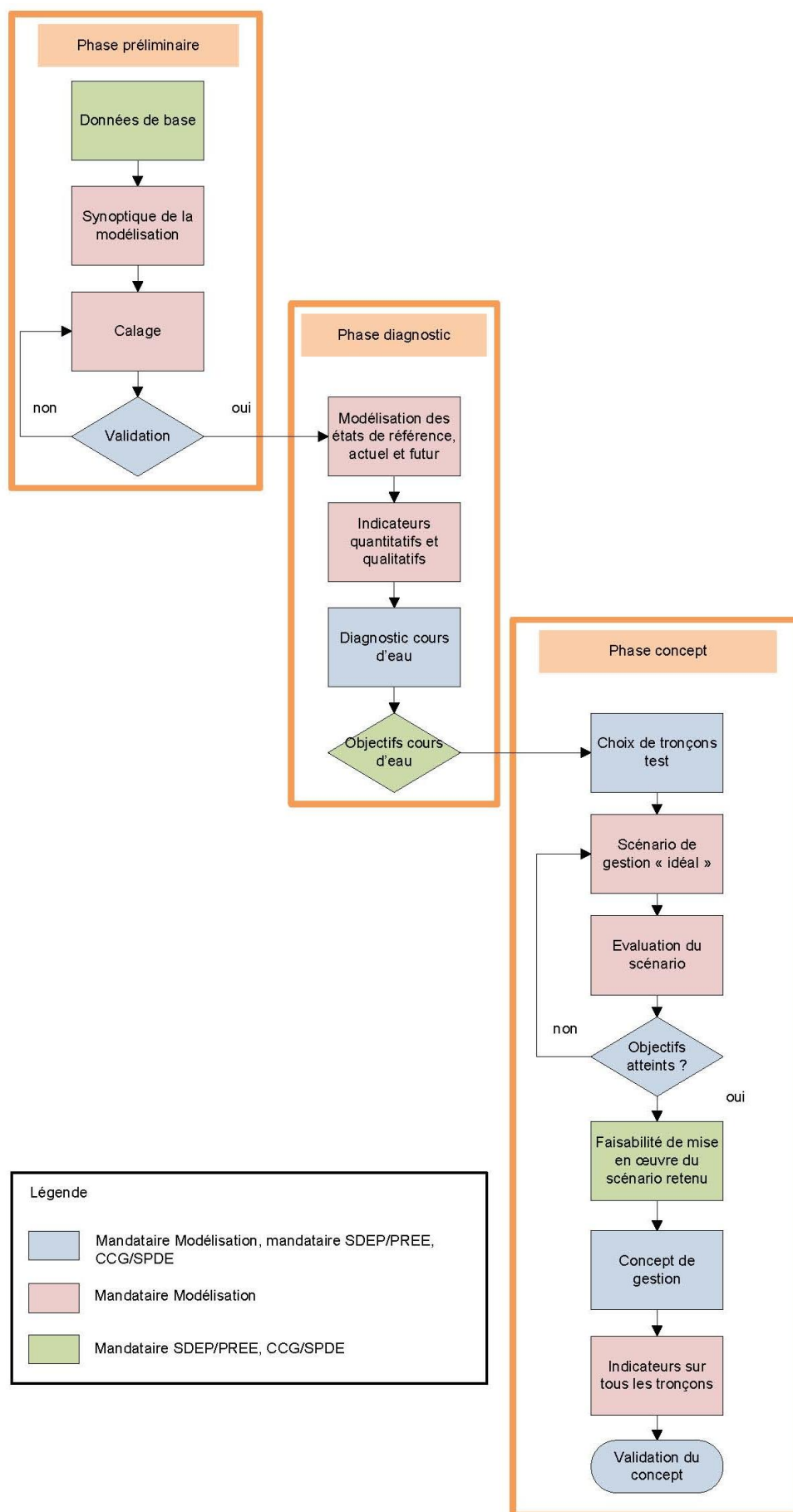


Figure 1. Déroulement du mandat modélisation pour le SDEP/PREE Aire-Drize

1.1.Principe de calcul du modèle

Les fonctions hydrologiques et hydrauliques sont modélisées à l'aide du logiciel développé par le laboratoire de constructions hydrauliques de l'Ecole Polytechnique de Lausanne (EPFL), le Routing-System [RS], qui se base sur la technologie de programmation graphique de LabView™ (propriété de National Instruments). Cet environnement a été choisi pour sa flexibilité, sa transparence, la possibilité de modifier ou d'ajouter des nouvelles fonctions ainsi que de travailler en continu sur de longues périodes temporelles de simulation.

La modélisation effectuée est séquentielle. Pour cela, la modélisation nécessite la création de plusieurs couches que l'on modélise séparément. Pour le SDEP, nous avons travaillé avec quatre couches :

- La première couche simule la production des bassins versant ruraux. Pour chaque bassin versant rural, le débit de base représentant la fraction d'eau infiltrée dans le sol rejoignant la rivière et le débit ruisselé sont calculés.
- La deuxième couche simule le comportement des bassins versants urbains.
- La troisième couche est la couche « rivière ». Aucune production d'eau n'est modélisée, il s'agit de rapatrier les débits calculés dans les deux premières couches et de les faire transiter dans le cours d'eau.
- Enfin, la quatrième couche est la couche « indicateurs » qui analyse les séries de débits de la rivière et de quantifier les impacts de l'urbanisation sur le milieu récepteur.

1.2.Modèle EP

Les débits EP atteignant le réseau de collecte sont formés de deux composantes : une première étant la réaction de la partie imperméable du bassin versant, une seconde étant la composante du ruissellement de surface de la partie perméable. L'intégration de la partie perméable est particulièrement importante, notamment pour une meilleure reproduction des volumes (cf. figure 2) mais aussi pour l'estimation des apports lors d'événements extrêmes.

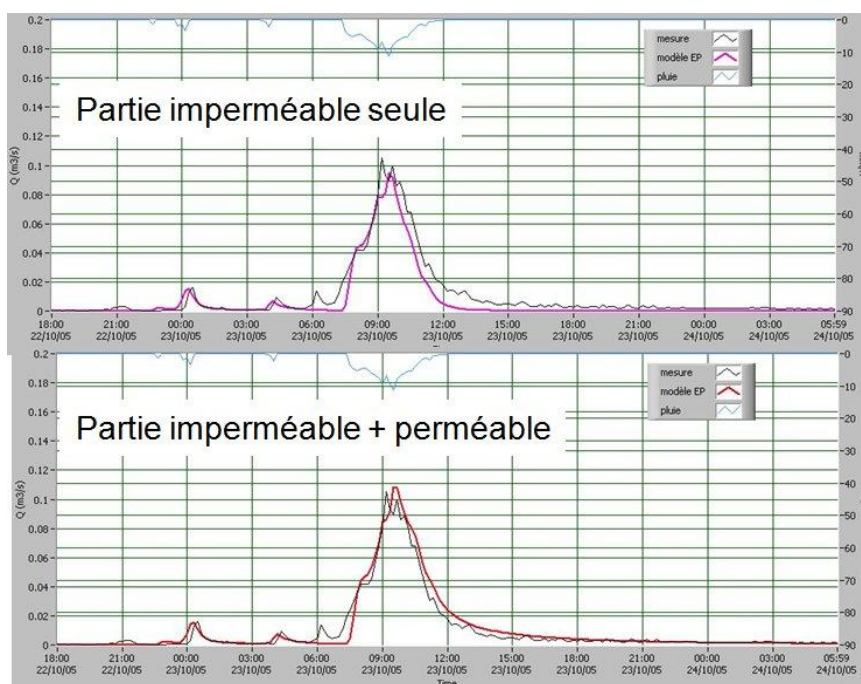


Figure 2. Principe de simulation des BV urbains avec prise en compte de la partie perméable

Pour la composante imperméable, la séparation pluie brute/pluie nette se fait proportionnellement à l'imperméabilisation du bassin versant. La partie urbaine du bassin versant est assimilée à un plan rectangulaire avec une longueur $[L]$, une pente $[S]$ et un coefficient de rugosité de Strickler $[K]$. Cette fonction résout une équation de continuité avec une loi de vidange donnée par l'équation de Manning adaptée aux écoulements peu profonds (cf. figure 3).

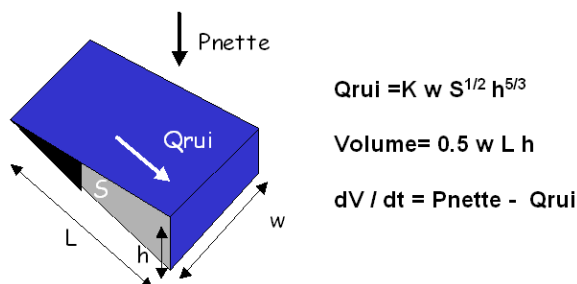


Figure 3. Fonction de ruissellement

Les pentes des bassins versants sont fournies dans la base de données reçue du bureau Hydrétudes, la surface des bassins versants est directement extraite des données géographiques, la longueur d'écoulement est calculée comme étant la racine carrée de la surface et le coefficient de Strickler est fixé par calage.

Pour la composante perméable, la transformation pluie brute/pluie nette se fait grâce à une routine de calcul de type réservoir non linéaire tel que présenté sur la figure 4.

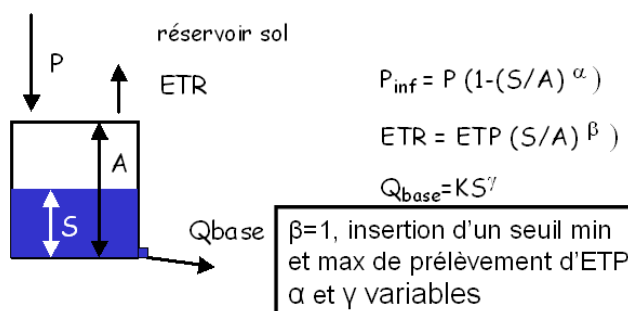


Figure 4. Principe de fonctionnement du réservoir sol

La pluie nette ainsi obtenue est traitée de manière identique à celle des parties urbanisées. La différence des réponses attendues se fait principalement grâce au calage du paramètre de Strickler et à l'influence du réservoir non linéaire.

Pour les surfaces rurales, le calcul des surfaces et des longueurs d'écoulement se fait directement à partir des données géométriques sous SIG. La pente des bassins versant a été calculée directement à partir du MNT. La fonction de production et de transfert est identique à celle utilisée pour les surfaces perméables des bassins versant urbains (voir ci-dessus).

1.3. Réseau d'assainissement

Le transit dans les réseaux des apports dans une conduite se fait à partir de sa longueur, sa pente, sa rugosité par le modèle de Muskingum. Le paramètre de mélange X est fixé à 0.2. Il est à noter que pour le transit les conduites sont considérées comme étant de forme rectangulaire dont la largeur est égale au diamètre.

Une limitation des quantités pouvant transiter par le réseau se fait en bornant la série dans la conduite à la capacité maximale de transport multipliée par un facteur

permettant de tenir en compte des mises en charge possibles. Selon les cas et en fonction des hauteurs de cheminée, on majore ainsi la capacité de transport des canalisations. Par calage il a été estimé que le débit transitant dans les réseaux pouvait être égal à trois fois la capacité nominale de la canalisation.

Les quantités d'eaux qui ne peuvent pas transiter sont alors déversées en surface et atteignent leurs exutoires par ruissellement sur le sol.

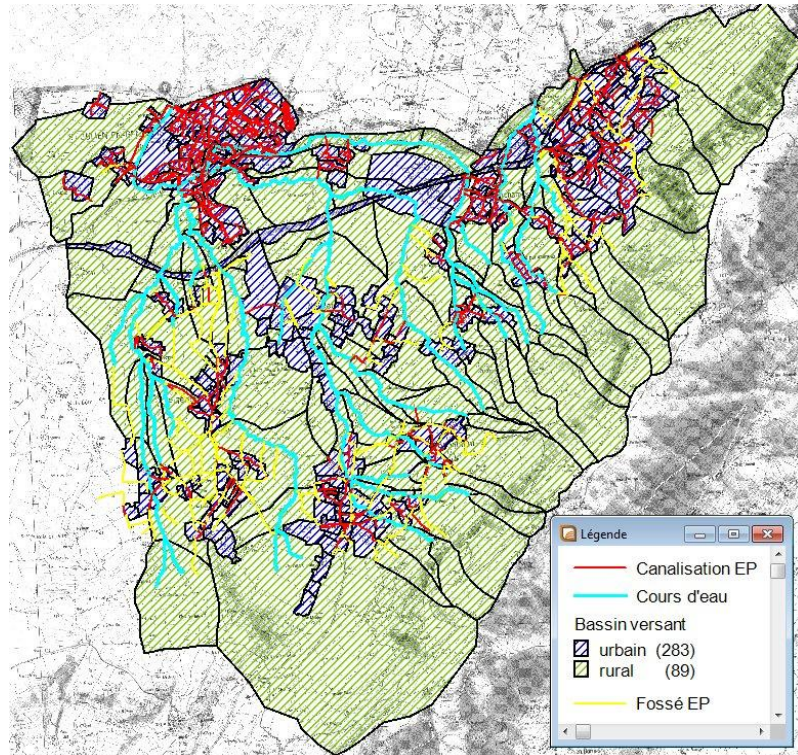
2. Données de base

2.1. Données reçues

Les données bassins versants urbains et ruraux proviennent du bureau Hydrétudes en charge de l'étude SDEP sous la forme d'une couche numérique MapInfo®. Les attributs de surface, pente, imperméabilité actuelle et future ainsi que le raccordement au réseau sont renseignés. Les taux d'imperméabilisation ont été établis sur la base du travail du bureau ASS sur l'urbanisation à Genève. Dans la table attributaire reçue, ces valeurs ont été multipliées par un facteur 1.3 par le bureau Hydrétudes.

Les données du réseau d'assainissement (collecteurs, regards, points de rejet) ont également été fournies par Hydrétudes avec les attributs de géométrie et de niveaux altimétriques.

Les données cours d'eau sont de deux types. D'une part une couche SIG représentant le tracé des cours d'eau et un premier tronçonnage, d'autre part des fiches en format papier renseignant sur la granulométrie et la géométrie des sections de cours d'eau pour chacun des tronçons. Ces deux données proviennent du bureau Hydrétudes. Les données reçues sont illustrées sur la figure 5.



TRONÇON HOMOGÈNE

RIVIERE : Le drize N° tronçon : 061-01 Date relevés : 23/08/06
PK amont : PK aval :

DESRIPTIF GÉNÉRAL ENJEUX RIVERAINS

Largeur du lit / d'occupation du champ d'inondation ou des bords du cours d'eau

MORPHOLOGIE DU COURS D'EAU

Pluies (< 5 m) X Trace en plan

Terrain (charriage et forte pente) Cours d'eau à plusieurs bras

Gorges racheses lit très encaissé Cours d'eau > 5 m et peu sinueux

Lit racheux rocailleux ou rocheux Cours d'eau > 5 m et très sinueux

Gisements, écoulements de terrain Pas ou peu Erosions des berges Pas ou peu

Localisés, discontinus Cours d'eau, tronçons Continus

Carrière

Variaisons du fond de lit : infériorité, aggradation

LIT MINÉRIEL

Séquence des faciès

Rocher Escalier

Mouille Canalis, chute

Pis Canal bariolé

Rapide Chêne roquet

Dimensions

Largeur du lit 4 m

Hauteur de berge 1 m

Me ou débordements 200 X

Inondés bassin(s) 1 m

Granulométrie du lit

Abaissements : sables, limons

Blocs 20 cm 1

Fines 4-20 cm 0

Carbon 1.5-5 cm 0

Coquilles 0.5-1.5 cm 0

Sables 0.05 mm - 2 mm 0

Limons < 0.05 mm 0

CRUES RÉCENTES

Date Importance

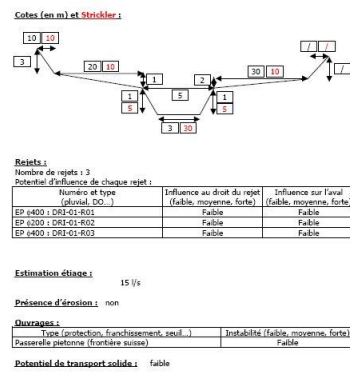


Figure 5. Données reçues : SIG en haut, fiches rivières en bas

Le tableau 1 fait la synthèse des données reçues. On note que le nombre de collecteurs EP (canalisations et fossés) est très important comparativement aux autres entités. Cela s'explique par le niveau de détail très important du réseau, notamment en zone urbaine, illustré sur la figure 6 au niveau de la commune de St-Julien-en-Genoevis.

Reçus Hydrétudes	
BV EP urbain	283
BV rural	89
Canalisation EP	2927
Fossé EP	315
Point de rejet EP	

Tableau 1. Nombre d'objets reçus par entité

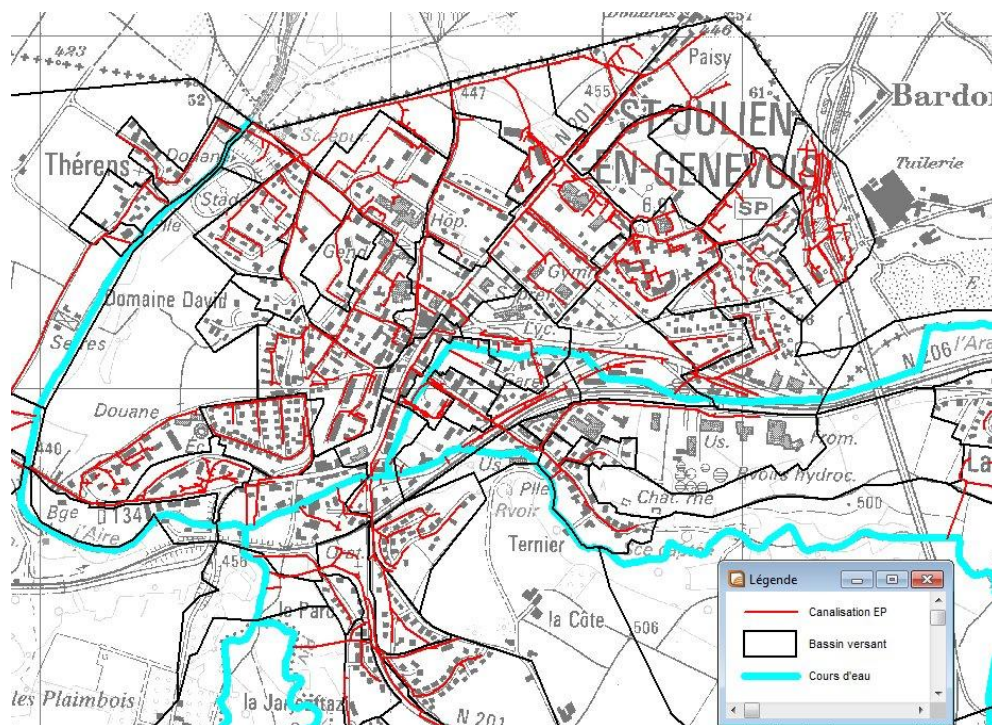


Figure 6. Visualisation des données bassins versants et canalisations reçues pour la commune de St-Julien-en-Genevois

2.2.Synoptique de la modélisation

Une fois ces données collectées, il convient de les agréger de manière cohérente afin d'avoir une échelle de calcul permettant de faire des simulations continues et de longue durée sur l'ensemble du périmètre.

L'agrégation des collecteurs se fait en regard de l'homogénéité des tronçons (diamètre, pente) et des points de calculs particuliers (jonctions, points de rejet). L'agrégation des bassins versants a été faite de manière obtenir une homogénéité en termes de tailles de bassins tout en prenant en compte les spécificités locales (pente, direction d'écoulement, point de mesure). L'agrégation des surfaces rurales s'est faite sur la base du découpage du cours d'eau en tronçon et à la morphologie du terrain. Le découpage en tronçon du cours d'eau a été établi sur propositions du bureau B+C et validé par les responsables de la CCG et du bureau Hydrétudes en fonction des caractéristiques géométriques du lit de la rivière, des rejets urbains principaux et des besoins particuliers de points de calculs (point de mesure par exemple).

On obtient ainsi une vision synoptique du bassin versant et de son système d'assainissement. C'est cette image qui est modélisée. On la retrouve sur le plan annexé « Synoptique de la modélisation ». Il présente :

- les bassins versant EP avec leur attribut d'identification, de surface, d'imperméabilité actuelle,
- la connectivité entre les bassins versant et le cours d'eau à travers les couleurs des bassins versant. Ainsi on visualise rapidement sur quel tronçon de rivière sont rejetés les eaux de chaque BV, la couleur du bassin étant à mettre en relation avec la couleur du tronçon de cours d'eau,
- l'emplacement des exutoires modélisés,
- le tronçonnage du cours d'eau,
- les collecteurs EP modélisés, chaque tronçon étant délimité par un regard.

Le tableau 2 donne un ordre de grandeur des entités de base et de leur agrégation.

	Reçus Hydrétudes	Modélisés B+C
BV EP urbain	283	126
BV rural	89	66
Canalisation EP	2927	39
Fossé EP	315	52
Point de rejet EP		60
Tronçon cours d'eau		29

Tableau 2. Nombre d'objets reçus et modélisés par entité

3. Calage du modèle

3.1.Stratégie de calage

Dans un premier temps, on cale le débit de base dans la rivière par ajustement des paramètres des bassins versants ruraux. Par la suite, on cale le ruissellement de surface des bassins versants d'eaux pluviales, en tenant compte de la partie imperméable et perméable. Enfin, on ajuste de ruissellement sur les bassins versants ruraux pour avoir un bon calage dans le cours d'eau.

3.2.Données de calage

Aucune campagne de mesure n'étant disponible sur le territoire français, le calage s'effectue grâce aux données hydrométéorologiques du canton de Genève.

La figure 7 montre le réseau de mesure du SECOE (Etat de Genève) pour le périmètre Aire-Drize. On compte trois pluviographes de longues durées, Le Coin (CO), Landecy (LA) et Bachet-de-Pesay (BA) ainsi que trois limnigraphes sur des cours d'eau recevant des apports en provenance de France : PG sur la Drize, MO sur l'Aire et CB sur le ruisseau des Marais.

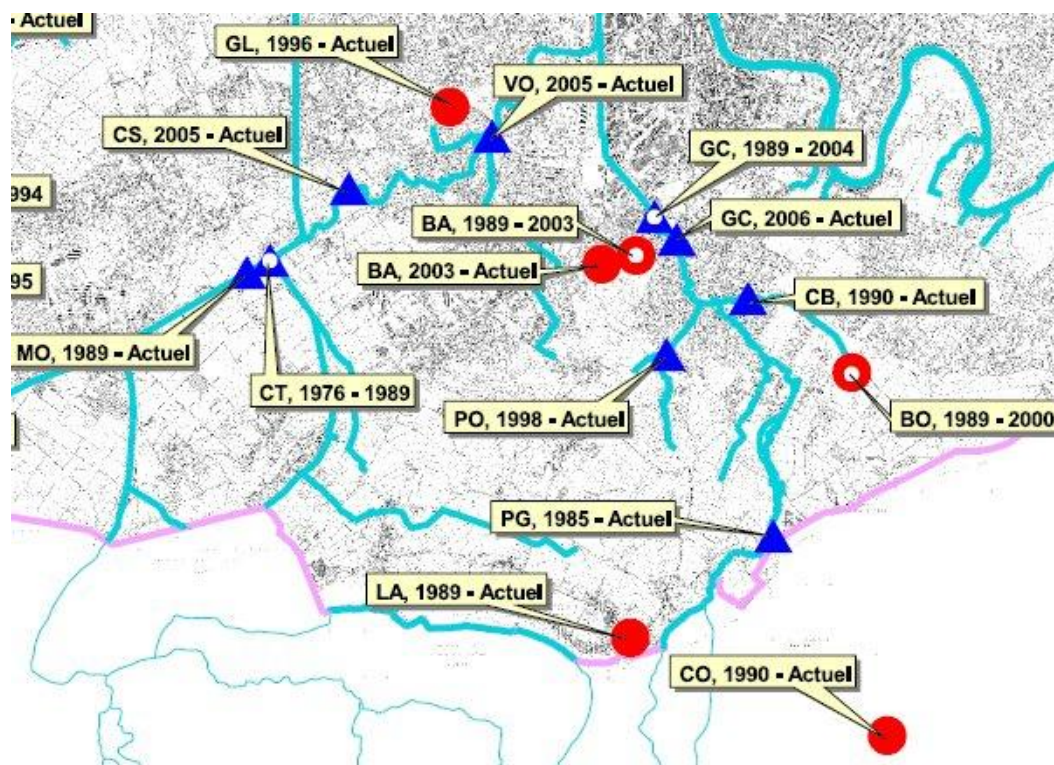


Figure 7. Emplacement des stations de mesure hydrométéorologiques. Source : Etat de Genève

Une chronique des évapotranspirations calculées à l'aéroport de Genève Cointrin sous la forme de valeurs journalières en mm/jour sont également disponibles.

3.3.Calage

Comme nous ne disposons pas de mesure dans le réseau EP, le calage des paramètres des bassins versants urbain s'est fait grâce aux mesures cours d'eau. Les postes de mesures reçoivent des contributions de bassins versants suisses. L'étude SDEP se réalise en même temps que l'étude PREE sur la partie suisse, les bassins versants sont simulés de

manière analogue des deux cotés de la frontière. L'intégralité de la présentation du calage est visible en annexe 1.

Le calage de l'Aire et de la Drize s'est effectué sur la période 2001-2005. Le calage s'effectue sur l'entier des mesures, permettant une bonne reproduction des débits de crues mais aussi des étiages. Plusieurs indicateurs ont été calculés afin d'apprécier la bonne représentativité des paramètres calés. Ainsi, en plus d'une visualisation comparative des séries modélisées et mesurées, nous avons été attentifs à la corrélation mesure/modèle pour tous les pas de temps de calcul, aux statistiques des débits de pointe, au critère de forme selon la formule de Nash ainsi qu'au bilan volumique.

Lors de la procédure de calage, nous avons constaté que les taux d'imperméabilisation reçus conduisaient à une surestimation des débits de pointe. En effet, les mesures dans les trois cours d'eau montrent un comportement hydrologique avec de fortes crues entre les mois d'octobre et avril et une période d'étiage souvent sévère en été. La figure 8 illustre ce comportement pour la Drize avec le calage du débit de base. Le lecteur constate un cycle de basse fréquence avec des hautes eaux en hiver et des basses eaux en été. Au contraire, en période estivale on note des variations rapides du débit, sans réaction du débit de base, ce qui est caractéristique du comportement des bassins versant urbains.

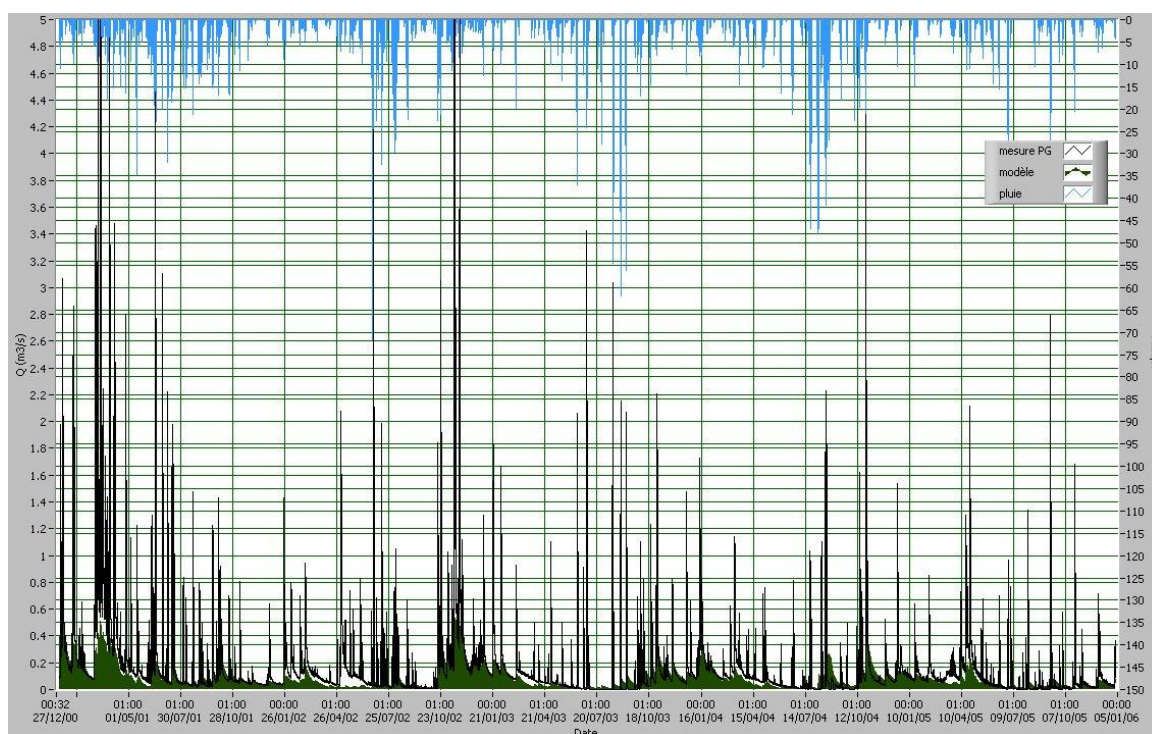
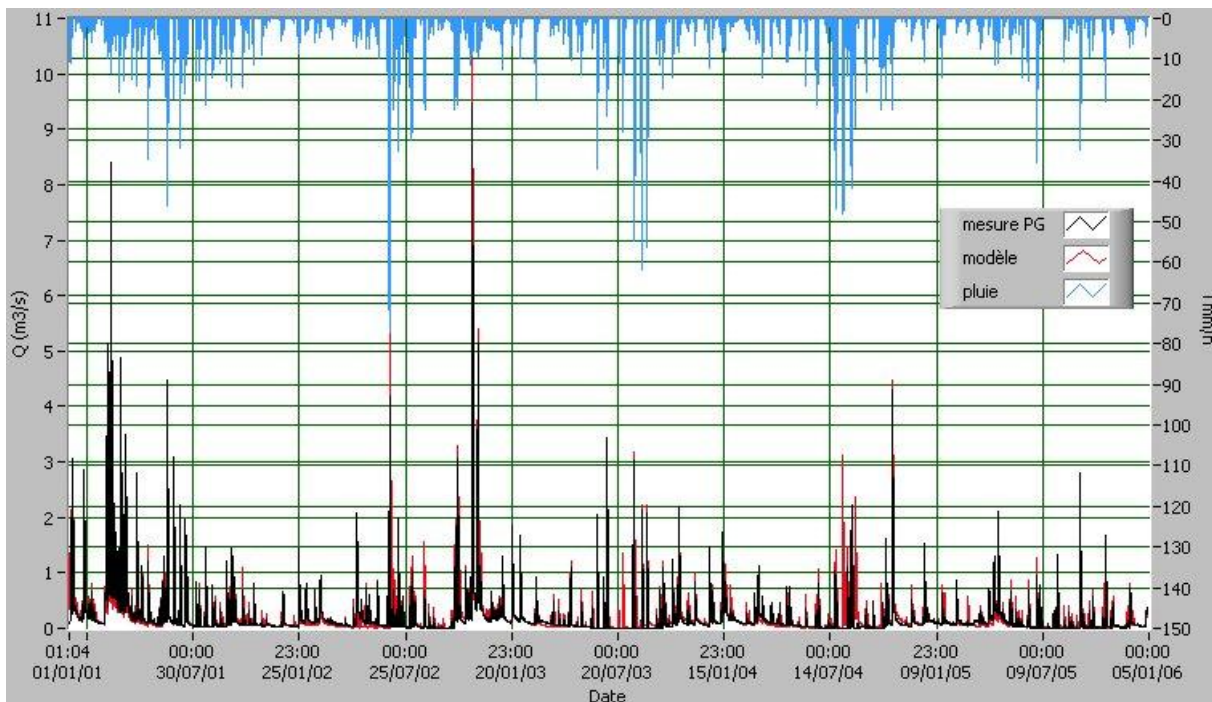


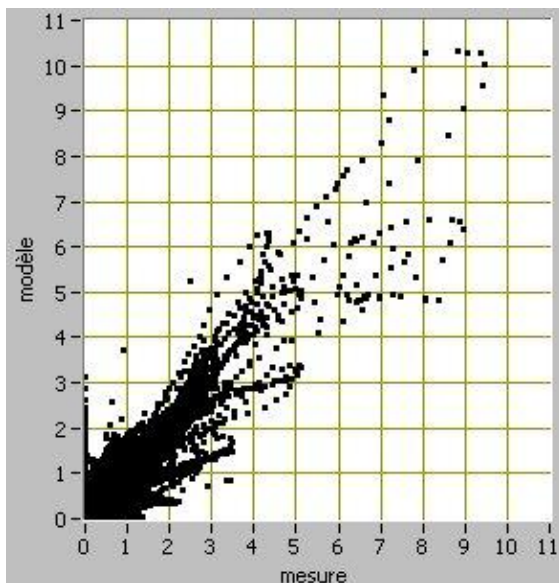
Figure 8. Calage du débit de base sur la Drize à Pierre-Grand sur la période 2001-2005

Avec les valeurs d'imperméabilité fournies par le bureau Hydrétudes, il y a une forte surestimation des débits de pointes en été. Par calage nous avons pris une valeur d'imperméabilisation égale à 90% de l'estimation du bureau ASS.

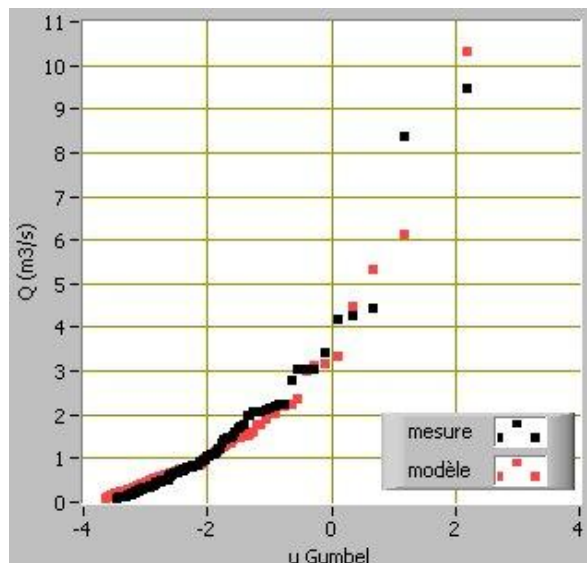
Les figures 9 à 11 illustrent les résultats de calage obtenus pour la Drize, l'Aire et le ruisseau des Marais respectivement. Le lecteur note la très bonne capacité du modèle à reproduire le comportement hydrologique des différents cours d'eau.



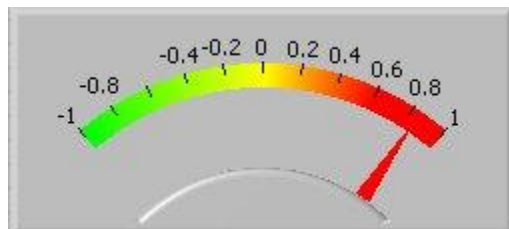
Visualisation de la période de calage



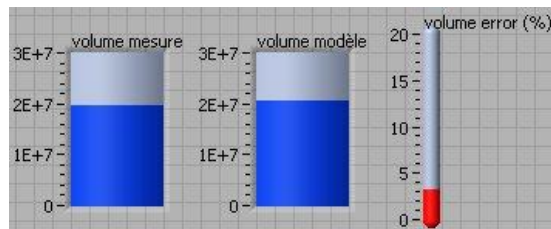
Corrélation mesure/modèle



Statistique des débits de pointe

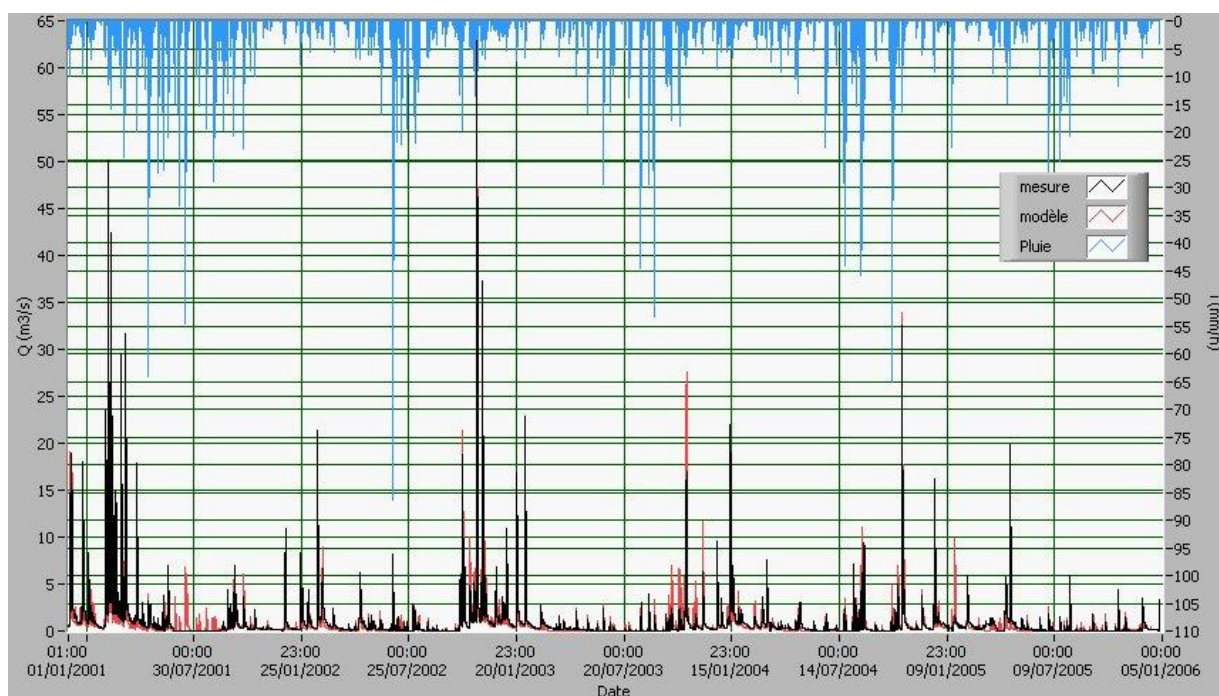


Critère de forme de Nash

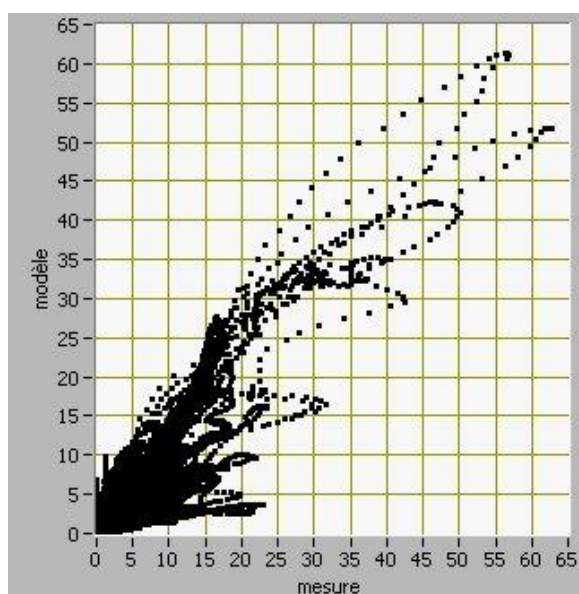


Bilan volumique

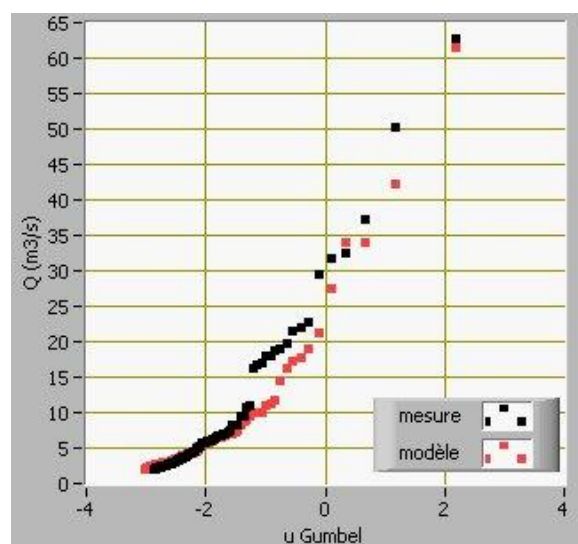
Figure 9. Résultat de calage pour la Drize à Pierre-Grand (PG) sur la période 2001-2005



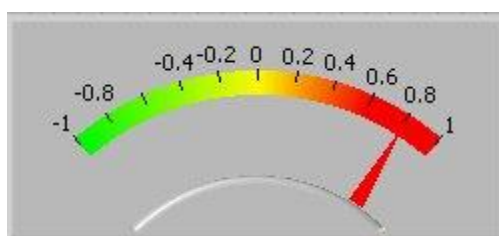
Visualisation de la période de calage



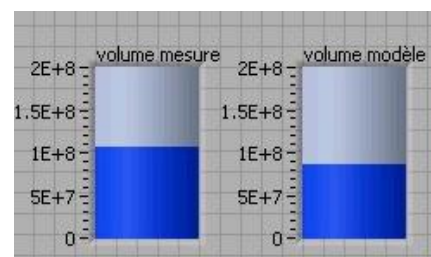
Corrélation mesure/modèle



Statistique des débits de pointe

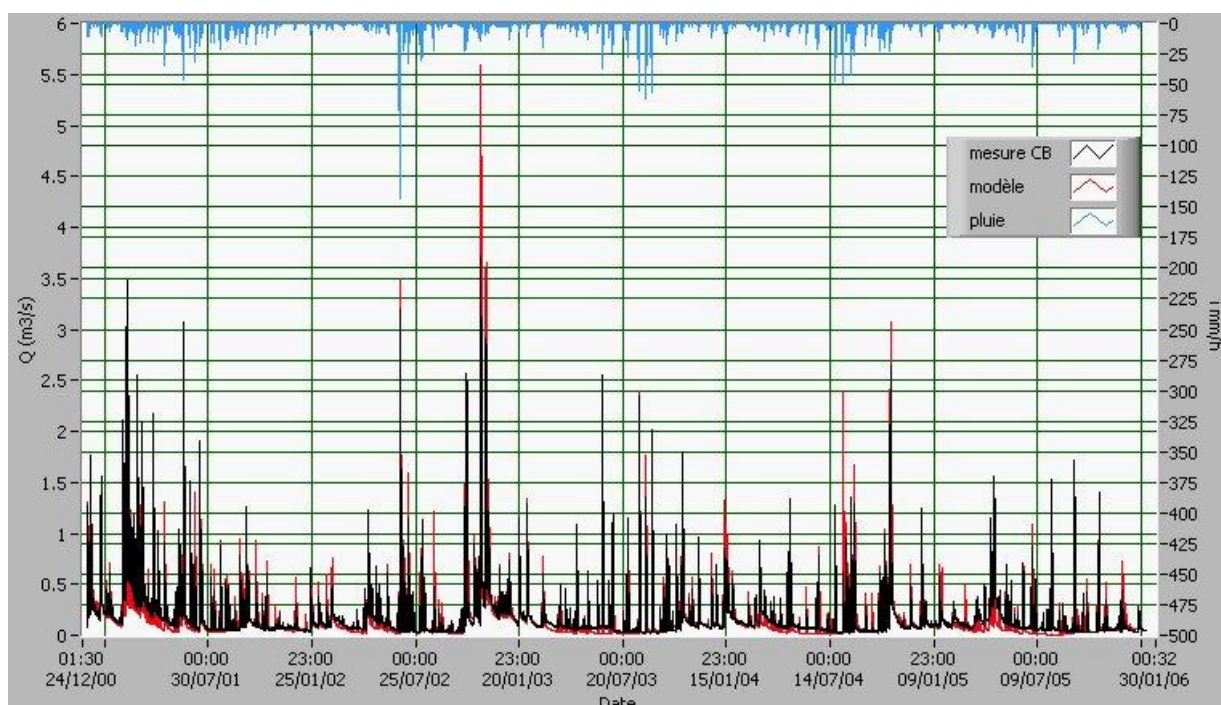


Critère de forme de Nash

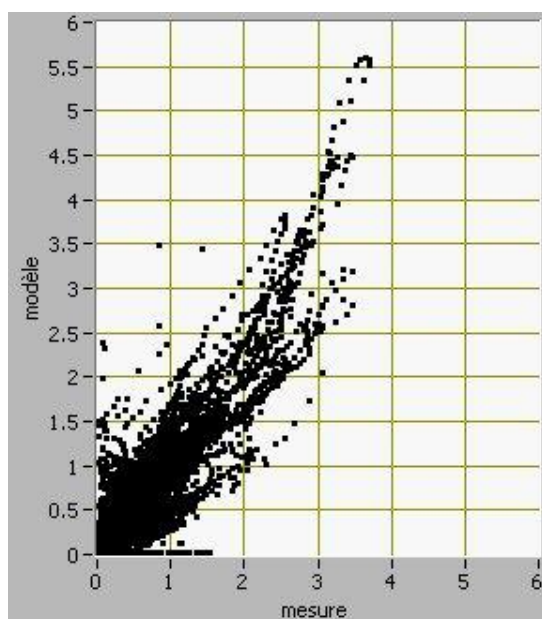


Bilan volumique

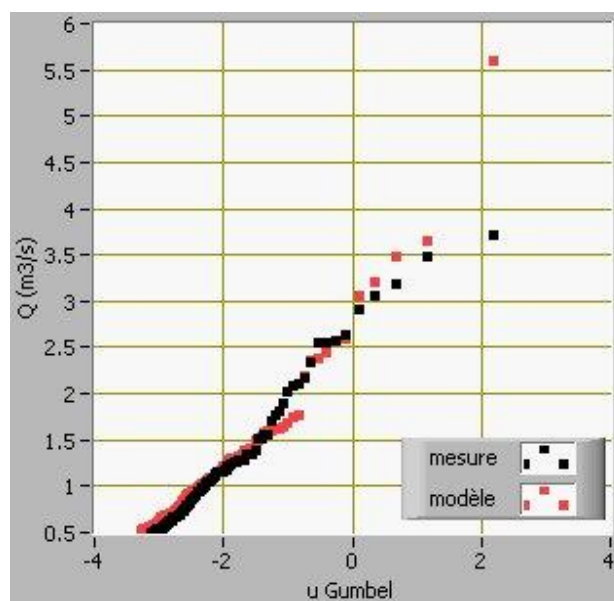
Figure 10. Résultat de calage pour l'Aire à Moulaz (MO) sur la période 2001-2005



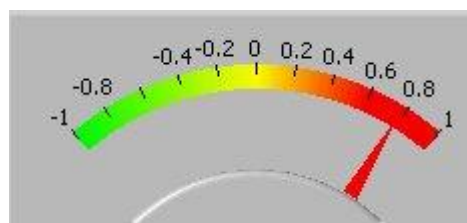
Visualisation de la période de calage



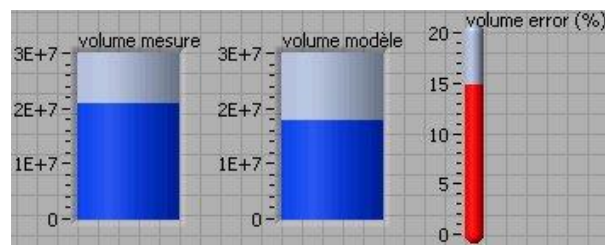
Corrélation mesure/modèle



Statistique des débits de pointe



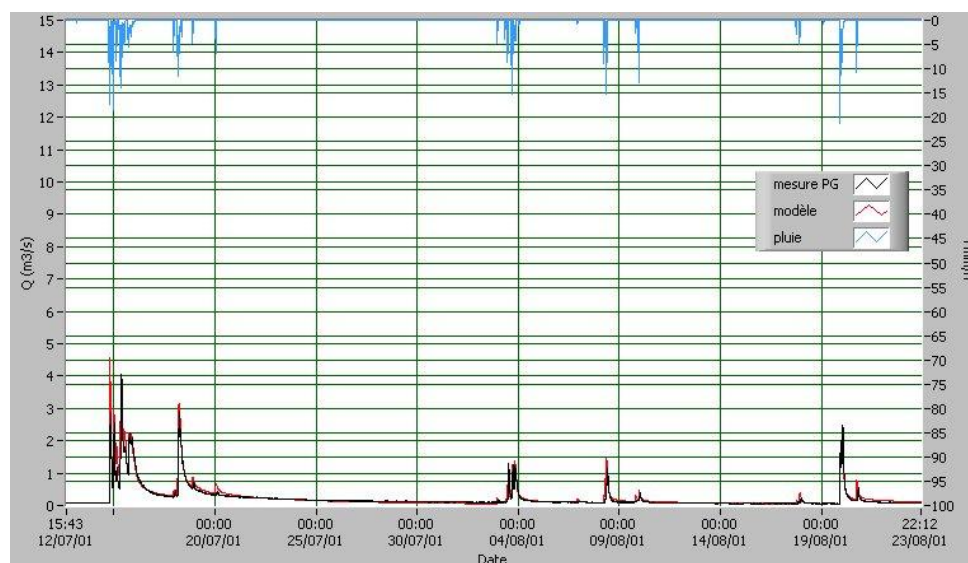
Critère de forme de Nash



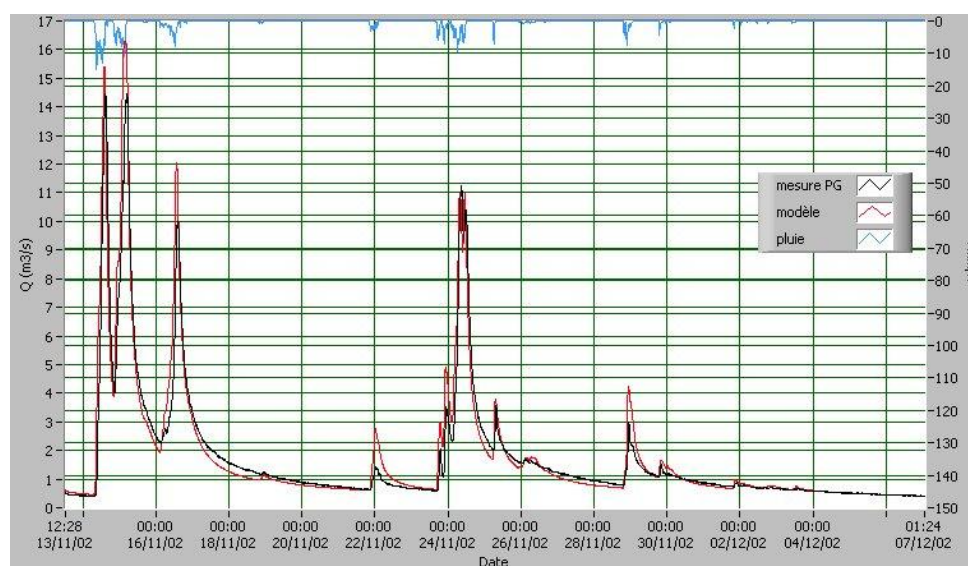
Bilan volumique

Figure 11. Résultat de calage pour le ruisseau des Marais à Combette (CB) sur la période 2001-2005

Les figures 12 et 14 montrent les résultats de calage obtenus sur la Drize, l'Aire et le ruisseau des Marais respectivement pour certains événements caractéristiques (période estivale et hivernale).

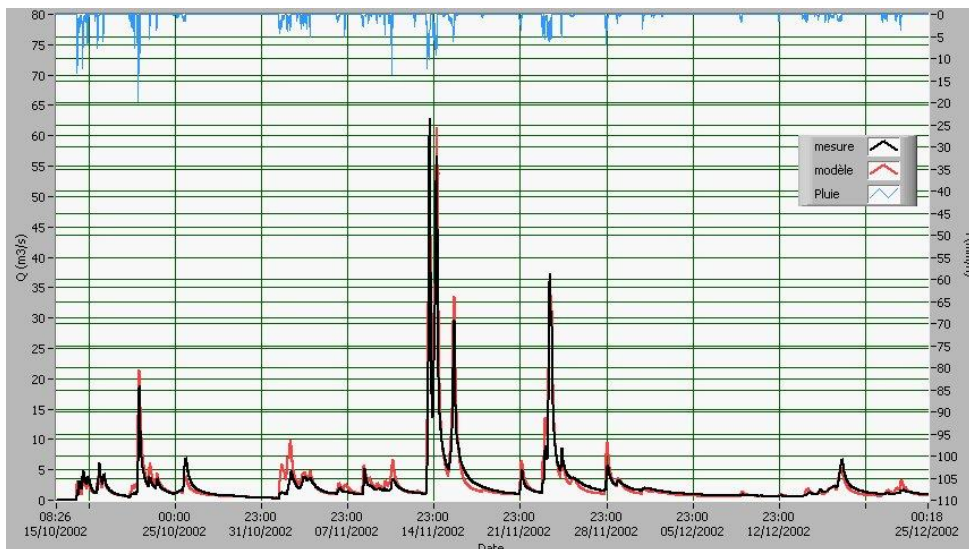


Simulation des étiages et des crues estivales



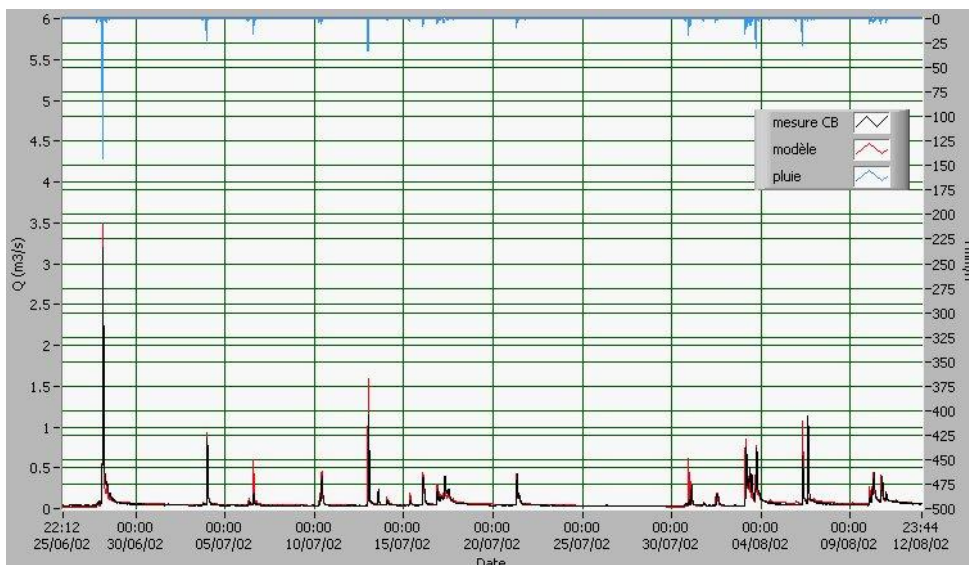
Simulation des débits importants

Figure 12. Exemple de résultats de calage sur la Drize

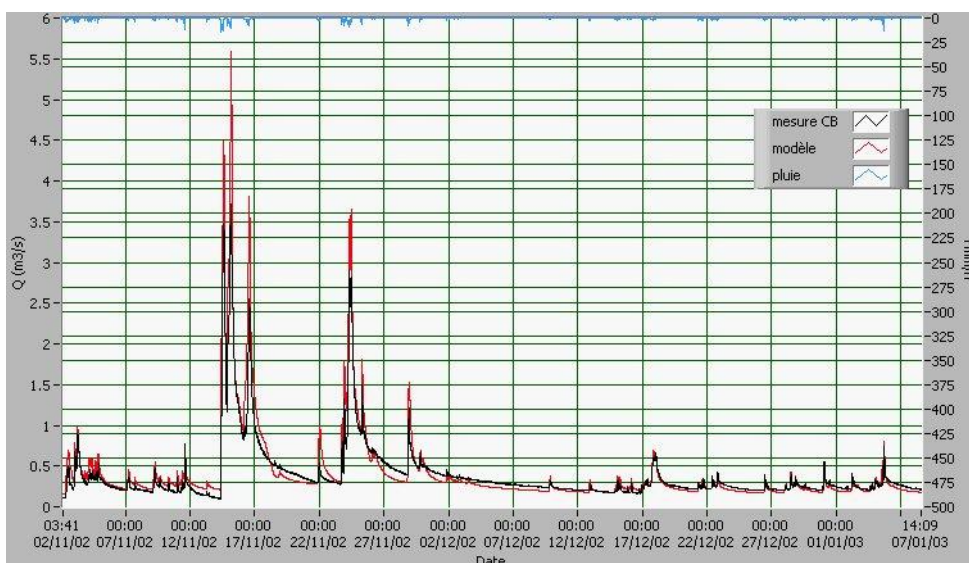


Simulation de la plus grosse crue mesurées sur la période de calage

Figure 13. Exemple de résultats de calage sur l'Aire



Simulation des étiages et des crues estivales



Simulation des débits importants

Figure 14. Exemple de résultats de calage sur le ruisseau des Marais

Comme il a été dit précédemment, nous ne disposons pas de mesures dans le réseau EP pour la partie française du bassin versant. Toutefois, des campagnes de mesures ont été réalisées sur la partie suisse. Afin de montrer la bonne capacité du modèle de reproduire les débits d'eaux pluviales dans les réseaux, la figure 15 montre les résultats de calage obtenus pour deux postes de mesure, le premier sur la commune de Troinex (bassin versant de la Drize), le second à Confignon (bassin versant de l'Aire).

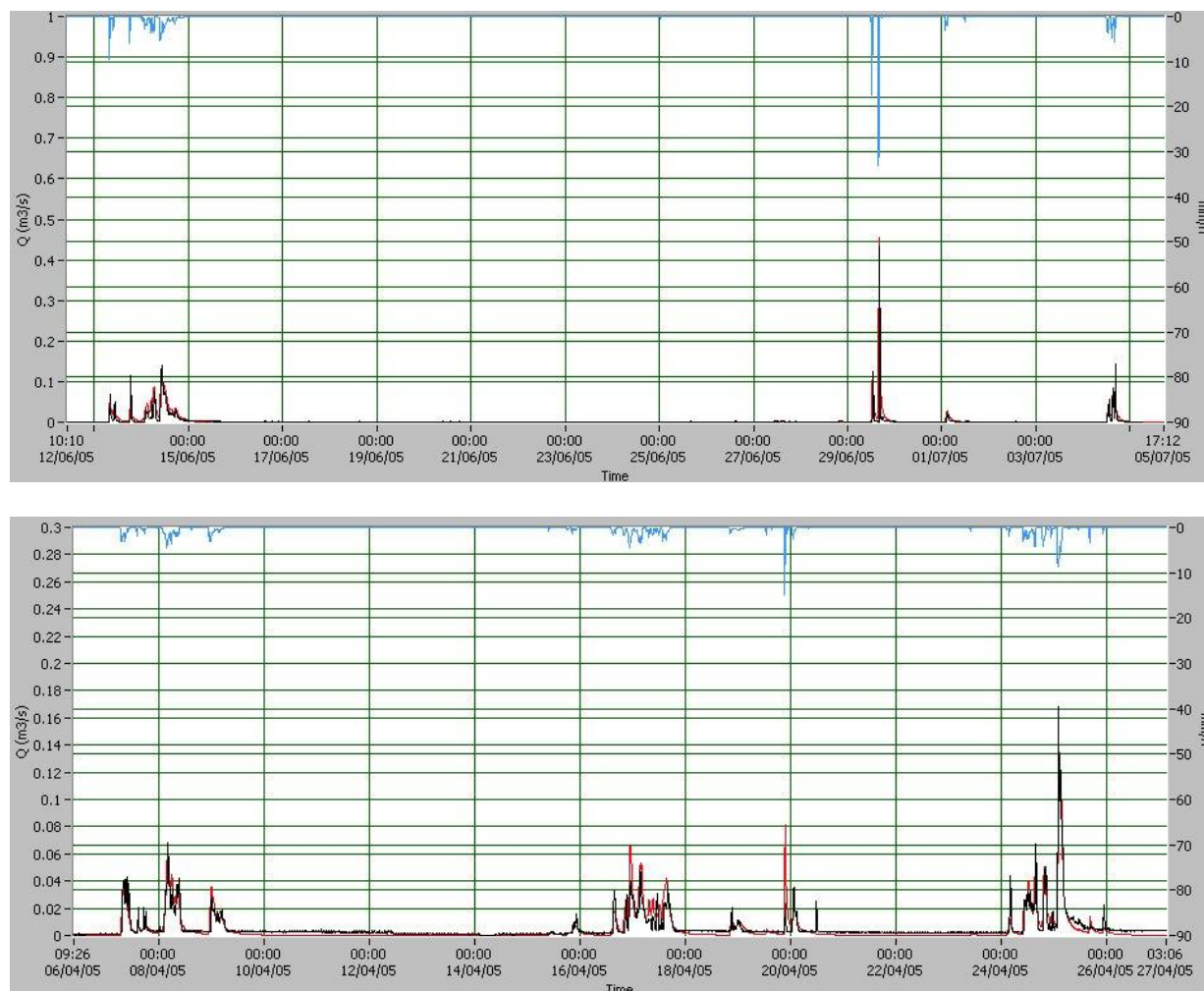
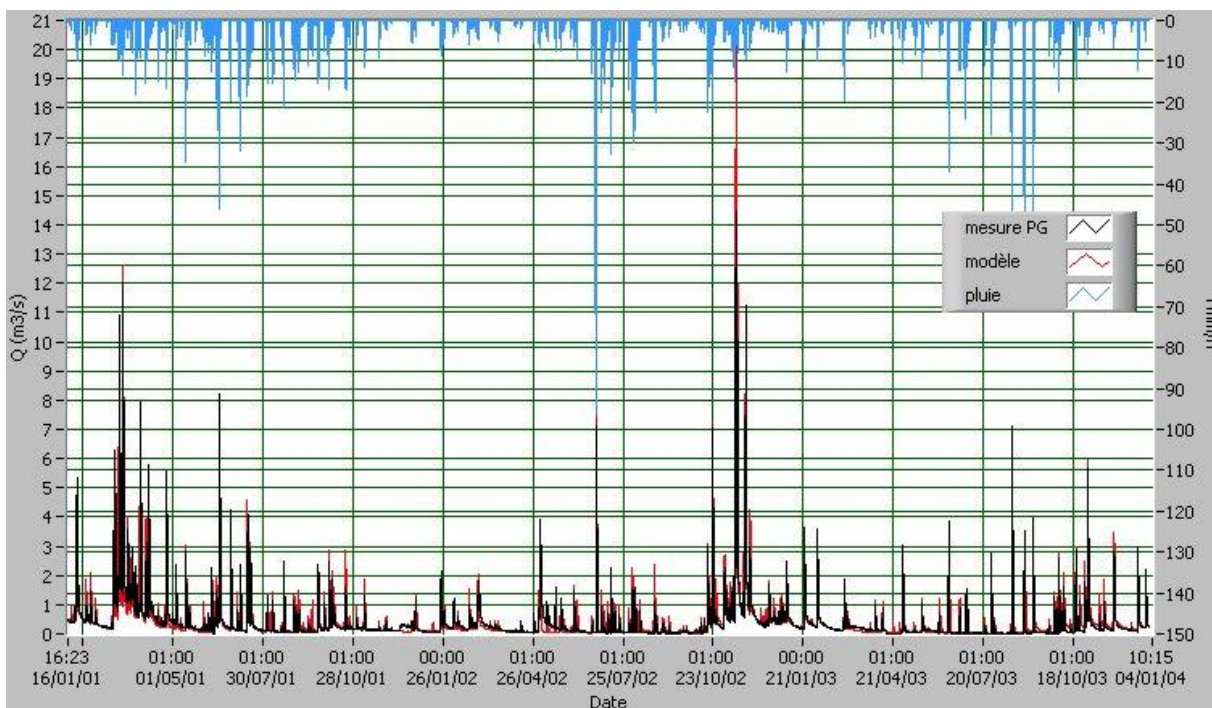


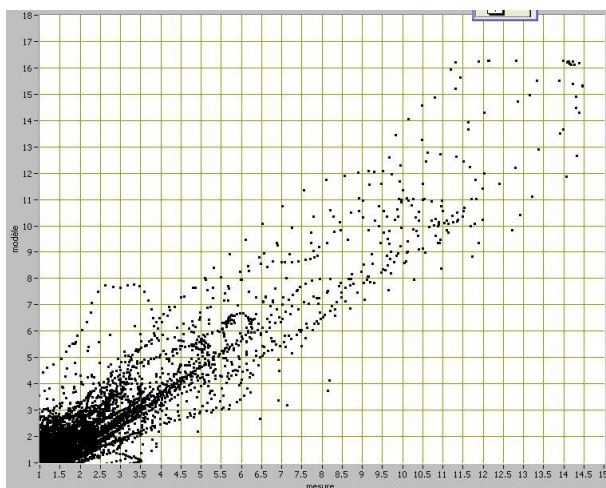
Figure 15. Modélisation des débits EP dans les réseaux. Résultats de calage sur deux postes de mesure en Suisse, à Troinex (en haut) et Confignon (en bas).

3.4. Validation

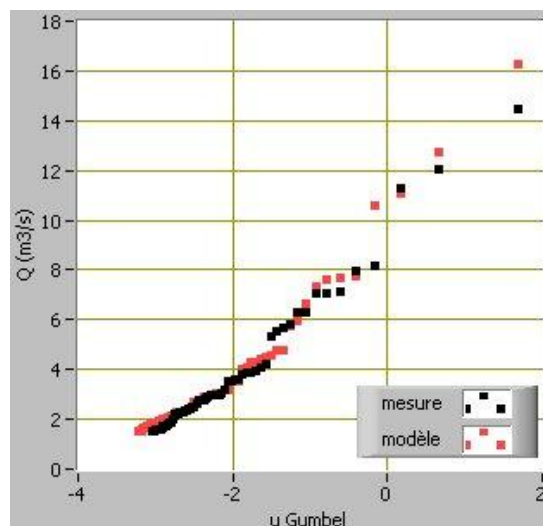
La validation des paramètres optimums s'est faite sur la période 1990-2006 pour l'Aire et le ruisseau des Marais. Pour la Drize, la validation consiste à regarder les résultats obtenus à la station de mesure de Grange-Collomb (GC) située à l'aval de la station ayant servi au calage. Le lecteur constate que la bonne capacité du modèle à reproduire le comportement des cours d'eau sur les figures 16 à 18 illustrant les résultats de la validation pour la Drize, l'Aire et le ruisseau des Marais respectivement.



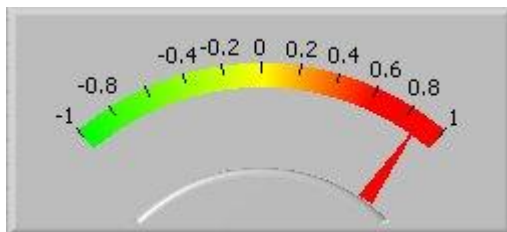
Visualisation de la période de validation



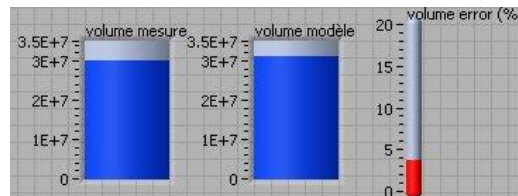
Corrélation mesure/modèle



Statistique des débits de pointe

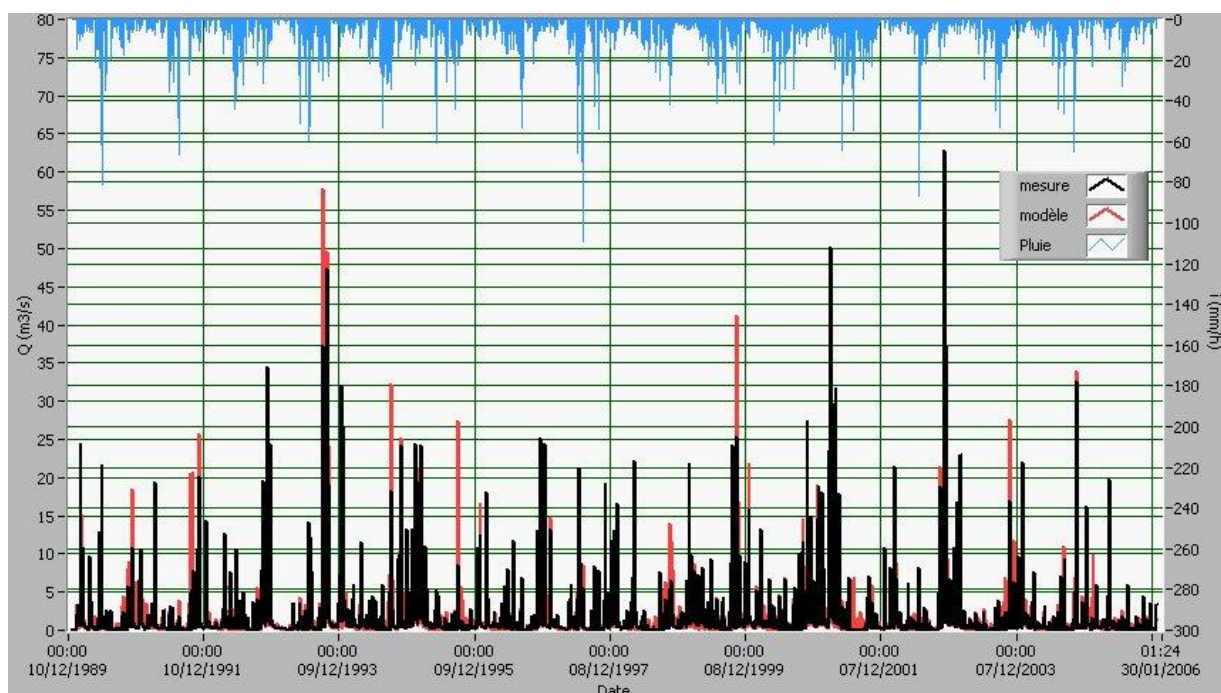


Critère de forme de Nash

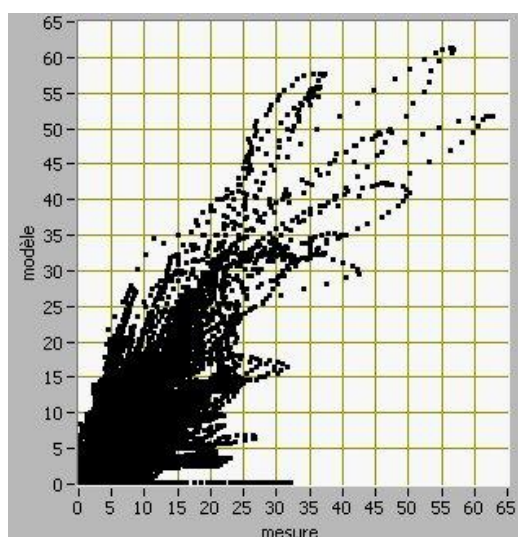


Bilan volumique

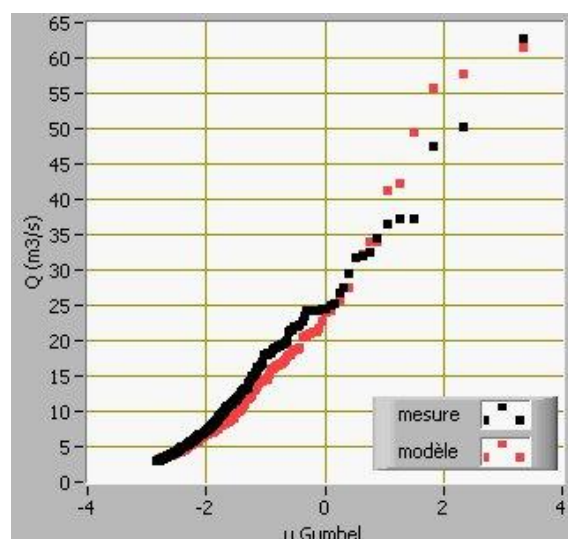
Figure 16. Validation du calage pour la Drize à Grange-Collomb (GC) sur la période 2001-2006



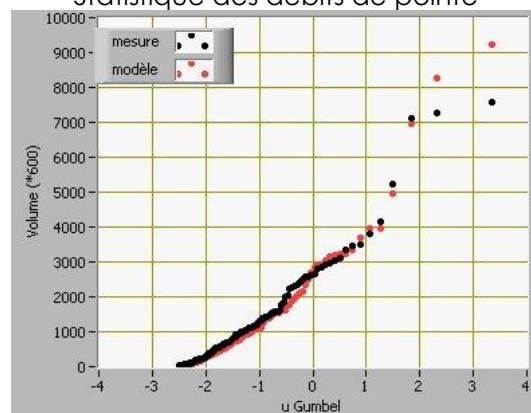
Visualisation de la période de validation



Corrélation mesure/modèle

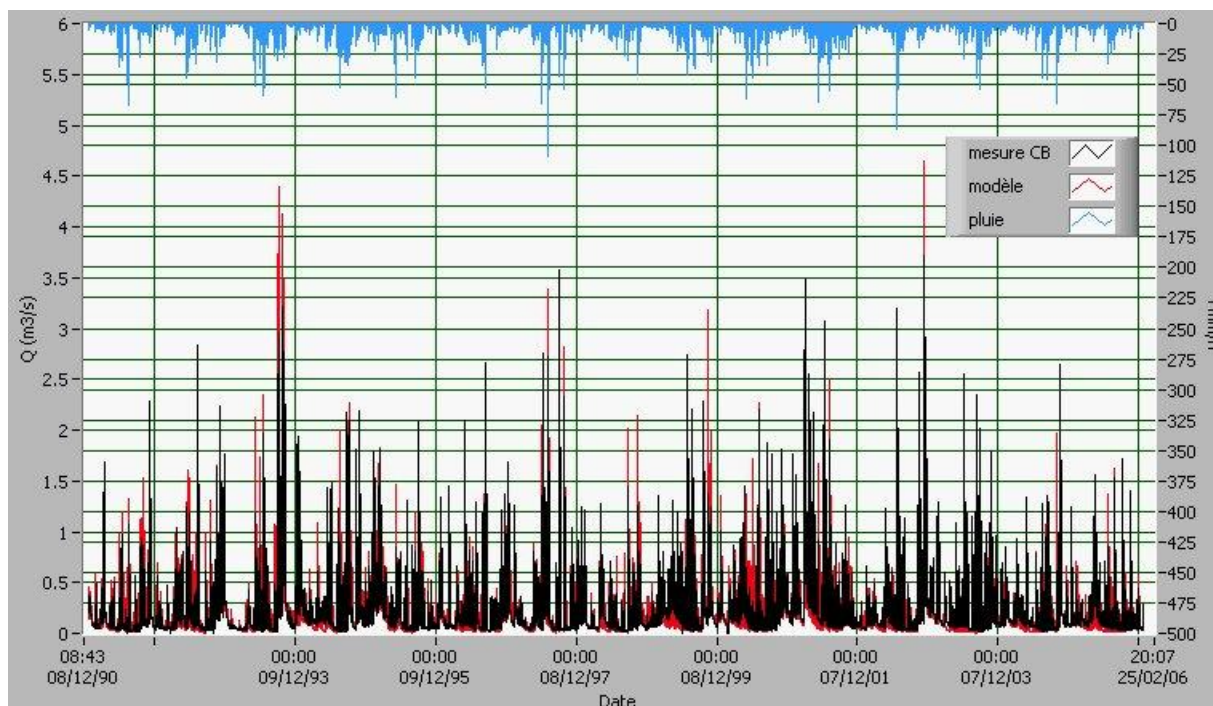


Statistique des débits de pointe

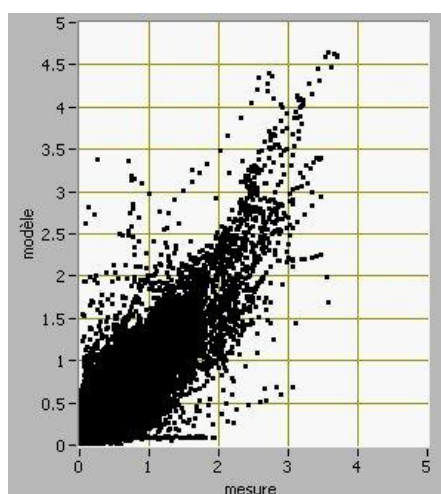


Statistique des volumes de crue

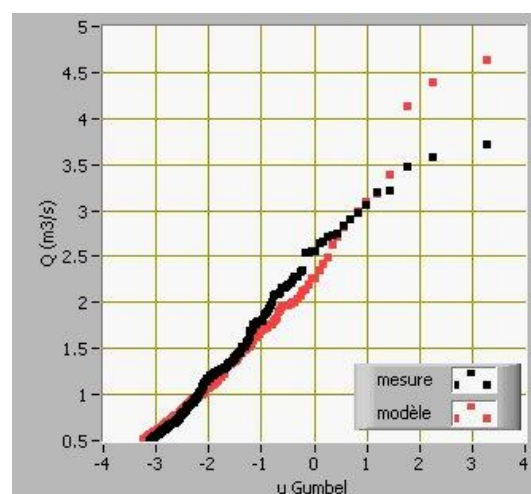
Figure 17. Validation du calage pour l'Aire à Moulaz (MO) sur la période 1990-2006



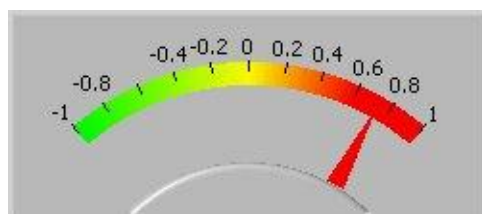
Visualisation de la période de calage



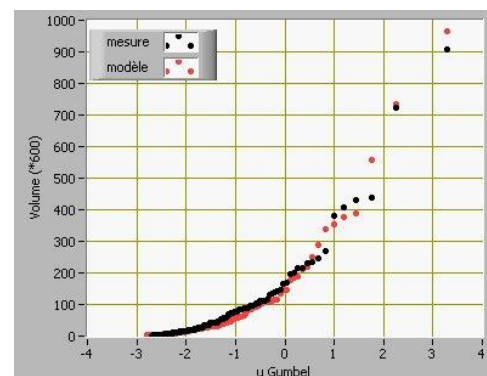
Corrélation mesure/modèle



Statistique des débits de pointe



Critère de forme de Nash



Statistique des volumes de crue

Figure 18. Validation du calage pour le ruisseau des Marais à Combette (CB) sur la période 1991-2006

Un autre test de validation a été effectué afin de vérifier que la paramétrisation retenue par calage produit des résultats cohérents aux mesures en ce qui concerne la statistique des débits de pointe. Pour cela, nous avons modélisé la réponse du système avec 12 séries de pluies synthétiques caractéristiques de la région genevoise, chacune équiprobable et d'une durée de 20 ans au pas de temps 10 minutes. Les 12 séries de débit obtenues sont ensuite traitées selon la méthode établie par les bureaux AIC et B+C Ingénieurs et validée par la Direction Générale de l'Eau (DGEau) de l'Etat de Genève qui consiste en un ajustement statistique suivant une loi de Gumbel annualisée des 20 plus grandes valeurs de débit de pointe, après élimination de la plus grande, et illustrée sur la figure 19.

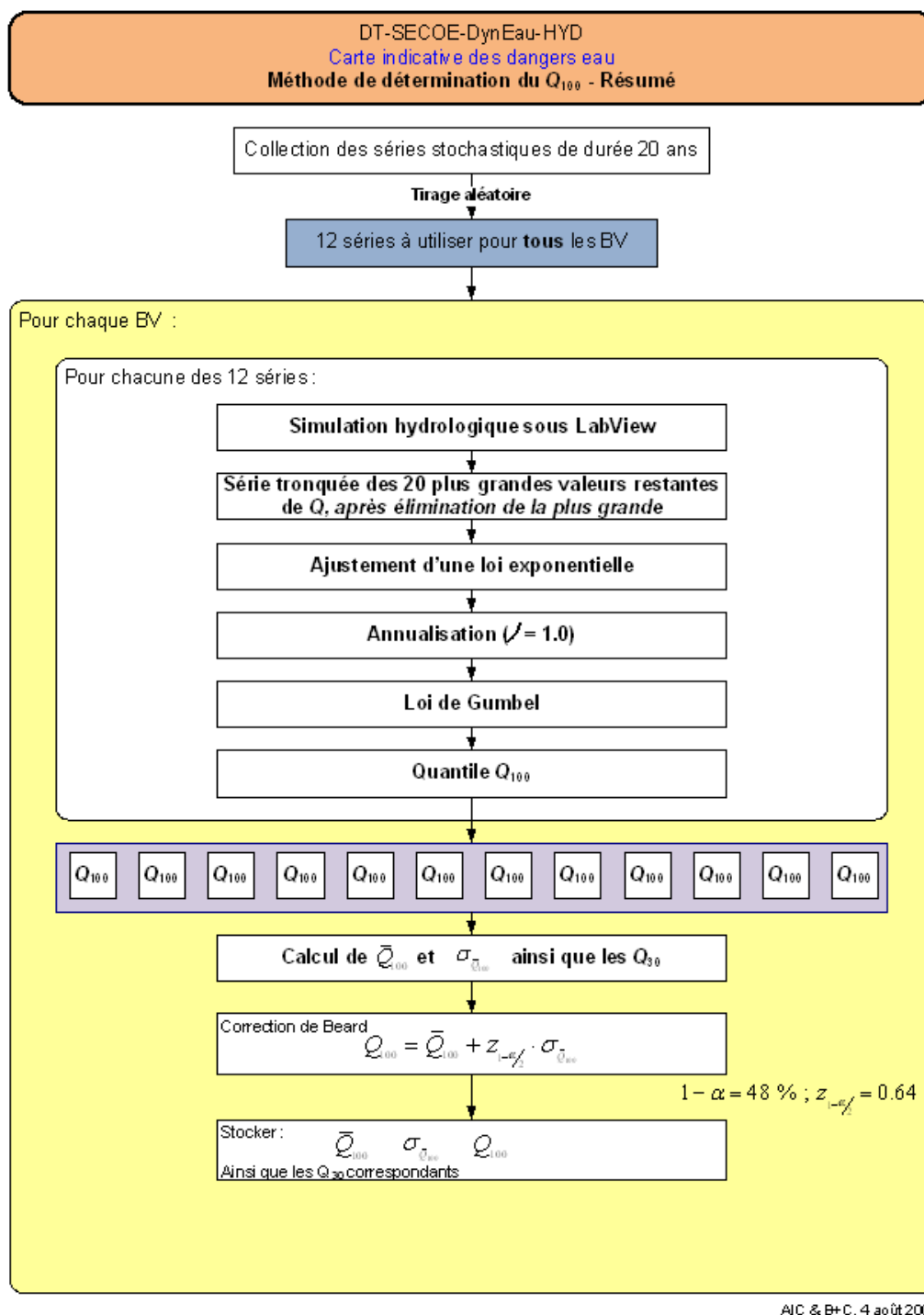


Figure 19. Méthode générale de détermination des débits de pointes caractéristiques

Les figures 20 à 23 illustrent les résultats obtenus respectivement pour la Drize à Pierre-Grand, la Drize à Grange-Collomb, l'Aire à Moulaz et le ruisseau des Marais à Combette. On constate que les résultats obtenus lors de la modélisation gagnent en variabilité à mesure que l'on approche des temps de retour élevés donnant un effet de « trompette ». La série mesurée se situe à chaque fois dans la plage de variabilité obtenue ce qui est conforme à ce qui est attendu des simulations avec les pluies synthétiques. La paramétrisation retenue lors du calage est ainsi validée.

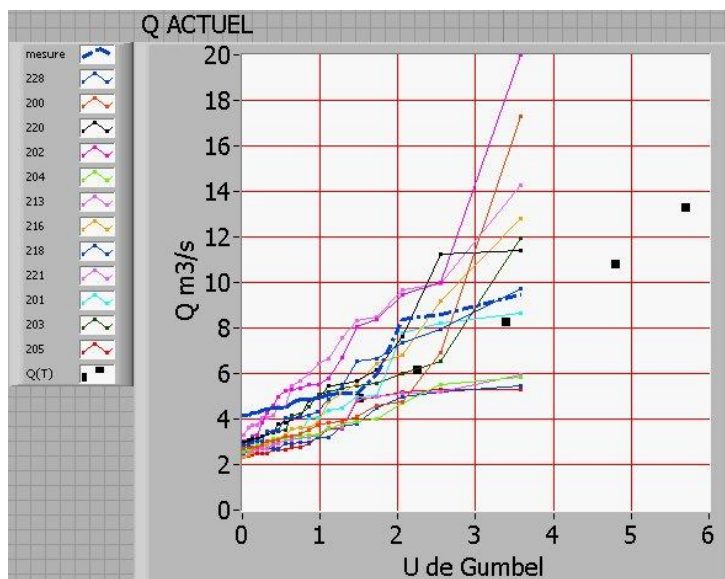


Figure 20. Statistique des débits de pointe pour la Drize à Pierre-Grand. Comparaison de la modélisation de 12 séries synthétiques avec la série mesurée.

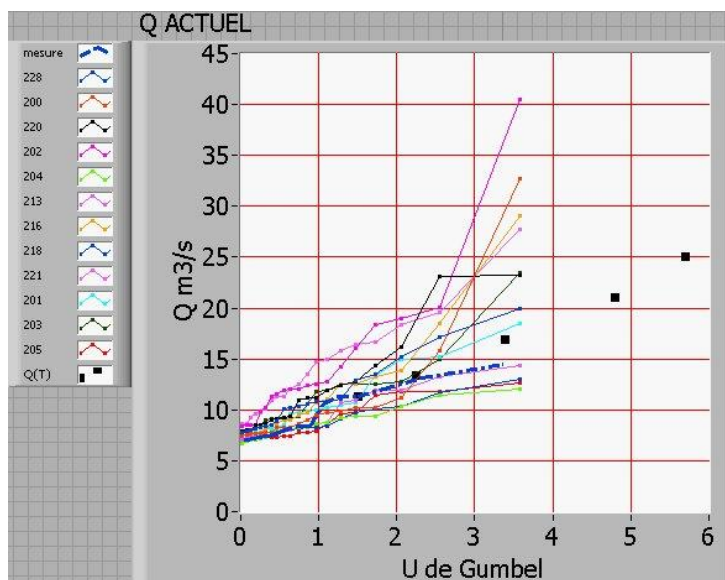


Figure 21. Statistique des débits de pointe pour la Drize à Grange-Collomb. Comparaison de la modélisation de 12 séries synthétiques avec la série mesurée.

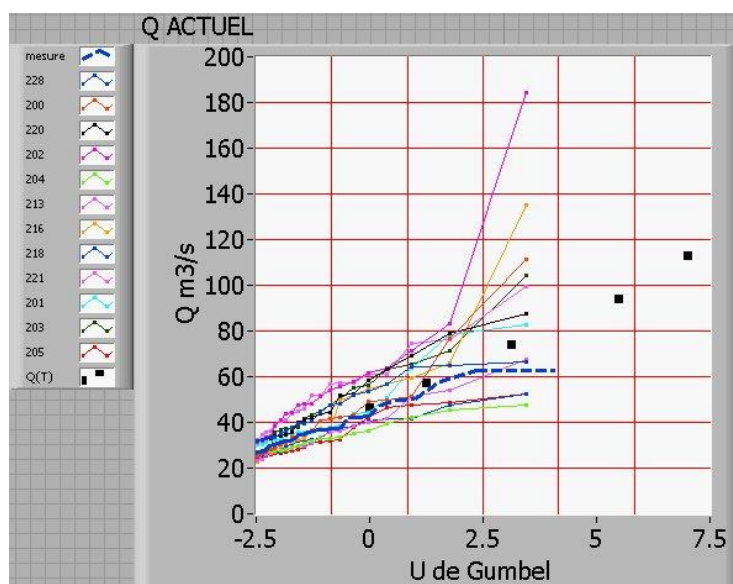


Figure 22. Statistique des débits de pointe pour l'Aire à Mourlaz. Comparaison de la modélisation de 12 séries synthétiques avec la série mesurée.

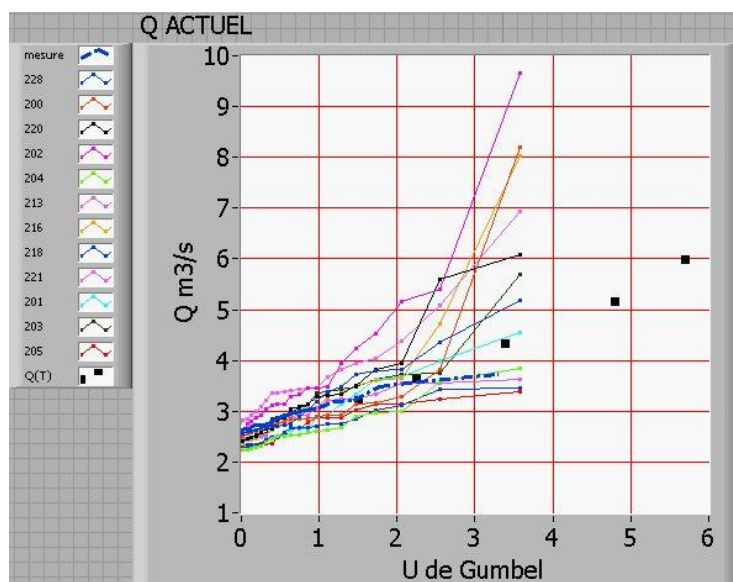


Figure 23. Statistique des débits de pointe pour le ruisseau des Marais à Combette. Comparaison de la modélisation de 12 séries synthétiques avec la série mesurée.

4. Phase diagnostic

Une fois le modèle validé il est pleinement exploitable. Dans le cadre du SDEP il permet de fournir, dans un premier temps, un très grand nombre de données utiles pour le diagnostic du cours d'eau, l'évaluation de l'impact de l'urbanisation sur les milieux récepteurs ou encore la détermination de débits de pointes de crue. Par la suite, il est indispensable pour tester et mettre en œuvre les consignes de gestion des eaux.

4.1. Modélisation des scénarios d'occupation du sol

La modélisation intégrée du système d'assainissement et du cours d'eau est une simulation continue au pas de temps dix minutes réalisée à partir d'une série de pluie synthétique d'une durée de vingt ans. Trois scénarios d'occupation du sol sont modélisés :

- un état dit de référence qui est la réponse hydrologique du bassin versant sans urbanisation,
- un état actuel d'occupation du sol
- un état futur d'occupation du sol dans lequel est intégrée l'évolution probable de l'imperméabilisation sur le bassin versant.

4.2. Indicateurs du régime hydrologique

Pour réaliser le diagnostic du cours d'eau, le mandataire SDEP peut s'appuyer sur un grand nombre d'indicateurs aussi bien quantitatifs que qualitatifs issus de la modélisation intégrée. Certains de ces indicateurs sont disponibles dans une déclinaison agrégée en plus de leur représentation brute afin d'avoir une visualisation comparative de l'intensité du phénomène sous forme de couleur. La liste de tous les indicateurs est présentée dans le tableau 3.

Indicateur quantitatif brut	Version agrégée ?
Régime des crues	Oui
Nombre de dépassement d'un débit seuil	Oui
Durée de dépassement d'un débit seuil	Non
Statistique des débits de pointe	Oui
Brutalité de la crue	Oui
Potentiel de charriage	Oui
Erosion potentielle du lit	Non
Contrainte érosive sur les berges	Oui
Indicateurs qualitatifs brut	Version agrégée ?
Concentration de MES	Non
Indice de sévérité	Oui
Potentiel de colmatage	Non
Concentration de NH4	Non
Classes de qualité du NH4 (IPC)	Oui
Choc hydraulique	Oui

Tableau 3. Liste des indicateurs disponibles

Une description détaillée de ces indicateurs se trouve dans le rapport *Indicateurs du régime hydrologique – Méthodologie et exemples d'application* (B+C Ingénieurs, 2011).

Le calcul des indicateurs se fait à partir du catalogue de crue, qui recense tous les événements supérieurs à un certain seuil. Ce seuil a été fixé comme suit :

$$DSA = 0.6 * Q_{\max} \text{ journalier annuel du régime de référence}$$

Les indicateurs ont été livrés au mandataire SDEP pour les 29 tronçons de cours d'eau modélisés qui a pu les confronter avec ses connaissances locales et ses observations de terrain pour établir le diagnostic de l'état des milieux récepteurs. L'intégralité des indicateurs transmis au mandataire SDEP est visible en annexe 2.

4.3. Estimation des débits de pointe

En modélisant le système pour plusieurs pluies synthétiques, on peut estimer les débits de pointes pour des temps de retour caractéristiques pour les 29 tronçons de cours d'eau et les 60 points de rejet urbain pour les différents scénarios d'occupation du sol. Pour le milieu récepteur on applique la méthode AIC/B+C Ingénieurs pour la détermination des débits de pointe pour des temps de retour caractéristique illustrée au chapitre 3.4.

Le tableau 4 montre les estimations de débits de pointe des tronçons de cours d'eau pour le secteur Drize et pour l'état actuel d'occupation du sol. La totalité des résultats (pour tous les tronçons et tous les scénarios d'occupation du sol) figurent en annexe 3.

Tronçon	Débit de pointe (m ³ /s)						
	Q ₂	Q ₅	Q ₁₀	Q ₃₀	Q ₁₀₀	Q ₃₀₀	Q _{extrême}
FIN-03	0.12	0.24	0.32	0.44	0.6	0.75	0.9
FIN-02	0.21	0.34	0.43	0.56	0.73	0.89	1.09
FIN-04	0.35	0.49	0.6	0.77	0.97	1.16	1.45
VOV-01	0.26	0.53	0.7	0.98	1.31	1.63	1.96
DRI-03	0.64	1.33	1.77	2.49	3.31	4.12	4.97
DRI-02	2.11	3.51	4.45	6.00	7.86	9.70	11.79
DRI-01	2.73	4.31	5.37	7.13	9.23	11.31	13.84

Tableau 4. Débits de pointe de différents temps de retour pour les tronçons de cours d'eau du secteur Drize avec le scénario d'occupation du sol actuel

Pour les rejets d'eaux pluviales, la méthode utilisée pour la détermination des débits de temps de retour caractéristiques est l'Analyse Fréquentielle Par Comptage (AFPC) développée par le bureau AIC. Elle se nourrit aussi de la simulation des douze séries de pluies continues longue durée, mais son application est plus simple à mettre en œuvre et surtout elle permet d'estimer les valeurs pour des temps de retour d'une année et moins.

Le tableau 5 montre les estimations de débit de pointe pour les rejets EP du bassin versant de la Drize. La gamme des débits estimés couvre la plage des temps de retour d'une année à dix ans. La totalité des résultats (pour tous les points de rejet et tous les scénarios d'occupation du sol) figurent en annexe 4.

Rejet	Débit de pointe (m ³ /s)			
	Q ₁	Q ₂	Q ₅	Q ₁₀
Clef_1	0.129	0.166	0.224	0.273
Clef_2	0.105	0.134	0.178	0.212
Clef_3	1.259	1.568	2.040	2.273
Clef_4	0.147	0.183	0.232	0.276
Drize_1	0.511	0.647	0.837	0.972
Drize_2	0.420	0.545	0.761	0.942
Tate_1	0.184	0.230	0.297	0.348
Tate_2	0.229	0.285	0.360	0.432
VOV_1	0.120	0.151	0.204	0.246
VOV_2	0.047	0.066	0.104	0.132

Tableau 5. Débits de pointe de différents temps de retour pour les rejets EP du secteur Drize pour le scénario d'occupation du sol actuel

4.4. Diagnostic capacitif des systèmes d'assainissement pluviaux

Les modélisations effectuées dans le cadre du SDEP permettent d'établir un diagnostic sommaire de la capacité des réseaux d'assainissement pluviaux. De part l'échelle de modélisation, nécessitant une agrégation des tronçons de canalisations, et la méthode de calcul, consistant essentiellement en un routage des apports, il n'a qu'une valeur indicative. En effet, sans une modélisation détaillée des réseaux, on ne peut connaître sa capacité de transport effective car les hauteurs de chambres, quand elles sont renseignées dans les données reçues, ce qui est rare, n'entrent pas directement dans le calcul effectué. Comme il a été dit plus haut, nous travaillons des capacités nominales des conduites calculées à partir de la formule de Manning-Strickler. Une première analyse consiste à repérer la charge maximale modélisée des collecteurs en faisant le rapport du débit que l'on souhaite faire transiter par la canalisation sur sa capacité nominale. On estime que le collecteur est en charge dès que l'on dépasse un rapport de 0.8. En complément, on compte le nombre de mises en charge annuelle ($Q_{\max} > 0.8 \cdot \text{capacité nominale}$). Dans un deuxième temps, on propose une estimation du nombre de déversement. Pour cela, on prend l'hypothèse qu'un déversement a lieu dès que le débit en entrée du collecteur est supérieur de 20% à la capacité nominale du collecteur. Cette hypothèse est relativement conservatrice et devrait nous placer du côté de la sécurité.

Les résultats sont visibles sur les plans annexés « diagnostic capacitif ». On constate qu'il existe deux secteurs pour lesquels des mises en charge et des déversements sont diagnostiqués. Il s'agit du collecteur communal de Collonges-sous-Salève traversant le centre du village et de celui en provenance de la Zone Industrielle des Marais sur la commune de St-Julien-en-Genevois. D'autres secteurs présentent des mises en charge, mais sans déversement, sur les communes de Neydens et Feigères.

5. Phase Concept

Une fois le diagnostic du cours d'eau établi et validé des objectifs sont définis en concertation entre les responsables de la gestion de l'eau et les mandataires de l'étude.

Pour la Drize et ses affluents en partie française, les objectifs sont :

- Réduction du stress hydraulique
- Amélioration de la qualité de l'eau
- Protection contre les fortes crues

Pour l'Aire et ses affluents sur le territoire français, les objectifs sont :

- Amélioration de la qualité de l'eau et maintien d'un débit d'étiage suffisant
- Protection contre les crues rares et amélioration du stress hydraulique

Ces objectifs sont cohérents avec ceux fixés par les autorités cantonales genevoises.

Le modèle établi pour le diagnostic est l'outil privilégié pour tester différentes mesures de gestion des eaux et évaluer leurs impacts sur le régime du cours d'eau. Cette procédure itérative, ainsi que la répartition des tâches sont illustrées sur la figure 1.

5.1. Choix des tronçons tests

On choisit des tronçons tests, représentatifs du diagnostic et des objectifs cours d'eau pour lesquels les principaux indicateurs seront calculés afin d'évaluer chacun des scénarios testés. Cette méthode permet un gain de temps de la procédure itérative. Les sept tronçons retenus sont présentés dans le tableau 6.

Tronçon	Secteur
FIN-01	Drize
DRI-02	Drize
DRI-01	Drize
ARA-01	Arande
TER-03	Ternier
TER-01	Ternier
AIR-01	Aire

Tableau 6. Tronçons tests pour l'évaluation des scénarios idéaux

5.2.Scénario de gestion « idéal »

Les scénarios de gestion « idéaux » consistent à appliquer des contraintes de gestion pour chaque rejet sous la forme : débit maximal admissible (en l/s/ha) et temps de retour de ce débit. A titre de rappel, la contrainte appliquée sur le canton de Genève avant cette étude était de 20 l/s/ha pour un temps de retour 30 ans. La modélisation des contraintes se fait en dimensionnant un bassin de rétention rectangulaire avec des berges verticales fonctionnant avec une loi de restitution de type orifice et un déversoir. Un exemple de lois de fonctionnement de ces bassins est donnée en figure 24 pour un bassin de 3'000 m² de surface avec une hauteur maximale avant déversement de 3 mètres et un débit maximal avant surverse de 250 l/s.

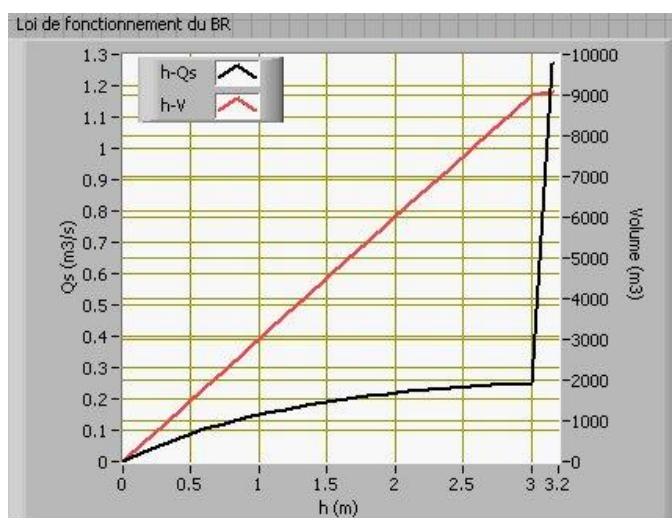


Figure 24. Exemple de fonctionnement d'un bassin de rétention pour la modélisation d'un scénario idéal

Pour chaque scénario idéal testé on détermine ainsi le volume d'eau à gérer par point de rejet. Au final, quatre scénarios idéaux ont été testés. Ils sont résumés dans le tableau 7.

Scénario	Qs max (l/s/ha)	Temps de retour (ans)
1	5	supérieur à 20
2	5	2
3	10	10
4	5	10

Tableau 7. Scénarios idéaux testés

La figure 25 illustre la somme des volumes à gérer par point de rejet selon le scénario testé. Le détail des volumes par point de rejet et par scénario sont visibles en annexe 5.

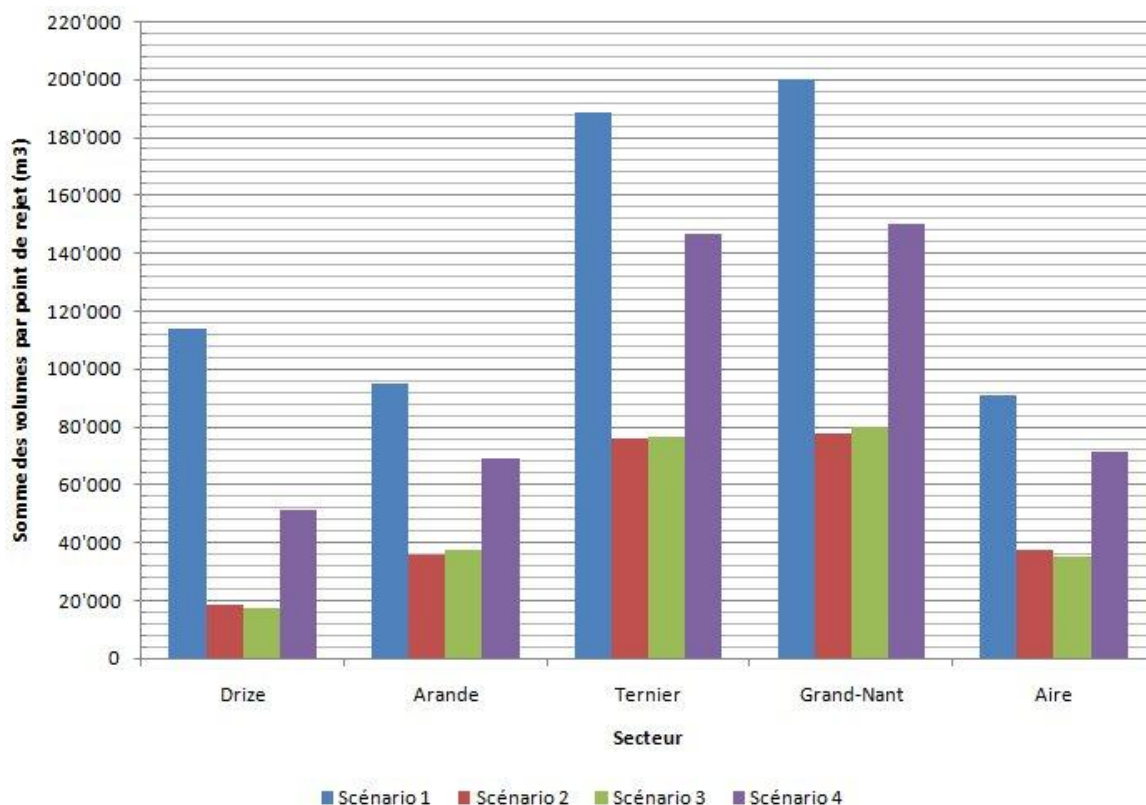


Figure 25. Synthèse des volumes à gérer par secteur et pour les scénarios idéaux

Le lecteur note que le scénario 1 requiert les plus grands volumes, ce qui est cohérent vu qu'aucune surverse n'est admise en 20 années de modélisation. Le scénario 2 avec un débit de fuite faible mais avec de nombreuses surverses admises donne des exigences en termes de volume proches du scénario 3 qui a un débit de fuite plus élevé mais moins de surverses. Cela ne signifie pas pour autant que les effets de ces scénarios sur les indicateurs soient semblables.

5.3. Evaluation des scénarios

Sur les figures 26 et 27, présentant les indicateurs Nombre de dépassement d'un débit seuil et Statistique des débits de pointe pour le tronçon DRI-02 et tous les scénarios idéaux, on se rend compte que les scénarios 1 et 4, les plus gourmands en termes de volume, permettent des résultats identiques au régime de référence en matière de réduction du nombre de crue et de débits de pointe. Les scénarios 2 et 3, bien que proches pour les volumes demandés offrent des résultats différents. Si le scénario 2 permet une réduction notable du nombre de crue, particulièrement en été et une diminution des débits de pointe des petites crues, le scénario 3 a des résultats moins flatteurs. Les objectifs recherchés étant la réduction du stress hydraulique, particulièrement en été, et la diminution des petites crues, le scénario 3 est le seul ici à ne pas les satisfaire.

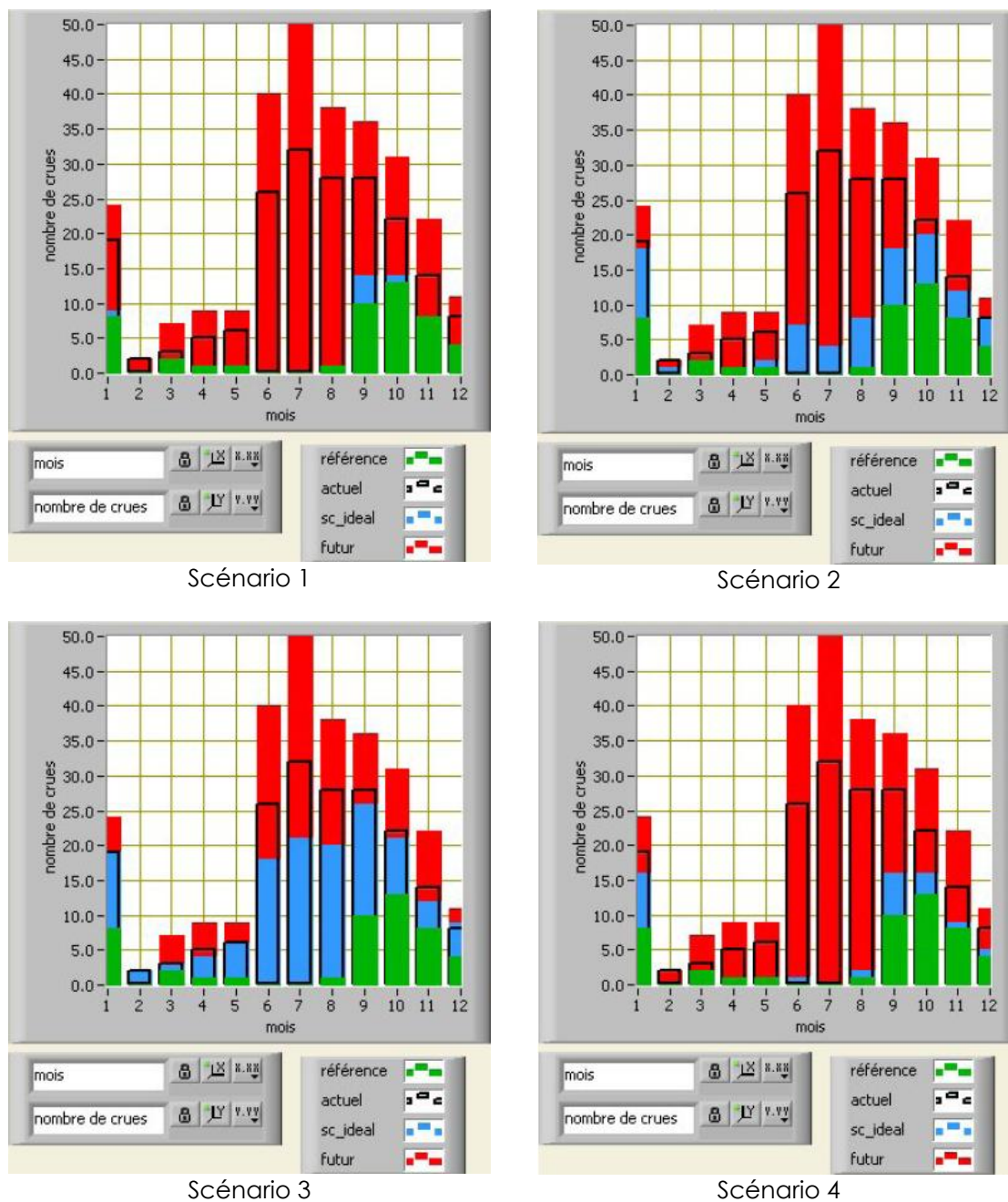


Figure 26. Indicateurs Nombre de dépassement d'un débit seuil pour le tronçon DRI-02 selon le scénario testé

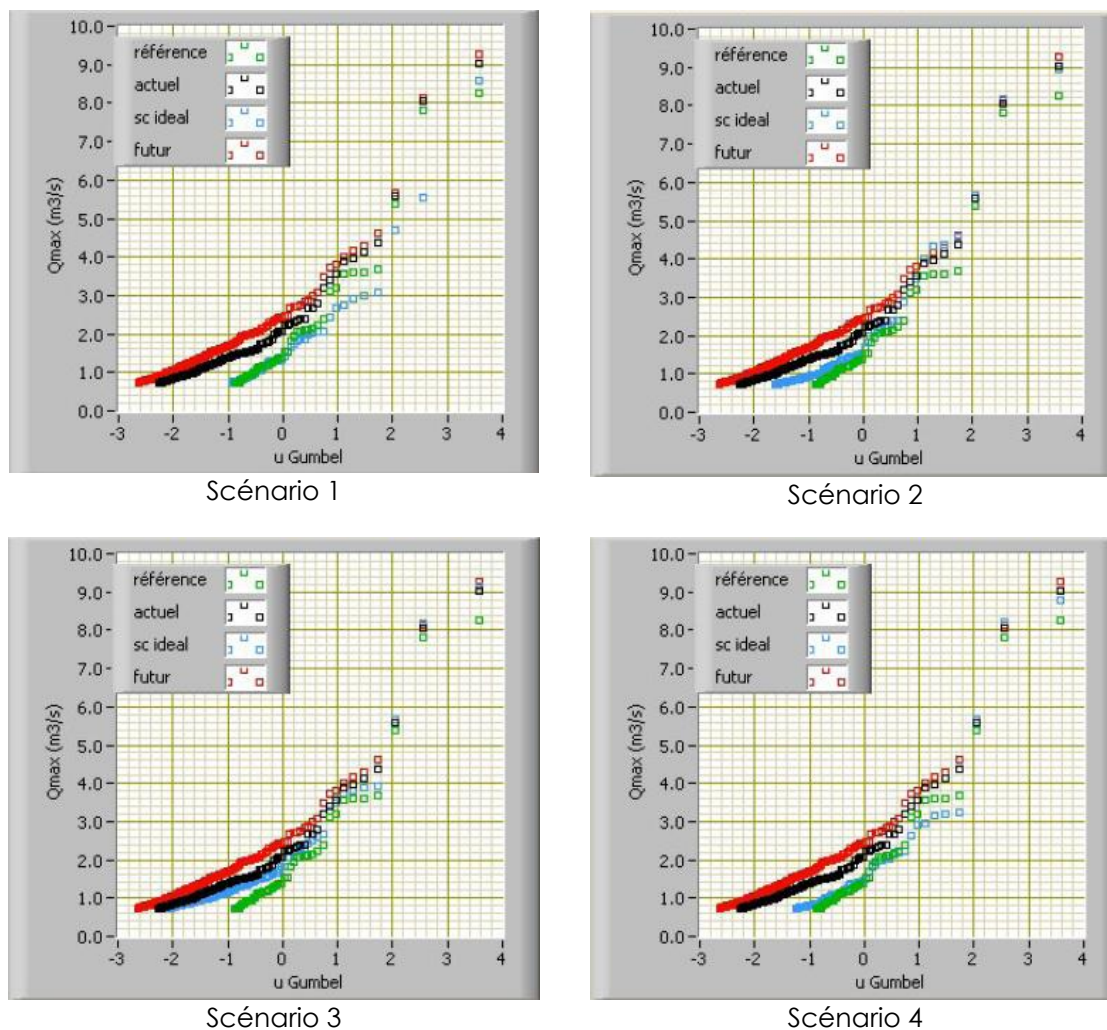


Figure 27. Indicateurs Statistique des débits de pointe pour le tronçon DRI-02 selon le scénario testé

La totalité des indicateurs pour les tronçons tests sont disponibles en annexe 6. Après analyse et concertation entre mandataires et autorités compétentes, le scénario 4 a été retenu. Il offre le meilleur compromis entre volume de rétention nécessaire et atteinte des objectifs cours d'eau.

5.4. Concept de gestion

Une fois le scénario idéal choisi, une étude de faisabilité réalisée par le mandataire du SDEP et la CCG a été effectuée. Elle consiste à rechercher et recenser toutes les opportunités de mise en œuvre des volumes retenus, que ce soit par des mesures de rétention, centralisée ou non, ou de la gestion des eaux à la parcelle.

Cette analyse a conduit aux volumes présentés sur la figure 28. Le détail par point de rejet est visible en annexe 7. Il en résulte que l'on dispose au final de 60% des volumes espérés avec de bons potentiels sur la Drize et le Grand-Nant.

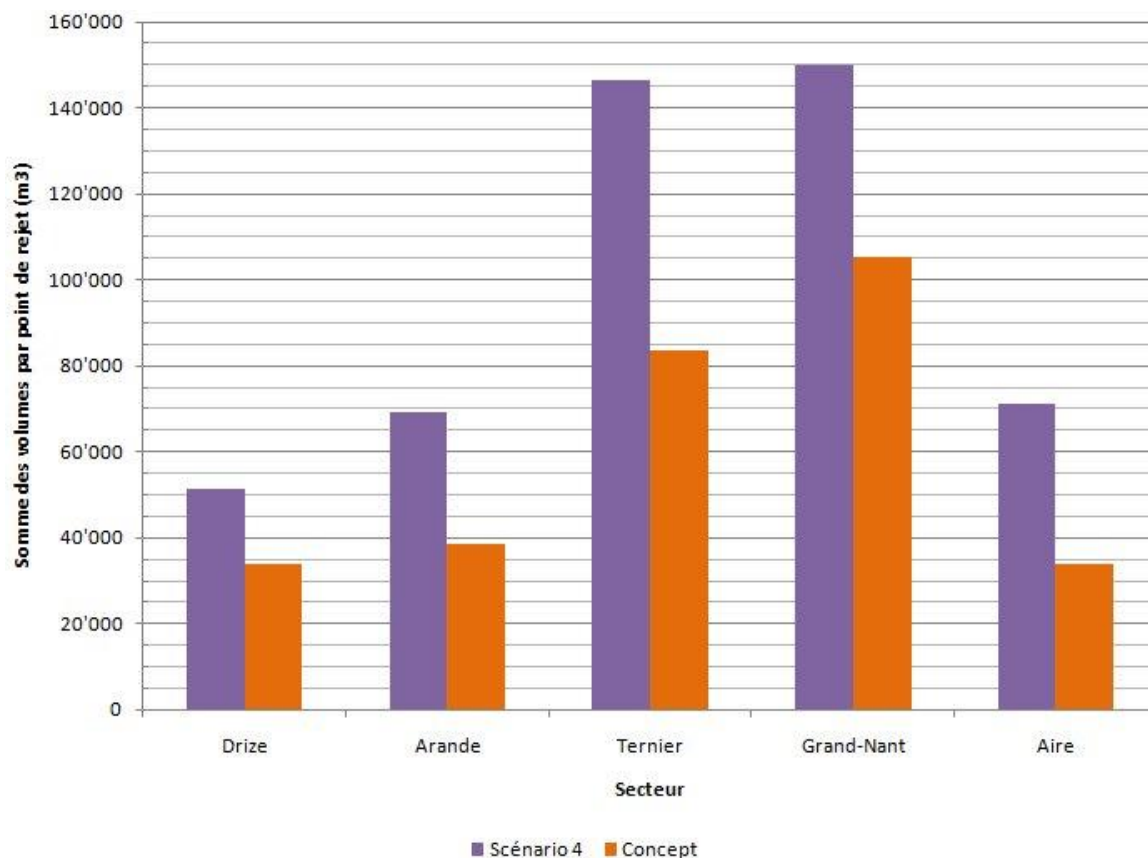


Figure 28. Synthèse des volumes à gérer et disponibles par secteur pour le concept

Il est à noter que des itérations mineures ont été faites pour arriver au concept final de gestion des eaux. Pour le secteur Drize, elles ont consisté à tester de la gestion à la parcelle pour le rejet *Clef_4* pour lequel aucune rétention centralisée n'est possible. Le concept 1b et 1c testent respectivement une gestion de 50% de l'imperméabilisation future avec une restriction de 5 l/s/ha pour un temps de retour 5 ans et une gestion du bâti actuel et futur à 10 l/s/ha. Au final, le concept 1c est retenu pour le secteur Drize. Pour l'Aire, un concept 1b a été retenu. Il ajoute une rétention de 30'000 m³ à Archamps et de 15'000 m³ à St-Julien-en-Genevois. Les indicateurs des tronçons tests pour ces itérations sur le concept sont visibles en annexe 8.

Les indicateurs cours d'eau du concept retenu pour tous les tronçons sont disponibles en annexe 9.