



*Liberté • Égalité • Fraternité*

**RÉPUBLIQUE FRANÇAISE**

Direction Départementale des Territoires et de la Mer - Gard

---

Elaboration de PPRI sur les communes  
du bassin versant aval du Gardon

## Rapport

016 28902 | Octobre 2016 | v4







Le Crystallin  
191/193 Cours Lafayette  
CS 20087  
69458 Lyon Cedex 06

Email : [lyon@hydra.setec.fr](mailto:lyon@hydra.setec.fr)

T : 04 27 85 48 80  
F : 04 27 85 48 81

Directeur d'affaire : MUF

Responsable d'affaire : DUC

N° affaire : 016 28902

Fichier : 28902\_Rapport\_V6.docx

Version	Date	Etabli par	Vérfié par	Nb pages	Observations / Visa
0	29/10/204	DUC	DUC		
1	27/07/2015	DUC	BBR	215	
2	23/09/2015	DUC	BBR	215	Prise en compte remarques DDTM30
3	11/02/2016	DUC	BBR	215	Prise en compte remarques DDTM30
4	26/06/2016	DUC	QLB	223	Compléments calage et construction des modèles
5	17/10/2016	DUC	QLB	225	Prise en compte remarques DDTM30



## TABLE DES MATIERES

1	CONTEXTE ET OBJECTIFS .....	12
2	PRESENTATION DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE ET DES BASSINS VERSANTS .....	14
2.1	Réseau hydrographique sur le secteur d'étude .....	14
2.1.1	Le Gardon.....	14
2.1.2	Les affluents du Gardon : .....	15
2.1.3	Carte de présentation générale .....	16
2.2	Contexte climatique général.....	16
2.3	Contexte géologique.....	17
2.3.1	Structure géologique du secteur d'étude .....	17
2.3.2	Description des terrains rencontrés .....	20
2.3.3	Rôle de la géologie de surface sur la genèse les écoulements .....	20
2.4	Occupation du sol.....	22
3	ANALYSE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE.....	24
3.1	Objet de l'approche hydrogéomorphologique .....	24
3.1.1	Données existantes.....	24
3.1.2	Objet de la mission.....	24
3.2	Influence de la géologie sur l'analyse hydrogéomorphologique .....	24
3.2.1	Secteur crétacé .....	24
3.2.2	Secteur de la plaine molassique d'Uzès .....	25
3.2.3	Secteur oligocène de la vallée du Bourdic.....	25
3.3	Analyse hydrogéomorphologique par secteurs.....	25
3.3.1	Bassin du Gardon aval.....	25
3.3.2	Le Bourdic .....	27
3.3.3	Le Riau, la Rial et le ruisseau de Villeneuve .....	29
3.3.4	L'Alzon et les Seynes.....	29
3.3.5	Le ruisseau du Grand Vallat.....	29
3.3.6	Ruisseau de Font Barzaude.....	30
3.3.7	La Valliguère.....	30
4	ANALYSE HYDROLOGIQUE .....	31
4.1	Démarche générale .....	31
4.2	Hydrométrie .....	31
4.2.1	Pont de Ners (Boucoiran et Nozières) .....	33
4.2.2	Russan (Sainte Anastasie).....	34
4.2.3	Remoulins - SPC.....	36

4.2.4	Remoulins CNR.....	39
4.3	Pluviométrie.....	41
4.3.1	Stations sol.....	41
4.3.2	Images radar.....	44
4.3.3	Pluies SHYREG.....	45
4.4	Analyse statistique des données pluviométriques.....	45
4.4.1	Analyse de la pluviométrie au pas 24 heures.....	45
4.4.2	Analyse de la pluviométrie aux pas de temps infra journaliers.....	52
4.5	Analyse statistique des débits de crue.....	53
4.5.1	Saisonnalité des crues.....	53
4.5.2	Définition des débits de période de retour fréquente.....	53
4.5.3	Extrapolation aux périodes de retour rares.....	58
4.5.4	Conclusion.....	63
4.5.5	Comparaison avec les données issues de la bibliographie.....	65
4.6	Construction du modèle pluie-débit.....	67
4.6.1	Découpage en sous bassins versants.....	67
4.6.2	Spatialisation et pondération des pluies.....	69
4.6.3	Modélisation pluie brute – débit.....	69
4.7	Calage des modèles pluies – débit.....	73
4.7.1	Méthodologie.....	73
4.7.2	Définition des paramètres de calage.....	73
4.7.3	Extrapolation des paramètres de calage aux affluents non jaugés.....	74
4.7.4	Evénements retenus et données disponibles.....	74
4.7.5	Synthèse des résultats.....	79
4.8	Définition d'une hydrologie de référence.....	80
4.8.1	Méthodologie générale.....	80
4.8.2	Définition des pluies de projet.....	80
4.9	Concomitances des crues du Rhône et du Gardon.....	82
5	MODELISATION HYDRAULIQUE.....	84
5.1	Méthodologie de l'étude hydraulique.....	84
5.2	Principe de modélisation.....	85
5.2.1	Présentation du logiciel de modélisation : hydrariv.....	85
5.2.2	Principes de modélisation.....	86
5.3	Données topographiques.....	97
5.3.1	Profils en travers.....	97
5.3.2	Ouvrages hydrauliques.....	97
5.3.3	Semis de points.....	97

5.4	Construction du modèle hydraulique.....	99
5.4.1	Architecture générale du modèle du Gardon.....	99
5.4.2	Emprise du modèle filaire.....	101
5.4.3	Modélisation du lit majeur .....	102
5.4.4	Conditions limites amont.....	102
5.4.5	Condition limite aval.....	102
5.5	Calage et validation du modèle .....	103
5.5.1	Données de calage .....	103
5.5.2	Cas des aménagements réalisés après la crue de septembre 2002 .....	104
5.5.3	Résultats du calage.....	106
5.5.4	Validation.....	119
6	LES CARTOGRAPHIES DES ZONES INONDABLES.....	123
6.1	Cartographie de l'aléa de référence du PPRi.....	123
6.1.1	Définition de l'événement de référence .....	123
6.1.2	Précisions sur l'événement de septembre 2002.....	124
6.1.3	Caractérisation des niveaux d'aléa .....	124
6.1.4	Commentaires particuliers .....	129
6.2	Modélisation d'un scénario d'effacement des digues et remblais.....	131
6.2.1	Objectifs et principes méthodologiques .....	131
6.2.2	Recensement des digues et remblais.....	132
6.2.3	Définition d'un scénario d'effacement des digues et remblais .....	133
6.3	APPROFONDISSEMENT DE LA CONNAISSANCE DU RISQUE INONDATION .....	137
	Annexe 1 Pluviométrie par station - Ajustements statistiques toutes lois .....	139
	Annexe 2 Cumuls Pluviométriques estimés par ajustements de Gumbel/GEV et à partir des données SHYREG pour des durées comprises entre 2h et 24h.....	183
	Annexe 3 Débits maxima instantanés annuels, ajustements statistiques toutes lois .....	185
	Annexe 4 Débits maxima instantanés annuels, ajustements loi de Gumbel et Gradex .....	189
	Annexe 5 Hydrogrammes mesurés des évènements historiques.....	198
	Annexe 6 Hydrogrammes et cumuls pluviométriques mesurés (images radar) des évènements de calage.....	205
	Annexe 7 Construction du modèle du Gardon.....	208
	Annexe 8 Résultats du calage du modèle pour la crue de septembre 2002.....	212
	Annexe 9 Note de synthèse des reprises faisant suite à l'enquête publique .....	225

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

<i>Figure 2.1 : présentation générale du réseau hydrographique sur le secteur d'étude</i>	16
<i>Figure 2.2 : Pluviométrie moyenne annuelle (AUREHLY, Meteo France)</i>	17
<i>Figure 2.3 : Synthèse géologique du secteur d'étude</i>	19
<i>Figure 2.4 : carte de synthèse de la perméabilité des sols</i>	21
<i>Figure 2.5 : carte de synthèse de l'occupation du sol</i>	23
<i>Figure 3.1 : Caractérisation topographique de la terrasse de Remoulins</i>	26
<i>Figure 3.2 : profil en travers en aval d'Aubussargue, terrasses alluviales exclues du lit majeur</i>	28
<i>Figure 3.3 : profil en travers au niveau du village du Bourdic</i>	28
<i>Figure 3.4 : Illustration de la définition des limites hydrogéomorphologiques à la confluence entre l'Alzon et les Seynes</i>	29
<i>Figure 4.1 : Localisation des stations hydrométriques au droit du secteur d'étude</i>	32
<i>Figure 4.2 : Localisation de la station de mesure du SPC au pont de Ners</i>	33
<i>Figure 4.3 : Courbe de tarage de Ners reconstituée par Sogreah en 2003 et établie par le SPC (validée depuis le 28/08/2004)</i>	34
<i>Figure 4.4 : Localisation de la station de mesure du SPC au pont de Russan</i>	35
<i>Figure 4.5 : Courbe de tarage de Russan valide depuis le 10/09/2003 - SPC</i>	35
<i>Figure 4.6 : Localisation de la station de mesure de la DREAL à Remoulins</i>	36
<i>Figure 4.7 : Localisation des stations de la CNR et du SPC lors de la crue de 2002</i>	37
<i>Figure 4.8 : Comparaison des limnigrammes enregistrés pendant la crue de 2002</i>	38
<i>Figure 4.9 : Courbe de tarage de Remoulins – SPC validée depuis le 19/06/2010</i>	39
<i>Figure 4.10 : Loi hauteurs/Débit de la station de la CNR antérieure à la crue de 2002 (source : Validation des relevés hydrométriques de la crue du 8 et 9 septembre 2002 – Sogreah 2003)</i>	40
<i>Figure 4.11 : localisation des stations pluviométriques disponibles à proximité du secteur d'étude</i>	43
<i>Figure 4.12 : Les différentes zones de couverture des données radar</i>	45
<i>Figure 4.13 : Variabilité spatiale des cumuls de pluie sur 24 heures sur une année entière (ajustements de Gumbel)</i>	50
<i>Figure 4.14 : Variabilité spatiale des cumuls de pluie sur 24 heures sur la période automnale (ajustements de Gumbel)</i>	51
<i>Figure 4.15 : Répartition mensuelle des crues maximales annuelles enregistrées depuis la mise en service des stations</i>	53
<i>Figure 4.16 : ajustements statistiques sur les séries avec et sans la valeur de la crue de 2002, station de Remoulins - CNR</i>	56
<i>Figure 4.17 : Estimation de la période de retour des cumuls pluviométriques journaliers du 8 septembre 2002 (ajustements de Gumbel)</i>	64
<i>Figure 4.18 : découpage en sous bassins versant du modèle pluie - débit</i>	68
<i>Figure 4.19 : schéma conceptuel du modèle pluie-débit retenu</i>	72

<i>Figure 4.20 : différence entre le cumul pluviométrique CALAMAR et COMEPHORE pour l'évènement de septembre 2002 (zone radar n°2)</i>	75
<i>Figure 4.21 : différence entre le cumul pluviométrique CALAMAR et COMEPHORE pour l'évènement de septembre 2002 (zone radar n°5)</i>	76
<i>Figure 4.22 : comparaison des données différentes données radar et des mesures au sol</i>	77
<i>Figure 4.23 : Hydrogrammes de référence et hydrogrammes calculés du Gardon à Remoulins pour la crue de Septembre 2002</i>	78
<i>Figure 4.24 : Hydrogrammes de référence et hydrogrammes calculés du Bourdic en amont de Bourdic pour la crue de Septembre 2002</i>	79
<i>Figure 4.25 : schématisation d'une pluie double triangle</i>	80
<i>Figure 4.26 : pluies de projet doubles triangles</i>	81
<i>Figure 5.1 - Schématisation de la vallée : coupe transversale</i>	88
<i>Figure 5.2 - Schématisation d'un domaine filaire maillé</i>	90
<i>Figure 5.3 : Typologie du modèle du Gardon – Présentation des 3 sous-modèles distincts</i>	100
<i>Figure 5.4 : Localisation du bassin d'orage construit sur le cours d'eau du Briançon depuis 2002</i>	105
<i>Figure 5.5 : Localisation du dalot mis en place sous le remblai SnCF à Remoulins après 2002</i>	105
<i>Figure 5.6 : Hydrogrammes de référence (reconstitué par SOGREAH) et hydrogrammes calculés par le modèle hydrariv au droit des stations SPC et Dreal à Remoulins et à Russan</i>	106
<i>Figure 5.7 : Limnigrammes de référence et limnigrammes calculés par le modèle hydrariv au droit des stations SPC et Dreal à Remoulins et à Russan</i>	107
<i>Figure 5.8 : Profils en long du Gardon pour la crue 2002 au droit de Russan sur la commune de Ste-Anastasie</i>	109
<i>Figure 5.9 : Profils en long du Gardon pour la crue 2002 au droit de la commune de Remoulins</i>	110
<i>Figure 5.10 : Profils en long du Gardon pour la crue 2002 au droit de la commune de Montfrin</i>	111
<i>Figure 5.11 : Extrait de l'atlas « Cartographie de l'évènement de 2002 – Résultats du calage »</i>	113
<i>Figure 5.12 : Influence de l'ouvrage de décharge sous la voie ferrée à Remoulins</i>	114
<i>Figure 48 : Repères de la crue de septembre 2002 à Valliguières.</i>	115
<i>Figure 5.14 : Hydrogrammes de référence et hydrogrammes calculés par le modèle hydrariv pour la crue de novembre 2008 au droit des stations SPC et Dreal à Remoulins et à Russan</i>	120
<i>Figure 5.15 : Limnigrammes de référence et limnigrammes calculés par le modèle hydrariv pour la crue de novembre 2008 au droit des stations SPC et Dreal à Remoulins et à Russan</i>	120
<i>Figure 5.16 : Hydrogrammes de référence et hydrogrammes calculés par le modèle hydrariv pour la crue de novembre 2008 au droit des stations SPC et Dreal à Remoulins et à Russan</i>	121
<i>Figure 5.17 : Limnigrammes de référence et limnigrammes calculés par le modèle hydrariv pour la crue de novembre 2011 au droit des stations SPC et Dreal à Remoulins et à Russan</i>	121
<i>Figure 6.1 : Crue de référence sur le modèle global – Analyse des hauteurs d'eau calculées</i>	125

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 4.1 : Stations de mesures pluviométriques gérées par le SPC Grand Delta	41
Tableau 4.2 : Stations de mesures pluviométriques gérées par Météo France	41
Tableau 4.3 : Ecarts des valeurs calculées sur l'année entière avec les lois Gumbel et GEV et les données SHYREG (Pluies de durée 24h)	47
Tableau 4.4 : Ecarts des valeurs calculées sur la période automnale avec les lois Gumbel et GEV et les données SHYREG (Pluies de durée 24h)	48
Tableau 4.5 : valeurs définies par les ajustements statistiques sur les séries avec et sans la valeur de la crue de 2002, station Remoulins – CNR	56
Tableau 4.6 : synthèse des ajustements statistiques à la station de Remoulins gérée par le SPC Grand Delta	56
Tableau 4.7 : synthèse des ajustements statistiques à la station de Remoulins gérée par la CNR	57
Tableau 4.8 : synthèse des ajustements statistiques à la station du Russan gérée par le SPC Grand Delta	57
Tableau 4.9 : synthèse des ajustements statistiques à la station de Ners gérée par le SPC Grand Delta	57
Tableau 4.10 : synthèse des débits de crue de période de retour fréquente obtenus par l'ajustement à la loi de Gumbel sur l'ensemble des stations de mesures hydrométriques disponibles	58
Tableau 4.11 : Durées caractéristiques calculées pour les 10 plus fortes crues historiques mesurées aux stations hydrométriques disponibles	60
Tableau 4.12 : Synthèse des gradex de durée 24h calculés aux postes pluviométriques Météo France et gradex de bassin de durée 24h	61
Tableau 4.13 : coefficient de Montana à la station de Nîmes (hauteur de pluie $h(mm) = a*t(1-b)$ avec $t$ en mn)	61
Tableau 4.14 : Gradex de pluie de durée 12 h (durée caractéristique de crue)	61
Tableau 4.15 : Synthèse des débits de crue de période de retour rare obtenus par les méthodes d'extrapolation aux fréquences rare	62
Tableau 4.16 : Période de retour estimée de la crue de septembre 2002	63
Tableau 4.17 : Comparaison des débits de crue avec les études antérieures	66
Tableau 4.18 : Valeurs de CN en fonction de la nature et de l'occupation du sol	74
Tableau 4.19 : synthèse des risques de concomitance des crues du Rhône et du Gardon (Safege, 2000)	82
Tableau 5.1 : synthèse des repères de crue fiables sur l'ensemble du secteur d'étude	104
Tableau 6.1 : caractéristiques des scénarios modélisés pour la définition de l'aléa de référence	123



# 1 CONTEXTE ET OBJECTIFS

L'objet de la présente étude est l'élaboration des Plans de Prévention des Risques Inondation communaux de la partie aval du bassin versant du Gardon. L'étude porte sur les 27 communes suivantes :

- Aigaliers
- Argilliers
- Aubussargues
- Baron
- Blauzac
- Bourdic
- Castillon-du-Gard
- Collias
- Domazan
- Estézargues
- Foissac
- Fournès
- Jonquières-Saint-Vincent
- La Capelle-et-Masmolène
- Meynes
- Montfrin
- Pouzilhac
- Remoulins
- Saint-Bonnet-du-Gard
- Saint-Hilaire-d'Ozilhan
- Saint-Maximin
- Sainte-Anastasie
- Sanilhac-Sagriès
- Sernhac
- Théziers
- Valliguières
- Vers-Pont-du-Gard.

Le risque inondation à prendre en compte intègre les cours d'eau principaux et les affluents de bassin versant supérieur à 1km<sup>2</sup>. Il s'agit de qualifier l'aléa et de représenter le risque inondation par le zonage PPRI en tout point du territoire communal susceptible d'être inondé par ces cours d'eau pour la crue de référence.

Le périmètre d'étude fait en partie l'objet de deux PPRI approuvés :

- PPRI Gardon Aval (approuvé en 1998)
- PPRI Confluence Rhône-Gardon-Briaçon (approuvé en 2001)

Le bassin versant du Gardon se caractérise par une très forte réactivité, et engendre des crues rapides et violentes, ayant généré de nombreux dégâts au cours des années passées. L'événement de septembre 2002 a notamment rappelé la vulnérabilité de certains secteurs urbanisés face au risque inondation (cf. photos de la crue de 2002 ci-après).



Inondation à Comps



Le pont de Collias sur la Gard



Maisons inondées à Collias



## 2 PRESENTATION DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE ET DES BASSINS VERSANTS

### 2.1 RESEAU HYDROGRAPHIQUE SUR LE SECTEUR D'ETUDE

#### 2.1.1 Le Gardon

Le site de la basse vallée du Gardon, au sens large, se présente comme un ensemble d'éléments paysagers, relativement homogènes, de plaines ou de plateaux dont les caractéristiques topographiques jouent un rôle essentiel dans l'organisation, la composition et le fonctionnement du réseau hydrographique.

- la dépression de Saint-Chaptes/Saint-Mamert, à l'amont, qui constitue un élargissement considérable de la vallée du Gardon et favorise l'expansion et donc l'écrêtement des crues de la rivière,
- les gorges tracées dans les plateaux Nîmois,
- le bassin d'Uzès dont les eaux de ruissellement alimentent le Gardon par l'Alzon,
- la plaine Est qui s'étend jusqu'au Rhône.

A l'aval de Russan, le Gardon pénètre dans le Nord des plateaux Nîmois. Sur une distance de 13 km (à vol d'oiseau) le lit de la rivière, aux méandres spectaculaires, a inscrit son tracé au fond de gorges étroites et encaissées. Ce paysage de canyon profond tranche singulièrement avec les paysages de plaine à l'amont (dépression de Saint Chaptes) et à l'aval.

A partir de Collias, la vallée du Gardon s'ouvre au Nord vers la vallée de l'Alzon et le bassin d'Uzès. Après un dernier encaissement dans les collines de Castillon et Vers Pont du Gard, entre le Château de Saint Privat et le Pont du Gard, le Gardon longe la partie Nord des Plateaux Nîmois et débouche dans une vallée plus large, bordée à l'Ouest par le versant de la Costière, avant de rejoindre le Rhône non loin de Comps.

#### Le Gardon :

Le Gardon présente un bassin versant de près de 2000 km<sup>2</sup>. A l'amont de Ners il est alimenté par trois bras principaux (le Gardon d'Alès et les Gardons de Saint Jean du Gard et de Mialet/Anduze) qui prennent leur source sur les versants des Cévennes. A l'aval, avant les gorges, ses principaux affluents sont la Droude puis, dans la plaine de Saint Chaptes, la Braune et l'Esquielle en rive droite et le Bourdic en rive gauche.

Sur toute la traversée des plateaux, la rivière reçoit de très nombreux petits ruisseaux intermittents, véritables torrents actifs lors de fortes précipitations. Dans la zone d'étude, outre ces petits ruisseaux, le Gardon reçoit en rive gauche trois cours d'eau principaux : l'Alzon, au droit de Collias, la Valliguières à l'Est de Remoulins et le Bourdic qui se jette dans le Gardon à Russan.

### La plaine de l'est et la confluence du Rhône :

Il s'agit d'une vallée large (2 à 3 km), à fond plat, qui se resserre localement à Montfrin (1 km) et se confond ensuite avec la plaine du Rhône. Sur la distance de 10 km environ qui sépare Remoulins (20 m NGF) au Rhône (10 m NGF), la pente est faible et régulière.

Dans cette plaine on distingue nettement le lit mineur de la rivière et ses nombreux méandres et un lit majeur "actif", encaissé, bien marqué latéralement, surtout en rive droite, par des dénivelées de terrain de 2 à 5 m.

Au nord de Montfrin les crues les plus importantes dont celle de 2002, sont restées contenues dans ces limites.

Au droit du centre ville, en rive gauche, l'emprise du lit majeur est moins nette et une partie du centre ancien, installée dans les zones submersibles, est directement concernée par les fortes crues de la rivière. En rive droite, au "faubourg du pont" et à l'aval de l'agglomération, ces limites naturelles visibles ont été franchies lors des crues exceptionnelles du Gardon, en septembre 2002, et du Rhône en janvier 1994.

Le village de Comps, malgré sa protection par des digues maçonnées, n'a pas été épargné lors des événements de 2002 et 2003.

### **2.1.2 Les affluents du Gardon :**

L'Alzon draine l'ensemble du bassin d'Uzès, délimité par le versant Sud des plateaux de Lussan (bois de St. Quentin), l'extrémité Ouest des plateaux de Valliguières et les collines de Sagriès et Aureillac. Les eaux de ruissellement du bassin dont la superficie est estimée à 215 km<sup>2</sup>, rejoignent l'Alzon par les ruisseaux "le Rieu", "le Merlançon" et "les Roselies" à l'amont d'Uzès et par le ruisseau "Les Seynes" à l'aval.

De Pouzilhac à Remoulins, le Ruisseau de la Valliguières récupère les eaux pluviales du tiers central des plateaux du même nom. Son bassin versant est moins important que celui de l'Alzon : 77 km<sup>2</sup> environ. A sa sortie des gorges il est alimenté en rive droite par les eaux de la "combe Vayer" qui contournent par l'Est la colline de Castillon et en rive gauche par un ensemble de petits cours d'eau (dont les ruisseaux de "Valma" et "Jonquier") qui drainent la plaine et les hauteurs de Saint Hilaire d'Ozilhan.

Le bassin versant du Bourdic a une superficie semblable à celui de la Valliguières. De forme étroite et allongée (17 km de long sur 4 km de large en moyenne) orientée Nord-Sud il s'étend pour moitié sur deux unités géomorphologiques distinctes un ensemble calcaire dans la partie Nord et une formation alluviale au Sud. Cette dernière se présente comme une plaine qui s'incline très légèrement (moins de 0,5%) en direction du Sud-Ouest et se confond à son extrémité aval avec la plaine du Gardon. Du fait de cette configuration particulière, les eaux du Gardon refluent largement dans la plaine du Bourdic lors de crues.

Le Briançon qui se jette dans le Gardon en aval de Comps a une longueur totale de 14,4 km et un bassin versant de 27 km<sup>2</sup> (dont 20 km<sup>2</sup> environ en amont du pont SNCF). Il reçoit les eaux de quatre petits affluents : le Courloubier, le Crouzas et deux autres sans nom.

L'ensemble de la vallée comporte deux parties bien distinctes: un secteur de vallons encaissés à l'amont de la voie SNCF, avec une pente moyenne de l'ordre de 1,3 % et une basse plaine, de la voie SNCF au Gardon, faiblement inclinée qui correspond à la plaine du Rhône. La limite entre ces deux unités est marquée par un resserrement de la plaine au niveau du promontoire rocheux sur lequel est bâti le village de Théziers.

Si le lit mineur du cours d'eau est bien délimité en raison des aménagements réalisés, l'emprise du lit majeur n'est pas "lisible", contrairement au Gardon en basse vallée, ce qui a conduit parfois à oublier ou minimiser le risque d'inondation. Le temps de concentration du bassin étant extrêmement réduit, du fait de sa faible importance, le Briançon est donc sujet à des crues très violentes et à de larges débordements, attestés par la présence d'argiles sédimentées. L'épisode pluvieux de septembre 2002 a rappelé l'existence de ce risque et souligné les imprudences commises en terme d'urbanisation.

### 2.1.3 Carte de présentation générale

La carte ci-après présente le réseau hydrographique sur le secteur d'étude.

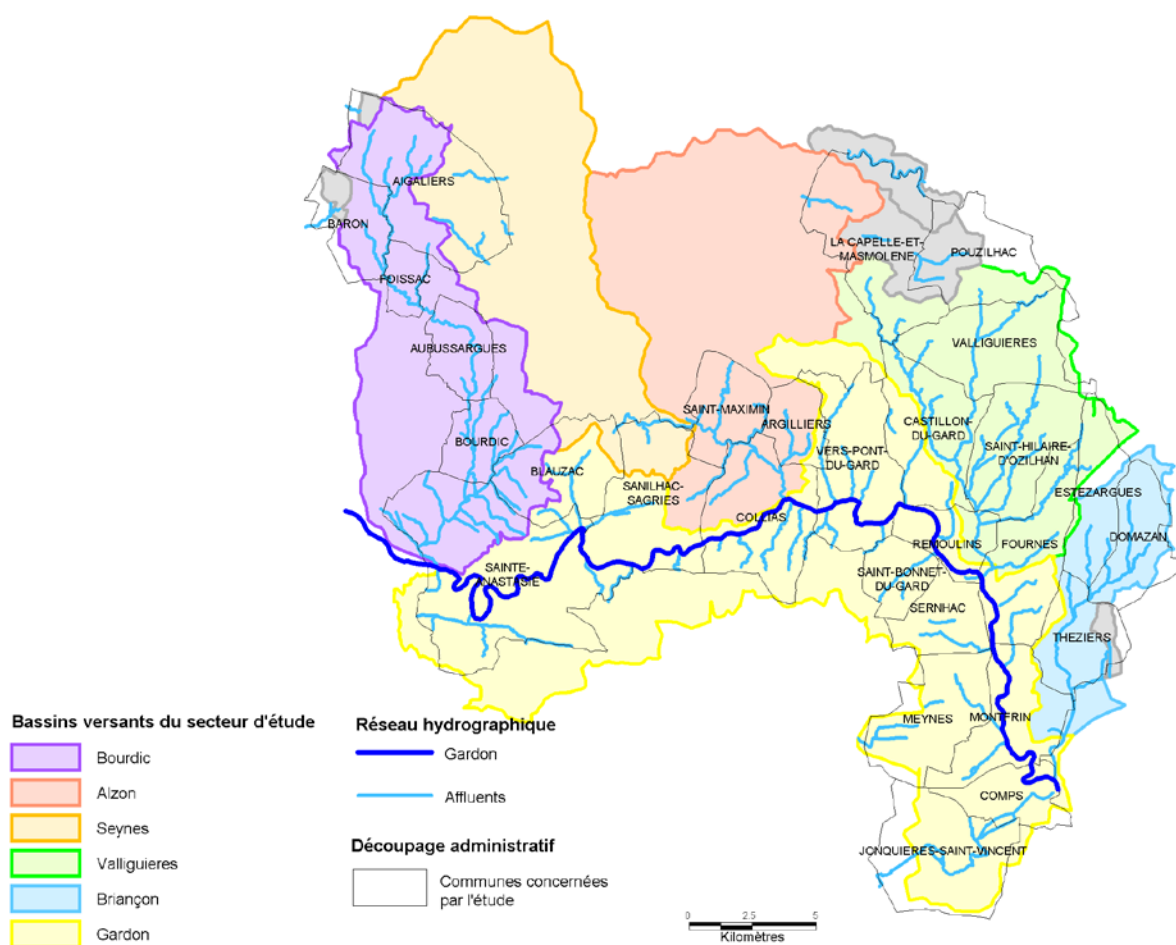


Figure 2.1 : présentation générale du réseau hydrographique sur le secteur d'étude

## 2.2 CONTEXTE CLIMATIQUE GENERAL

Le bassin versant du Gardon est soumis à un climat de type méditerranéen avec des étés chauds et secs, des hivers doux et des épisodes pluviométriques intenses concentrés à l'automne, lors d'épisodes cévenols.

Les épisodes cévenols se forment lorsque le vent chaud et humide en provenance de la Méditerranée se dirige vers le nord et butte contre le massif montagneux des Cévennes ; il rencontre alors l'air froid présent en altitude, entraînant la formation de nuages chargés de pluie. Ces nuages, bloqués par le relief, ne trouvent d'échappatoire qu'en altitude,

accentuant leur refroidissement et entraînant d'intenses précipitations. Ces conditions sont souvent réunies en automne.

La carte ci-après présente la pluviométrie moyenne annuelle à l'échelle du bassin versant du Gardon (source Météo France, AURELHY). Un fort gradient pluviométrique est observé entre la tête de bassin versant (comprenant le mont Aigoual) où les cumuls annuels dépassent 2100 mm, et la vallée du Rhône en aval où ces cumuls sont de l'ordre de 700 mm.

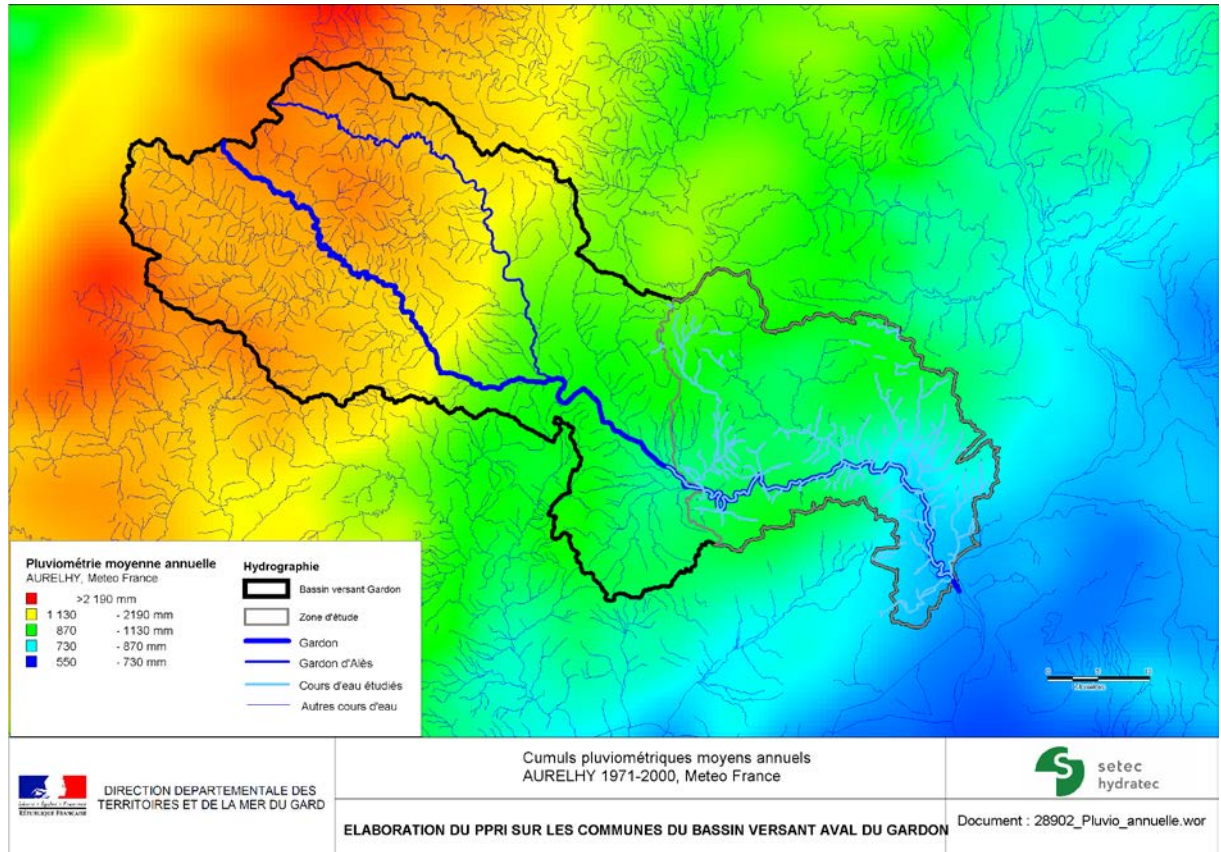


Figure 2.2 : Pluviométrie moyenne annuelle (AURELHY, Météo France)

## 2.3 CONTEXTE GEOLOGIQUE

### 2.3.1 Structure géologique du secteur d'étude

La structure géologique est décrite à partir des cartes géologiques au 1/50000<sup>ème</sup> du BRGM. La carte de la Figure 2.3 synthétise les principales structures géologiques de la zone d'étude.

Le plateau crétacé surplombe le bassin versant. Ce plateau est constitué de terrains calcaires de l'urgonien très cassés et fracturés. Il affleure sur la zone d'étude :

- au Nord : Aigaliers, Bois de Saint Quentin, au Nord de la Capelle et au Nord et à l'Est de Pouzilhac.
- A l'Est : Saint Hippolyte de Montaigu, à l'Est d'Uzès, Saint Maximin, Valliguières et jusqu'au Nord d'Estezargues
- Au Sud : Blauzac, Sanilhac et Sagriès, Collias, jusqu'à Saint Bonnet, Saint Gervasy et Nimes

L'affleurement du plateau calcaire est interrompu par le synclinal d'Uzès – la Capelle qui se présente comme une vaste plaine molassique masquée par les alluvions.

On note à l'Ouest de la plaine d'Uzès l'affleurement des terrains crétacé inférieurs

La vallée du Bourdic occupe un bassin Oligocène en continuité avec celui de Saint Chapte. Il est limité par les plateaux crétacés d'Aubussargues, d'Arpaillargues et de Blauzac.

Sur la partie aval de la zone d'étude, le plateau Pliocène de Fournès - Domazan affleure à l'Est de Remoulins.

Sur l'extrémité Sud, on note la présence d'une vaste terrasse d'alluvions anciennes au pied des formations d'âge crétacé.

Des alluvions anciennes et récentes se sont développées sur les principaux affluents notamment dans les vallées du Bourdic en aval de Aubussargues, du Gardon en amont de Russan et en aval de Remoulins, de l'Alzon et des Seynes, et de la Valliguières en aval du Castillon-du-Gard.

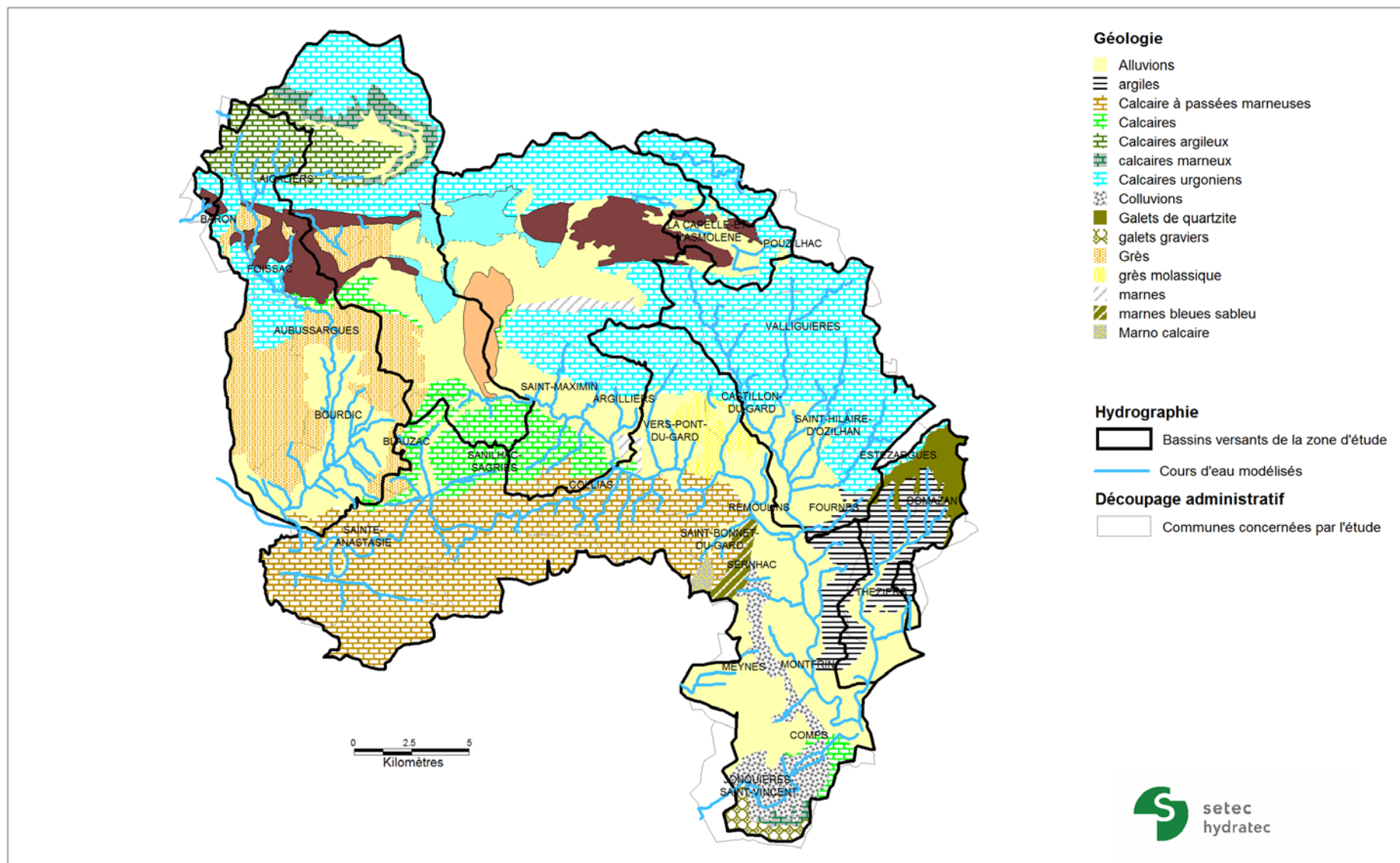


Figure 2.3 : Synthèse géologique du secteur d'étude

### 2.3.2 Description des terrains rencontrés

Le plateau crétacé constitue les massifs du secteur d'étude, il se présente sous la forme de formations de calcaires argileux et marneux en pied et de calcaires récifaux en tête.

A l'Oligocène, le régime laguno-lacustre s'installe largement au Sud-Ouest d'Uzès ainsi qu'à Saint Chaptès. L'Oligocène supérieur se termine sur le secteur d'étude par des marnes, des marno-calcaires et des grès.

Il est probable qu'à partir du Crétacé terminal et surtout pendant l'Éocène et l'Oligocène terminal se sont produites les fractures qui affectent la série crétacée en donnant dès lors des massifs soulevés et abaissés.

La mer miocène a envahi alors les régions abaissées, s'avancant assez loin, largement autour d'Uzès, jusqu'à une altitude relativement élevée (180 m) en discordance sur les séries plus anciennes. Ce miocène transgressif comprend un niveau inférieur sablo-gréseux devenant marno-calcaire à épisode diatomitique franc et un niveau supérieur molassique. Cette série est recouverte par un horizon marno-sableux à la base et calcaire au sommet (molasse).

Cette période est suivie par une phase d'érosion coupée localement par la transgression pliocène (Est de Remoulins) d'abord marine (marnes plaisanciennes) puis saumâtre et fluviatile, sables de l'Astien.

Le quaternaire débute par l'étalement d'un niveau fluviatile à galets de quartzites reposant sur le Pliocène et également sur des paléo-reliefs crétacés. Au quaternaire s'établit un système de terrasses emboîtées consécutif à des périodes d'alluvionnement et de creusement modelant les vallées actuelles.

### 2.3.3 Rôle de la géologie de surface sur la genèse les écoulements

La géologie présentée précédemment permet de caractériser la capacité des sols 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. Ces éléments permettront d'orienter le paramétrage des modèles pluie – débit. Le tableau ci-dessous précise la correspondance entre ces catégories et les formations géologiques caractérisées précédemment.

Types de sols	Formations géologiques associées		
A	Calcaires	Calcaires urgoniens	
B	Alluvions	Colluvions	Galets graviers
	Calcaire à passées marneuses	Galets de quartzite	Molasse calcaire
C	argiles	Grès molassique	Molasse gréseuse
	Calcaires argileux	Marnes bleues sableu	Sables consolidés
	calcaires marneux	Marno calcaire	
D	Calcaires marneux	Marnes	Grès

Cette hiérarchisation est présentée en page suivante.

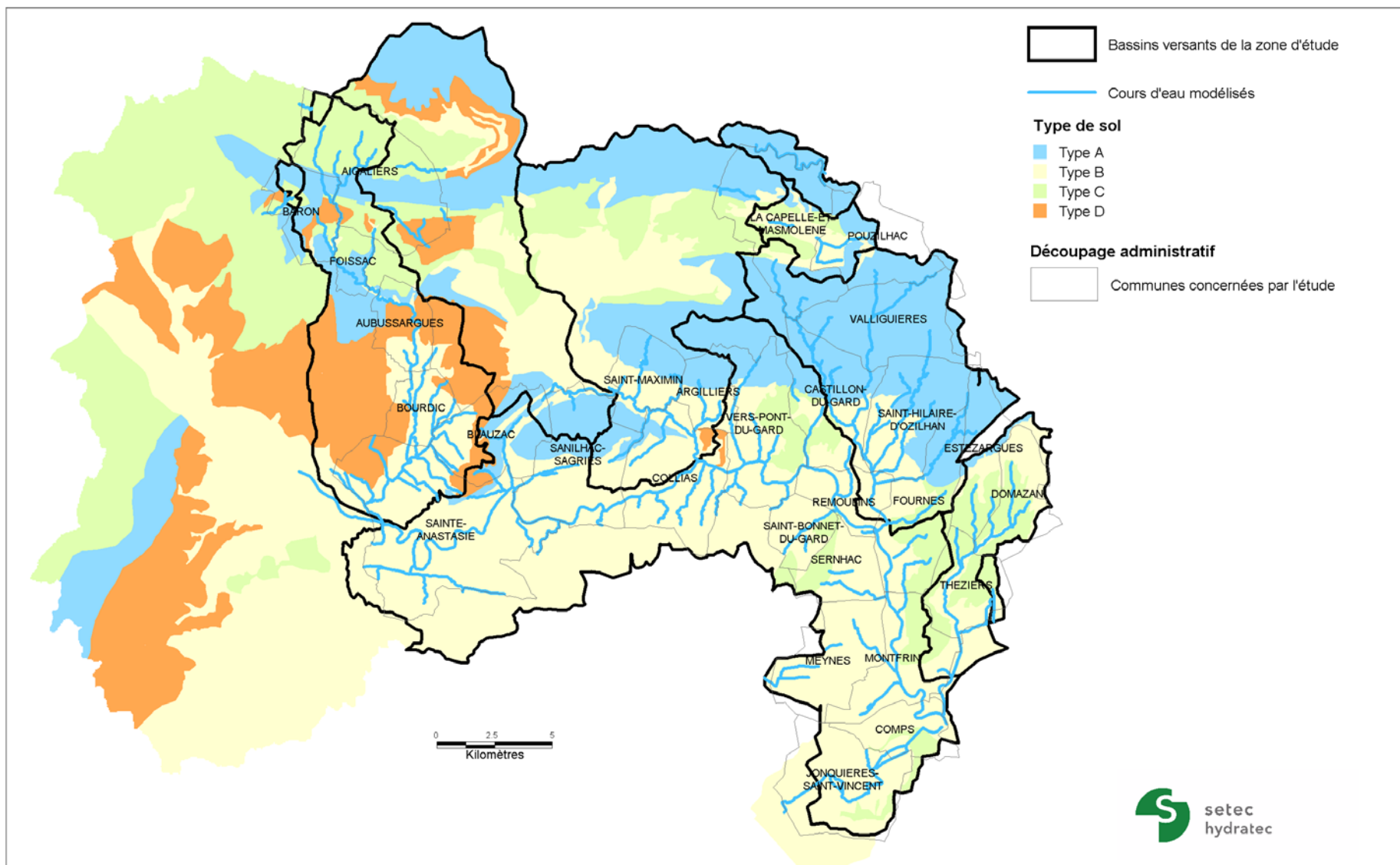


Figure 2.4 : carte de synthèse de la perméabilité des sols

## 2.4 OCCUPATION DU SOL

L'occupation du sol est définie à partir de la base de données *Corine Land Cover* 2006, et distingue :

- Forêts,
- Prairies et zones naturelles non boisées,
- Cultures,
- Zones urbanisées.

Elle permet de caractériser les bassins versant afin d'évaluer les écoulements superficiels (cf. §4.7.2).

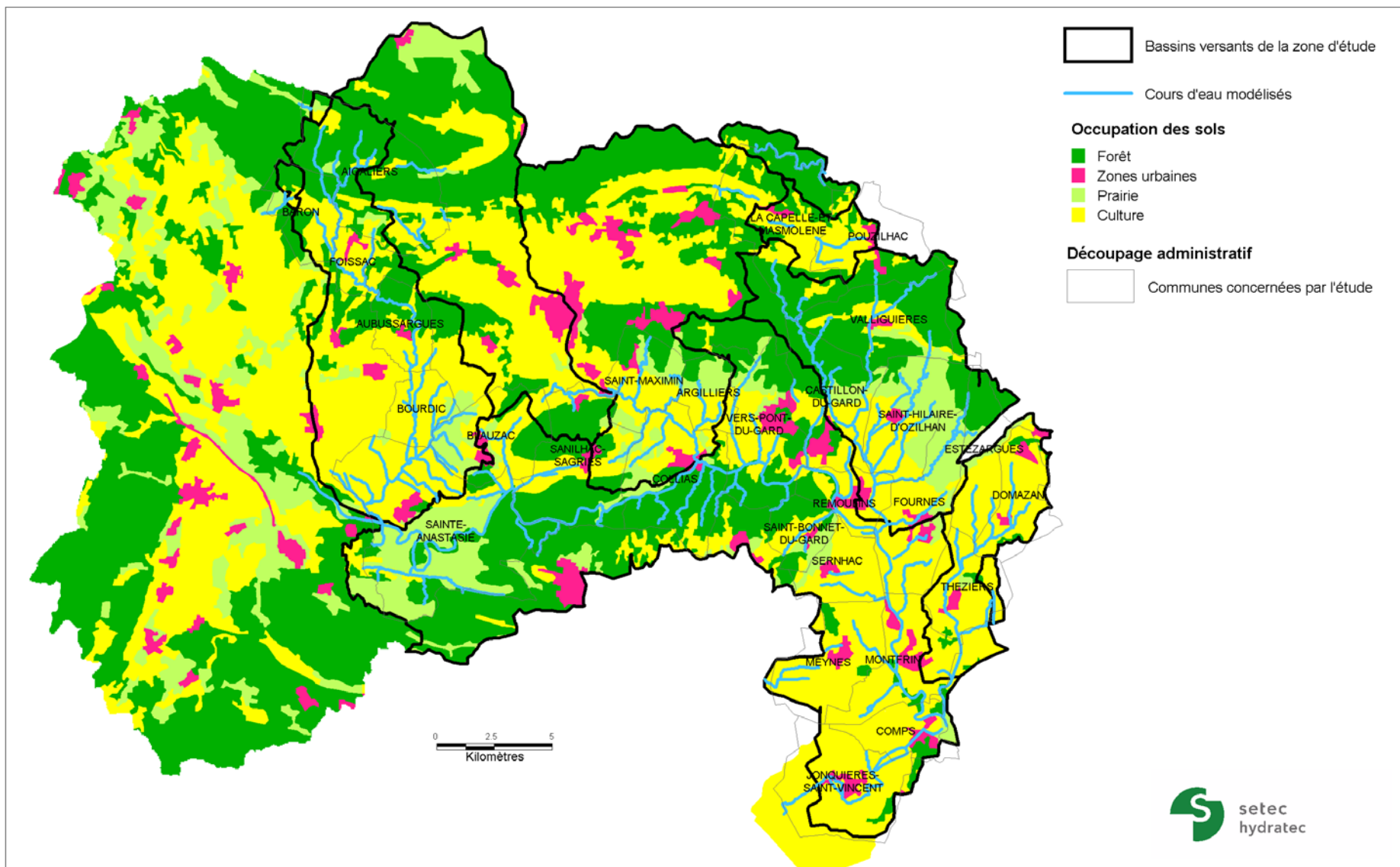


Figure 2.5 : carte de synthèse de l'occupation du sol

## 3 ANALYSE HYDROGÉOMORPHOLOGIQUE

### 3.1 OBJET DE L'APPROCHE HYDROGÉOMORPHOLOGIQUE

#### 3.1.1 Données existantes

Une étude de définition des unités hydrogéomorphologiques a été réalisée en 2003 par CAREX sous maîtrise d'ouvrage de la DDE 30 et de la DIREN. Cette étude avait pour objet de définir les limites de la zone inondable.

L'approche hydrogéomorphologique a été réalisée à l'échelle du 1/25 000<sup>ème</sup> sur l'ensemble des Gardons et à l'échelle du 1/10000<sup>ème</sup> sur les secteurs à enjeux. Elle s'est appuyée sur l'analyse des photographies aériennes, complétée par une campagne de terrain. Le tracé se base sur le SCAN 25 de l'IGN.

En l'état, cette analyse est utilisable à l'échelle du 1/25000<sup>ème</sup> mais n'est pas transposable à l'échelle parcellaire.

#### 3.1.2 Objet de la mission

De nouvelles informations sont disponibles sur le secteur d'étude, notamment des données topographiques obtenues par un levé LIDAR réalisé en 2012.

Sur les secteurs couverts par le levé LIDAR, la présente mission a pour objet de valider l'approche de CAREX à une échelle plus fine du 1/5000<sup>ème</sup> sur les secteurs déjà traités par l'étude CAREX (à l'échelle du 1/25000<sup>ème</sup> ou du 1/10000<sup>ème</sup>) et de l'étendre à cette même échelle sur les affluents non traités par l'étude précédente.

L'analyse hydrogéomorphologique est réalisée sur la totalité du secteur d'étude ; elle complètera entre autre l'approche hydraulique détaillée au chapitre 5 en cartographiant les zones d'aléa résiduel du lit majeur non inondées par la modélisation hydraulique.

Le présent chapitre a pour objet de compléter le rapport de Carex. Il débute par une description géologique du secteur d'étude, permettant de caractériser la nature des versants du bassin étudié et du remplissage alluvial des vallées. Il se poursuit par une description du fonctionnement hydrogéomorphologique par secteur géographique.

Le rendu cartographique de l'approche hydrogéomorphologique se présente sous la forme d'un **atlas cartographique au format A3, à l'échelle du 1/5000<sup>ème</sup> sur l'ensemble du territoire étudié.**

### 3.2 INFLUENCE DE LA GEOLOGIE SUR L'ANALYSE HYDROGÉOMORPHOLOGIQUE

#### 3.2.1 Secteur crétacé

Sur les secteurs des plateaux crétaqués, l'analyse hydrogéomorphologique repose sur une analyse du Levé LIDAR. Sur ce dernier, les fonds de vallée s'identifient précisément à l'échelle du 1/10000<sup>ème</sup> ou du 1/5000<sup>ème</sup>.

Sur les affluents, seul un lit majeur est défini sur le fond de vallée.

Dans la vallée des Gardons, un lit moyen peut être défini en tenant compte des atterrissements du lit mineur.

### 3.2.2 Secteur de la plaine molassique d'Uzès

La plaine molassique d'Uzès est recouverte par une série alluviale qui présente des terrasses marquant la morphologie de la vallée.

### 3.2.3 Secteur oligocène de la vallée du Bourdic

Les terrains oligocènes affleurent sur les versants de la vallée du Bourdic, formant des limites géomorphologiques franches. Cependant, une large plaine alluviale de l'ordre de 2 à 3 km recouvre ces formations oligocènes masquant les limites morphologiques de la vallée. C'est un secteur où l'approche hydrogéomorphologique trouve ses limites d'application.

## 3.3 ANALYSE HYDROGÉOMORPHOLOGIQUE PAR SECTEURS

L'analyse hydrogéomorphologique réalisée en 2003 pour la DIREN Languedoc-Roussillon est reprise dans le cadre de cette étude sur la base :

- Du levé LIDAR de 2012 utilisé à l'échelle du 1/5000
- Des données de terrain collectées suite à cette analyse topographique

Cette analyse réalisée à une échelle plus fine sur des données plus précises permet :

- De préciser les contours des différentes unités géomorphologiques
- De corriger le fonctionnement hydrodynamique du cours d'eau le cas échéant.

Dans les paragraphes ci-après, nous décrivons les secteurs faisant l'objet d'une modification sensible des unités morphologiques définies précédemment en les justifiant.

### 3.3.1 Bassin du Gardon aval

#### a) De Montfrin à Comps

Concernant le village de Montfrin, le levé LIDAR permet de compléter l'approche précédente en mettant en évidence les unités géomorphologiques masquées par l'urbanisation. Cette approche permet de confirmer la définition d'un lit majeur exceptionnel sur la partie Sud de la ville. Le lit majeur exceptionnel est étendu plus au Nord que précédemment, englobant la maison de retraite. Le secteur de l'école reste exclu de ce lit majeur exceptionnel dans la mesure où il est situé sur un secteur de butte topographique.

A l'Ouest, le village de Montfrin s'est développé sur les terrains miocène et crétacé. La rive gauche du Gardon est alors plus haute topographiquement que la rive droite, ce qui conduit à confirmer la délimitation d'un lit majeur exceptionnel sur ces quartiers. Le lit majeur exceptionnel est alors étendu, le lit majeur limité à une bande le long du lit moyen et le lit majeur est supprimé compte tenu de la position altimétrique de la rive gauche par rapport à la rive droite, elle-même définie en lit majeur.

En rive droite, sur le secteur faubourg du Pont-Bégude Blanche, l'analyse topographique confirme la structure morphologique complexe de ce secteur. Cependant, elle permet d'apprécier la position altimétrique de la rive droite par rapport à la rive gauche. En l'occurrence, la rive droite étant plus haute que la rive gauche, les écoulements se feront préférentiellement en rive gauche.

Le Réal, affluent du Gardon, se positionne topographiquement sur une structure de cône de déjection, qui n'avait pas été identifiée précédemment. Cette structure nous conduit à définir le cône de déjection en lit majeur, comme dans la démarche précédente. Par contre le secteur Ouest du Faubourg du Pont et de la Bégude Blanche sort de la zone inondable du Réal.

Concernant le village de Comps sur l'extrémité aval des Gardons, l'analyse topographique permet de redessiner plus finement les limites de la zone inondable. Des talus identifiés sur les photos aériennes par l'étude précédente ont été supprimés, il semblerait que la ville se soit étendue sur des remblais limitant alors la fréquence des inondations. Les limites morphologiques intègrent le remous lié aux crues du Rhône.

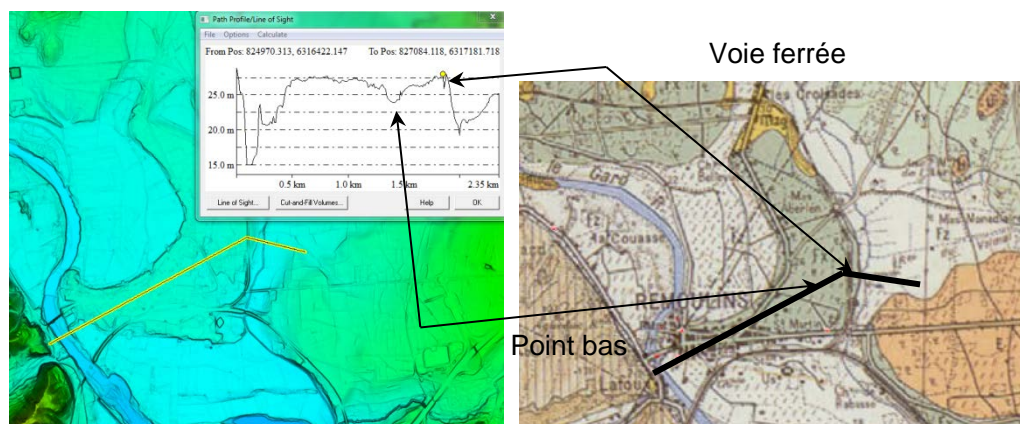
## b) Du pont aval de Remoulins à Montfrin

Ce secteur est une vaste plaine alluviale qui succède au resserrement de la vallée de Remoulins. L'analyse hydrogéomorphologique au 1/5000<sup>ème</sup> précise les contours des unités morphologiques. Les conclusions de l'étude de 2003 ne sont pas remises en cause.

## c) Du château de Saint Privat au pont aval de Remoulins

Le village de Remoulins est situé sur une ancienne terrasse alluviale située 5 m environ au-dessus de la berge des Gardons comme le montre la coupe ci-dessous :

Figure 3.1 : Caractérisation topographique de la terrasse de Remoulins



On notera le resserrement étonnant de la plaine alluviale que provoque la terrasse au droit du bourg. Il s'explique par l'existence d'un point dur rocheux affleurant sous la terrasse et aujourd'hui masqué par l'urbanisation. Ce secteur qui somme toute apparaît relativement simple au premier abord est en réalité problématique puisque cette terrasse alluviale théoriquement non inondable au sens géomorphologique a été partiellement submergée (0.5 à 1 m d'eau) par la crue du 8-9 septembre 2002. Une visite de terrain post-crue a amené CAREX à interpréter cet événement qui n'a pas laissé de traces morphologiques notables in situ (axes de crue, dépôts sédimentaires). Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer ce débordement sur la terrasse caractérisé vraisemblablement par des hauteurs d'eau assez faibles :

- des causes naturelles :
  - d'une part la situation naturelle de verrou formé par un pointement du substrat sous la terrasse
  - d'autre part une sédimentation forte probable dans le lit majeur en rive gauche, dans le grand méandre formé par le Gardon et qui aurait pour conséquence de

remonter le plancher alluvial de la plaine au fil du temps et donc de rendre inondable progressivement la terrasse.

- des causes anthropiques : la présence de nombreux ouvrages perpendiculaires à la plaine alluviale qui ont pu provoquer un effet barrage et faire remonter le niveau de la ligne d'eau en amont : il s'agit du pont et du remblai SNCF. De même le débouché de la Valliguière dans le lit majeur du Gardon, est fermé par de nombreux remblais ce qui explique certainement les débordements qui ont eu lieu sur la terrasse par ce côté.

Compte tenu de ces éléments, il est possible que les limites hydrogéomorphologiques soient dépassées ; la terrasse est en conséquence considérée comme une zone inondable pour des crues exceptionnelles.

#### **d) De Russan à Collias**

Les Gardons traversent un secteur de gorges creusées dans le plateau crétacé. Le méandrement a permis la mise en place de zones de dépôts formant des terrasses qui permettent de définir un lit majeur. Des atterrissements de plus faible ampleur permettent de dessiner un lit moyen. Notons que ces atterrissements peuvent être remobilisés lors de fortes crues. Ainsi, les limites définies sur le levé LIDAR de 2012 sont susceptibles d'évoluer dans le temps. Seule la limite de la zone inondable reste valable.

A la confluence avec le Riau, la Rial et le ruisseau de Villeneuve, le lit moyen proposé en rive gauche (délimité par une terrasse) est transposé en rive droite pour assurer une cohérence altimétrique. Le lit majeur exceptionnel proposé en rive droite du Gardon est alors transformé en lit majeur.

#### **3.3.2 Le Bourdic**

Sur la partie amont du Bourdic (à l'aval des gorges), le lit semble recalibré et circule entre des plateaux calcaires marquant les limites morphologiques nettes. Un lit majeur, qui peut s'apparenter à un lit moyen localement compte tenu de la fréquence d'inondation s'identifie clairement à l'intérieur des limites de l'encaissant. Des plateaux relativement hauts pourraient s'apparenter à des lits majeurs exceptionnels ; cependant leur altitude vis-à-vis du fond de vallée (>5m) nous amène à sortir ces secteurs de la zone inondable.

A la confluence avec le ruisseau du Bourdiguet, un lit moyen a été défini sur le Bourdic tandis qu'un lit majeur est défini sur l'affluent. Ceci s'explique par les différences altimétriques : sur le Bourdic, les secteurs identifiés en lit moyen sont en moyenne 1 m au-dessus de la berge tandis qu'ils sont supérieurs à 2 m sur l'affluent. Un lit majeur exceptionnel est défini en rive gauche du Bourdic au niveau de cet affluent, ce secteur est situé environ 2 m au-dessus des cotes de berges.

Sur ces terrains calcaires, le Bourdic présente des méandres marqués, créant ainsi des unités morphologiques au sein de la vallée encaissée.

Au niveau de Foissac, le Bourdic traverse des terrains constitués de grès, sables et marnes (paléogène et crétacé). Le versant est bien marqué sur ce secteur recouvert par des alluvions modernes. Les secteurs de confluence sont particulièrement difficiles à interpréter en terme géomorphologiques.

En amont d'Aubussargues, le Bourdic traverse les terrains calcaires du Sannoisien qui marquent les limites hydrogéomorphologiques de la vallée.

A l'aval d'Aubussargues, le Bourdic entre dans la plaine alluviale développée sur les formations plus marneuses de l'oligocène. Quelques buttes à tendances calcaires représentent des limites franches.

Entre Aubussargues et Bourdic, la vallée est très large. Le cours d'eau est encaissé de l'ordre de 5 m par rapport aux terrasses alluviales. La terrasse rive gauche est plus haute que la rive droite de l'ordre de 1 m en moyenne. Nous retenons de ne pas classer la rive droite en lit majeur exceptionnel compte tenu de la largeur de la zone inondable et de l'altimétrie moyenne. Il n'y a actuellement pas d'enjeux sur ce site.

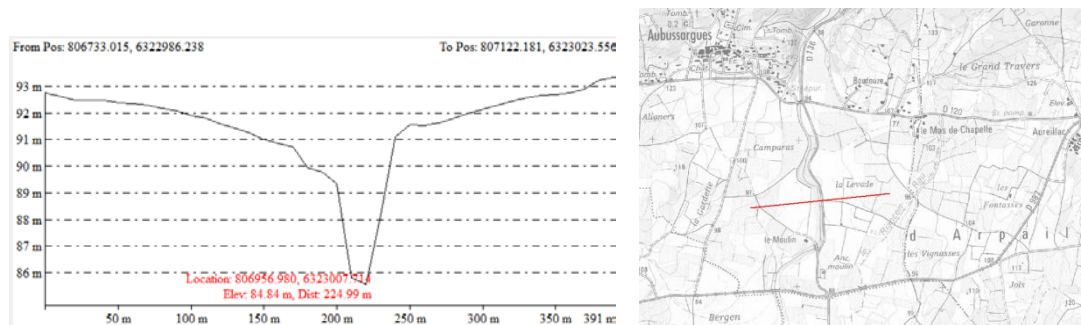


Figure 3.2 : profil en travers en aval d'Aubussargues, terrasses alluviales exclues du lit majeur

Au niveau de Bourdic, la partie du village située à la confluence entre le Riançon et le Bourdic sont inclus dans le lit majeur. Seule la partie en rive gauche du village est située en-dehors de la zone inondable.

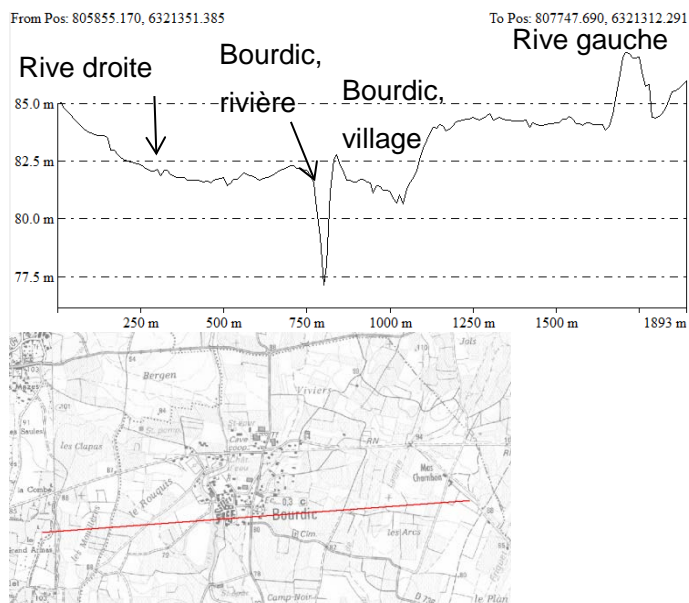


Figure 3.3 : profil en travers au niveau du village du Bourdic

En aval de la confluence entre le Bourdic et le ruisseau du Friquet, la zone inondable est largement étendue en rive droite par rapport à l'étude CAREX, malgré une cote altimétrique de l'ordre d'1 m au-dessus de la rive gauche. Ce secteur étant également potentiellement inondable par les apports du Valat d'Arnet, il est représenté en lit majeur.

Au niveau de Russan, l'analyse morphologique confirme un écoulement éventuel en période de crue de la vallée du Bourdic vers les Gardons à l'ouest de Russan, entre les buttes calcaires

### 3.3.3 Le Riau, la Rial et le ruisseau de Villeneuve

Cet ensemble d'affluents qui confluent avec le Gardon au niveau de Saint Nicolas de Campagnac dans les gorges crétacées du Gardon, traversent des alluvions modernes déposées au sein du plateau crétacé. Les vallées sont marquées par le relief du plateau atteignant 50 m à 100 m de dénivelée. Les vallées sont assez larges et marquées par un remplissage alluvial ou de limons. Les fonds de vallée sont essentiellement cultivés et présentent peu d'enjeux.

Les alluvions et les limons sont structurés en terrasses successives. Plusieurs talus sont identifiés sur le levé LIDAR. Les limites du lit majeur sont définies en fonction d'une homogénéité rive gauche – rive droite, contrôlée à l'aide des courbes de niveau construites à partir du levé LIDAR.

### 3.3.4 L'Alzon et les Seynes

A la confluence entre l'Alzon et les Seynes, la zone de confluence au niveau du golf d'Uzès est incluse au lit majeur des cours d'eau.

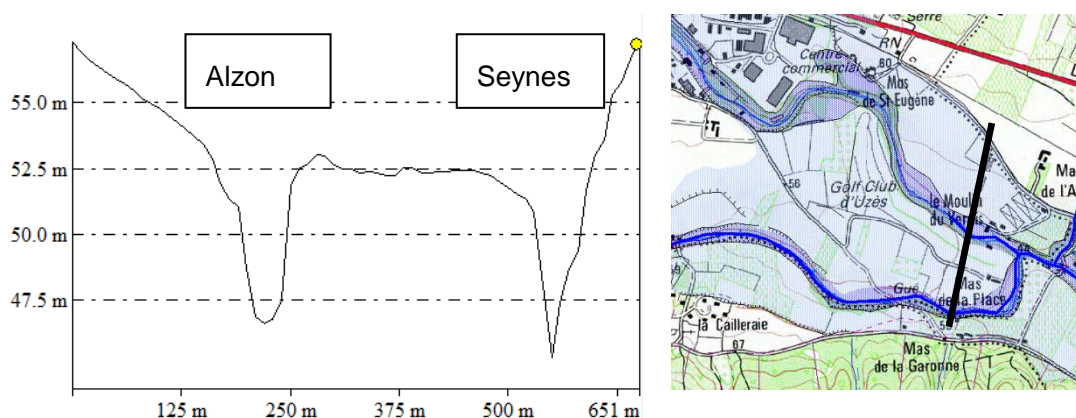


Figure 3.4 : Illustration de la définition des limites hydrogéomorphologiques à la confluence entre l'Alzon et les Seynes

Sur la partie aval du Moulin Gavot et de la Condamine, l'analyse précédente a arrêté le lit majeur au niveau de la route. Nous ne disposons pas d'éléments suffisants pour limiter le lit majeur à ce marqueur anthropique et élargissons le lit majeur à l'ensemble de la vallée, en s'arrêtant sur la limite de versant en rive droite et sur une terrasse alluviale en rive gauche. Le lit majeur tel que défini dépasse la limite des alluvions récentes de la carte géologique au 1/50 000<sup>ème</sup>.

### 3.3.5 Le ruisseau du Grand Vallat

Sur la partie aval, Le ruisseau du Grand Vallat situé entre Argilliers et Vers pont du Gard traverse les terrains molassiques recouverts par les alluvions anciennes. La carte géologique au 1/50 000<sup>ème</sup> n'identifie pas d'alluvions modernes sur ces secteurs. Dans ces conditions, il est difficile d'établir des limites morphologiques.

Sur la partie aval, en rive droite du ruisseau du Grand Vallat, des terrasses alluviales marquent la limite du lit majeur. Plus en amont en rive gauche, il n'y a pas de limites morphologiques. Les terrains présentent globalement une pente Ouest Est pouvant donner naissance en période de crue à des écoulements entre les bassins versants du ruisseau du Grand Vallat et de la combe des Trissons.

En sortie des gorges calcaires, des terrasses alluviales permettent d'identifier les limites du lit majeur. Les limites peuvent aussi s'appuyer sur des colluvions de bas de pente.

Dans les gorges, l'approche hydrogéomorphologique n'apporte pas beaucoup d'informations. Le lit mineur est défini sur les versants calcaires des gorges.

### **3.3.6 Ruisseau de Font Barzaude**

La partie aval du ruisseau de Font Barzaude présente des terrasses alluviales bien marquées qui permettent de limiter le lit majeur. Sur la partie médiane, le cours d'eau traverse des gorges taillées au travers de la molasse pour lesquelles le lit mineur est délimité sur le fond de vallée.

La partie amont se développe sur une plaine alluviale commune avec la combe du Vayer. Les limites morphologiques sont peu marquées surtout en rive droite.

### **3.3.7 La Valliguière**

Les affluents rive gauche de la Valliguière sont complétés par une analyse hydrogéomorphologique au 1/5000<sup>ème</sup>. Sur les coteaux calcaires, le lit majeur est tracé sur le fond des vallées encaissées. Sur la Grande Combe et la Combe du Castelas, des éboulis forment une plaine qui est intégrée au lit majeur.

Après un passage transitoire par les marnes mollassiques, les affluents traversent la plaine d'alluvions anciennes puis récentes. Des buttes de colluvions peuvent être isolées par l'analyse de la topographie et retirées du lit majeur.

La Valliguière traverse des gorges calcaires sur sa partie amont. Seul un lit majeur a été déterminé sur ce secteur.

Au niveau du village de la Valliguière, des dépôts alluviaux témoignent de l'action historique de l'eau sur ce secteur. Des buttes témoins façonnent toutefois la morphologie d'écoulement des eaux qui permettent de tracer le lit majeur.

La Valliguière traverse à nouveau des gorges ; à leur débouché, le cours d'eau est perché. La rive droite représente le point bas de la vallée et un secteur préférentiel d'écoulement en crue. Ce secteur est donc classé en lit moyen, comme proposé par l'étude précédente. Les données topographiques permettent d'affiner le tracé de la zone.

Les terrasses alluviales permettent de définir les unités hydrogéomorphologiques plus finement entre Castillon du Gard et Remoulins.

## 4 ANALYSE HYDROLOGIQUE

### 4.1 DEMARCHE GENERALE

L'analyse hydrologique porte à la fois sur l'évaluation et la quantification des crues historiques (notamment sur l'événement de septembre 2002) et sur la définition de données hydrologiques fiables et cohérentes à l'échelle des bassins versants étudiés, indispensable à la caractérisation des aléas : débits de pointe et hydrogrammes des crues de projet de période de retour de 5, 10 ans, 50 ans, 100 ans et pour un événement exceptionnel.

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 qui sera par la suite couplé au modèle hydraulique mis en œuvre pour la caractérisation de l'aléa inondation.

L'analyse statistique des données hydrométriques disponibles permet de quantifier les débits de pointe et volumes écoulés pour différentes périodes de retour au droit des stations de mesure, gérées par le Service de Prévision des Crues (SPC) du Grand Delta et la Compagnie Nationale du Rhône (CNR).

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

### 4.2 HYDROMETRIE

L'ensemble des stations hydrométriques sont localisées sur la carte ci-après.

Le SPC Grand Delta assure la gestion de trois stations de mesures sur le Gardon :

- la station de Ners située en amont du secteur d'étude,
- la station de Russan au droit du pont de la RD418
- et la station de Remoulins au droit du pont de la RD6086.

D'autre part, la Compagnie National du Rhône en tant que concessionnaire du Rhône assure la gestion d'une station de mesure des débits du Rhône à Remoulins.

Par ailleurs, aucune mesure n'est disponible sur les affluents étudiés.

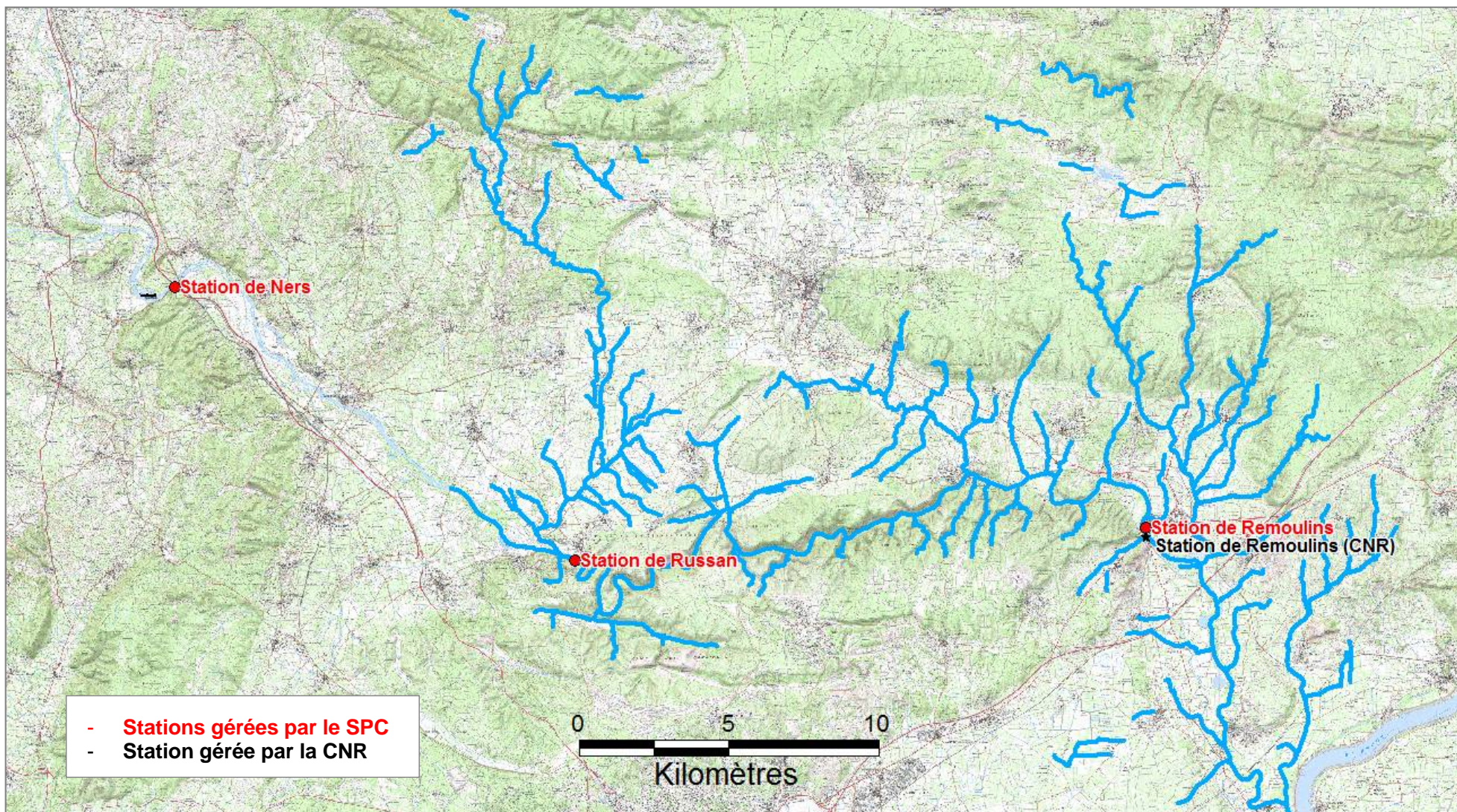


Figure 4.1 : Localisation des stations hydrométriques au droit du secteur d'étude

## 4.2.1 Pont de Ners (Boucoiran et Nozières)

### a) Localisation et historique

La station du SPC au pont de Ners est située à environ 13 km en amont du territoire étudié.

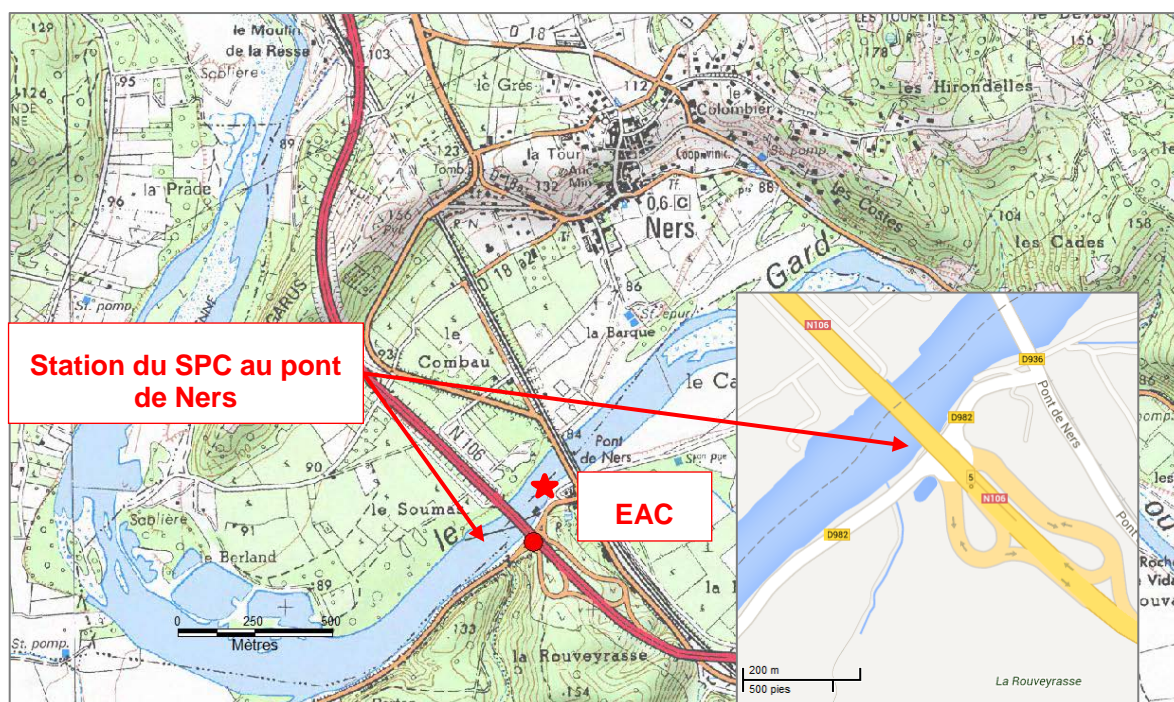


Figure 4.2 : Localisation de la station de mesure du SPC au pont de Ners

La première station a été mise en place en 1979 (réseau EOLE) à l'emplacement de l'EAC (Echelle d'Annonce de Crue) au lieu-dit « le Moulin » en aval du site actuel et a été modernisée en novembre 2001 (réseau Sigma).

### b) Courbe de tarage, estimation du débit de la crue de septembre 2002

Aucune courbe de tarage n'est disponible pour la première station. Des limnigrammes sont cependant disponibles pour les périodes suivantes :

- Saisies événementielles : du 28/08/1978 au 10/03/1991, sauf 1979, 1980, 1981 et 1990,
- du 15/01/1992 au 04/10/2001.

La courbe de tarage établie par le SPC à partir de jaugeages est considérée comme valide depuis la mise en service du second capteur limnimétrique le 28/08/2004. Celui-ci se trouve dans le remous hydraulique engendré par le Pont de Ners et le pont de la RN106.

L'étude de validation des relevés hydrométriques de la crue du 8 et 9 septembre 2002 réalisée par SOGREAH en 2003 a permis de reconstituer l'hydrogramme de la crue de 2002 et d'extrapoler la courbe de tarage de la station actuelle au-delà des débits jaugeés.

Cette étude s'est appuyée sur un modèle hydraulique 1D du Gardon s'étendant sur un linéaire de 1200 m centré autour du pont SNCF. Elle utilise :

- les résultats de l'enregistrement limnimétrique sur le site actuel de la station de la crue entre le 8 et le 10 septembre 2002.
- 4 laisses de crues situées à proximité de la station de Ners.

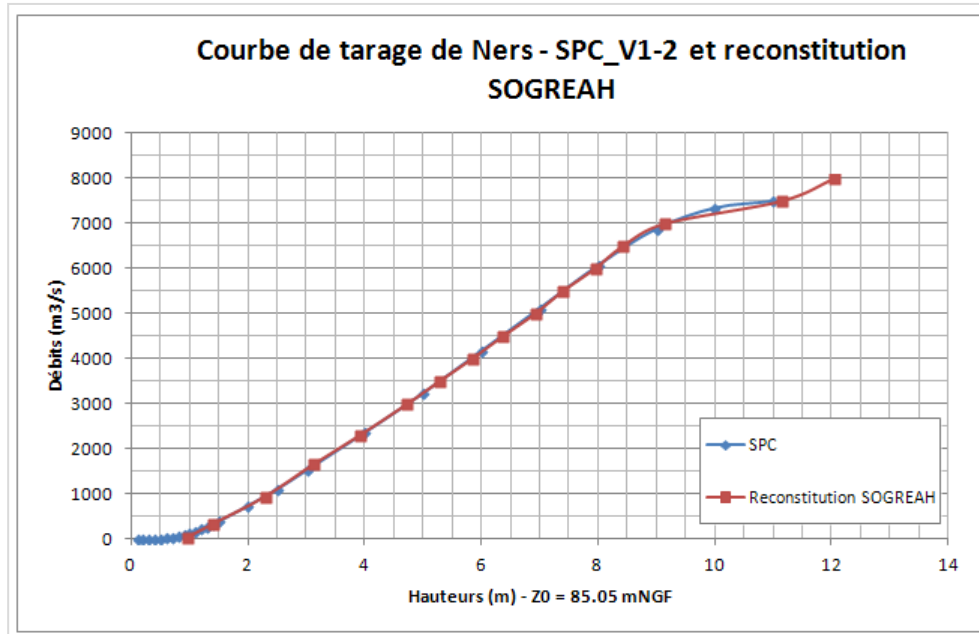


Figure 4.3 : Courbe de tarage de Ners reconstituée par Sogreah en 2003 et établie par le SPC (validée depuis le 28/08/2004)

## 4.2.2 Russan (Sainte Anastasie)

### a) Localisation

La station SPC de Russan se situe au droit du pont de la RD418, au niveau du resserrement de la vallée et de l'entrée des gorges. La figure suivante présente sa localisation.

La station est en service depuis le 10/09/2003.

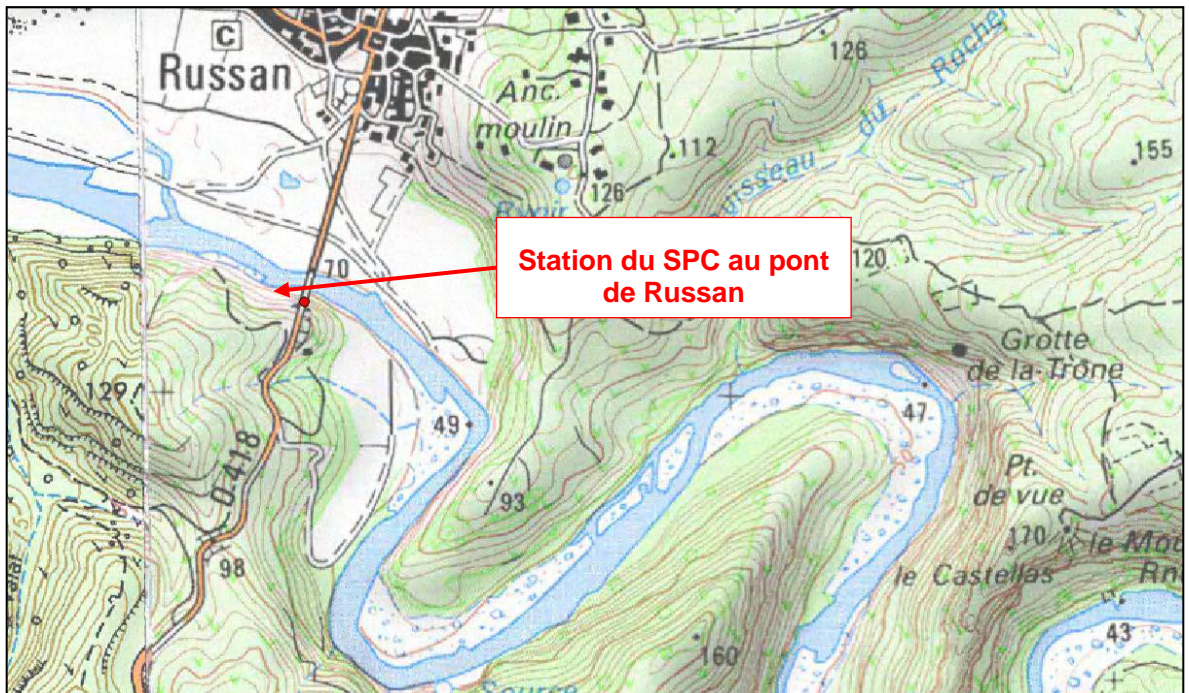


Figure 4.4 : Localisation de la station de mesure du SPC au pont de Russan

**b) Courbe de tarage, estimation du débit de la crue de septembre 2002**

La courbe de tarage présentée ci-après est valide depuis la mise en service de la station.

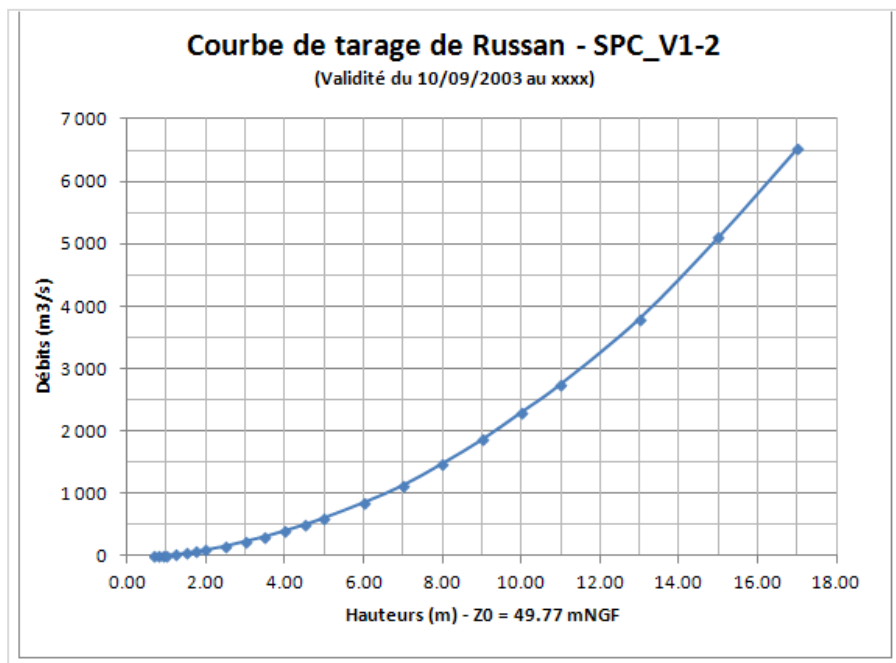


Figure 4.5 : Courbe de tarage de Russan valide depuis le 10/09/2003 - SPC

La courbe de tarage est extrapolée au-delà des débits jaugés sur la base de la courbe de tarage reconstituée par modélisation dans le cadre de l'étude SOGREA de 2003 citée précédemment.

Le débit de pointe de la crue de septembre 2002 a été estimé entre **6000 et 6800 m<sup>3</sup>/s** à partir de cette courbe de tarage et des laisses de crue levées au droit du pont de Russan.

Un hydrogramme de la crue a également été reconstitué à partir de l'hydrogramme reconstitué à la station de Remoulins en aval. La dynamique de propagation de la crue entre ces deux stations a cependant été définie très sommairement, entachant cet hydrogramme de très fortes incertitudes.

Des données limnimétriques sont disponibles depuis la mise en service jusqu'au 01/01/2012, soit 9 années de données hydrométriques qui peuvent être reconstituées.

## 4.2.3 Remoulins - SPC

### a) Localisation

La station gérée par le SPC Grand Delta, localisée sur la figure suivante, est située au droit du pont de la route nationale 86.

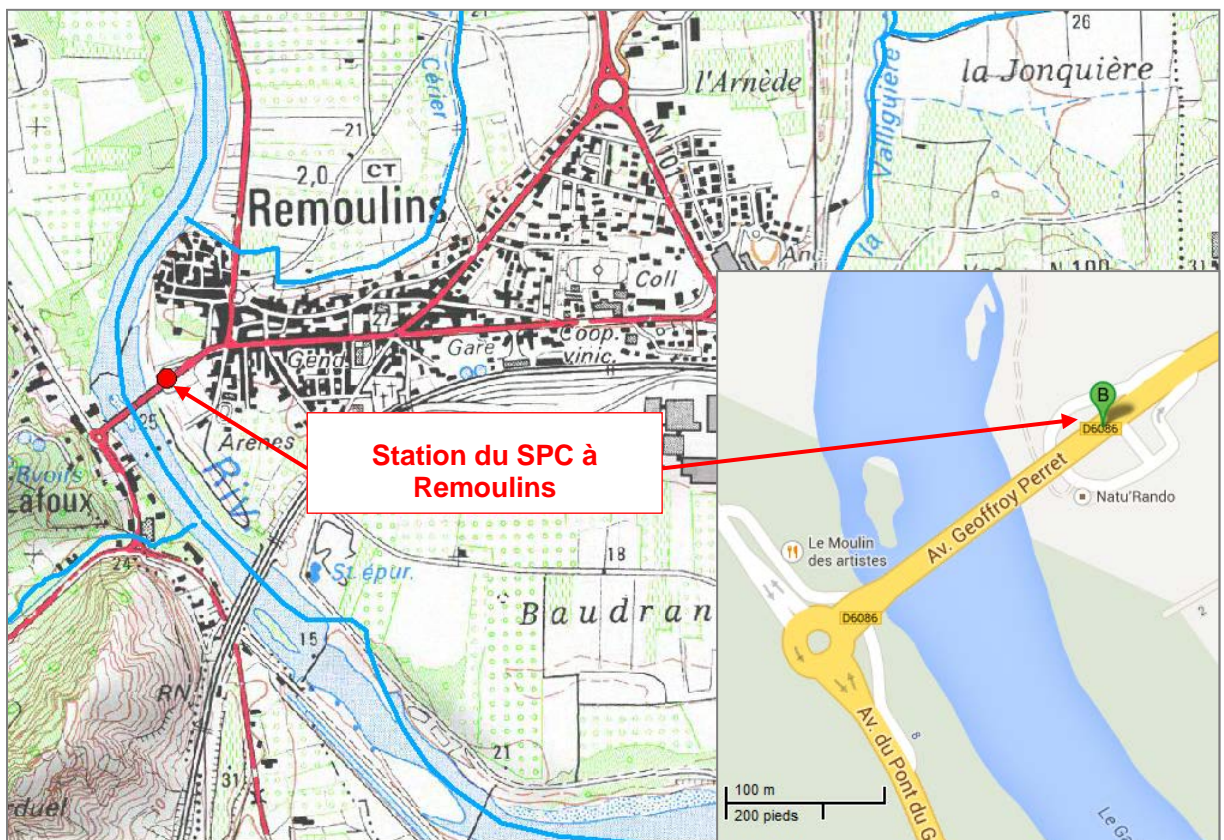


Figure 4.6 : Localisation de la station de mesure de la DREAL à Remoulins

La première station automatique de télémessure de Remoulins était installée de 1980 à 1996 à 1.250 km à l'aval du pont routier sur le Gardon. Aucune courbe de tarage n'est disponible sur cette période.

La station a été déplacée en 1996, au droit de l'ancien pont dit « pont des frères Seguin » (X=778615.47; Y=1884257.01, lambert 2 étendu).

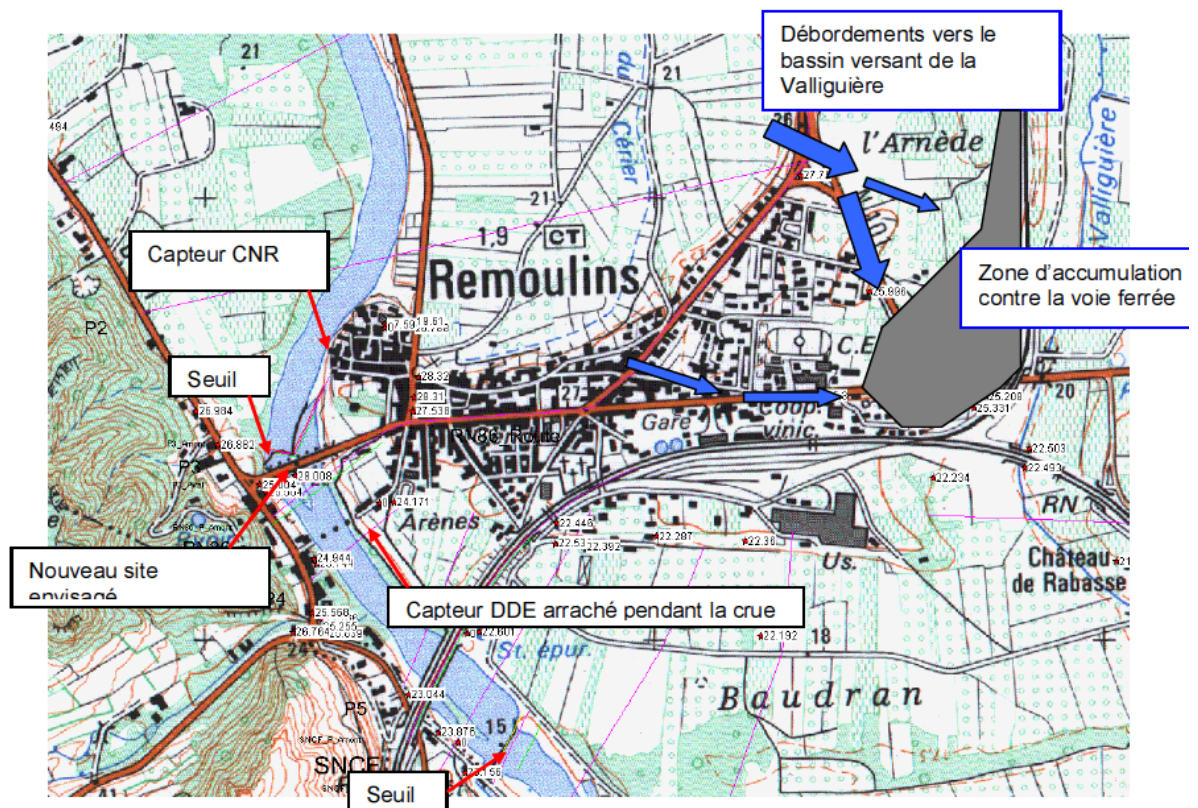
La station a de nouveau été déplacée en octobre 2005 sur le nouveau pont routier RN 86 (X=778470; Y=1884300, lambert 2 étendu).

## b) Courbe de tarage, estimation du débit de la crue de septembre 2002

L'étude de validation des relevés hydrométriques de la crue du 8 et 9 septembre 2002 réalisée par SOGREAH en 2003 a permis d'établir la courbe de tarage de la station située au droit de l'ancien pont de frères Seguin (TM/EAC version 1.11). Cette étude a également permis de reconstituer une courbe de tarage au niveau de la station actuelle ainsi que l'hydrogramme de la crue de 2002 à partir d'un modèle 1D du Gardon.

La reconstitution de l'hydrogramme de la crue de septembre 2002 s'appuie sur :

- les résultats de l'enregistrement limnimétrique de la crue au niveau de la station de la CNR ; la station du SPC se trouvait à l'époque au niveau du « pont des frères Seguin » sur une ancienne culée et n'a pu mesurer l'ensemble de la crue car sa sonde a été arrachée avant le maximum de la crue. La station de la CNR se situe quant à elle, 300 mètres en amont du seuil à proximité du pont de la RN 86. Cette station a enregistré la totalité de la crue (cf. Figure 4.7).
- les laisses de crue levées au niveau de la commune de Remoulins.



LOCALISATION DES ECHELLES

Figure 4.7 : Localisation des stations de la CNR et du SPC lors de la crue de 2002

### Comparaison des stations limnimétriques de Remoulins

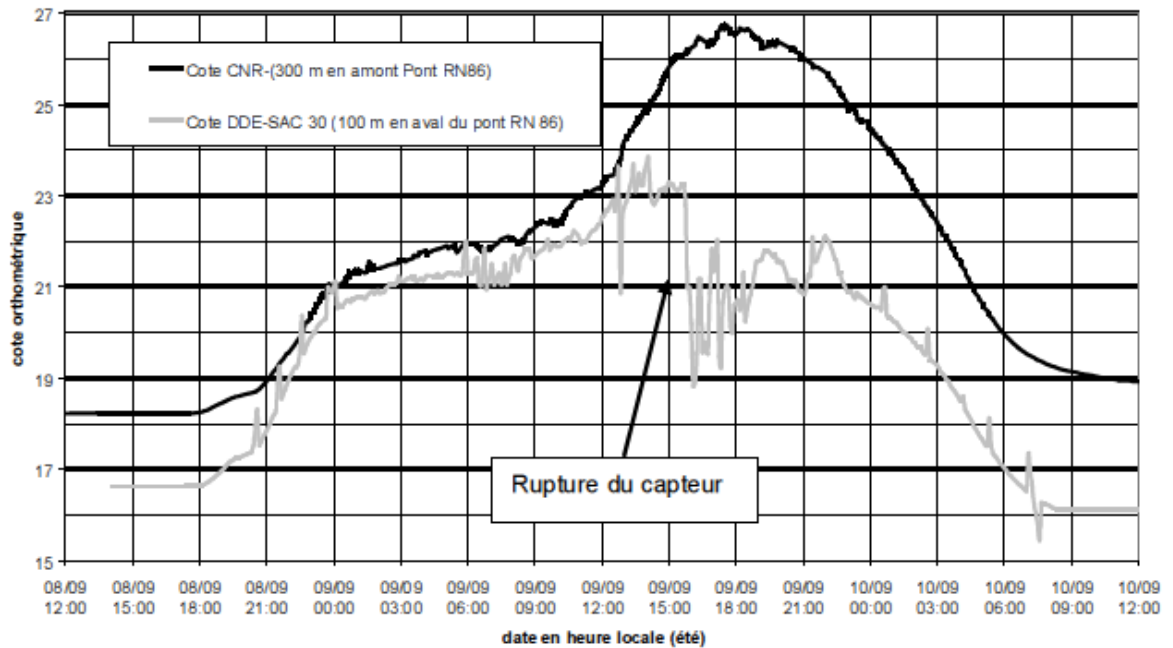


Figure 4.8 : Comparaison des limnigrammes enregistrés pendant la crue de 2002

#### La courbe de tarage de la station actuelle a ensuite évolué à deux reprises :

- Présence d'un seuil maçonné à l'amont du pont, modification du seuil entre le 15 mars et le 28 septembre 2007; entraîne un détarage de la courbe v1.0 → établissement le 2 avril 2009 de la **version 1.1** valide à compter du 01/09/2007.
- Modification du seuil (colmatage de brèches) début 2010; entraîne un détarage de +0.35m → nouvelle courbe **version 1.2** établie par SPC Grand Delta, valide à compter du 18 juin 2010. L'actualisation de la partie basse de la courbe est toutefois à confirmer par une nouvelle campagne de jaugeages.

La figure ci-après présente la courbe de tarage de Remoulins du SPC validée depuis le 19/06/2010.

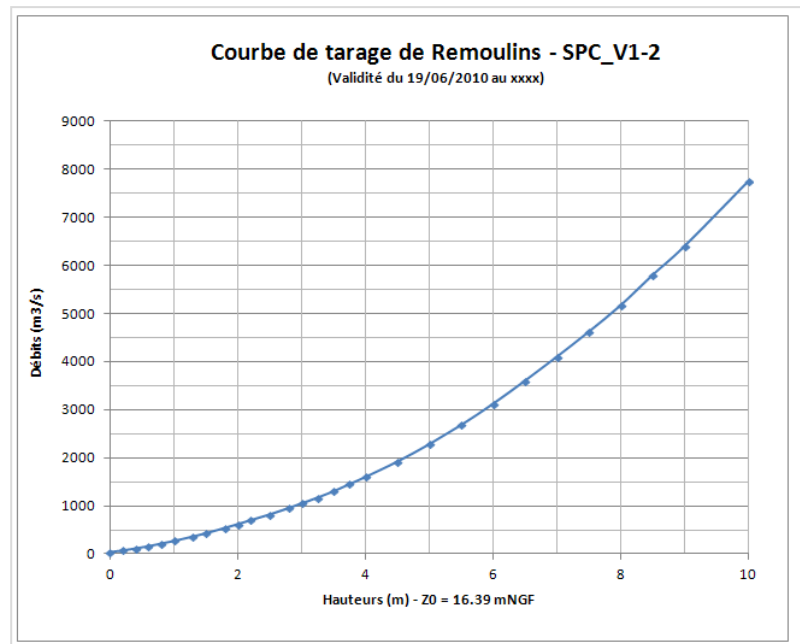


Figure 4.9 : Courbe de tarage de Remoulins – SPC validée depuis le 19/06/2010

### c) Données disponibles

Des enregistrements limnimétriques sont disponibles pour les périodes suivantes :

- saisies événementielles du 16/04/1986 au 03/06/1992 au niveau du 1er site
- du 15/01/1992 à 996 au niveau du 1er site
- de 1996 au 04/10/2001 au niveau du 2ème site
- du 01/01/2003 au 03/10/2005 au niveau du 2ème site
- du 03/10/2005 au 01/01/2012 au niveau du 3ème site

Les chroniques de débits sont disponibles à partir de 1996, avec une absence de données entre le 04/10/2001 et le 01/01/2003 (14 années de données).

#### 4.2.4 Remoulins CNR

La station de la CNR située sur la commune de Remoulins est située à 300 mètres en amont du seuil à proximité du pont de la RN 86 (cf. Figure 4.7 page 37).

La figure suivante présente la courbe de tarage de la station antérieure à la crue de 2002 et les courbes de tarage modélisées par Sogreah en 2003.

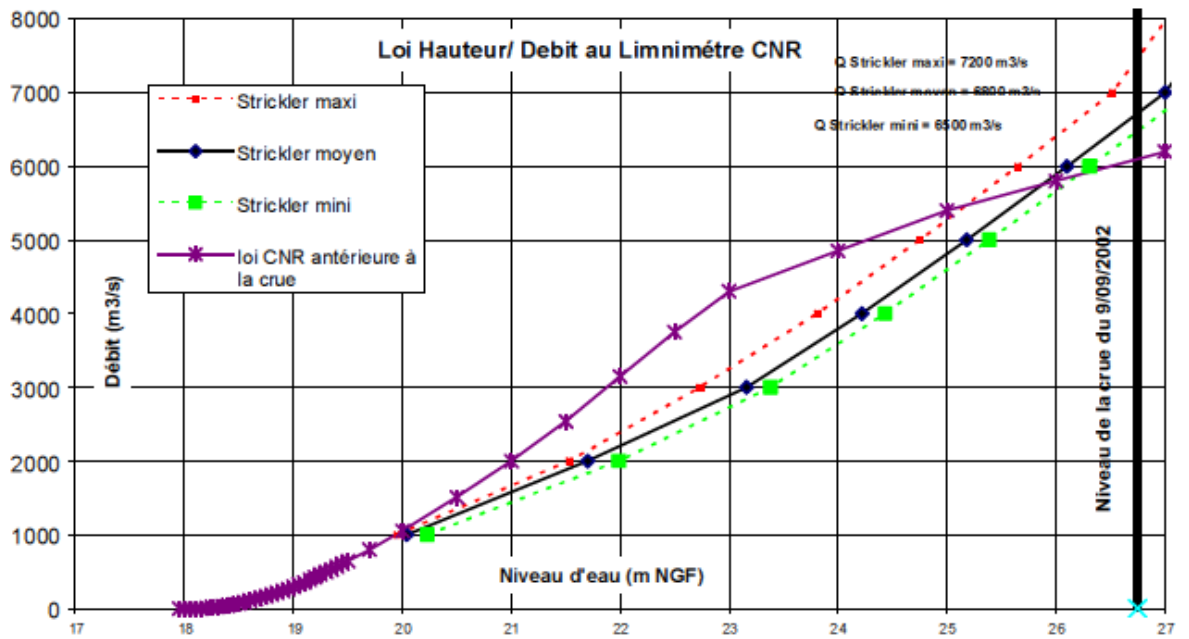


Figure 4.10 : Loi hauteurs/Débit de la station de la CNR antérieure à la crue de 2002 (source : Validation des relevés hydrométriques de la crue du 8 et 9 septembre 2002 – Sogreah 2003)

Dans le cadre de cette étude, les débits instantanés maximaux enregistrés à cette station ont été mis à disposition par la CNR sur la période du 01/01/1991 au 12/08/2013. Ces débits ont été contrôlés visuellement mais ont été transmis avec le statut non validés et sont à considérer avec une incertitude de plus ou moins 10 %.

## 4.3 PLUVIOMETRIE

### 4.3.1 Stations sol

#### a) Stations gérées par le SPC Grand Delta

Le SPC Grand Delta dispose d'un réseau de pluviomètres. Etant utilisés uniquement pour la prévision aucune validation de ces données n'est réalisée. Pour les stations listées dans le tableau suivant, les données pluviométriques sont enregistrées au pas de temps horaire.

Code hydro	Nom	Ouverture	Fermeture	Type	Producteur
V7155010	Alès	27/11/2006	-	4/5	SPC Grand Delta
V7164020	La Bruguière	04/09/2002	-	4/5	SPC Grand Delta
V7185005	Remoulins	03/10/2005	-	4/5	SPC Grand Delta
V7164015	Ners	27/08/2004	-	4/5	SPC Grand Delta
V7144010	Anduze	01/08/1985	-	4/5	SPC Grand Delta
V7184015	Russan	01/09/2003	-	4/5	SPC Grand Delta
Y3514002	Nîmes	01/01/1980	-	4/5	SPC Grand Delta

Tableau 4.1 : Stations de mesures pluviométriques gérées par le SPC Grand Delta

#### b) Stations gérées par Météo France

Le tableau ci-après présente les postes Météo France présents sur l'ensemble du bassin versant du Gardon ou à proximité de ce dernier et sélectionnés dans le cadre de cette étude.

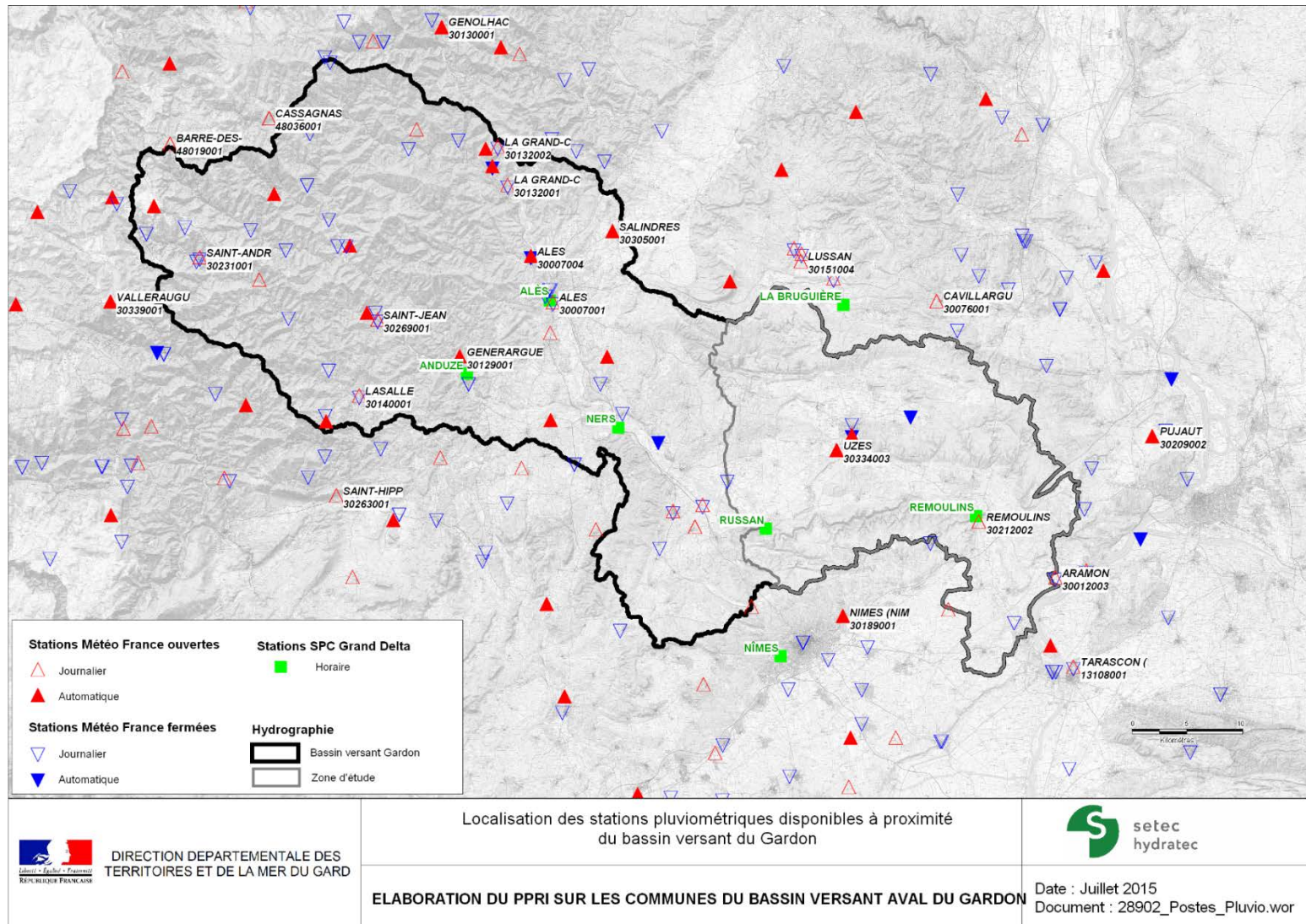
INSEE	Nom	Ouverture	Fermeture	Type	Altitude	Producteur
13108001	TARASCON (TARASCON-PC)	01/01/1955	31/07/2005	4	9	ASSOCIATION OU COMMISSION METEOROLOGIQUE DEPARTEMENTALE
30007001	ALES	01/06/1887	31/12/1990	4	135	DIRECTION DEPARTEMENTALE DE L'EQUIPEMENT-DIRROUTE
30007004	ALES	01/01/1991	01/06/2012	3	143	DIRECTION DEPARTEMENTALE DE L'EQUIPEMENT-DIRROUTE
30012001	ARAMON	01/06/1887	28/02/1974	4	14	METEO-FRANCE
30012003	ARAMON	01/03/1973	30/04/1992	4	12	METEO-FRANCE
30061001	LA CALMETTE (CALMETTE)	01/01/1968	31/12/1985	4	70	METEO-FRANCE
30076001	CAVILLARGUES	01/07/1960		4	131	METEO-FRANCE
30129001	GENERARGUES	01/01/1855		2	139	METEO-FRANCE
30130001	GENOLHAC	01/01/1887		2	519	CONSEIL GENERAL
30132001	LA GRAND-COMBE	01/07/1865	31/12/1974	4	200	METEO-FRANCE
30132002	LA GRAND-COMBE (LA GRAND COMBE)	01/01/1885	30/06/1992	4	415	METEO-FRANCE
30132003	LA GRAND-COMBE (LA GRAND COMBE)	01/08/1991	31/05/2002	2	288	OFFICE NATIONAL DES FORETS (avec DEFENSE FORESTIERE CONTRE L'INCENDIE)
30140001	LASALLE	01/01/1885	01/01/2010	4	278	METEO-FRANCE
30151001	LUSSAN	01/01/1942	30/09/1980	4	250	METEO-FRANCE
30151002	LUSSAN (LUSSAN-PRAT)	01/10/1980	01/08/2007	4	226	METEO-FRANCE
30151003	LUSSAN	01/03/1886	30/11/1945	4	300	AUTRES
30151004	LUSSAN	01/08/2007		4	257	METEO-FRANCE
30189001	NIMES (NIMES-COURBESSAC)	01/01/1921		0	59	METEO-FRANCE
30209002	PUJAUT	01/06/1988		1	44	METEO-FRANCE
30212001	REMOULINS	01/01/1887	31/12/1988	4	22	DIRECTION DEPARTEMENTALE DE L'EQUIPEMENT-DIRROUTE
30212002	REMOULINS	01/01/1989		5	22	DIRECTION DEPARTEMENTALE DE L'EQUIPEMENT-DIRROUTE
30224001	LA ROUVIERE	01/01/1986		4	79	METEO-FRANCE
30231001	SAINT-ANDRE-DE-VALBORGNE (ST-AN)	01/01/1887	01/10/2007	4	450	METEO-FRANCE
30255001	SAINT-GENIES-DE-MALGOIRES	01/01/1920	31/12/1967	4	86	METEO-FRANCE
30263001	SAINT-HIPPOLYTE-DU-FORT (ST HIPPO)	01/01/1886		4	237	METEO-FRANCE
30269001	SAINT-JEAN-DU-GARD	01/01/1887	30/09/1971	4	185	METEO-FRANCE
30269003	SAINT-JEAN-DU-GARD	01/01/1969	31/03/1975	4	200	METEO-FRANCE
30269006	SAINT-JEAN-DU-GARD (ST JEAN DU GA)	01/04/1974		2	196	CONSEIL GENERAL
30305001	SALINDRES	01/01/1881		2	191	CONSEIL GENERAL
30334001	UZES	01/05/1885	31/12/2001	3	138	METEO-FRANCE
30334003	UZES	01/01/2002		2	72	METEO-FRANCE
30339001	VALLERAUGUE (MONT AIGOUAL)	01/12/1895		0	1567	METEO-FRANCE
48019001	BARRE-DES-CEVENNES	01/01/1884		4	897	ELECTRICITE DE FRANCE
48036001	CASSAGNAS	01/01/1884		4	802	METEO-FRANCE

Tableau 4.2 : 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 4.11 : localisation des stations pluviométriques disponibles à proximité du secteur d'étude



### 4.3.2 Images radar

Le bassin versant des Gardons est couvert par les radars de Nîmes et Bollène, respectivement opérationnels depuis les années 1990 et 2000. Les images radar sont calibrées à partir des postes pluviométriques gérés par Météo France.

Ces deux radars sont relativement proches de la zone d'étude. Peu d'échos fixes viennent perturber les mesures radar ; les effets de masque sont quasiment inexistantes pour le radar de Bollène, plus marqués pour celui de Nîmes du fait des reliefs situés à proximité. Nous nous appuierons donc sur les images du radar de Bollène.

Les données radar disponibles sont les suivantes :

- Réflectivité brute au pas de temps 5 minutes,
- Lames d'eau :
  - Panthère : simple recalage par mesures au sol, données disponibles au pas de temps 5 minutes,
  - Antilope : fusion des données radar et des pluviomètres ; données disponibles au pas de temps horaire depuis 3 ans environ.
  - Lames d'eau recalibrées au pas de temps horaire, exploitant les dernières évolutions des logiciels de traitement de la réflectivité brute : COMEPHORE.

Le SPC dispose des données CALAMAR du radar de Bollène : le calibrage est ajusté pour chaque épisode par comparaison avec les mesures au sol ; cet outil présente cependant l'inconvénient de ne permettre qu'un seul calibrage homogène par zone de couverture. le secteur étudié peut être couvert par plusieurs d'entre elles et donner des informations différentes sur les zones de recouvrement. Par exemple pour les 3 derniers plus forts évènements :

- évènement de septembre 2002 : zones n°5 + n°2
- évènements de 2008 et 2011 : zones n°1 et n°4

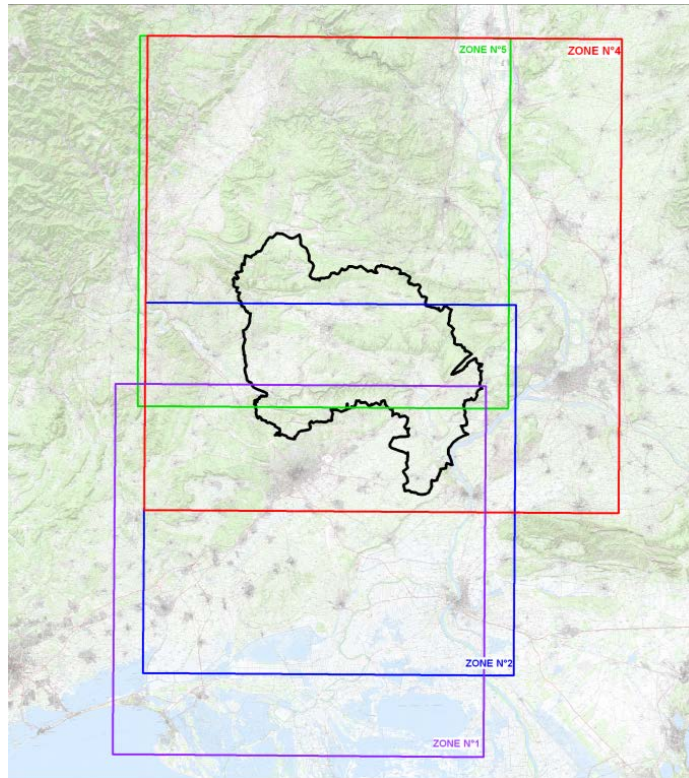


Figure 4.12 : Les différentes zones de couverture des données radar

### 4.3.3 Pluies SHYREG

L'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.

Ces estimations seront comparées à celles obtenues par analyse statistique au droit des postes météo France disposant de suffisamment de données (cf. § suivant).

## 4.4 ANALYSE STATISTIQUE DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES

### 4.4.1 Analyse de la pluviométrie au pas 24 heures

#### a) Introduction

Les analyses statistiques sur les précipitations de durée 24 heures sont réalisées sur les postes Météo France listés au paragraphe 4.3.1, ceux exploités par le SPC n'ayant pas de chroniques suffisamment longues.

Ces éléments permettent d'analyser la variabilité spatiale de la pluie pour :

- d'une part caractériser le gradex des pluies au droit des stations hydrométriques (cf. §4.5),

- d'autre part caractériser la variabilité spatiale de la pluie à l'échelle des bassins versants étudiés afin de définir les événements pluviométriques synthétiques nécessaires à la caractérisation de l'aléa inondation.

Les ajustements sont réalisés à partir des données de pluies quotidiennes, corrigées du coefficient de Weiss (1,14) afin de disposer de plus de points d'observations et de chroniques plus longues (possibilité d'acquérir des données aux postes à enregistrement journalier).

Enfin, deux périodes ont été retenues pour l'analyse de ces pluies : dans un premier temps l'année entière (de septembre à août), puis l'automne (de septembre à décembre) correspondant à la saison au risque de crue maximum sur le bassin versant du Gardon (cf. §4.5.1).

## b) Synthèse des résultats

Les ajustements réalisés avec les lois de Gumbel et GEV sont présentés en annexe 1. Les valeurs fournies par les données SHYREG au droit de chacun des postes sont également reportées.

La méthode du Gradex s'appuie sur des ajustements de Gumbel ; la présente étude vise à apprécier la validité de cet ajustement sur les postes pluviométriques étudiés.

La **loi GEV** est très fortement influencée par les valeurs les plus fortes de l'échantillon considéré, cependant elle ne s'écarte notablement de la **loi de Gumbel** que vers les périodes de retour élevées. La loi de Gumbel est par ailleurs bien ajustée sur les échantillons (contrôle visuel).

Les valeurs **SHYREG** sont systématiquement supérieures aux valeurs calculées avec les ajustements aux lois de Gumbel et GEV en amont du bassin versant (Barre des Cévennes, Cassagnas, Saint André de Valborgnes ; elles sont en revanche systématiquement inférieures aux valeurs des lois de Gumbel et GEV sur la partie basse du bassin (Aramon, Remoulins, Tarascon, ...).

INSEE	Nom	5 ans			10 ans			50 ans			100 ans			1000 ans												
		Gumbel	GEV (écart Gumbel)	SHYREG (écart Gumbel)	Gumbel	GEV (écart Gumbel)	SHYREG (écart Gumbel)	Gumbel	GEV (écart Gumbel)	SHYREG (écart Gumbel)	Gumbel	GEV (écart Gumbel)	SHYREG (écart Gumbel)	Gumbel	GEV (écart Gumbel)	SHYREG (écart Gumbel)										
30007001 30007004	ALES	164.4	148.2	-10%	170.08	3%	202.3	184.9	-9%	208.86	3%	285.6	287.4	1%	316	11%	320.9	341.7	6%	366.76	14%	437.3	584.7	34%	534.5	22%
30012001 30012003	ARAMON	110.1	101.6	-8%	99.34	-10%	135.2	126.0	-7%	116.72	-14%	190.5	190.5	0%	166.86	-12%	213.9	222.9	4%	194.64	-9%	291.1	358.1	23%	286.4	-2%
48019001	BARRE-DES-CEVENNES	163.3	155.2	-5%	198.44	22%	194.6	188.0	-3%	245.78	26%	263.6	274.4	4%	371.28	41%	292.8	317.7	9%	428.48	46%	389.1	497.2	28%	617.5	59%
48036001	CASSAGNAS	194.3	188.8	-3%	231.5	19%	231.7	226.9	-2%	281.04	21%	314.1	318.5	1%	409.66	30%	348.9	360.8	3%	468.66	34%	463.9	517.4	12%	663.6	43%
30076001	CAVILLARGUES	123.8	110.4	-11%	122.88	-1%	152.8	140.5	-8%	147.02	-4%	216.6	229.9	6%	219.68	1%	243.6	280.1	15%	257.46	6%	332.7	523.0	57%	382.3	15%
30129001	GENERARGUES	181.0	155.4	-14%	178.56	-1%	225.6	192.3	-15%	219.16	-3%	323.9	297.9	-8%	329.7	2%	365.4	355.0	-3%	382.02	5%	502.7	617.8	23%	554.9	10%
30130001	GENOLHAC	191.9	182.2	-5%	231.12	20%	228.8	219.0	-4%	281	23%	309.8	313.7	1%	411.04	33%	344.1	360.2	5%	470.62	37%	457.4	546.7	20%	667.5	46%
30061001 30224001 30255001	LA CALMETTE (CALMETTE)	149.1	126.0	-15%	125.98	-16%	185.9	160.4	-14%	151.84	-18%	266.9	271.3	2%	230.22	-14%	301.1	338.1	12%	271.52	-10%	414.2	696.8	68%	408.0	-2%
30132001 30132002 30132003	LA GRAND-COMBE	175.3	172.0	-2%	200.42	14%	206.1	201.3	-2%	245.4	19%	273.9	264.9	-3%	364.7	33%	302.6	291.4	-4%	419.76	39%	397.3	377.5	-5%	601.7	51%
30140001	LASALLE	195.1	184.2	-6%	209.74	8%	233.6	222.1	-5%	258.66	11%	318.3	319.4	0%	389.2	22%	354.2	367.0	4%	447.92	26%	472.6	558.3	18%	641.9	36%
30151001 30151003 30151004 30151002	LUSSAN	138.6	126.0	-9%	141.34	2%	170.1	156.9	-8%	171.88	1%	239.5	243.0	1%	261.34	9%	268.8	288.4	7%	306.8	14%	365.8	490.3	34%	457.0	25%
30189001	NIMES (NIMES-COURBESSAC)	130.1	118.8	-9%	118.92	-9%	160.4	148.9	-7%	142.04	-11%	227.1	231.1	2%	211.22	-7%	255.3	273.9	7%	247.32	-3%	348.5	459.8	32%	366.6	5%
30209002	PUJAUT	147.1	124.8	-15%	108.76	-26%	186.7	161.2	-14%	129.2	-31%	273.9	267.3	-2%	190.28	-31%	310.8	325.8	5%	223.28	-28%	432.6	601.6	39%	332.3	-23%
30212001 30212002	REMOULINS	127.3	115.5	-9%	109.3	-14%	157.9	147.2	-7%	129.84	-18%	225.2	237.7	6%	190.78	-15%	253.6	286.6	13%	223.26	-12%	347.6	510.9	47%	330.6	-5%
30231001	SAINT-ANDRE-DE-VALBORGNE (ST-ANDRE-DE-VALEBORGNE)	165.9	163.0	-2%	214.58	29%	201.6	197.0	-2%	264.84	31%	280.0	273.6	-2%	397.98	42%	313.2	306.8	-2%	458.18	46%	422.8	419.4	-1%	657.1	55%
30263001	SAINT-HIPPOLYTE-DU-FORT (ST HIPPOLYTE)	160.3	139.6	-13%	173.3	8%	197.9	177.0	-11%	212.78	8%	280.6	294.7	5%	321.16	14%	315.6	364.3	15%	373.18	18%	431.1	727.3	69%	545.1	26%
30269001 30269003 30269006	SAINT-JEAN-DU-GARD	188.3	180.7	-4%	203.06	8%	224.9	215.5	-4%	251.34	12%	305.5	299.1	-2%	380.06	24%	339.6	337.5	-1%	438.38	29%	452.1	478.7	6%	631.1	40%
30305001	SALINDRES	183.6	152.6	-17%	155.08	-16%	232.0	198.2	-15%	190.3	-18%	338.5	347.8	3%	289.34	-15%	383.5	439.6	15%	335.66	-12%	532.3	944.4	77%	488.7	-8%
13108001	TARASCON (TARASCON-PC)	96.8	94.7	-2%	92.28	-5%	114.9	112.1	-2%	107.12	-7%	154.6	151.7	-2%	149.04	-4%	171.4	169.0	-1%	171.72	0%	227.0	228.3	1%	246.7	9%
30334001 30334003	UZES	127.6	115.7	-9%	123.3	-3%	156.5	144.3	-8%	148.08	-5%	220.2	224.9	2%	222.52	1%	247.2	268.0	8%	261.82	6%	336.2	462.5	38%	391.7	17%
30339001	VALLERAUGUE (MONT AIGOUAL)	241.4	235.0	-3%	264.84	10%	287.4	277.6	-3%	321.04	12%	388.7	374.4	-4%	465.5	20%	431.5	416.5	-3%	532.8	23%	573.0	561.5	-2%	755.2	32%

Tableau 4.3 : Ecart des valeurs calculées sur l'année entière avec les lois Gumbel et GEV et les données SHYREG (Pluies de durée 24h)

INSEE	Nom	5 ans			10 ans			50 ans			100 ans			1000 ans		
		Gumbel	GEV (écart Gumbel)		Gumbel	GEV (écart Gumbel)		Gumbel	GEV (écart Gumbel)		Gumbel	GEV (écart Gumbel)		Gumbel	GEV (écart Gumbel)	
30007001 30007004	ALES	155.3	137.0	-12%	195.7	176.7	-10%	284.7	290.9	2%	322.2	353.0	10%	446.5	641.3	44%
30012001 30012003	ARAMON	97.6	90.9	-7%	122.5	114.1	-7%	177.3	171.1	-3%	200.4	197.8	-1%	277.0	299.2	8%
48019001	BARRE-DES-CEVENNES	158.0	150.4	-5%	191.9	185.6	-3%	266.6	276.1	4%	298.1	320.4	7%	402.4	497.8	24%
48036001	CASSAGNAS	186.7	178.7	-4%	227.1	220.8	-3%	315.8	327.8	4%	353.4	379.6	7%	477.4	584.5	22%
30076001	CAVILLARGUES	130.2	116.0	-11%	162.8	149.1	-8%	234.4	244.3	4%	264.7	296.3	12%	364.8	537.5	47%
30129001	GENERARGUES	174.0	149.3	-14%	220.9	188.5	-15%	324.0	297.0	-8%	367.6	354.1	-4%	511.6	606.0	18%
30130001	GENOLHAC	186.4	178.8	-4%	226.5	218.4	-4%	314.8	314.7	0%	352.2	359.6	2%	475.5	527.4	11%
30061001 30224001 30255001	LA CALMETTE (CALMETTE)	142.1	123.2	-13%	180.8	159.8	-12%	265.9	266.4	0%	301.9	325.1	8%	420.8	601.9	43%
30132001 30132002 30132003	LA GRAND-COMBE	165.1	162.2	-2%	197.8	193.3	-2%	269.6	260.4	-3%	299.9	288.3	-4%	400.2	378.2	-6%
30140001	LASALLE	189.8	180.3	-5%	232.6	222.4	-4%	326.7	326.9	0%	366.4	376.4	3%	497.9	566.5	14%
30151001 30151003	LUSSAN	129.4	116.2	-10%	161.7	147.4	-9%	233.0	233.6	0%	263.1	278.8	6%	362.6	478.3	32%
30189001	NIMES (NIMES-COURBESSAC)	130.1	118.9	-9%	160.4	149.0	-7%	227.2	231.0	2%	255.5	273.4	7%	348.8	457.2	31%
30209002	PUJAUT	143.6	122.4	-15%	185.8	160.1	-14%	278.7	263.0	-6%	317.9	316.4	0%	447.6	548.1	22%
30212001 30212002	REMOULINS	112.6	102.2	-9%	140.6	130.0	-8%	202.2	206.7	2%	228.3	246.8	8%	314.4	422.6	34%
30231001	SAINT-ANDRE-DE-VALBORGNE (ST-ANDRE-DE-VALEBORGNE)	158.2	153.3	-3%	195.1	189.3	-3%	276.3	273.4	-1%	310.6	311.1	0%	424.1	445.1	5%
30263001	SAINT-HIPPOLYTE-DU-FORT (ST HIPPOLYTE)	153.3	132.6	-14%	193.5	173.1	-11%	282.0	297.7	6%	319.4	369.9	16%	443.0	735.6	66%
30269001 30269003	SAINT-JEAN-DU-GARD	181.6	172.9	-5%	220.3	210.6	-4%	305.6	303.5	-1%	341.6	347.2	2%	460.7	513.3	11%
30305001	SALINDRES	177.9	150.1	-16%	227.4	196.7	-14%	336.5	339.7	1%	382.6	422.4	10%	535.0	839.8	57%
13108001	TARASCON (TARASCON-PC)	91.4	88.6	-3%	110.4	107.0	-3%	152.2	149.2	-2%	169.9	167.9	-1%	228.4	233.2	2%
30334001 30334003	UZES	118.8	107.5	-9%	150.0	138.4	-8%	218.8	222.5	2%	247.9	266.0	7%	343.9	454.0	32%
30339001	VALLERAUGUE (MONT AIGOUAL)	222.7	223.7	0%	266.3	262.2	-2%	362.3	337.8	-7%	402.9	366.3	-9%	537.0	448.0	-17%

Tableau 4.4 : Ecart des valeurs calculées sur la période automnale avec les lois Gumbel et GEV et les données SHYREG (Pluies de durée 24h)

### c) Variabilité spatiale des cumuls pluviométriques

Les cartes pages suivantes illustrent la variabilité spatiale à l'échelle du bassin versant global du Gardon des cumuls pluviométriques de période de retour décennale et centennale calculés par les ajustements à la loi de Gumbel sur les deux périodes considérées (année et automne).

Quelle que soit la période considérée, les cumuls pluviométriques les plus forts sont situés sur l'amont du bassin versant à l'ouest où le relief est très accentué et les plus faibles sur l'aval au niveau de la plaine du Rhône à l'est.

A l'échelle du bassin versant global du Gardon, les variabilités de cumuls pluviométriques sont très fortes sur l'axe est-ouest, avec des écarts d'environ 115 mm pour une pluie décennale entre le Mont Aigoual et Tarascon, et d'environ 260 mm pour une pluie centennale en considérant les ajustements réalisés sur les pluies maximales annuelles. La variabilité des cumuls est un peu moins marquée en considérant les pluies maximales de l'automne. Les données SHYREG accentuent encore ce gradient.

En revanche, à l'échelle du secteur d'étude la variabilité spatiale des cumuls est beaucoup moins forte, les cumuls pluviométriques de période de retour décennale et centennale étant quasi équivalents à Remoulins et à Uzes. Si on considère les postes situés à proximité du secteur d'étude (Aramon, Nîmes, Cavillargues, Lussan) les cumuls pluviométriques décennaux et centennaux sont aussi relativement proches.

Nous retiendrons donc des cumuls pluviométriques homogènes sur l'ensemble du secteur d'étude pour la définition des événements pluviométriques synthétiques pris en compte pour la caractérisation de l'aléa inondation.

Figure 4.13 : Variabilité spatiale des cumuls de pluie sur 24 heures sur une année entière (ajustements de Gumbel)

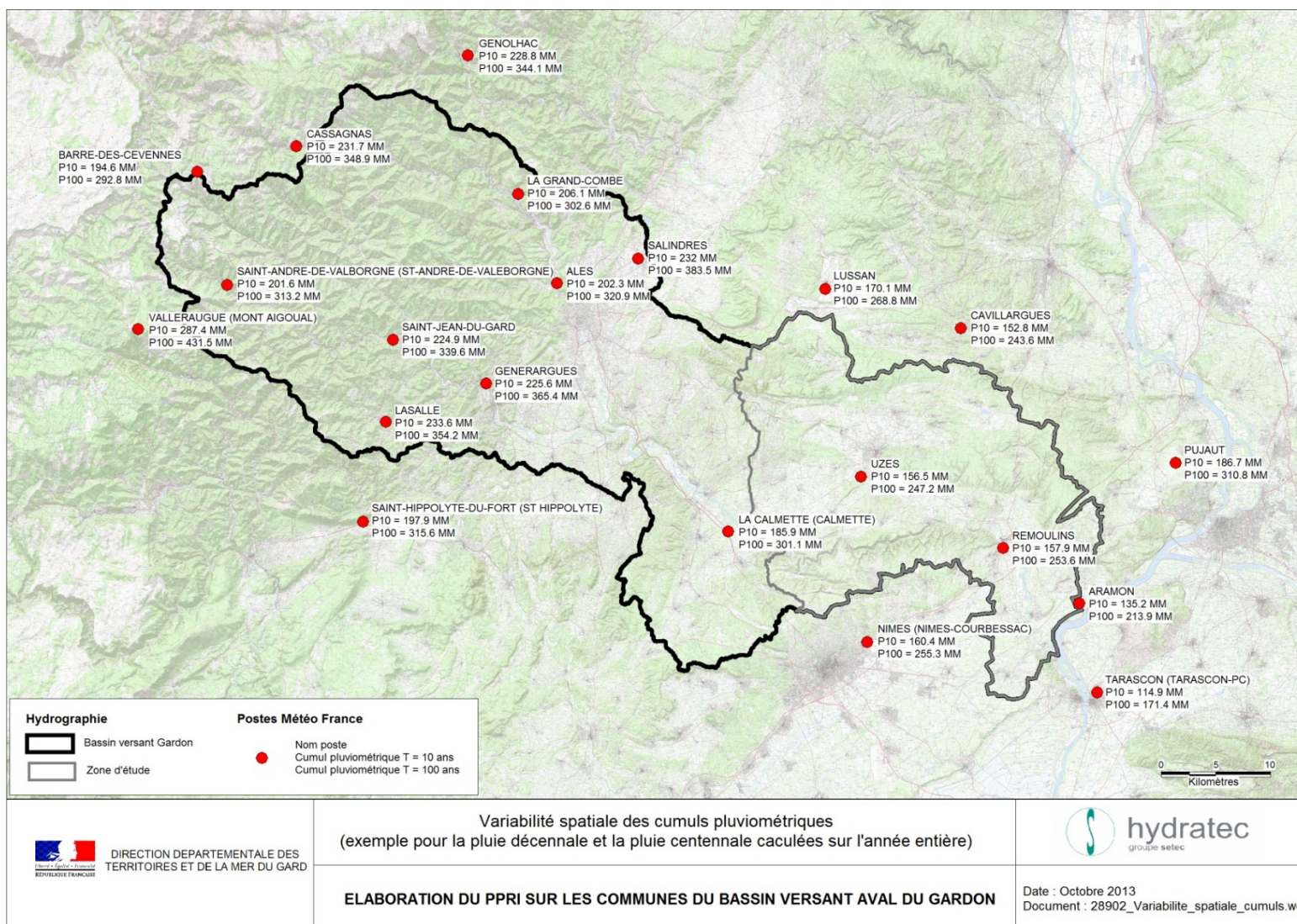
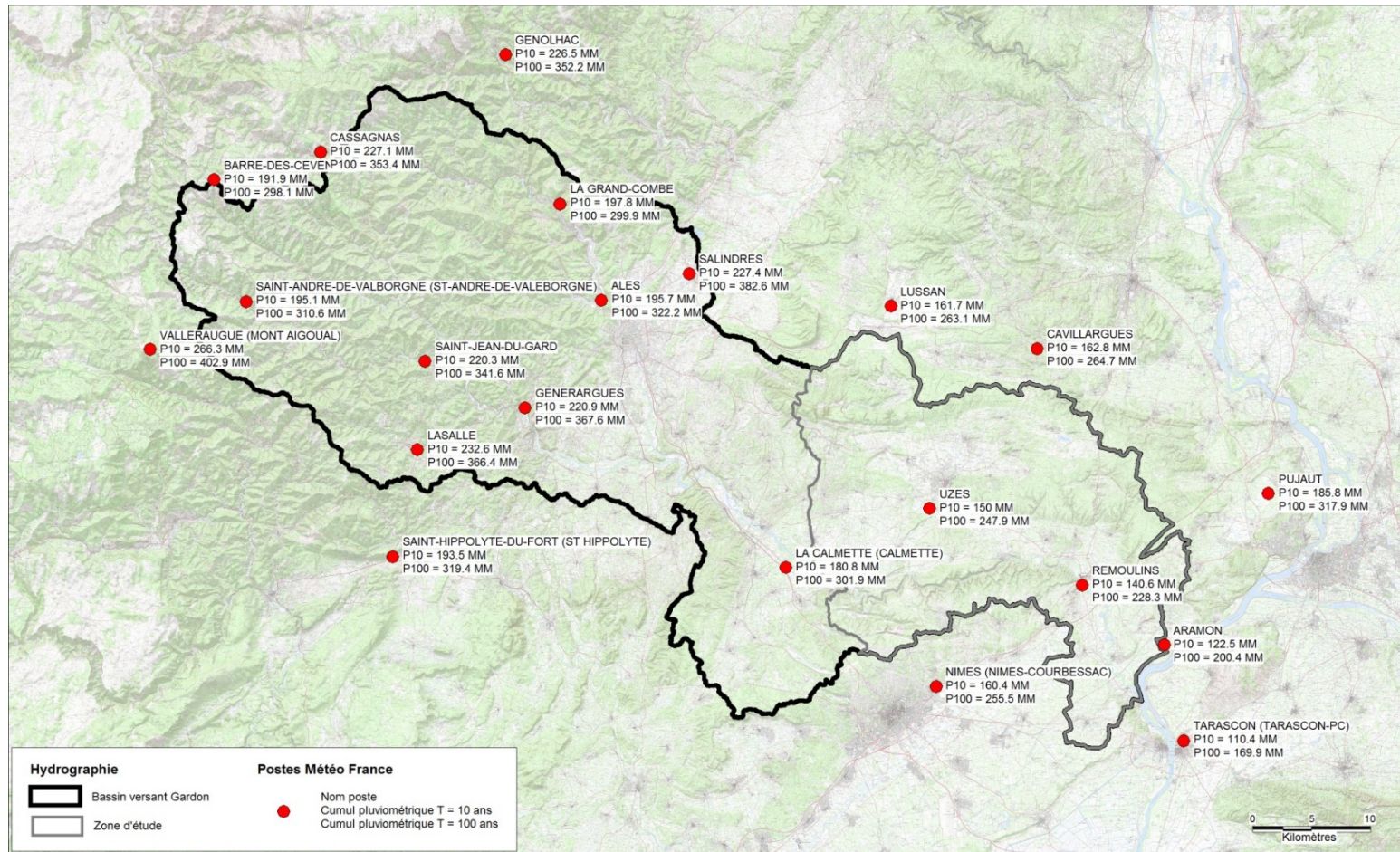




Figure 4.14 : Variabilité spatiale des cumuls de pluie sur 24 heures sur la période automnale (ajustements de Gumbel)



 <p>DIRECTION DEPARTEMENTALE DES TERRITOIRES ET DE LA MER DU GARD</p>	<p>Variabilité spatiale des cumuls pluviométriques (exemple pour la pluie décennale et la pluie centennale calculées sur la saison automne)</p>	
<p><b>ELABORATION DU PPRI SUR LES COMMUNES DU BASSIN VERSANT AVAL DU GARDON</b></p>		<p>Date : Octobre 2013 Document : 28902_Variabilite_spatiale_cumuls.wor</p>

#### d) Conclusion

Sur l'ensemble des postes Météo France ayant fait l'objet d'analyses statistiques la loi de Gumbel s'ajuste bien aux échantillons. Jusqu'aux quantiles de pluviométrie de période de retour centennale, celle-ci est très proche des valeurs estimées par la loi GEV. **Ces deux considérations amènent donc à valider l'utilisation de la loi de Gumbel pour l'estimation des quantiles de pluviométrie sur 24 heures et des gradex associés.** Les valeurs estimées par la loi de Gumbel apparaissent cependant inférieures aux données SHYREG sur la partie amont du bassin et supérieures en aval du bassin, qui peut s'expliquer par une influence plus marquée des éléments structurants du relief sur la pluviométrie dans les modèles SHYREG.

La comparaison des cumuls pluviométriques calculés sur l'ensemble des postes met en évidence une variabilité spatiale des précipitations assez marquée entre l'amont du bassin et la partie basse qui traduit le caractère orographique des précipitations qui touchent le bassin versant du Gardon. **Les cumuls pluviométriques sont cependant beaucoup plus homogènes sur le secteur d'étude.**

Il est donc proposé pour la définition des pluies de projet alimentant le modèle pluie – débit de retenir une pluviométrie homogène pour l'ensemble du bassin versant objet de la présente étude. **Les quantiles de pluie sont définis au poste de Nîmes Coubressac pour l'analyse de la pluviométrie au pas de temps infra journalier** nécessaire à la caractérisation des événements pluviométriques de projet, pour lequel les chroniques historiques sont les plus longues.

#### 4.4.2 Analyse de la pluviométrie aux pas de temps infra journaliers

Compte tenu des conclusions du paragraphe précédent, les quantiles pluviométriques aux pas de temps infra-journaliers sont définis à la station de Nîmes Coubressac.

Les quantiles sont définis à partir des coefficients de Montana calculés par Météo France.

Ils seront utilisés pour la définition des pluies de projet de période de 5 ans, 10 ans, 50 ans et 100 ans.

## 4.5 ANALYSE STATISTIQUE DES DEBITS DE CRUE

L'analyse fréquentielle des débits maxima annuels et saisonniers mesurés au droit des stations hydrométriques permet de définir les débits caractéristiques des cours d'eau concernés pour différentes fréquences d'occurrence, et d'affecter aux crues historiques principales ayant fait l'objet d'une estimation du débit de pointe une fréquence d'occurrence.

### 4.5.1 Saisonnalité des crues

L'analyse des débits maxima annuels mesurés au droit des stations hydrométriques de Remoulins, Russan et Ners montre une forte prédominance des événements survenant entre les mois de septembre et de décembre (plus de 80%).

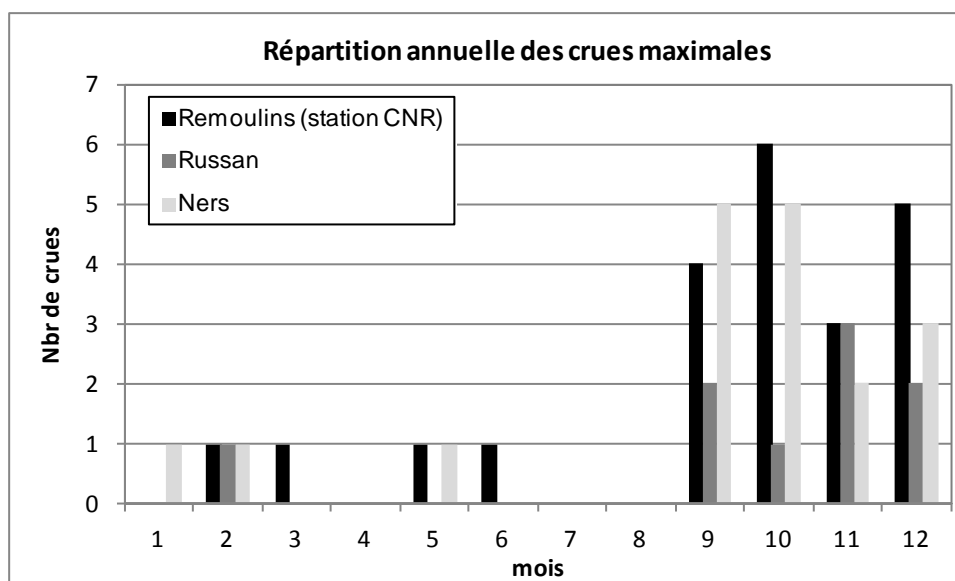


Figure 4.15 : Répartition mensuelle des crues maximales annuelles enregistrées depuis la mise en service des stations

### 4.5.2 Définition des débits de période de retour fréquente

#### a) Analyses fréquentielles

Les échantillons des débits instantanés maxima des stations étudiées ont fait l'objet d'un ajustement à différentes lois statistiques (détaillées ci-après) afin de déterminer les débits caractéristiques des crues de chacun des cours d'eau. Ces échantillons ont été réalisés en considérant l'année entière et la saison automnale.

#### Ajustement de Gumbel

Le modèle fréquentiel généralement employé en France et retenu dans le cadre de cette étude pour l'analyse des séries annuelles et de la période automnale 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 leur attribuer un rang  $r$ . La fréquence empirique de Weibull retenue ici permet de définir une fréquence de non-dépassement, 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 selon laquelle :

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

où  $\sigma$  et  $\mu$  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 :

$$Q = a * u + b$$

Cette méthode a donc été appliquée au niveau de chaque station hydrométrique considérée sur les échantillons des VCXd, c'est-à-dire les volumes maximaux annuels écoulés sur la durée caractéristique de crue  $D$ , ainsi que sur les  $Q_{ix}$ , c'est-à-dire sur les débits instantanés maximaux annuels.

L'ajustement statistique sur les  $Q_{ix}$  permet dans un premier temps de calculer des débits caractéristiques de crues fréquentes à moyenne (d'occurrence inférieure à la décennale ou la vicennale). Au-delà d'une certaine fréquence, les débits en présence ne suivent plus une loi de Gumbel ; cette fréquence est appelée point pivot.

### **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  $\sigma$  et  $\mu$  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  $\sigma$  est l'écart type,  $\mu$  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  $f(u') = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left(-\frac{1}{2} u'^2\right)$

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

## **b) Sensibilité des ajustements statistiques aux valeurs de la crue de 2002**

Les échantillons historiques des maxima annuels aux stations de Remoulins, Russan et Ners disposent pour l'année hydrologique de 2002 des débits estimés dans l'étude Sogreah de 2003. Le graphique ci-après illustre les écarts obtenus sur les ajustements par les lois de Gumbel et GEV suivant que l'échantillon tienne compte de la crue de 2002 ou non. Nous prenons ici l'exemple de la station CNR de Remoulins.

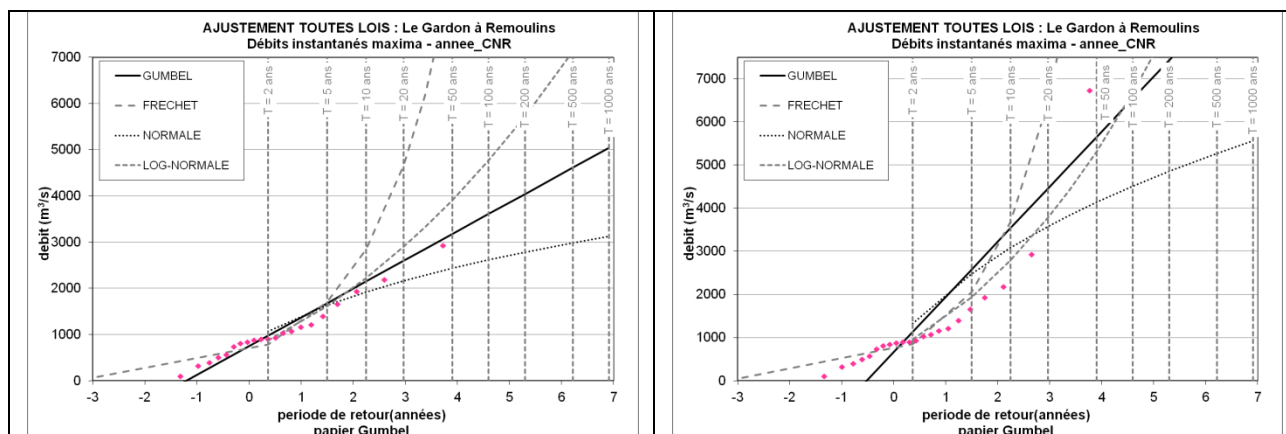


Figure 4.16 : ajustements statistiques sur les séries avec et sans la valeur de la crue de 2002, station de Remoulins - CNR

PERIODE DE RETOUR (ans)	Remoulins - année (CNR)											
	GUMBEL (série complète)	GUMBEL (écart/série tronquée)		FRECHET (série complète)	FRECHET (écart/série tronquée)		NORMAL (série complète)	NORMAL (écart/série tronquée)		LOG-NORMAL (série)	LOG-NORMAL (écart/série tronquée)	
2	1129	975	-14%	847	784	-7%	1328	1071	-19%	956	871	-9%
5	2578	1679	-35%	2050	1702	-17%	2480	1629	-34%	1931	1611	-17%
10	3538	2146	-39%	3683	2845	-23%	3082	1921	-38%	2789	2221	-20%

Tableau 4.5 : valeurs définies par les ajustements statistiques sur les séries avec et sans la valeur de la crue de 2002, station Remoulins – CNR

Les différentes lois statistiques sont très sensibles à la valeur extrême de la crue de 2002, et ce d'autant plus que le nombre de données constituant l'échantillon est assez réduit ; la fréquence empirique de cette valeur est probablement erronée.

Nous avons donc choisi d'exclure cette valeur des ajustements statistiques pour l'estimation des débits de période de retour fréquente (<10 ans).

### c) Synthèse des résultats

Les résultats obtenus sont présentés sur les graphiques en annexe 3 et synthétisés dans les tableaux ci-après.

#### ▪ Remoulins – station SPC

PERIODE DE RETOUR (ans)	Remoulins - année (SPC)				Remoulins - automne (SPC)			
	GUMBEL	FRECHET	NORMALE	LOG-NORMALE	GUMBEL	FRECHET	NORMALE	LOG-NORMALE
2	813	701	889	762	794	661	873	726
5	1365	1286	1327	1234	1374	1308	1333	1246
10	1730	1922	1557	1588	1758	2053	1573	1652

Tableau 4.6 : synthèse des ajustements statistiques à la station de Remoulins gérée par le SPC Grand Delta

L'échantillon de données disponibles à cette station est initialement composé de 15 valeurs, ce qui est un peu faible pour définir par ajustement un débit de pointe de période de retour décennale. Cet échantillon a pu être agrandi de 8 valeurs supplémentaires sur la base des hauteurs d'eau mesurées à la station de Remoulins (1<sup>er</sup> site de mesure cf. § 4.2.3) entre 1986 et 1996 (années hydrologiques incomplètes : 1989, 1991) et de la reconstitution d'une courbe de tarage par le modèle hydraulique mis en œuvre dans le cadre de cette étude.

#### ▪ Remoulins – station CNR

PERIODE DE RETOUR (ans)	Remoulins - année (CNR)				PERIODE DE RETOUR (ans)	Remoulins - automne (CNR)			
	GUMBEL	FRECHET	NORMALE	LOG- NORMALE		GUMBEL	FRECHET	NORMALE	LOG- NORMALE
2	975	784	1071	871	2	902	554	1006	661
5	1679	1702	1629	1611	5	1671	2038	1617	1857
10	2146	2845	1921	2221	10	2181	4828	1936	3186

Tableau 4.7 : synthèse des ajustements statistiques à la station de Remoulins gérée par la CNR

La série historique pour cette station est composée de 22 valeurs, ce qui est suffisant pour définir des débits de pointe de période de retour inférieure à 10 ans.

#### ▪ Russan

PERIODE DE RETOUR (ans)	Russan - année				PERIODE DE RETOUR (ans)	Russan - automne			
	GUMBEL	FRECHET	NORMALE	LOG- NORMALE		GUMBEL	FRECHET	NORMALE	LOG- NORMALE
2	814	706	880	769	2	844	695	912	770
5	1301	1328	1257	1253	5	1349	1475	1303	1377
10	1624	2016	1454	1618	10	1683	2426	1507	1866

Tableau 4.8 : synthèse des ajustements statistiques à la station du Russan gérée par le SPC Grand Delta

#### ▪ Ners

PERIODE DE RETOUR (ans)	Ners - année				PERIODE DE RETOUR (ans)	Ners - automne			
	GUMBEL	FRECHET	NORMALE	LOG- NORMALE		GUMBEL	FRECHET	NORMALE	LOG- NORMALE
2	906	793	979	859	2	890	756	964	826
5	1442	1431	1393	1356	5	1437	1451	1390	1373
10	1796	2115	1609	1722	10	1799	2234	1613	1790

Tableau 4.9 : synthèse des ajustements statistiques à la station de Ners gérée par le SPC Grand Delta

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 inférieur à 10 ans. Les lois exponentielles restent relativement proches de la loi de Gumbel pour ces fréquences, et le nombre d'événements remarquables est insuffisant pour valider l'ajustement de ces lois pour les fréquences rares. L'extrapolation des valeurs rares est définie par la méthode du Gradex explicitée dans le chapitre suivant.

Le tableau ci-après synthétise les résultats obtenus en retenant l'ajustement de Gumbel, ainsi que les intervalles de confiance à 70% et 90% associés.

PERIODE DE RETOUR (ans)	Remoulins - année (SPC)					
	Qix	qix	IC à 70%		IC à 90%	
2	813	0.44	712	935	657	1023
5	1365	0.74	1214	1589	1152	1768
10	1730	0.93	1531	2038	1455	2286

PERIODE DE RETOUR (ans)	Remoulins - automne (SPC)					
	Qix	qix	IC à 70%		IC à 90%	
2	794	0.43	686	926	627	1021
5	1374	0.74	1213	1616	1148	1810
10	1758	0.95	1545	2090	1465	2360

PERIODE DE RETOUR (ans)	Remoulins - année (CNR)					
	Qix	qix	IC à 70%		IC à 90%	
2	975	0.53	843	1134	772	1251
5	1679	0.91	1483	1973	1404	2210
10	2146	1.16	1887	2549	1790	2878

PERIODE DE RETOUR (ans)	Remoulins - automne (CNR)					
	Qix	qix	IC à 70%		IC à 90%	
2	902	0.49	758	1076	680	1203
5	1671	0.90	1457	1993	1371	2251
10	2181	1.18	1898	2622	1792	2981

PERIODE DE RETOUR (ans)	Russan - année					
	Qix	qix	IC à 70%		IC à 90%	
2	814	0.54	666	1017	581	1200
5	1301	0.86	1102	1692	1048	2088
10	1624	1.07	1366	2164	1315	2719

PERIODE DE RETOUR (ans)	Russan - automne					
	Qix	qix	IC à 70%		IC à 90%	
2	844	0.55	700	1037	619	1204
5	1349	0.89	1152	1719	1095	2079
10	1683	1.11	1427	2194	1369	2699

PERIODE DE RETOUR (ans)	Ners - année					
	Qix	qix	IC à 70%		IC à 90%	
2	906	0.83	797	1041	738	1142
5	1442	1.33	1282	1692	1222	1901
10	1796	1.65	1587	2140	1514	2431

PERIODE DE RETOUR (ans)	Ners - automne					
	Qix	qix	IC à 70%		IC à 90%	
2	890	0.82	782	1024	723	1124
5	1437	1.32	1277	1685	1216	1890
10	1799	1.65	1589	2139	1514	2424

Qix : débit instantané (m3/s)  
qix : débit instantané spécifique (m3/s)

Qix : débit instantané (m3/s)  
qix : débit instantané spécifique (m3/s)

Tableau 4.10 : synthèse des débits de crue de période de retour fréquente obtenus par l'ajustement à la loi de Gumbel sur l'ensemble des stations de mesures hydrométriques disponibles

Les résultats obtenus par l'ajustement de Gumbel présentent des débits spécifiques relativement homogènes entre les stations, hormis pour la station de Ners pour laquelle les débits spécifiques sont plus élevés. Pour une période de retour décennale les résultats obtenus restent dans une fourchette classiquement rencontrée pour de grands bassins versants méditerranéens ( $1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2 < q_s < 2 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ )

#### 4.5.3 Extrapolation aux périodes de retour rares

##### a) 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 paragraphe 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.

A défaut d'informations précises sur la position de ce pivot (chroniques de débits mesurées suffisamment longues, capacité d'infiltration des sols, ...), elle est généralement fixée à une période de retour de 10 ans. C'est cette valeur qui est retenue.

La fonction de répartition des volumes de crue extrême (VCXd) a donc le même comportement asymptotique que celui de la fonction de répartition des précipitations maximales annuelles.

En supposant que le seuil de rétention est atteint à partir d'une pluie pivot déterminée précédemment, la formulation du Gradex s'écrit :

$$VCX_D(T) = VCX_D(T_{pivot}) + (u_T - u_{pivot}) \times Gr$$

avec :

- $VCX_D(T)$  : débit moyen calculé sur une durée caractéristique de crue D ou volume écoulé sur la durée D de période de retour T ( $m^3/s$ )
- Gr : gradex des débits moyens ( $m^3/s$ )
- $u_T$  : variable réduite de Gumbel pour la période de retour T
- $T_{pivot}$  : temps de retour du point pivot (ans), pris ici égal à 10 ans

Le Gradex des débits moyens ( $m^3/s$ ) est obtenu par la relation :

$$Gr = \frac{G_D \times S_{BV}}{D}$$

avec :

- $G_D$  (m) : gradex des pluies de durée D (s)
- $S_{BV}$  : surface du bassin versant drainé au droit de la station hydrométrique considérée ( $m^2$ )

La détermination des débits de pointe aux fréquences rares s'établit alors grâce à une loi de corrélation établie telle que  $Q_{ix} = f(VCXd)$ , où  $Q_{ix}$  et VCXd sont les valeurs extrêmes annuelles enregistrées aux stations hydrométriques considérées.

#### Méthode du gradex progressif (Michel – 1982) :

La méthode du gradex progressif, développée par le CEMAGREF s'inspire de la méthode du gradex. Elle traduit cependant une évolution peut-être plus proche de la réalité physique des phénomènes en supposant qu'il n'y a pas de refus total de l'infiltration dès la fréquence de débit décennal (période de retour pivot) mais plutôt une augmentation progressive du coefficient de ruissellement à partir de ce point.

La formulation permettant de traduire cette augmentation progressive est la suivante ; elle introduit le rapport des gradex de la pluie et du débit :

$$VCX_D(T) = VCX_D(T_{pivot}) + G_{PD} \times \ln \left( 1 + \frac{G_{VCXd}}{G_{PD}} \times \frac{T - T_{pivot}}{T_{pivot}} \right)$$

avec :

- $VCX_D(T)$  : débit moyen calculé sur une durée caractéristique de crue D ou volume écoulé sur la durée D de période de retour T ( $m^3/s$ )
- Gr : gradex des débits moyens ( $m^3/s$ )

- $G_{PD}$  : gradex des débits moyens ( $VCX_D$ ) pour les périodes de retour inférieures à  $T_{pivot}$  ( $m^3/s$ )
- $u_T$  : variable réduite de Gumbel pour la période de retour  $T$
- $T_{pivot}$  : temps de retour du point pivot (ans), pris ici égal à 10 ans

## b) Durées caractéristiques des crues

La durée caractéristique est estimée à partir des hydrogrammes des 10 crues historiques les plus fortes mesurées aux stations hydrométriques. On considère que cette durée est la durée pendant laquelle la moitié du débit de pointe est dépassé. Les valeurs calculées sont synthétisées dans le tableau ci-après. Le détail des hydrogrammes de toutes ces crues est présenté en annexe 5.

Remoulins			Russan			Ners		
date	Qix (m3/s)	Durée (h)	date	Qix	Durée (h)	date	Qix	Durée (h)
09/09/2002	6700	13.3	09/09/2002	6400	11.0	09/09/2002	6984.0	4.1
19/12/1997	2123	26.3	02/11/2008	1410	10.9	24/09/1994	1838.12	19.8
03/12/2003	1142	22.9	03/12/2003	1406	15.4	05/10/1995	1813.03	7.2
02/11/2008	1123	11.1	20/10/2006	1293	8.0	19/12/1997	1538.44	30.7
20/12/1996	1090	18.9	23/12/2010	860	27.6	22/10/2008	1389.73	6.3
20/10/2006	987	12.9	09/09/2005	839	16.1	20/10/2006	1365.02	6.7
25/12/2000	914	22.3	23/11/2007	464	32.2	03/12/2003	1332.11	15.1
09/09/2005	780	17.1	04/11/2004	457	11.6	29/09/2000	1086.43	5.9
24/12/2010	778	24.5	18/02/2010	313	22.9	13/11/1996	1029.41	16.9
19/05/1999	602	20.4				22/09/1993	875.21	4.1
04/11/2004	451							
23/11/2007	425							
14/11/1999	347							
18/02/2010	279							
	<b>Moyenne :</b>	<b>19.0</b>		<b>Moyenne :</b>	<b>17.3</b>		<b>Moyenne :</b>	<b>11.7</b>

Tableau 4.11 : Durées caractéristiques calculées pour les 10 plus fortes crues historiques mesurées aux stations hydrométriques disponibles

Les durées caractéristiques des crues varient entre 8h et 32h aux stations de Russan et Remoulins, avec un nombre plus important de crues dont la durée caractéristique est proche de 20h. Pour ces deux stations, nous retiendrons une durée caractéristique de 24h qui permettra de mettre en œuvre la méthode du gradex avec des pluies de durée 24h.

Pour la station de Ners, les durées caractéristiques varient entre 4h et 30h.

La moyenne des durées caractéristiques est de l'ordre de 12h. Nous retiendrons cette valeur pour la mise en œuvre de la méthode du gradex.

## c) Détermination des gradex de bassin

Un gradex de bassin est défini à partir des gradex calculés au niveau de toutes les stations Météo-France situées sur le bassin versant. Compte tenu de la répartition sur l'ensemble du bassin versant et du nombre de stations étudiées, le gradex de bassin a été calculé en affectant un poids égal à toutes les stations.

Le tableau ci-après synthétise les résultats obtenus de l'analyse statistique réalisées sur les pluies de durée 24h (cf. § 4.4). Le gradex de bassin retenu pour les deux périodes considérées est une moyenne des gradex calculés à chaque station.

	ALES	ARAMON	BARRE-DES-CEVENNES	CASSAGNAS	CAVILLARGUES	GENERARGUES	GENOLHAC	LA CALMETTE	LA GRAND-COMBE	LASALLE	LUSSAN	NIMES	PUJAUT	REMOULINS	SAINT-ANDRE-DE-VALBORNE	SAINT-HIPPOLYTE-DU-FORT	SAINT-JEAN-DU-GARD	SALINDRES	TARASCON	UZES	VALLERAUGUE	Gradex retenu (mm)
<b>Gradex annuel (mm)</b>	50.5	33.5	41.8	49.9	38.6	59.5	49.1	49.0	41.1	51.3	42.0	40.4	52.8	40.7	50.1	50.5	48.8	64.5	24.1	38.6	61.3	<b>46.6</b>
<b>Gradex automnal (sept-dec) (mm)</b>	53.9	33.2	45.2	53.7	43.4	62.4	53.5	51.6	43.5	57.0	43.1	40.4	56.2	37.3	53.6	53.9	51.6	66.0	25.3	41.6	58.1	<b>48.8</b>

Tableau 4.12 : Synthèse des gradex de durée 24h calculés aux postes pluviométriques Météo France et gradex de bassin de durée 24h

L'application de la méthode du gradex à la station de Ners nécessite la connaissance du gradex de pluies de durée 12h (durée caractéristiques de crue). Ce gradex a été défini par application d'un facteur correctif du gradex des pluies sur 24h issu de la comparaison entre le gradex 24h et le gradex 12h à la station de Nîmes.

Le gradex 12h à la station de Nîmes est calculé à partir des courbes IDF acquises auprès de Météo France pour des durées de pluies comprises entre 6h et 24h. Le Gradex est calculée entre les pluies de période de retour 10 ans et 100 ans.

T (ans)	6h < t < 24h		12h	24h
	a	b	h (mm)	h (mm)
<b>5</b>	21.729	0.761	104.70	123.56
<b>10</b>	35.509	0.798	134.13	154.29
<b>20</b>	61.992	0.848	168.52	187.24
<b>30</b>	87.379	0.88	192.44	209.13
<b>50</b>	138.035	0.926	224.61	236.43
<b>100</b>	263.227	0.992	277.45	279.00
		<b>GRADEX</b>	61.0	53.1

Tableau 4.13 : coefficient de Montana à la station de Nîmes (hauteur de pluie  $h(mm) = a \cdot t(1-b)$  avec  $t$  en mn)

Le gradex de bassin sur 12h est ainsi obtenu en appliquant un facteur de correction de 1.15 au gradex moyen 24h retenu pour les deux périodes considérées. Les valeurs ainsi calculées sont synthétisées ci-après :

	Gradex 24 h retenu (mm)	Gradex 12h retenu (mm)
<b>Gradex annuel (mm)</b>	<b>46.6</b>	<b>53.5</b>
<b>Gradex automnale (sept-dec) (mm)</b>	<b>48.8</b>	<b>56.1</b>

Tableau 4.14 : Gradex de pluie de durée 12 h (durée caractéristique de crue)

## d) Synthèse des résultats

Les tableaux ci-après présentent les résultats obtenus pour l'estimation du débit centennal par les méthodes du Gradex et du Gradex progressif en considérant le Gradex annuel et automnale. Le détail des résultats est présenté en annexe 4 (graphiques des ajustements).

station	superficie (km <sup>2</sup> )	Q10 Gumbel - année						Q100 Gumbel - année						Q100 gradex - année		Q100 gradex progressif - année	
		m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup>	IC à 70%		IC à 90%		m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup>	IC à 70%		IC à 90%		m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup>
Remoulins - SPC	1855	1730	0.93	1531	2038	1455	2286	2874	1.55	2506	3459	2374	3938	4578	2.47	3456	1.86
Remoulins - CNR	1855	2146	1.16	1887	2549	1790	2878	3607	1.94	3129	4375	2961	5008	5516	2.97	-	-
Russan	1521	1624	0.88	1366	2164	1315	2719	2634	1.42	2520	3561	2397	4123	4786	2.58	3782	2.04
Ners	1088	1796	1.65	1587	2140	1514	2431	2907	2.67	2165	3667	2101	4744	5498	5.05	3707	3.41

station	superficie (km <sup>2</sup> )	Q10 Gumbel - automne						Q100 Gumbel - automne						Q100 gradex - automne		Q100 gradex progressif - automne	
		m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup>	IC à 70%		IC à 90%		m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup>	IC à 70%		IC à 90%		m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup>
Remoulins - SPC	1855	1758	0.95	1545	2090	1465	2360	2960	1.60	2567	3592	2428	4113	4721	2.55	3525	1.90
Remoulins - CNR	1855	2181	1.18	1898	2622	1792	2981	3777	2.04	3255	4616	3071	5307	5805	3.13	-	-
Russan	1521	1668	0.90	1427	2194	1369	2699	2634	1.42	2265	3707	2183	4686	4764	2.57	3782	2.04
Ners	1088	1799	1.65	1589	2139	1514	2424	2933	2.70	2545	3581	2417	4130	5660	5.20	3784	3.48

Tableau 4.15 : Synthèse des débits de crue de période de retour rare obtenus par les méthodes d'extrapolation aux fréquences rare

## e) Périodes de retour estimées pour la crue de 2002

Les valeurs de la crue de septembre 2002 ont dans un premier temps été exclues des ajustements statistiques permettant d'estimer les débits caractéristiques de périodes de retour fréquentes à moyennes. Les méthodes d'extrapolation aux fréquences rares mises en œuvre permettent de donner une estimation de sa période de retour. Le tableau ci-après synthétise les valeurs obtenues suivant la méthode considérée (gradex brut ou gradex progressif, en considérant les échantillons de maxima annuels recensés sur l'année ou sur la période automnale).

station	superficie (km <sup>2</sup> )	Débit max (m <sup>3</sup> /s)	Période de retour (ans)			
			gradex - année	gradex progressif - année	gradex - automne	gradex progressif - automne
Remoulins - SPC	1855	6700	540	1550	530	1300
Remoulins - CNR	1855	6727	230	-	180	-
Russan	1521	6400	330	1110	340	770
Ners	1100	6984	251	946	220	806

Tableau 4.16 : Période de retour estimée de la crue de septembre 2002

La méthode du gradex progressif place la période de retour de l'évènement de 2002 proche de la millénaire voire supérieure pour certaines stations.

La méthode du Gradex donne des périodes de retour de l'ordre de 200 à 300 ans.

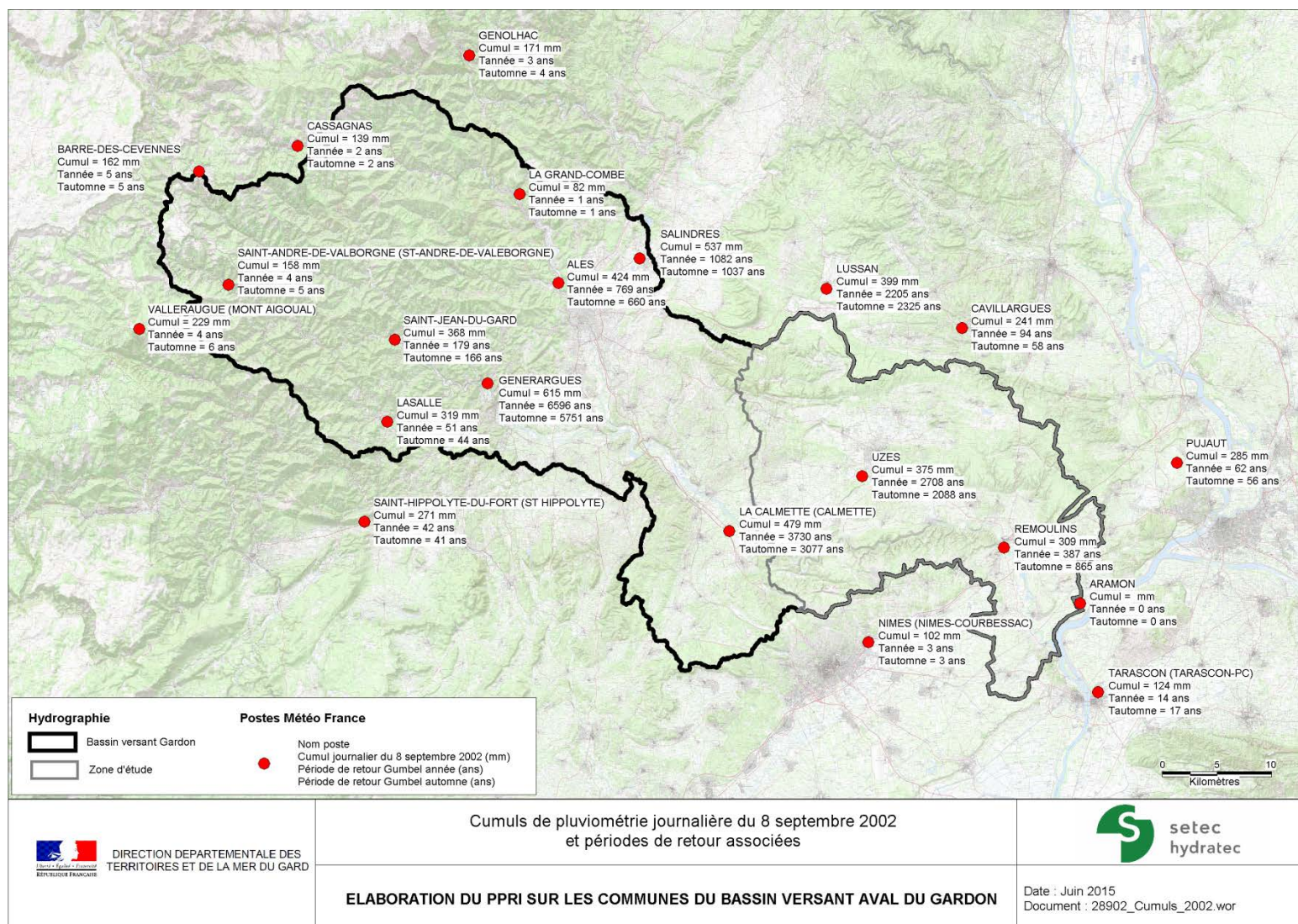
#### 4.5.4 Conclusion

Compte tenu de la forte prédominance des évènements survenant entre les mois de septembre et de décembre (plus de 80%), nous retiendrons les ajustements statistiques réalisés sur les échantillons de débits maxima annuels extraits sur la période automnale.

Les périodes de retour des débits de la crue de 2002 estimées par les différentes méthodes exposées précédemment peuvent être comparées aux périodes de retour des cumuls pluviométriques journaliers du 8 septembre 2002 estimées à partir des ajustements de Gumbel réalisés au chapitre 4.4.1 (cf. cartographie de synthèse en page suivante) :

- Des périodes de retour nettement inférieures à 100 ans sur les 2/3 amont du bassin versant (au nord d'une ligne Alès – Généragues),
- Des périodes de retour supérieures à 1000 ans sur la partie centrale du bassin versant (Alès, Uzès, La Calmette),
- Des périodes de retour qui diminuent ensuite en allant vers l'aval du bassin versant.

Figure 4.17 : Estimation de la période de retour des cumuls pluviométriques journaliers du 8 septembre 2002 (ajustements de Gumbel)



Au droit de la station hydrométrique de Ners, nous notons :

- Pour les **débits**, une période de retour :
  - Estimée à 220 ans avec la méthode du Gradex,
  - estimée à 800 ans avec la méthode du Gradex progressif.
- Pour la **pluviométrie** en amont de la station, une période de retour :
  - nettement inférieure à 100 ans sur 2/3 du bassin versant,
  - supérieure à 1000 ans sur le tiers restant du bassin versant (l'ajustement de Gumbel tendant à sur-estimer la période de retour de ces événements exceptionnels).

Une période de retour de l'ordre de 200 ans semble ainsi cohérente avec l'analyse statistique de la pluviométrie journalière.

Nous retenons donc les estimations de débits obtenus par la **méthode du Gradex**, la méthode du Gradex progressif tendant à sur-estimer la période de retour de la crue de septembre 2002.

Pour ce qui est de la station de **Remoulins**, nous retenons les ajustements obtenus pour la **station SPC**, compte tenu des incertitudes sur la courbe de tarage. L'estimation de la période de retour de la crue de septembre 2002 est par ailleurs cohérente avec celles estimées pour les stations de Ners et Russans et pour les postes pluviométriques situés en aval de ces deux stations : des pluies exceptionnelles de périodes de retour globalement supérieures à 1000 ans, entraînant une hausse progressive de la période de retour de la crue de Ners (220 ans) à Remoulins (530 ans).

#### 4.5.5 Comparaison avec les données issues de la bibliographie

Le tableau ci-dessous rassemble les différentes estimations de débits issues de la bibliographie. Elles concernent l'étude ISL de 2005 qui, sur la base d'un modèle hydrologique (ECRET<sup>ISL</sup>), définit les débits caractéristiques en différents points du bassin versant du Gardon, et l'Etude Globale Rhône réalisée par SAFEGE en 2002 qui donne une estimation des débits à la station de Remoulins basée sur une analyse statistique des chroniques de débits enregistrés à la station CNR.

Les débits spécifiques estimés par ISL pour la crue décennale sont légèrement supérieurs à ceux estimés dans le cadre de la présente étude ; un gradient décroissant relativement proche est obtenu dans les deux cas de l'amont vers l'aval.

Les débits estimés de la crue centennale sont très hétérogènes suivant les études. Le modèle ISL présente les estimations les plus fortes et l'étude Globale Rhône les plus faibles, ceci pouvant s'expliquer par le fait que la crue de 2002 n'apparaît pas dans les chroniques historiques étudiées par SAFEGE. Les estimations faites dans le cadre de cette étude présentent des débits spécifiques centennaux de l'ordre de 3.1 m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup> pour les stations situées en aval et de 5.1 m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup> pour la station de Ners.

Station	Surface BV (km <sup>2</sup> )	Q10 PPRI		Q10 ECRET ISL		Q10 EGR (2000)			Q100 PPRI		Q100 ECRET ISL		Q100 EGR (2000)		
		m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup>
Ners	1088	1796/1799	1.65 / 1.65	2155	1.98	-	-	-	5498/5660	5.05 / 5.20	5550	5.10	-	-	-
Russan	1521	1624/1668	1.07 / 1.10	2280	1.50	-	-	-	4764/4786	3.13 / 3.15	6273	4.12	-	-	-
Remoulins (SPC)	1855	1730/1758	1.16 / 1.18	2340	1.26	1800/2200	0.97 / 1.19	4578/4721	2.97 / 3.13	6350	3.42	3475/4380	1.87 / 2.36		

Tableau 4.17 : Comparaison des débits de crue avec les études antérieures

## 4.6 CONSTRUCTION DU MODELE PLUIE-DEBIT

### 4.6.1 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.

**303** sous bassins versants sont définis, présentés sur la carte ci-après.

Deux échelles de bassins versants sont définies :

- Les bassins versants amont des cours d'eau modélisés, en dehors des communes concernées par la présente étude, notamment :
  - Sous bassins versants des affluents du Gardon entre Ners et Sainte Anastasie,
  - Alzon,
  - Seynes.
- Les bassins versants très détaillés définissant les apports intermédiaires des cours d'eau modélisés.

Les paramètres physiques régissant les phénomènes de production de débit ont été analysés et cartographiés afin d'orienter le découpage en sous bassins versants 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 1/50000ème) et hydrogéologie (carte BRGM au 1/1000000ème), cf. 2.3).
- Densité du chevelu hydrographique,
- Occupation du sol : base de données Corine Land Cover (cf. 2.4),

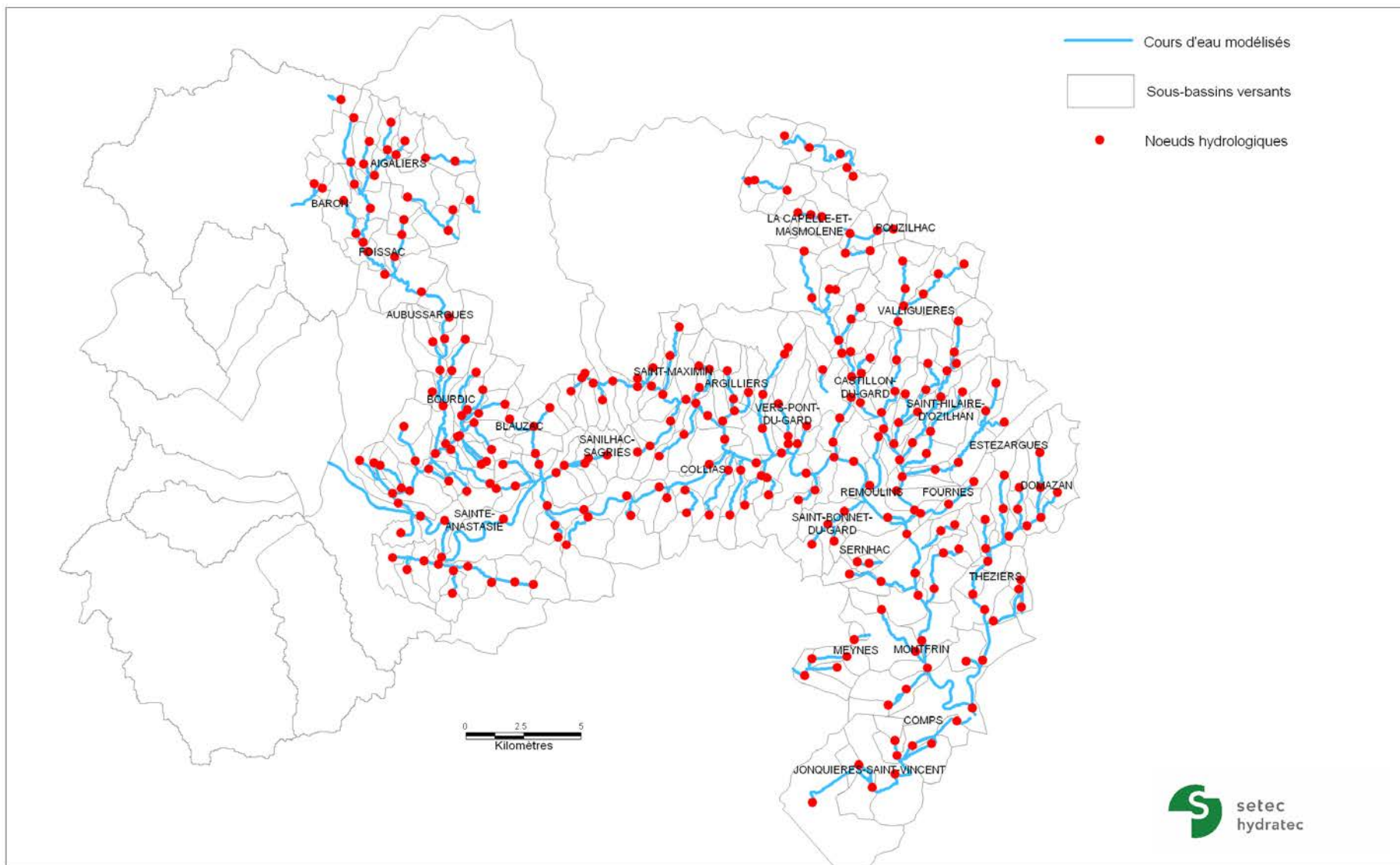


Figure 4.18 : découpage en sous bassins versant du modèle pluie - débit

## 4.6.2 Spatialisation et pondération des pluies

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

### a) Pluies radar

Les lames d'eau interceptées par chaque sous bassin versant sont directement calculées à partir de la grille radar (pixels de 1 km<sup>2</sup>).

### b) Pluies issues des pluviographes et pluies de projet

L'affectation de lames d'eau à chaque sous bassin versant à partir des données enregistrées aux postes pluviométriques est effectuée à l'aide du logiciel **Plumake**, développé par hydratec.

Chaque sous bassin versant est découpé en zones élémentaires auxquelles sont affectées un coefficient de pondération, proportionnel au cumul moyen annuel de pluviométrie (données AUREHLY, Meteo France). Pour chaque zone élémentaire, on calcule une lame d'eau par moyenne sur les pluviométriques valides situés à l'intérieur de cette zone ; si en un instant donné tous les pluviométriques présentent une lacune, alors, pour cet instant, on recherche le pluviométrique le plus proche du centre de gravité de la zone avec une valeur valide.

Si une zone élémentaire ne contient pas de pluviométrique valide, le pluviométrique le plus proche de son centre de gravité est recherché. La contribution de cette zone élémentaire est alors corrigée par le rapport entre le coefficient de pondération  $K_i$  qui lui est affecté et le coefficient de pondération  $K_j$  de celle où se trouve la station pluviométrique valide utilisée.

La pluie obtenue sur chaque zone élémentaire est pondérée par la surface de celle-ci. La pluie pour chaque bassin versant élémentaire est ainsi calculée par :

$$H_{BV} = \frac{\sum_i \alpha_i \cdot S_i \cdot H_i}{\sum_i \alpha_i \cdot S_i}$$

avec :

- $H(i)$  : hauteur donnée pour le pluviométrique  $i$ ,
- $S(i)$  : aire de la zone à laquelle est affectée le pluviométrique,
- $\text{Alpha}(i)$  : coefficient de pondération.

## 4.6.3 Modélisation pluie brute – débit

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

### a) Bilan hydrique dans le réservoir de sol

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, très simple dans sa conception, est défini par 5 paramètres :

- RFU : Hauteur de la Réserve Facilement Utilisable exprimée en mm.
- J : La hauteur d'interception potentielle du sol en mm.
- K : Le temps de réponse du bassin au ruissellement, en jours.
- Tr : Le temps de réponse du bassin au ressuyage, en jours.
- fo : Perte par infiltration vers les couches profondes en mm/j.

Nota : Ce modèle conceptuel a été plutôt construit au départ 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 ruisselée – 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/J0.

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

Pour traduire ce phénomène on pose :

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

Le coefficient alpha est supposé obéir à une loi de la forme :  $\alpha = (J/J0)^{\beta}$ , ou beta est un paramètre d'ajustement à caler. La forme de cette loi est justifiée par le fait 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.

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.

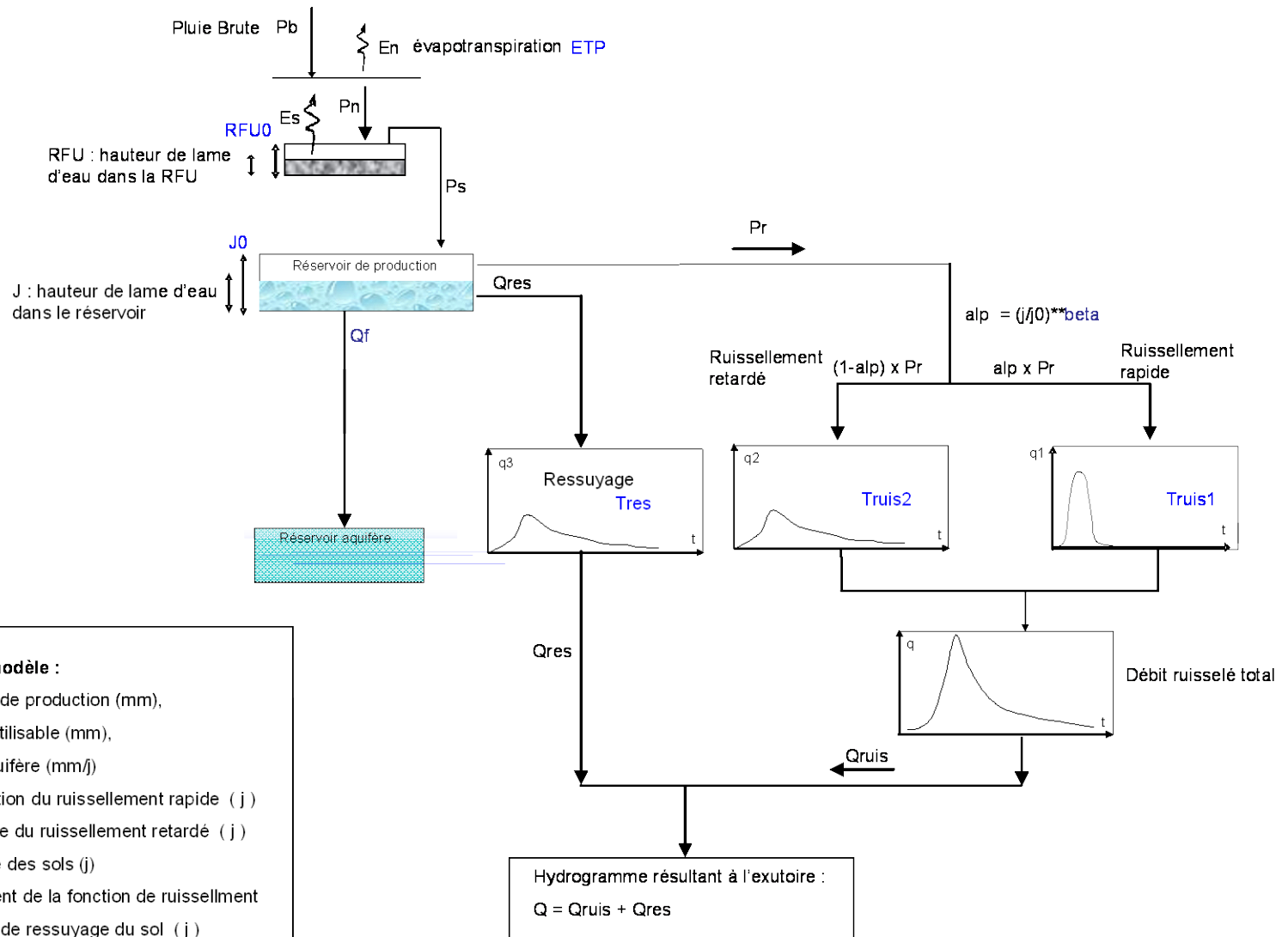
L'hydrogramme unitaire ici retenu est celui proposé dans la méthode SOCOSE.

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

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

Pour les événements impliquant des durées de pluies longues (donc hors orages), la modélisation hydrologique commence au 1<sup>er</sup> septembre précédent la crue pour tenir compte de l'état de saturation des sols au moment de la crue. En début de modélisation, les hauteurs d'eau dans les couches de sol représentées par le modèle sont initialisées à 0.

Figure 4.19 : schéma conceptuel du modèle pluie-débit retenu



**Paramètres de calage du modèle :**

- $J0$  : capacité du réservoir de production (mm),
- $RFU$  : Réserve facilement utilisable (mm),
- $Q_f$  : 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)

## 4.7 CALAGE DES MODELES PLUIES – DEBIT

### 4.7.1 Méthodologie

Les modèles pluie – débit sont calés sur les sous bassins versants de tête jaugés, par comparaison entre les hydrogrammes mesurés et calculés pour plusieurs crues de différentes intensités.

Pour les stations de mesure plus aval, le calage est réalisé après finalisation des modèles hydrauliques, qui assurent le routage des apports hydrologiques calculés au droit de chaque sous bassin versant par le modèle pluie-débit.

Le calage du modèle hydrologique sera 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.

### 4.7.2 Définition des paramètres de calage

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 saturées :

- L'occupation du sol (cultures, prairies, bois, secteurs urbains),
- 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) :

Les valeurs de CN associées à chacune de ces conditions d'occupation du sol et de capacité d'infiltration sont données dans le tableau ci-après.

	Catégories de sol
--	-------------------

Occupation du sol	A	B	C	D
Cultures	67	78	85	89
Prairies	39	61	74	80
Bois	25	55	70	77
Zones urbaines	74	84	90	92

Tableau 4.18 : Valeurs de CN en fonction de la nature et de l'occupation du sol

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

$$J = 25.4 * (1000/CN - 10) \text{ avec } J \text{ en mm}$$

Ce paramétrage est ajusté sur des événements historiques au droit des stations hydrométriques.

#### 4.7.3 Extrapolation des paramètres de calage aux affluents non jaugés

Les paramètres des modèles pluie – débit calés sont extrapolés aux bassins versants non jaugés.

#### 4.7.4 Événements retenus et données disponibles

##### a) Événements retenus

Le modèle est calé sur l'événement de septembre 2002, et validé sur ceux d'Octobre 2008 et de Novembre 2011.

##### b) Données pluviométriques disponibles

Le SPC dispose des données CALAMAR du radar de Bollène, cependant pour l'événement de 2002 le secteur étudié est couvert par deux zones possédant chacune un calibrage homogène, ce qui conduit à des écarts très importants sur les zones de recouvrement de ces dalles (cf. §4.3.2). Pour les événements de 2008 et 2011 la zone n°4 couvre l'ensemble du bassin versant modélisé.

Meteo France met à disposition des lames d'eau au pas de temps 5 minutes, obtenus par recalage au sol des données de réflectivité brute (données Panthère), et des lames d'eau recalibrées au pas de temps horaire exploitant les dernières évolutions des logiciels de traitement de la réflectivité brute (données comephore). Ces données présentent par ailleurs l'avantage de recouvrir intégralement l'ensemble du bassin versant modélisé.

Les données comephore sont discrétisées au pas de temps 15 minutes par homothétie avec les cumuls fournis par les données Panthère. Cette transformation permet de prendre en compte la structure des pluies à une échelle temporelle cohérente avec les temps de concentration des bassins versants modélisés tout en conservant l'estimation la plus juste disponible des cumuls horaires.

### c) Comparaison des données CALAMAR et des données COMEPHORE pour l'évènement de 2002

Une comparaison des données Météo France face aux données CALAMAR ainsi qu'aux enregistrements au sol a été réalisée pour l'évènement de septembre 2002.

Les deux cartes ci-dessous illustrent la différence entre le cumul total de l'évènement issu de CALAMAR et celui issu de COMEPHORE.

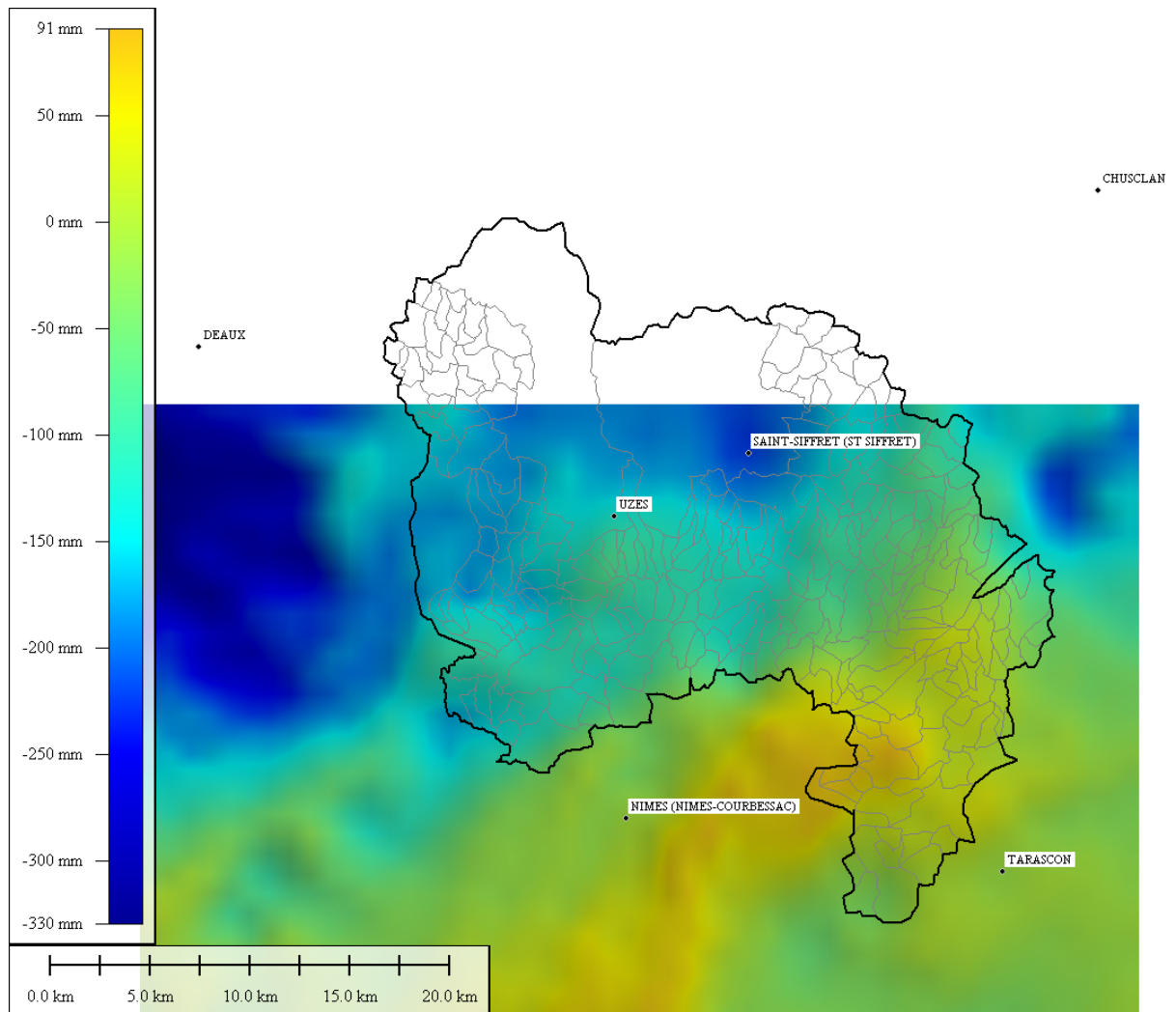


Figure 4.20 : différence entre le cumul pluviométrique CALAMAR et COMEPHORE pour l'évènement de septembre 2002 (zone radar n°2)

Les écarts de cumul entre les deux sources de données sont compris entre 100 et 200mm sur toute la partie centrale du bassin versant du Gardon, les données Calamar donnant des hauteurs cumulées pour cet évènement moins importantes que les données Comephore. Sur la partie sud-est du bassin, les écarts sont moindres et sont compris entre 0 et 90mm, les hauteurs cumulées issues des données Calamar étant plus fortes que celles issues des données Comephore.

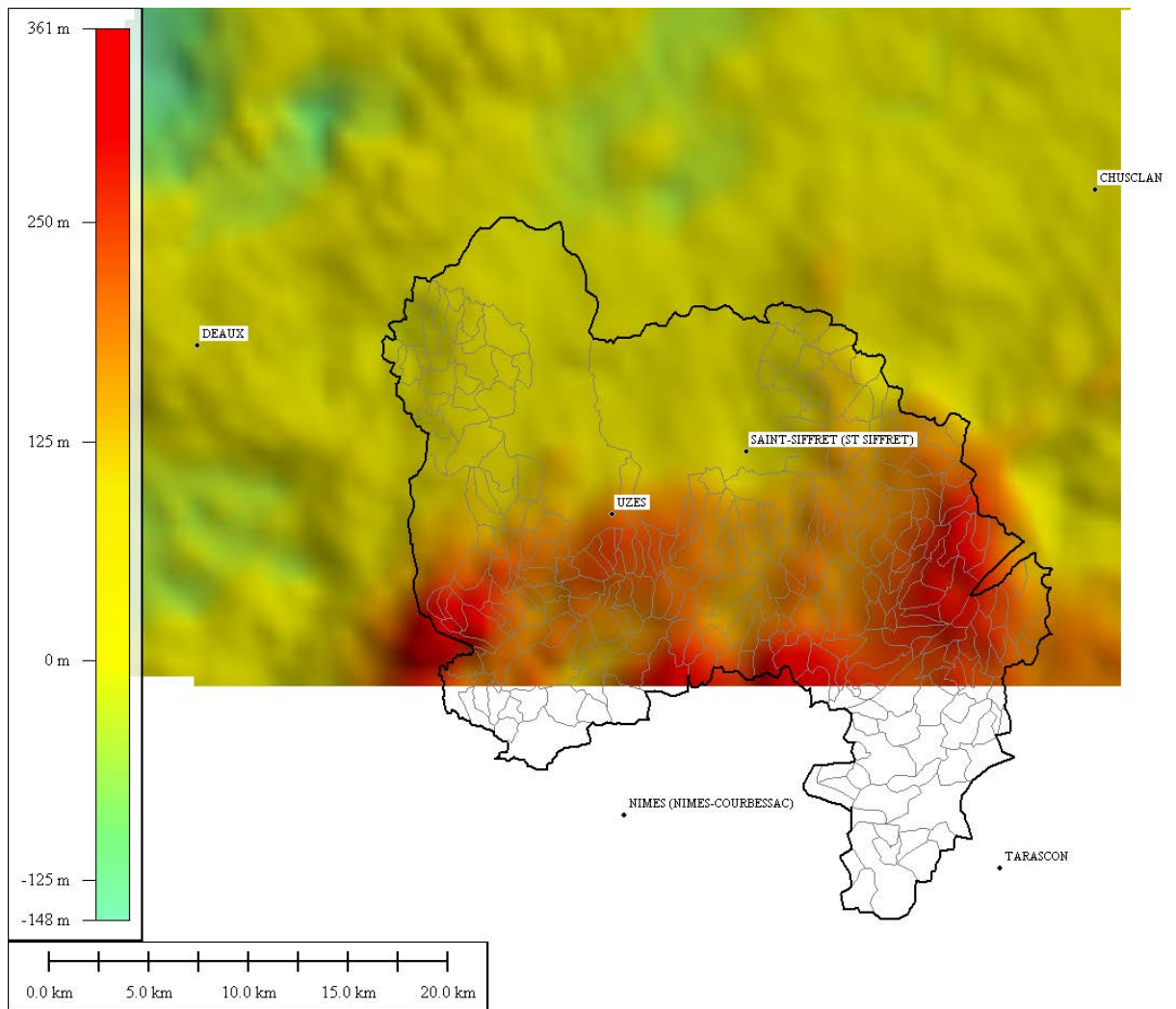


Figure 4.21 : différence entre le cumul pluviométrique CALAMAR et COMEPHORE pour l'évènement de septembre 2002 (zone radar n°5)

Les écarts de cumul les plus importants sur la zone n°5 se situent sur toute la partie centrale du bassin versant, avec des écarts variant entre 150 et 350 mm. Ils sont moindres sur la partie nord-ouest du bassin et sont compris entre 0 et 100 mm

Les hyétogrammes ci-dessous illustrent les cumuls pluviométriques au pas de temps horaire issus des données Calamar, Comephore et les enregistrements au sol lorsque ceux-ci sont disponibles.

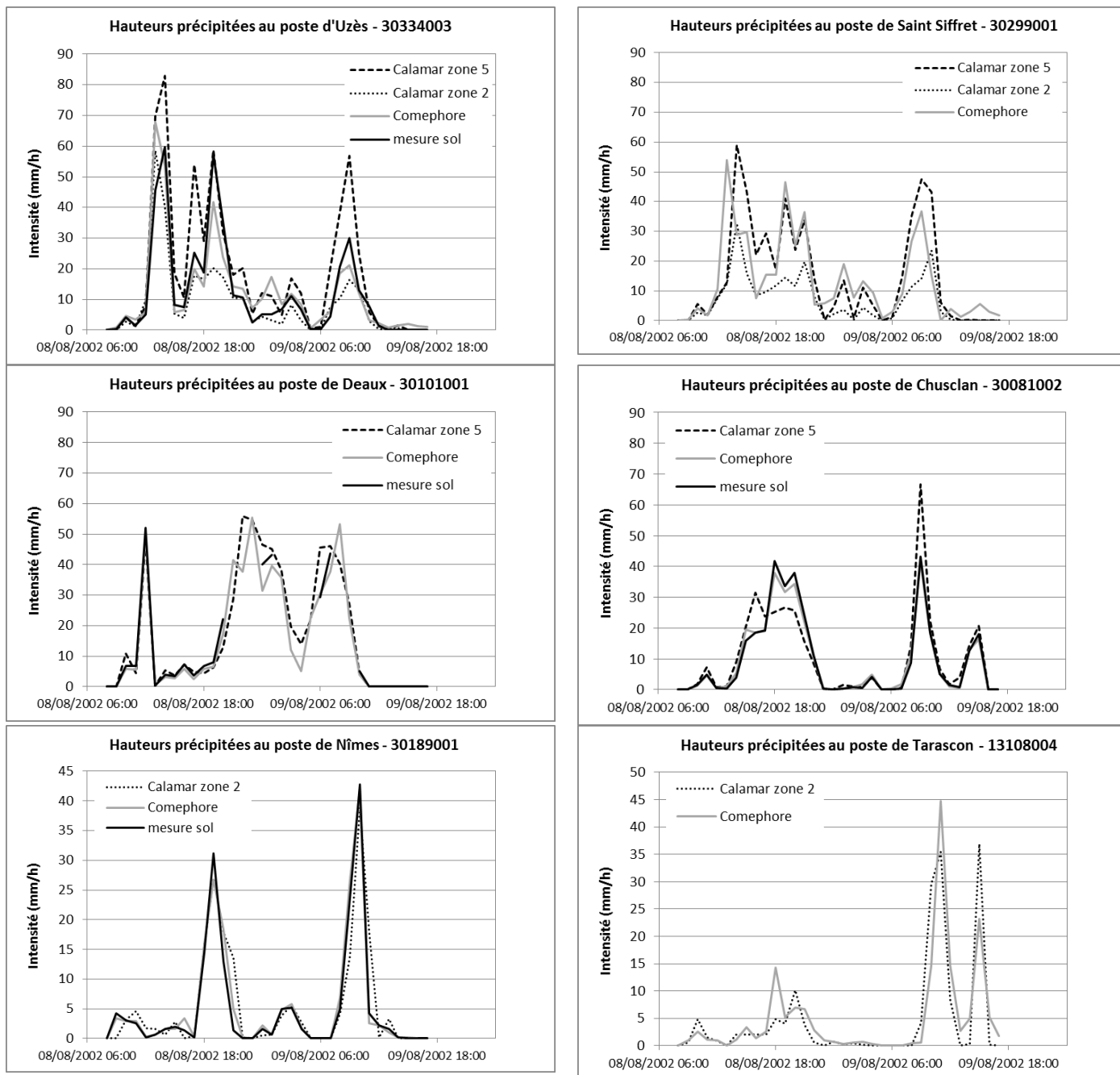


Figure 4.22 : comparaison des données différentes données radar et des mesures au sol

Sur les stations pluviométriques disposant de données enregistrées pour cet évènement, l'évolution temporelle des intensités de pluie est plutôt bien reconstituée à partir des images radar, mais les valeurs des intensités au pas de temps horaire peuvent s'écarter sensiblement des valeurs mesurées au sol.

Sur le secteur d'étude, seule la station d'Uzès possède des enregistrements au pas de temps horaire.

La comparaison des enregistrements au sol et des données comephore met en évidence des écarts des valeurs d'intensité au pas de temps horaire maximum de 22mm/h, les données Comephore tendant à sous-estimer les pics des périodes intenses de l'épisode pluvieux.

Suivant la zone considérée, les écarts maximum entre les enregistrements au sol et les données Calamar varient entre 29mm/h et 37mm/h. Les intensités au pas de temps horaire données sur la zone n°5 ont tendance à fortement surestimer les pics des périodes intenses de l'épisode pluvieux ; à l'inverse les intensités données sur la zone n°2 ont tendance à fortement les sous-estimer.

La comparaison des données Comephore et des enregistrements au sol met en évidence une assez bonne reconstitution des enregistrements au sol à partir des données, comme c'est le cas pour les stations de Deaux et Chusclan.

Les graphiques ci-après précisent les résultats obtenus pour différentes hypothèses de données pluviométriques prises en compte sur le Gardon à Remoulins et le Bourdic en amont du village de Bourdic, après propagation des hydrogrammes générés par le modèle pluie – débit avec le modèle hydraulique (cf. 5) :

- Données CALAMAR, discrétisation 5 minutes (données identiques à celles utilisées par ISL notamment),
- Données Meteo France COMEPHORE discrétisées au pas 15 minutes,
- Données Meteo France COMEPHORE discrétisées au pas 5 minutes.

**Le Gardon à Remoulins** : l'hydrogramme calculé à partir des données CALAMAR est très proche de celui calculé par ISL ; la pointe atteint 6000 m<sup>3</sup>/s, contre 6300 m<sup>3</sup>/s calculé par ISL et 6 800 estimé par SOGREAH.

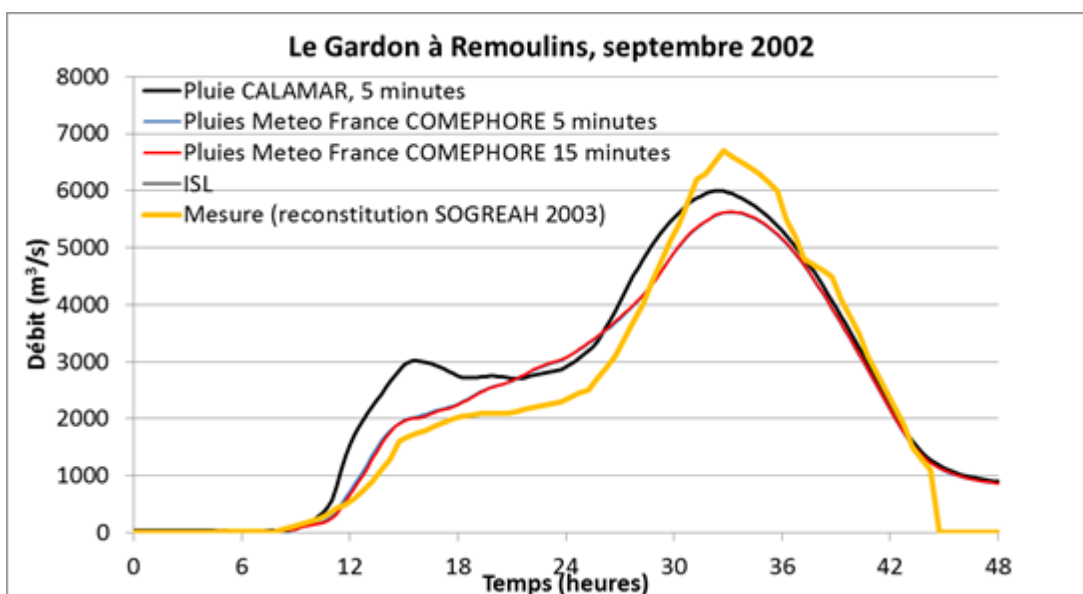


Figure 4.23 : Hydrogrammes de référence et hydrogrammes calculés du Gardon à Remoulins pour la crue de Septembre 2002

**Le Bourdic** : les écarts obtenus en considérant les données de pluie CALAMAR ou Météo France sont relativement importants (près de 100 m<sup>3</sup>/s sur la pointe) ; le calcul réalisé par ISL se situe entre ces deux résultats.

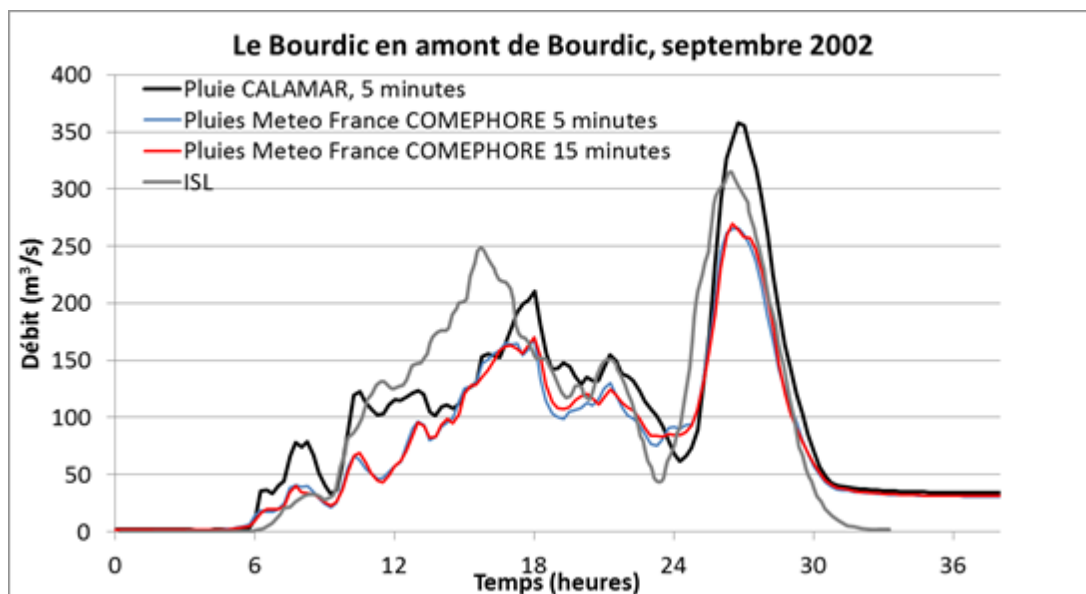


Figure 4.24 : Hydrogrammes de référence et hydrogrammes calculés du Bourdic en amont de Bourdic pour la crue de Septembre 2002

**Après analyse des résultats et échanges avec la DDTM30, il a été convenu de travailler sur la base des données de pluie CALAMAR plutôt que des données COMEPHORE de Météo France, afin de rester cohérents avec les études antérieures.**

#### 4.7.5 Synthèse des résultats

Le calage des modèles hydrologique sera effectué parallèlement à celui du modèle hydraulique (cf. §5.5). En l'absence de stations hydrométriques sur les têtes de bassins versants, le calage ne peut être effectué que sur le Gardon (notamment à Remoulins), après propagation des hydrogrammes calculés par le modèle pluie – débit à l'exutoire de chacun des sous bassins versants par le modèle hydraulique.

## 4.8 DEFINITION D'UNE HYDROLOGIE DE REFERENCE

### 4.8.1 Méthodologie générale

Pour chaque période de retour étudiée (5, 10, 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 maximum 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.

### 4.8.2 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.

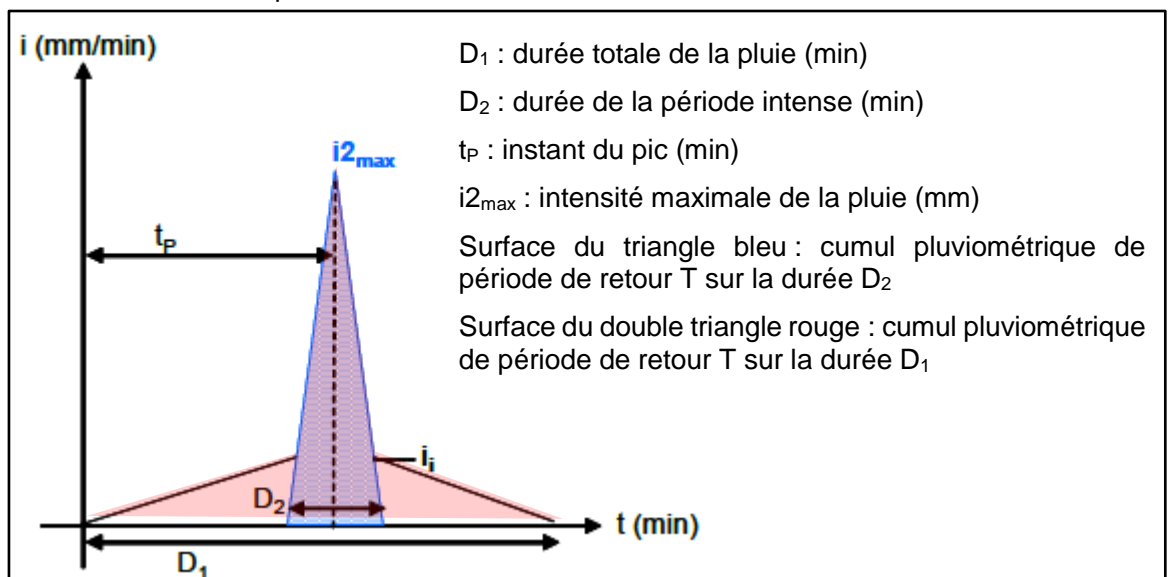


Figure 4.25 : schématisation d'une pluie double triangle

Les pluies de projet suivantes sont définies :

- Durée totale des événements : 48 heures
- Durée de la période intense :
  - 2, 3, 4, 6 et 12 heures pour l'événement centennal,
  - 2, 6 et 12 heures pour les périodes de retour 5, 10 et 50 ans.

Les hyétogrammes définis sont présentés ci-après.

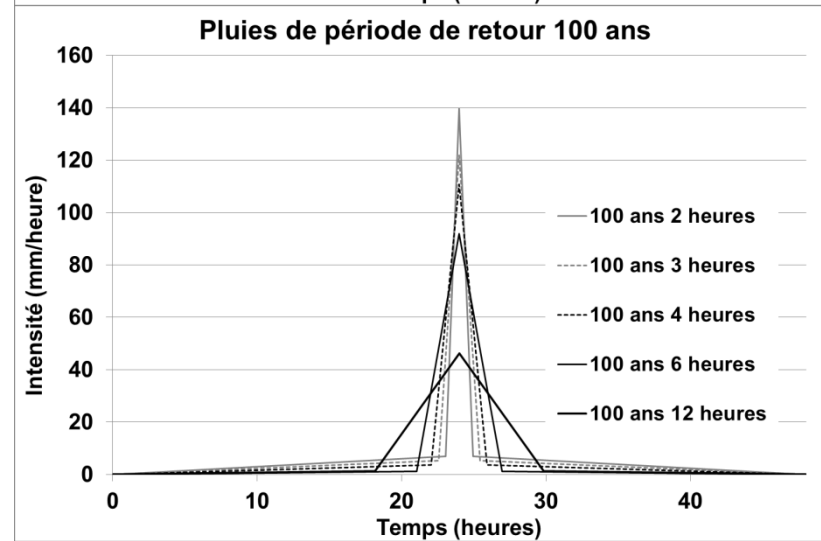
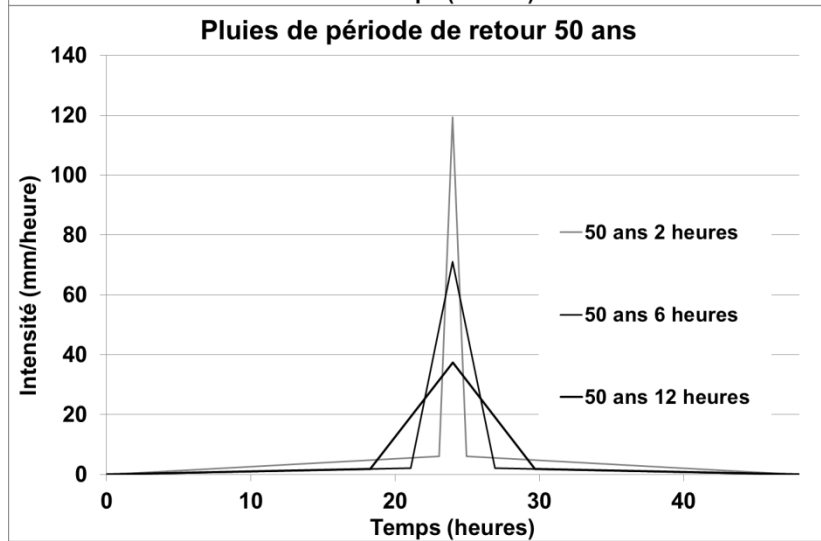
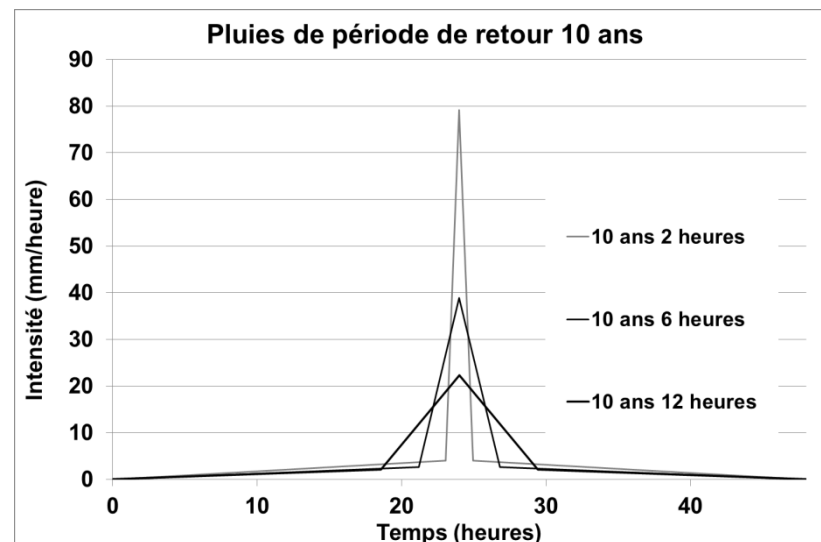
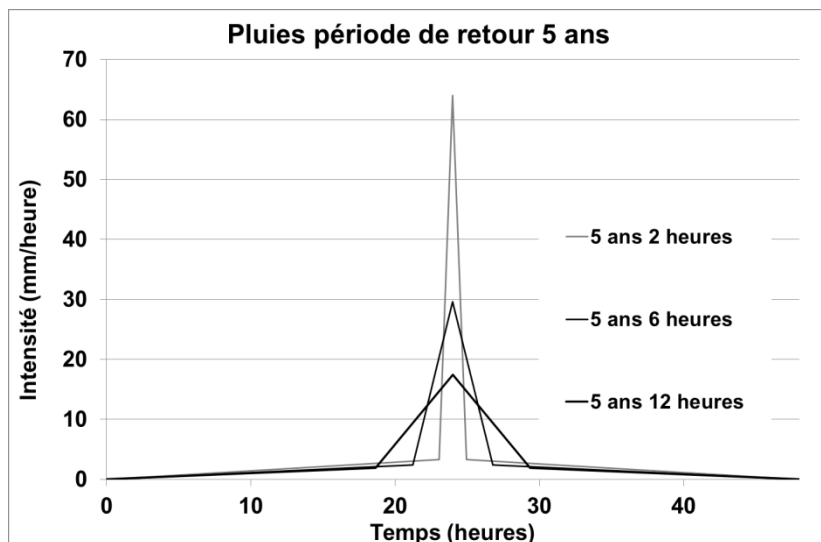


Figure 4.26 : pluies de projet doubles triangles

## 4.9 CONCOMITANCES DES CRUES DU RHONE ET DU GARDON

Une analyse détaillée des risques de concomitances entre les crues du Gardon et du Rhône a été réalisée dans le cadre de l'Etude globale pour une stratégie de réduction des risques dus aux crues du Rhône (Safege, 2000).

Cette analyse est basée sur une étude approfondie des chroniques historiques, et détaille le risque par typologies de crues. Le tableau ci-après synthétise les résultats obtenus.

		Tous types de crues	Crues océaniques	Crues méditerranéennes	Crues cévenoles
Crue du Rhône, absence de crue du Gardon		58%	100%	29%	15%
Crue du Rhône et crue du Gardon	Concomitance forte	6%	0%	0%	25%
	Concomitance moyenne	6%	0%	15%	10%
	Concomitance faible	29%	0%	56%	50%

Tableau 4.19 : synthèse des risques de concomitance des crues du Rhône et du Gardon (Safege, 2000)

Les seuils de caractérisation des risques de concomitances sont définis à partir d'une analyse de l'évolution des débits de pointe du Rhône entre l'amont et l'aval du point de confluence avec le Gardon :

- Concomitance forte si l'accroissement du débit de pointe du Rhône dépasse 60%,
- Concomitance moyenne si l'accroissement du débit de pointe du Rhône est compris en 30% et 60%,
- Concomitance faible si l'accroissement du débit de pointe du Rhône est inférieur à 30%.

Le risque d'une conjonction de deux crues fortes du Gardon et du Rhône est donc faible. Ces conclusions sont confirmées par l'analyse des deux fortes crues du Rhône et du Gardon survenues depuis la finalisation de cette étude :

- Septembre 2002 : la période de retour de la crue du Gardon est supérieure à 100 ans, alors que celle du Rhône est inférieure à 2 ans en amont du point de confluence,
- 2003 : la crue du Rhône présente une période de retour de l'ordre de 100 ans, contre 3 ans pour la crue du Gardon.

**Pour la modélisation des événements centennaux du Gardon, nous retiendrons une condition limite aval correspondant à une crue décennale du Rhône.**

Cette hypothèse entraîne un débit calculé sur le Rhône en aval de sa confluence avec le Gardon pour le scénario centennal du Gardon de 11 900 m<sup>3</sup>/s, proche du débit centennal du Rhône estimé à 11 300 m<sup>3</sup>/s à Beaucaire (aval de la confluence avec le Gardon). Pour mémoire, le débit des crues de 1856 et 2003 sont estimés respectivement à 11 640 m<sup>3</sup>/s et 11 500 m<sup>3</sup>/s (le débit de la crue de 2003 avait initialement été estimé à 13 000m<sup>3</sup>/s).

Pour les crues du Gardon de périodes de retour inférieures à 100 ans, une crue biennale du Rhône est imposée en aval du modèle.

## 5 MODELISATION HYDRAULIQUE

### 5.1 METHODOLOGIE DE L'ETUDE HYDRAULIQUE

La méthodologie adoptée pour la réalisation de l'étude hydraulique repose sur quatre étapes successives permettant d'aboutir à la définition des cartes d'inondation :

- Etape 1 : Construction du modèle hydraulique à partir des données topographiques
- Etape 2 : Calage du modèle sur une crue historique
- Etape 3 : Simulation des crues de projet
- Etape 4 : Synthèse – Cartographie

## 5.2 PRINCIPE DE MODELISATION

### 5.2.1 Présentation du logiciel de modélisation : hydrariv

HYDRARIV est un progiciel de modélisation hydrologique et hydraulique des espaces fluviaux. Il est conçu pour intégrer dans un même modèle des schémas de représentation contrastés, tels que la schématisation filaire, les casiers et les maillages bi dimensionnels. Cette souplesse permet d'adapter au mieux la modélisation à la spécificité des configurations rencontrées dans le domaine fluvial et aux objectifs de modélisation poursuivis.

HYDRARIV est une application totalement autonome, gérant tout à la fois la génération et l'édition des modèles via une interface graphique dédiée, le pilotage des calculs et l'exploitation des résultats. Elle est organisée autour d'un module de pilotage développé en VB6 et d'une base de données spécifique, interne à l'application : aucune licence externe n'est requise.

Le noyau de calcul est constitué par le logiciel HYDRA, développé et exploité par Hydratec depuis plus de 20 ans. Ce noyau englobe des algorithmes généraux intéressant les écoulements superficiels, il est utilisé dans plusieurs domaines d'intervention, dont l'hydraulique fluviale. La chaîne de simulation HYDRA est totalement transparente à l'utilisateur car elle est pilotée par l'interface d'HYDRARIV.

Les concepts de modélisation manipulés par HYDRARIV présentent un haut niveau d'intégration avec pour avantages :

- **L'ergonomie** : la description d'un domaine fluvial est basée sur des schémas de modélisation diversifiés accordant une grande latitude de choix au modélisateur selon sa compréhension du fonctionnement hydraulique du système modélisé. Par ailleurs HYDRARIV est conçu pour fonctionner dans un environnement WINDOWS. Il respecte les « guides de style Windows », ainsi que les règles d'ergonomie des environnements Windows.
- **La fiabilité et la robustesse** : la génération d'un modèle hydraulique subit de nombreux contrôles de cohérence des données et active automatiquement les options de calcul les plus appropriées aux caractéristiques du modèle défini par l'utilisateur,
- **La performance** : l'organisation interne des entités de modélisation est entièrement prise en charge par des programmes de génération spécifiques. Ceux-ci sont conçus pour optimiser la taille des systèmes matriciels et donc minimiser les temps de calcul.

HYDRARIV ne dispose pas de fonctions SIG proprement dite, ces fonctions sont assurées par un logiciel d'accompagnement : HYDRAMAP, pour toutes les tâches mettant en œuvre un Modèle Numérique de Terrain en prétraitement ou post traitement. HYDRAMAP est un module applicatif de MAPINFO et fonctionne donc dans l'environnement de ce dernier. Il agit comme pré processeur d'HYDRARIV pour générer en lot certaines entités de modélisation comme le maillage et les liaisons internes d'un sous domaine bi dimensionnel et donc faciliter le renseignement de ces objets. Le lien entre ces deux applicatifs est assuré par des procédures d'importations et d'exportations gérées par HYDRARIV.

Cette distinction entre HYDRAMAP et HYDRARIV est voulue : elle assure une optimisation des traitements en valorisant au mieux les fonctionnalités de chaque environnement de travail selon l'étape de modélisation.

Toutes les informations complémentaires sur le logiciel HYDRARIV sont accessibles sur le site internet : <http://www.hydratec-software.com/>

## 5.2.2 Principes de modélisation

### a) Les domaines de modélisation

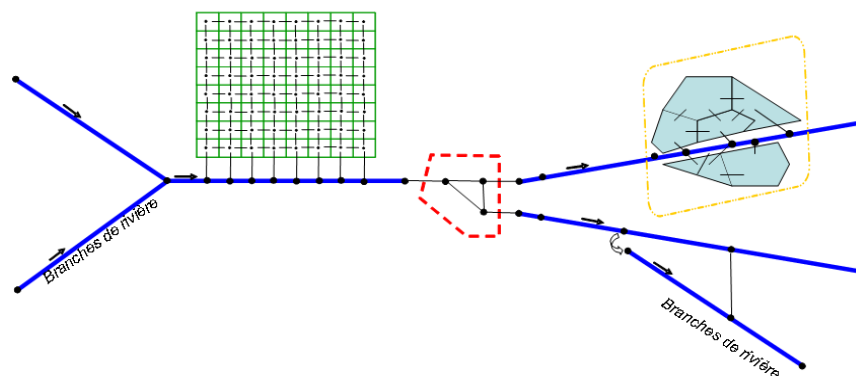
HYDRARIV offre quatre représentations d'écoulement adaptées aux applications fluviales :

- **Le domaine filaire** (ou multifilaire selon les cas) : caractérisé par une direction privilégiée d'écoulement le long de l'axe de vallée,
- **Le domaine casier** : zone d'accumulation dans le lit majeur avec faible vitesse moyenne, où les transferts de débit sont conditionnés par des lois d'échange aux frontières,
- **Le domaine bi-dimensionnel** : zones avec écoulement fortement bidimensionnel, décrites par un maillage fin. Cette description permet de restituer la carte des vitesses locales,
- **Le domaine d'urbanisation dense** : secteurs présentant une urbanisation dense et régulière (structurés par un réseau de voiries régulières) permettant de représenter la capacité d'écoulement des voiries et le rôle de stockage des îlots de bâtiments.

La connexion des différents domaines de modélisation (filaire, casier, bi dimensionnel et ZUI) est assurée par les liaisons latérales, de natures différentes selon la topographie ou le type d'ouvrage.

En complément de ces différents schémas de modélisation, les « stations de gestion » permettent de représenter des ouvrages plus ou moins complexes par le biais de liaisons hydrauliques reliant des nœuds de calcul extérieurs aux domaines pré-cités.

La figure ci-après illustre les différents domaines pouvant co-exister dans un même sous modèle.



Entités de modélisation	Applications
branche de calcul (domaine filaire)	Fluvial + Assainissement
domaine bidimensionnel	Fluvial
domaine casiers	Fluvial
station de gestion	Assainissement
liaison latérale	Fluvial + Assainissement
maillage / dérivation	Fluvial + Assainissement

Hydrariv dispose d'une fonctionnalité dite de « **Configurations** » qui permet de générer et de tracer des scénarios impliquant des modifications de paramètres géométriques, topographiques et hydrauliques attachées aux objets de modélisation d'un modèle hydraulique donné : coefficients de frottements, cotes de digues, sections de lit mineur, ouverture d'ouvrages hydrauliques, ...

Hydrariv dispose également d'un module de **gestion de contrôle et de régulation des ouvrages** hydrauliques. Les ouvrages hydrauliques ponctuels modélisés dans Hydrariv sont paramétrés par défaut dans l'interface de façon à fonctionner en mode local : le plupart des actionneurs sont fixes, d'autres sont mobiles et régulés par rapport à une consigne de déplacement, de niveau ou de débit. L'état des variables géométriques et les consignes de gestion de l'ensemble de ces ouvrages peuvent également être pilotées par un fichier externe contenant un script de programmation plus ou moins complexe totalement interactif avec les algorithmes de calcul hydrauliques du noyau de calcul d'Hydrariv. Cette possibilité permet de prendre en compte des systèmes d'asservissement complexes, faisant intervenir tout un ensemble de paramètres d'état du système et d'actionneurs, pour lesquels la régulation locale n'est plus adaptée.

## b) Domaine filaire

La schématisation filaire repose sur la résolution des équations de Barré de Saint Venant à lits composés, avec des lois de partage entre les différents lits qui sont conçues pour reproduire au mieux les cotes d'eau dans le lit mineur, les temps de propagation et la déformation des ondes de crues influencées par l'action de laminage joué par le lit majeur. A chaque nœud de calcul sont associées plusieurs variables : la cote d'eau dans la section composée et les débits longitudinaux dans chaque lit. Outre les équations des tronçons de vallée HYDRARIV propose un large choix de singularités spécialement adaptées aux types d'ouvrages et d'obstacles rencontrés dans les vallées fluviales.

Le domaine filaire modélise l'écoulement le long d'un bief de rivière ou de vallée inondable, caractérisé par une direction privilégiée d'écoulement le long de son axe longitudinal. Le bief de vallée, dénommé « branche », est composé d'une succession de tronçons de rivière entrecoupés de singularités hydrauliques formant obstacle à l'écoulement.

Le domaine filaire modélisé par Hydrariv se présente comme une juxtaposition de sous-réseaux arborescents. Un sous-réseau consiste en un assemblage de branches de calcul connectées les unes aux autres par des confluences ou des liaisons latérales. A chaque branche est associé un système de repérage curviligne kilométrique qui lui est propre, avec des PK croissants de l'amont vers l'aval de la branche. Une branche est jalonnée d'une succession ordonnée de modules hydrauliques. Chaque module est délimité par un PK amont et un PK aval. On distingue :

- Les **tronçons élémentaires de rivière ou de vallée** régis par les équations de Barré de St Venant ; les équations distinguent pour chaque section de vallée 7 zones d'écoulements contrastés dans la direction transversale (voir figure ci-après) :
  - le lit moyen où coule l'eau en l'absence de débordement,
  - le lit majeur actif, c'est-à-dire la fraction de la plaine inondable qui participe à l'écoulement longitudinal en vallée après débordement, en distinguant la rive gauche et la rive droite,
  - le lit d'expansion qui simule les poches de stockage et d'accumulation dans le lit majeur.

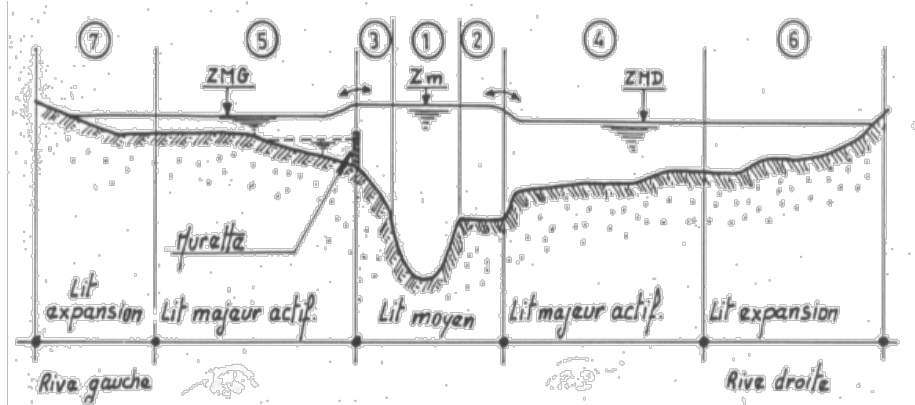


Figure 5.1 - Schématisation de la vallée : coupe transversale

Le modèle filaire se construit à partir de profils en travers. L'hydraulicien synthétise avec 14 points, les profils en travers levés par le géomètre. Il interpole des profils supplémentaires pour rester fidèle à la géométrie du lit du fleuve.

Les équations résolues sont données ci-après.

### Equations de Barré-de-Saint-Venant :

**Continuité :** 
$$\frac{\partial}{\partial t} \left( S_m + \frac{S_M}{s} \right) + \frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{q_1}{s} + q_a$$

**Quantité de mouvement :** 
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{d}{dx} \left( \beta \frac{Q^2}{S_m + S_M} \right) + g(S_m + S_M) \frac{\partial Z}{\partial x} + \frac{Q|Q|}{D^2} = 0$$

t : temps

s : coefficient de sinuosité

S<sub>m</sub> : surface de la section mouillée du lit mineur

S<sub>M</sub> : surface de la section mouillée du lit majeur actif

D : débitance =  $S_m K_m R_m^{2/3} + \sqrt{s} S_M K_M R_M^{2/3}$

avec • K<sub>m</sub> et K<sub>M</sub> : Stricklers des lits mineur et majeur  
 • R<sub>m</sub> et R<sub>M</sub> : rayons hydrauliques des lits mineur et majeur

β : coefficient d'échange de quantité de mouvement entre lits mineur et majeur

$$\beta = \left( \frac{1}{S_M} + \frac{r^2}{S_m} \right) \left( \frac{S_m + S_M}{1 - \eta^2} \right)$$

$$\text{avec } \eta = \frac{Q_m}{Q_M} = \frac{S_m K_m R_m^{2/3}}{S_M K_M R_M^{2/3}}$$

q<sub>1</sub> : débit d'échange latéral

$$q_1 = \mu \sqrt{2g} (Z - Z_d)^{3/2} \text{ en régime dénoyé}$$

$$q_1 = \mu \sqrt{2g} (Z - Z_d) (Z - Z_1)^{1/2} \text{ en régime noyé}$$

- Les **singularités hydrauliques** ; sont classés dans cette catégorie tous les ouvrages hydrauliques apportant une modification à l'écoulement le long d'un tronçon de rivière, et plus généralement, le long d'une branche 1D. Par extension une singularité est définie dans Hydrariv comme toute loi d'écoulement régie par des équations autres que celles du tronçon de vallée. Une singularité peut :

- être courte (localisée en un seul PK) ou longue (étendue entre un PK début et un PK fin le long d'une branche de calcul),
- se caractériser par une discontinuité de débit (hydrogramme d'apport ou dérivation), ou de cote piézométrique, ou les deux à la fois,
- être de type passif (ouvrage statique) ou actif (organe régulable).

Chaque branche est constituée en définitive d'une succession de points de calculs. A chaque point sont calculés une cote  $Z$  et un débit longitudinal  $Q$  le long de la branche. Ce débit est positif lorsque le courant s'écoule de l'amont vers l'aval de la branche, c'est-à-dire dans le sens croissant des PK. Il est négatif dans le cas contraire.

Chaque sous-réseau comprend une et une seule condition à la limite aval, définie au nœud aval par une relation de la forme :  $f(Q,Z) = 0$

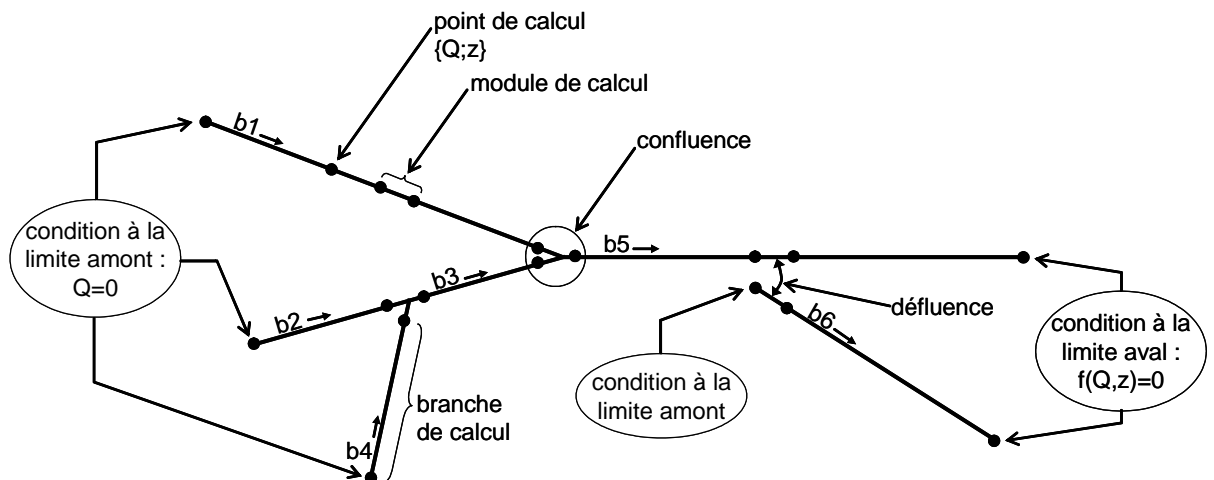


Figure 5.2 - Schématisation d'un domaine filaire maillé

### c) Domaine casier

Le domaine casier est classiquement utilisé pour représenter les zones de stockage caractérisées par de faibles vitesses d'écoulement, situées à l'écart des écoulements dynamiques. Les limites des éléments casiers s'appuient généralement sur des limites physiques contraignant les écoulements (digues, remblais, ...). Il peut également être utilisé pour schématiser le lit majeur actif lorsque les objectifs de la modélisation ne nécessitent pas une représentation détaillée des conditions écoulement (vitesses, hauteurs d'eau, ...).

Le domaine « casier » comprend une collection de surfaces polygonales, ou casiers, chaque casier est converti en interne en un nœud de calcul caractérisé par :

- une cote d'eau  $Z$ ,
- une capacité de stockage décrite par une surface au miroir ou une courbe  $S(z)$ .

L'équation de base d'un casier exprime la loi de conservation de la masse :

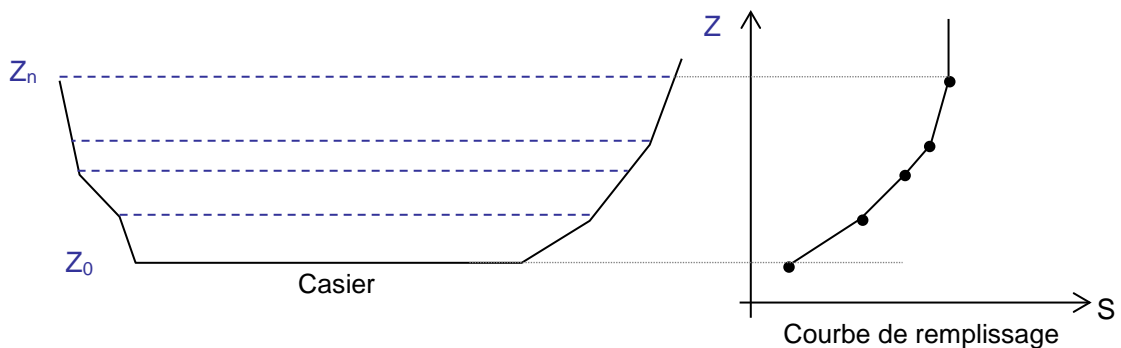
$$S \frac{dZ_c}{dt} = \sum_i q_{li}(z_c, z_i)$$

où : S : surface au miroir du casier

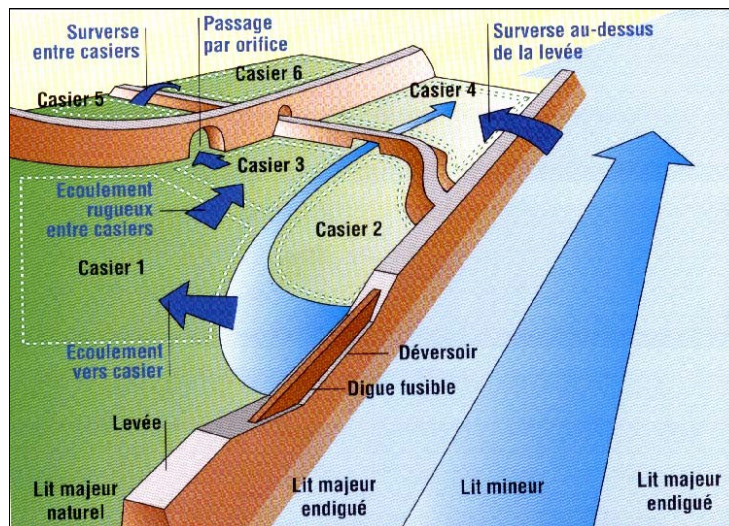
Z<sub>c</sub> : cote d'eau (supposée uniforme dans le casier)

q<sub>li</sub> : débit échangé avec un autre domaine. Les liaisons latérales disponibles sont de plusieurs types suivant la nature physique de la liaison : seuil, orifice, frottement sur le fond, écoulement poreux.

Chaque casier est défini géographiquement par ses contours qui correspondent, en général à des obstacles physiques influençant l'écoulement : levées, coteaux, routes, talus ... puis numériquement par sa superficie et par une courbe α(Z) où α est le pourcentage de la superficie du casier situé sous la cote Z.



La planimétrie générale du terrain est ainsi entrée dans le modèle ce qui définit le volume d'eau susceptible d'être stocké dans la zone inondée.



Les entrées et sorties d'eau pour un casier sont analysées et dimensionnées : des liaisons numériques sont définies pour représenter dans le modèle les échanges d'eau entre casiers.

#### d) Domaine bi-dimensionnel

Le domaine « pavé » comprend une collection de mailles quadrangulaires ou triangulaires, ou pavés, chaque pavé étant converti en interne en un nœud de calcul caractérisé par :

- une cote d'eau Z,
- les composantes  $u_x$  et  $u_y$  de la vitesse d'écoulement,
- une capacité de stockage décrite par une cote moyenne de fond  $Z_f$  et une surface S.

La modélisation bidimensionnelle repose sur la résolution des équations de Barré de Saint Venant à deux dimensions à l'aide d'une méthode de volumes finis : les inconnues sont la cote d'eau et la composante de la vitesse dans chaque direction, calculées au centroïde de la maille.

Les équations de base s'expriment sous la forme :

##### Continuité :

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (uh) + \frac{\partial}{\partial y} (vh) = 0$$

##### Dynamiques selon x et y

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \left( \frac{\partial z}{\partial x} + j_x \right) = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \left( \frac{\partial z}{\partial y} + j_y \right) = 0$$

Avec :

h : hauteur d'eau

u, v : composante de la vitesse

g : accélération de la gravité

z : cote de la surface libre

x, y : abscisse et ordonnée du point où sont définis (h, u, v)

j : gradient de perte de charge engendré par le frottement

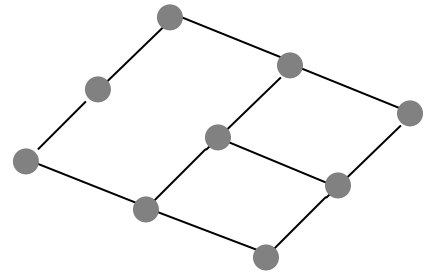
Les équations précédentes sont transformées dans le module 2D en intégrales de surface et sont discrétisées par la **méthode des volumes finis**.

Pour ce domaine le nombre de variables indépendantes au centroïde de chaque élément est égal à trois : h, u et v.

Le maillage proposé dans le module bidimensionnel est quadrangulaire et triangulaire. La densité et la taille moyenne des mailles sont adaptées en fonction de la cohérence de la précision des levés topographiques et des attendus du projet.

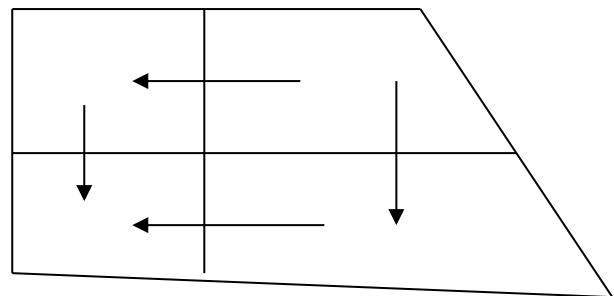
Le maillage proposé présente deux particularités :

- Il est déstructuré, c'est-à-dire que les frontières de chaque maille ont des directions quelconques : elles s'appuient sur les rives du cours d'eau, le long des obstacles dans le lit majeur,
- Il est possible de partager une frontière entre plus de deux éléments (cf. ci-contre).



Cette souplesse permet de facilement traiter les situations géométriques les plus complexes.

Les frontières entre deux mailles contigües sont traversées par des liaisons d'échanges hydrauliques qui découlent de la discrétisation des deux équations ci-dessus.



La grande majorité de ces liaisons sont intérieures au domaine 2D : elles sont régies par des lois d'échange satisfaisant les équations de Barré de St Venant en deux dimensions ; les vitesses sont calculées au centroïde de l'élément.

A chaque frontière on peut également renseigner une loi d'échange spécifique du type de celles disponibles pour le domaine casier, dans le cas d'un obstacle régi par une loi de singularité hydraulique spécifique.

On peut également spécifier des liaisons régies par des lois de singularités hydrauliques.

La méthode des volumes finis offre une grande souplesse dans la définition du maillage, ce qui lui confère un avantage certain compte tenu des nombreuses lignes de fractures (obstacles en ligne) présentes dans les plaines alluviales.

Le maillage s'appuie notamment sur des limites physiques contraignant les écoulements (digues, remblais, ...), la taille des mailles étant définie par le modélisateur en fonction de la précision attendue et de la morphologie de la vallée.

Les singularités ponctuelles au droit des franchissements routiers ou ferrés sont schématisées par des liaisons spécifiques reliant les mailles amont et aval :

- des lois d'orifice pour les buses et les ponceaux de décharge,
- des lois de seuil pour les routes, chemins, digues, murets, ... submersibles.

## e) Les liaisons latérales

**Les liaisons latérales** symbolisent des relations de transfert de débit entre des nœuds de calcul attachés aux éléments des différents domaines. L'équation associée à chaque liaison est de la forme :

$f(Q_L, Z_1, Z_2)$  où  $Q_L$  est le débit d'échange entre les nœuds 1 et 2,

$Z_1$  et  $Z_2$  sont les cotes d'eau aux nœuds 1 et 2 respectivement,

$f$  est une fonction spécifique à la nature hydraulique de la liaison : seuil, orifice, poreuse, ...

Dans le cas d'une liaison uninodale, la relation est de la forme :  $g(Q_L, Z_1) = 0$ . La liaison s'apparente alors à une condition à la limite appliquée au nœud 1.

Les principales liaisons hydrauliques binodales sont les suivantes :

- **La loi de surverse (LDEV)** : débordement au-dessus d'une levée ou d'un talus. La liaison est calée au niveau de l'arase du point bas de la levée ou de la banquettes. Les débits susceptibles d'entrer dans le val sont calculés par une loi de type déversement simple fonction de la cote d'arase, de la largeur de la zone basse et du coefficient de seuil.
- **La loi d'orifice (LORF)** : La liaison simule un passage par une ouverture quelconque : buse, dalot ou pont. Elle est représentée par les dimensions de l'orifice et les coefficients de seuil et d'orifice.
- **L'écoulement rugueux (LSTK)** : de casier à casier, l'eau coule sans obstacle précis, mais les forces de frottement de l'eau sur le terrain sont représentées. La liaison est définie par sa cote, sa largeur, un coefficient de rugosité et la distance entre casiers. La loi d'écoulement est régie pour cette liaison par l'équation :  
$$Q_{ij} = K * H_{ij}^{5/3} * l * \text{racine}((Z_i - Z_j)/L)$$
  
Où  $Q_{ij}$  est le débit d'échange entre les casiers,  $H_{ij}$  est la hauteur d'eau moyenne,  $Z_i$  et  $Z_j$  les cotes moyennes dans les casiers  $i$  et  $j$  respectivement et  $K$  est le coefficient de frottement de Strickler<sup>1</sup> sur le fond.
- **La brèche** : La liaison représente l'ouverture d'une brèche dans le calcul lorsque le niveau d'eau, calculé à un pas de temps, dépasse un niveau altimétrique prédéfini (généralement le niveau de la levée ou de la digue). Ce type de liaison est défini par un seuil de déclenchement, une largeur, un seuil bas, un coefficient de seuil et un temps d'ouverture.

Deux nœuds de calcul peuvent être reliés par plusieurs liaisons.

## f) Couplage 1D-2D

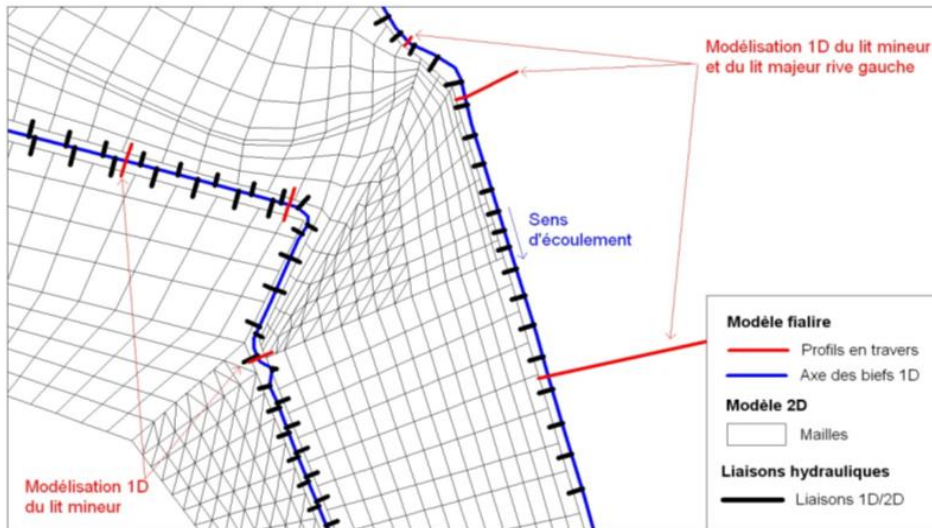
Hydrariv propose deux fonctionnalités de couplage des domaines 1D et 2D, basées sur la création de liaisons latérales entre les éléments de ces deux domaines. Les berges de chaque lit de cours d'eau sont connectées au domaine bidimensionnel par l'intermédiaire de liaisons spécifiques apparentées à des déversoirs, la cote et la largeur de chacune étant fonction du profil de la berge.

---

<sup>1</sup> Coefficient de Strickler : traduit le frottement du lit. Le frottement est d'autant plus important que le coefficient est faible.

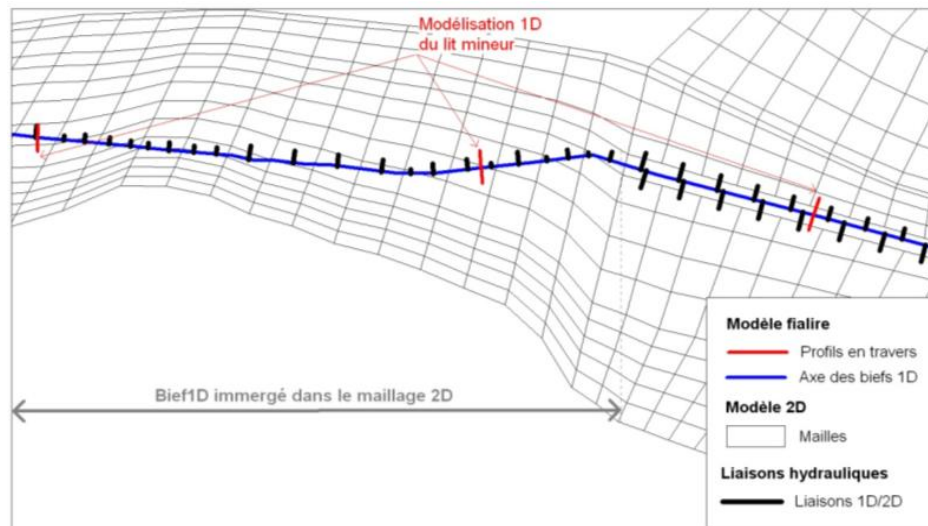
- Maillage 2D appuyé sur les limites du domaine 1D

Les liaisons latérales schématisent les capacités de débordement du bief 1D vers le maillage 2D à partir des caractéristiques géométriques de la berge considérée (altimétrie), de la géométrie de chacune des mailles (largeur de contact avec la berge) et de l'occupation du sol (frottement).



- Bief 1D immergé dans le maillage 2D

Le bief 1D intègre uniquement le lit mineur du cours d'eau concerné, et ne constitue pas une limite au maillage 2D ; les caractéristiques géométriques des liaisons du bief 1D vers les mailles 2D sont simplifiées : une liaison vers chaque maille traversée, celle-ci englobant la largeur de débordement des rives gauche et droite.



Cette représentation simplifiée est mise en œuvre lorsque la capacité du cours d'eau est faible et lorsque ses berges ne constituent pas un obstacle à l'écoulement des eaux en lit majeur (absence de digues) ; elle permet d'intégrer simplement à un maillage global du lit majeur la présence de petits cours d'eau ou fossés dont le

rôle peut être important dans la dynamique d'écoulement des débordements du cours d'eau principal et le ressuyage du lit majeur.

**Cette représentation permet également de coupler un réseau souterrain avec des écoulements de surface. Les débordements potentiels des réseaux sont représentés par des liaisons entre les biefs filaires souterrains et les mailles de surface, au droit des regards.**

### g) Modélisation des ouvrages hydrauliques

Ce paragraphe présente les principes généraux de modélisation des principaux types d'ouvrages hydrauliques.

Certains points particuliers sont présentés plus en détail dans les chapitres spécifiques à chacun des modèles.

- Ouvrages de franchissement

Les ouvrages de franchissement sont définis par les cotes de radier et de sous-poutre et la section totale.

Les pertes de charge sont calculées par une loi de seuil tant que l'ouvrage n'est pas en charge, et par une loi d'orifice dans le cas contraire.

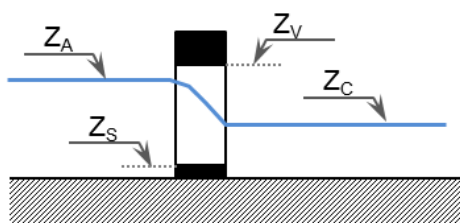
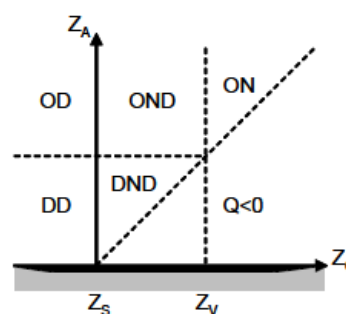


schéma de jonctionnement



Régimes possibles d'écoulement

Régime d'écoulement	Désignation	Expression pour f
Déversoir dénoyé	DD	$f = C_D (Z_A - Z_S)^{3/2}$
Déversoir noyé – dénoyé	DND	$f = C_D (Z_A - Z_C)^{3/2} + C_N (Z_C - Z_S) (Z_A - Z_C)^{1/2}$
Orifice dénoyé	OD	$f = C_D (Z_A - Z_S)^{3/2} - C_D (Z_A - Z_V)^{3/2}$
Orifice noyé – dénoyé	OND	$f = C_D (Z_A - Z_C)^{3/2} - C_D (Z_A - Z_V)^{3/2} + C_N (Z_C - Z_S) (Z_A - Z_C)^{1/2}$
Orifice noyé	ON	$f = C_N (Z_A - Z_C)^{1/2} (Z_V - Z_S)$
avec $C_D = \frac{2}{3} \mu_D L \sqrt{2g}$ $C_N = \mu_N L \sqrt{2g}$		$\mu_D$ : coefficient en régime dénoyé (généralement = 0.6) $\mu_N$ : coefficient en régime noyé (généralement = 0.6)

- Ouvrages souterrains

Les collecteurs souterrains sont modélisés par des sections paramétriques fermées ; Hydrariv utilise la méthode de la fente de Preissmann pour résoudre les équations de Barré de Saint Venant.

Une perte de charge à l'entonnement est ajoutée, sous la même forme que les ouvrages de franchissement.

- **Seuils et vannages**

Les seuils frontaux et latéraux sont modélisés par des lois de seuil.

Les vannages sont modélisés par des lois mixtes seuil (tant que l'ouvrage n'est pas en charge) / orifice.

Ces ouvrages peuvent être asservis à une cote ou un débit de consigne.

## **5.3 DONNEES TOPOGRAPHIQUES**

### **5.3.1 Profils en travers**

Les profils en travers du lit mineur des différents cours d'eau modélisés proviennent des levés réalisés par le cabinet Richer en 2013.

Certains profils ont été complétés par les données topographiques issues de la photogrammétrie ou du Lidar. D'autres ont été réalisés directement à partir du Lidar.

Il s'agit de :

- 1260 profils en travers réalisés par le Cabinet Richer,
- 1190 profils en travers obtenus à partir de l'exploitation du Lidar.

### **5.3.2 Ouvrages hydrauliques**

Les données topographiques des ouvrages hydrauliques (ponts, vannes, seuils...) proviennent des levés réalisés par :

- le cabinet STI en 2007 pour le Smae des Gardons,
- le cabinet CACG – Service Topographie en 2010,
- le cabinet Richer en 2013,
- Hydratec en 2013.

### **5.3.3 Semis de points**

Les semis de points décrivant le lit majeur de l'ensemble des vallées proviennent des sources suivantes :

- Le levé LIDAR réalisé par le cabinet API en 2012,
- L BDT Rhône sans la plaine du Rhône.



## 5.4 CONSTRUCTION DU MODELE HYDRAULIQUE

Un atlas de l'architecture du modèle est fourni en **annexe** au présent rapport.

### 5.4.1 Architecture générale du modèle du Gardon

Le modèle du Gardon s'étend de la plaine située à l'amont des gorges de la commune de Sainte-Anastasia jusqu'au droit du barrage CNR de Vallabrègues à l'aval de la ville de Comps. Il a été divisé en 3 entités aboutissant à la construction de 3 sous-modèles distincts :

- Modèle **GARAM** : Le Gardon ainsi que le Bourdic et leurs affluents, en amont de Russan jusqu'à l'entrée dans les gorges,
- Modèle **GARC** : Le Gardon des gorges de la commune de Sainte-Anastasia jusqu'au pont du Gard sur la commune de Remoulins,
- Modèle **GARAV** : Le Gardon du Pont du Gard jusqu'à l'aval du barrage de Vallabrègues, à l'aval de la ville de Comps.

Ces 3 sous-modèles sont **indépendants mais peuvent fonctionner simultanément comme un seul modèle global**. Le logiciel Hydrariv permet effectivement de raccorder les sous-modèles qui n'en constituent alors qu'un seul pendant la phase de calcul.

La figure ci-après présente le chevelu des cours d'eau modélisés ainsi que le découpage du modèle en 3 sous-modèles distincts.

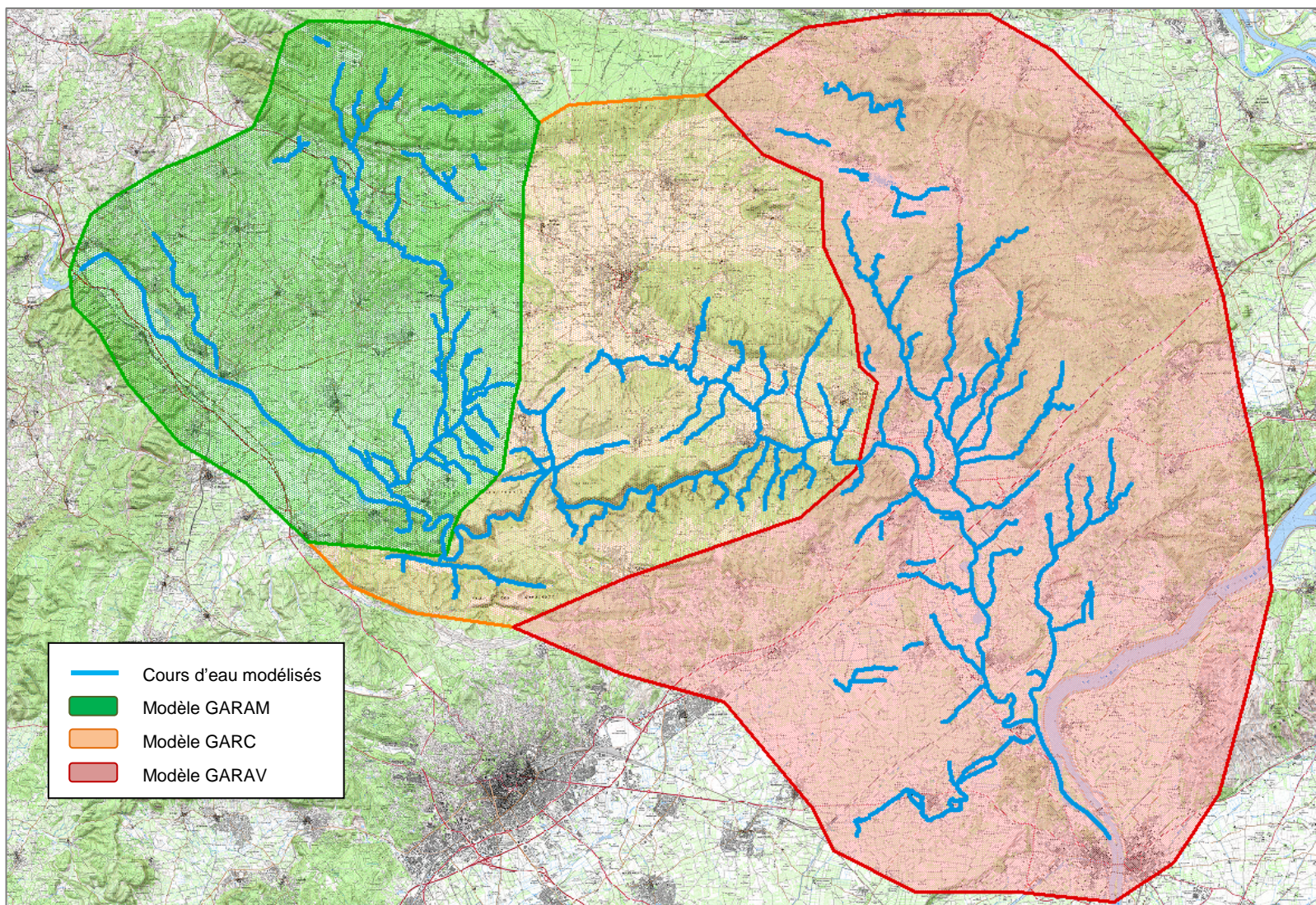


Figure 5.3 : Typologie du modèle du Gardon – Présentation des 3 sous-modèles distincts

L'emprise des 3 sous-modèles est la suivante :

- Le modèle **GARAM** s'étend du pont de la RN106 à Ners (station hydrométrique du SPC) jusqu'à l'entrée des gorges, au droit de la confluence du Gardon avec le ruisseau du Pontel. La limite amont du modèle se situe à plusieurs kilomètres en amont de la zone d'étude afin de fiabiliser la définition des apports hydrologiques amont :
  - Pour la crue de 2002, pour laquelle l'hydrogramme disponible à Russan est issu d'une extrapolation (cf. paragraphe 4.2.2),
  - Pour les événements de référence ; la station hydrométrique de Ners dispose en effet de 29 années d'observations, contre 9 pour la station de Russan.

Le Bourdic est intégré à ce modèle depuis la commune d'Aigaliers. Le Riançon, affluent principal du Bourdic, est modélisé quant à lui, depuis la commune d'Aubussargue. Des liaisons de surverses permettent de prendre en compte les éventuels échanges entre le Riançon et le Bourdic ainsi qu'entre le valat du Briançon et le Bourdic.

Les biefs et bras secondaires d'alimentation du Bourdic et du Gardon ont également été modélisés.

- Le modèle **GARC** s'étend de la confluence du ruisseau du Pontel avec le Gardon jusqu'à la sortie des gorges, à l'amont du pont du Gard.

L'Alzon est intégré à ce modèle depuis la commune d'Uzès. Le ruisseau des Seynes, affluent principal de l'Alzon, est modélisé quant à lui, depuis la commune de Sanilhac-Sagriès.

Les biefs et bras secondaires d'alimentation de l'Alzon et du Gardon ont également été modélisés.

- Le modèle **GARAV** s'étend de la fin des gorges, au niveau du pont du Gard, jusqu'au droit du barrage CNR de Vallabrègues sur le Rhône, à l'aval de la ville de Comps.

Le Briançon est intégré à ce modèle depuis la commune de Domazan. Des liaisons de surverses permettent de prendre en compte les éventuels échanges entre le Briançon et ses affluents, notamment la Rascasse et le Cruzas.

Les biefs et bras secondaires d'alimentation du Briançon et du Gardon ont également été modélisés.

#### 5.4.2 Emprise du modèle filaire

La liste des principaux biefs et des biefs secondaires représentés dans les modèles **GARAM**, **GARC** et **GARAV** est donnée en Annexe 7.

Les profils en travers représentant ces cours d'eau sont répartis à intervalle d'environ 200 m. L'ensemble des ponts et ouvrages hydrauliques permettant d'alimenter les différents biefs sont intégrés dans le modèle.

Les visites de terrain et le calage du modèle sur la crue de 2002 ont permis de retenir les coefficients de Strickler suivants :

- K= 18 à 32 pour le lit mineur du Gardon et des affluents principaux
- K= 6 à 12 pour le lit majeur du Gardon et des affluents principaux.
- K= 20 à 24 pour le lit mineur des affluents secondaires.
- K= 10 à 15 pour le lit majeur des affluents secondaires.

### 5.4.3 Modélisation du lit majeur

La modélisation adoptée pour les modèles **GARAM**, **GARC** et **GARAV** est :

- Soit de type **filaire à casiers** : le lit majeur est alors intégré dans les profils en travers. Des casiers sont modélisés dans les zones d'accumulation potentielles du lit majeur (derrière les remblais, routes...) pour représenter les écoulements avec faibles vitesses et faible pente de la ligne d'eau.

Les profils en travers du lit mineur levés par le géomètre en 2013 sont prolongés pour représenter le lit majeur à partir des données du LIDAR. Les lois de remplissage des casiers sont également déterminées à partir du LIDAR.

- Soit de type **bidimensionnelle** : le lit majeur est maillé. Le contour des mailles s'appuie sur les lignes de fracture contrôlant les écoulements (routes, remblais, digues, berges des cours d'eau, ruptures de pente du lit majeur ...).

Les mailles sont définies par une cote moyenne de fond et ont une largeur variant de 15 m pour les zones à forte pente à 450 m pour les plaines aval. Leurs caractéristiques sont calculées à partir du semis de point du LIDAR.

Les mailles sont connectées entre elles et aux biefs filaires par des liaisons hydrauliques de type frottement.

Les coefficients de rugosités ont été définis à partir des données d'occupation du sol de la BD Corine Land Cover et de la photographie aérienne. Les coefficients de Strickler suivants ont été retenus :

- 8 à 10 pour les surfaces boisées ou urbanisées,
- 40 pour les routes.
- 12 à 15 pour les surfaces agricoles cultivées ou non.

### 5.4.4 Conditions limites amont

La condition limite amont des modèles hydrauliques est constituée des hydrogrammes des crues de projet calculés par le modèle pluie-débit mis en œuvre lors de l'analyse hydrologique (cf.4.6).

### 5.4.5 Condition limite aval

La condition limite aval du modèle **GARAV** est située au droit de la confluence avec le vieux Rhône, en aval du barrage de Vallabrègues.

Les conditions limites aval des modèles amont et centre (**GARAM** et **GARC**) sont directement calculées à partir des résultats du modèle en aval auquel ils sont connectés (**GARAV** pour **GARC** et **GARC** pour **GARAV**).

## 5.5 CALAGE ET VALIDATION DU MODELE

### 5.5.1 Données de calage

Le calage du modèle du Gardon est réalisé sur la crue du 8 et 9 Septembre 2002, crue récente dont les conditions d'écoulements sont proches de celles d'aujourd'hui et pour laquelle on dispose du plus grand nombre de données qualitatives et quantitatives. Cette crue est par ailleurs la crue historique la plus forte connue sur la majorité du territoire étudié.

Les données utilisées pour le calage sont :

- Les hydrogrammes et limnigrammes enregistrés aux stations hydrographiques,
- Les zones d'inondation et conditions d'écoulement connues,
- Les repères de crue recensés.

Les hydrogrammes de la crue de 2002 aux différentes stations ont été récupérés auprès de la Banque Hydro, du SPC Grand Delta et des études antérieures (ISL, SOGREAH 2003). Ils ont servi à reconstituer l'hydrogramme d'entrée sur le Gardon (Ners) et à valider les apports hydrologiques et la dynamique de propagation de la crue (Russan et Remoulins).

Les données sur l'emprise des zones inondables et repères de crue ont été recueillis et synthétisés par le SMAGE des Gardons en 2006. Un dossier des fiches de repères de crue a été remis à Hydratec.

Au total, 296 repères de crue ont été recensés sur la zone d'étude. Le tableau suivant synthétise la répartition de ces derniers sur les 3 sous-modèles ainsi que leur fiabilité. A noter que cette fiabilité suit la classification suivante :

- Classe 0 : repères jugés incertains (incertitude ou absence de cote levées)
- Classe 1 : repères jugés fiable,
- Classe 2 : repères jugés peu fiables vis-à-vis de l'écoulement (cote levée incohérente par rapport aux cotes des repères de crues localement proches)

Modèle Fiabilité du repère	Nombre repères de crue
<b>GARAM</b>	<b>29</b>
0	4
1	25
<b>GARC</b>	<b>57</b>
0	14
1	41
2	2
<b>GARC</b>	<b>210</b>
0	18
1	186
2	6
<b>Total</b>	<b>296</b>

Tableau 5.1 : synthèse des repères de crue fiables sur l'ensemble du secteur d'étude

Ces repères de crues sont répartis sur le Gardon et ces principaux affluents comme suit :

- Sur le modèle **GARAM** : 29 repères dont 6 sur le Bourdic et 21 sur le Gardon ou son lit majeur.
- Sur le modèle **GARC** : 57 repères dont 19 sur l'Alzon et 28 sur le Gardon ou son lit majeur.
- Sur le modèle **GARAV** : 210 repères dont 9 sur le Briançon et 167 sur le Gardon ou son lit majeur.

L'ensemble de ces repères est listés en annexe 8.

### 5.5.2 Cas des aménagements réalisés après la crue de septembre 2002

Certains aménagements réalisés après la crue de 2002 ont dû être « effacés » du modèle afin de reproduire convenablement les niveaux d'eau observés lors de la crue. Il s'agit des travaux suivants :

- création d'un ouvrage de décharge sous la voie ferrée dans le lit majeur rive gauche du Gardon à Remoulins,
- reconstruction du seuil situé en amont de la RN100 qui avait été détruit lors de la crue de 2002,
- création d'un bassin écrêteur des crues du Briançon sur la commune de Théziers.

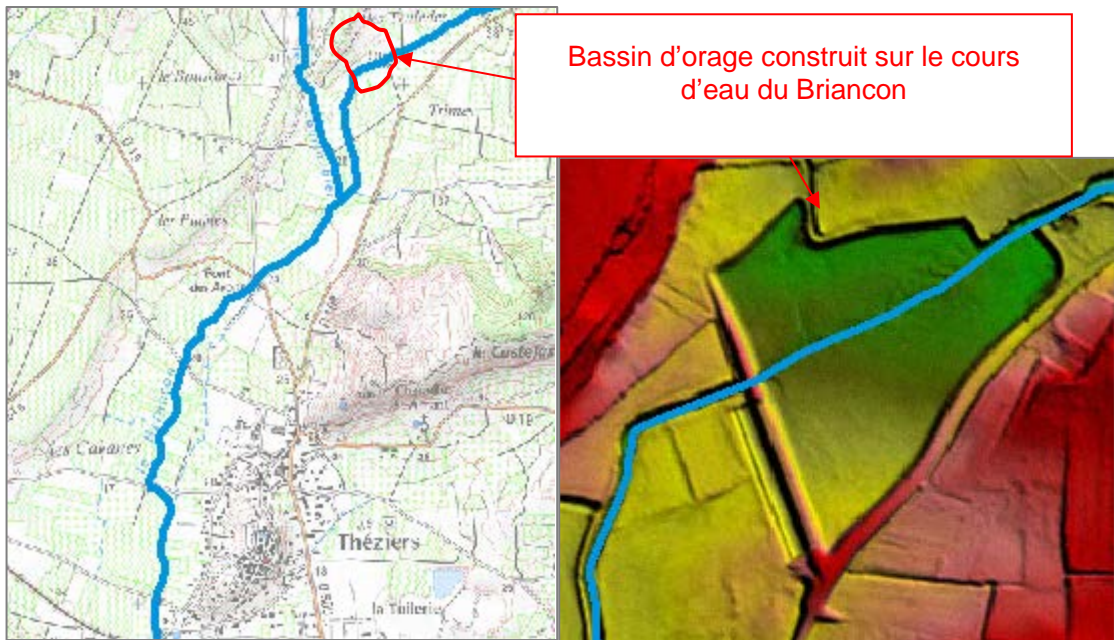


Figure 5.4 : Localisation du bassin d'orage construit sur le cours d'eau du Briançon depuis 2002

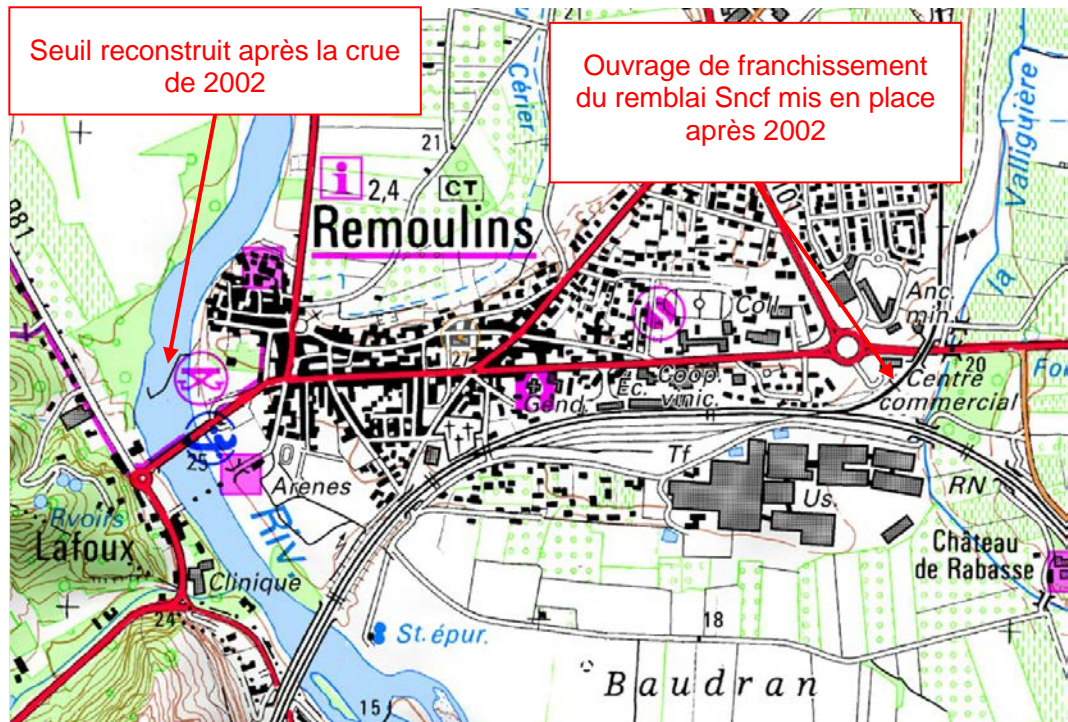


Figure 5.5 : Localisation du dalot mis en place sous le remblai SnCF à Remoulins après 2002

### 5.5.3 Résultats du calage

#### a) Hydrogrammes aux stations hydrométriques

Les figures ci-après présentent le détail des hydrogrammes et limnigrammes calculés et estimés aux différentes stations DREAL et SPC (cf § 4.2 Hydrométrie) :

- Ners : hydrogramme mesuré et hydrogramme injecté en amont du modèle
- Russan : hydrogramme reconstitué par Sogreah par rétro-propagation de l'hydrogramme mesuré à Remoulins,
- Remoulins : hydrogramme mesuré et hydrogramme calculé.

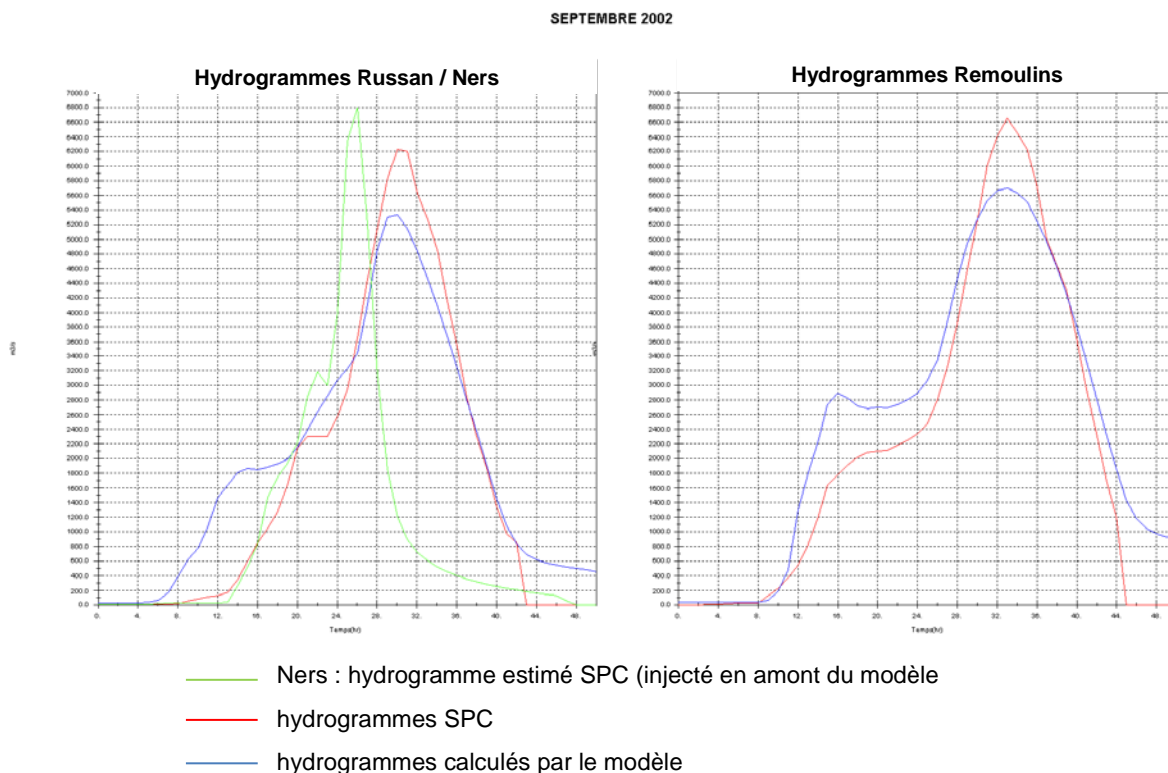


Figure 5.6 : Hydrogrammes de référence (reconstitué par SOGREAH) et hydrogrammes calculés par le modèle hydrariv au droit des stations SPC et Dreal à Remoulins et à Russan

Le débit de pointe calculé par le modèle hydrariv à Remoulins semble cohérent, et ce, même si il est sous-estimé par rapport aux estimations faites par SOGREAH (hydrogramme de référence). Il est important de rappeler ici que la modélisation SOGREAH en 2003 n'intégrait pas la dynamique de la crue à l'échelle du bassin versant.

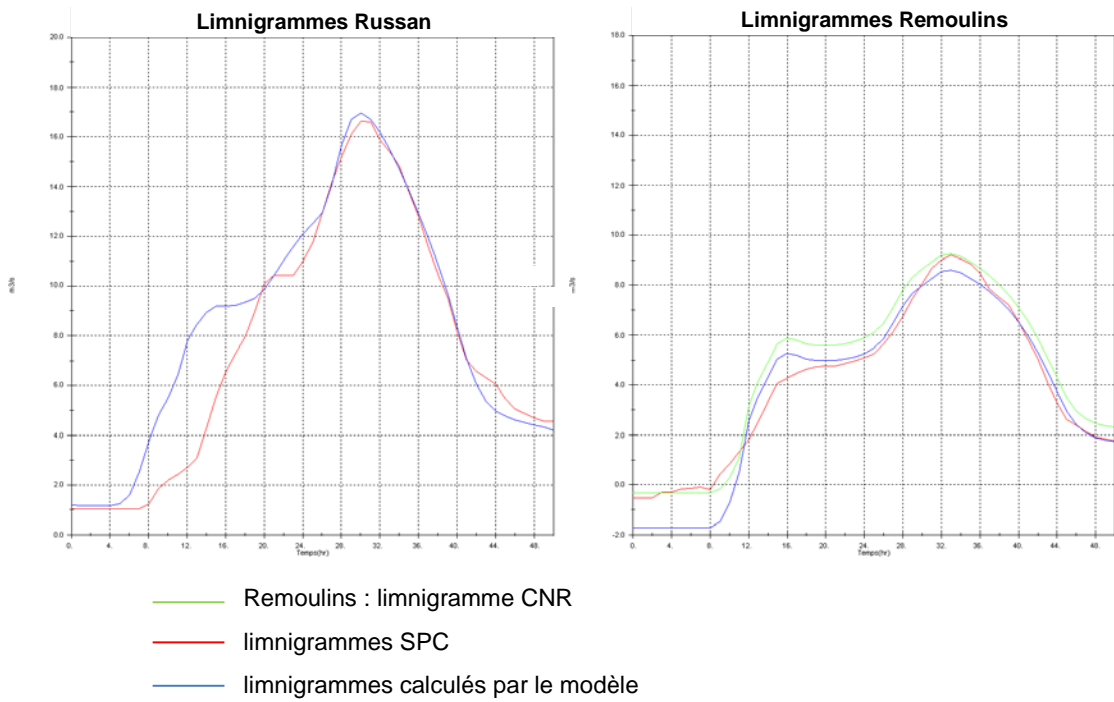


Figure 5.7 : Limnigrammes de référence et limnigrammes calculés par le modèle hydrariv au droit des stations SPC et Dreal à Remoulins et à Russan

## b) Résultats au niveau des repères de crues

La comparaison des cotes mesurées et calculées aux différents repères de crue est donnée en Annexe 8-1. Le tableau suivant présente un extrait des résultats pour le modèle GARAM :

Nom_Originel	Z_PHE_mesuree	Fiabilite_repere	Commune	Z_PHE_Calculée (m. NGF)	Ecart dz = Zmes-Zcal (cm)
Bourdic R3 12	82.81	1	Bourdic	82.68	13
Bourdic R3 13	83.46	1	Bourdic	83.15	31
Bourdic R3 14	82.23	1	Bourdic	82.02	21
Dions R3 40	67.14	1	Dions	67.48	-34
Dions R3 41	67.4	1	Dions	67.44	-4
gav_205	67.487	0	SAINTE-ANASTASIE	67.43	5.7
gav_206	66.968	1	SAINTE-ANASTASIE	66.57	39.8
gav_207	67.066	1	SAINTE-ANASTASIE	67.21	-14.4
gav_208	67.116	1	SAINTE-ANASTASIE	67.21	-9.4
gav_209	67.241	1	SAINTE-ANASTASIE	67.25	-0.9
gav_210	67.215	1	SAINTE-ANASTASIE	67.25	-3.5
gav_355	67.371	1	DIONS	67.44	-6.9

<b>Fiabilité :</b> 0 : peu fiable 1 : fiable 2 : peu fiable pour l'écoulement
--

La précision des repères de crues varie de quelques centimètres à 1.5 - 2m. Les différences entre les niveaux d'eau historiques et les niveaux calculés peuvent s'expliquer par les facteurs suivants :

- Repère de crue sous-estimé ou surestimé,
- Paramètre hydraulique local non connu tel que des embâcles ou des positions de vannes.

Les profils en long du Gardon au droit de Russan, Remoulins et Montfrin sont donnés en pages suivantes. Ils permettent d'apprécier le calage altimétrique de la ligne d'eau du Gardon sur l'ensemble du linéaire modélisé pour la crue de référence ainsi que le caractère incertain des repères de crue localement sous-estimés ou surestimés.

Les profils en long des affluents du Gardon possédant des repères de crue pour l'évènement de 2002 sont regroupés en Annexe 8-2. Il s'agit :

- de l'Alzon,
- du Bourdic,
- du Briançon,
- du Riançon,
- de la Valliguières.

## Crue 2002 - Calage - Le Gardon à Russan

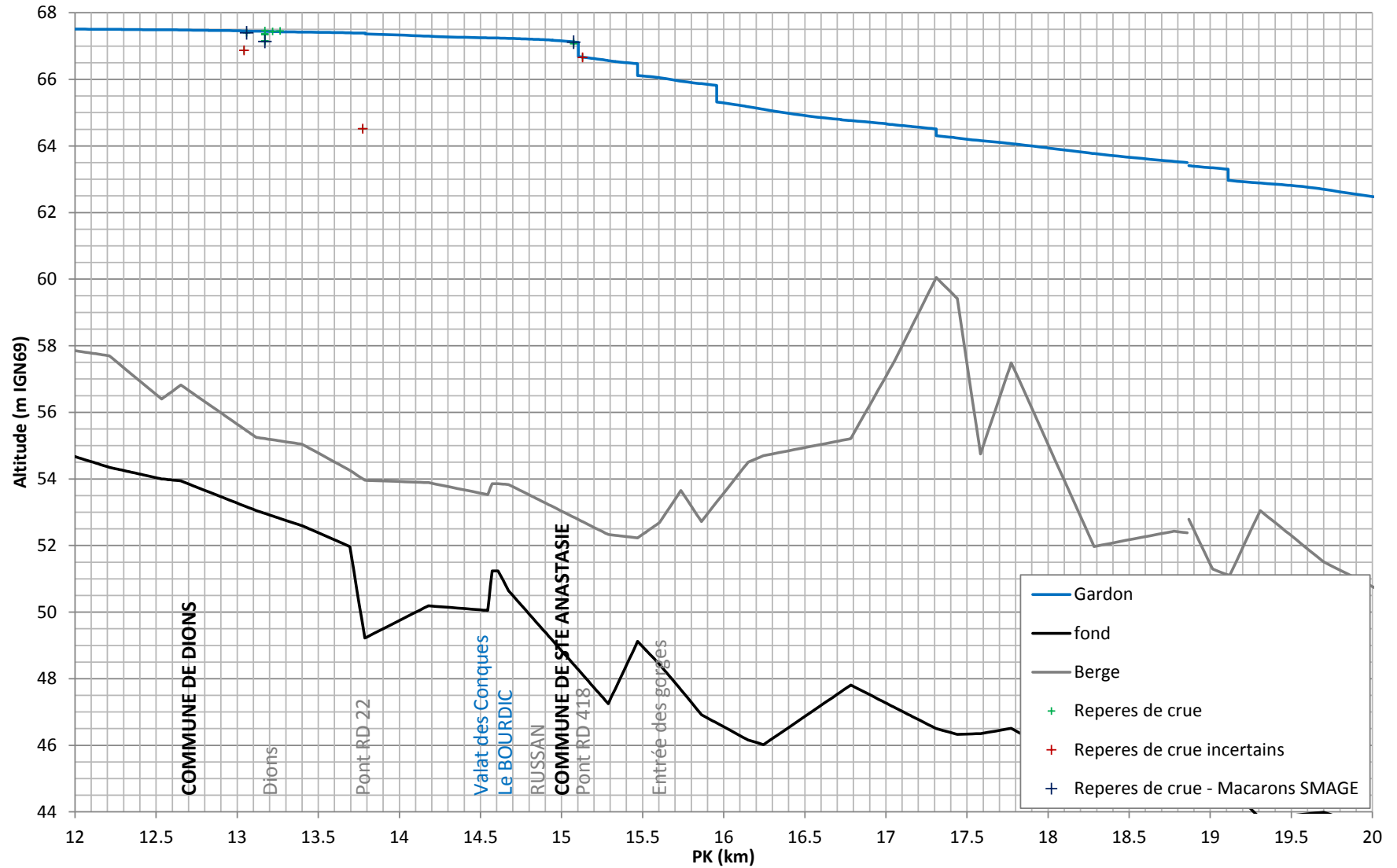


Figure 5.8 : Profils en long du Gardon pour la crue 2002 au droit de Russan sur la commune de Ste-Anastasie

## Crue 2002 - Calage - Le Gardon de Remoulins

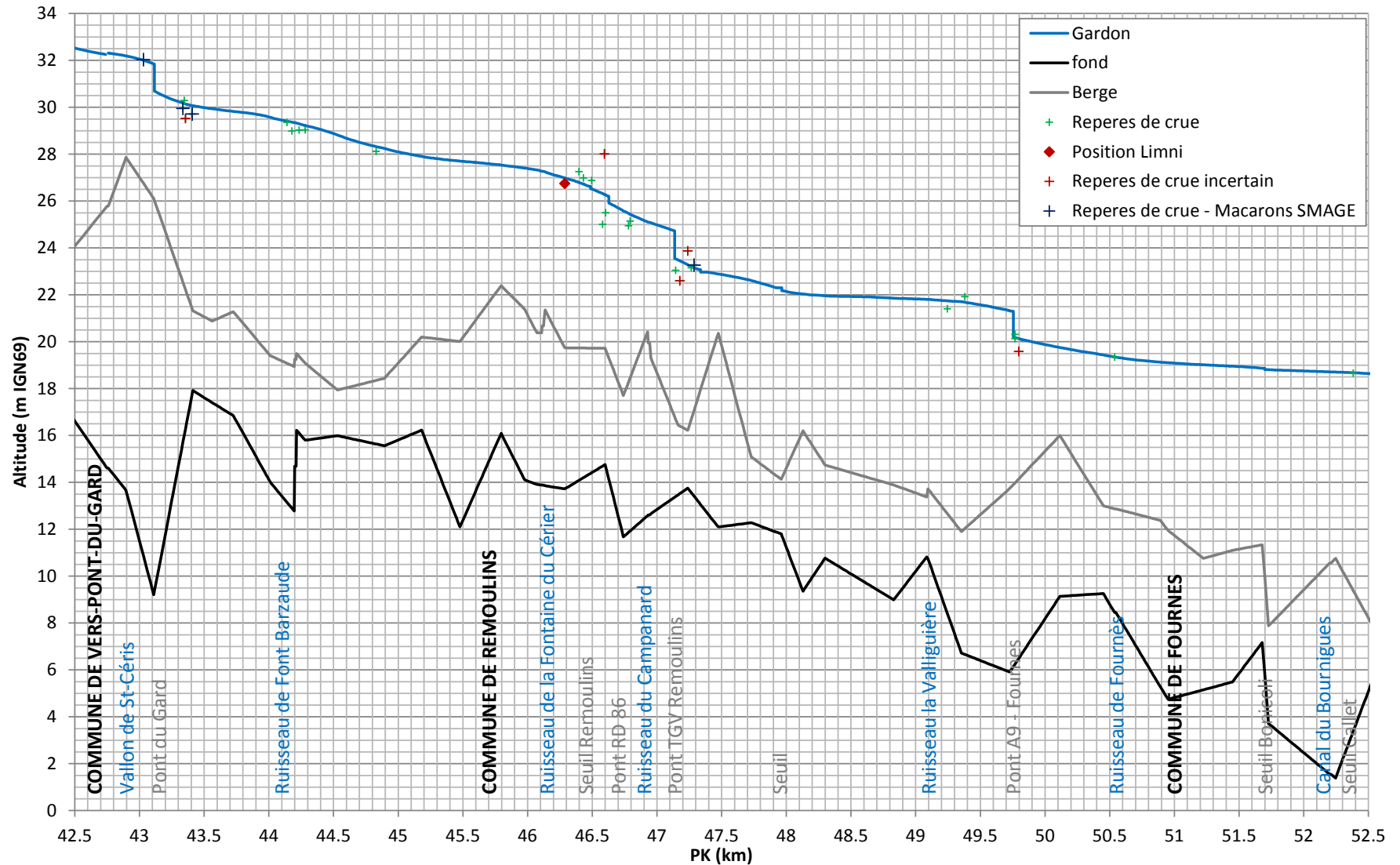


Figure 5.9 : Profils en long du Gardon pour la crue 2002 au droit de la commune de Remoulins

## Crue 2002 - Calage - Le Gardon à Montfrin

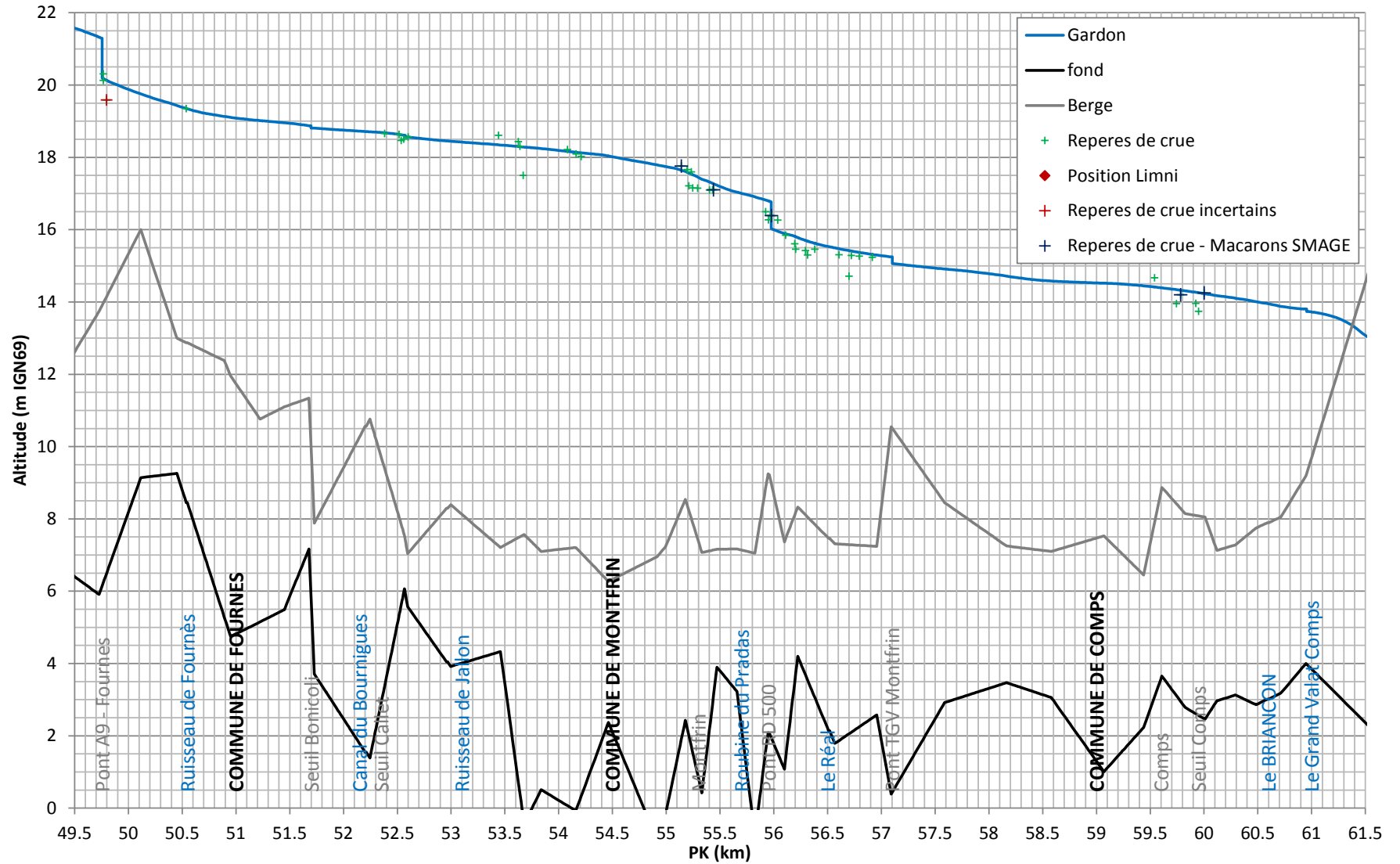


Figure 5.10 : Profils en long du Gardon pour la crue 2002 au droit de la commune de Montfrin



### c) Zones d'inondation et conditions d'écoulement

Les cartes 1/25000 présentés dans l'atlas « *Cartographie de l'évènement de 2002 – Résultats du calage* », et couvrant l'ensemble de la zone d'étude, synthétisent, pour chaque commune, les éléments concernant les zones d'inondation et les conditions d'écoulement ayant servis au calage.

En outre, l'emprise des zones inondées pour la crue de référence de 2002 est complétée, sur ces cartes, par les données suivantes :

- hauteurs d'eau pour la crue de 2002,
- orientation et vitesse de l'écoulement,
- cote observée et écart à la cote calculée sous hydrariv au niveau des repères de crue.

La figure ci-après présente un extrait de l'atlas fourni avec le présent rapport.

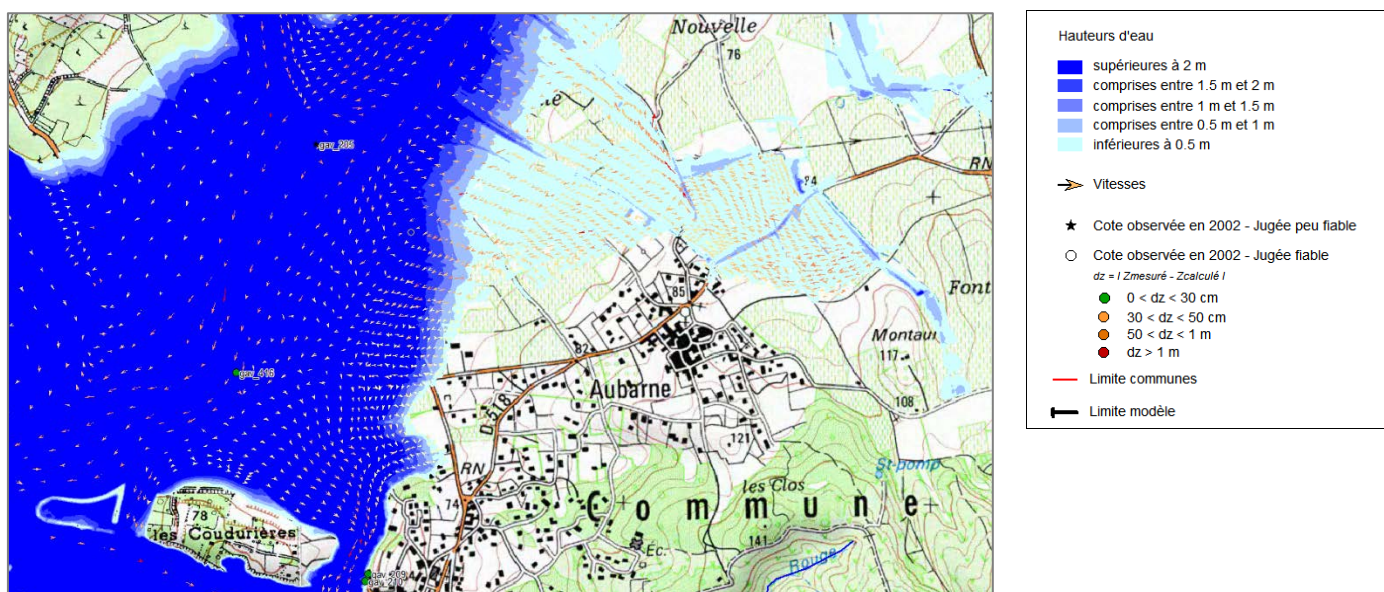


Figure 5.11 : Extrait de l'atlas « *Cartographie de l'évènement de 2002 – Résultats du calage* »

### d) Cas particulier de Remoulins

Le calage du modèle hydraulique au niveau de Remoulins est réalisé sans tenir compte de l'ouvrage de décharge mis en place sous la voie ferrée postérieurement à la crue de 2002.

Le profil en long suivant montre l'influence de cet ouvrage sur la ligne d'eau reconstituée par le modèle calé pour l'évènement de 2002 dans la situation actuelle. Ainsi, la présence de l'ouvrage abaisse les niveaux en amont de la voie ferrée d'environ 2 m.

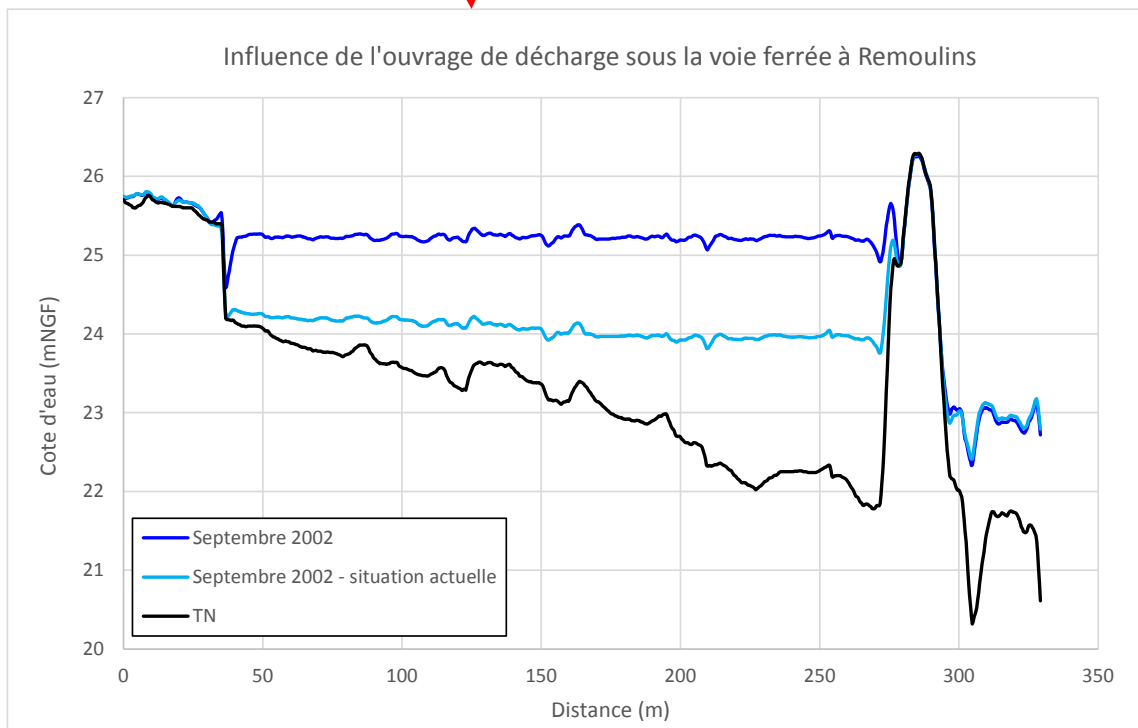
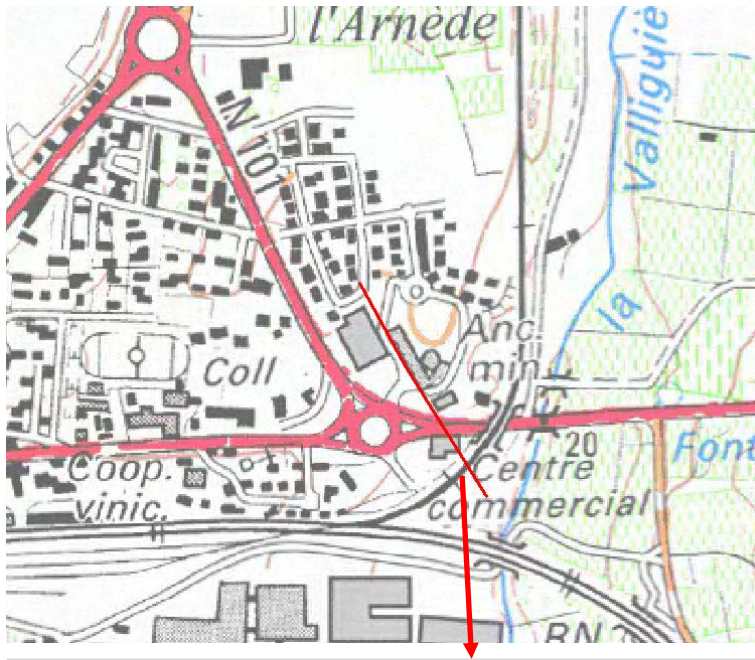


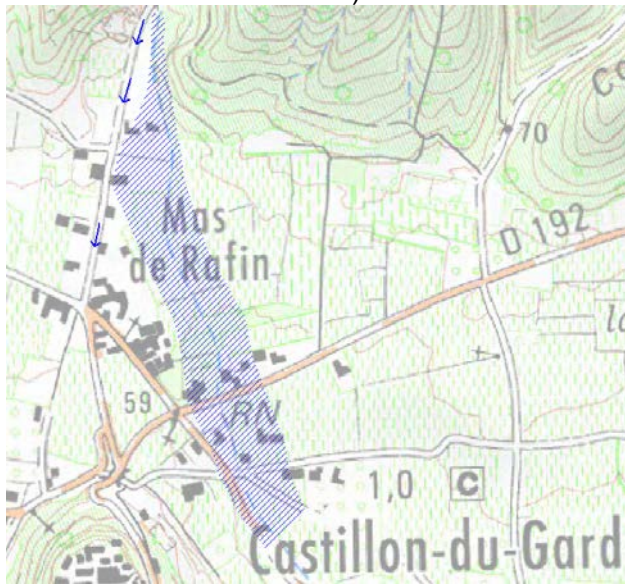
Figure 5.12 : Influence de l'ouvrage de décharge sous la voie ferrée à Remoulins

**e) Cas particulier de la combe de Vayer à Castillon du Gard et du ruisseau de Larrière**

L'analyse des éléments d'observations disponibles sur les écoulements de la **combe de Vayer** en septembre 2002 sont très partiels (absence de repères de crue côtés notamment), mais laissent penser que l'emprise calculée par le modèle est sur estimée.

Les éléments d'observations disponibles, recueillis lors des enquêtes préalables aux études techniques et complétés lors des différentes étapes de concertation sont les suivants :

- Délimitation approximative des zones inondées au droit du Mas Rafin (établie en mars 2012 avec M. le Maire) :



- Présence d'un écoulement marqué sur le chemin de la combe de Vayer, mais à priori sans débordements vers l'ouest de ce chemin,
- Surverse sur la RD192 (route de Saint Hilaire) ; la hauteur d'eau maximale estimée compte tenu de l'emprise latérale définie précédemment est de l'ordre de 1 m,
- Maison de M. le Maire (en 2012) inondée par la crue,
- Une maison identifiée plus au sud n'a pas été inondée (sur le ruisseau de Larrière).

La ligne d'eau calculée pour l'événement de septembre 2002 sur la partie **amont du ruisseau de Larrière** semble également légèrement surestimée, notamment dans la traversée de Valliguières où nous disposons de 2 repères de crue localisés sur la carte ci-dessous.



Figure 13 : Repères de la crue de septembre 2002 à Valliguières.

Le tableau ci-dessous compare les cotes calculées et mesurées en ces points pour la crue de septembre 2002.

	Cote mesurée	Cote calculée	Ecart
Gav_377	127.57	127.77	+ 20 cm
Gav_377	127.23	127.46	+ 23 cm

Cette sur-estimation des emprises inondées calculées pour l'événement de septembre 2002 est la conséquence d'une sur-estimation locale des débits écoulés sur cette combe, pouvant être liée au fonctionnement de systèmes karstiques très mal connus ou à une sur-estimation locale de la pluviométrie.

Elle peut être circonscrite à la combe de Vayer depuis sa source jusqu'à sa confluence avec le ruisseau de Larrière, ainsi que sur le ruisseau de Larrière de sa source à la RN86 à Castillon du Gard.

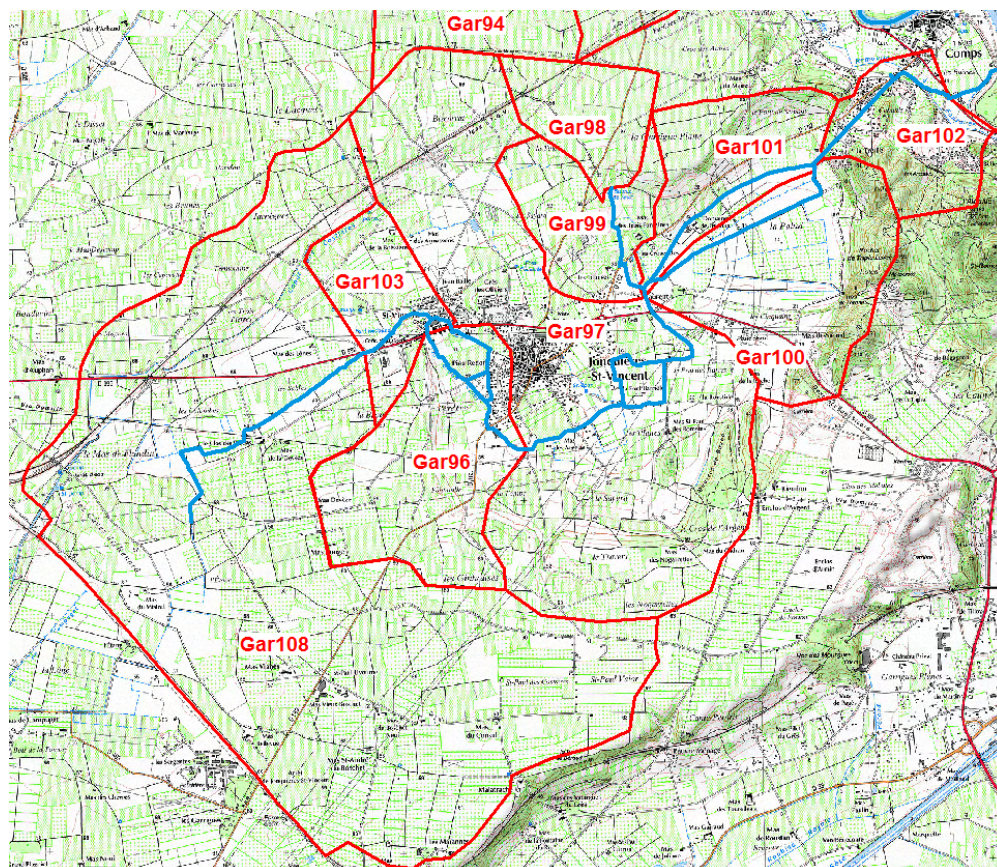
Les repères de crue disponibles sur le ruisseau de Larrière en aval de la RD702 permettent de valider la modélisation numérique sur ce linéaire ; les incertitudes sur les débits de la tête de bassin versant deviennent peu significatives au regard du débit total du ruisseau de Larrière, grossi par les apports des bassins versants descendant de Saint Hilaire. La ligne d'eau se retrouve ensuite de plus en plus influencée par la crue du Gardon.

Ces éléments seront pris en compte pour l'élaboration de la carte d'aléa (cf. 6.1).

#### **f) Cas particulier de Jonquières Saint Vincent**

- Hypothèses relatives à la définition des apports hydrologiques amont :

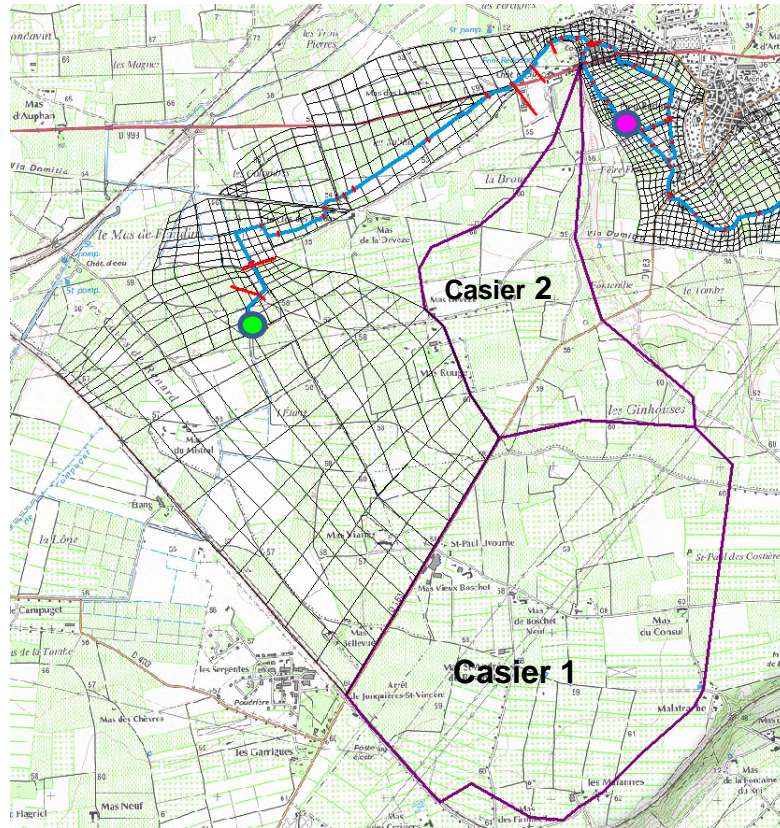
La carte ci-dessous présente les sous bassins versants du Grand Valat en amont et à hauteur de Jonquières Saint Vincent.



Les apports de la partie sud-ouest de la voie ferrée (et du bassin versant GAR108) sont considérés comme déconnectés du Grand Valat (vanne de campuget fermée).

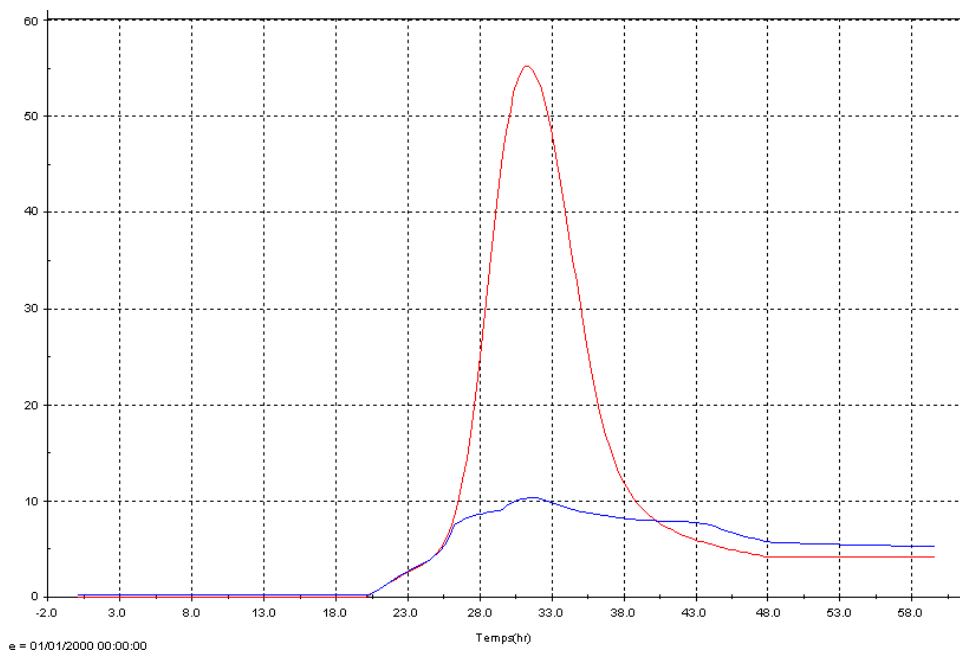
Le bassin versant amont (GAR108 et GAR96) est un vaste plateau qui se caractérise par des terrains relativement perméables et une morphologie pouvant entraîner un écrêtement sensible des débits de pointe écoulés vers l'aval (zones de dépression du terrain naturel, faiblesse des pentes et largeur des zones d'expansion de crue).

Le modèle hydraulique est ainsi prolongé vers l'amont afin d'intégrer précisément l'écrêtement des apports de ces bassins versants.



Les apports (issus de la modélisation pluie – débit) du bassin versant GAR108 sont ainsi répartis entre le casier 1 (40%) et le Grand Valat (60%, point vert) et les apports du bassin versant GAR96 sont répartis entre le casier 2 (50%) et le Grand Valat (50%, point rose).

Le graphique ci-dessous superpose l'hydrogramme brut issu de la modélisation pluie – débit (en rouge) et l'hydrogramme propagé par le modèle hydraulique au droit du point vert. Le débit de pointe est ainsi écrêté de 50 m<sup>3</sup>/s à 10 m<sup>3</sup>/s.



Cet écrêtement est principalement du :

- A la RD163 (qui longe le casier 1 à l'ouest), dont le remblai accroît le rôle de stockage naturel créé par la dépression du terrain naturel en amont,
  - A l'étalement des eaux sur le plateau en amont du Grand Valat.
- Hypothèses relatives au fonctionnement des ouvrages hydrauliques

Les ouvrages hydrauliques existants sont intégrés dans le modèle, depuis la vanne de Redessan en amont. Les ouvrages mobiles sont systématiquement considérés ouverts, à l'exception de la vanne de la Palud dont la gestion est détaillée ci-dessous.

En aval de la traversée de Jonquières Saint Vincent, le Grand Valat contourne l'ancien étang de la Palud puis s'écoule dans un tunnel qui achemine gravitairement les eaux vers Comps. A Comps, le tunnel se rejette dans un canal (la Roubine) ; en cas de crue forte du Gardon :

- afin d'éviter le remous du Gardon dans la Roubine, une vanne isole ces deux cours d'eau et une station de relevage assure l'évacuation des eaux de la Roubine,
- une vanne permet de fermer l'alimentation du tunnel du Grand Valat et de décharger les eaux vers l'ancien étang de la Palud.

Ces ouvrages et leurs règles de gestions sont intégrés au modèle. Pour une pluie donnée, le niveau de remplissage de la Palud est ainsi fortement dépendant du niveau du Gardon considéré.

Une étude hydraulique détaillée du fonctionnement du Grand Valat a été réalisée par BRL en 2005 - 2007. Les modélisations hydrauliques mises en œuvre pour caractériser les inondations considèrent l'exutoire de la Palud fermé.

La surface de bassin versant active prise en compte pour l'estimation des hydrogrammes de crue est en revanche plus réduite que celle prise en compte dans le cadre de la présente étude, puisque les apports des bassins versants GAR108 et GAR96 (cf. ci-dessus) ne sont pas pris en compte, considérant que la totalité de la pluie interceptée est infiltrée (nature des sols, faibles pentes et nombreuses dépressions). Aucun élément ne permet cependant de justifier une telle hypothèse pour les pluies de projet considérées.

#### 5.5.4 Validation

Le modèle est validé sur les deux événements de novembre 2008 et novembre 2011.

Les données pluviométriques et hydrométriques ont été fournies par le SPC Grand Delta. Notons que pour ces deux événements, les apports intermédiaires entre Ners et le Rhône sont relativement modestes, les crues étant largement formées à Ners.

Ces crues n'étant pas débordantes sur le secteur d'étude, nous ne disposons que des mesures effectuées au droit des stations hydrométriques.

Les figures ci-après présentent le détail des hydrogrammes et limnigrammes calculés et estimés aux différentes stations DREAL et SPC.

NOVEMBRE 2008

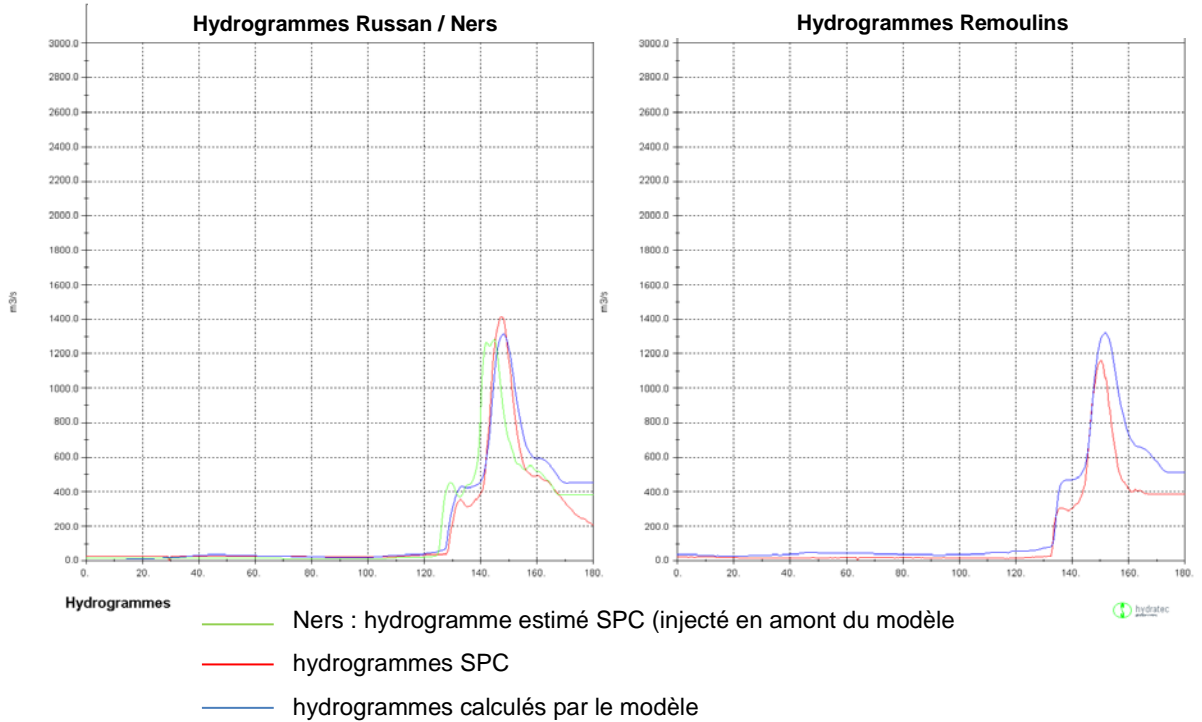


Figure 5.14 : Hydrogrammes de référence et hydrogrammes calculés par le modèle hydrariv pour la crue de novembre 2008 au droit des stations SPC et Dreal à Remoulins et à Russan

NOVEMBRE 2008

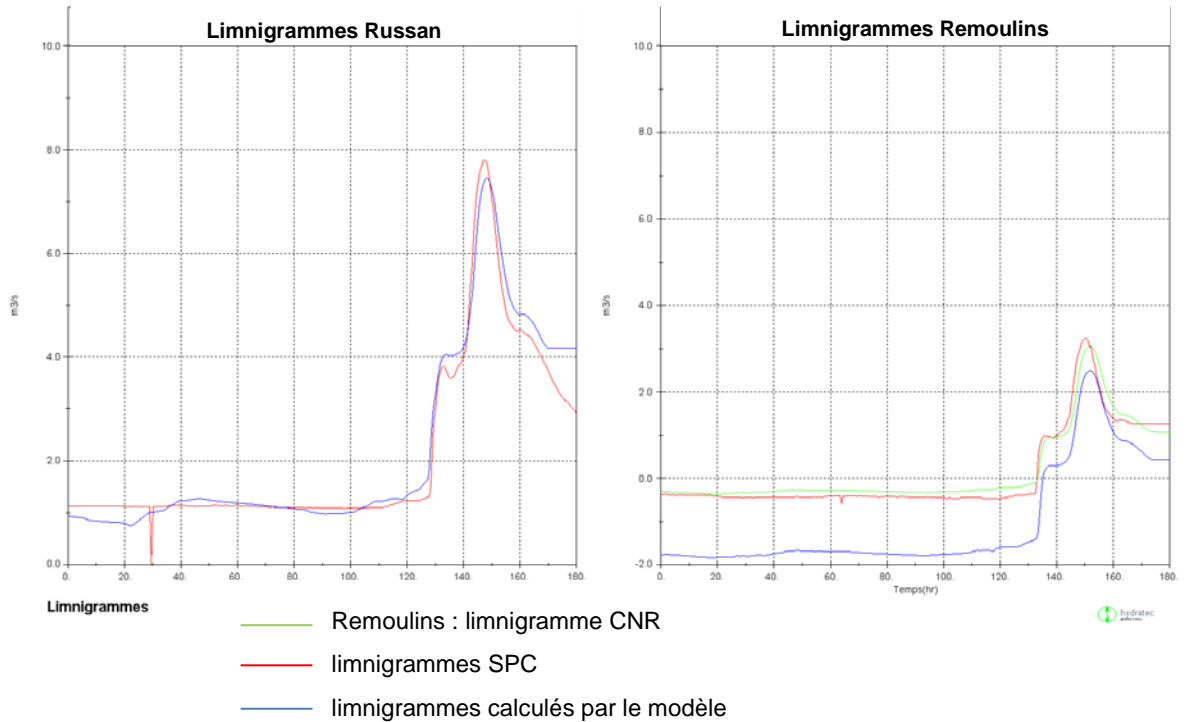


Figure 5.15 : Limnigrammes de référence et limnigrammes calculés par le modèle hydrariv pour la crue de novembre 2008 au droit des stations SPC et Dreal à Remoulins et à Russan

NOVEMBRE 2011

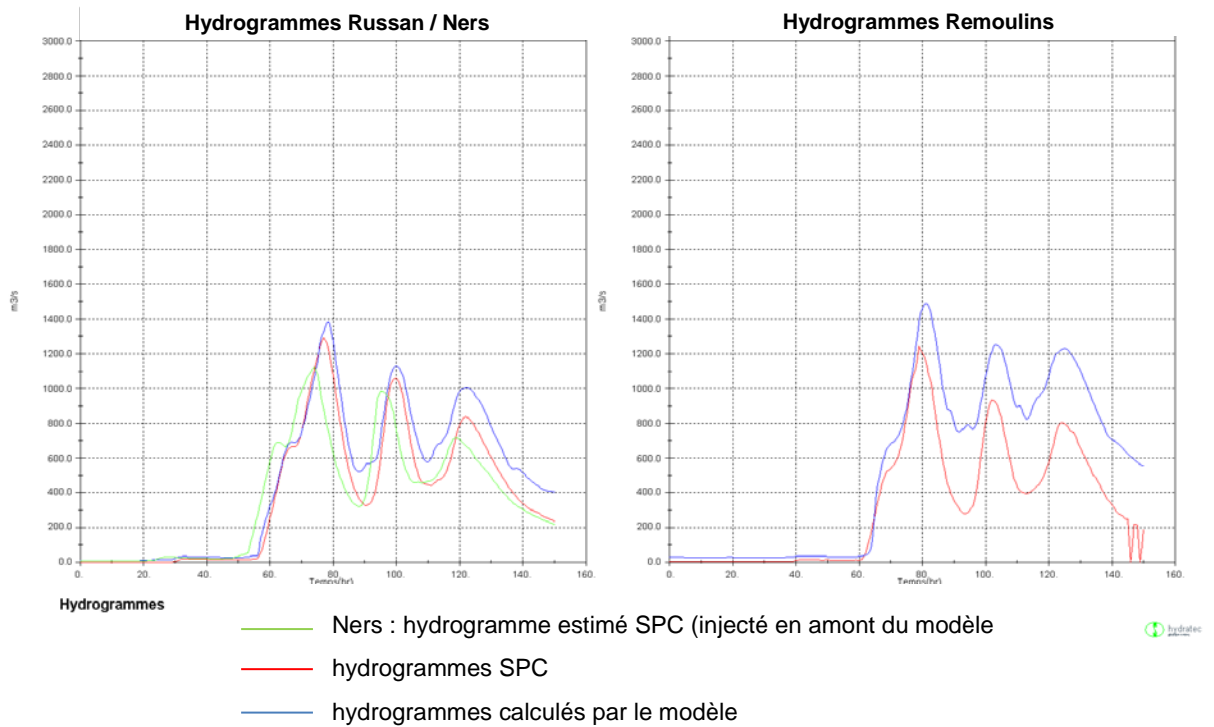


Figure 5.16 : Hydrogrammes de référence et hydrogrammes calculés par le modèle hydrariv pour la crue de novembre 2008 au droit des stations SPC et Dreal à Remoullins et à Russan

NOVEMBRE 2011

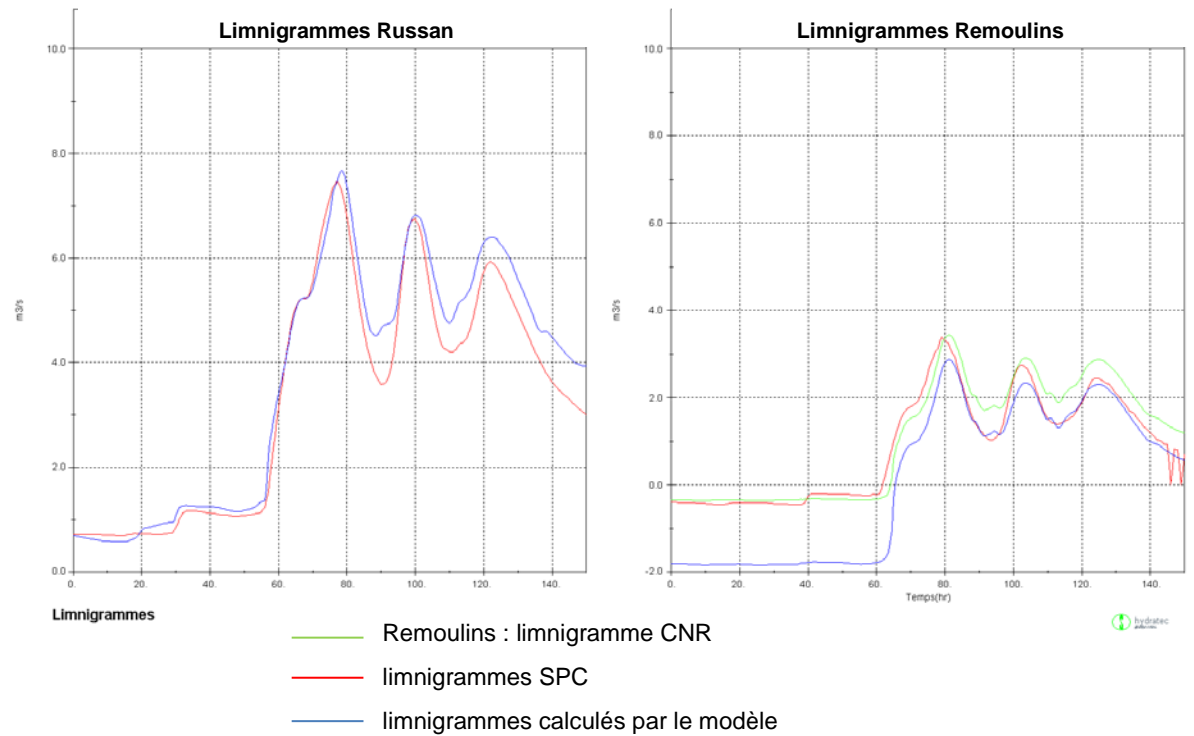


Figure 5.17 : Limnigrammes de référence et limnigrammes calculés par le modèle hydrariv pour la crue de novembre 2011 au droit des stations SPC et Dreal à Remoullins et à Russan

La comparaison des hydrogrammes et limnigrammes calculés et mesurés au droit des stations hydrométriques pour ces deux événements permet de valider le calage des modèles hydrauliques et hydrologiques effectué pour la crue de septembre 2002 :

- sur la dynamique de propagation des hydrogrammes,
- sur les hauteurs d'eau au droit des stations hydrométriques.

## 6 LES CARTOGRAPHIES DES ZONES INONDABLES

Le modèle hydraulique fournit pour chaque scénario modélisé en chaque nœud et pour chaque pas de temps de calcul une cote d'eau et une vitesse d'écoulement. Ces éléments permettent d'extraire les valeurs maximales atteintes en chaque nœud de calcul et de définir un Modèle Numérique de Ligne d'Eau (MNLE) sous forme de grille à un pas d'espace identique au MNT.

Un croisement entre le MNLE et le MNT est ensuite réalisé pour définir une grille des hauteurs de submersion qui permet de définir l'emprise des zones inondables et les classes d'iso-hauteurs de submersion.

### 6.1 CARTOGRAPHIE DE L'ALEA DE REFERENCE DU PPRI

#### 6.1.1 Définition de l'évènement de référence

La cartographie de l'aléa des PPRI doit être établie sur la base de l'évènement historique le plus fort connu ou si sa période de retour est inférieure à 100 ans sur la base d'une crue centennale reconstituée.

L'aléa correspond ainsi à l'enveloppe maximale des différents scénarios de pluies centennales (cf. 4.8) et de l'évènement de septembre 2002 modélisés.

De plus, un évènement correspondant à une crue centennale du Gardon amont est simulé en considérant que les apports des bassins versants du Gardon aval et de ses affluents sont nuls (évènement pluviométrique centré sur la tête de bassin versant). Cette simulation (P100-propag) est réalisée en injectant en amont du modèle l'hydrogramme de crue centennale défini à Ners dans le paragraphe 4.8 ; le débit calculé à Remoulins pour ce scénario est très proche du débit centennial estimé par l'analyse statistique (cf. § 4.5).

Le tableau suivant synthétise les différents scénarios de simulation et précise les conditions limite amont et aval retenues pour chaque cas de figure.

Scénarios	Scénario hydrologique (Gardon aval)	Condition limite amont (Gardon amont)	Condition limite aval (Rhône)
P100-2h	Pluie centennale 48 h de durée intense 2h	Q10	Q10
P100-3h	Pluie centennale 48 h de durée intense 3h	Q10	Q10
P100-4h	Pluie centennale 48 h de durée intense 4h	Q10	Q10
P100-6h	Pluie centennale 48 h de durée intense 6h	Q10	Q10
P100-12h	Pluie centennale 48 h de durée intense 12h	Q10	Q10
P100-propag	-	Q100 (Ners)	Q10
S02-actu	Evènement de septembre 2002	Evènement de septembre 2002	Evènement de septembre 2002

Tableau 6.1 : caractéristiques des scénarios modélisés pour la définition de l'aléa de référence

### 6.1.2 Précisions sur l'événement de septembre 2002

Le modèle exploité considère les conditions actuelles d'écoulement. Les aménagements majeurs construits suite à la crue de septembre 2002 sont notamment pris en compte :

- création d'un ouvrage de décharge sous la voie ferrée dans le lit majeur rive gauche du Gardon à Remoulins,
- reconstruction du seuil situé en amont de la RN100 qui avait été détruit lors de la crue de 2002,
- création d'un bassin écrêteur des crues du Briançon sur la commune de Théziers.

Le PPRI, en tant que document dont un des objectifs est la sécurité des personnes et des biens, n'intègre pas les éléments de nature à atténuer le risque et dont le fonctionnement ne peut être garanti lors de la survenue d'un événement pluvieux majeur, tels que les Karsts.

La modélisation de la crue de septembre 2002 s'appuie ainsi sur les données de pluviométrie mesurées (cf. §4.3), mais ne tient pas compte des effets de stockage potentiels des Karsts qui ont pu jouer un rôle dans l'atténuation de la crue observée. La crue de septembre 2002 modélisée et prise en compte pour la cartographie de l'aléa peut ainsi être supérieure aux observations faites lors de cet événement.

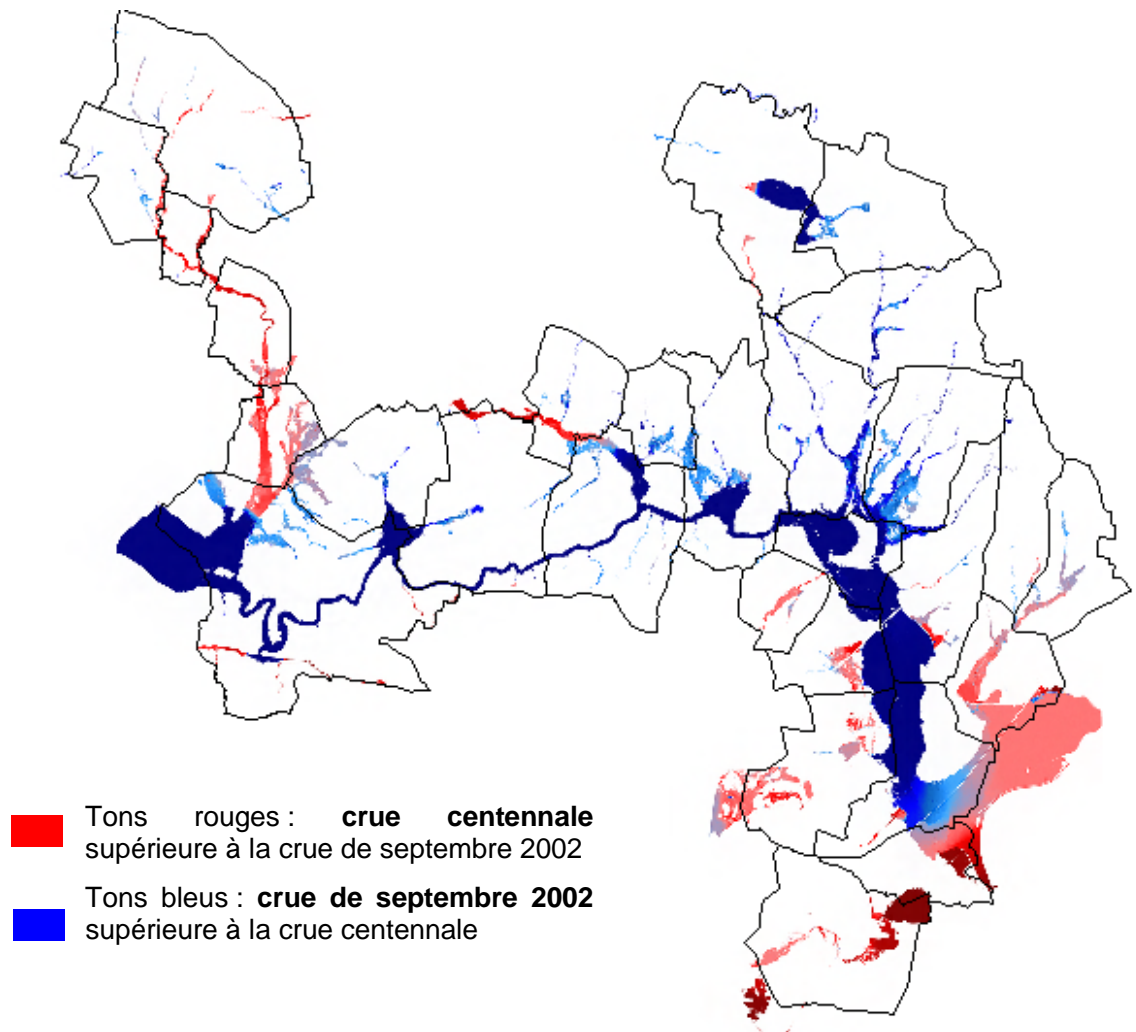
### 6.1.3 Caractérisation des niveaux d'aléa

Deux classes d'aléa sont définies, suivant les hauteurs d'inondation :

- **aléa modéré** : hauteurs d'eau inférieures à 50 cm,
- **aléa fort** : hauteurs d'eau supérieures à 50 cm.

Un **aléa résiduel** est défini au droit des secteurs de lit majeur ressortant de l'analyse hydrogéomorphologique (cf. chapitre 3) mais non inondés par la modélisation numérique. Ils peuvent être inondables pour un événement supérieur à la crue de référence.

La figure ci-après présente les différences de hauteurs d'eau calculées entre l'événement de septembre 2002 et l'enveloppe maximale des différents scénarios de pluies centennale ; la crue de référence retenue correspond ainsi à la crue de septembre 2002 sur les secteurs en bleu et à un événement centennal sur les secteurs en rouge.



*Figure 6.1 : Crue de référence sur le modèle global – Analyse des hauteurs d'eau calculées*

Une carte présentée en annexe synthétise l'analyse effectuée sur les débits et hauteurs d'eau calculées pour les crues 2002 et centennale en tout point du modèle.

Le tableau suivant présente, pour les communes appartenant au secteur d'étude, la ou les crues de référence des cours d'eau les traversant.

Commune	Cours_eau	Qref
<b>AIGALIERS</b>	Bourdic	Q100
	Bourdic amont	Q100
	Combe Font Cerrier	S02
	Lisson	Q100 S02
	Ruisseau d'Aigues Vives	Q100
	Ruisseau de la Combe de Pousselargues	S02
	Ruisseau de la Fond du Buis amont	S02
	Ruisseau de la Font du Buis	Q100
	Ruisseau de Trévadou	S02
	Ruisseau des Près	S02
	Ruisseau des Vignasses	S02
	Ruisseau du Bourdiguet	Q100
	Ruisseau du Bourdiguet amont	Q100
	Valat d'Arrier	Q100
	<b>ARGILLIERS</b>	Combe de Marchide
Rieu		S02
<b>AUBUSSARGUES</b>	Bourdic	Q100
	Ruisseau le Riançon	Q100
	Valat la Gardette	Q100
<b>BARON</b>	Bourdic	Q100
	Bourdic amont	Q100
	Combe de l'Homme Mort	S02
	Ruisseau de Fontcouv	Q100
	Valat du Briançon	S02
<b>BLAUZAC</b>	Combe de la Treille	S02
	Font de Jean Point	S02
	Le Riau	S02
	Ruisseau de Listerne	Q100
	Ruisseau de Villeneuve	S02
	Valat de Bouchet	S02
	Valat des Pontils	S02
<b>BOURDIC</b>	Bourdic	Q100
	Ruisseau de Larriere	Q100
	Ruisseau du Friquet	Q100
	Ruisseau le Riançon	Q100
	Valat le Rouqis	Q100
<b>CASTILLON-DU-GARD</b>	Combe de Vayer	S02
	Combe du Merle	S02
	Combe Les Rozières	S02
	Ruisseau de Font Barzaude	S02

	Ruisseau de Larrière	S02
	Vallon du Loup	S02
<b>COLLIAS</b>	Combe de Beaumont	S02
	Combe de l'Hermitage	Q100 S02
	Combe des Coufines centre	S02
	Combes des Coufines	S02
	Combes des Coufines Est	S02
	Valat de Campalong	S02
	Vallon de Fressinière	S02
	<b>COMPS</b>	Le Grand Valat (Ancien lit)
<b>DOMAZAN</b>	Le Briançon	Q100 S02
	Maïre	Q100 S02
<b>ESTEZARGUES</b>	La Rascasse - le Crouzas	S02
	Le Courloburier	Q100
	Ruisseau d'Estézargues	Q100 S02
	Trou des Camisards	S02
<b>FOISSAC</b>	Bourdic	Q100
	Valat d'Arrier	Q100 S02
<b>FOURNES</b>	Combe de Mars	Q100 S02
	Grand Combe	S02
	Ruisseau de Fournès	Q100 S02
	Ruisseau de Jallon	Q100
<b>JONQUIERES-ST-VINCENTNT</b>	Le Grand Valat Jonquieres	Q100
	Ruisseau de Tavie	Q100
<b>LA CAPELLE-ET-MASMOL</b>	Combe de Vayer	S02
	Combe du Péras	Q100 S02
	Combe Monticaud	S02
	Combe Serre de Barjac	S02
	La Veyre	S02
	L'Alzon	S02
	Ruisseau le Plan	Q100
<b>MEYNES</b>	Ruisseau de Pazac Nord	Q100
	Ruisseau de Pazac Sud	Q100
	Ruisseau du Valadas	S02
<b>MONTFRIN</b>	Le Réal	Q100
<b>POUZILHAC</b>	Combe Viaube	S02

	Ruisseau de Larrière	S02
	Ruisseau Gajan	S02
	Ruisseau Panély	S02
<b>SAINT-BONNET-DU-GARD</b>	Fossé des Garrigues	Q100
	Ruisseau Campanard	Q100 S02
	Vallon de St-Céris	S02
<b>SAINTE-ANASTASIE</b>	Combe de la Goule	Q100
	Combe de Mange Loup	Q100
	Combe St-Nicolas	Q100
	La granDe Combe	Q100
	Ruisseau de Valtortre	Q100
	Ruisseau de Vic	Q100 S02
	Ruisseau du Friquet	Q100
	Ruisseau du Pontel	Q100
	Ruisseau le Boudre	S02
	Ruisseau le Friquet	S02
	Valat d'Arnet	S02
	Valat de Montaure	Q100
	Valat des Conques	S02
	Valat du Pied Long	Q100
<b>SAINT-HILAIRE-D'OZIL</b>	Combe de la Sabatière	S02
	Combe de St-Laurent	S02
	Combe du Castelas	S02
	Combe du Castelas Est	S02
	Grand Combe	S02
	Ruisseau de St-Hilaire	S02
	Ruisseau Les Pauses	S02
<b>SAINT-MAXIMIN</b>	Combe de la Boissière	S02
	Combe de l'Evescat	S02
	L'Alzon	Q100
	Ruisseau de Bordnègre	S02
	Ruisseau de Valsegane	S02
<b>SANILHAC-SAGRIES</b>	Combe des Collières	S02
	Combe la Coufine	Q100
	Les Seynes	Q100
	Rial	S02
	Ruisseau de la Signore	Q100
	Ruisseau de Valsegane	S02
	Valat des Pontils	S02
<b>SERNHAC</b>	Canal du Bournigues	S02
	Fossé de Sernhac	Q100
<b>THEZIERS</b>	Le Courloburier	Q100

	Ruisseau de la Vay	Q100
	Ruisseau Mourre de Pierredon	Q100
VALLIGUIERES	Combe de Martin	S02
	Combe du Castelas Est	S02
	Combe Viaube	S02
	Ruisseau de Larrière	S02
VERS-PONT-DU-GARD	Combe des Trissons	S02
	Ruisseau de Misserand	Q100
	Ruisseau le Grand Valat Vers	S02
	Vallon de Fressinière	S02
	Vallon de St-Privas	S02

#### 6.1.4 Commentaires particuliers

##### a) Combe du Vayer et ruisseau de Larrière à Castillon du Gard et Valliguières

La phase de calage du modèle (5.5.3) a conclu à une probable sur-estimation de l'inondation calculée pour l'événement de septembre 2002 sur l'amont du ruisseau de Larrière et de son affluent la combe du Vayer à Castillon du Gard et Valliguières.

La crue centennale modélisée reste cependant inférieure aux observations faites de la crue historique de septembre 2002 sur ces secteurs ; cette dernière constitue donc bien l'événement de référence pour l'élaboration de la cartographie de l'aléa du PPRI.

Afin de ne pas sur-estimer l'aléa retenu pour l'élaboration du PPRI, ce dernier est cartographié sur la base d'un événement qui s'approche des observations disponibles pour septembre 2002.

Le tableau ci-après précise les cotes observées en 2002 et calculées par le modèle numérique pour les différents événements reconstitués à Valliguières.

	Cote mesurée	Modèle		Ecart
		Scénario	Cote calculée	
<b>Gav_377</b>	127.57	Septembre 2002	127.77	+ 20 cm
		Q100	127.35	- 22 cm
		<b>Q exceptionnel</b>	<b>127.49</b>	<b>- 8 cm</b>
<b>Gav_377</b>	127.23	Septembre 2002	127.46	+ 23 cm
		Q100	127.04	- 19 cm
		<b>Q exceptionnel</b>	<b>127.18</b>	<b>- 5 cm</b>

Les lignes d'eau calculées pour l'événement exceptionnel (1.8 \*Q100) sont les plus proches des repères de crue disponibles.

Sur la Combe de Vayer, les observations sont plus qualitatives. La carte ci-après présente l'emprise des crues calculées pour l'événement de septembre 2002, la crue centennale et

la crue exceptionnelle ( $1.8 \cdot Q_{100}$ ), ainsi que le report des éléments d'observation disponibles.

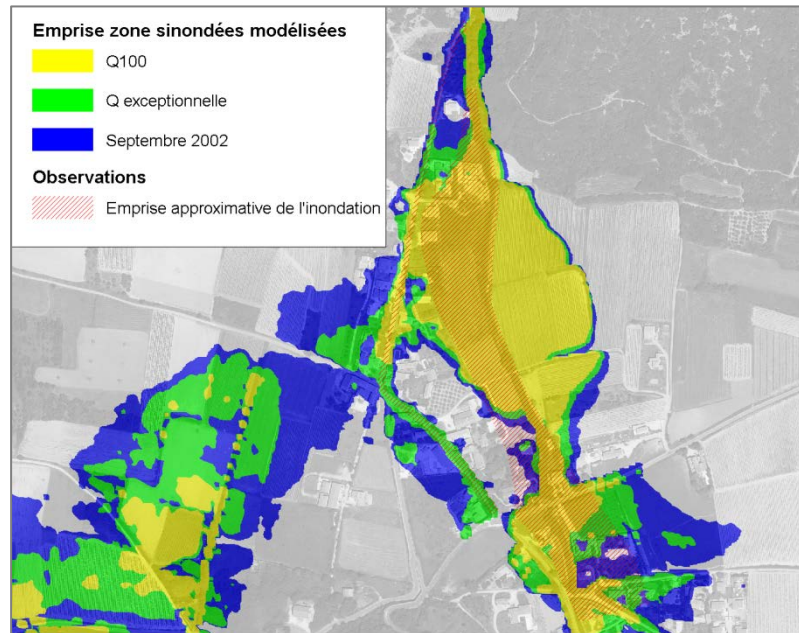


Figure 2 : Emprise des zones inondables calculées sur la combe de Vayer

Les observations sont très approximatives, notamment sur la rive gauche de la combe, où les données topographiques indiquent clairement l'élargissement de la vallée et de la zone potentiellement inondable.

Plus en aval sur le ruisseau de Larrière, une habitation a été signalée non inondée en septembre 2002.

Elle est hors d'eau pour les événements centennal et exceptionnel modélisés, mais inondée par l'événement de septembre 2002 modélisé.



Sur la base de ces éléments, **l'aléa de référence** est cartographié à partir de la **crue exceptionnelle modélisée**, proche des observations faites lors de l'événement de 2002 et supérieures à l'événement centennal, sur les secteurs suivants :

- Ruisseau de Larrière et ses affluents de sa source à la RD6086 sur la commune de Castillon du Gard,

- Combe de Vayer et ses affluents de sa source à la confluence avec le ruisseau de Larrière.

## b) Jonquières Saint Vincent

L'aléa de référence correspond à un événement centennal modélisé, d'une durée totale de 48 heures.

Les niveaux calculés sont supérieurs à ceux annoncés par BRL dans l'étude hydraulique du Grand Valat de Jonquières Saint Vincent (2005, 2007), notamment sur le secteur de la Palud ; deux hypothèses expliquent ces écarts :

- La réduction du bassin versant actif en tête de bassin versant retenue par BRL,
- La durée de la pluie de projet retenue, de 48 heures dans le cadre de la présente étude (avec des durées intenses comprises entre 2 heures et 12 heures) contre 3 heures et 24 heures dans l'étude BRL (respectivement en amont de la Palud et au droit de la Palud).

Les écarts sont malgré tout peu marqués sur la Palud, où la cote de référence retenue est d'environ 18.35 mNGF pour 18.24 estimé par l'étude BRL. En amont de la Palud, les débits maximum sont également obtenus pour des pluies de durée intense comprise entre 2 et 4 heures.

## 6.2 MODELISATION D'UN SCENARIO D'EFFACEMENT DES DIGUES ET REMBLAIS

### 6.2.1 Objectifs et principes méthodologiques

La simulation des différents scénarios de pluies centennale et de l'événement de septembre 2002 a permis de définir les conditions d'écoulement en considérant la tenue des digues et autres ouvrages en remblais.

Les ouvrages de protection (comme les digues) conçus à cette fin ont vocation à protéger les populations existantes. Ils permettent notamment, sous réserve qu'ils soient conçus dans les règles de l'art et correctement entretenus, d'apporter une protection relative contre les événements dont les intensités sont inférieures ou égales à l'événement pour lequel l'ouvrage est conçu.

Sur le périmètre d'étude, certains merlons, remblais, infrastructures routières ou ferroviaires peuvent, selon leur configuration, influencer sur le risque d'inondation :

- Lorsque ces ouvrages sont perpendiculaires à la vallée, en stockant des volumes d'eau plus ou moins importants à l'amont, et de fait jouer un rôle de "protection" de zones à l'aval.
- Lorsque ces ouvrages sont parallèle à la vallée et / ou aux cours d'eau, en limitant l'expansion latérale des inondations.

Ces ouvrages ne peuvent pas être considérés comme digues de protection, dans la mesure où ils n'ont pas été conçus et gérés à cet effet. Il demeure cependant que ces ouvrages sont tout autant faillibles que les ouvrages de protection et que leur rupture est de la même manière de nature à aggraver l'aléa, tant en hauteur qu'en vitesse, augmentant ainsi le risque des personnes et des biens situés à l'arrière de ces ouvrages.

En effet, les contraintes auxquelles sont soumis ces ouvrages peuvent engendrer divers phénomènes les fragilisant et susceptibles de provoquer leur défaillance (érosion, surverse, renard hydraulique, glissement de talus, etc). La configuration de l'infrastructure peut aussi être la source de fragilités, c'est le cas notamment lorsque celle-ci est traversée par des ouvrages de décharge (buse ou cadre), car les écoulements y sont accélérés (effet d'entonnoir), ce qui peut favoriser l'érosion du remblai.

Un recensement de ces ouvrages a été réalisé, sur la base du MNT et de visites de terrain. Une analyse détaillée de leurs caractéristiques géométriques et de leur sollicitation en cas de crue forte a ensuite permis d'identifier les ouvrages les plus vulnérables et ou susceptibles d'entraîner des modifications sensibles de la dynamique d'inondation en cas de rupture. Ces ouvrages ont ensuite été effacés du modèle (arasement à la cote du terrain naturel), et les scénarios de pluies centennales et de septembre 2002 simulés.

### 6.2.2 Recensement des digues et remblais

434 digues et remblais ont été identifiés sur le secteur d'étude, constituant un linéaire global de 190 km. Les caractéristiques géométriques de ces ouvrages ainsi que leur sollicitation pour une crue centennale ou l'évènement de 2002 lorsque celui-ci est supra-centennal, ont ensuite été définis :

- **Hauteur** moyenne de l'élément structurant : 4 classes de 0 à 1
  - 0 : < 0.5 m
  - 1 : entre 0.5 et 1 m
  - 2 : entre 1 et 2 m
  - 3 : > 2 m

Il s'agit d'une hauteur moyenne estimée à partir des données Lidar
- **Type** : [Digue, Remblais, Route, Voie Scnf]
- **Protection enjeux** : [Oui / Non]
- **Linéaire** (km)
- **dz<sub>AM-AV</sub> > 50 cm** : Ecart entre la cote d'eau calculée en amont et en aval de l'ouvrage pour l'évènement de référence.

La localisation géographique de ces ouvrages est présentée sur ***l'atlas d'impact du scénario d'effacement des digues et ouvrages sur la crue de référence.***

Le tableau ci-dessous synthétise les linéaires d'ouvrages recensés par type d'ouvrages et par classes de hauteurs moyennes.

Type d'ouvrage Classes de <i>hauteur</i> <i>moyenne</i> *	Linéaire (km)	Nombre d'ouvrages
	Total Par classe	Total Par classe
<b>Barrage</b>	<b>0.3</b>	<b>1</b>
3	0.3	1
<b>Canal</b>	<b>0.7</b>	<b>2</b>
3	0.7	2
<b>Chemin</b>	<b>3.2</b>	<b>10</b>
0	1.6	6
1	0.8	3
2	0.9	1
<b>Digue / merlon</b>	<b>117.2</b>	<b>227</b>
0	53.5	127
1	38.3	70
2	15.0	19
3	10.4	11
<b>Route/Voie ferrée</b>	<b>49.0</b>	<b>74</b>
0	14.4	20
1	9.9	20
2	6.8	16
3	17.8	18
<b>Talus</b>	<b>19.7</b>	<b>120</b>
0	10.7	63
1	5.3	36
2	2.6	14
3	1.1	7
<b>Total</b>	<b>190.1</b>	<b>434</b>

\* [0,1,2,3] correspondent aux classes de hauteurs définies précédemment.

### 6.2.3 Définition d'un scénario d'effacement des digues et remblais

Les ouvrages les plus vulnérables et ou susceptibles d'entraîner des modifications sensibles de la dynamique d'inondation en cas de rupture, notamment au droit de secteurs à enjeux, sont dans un second temps identifiés.

#### a) Sollicitation des ouvrages en cas de crue forte

La différence d'eau amont aval calculée de l'ouvrage, traduit sa mise en charge. Plus cette différence sera importante, plus l'ouvrage sera sollicité.

Une différence de cote amont / aval marquée traduit également l'effet de protection partielle que jouent ces ouvrages, malgré d'éventuelles surverses ponctuelles ou contournements pour l'évènement de référence.

67 ouvrages présentent des écarts de cote d'eau amont-aval supérieur à 50 cm, dont 44 ayant une hauteur supérieure à 50cm. Ces ouvrages sont synthétisés dans le tableau ci-dessous.

<b>Type d'ouvrage</b> <i>Classes de hauteur moyenne*</i>	<b>Linéaire (km)</b> <b>Total</b> Par classe	<b>Nombre d'ouvrages</b> <b>Total</b> Par classe
<b>Chemin</b>	<b>1.0</b>	<b>2</b>
1	0.1	1
2	0.9	1
<b>Digue</b>	<b>19.9</b>	<b>27</b>
0	5.0	13
1	2.5	5
2	5.1	4
3	9.3	7
<b>Route/Voie ferrée</b>	<b>16.5</b>	<b>26</b>
0	0.9	2
1	1.1	2
2	4.6	10
3	8.0	10
<b>Talus</b>	<b>1.5</b>	<b>11</b>
0	1.2	8
1	0.2	2
2	0.1	1
<b>Barrage</b>	<b>0.3</b>	<b>1</b>
3	0.3	1
<b>Total</b>	<b>39.2</b>	<b>67</b>

\* [0,1,2,3] correspondent aux classes de hauteurs définies précédemment.

Le linéaire des ouvrages se limite à 32 km si on ne considère que les ouvrages de hauteur supérieure à 50cm, et 28 km pour les ouvrages supérieurs à 1 m.

## b) Ouvrages protégeant des secteurs à enjeux

Il s'agit ici d'identifier les conséquences qu'aurait un effacement des digues sur les secteurs à enjeux. 14 ouvrages assurent une protection théorique de secteurs à enjeux, indépendamment du niveau de protection apporté.

Leurs caractéristiques sont décrites ci-après :

Type d'ouvrage <i>Classes de hauteur moyenne*</i>	Linéaire (km)	Nombre d'ouvrages
	Total Par classe	Total Par classe
<b>Canal</b>	<b>0.7</b>	<b>2</b>
3	0.7	2
<b>Digue</b>	<b>7.4</b>	<b>11</b>
0	0.3	2
1	3.1	5
2	1.9	2
3	2.1	2
<b>Route</b>	<b>0.3</b>	<b>1</b>
2	0.3	1
<b>Total</b>	<b>8.4</b>	<b>14</b>

\* [0,1,2,3] correspondent aux classes de hauteurs définies précédemment.

L'analyse des modélisations réalisées dans la situation tenant compte de ces ouvrages permet enfin d'affiner ce diagnostic. Seuls 4 ouvrages permettent effectivement de limiter l'aléa sur les secteurs à enjeux. Les caractéristiques des autres ouvrages ne permettent pas de limiter l'aléa pour les crues fortes considérées du fait de leur contournement ou de leur submersion.

### c) Synthèse des ouvrages effacés

L'analyse précédente amène à retenir un effacement des ouvrages répondant aux critères suivants :

- une différence de cote d'eau amont aval calculée pour l'évènement de référence supérieur à 50 cm,
- une hauteur d'ouvrage supérieur à 50 cm.

44 ouvrages sont ainsi identifiés. Il s'agit d'ouvrages structurants, non transparents pour la crue de référence ; ils sont cependant tous soit contournés soit submergés pour la crue de référence, et ne permettent pas de mettre hors d'eau les secteurs qu'ils protègent. Leur défaillance peut cependant avoir un impact sensible sur les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulement.

Les 44 ouvrages sont présentés dans le tableau ci-dessous. Ces ouvrages peuvent être des remblais latéraux ou transversaux au cours d'eau (routes et voies ferrées notamment).

Id	Hauteur	Type	Protection enjeux	Cours d'eau	Linéaire (km)	dz(AM-AV) > 50cm
9	2	Route	Non	/	0.3	1
13	1	Digue	Non	Bourdic	0.2	1
14	1	chemin	Non	/	0.1	1
21	2	Route	Non	/	1.1	1
27	2	Route	Non	Villeneuve	0.1	1
34	3	Route	Non	Affluent RG de l'Alzon	0.3	1
40	3	Route	Non	Affluent alzon	0.7	1
45	2	chemin	Non	/	0.9	1
46	2	Route	Non	/	0.7	1
47	1	Talus	Non	/	0.2	1
48	1	Talus	Non	/	0.0	1
51	2	Route	Non	/	0.6	1
52	2	Route	Non	Ruisseau Misserand	0.6	1
72	1	Route	Non	Larrieres	1.0	1
75	3	Route	Non	Fontaine de ceriers	1.4	1
76	3	Route	Non	Fontaine de ceriers	0.3	1
88	3	Route	Non	Valliguieres	0.5	1
89	3	Route	Non	/	0.7	1
92	3	Route	Non	/	0.6	1
95	3	Route	Non	/	0.4	1
113	3	Digue	Non	Gardon	2.1	1
118	3	Route	Non	Gardon	1.3	1
174	2	Route	Oui	/	0.3	1
175	3	Digue	Oui	Gardon	1.4	1
176	3	Digue	Oui	/	0.6	1
187	3	Digue	Non	Briancon	1.6	1
188	3	Digue	Non	Briancon	1.6	1
192	3	Route	Non	/	1.6	1
195	3	Voie ferrée	Non	/	1.3	1
199	2	Digue	Non	Briancon	1.6	1
200	2	Digue	Oui	Briancon	1.6	1
204	1	Digue	Non	/	0.1	1
205	2	Digue	Non	Briancon	0.9	1
206	2	Digue	Non	Briancon	0.9	1
207	3	Barrage	Non	Briancon	0.3	1
208	1	Digue	Non	Grand valat	1.7	1
215	2	Talus	Non	/	0.1	1
223	1	Route	Non	Larrieres	0.1	1
224	2	Route	Non	Larrieres	0.2	1
226	2	Route	Non	/	0.2	1
228	2	Route	Non	/	0.6	1
267	1	Digue	Non	Grand Valat Jonquieres	0.4	1
296	1	Digue	Non	Larriere	0.1	1
431	3	Voie ferrée	Non	/	0.7	1
<b>Total</b>					<b>38.7</b>	

\* Le champs « / » caractérise un remblai n'étant pas situé en limite lit mineur, lit majeur.

Ces ouvrages sont effacés du modèle simultanément (arasement à la cote du terrain naturel), et les scénarios de pluies centennales et de septembre 2002 simulés.

Les incidences sur les hauteurs d'inondation calculées pour l'événement de référence sont présentées sur *l'atlas d'impact du scénario d'effacement des digues et ouvrages sur la crue de référence*.

## 6.3 APPROFONDISSEMENT DE LA CONNAISSANCE DU RISQUE INONDATION

Le modèle hydraulique est exploité pour modéliser les scénarios de crues complémentaires définis à l'issue de l'analyse hydrologique :

- Crues de périodes de retour 5 ans, 10 ans et 50 ans,
- Crue exceptionnelle, définie comme 1,8 fois la crue centennale.

Le croisement des lignes d'eau calculées par le modèle et du MNT permet de cartographier l'emprise des zones inondables pour ces différentes occurrences de crue ainsi que les hauteurs d'inondation.

L'emprise des zones inondées par ces différents scénarios est synthétisée dans ***l'atlas de de l'emprise des zones inondables des crues d'occurrence 5 ans à exceptionnelle***.

Ces cartographies, informatives, ont été établies pour répondre aux demandes de la Directive Inondation (Directive Européenne 2007/60/CE).

---

## ANNEXES

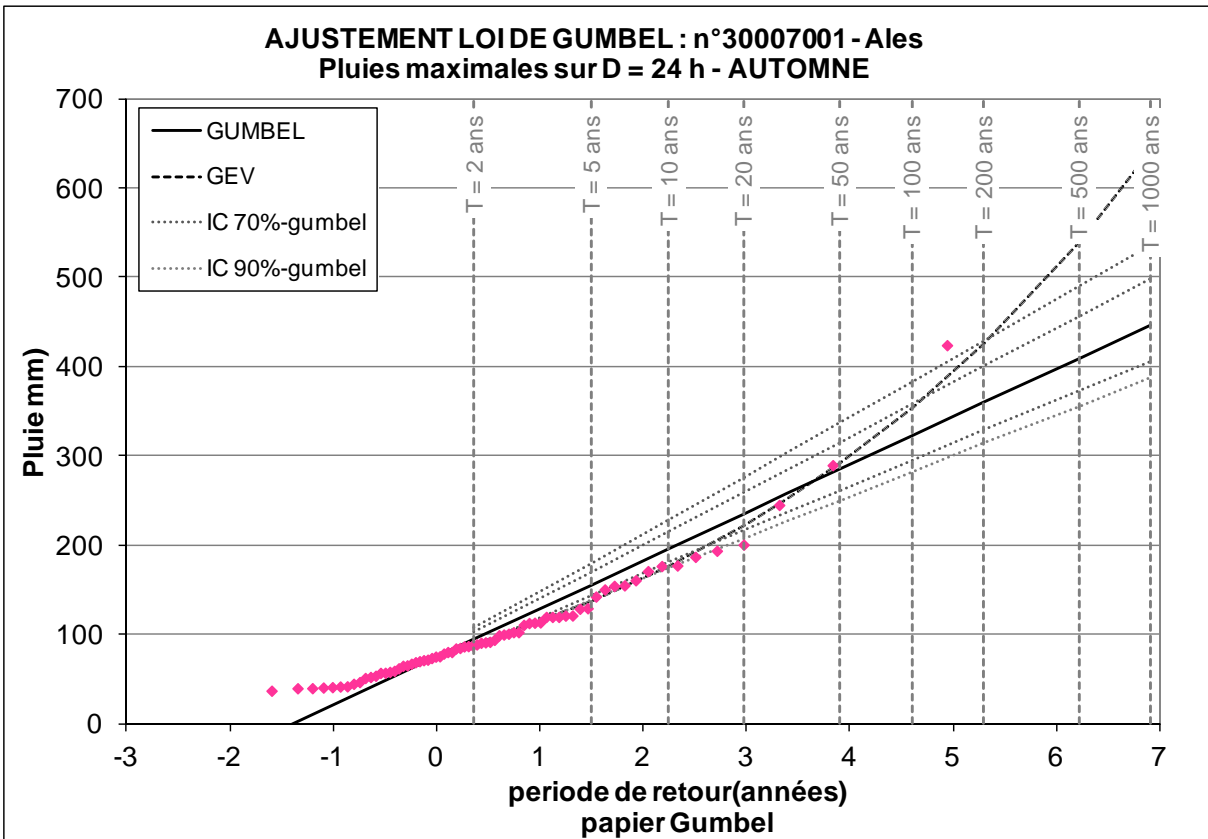
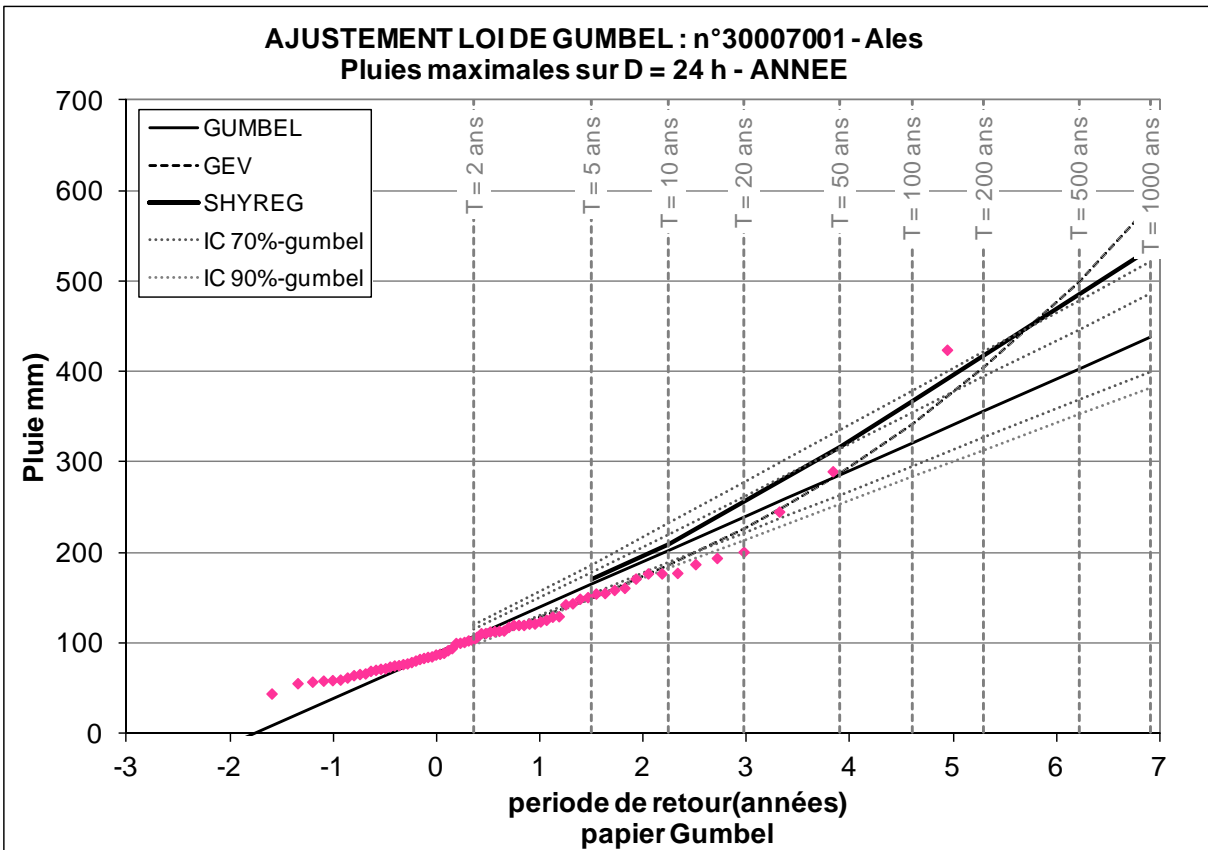
ANNEXE 1

PLUVIOMETRIE PAR STATION - AJUSTEMENTS STATISTIQUES TOUTES LOIS



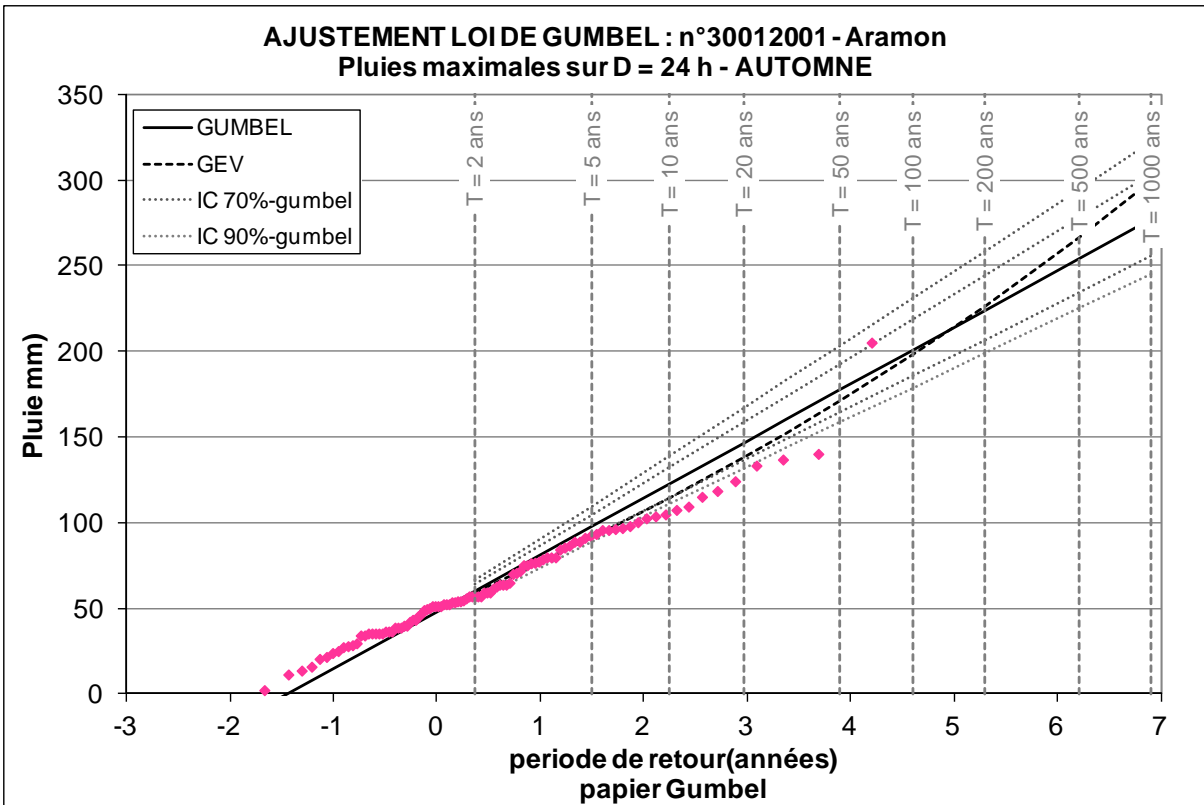
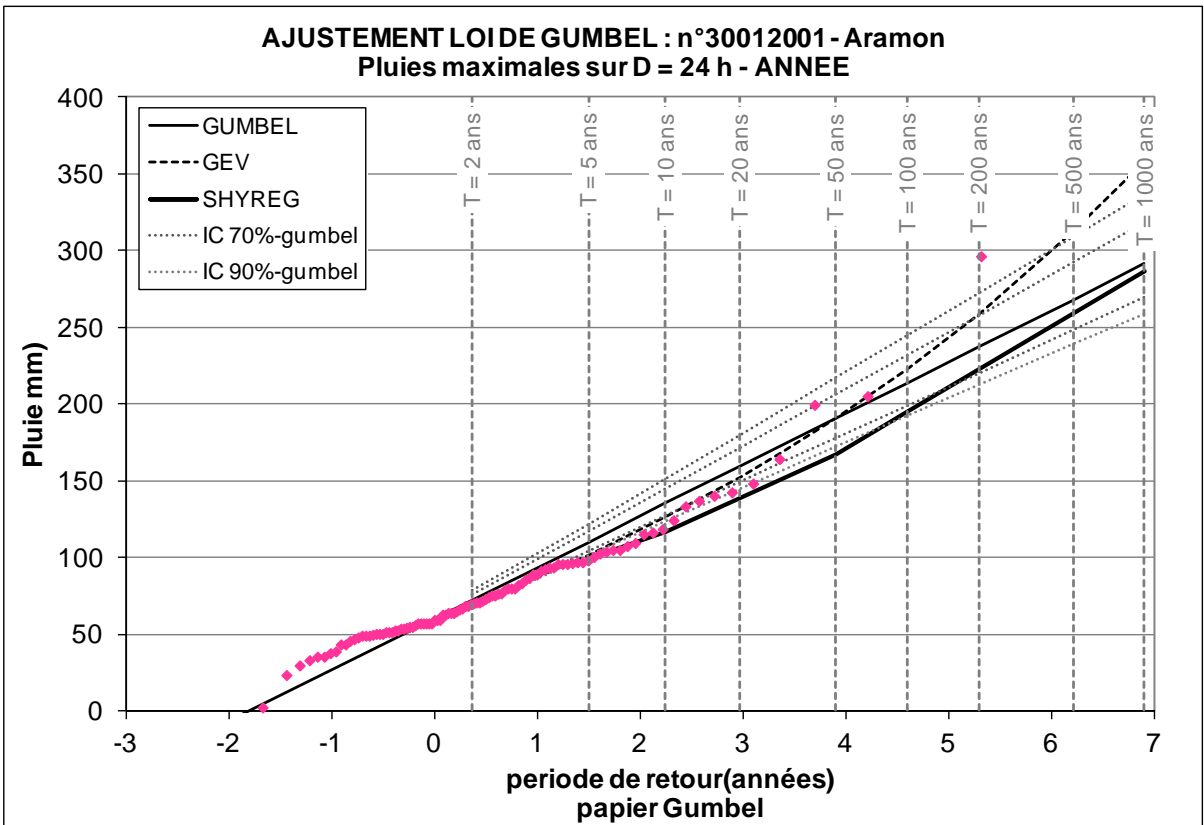
Annexe 1-1

Station d'Alès



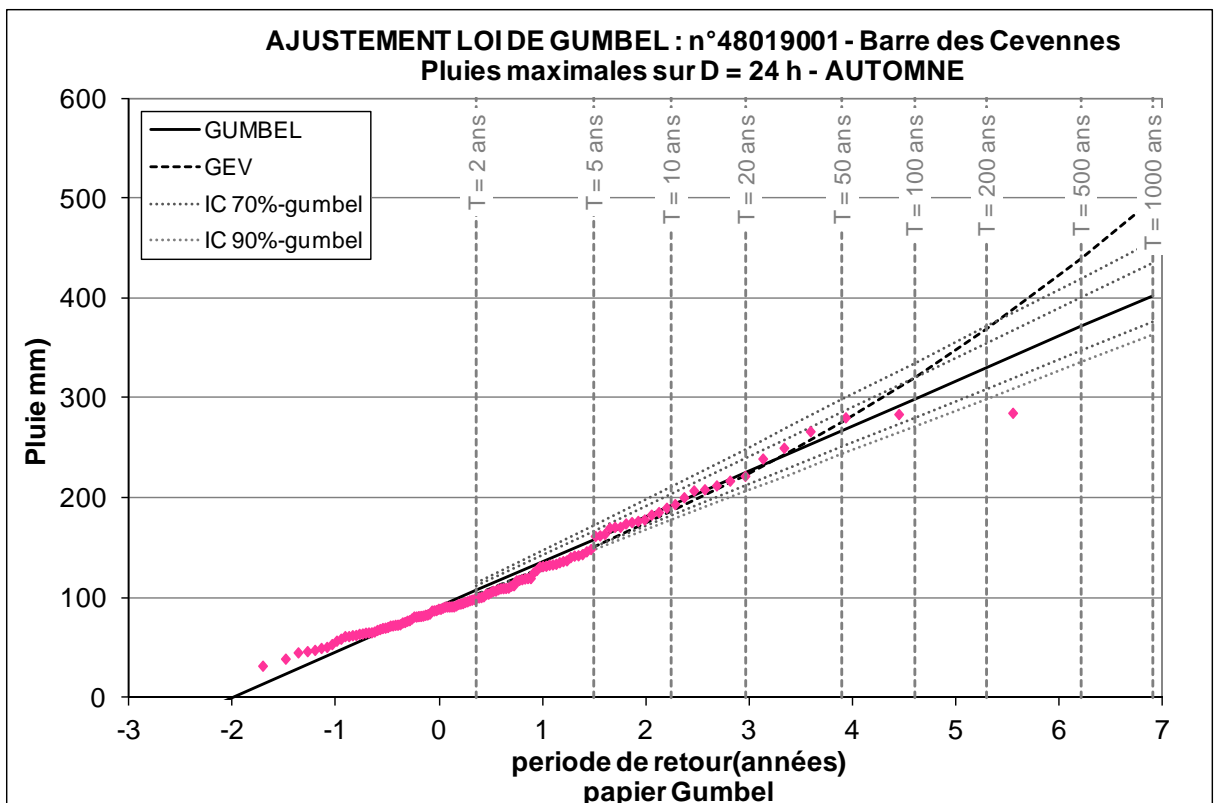
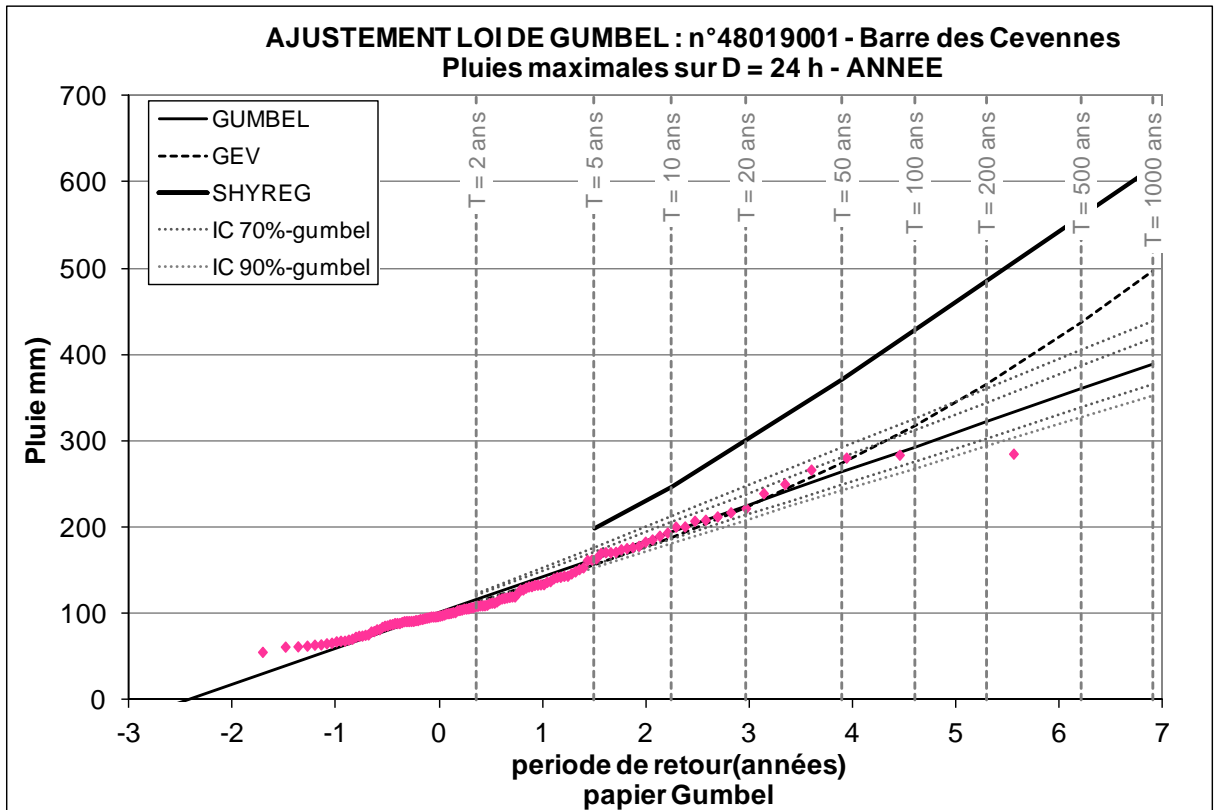
Annexe 1-2

Station d'Aramon



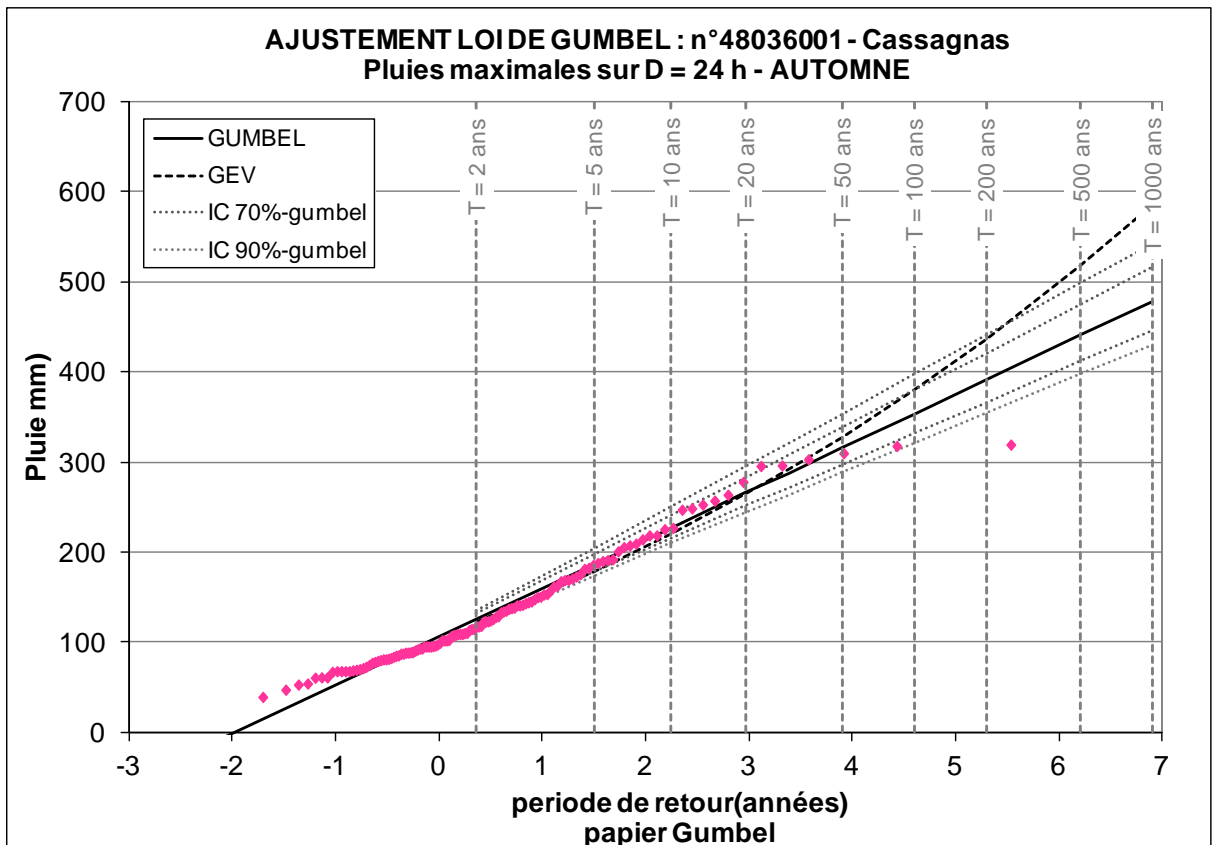
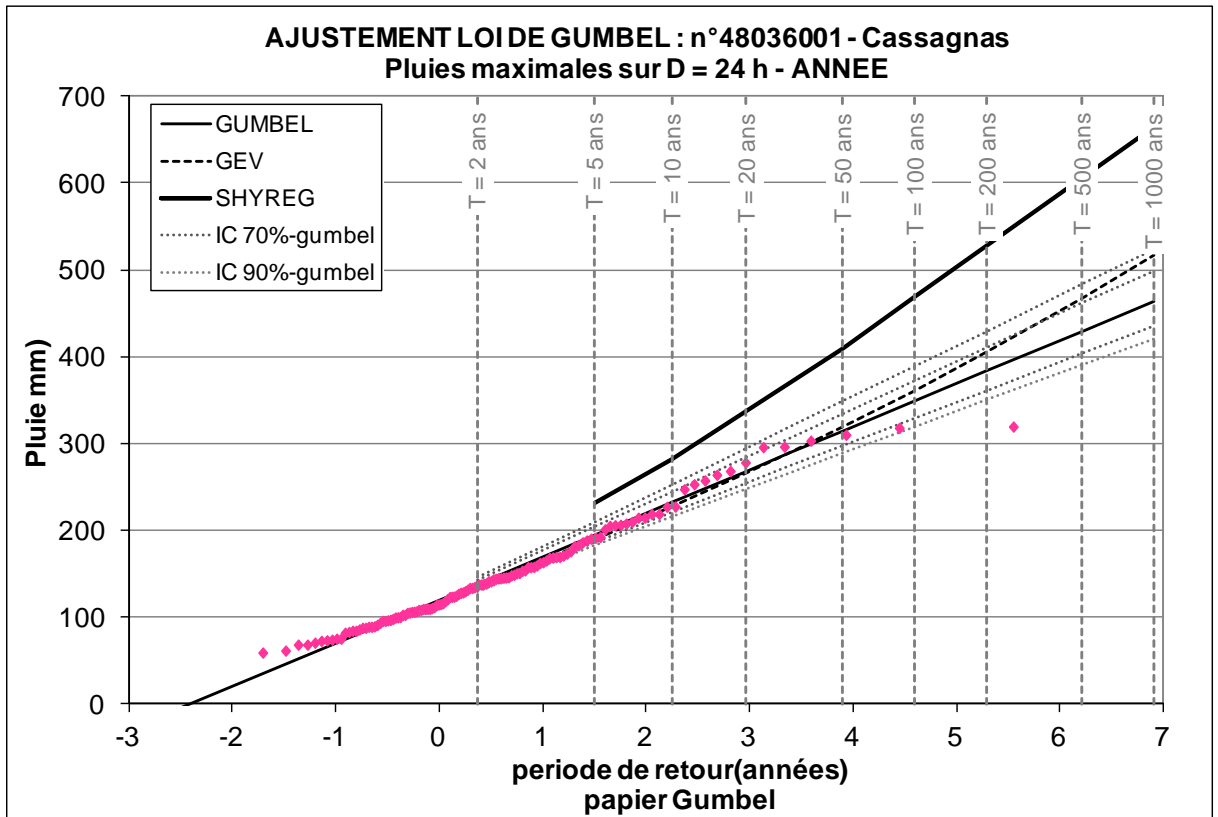
Annexe 1-3

Station de Barre des Cevennes



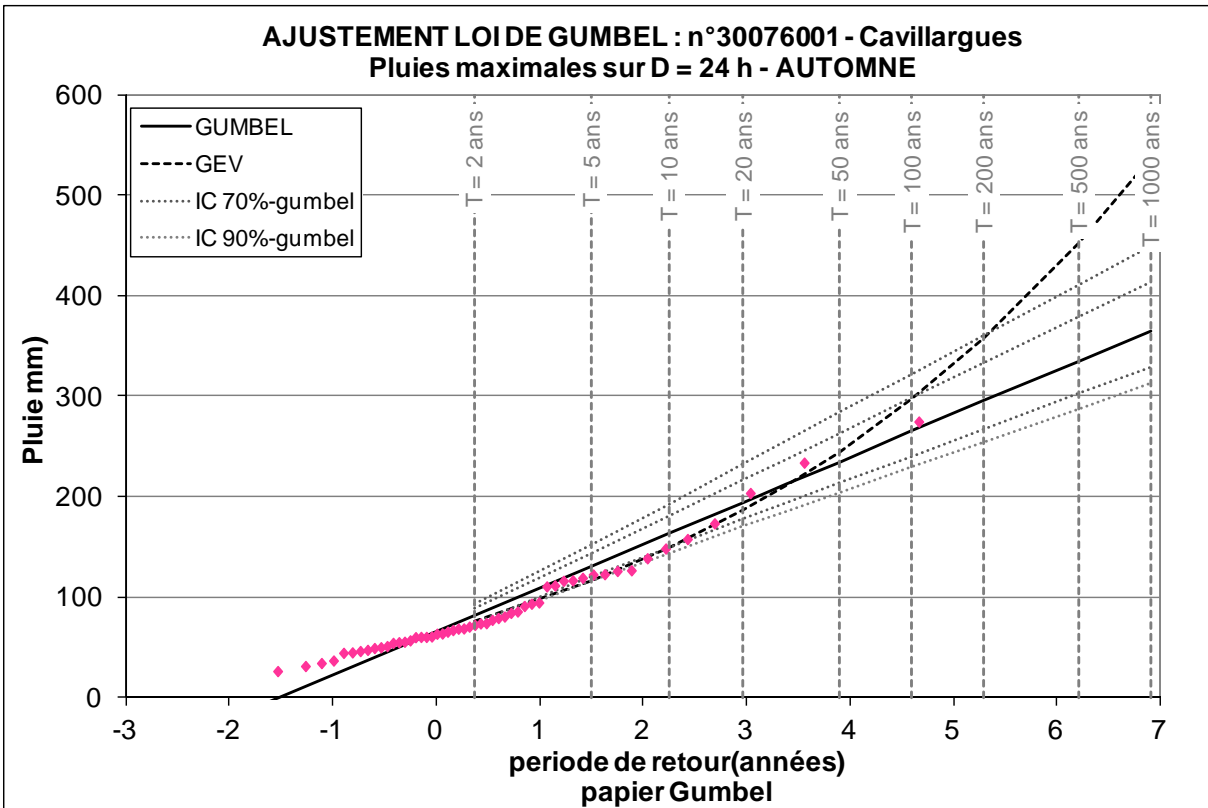
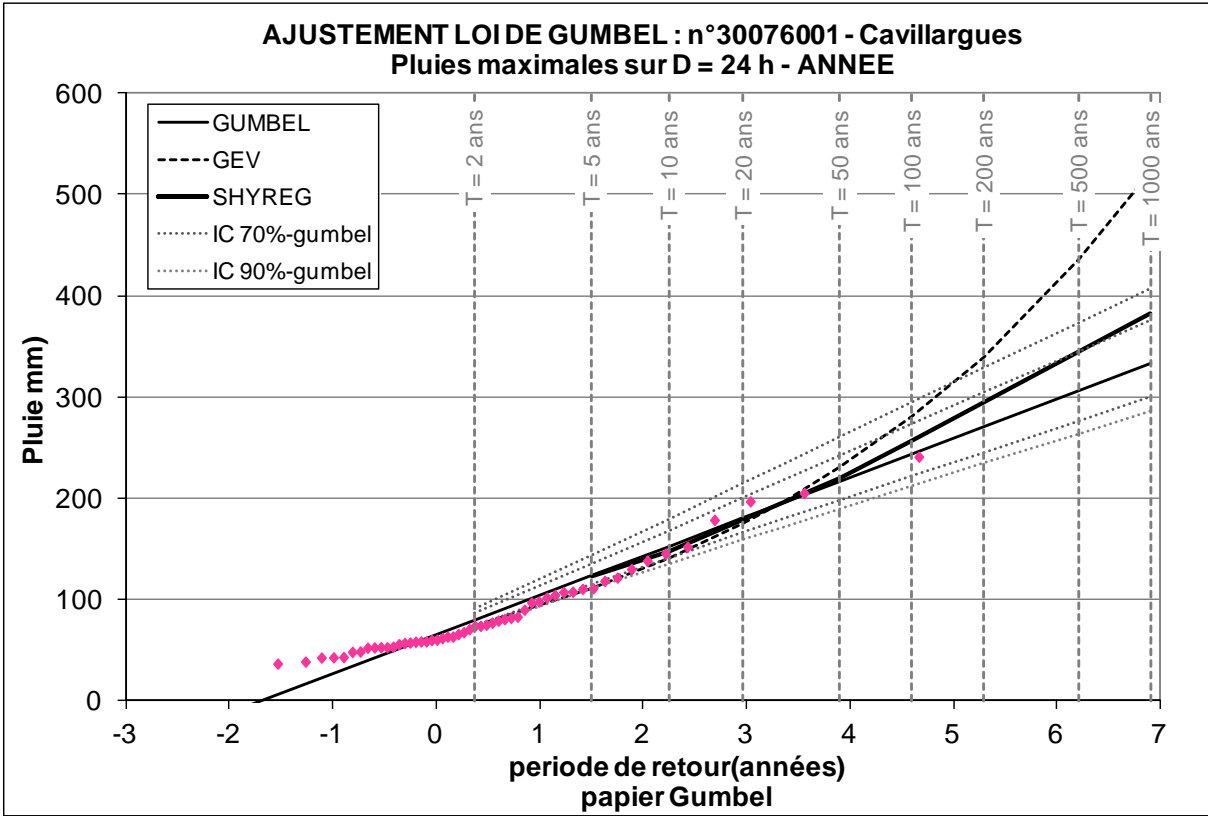
Annexe 1-4

Station de Cassagnas



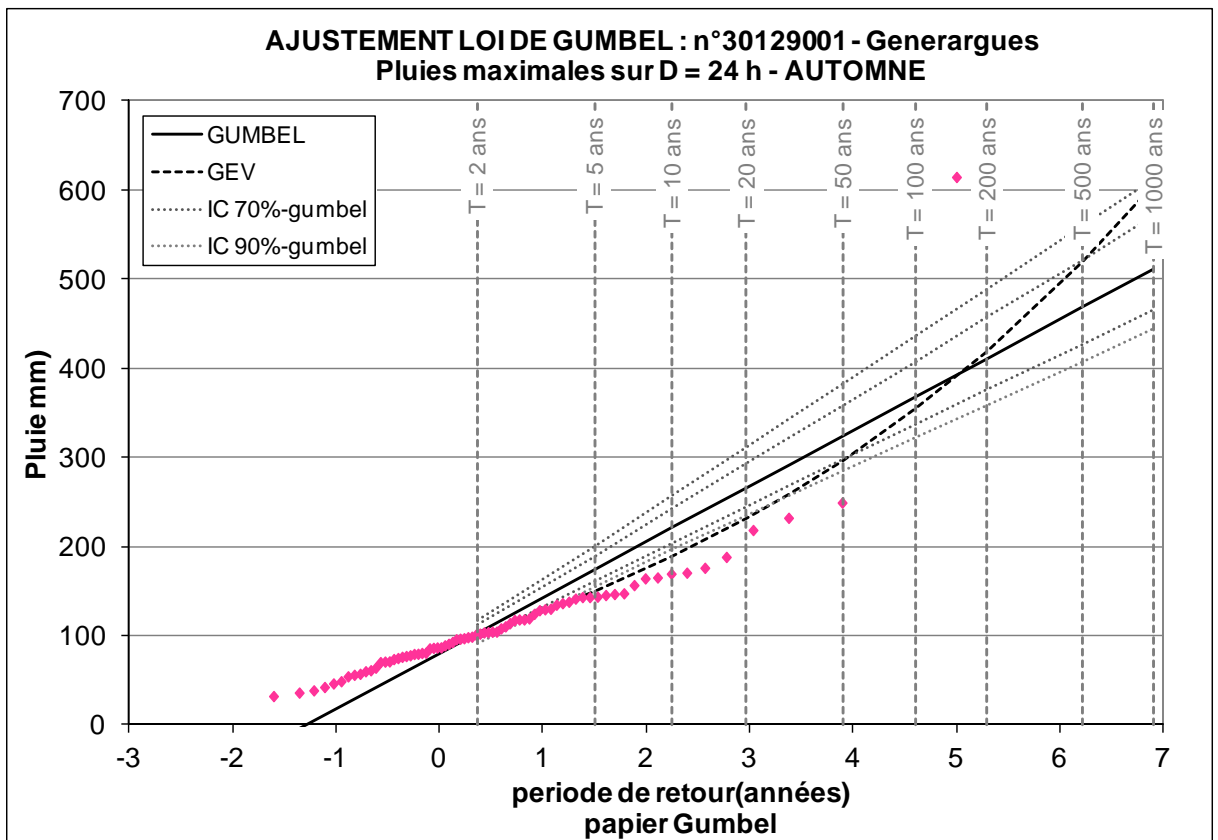
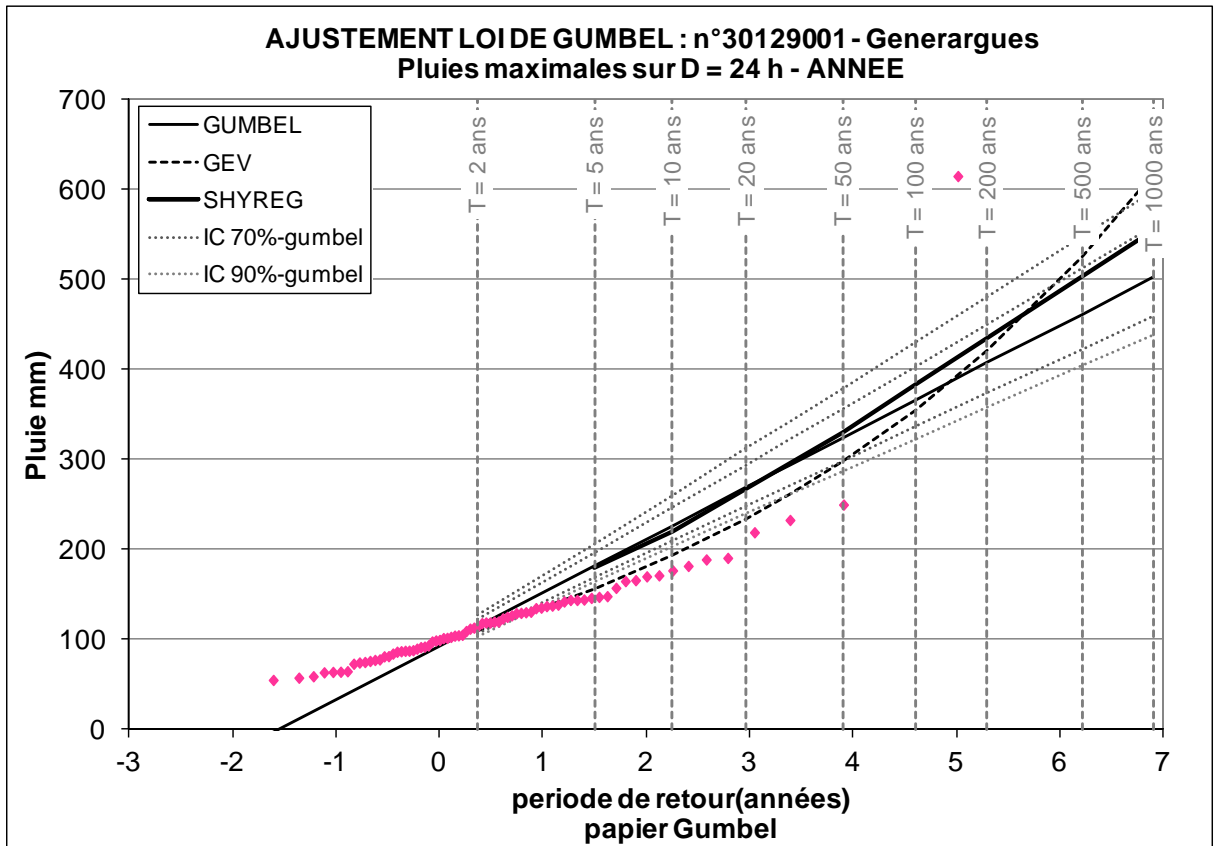
Annexe 1-5

Station de Cavillargues



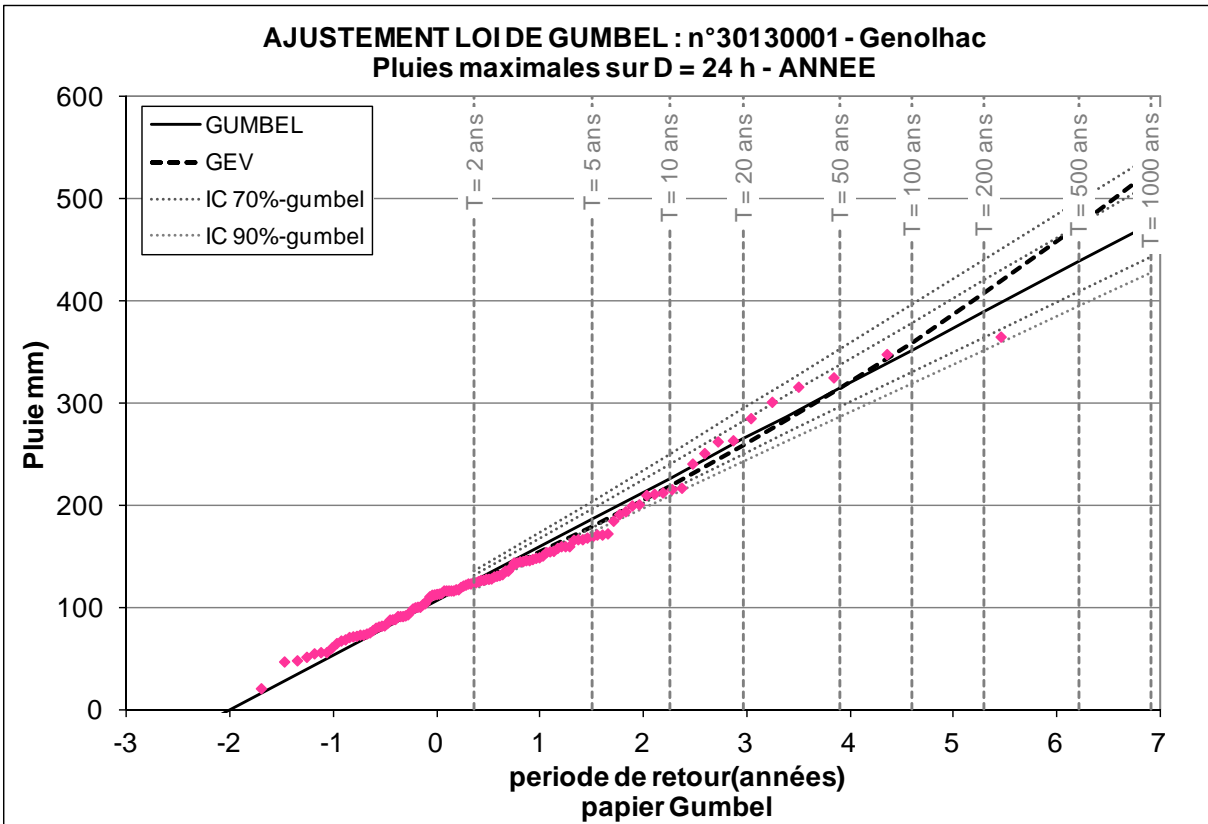
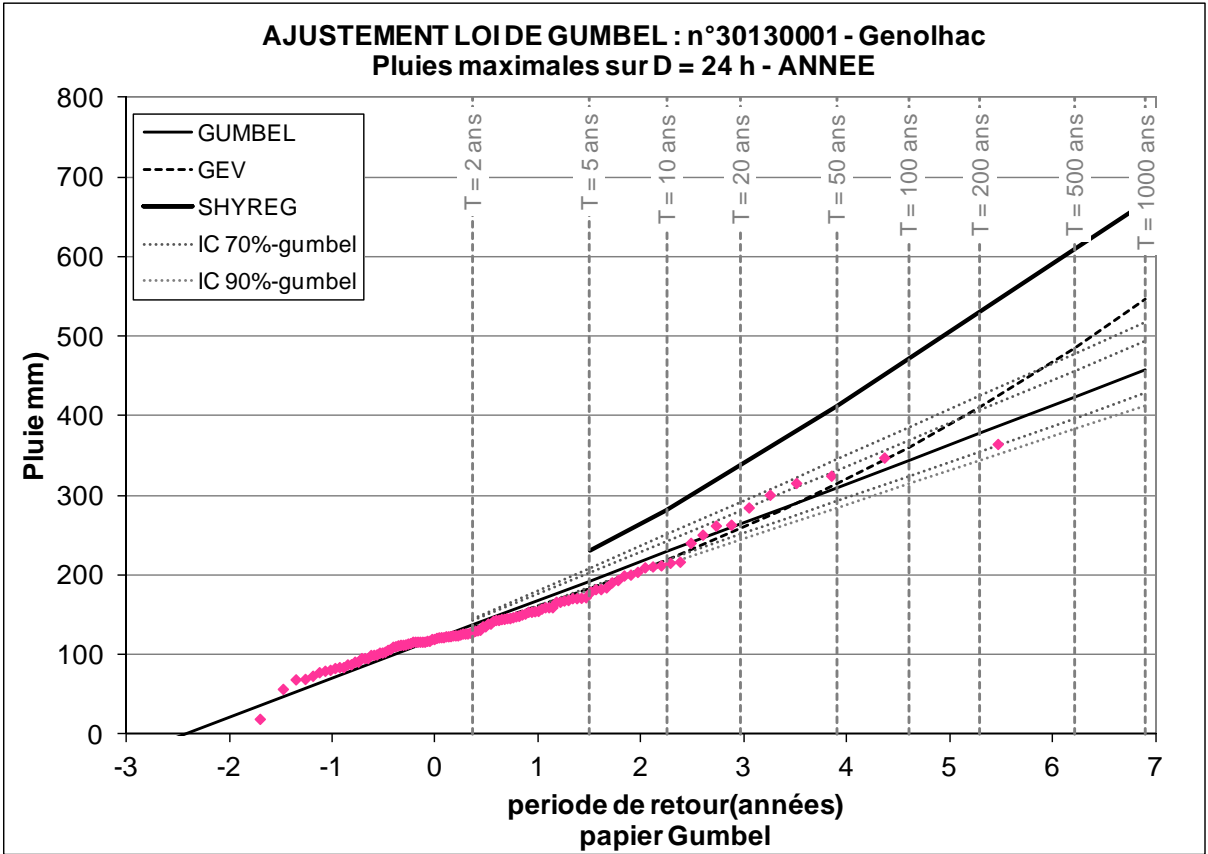
Annexe 1-6

Station de Generargues



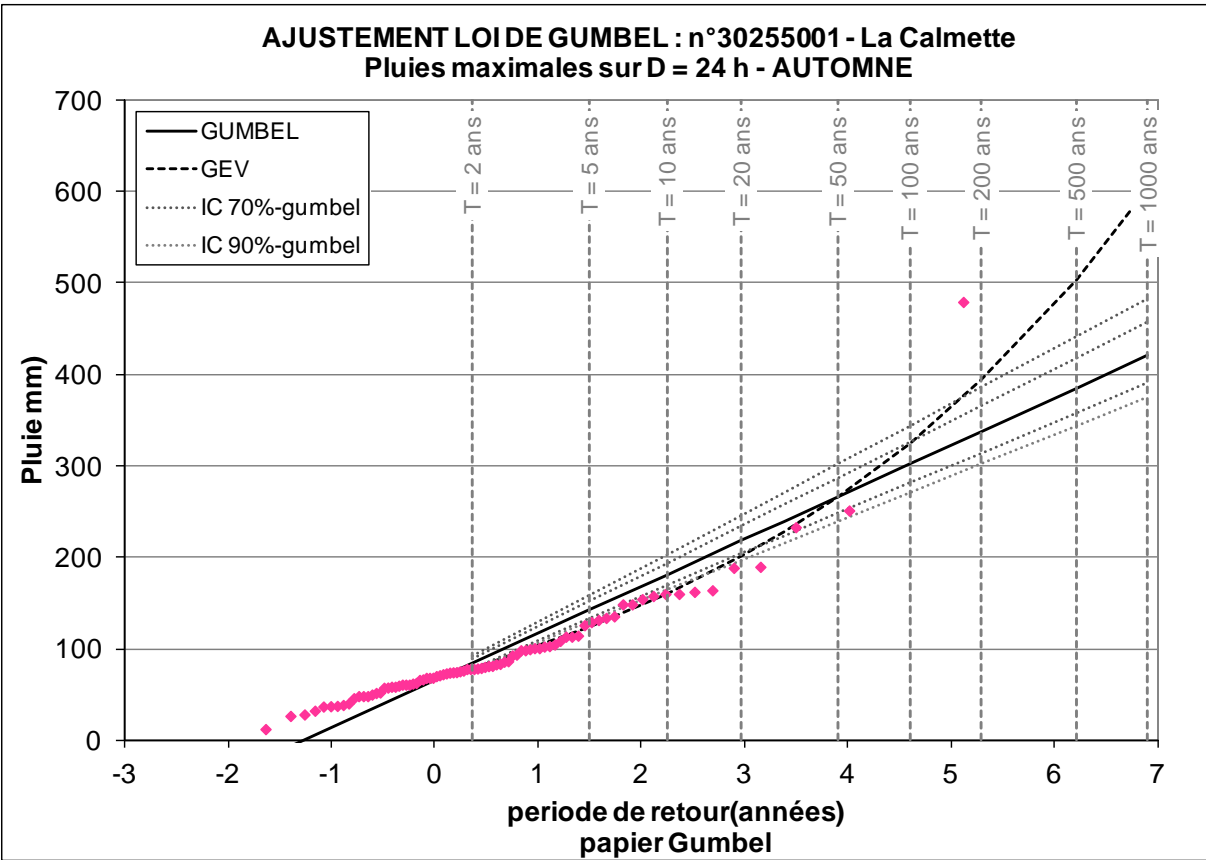
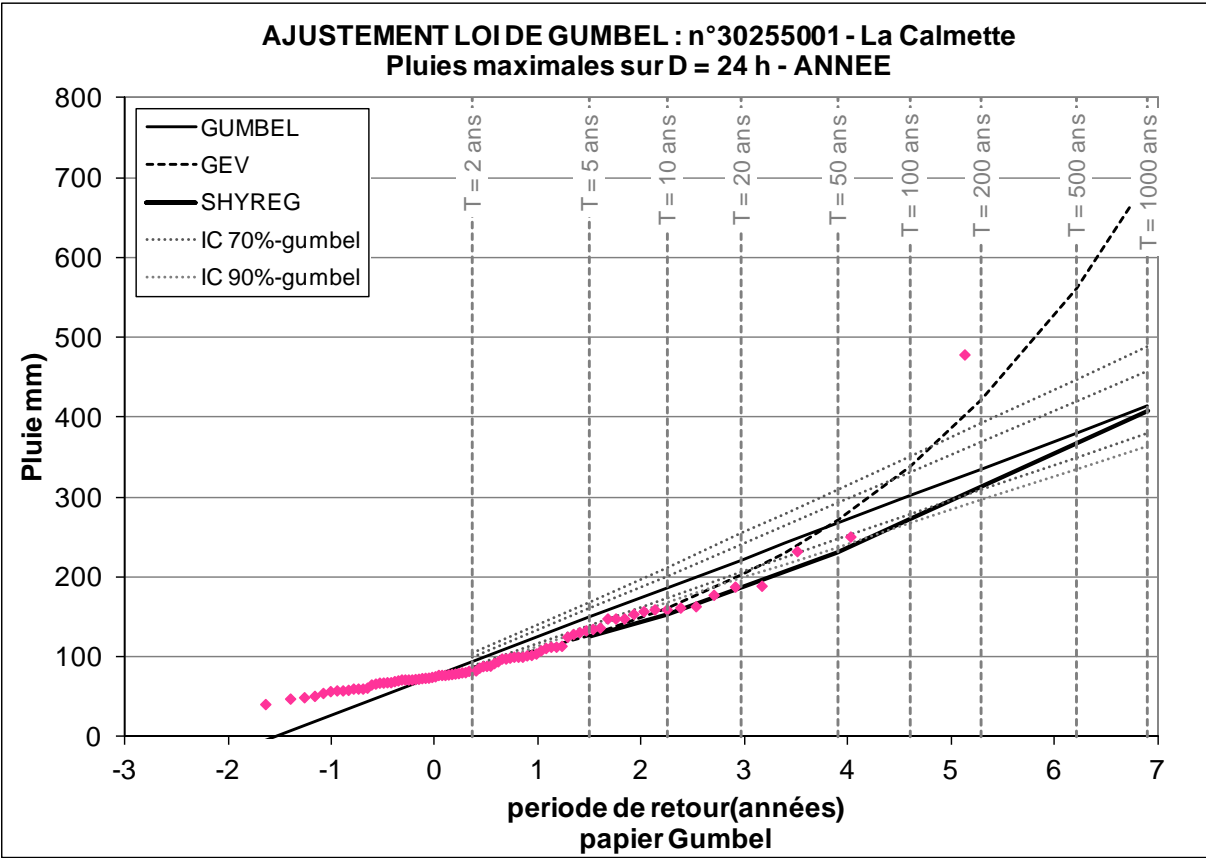
Annexe 1-7

Station de Genolhac



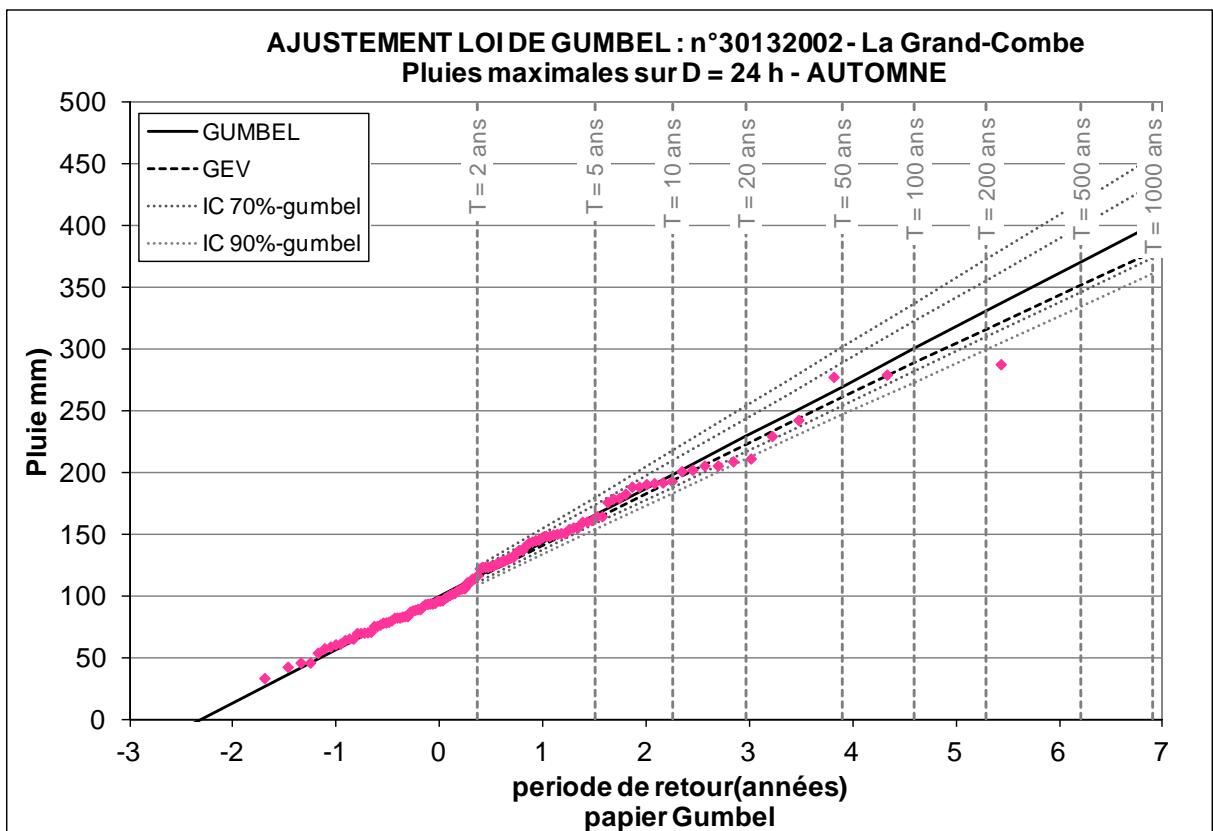
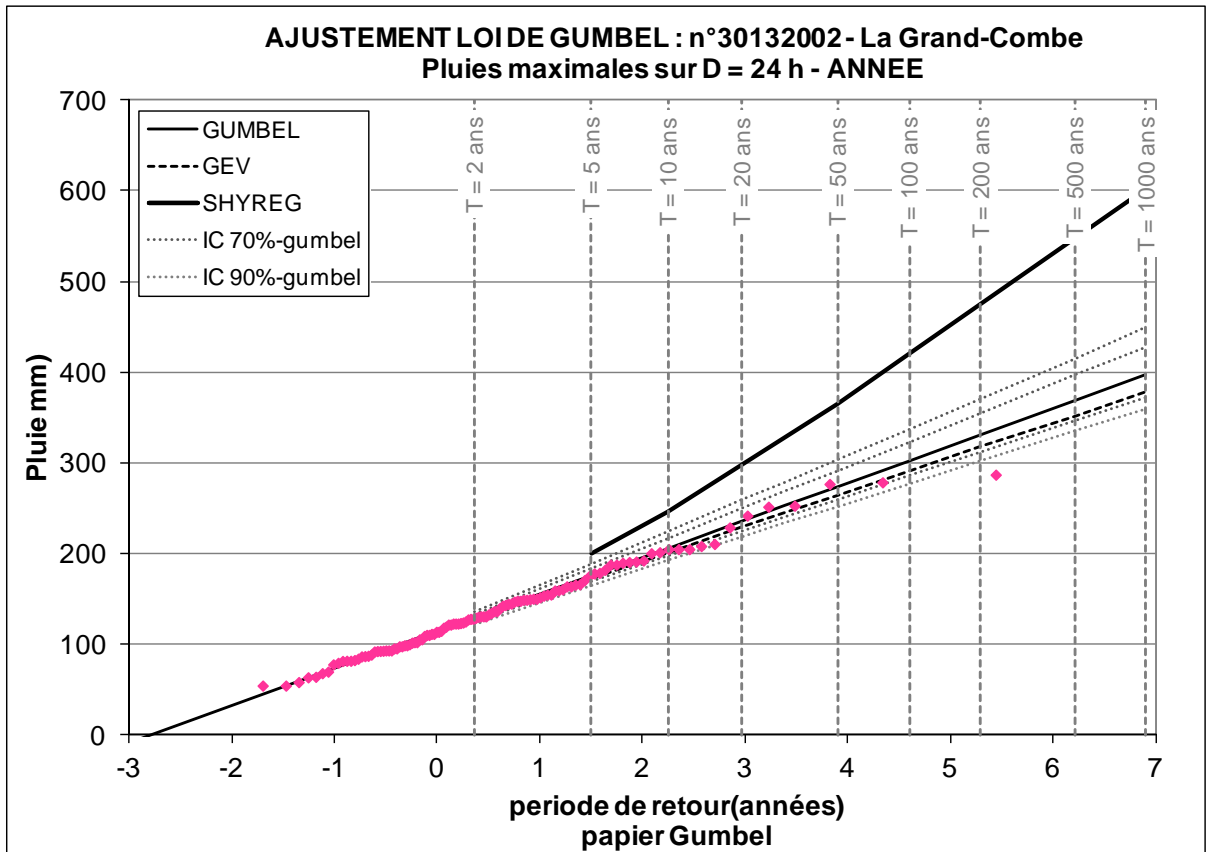
Annexe 1-8

Station de la Calmette



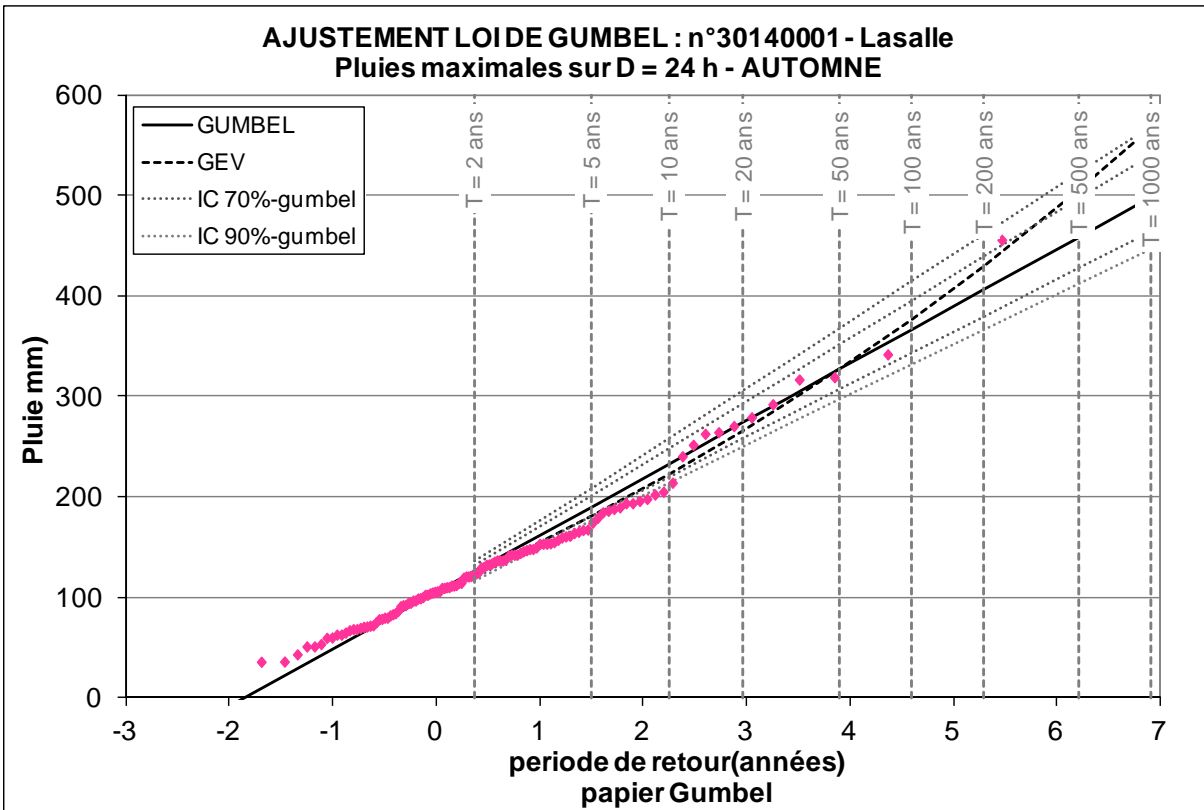
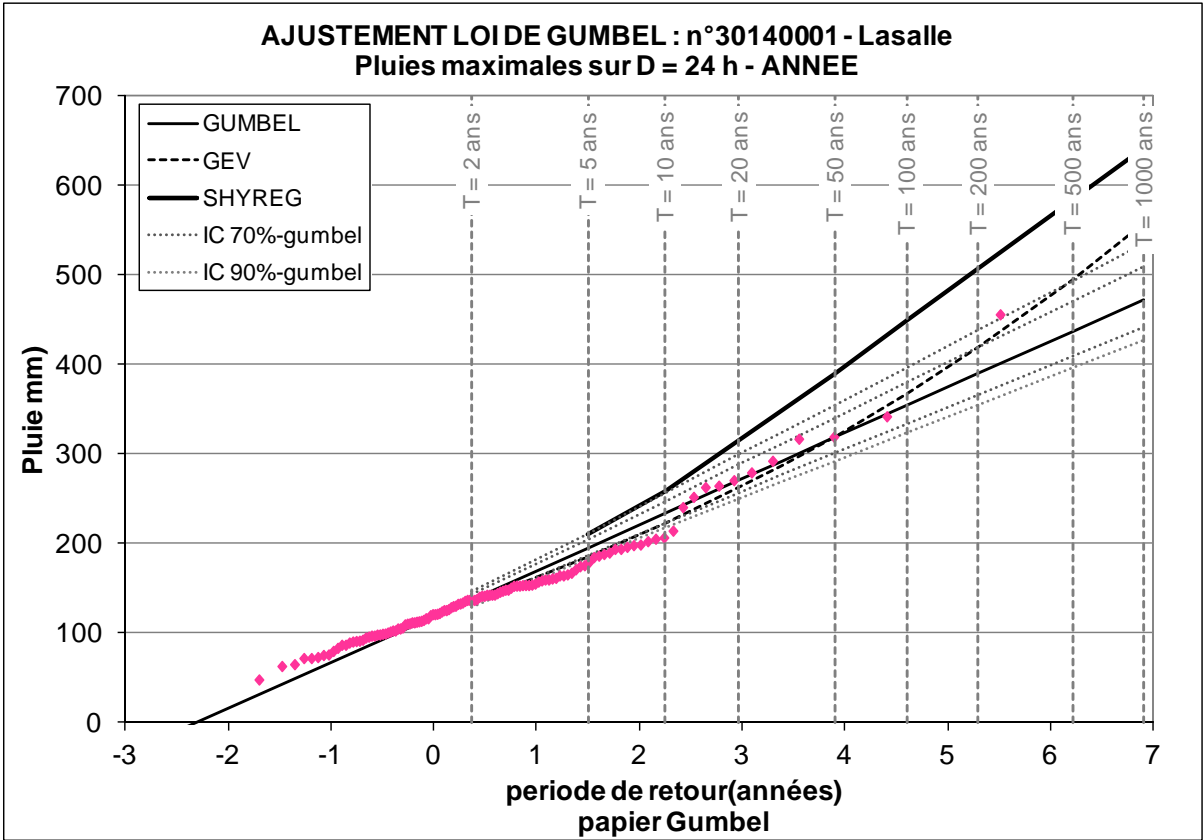
Annexe 1-9

Station de la Grand-Combe



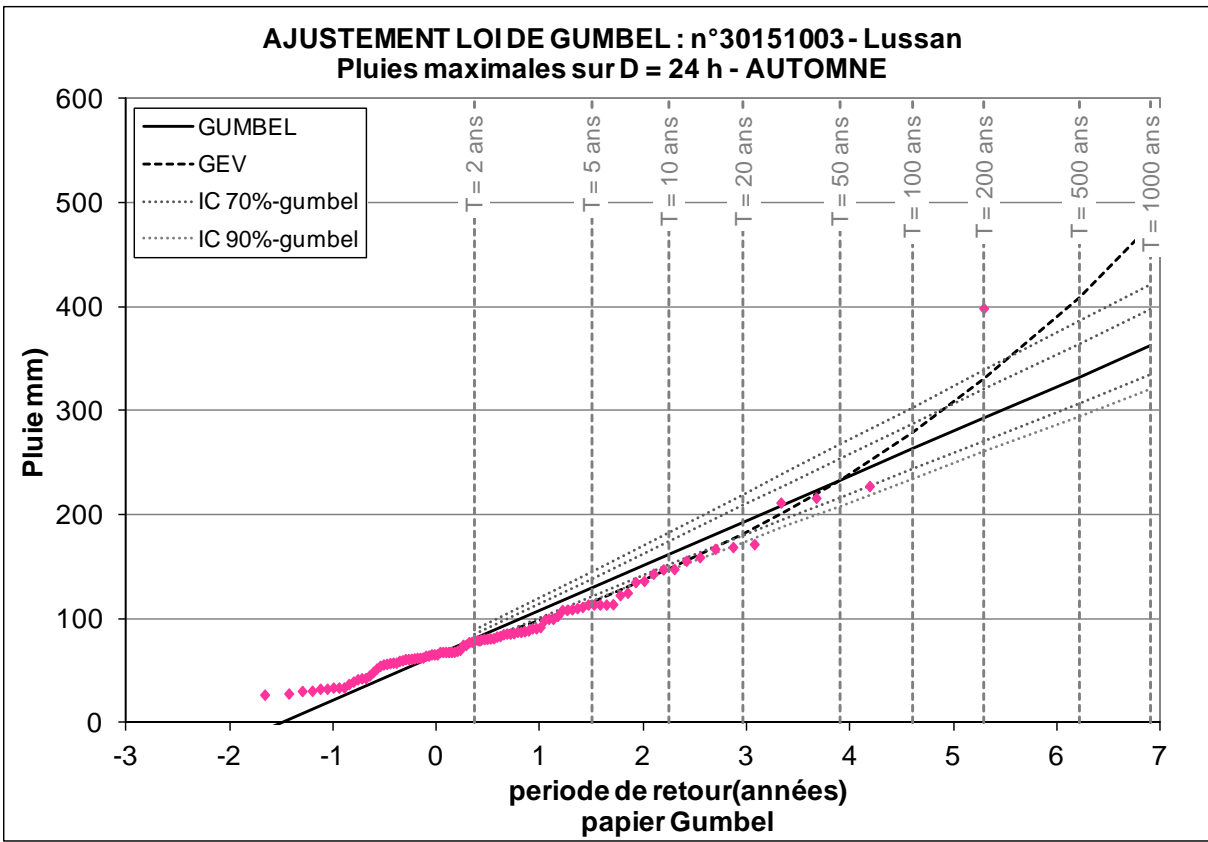
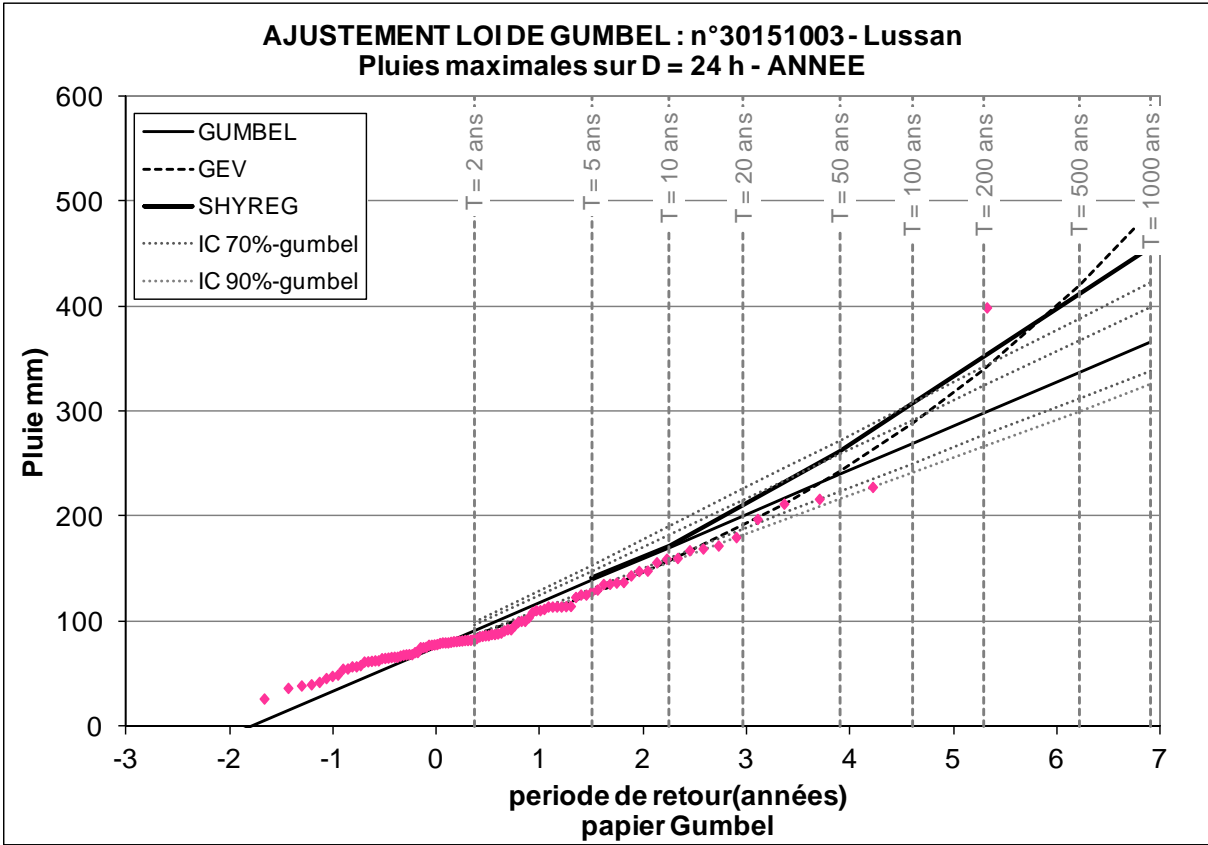
Annexe 1-10

Station de Lasalle



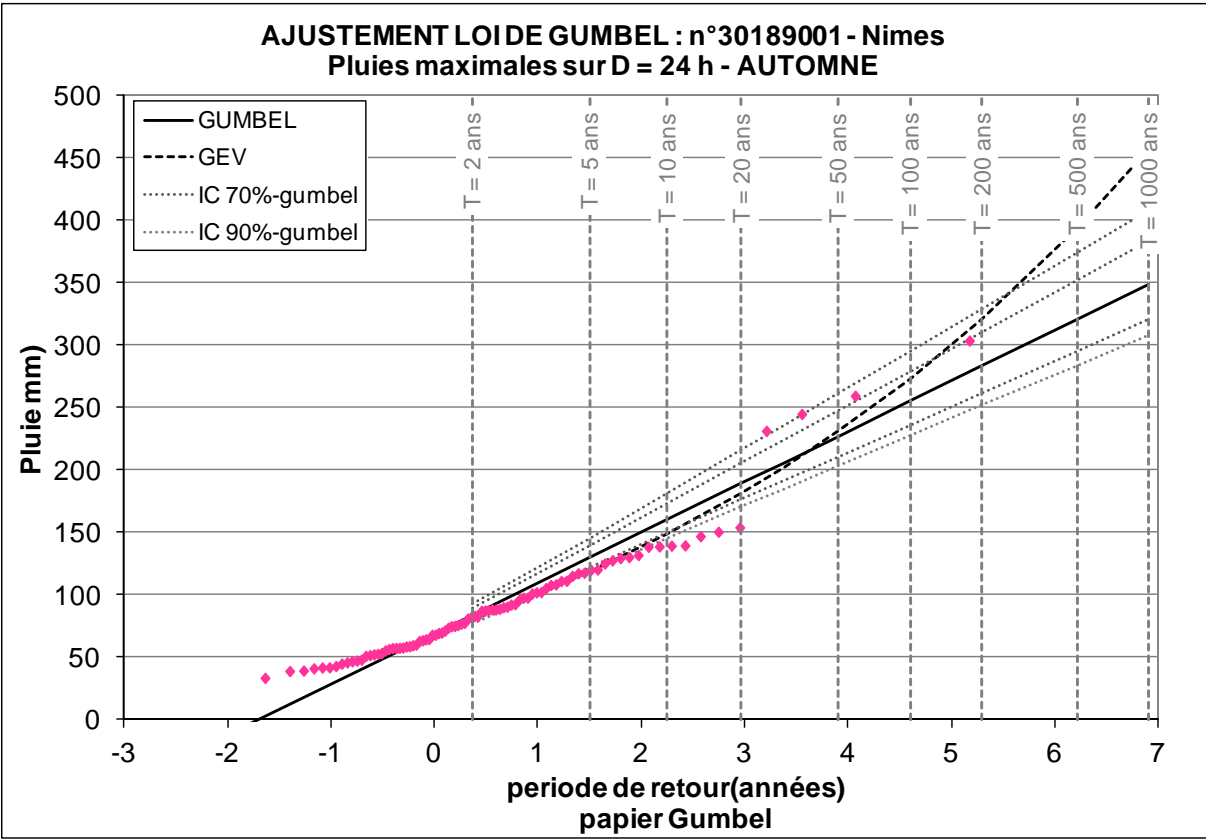
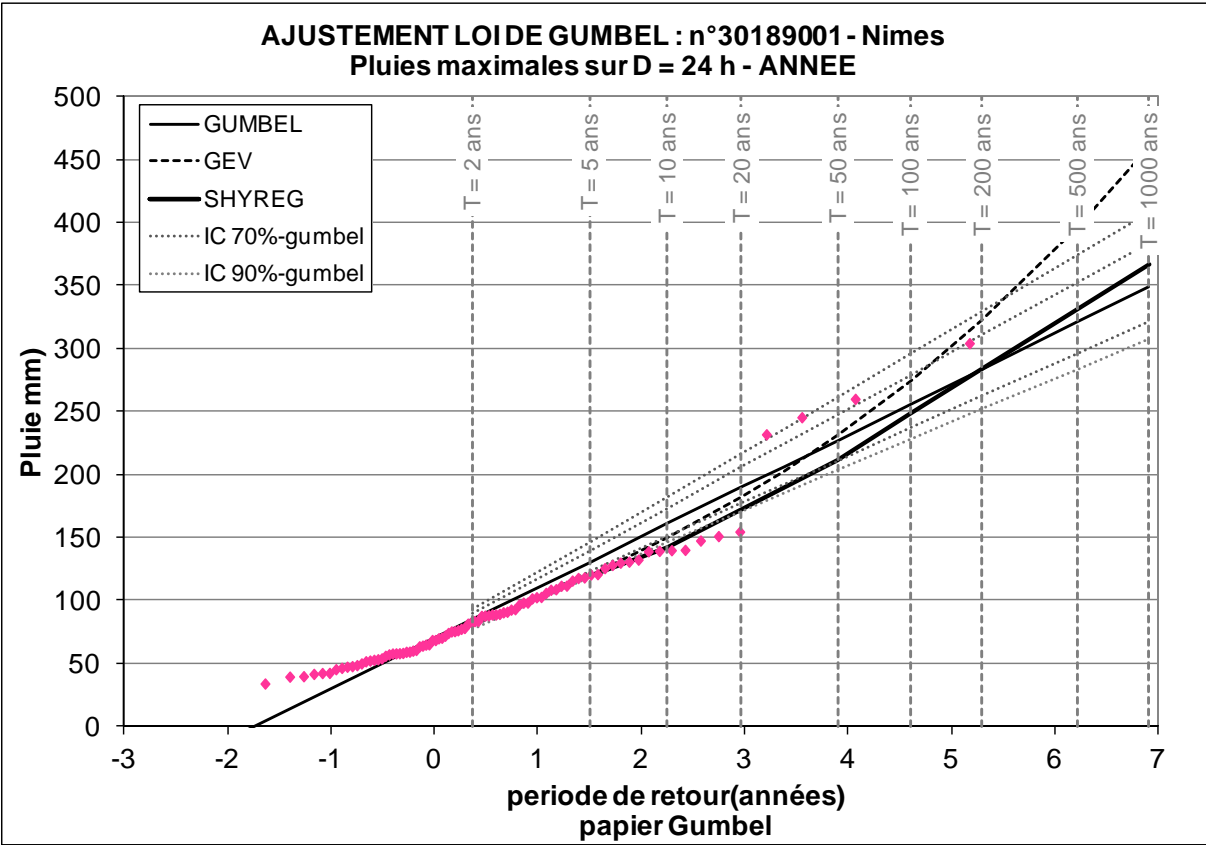
Annexe 1-11

Station de Lussan



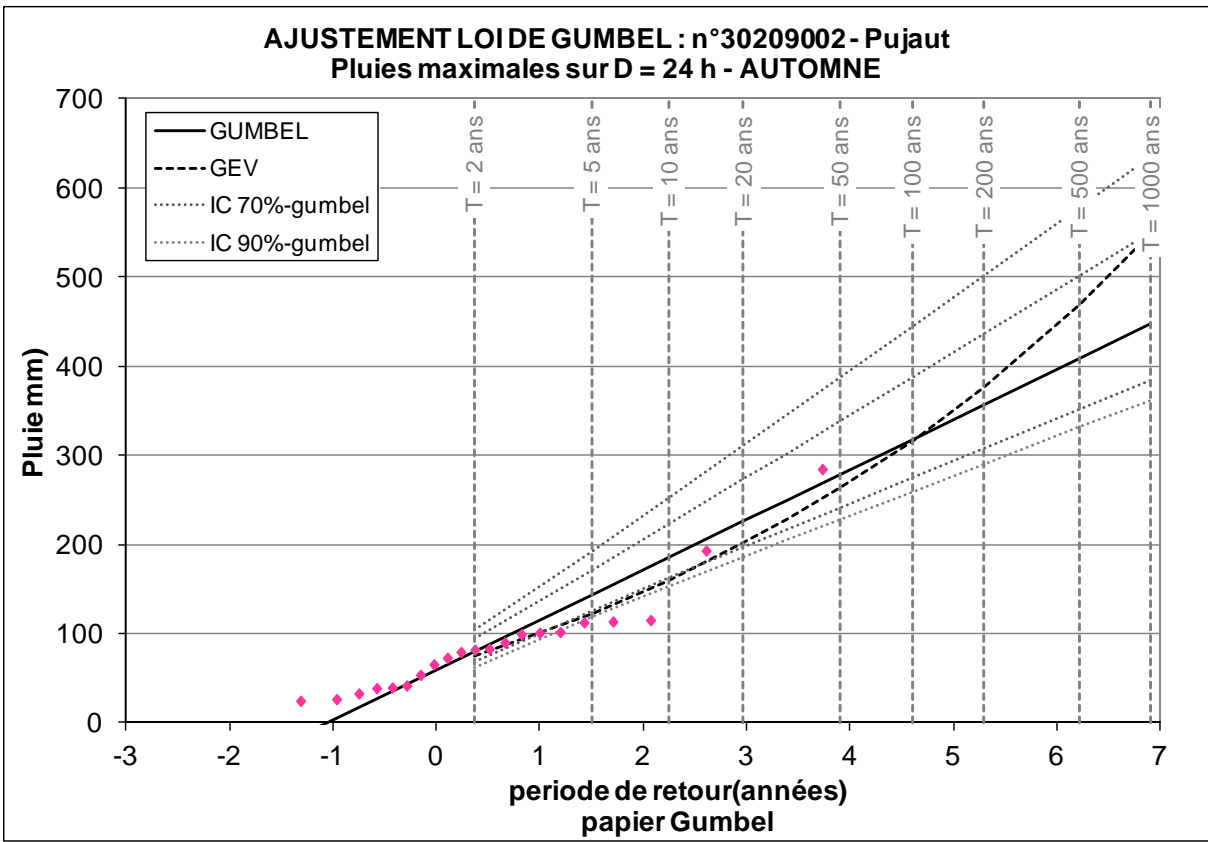
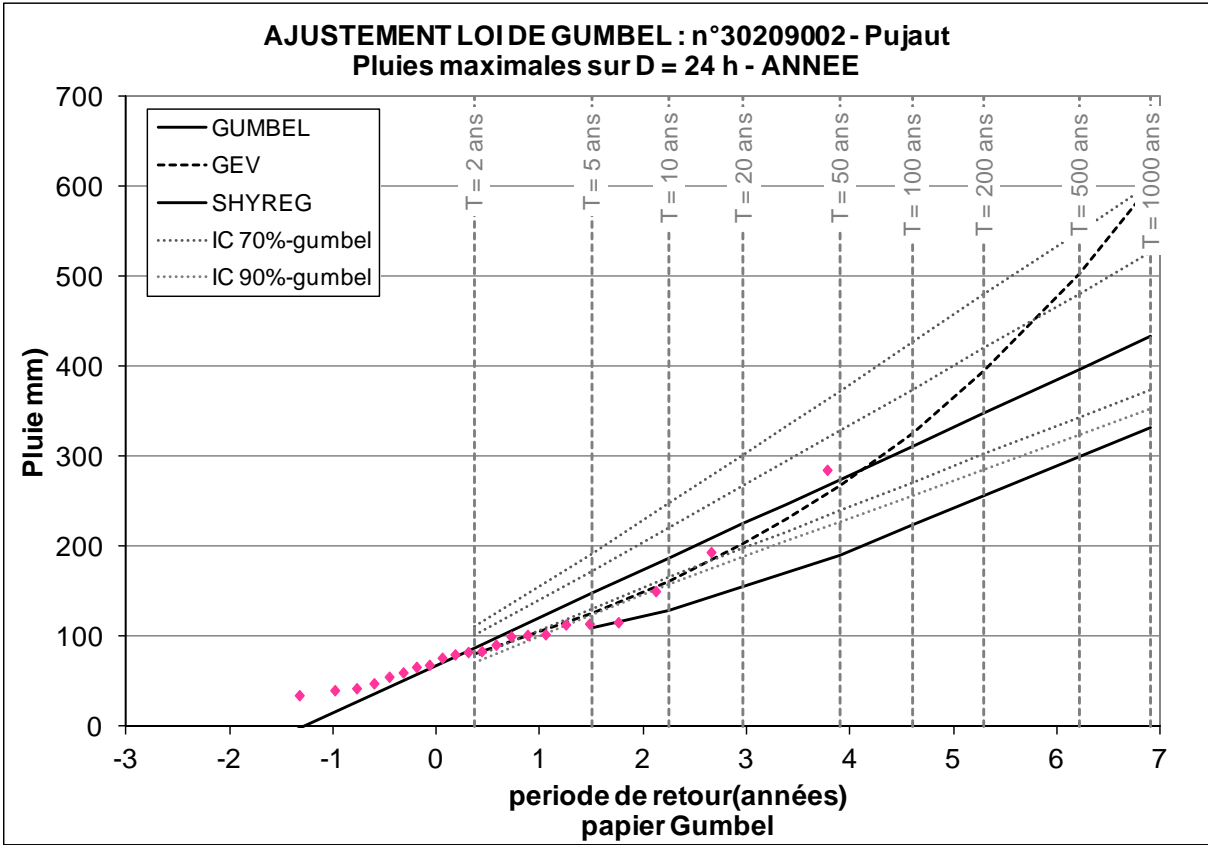
Annexe 1-12

Station de nîmes



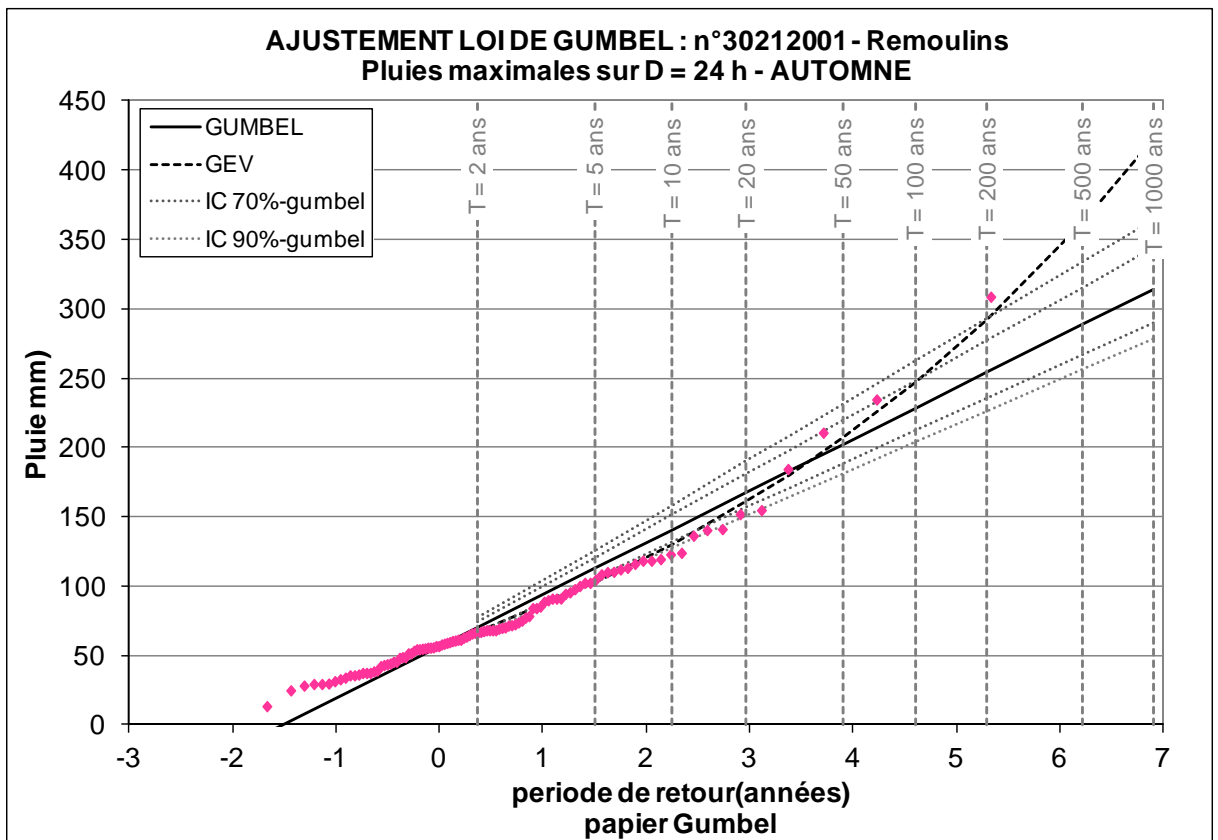
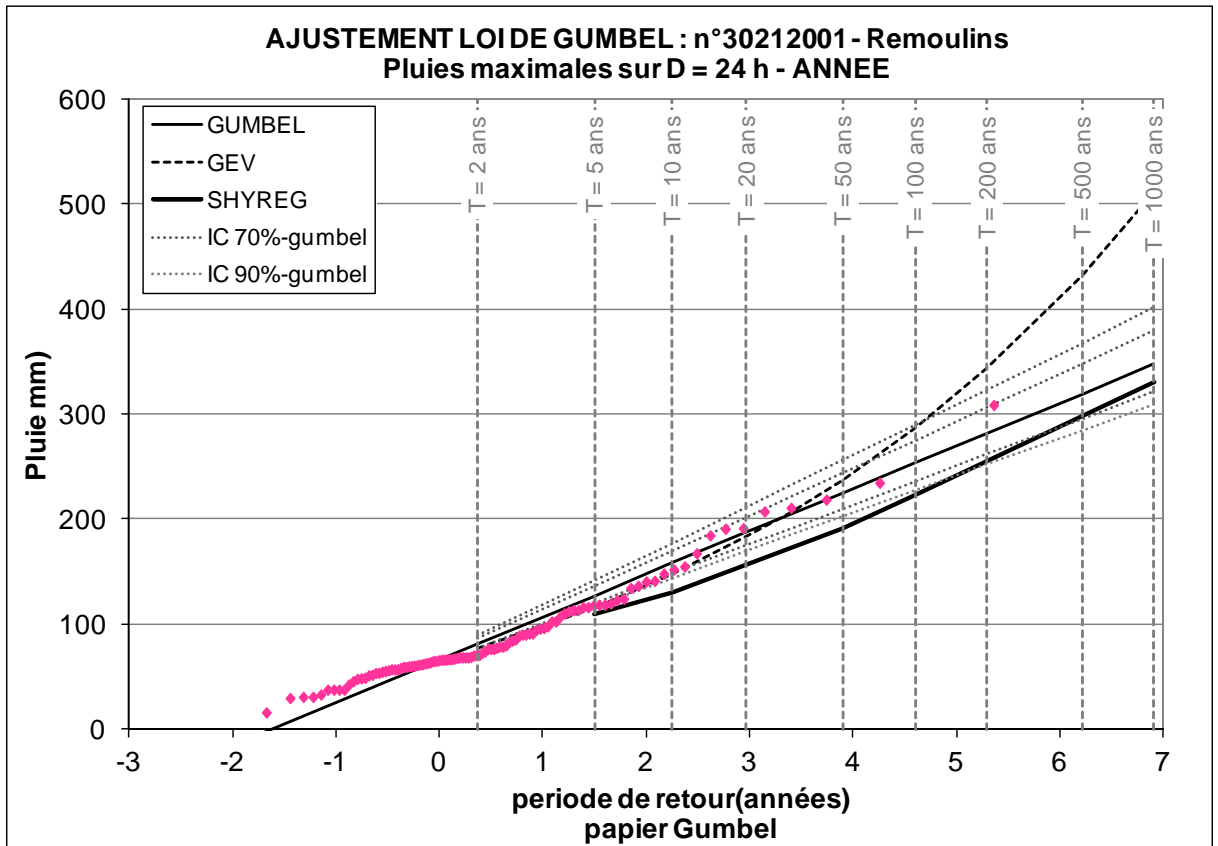
Annexe 1-13

Station de Pujaut



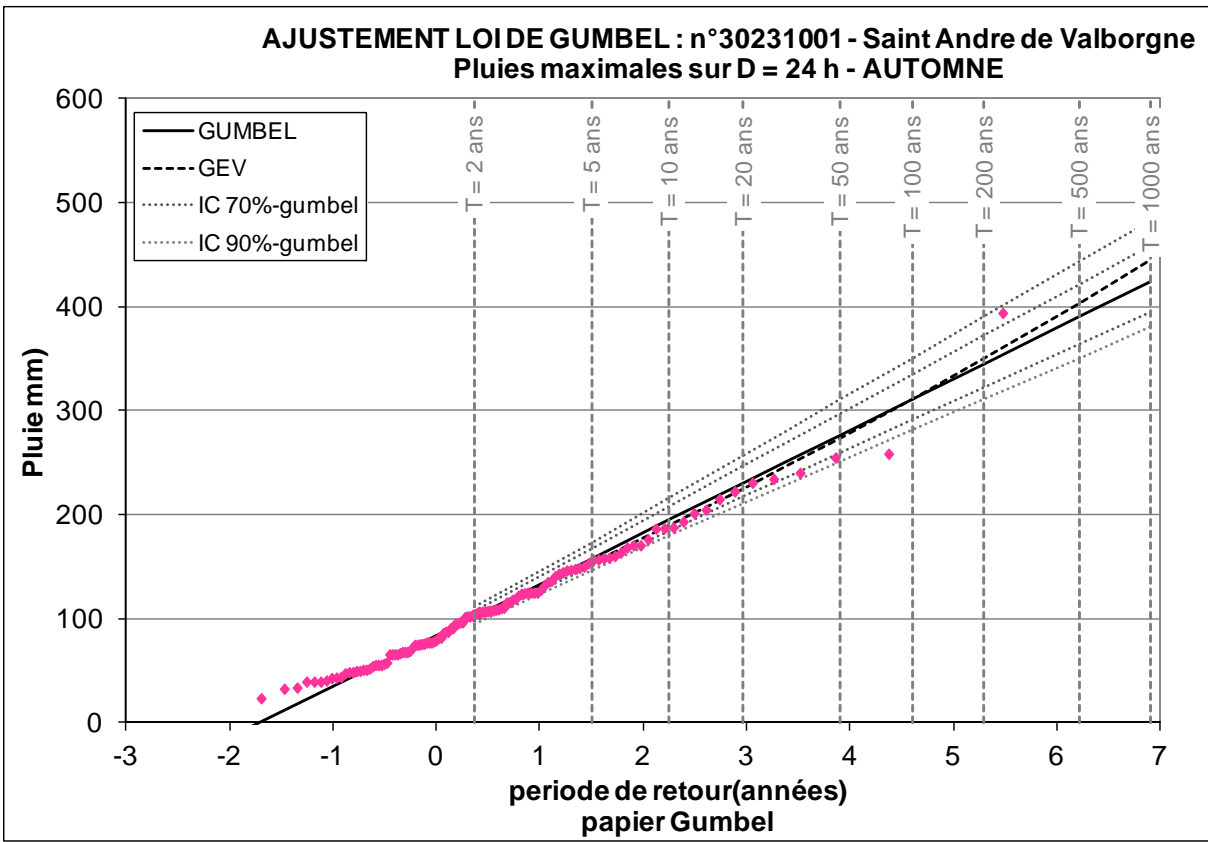
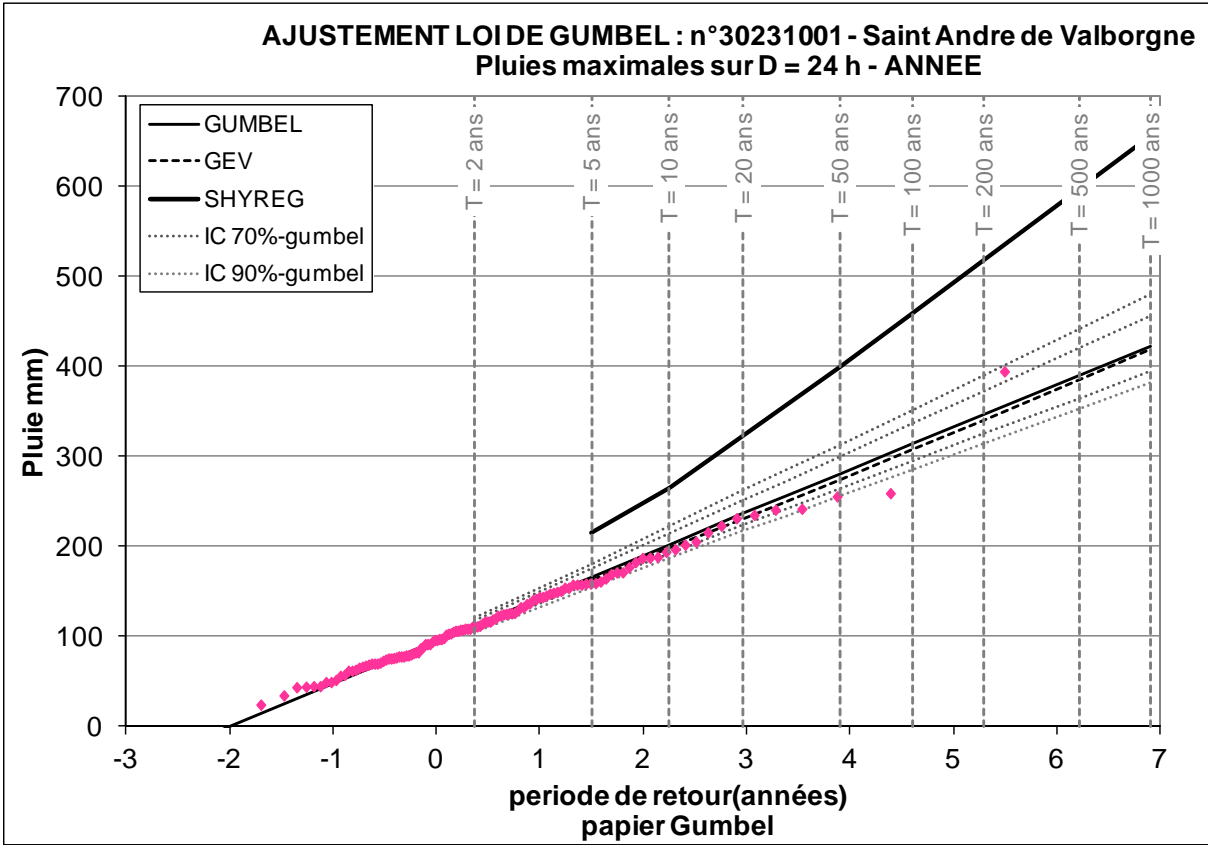
Annexe 1-14

Station de Remoulins



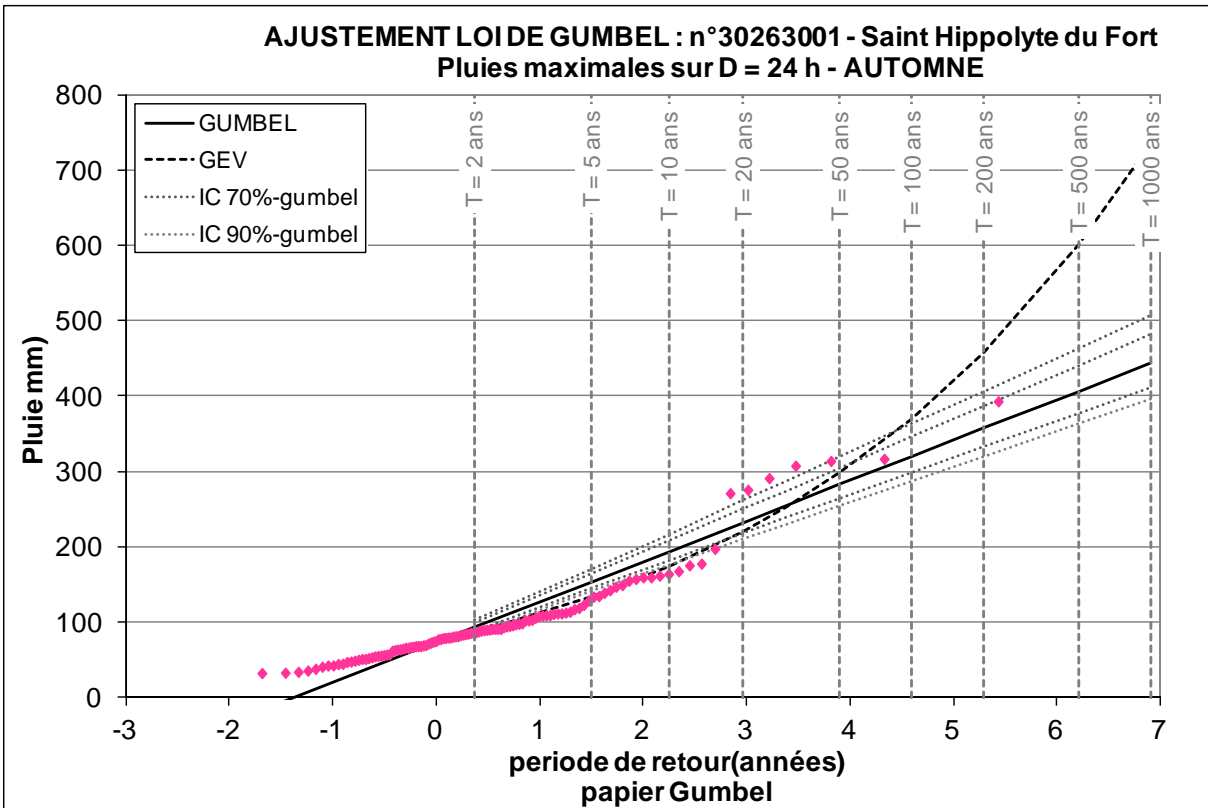
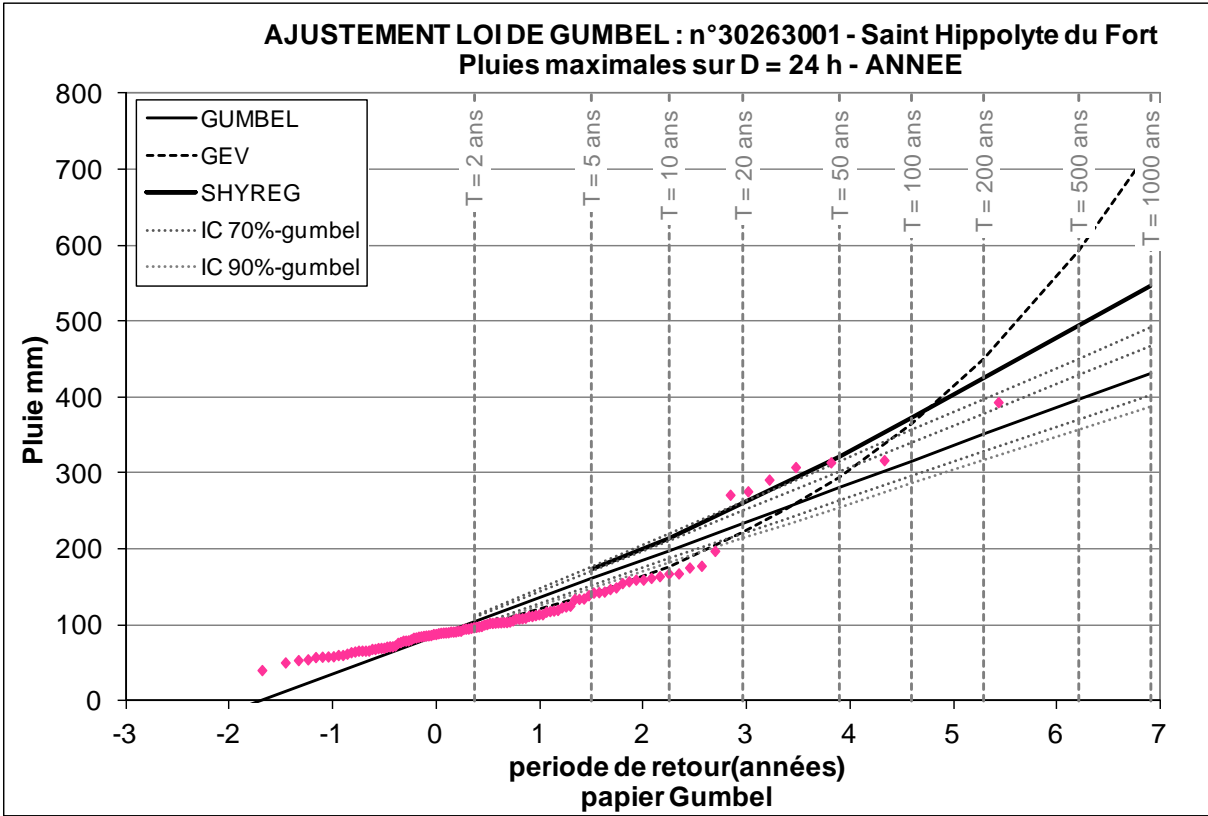
Annexe 1-15

Station de Valborgne



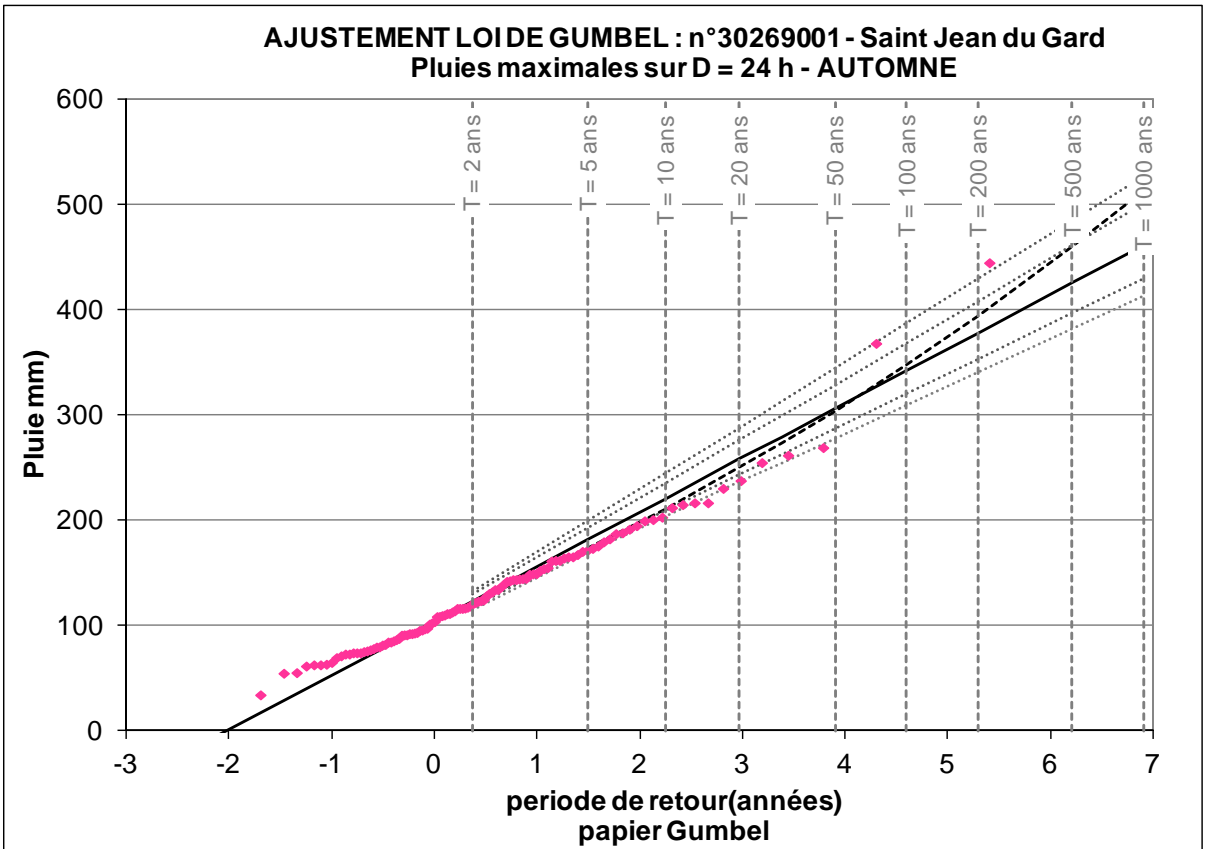
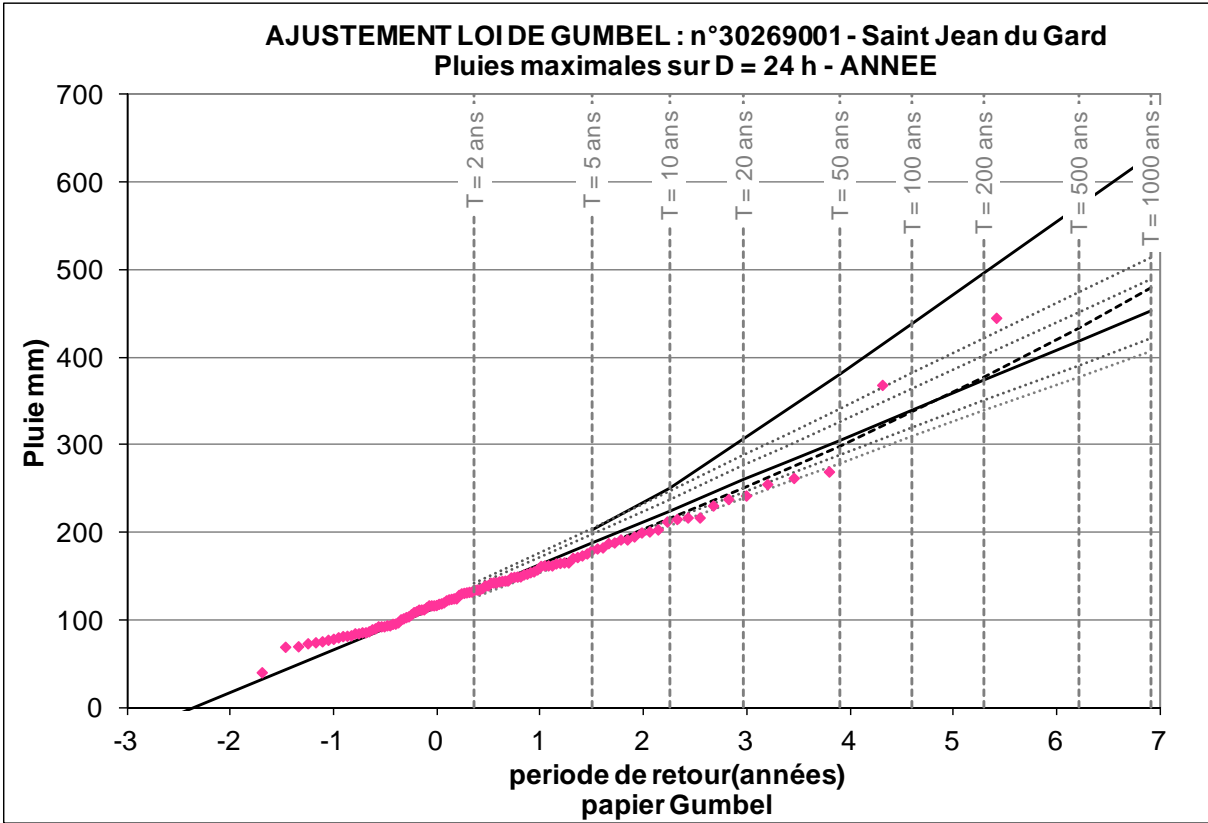
Annexe 1-16

Station de Saint Hippolyte du Fort



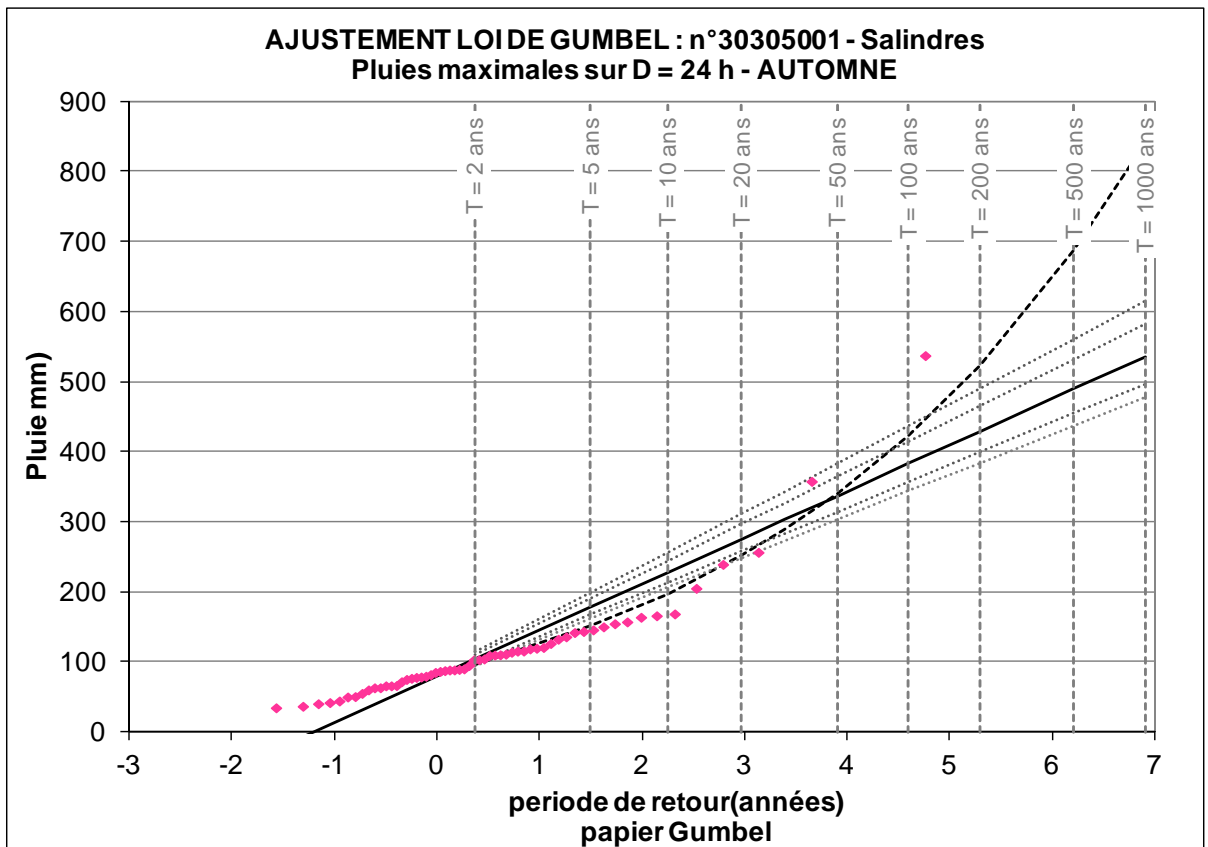
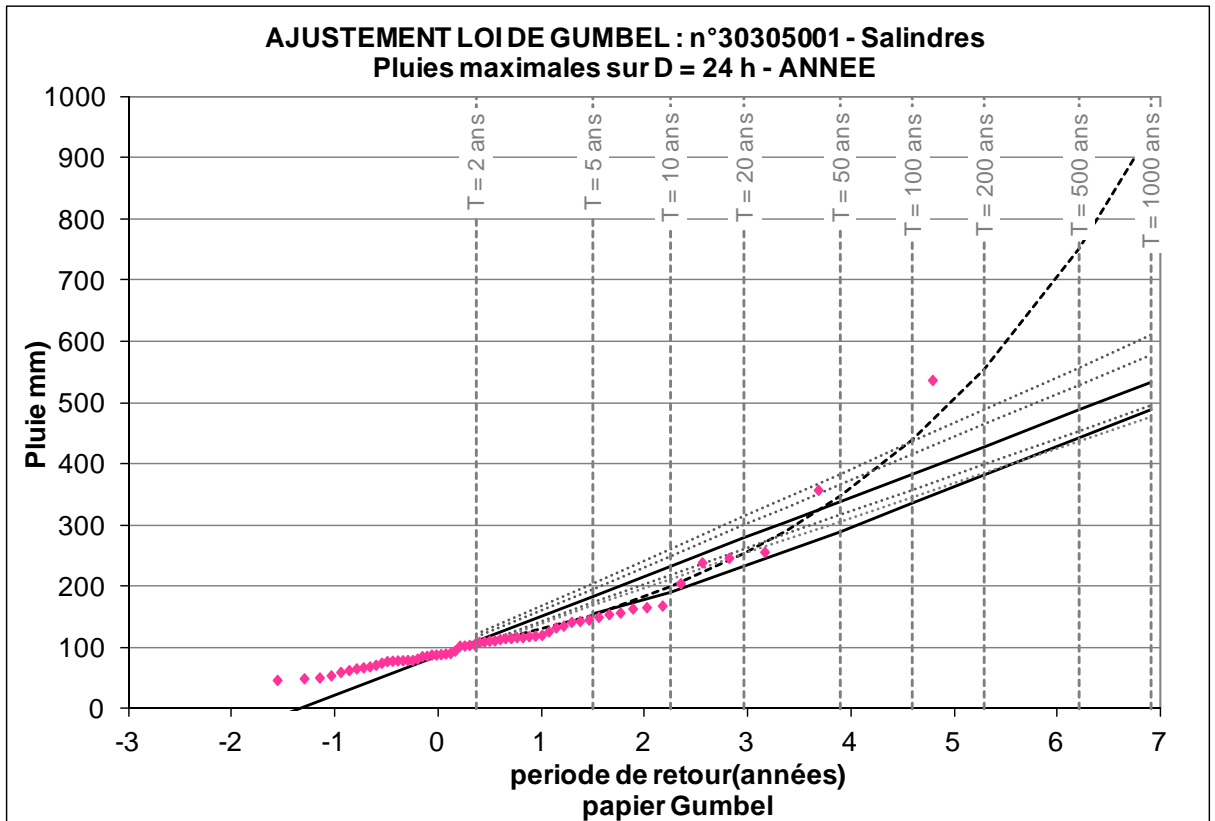
Annexe 1-17

Station de Saint jean du Gard



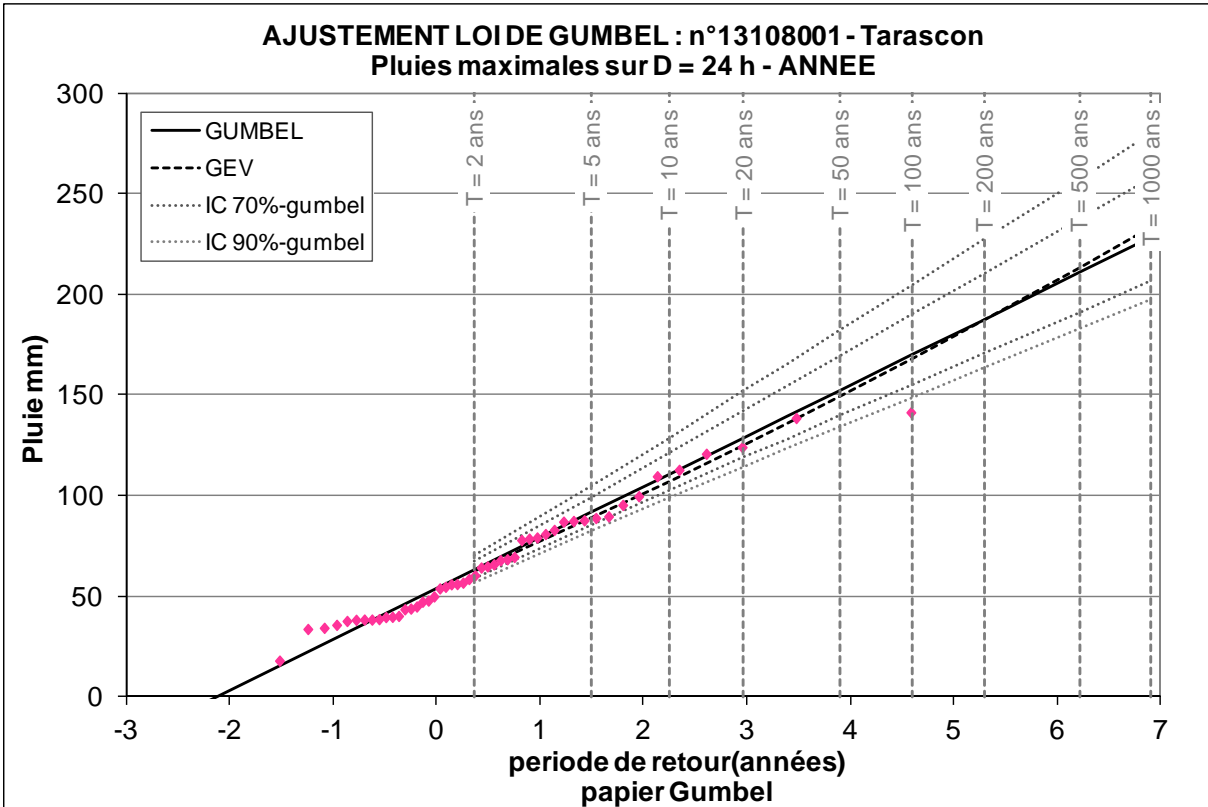
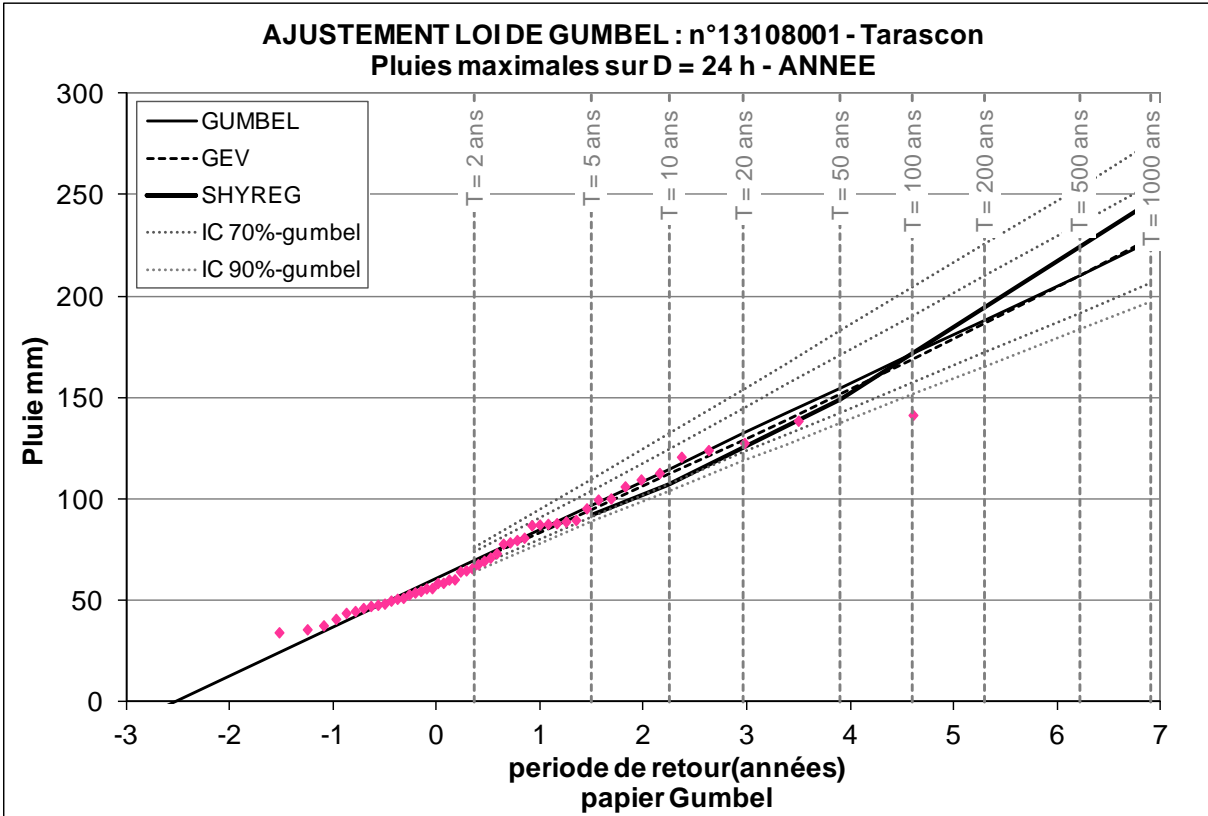
Annexe 1-18

Station de Salindres



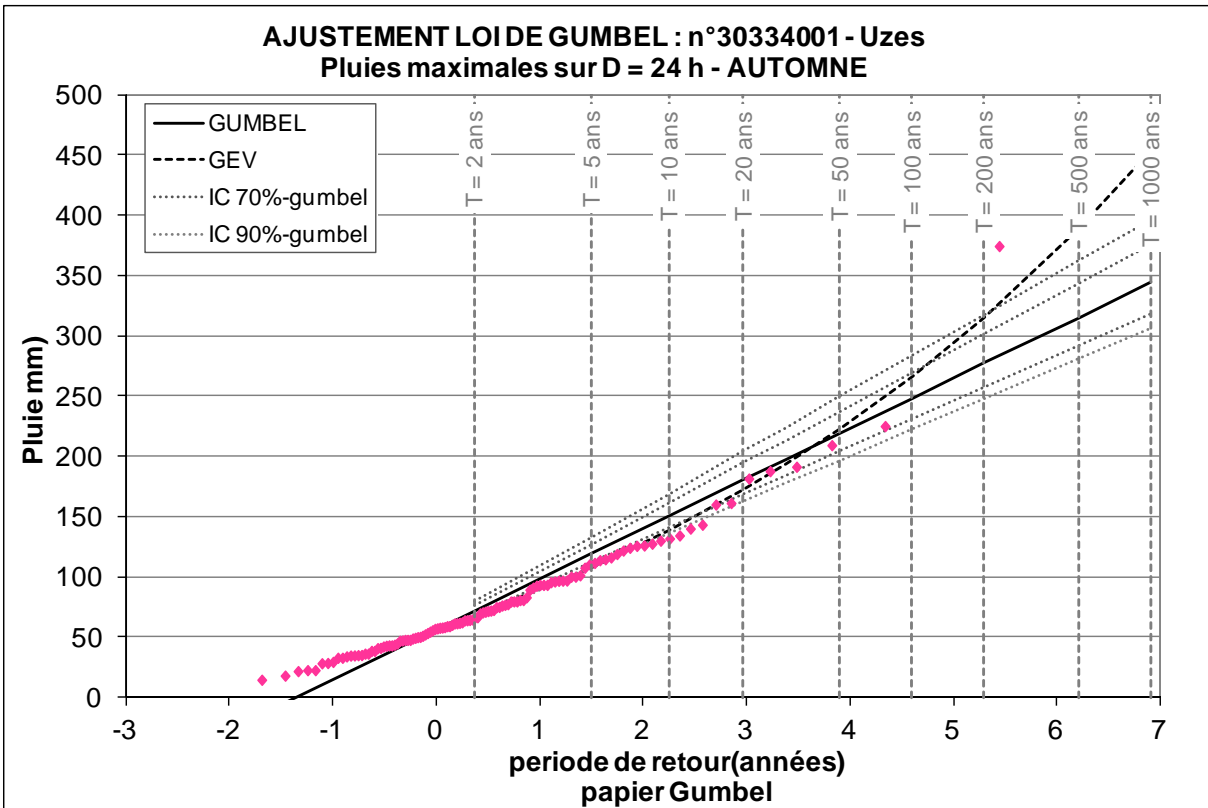
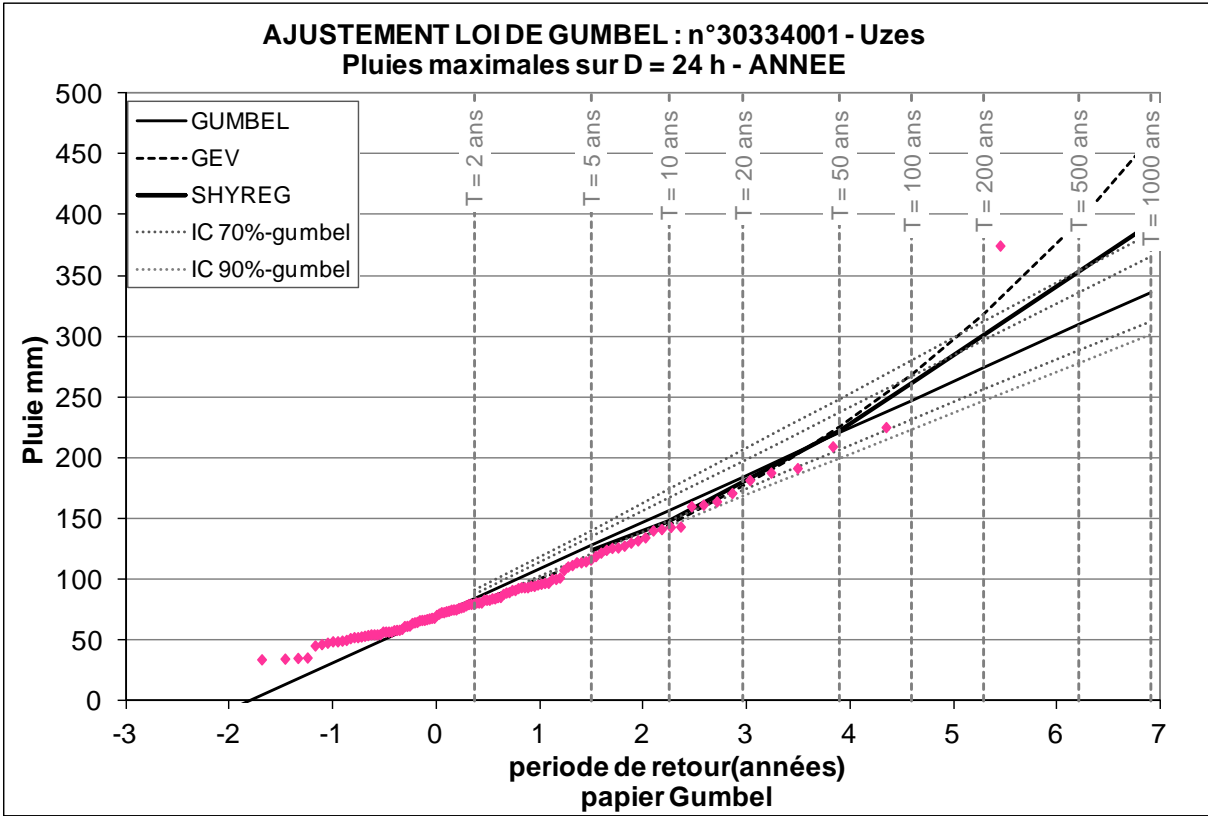
Annexe 1-20

Station de Tarascon



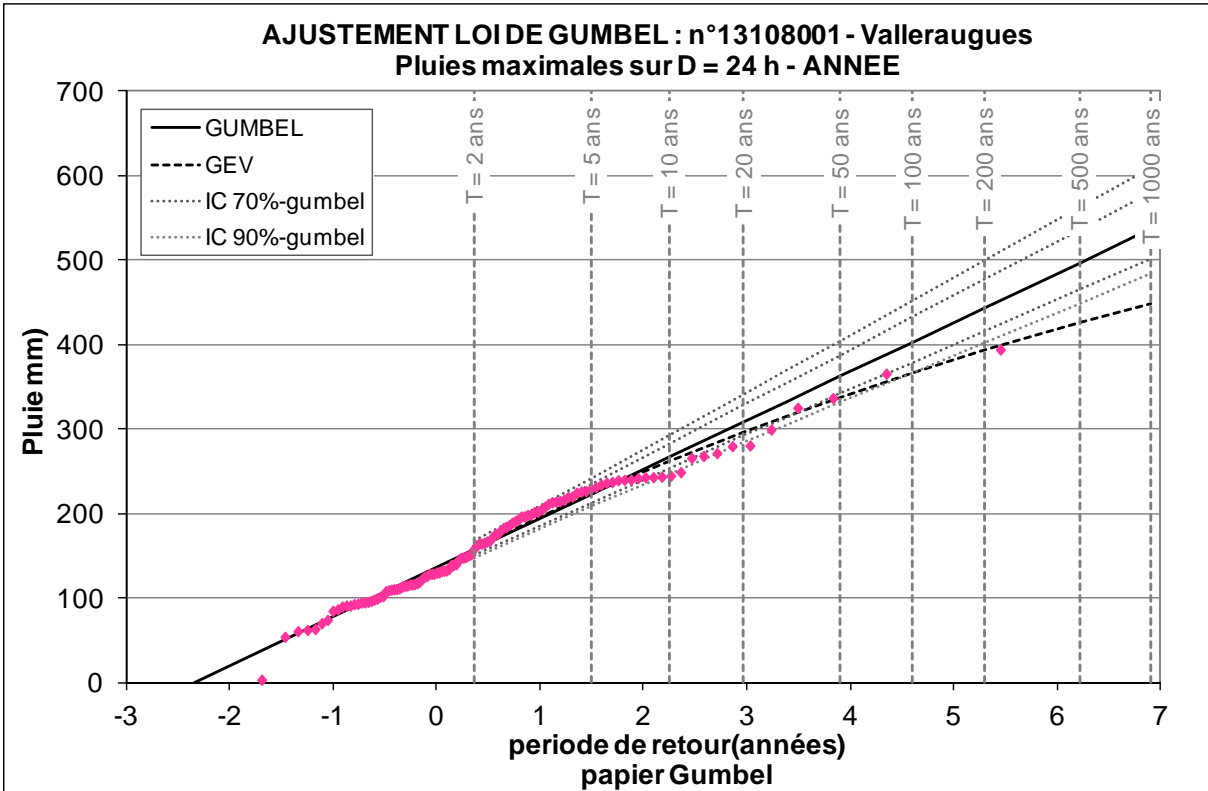
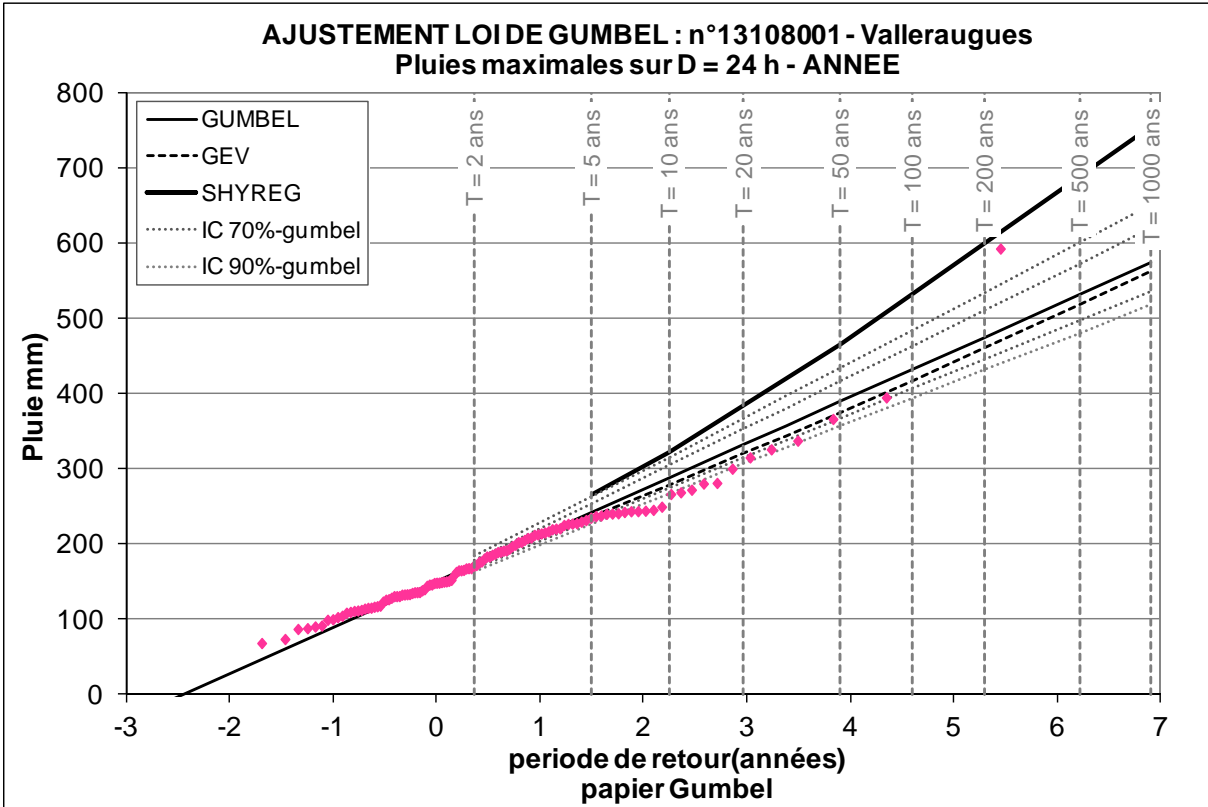
Annexe 1-21

Station d'Uzes



Annexe 1-22

Station de Valleraugues



ANNEXE 2

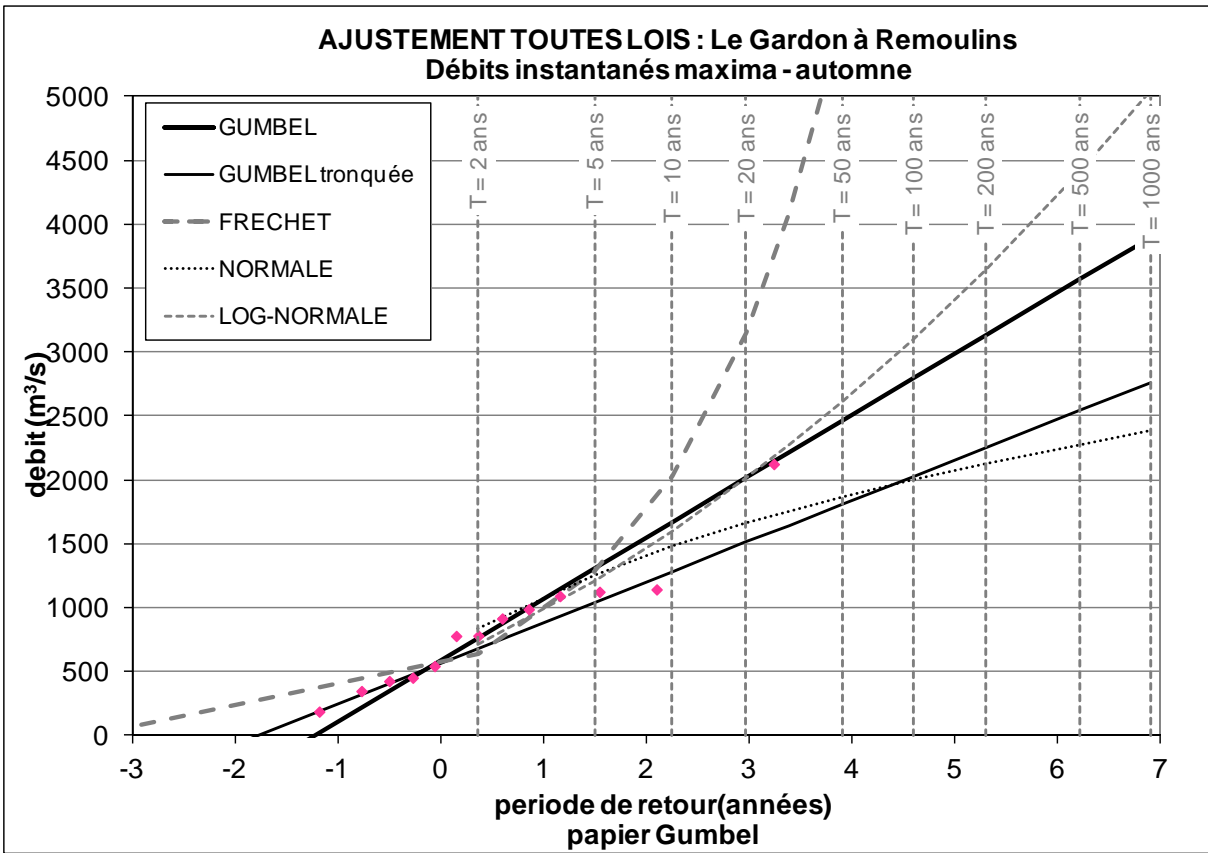
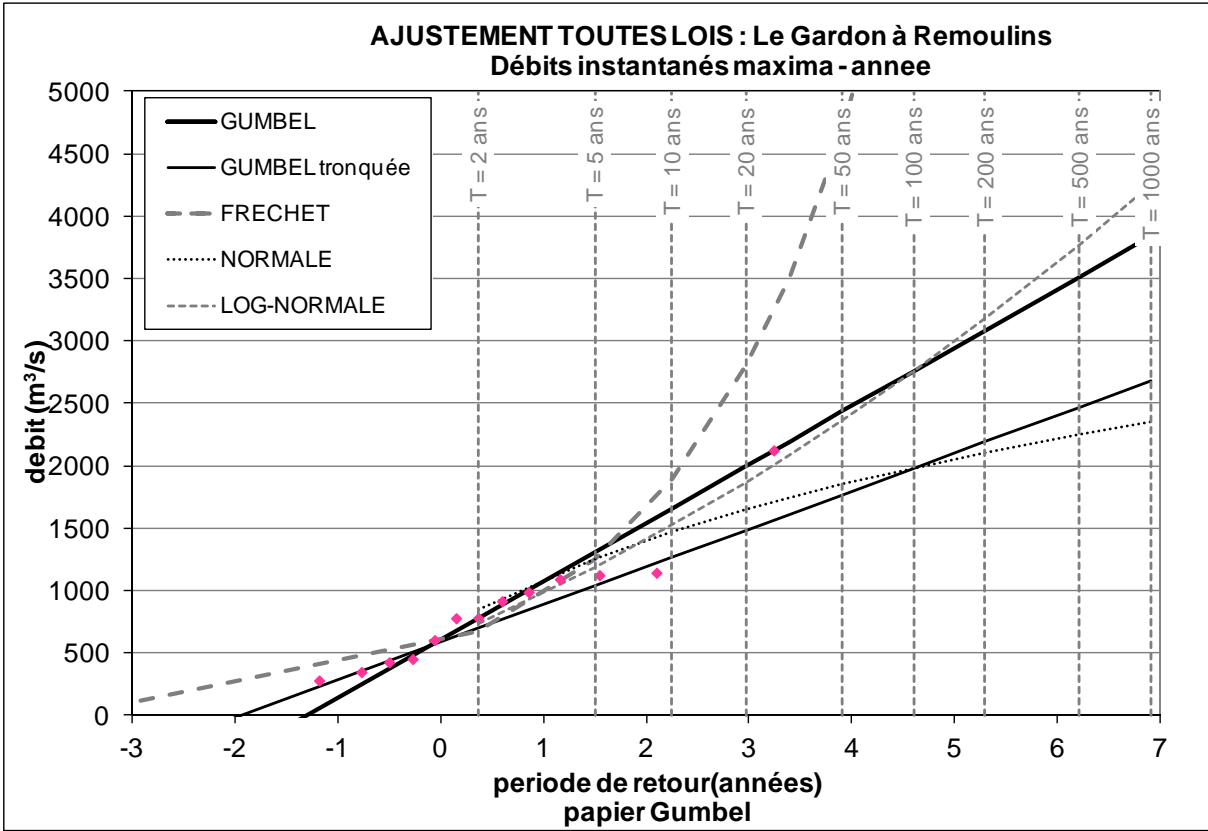
CUMULS PLUVIOMETRIQUES ESTIMES PAR AJUSTEMENTS DE  
GUMBEL/GEV ET A PARTIR DES DONNEES SHYREG POUR DES DUREES  
COMPRISES ENTRE 2H ET 24H

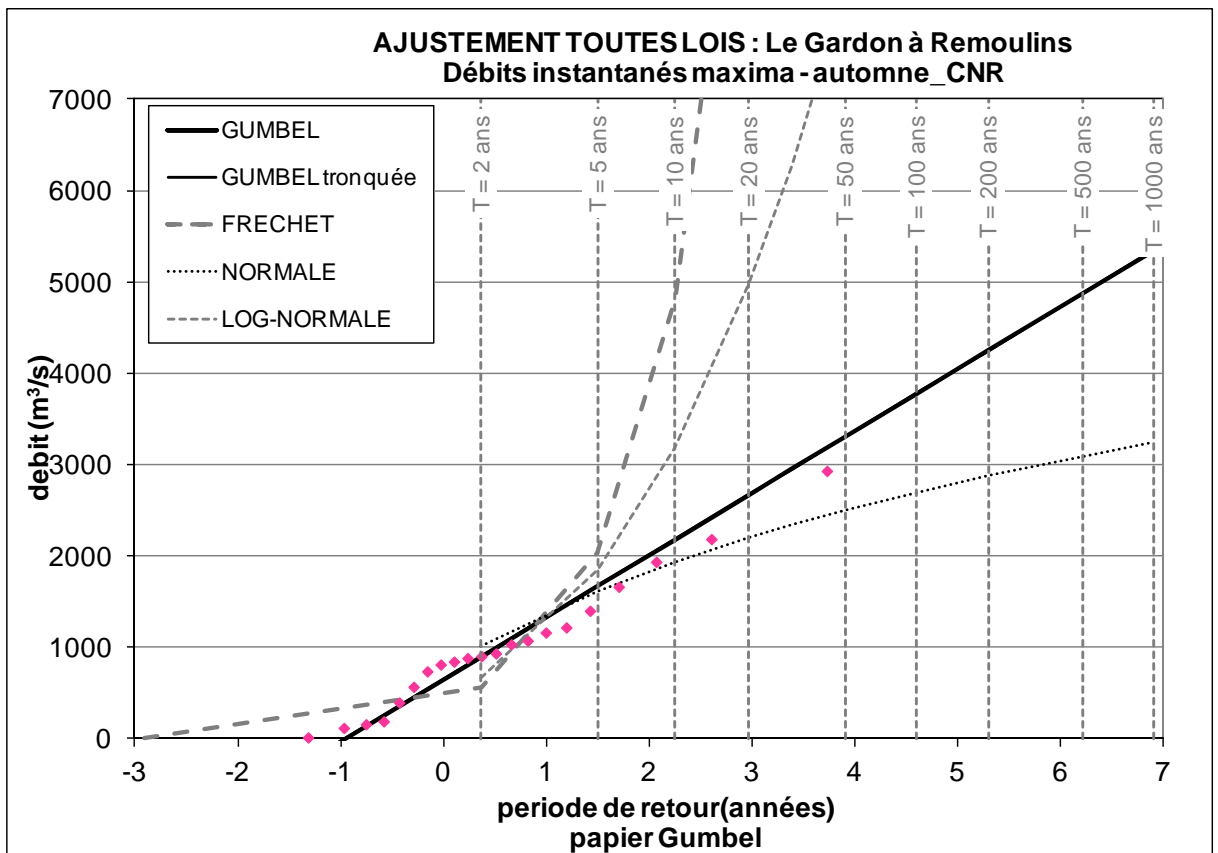
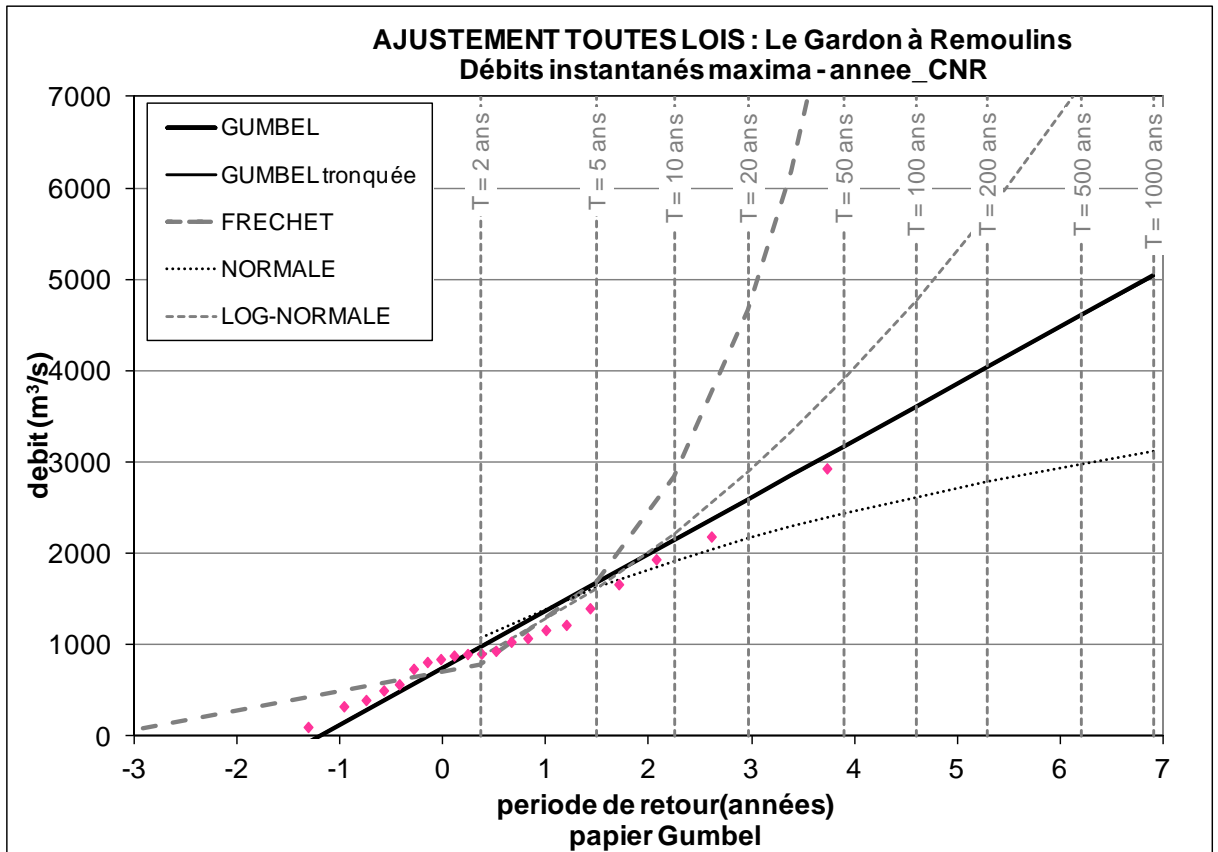


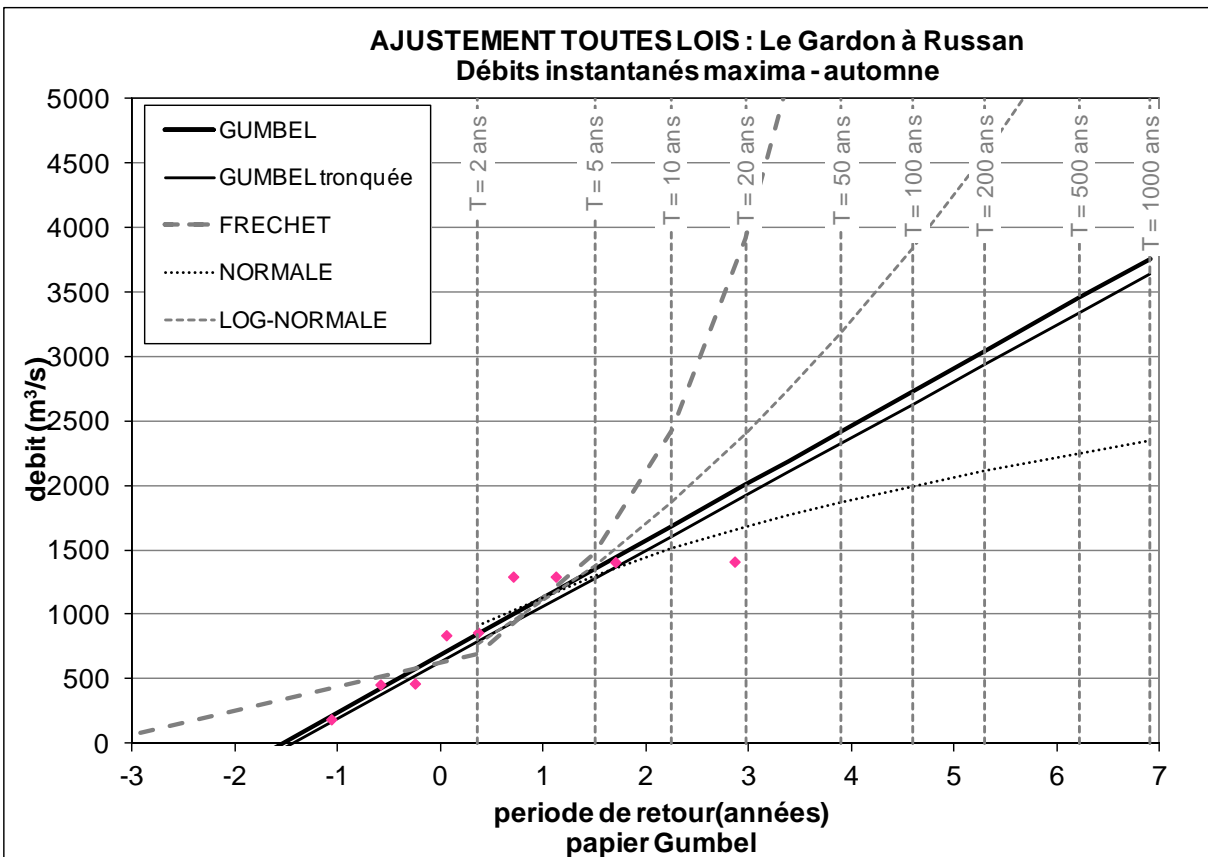
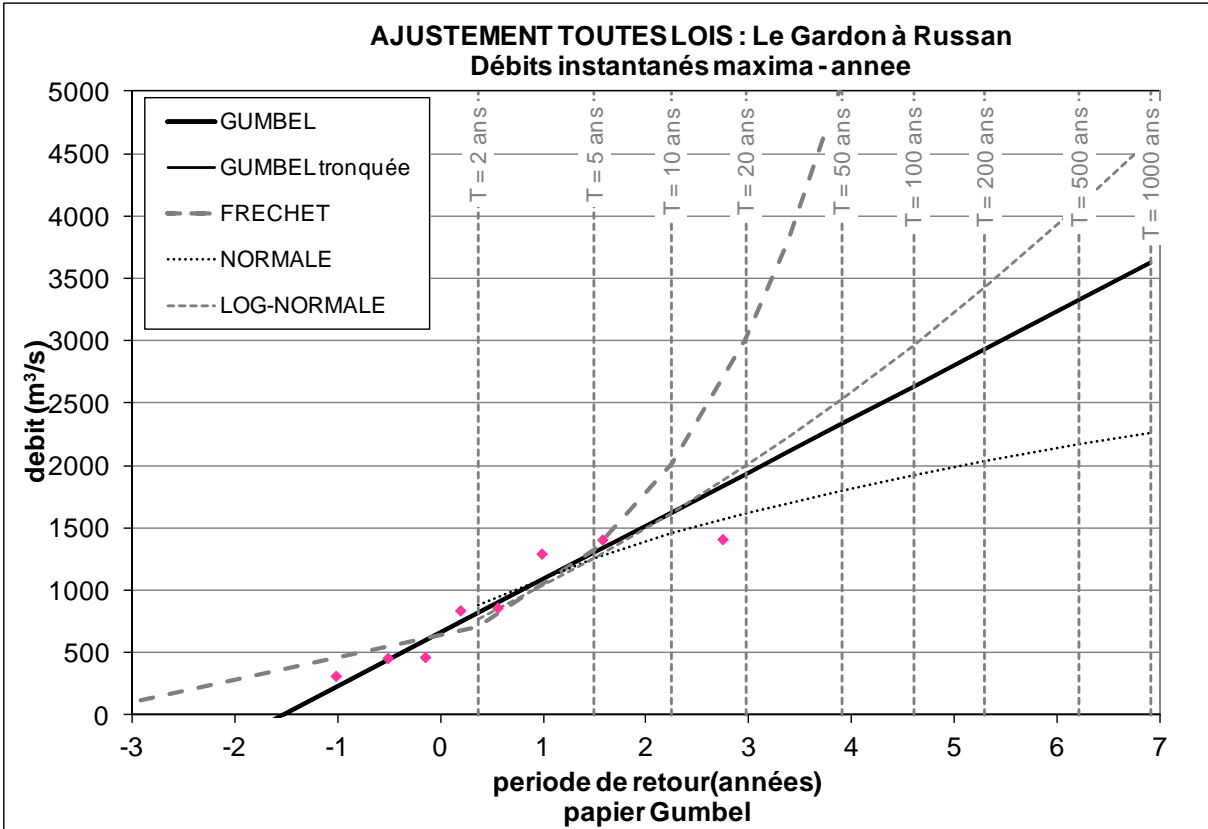
ANNEXE 3

DEBITS MAXIMA INSTANTANES ANNUELS, AJUSTEMENTS STATISTIQUES

TOUTES LOIS







ANNEXE 4

DEBITS MAXIMA INSTANTANES ANNUELS, AJUSTEMENTS LOI DE GUMBEL

ET GRADEX

STATION : Le Gardon à Remoulins

nombre d'années : 22

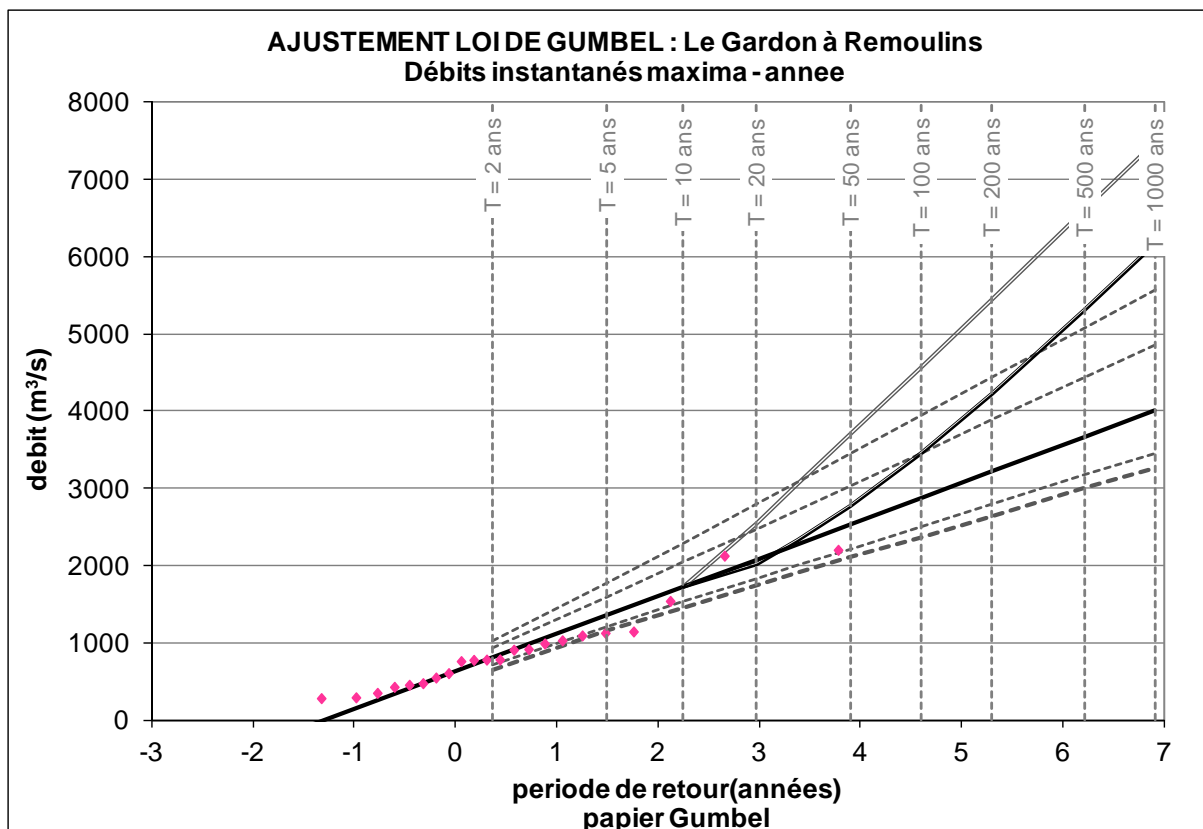
à partir de : 15/01/1992

jusqu'à : 24/11/2011

Ajustements selon une loi de Gumbel :

PERIODE DE RETOUR (ans)	Qix (m3/s)	IC à 70% (m3/s)	IC à 90% (m3/s)
2	812.9	711.8 - 934.9	657.1 - 1023.1
5	1364.8	1213.8 - 1589.0	1152.3 - 1767.9
10	1730.3	1530.6 - 2037.6	1454.7 - 2286.5
20	2080.8	1830.9 - 2471.6	1738.8 - 2789.9
30	2282.4	2002.8 - 2722.1	1900.8 - 3080.8
50	2534.5	2217.1 - 3035.7	2102.5 - 3445.4
100	2874.5	2505.6 - 3459.4	2373.6 - 3938.2
200	3213.2	2792.6 - 3882.0	2642.8 - 4430.0
500	3660.2	3170.8 - 4440.0	2997.3 - 5079.6
1000	3997.9	3456.3 - 4862.0	3264.9 - 5570.9

DEBIT GRADEX (m3/s) 24 h	DEBIT GRADEX PROGRESSIF (m3/s) 24 h	IC à 70% (m3/s)	IC à 90% (m3/s)
-	-	-	-
1730.3	1730.3	-	-
2538.1	2025.7	-	-
3056.3	2321.7	-	-
3704.1	2761.7	-	-
4577.9	3455.5	-	-
5448.4	4226.2	-	-
6597.0	5311.0	-	-
7465.0	6157.2	-	-



STATION : Le Gardon à Remoulins

nombre d'années 21

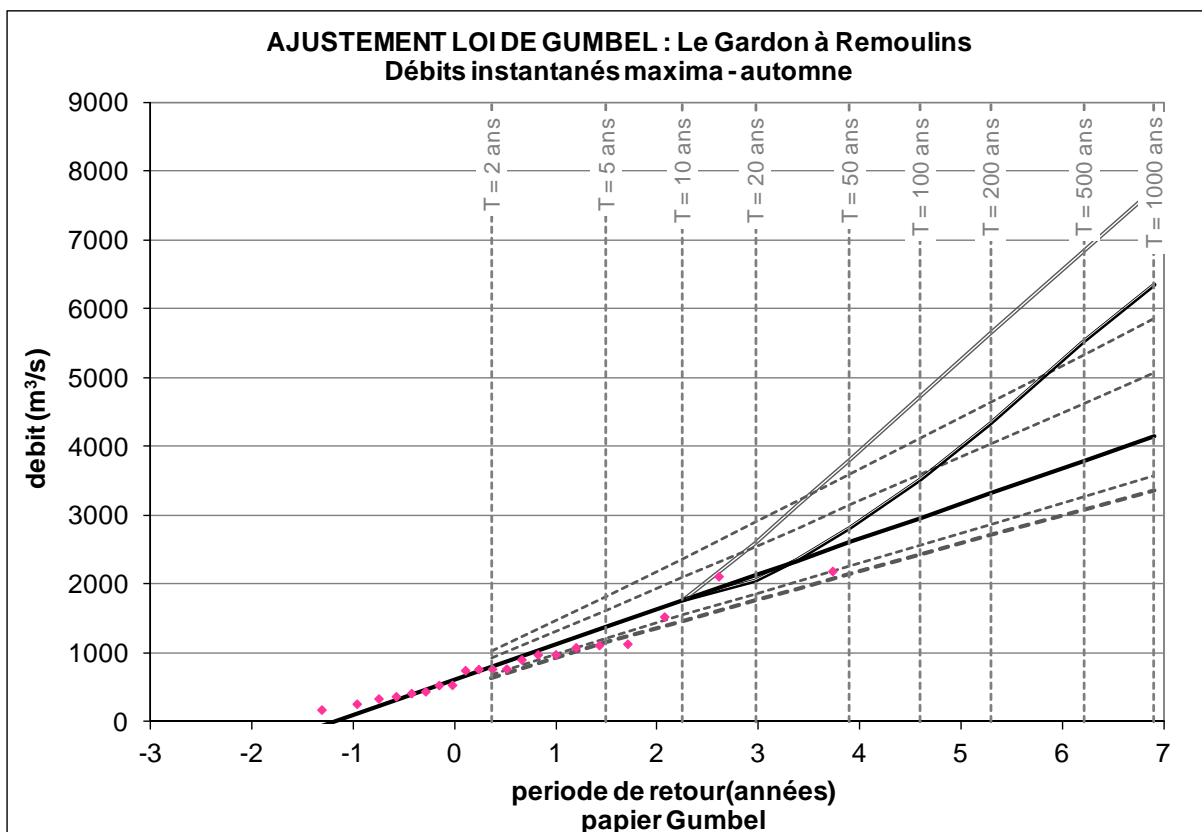
à partir de : 15/01/1992

jusqu'à : 24/11/2011

Ajustements selon une loi de Gumbel :

PERIODE DE RETOUR (ans)	Qix (m <sup>3</sup> /s)	IC à 70% (m <sup>3</sup> /s)	IC à 90% (m <sup>3</sup> /s)
2	794.2	685.8 - 925.6	627.2 - 1021.2
5	1374.1	1212.7 - 1616.0	1147.7 - 1810.4
10	1758.1	1544.9 - 2089.8	1464.9 - 2360.4
20	2126.3	1859.5 - 2548.1	1762.8 - 2894.3
30	2338.2	2039.7 - 2812.7	1932.7 - 3203.0
50	2603.0	2264.3 - 3144.1	2144.1 - 3589.8
100	2960.3	2566.6 - 3591.6	2428.1 - 4112.6
200	3316.2	2867.2 - 4038.1	2710.3 - 4634.3
500	3785.7	3263.4 - 4627.6	3081.8 - 5323.4
1000	4140.6	3562.6 - 5073.4	3362.1 - 5844.7

DEBIT GRADEX (m <sup>3</sup> /s) 24 h	DEBIT GRADEX PROGRESSIF (m <sup>3</sup> /s) 24 h	IC à 70% (m <sup>3</sup> /s)	IC à 90% (m <sup>3</sup> /s)
-	-	-	-
-	-	-	-
1758.1	1758.1	-	-
2587.0	2043.4	-	-
3129.2	2348.7	-	-
3806.9	2804.1	-	-
4721.1	3525.1	-	-
5632.0	4328.4	-	-
6833.6	5519.0	-	-
7741.9	6345.9	-	-



STATION : Le Gardon à Remoullins

nombre d'années : 21

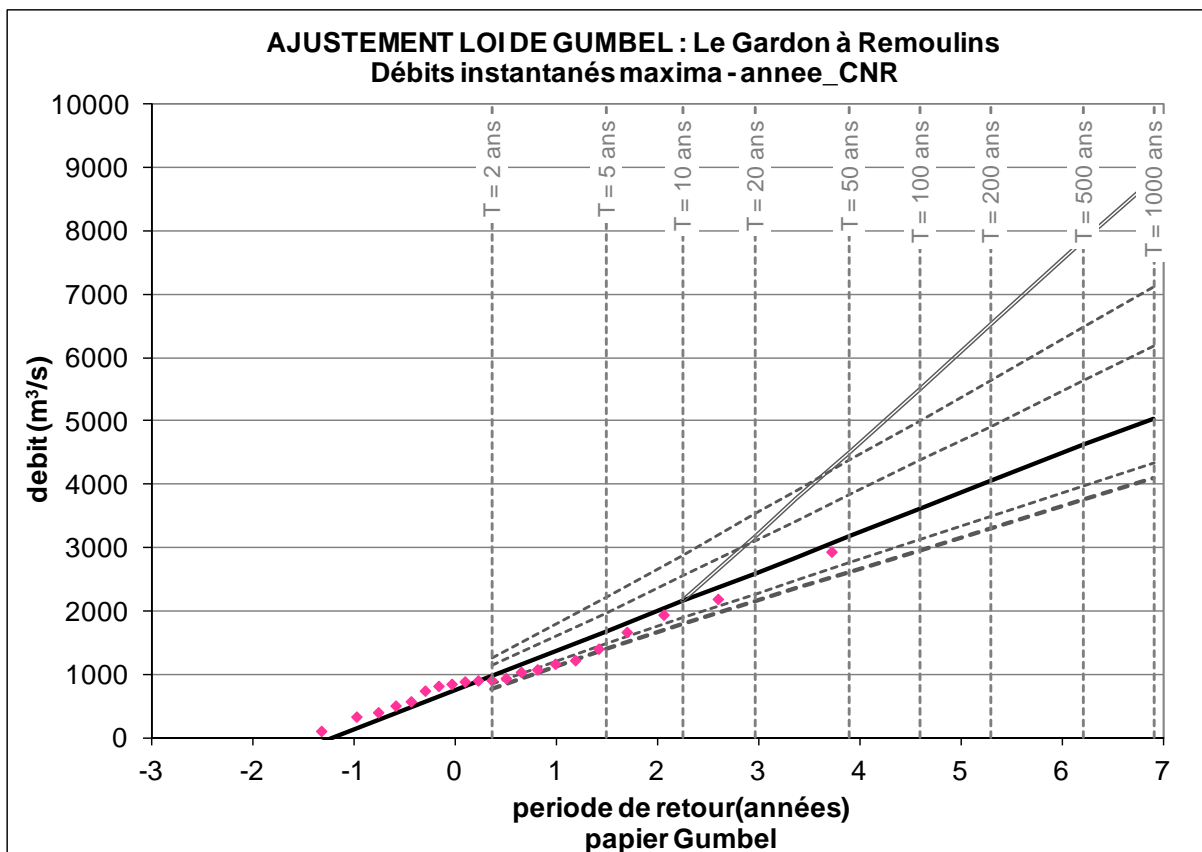
à partir de : 02/01/1996

jusqu'à : 24/11/2011

Ajustements selon une loi de Gumbel :

PERIODE DE RETOUR (ans)	Qix (m <sup>3</sup> /s)	IC à 70% (m <sup>3</sup> /s)	IC à 90% (m <sup>3</sup> /s)
2	974.6	842.8 - 1134.3	771.5 - 1250.5
5	1679.4	1483.2 - 1973.4	1404.2 - 2209.8
10	2146.1	1887.0 - 2549.3	1789.8 - 2878.2
20	2593.7	2269.5 - 3106.4	2151.9 - 3527.2
30	2851.2	2488.4 - 3428.0	2358.3 - 3902.4
50	3173.1	2761.4 - 3830.7	2615.3 - 4372.5
100	3607.3	3128.8 - 4374.7	2960.6 - 5007.9
200	4039.9	3494.3 - 4917.4	3303.5 - 5642.1
500	4610.7	3975.8 - 5633.9	3755.0 - 6479.7
1000	5042.0	4339.5 - 6175.7	4095.7 - 7113.2

DEBIT GRADEX (m <sup>3</sup> /s) 24 h	DEBIT GRADEX PROGRESSIF (m <sup>3</sup> /s) 24 h	IC à 70% (m <sup>3</sup> /s)	IC à 90% (m <sup>3</sup> /s)
-	-	-	-
2146.1	-	-	-
3178.3	-	-	-
3772.1	-	-	-
4514.4	-	-	-
5515.7	-	-	-
6513.2	-	-	-
7829.3	-	-	-
8824.0	-	-	-



STATION : Le Gardon à Remoulins

nombre d'années: 21

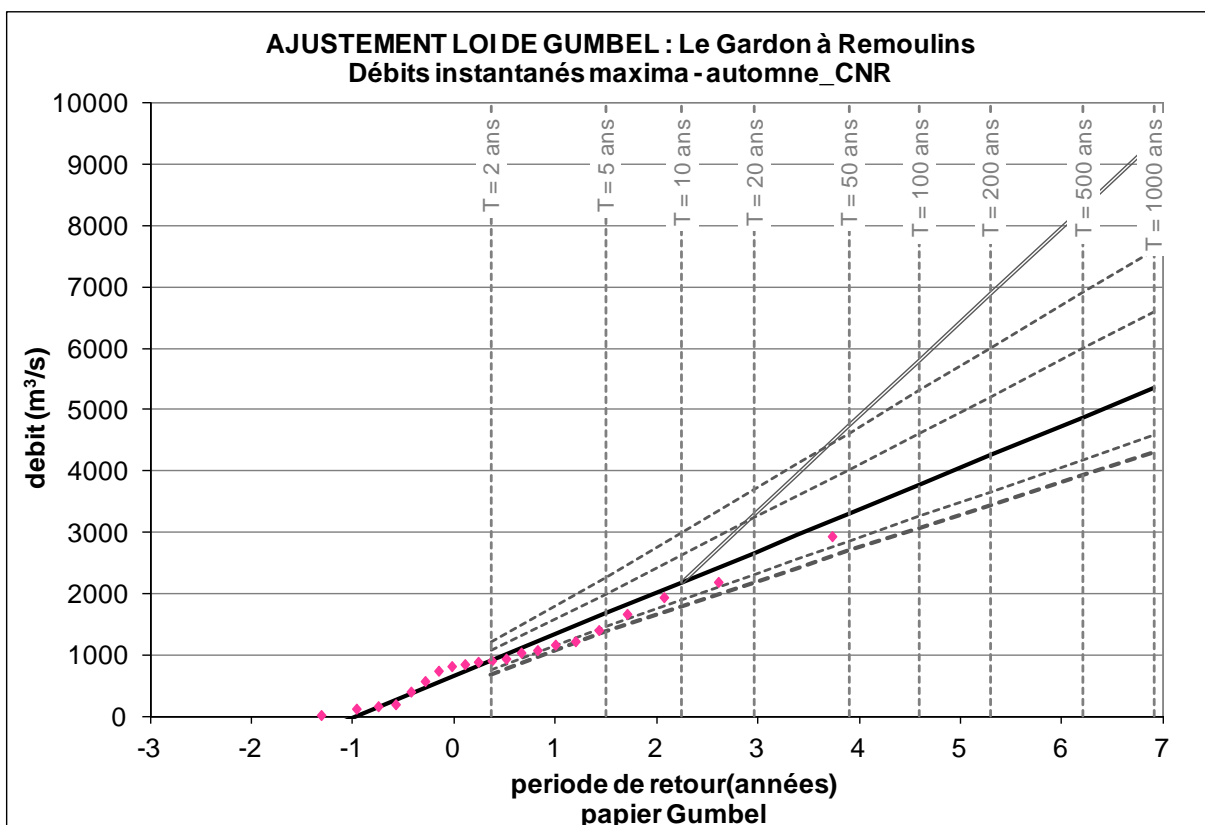
à partir de : 02/01/1996

jusqu'à : 24/11/2011

Ajustements selon une loi de Gumbel :

PERIODE DE RETOUR (ans)	Qix (m <sup>3</sup> /s)	IC à 70% (m <sup>3</sup> /s)	IC à 90% (m <sup>3</sup> /s)
2	901.5	757.6 - 1076.0	679.7 - 1202.9
5	1671.4	1457.1 - 1992.6	1370.9 - 2250.7
10	2181.2	1898.1 - 2621.6	1792.0 - 2980.9
20	2670.1	2315.9 - 3230.2	2187.5 - 3689.8
30	2951.4	2555.1 - 3581.5	2413.0 - 4099.6
50	3303.0	2853.3 - 4021.3	2693.7 - 4613.1
100	3777.3	3254.6 - 4615.6	3070.8 - 5307.2
200	4249.9	3653.8 - 5208.3	3445.5 - 5999.9
500	4873.3	4179.8 - 5991.0	3938.6 - 6914.8
1000	5344.5	4577.0 - 6582.8	4310.8 - 7606.9

DEBIT GRADEX (m <sup>3</sup> /s) 24 h	DEBIT GRADEX PROGRESSIF (m <sup>3</sup> /s) 24 h	IC à 70% (m <sup>3</sup> /s)	IC à 90% (m <sup>3</sup> /s)
-	-	-	-
2181.2	-	-	-
3291.4	-	-	-
3930.1	-	-	-
4728.5	-	-	-
5805.3	-	-	-
6878.3	-	-	-
8293.8	-	-	-
9363.7	-	-	-



STATION : Le Gardon à Russan

nombre d'années : 8

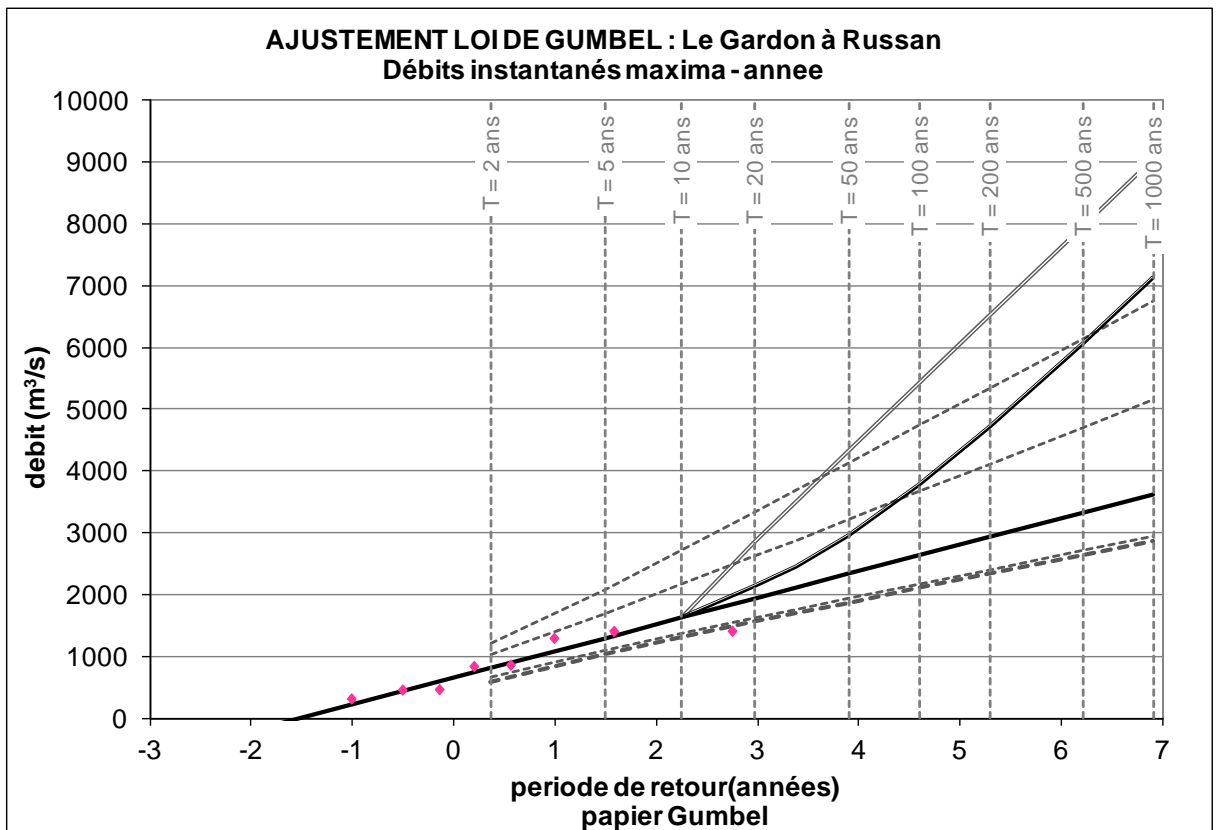
à partir de : 08/09/2002

jusqu'à : 02/01/2012

Ajustements selon une loi de Gumbel :

PERIODE DE RETOUR (ans)	Qix (m3/s)	IC à 70% (m3/s)	IC à 90% (m3/s)
2	814.3	665.9 - 1017.2	581.3 - 1199.6
5	1301.5	1101.5 - 1692.4	1048.4 - 2088.2
10	1624.0	1365.5 - 2163.9	1314.6 - 2719.5
20	1933.4	1613.0 - 2621.9	1559.8 - 3335.2
30	2111.4	1754.0 - 2886.7	1698.6 - 3691.7
50	2333.9	1929.5 - 3218.5	1870.6 - 4138.8
100	2634.0	2165.2 - 3667.1	2100.9 - 4743.6
200	2933.0	2399.3 - 4114.7	2329.0 - 5347.6
500	3327.5	2707.4 - 4706.1	2628.6 - 6145.6
1000	3625.7	2939.9 - 5153.4	2854.4 - 6749.4

DEBIT GRADEX (m3/s) 24 h	DEBIT GRADEX PROGRESSIF (m3/s) 24 h	IC à 70% (m3/s)	IC à 90% (m3/s)
-	-	-	-
1624.0	1624.0	-	-
2570.2	1950.7	-	-
3133.2	2234.6	-	-
3837.0	2669.3	-	-
4786.2	3378.1	-	-
5732.0	4186.6	-	-
6979.8	5345.3	-	-
7922.8	6257.3	-	-



STATION : Le Gardon à Russan

nombre d'années 9

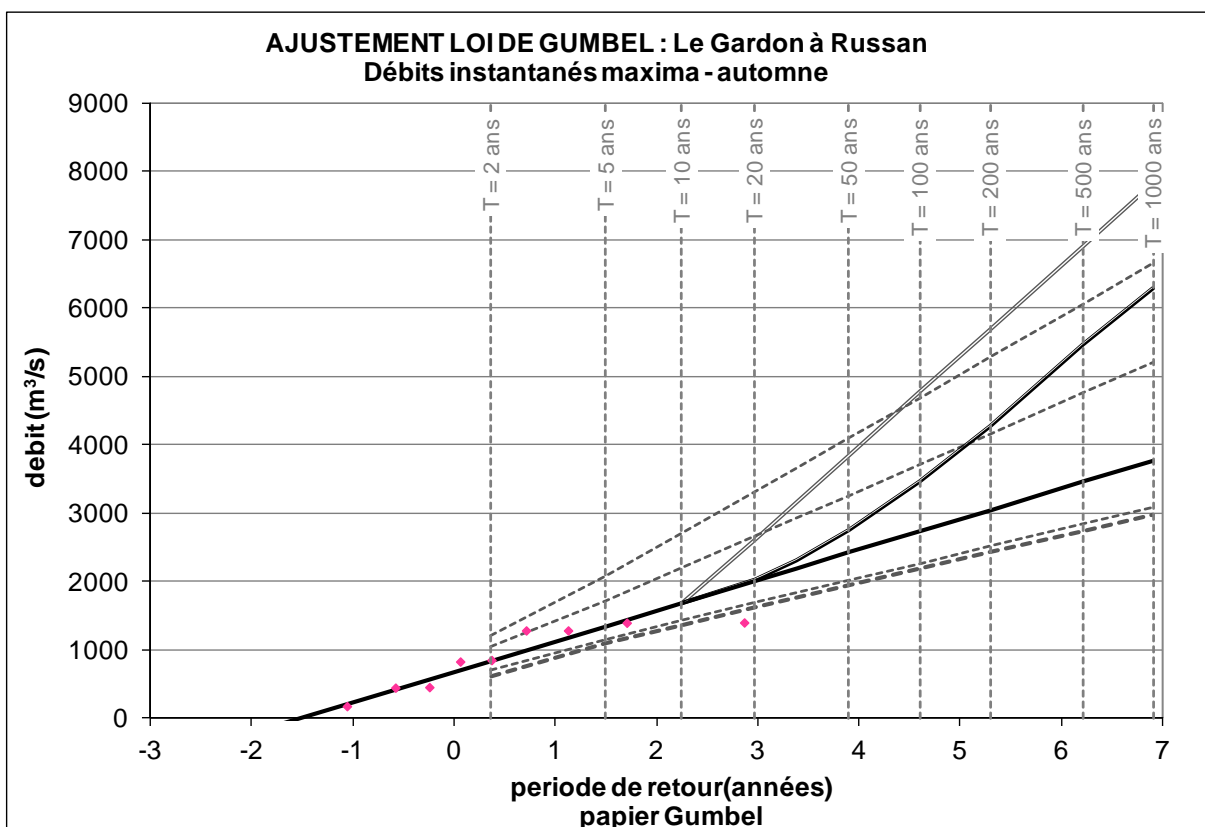
à partir de : 08/09/2002

jusqu'à : 02/01/2012

Ajustements selon une loi de Gumbel :

PERIODE DE RETOUR (ans)	Qix (m <sup>3</sup> /s)	IC à 70% (m <sup>3</sup> /s)	IC à 90% (m <sup>3</sup> /s)
2	843.7	699.7 - 1037.0	618.9 - 1204.4
5	1348.9	1151.7 - 1718.9	1094.7 - 2079.3
10	1683.3	1427.4 - 2193.9	1369.0 - 2699.4
20	2004.2	1686.5 - 2655.0	1622.6 - 3303.7
30	2188.8	1834.2 - 2921.5	1766.3 - 3653.6
50	2419.5	2018.1 - 3255.5	1944.4 - 4092.3
100	2730.7	2265.2 - 3706.9	2183.2 - 4685.7
200	3040.8	2510.6 - 4157.4	2419.8 - 5278.2
500	3449.9	2833.8 - 4752.5	2730.7 - 6061.1
1000	3759.1	3077.6 - 5202.5	2965.0 - 6653.4

DEBIT GRADEX (m <sup>3</sup> /s) 24 h	DEBIT GRADEX PROGRESSIF (m <sup>3</sup> /s) 24 h	IC à 70% (m <sup>3</sup> /s)	IC à 90% (m <sup>3</sup> /s)
-	-	-	-
-	-	-	-
1683.3	1683.3	-	-
2607.9	2028.0	-	-
3155.6	2318.1	-	-
3840.2	2757.4	-	-
4763.7	3464.2	-	-
5683.8	4262.1	-	-
6897.7	5455.1	-	-
7815.1	6287.2	-	-



STATION : Le Gardon à Ners

nombre d'années : 17

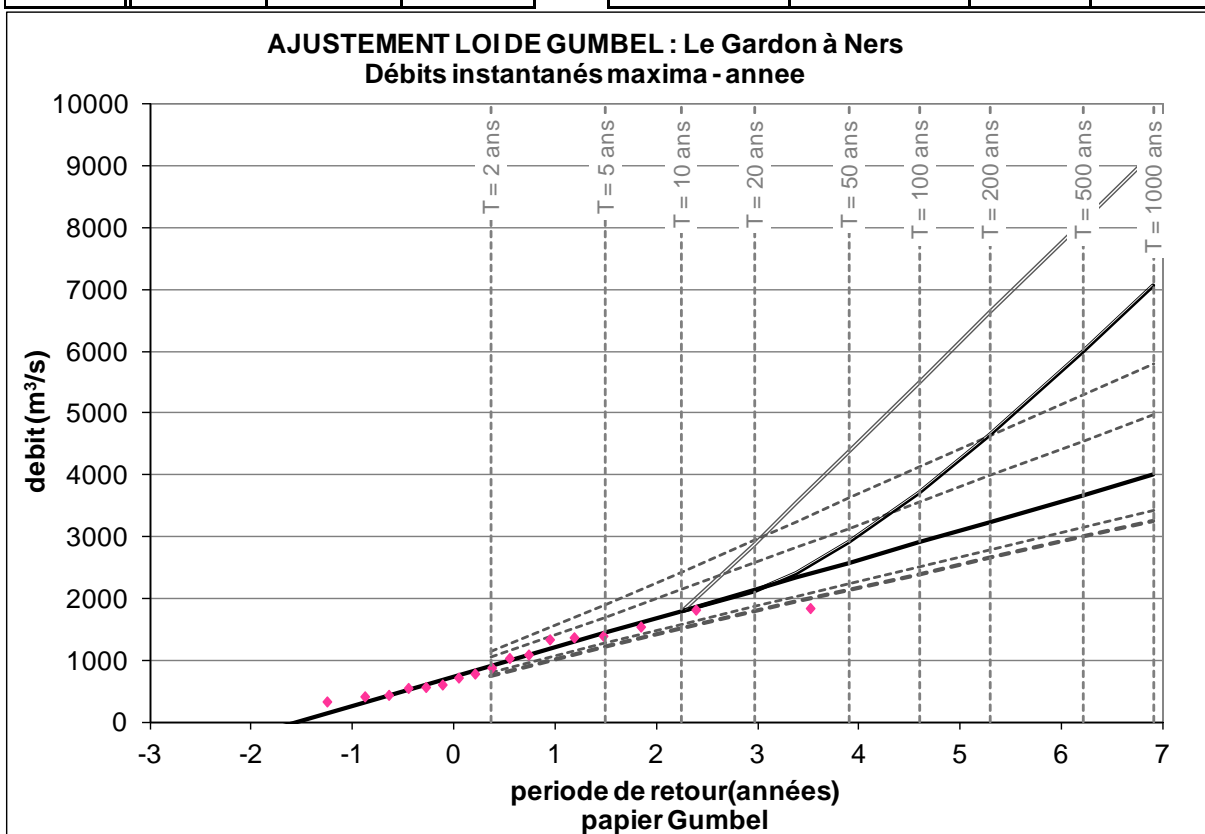
à partir de : 15/01/1992

jusqu'à : 01/01/2012

Ajustements selon une loi de Gumbel :

PERIODE DE RETOUR (ans)	Qix (m3/s)	IC à 70% (m3/s)	IC à 90% (m3/s)
2	906.2	797.4 - 1040.9	738.4 - 1142.2
5	1441.7	1282.4 - 1691.9	1221.7 - 1900.8
10	1796.3	1586.5 - 2139.9	1513.7 - 2431.1
20	2136.5	1874.3 - 2573.6	1787.1 - 2946.5
30	2332.1	2038.9 - 2824.0	1942.8 - 3244.4
50	2576.7	2244.1 - 3137.6	2136.6 - 3617.9
100	2906.6	2520.3 - 3561.3	2396.8 - 4122.7
200	3235.3	2794.9 - 3983.9	2655.2 - 4626.6
500	3669.0	3156.6 - 4542.1	2995.3 - 5292.1
1000	3996.8	3429.8 - 4964.1	3251.9 - 5795.6

DEBIT GRADEX (m3/s) 12 h	DEBIT GRADEX PROGRESSIF (m3/s) 12 h	IC à 70% (m3/s)	IC à 90% (m3/s)
-	-	-	-
1796.3	1796.3	-	-
2875.5	2103.7	-	-
3541.7	2415.1	-	-
4374.6	2900.2	-	-
5498.0	3706.6	-	-
6617.3	4642.0	-	-
8094.0	5997.8	-	-
9210.1	7071.5	-	-



STATION : Le Gardon à Ners

nombre d'années 18

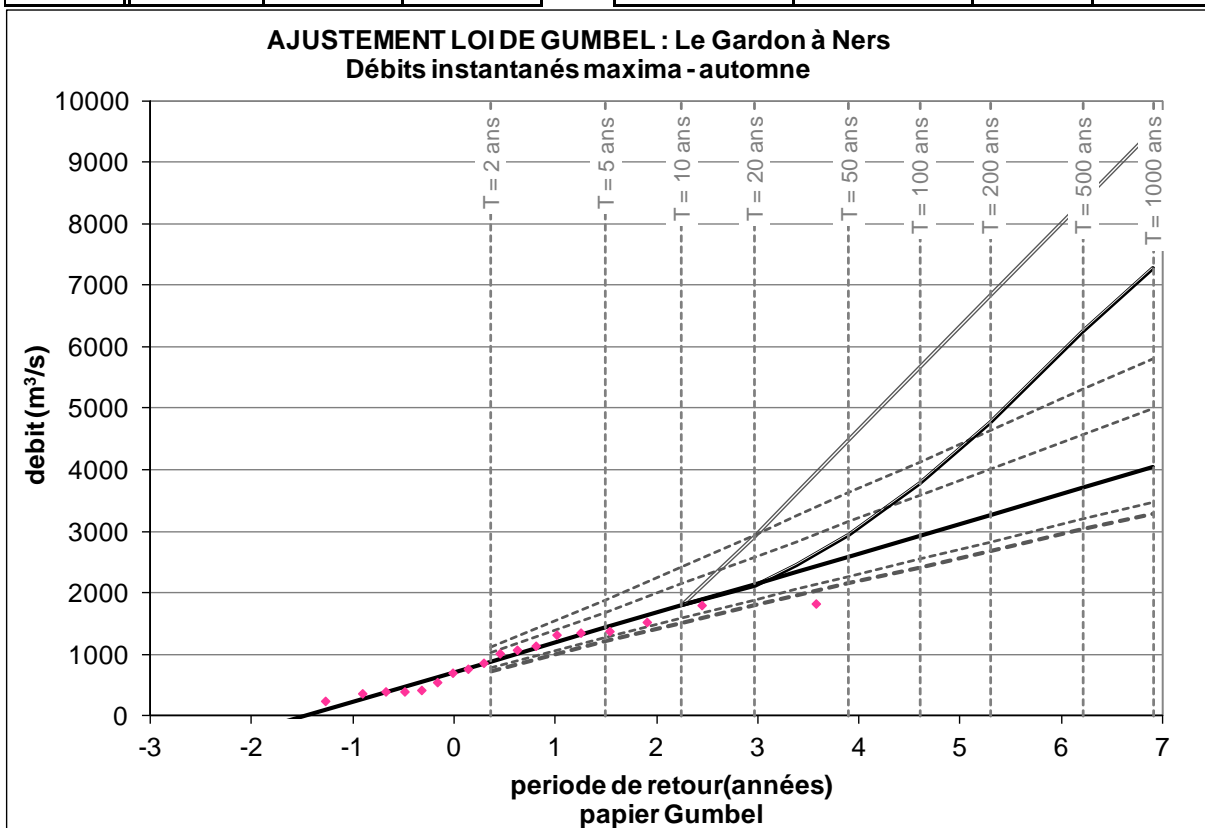
à partir de : 15/01/1992

jusqu'à : 01/01/2012

Ajustements selon une loi de Gumbel :

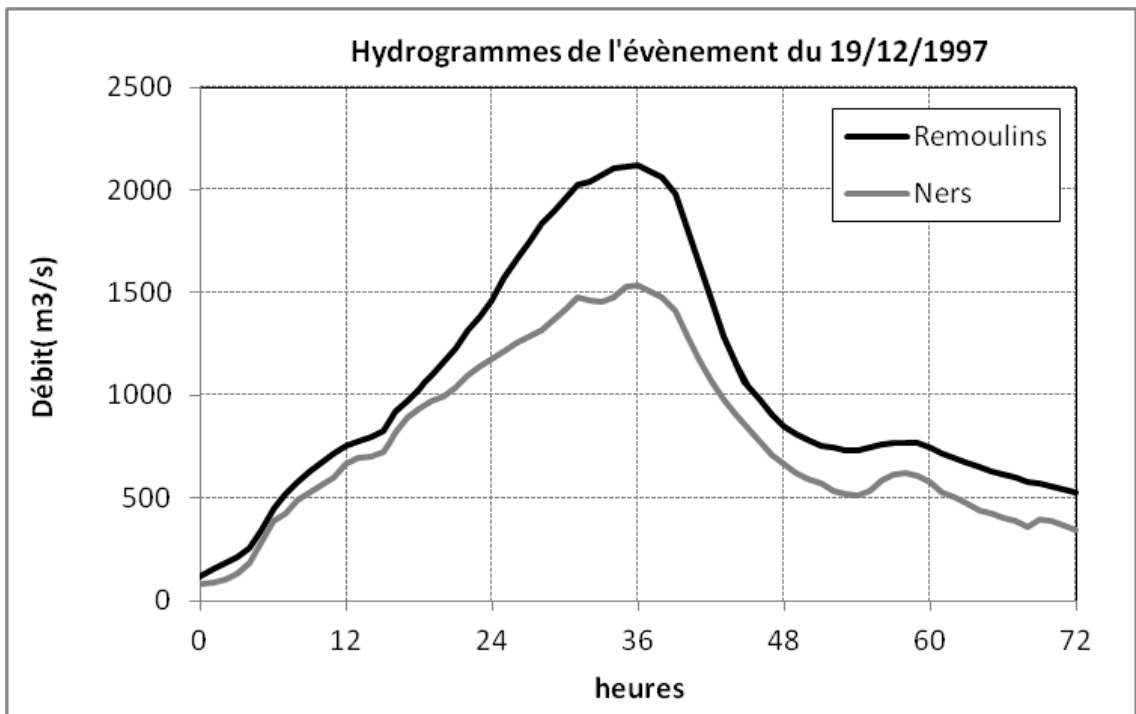
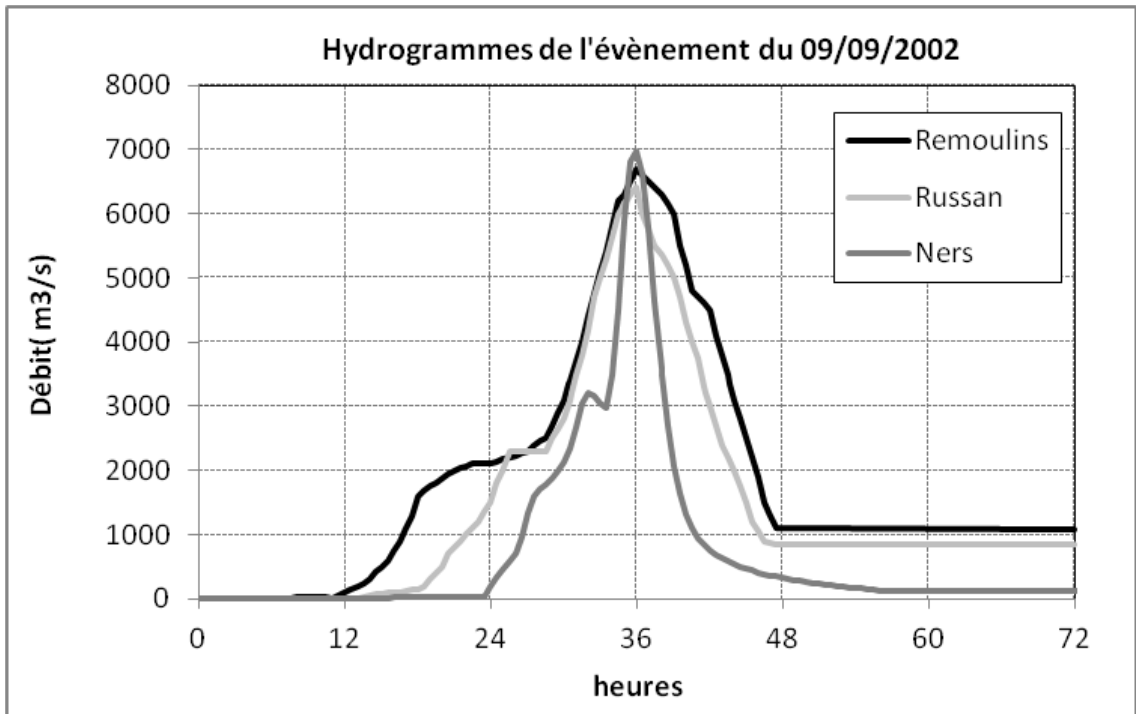
PERIODE DE RETOUR (ans)	Qix (m <sup>3</sup> /s)	IC à 70% (m <sup>3</sup> /s)	IC à 90% (m <sup>3</sup> /s)
2	890.5	781.8 - 1024.2	723.0 - 1123.7
5	1437.2	1277.3 - 1684.9	1215.5 - 1889.5
10	1799.2	1588.6 - 2139.3	1513.8 - 2424.4
20	2146.5	1883.1 - 2579.1	1793.3 - 2944.0
30	2346.3	2051.7 - 2833.0	1952.6 - 3244.5
50	2596.0	2261.8 - 3151.0	2150.7 - 3621.0
100	2932.8	2544.6 - 3580.5	2416.9 - 4130.0
200	3268.4	2825.7 - 4009.1	2681.3 - 4637.9
500	3711.2	3196.2 - 4574.9	3029.2 - 5308.9
1000	4045.8	3475.9 - 5002.8	3291.7 - 5816.5

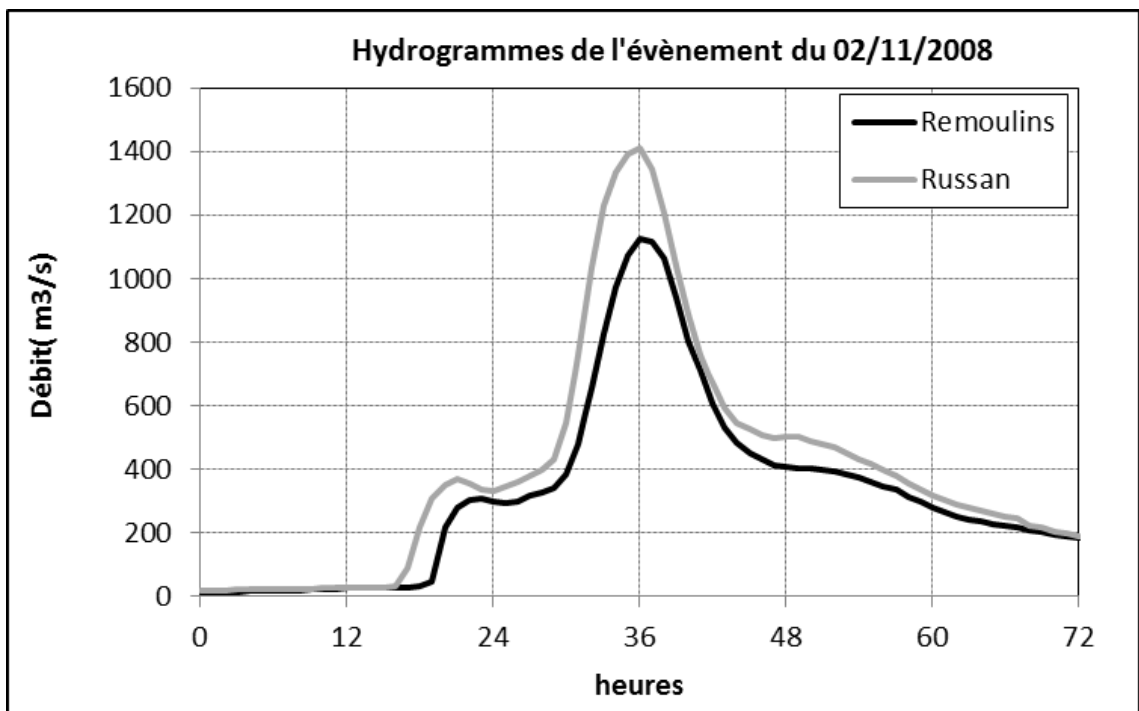
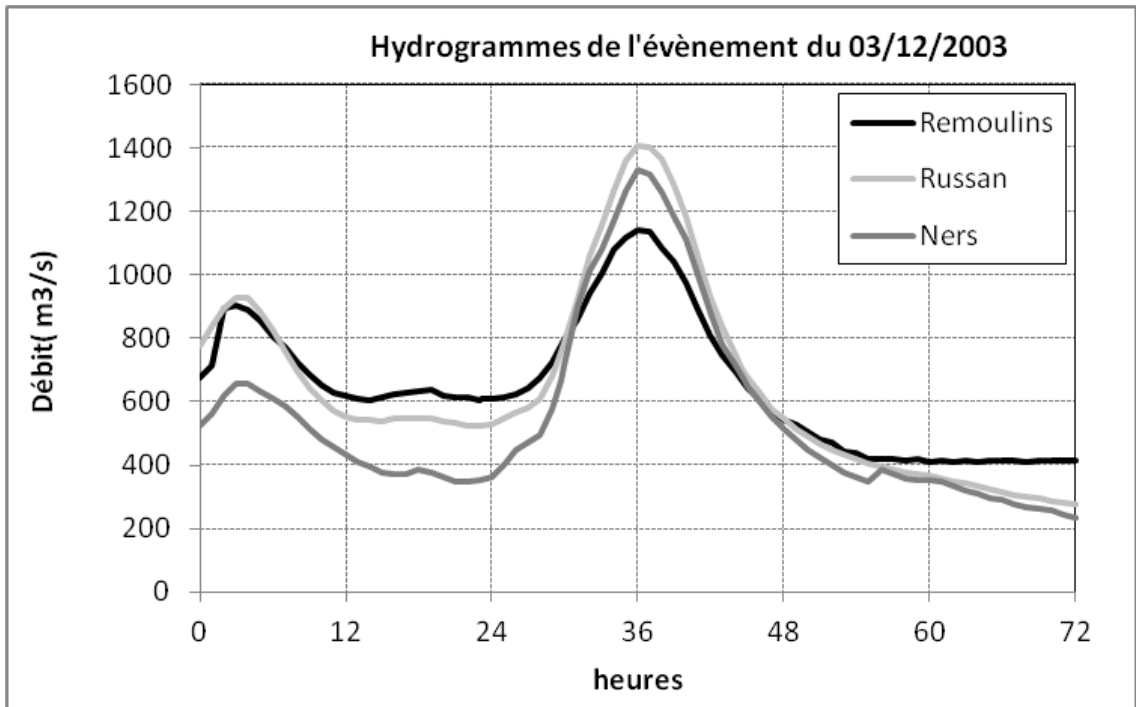
DEBIT GRADEX (m <sup>3</sup> /s) 24 h	DEBIT GRADEX PROGRESSIF (m <sup>3</sup> /s) 24 h	IC à 70% (m <sup>3</sup> /s)	IC à 90% (m <sup>3</sup> /s)
-	-	-	-
-	-	-	-
1799.2	1799.2	-	-
2931.5	2125.1	-	-
3624.7	2446.7	-	-
4491.1	2948.6	-	-
5659.9	3784.4	-	-
6824.3	4755.4	-	-
8360.6	6238.3	-	-
9521.7	7280.9	-	-

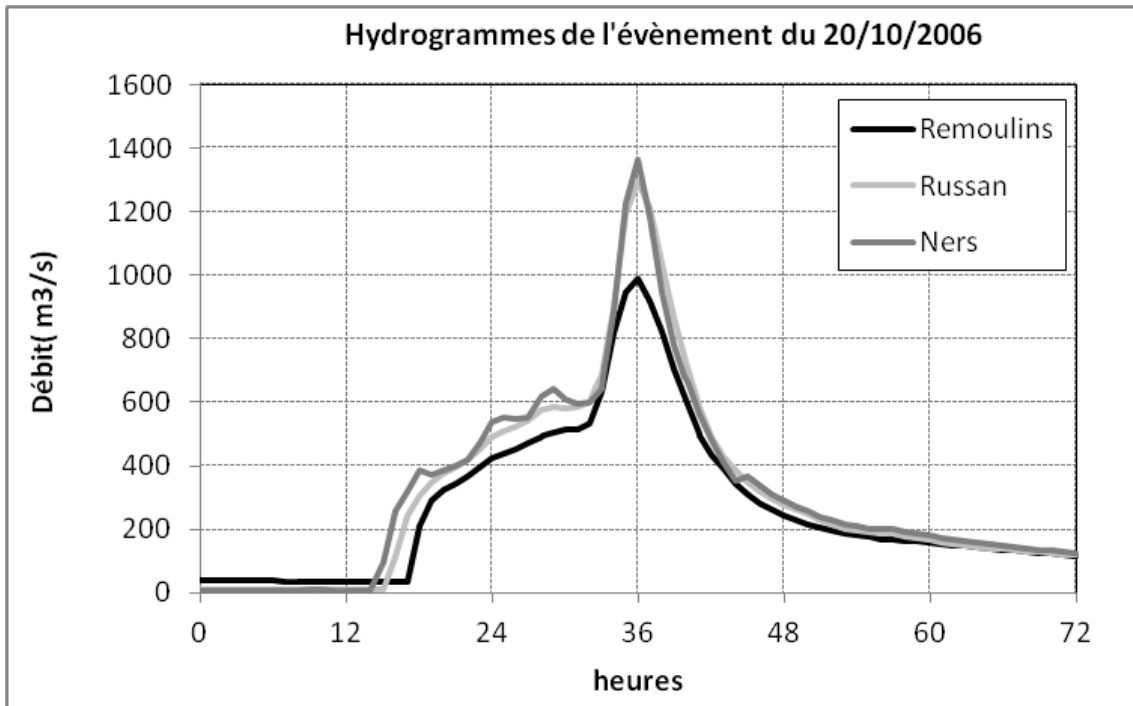
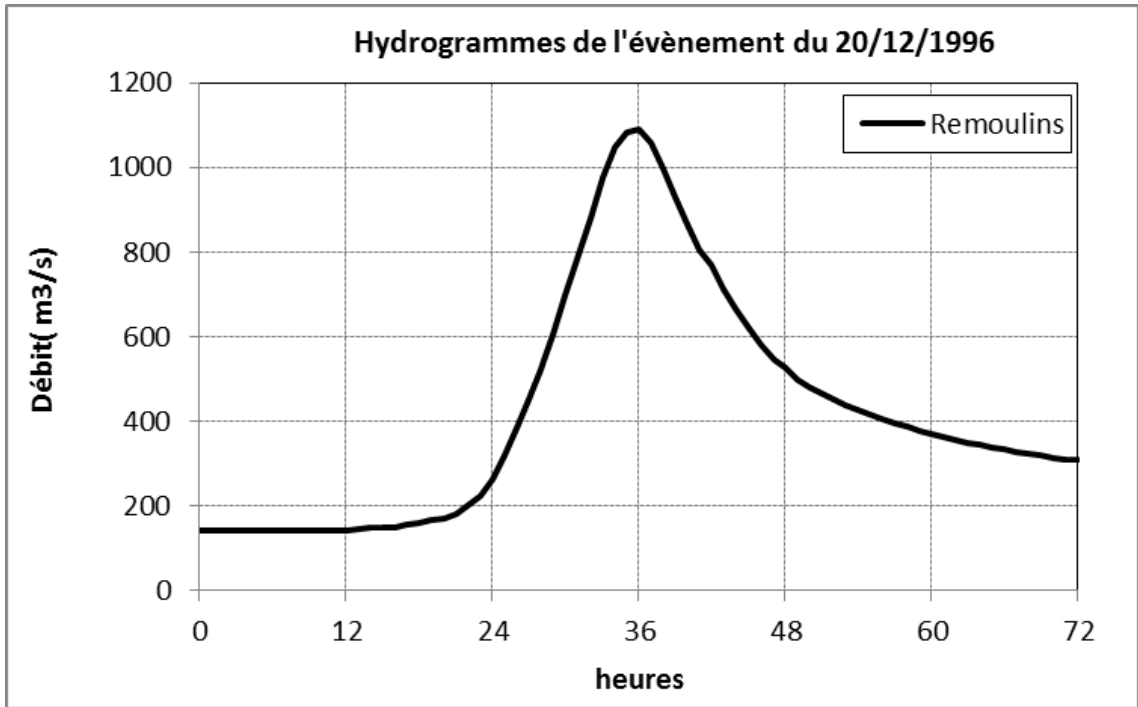


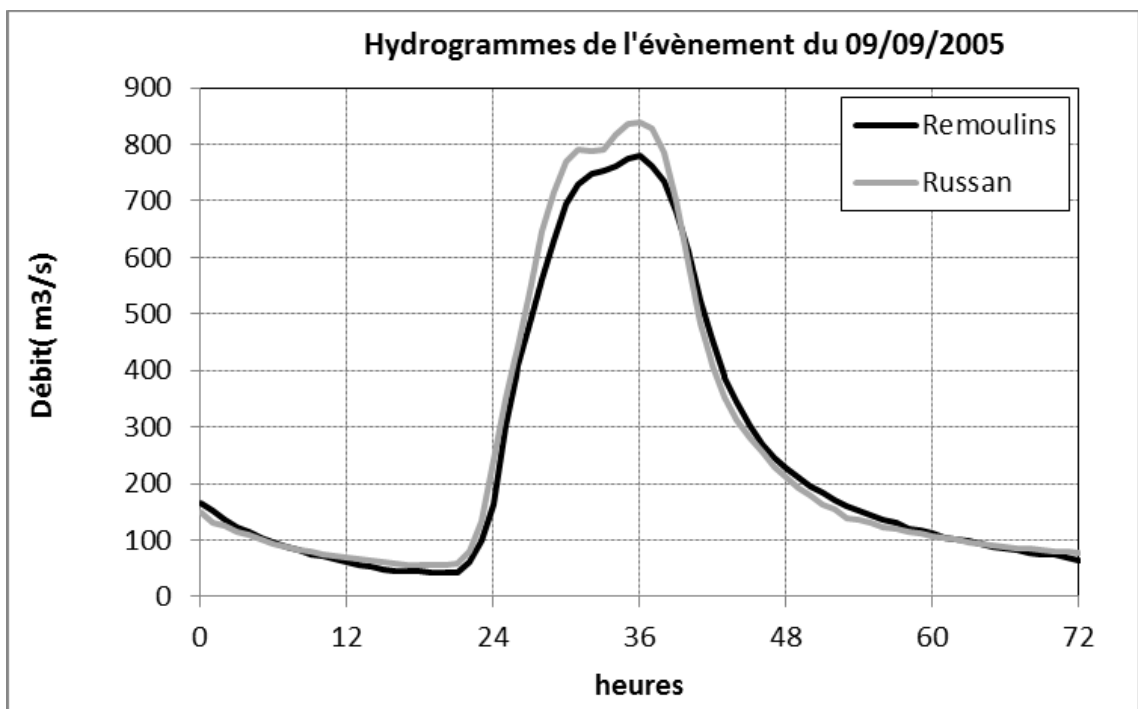
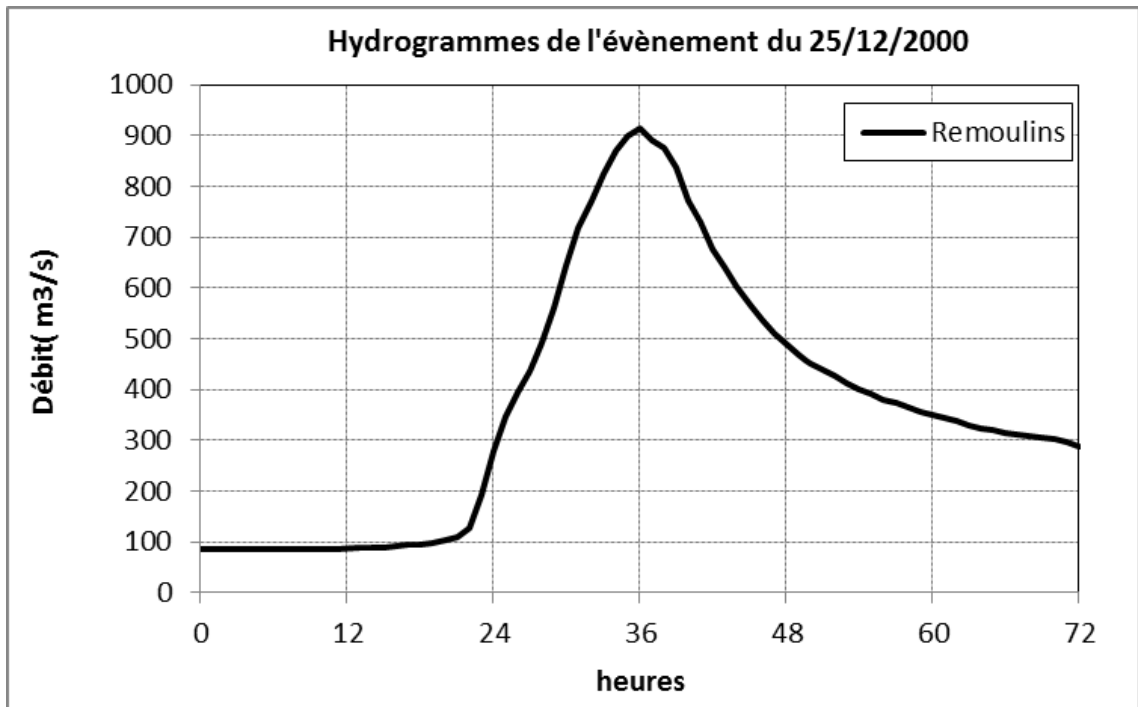
ANNEXE 5

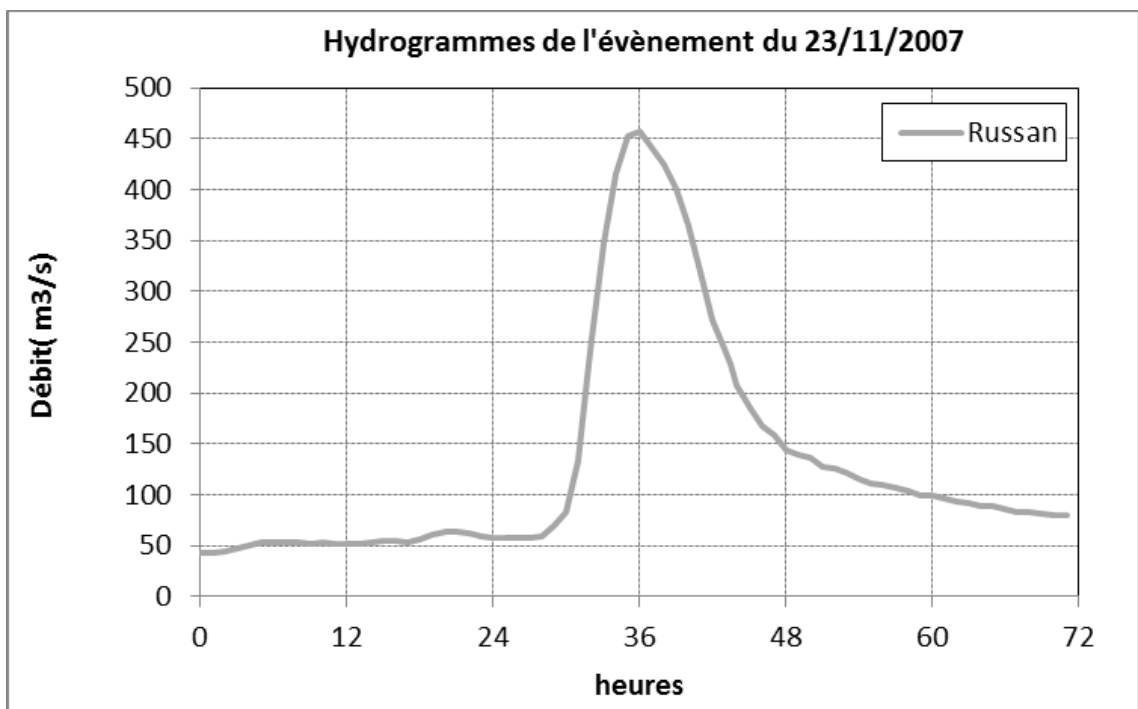
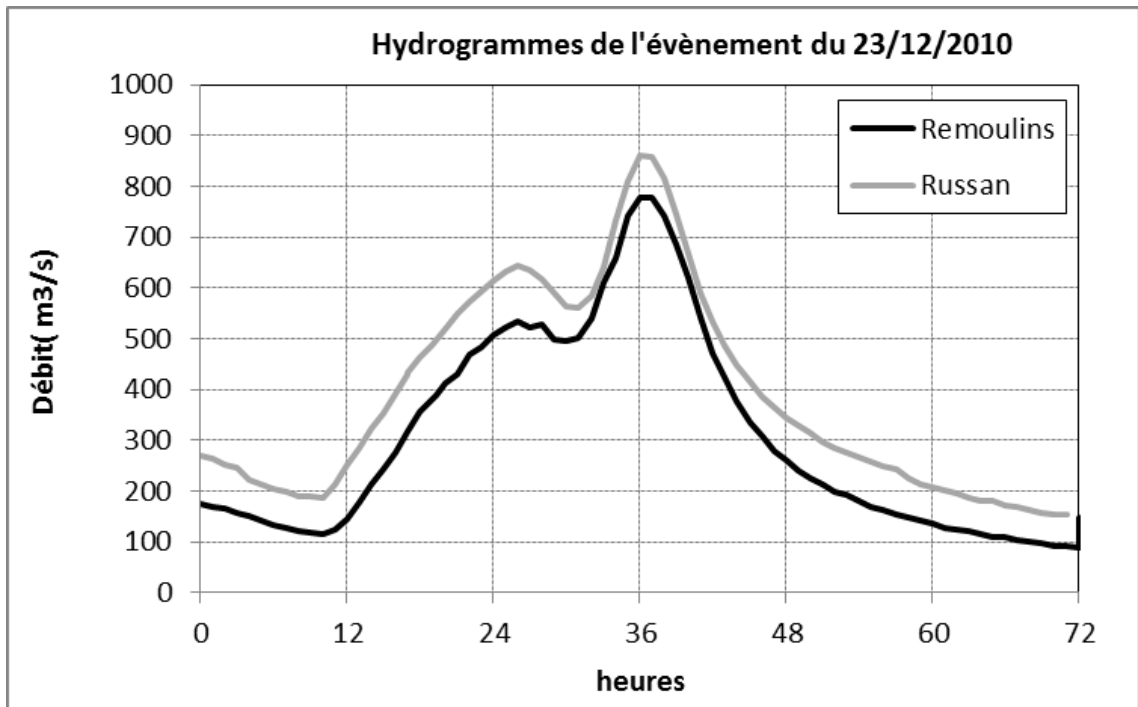
HYDROGRAMMES MESURES DES EVENEMENTS HISTORIQUES

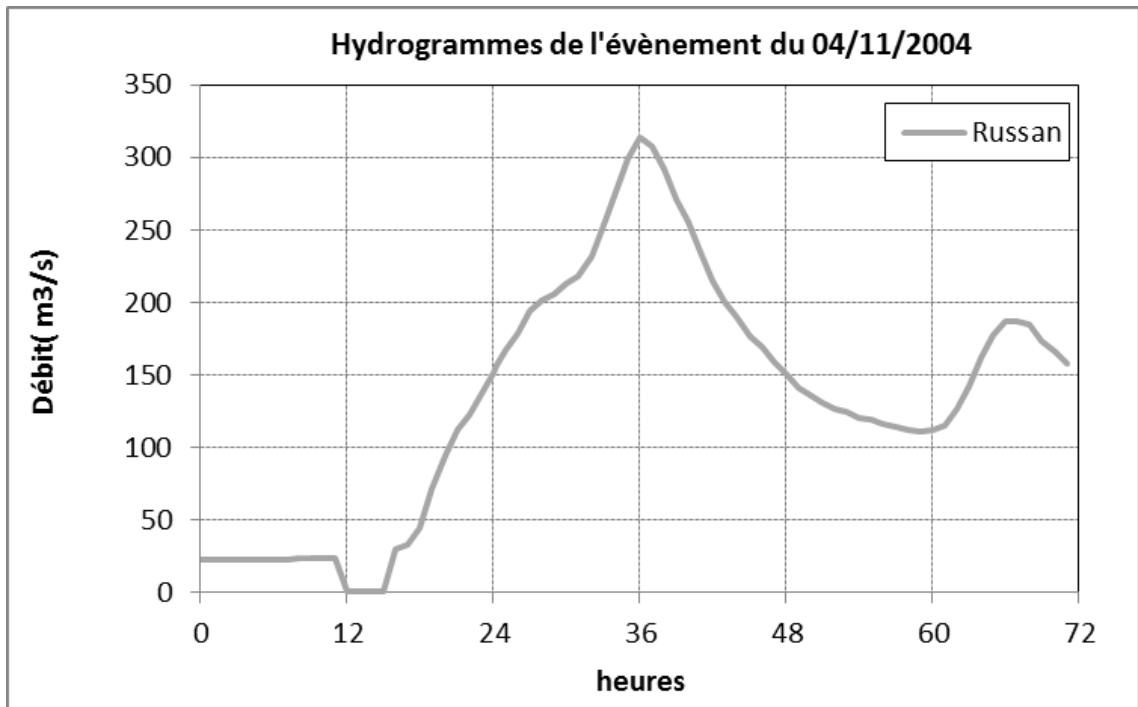






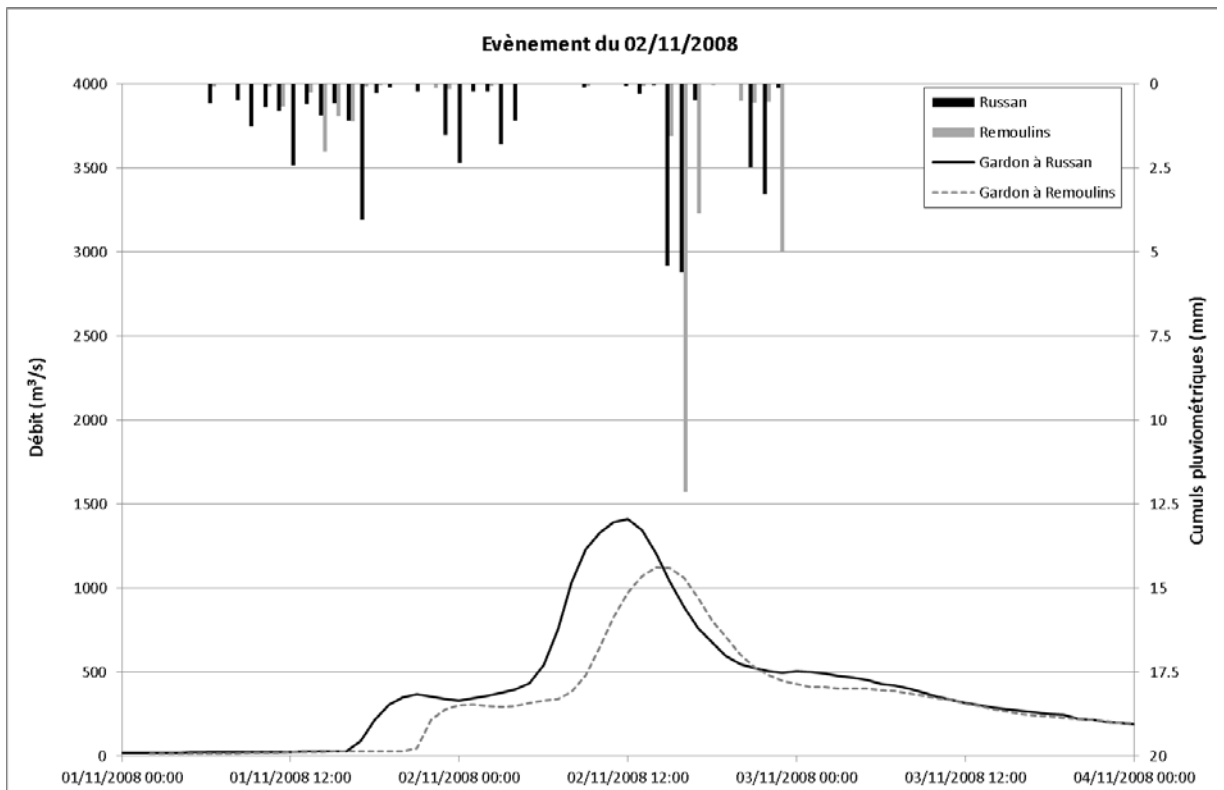
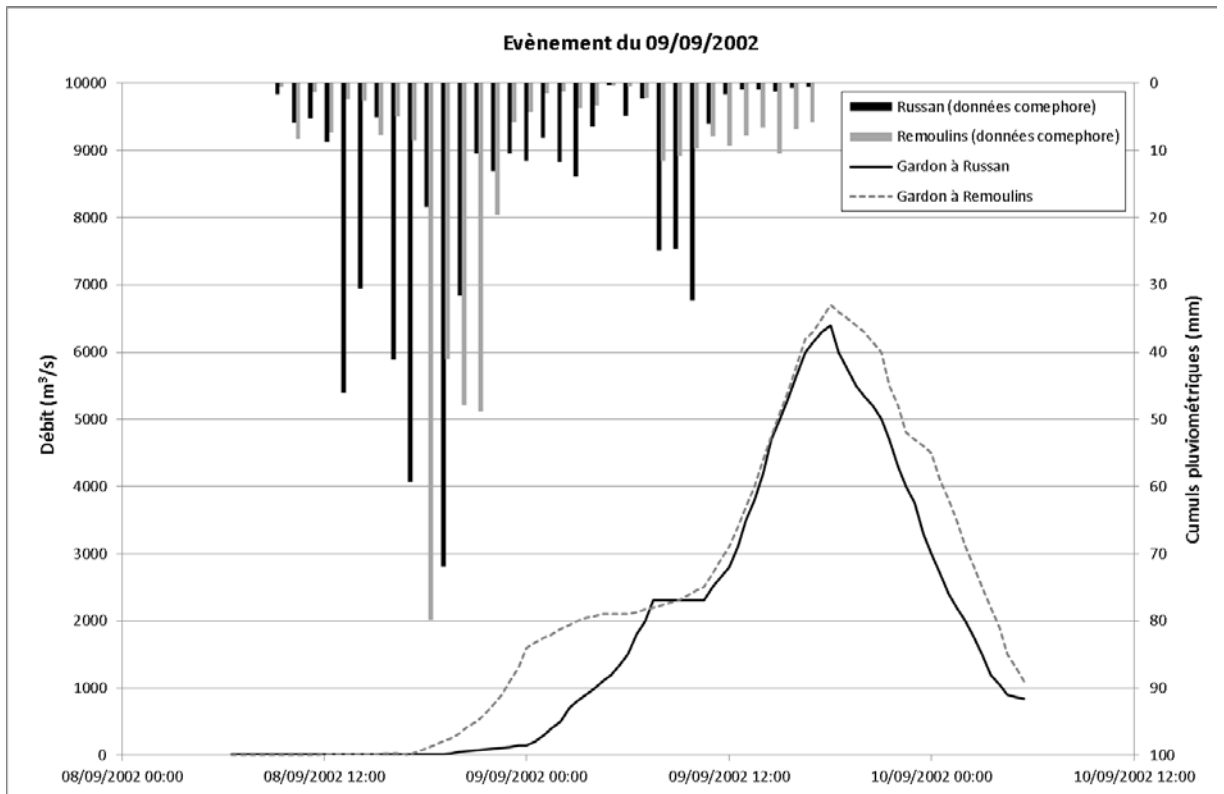


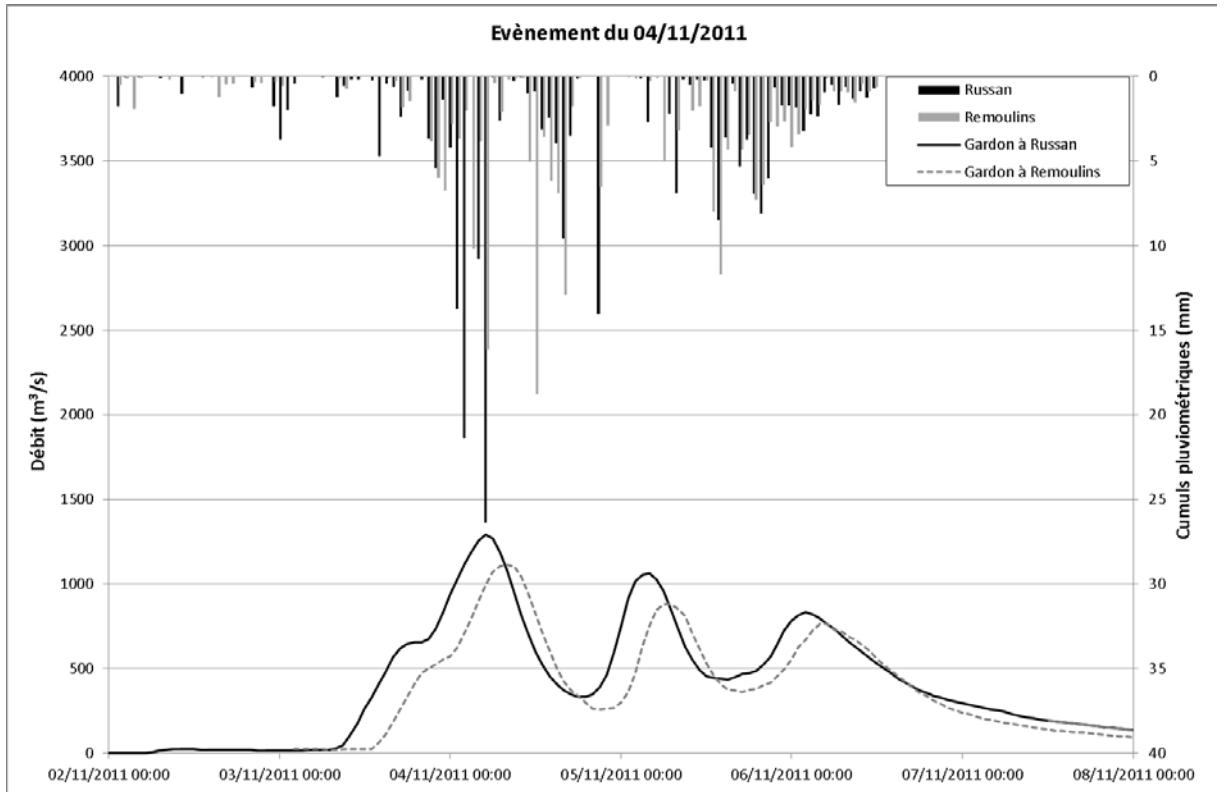




ANNEXE 6

HYDROGRAMMES ET CUMULS PLUVIOMETRIQUES MESURES (IMAGES  
RADAR) DES EVENEMENTS DE CALAGE





ANNEXE 7

CONSTRUCTION DU MODELE DU GARDON

Liste des biefs principaux et secondaires modélisés dans le modèle Amont du Gardon –  
**'GARAM'** :

Modèle	Biefs principaux	Biefs secondaires
GARAM	Gardon Bourdic Riançon	Combe de l'Homme Mort Ruisseau de Trévadou Ruisseau des Près Ruisseau du Bourdiguet Ruisseau de la Font du Buis Ruisseau de la Fond du Buis Ruisseau de la Fond du Buis amont Ruisseau du Bourdiguet amont Combe Font Cerrier Valat d'Arrier Ruisseau d'Aigues Vives Ruisseau d'Aigues Vives Amont Lisson Ruisseau de la combe de Pousselargues Ruisseau des Vignasses Valat la Gardette Valat le Rouqis Ruisseau de Larrière Ruisseau du Friquet Valat de Bouchet Ruisseau de Listerne Ruisseau le Friquet Ruisseau le Boudre Valat de Montaure Valat d'Arnet Bief de Gournier Valat de Fontaine Valat des Conques Valat de Gouloubert Ruisseau de Fontcouverte Font de Jean Point Font de Jean Point Valat de Gairolle Valat Sallières

Liste des biefs principaux et secondaires modélisés dans le modèle Centre du Gardon –  
**'GARC'** :

Modèle	Biefs principaux	Biefs secondaires
GARC	Gardon L'Alzon Les Seynes	Le Riau Ruisseau de Villeneuve Ruisseau de Vic Ruisseau de Valtortre Ruisseau du Pontel Valat du Pied Long La grande Combe Combe de Mange Loup Ruisseau du Pontet + Grande Combe Combe St-Nicolas Combe de la Goule Combe la Coufine Valat des Pontils Ruisseau de la Signore Combe des Coufines centre Combes des Coufines Est Combe de Beaumont Combe de l'Hermitage Vallon de Fressinière Vallon de St-Privas Ruisseau de Valsegane Ruisseau de Bordnègre Combe de Marchide Ruisseau le Grand Vallat Vers Combe des Trissons Ruisseau de Misserand Combe de la Boissière Combe des Collières Rial Combe de la Treille Combe de l'Evescat Valat de Campalong Rieu Combe de Marchide

Liste des biefs principaux et secondaires modélisés dans le modèle Centre du Gardon –  
**'GARAV'** :

Modèle	Biefs principaux	Biefs secondaires		
GARAV	Gardon Le Briançon	Combe Serre de Barjac La Veyre Combe Monticaud Ruisseau le Plan Ruisseau Panély Ruisseau Gajan Combe Viaube Ruisseau de Larrière Combe de Martin Combe les Rozières Combe du Péras Vallon du Loup Combe de Vayer Combe de Vayer Combe du Merle Ruisseau de Font Barzaude Combe de la Sabatière Combe du Castelas Est Combe de St-Laurent Ruisseau les Pauses Ruisseau de Valmal Grand Combe Trou des Camisards Vallon de St-Céris Ruisseau Campanard Canal du Bournigues Ruisseau de Pazac Nord Roubine du Pradas Le Réal Ruisseau de Tavie Combe du Castelas Ruisseau de St-Hilaire Ruisseau de Larrière Ruisseau la Valliguière Ruisseau de la Fontaine du Cérier Combe de Mars Ruisseau de Fournès Ruisseau de Jallon Maïre	La Rascasse - Le Crouzas Ruisseau d'Estézargues Le Courloubier Ruisseau de la Vay Ruisseau Mourre de Pierredon Ruisseau le Limas Ruisseau du Jonguier Le Grand Valat Jonquieres Le Grand Valat (ancien lit) Le Grand Valat Comps Ruisseau du Valadas Fossé Valliguière Fossé des Garrigues Basses Fossé de Sernhac Ruisseau de Pazac Sud L'Alzon	

ANNEXE 8

RESULTATS DU CALAGE DU MODELE POUR LA CRUE DE SEPTEMBRE 2002

ANNEXE 8-1

ECARTS CALCULES PAR RAPPORT AUX REPERES DE CRUE

## Résultat de calage du modèle amont **GARAM** :

Nom_Origine	Z_PHE_mesuree	Fiabilité_repere	Commune	Z_PHE_Calculée (m. NGF)	Ecart dz = Zmes-Zcal (cm)
Bourdic R3 12	82.81	1	Bourdic	82.68	13
Bourdic R3 13	83.46	1	Bourdic	83.15	31
Bourdic R3 14	82.23	1	Bourdic	82.02	21
Dions R3 40	67.14	1	Dions	67.48	-34
Dions R3 41	67.4	1	Dions	67.44	-4
gav_205	67.487	0	SAINTE-ANASTASIE	67.43	5.7
gav_206	66.968	1	SAINTE-ANASTASIE	66.57	39.8
gav_207	67.066	1	SAINTE-ANASTASIE	67.21	-14.4
gav_208	67.116	1	SAINTE-ANASTASIE	67.21	-9.4
gav_209	67.241	1	SAINTE-ANASTASIE	67.25	-0.9
gav_210	67.215	1	SAINTE-ANASTASIE	67.25	-3.5
gav_355	67.371	1	DIONS	67.44	-6.9
gav_392	67.34	1	DIONS	67.43	-9
gav_393	67.16	1	DIONS	67.44	-28
gav_397	67.12	1	STE ANASTASIE	67.21	-9
gav_401	64.52	0	DIONS	67.38	-286
gav_402	66.87	0	DIONS	67.45	-58
gav_416	67.56	1	RUSSAN / SAINTE-ANASTASIE	67.41	15
gav_421	67.612	1	SAINT-CHAPTES	67.5	11.2
gav_444	67.52	1	SAINTE-ANASTASIE	67.56	-4
gav_445	67.162	1	RUSSAN	67.21	-4.8
gav_446	71.3	1	SAINTE-ANASTASIE	70.9	40
gav_447	66.66	0	RUSSAN	66.66	0
gav_447.7	67.01	1	RUSSAN	66.57	44
gav_54	67.47	1	DIONS	67.44	3
gav_55	67.443	1	DIONS	67.43	1.3
gav_56	67.451	1	DIONS	67.42	3.1
gav_99	67.595	1	SAINT-CHAPTES	67.49	10.5
Sainte Anastasie R3 85	67.12	1	Sainte Anastasie	67.21	-9

**Fiabilité :**  
0 : peu fiable  
1 : fiable  
2 : peu fiable pour l'écoulement

## Résultat de calage du modèle centre GARC :

Nom_Originel	Z_PHE_mesuree	Fiabilité_repere	Commune	Z_PHE_Calculee (m. NGF)	Ecart dz = Zmes-Zcal (cm)
Collias R3 26	40.9	1	Collias	41.16	-26
Collias R3 27	40.87	1	Collias	41.6	-73
Collias R3 28	39.63	1	Collias	39.73	-10
Collias R3 28B	39.63	1	Collias	39.67	-4
Collias R3 29	39.72	1	Collias	39.69	3
Collias R3 30	38.7	1	Collias	39.76	-106
gav_147	46.698	1	SANILHAC-SAGRIES	47.04	-34.2
gav_151	40.002	0	COLLIAS	41.3	-129.8
gav_152	35.736	1	COLLIAS	41.27	-553.4
gav_197	56.668	0	SAINTE-ANASTASIE	56.78	-11.2
gav_198	54.434	0	SAINTE-ANASTASIE	55.17	-73.6
gav_199	55.031	0	SAINTE-ANASTASIE	55.75	-71.9
gav_200	55.315	0	SAINTE-ANASTASIE	53.63	168.5
gav_203	56.136	1	SAINTE-ANASTASIE	55.73	40.6
gav_204	56.157	1	BLAUZAC	55.4	75.7
gav_278	39.724	1	COLLIAS	39.87	-14.6
gav_279	41.548	0	COLLIAS	41.15	39.8
gav_280	41.031	1	COLLIAS	41.32	-28.9
gav_281	39.461	0	COLLIAS	41.47	-200.9
gav_282	40.827	1	COLLIAS	41.55	-72.3
gav_283	38.118	0	COLLIAS	39.75	-163.2
gav_283B	38.118	0	COLLIAS	39.67	-155.2
gav_284	39.383	1	COLLIAS	39.82	-43.7
gav_285	38.563	1	COLLIAS	39.78	-121.7
gav_286	38.473	1	COLLIAS	39.87	-139.7
gav_287	39.379	1	COLLIAS	39.81	-43.1
gav_289	37.778	1	COLLIAS	37.82	-4.2
gav_290	37.089	1	COLLIAS	38.05	-96.1
gav_291	37.165	1	COLLIAS	37.73	-56.5
gav_292	39.402	1	COLLIAS	40	-59.8
gav_293	39.577	1	COLLIAS	40.35	-77.3
gav_294	41.421	0	COLLIAS	42.07	-64.9
gav_295	45.207	1	SAINT-MAXIMIN	44.8	40.7
gav_296	47.728	1	SAINT-MAXIMIN	47.6	12.8
gav_296	47.728	1	SAINT-MAXIMIN	47.6	12.8
gav_297	47.721	1	SAINT-MAXIMIN	47.4	32.1
gav_298	43.918	1	SAINT-MAXIMIN	43.7	21.8
gav_299	39.532	1	COLLIAS	39.98	-44.8
gav_300	49.914	1	SAINT-MAXIMIN	49.69	22.4
gav_301	52.057	0	SAINT-MAXIMIN	49.1	295.7
gav_304	50.909	1	UZES	50.65	25.9
gav_305	39.447	1	COLLIAS	39.9	-45.3
gav_307	58.973	1	UZES	58.14	83.3
gav_375	36.43	1	vers pont du gard	35.96	47
gav_376	36.25	0	vers pont du gard	35.99	26
gav_379	39.53	1	COLLIAS	39.84	-31
gav_380	35.36	0	COLLIAS	41.14	-578
gav_381	41.03	0	COLLIAS	41.6	-57
gav_382	40.87	1	COLLIAS	41.55	-68
gav_383	40.77	1	COLLIAS	41.52	-75
gav_384	56.3	1	STE ANASTASIE	55.39	91
gav_385	56.33	1	STE ANASTASIE	55.77	56
Sainte Anastasie R3 AR 31	57	1	Sainte Anastasie	55.8	120
Vers Pont du Gard R3 91	36.25	1	Vers Pont du Gard	36	25
Vers Pont du Gard R3 92 AR 34	36.43	1	Vers Pont du Gard	35.96	47
Vers Pont du Gard R3 AR 41	36.54	1	Vers Pont du Gard	35.87	67
Vers Pont du Gard R3 AR 41	36.54	1	Vers Pont du Gard	35.87	67

**Fiabilité :**  
 0 : peu fiable  
 1 : fiable  
 2 : peu fiable pour l'écoulement

## Résultat de calage du modèle aval GARAV :

Nom_Originel	Z_PHE_mesuree	Fiabilité_repere	Commune	Z_PHE_Calculée (m. NGF)	Ecart dz = Zmes-Zcal (cm)
Comps R3 31	14.2	1	Comps	12.75	145
Comps R3 32 AR12	14.19	1	Comps	12.75	144
Comps R3 33 AR14	14.25	1	Comps	12.75	150
Comps R3 34	14.25	1	Comps	12.75	150
Comps R3 AR 13	13.99	1	Comps	12.75	124
gav_1	19.34	1	FOURNES	19.33	1
gav_10	18.434	1	MONTFRIN	18.29	14.4
gav_100	19.498	1	FOURNES	19.64	-14.2
gav_101	15.24	1	MONTFRIN	15.24	0
gav_102	15.119	1	MONTFRIN	14.87	24.9
gav_104	14.748	1	MONTFRIN	14.8	-5.2
gav_106	14.683	1	MONTFRIN	14.65	3.3
gav_107	14.536	1	MONTFRIN	14.66	-12.4
gav_108	14.597	1	THEZIERS	14.64	-4.3
gav_109	14.77	1	THEZIERS	14.61	16
gav_11	17.501	1	MONTFRIN	18.28	-77.9
gav_110	14.61	1	THEZIERS	14.61	0
gav_111	14.526	1	THEZIERS	14.61	-8.4
gav_112	14.55	1	THEZIERS	14.61	-6
gav_113	14.465	1	THEZIERS	14.61	-14.5
gav_114	16.784	1	THEZIERS	17.45	-66.6
gav_115	17.025	1	THEZIERS	17.65	-62.5
gav_116	17.18	1	THEZIERS	17.73	-55
gav_117	14.39	1	THEZIERS	14.61	-22
gav_118	14.265	1	THEZIERS	14.61	-34.5
gav_12	18.216	1	MONTFRIN	18.16	5.6
gav_121	14.467	1	THEZIERS	14.6	-13.3
gav_123	14.433	1	ARAMON	14.6	-16.7
gav_124	14.437	1	ARAMON	14.6	-16.3
gav_126	14.463	1	THEZIERS	14.61	-14.7
gav_127	14.366	1	VALLABREGUES	14.6	-23.4
gav_128	14.519	1	VALLABREGUES	14.6	-8.1
gav_13	18.095	1	MONTFRIN	18.13	-3.5
gav_130	13.956	1	COMPS	12.75	120.6
gav_131	13.743	1	COMPS	12.75	99.3
gav_132	13.963	1	COMPS	12.75	121.3
gav_133	19.004	1	SERNHAC	21.72	-271.6
gav_134	13.741	1	COMPS	12.75	99.1
gav_135	13.777	1	COMPS	12.75	102.7
gav_136	13.826	1	COMPS	12.75	107.6
gav_137	15.326	1	MONTFRIN	15.4	-7.4
gav_138	15.286	1	MONTFRIN	15.43	-14.4
gav_139	27.75	1	REMOULINS	27.61	14
gav_14	18.022	1	MONTFRIN	18.12	-9.8
gav_140	25.504	1	REMOULINS	26.24	-73.6
gav_141	28.008	0	REMOULINS	26.26	174.8
gav_145	29.523	0	VERS-PONT-DU-GARD	29.85	-32.7
gav_146	29.952	1	VERS-PONT-DU-GARD	29.85	10.2
gav_15	18.073	0	MONTFRIN	18	7.3
gav_153	25.004	1	REMOULINS	26.3	-129.6
gav_154	26.882	1	REMOULINS	27.35	-46.8
gav_155	26.984	1	REMOULINS	27.4	-41.6
gav_156	27.257	1	REMOULINS	27.44	-18.3
gav_157	27.494	0	REMOULINS	27.68	-18.6
gav_158	27.735	1	REMOULINS	28.17	-43.5
gav_159	27.724	1	REMOULINS	28	-27.6
gav_16	21.666	1	SERNHAC	21.86	-19.4
gav_161	27.068	0	REMOULINS	28.11	-104.2
gav_162	29.17	1	VERS-PONT-DU-GARD	29.61	-44
gav_163	28.422	0	VERS-PONT-DU-GARD	29.65	-122.8
gav_164	21.033	1	REMOULINS	23.42	-238.7
gav_165	19.775	0	REMOULINS	23.41	-363.5
gav_166	22.976	1	REMOULINS	23.41	-43.4
gav_167	25.121	0	REMOULINS	25.21	-8.9
gav_168	27.392	1	REMOULINS	27.34	5.2
gav_17	20.849	1	SERNHAC	21.8	-95.1
gav_170	27.967	1	REMOULINS	27.63	33.7
gav_171	27.85	1	CASTILLON-DU-GARD	27.69	16
gav_172	27.819	1	CASTILLON-DU-GARD	27.69	12.9

Fiabilité :  
0 : peu fiable  
1 : fiable  
2 : peu fiable pour l'écoulement

gav_173	25.16	1	REMOULINS	27.58	-242
gav_174	27.592	1	REMOULINS	27.58	1.2
gav_176	26.788	1	REMOULINS	27.59	-80.2
gav_177	28.125	1	CASTILLON-DU-GARD	28.3	-17.5
gav_178	28.125	1	CASTILLON-DU-GARD	28.3	-17.5
gav_179	29.042	1	VERS-PONT-DU-GARD	29.21	-16.8
gav_18	18.537	1	MEYNES	18.46	7.7
gav_180	29.029	1	VERS-PONT-DU-GARD	29.18	-15.1
gav_181	29.524	1	VERS-PONT-DU-GARD	29.33	19.4
gav_182	28.991	1	VERS-PONT-DU-GARD	29.35	-35.9
gav_182B	28.991	1	VERS-PONT-DU-GARD	29.33	-33.9
gav_184	29.353	1	VERS-PONT-DU-GARD	29.39	-3.7
gav_185	29.682	1	VERS-PONT-DU-GARD	29.33	35.2
gav_186	29.594	1	VERS-PONT-DU-GARD	29.33	26.4
gav_189	31.998	0	VERS-PONT-DU-GARD	29.33	266.8
gav_19	18.844	0	MEYNES	18.3	54.4
gav_190	27.754	0	CASTILLON-DU-GARD	27.71	4.4
gav_191	27.542	1	CASTILLON-DU-GARD	27.7	-15.8
gav_192	27.935	1	REMOULINS	27.62	31.5
gav_193	25.263	1	REMOULINS	25.22	4.3
gav_194	25.376	1	REMOULINS	25.22	15.6
gav_195	24.803	1	REMOULINS	25.22	-41.7
gav_196	25.331	1	REMOULINS	25.22	11.1
gav_2	19.257	1	FOURNES	19.18	7.7
gav_20	17.958	0	MEYNES	17.71	24.8
gav_21	17.885	1	MEYNES	17.76	12.5
gav_211	25.208	1	REMOULINS	25.21	-0.2
gav_212	27.538	0	REMOULINS	27.56	-2.2
gav_214	24.171	1	REMOULINS	25	-82.9
gav_215	25.144	1	REMOULINS	25.42	-27.6
gav_216	24.944	1	REMOULINS	25.46	-51.6
gav_217	25.639	1	REMOULINS	25.08	55.9
gav_218	25.266	1	REMOULINS	25.08	18.6
gav_219	25.255	1	REMOULINS	25.08	17.5
gav_22	17.121	1	MEYNES	17.63	-50.9
gav_220	26.764	1	REMOULINS	25.53	123.4
gav_221	25.568	1	REMOULINS	25.46	10.8
gav_222	23.044	1	REMOULINS	23.53	-48.6
gav_223	23.156	1	REMOULINS	22.54	61.6
gav_225	23.876	0	REMOULINS	23.28	59.6
gav_226	25.996	1	REMOULINS	25.74	25.6
gav_227	22.234	1	REMOULINS	22.11	12.4
gav_228	22.493	1	REMOULINS	22.27	22.3
gav_229	22.503	1	REMOULINS	22.65	-14.7
gav_23	17.62	1	MEYNES	17.48	14
gav_230	21.897	1	REMOULINS	21.96	-6.3
gav_231	21.958	1	REMOULINS	21.97	-1.2
gav_232	21.998	1	REMOULINS	21.98	1.8
gav_233	22.446	1	REMOULINS	22.88	-43.4
gav_234	22.536	1	REMOULINS	22.66	-12.4
gav_235	22.392	1	REMOULINS	22.57	-17.8
gav_236	22.287	1	REMOULINS	22.4	-11.3
gav_237	22.36	1	REMOULINS	22.24	12
gav_238	22.601	0	REMOULINS	23.08	-47.9
gav_24	17.491	1	MEYNES	17.28	21.1
gav_240	22.192	1	REMOULINS	22.15	4.2
gav_241	21.407	1	FOURNES	21.8	-39.3
gav_242	21.922	1	FOURNES	21.79	13.2
gav_243	19.588	0	FOURNES	19.75	-16.2
gav_245	19.205	1	FOURNES	19.33	-12.5
gav_246	19.437	1	FOURNES	19.33	10.7
gav_247	20.378	1	FOURNES	20.39	-1.2
gav_25	16.691	1	MONTFRIN	17.06	-36.9
gav_250	17.534	1	FOURNES	19.64	-210.6
gav_251	20.311	1	SERNHAC	20.17	14.1
gav_252	20.13	1	SERNHAC	20.17	-4
gav_253	21.605	1	SAINT-BONNET-DU-GARD	21.87	-26.5
gav_254	18.634	1	MEYNES	18.55	8.4
gav_255	18.467	1	MEYNES	18.48	-1.3
gav_256	18.563	1	MEYNES	18.48	8.3
gav_257	19.651	0	MEYNES	15.89	376.1
gav_258	18.507	1	MEYNES	18.48	2.7
gav_259	16.143	1	MONTFRIN	16.69	-54.7
gav_26	16.495	1	MONTFRIN	16.95	-45.5
gav_260	15.606	1	MONTFRIN	15.82	-21.4

Fiabilité :  
0 : peu fiable  
1 : fiable  
2 : peu fiable pour l'écoulement

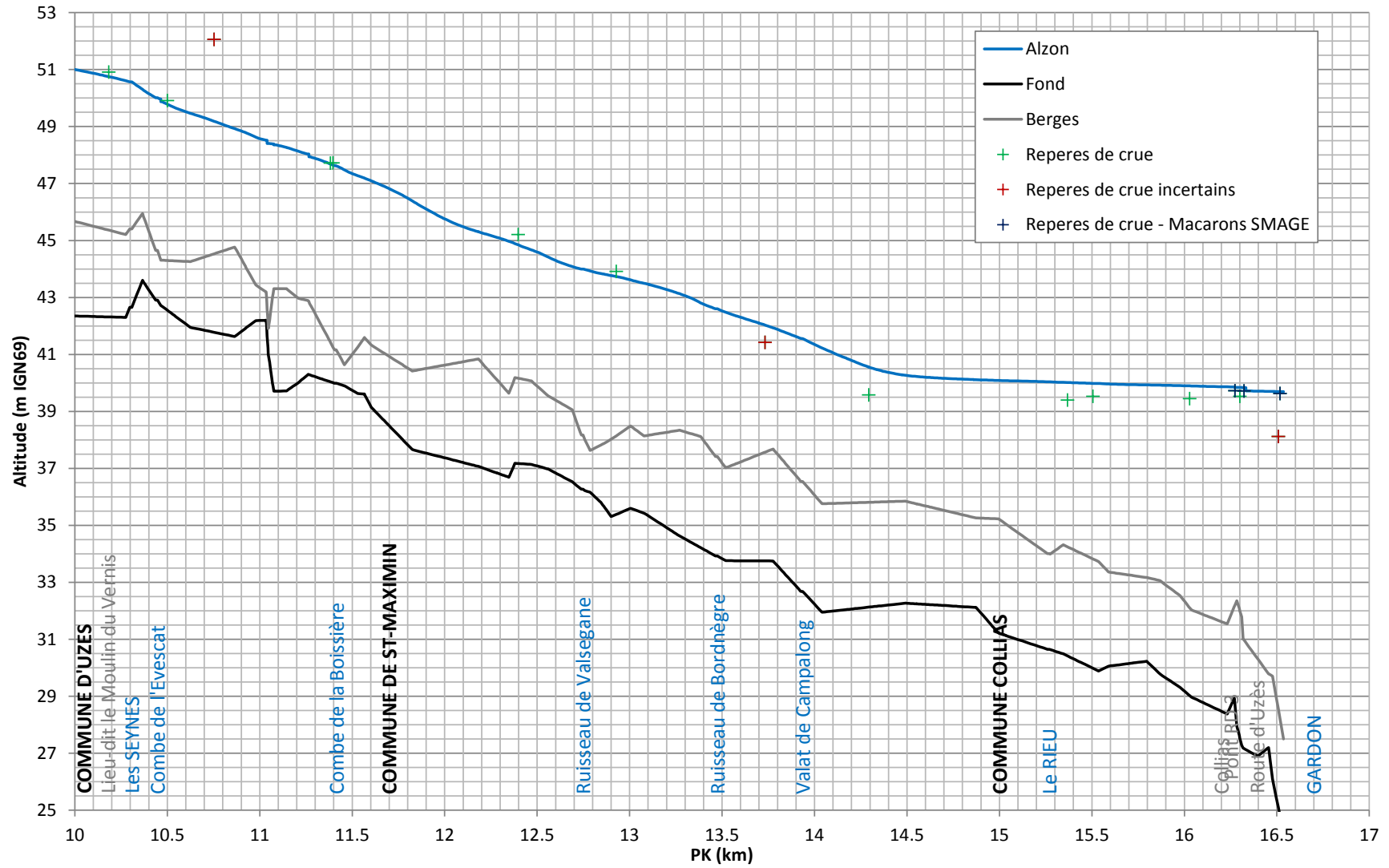
gav_261	15.463	1	MONTFRIN	15.7	-23.7
gav_262	15.297	1	MONTFRIN	15.65	-35.3
gav_263	15.308	1	MONTFRIN	15.47	-16.2
gav_264	14.711	1	MONTFRIN	15.43	-71.9
gav_265	15.268	1	MONTFRIN	15.41	-14.2
gav_266	15.236	1	MONTFRIN	15.4	-16.4
gav_267	14.702	1	COMPS	14.61	9.2
gav_268	14.927	1	COMPS	14.59	33.7
gav_27	16.273	1	MONTFRIN	16.7	-42.7
gav_28	16.397	1	MONTFRIN	16.7	-30.3
gav_29	16.267	1	MONTFRIN	16.21	5.7
gav_3	19.243	1	FOURNES	19.19	5.3
gav_30	15.844	1	MONTFRIN	16.18	-33.6
gav_31	15.422	1	MONTFRIN	15.69	-26.8
gav_32	15.46	1	MONTFRIN	15.61	-15
gav_33	14.671	1	COMPS	12.75	192.1
gav_34	13.571	1	COMPS	12.75	82.1
gav_36	17.214	1	MONTFRIN	17.92	-70.6
gav_37	17.155	1	MONTFRIN	17.49	-33.5
gav_370	28.31	1	REMOULINS	27.25	106
gav_371	28.32	1	REMOULINS	27.58	74
gav_372	19.61	1	REMOULINS	27.59	-798
gav_373	25.3	1	REMOULINS	26.07	-77
gav_374	30.29	1	vers pont du gard	29.85	44
gav_377	127.57	1	VALLIGUIERES	127.8	-23
gav_378	127.23	1	VALLIGUIERES	127.3	-7
gav_38	17.6	1	MONTFRIN	17.91	-31
gav_39	17.1	1	MONTFRIN	17.33	-23
gav_4	19.294	1	FOURNES	19.18	11.4
gav_40	17.096	1	MONTFRIN	17.32	-22.4
gav_42	17.661	1	MONTFRIN	17.91	-24.9
gav_43	17.148	1	MONTFRIN	17.45	-30.2
gav_45	20.789	1	MONTFRIN	15.7	508.9
gav_453	14.61	1	Aramon	14.6	1
gav_454	14.658	1	Aramon	14.6	5.8
gav_455	14.598	1	Aramon	14.6	-0.2
gav_456	14.501	1	Aramon	14.6	-9.9
gav_457	14.659	1	Aramon	14.6	5.9
gav_458	14.631	1	Aramon	14.6	3.1
gav_459	14.664	1	Aramon	14.6	6.4
gav_46	15.675	1	MONTFRIN	15.55	12.5
gav_460	13.948	1	Aramon	14.6	-65.2
gav_461	14.463	1	Aramon	14.6	-13.7
gav_462	15.158	1	Aramon	14.6	55.8
gav_463	14.556	1	Aramon	14.6	-4.4
gav_47	15.23	1	MONTFRIN	15.1	13
gav_5	19.429	0	FOURNES	19.06	36.9
gav_6	18.663	1	MONTFRIN	18.69	-2.7
gav_7	18.606	1	MONTFRIN	18.34	26.6
gav_8	19.349	1	FOURNES	19.24	10.9
gav_8B	19.349	1	FOURNES	19.24	10.9
gav_9	18.307	1	MONTFRIN	18.29	1.7
Montfrin R3 128	16.39	1	Montfrin	16.7	-31
Montfrin R3 52	17.76	1	Montfrin	17.63	13
Montfrin R3 53	17.1	1	Montfrin	17.33	-23
Montfrin R3 54	14.75	1	Montfrin	14.8	-5
Remoulins R3 63	28.32	1	Remoulins	27.6	72
Remoulins R3 64	24.98	1	Remoulins	27.09	-211
Remoulins R3 66	25.3	1	Remoulins	25.22	8
Remoulins R3 67	29.17	1	Remoulins	28.51	66
Remoulins R3 AR 26	23.27	1	Remoulins	23.15	12
Théziers R3 126	14.73	1	Théziers	14.61	12
Théziers R3 89	14.55	1	Théziers	14.61	-6
Vers Pont du Gard R3 94	32.03	1	Vers Pont du Gard	32	3
Vers Pont du Gard R3 95	29.71	1	Remoulins	29.75	-4
Vers Pont du Gard R3 96	29.952	1	Remoulins	29.85	10.2

**Fiabilité :**  
0 : peu fiable  
1 : fiable  
2 : peu fiable pour l'écoulement

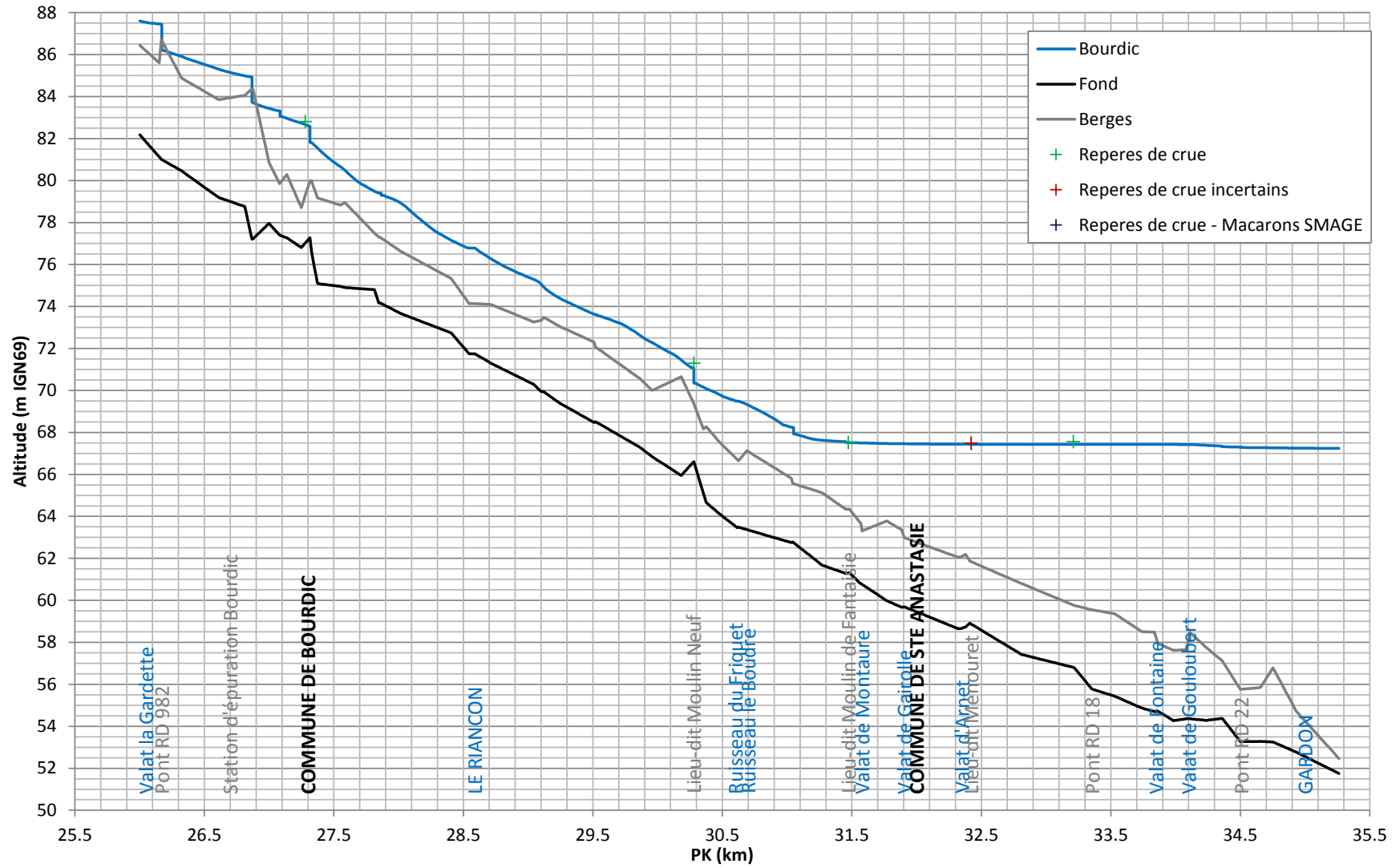
ANNEXE 8-2

PROFILS EN LONG DES PRINCIPAUX AFFLUENTS

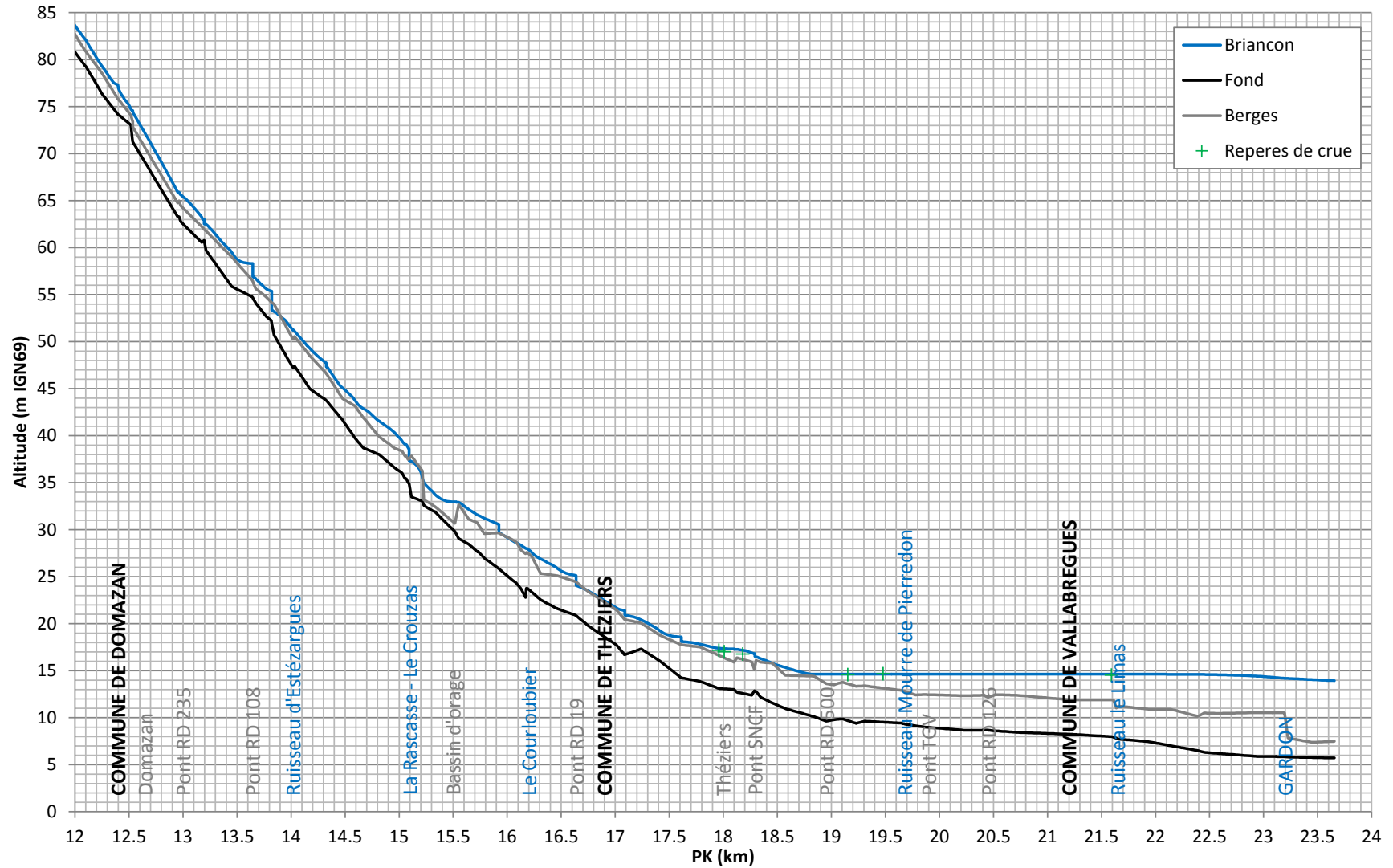
## Crue 2002 - Calage - L'Alzon



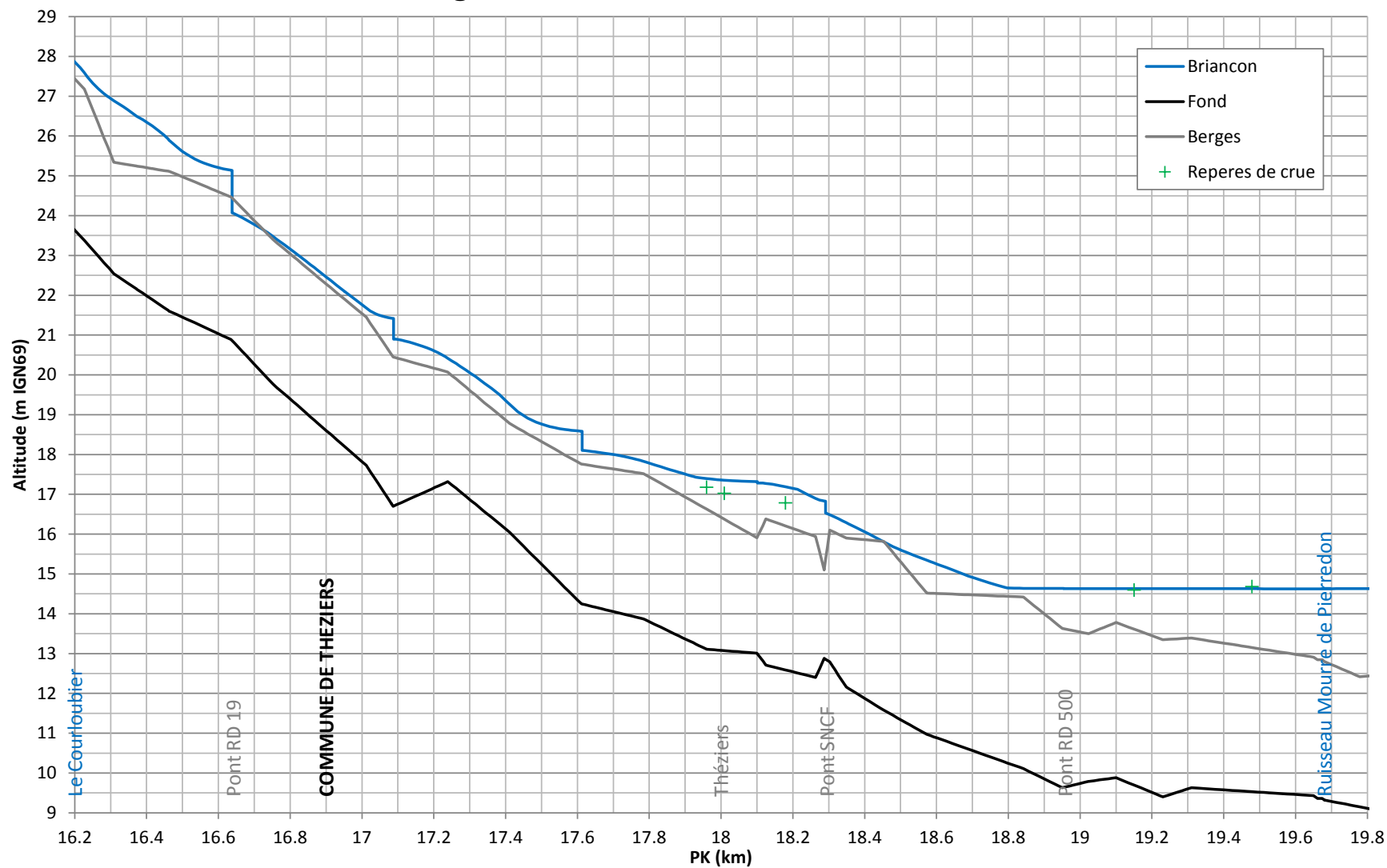
## Crue 2002 - Calage - Le Bourdic



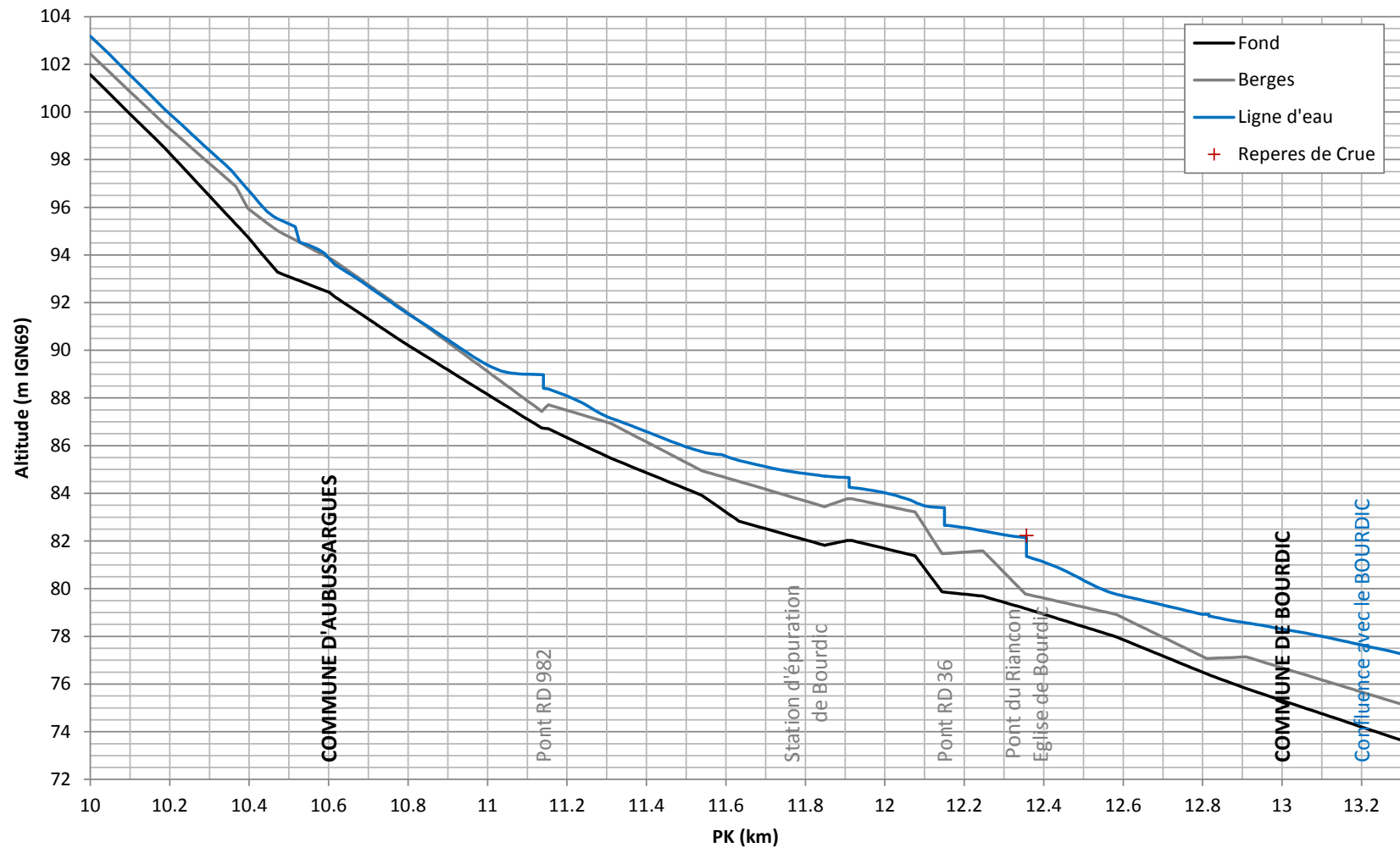
## Crue 2002 - Calage - Le Briancon



## Crue 2002 - Calage - Le Briancon - Zoom sur la commune de Théziers



## Ruisseau le Riançon - Commune d'Aubussargues et de Bourdic



ANNEXE 9

NOTE DE SYNTHÈSE DES REPRISES FAISANT SUITE À L'ENQUÊTE PUBLIQUE






**note** destinée à **P. Demoulin**  
copie à

<b>Lyon le</b>	<b>29/09/2016</b>	<b>affaire</b>	<b>PPRI Gardons</b>
<b>rédacteur</b>	<b>C Duran</b>	<b>référence</b>	<b>016 – 28902</b>
<b>téléphone</b>	<b>04 27 85 49 70</b>	<b>objet</b>	<b>Reprises pour finalisation aléa</b>
<b>fax</b>	<b>04 27 85 48 81</b>		
<b>e-mail</b>	<b>duran@hydra.setec.fr</b> <b>quillat@hydra.setec.fr</b>		

La présente note donne les éléments de réponses (rédigés en gris) aux remarques formulées lors de l'enquête publique sur le projet de zonage réglementaire du PPRI.

Pour mémoire, ci-dessous rappel de la légende des cartes d'aléa dont des extraits sont repris dans la présente note.

### Légende:

	Aléa Fort		Lit mineur et plans d'eau
	Aléa Modéré		Zone de ruissellement
	Aléa Résiduel		

## 1 ARGILLIERS

Les délimitations de l'aléa résiduel sont affinées, sur la base d'investigations de terrain complémentaires pour préciser l'imbrication de plusieurs réseaux, la chenalisation et la déviation des ruisseaux pouvant générer des changements des flux entre les interfluves, dans des formations géologiques moles.

Les secteurs sortis de l'aléa résiduel peuvent cependant être soumis à du ruissellement diffus, matérialisée sur la carte d'aléa mais non repris dans le zonage.

Ces ajustements s'étendent au nord de la commune de Collias.

## **2 BOURDIC**

Le lit majeur exceptionnel initialement définie entre le Bourdic et le Riançon est requalifié en terrasse alluviale.

Quelques ajustements mineurs sont également apportés sur la délimitation de l'aléa résiduel du Bourdic autour du centre de Bourdic.

## **3 BARON**

Suite aux remarques de l'enquête publique, la discrétisation de la ligne d'eau est affinée et le croisement avec le MNT repris. Nous revenons à une cartographie de l'aléa modélisé proche des premières versions, qui avaient été « corrigées » manuellement sur la base des observations faites par la DDTM.

## **4 CASTILLON DU GARD**

### ***4.1 Aléa résiduel***

Il n'y a pas de jonction morphologique entre la combe de Vayer et le thalweg situé à l'Ouest du chemin de la combe de Vayer.

Le lit majeur exceptionnel est exclu de l'aléa résiduel, notamment au regard des résultats de la modélisation.

Une mission terrain a permis d'ajuster la limite de l'aléa résiduel sur ces différents secteurs.

### ***4.2 Compléments ajoutés au rapport d'étude***

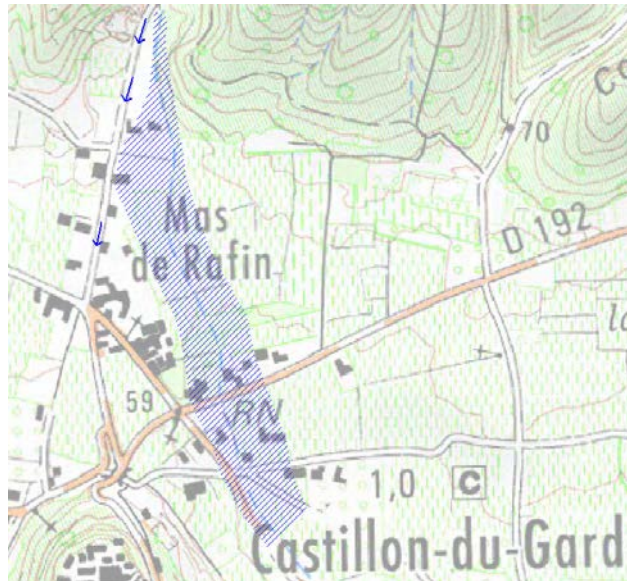
Des éléments complémentaires sont fournis dans le rapport sur la reconstitution de l'événement de septembre 2002 par la modélisation numérique.

#### ***4.2.1 Compléments sur le calage du modèle***

L'analyse des éléments d'observations disponibles sur les écoulements de la **combe de Vayer** en septembre 2002 sont très partiels (absence de repères de crue côtés notamment), mais laissent penser que l'emprise calculée par le modèle est sur estimée.

Les éléments d'observations disponibles, recueillis lors des enquêtes préalables aux études techniques et complétés lors des différentes étapes de concertation sont les suivants :

- Délimitation approximative des zones inondées au droit du Mas Rafin (établie en mars 2012 avec M. le Maire) :



- Présence d'un écoulement marqué sur le chemin de la combe de Vayer, mais à priori sans débordements vers l'ouest de ce chemin,
- Surverse sur la RD192 (route de Saint Hilaire) ; la hauteur d'eau maximale estimée compte tenu de l'emprise latérale définie précédemment est de l'ordre de 1 m,
- Maison de M. le Maire (en 2012) inondée par la crue,
- Une maison identifiée plus au sud n'a pas été inondée (sur le ruisseau de Larrière).

La ligne d'eau calculée pour l'événement de septembre 2002 sur la partie **amont du ruisseau de Larrière** semble également légèrement surestimée, notamment dans la traversée de Valligüères où nous disposons de 2 repères de crue localisés sur la carte ci-dessous.



Repères de la crue de septembre 2002 à Valligüères.

Le tableau ci-dessous compare les cotes calculées et mesurées en ces points pour la crue de septembre 2002.

	Cote mesurée	Cote calculée	Ecart
Gav_377	127.57	127.77	+ 20 cm
Gav_377	127.23	127.46	+ 23 cm

Cette sur-estimation des emprises inondées calculées pour l'événement de septembre 2002 est la conséquence d'une sur-estimation locale des débits écoulés sur cette combe, pouvant être liée au fonctionnement de systèmes karstiques très mal connus ou à une sur-estimation locale de la pluviométrie.

Elle peut être circonscrite à la combe de Vayer depuis sa source jusqu'à sa confluence avec le ruisseau de Larrière, ainsi que sur le ruisseau de Larrière de sa source à la RN86 à Castillon du Gard.

Les repères de crue disponibles sur le ruisseau de Larrière en aval de la RD702 permettent de valider la modélisation numérique sur ce linéaire ; les incertitudes sur les débits de la tête de bassin versant deviennent peu significatives au regard du débit total du ruisseau de Larrière, grossi par les apports des bassins versants descendant de Saint Hilaire. La ligne d'eau se retrouve ensuite de plus en plus influencée par la crue du Gardon.

#### ***4.2.2 Complément sur la cartographie de l'aléa***

La phase de calage du modèle a conclu à une probable sur-estimation de l'inondation calculée pour l'événement de septembre 2002 sur l'amont du ruisseau de Larrière et de son affluent la combe du Vayer à Castillon du Gard et Valliguières.

La crue centennale modélisée reste cependant inférieure aux observations faites de la crue historique de septembre 2002 sur ces secteurs ; cette dernière constitue donc bien l'événement de référence pour l'élaboration de la cartographie de l'aléa du PPRI.

Afin de rester conforme à la réglementation qui demande d'élaborer les PPRI à partir de l'événement de référence, événement centennal ou événement historique supérieur à l'événement centennal, et afin de ne pas sur-estimer l'aléa retenu pour l'élaboration du PPRI, ce dernier est cartographié sur la base d'un événement qui s'approche des observations disponibles pour septembre 2002.

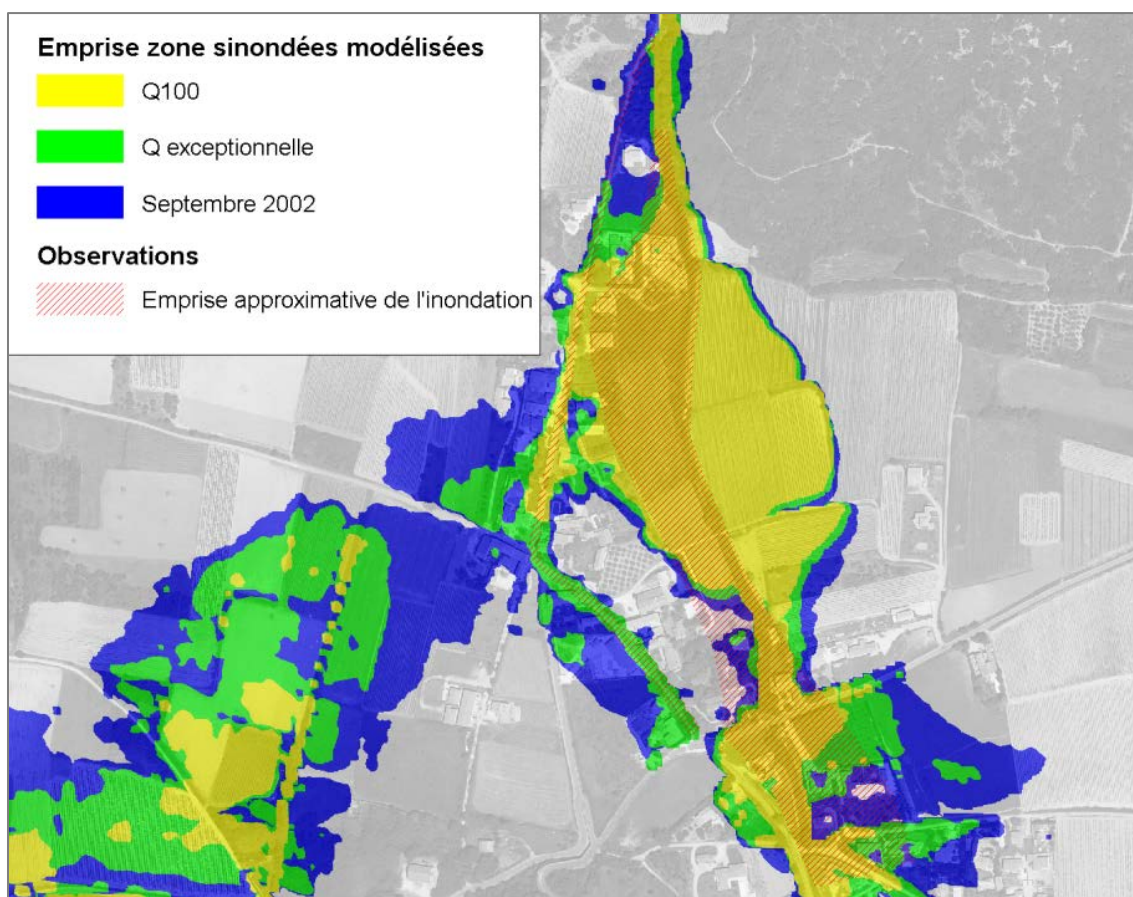
Le tableau ci-après précise les cotes observées en 2002 et calculées par le modèle numérique pour les différents événements reconstitués à Valliguières.

	Cote mesurée	Modèle		Ecart
		Scénario	Cote calculée	
<b>Gav_377</b>	127.57	Septembre 2002	127.77	+ 20 cm
		Q100	127.35	- 22 cm
		<b>Q exceptionnel</b>	<b>127.49</b>	<b>- 8 cm</b>
<b>Gav_377</b>	127.23	Septembre 2002	127.46	+ 23 cm
		Q100	127.04	- 19 cm
		<b>Q exceptionnel</b>	<b>127.18</b>	<b>- 5 cm</b>

Les lignes d'eau calculées pour l'événement exceptionnel sont les plus proches des repères de crue disponibles.

Sur la Combe de Vayer, les observations sont plus qualitatives. La carte ci-après présente l'emprise des crues calculées pour l'événement de septembre 2002, la crue centennale et la crue exceptionnelle, ainsi que le report des éléments d'observation disponibles.

Figure 1 : Emprise des zones inondables calculées sur la combe de Vayer





Les observations sont très approximatives, notamment sur la rive gauche de la combe, où les données topographiques indiquent clairement l'élargissement de la vallée et de la zone potentiellement inondable.

Plus en aval sur le ruisseau de Larrière, une habitation a été signalée non inondée en septembre 2002.

Elle est hors d'eau pour les événements centennal et exceptionnel modélisés, mais inondée par l'événement de septembre 2002 modélisé.

Sur la base de ces éléments, l'**aléa de référence** est cartographié à partir de la **crue exceptionnelle modélisée**, proche des observations faites lors de l'événement de 2002 et supérieures à l'événement centennal, sur les secteurs suivants :

- Ruisseau de Larrière et ses affluents de sa source à la RD6086 sur la commune de Castillon du Gard,
- Combe de Vayer et ses affluents de sa source à la confluence avec le ruisseau de Larrière.

## 5 COLLIAS

Une analyse fine de la topographie a permis d'ajuster l'emprise de la zone inondée.

La carte ci-dessous présente l'aléa initial et celui recalculé sur la base du MNT 0.5m.



Cartographie de l'aléa initial



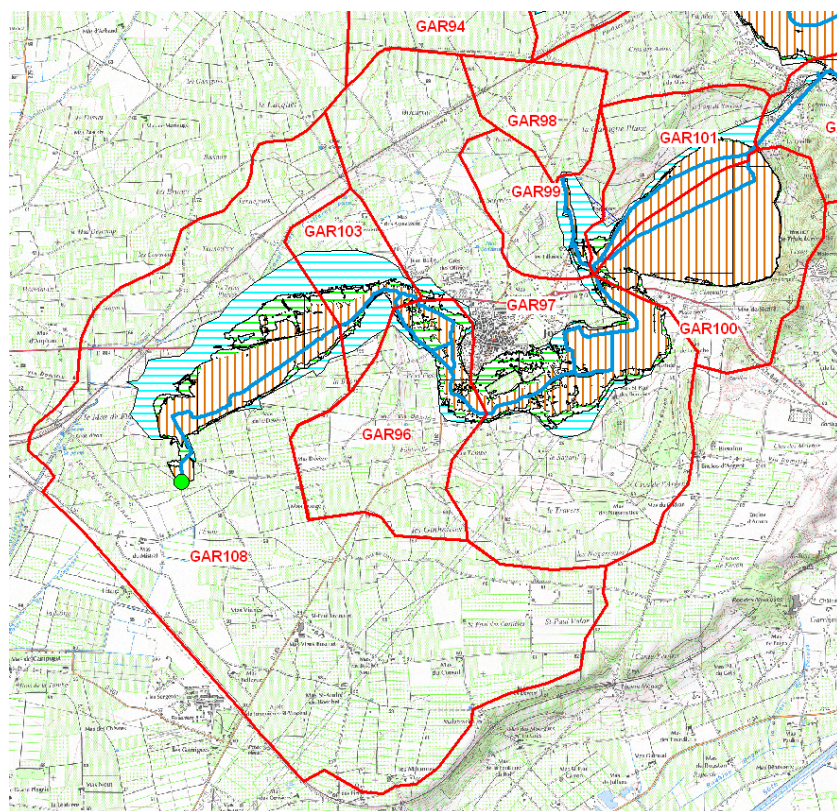
Cartographie de l'aléa ajusté

## 6 JONQUIERES SAINT VINCENT

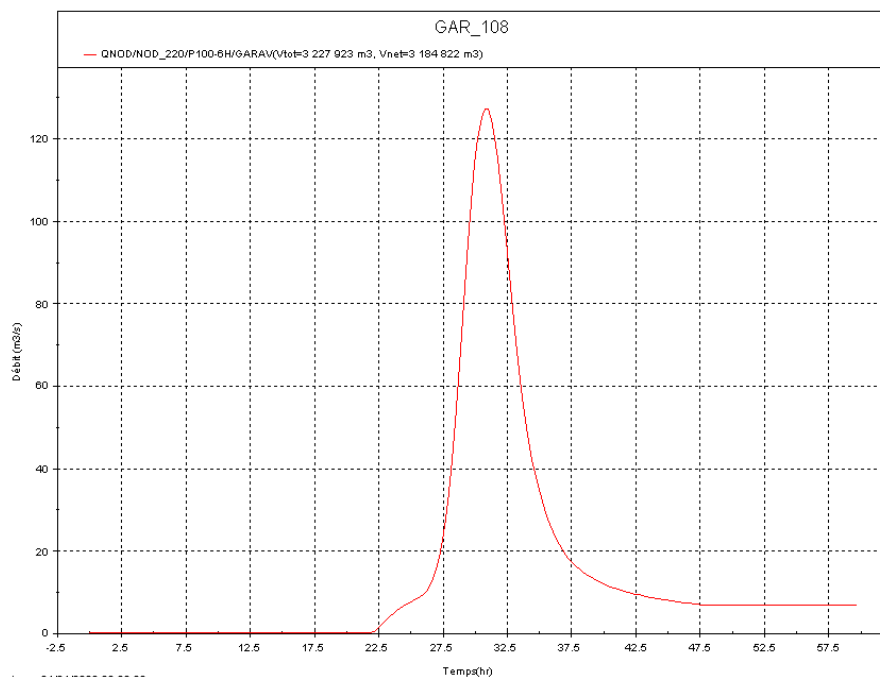
### 6.1 *Rappel des notes précédentes*

Plusieurs ajustements des apports hydrologiques et du modèle ont été effectués en amont de Jonquières Saint Vincent depuis les premiers rendus cartographiques :

- décembre 2013 : les apports du bassin versant Gar108 n'étaient pas pris en compte tenu de la présence de différents vannages et du caractère plat et infiltrant de la vallée amont ;
- il est apparu que ces hypothèses semblaient trop optimistes. Les apports du BV Gar108 ont alors été injectés dans le modèle ; le rendu de juillet 2014 intègre ces apports qui modifient sensiblement les aléas dans la traversée de Jonquières Saint Vincent.
- les débits conséquents calculés par le modèle pluie débit à l'exutoire du BV Gar108 et une visite de terrain effectuée le 30 octobre 2014 avec les élus de la commune nous ont amené à reconsidérer la dynamique des ruissellements générés sur ce bassin versant et notamment le rôle d'écêtement que peuvent générer des zones de dépression du terrain naturel, la faiblesse des pentes et la largeur des zones d'expansion de crue. Cette note présente ces derniers ajustements et les résultats obtenus.



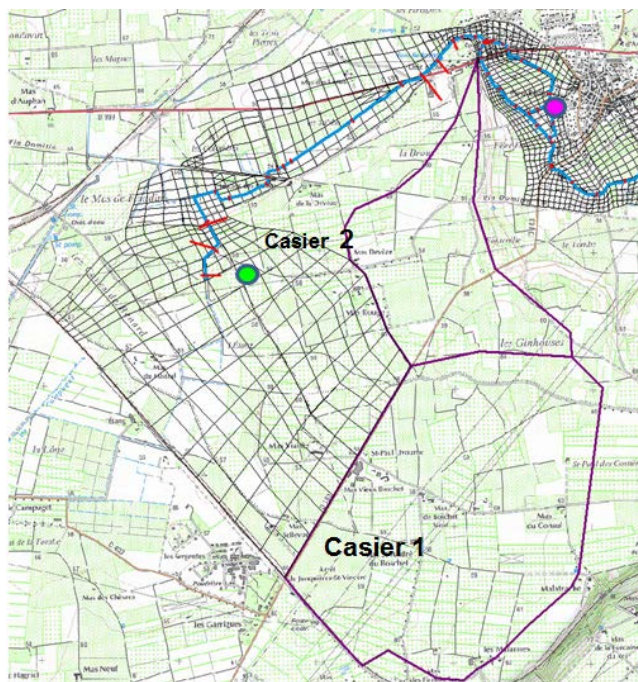
La crue de référence sur le Grand Valat qui inonde la commune de Jonquières Saint Vincent est la crue centennale. Le graphique suivant illustre pour cette crue l'hydrogramme restitué par le modèle pluie débit à l'exutoire du bassin versant GAR108 (cf. point vert carte ci-avant).



Une partie de ce bassin versant et du BV GAR96 est un vaste plateau où l'étalement de la lame d'eau ruisselée peut jouer un rôle important sur la propagation des crues en aval.

Afin de représenter au mieux l'écrêtement des apports de ces bassins versant, un maillage bidimensionnel est réalisé (cf. carte ci-après).

Les apports du bassin versant GAR108 sont alors répartis entre le casier 1 (40%) et le Grand Valat (60%) (pastille verte) et les apports du bassin versant GAR96 sont répartis entre le casier 2 (50%) et le Grand Valat (50%) (pastille rose).



Ainsi en amont de la RD163 qui longe le casier 1 à l'ouest de par sa configuration en remblai et la topographie en amont légèrement en cuvette, une partie des écoulements sont stockés et par conséquence les débits vers l'aval sont écrêtés.

De la même manière l'étalement des débits sur le plateau en amont du Grand Valat permet aussi d'écrêter les débits comme le montre le graphique suivant.

Le débit de pointe au point d'injection initial du BV Gar108 (pastille verte sur la carte ci-dessus) est ainsi écrêté de 50 m<sup>3</sup>/s (rendu cartographiques de juillet 2014) à 10 m<sup>3</sup>/s (pour mémoire ce débit était nul pour le rendu de décembre 2013).

## 6.2 Aléa résiduel

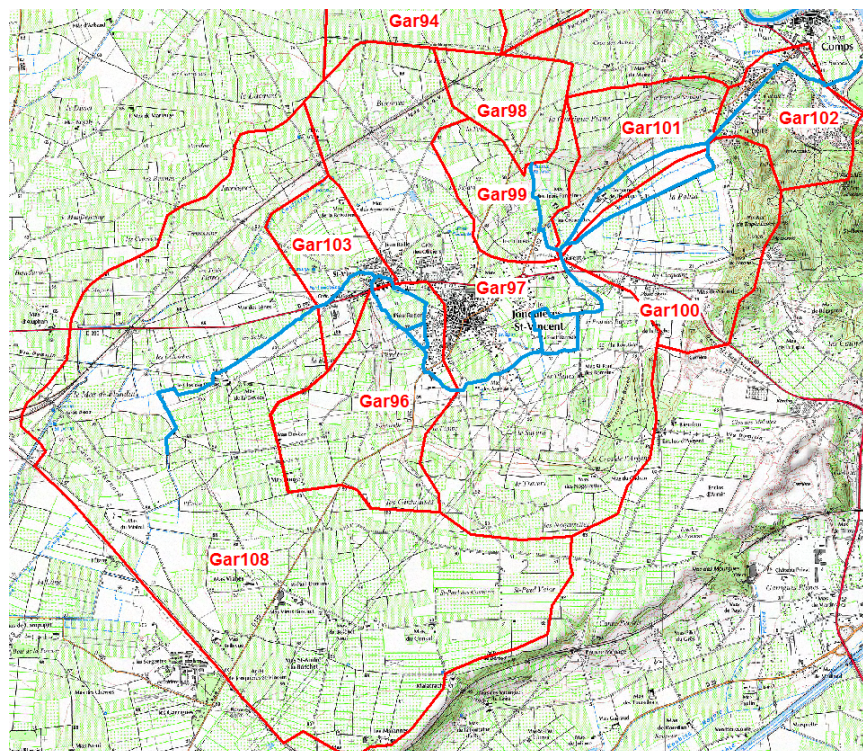
Les délimitations de l'aléa résiduel sont affinées, sur la base d'une analyse géomorphologique fine et d'investigations de terrain complémentaires.

## 6.3 Compléments au rapport

Des compléments sont ajoutés au rapport ; ils reprennent en grande partie les éléments cités précédemment.

### 6.3.1 Calage du modèle

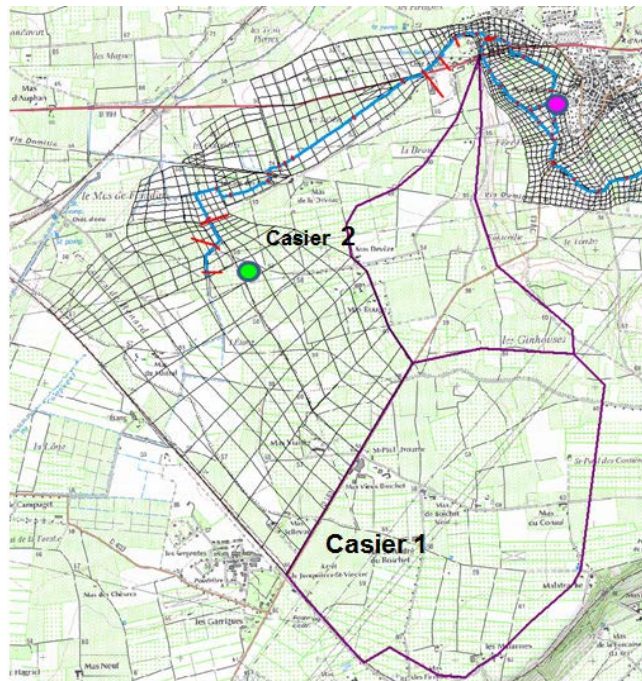
- Hypothèses relatives à la définition des apports hydrologiques amont :  
La carte ci-dessous présente les sous bassins versants du Grand Valat en amont et à hauteur de Jonquières Saint Vincent.



Les apports de la partie sud-ouest de la voie ferrée (et du bassin versant GAR108) sont considérés comme déconnectés du Grand Valat (vanne de campuget fermée).

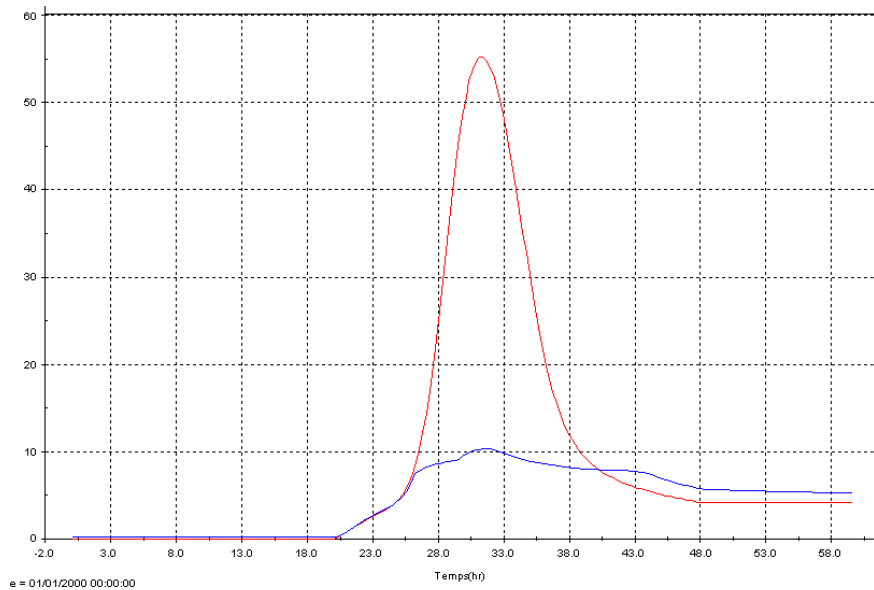
Le bassin versant amont (GAR108 et GAR96) est un vaste plateau qui se caractérise par des terrains relativement perméables et une morphologie pouvant entraîner un écrêtement sensible des débits de pointe écoulés vers l'aval (zones de dépression du terrain naturel, faiblesse des pentes et largeur des zones d'expansion de crue).

Le modèle hydraulique est ainsi prolongé vers l'amont afin d'intégrer précisément l'écrêtement des apports de ces bassins versants.



Les apports (issus de la modélisation pluie – débit) du bassin versant GAR108 sont ainsi répartis entre le casier 1 (40%) et le Grand Valat (60%, point vert) et les apports du bassin versant GAR96 sont répartis entre le casier 2 (50%) et le Grand Valat (50%, point rose).

Le graphique ci-dessous superpose l'hydrogramme brut issu de la modélisation pluie – débit (en rouge) et l'hydrogramme propagé par le modèle hydraulique au droit du point vert. Le débit de pointe est ainsi écrêté de 50 m<sup>3</sup>/s à 10 m<sup>3</sup>/s.



Cet écrêtement est principalement du :

- A la RD163 (qui longe le casier 1 à l'ouest), dont le remblai accroît le rôle de stockage naturel créé par la dépression du terrain naturel en amont,
  - A l'étalement des eaux sur le plateau en amont du Grand Valat.
- Hypothèses relatives au fonctionnement des ouvrages hydrauliques

Les ouvrages hydrauliques existants sont intégrés dans le modèle, depuis la vanne de Redessan en amont. Les ouvrages mobiles sont systématiquement considérés ouverts, à l'exception de la vanne de la Palud dont la gestion est détaillée ci-dessous.

En aval de la traversée de Jonquières Saint Vincent, le Grand Valat contourne l'ancien étang de la Palud puis s'écoule dans un tunnel qui achemine gravitairement les eaux vers Comps. A Comps, le tunnel se rejette dans un canal (la Roubine) ; en cas de crue forte du Gardon :

- afin d'éviter le remous du Gardon dans la Roubine, une vanne isole ces deux cours d'eau et une station de relevage assure l'évacuation des eaux de la Roubine,
- une vanne permet de fermer l'alimentation du tunnel du Grand Valat et de décharger les eaux vers l'ancien étang de la Palud.

Ces ouvrages et leurs règles de gestions sont intégrés au modèle. Pour une pluie donnée, le niveau de remplissage de la Palud est ainsi fortement dépendant du niveau du Gardon considéré.

Une étude hydraulique détaillée du fonctionnement du Grand Valat a été réalisée par BRL en 2005 - 2007. Les modélisations hydrauliques mises en œuvre pour caractériser les inondations considèrent l'exutoire de la Palud fermé.

La surface de bassin versant active prise en compte pour l'estimation des hydrogrammes de crue est en revanche plus réduite que celle prise en compte dans le cadre de la présente étude, puisque les apports des bassins versants GAR108 et GAR96 (cf. ci-dessus) ne sont pas pris en compte, considérant que la totalité de la pluie interceptée est infiltrée (nature des sols, faibles pentes et nombreuses dépressions). Aucun élément ne permet cependant de justifier une telle hypothèse pour les pluies de projet considérées.

### 6.3.2 Cartographie de l'aléa

L'aléa de référence correspond à un événement centennal modélisé, d'une durée totale de 48 heures.

Les niveaux calculés sont supérieurs à ceux annoncés par BRL dans l'étude hydraulique du Grand Valat de Jonquières Saint Vincent (2005, 2007), notamment sur le secteur de la Palud ; deux hypothèses expliquent ces écarts :

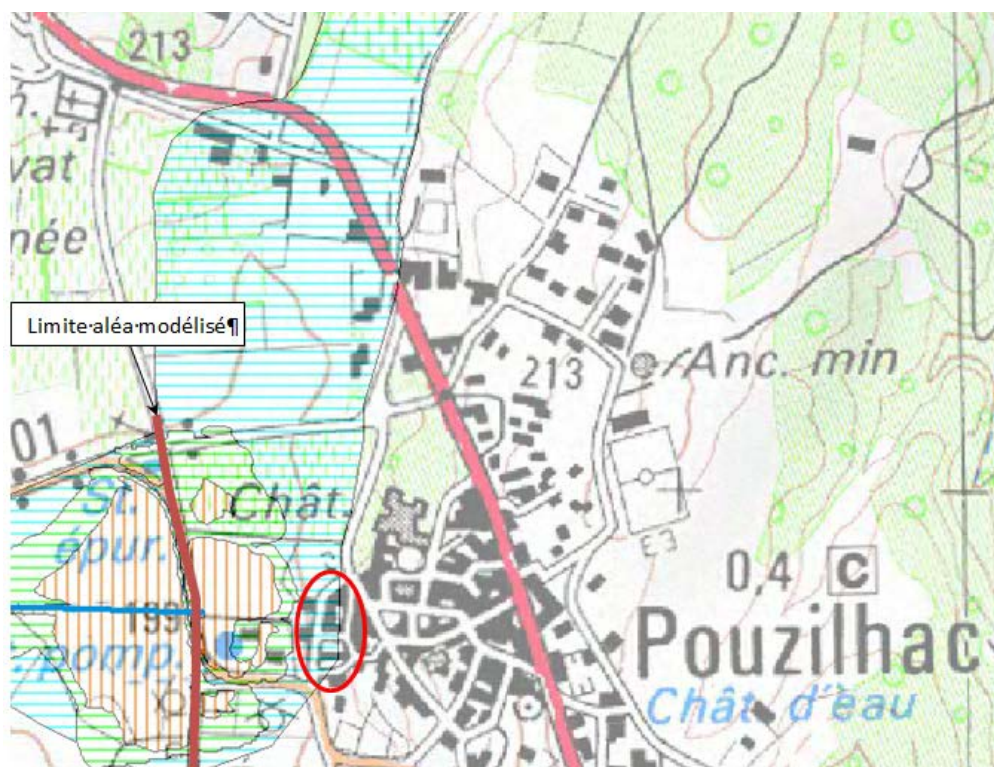
- La réduction du bassin versant actif en tête de bassin versant retenue par BRL,
- La durée de la pluie de projet retenue, de 48 heures dans le cadre de la présente étude (avec des durées intenses comprises entre 2 heures et 12 heures) contre 3 heures et 24 heures dans l'étude BRL (respectivement en amont de la Palud et au droit de la Palud).

Les écarts sont malgré tout peu marqués sur la Palud, où la cote de référence retenue est d'environ 18.35 mNGF pour 18.24 estimé par l'étude BRL. En amont de la Palud, les débits maximum sont également obtenus pour des pluies de durée intense comprise entre 2 et 4 heures.

## 7 POUZILHAC

Les constructions situées autour de la rue du lavoir (cercle rouge sur la figure ci-après) sont exclues de la zone inondable ; elles se trouvent en effet sur le talus de raccordement entre versant et plancher alluvial mais n'y sont pas.

L'aléa modélisé sera arrêté à l'ouest de la RD101 (limite amont du modèle hydraulique).



## **8 THEZIERS**

La formation identifiée comme un cône de déjection peut être assimilée plus précisément à un glacis d'épandage qui résulte à la fois du ruissellement diffus mais aussi de l'érosion mécanique formant des dépôts gravitaires (formation dite des gravettes). Les contours de la zone inondable en amont de la route et la forme du cône en aval peuvent être légèrement affinés, mais sans pour autant réduire la zone inondable.

Compte tenu de la taille réduite du bassin versant et des risques associés à la nature morphologique de cette formation, il est proposé de reclasser cette zone en ruissellement indifférencié.