



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Direction Départementale des Territoires
de l'Ardèche

Étude hydrologique et hydraulique sur
les bassins versants de : Cance -
Déôme/Deûme et affluents du Rhône

Volet 2.1 : Étude hydrologique

01639176 | Janvier 2021 | VF



SOCIÉTÉ DU CANAL DE PROVENCE
ET D'AMÉNAGEMENT DE LA RÉGION PROVENÇALE





Immeuble Le Crystallin
 191/193 cours Lafayette
 CS 20 087
 69458 LYON CEDEX 06
 T. +33(0)4 27 85 48 80
 F. +33(0)4 27 85 48 81

Directeur d'affaire : OVE
 Responsable d'affaire : DUC
 N°affaire : 01639176
 Fichier : 39176_Rapport_Ph2-1_Hydrologie_v7.odt

Version	Date	Etabli par	Vérifié par	Nb pages	Observations / Visa
0	05/04/2017	LSD QLB	QLB	54	
1	29/06/2017	LSD QLB	DUC	94	
2	16/02/2018	DUC	DUC	96	
3	27/04/2018	DUC	DUC	101	
4	28/05/2018	DUC	DUC	119	
5	29/06/2018	DUC	DUC	135	
6	20/09/2018	DUC	DUC	135	Prise en compte des remarques formulées par la DDT07, le SPCGD et le STR en sept. 2018
VF	22/01/2021	DUC	DUC	135	Actualisation suite finalisation phase 3

TABLE DES MATIÈRES

1	Préambule	9
1.1	Démarche générale	9
1.2	Résumé non technique.....	10
1.2.1	Données hydrométriques disponibles.....	10
1.2.2	Construction et calage du modèle pluie-débit	12
1.2.3	Définition des débits caractéristiques au droit des stations hydrométriques	14
1.2.4	Synthèse des débits caractéristiques de référence retenus	20
2	Contexte climatique général.....	21
3	Présentation des bassins versants et du réseau hydrographique.....	23
3.1	Le réseau hydrographique.....	23
3.2	Contexte géologique.....	24
3.2.1	Structure géologique du secteur d'étude.....	24
3.2.2	Rôle de la géologie sur la genèse des écoulements.....	27
3.3	Occupation du sol	30
4	Mesures disponibles.....	32
4.1	Stations hydrométriques.....	32
4.1.1	La Cance à Annonay	34
4.1.2	La Cance à Sarras	35
4.1.3	La Déôme à Saint-Julien-Molin-Molette.....	37
4.1.4	L'Argental (Ruisseau des Préaux) à Bourg-Argental	39
4.1.5	Le Ternay à Savas	40
4.1.6	La Valencize à Chavanay	41
4.1.7	Synthèse des mesures hydrométriques	43
4.2	Pluviométrie	44
4.2.1	Stations sol.....	44
4.2.2	Images radar	47
4.2.3	Pluies SHYREG	47
5	Analyse de la pluviométrie	48
5.1.1	Pluie moyenne annuelle.....	48
5.1.2	Quantiles des pluies SHYREG	48
6	Construction du modèle pluie-débit.....	50
6.1	Découpage en sous bassins versants.....	50
6.2	Spatialisation et pondération des pluies.....	53
6.2.1	Pluies radar	53
6.2.2	Pluies de projet	53

6.3	Modélisation pluie brute – débit.....	53
6.3.1	Sous bassins versants ruraux.....	53
6.3.2	Sous bassins versants urbains	57
6.4	Calage du modèle pluie – débit.....	59
6.4.1	Méthodologie.....	59
6.4.2	Définition des paramètres de calage	59
6.4.3	Evénements retenus	61
6.4.4	Synthèse des résultats.....	66
6.4.5	Conclusion	71
7	Définition des débits caractéristiques de crue : méthodes régionales et statistiques	74
7.1	Saisonnalité des crues.....	74
7.2	Définition des débits de période de retour fréquente	75
7.2.1	Estimation du débit décennal par les méthodes déterministes	75
7.2.2	Analyse statistique des débits de crue	76
7.2.3	Conclusion	79
7.3	Extrapolation aux périodes de retour rares	81
7.3.1	Présentation de la méthode du Gradex.....	81
7.3.2	Durées caractéristiques des crues	83
7.3.3	Coefficient de pointe des crues	85
7.3.4	Détermination des gradex de bassin	86
7.3.5	Synthèse des résultats.....	86
8	Définition d'une hydrologie de référence	88
8.1	Exploitation du modèle pluie-débit	88
8.1.1	Méthodologie générale	88
8.1.2	Définition des pluies de projet.....	88
8.1.3	Définition de l'état de saturation initial des sols.....	90
8.1.4	Temps de réaction	90
8.1.5	Synthèse des débits caractéristiques obtenus par la modélisation.....	91
8.2	Comparaison des différentes méthodes et des données issues de la bibliographie.....	94
8.3	Débits caractéristiques de référence retenus.....	96
8.4	Estimation des périodes de retour des crues historiques	98

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Pluviométrie moyenne annuelle (AURELHY, Météo France)	23
Figure 2 : Présentation du réseau hydrographique sur le secteur d'étude	24
Figure 3 : Carte géologique au 1 / 50 000 ^{ème} du BRGM	26
Figure 4: Géologie des bassins versants principaux concernés par l'étude	27
Figure 5 : Carte de synthèse de la perméabilité des sols	29
Figure 6 : Occupation du sol sur les bassins versants concernés par l'étude	31
Figure 7 : Localisation des stations hydrométriques	33
Figure 8 : Localisation de la station de la Cance à Annonay	34
Figure 9 : Courbe de tarage de la station d'Annonay	35
Figure 10 : Localisation de la station de la Cance à Sarras	35
Figure 11 : Courbe de tarage de la station de Sarras	36
Figure 12 : Comparaison des courbes de tarage B. Hydro et modèle sur la Cance à Sarras	36
Figure 13 : Localisation de la station de la Dôme à Saint Julien Molin Molette	38
Figure 14 : Courbe de tarage de la station de Saint-Julien-Molin-Molette	38
Figure 15 : Localisation de la station de l'Argental à Bourg Argental	39
Figure 16 : Courbe de tarage de la station de Bourg-Argental	40
Figure 17 : Localisation de la station du Ternay à Savas	40
Figure 18 : Courbe de tarage de la station de Savas	41
Figure 19 : Localisation de la station de la Valencize à Chavanay	42
Figure 20 : Localisation de la nouvelle station de la Valencize à Chavanay	42
Figure 21 : Courbe de tarage de la station de Chavanay	43
Figure 22 : Localisation des stations Météo France	46
Figure 23 : Type de sous bassin versant	50
Figure 24 : Sous-bassin versants du territoire d'étude	51
Figure 25 : Découpage des bassins versants principaux en sous bassins versants	52
Figure 26 : Schéma conceptuel du modèle pluie - débit retenu	56
Figure 27 : Coefficients de ruissellement obtenus à partir des mesures et du modèle au droit des stations hydrométriques	65
Figure 28 : Répartition annuelle des crues maximales	71
Figure 29 : Présentation des crues principales par station	79
Figure 30 : Schématisation d'une pluie double triangle	84
Figure 31 : Pluies de projet doubles triangles	85
Tableau 1: Débits de pointe des 6 événements historiques retenus (les valeurs de débits soulignées ne correspondent pas au maximum enregistré de l'année hydrologique)	13
Tableau 2 : Stations hydrométriques DREAL	32

Tableau 3 : Synthèse des chroniques disponibles au niveau des stations hydrométriques	44
Tableau 4 : Stations de mesures pluviométriques gérées par Météo France	45
Tableau 5 : Pluie moyenne annuelle en mm	48
Tableau 6 : Valeurs de CN de référence en fonction de l'occupation du sol (abaques USDA)	60
Tableau 7 : Evénements retenus (les valeurs de débits soulignées ne correspondent pas au maximum enregistré de l'année hydrologique)	61
Tableau 8 : Estimation des périodes de retour des événements historiques étudiés	70
Tableau 9 : Estimation des débits décennaux par la formulation Crupedix	72
Tableau 10 : Estimation des débits décennaux par la formulation Socose	73
Tableau 11 : Estimation du débit décennal par les méthodes Socose et Crupedix	73
Tableau 12 : débits caractéristiques estimés par différentes lois statistiques (m ³ /s)	74
Tableau 13 : Comparaison des différentes estimations du débit décennal	75
Tableau 14 : Débits pseudo-spécifiques décennaux par station (ajustements de Gumbel)	76
Tableau 15 : Durées de crue calculées pour les plus fortes crues historiques mesurées aux stations hydrométriques disponibles	80
Tableau 16 : Durées caractéristiques de crue la méthode Socose	80
Tableau 17 : Durées caractéristiques de crue retenues	80
Tableau 18 : Coefficients de pointe calculés pour les plus fortes crues historiques mesurées aux stations hydrométriques disponibles	81
Tableau 19 : Coefficients de pointe retenus pour chaque station	81
Tableau 20 : Détermination des gradex de bassin (mm)	82
Tableau 21 : Synthèse des débits de crue de période de retour rare obtenus par les méthodes d'extrapolation aux fréquences rares	83
Tableau 22 : Etat de saturation des sols donné par la modélisation avant chacun des épisodes pluvieux intenses ayant généré les crues de calage modélisées	86
Tableau 23 : Temps de réaction P10 & P100	87
Tableau 24 : Comparaison des débits décennaux et centennaux obtenus par le modèle et les analyses statistiques	87
Tableau 25 : Estimations des paramètres A ₁₀ et A ₁₀₀ de la méthode SPEED de Sogreah (extrait rapport sogreah 2002)	90
Tableau 26 : Comparaison des débits de crue décennaux avec les études antérieures	91
Tableau 27 : Comparaison des débits de crue centennaux avec les études antérieures	91
Tableau 28 : Synthèse des débits décennaux et centennaux retenus au droit des stations hydrométriques	93
Tableau 29 : Débits de référence	93

GLOSSAIRE

Banque Hydro : la Banque HYDRO stocke les mesures de hauteur d'eau (à pas de temps variable) en provenance de 3 500 stations de mesure (dont 2 400 sont actuellement en service) implantées sur les cours d'eau français et permet un accès aux données signalétiques des stations (finalité, localisation précise, qualité des mesures, historique, données disponibles...).

Débit spécifique : rapport entre le débit d'un cours d'eau Q et la superficie de son bassin versant A ($Q_s=Q/A$), généralement exprimé en $m^3/s/km^2$. Nous utilisons ici des débits dits **pseudo-spécifiques**, défini comme le débit spécifique mais en appliquant une puissance 0.8 à la superficie ($Q_{ps}=Q/A^{0.8}$)

L'unité du débit pseudo-spécifique est le $m^3.s^{-1}.km^{-1.6}$. **Par simplification, les unités de débits pseudo-spécifiques sont notées dans le rapport en $m^3/s/km^2$.**

Gradex : cf. Gumbel

Gumbel (loi de) : loi statistique permettant de calculer la pluie P (également valable pour un débit) correspondant à la fréquence au non-dépassement F :

$$P = X_0 - a. \ln(-\ln F)$$

a est appelé le Gradex ; il correspond à la pente de la droite de la loi statistique tracée sur un papier de Gumbel (abscisse $u=-\ln(-\ln F)$).

Hydrogramme : graphique traduisant l'évolution du débit en fonction du temps.

Hyétogramme : graphique traduisant l'évolution de l'intensité des pluies en fonction du temps.

Limnigramme : graphique traduisant l'évolution des hauteurs d'eau en fonction du temps.

Lit majeur : zone d'écoulements occupée par une rivière en crue (plaine d'inondation).

Lit mineur : chenal d'écoulement creusé par la rivière pour les débits ordinaires (débits non débordants).

Modèle mathématique : outil de simulation informatique permettant de calculer avec les formules de l'hydraulique les conditions de débit et de hauteur en fonction du temps en tout point d'un cours d'eau, et de représenter ainsi les écoulements dans les conditions d'aménagement actuelles ou futures. La représentation des modèles peut être filaire ou bidimensionnelle.

Période de retour : La période de retour d'une crue T , exprimée en années, correspond à la crue maximale, exprimée en m^3/s , observée une fois dans ce laps de temps T . Par exemple la crue décennale est l'événement maximal ne pouvant se produire que 10 fois sur une durée de 100 ans ; l'intervalle entre deux événements décennaux peut être inférieur à 10 ans ou supérieur à plusieurs décennies. Les deux crues les plus fortes sur une période de 100 ans seront au moins cinquantennales.

Perméabilité (d'une roche, ou d'un aquifère) : vitesse à laquelle l'eau circule au sein de la roche (ou de l'aquifère). Elle s'exprime en m/s .

Productivité (d'une nappe) : débit d'eau qui s'écoule par unité de largeur de l'aquifère.

Rugosité du lit : grandeur utilisée en hydraulique pour caractériser la résistance aux écoulements d'une conduite ou d'un cours d'eau. Pour un cours d'eau, le coefficient de rugosité intègre l'aspect des berges et du lit (taux d'encombrement, enrochements éventuels, broussailles, perré en béton, ...).

Temps de concentration : temps que met une particule d'eau provenant de la partie du bassin la plus éloignée "hydrologiquement" de l'exutoire pour parvenir à celui-ci.

Temps de réaction : temps s'écoulant entre le pic d'intensité de la pluie et le débit de pointe pour un événement donné.

1 PRÉAMBULE

L'analyse hydrologique porte à la fois sur l'évaluation et la quantification des événements historiques principaux, et sur la définition de données hydrologiques fiables et cohérentes à l'échelle des bassins versants étudiés, indispensables à la caractérisation des aléas : débits de pointe et hydrogrammes des crues de projet de période de retour :

- bassin versant Cance – Déôme/Deûme : 2 ans, 5 ans, 10 ans, 30 ans, 50 ans, 100 ans et un événement exceptionnel.
- autres affluents du Rhône : 10 ans, 30 ans, 50 ans, 100 ans et un événement exceptionnel.

1.1 DÉMARCHE GÉNÉRALE

L'analyse hydrologique s'appuie d'une part sur la connaissance des événements historiques à travers une étude détaillée des mesures disponibles et d'autre part sur l'exploitation d'un modèle hydrologique de transformation de la pluie en débit couplé au modèle hydraulique mis en œuvre pour la caractérisation de l'aléa inondation en phase 3.

L'analyse statistique des données hydrométriques disponibles et l'application de méthodes régionales permettent d'établir une première estimation des débits de pointe pour différentes périodes de retour au droit des stations de mesure. Ces estimations présentent cependant des incertitudes liées :

- A la qualité des mesures disponibles pour ce qui est des analyses statistiques : historique des mesures, jaugeages en hautes eaux sur lesquels s'appuient les courbes de tarages, configuration de la station de mesure (difficultés liées à l'estimation des débits débordés en lit majeur notamment),
- A la non prise en compte des spécificités géographiques des sous bassins considérés et des structures de pluies à l'origine de la genèse des crues des cours d'eau pour ce qui est des formulations régionales.

Le modèle hydrologique définit les hydrogrammes injectés dans les modèles hydrauliques qui en assurent le routage vers l'aval.

Le modèle hydrologique tient compte des caractéristiques physiques des sous-bassins versants, et permet de quantifier la capacité de production de ruissellement de chaque sous bassin versant. Le modèle hydraulique permet ensuite d'intégrer le déphasage des pointes de crue des différents affluents ainsi que les dynamiques d'écrêtement associées aux débordements en lit majeur.

Ces outils permettent ainsi, pour une période de retour donnée, de simuler différentes typologies de pluies et de définir en chaque point des cours d'eau modélisés une estimation des débits caractéristiques, volumes écoulés et hydrogrammes résultant. Les grandeurs hydrologiques caractéristiques sont ensuite définies comme l'enveloppe maximale des valeurs fournies par chacun des scénarios de pluie.

La méthode proposée s'inscrit dans une approche générale développée par Setec Hydratec, applicable à tout système hydrologique complexe, dont les épisodes exceptionnels sont influencés par des combinaisons variées de facteurs physiques

hétérogènes (ici la structure des pluies et la localisation spatiale de leurs épices notamment). Sa bonne application nécessite une caractérisation précise de ces facteurs et de leur interaction, ainsi qu'une modélisation adéquate du fonctionnement hydrologique et hydraulique du système.

Les valeurs établies par le couplage des modèles hydrologiques et hydrauliques sont ensuite comparées aux valeurs fournies par les analyses statistiques et les méthodes régionales afin de valider une hydrologie de référence, retenue pour l'élaboration des cartes d'inondation.

1.2 RÉSUMÉ NON TECHNIQUE

1.2.1 Données hydrométriques disponibles

Six stations hydrométriques sont disponibles sur les cours d'eau étudiés, dont une est aujourd'hui fermée (cf. carte en page suivante, localisant les stations et les cours d'eau étudiés) :

- La station de la Cance à Annonay est située au pont Chevalier sur la route départementale D578 à 250 mètres en amont de sa confluence avec la Deûme.
- La station de la Déôme à Saint-Julien-Molin-Molette est située au lieu-dit de la Garinière à proximité de la route départementale D1082.
- La station de l'Argental à Bourg-Argental, aujourd'hui fermée, est située à 150 m en amont du Pont Rouillard et 600 m en amont de sa confluence avec la Déôme.
- La station du Ternay à Savas est située juste en amont de la retenue du Ternay.
- La station de la Valencize à Chavanay est actuellement située au lieu-dit de Chorery.
- La station de la Cance à Sarras (en dehors des communes étudiées) est située au niveau du pont du Moulin d'Assuis, sur la route départementale D270 à environ 2,5 km en amont de sa confluence avec le Rhône.

Les stations d'Annonay et de Sarras sont également utilisées pour le suivi des crues en temps réel par le SPC Grand Delta.

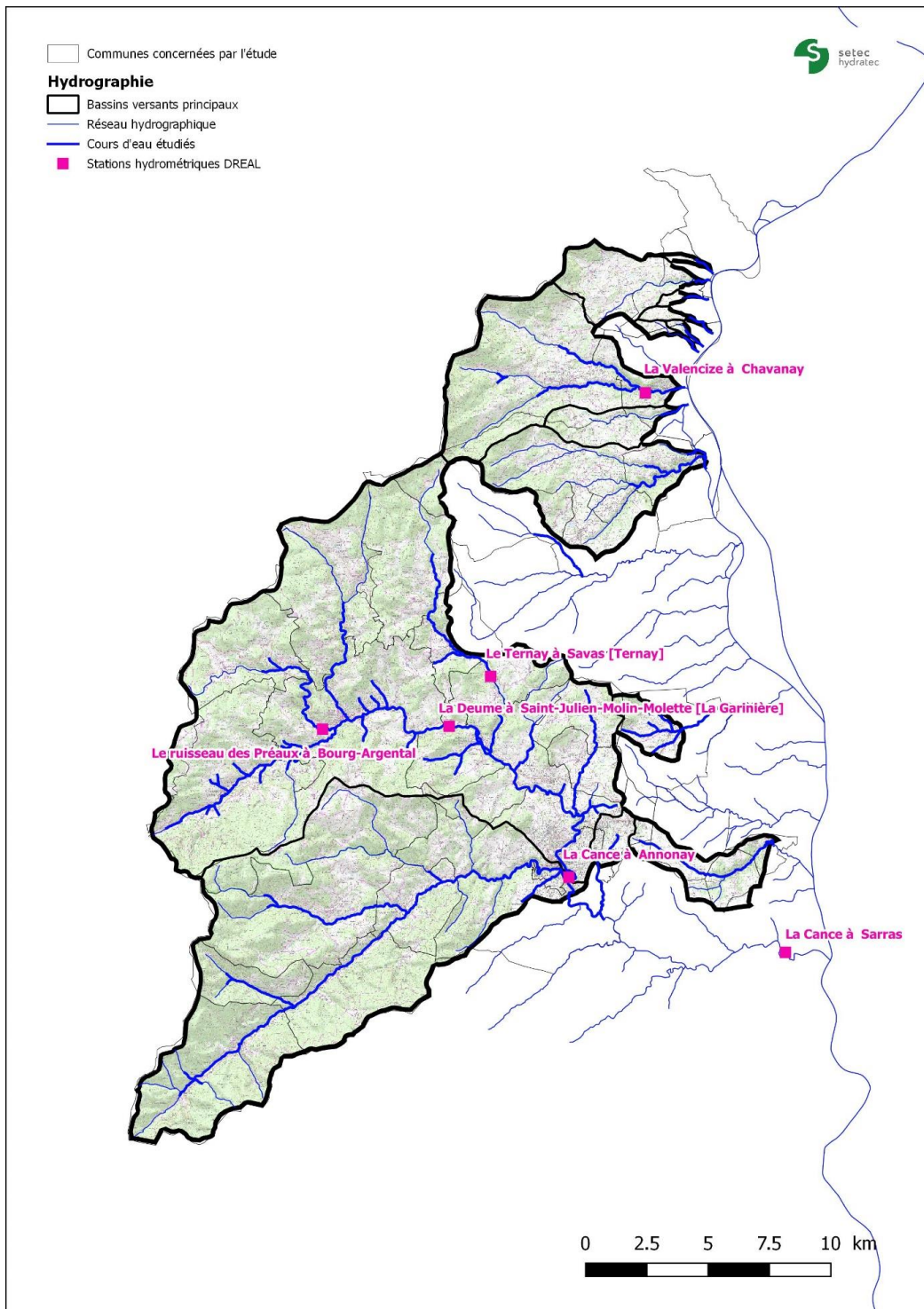
La station de Sarras sur la Cance, située en aval du bassin versant, est la plus fiable selon le gestionnaire :

- chronique la plus longue disponible,
- courbe de tarage la plus fiable, notamment pour les forts débits.

Des levés topographiques détaillés ont été réalisés au droit de la station dans le cadre de cette étude pour valider la courbe de tarage avec le modèle numérique.

Les résultats obtenus ont effectivement permis de valider cette courbe de tarage.

La définition des débits caractéristiques s'est donc concentrée dans un premier temps sur cette dernière, pour dans un second temps définir les débits caractéristiques aux autres stations en garantissant une cohérence globale à l'échelle du bassin.



L'analyse hydrologique s'appuie sur :

- une série d'analyses statistiques sur les chroniques de débits maxima annuels mesurés au droit des stations,
- une modélisation pluie débit, calée sur 6 événements historiques et couplée à une modélisation hydraulique, permettant de valider les débits caractéristiques au droit des différentes stations hydrométriques et en tous points des cours d'eau étudiés.

1.2.2 Construction et calage du modèle pluie-débit

La modélisation pluie-débit s'appuie sur un découpage fin des sous bassins versants drainés par les cours d'eau étudiés.

Le modèle hydrologique s'appuie sur un découpage en 138 sous bassins versants.

Deux échelles de bassins versants sont définies :

- Les bassins versants amont des cours d'eau modélisés, et souvent en dehors des communes concernées par la présente étude,
- Les bassins versants très détaillés définissant les apports intermédiaires des cours d'eau modélisés.

Le modèle pluie - débit utilise des **formulations spécifiques** pour les bassins versants à dominante **rurale** (forêts, prairies, cultures) et à dominante **urbaine** (centres urbains, zones pavillonnaires, zones industrielles, zones d'activité ..., principalement concentrés autour d'Annonay).

Le calage du modèle pluie-débit est réalisé sur 6 événements historiques sélectionnés parmi les plus fortes crues enregistrées sur les cours d'eau étudiés.

Événements retenus	Cance (Annonay) - m3/s	Cance (Sarras) - m3/s	Déôme (Saint-Julien-Molin-Molette) - m3/s	Ternay (Savas) - m3/s	Argental (Bourg-Argental) - m3/s	Valencize (Chavanay) - m3/s
23/10/1999	37.8	208	382	9.3	-	5.2
25/11/2002	37.4	182	43.7	11.1	-	8.6
02/12/2003	74.5	388	117*	16	-	17.3
02/11/2008	<u>24</u>	<u>76</u>	51.3	9.3	-	10.1
13/10/2014	47.9	<u>240</u>	<u>43</u>	<u>9.9</u>	-	14.3
04/11/2014	<u>44.7</u>	498	50.5	15.4	-	-

* débits reconstitués par Anteagroup dans le cadre de l'étude hydraulique du site de Faya dans le vallon de la Deûme à Annonay - 2015

Tableau 1 : Débits de pointe des 6 événements historiques retenus (les valeurs de débits soulignées ne correspondent pas au maximum enregistré de l'année hydrologique)

Afin de tenir compte de l'état de saturation des sols au moment de l'épisode de pluie intense générant la crue, une modélisation hydrologique de la période préparatoire commençant le 1^{er} septembre précédent la crue est effectuée à partir des pluies journalières enregistrées à la station d'Annonay. Cette simulation définit des états de sol pris en compte au démarrage du calcul hydrologique de la période intense pour laquelle la pluviométrie est définie par les images radar présentées précédemment.

Les **données pluviométriques exploitées** pour les périodes de précipitations intenses sont les données radar Météo France recalibrées au pas de temps horaire :

- Données COMEPHORE pour les événements antérieurs à 2008 (inclus),
- Antilope pour les événements postérieurs à 2008.

La validité des données radar est vérifiée par comparaison avec les données mesurées au sol au droit des postes pluviographiques.

Les phénomènes météorologiques à l'origine des événements historiques peuvent être classés en deux catégories :

- les épisodes pluvieux de longue durée (entre 30h et 48h) caractérisés par des intensités pluviométriques moyennes (de l'ordre de 10 à 15 mm/h) mais soutenues durant la quasi-totalité de l'évènement. C'est le cas des événements de novembre 2002, décembre 2003 et novembre 2014.
- les épisodes pluvieux de courte durée (entre 10h et 20h) caractérisés par des intensités pluviométriques fortes (de l'ordre de 30 mm/h) pendant des laps de temps courts (entre 2 et 3h). C'est le cas des événements d'octobre 1999, novembre 2008 et octobre 2014.

L'exploitation du modèle pluie-débit pour la reconstitution de ces 6 crues historiques permet de conclure à **un calage satisfaisant**. Ce dernier peut ainsi être exploité pour simuler les crues de projet (non observées) de différentes périodes de retour, sur lesquelles seront basées les cartographies des zones inondables, et notamment la cartographie de l'aléa centennal.

Cette analyse indique cependant une **sous-estimation systématique des débits de crue mesurés sur la Cance à Annonay et sur la Valencize à Chavanay**. Les analyses statistiques réalisées sur ces stations seront donc à considérer avec précaution pour la définition des débits caractéristiques au droit de ces stations.

La propagation des hydrogrammes mesurés sur la Cance à Annonay, la Déôme à Saint Julien Molin Molette et le Ternay à Savas (les trois stations de mesure sur le bassin Cance – Deûme amont) pour les crues d'octobre et novembre 2014 montre un déficit des volumes obtenus à Sarras qui ne peuvent physiquement être apportés par les bassins versant intermédiaires. Cette analyse confirme la sous-estimation des débits mesurés sur la Cance à Annonay.

1.2.3 Définition des débits caractéristiques au droit des stations hydrométriques

L'estimation des débits caractéristiques de crue au droit des stations hydrométriques s'appuie sur différentes méthodes présentées ci-après.

L'analyse croisée des différentes valeurs obtenues, tenant compte des incidences induites par la qualité des données mesurées le cas échéant, permet de **définir une hydrologie de référence, cohérente à l'échelle des bassins versants étudiés.**

a) Analyses statistiques

Les échantillons des débits instantanés maxima annuels des stations étudiées ont fait l'objet d'ajustements statistiques à différentes lois afin de déterminer les débits caractéristiques des crues de chacun des cours d'eau. Ces échantillons ont été réalisés à partir des données de la Banque Hydro.

Les méthodes retenues pour cette analyse, parmi les différentes méthodes explorées, sont les suivantes :

- Débits de période de retour inférieure à 10 ans définis par **ajustement d'une loi de Gumbel** ; le choix a été fait de retenir une loi unique pour l'ensemble des stations, au regard de l'homogénéité des événements pluviométriques auxquelles elles sont soumises.
- Débits de période de retour supérieure à 10 ans définis par la **méthode du Gradex**, fondé sur l'analyse statistique de la pluviométrie. Elle stipule qu'au-delà d'une certaine valeur de précipitation (dite point pivot), la valeur moyenne de la capacité de rétention du bassin versant tend à devenir constante pour les très fortes averses, et que la totalité de la pluie supplémentaire ruisselle sur le bassin versant.

Le tableau ci-après présente les débits caractéristiques décennaux et centennaux, ainsi que les débits pseudo-spécifiques correspondant, retenus à l'issue de l'analyse statistique.

Les débits pseudo-spécifiques sont définis par la relation :

$$q = \frac{Q}{S^\alpha}$$

Q étant le débit estimé pour un bassin versant de surface S et α le coefficient de Myer pris égal à 0.8.

	Deûme à Saint-Julien-Molin-Molette	Cance à Annonay	Cance à Sarras	Ternay à Savas	Argental à Bourg-Argental	Valencize à Chavanay
SBV (km ²)	106	124	379	26	22	36
Durée caractéristique (h)	24	24	24	12	12	12
Kp	1.42	1.50	1.84	1.65	1.80	1.48
GRADEX pluie (mm)	23.1	24.7	22.7	18.3	18.8	17.0
GRADEX débit (m ³ /s)	28.4	35.6	99.4	10.8	9.4	14.3
Q10 Gumbel (m ³ /s)	71.0	58.1	244.1	16.6	10.1	12.2
Q10 Gumbel pseudo-spécifique (m ³ /s/km ²)	1.70	1.23	2.11	1.24	0.87	0.69
Q100 gradex (m ³ /s)	166	184	674	59	50	62
Q100 gradex pseudo-spécifique (m ³ /s/km ²)	3.96	3.87	5.83	4.38	4.26	3.49

Remarques :

- Les valeurs obtenues par l'ajustement de Gumbel (débit décennal) présentent des **débites pseudo-spécifiques relativement hétérogènes** entre les stations.

Ces résultats sont cependant fortement dépendants de la qualité des mesures disponibles ; rappelons ainsi :

- Le modèle pluie débit a montré une probable sous-estimation des débits de crue pour les stations de la Cance à Annonay et de la Valencize à Chavanay, présentant toutes deux des débits spécifiques décennaux issus de l'analyse statistique relativement faibles au regard des stations présentant des superficies proches (respectivement la Deûme à Saint-Julien-Molin-Molette et le Ternay à Savas),
 - La station sur l'Argental à Bourg-Argental, aujourd'hui fermée, présente une chronique historique réduite ; par ailleurs, aucune analyse critique n'est disponible sur la qualité des données fournies pour cette station.
- Le **débit décennal estimé à la station de Sarras** est supérieur à celui estimé par la banque hydro (179 m³/s). Cet écart est lié à la méthode retenue pour établir l'ajustement de Gumbel (méthode des moments pour la banque hydro, et méthode du maximum de vraisemblance tenant compte de coefficients correctifs associés à la longueur de la chronique historique dans le cadre de la présente étude).

Les valeurs proposées sont cependant cohérentes avec celles fournies par l'ajustement de la loi de Fréchet, très proche de la chronique historique sur cette station.

- Le ratio Q100/Q10 est classiquement compris entre 2 et 4

b) Formulations régionales

Différentes formulations régionales permettent d'estimer le débit décennal ; elles s'appuient sur des caractéristiques morphologiques des bassins versants (superficie, pente moyenne, longueur) et sur différents paramètres régionalisés établis à l'échelle nationale. Deux d'entre elles sont exploitées : Socose et Crupedix.

Le tableau après rassemble les différentes estimations faites du débit décennal, ainsi que les débits pseudo-spécifiques correspondant.

	Surface (km ²)	Analyse statistique Gumbel (m ³ /s)	Débit pseudo-spécifique (m ³ /s/km ²)	Socose (m ³ /s)	Débit pseudo-spécifique (m ³ /s/km ²)	Crupedix (m ³ /s)	Débit pseudo-spécifique (m ³ /s/km ²)
Deûme à Saint-Julien-Molin-Molette	106	71.0	1.7	37.6	0.9	57.2	1.4
Cance à Annonay	125	58.1	1.2	51.9	1.1	77.1	1.6
Cance à Sarras	380	244.1	2.1	96.2	0.8	170.1	1.5
Ternay à Savas	25.5	16.6	1.2	14.4	1.1	17.2	1.3
Argental à Bourg-Argental	22	10.1	0.9	12.9	1.1	15.9	1.3
Valencize à Chavanay	36	12.2	0.7	14.9	0.8	19.7	1.1

La formulation Socose sous-estime le débit décennal par rapport aux ajustements statistiques. La formulation Crupedix donne quant à elle des estimations du débit décennal relativement proche de l'ajustement statistique de Gumbel pour les bassins versants de taille moyenne (<2000 km² - limite de la méthode).

Seule la station de Sarras présente un écart sensible entre les estimations Gumbel et Crupedix. Le débit pseudo-spécifique calculé sur cette station est par ailleurs sensiblement supérieur à celui calculé sur les autres stations.

Ces formulations régionales, ne tenant pas compte des spécificités propres aux bassins étudiés, visent à donner un ordre de grandeur comparatif des débits caractéristiques.

Compte tenu de l'approche très régionalisée de ces méthodes, elles sont écartées au profit de celles issues des analyses statistiques, qui exploitent les chroniques de mesures historiques.

c) **Exploitation du modèle pluie-débit**

L'exploitation du modèle pluie-débit permet de prendre en compte la morphologie et l'occupation du sol des sous-bassins versants dans les mécanismes de genèse des crues, et d'intégrer l'ensemble des phénomènes de propagation des crues le long des cours d'eau. Il garantit ainsi une cohérence globale de l'analyse à l'échelle des bassins versants étudiés.

Pour chaque période de retour étudiée (2, 5, 10, 30, 50, et 100), une série de pluies d'intensités différentes est définie, après analyse détaillée des structures spatiales et temporelles des événements historiques. Les débits maximums d'un bassin versant sont en effet généralement obtenus pour des événements pluvieux d'une durée proche de leur temps de concentration.

Les modèles pluie-débit définissent les hydrogrammes résultants pour chacun de ces scénarios à l'exutoire des sous bassins versants. Ces hydrogrammes sont ensuite propagés dans les modèles hydrauliques et définissent pour tous les nœuds de calcul pour chaque période de retour une gamme de débits de pointe et de volumes écoulés.

Pour une période de retour T, l'aléa est défini comme l'enveloppe maximale de l'aléa calculé pour chacun des scénarios de pluie considérés pour cette même période de retour.

Les **pluies de projets** pour une période de retour T sont constituées par des pluies double - triangle présentant :

- des cumuls de période de retour T sur la période intense,
- des cumuls de période de retour T sur la durée totale de l'événement.

Les **pluies intenses** générant des épisodes de pluie surviennent sur des sols plus ou moins saturés par les événements pluvieux précédents.

La station de **Sarras sur la Cance** étant celle disposant des chroniques de données les plus longues et les plus fiables, les coefficients de saturation initiale des sols sont ajustés afin de disposer des valeurs de débits caractéristiques obtenus par la modélisation cohérentes avec ceux estimés par les analyses statistiques. Les valeurs ainsi retenues sont les suivantes :

- 16% pour la pluie décennale,
- 21% pour la pluie centennale.

Ces valeurs sont cohérentes avec l'état de saturation des sols donné par la modélisation avant chacun des épisodes pluvieux intenses ayant généré les crues de calage modélisées.

Le tableau ci-après présente les débits décennaux et centennaux estimés par la modélisation au droit des stations hydrométriques.

	Deûme à Saint-Julien-Molin-Molette	Cance à Annonay	Cance à Sarras	Ternay à Savas	Argental à Bourg-Argental	Valencize à Chavanay
<i>Q10 - Modèle</i>	71	81	240	15	14	19
Q10 Gumbel (m ³ /s)	71	58	244	17	10	12
<i>Q100 - Modèle</i>	199	274	668	40	40	72
Q100 gradex (m ³ /s)	166	183	674	59	50	62

Les **débits décennaux** estimés par la modélisation sont très proches de ceux obtenus par les ajustements de Gumbel sur les stations de la Deûme à Saint Julien Molin Molette et du Ternay à Savas. Ils sont supérieurs sur les stations de la Cance à Annonay et de la Valencize à Chavanay, en cohérence avec les conclusions du calage du modèle pluie-débit (probable sous-estimation des débits mesurés). Cette cohérence tend à montrer que l'ajustement de Gumbel reflète bien le fonctionnement du bassin.

La modélisation pour les **pluies centennales**, là aussi calibrée pour ajuster le débit de pointe calculé à Sarras sur l'estimation fournie par la méthode du gradex, tend en revanche à donner des débits supérieurs à ceux estimés par l'analyse statistique sur les autres stations, notamment sur la Deûme à Saint Julien Molin Molette. Sur cette dernière station, le débit fourni par la modélisation reste cependant dans l'intervalle de confiance à 90% donné par l'ajustement statistique.

Au vu de ces résultats, la modélisation permettant par ailleurs de garantir une cohérence globale dans la définition des débits de pointe et volumes écoulés à l'échelle du territoire étudié, **nous proposons de retenir ces débits caractéristiques pour la suite de la mission.**

d) **Comparaison des différentes méthodes et des données issues de la bibliographie**

Les données bibliographiques concernent :

- les débits **SHYREG**, méthode mise en œuvre par l'IRSTEA,
- les débits définis par la mise en œuvre de la méthode SPEED dans l'étude **Sogreah** de **2002** (étude de protection, entretien et gestion des risques des rivières Cance, Deûme et Torrenson).

Les tableaux suivants présentent une synthèse des débits décennaux et centennaux issus des données bibliographiques et établies par différentes méthodes dans le cadre de la présente mission.

Q10

	Surface (km ²)	Sogreah		Irstea		Setec hydratec			
		SPEED (m ³ /s)	Qpseudo- spécifique (m ³ /s/km ²)	SHYREG (m ³ /s)	Qpseudo- spécifique (m ³ /s/km ²)	Analyse statistique		Modèle	
						Gumbel (m ³ /s)	Qpseudo- spécifique (m ³ /s/km ²)		Qpseudo- spécifique (m ³ /s/km ²)
Deûme à Saint-Julien-Molin-Molette	106	71*	1.7	58	1.4	71	1.7	71	1.7
Cance à Annonay	125	125	2.6	80	1.7	58	1.2	81	1.7
Cance à Sarras	380	284	2.5	170	1.5	244	2.1	240	2.1
Ternay à Savas	25.5	24	1.8	13**	1.1	17	1.2	15	1.1
Argental à Bourg-Argental	22	-	-	13	1.1	10	0.9	14	1.2
Valencize à Chavanay	36	-	-	10	0.7	12	0.7	19	1.1

* Les débits ont été évalués par Sogreah juste en aval de l'emplacement actuel de la station hydrométrique, soit une superficie de bassin versant de 110 km²

** Les débits ont été évalués par l'Irstea juste en amont de la station hydrométrique, pour une superficie de bassin versant de 23.1 km².

Pour les **débits décennaux**, les écarts entre les différentes estimations sont hétérogènes d'une station à l'autre, rendant l'analyse comparative relativement complexe :

- Cohérence de la modélisation avec l'étude Sogreah sur la station de la Deûme à Saint Julien Molin Molette ; l'estimation Shyreg est légèrement inférieure,
- Cohérence de la modélisation avec les données SHYREG sur la Cance à Annonay et le Ternay à Savas.
- Notons les écarts très importants obtenus sur la station de Sarras sur la Cance, l'estimation fournie par la modélisation et l'ajustement de Gumbel proposé dans le cadre de la présente étude se situant entre l'estimation de Sogreah et la valeur SHYREG.
- Le débit décennal estimé par la méthode SHYREG sur la Valencize est très proche de celui obtenu par l'ajustement de Gumbel ; cependant la probable sous-estimation des débits de crue pointée par la modélisation tend à retenir les valeurs plutôt hautes fournies par la modélisation.

Q100	Sogreah		Irstea		Setec Hydratec						
	Surface (km ²)	SPEED (m ³ /s)	Qpseudo-spécifique (m ³ /s/km ²)	SHYREG	Qpseudo-spécifique (m ³ /s/km ²)	Gradex (m ³ /s)	Qpseudo-spécifique (m ³ /s/km ²)	Gradex progressif (m ³ /s)	Qpseudo-spécifique (m ³ /s/km ²)	Modèle	Qpseudo-spécifique (m ³ /s/km ²)
Deûme à Saint-Julien-Molin-Molette	106	170	4.1	106	2.6	166	4.0	147	3.5	199	4.8
Cance à Annonay	125	255	5.4	125	2.6	183	3.9	137	2.9	274	5.8
Cance à Sarras	380	585	5.1	381	3.3	674	5.8	547	4.7	668	5.8
Ternay à Savas	25.5	57	4.3	23	1.7	59	4.4	41	3.1	40	3.0
Argental à Bourg-Argental	22	-	-	22	1.9	50	4.2	24	2.0	41	3.5
Valencize à Chavanay	36	-	-	36	2.1	62	3.5	25	1.4	72	4.1

Pour les **débits centennaux**, une forte hétérogénéité est également observée entre les différentes estimations disponibles :

- Les débits estimés par la modélisation sont systématiquement supérieurs à ceux fournis par les autres méthodes, à l'exception :
 - du Ternay à Savas,
 - de la Cance à Sarras pour ce qui est de la comparaison avec la méthode du Gradex (la méthodologie mise en œuvre s'appuie sur une cohérence entre ces deux valeurs) ;
- Les estimations SHYREG sont systématiquement inférieures aux autres estimations (à l'exception du gradex progressif sur la Valencize à Chavanay).

Les données SHYREG sont établies à une échelle nationale, sur la base des données brutes disponibles (banque Hydro notamment). Une critique approfondie des données hydrométriques historiques a été réalisée dans le cadre de cette étude, ayant conduit à une réestimation des débits de pointe de certaines crues les plus fortes du bassin. Ces éléments ont une incidence sensible sur les analyses statistiques. Il en est de même pour la méthode SPEED, qui ne tenait pas compte de ces données corrigées. Ces approches sont par ailleurs basées sur des échantillons de données moins longs, eu égard à l'année à laquelle elles ont été réalisées.

Les analyses statistiques, les intervalles de confiance associés et les méthodes qui en découlent (gradex et gradex progressif) sont fortement liés à la qualité des données mesurées et la longueur des chroniques disponibles ; la modélisation pluie-débit permet une analyse beaucoup plus homogène à l'échelle du bassin versant.

1.2.4 Synthèse des débits caractéristiques de référence retenus

Le tableau ci-après synthétise les débits de pointe décennaux et centennaux retenus, obtenus par la modélisation pluie-débit.

	Deûme à Saint-Julien-Molin-Molette	Cance à Annonay	Cance à Sarras	Ternay à Savas	Argental à Bourg-Argental	Valencize à Chavanay
Q10 - Modèle	71	81	240	15	-	19
Q100 - Modèle	199	274	668	40	-	72

2 CONTEXTE CLIMATIQUE GÉNÉRAL

Le climat du sud du département de la Loire (Mont du Pilat) et du nord du département de l'Ardèche (Haut-Vivarais) est influencé par des climats de type océanique, méditerranéen et continental dont le mélange se caractérise par des pluies assez fréquentes avec un maximum des précipitations en automne. Cependant la présence du massif central et des forts reliefs à proximité (Pilat, Monts du Vivarais), bien qu'elle freine les perturbations océaniques et limite leur influence, est à l'origine des pluies assimilables à des phénomènes cévenols amenées par un vent de Sud-Est et bloquées sur le versant oriental du massif.

Ces événements pluvieux se caractérisent par d'intenses précipitations concentrées sur un laps de temps très court. Même si l'intensité de ces pluies est moins marquée que dans les régions situées plus au sud, des précipitations records ont été enregistrées sur les bassins versants de la Deûme et de la Cance :

- 300 mm en 13 heures le 22 octobre 1865 à Annonay,
- 190 mm en 24 heures le 9 octobre 1907 au site de Faya, Annonay
- 116 mm en 24 heures le 1^{er} décembre 2003 à Saint-Marcel-les-Annonay

La carte suivante présente la pluviométrie moyenne annuelle sur les bassins versants étudiés (source Météo France, AURELHY). Un fort gradient pluviométrique est observé entre les têtes de bassin versant situées sur les contreforts du massif du Pilat où les cumuls dépassent les 1200 mm, et la vallée du Rhône en aval où ces cumuls sont de l'ordre de 675 mm.

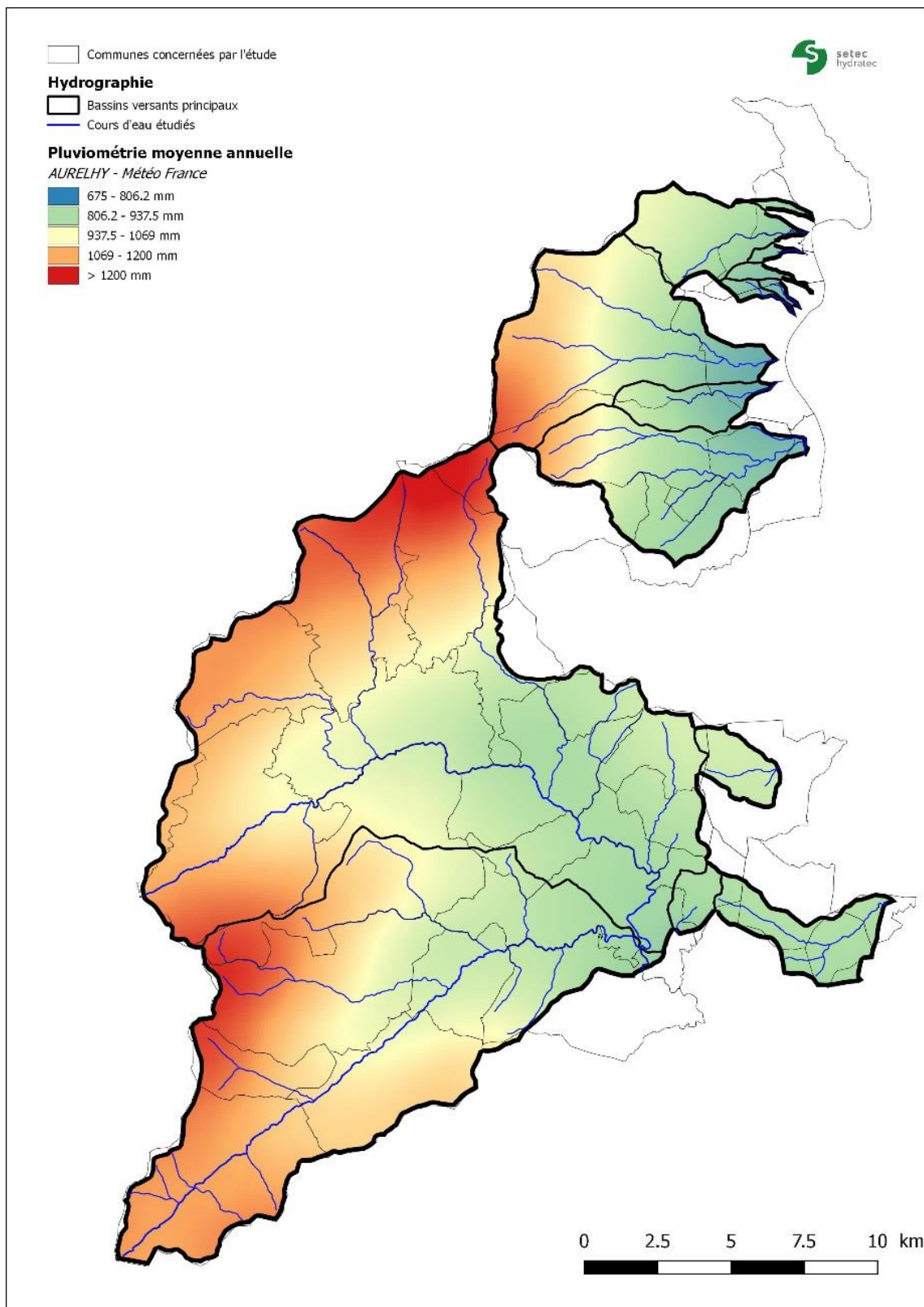


Figure 1 : Pluviométrie moyenne annuelle (AURELHY, Météo France)

3 PRÉSENTATION DES BASSINS VERSANTS ET DU RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE

3.1 LE RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE

Les cours d'eau faisant l'objet d'une modélisation et les principaux bassins versants associés sont les suivants :

- la Cance,
- le Cansonnet,
- le Malbuisson,
- le Moulin Laure,
- les Aygas,
- la Deûme/Déôme,
- le Gournay,
- le Ru,
- l'Argental,
- le Riotet,
- la Vercantine,
- l'Ogelière,
- le Francillon,
- le Ternay,
- le Trançon,
- Sassolas,
- Concise,
- Fontanes,
- Le Châlon,
- le ruisseau du Poulet,
- le Crémieux,
- le Bourgon,
- le Haut Gaillard,
- le Torrenson,
- l'Aleau,
- le Vérin,
- le Solon,
- le Colombier,
- le Bois Lombard,
- le Morquennat,
- la Valencize,
- le Régrillon,
- la Scie,
- le Mornieux,
- le Batalon,
- l'Épervier.

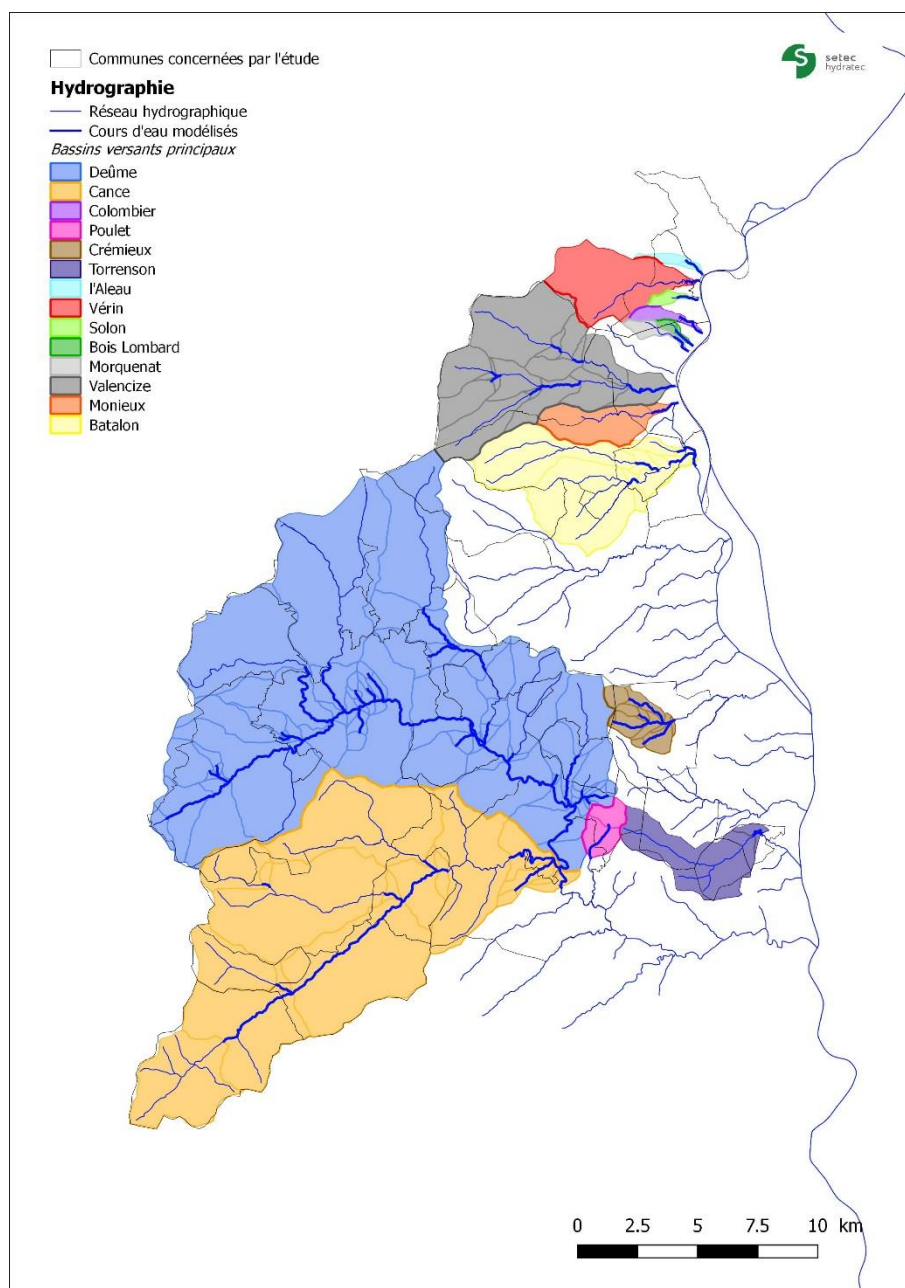


Figure 2 : Présentation du réseau hydrographique sur le secteur d'étude

3.2 CONTEXTE GÉOLOGIQUE

3.2.1 Structure géologique du secteur d'étude

La Deûme et la partie occidentale de la Cance se trouvent dans les Monts du Vivarais constitués par un complexe granitique et cristallophyllien. Ces formations à dominante plutonique (formations granitiques), aujourd'hui largement pénéplanées (présentant une faible dénivellation) ont été mis en place durant les orogénèses cadomienne et hercynienne entre -600 et -280 Ma.

Les affluents Nord du Rhône bien que hors des Monts du Vivarais reposent sur ces mêmes formations.

La partie orientale de la Cance et les affluents Sud du Rhône, en bordure de ce plateau (corniche cévenole du Vivarais) sont composée de formations métamorphiques (gneiss ocellé, leptynite). Elles sont l'objet d'accidents tectoniques post hercyniennes de direction Sud-Ouest/ Nord Est. Ils ont été mis en place entre -670 et 435 Ma.

Des dépôts plus récents, quaternaires, de type alluvionnaire sont présents en fond de vallée, le long de ces cours d'eau.

Cette analyse est réalisée à partir des cartes géologiques au 1/50 000^{ème} du BRGM (Figure 3)

La carte suivante (Figure 4) présente une synthèse de la structure géologique des sols décrite à partir à partir des cartes géologiques au 1/50 000^{ème} du BRGM sur l'ensemble des bassins versants étudiés.

- λ Leptynite massive ou leptynites à orthose ou gneiss leptynitiques
- M Anatexites claires et parfois grenats
- γ Monzogranodiorite hétérogène et leucogranite monzonitique
- P Gneiss fins sombres à biotite, cordiérite et orthose
- n Micaschistes et gneiss fins à deux micas, parfois à cordiérite
- E Gneiss ocellés plus ou moins leptynique
- Y Leucogranite à biotite et muscovite en filon
- CE Limons et loess d'âge indéterminé
- M Complexe hétérogène (ensemble de gneiss plus ou moins hétérogènes, leptynites blanches, filons-couches de granites et amphibolites)
- F Alluvions

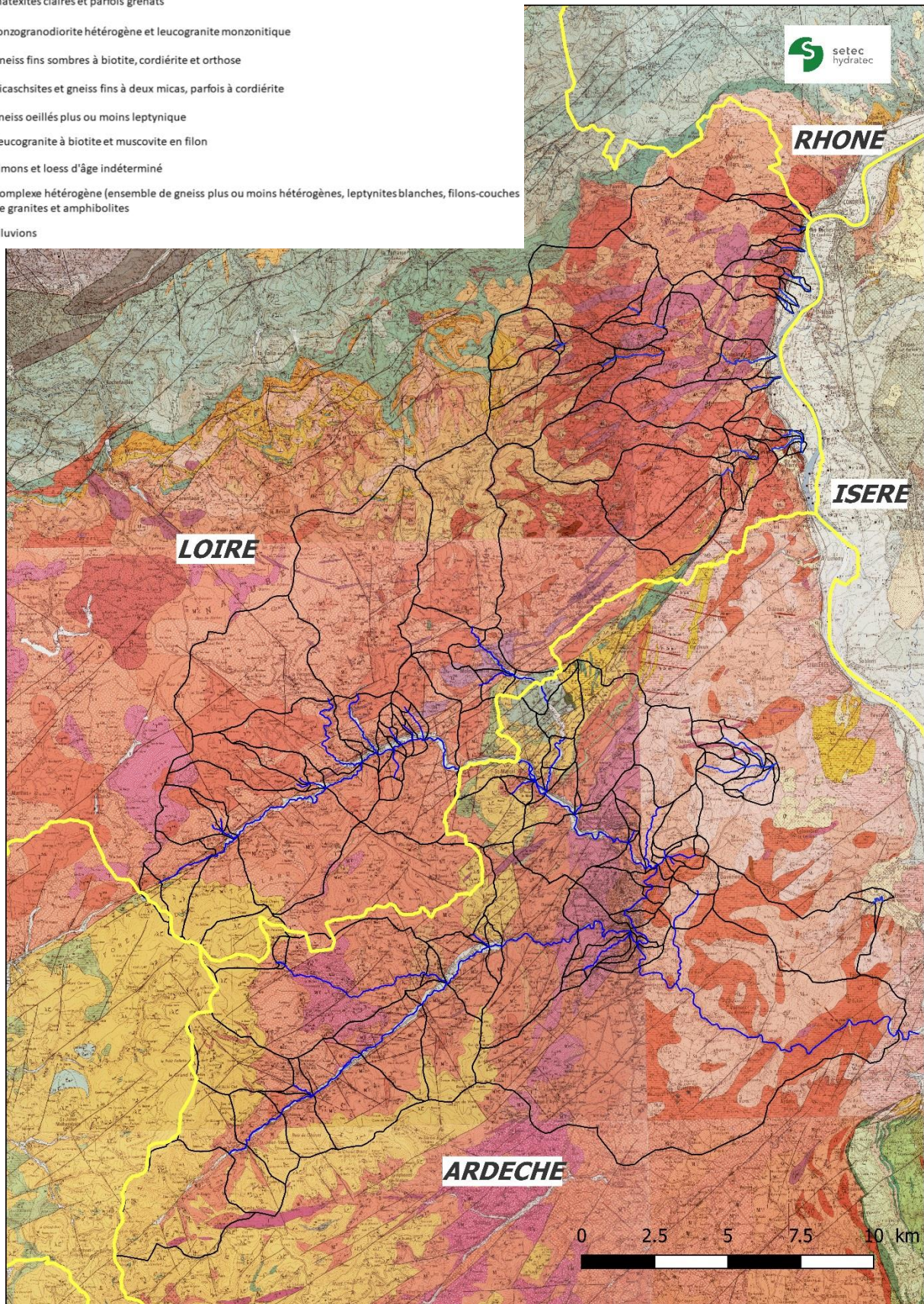


Figure 3 : Carte géologique au 1 / 50 000^{ème} du BRGM

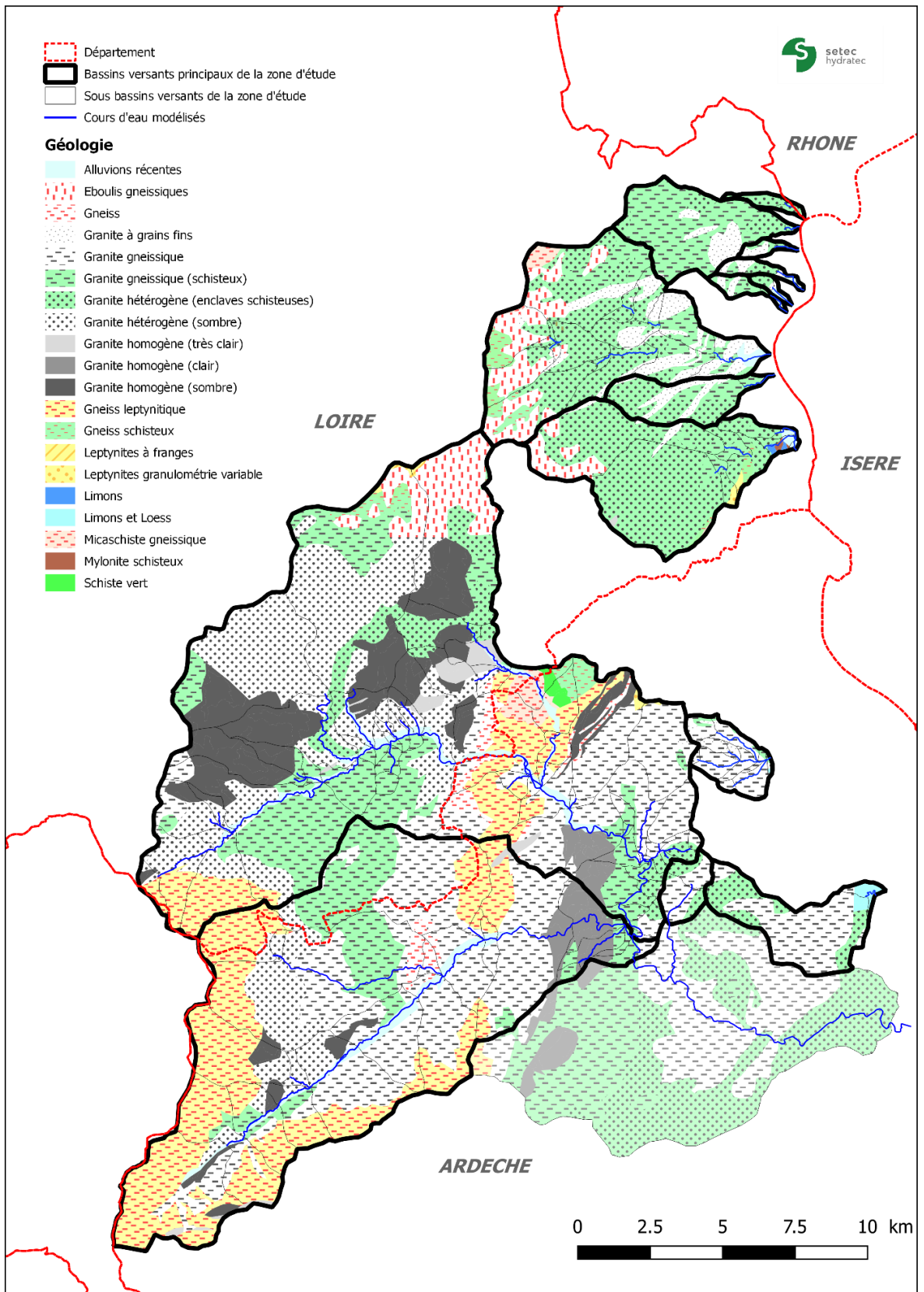


Figure 4: Géologie des bassins versants principaux concernés par l'étude

Les formations géologiques superficielles en présence sur le secteur d'étude sont majoritairement des granites et des gneiss. La structure de ces roches est grenue à schisteuse, ces deux structures pouvant alterner au sein de la même couche.

La présence de cours d'eau sur cette zone, dont le principal est le Rhône, explique la présence d'alluvions, et de limons parfois accumulés en loess. On note également la présence plus ponctuelle de schiste ou de micaschiste.

La perméabilité des altérites et des roches non altérées est très faible : les fissures, si elles sont présentes, sont trop espacées et de faibles ouvertures.

On peut noter les valeurs de référence de perméabilité des différentes roches issues de la classification Domenico & Schwartz :

- Granite : $3,3 \cdot 10^{-6}$ à $5,2 \cdot 10^{-5}$ (m/s)
- Limons, loess : $1 \cdot 10^{-9}$ à $2 \cdot 10^{-5}$ (m/s)
- Gneiss (fracturé) : $8 \cdot 10^{-9}$ à $3 \cdot 10^{-4}$ (m/s)
- Schiste : $1 \cdot 10^{-13}$ à $2 \cdot 10^{-9}$ (m/s)
- Gneiss (non fracturé) : $3 \cdot 10^{-14}$ à $2 \cdot 10^{-10}$ (m/s)

3.2.2 Rôle de la géologie sur la genèse des écoulements

La géologie présentée précédemment permet de caractériser la capacité des couches géologiques à produire du ruissellement direct ou à infiltrer la pluviométrie vers les nappes profondes.

La capacité d'infiltration du sol est hiérarchisée en 4 catégories, de A pour les plus fortes à D pour le plus faibles.

Types de sols	Perméabilité	Formations géologiques associées	
A	Perméable	-	
B	Plutôt perméable	Éboulis gneissiques	Limons
		Alluvions récentes	
C	Plutôt imperméable	Granite homogène, hétérogène, à grains fins	
		Mylonite schisteux	
D	Imperméable	Gneiss leypnitique, fin, schisteux	Granite gneissique
		Micaschiste gneissique	Limons et loess
		Schiste vert	

Cette hiérarchisation est présentée en page suivante.

La capacité réelle de production de ruissellement est cependant liée à la géologie, mais également aux caractéristiques pédologiques des premières couches de sol et à leur épaisseur. Ces éléments ne sont pas disponibles à l'échelle du territoire d'étude.

En l'absence de données pédologiques sur les bassins versants étudiés, **ce paramètre ne sera pas pris en compte pour le paramétrage du modèle pluie – débit.**

La relative homogénéité de la perméabilité des formations géologiques (absence de sols totalement perméables) ainsi que les retours d'expériences de terrain qui ne font pas état de différences sensibles de comportement des sols vis-à-vis du ruissellement à l'échelle des bassins versants étudiés permettent de **justifier cette hypothèse**. Il est ainsi considéré que la capacité de production de ruissellement est principalement modulée par l'occupation du sol et la morphologie des bassins versants (pentes notamment).

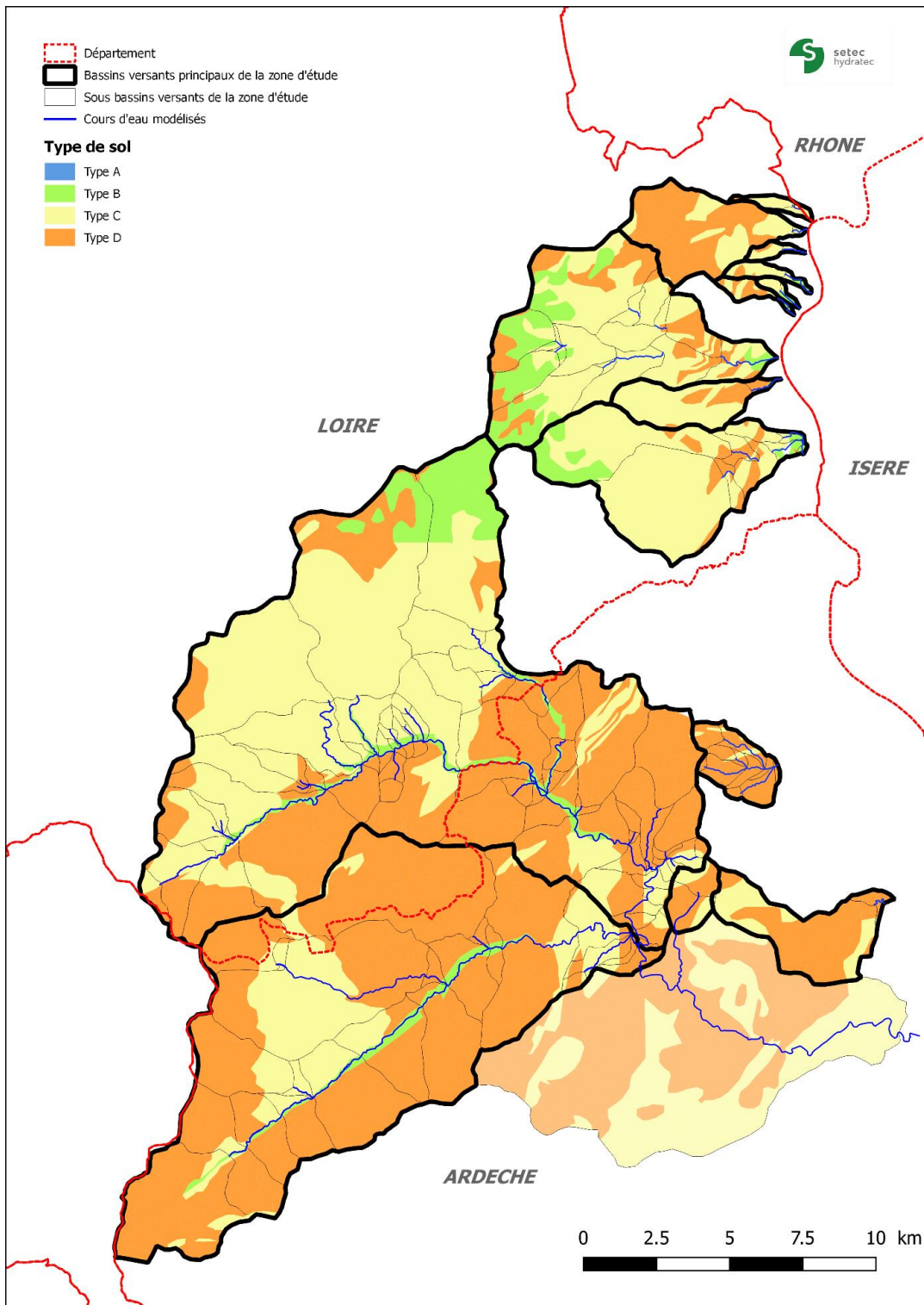


Figure 5 : Carte de synthèse de la perméabilité des sols

3.3 OCCUPATION DU SOL

L'occupation du sol est définie à partir de la base de données Corine Land Cover 2012 et distingue les cinq catégories suivantes :

- Forêts
- Prairies et zones naturelles non boisées
- Cultures
- Zones urbanisées
- Plans d'eau

Corine Land Cover est une base de données européenne d'occupation biophysique des sols. Ce projet est piloté par l'Agence européenne de l'environnement et couvre 38 États. La partie française est réalisée par le Service de l'Observation et des Statistiques du Commissariat Général au Développement Durable (CGDD) du Ministère de l'écologie (MEDDE).

L'occupation du sol participe à la capacité globale de production de ruissellement des différents bassins versants, et est ainsi exploitée pour orienter le calage du modèle pluie-débit (cf. § Définition des paramètres de calage). **Ce paramètre est pris en compte pour le paramétrage du modèle pluie-débit.**

Plus de la moitié du territoire étudié est couvert par des bois, principalement localisés sur les têtes de bassins versants, et en amont d'Annonay pour ce qui est de la Cance et de la Deûme.

Les secteurs urbanisés représentent environ 5% de la superficie des bassins versants, principalement concentrés autour d'Annonay.

Le reste du territoire est réparti entre des cultures ou des prairies :

- Les cultures sont largement prédominantes sur les parties aval des bassins versants :
 - Aval d'Annonay sur la Cance,
 - Sur les bassins versants des petits affluents du Rhône, les cultures sont également absentes des têtes de bassins versants, mais sont prédominantes à l'échelle des territoires étudiés.
- Les prairies s'insèrent dans les boisements sur les parties amont des bassins versants.

Les boisements et prairies, présentant une forte capacité d'interception de la pluie brute (voir paragraphe Définition des paramètres de calage pour plus d'information), sont ainsi concentrés sur les secteurs de fortes pentes des têtes de bassins versants.

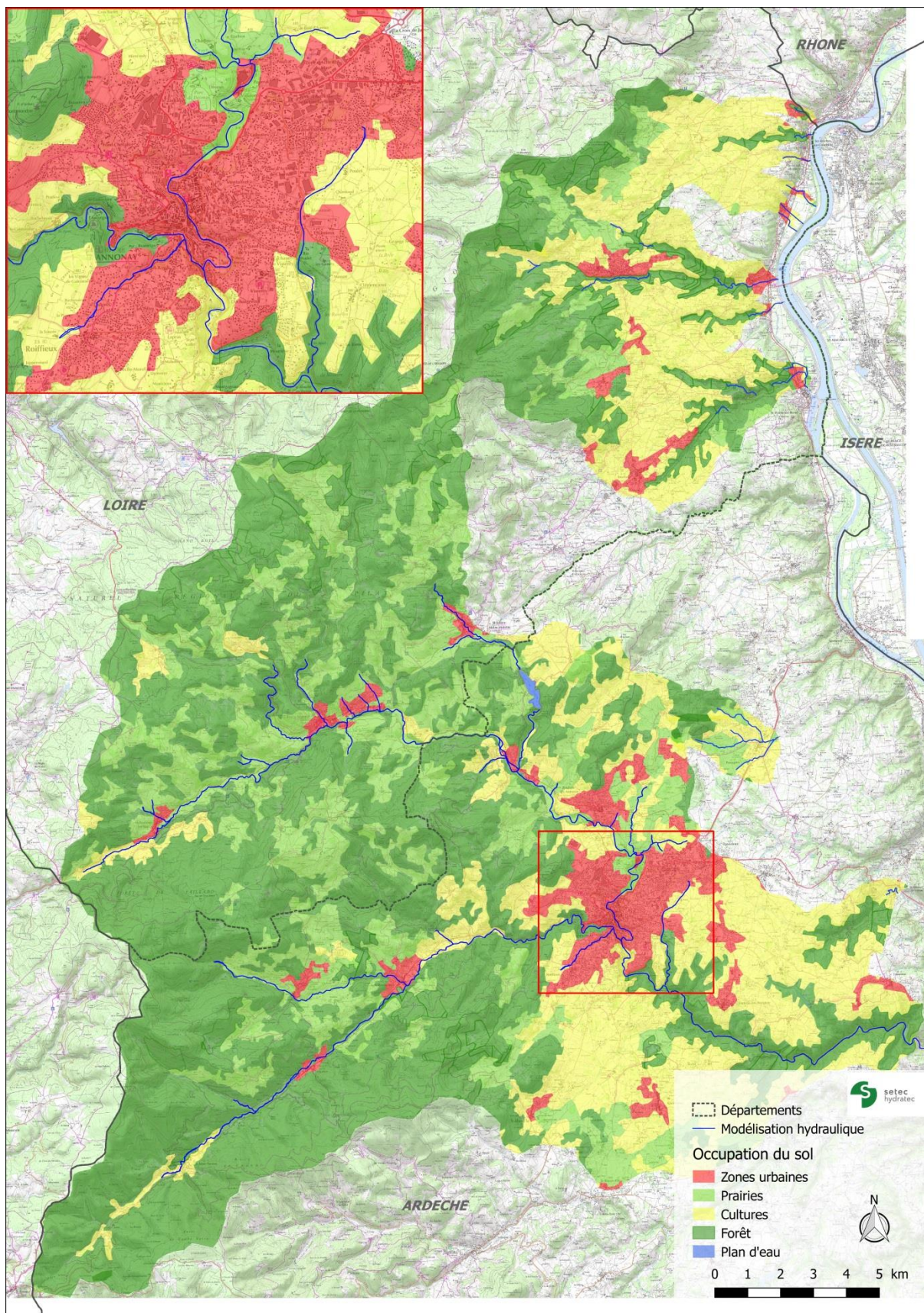


Figure 6 : Occupation du sol sur les bassins versants concernés par l'étude

4 MESURES DISPONIBLES

4.1 STATIONS HYDROMÉTRIQUES

Les données hydrométriques sont acquises sur la Banque Hydro qui centralise les données des gestionnaires du réseau de mesures de débits des cours d'eau.

Le tableau ci-après précise les stations existantes sur les cours d'eau étudiés, aujourd'hui **gérées par l'unité d'hydrométrie Rhône-Alpes de la DREAL**, et les périodes sur lesquelles les données sont disponibles. L'ensemble de ces stations sont localisées sur la carte ci-après.

Six stations hydrométriques sont disponibles sur les cours d'eau étudiés, dont une est aujourd'hui fermée.

- La station de la Cance à Annonay est située au pont Chevalier sur la route départementale D578 à 250 mètres en amont de sa confluence avec la Deûme.
- La station de la Déôme à Saint-Julien-Molin-Molette est située au lieu-dit de la Garinière à proximité de la route départementale D1082.
- La station de l'Argental à Bourg-Argental, aujourd'hui fermée, est située à 150 m en amont du Pont Rouillard et 600 m en amont de sa confluence avec la Déôme.
- La station du Ternay à Savas est située juste en amont de la retenue du Ternay.
- La station de la Valencize à Chavanay est située au lieu-dit de Chorey.
- La station de la Cance à Sarras (en dehors des communes étudiées) est située au niveau du pont du Moulin d'Assuis, sur la route départementale D270 à environ 2,5 km en amont de sa confluence avec le Rhône.

Les stations d'Annonay et de Sarras sont également utilisées pour le suivi des crues en temps réel par le SPC Grand Delta.

Code Station	Cours d'eau	Commune	Surface de BV contrôlé (km ²)	Date ouverture	Date fermeture
V3504010	Cance	Annonay	125	01/01/1968	-
V3524010	Cance	Sarras	380	31/12/1964	-
V3515010	La Deûme	Saint Julien Molin Molette	109	14/04/1994	-
V3517010	Le Ternay	Savas	25.5	21/12/1993	-
V3515610	L'Argental	Bourg Argental	22.1	26/12/1977	04/01/1996
V3315010	La Valencize	Chavanay	36	28/12/1977	04/11/2014
V3315020	La Valencize	Chavanay	37.4	17/08/2016	-

Tableau 2 : Stations hydrométriques DREAL

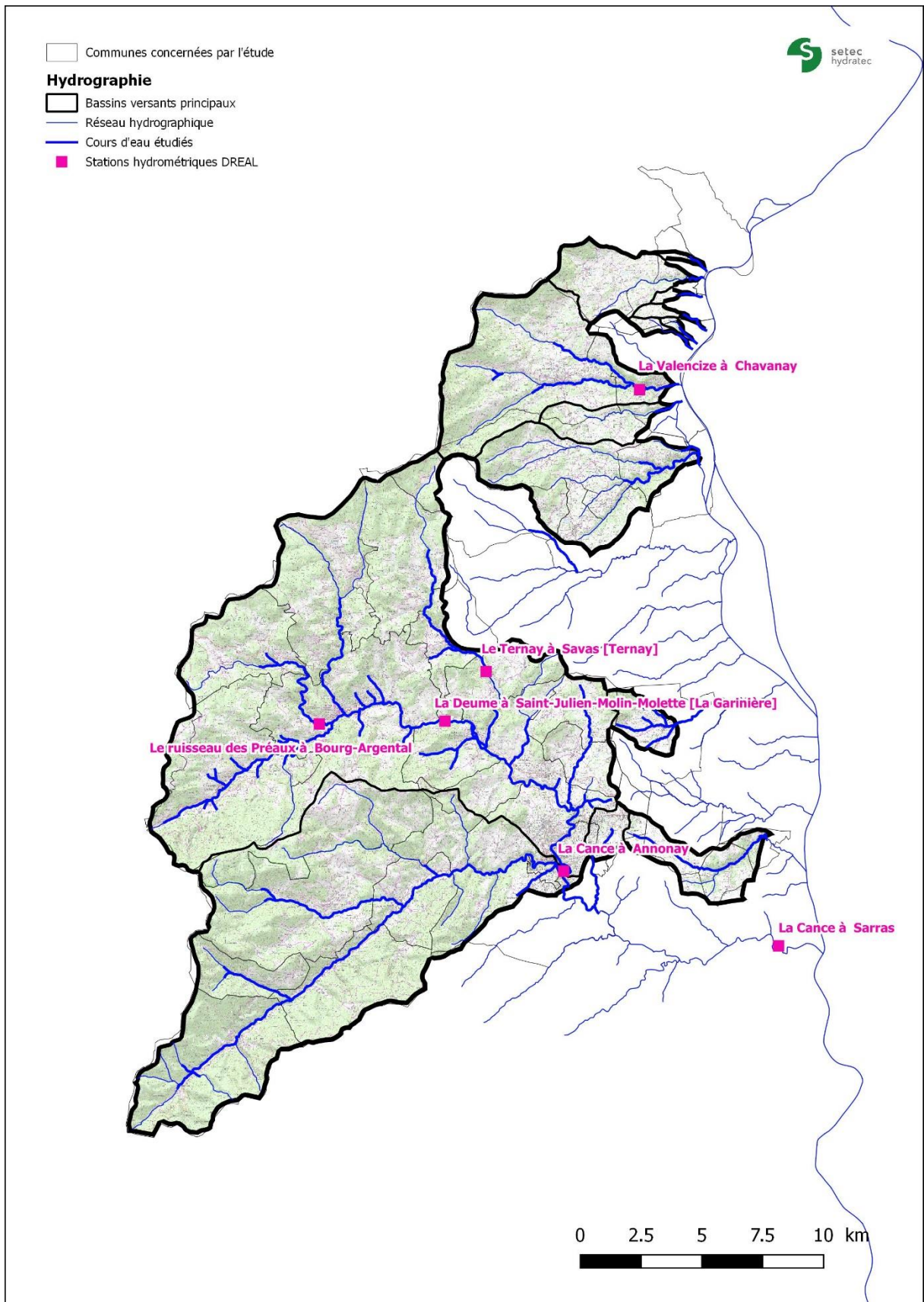


Figure 7 : Localisation des stations hydrométriques

4.1.1 La Cance à Annonay

a) Localisation et historique

La station est située au pont Chevalier à Annonay sur la route départementale D578 environ 250 m en amont de sa confluence avec la Deûme. Depuis son ouverture le **01/01/1968** jusqu'en 2010 elle est gérée par le Service d'Annonce de Crue du département de l'Ardèche rattaché ensuite au Service de Prévion des Crues du Grand Delta (SPCGD).

Les données centralisées en banque hydro ne sont disponibles qu'à partir du **05/01/1998**. Des données ponctuelles de hauteurs d'eau plus anciennes sont disponibles dans les archives papier du SPC Grand Delta.

Les enregistrements de hauteurs présentent plusieurs années incomplètes et les valeurs de débit ne sont validées en banque hydro qu'à partir de 2010.

L'analyse des débits disponibles en banque hydro a permis de reconstituer une chronique complète des débits de 2003 à 2016, les années hydrologiques antérieures présentant de trop longues périodes sans mesure.

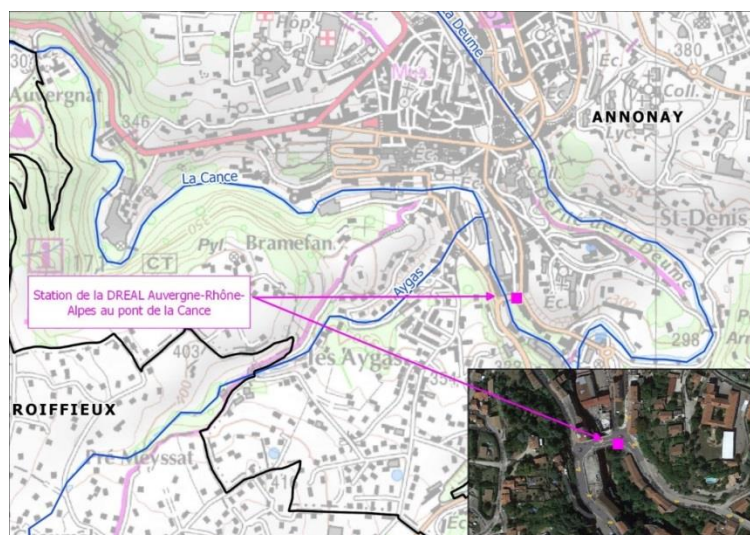


Figure 8 : Localisation de la station de la Cance à Annonay

A noter que le Syndicat des Trois Rivières a sollicité auprès de la DREAL Auvergne Rhône-Alpes un déplacement de cette station plus en amont (pont de Gallélaure). La DREAL Auvergne Rhône-Alpes a émis un avis favorable.

b) Courbe de tarage

Suite aux premiers jaugeages réalisés en 2010, la courbe de tarage a été révisée de manière importante dans le sens de la baisse. Cette révision a impliqué la rectification de l'ensemble des débits centralisés en banque hydro depuis le 1^{er} janvier 1998. Cependant « le tarage est jugé perfectible », par le SPCRAS, « faute d'un contrôle hydraulique stable à bas débit et de jaugeages de hautes eaux ».

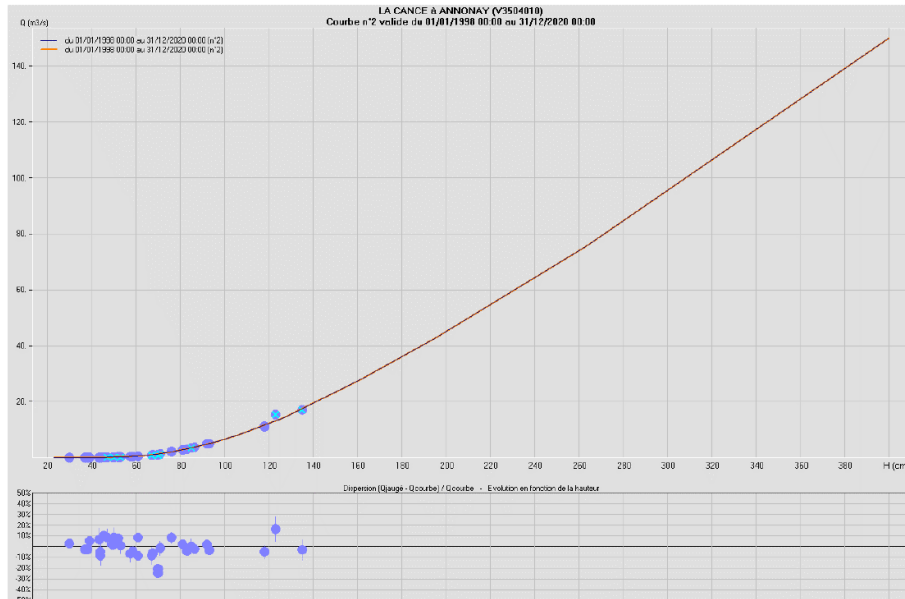


Figure 9 : Courbe de tarage de la station d'Annonay

4.1.2 La Cance à Sarras

a) Localisation et historique

La station est située au niveau du pont du Moulin d'Assuis, sur la route départementale D270. Elle est ouverte depuis le 31/12/1964, cependant les données centralisées en banque hydro ne sont disponibles qu'à partir de **1990**. Cette station est gérée par l'unité d'hydrométrie Rhône-Alpes depuis sa création.

Les enregistrements de hauteurs présentent plusieurs années incomplètes et les valeurs de débit ne sont validées en banque hydro qu'à partir de 1999. Une analyse critique des débits mesurés a permis de compléter la chronique des débits mesurés avec les années hydrologiques 1990, 1991, 1996 et 1997 mais en gardant à l'esprit que sur ces années-là, les débits mesurés ont été invalidés par la banque hydro.

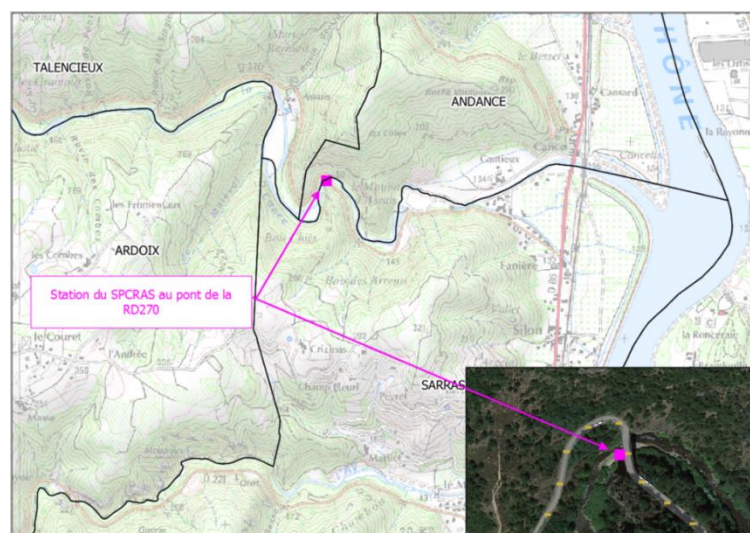


Figure 10 : Localisation de la station de la Cance à Sarras

b) Courbe de tarage

La station hydrométrique présente un contrôle hydraulique plutôt stable et les jaugeages de calage de la courbe de tarage ont été réalisés pour des crues de période de retour compris entre 2 ans et 5 ans.

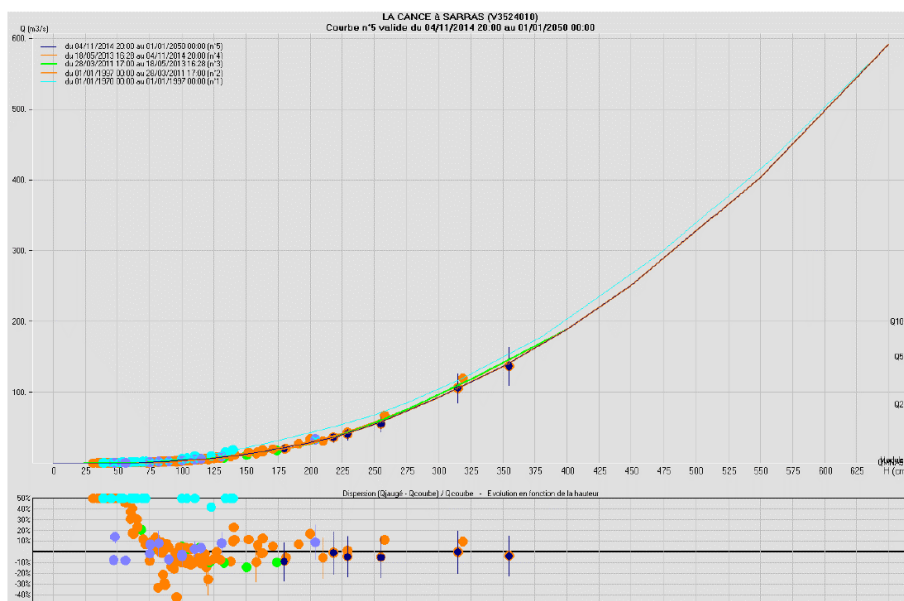


Figure 11 : Courbe de tarage de la station de Sarras

7 profils en travers topographiques ont été levés autour de la station hydrométrique, ainsi que le pont de la RD270 et le seuil aval, et intégrés dans le modèle hydraulique.

Le graphique ci-dessous présente la courbe de tarage calculée par le modèle et celle utilisée par la banque hydro. Les écarts sont très faibles, inférieurs à 10% pour une hauteur de 5.50 m. Cette analyse permet de valider la courbe de tarage banque hydro.

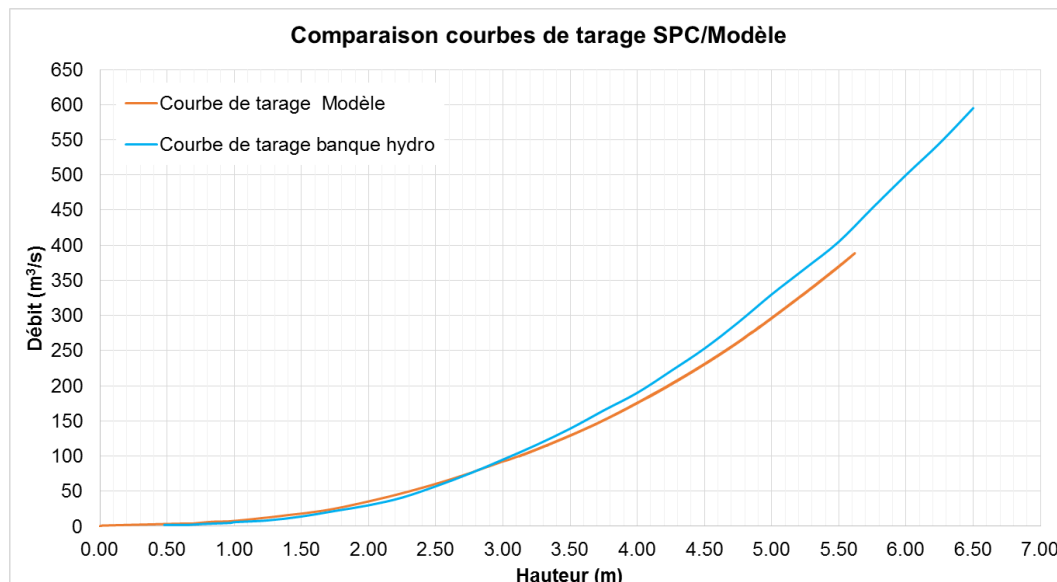


Figure 12 : Comparaison des courbes de tarage B. Hydro et modèle sur la Cance à Sarras

c) Commentaires complémentaires

Sur la période 1965-1978, les débits maximaux instantanés fournis par la banque hydro ne sont pas des valeurs observées. Le débit maximal instantané annuel est obtenu à partir du débit maximal journalier auquel il est appliqué un coefficient correspondant au rapport moyen entre le maxi instantané et le maxi journalier. Ce rapport moyen est calculé sur les 25 plus fortes crues. A Sarras, il vaut 1.59¹ et est assez variable d'une crue à l'autre (il varie selon l'épisode entre 1.41 et 2.07). Les plus fortes crues n'ont pas été observées durant cette période.

4.1.3 La Déôme à Saint-Julien-Molin-Molette

a) Localisation et historique

La station de la Déôme à Saint-Julien-Molin-Molette est située au lieu-dit de la Garinière à proximité de la route départementale D1082 et est ouverte depuis le 14/04/1994. Cette station est gérée par l'unité d'hydrométrie Rhône-Alpes depuis sa création.

L'analyse des données disponibles en Banque Hydro a permis de constater que les enregistrements de hauteurs sont disponibles depuis l'ouverture de la station et les années de mesures sont toutes complètes. Les valeurs de débit instantané sont toutes validées mais certaines années de mesures sont incomplètes. Pour les crues de novembre 1996 et décembre 2003, le débit réel n'a manifestement pas été estimé au moment de la pointe de crue.

De manière générale, le site de mesure n'est pas propice à la mesure des forts débits puisque des débordements dans des champs d'inondation assez larges apparaissent rapidement. Les débits de crues les plus forts peuvent donc être entachés d'une erreur certaine.

Les crues débordantes de 1996 et 2003 ont cependant fait l'objet d'une ré-estimation détaillée de leurs hydrogrammes de crue dans le cadre de l'étude hydraulique du site de Faya dans le vallon de la Deûme à Annonay réalisées par Anteagroup en 2015; les débits de pointe correspondant ont ainsi été pris en compte dans les analyses statistiques et pour le calage du modèle pluie – débit. Cette station présente alors un intérêt fort.

¹ Valeur légèrement inférieure à celle retenue au §Coefficient de pointe des crues, qui s'applique plus particulièrement aux crues fortes.

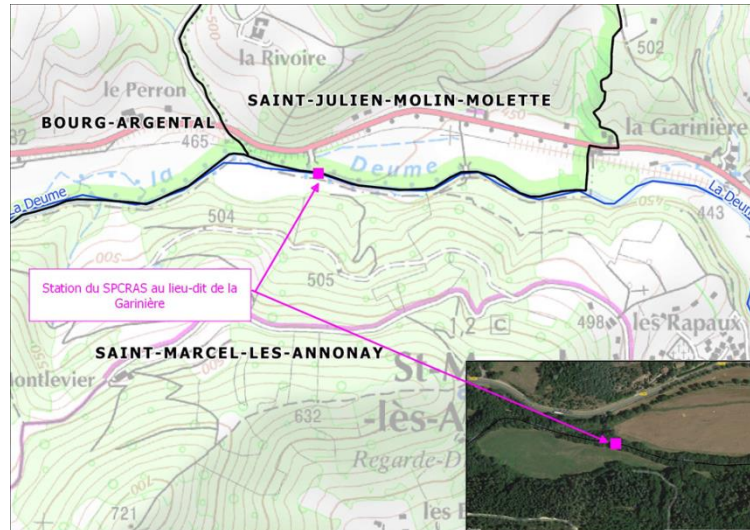


Figure 13 : Localisation de la station de la Déôme à Saint Julien Molin Molette

A noter, que le Syndicat des Trois Rivières a sollicité auprès de la DREAL Auvergne Rhône-Alpes un déplacement de cette station plus en amont (pont de Moulin Ferrand). La DREAL Auvergne Rhône-Alpes a émis un avis favorable

b) Courbe de tarage

Les jaugeages ont été réalisés sur des crues de période de retour 2 ans.

Il est à noter qu'à cette station des débordements en rive gauche et droite sont observés en cas de crues fortes, les débits de hautes eaux sont donc affectés d'une forte incertitude. L'étude a cependant intégré la ré-estimation faite des débits de pointe des deux crues les plus fortes de 1996 et 2003 (étude hydraulique du site de Faya dans le vallon de la Deume à Annonay réalisées par Anteagroup en 2015).

Par ailleurs, le contrôle hydraulique est instable en basses eaux.

A noter, que le Syndicat des Trois Rivières a sollicité un déplacement de cette station.

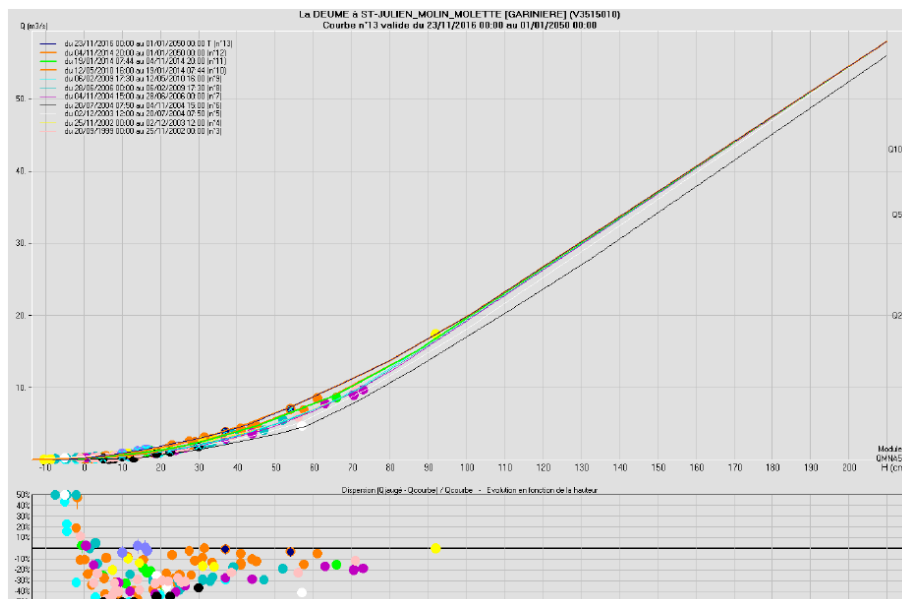


Figure 14 : Courbe de tarage de la station de Saint-Julien-Molin-Molette

4.1.4 L'Argental (Ruisseau des Préaux) à Bourg-Argental

a) Localisation et historique

La station de l'Argental est aujourd'hui fermée (depuis 1996). Elle était située à 150 m en amont du Pont Rouillard et 600 m en amont de la confluence avec la Deûme. Elle a ouvert le 26/12/1977 et fermé le 04/01/1996. Cette station a été gérée par l'unité d'hydrométrie Rhône-Alpes jusqu'à sa fermeture.

Les enregistrements de hauteurs sont disponibles sur toute la période d'ouverture de la station, cependant certaines années sont incomplètes. Les valeurs de débit instantané ne sont validées qu'à partir de 1979, et 3 années sont estimées douteuses selon la Banque Hydro. Néanmoins l'analyse des débits maximaux annuels sur ces 3 années n'a pas mis en évidence de valeurs incohérentes. Elles sont donc conservées pour l'analyse ultérieure des débits maximum annuels.

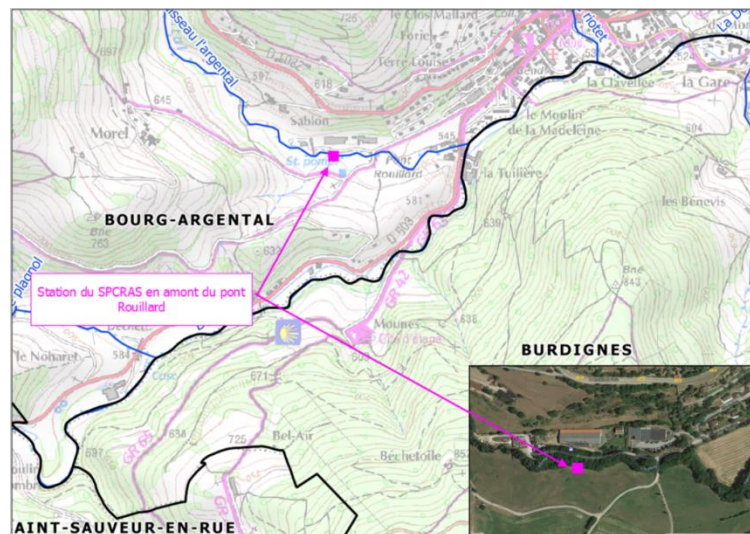


Figure 15 : Localisation de la station de l'Argental à Bourg Argental

Cette station ne couvrant pas les événements historiques étudiés dans le cadre de cette étude, et présentant une faible période de recouvrement avec les autres stations du bassin versant, elle n'est pas prise en compte dans l'analyse des débits caractéristiques exploitant le modèle pluie – débit.

b) Courbe de tarage

Le contrôle hydraulique de cette station était assuré par un seuil. Aucun jaugeage de hautes eaux n'a été réalisé sur cette station.

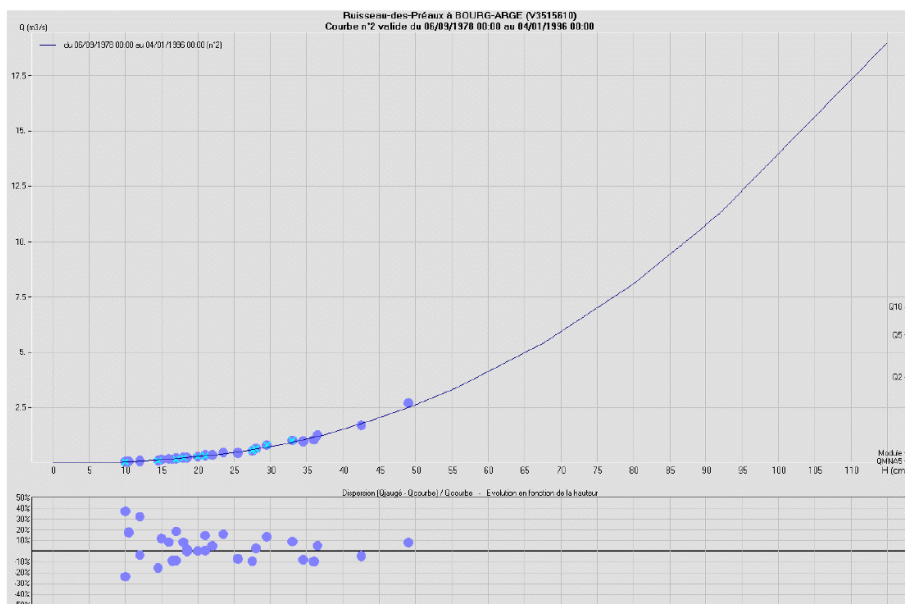


Figure 16 : Courbe de tarage de la station de Bourg-Argental

4.1.5 Le Ternay à Savas

a) Localisation et historique

La station du Ternay est située juste en amont du barrage du Ternay. Elle est ouverte depuis le 21/12/1993. Cette station est gérée par l'unité d'hydrométrie Rhône-Alpes depuis sa création.

Les enregistrements de hauteurs sont disponibles depuis l'ouverture de la station et présentent certaines années incomplètes néanmoins les valeurs de débit instantané sont toutes validées.

En hautes eaux, le site de mesure peut être contourné. Les débits maximums de crues peuvent donc être entachés d'une erreur.

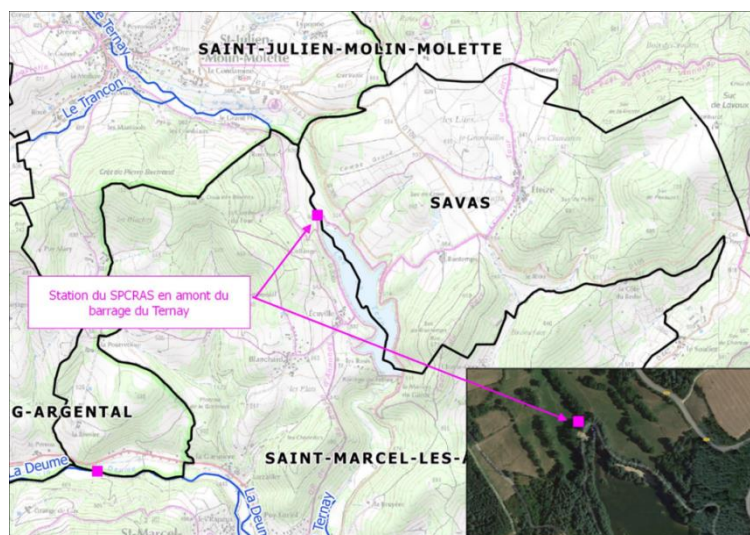


Figure 17 : Localisation de la station du Ternay à Savas

b) Courbe de tarage

Le contrôle hydraulique est stable cependant aucun jaugeage en hautes eaux n'a pu être effectué.

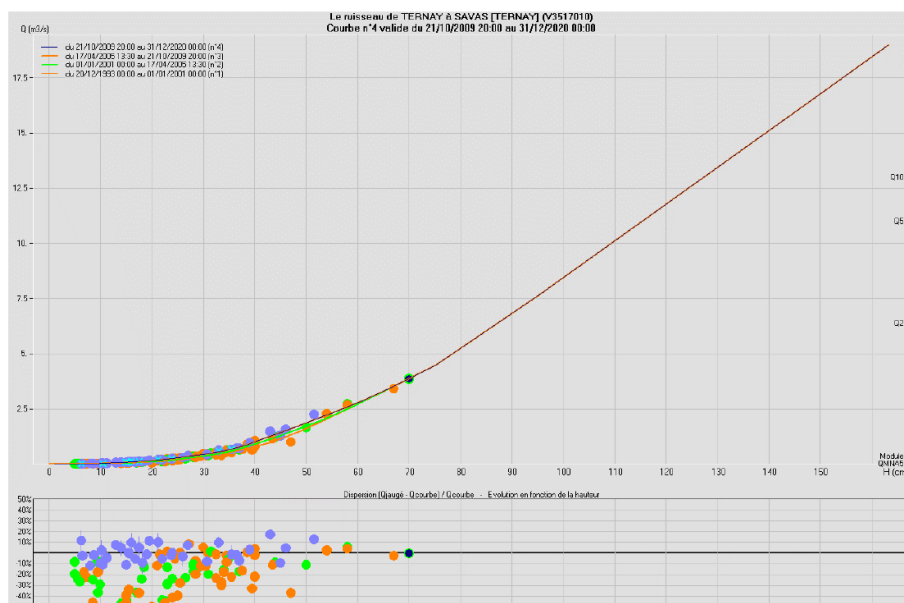


Figure 18 : Courbe de tarage de la station de Savas

4.1.6 La Valencize à Chavanay

a) Localisation et historique

La station de la Valencize était située à Malpas jusqu'aux crues de 2014 qui l'ont dégradé. La nouvelle station mise en place en 2016 par la DREAL est installée au lieu-dit Chorery (commune de Chavanay, sur la parcelle AK04).

Elle est ouverte depuis le 28/12/1977. Suite à la destruction du seuil par la crue du 4 novembre 2011, cette station a été arrêtée jusqu'à sa remise en service environ 1200 m en aval du 1^{er} site le 17/08/2016.

La disponibilité des données est fournie par la Banque Hydro. Les enregistrements de hauteurs sont disponibles depuis l'ouverture de la station et présentent certaines années incomplètes. Les valeurs de débit instantané sont toutes validées mais certaines années de mesures sont incomplètes et exclues de l'analyse des débits maximums annuels, il s'agit des années hydrologiques 1977 et 1988.

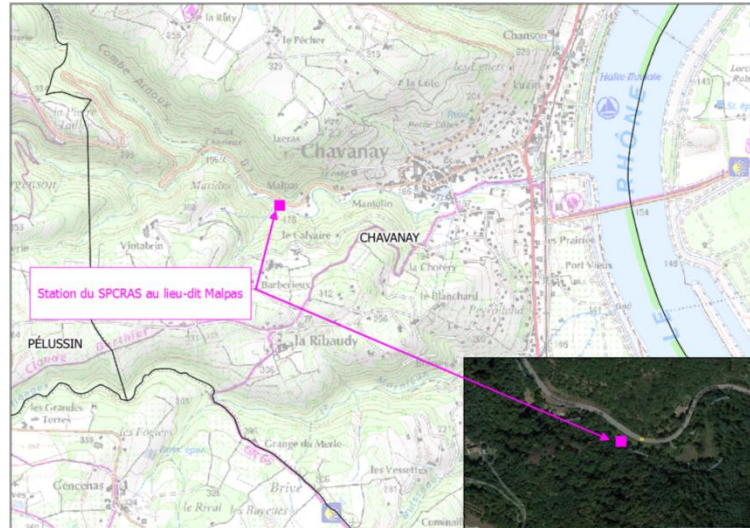


Figure 19 : Localisation de la station de la Valencize à Chavanay

Cette localisation concerne l'ancienne station hydrométrique, fermée fin 2014 et rouverte depuis le 17/08/2016 en aval de ce site, au lieu-dit Chorery :

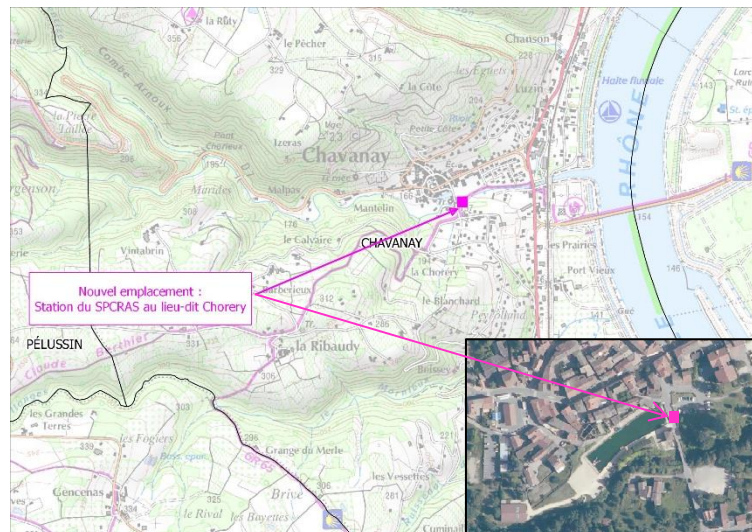


Figure 20 : Localisation de la nouvelle station de la Valencize à Chavanay

b) Courbe de tarage

Le contrôle hydraulique est stable et des jaugeages ont été réalisés jusqu'à des crues d'occurrence biennale. La courbe de tarage présentée ci-après est valable pour le 1^{er} site de mesure (avant son déplacement suite à la crue de novembre 2014) 1200 m en aval.

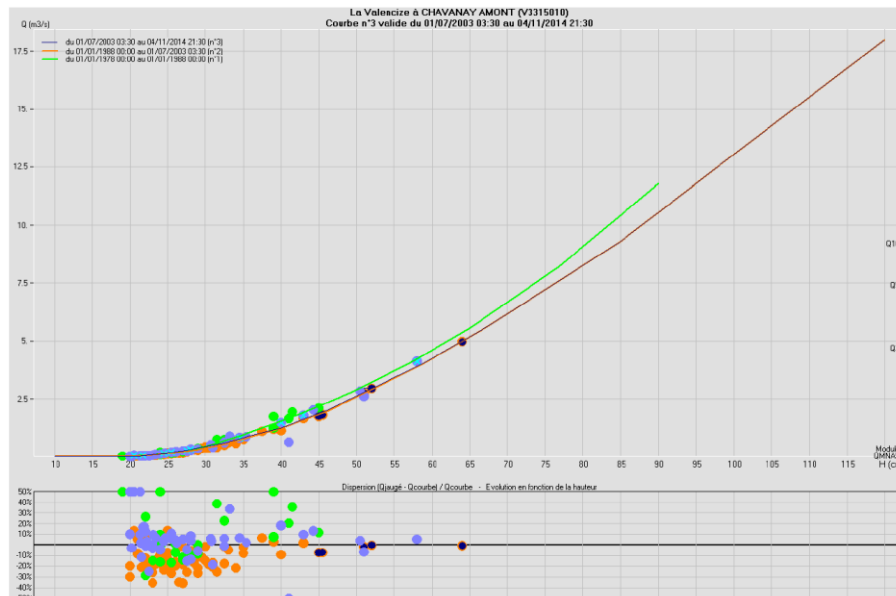


Figure 21 : Courbe de tarage de la station de Chavanay

4.1.7 Synthèse des mesures hydrométriques

Il ressort de cette analyse que **seule la station de Sarras sur la Cance dispose de données fiables en crue** :

- La Cance à Annonay : une chronique de données restreinte, une courbe de tarage incertaine en haute eau;
- La Déôme à Saint-Julien-Molin-Molette : débordements dans des champs d'inondation assez larges apparaissent assez tôt ; les débits de crues les plus forts ne sont pas enregistrés ;

L'étude a cependant intégré la ré-estimation faite des débits de pointe des deux crues les plus fortes de 1996 et 2003 (étude hydraulique du site de Faya dans le vallon de la Deûme à Annonay réalisées par Anteagroup en 2015) ; les chroniques historiques sont ainsi considérées comme fiables.

- L'Argental (Ruisseau des Préaux) à Bourg-Argental : données disponibles de 1977 à 1996 ; les crues récentes ne sont donc pas disponibles ;
- Le Ternay à Savas : en hautes eaux, le site de mesure peut être contourné ; les débits maximums de crues peuvent donc être entachés d'une erreur

Le tableau suivant synthétise la longueur des chroniques de débit max. annuels disponibles au niveau de chaque station.

	Code Station	Date ouverture	Date fermeture	Date de début des données disponibles	Date de fin des données disponibles	Longueur chronique des débits max annuels (années)
La Cance à Annonay	V3504010	01/01/1968	-	05/01/1998	-	13
La Déôme à Saint-Julien-Molin-Molette	V3515010	14/04/1994	-	14/04/1994	-	21
L'Argental à Bourg-Argental	V3515610	26/12/1977	04/01/1996	26/12/1977	31/12/1995	17

Le Ternay à Savas	V3517010	21/12/1993	-	21/12/1993	-	21
La Valencize à Chavanay	V3315010			01/01/1978	29/10/2014	36
La Valencize à Chavanay (Chorery)	V3315010	17/08/2016	-	17/08/2016	-	0
La Cance à Sarras	V3524010	31/12/1964	-	17/10/1965*	-	20

**débits maxima instantanés annuels ; les débits à pas de temps variable (permettant de reconstituer les hydrogrammes de crue) ne sont disponibles qu'à partir de 1990*

Tableau 3 : Synthèse des chroniques disponibles au niveau des stations hydrométriques

L'exploitation du modèle pluie – débit, notamment sur les événements retenus pour le calage des modèles, permettra d'apporter un regard critique complémentaire sur la cohérence des estimations des débits de crue :

- Cohérence entre les stations, au regard de la dynamique de propagation des crues,
- Analyse critique des courbes de tarage.

4.2 PLUVIOMÉTRIE

4.2.1 Stations sol

a) Stations gérées par le SPC Grand Delta

Le SPC Grand Delta dispose sur ou à proximité du secteur d'étude de deux pluviomètres.

Nom	Localisation	Ouverture	Fermeture	Producteur
Annonay – subdi	Davézieux	1991 *		SPCGD
St Pierre sur Doux	St Pierre sur Doux	1999		SPCGD

*données existantes en base SPCGD depuis 1994

Etant utilisées uniquement pour la prévision des crues en temps réel, aucune validation de ces données n'est réalisée.

b) Stations gérées par Météo France

Le tableau ci-après présente les postes Météo France présents sur l'ensemble du bassin versant de la Cance ou à proximité de ce dernier.

INSEE	Nom	Ouverture	Fermeture	Altitude	Type	Producteur
07010001	ANNONAY	01/07/1973		356	4	METEO-FRANCE
07010002	ANNONAY (ANNONAY LES PILLES)	01/01/1959	30/06/1973	384	4	METEO-FRANCE
07010003	ANNONAY (ANNONAY MALLEVAL COLLEGE)	01/04/1930	31/05/1966	350	4	METEO-FRANCE
07010004	ANNONAY	01/01/1858	31/12/1958	350	4	METEO-FRANCE
07172002	PEAUGRES (PEAUGRES RAD)	01/05/2003		480	1	METEO-FRANCE
07185001	PREAUX (PREAUX SA)	01/01/1995		525	2	ASSOCIATION OU COMMISSION METEOROLOGIQUE DEPARTEMENTALE
07225001	SAINT-CLAIR (ST-CLAIR S.A.)	01/10/1994	30/04/2003	420	3	METEO-FRANCE
07228001	SAINT-DESIRAT (ST-DESIRAT SA)	01/05/1994		275	3	PROTECTION DES VEGETAUX
07265001	SAINT-MARCEL-LES-ANNONAY	01/01/1919		484	4	METEO-FRANCE
07265002	SAINT-MARCEL-LES-ANNONAY	01/01/1864	31/12/1870	516	4	METEO-FRANCE
07265003	SAINT-MARCEL-LES-ANNONAY	01/09/2010		445	4	ASSOCIATION OU COMMISSION METEOROLOGIQUE DEPARTEMENTALE
07347001	VOCANCE	01/01/1918		529	4	METEO-FRANCE
42018001	BESSEY	01/06/1993		425	3	ASSOCIATION OU COMMISSION METEOROLOGIQUE DEPARTEMENTALE
42023003	BOURG-ARGENTAL (BG-ARGENT - MAN)	01/01/1928		550	4	METEO-FRANCE
42023004	BOURG-ARGENTAL	01/12/1994		515	3	CONSEIL GENERAL OU REGIONAL
42056001	CHAVANAY	01/06/1919		192	4	METEO-FRANCE
42067001	COLOMBIER (COLOMBIER CAFE CHAPARD)	01/01/1928	31/12/1958	850	4	METEO-FRANCE
42101001	GRAIX (PILAT GRAIX)	18/07/2005		1167	1	METEO-FRANCE
42168001	PELUSSIN	01/06/1966		450	4	METEO-FRANCE
42168003	PELUSSIN (PELUSSIN AGGLOMERATION)	01/01/1876	31/12/1882	364	4	METEO-FRANCE
42168004	PELUSSIN (CRET-DE-OEILLON)	01/12/1994	21/11/2012	1370	3	ASSOCIATION OU COMMISSION METEOROLOGIQUE DEPARTEMENTALE
42224003	SAINT-GENEST-MALIFAUZ (COL REPUBLIQUE)	01/12/1992		1066	3	DIRECTION DEPARTEMENTALE DE L'EQUIPEMENT-DIRROUTE
42272001	SAINT-PIERRE-DE-BOEUF (ST PIERRE DE BO)	01/01/1950		140	4	METEO-FRANCE
42287001	SAINT-SAUVEUR-EN-RUE (ST SAUVEUR EN R)	01/01/1947		783	4	METEO-FRANCE
42306001	TARENTEISE	01/01/1863		1025	4	ELECTRICITE DE FRANCE
69064001	CONDRIEU	01/01/1957	31/03/1978	145	4	METEO-FRANCE
69064002	CONDRIEU	01/01/2008		155	4	METEO-FRANCE
69253001	TUPIN-ET-SEMONS	01/04/1978	01/01/2008	150	4	PROTECTION DES VEGETAUX

Tableau 4 : Stations de mesures pluviométriques gérées par Météo France

Les caractéristiques propres à chaque type de station sont les suivantes :

Stations au pas de temps horaire ou inférieur :

- 0 : stations synoptiques professionnelles avec observation sur place,
- 1 : stations synoptiques non professionnelles ou observation à distance,
- 2 : stations automatiques temps réel,
- 3 : stations automatiques temps différé,

Stations au pas de temps journalier :

- 4 : stations manuelles,
- 5 : autres stations.

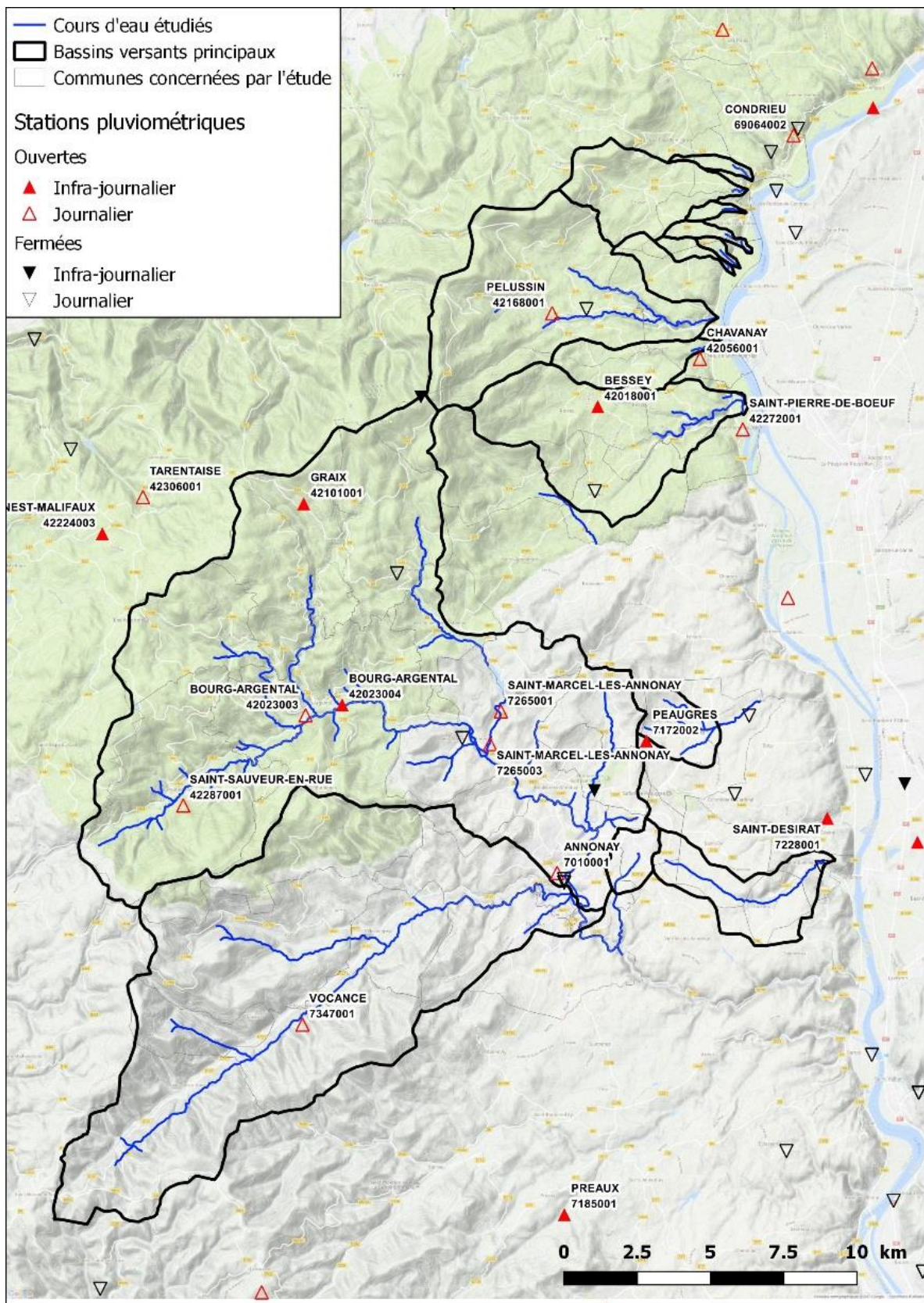


Figure 22 : Localisation des stations Météo France

4.2.2 Images radar

Les bassins versant des cours d'eau étudiés sont couverts depuis 1997 par le radar de St Nizier situé dans le département du Rhône.

Les données radar (produits Météo France) disponibles sont les suivantes :

- **réflectivité brute** au pas de temps 5 minutes,
- **lames d'eau** au **pas de temps 5 minutes** : Panthère : simple recalage par mesures au sol,
- **lames d'eau** recalibrées au **pas de temps horaire** :
 - COMEPHORE ; données disponibles entre 1997 et 2007, exploitant les dernières évolutions des logiciels de traitement de la réflectivité brute,
 - Antilope : données traitées en temps différé à J+1, fusion des données radar et des pluviomètres ; données disponibles au pas de temps horaire depuis 2006.

4.2.3 Pluies SHYREG

L'Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (IRSTEA) a développé une méthodologie permettant de disposer d'une interpolation spatiale des estimations de précipitations pour différentes durées et périodes de retour, dénommée SHYREG. Celle-ci fournit une estimation des quantiles de pluies pour des cumuls allant de 1 heure à 72 heures et des périodes de retour de 2 à 100 ans, disponibles sur une grille de 1km de résolution. Ces estimations sont obtenues par simulations de longues chroniques de pluie à l'aide d'un générateur stochastique de pluies horaires.

5 ANALYSE DE LA PLUVIOMÉTRIE

Une analyse de la variabilité spatiale de la pluie à l'échelle du bassin versant de la Cance est réalisée sur la base des données disponibles.

5.1.1 Pluie moyenne annuelle

La pluie moyenne annuelle est déterminée à partir des données AURELHY (Analyse Utilisant le Relief pour l'Hydrométéorologie) de Météo France. Cette méthode se base sur les relations statistiques liant le relief et les précipitations pour générer une carte régionale des précipitations. Les données des pluies de 1971 à 2000 ont été utilisées pour estimer les moyennes mensuelles et la moyenne annuelle des précipitations. Ces dernières sont disponibles sur une grille de 1 km de résolution.

Une moyenne des pluies annuelles est effectuée sur chaque bassin versant contrôlé au droit des stations hydrométriques présentées dans le §).

Localisation	Deûme à Saint-Julien-Molin-Molette	Cance à Annonay	Cance à Sarras	Ternay à Savas	Argental à Bourg-Argental	Valencize à Chavanay
Surface BV (km ²)	106	125	380	26	22	36
Pluie interannuelle (mm)	1011	984	938	1008	1034	945

Tableau 5 : Pluie moyenne annuelle en mm

5.1.2 Quantiles des pluies SHYREG

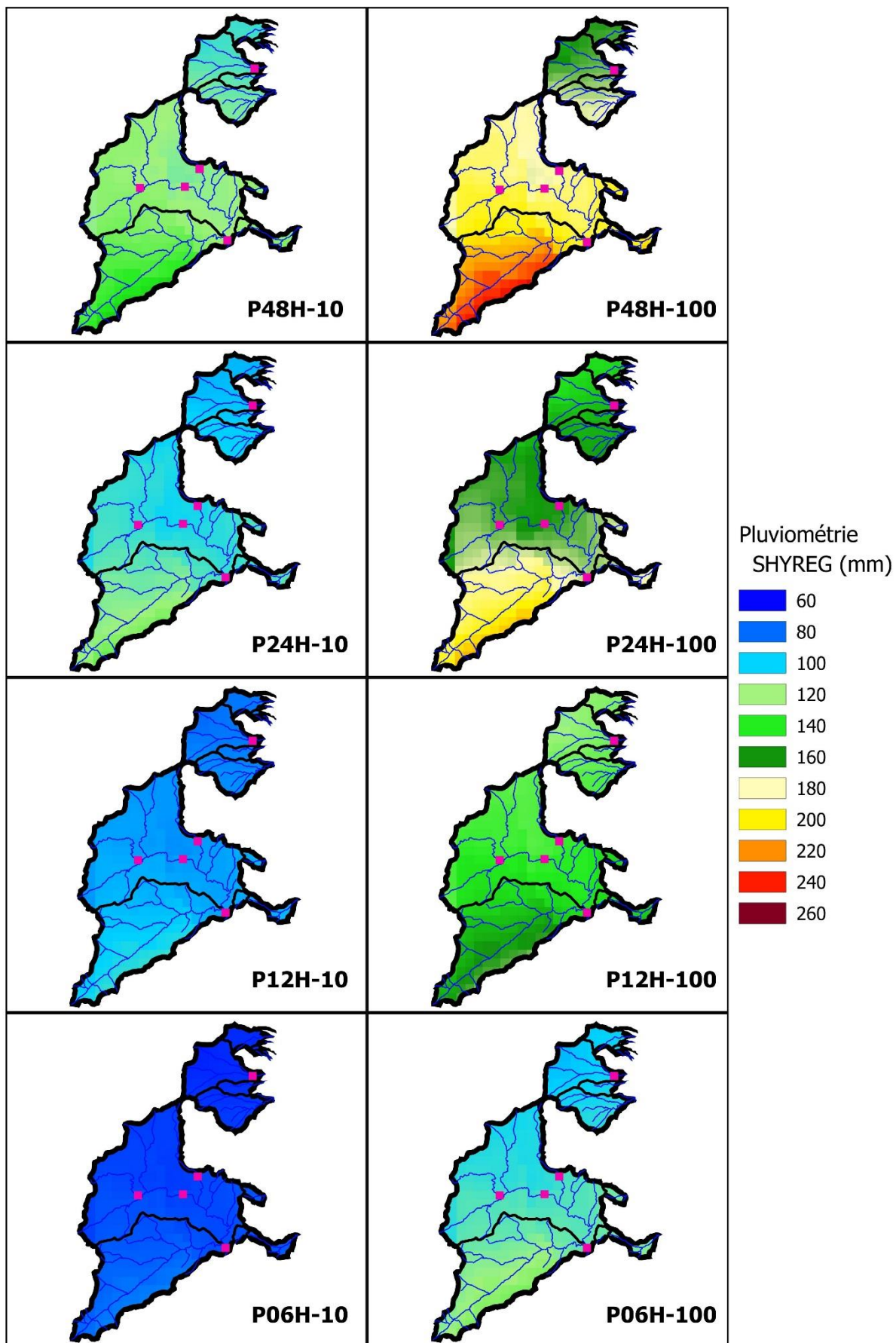
Cette analyse s'appuie sur les données SHYREG.

Les cartes page suivante illustrent la variabilité spatiale à l'échelle des bassins versants des cumuls pluviométriques de période de retour décennale et centennale pour différentes durées de pluie (6h, 12h, 24h et 48h).

A l'échelle de chaque grand bassin versant (Cance, Deûme, Torrenson et affluents du Rhône nord), la variabilité spatiale des cumuls est très peu marquée, quelles que soient la période et la durée considérée.

Les cumuls sont cependant systématiquement supérieurs sur la Cance amont et les plus faibles sur l'aval au niveau de la plaine du Rhône à l'est, ce qui est également observé sur la majorité des événements historiques analysés (cf. Événements retenus).

Nous retiendrons donc pour la définition des événements pluviométriques synthétiques pris en compte pour la caractérisation de l'aléa inondation des cumuls pluviométriques homogènes sur la Cance amont d'une part, et sur les autres bassins versants d'autre part (cf. Définition des pluies de projet).



6 CONSTRUCTION DU MODÈLE PLUIE-DÉBIT

6.1 DÉCOUPAGE EN SOUS BASSINS VERSANTS

La modélisation pluie-débit s'appuie sur un découpage fin des sous bassins versants drainés par les cours d'eau étudiés.

Le modèle hydrologique s'appuie sur un découpage en **138 sous bassins versants**, présentés sur la carte ci-après.

Deux échelles de bassins versants sont définies :

- Les bassins versants amont des cours d'eau modélisés, et souvent en dehors des communes concernées par la présente étude,
- Les bassins versants très détaillés définissant les apports intermédiaires des cours d'eau modélisés.

Le modèle pluie - débit utilise des **formulations spécifiques** pour les bassins versants à dominante **rurale** (forêts, prairies, cultures) et à dominante **urbaine** (centres urbains, zones pavillonnaires, zones industrielles, zones d'activité ...).

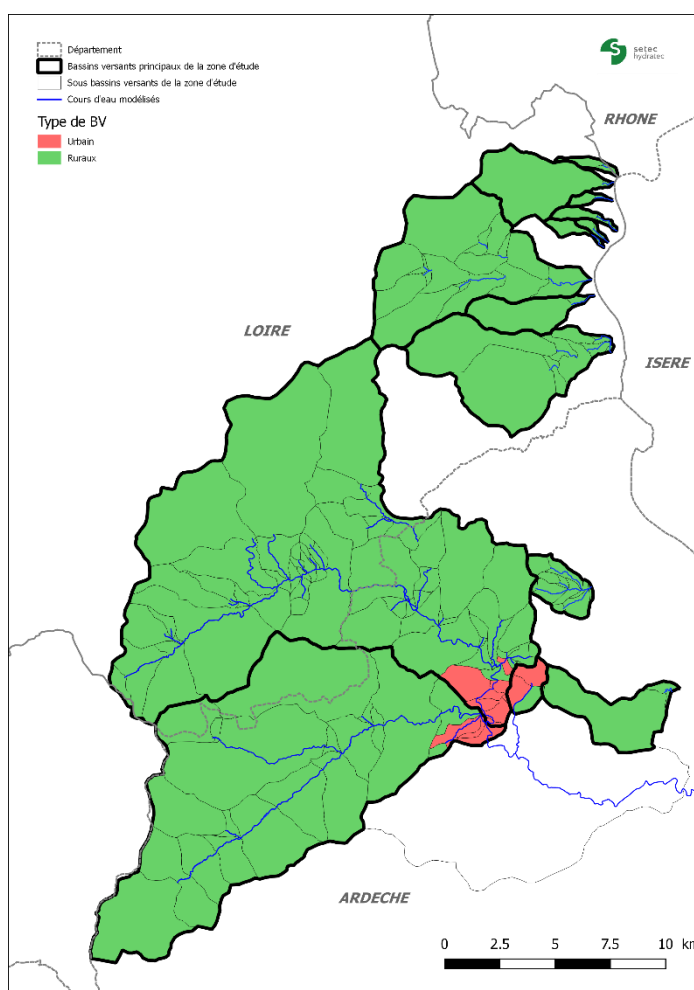


Figure 23 : Type de sous bassin versant

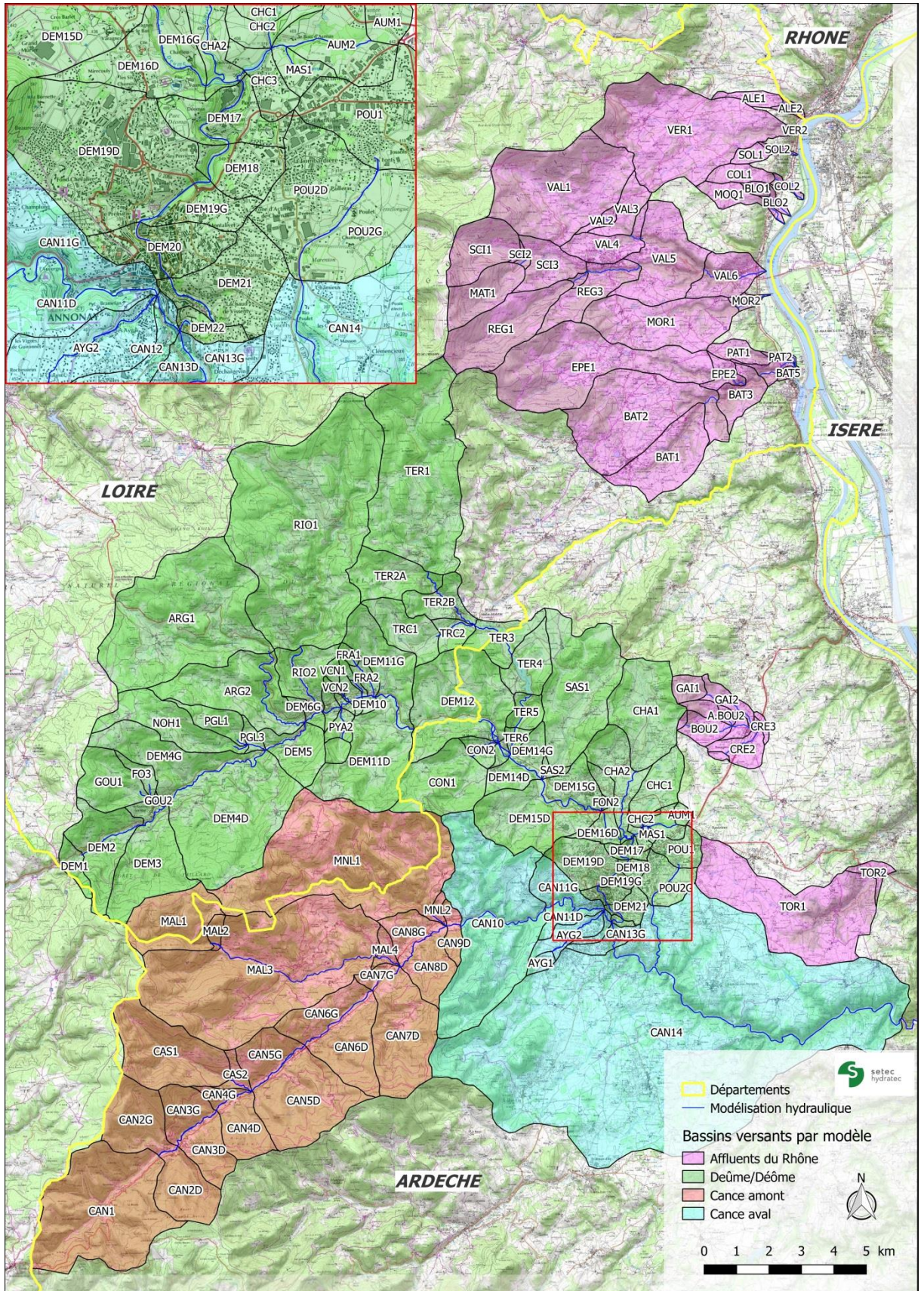


Figure 24 : Sous-bassin versants du territoire d'étude

Les paramètres physiques régissant les phénomènes de production de débit ont été analysés et cartographiés afin d'orienter le découpage des sous bassins versants en zone élémentaires constituant le modèle pluie-débit et l'extrapolation des débits caractéristiques de crue sur les cours d'eau non jaugés :

- Topographie et pentes : BD Alti IGN,
- Géologie (cartes BRGM au 1/50 000^{ème}), cf. §,
- Densité du chevelu hydrographique,
- Occupation du sol : base de données Corine Land Cover 2012 (cf. §).

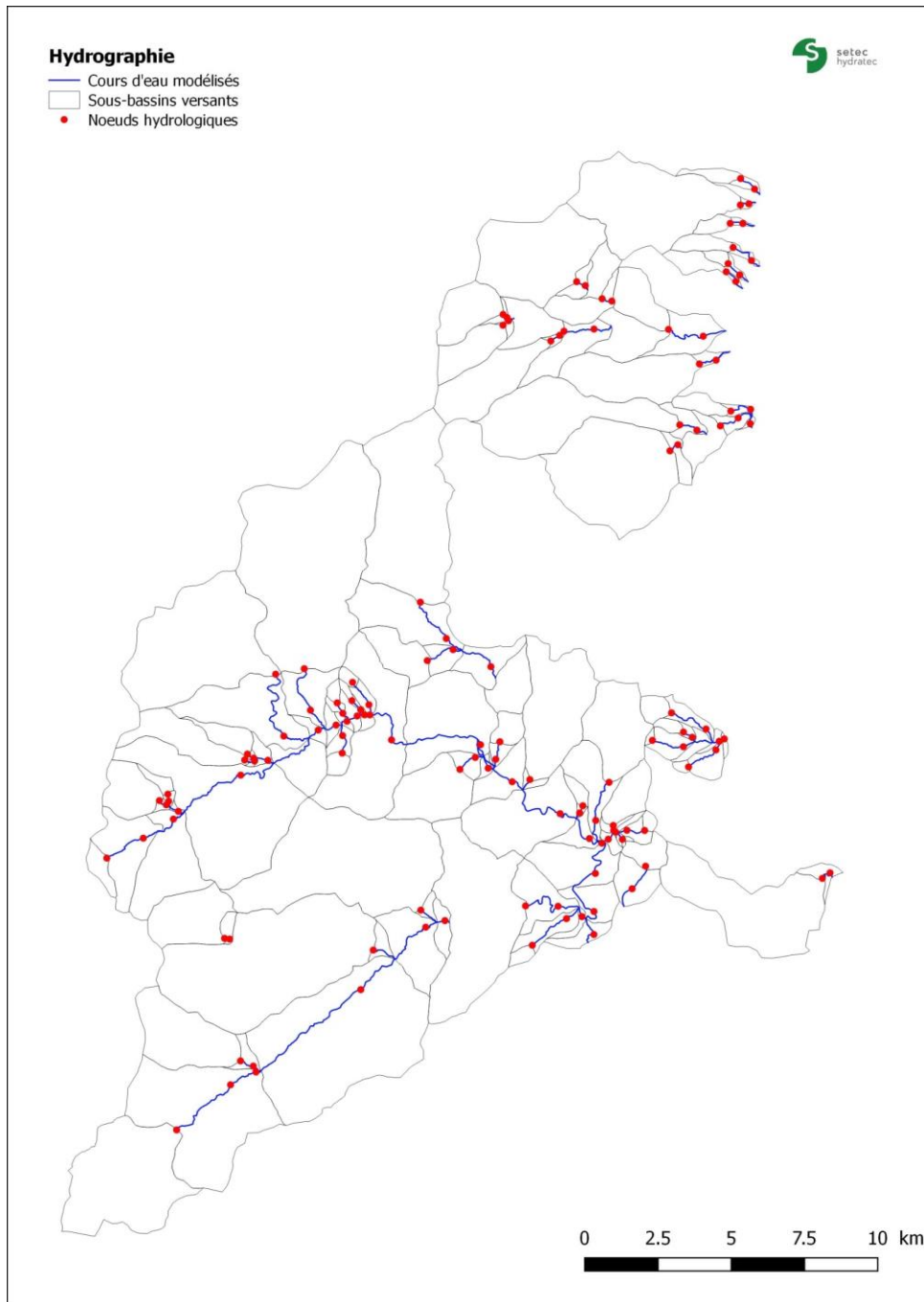


Figure 25 : Découpage des bassins versants principaux en sous bassins versants

6.2 SPATIALISATION ET PONDÉRATION DES PLUIES

Suivant les données disponibles, la méthodologie de spatialisation des pluies sur le bassin versant est la suivante.

6.2.1 Pluies radar

Les lames d'eau interceptées par chaque sous bassin versant sont directement calculées à partir de la grille radar (pixels de 1 km²).

6.2.2 Pluies de projet

L'affectation de lames d'eau à chaque sous bassin versant à partir des données enregistrées aux postes pluviométriques est effectuée par le logiciel hydra par interpolation suivant la méthode de Thiessen.

6.3 MODÉLISATION PLUIE BRUTE – DÉBIT

Le présent chapitre présente les formulations retenues pour la modélisation pluie – débit. Le paramétrage de ces modèles est précisé au chapitre Calage du modèle pluie – débit

La pluie brute correspond à la pluie interceptant le sol. Une partie de cette pluie s'évapore, et une autre s'infiltre dans les couches de sol sans revenir au cours d'eau ; la fraction de pluie restante, qui « ruisselle » vers les cours d'eau, est appelée pluie nette.

Pour la transformation pluie brute – débit, des formulations spécifiques seront utilisées pour les bassins versant ruraux et les bassins versants urbains.

6.3.1 Sous bassins versants ruraux

a) Définition de la pluie nette

La loi de production de pluie nette employée est dérivée de la méthode SCS (Soil Conservation Service). Le schéma conceptuel de ce modèle est présenté figure 1.

Dans ce modèle, le sol est décomposé en deux couches superposées :

- la réserve facilement utilisable (RFU),
- la couche de sol intermédiaire (J),

La RFU est la couche de sol directement alimentée par la pluie brute (données journalières mesurées par Météo France) et qui se vidange par évapotranspiration (ETP). En cas de saturation, l'excédent rejoint la couche de sol intermédiaire.

Les valeurs de l'ETP qui ont été prises sont celles définies par défaut dans le modèle de simulation et qui correspondent à des moyennes interannuelles.

La couche de sol intermédiaire, alimentée par l'excédent de la couche RFU, se vidange par ressuyage, par ruissellement, et aussi par pertes vers les couches profondes.

L'hypothèse fondamentale consiste à supposer que la couche de sol intermédiaire se comporte comme une « éponge » dont le taux d'absorption varie en sens inverse du niveau d'imbibition : la partie non absorbée ruisselle. Par ailleurs, en l'absence de précipitation, le ressuyage du sol se fait lentement. Le débit de ressuyage est supposé proportionnel à la hauteur de lame d'eau accumulée dans le sol.

Ce modèle est défini par 5 paramètres :

- RFU : hauteur de la réserve facilement utilisable exprimée en mm.
- J : hauteur d'interception potentielle du sol en mm.
- K : temps de réponse du bassin au ruissellement, en jours.
- Tr : temps de réponse du bassin au ressuyage, en jours.
- f_0 : perte par infiltration vers les couches profondes en mm/j.

Ce modèle conceptuel a été construit initialement pour les sols peu perméables. L'expérience montre cependant qu'il peut également être applicable au cas de sol très perméables : on supprime le ruissellement en donnant une grande valeur à J et on règle Tr pour obtenir le coefficient de restitution désiré de la nappe lorsqu'elle est en état de surcharge par les apports pluvieux.

b) Transformation lame d'eau nette – débit :

La lame d'eau ruisselée Pr est décomposée en deux parties :

- un ruissellement rapide Pruis1,
- un ruissellement lent Pruis2.

Le ruissellement rapide est un ruissellement de surface provoqué par la saturation locale du sol : il mobilise une surface croissante avec le taux moyen de saturation du sol J_t/J_0 (avec J_t hauteur d'interception disponible à l'instant t et J_0 la hauteur d'interception potentielle initiale).

Le ruissellement lent est un écoulement de drainage à travers le sol : c'est l'écoulement dominant quand le sol est peu saturé.

Pour traduire ce phénomène, on pose :

- $\text{Pruis1} = \alpha \times \text{Pr}$
- $\text{Pruis2} = (1 - \alpha) \times \text{Pr}$

Le coefficient alpha obéit à une loi de la forme : $\alpha = (J/J_0) * \beta$, ou β est un paramètre d'ajustement à caler. La forme de cette loi est justifiée par le fait que quand le sol est faiblement saturé les écoulements en subsurface dominant, et quand le sol devient saturé c'est le ruissellement en surface qui domine. Cette formulation rejoint le concept de « surfaces contributives » qui est à la base de la formulation développée dans TOPMODEL (Beven et al. , 1995).

La transformation retenue pour traduire le ruissellement rapide est celle de l'hydrogramme unitaire. Cette méthode consiste à transformer chaque élément de ruissellement potentiel

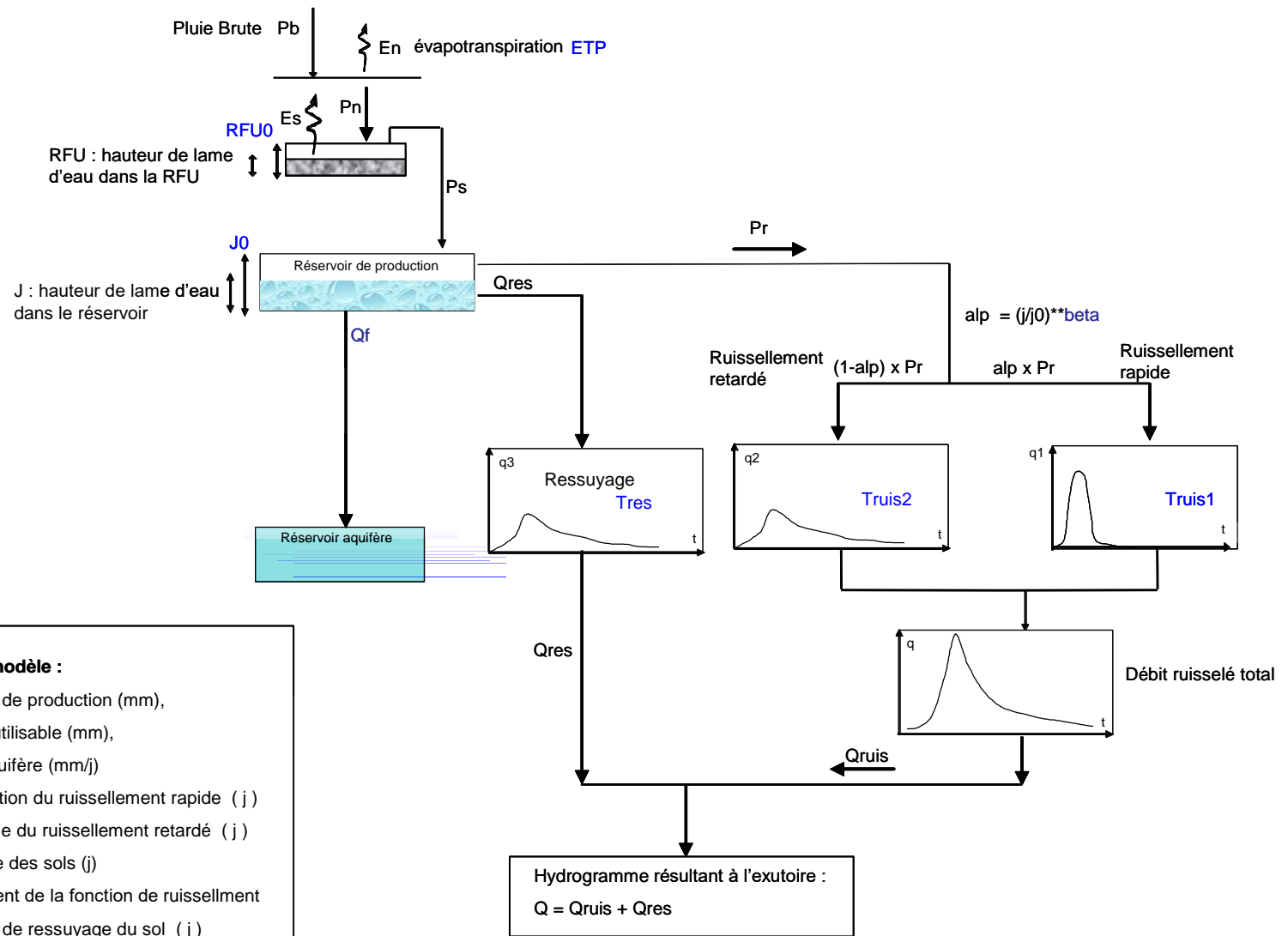
en un hydrogramme élémentaire et à sommer les différents hydrogrammes pour obtenir l'hydrogramme de crue.

L'hydrogramme unitaire ici retenu est celui proposé dans la méthode SOCOSE. La méthode SOCOSE est le résultat, obtenu en 1980, d'une synthèse nationale de l'observation de près de 5000 crues sur 137 petits bassins versants en milieu rural, réalisée par le ministère de l'agriculture.

Le ruissellement lent est gouverné par une loi de réservoir linéaire de la forme :

- $Q_{ruis2} = h_2 / T_{ruis2}$
- $dh_2 / dt = P_{ruis2} - Q_{ruis2}$

Figure 26 : Schéma conceptuel du modèle pluie - débit retenu



Paramètres de calage du modèle :

- J0** : capacité du réservoir de production (mm),
- RFU** : Réserve facilement utilisable (mm),
- Qf** : débit de fuite vers aquifère (mm/j)
- Truis1** : temps de concentration du ruissellement rapide (j)
- Truis2** : temps caractéristique du ruissellement retardé (j)
- Tres** : temps de ressuyage des sols (j)
- beta** : coefficient d'ajustement de la fonction de ruissellement
- Tres** : temps caractéristique de ressuyage du sol (j)

6.3.2 Sous bassins versants urbains

a) Définition de la pluie nette : loi de Horner

Cette loi permet de représenter un coefficient de ruissellement de plus en plus important lorsque l'intensité de l'événement pluvieux croît ; pour un événement très intense, le coefficient de ruissellement tendra vers le coefficient d'imperméabilisation.

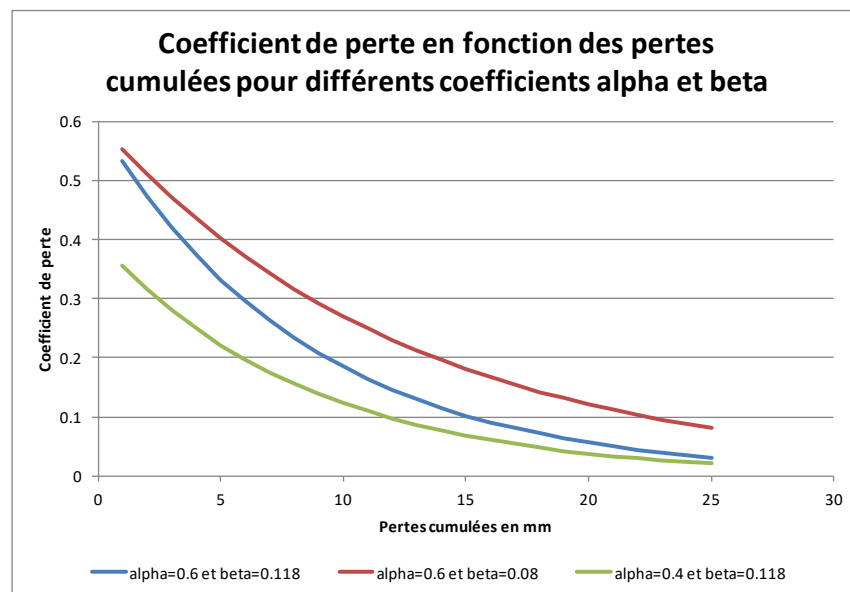
L'évolution au cours du temps des pertes liées au taux d'imperméabilisation constaté à la surface du bassin versant, s'écrit, suivant la formule de Horner :

$$C_p(t) = \alpha * \exp(-\beta * P_a(t))$$

Avec $C_p(t)$: Coefficient de perte durant un pas de temps dt

$P_a(t)$: pertes cumulées depuis le début de l'averse (mm)

α et β sont les paramètres de calage du modèle. Le coefficient α exprime les pertes globales au début de l'averse (évapotranspiration et infiltration), alors que β module ce coefficient de perte au cours du temps (en fonction des pertes cumulées). Le graphique présenté ci-après permet de visualiser l'influence des coefficients α et β .



La lame d'eau qui ruisselle $Q_e(t)$ est reliée à l'intensité de la pluie $i(t)$ et au coefficient de perte C_p par l'expression :

$$Q_e(t) = C_{imp} * S * (1 - C_p) * i(t) * \frac{1}{360}$$

Avec, $Q_e(t)$: exprimé en m^3/s

C_{imp} : Coefficient d'imperméabilisation

$i(t)$: Intensité de la pluie en mm/h

S : Surface du bassin versant en ha

b) Transformation lame d'eau nette – débit

La schématisation retenue est de type réservoir linéaire, avec un temps de réponse calculé suivant la formulation de Desbordes. La méthode du réservoir linéaire considère chaque bassin versant comme un réservoir qui temporise l'arrivée des pluies pour en restituer du débit tout en conservant le volume ; cette temporisation suit une loi linéaire. La formulation proposée par Desbordes pour le calcul du temps de réponse a été validée sur des mesures expérimentales.

6.4 CALAGE DU MODÈLE PLUIE – DÉBIT

6.4.1 Méthodologie

Le modèle pluie – débit est calé après finalisation du modèle hydraulique, qui assure le routage des apports hydrologiques calculés au droit de chaque sous bassin versant par le modèle pluie-débit.

Le calage du modèle hydrologique est mené parallèlement à celui du modèle hydraulique ; des écarts entre les hauteurs d'eau calculées et les repères de crue mesurés trop importants pour être corrigés par un paramétrage physique du modèle hydraulique sont généralement liés à une mauvaise estimation des apports hydrologiques.

Le calage est réalisé sur les données hydrométriques et limnimétriques disponibles, après propagation des hydrogrammes produits par le modèle pluie-débit dans le modèle hydraulique. Seuls deux repères de crue sont disponibles pour les crues de calage retenues (déc. 2003 et nov. 2014) ; cela permet de réaliser localement le calage du modèle hydraulique et de garantir ponctuellement le bon ordre de grandeur des débits considérés, mais n'est pas suffisant pour un calage des modèles hydrauliques sur l'ensemble du territoire.

6.4.2 Définition des paramètres de calage

a) Bassins versants à dominante rurale (méthode SCS)

Les variables de calage de la méthode SCS sont :

- la hauteur d'interception potentielle J (mm),
- les temps de réponse au ruissellement direct et au ressuyage.

Ces deux variables dépendent principalement de trois paramètres :

- la topologie du sous-bassin,
- la nature des terrains (cf. géologie simplifiée à l'échelle des sous bassins versants),
- l'occupation du sol (Corine Land Cover).

Le temps de réponse au ruissellement direct est calculé par différentes formules classiques, intégrant la pente et la morphologie de chacun des sous bassins versants, puis calibré au droit des stations de mesures sur des événements historiques ; cette méthode permet d'extrapoler les valeurs sur les bassins versants non jaugés.

La définition de la hauteur d'interception potentielle J s'appuie sur les abaques de l'USDA Soil Conservation Service pour la définition du Curve Number (CN). Deux paramètres sont retenus, pour des conditions initiales de sols peu saturés :

- L'occupation du sol (cultures, prairies, bois, secteurs urbains), telle que définie au §Occupation du sol ;
- La capacité d'infiltration du sol définie par 4 catégories, présentées des plus faibles aux plus fortes capacités de production de ruissellement (sols de groupes A à D, cf. §Rôle de la géologie sur la genèse des écoulements) ; **en l'absence de données pédologiques sur les bassins versants étudiés et au vu de la relative homogénéité de la perméabilité des sols (absence de sols totalement perméables), ce paramètre n'est pas pris en compte ici.**

Les valeurs de CN associées à chacune de ces conditions d'occupation du sol sont données dans le tableau ci-après (type de sol B des abaques de l'USDA).

Occupation du sol	CN référence
Cultures	87
Prairies	77
Bois	73
Zones urbaines	91

Tableau 6 : Valeurs de CN de référence en fonction de l'occupation du sol (abaques USDA)

La hauteur d'interception potentielle J est liée au Curve Number par la formule suivante :

a) Bassins versants à dominante urbaine (méthode Horner)

La principale variable de calage de la méthode de Horner est le coefficient d'imperméabilisation.

Les valeurs des coefficients d'imperméabilisation par type d'occupation du sol sont issues de la bibliographie.

La table de correspondance entre typologie d'occupation du sol (définie au §Occupation du sol) et coefficient d'imperméabilisation suivante est appliquée :

- les secteurs urbanisés : 0,7
- les secteurs non urbanisés :
 - les secteurs de cultures : 0,2
 - les secteurs de prairies et zones naturelles non boisées : 0,1
 - les zones boisées : 0,05
 - les zones en eau : 0,9

b) Ajustement et calage des paramètres

Ce premier paramétrage est ajusté dans la phase de calage par application d'un coefficient de correction homogène sur l'ensemble des sous bassins versants ; cette méthodologie permet d'intégrer dans cette étape de calage la variabilité de capacité de production de ruissellement liée aux caractéristiques physiques de chaque sous bassin versant.

Les tableaux de synthèse du paramétrage retenu pour chaque sous bassin versants sont présentés en **ANNEXE** .

c) Gestion des confluences

Aucune hypothèse particulière n'est prise concernant les confluences. Le modèle hydraulique se charge du routage des hydrogrammes générés par la modélisation pluie - débit. Cette méthodologie permet d'intégrer de fait les déphasages de pointes de crue entre les différents cours d'eau, liées à leur morphologie (caractéristiques des bassins versants amont, dynamique de propagation des crues, ...).

6.4.3 Événements retenus

a) Présentation générale et données pluviométriques exploitées

Le calage du modèle pluie-débit est réalisé sur 6 événements historiques sélectionnés parmi les plus fortes crues enregistrées sur les cours d'eau étudiés.

Evénements retenus	Cance (Annonay) - m3/s	Cance (Sarras) - m3/s	Déôme (Saint-Julien-Molin-Molette) - m3/s	Ternay (Savas) - m3/s	Argental (Bourg-Argental) - m3/s	Valencize (Chavanay) - m3/s
23/10/1999	37.8	208	382	9.3	-	5.2
25/11/2002	37.4	182	43.7	11.1	-	8.6
02/12/2003	74.5	388	117*	16	-	17.3
02/11/2008	<u>24</u>	<u>76</u>	51.3	9.3	-	10.1
13/10/2014	47.9	<u>240</u>	<u>43</u>	<u>9.9</u>	-	14.3
04/11/2014	<u>44.7</u>	498	50.5	15.4	-	-

* débits reconstitués par Anteagroup dans le cadre de l'étude hydraulique du site de Faya dans le vallon de la Deûme à Annonay - 2015

Tableau 7 : Evénements retenus (les valeurs de débits soulignées ne correspondent pas au maximum enregistré de l'année hydrologique)

Afin de tenir compte de l'état de saturation des sols au moment de l'épisode de pluie intense générant la crue, une modélisation hydrologique de la période préparatoire commençant le 1^{er} septembre précédent la crue est effectuée à partir des pluies journalières enregistrées à la station d'Annonay. Cette simulation définit des états de sol pris en compte au démarrage du calcul hydrologique de la période intense pour laquelle la pluviométrie est définie par les images radar présentées précédemment.

Les **données pluviométriques exploitées** pour les périodes de précipitations intenses sont les données radar Météo France recalibrées au pas de temps horaire (cf.) :

- Données COMEPHORE pour les événements antérieurs à 2008 (inclus),
- Antilope pour les événements postérieurs à 2008.

L'ANNEXE

PRÉSENTE LE DÉTAIL DES HYÉTOGRAMMES MESURÉS AU PAS DE TEMPS 1 HEURE.

Les phénomènes météorologiques à l'origine des événements historiques peuvent être classés en deux catégories :

- les épisodes pluvieux de longue durée (entre 30h et 48h) caractérisés par des intensités pluviométriques moyennes (de l'ordre de 10 à 15 mm/h) mais soutenues durant la quasi-totalité de l'évènement. C'est le cas des événements de novembre 2002, décembre 2003 et novembre 2014.
- les épisodes pluvieux de courte durée (entre 10h et 20h) caractérisés par des intensités pluviométriques fortes (de l'ordre de 30 mm/h) pendant des laps de temps courts (entre 2 et 3h). C'est le cas des événements d'octobre 1999, novembre 2008 et octobre 2014.

Sont présentés ci-après les comparaisons faites entre les cumuls issus de l'imagerie radar d'une part, et ceux mesurés au sol au droit des stations Météo France.

Les résultats sont synthétisés dans les pages suivantes sur la base des cumuls horaires, dans un tableau

d'une part, et sur un support cartographique rappelant la répartition de la pluviométrie fournie par l'imagerie radar disponible dans

l'ANNEXE Les valeurs des imageries radar sont injectées dans le modèle pluie-débit, au pas de temps 1 heure.

Poste	Bassin versant	Pluvio (mm)	Radar (mm)	Ecart
GRAIX	Deûme (Riotet)		51.6	
PEAUGRES	Crémieux		81.2	
ST-CLAIR S.A.	Deûme		70.2	
BESSEY	Epervier	41.6	47.7	15%
BOURG-ARGENTAL	Deûme	53.8	59.0	10%
Annonay subdi	Cance	72.0	62.4	-13%
Saint-Pierre-sur-Doux	Cance amont		94.5	

b) Événement du 23 octobre 1999

L'évènement du 23 octobre 1999 est un évènement de courte durée (environ 10 h). Il a traversé les bassins versant étudiés sur un axe sud-ouest / nord-est. Cet épisode présente une pluviométrie hétérogène à l'échelle des bassins versants étudiés : les cumuls maximaux sont enregistrés sur l'amont du bassin versant de la Cance (jusqu'à 125 mm).

Cet épisode a provoqué une réaction du même ordre de grandeur en termes de débit de pointe sur la Cance à Annonay que sur la Deûme à St Julien Molin Molette avec des volumes de crue plus importants sur la Cance.

Au vu des cumuls enregistrés aux postes météorologiques, les cumuls radar sont globalement bien estimés sur l'ensemble du territoire avec des écarts de l'ordre de +/- 15%.

c) **Évènement du 25 novembre 2002**

Poste	Bassin versant	Pluvio (mm)	Radar (mm)	Ecart
GRAIX	Deûme (Riotet)		203.1	
PEAUGRES	Crémieux		166.4	
ST-CLAIR S.A.	Deûme		186.8	
BESSEY	Epervier	181.8	177.8	-2%
BOURG-ARGENTAL	Deûme	195.6	202.0	3%
Annonay subdi	Cance	189.2	183.4	-3%
Saint-Pierre-sur-Doux	Cance amont	216.8	205.1	-5%

L'évènement du 25 octobre 2002 est un évènement de longue durée (environ 48 h) et présente une pluviométrie relativement

homogène à l'échelle des bassins versants étudiés. Les cumuls maximaux sont enregistrés sur l'amont du bassin versant de la Cance.

Comme pour l'épisode précédent, la Cance à Annonay et la Deûme à St Julien Molin Molette ont réagi d'une manière similaire.

Pour cet évènement les cumuls radar sont globalement bien estimés sur l'ensemble du territoire.

d) **Évènement du 02 décembre 2003**

Poste	Bassin versant	Pluvio (mm)	Radar (mm)	Ecart
GRAIX	Deûme (Riotet)	88.9	93.5	5%
PEAUGRES	Crémieux	23.8	17.8	-25%
ST-CLAIR S.A.	Deûme		28.5	
BESSEY	Epervier	38.2	38.2	0%
BOURG-ARGENTAL	Deûme	62.4	69.5	11%
Annonay subdi	Cance	25.8	23.7	-8%
Saint-Pierre-sur-Doux	Cance amont	67.2	48.4	-28%

L'évènement du 2 décembre 2003 est la plus forte crue enregistrée sur les cours d'eau étudiés (hormis la Cance à Sarras). Le phénomène météorologique

à l'origine de cet évènement est un épisode de longue durée (environ 48h) présentant une pluviométrie assez hétérogène entre l'amont des bassins versants et l'aval : les cumuls maximaux sont enregistrés sur l'amont du bassin versant de la Cance (jusqu'à 250 mm), les plus faibles sur les parties terminales des cours d'eau dans la plaine du Rhône située à l'est (environ 150mm).

Pour cet évènement les cumuls radar présentent des différences relativement peu importantes avec les mesures au sol : une estimation inférieure à 10% sur les stations du bassin versant de la Deûme. En revanche, à la fois sur l'amont du bassin versant de la Cance, qu'en aval au niveau de la station de Peaugres, le cumul semble sous-estimé de l'ordre de 25%.

e) **Évènement du 02 novembre 2008**

L'évènement du 2 novembre 2008 présente deux épisodes pluvieux de courte durée (environ 10h pour le 1^{er} et 4h pour le second). Les bassins versants étudiés se situent à

Poste	Bassin versant	Pluvio (mm)	Radar (mm)	Ecart
GRAIX	Deûme (Riotet)		87.2	
PEAUGRES	Crémieux		105.3	
ST-CLAIR S.A.	Deûme	109.2	108.5	-1%
BESSEY	Epervier	102.4	98.8	-4%
BOURG-ARGENTAL	Deûme	95.2	95.9	1%
Annonay subdi	Cance	112.0	112.2	0%
Saint-Pierre-sur-Doux	Cance amont	109.40	105.6	-3%

en bordure de l'épisode pluvieux : les cumuls maximaux sont enregistrés sur l'amont du bassin versant de la Deûme et c'est essentiellement ce cours d'eau qui a réagi.

Pour cet évènement les cumuls radar sont globalement bien estimés sur l'ensemble du territoire.

f) Événement du 13 octobre 2014

L'événement du 13 octobre 2014 est un évènement de courte durée (environ 18h) et a traversé les bassins versant étudiés sur un axe sud-ouest / nord-est. Cet épisode présente une pluviométrie relativement homogène à l'échelle des bassins versants étudiés : les cumuls maximaux sont enregistrés sur l'amont du bassin versant de la Cance (jusqu'à 125 mm).

Poste	Bassin versant	Pluvio (mm)	Radar (mm)	Ecart
GRAIX	Deûme (Riotet)	129.3	124.7	-4%
PEAUGRES	Crémieux	155.4	156.7	1%
ST-CLAIR S.A.	Deûme		168.5	
BESSEY	Epervier	139.0	131.3	-6%
BOURG-ARGENTAL	Deûme	142.0	124.3	-12%
Annonay subdi	Cance	183.5	170.8	-7%
Saint-Pierre-sur-Doux	Cance amont	185.5	180.0	-3%

Comme pour l'évènement d'octobre 1999, les réactions de la Cance à Annonay et de la Deûme à St Julien Molin Molette sont du même ordre de grandeur en termes de débit de pointe avec des volumes de crue plus importants à Annonay.

Pour cet évènement les cumuls radar présentent peu de différences avec les mesures au sol : une bonne estimation (inférieure à 5%) sur les bassins versants amont de la Cance et la Deûme et une sous-estimation de l'ordre de 15% du cumul sur l'ouest du territoire étudié (Annonay subdi et Peaugres).

g) Événement du 04 novembre 2014

L'évènement du 4 novembre 2014 est la plus forte crue enregistrée sur la Cance à Sarras. Le phénomène météorologique à l'origine de cet évènement est un épisode de longue durée (environ 36h) présentant une pluviométrie relativement homogène à l'échelle des bassins versants étudiés avec des cumuls maximums de l'ordre de 100 à 125 mm suivant l'imagerie radar et de 140 à 180 mm suivant les enregistrements au sol (cf. tableau ci-après).

Poste	Bassin versant	Pluvio (mm)	Radar (mm)	Ecart
GRAIX	Deûme (Riotet)	53.6	52.8	-1%
PEAUGRES	Crémieux	69.4	60.4	-13%
ST-CLAIR S.A.	Deûme		64.9	
BESSEY	Epervier	39.4	45.3	15%
BOURG-ARGENTAL	Deûme	80.8	69.3	-14%
Annonay subdi	Cance	59.5	63.1	6%
Saint-Pierre-sur-Doux	Cance amont	149.00	153.1	3%

Les cumuls sont légèrement sous-estimés sur l'ensemble du territoire avec des écarts par rapport aux mesures sol de l'ordre de 5 %, avec cependant un écart de 12% sur la station d'Annonay subdi.

6.4.4 Synthèse des résultats

Les résultats du calage au droit des stations hydrométriques sont présentés sur les graphiques en pages suivantes. Ces résultats intègrent la propagation des apports hydrologiques calculés par le modèle pluie – débit via les modèles hydrauliques.

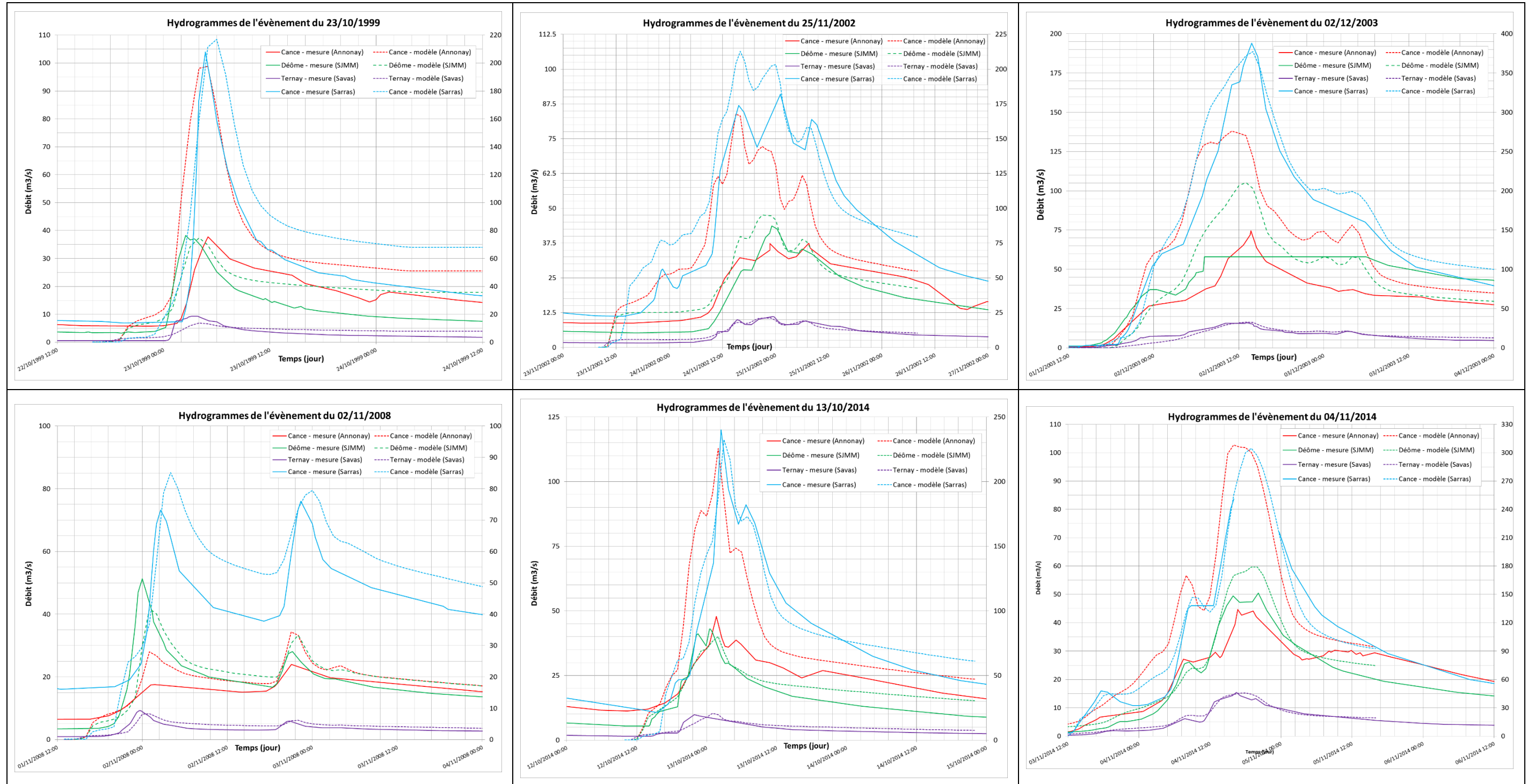
Le tableau ci-dessous donne les coefficients de ruissellements obtenus au droit de chaque station à partir des mesures et du modèle.



Figure 27 : Coefficients de ruissellement obtenus à partir des mesures et du modèle au droit des stations hydrométriques

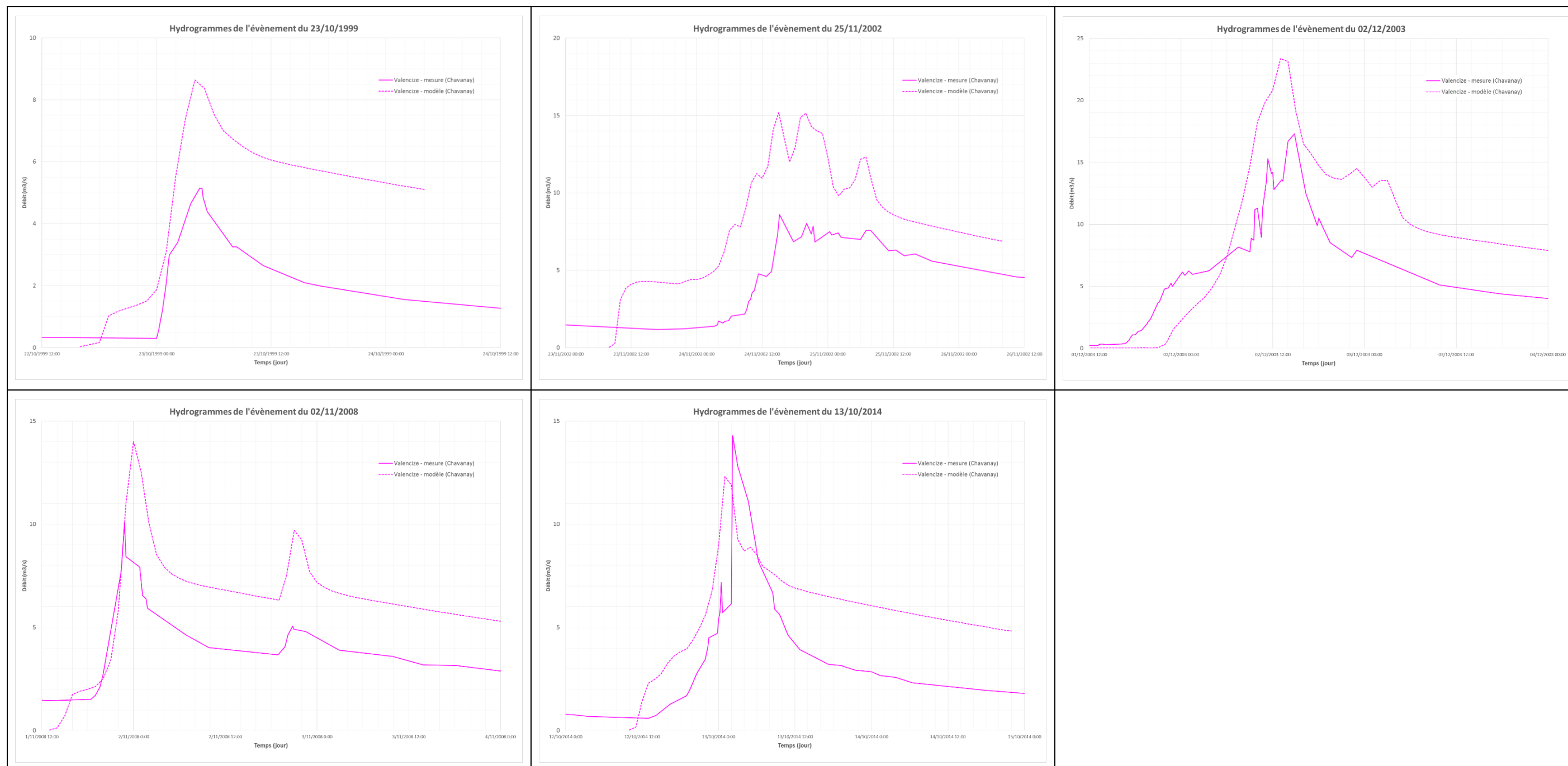
Simulations avec tous les BV des secteurs 3, 4, 5 et 6 pour tous les événements de calage :

Pour la Cance à Sarras, les débits sont à lire sur l'échelle de droite ; pour les autres stations, les débits sont à lire sur l'échelle de gauche.



Nota : les hydrogrammes calculés débutent avec un débit nul, puis se raccordent au débit de base issu de la période préparatoire avec les premières pluies de la période intense.

Simulations avec tous les BV du secteur 1 pour tous les événements de calage (excepté la crue du 04 nov. 2014 pour laquelle aucun débit n'a pu être mesuré)



Sur la **Cance à Sarras** :

- le modèle reproduit bien la dynamique générale des crues,
- les pointes de débit sont bien reproduites, à l'exception des crues de 2002 et 2008 où le modèle les surestime. Pour la crue de novembre 2014, l'état de saturation initiale des sols a été légèrement augmenté ; le débit de pointe calculé est inférieur de 100m³/s au débit ré-estimé récemment (300m³/s calculés pour 400m³/s estimés),
- les coefficients de ruissellement modélisés sont légèrement supérieurs à ceux observés pour les crues de 1999, 2002, 2003 et 2008 (+0.075 points en moyenne).

Sur la **Deûme à Saint Julien Molin Molette** :

- le modèle reproduit bien la dynamique générale des crues,
- les pointes de débit sont bien reproduites, à l'exception de la première pointe de la crue de 2008 surestimée,
- les coefficients de ruissellement modélisés sont légèrement supérieurs aux observations.

Sur le **Ternay à Savas** :

- le modèle reproduit bien la dynamique générale des crues,
- les pointes de débit sont bien reproduites,
- les coefficients de ruissellement modélisés sont proches des observations, dans une fourchette de +/- 0.05 points.

Sur la **Cance à Annonay** :

- le modèle surestime systématiquement les hydrogrammes, avec des écarts allant du simple au double,
- de même, les coefficients de ruissellement calculés sont systématiquement supérieurs aux observations.

Sur la **Valencize à Chavanay** :

- le modèle reproduit bien la dynamique générale des crues,
- le modèle surestime systématiquement les hydrogrammes,
- de même, les coefficients de ruissellement calculés sont systématiquement supérieurs aux observations.

L'analyse comparative des coefficients de ruissellement calculés et modélisés amène les remarques suivantes :

- le coefficient de ruissellement observé sur la Cance à Annonay est sensiblement et quasi-systématiquement inférieur à celui des autres stations (à l'exception de la crue de 2008) ; il en est de même pour la station de la Valencize à Chavanay,
- le coefficient de ruissellement observé à Sarras est supérieur aux autres stations pour 4 des événements,
- malgré les écarts sensibles entre le calcul et l'observation à Annonay, le calcul est relativement cohérent avec les observations à Sarras.

Les mesures indiquent ainsi un fonctionnement relativement spécifique du bassin de la Cance en amont de la confluence avec la Deûme, qui semble cependant peu cohérent avec l'analyse globale des coefficients de ruissellement compte tenu de la part de ce bassin versant sur celui de la Cance à Sarras.

Cette analyse, croisée avec les résultats de la modélisation pluie débit, semble conclure à une sous-estimation des débits mesurés à la station d'Annonay. L'analyse de l'occupation du sol et de la géologie (cf. Présentation des bassins versants et du réseau hydrographique) ne permet cependant pas d'expliquer des coefficients de ruissellement deux fois plus faible sur ce bassin que sur les autres.

LES GRAPHIQUES EN **ANNEXE**

PRÉSENTENT LES RÉSULTATS DES CALCULS DE PROPAGATION DES
 HYDROGRAMMES MESURÉS AUX STATIONS DE SAINT JULIEN MOLIN
 MOLETTE SUR LA DEUME, ANNONAY SUR LA CANCE ET SAVAS SUR LE
 TERNAY POUR LES CRUES D'OCTOBRE ET NOVEMBRE 2014. LES
 HYDROGRAMMES FONT BIEN RESSORTIR LE DÉFICIT DE VOLUME À
 SARRAS, ALORS QUE SEUL 1/3 DU BASSIN VERSANT N'EST PAS PRIS EN
 COMPTE DANS LES APPORTS (BASSINS VERSANTS INTERMÉDIAIRES
 ENTRE LES 3 POINTS D'INJECTION ET SARRAS).

Rattraper la différence de volume entre l'hydrogramme mesuré et calculé à Sarras nécessiterait des coefficients de ruissellement sur les bassins intermédiaires de :

- 0.71 pour la crue d'octobre 2014 (pour un coefficient de ruissellement de 0.4 pour la station de Sarras, estimé à partir de l'hydrogramme et de la pluviométrie mesurés),
- 0.57 pour la crue de novembre 2014 (pour un coefficient de ruissellement de 0.35 pour la station de Sarras, estimé à partir de l'hydrogramme et de la pluviométrie mesurés).

La courbe de tarage modélisée sur la Cance à Annonay est cependant relativement proche de celle utilisée par la DREAL. Si biais il y a sur la mesure, elle proviendrait alors plutôt d'une erreur sur les hauteurs enregistrées.

Les mêmes conclusions peuvent être apportées sur la Valencize à Chavanay, pour laquelle les coefficients de ruissellement observés sont faibles par rapport aux autres points de mesure. L'absence d'autres stations ne permet pas d'approfondir cette analyse. La courbe de tarage modélisée s'écarte cependant assez vite de celle utilisée par la DREAL.

6.4.5 Conclusion

Les éléments précédents permettent de conclure à un calage satisfaisant des modèles. Ces derniers peuvent ainsi être exploités pour simuler les crues de projet (non observées) de différentes périodes de retour, sur lesquelles seront basées les cartographies des zones inondables, et notamment la cartographie de l'aléa centennal.

Cette analyse semble cependant indiquer une sous-estimation systématique des débits de crue mesurés sur la Cance à Annonay (confirmé par les simulations de propagation des hydrogrammes mesurés à Saint-Julien-Molin-Molette, Annonay et Savas pour les crues de 2014) et sur la Valencize à Chavanay. Les analyses statistiques réalisées sur ces stations seront donc à considérer avec précaution pour la définition des débits caractéristiques.

UNE QUALIFICATION DES OCCURRENCES DE CRUE DE CES ÉVÉNEMENTS

RETENUS EST PRÉSENTÉE DANS LE TABLEAU CI-DESSOUS, ET

DÉTAILLÉE EN ERREUR ! SOURCE DU RENVOI INTROUVABLE..

Elle s'appuie sur les analyses statistiques menées en Analyse statistique des débits de crue et Présentation de la méthode du Gradex. Le pivot choisi étant $T = 10$ ans pour l'extrapolation des débits rares avec la méthode du Gradex, deux valeurs d'occurrence (Gumbel et Gradex) sont présentées lorsque celle estimée par Gumbel est supérieure à 10 ans.

	Ternay à Savas		Deûme à Saint-Julien-Molin-Molette		Cance à Annonay		Cance à Sarras		Valencize à Chavanay	
	Gumble	Gradex	Gumble	Gradex	Gumble	Gradex	Gumble	Gradex	Gumble	Gradex
oct 1999	-	-	3	-	-	-	5	-	2	-
nov 2002	4	-	4	-	-	-	4	-	4	-
déc 2003	9	-	60	30	23	13	24	21	38	12
nov 2008	3	-	5	-	-	-	-	-	6	-
oct 2014	-	-	-	-	6	-	-	-	17	11
nov 2014	8	-	5	-	-	-	14	15	-	-

Tableau 8 : Estimation des périodes de retour des événements historiques étudiés

7 DÉFINITION DES DÉBITS CARACTÉRISTIQUES DE CRUE : MÉTHODES RÉGIONALES ET STATISTIQUES

7.1 SAISONNALITÉ DES CRUES

Le graphique ci-après indique le nombre d'événements ayant généré un débit maximum annuel sur chaque mois de l'année pour l'ensemble des stations hydrométriques (par exemple, 9 des débits maxima annuels enregistrés à la station de Sarras depuis sa mise en service se sont produits au mois de novembre).

Ce graphique met en évidence deux périodes de l'année de prédominance des événements :

- une première période de l'année comprise entre les mois de janvier et mai, où les cours d'eau étudiés sont plutôt soumis à des phénomènes d'influence océanique.
- et une deuxième période comprise entre les mois d'octobre et décembre durant laquelle l'influence du climat méditerranéen est plus dominante sur ce territoire.

Cette analyse fait ressortir la double influence océanique et Cévenole sur les crues des bassins versants étudiés.

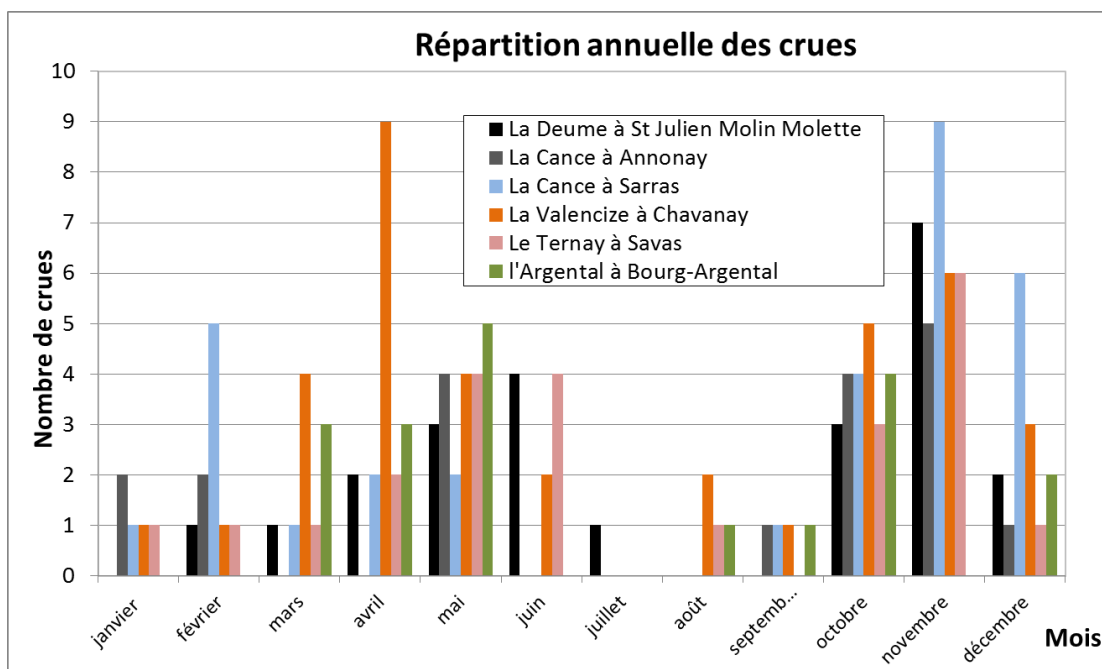


Figure 28 : Répartition annuelle des crues maximales

Les crues étant réparties sur l'ensemble des saisons pour l'ensemble des stations, nous garderons les séries de données des débits brutes lors des analyses statistiques, sans effectuer de tri concernant la saisonnalité des crues.

7.2 DÉFINITION DES DÉBITS DE PÉRIODE DE RETOUR FRÉQUENTE

7.2.1 Estimation du débit décennal par les méthodes déterministes

a) Formulation Crupedix

Elle s'écrit : $Q_{10} = R \cdot S^{0.8} \cdot \left(\frac{P_{10}}{80}\right)^2$ avec :

- R : coefficient régional (ici : 1)
- P_{j10} : pluie journalière décennale
- S : superficie du bassin versant en km²

La pluie journalière décennale a été évaluée à partir des données de pluie SHYREG de durée 24h corrigées par application du coefficient de Weiss (pris égal à 1.14) ; le coefficient de Weiss permet d'estimer la pluie journalière à partir de données de pluies mesurées sur 24 heures :

$$P_{j10} = \frac{P_{24H-10}}{1.14}$$

	Deûme à Saint-Julien-Molin-Molette	Cance à Annonay	Cance à Sarras	Ternay à Savas	Argental à Bourg-Argental	Valencize à Chavanay
Surface BV (km ²)	106	125	380	25.6	22	36
P10 (mm)	94	102	97	91	93	84
Q10 (m3/s)	57.2	77.1	170.1	17.2	15.9	19.7

Tableau 9 : Estimation des débits décennaux par la formulation Crupedix

b) Formulation Socose

La formule Socose nécessite la prédétermination de la durée caractéristique de crue D (en heure), qui s'écrit :

$$D = -0.69 + 0.32 * \log S + 2.2 \sqrt{\frac{Pa}{P_{J10} * t_a}} \quad \text{avec :}$$

log

- Pa : Pluie interannuelle (mm), ici Pa a été moyennée par bassin versant à partir des données AURELHY (cf. §)
- P_{J10} : pluie journalière décennale
- t_a : température interannuelle, ici $t_a = 11,5$ °C

La méthodologie complète, développée par l'Irstea, est relativement complexe et nécessite le calcul de plusieurs variables intermédiaires ainsi que l'utilisation d'abaques (pour les différentes formulations intermédiaires, se reporter à la bibliographie).

	Deûme à Saint-Julien-Molin-Molette	Cance à Annonay	Cance à Sarras	Ternay à Savas	Argental à Bourg-Argental	Valencize à Chavanay
Surface BV (km ²)	106	125	380	26	22	36
Température interannuelle (°C)	11.5					
b sur D	0.68					
P10 (mm)	93.5	102.0	97.0	90.6	93.4	84.4
Durée caractéristique (h)	19.0	17.6	25.2	12.3	11.7	14.0
Pluie interannuelle (mm)	1011	984	938	1008	1034	945
Q (m ³ /s)	37.6	51.9	96.2	14.4	12.9	14.9

Tableau 10 : Estimation des débits décennaux par la formulation Socose

c) Synthèse

Les valeurs des débits décennaux évalués par les deux méthodes précédentes sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

	Surface BV (km ²)	Crupedix	Socose
Deûme à Saint-Julien-Molin-Molette	106	57.2	37.6
Cance à Annonay	125	77.1	51.9
Cance à Sarras	380	170.1	96.2
Ternay à Savas	26	17.2	14.4
Argental à Bourg-Argental	22	15.9	12.9
Valencize à Chavanay	36	19.7	14.9

Tableau 11 : Estimation du débit décennal par les méthodes Socose et Crupedix

Les valeurs de la méthode Socose sont systématiquement inférieures à celle de la méthode Crupedix avec des écarts importants entre les deux méthodes notamment pour les valeurs les plus élevées.

7.2.2 Analyse statistique des débits de crue

LES ÉCHANTILLONS DES DÉBITS INSTANTANÉS MAXIMA DES STATIONS

ÉTUDIÉES ONT FAIT L'OBJET D'AJUSTEMENTS STATISTIQUES À

DIFFÉRENTES LOI (DÉTAILLÉES CI-APRÈS ET EN **ANNEXE**

) AFIN DE DÉTERMINER LES DÉBITS CARACTÉRISTIQUES DES CRUES DE

CHACUN DES COURS D'EAU :

- Loi de Gumbel,
- Loi de Fréchet,
- Loi de Normale,
- Loi de Log Normale.

Ces échantillons ont été réalisés à partir des données de la Banque Hydro en prenant en compte uniquement les années jugées complètes et dont les valeurs sont fiables ; les valeurs des deux crues les plus fortes observées sur la Deûme à Saint Julien Molin Molette (1996 et 2003) ont été corrigées à partir des estimations faites dans le cadre de l'étude hydraulique du site de Faya dans le vallon de la Deûme à Annonay réalisées par Anteagroup en 2015 (cf. §).

LES ÉCHANTILLONS CLASSÉS POUR CHACUNE DES STATIONS SONT

PRÉSENTÉS EN ANNEXE

LES RÉSULTATS OBTENUS SONT PRÉSENTÉS SUR LES GRAPHIQUES EN

ANNEXE

ET SYNTHÉTISÉS DANS LES TABLEAUX CI-APRÈS.

Deûme à Saint-Julien-Molin-Molette
(S = 106 km²) :

Temps de retour	Gumbel	Fréchet	Loi Normale	Loi log-Normale
2	23.6	15.3	27.5	17.3
5	52.1	38.3	50.1	35.9
10	71.0	70.3	61.9	52.4

Cance à Annonay (S = 125 km²) :

Temps de retour	Gumbel	Fréchet	Loi Normale	Loi log-Normale
2	22.4	17.3	25.3	19.5
5	43.9	41.2	41.9	38.1
10	58.1	73.1	50.6	54.0

Cance à Sarras (S=380 km²) :

Temps de retour	Gumbel	Fréchet	Loi Normale	Loi Log-Normale
2	81.9	96.2	96.2	65.2
5	179.5	176.3	176.3	136.5
10	244.1	218.2	218.2	200.7

Ternay à Savas (26 km²) :

Temps de retour	Gumbel	Fréchet	Loi Normale	Loi log-Normale
2	6.7	4.8	7.5	5.4
5	12.6	12.0	12.2	11.3
10	16.6	22.1	14.7	16.5

Argental à Bourg-Argental (22 km²) :

Temps de retour	Gumbel	Fréchet	Loi Normale	Loi log-Normale
2	4.3	3.6	4.8	4.0
5	7.8	7.2	7.5	6.8
10	10.1	11.3	8.9	8.9

Valencize à Chavanay (36 km²) :

Temps de retour	Gumbel	Fréchet	Loi Normale	Loi log-Normale
2	5.1	4.2	5.8	4.7
5	9.4	8.0	9.3	7.9
10	12.2	12.2	11.1	10.4

Tableau 12 : débits caractéristiques estimés par différentes lois statistiques (m^3/s)

Compte tenu du nombre relativement réduit de données constituant les échantillons historiques, nous proposons de retenir un **ajustement de Gumbel** pour la définition des débits de pointe de période de retour inférieure ou égale à 10 ans. Les lois exponentielles restent relativement proches de la loi de Gumbel pour ces fréquences (écarts maximaux d'environ 10%), et le nombre d'événements remarquables est insuffisant pour valider l'ajustement de ces lois pour les fréquences rares (le poids des forts débits, sur lesquels les incertitudes importantes au regard des jaugeages réalisés et / ou des conditions d'écoulement au droit des stations, est très important dans la méthode d'ajustement). L'extrapolation des valeurs rares est définie par la méthode du Gradex explicitée dans le chapitre .

7.2.3 Conclusion

Le Tableau 13 rassemble les différentes estimations du débit décennal, ainsi que les débits pseudo-spécifiques correspondant.

Les débits pseudo-spécifiques sont définis par la relation :

$$q = \frac{Q}{S^\alpha}$$

Q étant le débit estimé pour un bassin versant de surface S et α le coefficient de Myer pris égal à 0.8.

	Surface (km ²)	Analyse statistique Gumbel (m ³ /s)	Qpseudo- spécifique (m ³ /s/km ²)	Socose (m ³ /s)	Qpseudo- spécifique (m ³ /s/km ²)	Crupedix (m ³ /s)	Qpseudo- spécifique (m ³ /s/km ²)
Deûme à Saint-Julien-Molin-Molette	106	71	1.7	38	0.9	57	1.4
Cance à Annonay	125	58	1.2	52	1.1	77	1.6
Cance à Sarras	380	244	2.1	96	0.8	170	1.5
Ternay à Savas	25.5	17	1.2	14	1.1	17	1.3
Argental à Bourg-Argental	22	10	0.9	13	1.1	16	1.3
Valencize à Chavanay	36	12	0.7	15	0.8	20	1.1

Tableau 13 : Comparaison des différentes estimations du débit décennal

La formulation Socose sous-estime le débit décennal par rapport aux ajustements statistiques. La formulation Crupedix donne quant à elle des estimations du débit décennal relativement proche de l'ajustement statistique de Gumbel pour les bassins versants de taille moyenne (<2000 km² - limite de la méthode).

Seule la station des Sarras présente un écart sensible entre les estimations Gumbel et Crupedix. Le débit pseudo-spécifique calculé sur cette station est par ailleurs sensiblement supérieur à celui calculé sur les autres stations.

Les formulations régionales, ne tenant pas compte des spécificités propres aux bassins étudiés, visent à donner un ordre de grandeur comparatif des débits caractéristiques.

Compte tenu de l'approche très régionalisée de ces méthodes, elles sont écartées au profit de celles issues des analyses statistiques, qui exploitent les chroniques de mesures historiques.

Comme indiqué au § Analyse statistique des débits de crue, nous proposons de retenir un **ajustement de Gumbel** pour la définition des débits de pointe de période de retour inférieure ou égale à 10 ans

LES TABLEAUX CI-APRÈS SYNTHÉTISENT LES RÉSULTATS OBTENUS EN
 RETENANT L'AJUSTEMENT DE GUMBEL, AINSI QUE LES INTERVALLES DE
 CONFIANCE À 70% ET 90% ASSOCIÉS (VOIR **ANNEXE**
 POUR CONNAÎTRE LA MÉTHODE DE CALCUL).

Deûme à Saint-Julien-Molin-Molette (S = 106 km²) :

Temps de retour	Qix (m3/s)	qix (m3/s/km ²)	IC à 70 %		IC à 90 %	
2	23.6	0.57	18.3	30.1	15.4	34.8
5	52.1	1.25	44.2	64.0	41.0	73.5
10	71.0	1.70	60.5	87.3	56.6	100.6

Cance à Annonay (S = 125 km²) :

Temps de retour	Qix (m3/s)	qix (m3/s/km ²)	IC à 70 %		IC à 90 %	
2	22.4	0.47	17.4	28.8	14.7	33.9
5	43.9	0.92	36.7	55.9	34.2	66.6
10	58.1	1.22	48.7	74.7	45.9	89.5

Cance à Sarras (S=380 km²) :

Temps de retour	Qix (m3/s)	qix (m3/s/km ²)	IC à 70 %		IC à 90 %	
2	81.9	0.71	66.6	99.8	58.3	112.2
5	179.5	1.55	156.1	212.0	145.8	236.5
10	244.1	2.11	213.0	288.5	200.0	322.5

Ternay à Savas (26 km²) :

Temps de retour	Qix (m3/s)	qix (m3/s/km ²)	IC à 70 %		IC à 90 %	
2	6.7	0.50	5.6	8.0	5.0	9.0
5	12.6	0.94	11.0	15.1	10.3	17.1
10	16.6	1.24	14.4	20.0	13.6	22.8

Argental à Bourg-Argental (22 km²) :

Temps de retour	Qix (m3/s)	qix (m3/s/km ²)	IC à 70 %		IC à 90 %	
2	4.3	0.37	3.6	5.2	3.2	5.9
5	7.8	0.66	6.8	9.4	6.4	10.8
10	10.1	0.85	8.8	12.4	8.3	14.2

Valencize à Chavanay (36 km²) :

Temps de retour	Qix (m3/s)	qix (m3/s/km ²)	IC à 70 %		IC à 90 %	
2	5.1	0.29	4.5	5.9	4.1	6.4
5	9.4	0.53	8.4	10.7	7.9	11.7
10	12.2	0.69	10.9	14.0	10.3	15.4

Les résultats obtenus par l'ajustement de Gumbel présentent des débits pseudo-spécifiques relativement hétérogènes entre les stations.

	Deûme à Saint-Julien-Molin-Molette	Cance à Annonay	Cance à Sarras	Ternay à Savas	Argental à Bourg-Argental	Valencize à Chavanay
Q10 - Gumbel (m3/s)	71.0	58.1	244.1	16.6	10.1	12.2
Q pseudo-spécifique (m3/km ² /s)	1.70	1.22	2.11	1.24	0.85	0.69

Tableau 14 : Débits pseudo-spécifiques décennaux par station (ajustements de Gumbel)

Ces résultats sont cependant fortement dépendants de la qualité des mesures disponibles ; rappelons ainsi notamment :

- Le modèle pluie débit a montré une probable sous-estimation des débits de crue pour les stations de la Cance à Annonay et de la Valencize à Chavanay, présentant toutes deux des débits spécifiques décennaux issus de l'analyse statistique relativement faibles au regard des stations présentant des superficies proches (respectivement la Deûme à Saint-Julien-Molin-Molette et le Ternay à Savas,
- La station sur l'Argental à Bourg-Argental, aujourd'hui fermée, présente une chronique historique réduite ; par ailleurs, aucune analyse critique n'est disponible sur la qualité des données fournies pour cette station.

La modélisation pluie débit permettra de préciser le fonctionnement des cours d'eau en ces différents points, et de confirmer l'hétérogénéité des débits spécifiques sur le territoire.

7.3 EXTRAPOLATION AUX PÉRIODES DE RETOUR RARES

Ce paragraphe présente différentes méthodologies statistiques classiquement mises en œuvre pour l'estimation des débits de période de retour rare (comprises entre 10 ans et 100 ans), ainsi que les résultats associés au droit des stations hydrométriques.

Les débits de la *crue exceptionnelle* sont définis comme $1,8 * Q_{100}$.

7.3.1 Présentation de la méthode du Gradex

Au-delà d'une certaine période de retour, et compte tenu que les chroniques de débits mesurés ne constituent pas un échantillon suffisamment long de mesure, il s'avère difficile d'utiliser les lois statistiques sur les débits mesurés pour les crues rares à exceptionnelles. La méthode d'ajustement de Gumbel telle que présentée dans le chapitre précédent n'est donc plus applicable.

D'autres méthodes sont alors utilisées pour déterminer les débits de pointe des crues rares. Elles sont décrites dans les paragraphes suivants.

Méthode du gradex (Guillot – 1966) :

Le principe de la méthode est fondé sur l'analyse statistique de la pluviométrie. Elle stipule qu'au-delà d'une certaine valeur de précipitation (dite point pivot), la valeur moyenne de la capacité de rétention du bassin versant tend à devenir constante pour les très fortes averses, et que la totalité de la pluie supplémentaire ruisselle sur le bassin versant.

Sur un graphique de Gumbel, la loi d'ajustement de débits suit donc celle des pluies.

L'estimation du débit de pointe s'écrit : $Q_i(T) = Q_i(T_0) + K_p * gr(D) * (u(T) - u(T_0))$

Où $u(T)$ est la variable de Gumbel : $u(T) = -\ln \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right)$ avec :

- T_0 : durée de retour pour le point pivot
- $gr(D)$: gradex des débits sur la durée caractéristique D
- K_p coefficient de pointe de l'hydrogramme ($K_p = Q_{max}/Q_{moy}$)

Méthode du gradex progressif (Michel – 1982) :

La méthode du Gradex fut initialement créée pour l'estimation des crues extrêmes subies par des grands barrages. Cette méthode adaptée aux extrêmes, a parfois tendance à surestimer les débits lorsqu'on l'applique aux crues seulement rares (crue centennale par exemple).

La méthode du Gradex progressif (ou esthétique), développée par le CEMAGREF de Lyon s'inspire fortement de la méthode initiale. Cependant, elle traduit une évolution sans doute plus proche de la réalité physique des phénomènes dans le domaine des fréquences rares.

Elle suppose qu'il n'y a pas refus total de l'infiltration dès le point pivot souvent considéré, mais plutôt une augmentation progressive du coefficient de ruissellement.

La formulation permettant de traduire cette évolution progressive en fonction de la période de retour est :

$$Q_i(T) = Q_i(T_0) + K_p * G_q(D) * \ln \left(1 + \frac{G_q' * (T - T_0)}{K_p * G_q(D) * T_0} \right)$$

Elle nécessite donc de connaître :

- la valeur du point pivot T_0 ,
- la durée caractéristique D ,
- le coefficient de pointe des crues K_p ,
- le gradex des pluies, dont on déduit le gradex des débits $G_q(D)$
- le gradex issu de l'ajustement de Gumbel des débits max G_q' :

$$G_q' = \frac{Q_{10} - Q_2}{u_{10} - u_2}$$

où u est la variable de Gumbel.

Pour l'application des méthodes du gradex et du gradex progressif, la valeur du point pivot est prise égale à $T=10$ ans ; cette valeur peut varier entre 10 ans et 50 ans mais en l'absence de données de calage concernant la saturation des sols, 10 ans est la valeur couramment admise pour les bassins versants de taille réduite.

Les hypothèses prises sur les autres valeurs nécessaires à l'application de la méthode sont détaillées dans les paragraphes suivants.

7.3.2 Durées caractéristiques des crues

Le tableau en page suivante synthétise les valeurs de durée de crue pendant laquelle la moitié du débit de pointe est dépassée. Le détail des hydrogrammes de toutes ces crues est présenté ci-après.

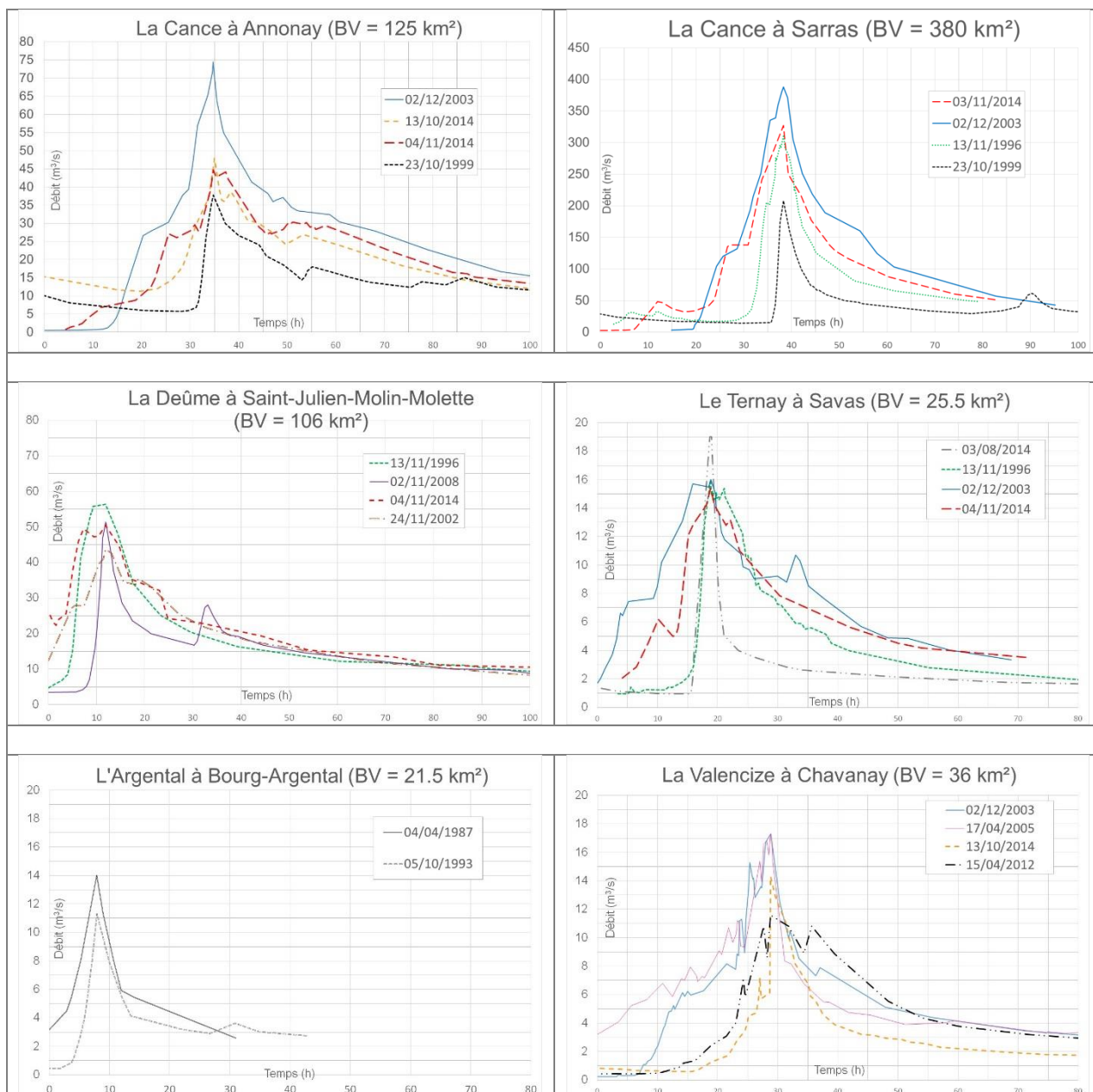


Figure 29 : Présentation des crues principales par station

Deûme à Saint-Julien-Molin-Molette			Cance à Annonay			Cance à Sarras		
date	Qix (m ³ /s)	Durée (h)	date	Qix (m ³ /s)	Durée (h)	date	Qix (m ³ /s)	Durée (h)
13/11/1996	56.3	15	02/12/2003	74.5	18	03/11/2014	327	15
02/11/2008	51.3	6	13/10/2014	47.9	30	02/12/2003	388	15
04/11/2014	50.5	20	04/11/2014	44.7	30	13/11/1996	312	10
24/11/2002	43.7	29	23/10/1999	37.8	18	23/10/1999	208	5
Moyenne		18	Moyenne		24	Moyenne		11
Ternay à Savas			Argental à Bourg-Argental			Valencize à Chavanay		
date	Qix (m ³ /s)	Durée (h)	date	Qix (m ³ /s)	Durée (h)	date	Qix (m ³ /s)	Durée (h)
03/08/2014	19.0	4	04/04/1987	14.0	6	02/12/2003	17.3	10
13/11/1996	16.0	12	05/10/1993	11.3	6	17/04/2005	17.3	12
02/12/2003	16.0	15				13/10/2014	14.3	6
04/11/2014	15.4	16				15/04/2012	11.6	24
Moyenne		12	Moyenne		6	Moyenne		13

Tableau 15 : Durées de crue calculées pour les plus fortes crues historiques mesurées aux stations hydrométriques disponibles

Ces valeurs sont comparées aux durées caractéristiques de crue de la méthode de Socose rappelées ci-après.

	Deûme à Saint-Julien-Molin-Molette	Cance à Annonay	Cance à Sarras	Ternay à Savas	Argental à Bourg-Argental	Valencize à Chavanay
Durée caractéristique Socose (h)	19	17.6	25.2	12.2	11.7	14.0

Tableau 16 : Durées caractéristiques de crue la méthode Socose

Hormis les stations de Sarras et de Bourg-Argental, les durées de crue calculées sont cohérentes avec les durées Socose.

Les hydrogrammes de crue observés à Sarras traduisent un fonctionnement complexe du bassin versant entre Annonay et l'aval du bassin versant. Pour certaines crues, le décalage temporel observé entre les pointes mesurées en amont (Annonay et/ou Saint Julien Molin Molette) et en aval (Sarras) est très faible ; la pointe à Sarras est ainsi alimentée par les apports amont, mais également par ceux des bassins versants aval, dont les temps de réponse sont faibles.

Sur Bourg Argental, la chronique historique est relativement réduite (peu de crues fortes), et aucune critique des données n'a pu être faite ; l'exploitation des hydrogrammes mesurés est ainsi à considérer avec précaution.

Les durées caractéristiques retenues sont synthétisées dans le tableau ci-dessous, arrondies à respectivement 12 heures et 24 heures.

	Deûme à Saint-Julien-Molin-Molette	Cance à Annonay	Cance à Sarras	Ternay à Savas	Argental à Bourg-Argental	Valencize à Chavanay
Durée caractéristique de crue retenue (h)	24	24	24	12	12	12

Tableau 17 : Durées caractéristiques de crue retenues

7.3.3 Coefficient de pointe des crues

Le coefficient de pointe est le ratio entre le débit de pointe et le débit moyen (Q_{moyen}) écoulé sur la durée caractéristique de crue retenue.

$$Q_{moyen} = \frac{V(D)}{D}$$

Pour chacune des crues les plus importantes enregistrées par les stations hydrométriques, le volume écoulé pendant la durée de crue déterminée précédemment est calculé. Ce volume divisé par la durée D permet de déterminer un débit moyen (Q_{moyen}).

Deûme à Saint-Julien-Molin-Molette - 24 heures				
Date	Volume (m3/s)	Q moyen (m3/s)	Q instantané (m3/s)	Cp
13/11/1996	3 172 263	36.72	56.30	1.53
04/11/2014	3 115 096	36.05	50.50	1.40
24/11/2002	2 829 654	32.75	43.70	1.33
02/11/2008	2 125 765	24.60	51.30	2.09

Ternay à Savas - 12 heures				
Date	Volume (m3/s)	Q moyen (m3/s)	Q instantané (m3/s)	Cp
13/11/1996	505 343	11.70	16.00	1.37
03/08/2014	296 090	6.85	19.00	2.77
04/11/2014	531 939	12.31	15.40	1.25
02/12/2003	573 245	13.27	16.00	1.21

L'Argental à Bourg-Argental - 12 heures				
Date	Volume (m3/s)	Q moyen (m3/s)	Q instantané (m3/s)	Cp
04/04/1987	354 775	8.21	14.00	1.70
05/10/1993	258 478	5.98	11.30	1.89

Valencize à Chavanay - 12 heures				
Date	Volume (m3/s)	Q moyen (m3/s)	Q instantané (m3/s)	Cp
02/12/2003	530 055	11.97	17.30	1.45
17/04/2005	503 785	11.66	17.30	1.48
15/05/2012	431 430	9.99	11.60	1.16
13/10/2014	336 954	7.80	14.30	1.83

Cance à Annonay - 24 heures				
Date	Volume (m3/s)	Q moyen (m3/s)	Q instantané (m3/s)	Cp
02/12/2003	4 008 872	46.40	74.50	1.61
13/10/2014	2 689 677	31.13	47.90	1.54
04/11/2014	2 839 221	32.86	44.70	1.36
23/10/1999	1 994 121	23.08	37.80	1.64
24/11/2002	2 798 076	32.39	37.40	1.15

Cance à Sarras - 24 heures				
Date	Volume (m3/s)	Q moyen (m3/s)	Q instantané (m3/s)	Cp
04/11/2014	19 411 467	205.56	327.00	1.59
02/12/2003	20 712 034	239.72	388.00	1.62
13/11/1996	13 150 837	152.21	312.00	2.05
23/10/1999	6 439 330	74.53	208.00	2.79
25/11/2002	13 430 897	155.45	182.00	1.17

Tableau 18 : Coefficients de pointe calculés pour les plus fortes crues historiques mesurées aux stations hydrométriques disponibles

Les coefficients de pointe moyens retenus par station sont présentés dans le tableau suivant :

	Cance à Annonay	Cance à Sarras	Deûme à Saint-Julien-Molin-Molette	Ternay à Savas	L'Argental à Bourg-Argental	Valencize à Chavanay
Durée caractéristique (h)	24	24	24	12	12	12
Cp retenu	1.50	1.84	1.42	1.65	1.80	1.48

Tableau 19 : Coefficients de pointe retenus pour chaque station

Les crues de 1999 et 2002, n'étant pas validées par la Banque Hydro, n'ont pas été prises en compte pour la détermination du coefficient de pointe de la station d'Annonay.

7.3.4 Détermination des gradex de bassin

Les cumuls pluviométriques de période de retour 10 ans et 100 ans sont repris des données SHYREG pour chacune des durées caractéristiques retenues. Ces valeurs sont moyennées à l'échelle des bassins versants contrôlés au droit des stations hydrométriques disponibles.

Les pluies P10 et P100 sont préalablement corrigées par un coefficient d'abattement K pour prendre en compte l'hétérogénéité spatiale des pluies sur les bassins versants.

$$K = \frac{1}{1 + \frac{0.02S^{0.5}}{(1-F)^{0.07}t^{0.33}}}$$

Avec : S , la superficie en km^2 ;

$F = 1 - 1/T$ où T est le temps de retour en années

t la durée de la pluie en heure.

Le gradex des pluies est le coefficient directeur de la droite d'ajustement de l'échantillon pluviométrique à une loi de Gumbel. Il est calculé à partir des P_{10} et P_{100} abattues, selon la formule suivante :

$$G_r = \frac{P_{100} \cdot K_{100} - P_{10} \cdot K_{10}}{u_{100} - u_{10}}$$

Avec : P_i , cumuls pluviométriques de période de retour i (mm)

K_i , coefficient d'abattement pour la période de retour i

u_i , variable de Gumbel pour la période de retour i

	Deûme à Saint-Julien-Molin-Molette	Cance à Annonay	Cance à Sarras	Ternay à Savas	Argental à Bourg-Argental	Valencize à Chavanay
Surface BV (km^2)	106	125	380	26	22	36
Durée crue (h)	24	24	24	12	12	12
P10 (mm)	105	107	117	88	92	83
abattement K 10	0.92	0.92	0.86	0.95	0.95	0.94
P10 abattue (mm)	96	98	101	84	88	79
P100 (mm)	166	173	183	135	139	127
abattement K 100	0.91	0.90	0.84	0.94	0.95	0.93
P100 abattue (mm)	151	156	154	127	132	118
Gradex des pluies avec abattement (mm)	23.1	24.7	22.7	18.3	18.8	17.0

Tableau 20 : Détermination des gradex de bassin (mm)

7.3.5 Synthèse des résultats

La synthèse de cette démarche d'extrapolation aux débits rares à partir des débits décennaux retenus et avec la méthode du Gradex est présentée dans le tableau ci-dessous. Le gradex des pluies est converti en gradex des débits à l'aide de la durée D et de la surface de chaque bassin versant puis le débit centennal est calculé à partir du débit

décennal estimé par l'ajustement de Gumbel et du coefficient de pointe déterminé précédemment (Coefficient de pointe des crues).

	Deûme à Saint-Julien-Molin-Molette	Cance à Annonay	Cance à Sarras	Ternay à Savas	Argental à Bourg-Argental	Valencize à Chavanay
SBV (km ²)	106	124	379	26	22	36
Durée caractéristique (h)	24	24	24	12	12	12
Kp	1.42	1.50	1.84	1.65	1.80	1.48
GRADEX pluie (mm)	23.1	24.7	22.7	18.3	18.8	17.0
GRADEX débit (m ³ /s)	28.4	35.6	99.4	10.8	9.4	14.3
Q10 Gumbel (m ³ /s)	71.0	58.1	244.1	16.6	10.1	12.2
Q10 Gumbel pseudo-spécifique (m ³ /s/km ²)	1.70	1.23	2.11	1.24	0.87	0.69
Q100 gradex (m ³ /s)	166	184	674	59	50	62
Q100 gradex pseudo-spécifique (m ³ /s/km ²)	3.96	3.87	5.83	4.38	4.26	3.49
Q100 gradex/Q10	2.34	3.16	2.76	3.53	4.91	5.08
Q100 gradex progressif (m ³ /s)	146	137	547	41	24	25
Q100 gradex progressif (m ³ /s/km ²)	1.37	1.10	1.44	1.59	1.12	0.69
Q100 gradex progressif/Q10	2.05	2.36	2.24	2.46	2.39	2.08

Tableau 21 : Synthèse des débits de crue de période de retour rare obtenus par les méthodes d'extrapolation aux fréquences rares

La longueur de la chronique historique n'est pas suffisamment importante pour définir visuellement la méthode la plus proche des observations. Cependant, les simulations des pluies centennales à l'aide du modèle pluie-débit permettent de reconstituer le débit estimé par la méthode du Gradex à Sarras en considérant un état initial de saturation des sols de 21%, cohérent avec les observations faites pour les crues historiques modélisées. Le débit estimé par la méthode du Gradex progressif est obtenu par modélisation en considérant un état initial de saturation des sols de 13%, valeur qui est relativement faible au regard des observations faites pour les crues historiques modélisées, et notamment plus basse que celle prise en compte pour la reconstitution de la crue centennale (16%). Ce point est développé au § Définition des pluies de projet Répartition spatiale de la pluie.

Aussi, nous proposons de retenir comme référence, notamment pour la station de Sarras considérée comme la plus fiable pour l'analyse statistique, le débit centennal obtenu par la **méthode du Gradex**.

8 DÉFINITION D'UNE HYDROLOGIE DE RÉFÉRENCE

8.1 EXPLOITATION DU MODÈLE PLUIE-DÉBIT

8.1.1 Méthodologie générale

Pour chaque période de retour étudiée (2, 5, 10, 30, 50, 100 et crue exceptionnelle), une série de pluies d'intensités différentes est définie, après analyse détaillée des structures spatiales et temporelles des événements historiques.

Les débits maximums d'un bassin versant sont en effet généralement obtenus pour des événements pluvieux d'une durée proche de leur temps de concentration.

Les modèles pluie-débit définiront les hydrogrammes résultants pour chacun de ces scénarios à l'exutoire des sous bassins versants. Ces hydrogrammes sont ensuite propagés dans les modèles hydrauliques et définissent pour tous les nœuds de calcul pour chaque période de retour une gamme de débits de pointe et de volumes écoulés.

Pour une période de retour T , l'aléa est défini comme l'enveloppe maximale de l'aléa calculé pour chacun des scénarios de pluie considérés pour cette même période de retour.

8.1.2 Définition des pluies de projet

Les pluies de projets pour une période de retour T sont constituées par des pluies double - triangle présentant :

- des cumuls de période de retour T sur la période intense,
- des cumuls de période de retour T sur la durée totale de l'événement.

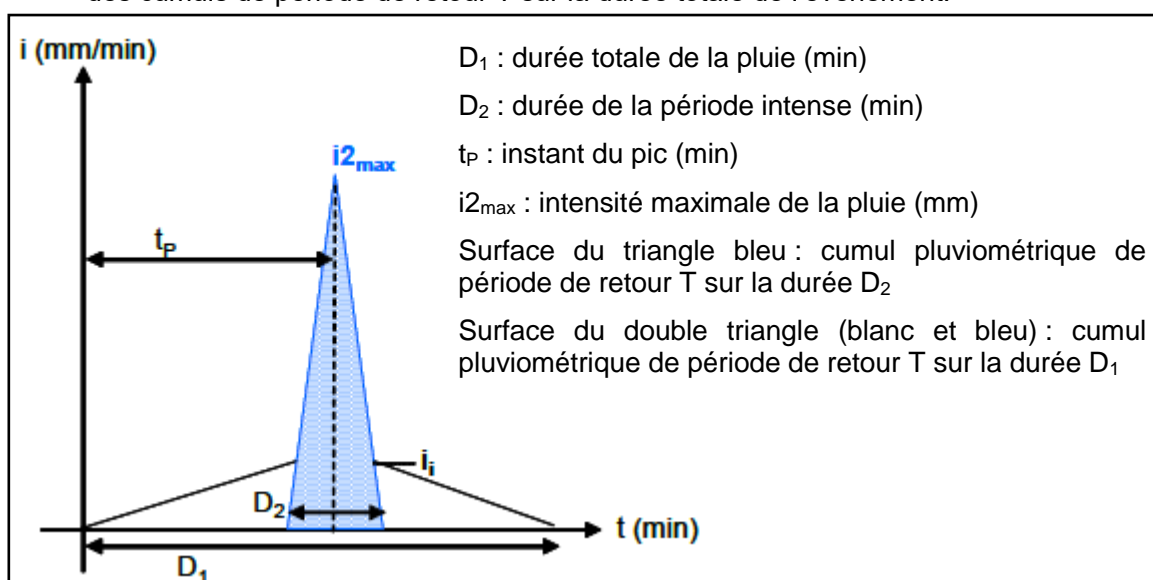


Figure 30 : Schématisation d'une pluie double triangle

a) Durée de pluie

Après observation des pluies intenses historiques, deux structures de pluie se distinguent :

- Une pluie « longue » de durée 48 heures avec des périodes intenses comprises entre 6 heures et 12 heures (ex : décembre 2003)
- Une pluie « courte », de durée 12 heures avec une période intense de faible durée (ex : octobre 1999).
- Deux types de pluie de projet sont donc définis :
 - Une pluie de durée totale 48 h avec une période intense de 6 h ou 12 h,
 - Une pluie de durée totale 12 h avec une période intense de 1 h, 2 h ou 3h,

b) Intensité de la pluie

Un coefficient d'abattement est appliqué aux quantiles de pluviométries SHYREG pour tenir compte de l'hétérogénéité des pluies à l'échelle des bassins versants étudiés. Ce coefficient est appliqué aux pluies dont la durée est supérieure à 6 h. Il est identique à celui pris en compte pour la définition des gradex de pluies (cf. Détermination des gradex de bassin), en considérant une superficie de bassin versant égale à celle de l'aval de la Cance.

Les hyétoigrammes définis sont présentés ci-après pour une pluie centennale :

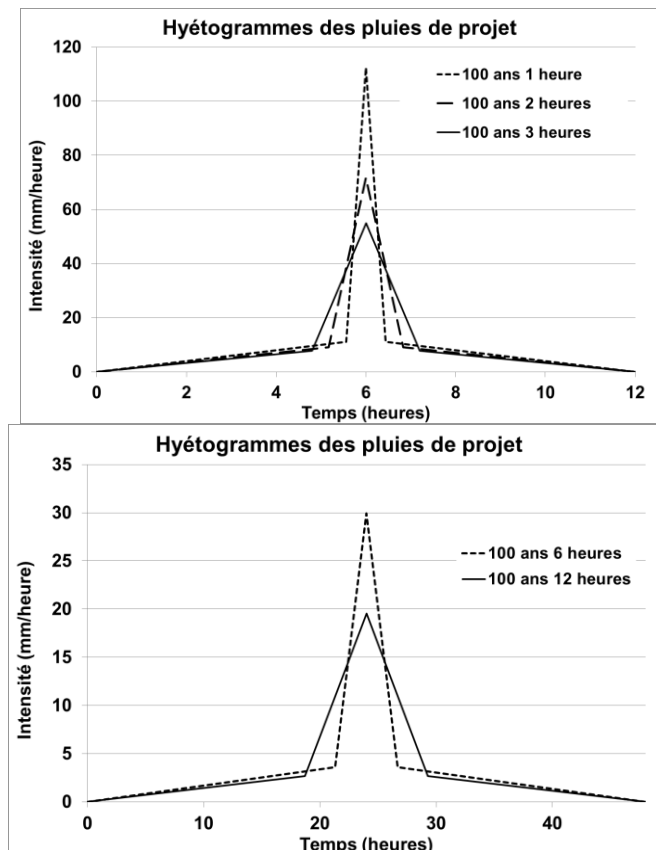


Figure 31 : Pluies de projet doubles triangles

UNE COMPARAISON DES HYDROGRAMMES GÉNÉRÉS PAR LES PLUIES DE
PROJET P010 ET P100 EST PROPOSÉE EN **ANNEXE**

c) Répartition spatiale de la pluie

Au regard des conclusions de l'analyse menée au §Quantiles des pluies SHYREG, nous retenons pour la définition des évènements pluviométriques synthétiques pris en compte pour la caractérisation de l'aléa inondation des cumuls pluviométriques homogènes sur la Cance amont d'une part, et sur les autres bassins versants d'autre part.

Les cumuls pour chaque durée et chaque période de retour sont définis comme une moyenne des pluies SHYREG calculée sur chacun de ces deux secteurs.

8.1.3 Définition de l'état de saturation initial des sols

Les pluies intenses générant des épisodes de pluie surviennent sur des sols plus ou moins saturés par les événements pluvieux précédents.

La station de **Sarras sur la Cance** étant celle disposant des chroniques de données les plus longues et les plus fiables, les coefficients de saturation initiale des sols sont ajustés afin de disposer des valeurs de débits caractéristiques obtenus par la modélisation cohérents avec ceux estimés par les analyses statistiques. Les valeurs ainsi retenues sont les suivantes :

- 16% pour la pluie décennale,
- 21% pour la pluie centennale.

Ces valeurs sont cohérentes l'état de saturation des sols donné par la modélisation avant chacun des épisodes pluvieux intenses ayant généré les crues de calage modélisées.

	23/10/1999	25/11/2002	02/12/2003	02/11/2008	13/10/2014	04/11/2014
Taux de saturation moyen des sols	14%	26%	0%	13%	19%	15%

Tableau 22 : Etat de saturation des sols donné par la modélisation avant chacun des épisodes pluvieux intenses ayant généré les crues de calage modélisées

8.1.4 Temps de réaction

Les temps de réaction obtenus aux stations hydrométriques pour les pluies décennales et centennales sont calculés comme les temps écoulés entre la pointe de la pluviométrie et la pointe des hydrogrammes. Les résultats sont présentés dans les tableaux ci-après, et détaillés dans l'annexe 8 (graphiques superposant hyétogrammes et hydrogrammes pour chaque station).

	Ternay	Riotet	Deûme	Deûme	Deûme	Cance	Cance	Cance	Valencize
P010	Savas	Bourg-Argental	SJMM - Garrinière	SJMM - Moulin Ferrand	Annonay	Annonay	Annonay	Sarras	Chavanay
	Station	Couverture	Station (ancienne)	Station (nouvelle)	Couverture	Station (ancienn)	Station (nouvelle)	Station	Station
Temps de réaction (h)	3.7	3.9	4.3	4.1	4.9	3.4	-	5.2	-

P100	Ternay	Riotet	Deûme	Deûme	Deûme	Cance	Cance	Cance	Valencize
	Savas	Bourg-Argental	SJMM - Garrinière	SJMM - Moulin Ferrand	Annonay	Annonay	Annonay	Sarras	Chavanay
	Station	Couverture	Station (ancienne)	Station (nouvelle)	Couverture	Station (ancienn)	Station (nouvelle)	Station	Station
Temps de réaction (h)	7.7	7.8	8.8	8.4	9.9	8.0	-	9.0	-

Tableau 23 : Temps de réaction P10 & P100

8.1.5 Synthèse des débits caractéristiques obtenus par la modélisation

Le tableau ci-dessous synthétise les débits décennaux et centennaux obtenus par la modélisation au droit de chacune des stations hydrométriques. Les hydrogrammes calculés pour chacun des scénarios de pluie sont présentés en pages suivantes.

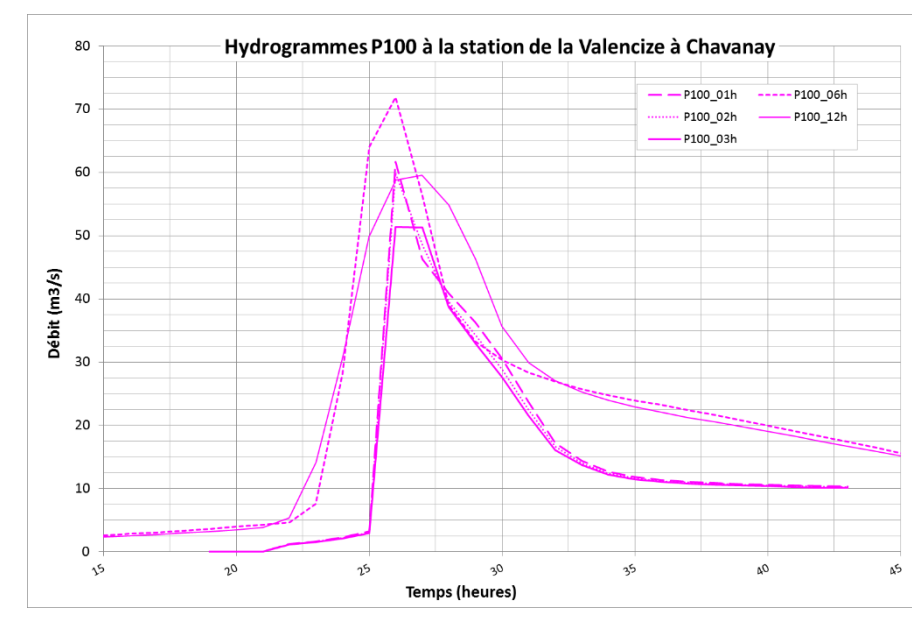
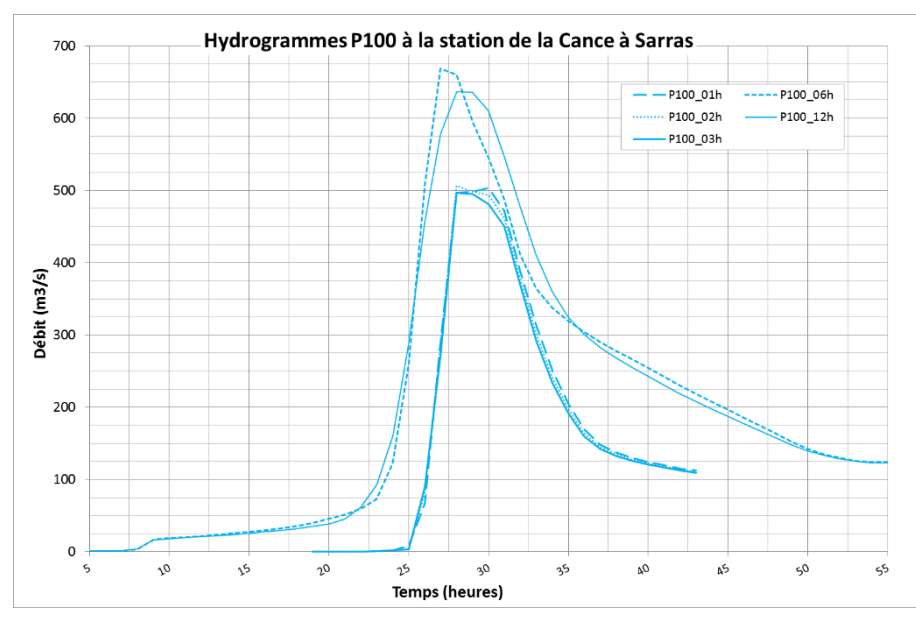
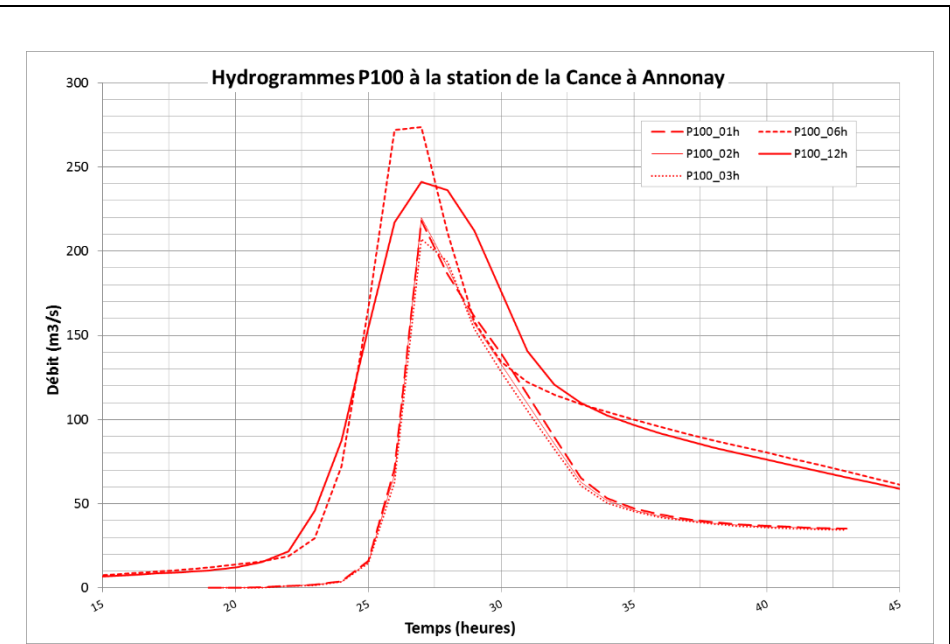
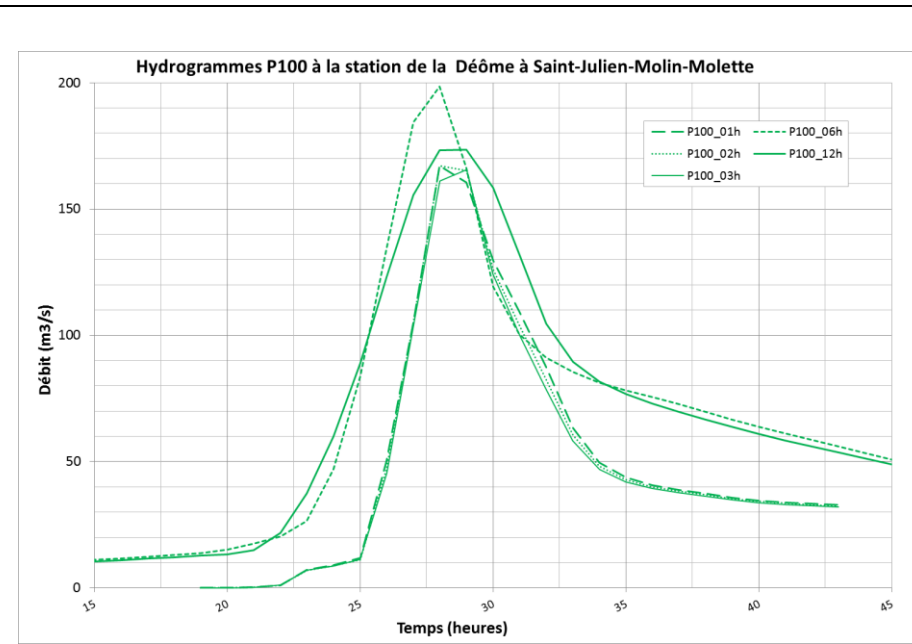
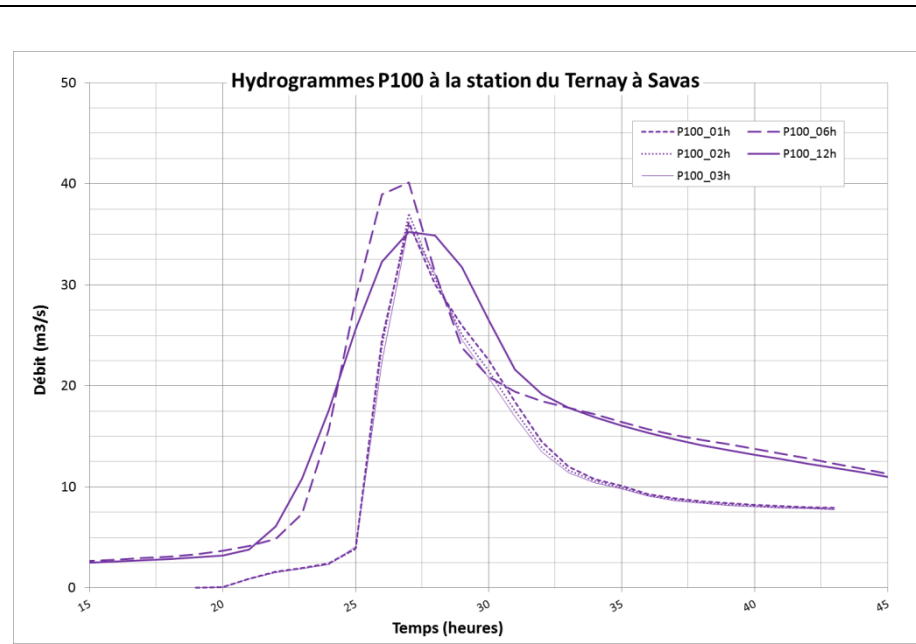
	Deûme à Saint-Julien-Molin-Molette	Cance à Annonay	Cance à Sarras	Ternay à Savas	Argental à Bourg-Argental	Valencize à Chavanay
Q10 - Modèle	71	81	240	15	-	19
Q10 Gumbel (m ³ /s)	71	58	244	17	10	12
Q100 - Modèle	199	274	668	40	-	72
Q100 gradex (m ³ /s)	166	183	674	59	50	62

Tableau 24 : Comparaison des débits décennaux et centennaux obtenus par le modèle et les analyses statistiques

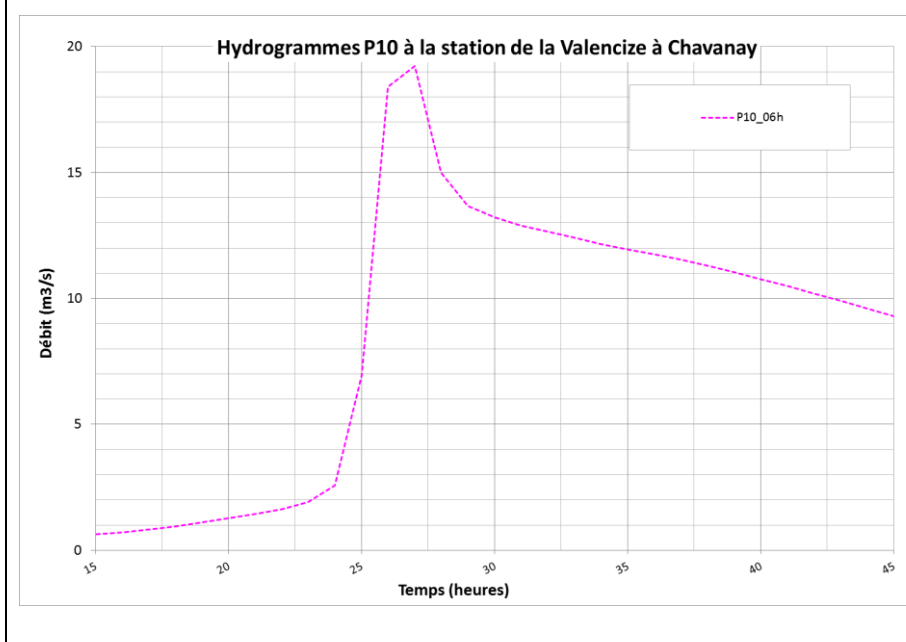
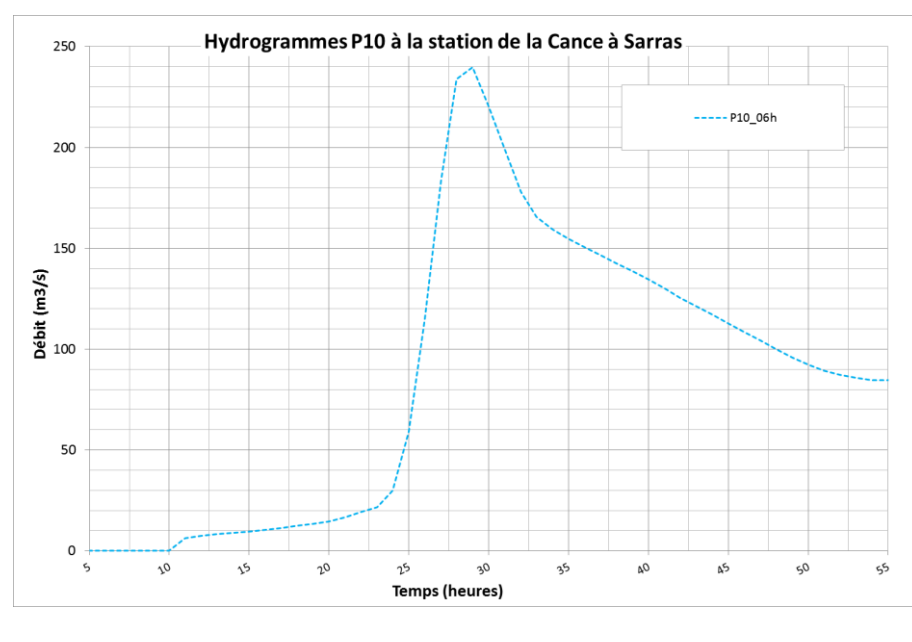
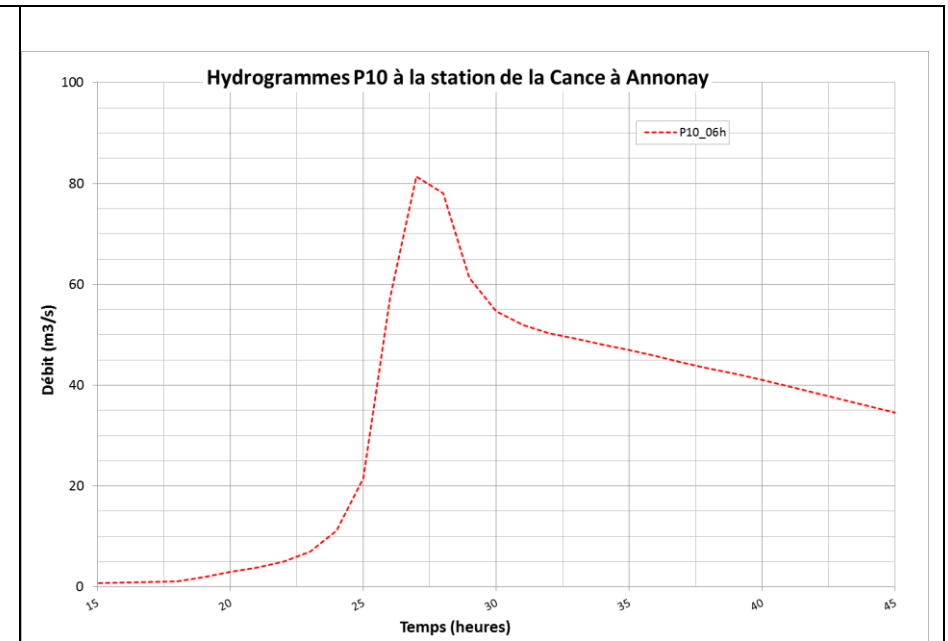
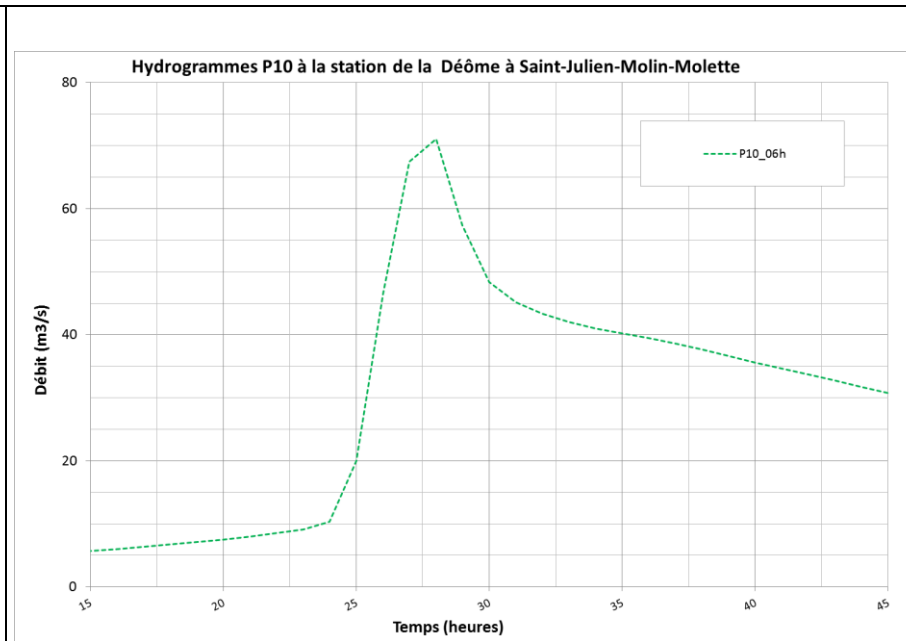
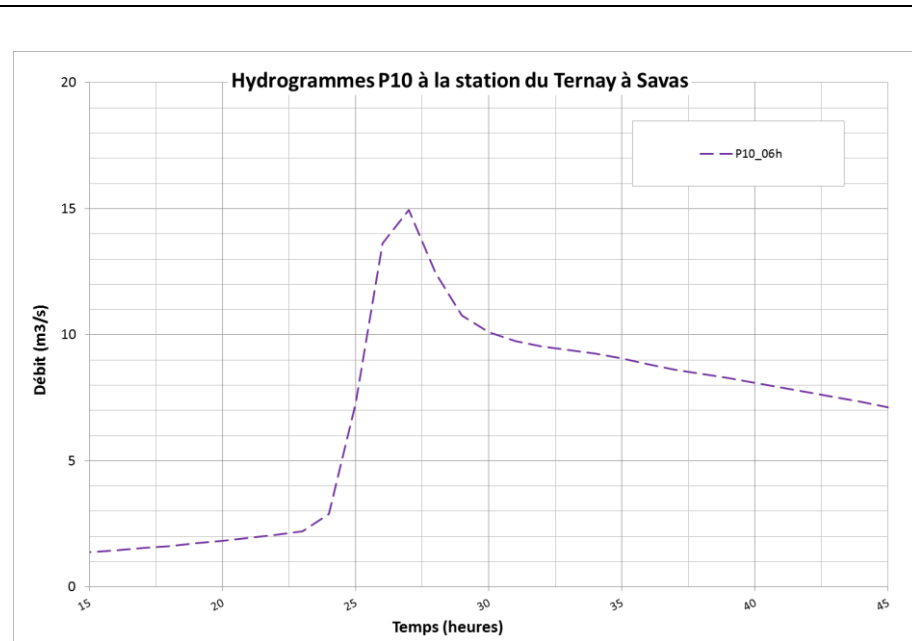
Les **débits décennaux** estimés par la modélisation sont très proches de ceux obtenus par les ajustements de Gumbel sur les stations de la Deûme à Saint Julien Molin Molette et du Ternay à Savas. Ils sont supérieurs sur les stations de la Cance à Annonay et de la Valencize à Chavanay, en cohérence avec les conclusions du calage du modèle pluie-débit (probable sous-estimation des débits mesurés). Cette cohérence tend à montrer que l'ajustement de Gumbel reflète bien le fonctionnement du bassin.

La modélisation pour les **pluies centennales**, là aussi calibrée pour ajuster le débit de pointe calculé à Sarras sur l'estimation fournie par la méthode du gradex, tend en revanche à donner des débits supérieurs à ceux estimés par l'analyse statistique sur les autres stations, notamment sur la Deûme à Saint Julien Molin Molette. Sur cette dernière station, le débit fourni par la modélisation reste cependant dans l'intervalle de confiance à 90% donné par l'ajustement statistique.

Au vu de ces résultats, la modélisation permettant par ailleurs de garantir une cohérence globale dans la définition des débits de pointe et volumes écoulés à l'échelle du territoire étudié, nous proposons de retenir ces débits caractéristiques pour la suite de la mission.



P100



P10

8.2 COMPARAISON DES DIFFÉRENTES MÉTHODES ET DES DONNÉES ISSUES DE LA BIBLIOGRAPHIE

Le Tableau 26 rassemble les différentes estimations de débit issues de la bibliographie et des différentes méthodes analysées dans le cadre de la présente étude.

Les données bibliographiques concernent :

- les débits **SHYREG**, méthode mise en œuvre par l'IRSTEA,
- les débits définis par la mise en œuvre de la méthode SPEED dans l'étude **Sogreah de 2002** (étude de protection, entretien et gestion des risques des rivières Cance, Deûme et Torrenson).

La méthode SPEED développée par Sogreah repose sur deux principes de base :

- les débits de période de retour donnée varient avec la superficie du bassin versant drainé au droit de la station selon une loi en puissance 0.75,
- en cas de saturation des sols et de la nappe, l'ajustement statistique des débits suit l'ajustement des pluies (la totalité de la pluie tombée après saturation des sols ruisselle vers la rivière).

Cela conduit à la formulation suivante :

$$Q_T = \frac{S^{0.75}}{12} (P_T - P_0) , \text{ si } T > T_0 \text{ et où :}$$

- Q_T est le débit de pointe de crue de temps de retour T (années)
- S : superficie du bassin versant (km^2),
- P_T est la pluie journalière de même temps de retour (mm),
- P_0 est le seuil probabiliste de ruissellement (mm).

Le tableau ci-dessous donne les valeurs de A_{10} et A_{100} définie à partir de l'analyse des pluies sur les postes pluviométriques du bassin versant Cance/Deûme et telle que $Q_T = A_T \cdot S^{0.75}$ et une saturation des sols prise égale à 60 mm.

Cours d'eau	A10	A100
La Deûme à St Julien Molin Molette	2.1	5.0
La Cance à Annonay	3.3	6.8
La Cance à Sarras	3.3	6.8
Le Ternay à Savas	2.1	5.0

Tableau 25 : Estimations des paramètres A_{10} et A_{100} de la méthode SPEED de Sogreah (extrait rapport Sogreah 2002)

Q10

	Sogreah			Irstea		Setec hydratec			
	Surface (km ²)	SPEED (m ³ /s)	Qpseudo-spécifique (m ³ /s/km ²)	SHYREG (m ³ /s)	Qpseudo-spécifique (m ³ /s/km ²)	Analyse statistique Gumbel (m ³ /s)	Qpseudo-spécifique (m ³ /s/km ²)	Modèle	Qpseudo-spécifique (m ³ /s/km ²)
Deûme à Saint-Julien-Molin-Molette	106	71*	1.7	58	1.4	71	1.7	71	1.7
Cance à Annonay	125	125	2.6	80	1.7	58	1.2	81	1.7
Cance à Sarras	380	284	2.5	170	1.5	244	2.1	240	2.1
Ternay à Savas	25.5	24	1.8	13**	1.1	17	1.2	15	1.1
Argental à Bourg-Argental	22	-	-	13	1.1	10	0.9	14	1.2
Valencize à Chavanay	36	-	-	10	0.7	12	0.7	19	1.1

Tableau 26 : Comparaison des débits de crue décennaux avec les études antérieures

* Les débits ont été évalués par Sogreah juste en aval de l'emplacement actuel de la station hydrométrique, soit une superficie de bassin versant de 110 km²

** Les débits ont été évalués par l'Irstea juste en amont de la station hydrométrique, pour une superficie de bassin versant de 23.1 km².

Pour les **débits décennaux**, les écarts entre les différentes estimations sont hétérogènes d'une station à l'autre, rendant l'analyse comparative relativement complexe :

- Cohérence de la modélisation avec l'étude Sogreah sur la station de la Deûme à Saint Julien Molin Molette ; l'estimation Shyreg est légèrement inférieure,
- Cohérence de la modélisation avec les données SHYREG sur la Cance à Annonay et le Ternay à Savas.
- Notons les écarts très importants obtenus sur la station de Sarras sur la Cance, l'estimation fournie par la modélisation et l'ajustement de Gumbel proposé dans le cadre de la présente étude se situant entre l'estimation de Sogreah et la valeur SHYREG.
- Le débit décennal estimé par la méthode SHYREG sur la Valencize est très proche de celui obtenu par l'ajustement de Gumbel ; cependant la probable sous-estimation des débits de crue pointée par la modélisation tend à retenir les valeurs plutôt hautes fournies par la modélisation.

Q100

	Sogreah			Irstea		Setec Hydratec					
	Surface (km ²)	SPEED (m ³ /s)	Qpseudo-spécifique (m ³ /s/km ²)	SHYREG (m ³ /s)	Qpseudo-spécifique (m ³ /s/km ²)	Gradex (m ³ /s)	Qpseudo-spécifique (m ³ /s/km ²)	Gradex progressif (m ³ /s)	Qpseudo-spécifique (m ³ /s/km ²)	Modèle	Qpseudo-spécifique (m ³ /s/km ²)
Deûme à Saint-Julien-Molin-Molette	106	170	4.1	106	2.6	166	4.0	146	3.5	199	4.8
Cance à Annonay	125	255	5.4	125	2.6	183	3.9	137	2.9	274	5.8
Cance à Sarras	380	585	5.1	381	3.3	674	5.8	547	4.7	668	5.8
Ternay à Savas	25.5	57	4.3	23	1.7	59	4.4	41	3.1	40	3.0
Argental à Bourg-Argental	22	-	-	22	1.9	50	4.2	24	2.0	-	-
Valencize à Chavanay	36	-	-	36	2.1	62	3.5	25	1.4	72	4.1

Tableau 27 : Comparaison des débits de crue centennaux avec les études antérieures

Pour les **débits centennaux**, une forte hétérogénéité est également observée entre les différentes estimations disponibles :

- Les débits estimés par la modélisation sont systématiquement supérieurs à ceux fournis par les autres méthodes, à l'exception :
 - du Ternay à Savas,
 - de la Cance à Sarras pour ce qui est de la comparaison avec la méthode du Gradex (la méthodologie mise en œuvre s'appuie sur une cohérence entre ces deux valeurs) ;
- Les estimations SHYREG sont systématiquement inférieures aux autres estimations (à l'exception du gradex progressif sur la Valencize à Chavanay),

Les données SHYREG sont établies à une échelle nationale, sur la base des données brutes disponibles (banque Hydro notamment). Une critique approfondie des données hydrométriques historiques a été réalisée dans le cadre de cette étude, ayant conduit à une réestimation des débits de pointe de certaines crues les plus fortes du bassin. Ces éléments ont une incidence sensible sur les analyses statistiques. Il en est de même pour la méthode SPEED, qui ne tenait pas compte de ces données corrigées.

Les analyses statistiques, les intervalles de confiance associés et les méthodes qui en découlent (gradex et gradex progressif) sont fortement liés à la qualité des données mesurées et la longueur des chroniques disponibles ; la modélisation pluie-débit permet une analyse beaucoup plus homogène à l'échelle du bassin versant.

8.3 DÉBITS CARACTÉRISTIQUES DE RÉFÉRENCE RETENUS

Le tableau ci-après synthétise les débits de pointe décennaux et centennaux retenus, obtenus par la modélisation pluie-débit.

	Deûme à Saint-Julien-Molin-Molette	Cance à Annonay	Cance à Sarras	Ternay à Savas	Argental à Bourg-Argental	Valencize à Chavanay
<i>Q10 - Modèle</i>	71	81	240	15	-	19
<i>Q100 - Modèle</i>	199	274	668	40	-	72

Tableau 28 : Synthèse des débits décennaux et centennaux retenus au droit des stations hydrométriques

Le tableau ci-dessous synthétise les débits décennaux et centennaux calculés en amont et au droit des nœuds hydrographiques (confluences) des cours d'eau étudiés.

Les débits centennaux calculés sur chacun des profils en travers du modèle sont détaillés dans les annexes du rapport des rapports par secteur de la phase 3.

Secteurs	Cours d'eau	Q10 (m ³ /s)	Q100 (m ³ /s)	Secteurs	Cours d'eau	Q10 (m ³ /s)	Q100 (m ³ /s)	Secteurs	Confluences	Q10 (m ³ /s)	Q100 (m ³ /s)	
1	l'Aleau	0.7	2.1	4	Argental	10.9	29.6	1	La Scie	Malatras	3.4	12.3
1	Batalon	3.1	9.8	4	Deûme	0.9	3.6	1	Regrillon	La Scie	7.9	27.8
1	Bois Lombard	0.4	1.4	4	Le Ru	0.6	2.5	1	Valencize	Regrillon	22.4	75.4
1	Colombier	1.1	3.1	4	Francillon	0.3	1.2	1	Batalon	Epervier	15.9	51.9
1	Epervier	5.7	19.4	4	Gournay	2.9	9.3	1	Batalon	Patouse	17.5	57.7
1	Malatras	1.4	5.2	4	Noharet	3.3	10.2	2	Bourgon	AffBourgon	1.4	4.7
1	Morquenat	1.1	3.2	4	Ogelière	0.2	0.7	2	Bourgon	HautGaillard	1.8	5.9
1	Monieux	4.8	15.0	4	Plagnol	1.3	4.6	2	Cremieux	Bourgon	3.9	12.8
1	Patouse	0.8	2.6	4	Le Pouyat	0.5	1.9	3	Cance	Cansonnet	33.5	88.2
1	Regrillon	2.7	9.8	4	Riotet	17.5	48.3	3	Cance	Malbuisson	82.8	218.1
1	La Scie	1.8	6.5	4	Ternay	10.9	29.9	3	Cance	Moulin Laure	104.3	274.6
1	Solon	0.6	1.6	4	Trancon	2.3	6.9	4	Deûme	Gournay	13.8	41.1
1	Valencize	5.8	20.0	4	Vercantine	0.3	1.1	4	Deûme	Plagnol	32.4	88.4
1	Verin	8.6	27.4	5	les Aygas	0.7	2.1	4	Deûme	Argental	49.7	134.3
2	Bourgon	0.1	0.3	6	Chalon	5.5	13.7	4	Deûme	Riotet	69.1	188.9
2	Cremieux	0.1	0.4	6	Chantecaille	0.4	1.2	4	Deûme	Le Pouyat	70.3	191.2
2	HautGaillard	0.4	1.7	6	Concise	3.9	11.7	4	Deûme	Vercantine	70.9	191.7
2	Torrenson	7.4	23.5	6	Bois d'Auma	0.3	0.9	4	Deûme	Ogelière	71.5	193.5
3	Cance	11.4	30.1	6	Fontanes	0.7	2.5	4	Deûme	Francillon	72.2	195.5
3	Cansonnet	6.6	19.4	6	Poulet	7.2	11.9	4	Deûme	Concise	86.2	233.1
3	Malbuisson	4.7	14.3	6	Ruisseau de	2.1	5.3	4	Gournay	Le Ru	3.5	10.4
3	Moulin Laure	17.3	45.3	6	Sassolas	7.5	19.0	4	Plagnol	Noharet	4.6	14.2
								4	Ternay	Trancon	9.1	30.5
								5	Cance	les Aygas	121.5	321.3
								5	Cance	Deûme	231.8	589.7
								6	Deûme	Ternay	107.5	290.1
								6	Deûme	Sassolas	114.2	307.5
								6	Deûme	Fontanes	118.5	317.1
								6	Deûme	Chalon	124.3	328.4
								6	Deûme	Ruisseau de Chantecaille	126.6	333.3
								6	Chantecaille	Bois d'Aumas	2.0	5.8
								6	Chantecaille	Ruisseau de Chantecaille	4.8	11.6

Débits à l'amont des cours d'eau modélisés

Débits aux confluences des cours d'eau modélisés

Tableau 29 : Débits de référence aux nœuds hydrographiques (amont et confluences)

8.4 ESTIMATION DES PÉRIODES DE RETOUR DES CRUES HISTORIQUES

Les occurrences de crue associées aux 6 événements hydrologiques retenus pour cette étude ont été estimées à partir des débits caractéristiques présentés précédemment. Elles sont présentées dans le tableau suivant :

	Ternay à Savas	Deûme à Saint-Julien-Molin-Molette	Cance à Annonay	Cance à Sarras	Valencize à Chavanay
	Modèle	Modèle	Modèle	Modèle	Modèle
oct 1999	-	5	-	5	5
nov 2002	6	6	-	4	6
déc 2003	9	19	5	16	8
nov 2008	-	6	-	-	6
oct 2014	-	-	3	-	7
nov 2014	8	6	-	11	-

Tableau 30 : Estimation des occurrences de crues

ANNEXES

ANNEXE

TABLEAUX DE SYNTHÈSE DES PARAMÈTRES DU MODÈLE

PLUIE - DÉBIT

Sous bassins versants du modèle Deûme

Trigramme	Nom	Surface	Surface	Longueur	Pente moyenne	Coefficient d'imperméabilisation	Méthode pluie nette	Coef. α de pertes initiales (Horner)	Coef. β des pertes cumulées (Horner)	J (SCS)	Méthode ruissellement	Temps de concentration
		ha	km ²							m		m/m
ARG1	Argental	1 554	15.5	5 301	0.07	0.07	scs			248	socose	76
ARG2	Argental	639	6.4	4 002	0.14	0.08	scs			251	socose	41
CHA1	Chalon	549	5.5	4 026	0.06	0.18	scs			183	socose	57
CHA2	Chalon	286	2.9	1 906	0.14	0.24	scs			168	socose	35
CHC1	Chantecaille	28	0.3	670	0.07	0.33	scs			144	socose	28
CHC2	Chantecaille	75	0.7	864	0.08	0.41	scs			97	socose	34
CON1	Concise	465	4.7	3 498	0.13	0.07	scs			254	socose	38
CON2	Concise	71	0.7	600	0.26	0.15	scs			163	socose	20
DEM1	Deûme	89	0.9	1 601	0.22	0.07	scs			248	socose	20
DEM10	Deûme	21	0.2	689	0.16	0.09	scs			233	socose	17
DEM11d	Deûme	637	6.4	4 000	0.13	0.07	scs			250	socose	42
DEM11g	Deûme	365	3.7	3 162	0.15	0.08	scs			241	socose	34
DEM12	Deûme	802	8.0	2 782	0.09	0.09	scs			240	socose	60
DEM13	Deûme	30	0.3	504	0.28	0.36	scs			146	socose	15
DEM14d	Deûme	111	1.1	1 429	0.18	0.09	scs			233	socose	24
DEM14g	Deûme	100	1.0	1 476	0.12	0.25	scs			146	socose	28
DEM15d	Deûme	530	5.3	2 221	0.13	0.11	scs			221	socose	45
DEM15g	Deûme	183	1.8	1 772	0.12	0.43	scs			121	socose	33
DEM16d	Deûme	63	0.6	1 223	0.08	0.33	scs			115	socose	30
DEM16g	Deûme	32	0.3	608	0.08	0.19	scs			197	socose	28
DEM17	Deûme	60	0.6	797	0.09	0.35	scs			162	socose	31
DEM18	Deûme	43	0.4	971	0.08	0.58	horner	0.6	0.12		passini	
DEM19d	Deûme	242	2.4	2 210	0.14	0.59	horner	0.6	0.12		passini	
DEM19g	Deûme	34	0.3	1 073	0.07	0.66	horner	0.6	0.12		passini	
DEM2	Deûme	399	4.0	2 237	0.21	0.09	scs			234	socose	32
DEM20	Deûme	61	0.6	859	0.09	0.7	horner	0.6	0.12		passini	
DEM21	Deûme	85	0.9	1 048	0.10	0.7	horner	0.6	0.12		passini	
DEM22	Deûme	16	0.2	404	0.23	0.7	horner	0.6	0.12		passini	
DEM3	Deûme	549	5.5	3 204	0.17	0.08	scs			251	socose	36
DEM4d	Deûme	1 099	11.0	3 776	0.15	0.07	scs			254	socose	47
DEM4g	Deûme	462	4.6	3 535	0.18	0.09	scs			241	socose	33
DEM5	Deûme	245	2.5	1 484	0.29	0.06	scs			264	socose	24
DEM6d	Deûme	20	0.2	553	0.42	0.08	scs			264	socose	10
DEM6g	Deûme	29	0.3	1 001	0.24	0.37	scs			158	socose	14
DEM7d	Deûme	19	0.2	591	0.42	0.18	scs			227	socose	10
DEM7g	Deûme	28	0.3	814	0.28	0.29	scs			180	socose	13
DEM8d	Deûme	9	0.1	460	0.23	0.19	scs			203	socose	11
DEM8g	Deûme	9	0.1	481	0.18	0.44	scs			140	socose	13
DEM9d	Deûme	15	0.1	583	0.20	0.09	scs			233	socose	13
DEM9g	Deûme	32	0.3	1 045	0.24	0.44	scs			144	socose	15
FO31	Le Ru	59	0.6	1 464	0.22	0.1	scs			237	socose	17
FO61	Bois d'Aumas	18	0.2	723	0.06	0.48	scs			117	socose	26
FON1	Fontanes	47	0.5	1 258	0.14	0.45	scs			139	socose	21
FON2	Fontanes	11	0.1	190	0.08	0.61	scs			96	socose	25
FRA1	Francillon	30	0.3	810	0.37	0.06	scs			262	socose	12
FRA2	Francillon	55	0.6	1 050	0.10	0.41	scs			148	socose	26
GOU1	Gournay	303	3.0	2 177	0.20	0.07	scs			254	socose	29
GOU2	Gournay	10	0.1	358	0.27	0.55	scs			112	socose	11
NOH1	Noharet	379	3.8	5 054	0.13	0.07	scs			250	socose	36
OGE1	Ogelière	16	0.2	830	0.31	0.07	scs			250	socose	11
OGE2	Ogelière	13	0.1	586	0.14	0.53	scs			118	socose	15
PGL1	Plagnol	136	1.4	2 898	0.17	0.07	scs			253	socose	24
PGL3	Plagnol	45	0.5	1 043	0.22	0.1	scs			225	socose	17
POU1	Poulet	127	1.3	1 319	0.03	0.67	horner	0.6	0.12		passini	
POU2d	Poulet	106	1.1	1 248	0.02	0.64	horner	0.6	0.12		passini	
POU2g	Poulet	92	0.9	1 781	0.01	0.33	scs			101	socose	90
PYA1	Le Pouyat	53	0.5	972	0.28	0.05	scs			270	socose	16
PYA2	Le Pouyat	60	0.6	885	0.33	0.11	scs			240	socose	16
RCC1	Ruisseau de Chantecaille	212	2.1	2 292	0.05	0.19	scs			197	socose	52
RCC2	Ruisseau de Chantecaille	23	0.2	663	0.07	0.18	scs			144	socose	25
RCC3	Ruisseau de Chantecaille	30	0.3	615	0.07	0.51	horner	0.6	0.12		passini	
RIO1	Riotet	2 612	26.1	8 994	0.09	0.06	scs			260	socose	73
RIO2	Riotet	254	2.5	1 434	0.21	0.13	scs			238	socose	29
SAS1	Sassolas	838	8.4	5 806	0.05	0.13	scs			190	socose	70
SAS2	Sassolas	27	0.3	691	0.12	0.13	scs			188	socose	20
TER1	Sassolas	1 503	15.0	7 485	0.09	0.07	scs			256	socose	61
TER2a	Sassolas	312	3.1	1 235	0.24	0.06	scs			261	socose	31
TER2b	Sassolas	22	0.2	573	0.24	0.21	scs			214	socose	26
TER3	Sassolas	203	2.0	758	0.22	0.11	scs			214	socose	32
TER4	Sassolas	229	2.3	1 512	0.08	0.17	scs			95	socose	45
TER5	Sassolas	102	1.0	1 198	0.15	0.06	scs			264	socose	26
TER6	Sassolas	41	0.4	771	0.19	0.21	scs			191	socose	18
TRC1	Trancon	261	2.6	3 132	0.12	0.08	scs			240	socose	35
TRC2	Trancon	92	0.9	480	0.18	0.14	scs			230	socose	29
VCN1	Vercantine	28	0.3	812	0.30	0.07	scs			257	socose	13
VCN2	Vercantine	22	0.2	573	0.41	0.36	scs			170	socose	11

Sous bassins versants du modèle Cance amont

Trigramme	Nom	Surface	Surface	Longueur	Pente	Coefficient d'imperméabilisation	Méthode pluie nette	Coef. α de pertes initiales (Horner)	Coef. β des pertes cumulées (Horner)	J (SCS)	Méthode ruissellement	Temps de concentration
		ha	km ²		m					m/m		mm
CAN1	Cance	1 249	12.5	5 454	0.08	0.06	scs			225	socose	65
CAN2d	Cance	326	3.3	2 561	0.26	0.05	scs			230	socose	26
CAN2g	Cance	372	3.7	3 200	0.23	0.06	scs			228	socose	28
CAN3d	Cance	226	2.3	2 253	0.24	0.07	scs			213	socose	24
CAN3g	Cance	194	1.9	2 192	0.31	0.06	scs			227	socose	21
CAN4d	Cance	242	2.4	2 111	0.26	0.05	scs			234	socose	24
CAN4g	Cance	54	0.5	1 087	0.37	0.05	scs			233	socose	14
CAN5d	Cance	654	6.5	2 924	0.19	0.06	scs			232	socose	37
CAN5g	Cance	211	2.1	1 644	0.25	0.08	scs			220	socose	24
CAN6d	Cance	385	3.9	2 850	0.23	0.07	scs			225	socose	28
CAN6g	Cance	239	2.4	1 108	0.20	0.1	scs			213	socose	32
CAN7d	Cance	614	6.1	3 805	0.19	0.06	scs			229	socose	35
CAN7g	Cance	53	0.5	947	0.19	0.3	scs			161	socose	19
CAN8d	Cance	228	2.3	1 721	0.21	0.07	scs			222	socose	27
CAN8g	Cance	162	1.6	2 016	0.13	0.27	scs			140	socose	30
CAN9d	Cance	55	0.5	1 456	0.23	0.07	scs			217	socose	17
CAN9g	Cance	31	0.3	865	0.16	0.18	scs			118	socose	18
CAS1	Cansonnet	626	6.3	4 264	0.15	0.05	scs			231	socose	39
CAS2	Cansonnet	60	0.6	1 471	0.27	0.07	scs			220	socose	16
MAL1	Malbuisson	452	4.5	3 532	0.15	0.05	scs			234	socose	36
MAL2	Malbuisson	42	0.4	958	0.43	0.05	scs			233	socose	12
MAL3	Malbuisson	2 131	21.3	8 354	0.10	0.09	scs			215	socose	64
MAL4	Malbuisson	56	0.6	1 156	0.18	0.4	scs			135	socose	20
MNL1	Moulin Laure	1 880	18.8	7 921	0.11	0.07	scs			218	socose	59
MNL2	Moulin Laure	35	0.4	826	0.19	0.15	scs			146	socose	18

Sous bassins versants du modèle Cance aval

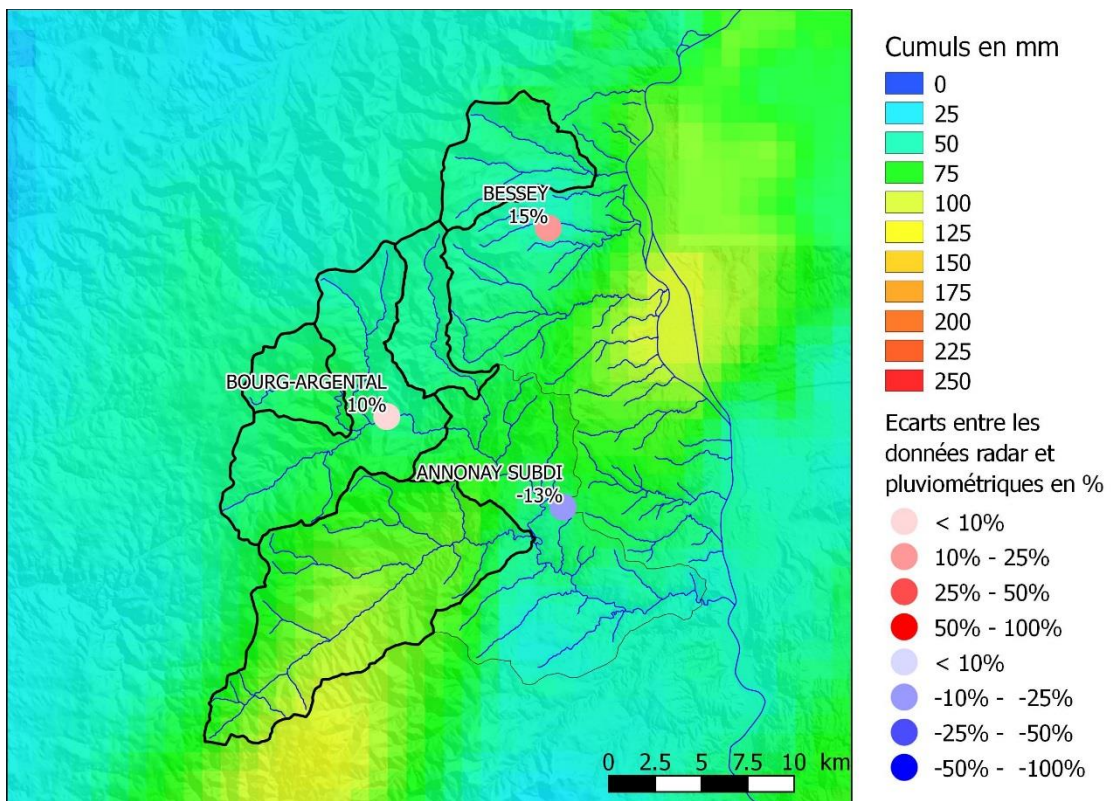
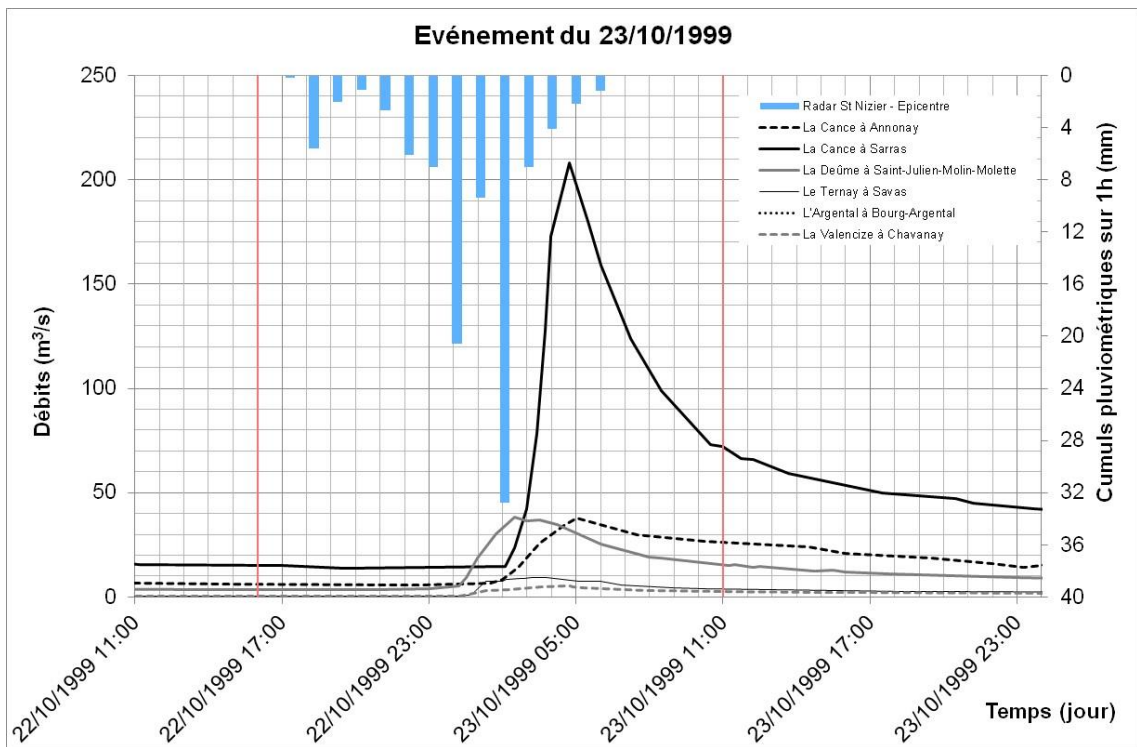
Trigramme	Nom	Surface	Surface	Longueur	Pente	Coefficient d'imperméabilisation	Méthode pluie nette	Coef. α de pertes initiales (Horner)	Coef. β des pertes cumulées (Horner)	J (SCS)	Méthode ruissellement	Temps de concentration
		ha	km ²		m					m/m		mm
AYG1	les Aygas	40	0.4	1 078	0.10	0.26	scs			136	socose	24
AYG2	les Aygas	134	1.3	2 413	0.07	0.51	horner	0.6	0.12		passini	
CAN10	Cance	1 411	14.1	4 860	0.12	0.1	scs			200	socose	55
CAN11d	Cance	94	0.9	1 144	0.16	0.16	scs			176	socose	25
CAN11g	Cance	181	1.8	1 525	0.22	0.4	scs			114	socose	25
CAN12	Cance	34	0.3	1 514	0.10	0.62	horner	0.6	0.12		passini	
CAN13d	Cance	60	0.6	1 569	0.10	0.43	horner	0.6	0.12		passini	
CAN13g	Cance	36	0.4	785	0.12	0.55	horner	0.6	0.12		passini	
CAN14	Cance	6 864	68.6	8 009	0.10	0.2	scs			150	socose	98

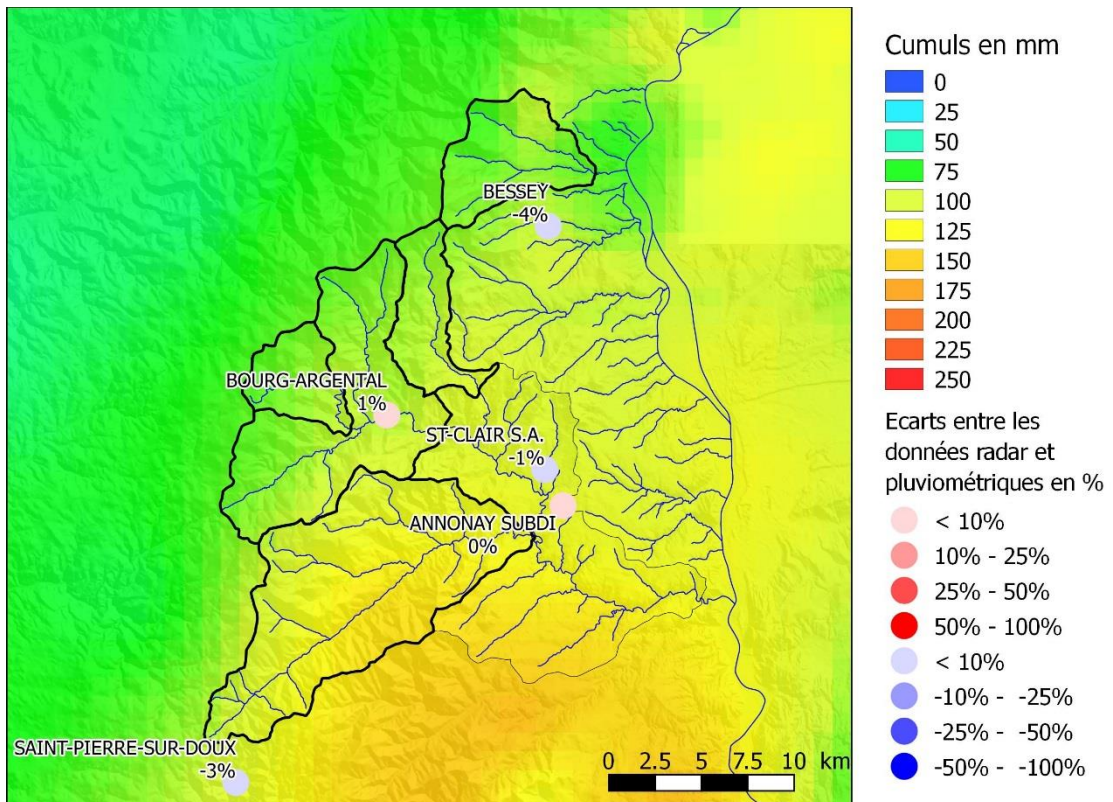
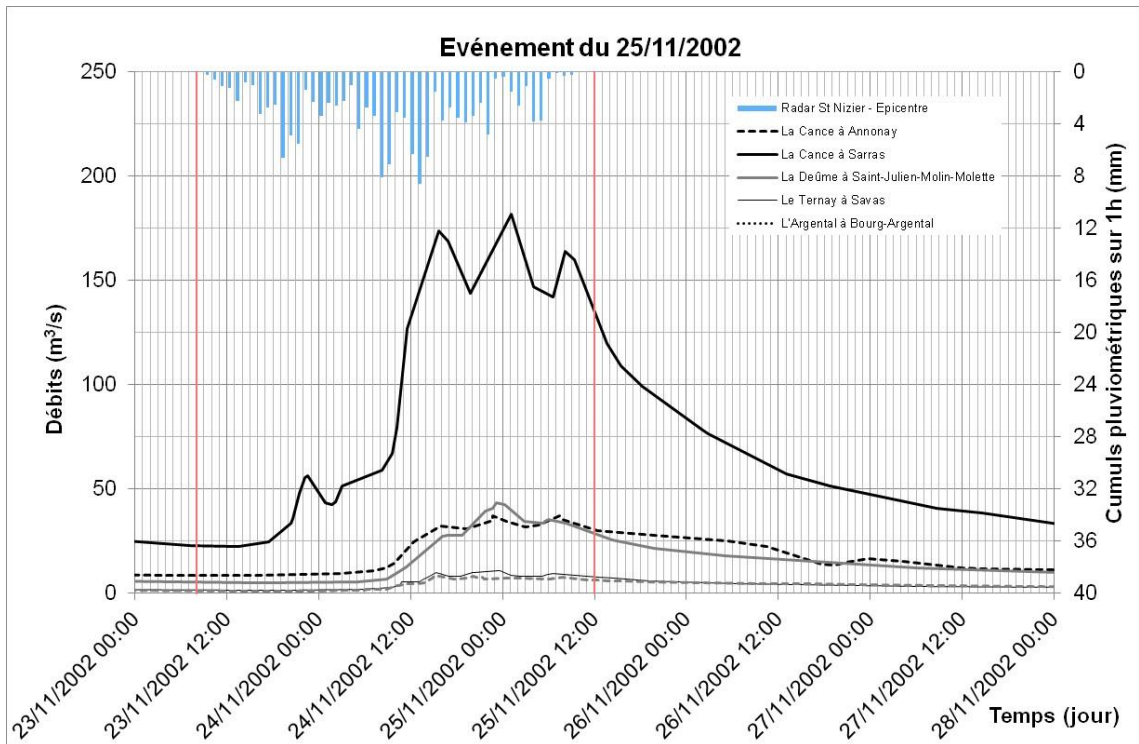
Sous bassins versants des modèles affluents du Rhône

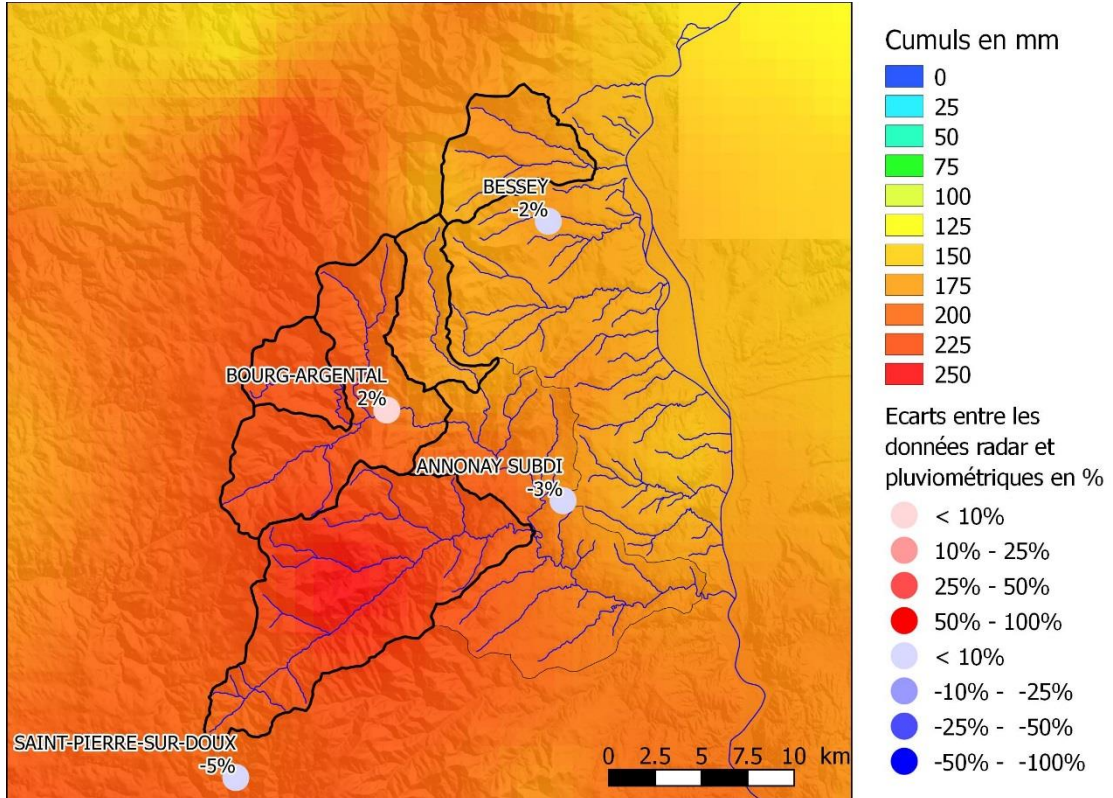
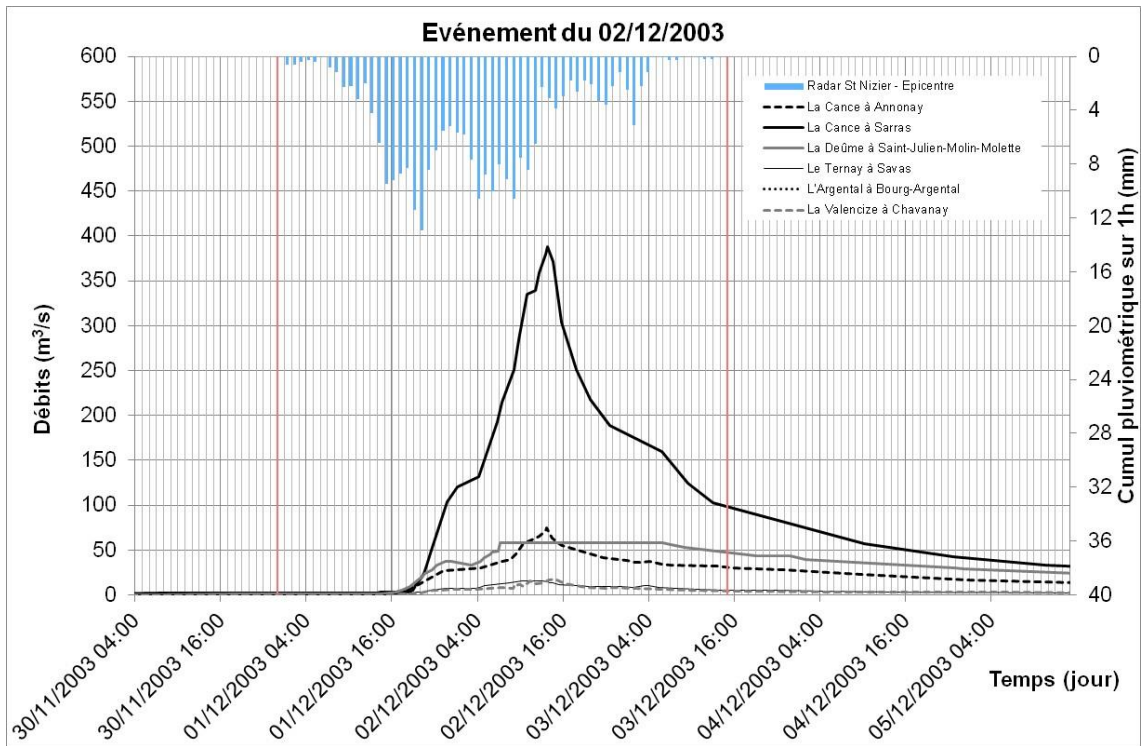
Trigramme	Nom	Surface	Surface	Longueur	Pente moyenne	Coefficient d'imperméabilisation	Méthode pluie nette	Coef. α de pertes initiales (Horner)	Coef. β des pertes cumulées (Horner)	J (SCS)	Méthode ruissellement	Temps de concentration
		ha	km ²	m	m/m					mm		min
a.BOU1	AffBourgon	44	0.4	1 400	0.16	0.13	scs			209	socose	19
a.BOU2	AffBourgon	24	0.2	880	0.07	0.2	scs			125	socose	25
ALE1	l'Aleau	67	0.7	2 300	0.07	0.24	scs			125	socose	32
ALE2	l'Aleau	31	0.3	1 300	0.10	0.35	scs			160	socose	22
BAT1	l'Aleau	440	4.4	4 000	0.05	0.24	scs			171	socose	61
BAT2	l'Aleau	921	9.2	6 600	0.09	0.21	scs			171	socose	55
BAT3	l'Aleau	160	1.6	2 950	0.09	0.08	scs			282	socose	34
BAT4	l'Aleau	54	0.5	2 200	0.08	0.21	scs			211	socose	29
BAT5	l'Aleau	21	0.2	650	0.15	0.4	scs			165	socose	17
BLO1	Bois Lombard	31	0.3	1 080	0.13	0.2	scs			125	socose	19
BLO2	Bois Lombard	27	0.3	1 330	0.10	0.41	scs			108	socose	21
BOU1	Bourgon	10	0.1	500	0.25	0.09	scs			263	socose	11
BOU2	Bourgon	103	1.0	1 900	0.12	0.12	scs			233	socose	28
BOU3	Bourgon	40	0.4	1 400	0.04	0.18	scs			157	socose	35
BOU4	Bourgon	8	0.1	400	0.05	0.18	scs			152	socose	24
COL1	Colombier	96	1.0	2 165	0.11	0.2	scs			125	socose	28
COL2	Colombier	27	0.3	1 150	0.04	0.37	scs			119	socose	34
CRE1	Cremieux	13	0.1	600	0.10	0.13	scs			211	socose	18
CRE2	Cremieux	128	1.3	2 150	0.06	0.18	scs			154	socose	42
CRE3	Cremieux	18	0.2	750	0.01	0.18	scs			154	socose	83
EPE1	Epervier	1 008	10.1	8 000	0.12	0.12	scs			252	socose	48
EPE2	Epervier	75	0.8	1 900	0.09	0.13	scs			217	socose	30
GAI1	HautGaillard	76	0.8	1 250	0.19	0.05	scs			312	socose	21
GAI2	HautGaillard	86	0.9	2 700	0.08	0.13	scs			211	socose	32
MAT1	Malatras	267	2.7	3 300	0.20	0.05	scs			309	socose	27
MAT2	Malatras	10	0.1	470	0.36	0.09	scs			257	socose	9
MOQ1	Morquenat	103	1.0	2 450	0.11	0.19	scs			138	socose	28
MOQ2	Morquenat	12	0.1	1 080	0.03	0.42	scs			106	socose	33
MOR1	Monieux	620	6.2	6 000	0.08	0.2	scs			160	socose	52
MOR2	Monieux	36	0.4	1 600	0.10	0.25	scs			165	socose	23
PAT1	Patouse	94	0.9	2 200	0.09	0.17	scs			165	socose	30
PAT2	Patouse	20	0.2	1 550	0.10	0.24	scs			176	socose	20
REG1	Regrillon	517	5.2	4 800	0.18	0.06	scs			301	socose	33
REG2	Regrillon	16	0.2	790	0.16	0.12	scs			230	socose	15
REG3	Regrillon	263	2.6	4 300	0.12	0.15	scs			252	socose	34
SCI1	La Scie	323	3.2	2 825	0.24	0.06	scs			295	socose	26
SCI2	La Scie	13	0.1	700	0.23	0.19	scs			136	socose	11
SCI3	La Scie	219	2.2	2 700	0.14	0.17	scs			198	socose	31
SOL1	Solon	52	0.5	1 450	0.06	0.2	scs			125	socose	32
SOL2	Solon	20	0.2	1 400	0.09	0.25	scs			122	socose	20
TOR1	Torrenson	1 100	11.0	7 600	0.04	0.19	scs			163	socose	85
TOR2	Torrenson	59	0.6	1 350	0.16	0.19	scs			141	socose	20
VAL1	Torrenson	1 042	10.4	4 400	0.15	0.09	scs			263	socose	46
VAL2	Torrenson	39	0.4	850	0.15	0.16	scs			184	socose	20
VAL3	Torrenson	141	1.4	2 350	0.08	0.15	scs			190	socose	36
VAL4	Torrenson	199	2.0	2 650	0.09	0.32	scs			138	socose	38
VAL5	Torrenson	532	5.3	3 500	0.09	0.18	scs			182	socose	49
VAL6	Torrenson	231	2.3	3 100	0.07	0.26	scs			160	socose	45
VER1	Verin	1 226	12.3	7 400	0.10	0.16	scs			184	socose	55
VER2	Verin	3	0.0	350	0.01	0.37	scs			198	socose	38

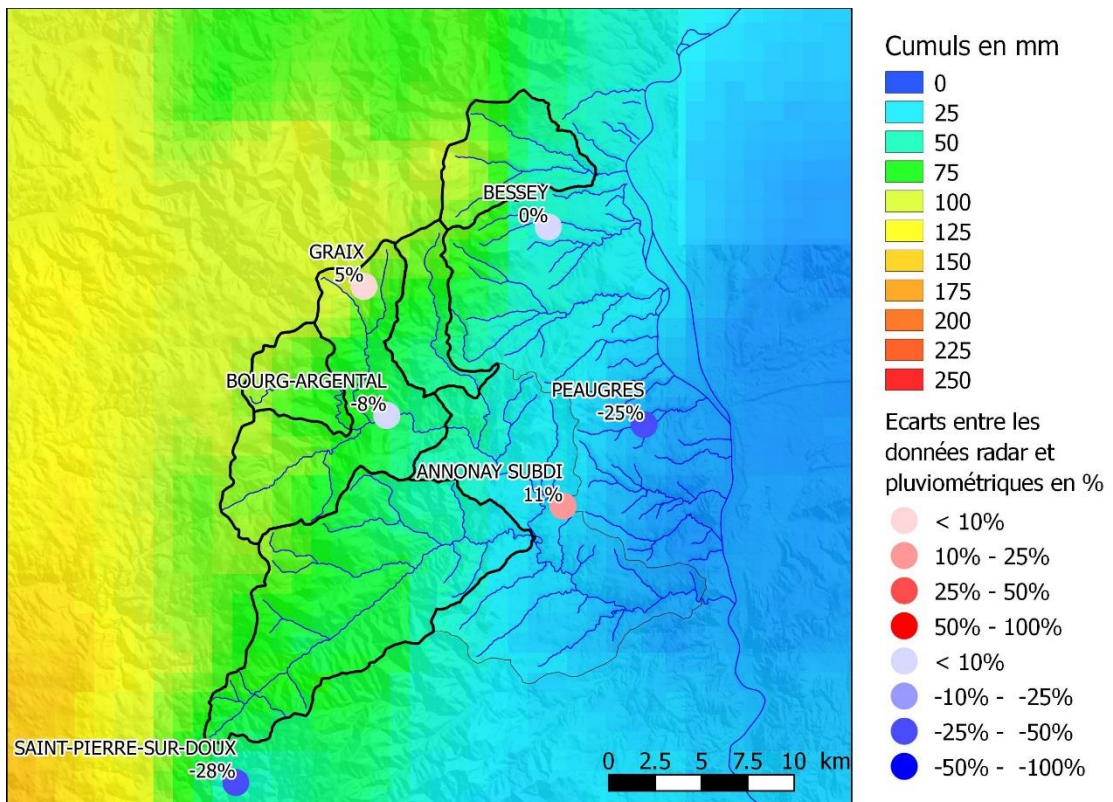
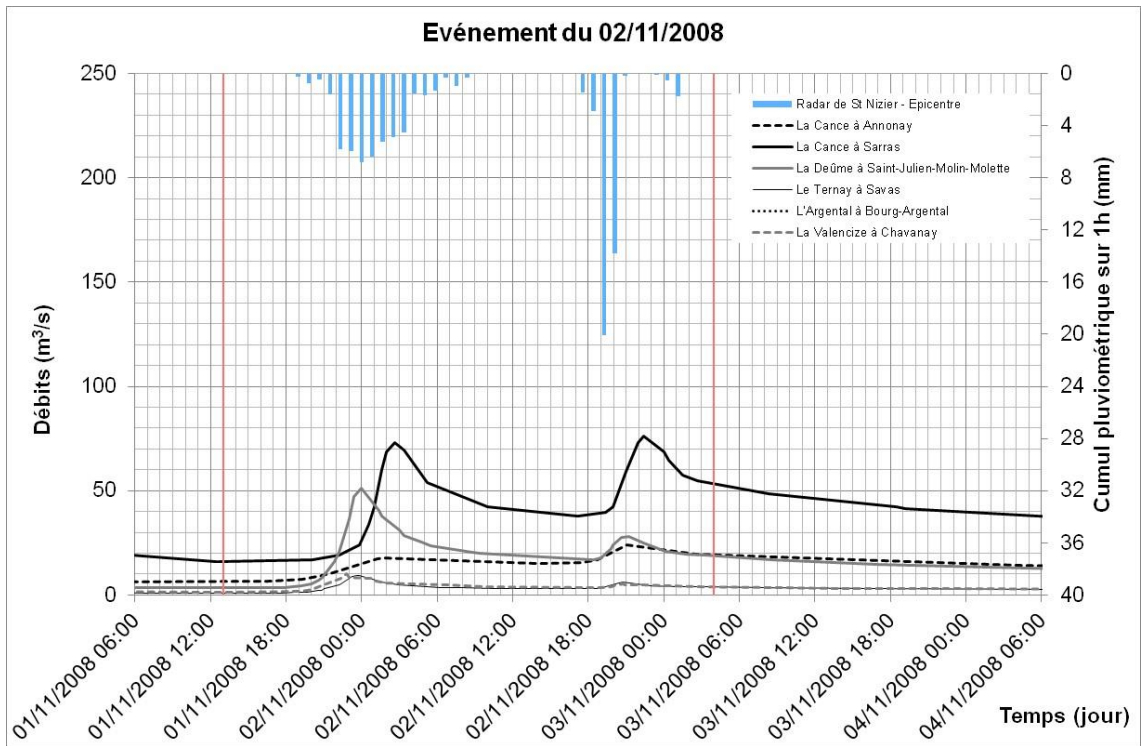
ANNEXE

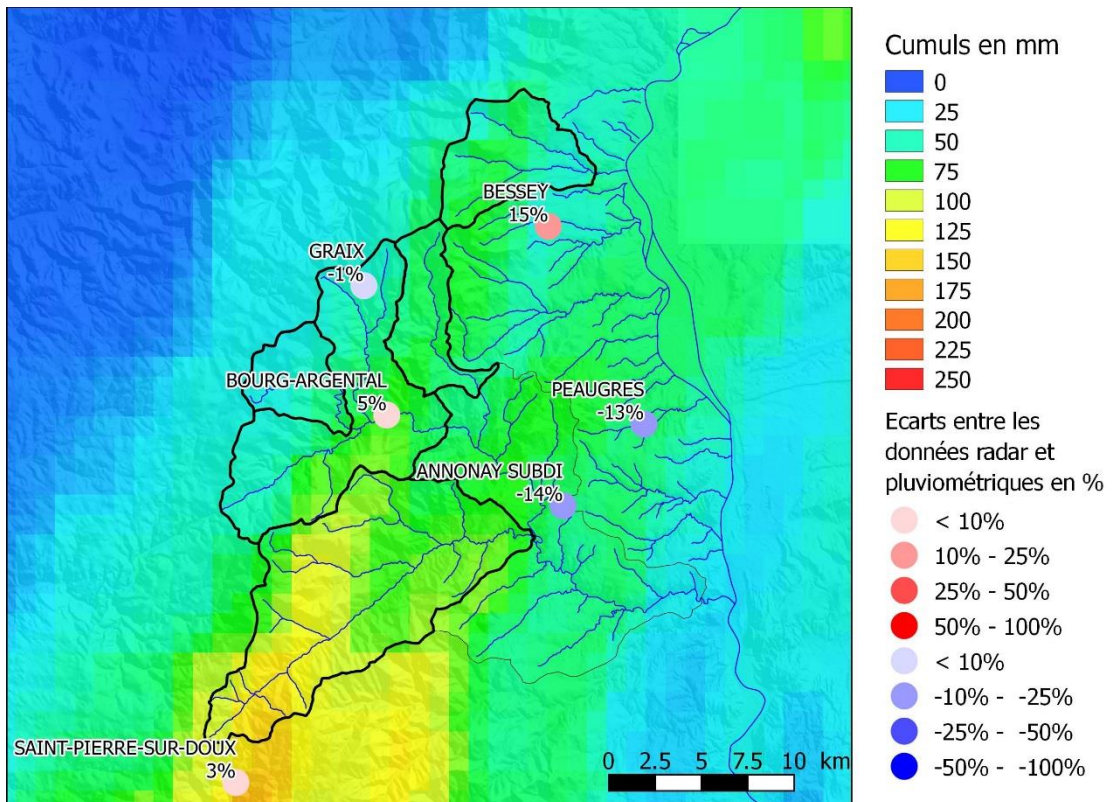
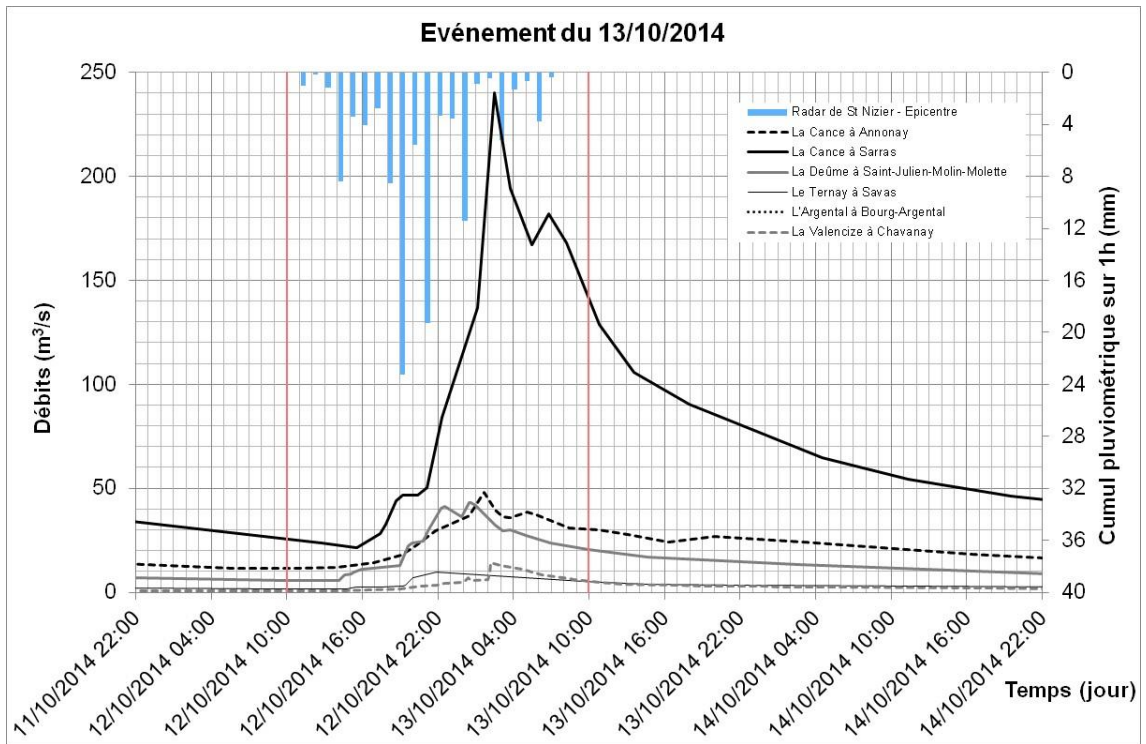
HYDROGRAMMES ET CUMULS PLUVIOMÉTRIQUES MESURÉS (IMAGES RADAR PANTHERE) DES ÉVÈNEMENTS HISTORIQUES ANALYSÉS

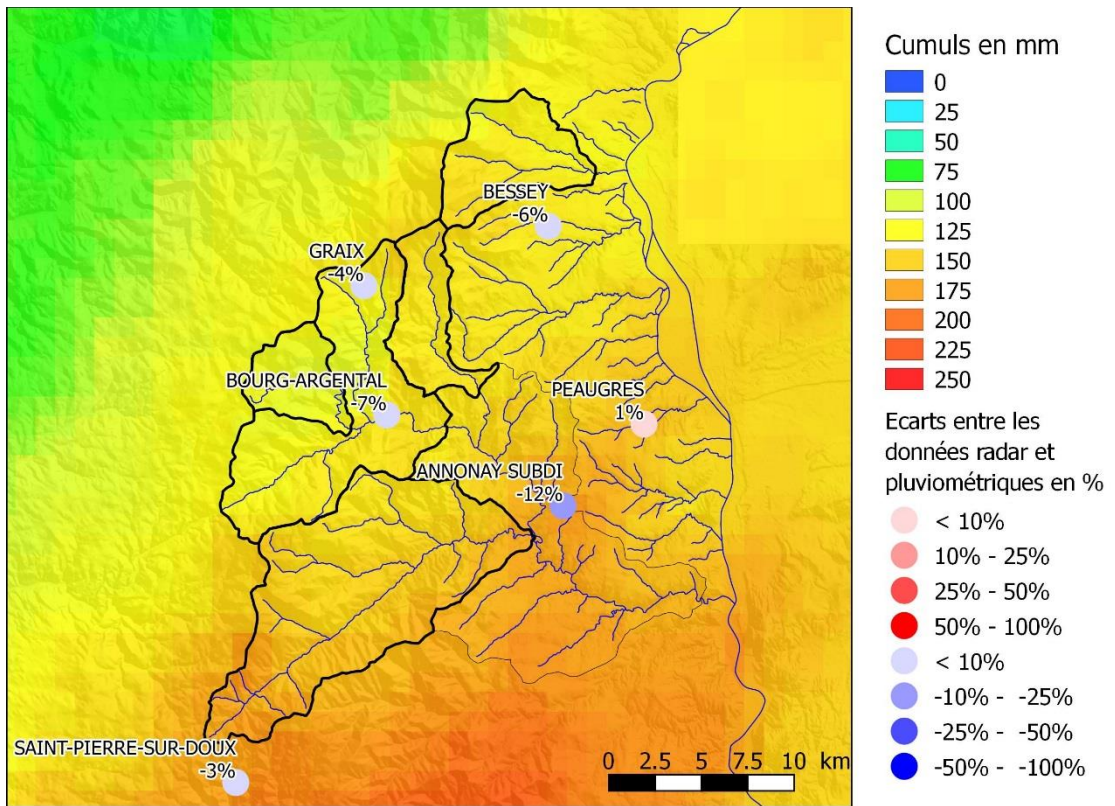
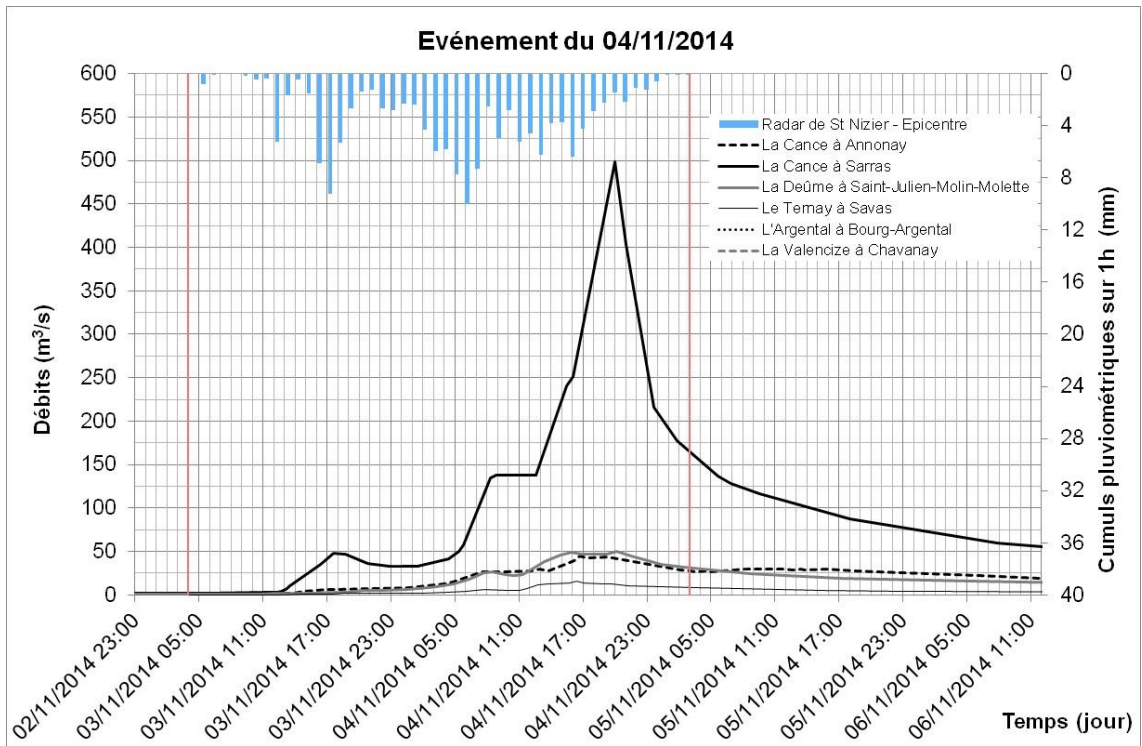






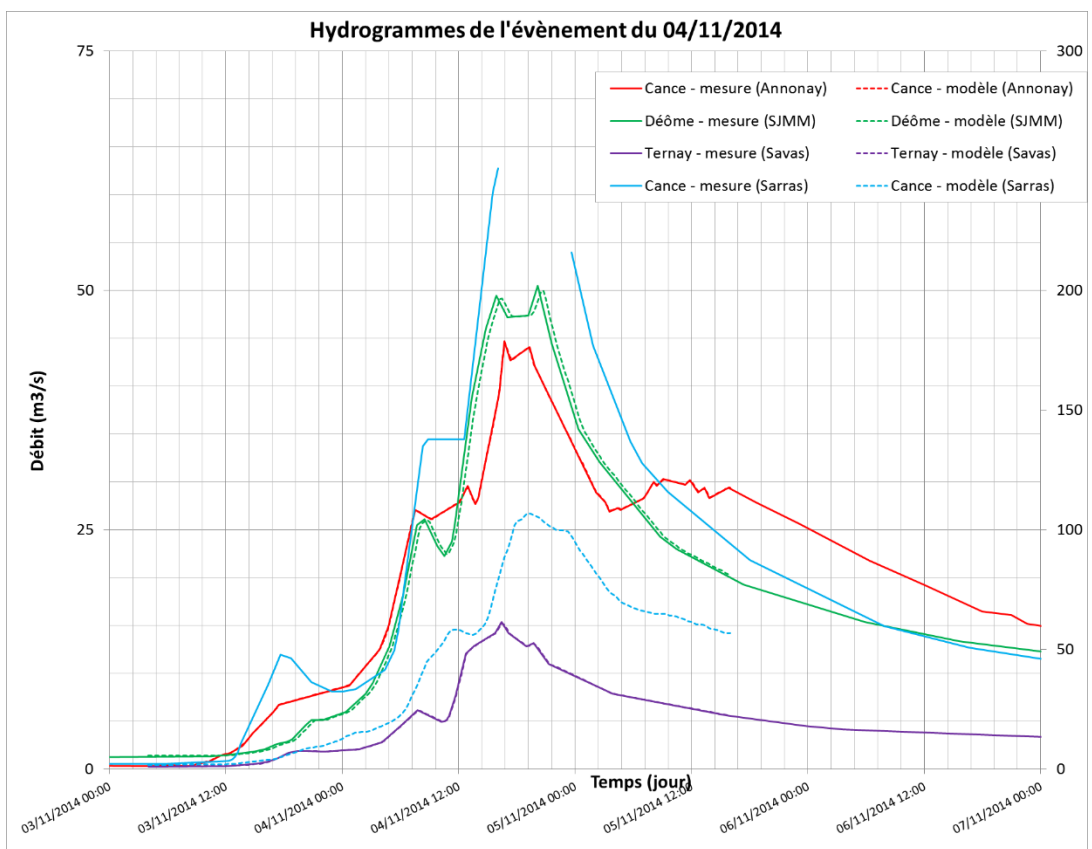
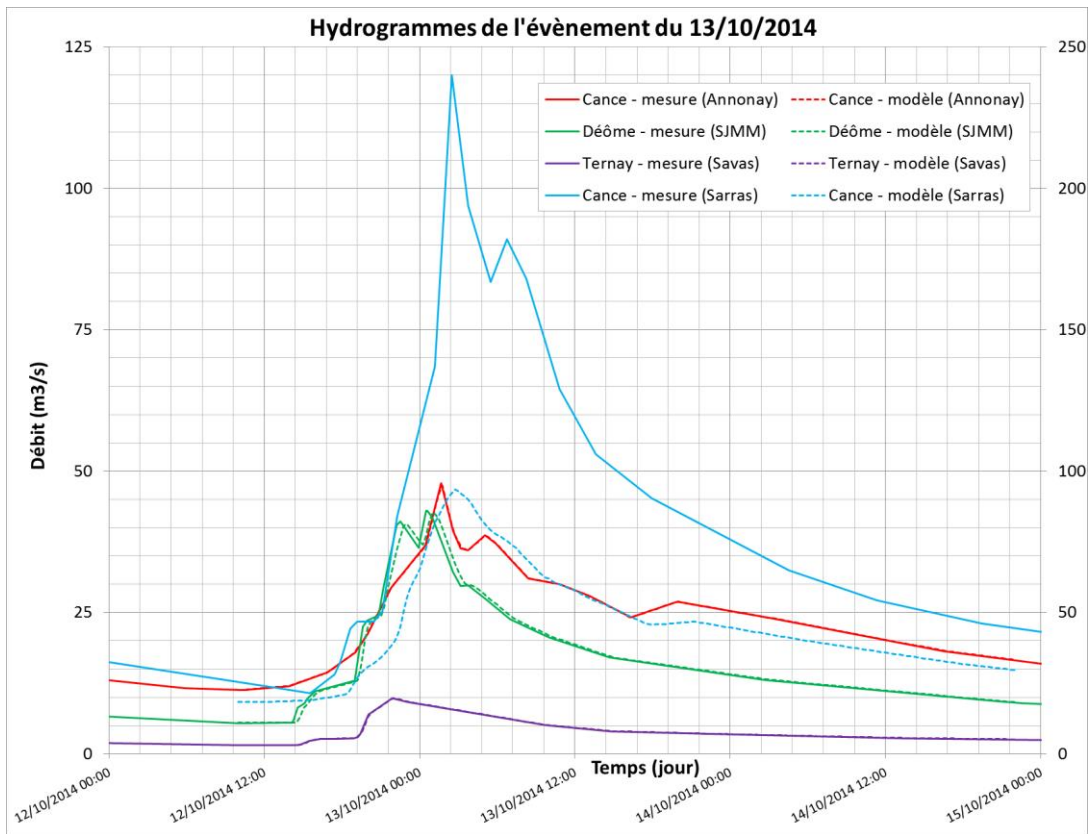






ANNEXE

SIMULATION DE LA PROPAGATION DES HYDROGRAMMES MESURÉS AUX STATIONS DE SAINT JULIEN MOLIN MOLETTE SUR LA DEÛME, ANNONAY SUR LA CANCE ET SAVAS SUR LE TERNAY POUR LES CRUES D'OCTOBRE ET NOVEMBRE 2014



ANNEXE

LOIS STATISTIQUES

Ajustement Gumbel

Le modèle fréquentiel généralement employé en France pour l'analyse des séries annuelles est la distribution statistique de Gumbel. La fonction de répartition de la loi de Gumbel s'exprime telle que :

$$F(x) = \exp(-\exp(-u))$$

où u est une variable réduite définie par les paramètres de l'ajustement de Gumbel a et b telle que :

$$u = \frac{x - a}{b}$$

En pratique, on détermine la probabilité de non-dépassement $F(x_i)$ qu'il convient d'attribuer à chaque valeur extrême x_i . La procédure consiste à trier les valeurs extrêmes par ordre croissant de manière à leurs attribuer un rang r . La fréquence empirique de Weibull retenue ici permet de définir une fréquence de non-dépassement des valeurs historiques, telle que :

$$F(x_i) = \frac{r}{N + 1}$$

Où r est le rang de la valeur x_i et N est le nombre de valeurs constituant l'échantillon extrêmes.

La fréquence ainsi attribuée à chaque valeur permet de calculer la variable réduite telle que :

$$u = -\ln(-\ln(F))$$

Dès lors que l'on reporte dans un graphique les valeurs extrêmes x en fonction de la variable réduite u , il est possible d'ajuster une droite passant au mieux par ces points et de déterminer les paramètres a et b de l'ajustement de Gumbel.

Cette droite peut être déterminée de manière graphique (à l'œil, régression linéaire) ou bien par la **méthode des moments**, retenue ici, selon laquelle :

- $a = f(N) \times \sigma$
- $b = \mu - g(N) \times a$

où σ et μ sont respectivement la variance et la moyenne des valeurs de l'échantillon et $f(N)$ et $g(N)$ les coefficients de corrections fonctions du nombre de valeurs de l'échantillon. (À noter que lorsque N tend vers l'infini $f(N)$ vaut $\frac{\sqrt{6}}{\pi}$ et $g(N)$ est égale à la constante d'Euler 0.5772)

Ainsi l'équation de la droite d'ajustement s'écrit :

$$Q = a * u + b$$

Ajustement de Fréchet

Dès lors que l'on reporte dans un graphique les valeurs extrêmes x en fonction de la variable réduite u , il est possible d'ajuster une courbe exponentielle passant au mieux par ces points et de déterminer les paramètres a' et b' de l'ajustement de Fréchet.

Cette courbe peut être déterminée par la méthode des moments selon laquelle :

- $a' = f(N) \times \sigma'$
- $b' = \mu' - g(N) \times a'$

où σ et μ sont respectivement la variance et la moyenne des logarithmes des valeurs de l'échantillon et $f(N)$ et $g(N)$ les coefficients de corrections fonctions du nombre de valeurs de l'échantillon.

Ainsi l'équation de la droite d'ajustement s'écrit :

$$Q = \exp(a' * u + b')$$

Ajustement loi normale

La densité de probabilité de la loi normale ou loi de Gauss s'écrit :

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[\frac{-1}{2} \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right)^2 \right]$$

où σ est l'écart type, μ la moyenne des valeurs de l'échantillon.

En prenant u' comme variable centrée réduite $u' = \frac{x - \mu}{\sigma}$ on a $f(u') = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left(\frac{-1}{2} u'^2 \right)$

$$Q = \sigma * u' + \mu$$

Ajustement loi log-normale

La densité de probabilité de la loi log-normale s'écrit :

$$f(x) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} \exp \left[\frac{-1}{2} \left(\frac{\log x - M}{S} \right)^2 \right]$$

où S est l'écart type des logarithmes des valeurs de l'échantillon et M la moyenne des logarithmes des valeurs de l'échantillon.

En prenant u' comme variable centrée réduite $u' = \frac{\log x - M}{S}$ on a $f(u') = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left(\frac{-1}{2} u'^2 \right)$

$$\log Q = S * u' + M$$

ANNEXE

SÉRIES DE DONNÉES UTILISÉES POUR L'AJUSTEMENT STATISTIQUE PAR STATION

STATION La Cance à Annonay

NOMBRE D'ANNEES : 13

Année hydrologique	BRUT		CLASSE		
	debit m3/s	date	N° RANG	debit classe m3/s	date
2003	74.5	02/12/2003 13:43	1	5.35	12/05/2010 16:53
2004	25.3	04/11/2004 19:41	2	6.55	01/05/2012 14:57
2005	6.72	20/02/2006 00:09	3	6.72	20/02/2006 00:09
2006	27.6	17/11/2006 22:41	4	11.2	17/09/2015 07:27
2007	12.7	30/05/2008 19:12	5	12.7	30/05/2008 19:12
2008	32.8	06/02/2009 18:27	6	14.6	19/01/2014 08:41
2009	5.35	12/05/2010 16:53	7	25.3	04/11/2004 19:41
2010	35.7	01/11/2010 02:20	8	27.6	17/11/2006 22:41
2011	6.55	01/05/2012 14:57	9	28.3	18/05/2013 15:35
2012	28.3	18/05/2013 15:35	10	32.8	06/02/2009 18:27
2013	14.6	19/01/2014 08:41	11	35.7	01/11/2010 02:20
2014	47.9	13/10/2014 01:40	12	47.9	13/10/2014 01:40
2015	11.2	17/09/2015 07:27	13	74.5	02/12/2003 13:43

STATION La Cance à Sarras

NOMBRE D'ANNEES : 21

Année hydrologique	BRUT		CLASSE		
	debit m3/s	date	N° RANG	debit classe m3/s	date
1990	45.6	22/03/1991	1	17.1	05/04/1992
1991	17.1	05/04/1992	2	18.1	12/05/2010
1995	89.6	05/10/1995	3	20.8	20/10/2001
1996	312	13/11/1996	4	20.8	20/02/2006
1999	208	23/10/1999	5	26.4	29/04/2012
2000	32.7	08/12/2000	6	29.8	23/11/2007
2001	20.8	20/10/2001	7	32.7	08/12/2000
2002	182	25/11/2002	8	45.6	22/03/1991
2003	388	02/12/2003	9	54.4	17/09/2015
2004	70	04/11/2004	10	59.3	26/12/2013
2005	20.8	20/02/2006	11	60.2	01/11/2010
2006	87.8	17/11/2006	12	70	04/11/2004
2007	29.8	23/11/2007	13	87.8	17/11/2006
2008	177	06/02/2009	14	89.6	05/10/1995
2009	18.1	12/05/2010	15	142	18/05/2013
2010	60.2	01/11/2010	16	177	06/02/2009
2011	26.4	29/04/2012	17	182	25/11/2002
2012	142	18/05/2013	18	208	23/10/1999
2013	59.3	26/12/2013	19	312	13/11/1996
2014	320	04/11/2014	20	320	04/11/2014
2015	54.4	17/09/2015	21	388	02/12/2003

STATION La Deume à Saint-Julien-Molin-Molette [La Garinière]

NOMBRE D'ANNEES : 21

Année hydrologique	BRUT		CLASSE		
	debit m3/s	date	N° RANG	debit classe m3/s	date
1995	14.3	05/10/1995 09:51	1	5.42	04/03/1999 02:15
1996	61	13/11/1996 05:08	2	6.36	03/06/2002 16:20
1997	12.8	27/06/1998 19:50	3	6.57	19/02/2006 17:00
1998	5.42	04/03/1999 02:15	4	8.14	22/07/2016 14:28
1999	38.2	23/10/1999 02:29	5	8.56	12/05/2010 16:12
2000	9.49	05/05/2001 04:50	6	9.49	05/05/2001 04:50
2001	6.36	03/06/2002 16:20	7	11.5	23/11/2007 05:51
2002	43.7	24/11/2002 23:09	8	12.8	27/06/1998 19:50
2003	117	02/12/2003 00:00	9	13.2	25/12/2013 22:50
2004	17.3	17/04/2005 11:20	10	14.3	05/10/1995 09:51
2005	6.57	19/02/2006 17:00	11	15.9	21/06/2012 13:12
2006	40.1	17/11/2006 21:50	12	17	01/11/2010 00:53
2007	11.5	23/11/2007 05:51	13	17.3	17/04/2005 11:20
2008	51.3	02/11/2008 00:00	14	28.9	18/05/2013 15:50
2009	8.56	12/05/2010 16:12	15	38.2	23/10/1999 02:29
2010	17	01/11/2010 00:53	16	40.1	17/11/2006 21:50
2011	15.9	21/06/2012 13:12	17	43.7	24/11/2002 23:09
2012	28.9	18/05/2013 15:50	18	50.5	04/11/2014 20:09
2013	13.2	25/12/2013 22:50	19	51.3	02/11/2008 00:00
2014	50.5	04/11/2014 20:09	20	61	13/11/1996 05:08
2015	8.14	22/07/2016 14:28	21	117	02/12/2003 00:00

En rose : débits reconstitués par AnteaGROUP dans le cadre de l'étude hydraulique du site de Faya dans le vallon de la Deûme à Annonay - 2015

STATION L'Argental à Bourg-Argental

NOMBRE D'ANNEES : 17

Année hydrologique	BRUT		CLASSE		
	debit m3/s	date	N° RANG	debit classe m3/s	date
1978	2.16	11/04/1979	1	1.23	28/03/1984
1979	4.30	26/10/1979	2	1.51	25/05/1990
1980	3.62	25/05/1981	3	2.16	11/04/1979
1981	3.30	29/12/1981	4	2.76	11/10/1988
1982	3.03	08/12/1982	5	3.03	08/12/1982
1983	1.23	28/03/1984	6	3.30	29/12/1981
1984	4.98	08/05/1985	7	3.30	18/03/1988
1985	7.24	24/04/1986	8	3.62	25/05/1981
1986	12.70	04/04/1987	9	3.79	22/03/1991
1987	3.30	18/03/1988	10	3.96	03/08/1992
1988	2.76	11/10/1988	11	4.30	26/10/1979
1989	1.51	25/05/1990	12	4.98	08/05/1985
1990	3.79	22/03/1991	13	5.15	22/09/1992
1991	3.96	03/08/1992	14	7.24	24/04/1986
1992	5.15	22/09/1992	15	7.45	31/05/1995
1993	11.30	05/10/1993	16	11.30	05/10/1993
1994	7.45	31/05/1995	17	12.70	04/04/1987

STATION Le Ternay à Savas [Ternay]

NOMBRE D'ANNEES : 21

Année hydrologique	BRUT		CLASSE		
	débit m3/s	date	N° RANG	débit classe m3/s	date
1993	12.6	07/01/1994	1	1.5	04/03/1999
1995	7.81	05/10/1995	2	1.52	31/05/1998
1996	16	13/11/1996	3	1.67	11/05/2010
1997	1.52	31/05/1998	4	1.82	19/02/2006
1998	1.5	04/03/1999	5	1.85	07/06/2016
2000	3.21	05/05/2001	6	3.21	05/05/2001
2001	3.34	03/06/2002	7	3.34	03/06/2002
2002	11.1	24/11/2002	8	3.35	31/10/2010
2003	16	02/12/2003	9	3.78	29/04/2012
2004	9.87	17/04/2005	10	5.24	17/11/2006
2005	1.82	19/02/2006	11	6.36	18/05/2013
2006	5.24	17/11/2006	12	6.51	11/06/2008
2007	6.51	11/06/2008	13	7.81	05/10/1995
2008	9.29	01/11/2008	14	9.29	01/11/2008
2009	1.67	11/05/2010	15	9.87	17/04/2005
2010	3.35	31/10/2010	16	11.1	24/11/2002
2011	3.78	29/04/2012	17	12.6	07/01/1994
2012	6.36	18/05/2013	18	15.4	04/11/2014
2013	19	03/08/2014	19	16	13/11/1996
2014	15.4	04/11/2014	20	16	02/12/2003
2015	1.85	07/06/2016	21	19	03/08/2014

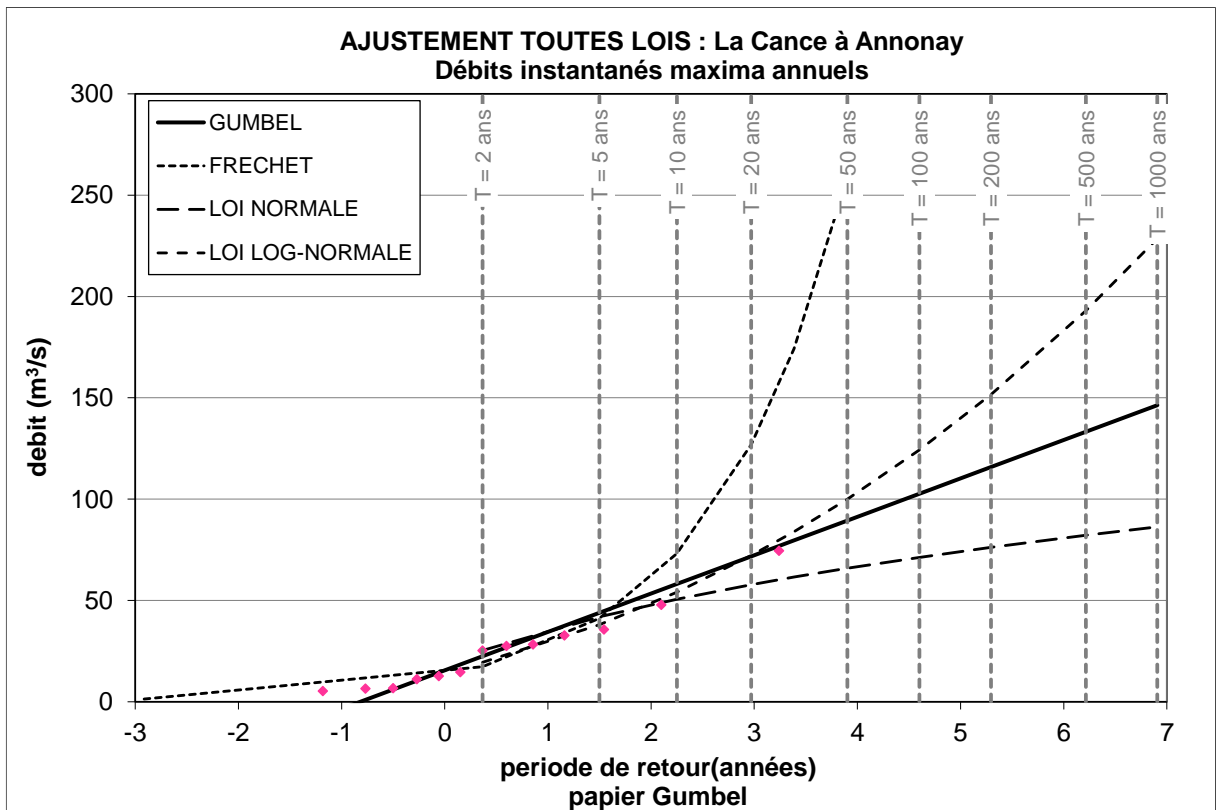
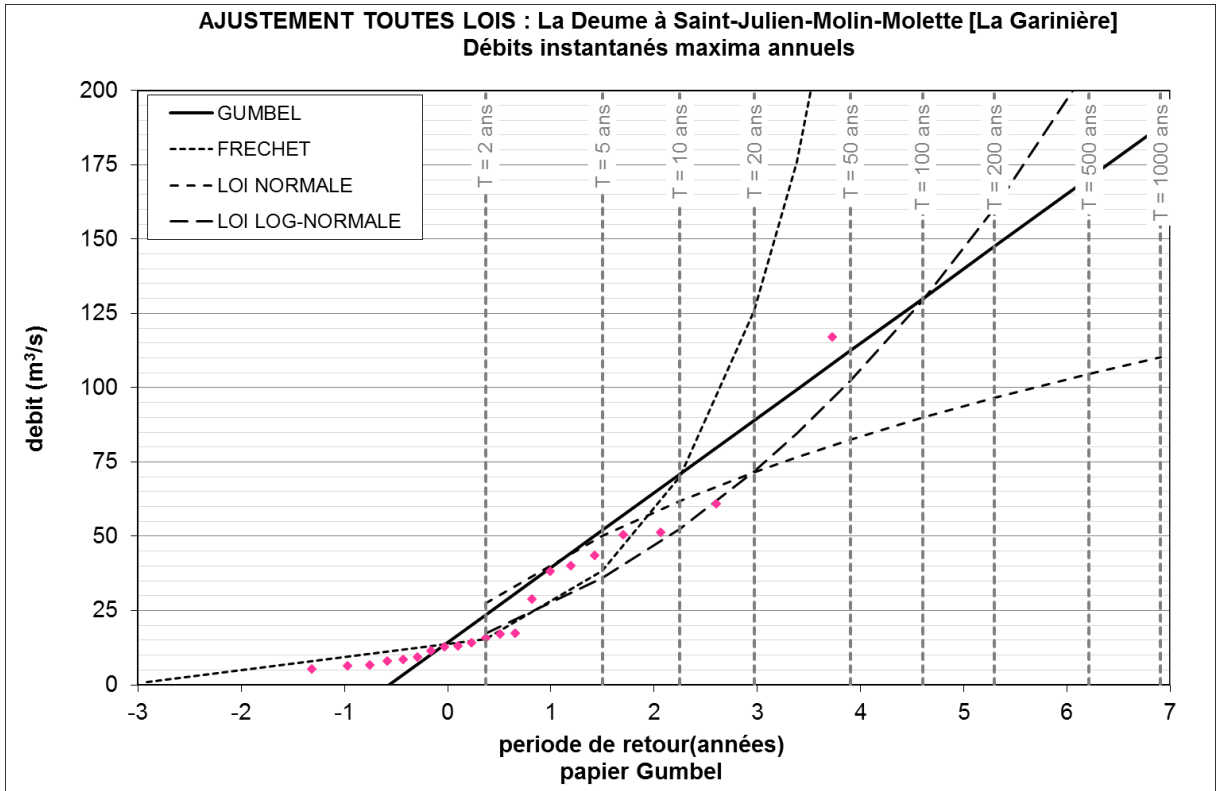
STATION La Valencize à Chavanay

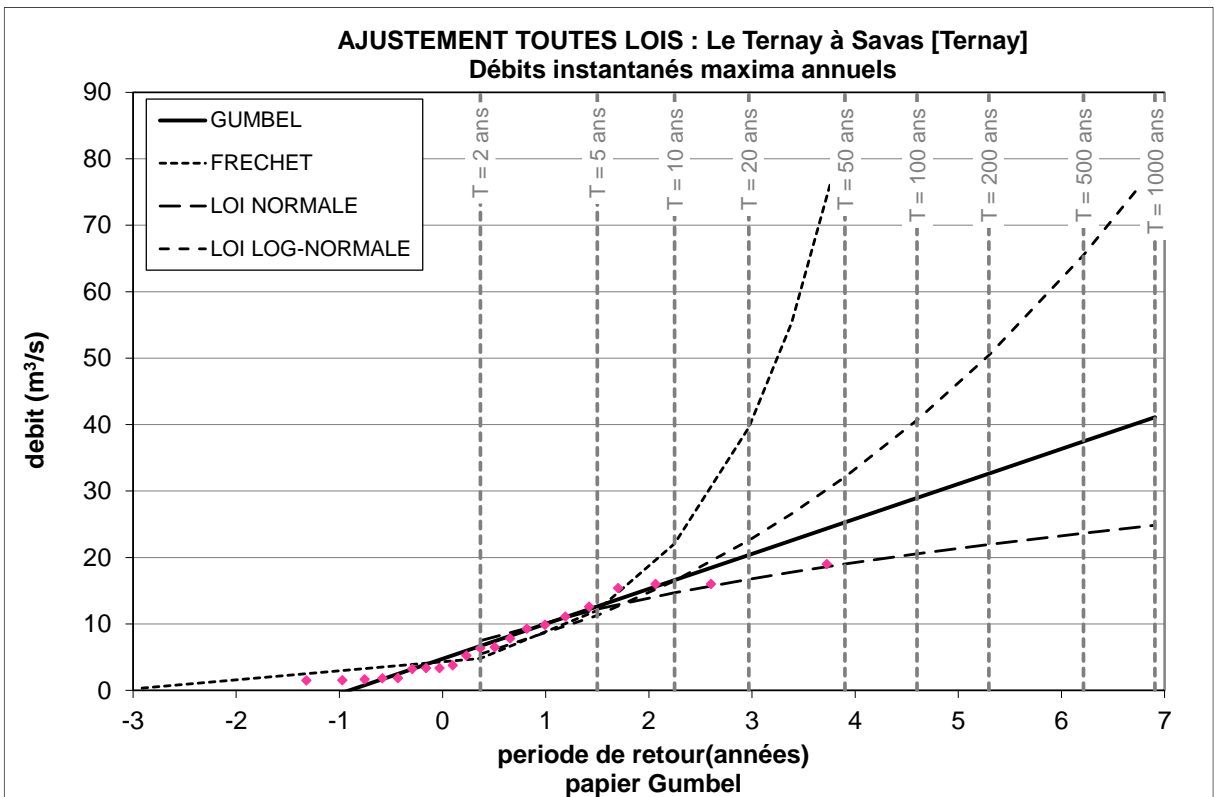
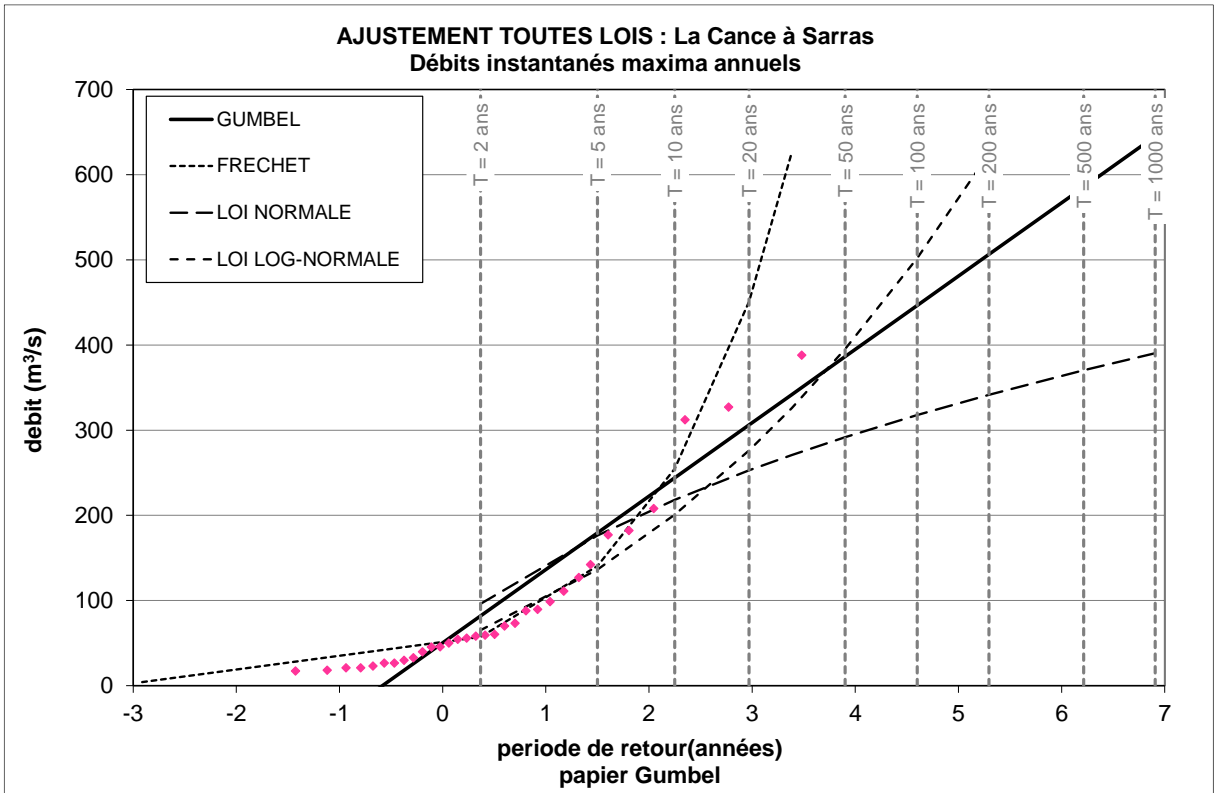
NOMBRE D'ANNEES : 36

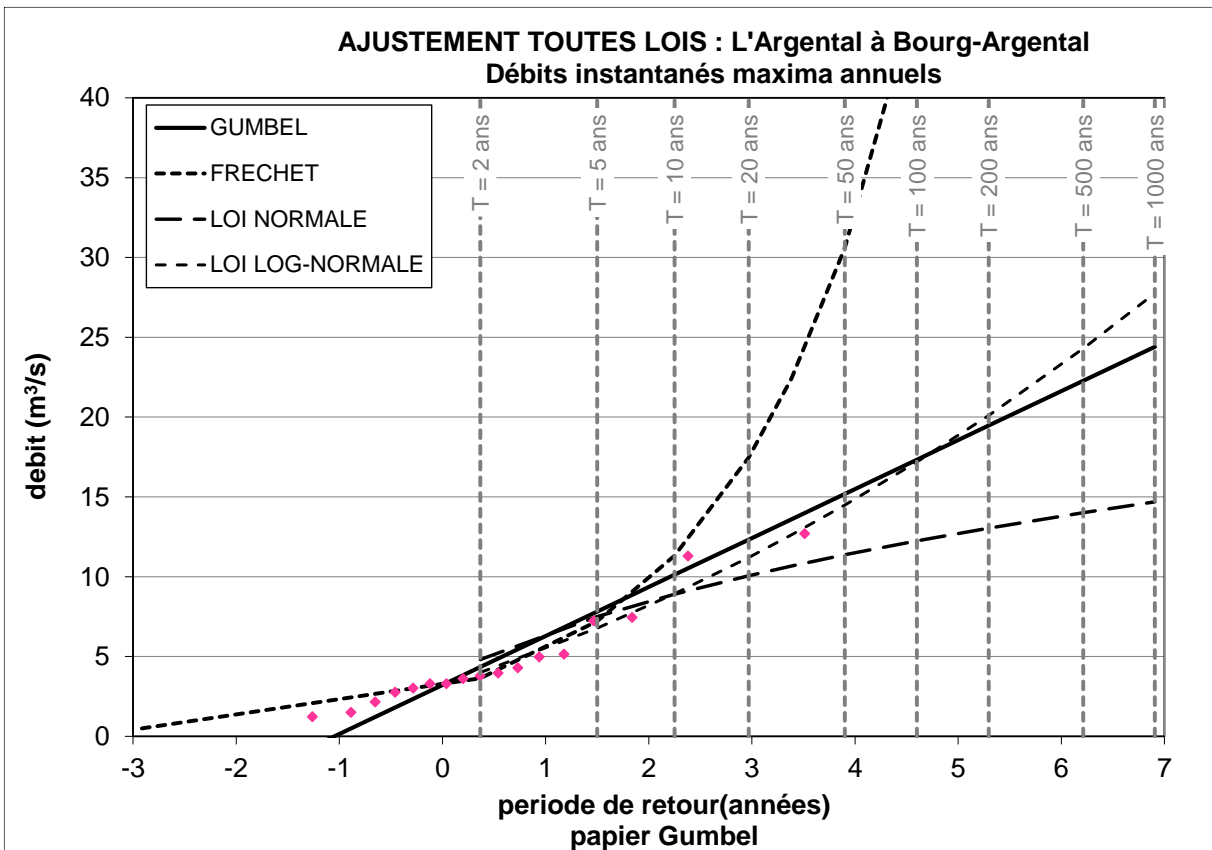
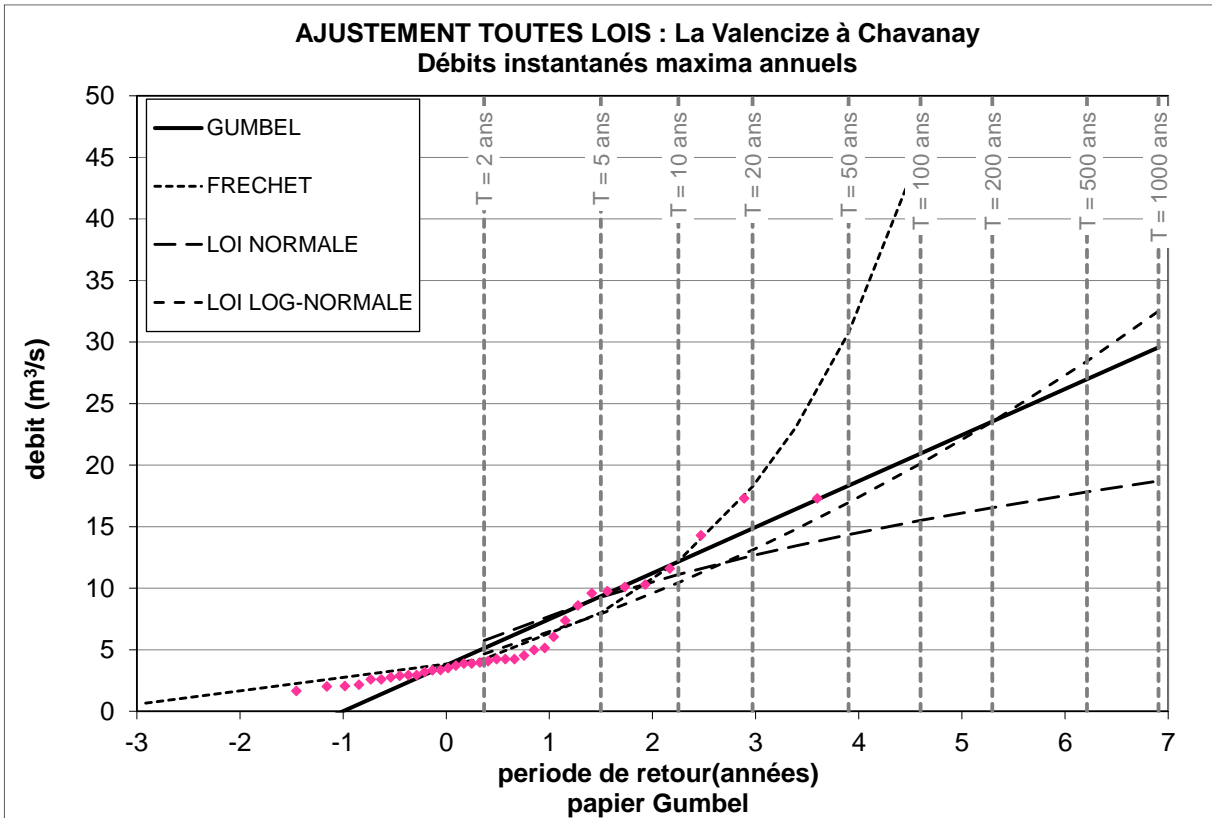
Année hydrologique	BRUT		CLASSE		
	debit m3/s	date	N° RANG	debit classe m3/s	date
1978	1.65	20/03/1979	1	1.65	20/03/1979
1979	4.24	14/10/1979	2	2.01	19/05/1996
1980	2.89	26/05/1981	3	2.05	01/06/1995
1981	2.59	18/12/1981	4	2.16	10/04/2006
1982	7.36	26/04/1983	5	2.59	18/12/1981
1983	3.88	03/06/1984	6	2.6	15/03/2002
1984	4.24	08/05/1985	7	2.75	11/10/1989
1985	4.98	25/04/1986	8	2.89	26/05/1981
1986	4.24	12/02/1987	9	2.93	04/03/1999
1987	3.88	29/10/1987	10	2.94	27/04/1998
1989	2.75	11/10/1989	11	3.19	05/04/1992
1990	3.72	25/11/1990	12	3.34	14/05/2007
1991	3.19	05/04/1992	13	3.35	01/11/2010
1992	4.07	22/09/1992	14	3.51	11/04/2008
1993	10.3	07/01/1994	15	3.72	25/11/1990
1994	2.05	01/06/1995	16	3.88	03/06/1984
1995	2.01	19/05/1996	17	3.88	29/10/1987
1996	9.59	13/11/1996	18	3.97	02/08/2010
1997	2.94	27/04/1998	19	4.07	22/09/1992
1998	2.93	04/03/1999	20	4.24	14/10/1979
1999	5.15	23/10/1999	21	4.24	08/05/1985
2000	4.52	17/03/2001	22	4.24	12/02/1987
2001	2.6	15/03/2002	23	4.52	17/03/2001
2002	8.6	24/11/2002	24	4.98	25/04/1986
2003	17.3	02/12/2003	25	5.15	23/10/1999
2004	17.3	17/04/2005	26	6.04	25/12/2013
2005	2.16	10/04/2006	27	7.36	26/04/1983
2006	3.34	14/05/2007	28	8.6	24/11/2002
2007	3.51	11/04/2008	29	9.59	13/11/1996
2008	10.1	01/11/2008	30	9.76	29/11/2012
2009	3.97	02/08/2010	31	10.1	01/11/2008
2010	3.35	01/11/2010	32	10.3	07/01/1994
2011	11.6	15/04/2012	33	11.6	15/04/2012
2012	9.76	29/11/2012	34	14.3	13/10/2014
2013	6.04	25/12/2013	35	17.3	02/12/2003
2014	14.3	13/10/2014	36	17.3	17/04/2005

ANNEXE

AJUSTEMENTS STATISTIQUES TOUTES LOIS







ANNEXE

DÉBITS MAXIMA INSTANTANÉS ANNUELS, AJUSTEMENT

LOIS DE GUMBEL ET GRADEX

MÉTHODE DE CALCUL DES INTERVALLES DE CONFIANCE

Pour une loi de Gumbel, on utilise en général l'approximation suivante :

- Borne inférieure : $\widehat{q}_p - h_1 \cdot \widehat{\sigma}$
- Borne supérieure : $\widehat{q}_p - h_2 \cdot \widehat{\sigma}$

Avec σ l'écart-type de l'échantillon et $q_p = \mu - \lambda \cdot \log(-\log(p))$ pour la loi de Gumbel

$h_1 =$	$h_2 =$	$t_p =$
$\frac{A - B}{C}$	$\frac{A + B}{C}$	$\frac{-\log(-\log(p)) - 0,577}{1,28}$

A =	B =	C =
$u_{1-\frac{1-\alpha}{2}} \cdot \sqrt{\frac{1+1,13 \cdot t_p + 1,1 \cdot t_p^2}{n}}$	$\frac{\left(u_{1-\frac{1-\alpha}{2}}\right)^2}{\frac{1,1 \cdot t_p + 0,57}{n}}$	$1 - \frac{1,1}{n} \cdot \left(u_{1-\frac{1-\alpha}{2}}\right)$

Notons que si n est grand, alors B devient négligeable devant A, et l'intervalle de confiance devient symétrique, signe de convergence vers la normalité.

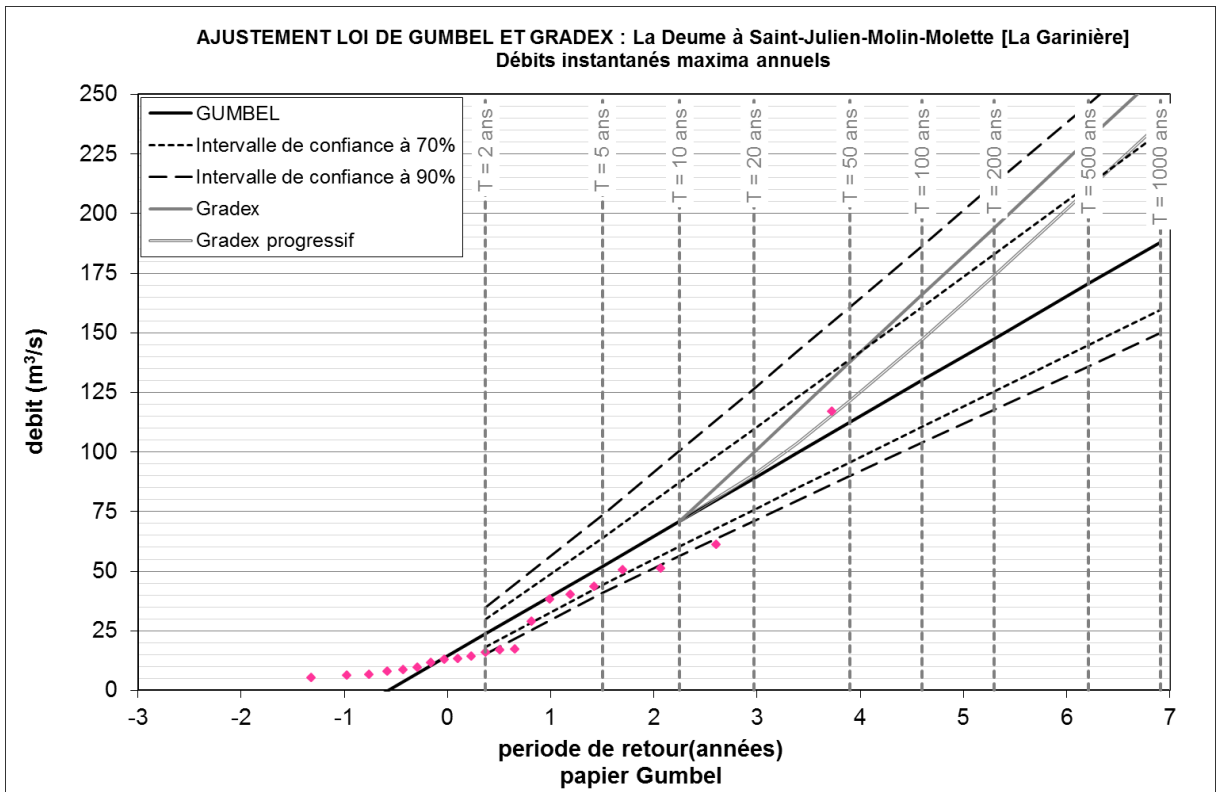
(Référence : Estimation de la crue centennale pour les plans de prévention des risques d'inondation, M. Lang, J. Lavabre)

Déôme à Saint-Julien-Molin-Molette

Ajustements selon une loi de Gumbel :

PERIODE DE RETOUR (ans)	Qix TRONQUE (m3/s)	IC à 70% TRONQUE E (m3/s)	IC à 90% TRONQUE (m3/s)
2	23.6	18.3 - 30.1	15.4 - 34.8
5	52.1	44.2 - 64.0	41.0 - 73.5
10	71.0	60.5 - 87.3	56.6 - 100.6
20	89.1	75.9 - 109.8	71.2 - 126.8
30	99.5	84.8 - 122.8	79.5 - 142.0
50	112.5	95.8 - 139.1	89.9 - 161.0
100	130.0	110.7 - 161.1	103.9 - 186.6
200	147.5	125.5 - 183.0	117.8 - 212.3
500	170.6	144.9 - 212.0	136.0 - 246.1
1000	188.0	159.6 - 233.9	149.8 - 271.8

DEBIT GRADEX (m3/s) 24.00	DEBIT GRADEX PROGRE 24.00	IC à 70% (m3/s)	IC à 90% (m3/s)
-	-	-	-
-	-	-	-
71.0	71.0	-	-
100.1	90.5	-	-
116.8	103.6	-	-
137.7	121.5	-	-
165.9	147.2	-	-
194.0	174.1	-	-
231.1	210.4	-	-
259.2	238.1	-	-

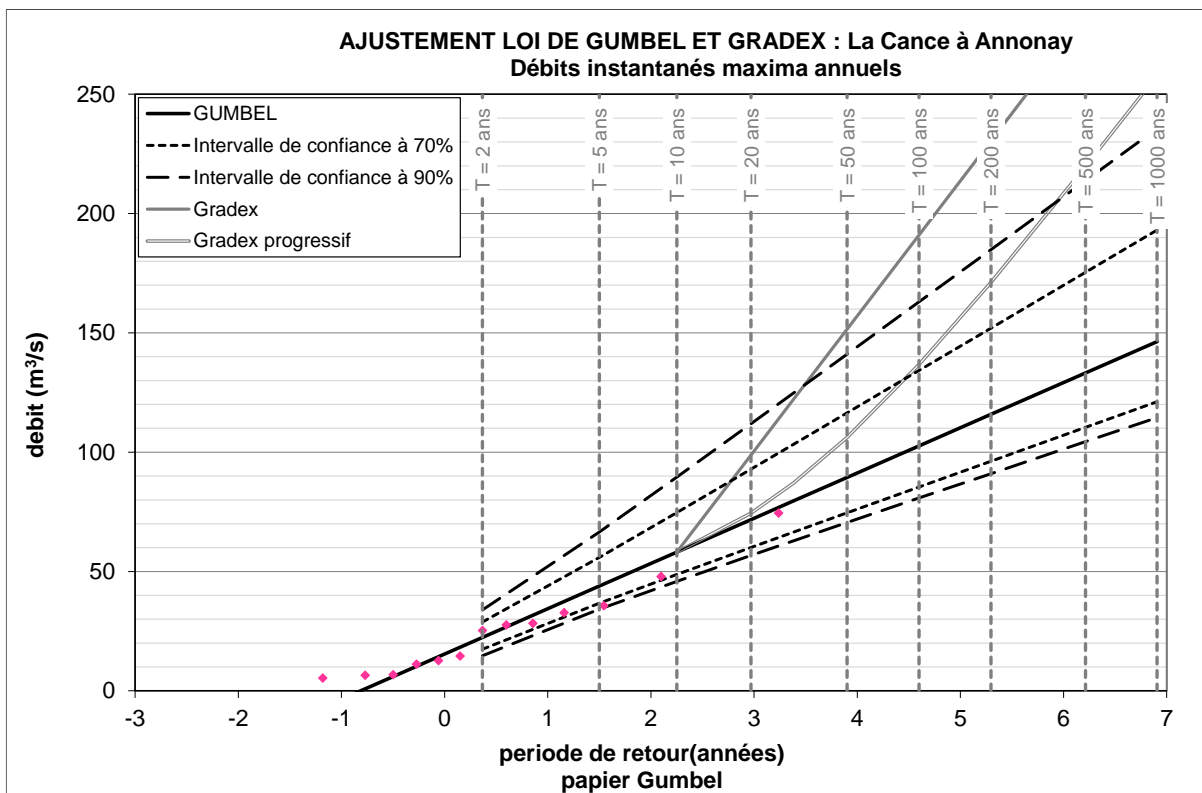


Cance à Annonay

Ajustements selon une loi de Gumbel :

PERIODE DE RETOUR (ans)	Qix (m3/s)	IC à 70% (m3/s)	IC à 90% (m3/s)
2	22.4	17.4 - 28.8	14.7 - 33.9
5	43.9	36.7 - 55.9	34.2 - 66.6
10	58.1	48.7 - 74.7	45.9 - 89.5
20	71.8	60.1 - 92.9	56.7 - 111.9
30	79.6	66.5 - 103.4	62.9 - 124.8
50	89.4	74.6 - 116.5	70.5 - 141.0
100	102.7	85.4 - 134.3	80.8 - 163.0
200	115.8	96.2 - 152.0	91.0 - 184.8
500	133.2	110.4 - 175.4	104.4 - 213.8
1000	146.4	121.1 - 193.1	114.5 - 235.6

DEBIT GRADEX (m3/s)	DEBIT GRADEX PROGRESSIF F (m3/s)	IC à 70% (m3/s)	IC à 90% (m3/s)
10	10	-	-
-	-	-	-
58.1	58.1	-	-
99.3	74.5	-	-
122.9	87.2	-	-
152.5	106.4	-	-
192.4	137.1	-	-
232.2	171.7	-	-
284.7	220.9	-	-
324.3	259.4	-	-

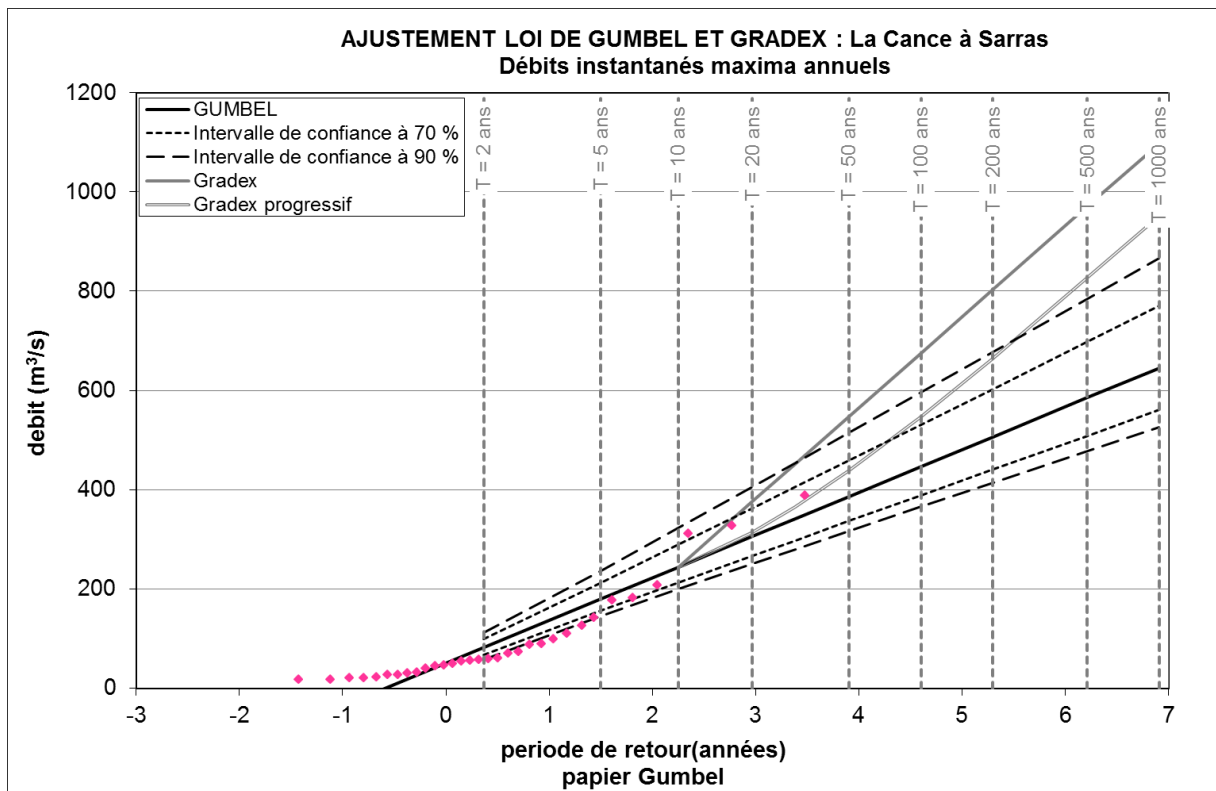


Cance à Sarras

Ajustements selon une loi de Gumbel :

PERIODE DE RETOUR (ans)	Qix (m3/s)	IC à 70% (m3/s)	IC à 90% (m3/s)
2	81.9	66.6 - 99.8	58.3 - 112.2
5	179.5	156.1 - 212.0	145.8 - 236.5
10	244.1	213.0 - 288.5	200.0 - 322.5
20	306.1	267.1 - 362.5	251.1 - 405.9
30	341.7	298.0 - 405.2	280.3 - 454.1
50	386.3	336.7 - 458.6	316.6 - 514.5
100	446.4	388.7 - 530.8	365.5 - 596.1
200	506.3	440.5 - 602.7	414.1 - 677.4
500	148.2	508.7 - 697.8	478.1 - 784.9
1000	645.0	560.3 - 769.6	526.5 - 866.2

DEBIT GRADEX (m3/s)	DEBIT GRADEX PROGRESSIF (m3/s)	IC à 70% (m3/s)	IC à 90% (m3/s)
-	-	-	-
-	-	-	-
244.1	244.1	-	-
376.1	314.7	-	-
452.0	365.5	-	-
546.9	437.9	-	-
674.9	547.3	-	-
802.5	664.8	-	-
970.8	826.9	-	-
1097.9	951.9	-	-

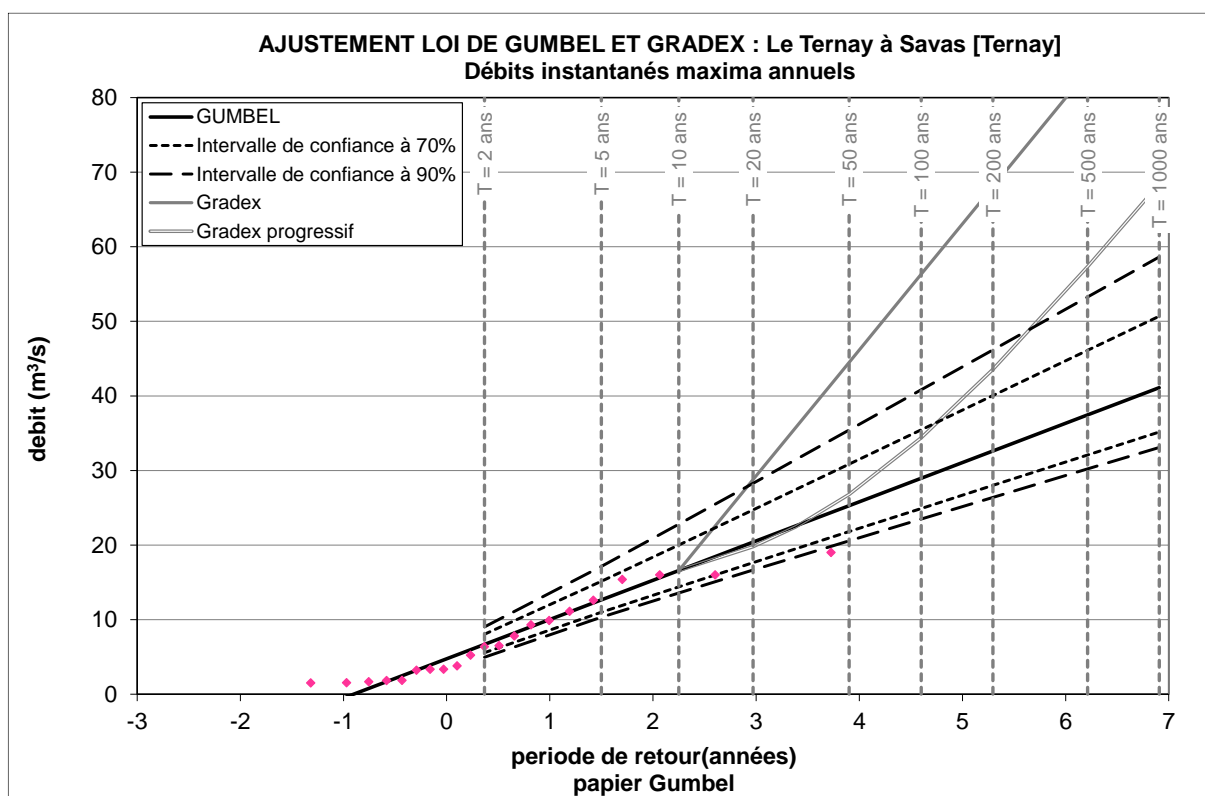


Ternay à Savas

Ajustements selon une loi de Gumbel :

PERIODE DE RETOUR (ans)	Qix (m3/s)	IC à 70% (m3/s)	IC à 90% (m3/s)
2	6.7	5.6 - 8.0	5.0 - 9.0
5	12.6	11.0 - 15.1	10.3 - 17.1
10	16.6	14.4 - 20.0	13.6 - 22.8
20	20.4	17.6 - 24.7	16.6 - 28.3
30	22.6	19.5 - 27.4	18.4 - 31.5
50	25.3	21.8 - 30.8	20.6 - 35.4
100	29.0	24.9 - 35.5	23.5 - 40.8
200	32.6	28.0 - 40.0	26.4 - 46.2
500	37.5	32.1 - 46.1	30.2 - 53.3
1000	41.1	35.2 - 50.7	33.1 - 58.6

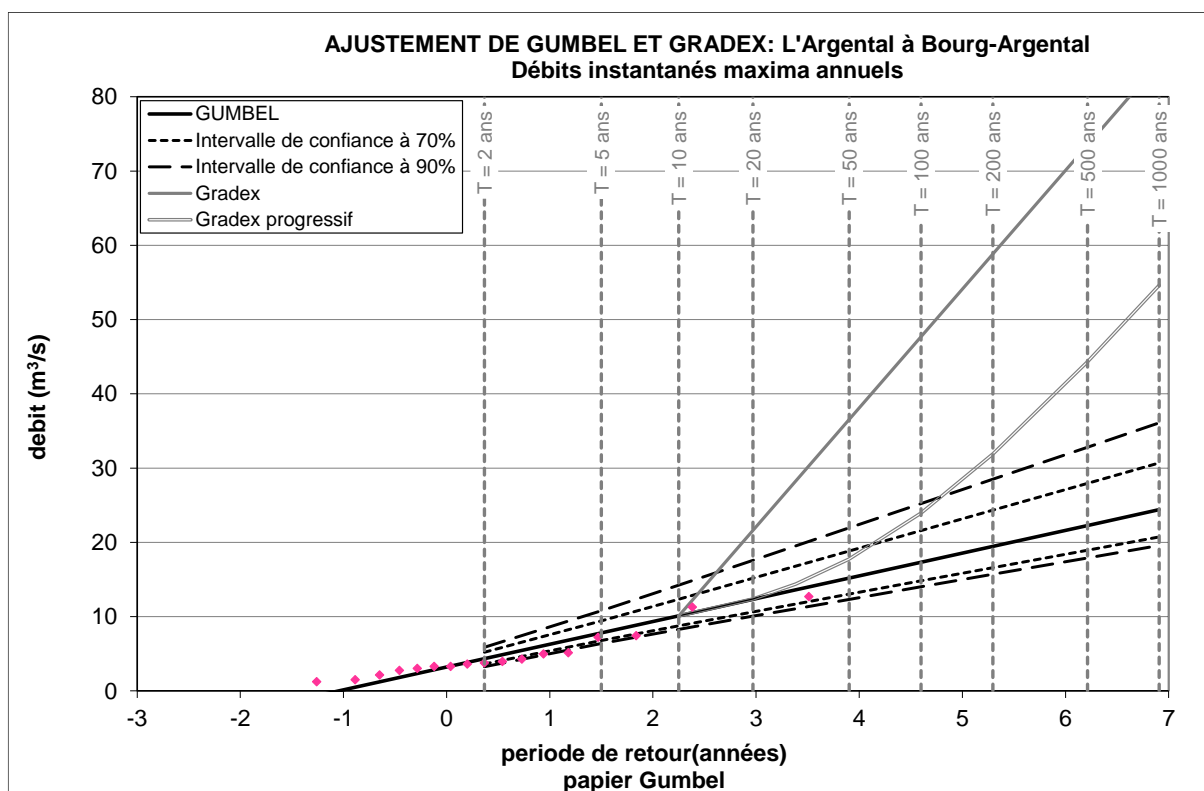
DEBIT GRADEX (m3/s) 20.00	DEBIT GRADEX PROGRE 20.00	IC à 70% (m3/s)	IC à 90% (m3/s)
-	-	-	-
-	-	-	-
16.6	16.6	-	-
28.8	19.8	-	-
35.8	22.4	-	-
44.5	26.8	-	-
56.3	34.4	-	-
68.1	43.6	-	-
83.6	57.3	-	-
95.3	68.5	-	-



Argental à Bourg-Argental

PERIODE DE RETOUR (ans)	Qix (m ³ /s)	IC à 70% (m ³ /s)	IC à 90% (m ³ /s)
2	4.3	3.6 - 5.2	3.2 - 5.9
5	7.8	6.8 - 9.4	6.4 - 10.8
10	10.1	8.8 - 12.4	8.3 - 14.2
20	12.3	10.6 - 15.2	10.1 - 17.6
30	13.6	11.7 - 16.8	11.1 - 19.5
50	15.2	13.0 - 18.8	12.3 - 22.0
100	17.3	14.8 - 21.6	14.0 - 25.2
200	19.5	16.6 - 24.3	15.7 - 28.5
500	22.3	19.0 - 28.0	17.9 - 32.8
1000	24.4	20.7 - 30.7	19.6 - 36.1

DEBIT GRADEX (m ³ /s)	DEBIT GRADEX PROGRESSIF (m ³ /s)	IC à 70% (m ³ /s)	IC à 90% (m ³ /s)
10	10	-	-
-	-	-	-
10.1	10.1	-	-
22.2	12.4	-	-
29.2	14.4	-	-
37.9	17.8	-	-
49.7	24.2	-	-
61.4	32.4	-	-
76.8	45.4	-	-
88.5	56.1	-	-

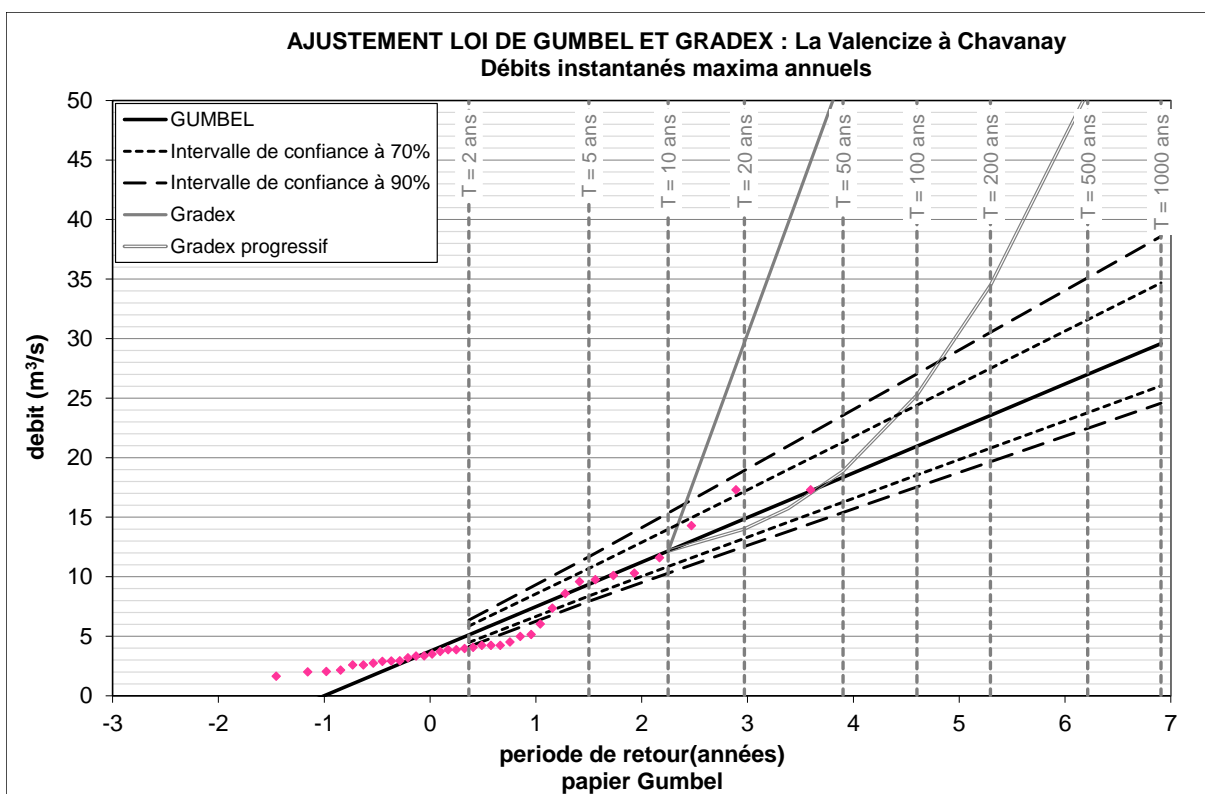


Valencize à Chavanay

Ajustements selon une loi de Gumbel :

PERIODE DE RETOUR (ans)	Qix (m3/s)	IC à 70% (m3/s)	IC à 90% (m3/s)
2	5.1	4.5 - 5.9	4.1 - 6.4
5	9.4	8.4 - 10.7	7.9 - 11.7
10	12.2	10.9 - 14.0	10.3 - 15.4
20	14.9	13.2 - 17.2	12.5 - 18.9
30	16.4	14.6 - 19.0	13.8 - 21.0
50	18.3	16.3 - 21.3	15.4 - 23.6
100	21.0	18.5 - 24.4	17.5 - 27.0
200	23.6	20.8 - 27.5	19.7 - 30.5
500	27.0	23.8 - 31.6	22.5 - 35.1
1000	29.6	26.0 - 34.7	24.6 - 38.6

DEBIT GRADEX (m3/s) 20.00	DEBIT GRADEX PROGRE 20.00	IC à 70% (m3/s)	IC à 90% (m3/s)
-	-	-	-
-	-	-	-
12.2	12.2	-	-
29.7	14.0	-	-
39.7	15.7	-	-
52.3	18.9	-	-
69.3	25.3	-	-
86.2	34.5	-	-
108.5	50.7	-	-
125.3	65.2	-	-



ANNEXE

COMPARAISON HYÉTOGRAMMES/HYDROGRAMMES

P010 – P100

