

PPRI APPROUVÉ
PAR ARRÊTÉ PRÉFECTORAL
LE 22 JUILLET 2022



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Direction Départementale des
Territoires et de la Mer - Gard

ÉLABORATION DES PPRI SUR LES COMMUNES DU BASSIN VERSANT RHONE- CEZE-TAVE

Rapport

35126 | Juillet 2022 VF | DUC



setec
hydratec

	Le Crystallin 191/193 Cours Lafayette CS 20087 69458 Lyon Cedex 06 lyon@hydra.setec.fr T : 04 27 85 48 80			Directeur de Projet CTB	
				Responsable d'affaire DUC	
				N° Affaire 35126	
<i>Fichier : 35126_Rapport_post_enquete_Rq_DDTM.docx</i>					
V.	Date	Etabli par	Vérfié par	Nb. pages	Observations / Visa
1	20/10/2016	QLB	DUC	150	
2	06/11/2017	LSD	DUC	94	Révision après remarques DDTM : remarquesDDTM_Alea_201706.xls
3	20/06/2018	LSD	DUC	87	
4	14/12/2020	LSD	DUC	91	Révision après remarques DDTM de 12/11/2020
5	19/01/21	LSD	DUC	90	Corrections sur suite à remarques de la DDTM30
6	24/09/2021	DUC	DUC	85	Compléments suite échanges DDTM30
7	28/10/2021	DUC	DUC	88	Compléments suite enquête publique
8	17/06/2022	DUC	DUC	91	
Finale	22/07/2022	LSD	DUC	91	

TABLE DES MATIÈRES

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS.....	9
1.1 Zone d'étude.....	9
1.2 Contexte.....	10
2. PRÉSENTATION DU RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE ET DES BASSINS VERSANTS.....	13
2.1 Réseau hydrographique sur le secteur d'étude.....	13
2.2 Contexte climatique général.....	15
2.3 Contexte géologique.....	16
2.3.1 Structure géologique du secteur d'étude.....	16
2.3.2 Description des terrains rencontrés.....	17
2.3.3 Rôle de la géologie de surface sur la genèse des écoulements.....	17
2.4 Occupation du sol.....	19
3. ANALYSE HYDROGÉOMORPHOLOGIQUE.....	20
3.1 Objet de l'approche hydrogéomorphologique.....	20
3.1.1 Données existantes.....	20
3.1.2 Objet de la mission.....	20
3.2 Analyse hydrogéomorphologique par secteurs.....	20
3.2.1 La Cèze.....	20
3.2.2 La Tave.....	21
3.2.3 La Veyre.....	21
3.2.4 L'Aiguillon.....	21
4. ANALYSE HYDROLOGIQUE.....	22
4.1 Historique des crues marquantes du territoire.....	22
4.2 Démarche générale.....	22
4.3 Analyse de la pluviométrie.....	23
4.3.1 Données disponibles.....	23
4.3.2 Analyse statistique des données pluviométriques.....	27
4.3.3 Variabilité spatiale des cumuls pluviométriques.....	28
4.4 Définition des débits caractéristiques de crue : méthodes statistiques et régionales.....	31
4.4.1 Stations hydrométriques.....	31
4.4.2 Débits de crue de la Cèze-amont (Bagnols sur Cèze).....	31
4.4.3 Débits de crue de la Tave.....	32
4.5 Modélisation pluie -débit.....	34
4.5.1 Découpage en sous bassins versants.....	34
4.5.2 Modélisation pluie brute – débit : présentation des formulations mises en œuvre.....	35

4.5.3 Calage des modèles pluies – débit.....	35
4.6 Définition d'une hydrologie de référence.....	38
4.6.1 Méthodologie générale.....	38
4.6.2 Définition des pluies de projet.....	38
4.6.3 Validation de l'hydrologie de référence produite par le modèle pluie - débit.....	40
4.7 Analyse de la crue de septembre 2002 sur la Tave.....	41
4.8 Concomitance des crues de la Cèze, de la Tave et de leurs affluents.....	42
4.9 Concomitances des crues du Rhône et de la Cèze.....	43
4.9.1 Problématiques.....	43
4.9.2 Crue de référence du Rhône.....	43
4.9.3 Concomitances des crues du Rhône et de la Cèze.....	43
5. MODÉLISATION HYDRAULIQUE.....	45
5.1 Méthodologie de l'étude hydraulique.....	45
5.2 Présentation du logiciel de modélisation : hydrariv.....	45
5.3 Données topographiques.....	47
5.3.1 Profils en travers.....	47
5.3.2 Ouvrages hydrauliques.....	47
5.3.3 Semis de points.....	47
5.4 Construction du modèle hydraulique.....	48
5.4.1 Architecture générale du modèle.....	48
5.4.2 Emprise du modèle filaire.....	49
5.4.3 Modélisation du lit majeur.....	49
5.4.4 Conditions limites amont.....	49
5.4.5 Condition limite aval.....	50
5.5 Calage et validation du modèle.....	52
5.5.1 Données de calage.....	52
5.5.2 Cas des aménagements réalisés après la crue de septembre 2002.....	53
5.5.3 Résultats du calage.....	55
6. CARTOGRAPHIES DES ZONES INONDABLES ET DE L'ALÉA.....	65
6.1 Cartographie de l'aléa de référence du PPRI.....	65
6.1.1 Définition de l'événement de référence.....	65
6.1.2 Caractérisation des niveaux d'aléa.....	68
6.2 APPROFONDISSEMENT DE LA CONNAISSANCE DU RISQUE INONDATION.....	69

ANNEXES

<u>ANNEXE 1</u> PLUVIOMETRIE PAR STATION - AJUSTEMENTS STATISTIQUES TOUTES LOIS	72
<u>ANNEXE 2</u> METHODOLOGIE DETAILLEE D'ESTIMATION DES DEBITS DECENNAL ET CENTENAL DE LA TAVE AVAL	81
<u>ANNEXE 3</u> FORMULATIONS RETENUES POUR LA MODÉLISATION PLUIE DÉBIT	86
<u>ANNEXE 4</u> PRÉSENTATION DU LOGICIEL HYDRARIV	90

ILLUSTRATIONS

Figure 1 : présentation communes étudiées	9
Figure 2 : PPRi par commune	10
Figure 3 : Fons-sur-Lussan en septembre 2014	12
Figure 4 : Fons-sur-Lussan le 9 septembre 2002	12
Figure 5 : présentation générale du réseau hydrographique sur le secteur d'étude	14
Figure 6 : pluviométrie annuelle d'après les données AURELHY (1971 - 2000)	15
Figure 7 : synthèse géologique du secteur d'étude	16
Figure 8 : carte de synthèse de la perméabilité des sols	17
Figure 9 : carte de synthèse de l'occupation du sol	18
Figure 10 : localisation des stations pluviométriques disponibles à proximité du secteur d'étude	24
Figure 11 : les différentes zones de couverture des données radar du SPCGD	25
Figure 12 : cumuls pluviométriques centennaux de durée 6h (source SHYREG)	28
Figure 13 : cumuls pluviométriques centennaux de durée 12h (source SHYREG)	28
Figure 14 : hydrogramme reconstitué de la Cèze à Bagnols sur Cèze pour l'évènement de septembre 2002 (source étude Sogreah-2003)	31
Figure 15 : découpage du territoire en sous bassins versants	33
Figure 16 : carte de synthèse du paramètre J sur l'ensemble du territoire	35
Figure 17 : schématisation d'une pluie double triangle	37
Figure 18 : hyétogrammes des pluies de projet	38
Figure 19 : Hydrogrammes Q10, Q50 et Q100 de la Tave en aval du bassin versant	39
Figure 20 : hyétogrammes et cumuls de pluviométrie reconstitués pour l'évènement de septembre 2002 sur deux sous bassins versants de la Tave	40
Figure 21 : hydrogrammes calculés pour la crue de septembre 2002 et pour les crues de projet de périodes de retour 10 ans, 50 ans et 100 ans	41
Figure 22: Typologie du modèle hydraulique – Présentation des 4 sous-modèles	47
Figure 23 : hydrogrammes amont de la Cèze	49

Figure 24 : condition limite aval du Rhône	49
Figure 25 : débits du Rhône pour l'évènement de septembre 2002	50
Figure 26 : hydrogrammes de crue du Rhône	51
Figure 27: synthèse des repères de crue fiables sur l'ensemble du secteur d'étude	52
Figure 28 : Localisation de la digue de protection du centre de Codolet – source : Etude AVP SAFEGE	53
Figure 29 : Localisation du pont de la RN580	53
Figure 30 : A – écarts entre le modèle et les PHE	56
Figure 31 : B – écarts entre le modèle et les PHE	57
Figure 32 : schéma conceptuel du modèle pluie-débit retenu	89

TABLEAUX

Tableau 1 : caractéristiques des principaux affluents de la Tave	14
Tableau 2 : correspondance entre les catégories de perméabilité des sols et les formations géologiques	17
Tableau 3 : Stations de mesures pluviométriques gérées par le SPC Grand Delta	22
Tableau 4 : Stations de mesures pluviométriques gérées par Météo France	23
Tableau 5 : Variabilité spatiale des cumuls pluviométriques de durée 24h	27
Tableau 6 : variabilité spatiale des cumuls pluviométriques centennaux issus des pluies SHYREG	28
Tableau 7 : débits de pointe de la Cèze à la station de la Roque sur Cèze (source : banque hydro)	30
Tableau 8 : débit de référence de la Cèze – PPRI de Bagnols sur Cèze	31
Tableau 9 : synthèse des débits décennaux (Tave)	32
Tableau 10 : synthèse des débits centennaux (Tave)	32
Tableau 11: Valeurs de CN en fonction de la nature et de l'occupation du sol	35
Tableau 12 : estimation des périodes de retour des cumuls de pluviométrie sur différents pas de temps pour l'évènement de septembre 2002	40
Tableau 13 : synthèse des risques de concomitance des crues du Rhône et de la Cèze (Egis, 2011)	43
Tableau 14 : consigne d'exploitation de l'aménagement CNR de Caderousse	50
Tableau 15 : Tableau comparatif des hauteurs d'eau calculées par rapport aux repères de crue	56
Tableau 16 : caractéristiques des scénarios modélisés pour la définition de l'aléa de référence	65

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

1.1 ZONE D'ETUDE

L'objet de la présente étude est l'élaboration des Plans de Prévention des Risques Inondation communaux de la partie amont de l'Aiguillon, de la Tave et de la partie aval de la Cèze. Elle concerne 19 communes du département du Gard :

- La Bastide-d'Engras
- La Bruguière
- Cavillargues
- Chusclan
- Codolet
- Connaux
- Fons-sur-Lussan
- Fontarèches
- Gaujac
- Laudun-l'Ardoise
- Lussan
- Orsan
- Le Pin
- Pognadoresse
- Saint-Laurent-la-Vernède
- Saint-Paul-les-Fonts
- Saint-Pons-la-Calm
- Tresques
- Vallerargues

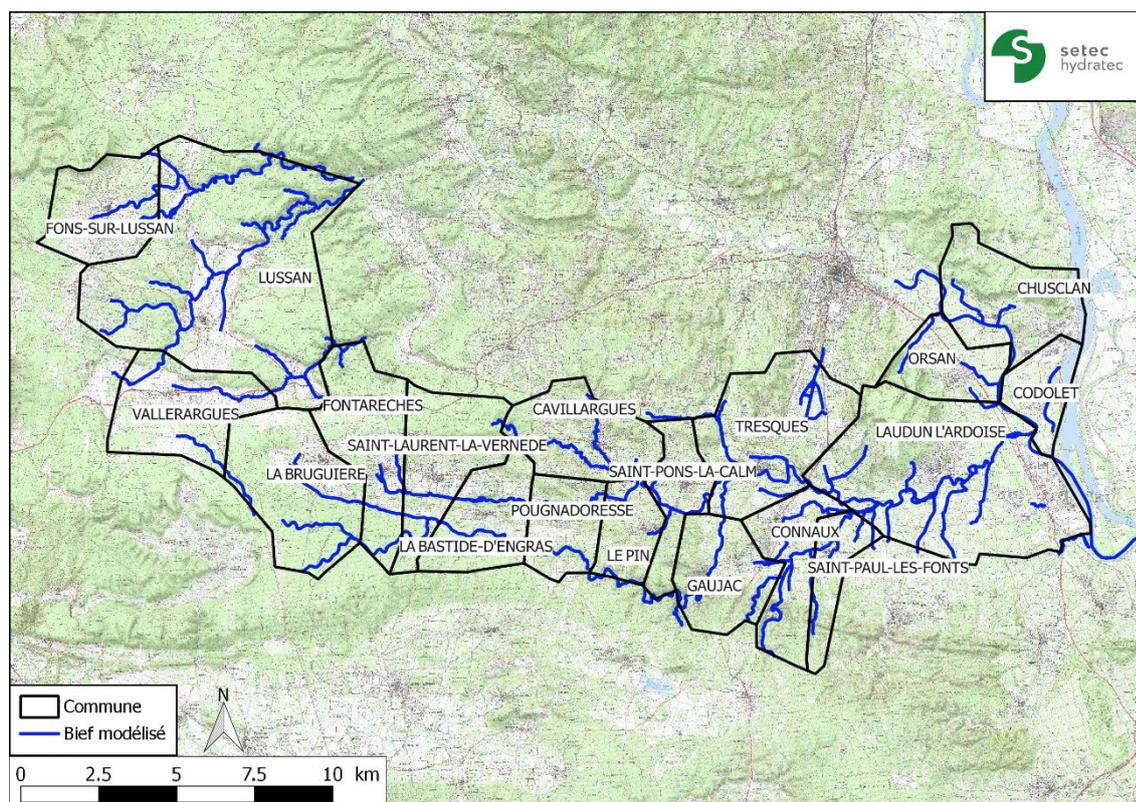


Figure 1 : présentation communes étudiées

Le risque inondation à prendre en compte intègre les cours d'eau principaux et les affluents de bassin versant supérieur à 1km². 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 prescrits et/ou approuvés :

- **PPRI Tave Brives Veyre** (prescrit en 2002) : communes de La Bastide-d'Engras, La Bruguière, Cavillargues, Connaux, Fontarèches, Gaujac, Le Pin, Saint-Laurent-la-Vernède, Saint-Paul-les-Fonts, Saint-Pons-la-Calm et Tresques.
- **PPRI Rhône Cèze Tave** (approuvé en 2000) : Laudun, Orsan, Codolet et Chusclan.

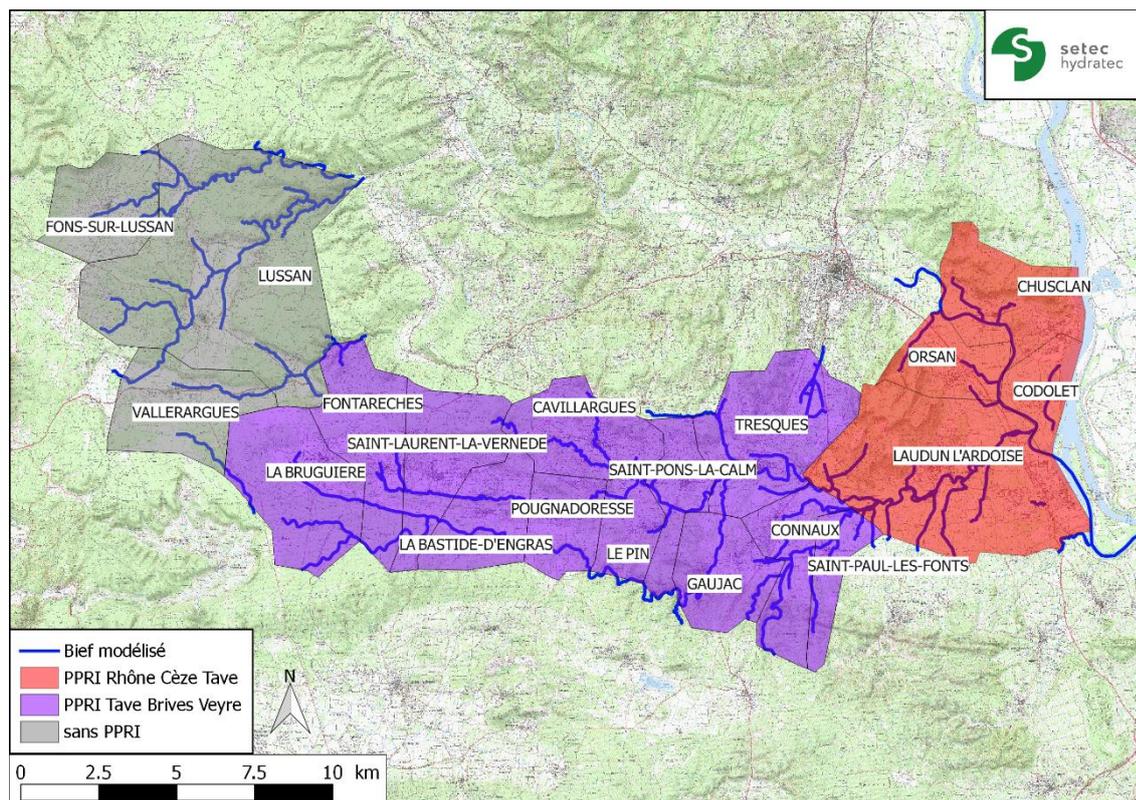


Figure 2 : PPRI par commune

1.2 CONTEXTE

La problématique des inondations est particulièrement forte dans le département du Gard du fait de l'ampleur et de la soudaineté des inondations, mais également du fait de l'urbanisation importante du territoire qui peut être assez diffuse dans certaines zones.

Les plus fortes inondations survenues sur le département du Gard sont générées par des épisodes cévenols particulièrement impressionnants du fait des cumuls de pluie enregistrés sur des périodes courtes. Ils génèrent des montées des eaux brusques qui laissent peu de temps pour mettre en sécurité les personnes et pour protéger les biens.

Face à cette climatologie particulière s'ajoute une urbanisation assez forte et assez diffuse qui accroît la vulnérabilité et complexifie les procédures de mise en sécurité des personnes. Par ailleurs compte tenu que la démographie du Gard est en progression constante, il y a une pression importante sur l'urbanisation sur un territoire assez contraint (inondation, incendie, topographie, etc.).

Sur le secteur d'étude, l'urbanisation est assez diffuse et s'étale autour des centres historiques des nombreux villages du bassin versant.

Dans ces conditions les PPRI reflètent une importance particulière.

Les communes concernées par l'étude se situent sur le bassin versant de la Tave, sur la partie amont du bassin versant de l'Aiguillon et du Merderis et sur l'extrémité aval du bassin versant de la Cèze.

Ce secteur présente un relief marqué avec de nombreuses collines, des vallons encaissés et des plaines alluviales qui s'élargissent à l'extrémité aval.

La plupart des villages se sont développés aux pieds des collines. Ils sont alors soumis à la fois aux risques de débordements des cours d'eau principaux et aux écoulements de petits cours d'eau descendants des collines, voir des écoulements qui se concentrent dans les talwegs habituellement secs.

Les phénomènes de ruissellements sont également très importants, notamment au droit des villages situés sur les coteaux, dans lesquels certaines routes peuvent se transformer en torrents lors d'épisodes pluvieux intenses.

L'élaboration d'une cartographie complète de l'aléa inondation nécessite de bien identifier et quantifier l'ensemble de ces phénomènes ; elle s'appuie ainsi sur :

- une analyse hydrogéomorphologique pour la définition de l'emprise d'une crue exceptionnelle,
- une modélisation hydraulique pour la caractérisation de l'aléa de référence, défini par la circulaire du 24 janvier 1994 : « l'événement de référence à retenir pour l'aléa est « la plus forte crue connue et, dans le cas où celle-ci serait plus faible qu'une crue de référence centennale, cette dernière ». Sur la Cèze aval, la Tave et l'Aiguillon amont, l'aléa de référence est ainsi obtenu pour une crue centennale modélisée ou pour la crue de septembre 2002 lorsque celle-ci est supérieure à la crue centennale modélisée.
- Sur les secteurs où la crue de septembre 2002 est inférieure à la crue centennale, l'aléa cartographié est ainsi supérieur au souvenir que chacun peut avoir de cette crue.

La crue du 8 et 9 septembre 2002 est en effet la crue historique la plus forte connue sur une partie du territoire étudié, notamment sur le cours aval de la Cèze.



Figure 3 : Fons-sur-Lussan en septembre 2014



Figure 4 : Fons-sur-Lussan le 9 septembre 2002

2. PRESENTATION DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE ET DES BASSINS VERSANTS

2.1 RESEAU HYDROGRAPHIQUE SUR LE SECTEUR D'ETUDE

Le secteur d'étude compte :

- 4 cours d'eau principaux :
 - l'Aiguillon,
 - la Tave,
 - la Cèze sur sa partie aval
 - le Rhône
- 5 cours d'eau secondaires
 - La Veyre,
 - la Mayre,
 - le ruisseau Vals,
 - le ruisseau Décèze,
 - le Nizon

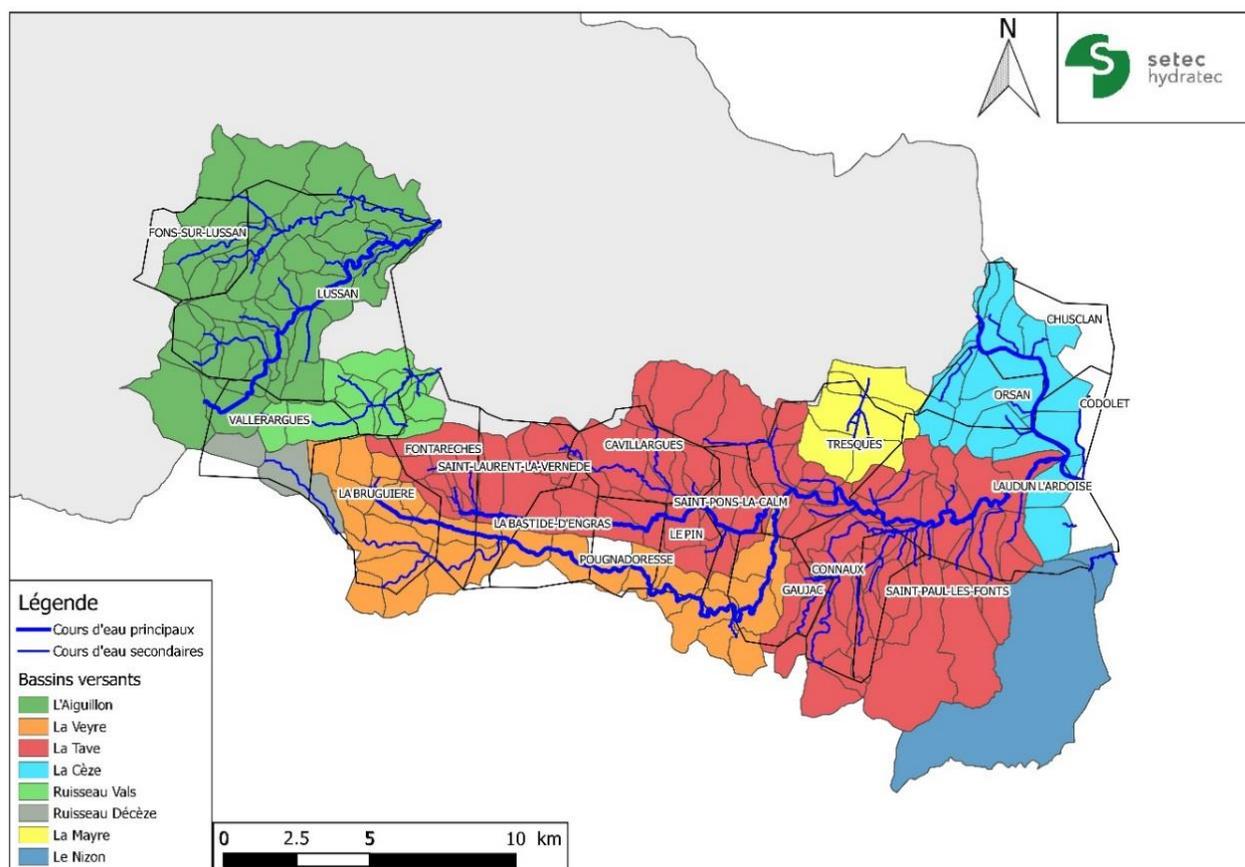


Figure 5 : présentation générale du réseau hydrographique sur le secteur d'étude

L'AIGUILLON

L'Aiguillon prend sa source sur la commune de Vallerargues, puis traverse Lussan juste avant de se frayer un chemin dans les Concluses, gorges étroites qu'il franchit sur quelques kilomètres. Il finit son parcours 12 kilomètres en aval dans une zone de plaine et de cultures (mise à part la traversée du bois de Mongran) pour se jeter sur la rive droite de la Cèze, au niveau du Moulin de Bès et à 3 km en amont de la Roque-sur-Cèze.

Au droit de sa confluence avec le Merderis, son bassin versant se caractérise par une longueur d'environ 17 km, une pente globale de 2 % et une superficie de 73 km².

LA TAVE ET SES AFFLUENTS

Le bassin versant dispose d'une orientation Ouest-Est et se caractérise par une forme oblongue, d'une longueur de 32 kilomètres, pour une surface totale de plus de 170 km².

Le point culminant du bassin (313 mNGF) se situe dans le massif des Garrigues d'en haut, sur la commune de La Bruguière.

La Tave prend sa source sur la commune de Fontarèches. Avec un tracé d'Ouest en Est, elle traverse les communes de Saint Laurent la Vernède, La Bastide d'Engras, Pugnadoresse. Elle continue, après avoir reçu les eaux du Ruisseau de Brives, son parcours entre les communes de Saint Pons La Calm et Le Pin. Elle reçoit ensuite les eaux du Ruisseau de Veyre au niveau de la commune de Tresques. Après, cette dernière commune, le relief est relativement plat, la Tave va alors évoluer en zone plus ou moins sinueuse recevant plusieurs petits cours d'eau se jetant perpendiculairement à la Tave (Ruisseau du Tabion, Ruisseau de Remoneyret, Ruisseau de Merdançon...) avant de rejoindre la Cèze, en rive droite, dans sa partie aval au niveau de L'Ardoise.

Les caractéristiques physiques des principaux affluents figurent dans le tableau ci-après.

Nom affluent	Longueur Thalweg (m)	Surface BV (km ²)	Pente moyenne Thalweg (%)
Veyre	25310	45.17	0.9
Brives	9750	13.37	2
Auzigue	5130	6.05	2.9
Pépin	6540	10.89	2.8
Ragouse	6480	12.04	1.2
Martinas	2310	1.38	5.9
Remoneyret	7540	10.05	2.8
Merdançon	7010	8.1	3.1

Tableau 1 : caractéristiques des principaux affluents de la Tave

LA CEZE Aval

La Tave rejoint la Cèze dans la partie aval au niveau de Codolet et de Laudun l'Ardoise. Cette dernière rejoint le Rhône environ 1 km plus loin, en aval du barrage de Caderousse.

2.2 CONTEXTE CLIMATIQUE GENERAL

Ce secteur 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 Rhône-Cèze-Tave (source Météo France, AURELHY). Un faible gradient pluviométrique est observé entre la tête du bassin versant de l'Aiguillon (1 000 mm), et la vallée du Rhône (de l'ordre de 800 mm). La tête du bassin versant de la Cèze observe une pluviométrie annuelle moyenne d'environ 1 900 mm, soit un gradient pluviométrique important entre l'amont et l'aval du bassin versant.

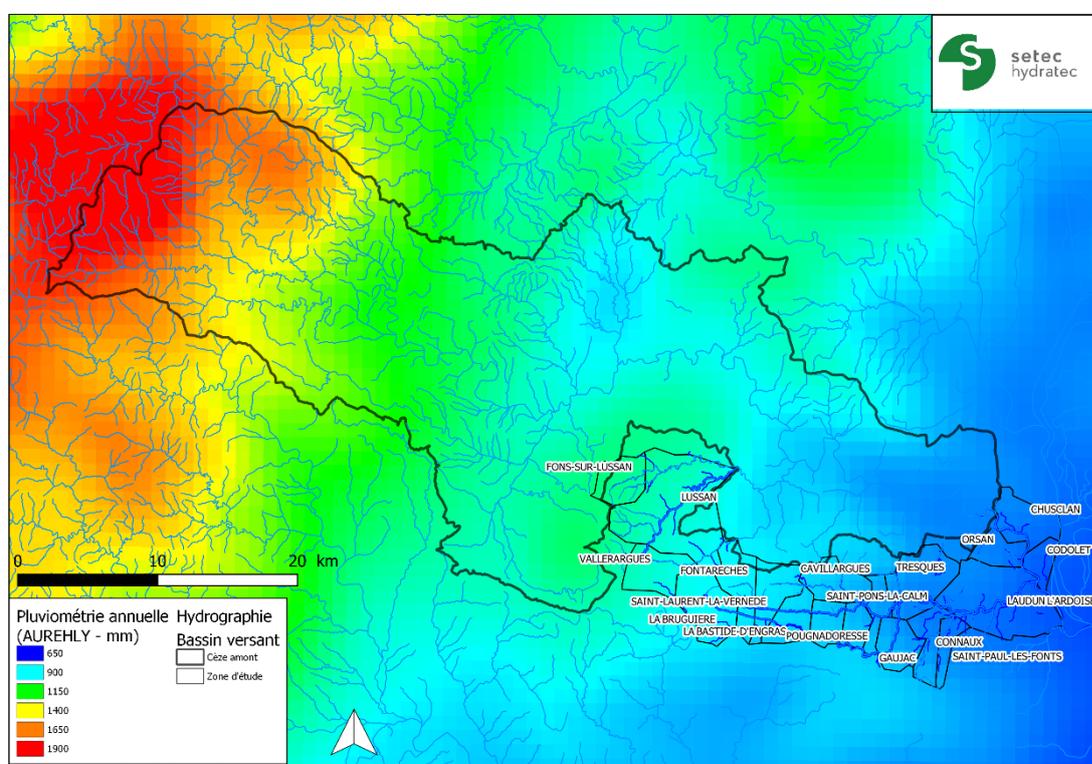


Figure 6 : pluviométrie annuelle d'après les données AURELHY (1971 - 2000)

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^{ème} du BRGM. La carte de la Figure 7 synthétise les principales structures géologiques de la zone d'étude.

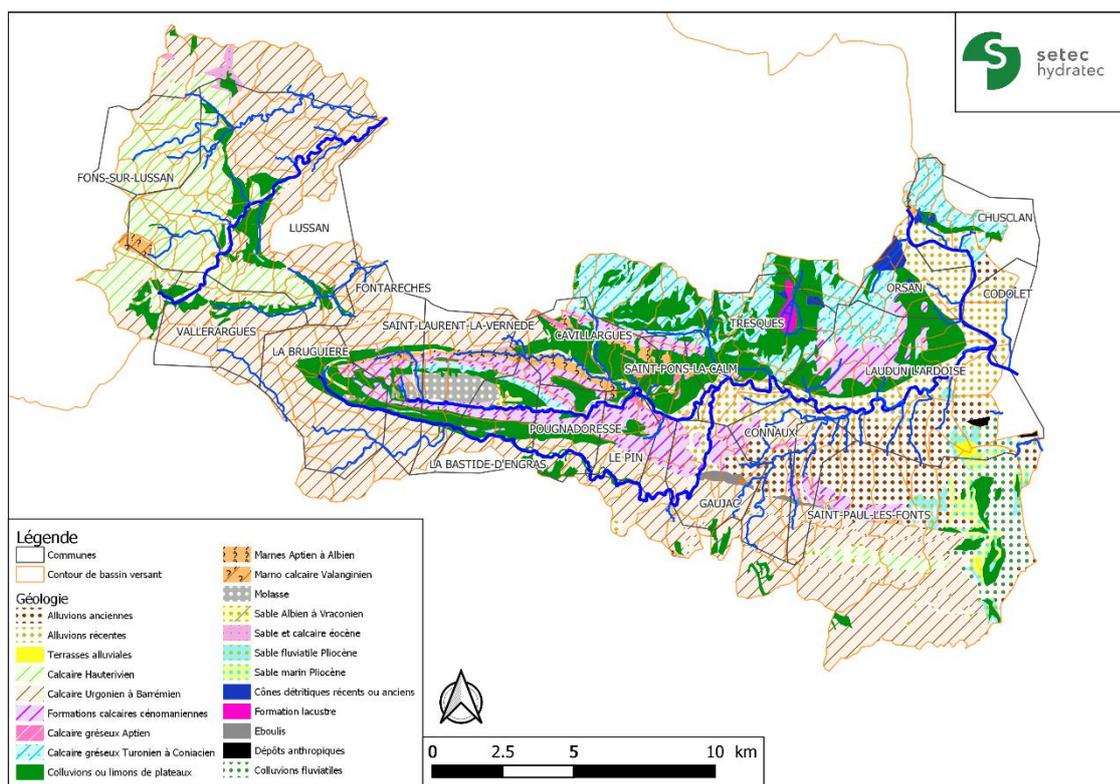


Figure 7 : synthèse géologique du secteur d'étude

2.3.2 Description des terrains rencontrés

La géologie du bassin versant s'inscrit majoritairement dans les couches sédimentaires calcaires du crétacé inférieur. Ces formations géologiques peuvent se caractériser par endroits par des faciès karstiques (calcaires urgoniens du bassin versant de la Veyre). Sur les versants de rive droite, les terrains peuvent être constitués de marnes avec alternance de sables et grès. Les alluvions composent le fond de vallée jusqu'à la plaine de la Cèze à l'Est.

L'occupation des sols dominante est :

- Les cultures, principalement les vignes, et les arbres fruitiers, sur les premières terrasses alluviales et les pieds de versant.
- Les bois de feuillus (chênes, châtaigniers) et de conifères (pins) sur les versants et certaines parties sommitales du bassin versant.
- Les broussailles (garrigues) sur la partie sommitale du bassin versant.

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 les 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.

Type de sol	Formations géologiques associées
A – perméable	– Calcaire Urgonien à Barrémien
B – plutôt perméable	– Alluvions anciennes – Sables
C – plutôt imperméable	– Calcaire Hauterivien – Formations calcaires cénomaniennes – Molasse – Colluvions ou limons de plateau, alluvions récentes
D - imperméable	– Formation lacustre

Tableau 2 : correspondance entre les catégories de perméabilité des sols et les formations géologiques

Cette hiérarchisation est présentée sur la carte ci-après.

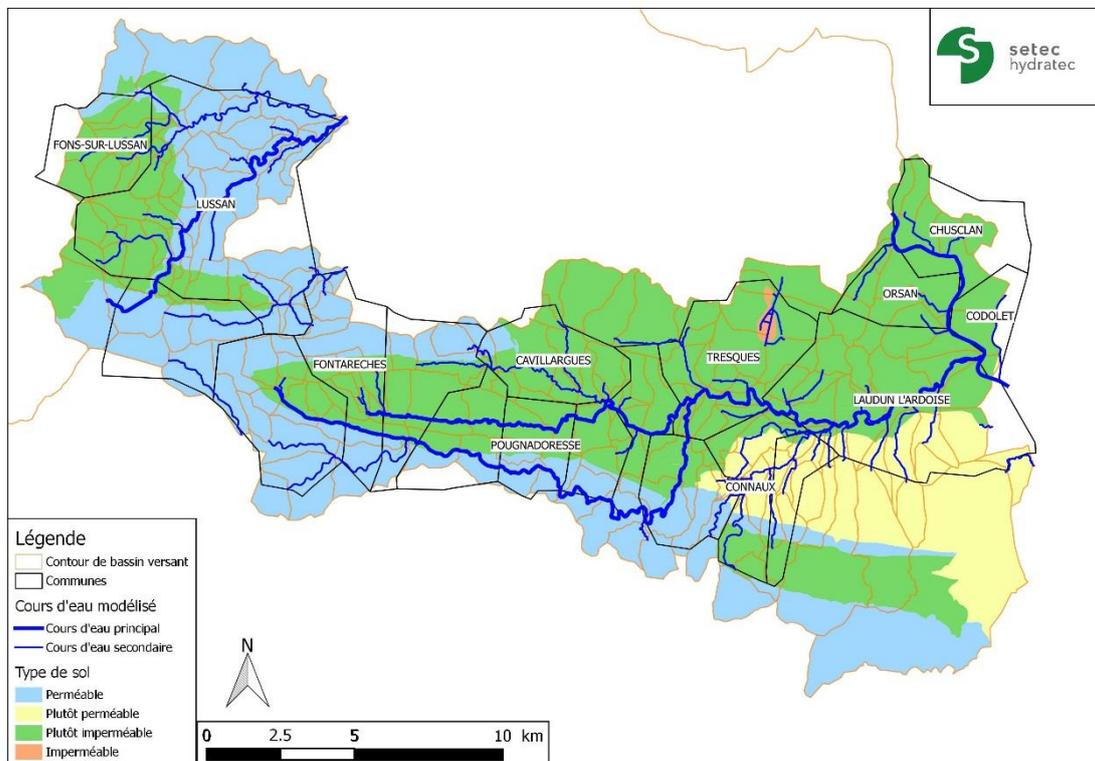


Figure 8 : carte de synthèse de la perméabilité des sols

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.

Ces éléments permettront également d'orienter le paramétrage des modèles pluie – débit, notamment la capacité de production de ruissellement de chaque sous bassin versant.

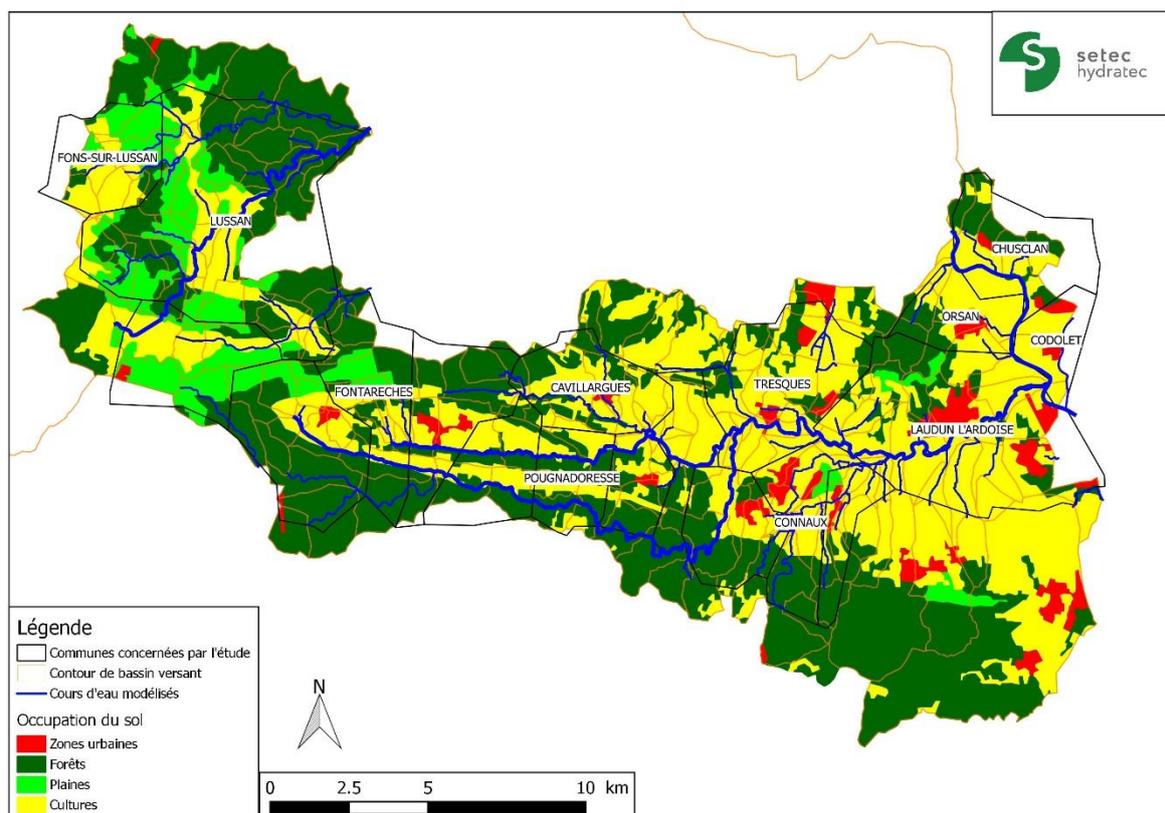


Figure 9 : carte de synthèse de l'occupation du sol

3. ANALYSE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE

3.1 OBJET DE L'APPROCHE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE

3.1.1 Données existantes

Une étude de définition des unités hydrogéomorphologiques a été réalisée en 2003 par H2G.EAU 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^{ème} sur l'ensemble du bassin versant de la Cèze et à l'échelle du 1/10 000^{ème} 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 1/25 000^{ème} 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 2014.

Sur les secteurs couverts par le levé LIDAR, la présente mission a pour objet :

- de valider l'approche de H2G.EAU à une échelle plus fine du 1/5000^{ème} sur les secteurs déjà traités (à l'échelle du 1/25000^{ème} ou du 1/10000^{ème}),
- de l'étendre à cette même échelle sur les affluents non traités par l'étude précédente.

L'analyse hydrogéomorphologique est ainsi réalisée sur la totalité du secteur d'étude ; elle complètera entre autres 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 H2G.EAU. 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'une **carte par commune à l'échelle du 1/5000^{ème} sur l'ensemble du territoire étudié.**

3.2 ANALYSE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE PAR SECTEURS

3.2.1 La Cèze

Dans ce secteur situé à l'aval du bassin versant, les zones inondables de la Cèze sont étendues sur de vastes formations alluviales récentes et anciennes telles que les terrasses würmiennes. Des villages tels que Codolet sont entièrement construits en zone inondable. Des aménagements hydrauliques ont été construits pour protéger Codolet des crues les plus courantes de la Cèze et du Rhône. Les aménagements routiers implantés dans le lit majeur et moyen de la Cèze intègrent l'importance des phénomènes d'inondation (remblais surélevés, ouvrages de décharge, ...).

3.2.2 La Tave

Dans le secteur aval de la Tave, le contact des formations alluviales et colluviales ne permet pas toujours de préciser une limite externe du lit majeur. De plus cette zone de viticulture est sujette aux inondations liées au ruissellement collinaire. Dans ce secteur situé au pied du village de Laudun, l'habitat n'est pas très développé.

La commune de Tresques est en partie inondée par les débordements de la Tave au sud et par des phénomènes de ruissellement pluvial au nord. Au droit du village de Tresques, des habitations sont implantées au sein d'un lit majeur qui est le siège de hauteurs d'eau et de vitesses d'écoulement importantes. De manière générale, les berges sont végétalisées par des formations arborées qui confèrent une bonne tenue des berges.

En dehors des noyaux villageois, le lit majeur de la Tave est occupé par des cultures arboricoles et viticoles.

Les zones inondables de la Tave sur la commune de Cavillargues ne présentent pas d'enjeux particuliers à ce jour. Cependant le village est traversé par un ruisseau appelé Combe d'Auzigue. Les zones soumises aux inondations de ce ruisseau sont occupées par des constructions d'habitat ancien disposant d'étages et par des constructions récentes pavillonnaires installées sur le lit mineur du ruisseau actuellement couvert. Cet ensemble est particulièrement exposé aux crues torrentielles du ruisseau.

3.2.3 La Veyre

L'espace alluvial de la Veyre est délimité par des talus bien marqués. Le lit majeur est inscrit dans des formations colluviales en rive droite et alluviales en rive gauche. Il est probable que la confluence de la Veyre et de la Tave ait évolué progressivement vers l'aval pour atteindre sa position actuelle.

Le cours d'eau est encaissé dans les formations calcaires du Crétacé. L'espace du lit majeur est occupé par des activités agricoles.

Le contexte hydrogéomorphologique du secteur amont de la Veyre est conforme au précédent. Les zones inondables du lit majeur restent agricoles. Les enjeux sont à ce jour faibles.

3.2.4 L'Aiguillon

A l'amont des gorges, le champ d'expansion des crues augmente à la faveur de formations colluviales assez importantes. Ce secteur ne présente pas d'enjeux particuliers à ce jour.

4. ANALYSE HYDROLOGIQUE

4.1 HISTORIQUE DES CRUES MARQUANTES DU TERRITOIRE

L'ensemble des communes a été rencontré afin d'identifier les crues historiques et les éléments d'observation disponibles le cas échéant. Les crues de 2002 et 2014 ont systématiquement été citées, 2002 étant la plus forte connue (à l'exception de 2014 sur l'Aiguillon et de 2003 sur la plaine du Rhône). D'autres crues ont été citées par certaines communes (à priori moins fortes que 2002 et 2014), mais très peu d'observations exploitables ont été recueillies :

- La Bruguière : 6-7 octobre 1997 et 21-22 septembre 1992,
- Lussan : 1958, 1983, 1988, 1993, 1997,
- Tresques : 1983 et 1988,
- Vallerargues : 1958.

4.2 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 observations disponibles et de formulations régionales, 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 et l'application de **méthodes régionales** permettent d'établir une première estimation des débits de pointe pour différentes périodes de retour au droit des stations de mesure lorsqu'elles existent ou au point de fermeture du bassin versant. Ces estimations présentent cependant des incertitudes liées :

- A la très faible quantité de mesures disponibles nécessitant de travailler par analogie avec des bassins jaugés situés à proximité des bassins versants étudiés,
- A la non prise en compte des spécificités géographiques des sous bassins considérés et des structures de pluies à l'origine de la genèse des crues des cours d'eau pour ce qui est des formulations régionales.

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

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

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

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

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

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

En ce qui concerne les apports amont de la Cèze, les données sont reprises de l'étude hydrologique menée dans le cadre du PPRI de la Cèze à Bagnols-sur-Cèze.

4.3 ANALYSE DE LA PLUVIOMETRIE

4.3.1 Données disponibles

a) Stations sol

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 ont été enregistrées au pas de temps horaire jusqu'en 2001, puis au pas de temps 5 minutes.

Code hydro	Nom	Ouverture	Fermeture	Type	Altitude	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
V5454010	Tharoux		-	4/5	-	SPC Grand Delta
	Pont d'Auzon		-	4/5	-	SPC Grand Delta
V5474010	La Roque sur Cèze		-	4/5	-	SPC Grand Delta
V5474015	Bagnols sur Cèze	04/04/1972	-	4/5	-	SPC Grand Delta
V5354010	Orange		-	4/5	-	SPC Grand Delta

Tableau 3 : Stations de mesures pluviométriques gérées par le SPC Grand Delta

Stations gérées par Météo France

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

Seuls les postes de Cavillargues et Lussan sont situés sur le territoire d'étude, respectivement sur les bassins versants de la Tave et de l'Aiguillon.

INSEE	Nom	Ouverture	Fermeture	Type	Altitude	Producteur
30076001	CAVILLARGUES	01/07/1960		4	131	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
30334001	UZES	01/05/1885	31/12/2001	3	138	METEO-FRANCE
30334003	UZES	01/01/2002		2	72	METEO-FRANCE

Tableau 4 : Stations de mesures pluviométriques gérées par Météo France

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

- Stations au pas de temps horaire ou inférieur :
 - 0 : stations synoptiques professionnelles avec observation sur place,
 - 1 : stations synoptiques non professionnelles ou observation à distance,
 - 2 : stations automatiques temps réel,
 - 3 : stations automatiques temps différé,
- Stations au pas de temps journalier :
 - 4 : stations manuelles,
 - 5 : autres stations.

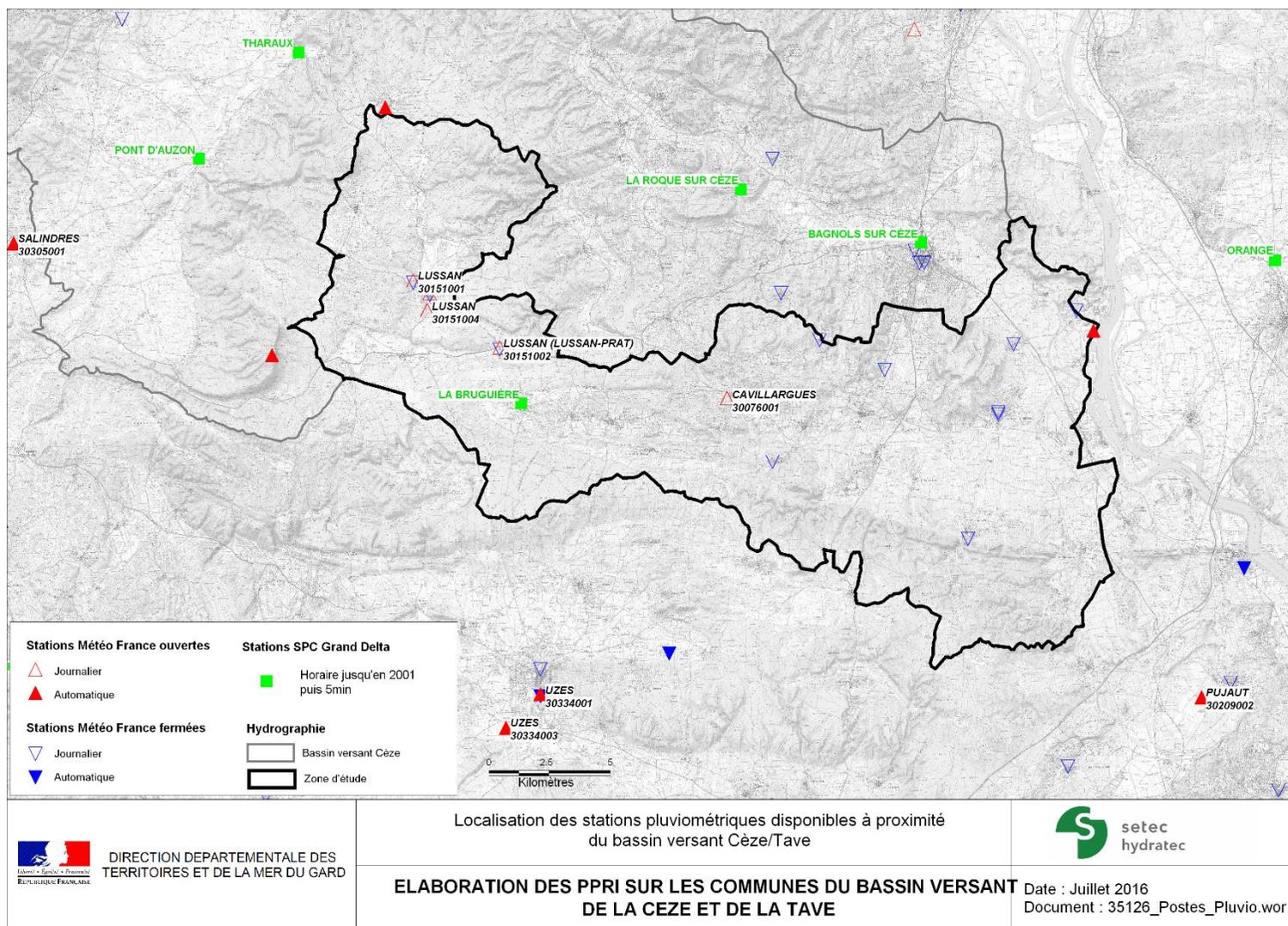


Figure 10 : localisation des stations pluviométriques disponibles à proximité du secteur d'étude

b) Images radar

Les bassins versants de la Tave et de la Cèze aval sont couverts 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 appuyons 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. Suivant la date de l'évènement, le secteur étudié est donc couvert par une ou plusieurs zones de recouvrement. Par exemple pour les 3 derniers plus forts évènements :

- évènement de septembre 2002 : zone n°5
- évènements de 2011 et 2014 : zone n°4

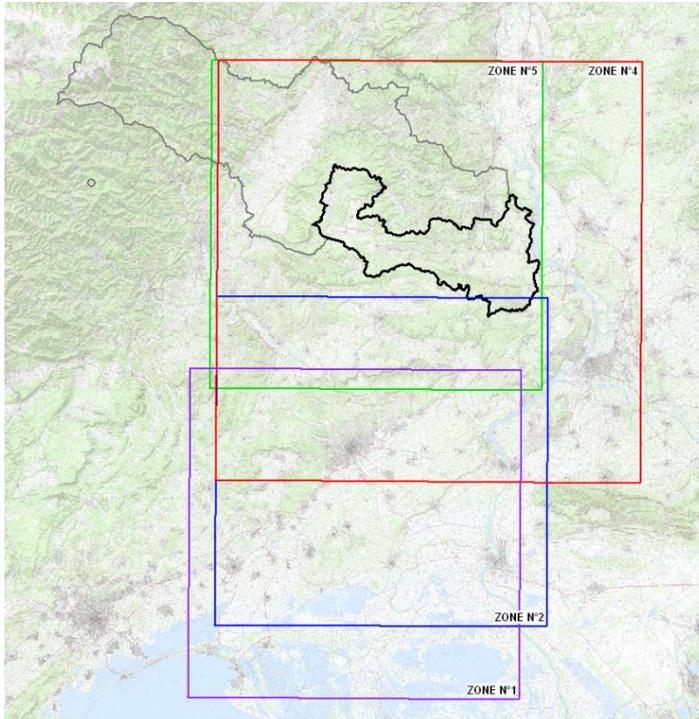


Figure 11 : les différentes zones de couverture des données radar du SPCGD

c) 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).

4.3.2 Analyse statistique des données pluviométriques

a) Analyse de la pluviométrie au pas 24 heures

Introduction

Les analyses statistiques sont réalisées sur les précipitations journalières maximales annuelles enregistrées aux postes Météo France listés au paragraphe 4.3.1.

Ces éléments permettent d'analyser la pluie pour :

- d'une part caractériser le gradex des pluies au droit des stations hydrométriques pour estimer un gradex de bassin (cf. Annexe 2),
- 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).

Les chroniques de pluie disponibles étant très variables d'un poste à un autre, il a été retenu de réaliser les analyses sur des périodes identiques, à savoir :

- Période 1 : chronique de 1961 à 2012 avec les postes de Lussan, Cavillargues, Uzès, Remoulins et Nîmes, période commune d'exploitation de ces postes,
- Période 2 : chronique de 1989 à 2012 avec les mêmes postes auxquels est rajouté le poste de Pujaut, qui n'est ouvert que sur cette période. Cette seconde analyse permet d'analyser plus précisément le gradient relatif de pluie en allant vers l'aval du bassin, sans induire de biais lié à l'historique de la chronique.

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).

Enfin, les valeurs **SHYREG** sont systématiquement inférieures aux valeurs calculées avec les ajustements aux lois de Gumbel et GEV (chronique longue de 1961 à 2012).

Quelles que soient les lois d'ajustement et les chroniques utilisées, les valeurs calculées sur les stations du bassin versant de la Tave (*Cavillargues, Pujaut*) sont comparables aux valeurs en aval du bassin

versant du Gardon (*Remoulins*) ; en revanche, elles sont systématiquement supérieures sur le bassin versant de l'Aiguillon (station de Lussan, dont les valeurs sont proches de celles d'Uzes).

b) Analyse de la pluviométrie aux pas de temps infra journaliers

La définition des cumuls pluviométriques synthétiques pris en compte pour la caractérisation de l'aléa inondation nécessite la détermination de pluies de durées similaires aux temps de concentration des bassins versant étudiés, donc inférieurs à la journée.

Les enregistrements disponibles sur le secteur d'étude ne permettant pas de définir des cumuls pluviométriques de durée infra-journalière, le poste Météo France de Nîmes-Courbessac sera donc utilisé.

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.

Ces valeurs sont corrigées pour tenir compte de la variabilité spatiale de la pluie à l'échelle des bassins versants étudiés (cf. § suivant), suivant des ratios définis sur la base des pluies de durées 24h.

4.3.3 Variabilité spatiale des cumuls pluviométriques

Le tableau suivant présente les cumuls pluviométriques de période de retour décennale et centennale calculés par les ajustements à la loi de Gumbel sur les pluies de durée 24h (période 1961 -2012).

Quelle que soit la durée de retour considérée, les cumuls pluviométriques de Cavillargues sont très comparables aux cumuls pluviométriques de Nîmes, alors que Lussan présente des cumuls pluviométriques légèrement plus forts.

Nom	LambX	LambY	Altitude	P (mm) sur 24 h	
				T = 10 ans	T = 100 ans
NIMES (NIMES-COURBESSAC)	766500	1875000	59	173	279
CAVILLARGUES (écart / Nîmes)	774800	1903700	131	174	278
				0.6%	-0.5%
LUSSAN (écart / Nîmes)	762400	1907200	258	191	309
				10%	11%

Tableau 5 : Variabilité spatiale des cumuls pluviométriques de durée 24h

Ces mêmes comparaisons sont réalisées sur des **pluies de durée inférieures à 24h** à partir de la base des données **SHYREG** de période de retour 100 ans. Les cartes suivantes présentent les cumuls pluviométriques estimés pour des pluies de durée 6 et 12h. A l'échelle du secteur d'étude, elles confirment la variabilité spatiale des cumuls pluviométriques centennaux sur un axe ouest-est.

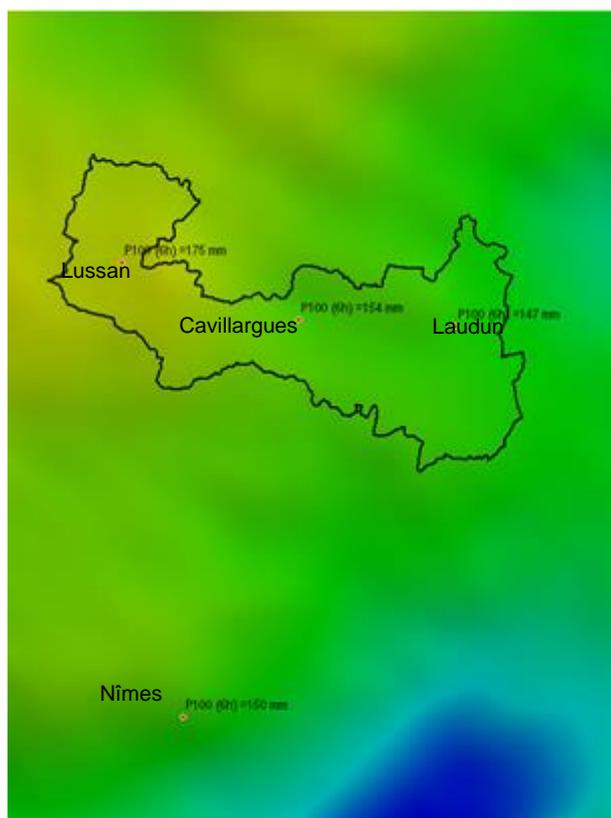


Figure 12 : cumuls pluviométriques centennaux de durée 6h (source SHYREG)

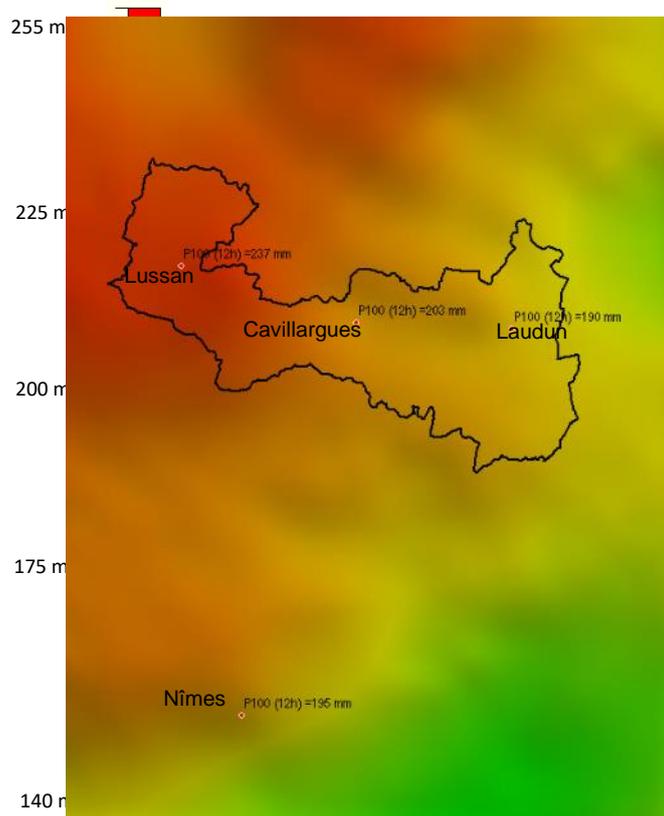


Figure 13 : cumuls pluviométriques centennaux de durée 12h (source SHYREG)

En complément le tableau suivant donne les valeurs des cumuls pluviométriques centennaux SHYREG extraits au droit des postes Météo France pour différentes durées.

Nom	LambX	LambY	Altitude	P100 (mm) (source SHYREG)		
				3h	6h	12h
NIMES (NIMES-COURBESSAC)	766500	1875000	59	115	150	196
CAVILLARGUES (écart / Nîmes)	774800	1903700	131	117	154	204
				2%	3%	4%
LUSSAN (écart / Nîmes)	762400	1907200	258.25	131	175	237
				14%	17%	21%
PUJAUT (écart / Nîmes)	794500	1891600	44	108	139	180
				-6%	-7%	-8%

Tableau 6 : variabilité spatiale des cumuls pluviométriques centennaux issus des pluies SHYREG

Quelle que soit la durée de pluie, les bassins versants situés à proximité de Cavillargues sont marqués par une pluviométrie comparable à celle de Nîmes ; en revanche les cumuls pluviométriques touchant les bassins versants amont à l'ouest du secteur d'étude sont environ 20% plus forts et à l'inverse ceux touchant les bassins versants aval sont environ 10% plus faibles.

En conclusion, les données caractérisant la pluviométrie au poste de Nîmes sont représentatives de la pluviométrie moyenne touchant le bassin versant de la Tave. Le bassin versant de l'Aiguillon est quant à lui soumis à des pluies environ 20% plus fortes qu'à Nîmes.

4.4 DEFINITION DES DEBITS CARACTERISTIQUES DE CRUE : METHODES STATISTIQUES ET REGIONALES

4.4.1 Stations hydrométriques

Le SPC Grand Delta assure la gestion d'une seule station de mesure sur le périmètre d'étude. Il s'agit de la station sur la Cèze à Bagnols-sur-Cèze.

La DREAL gère une autre station de la Cèze à Chusclan ouverte depuis 1993 et pour laquelle des données sont disponibles que jusqu'en 2002.

D'autre part, aucune mesure n'est disponible sur les affluents étudiés et notamment la Tave.

4.4.2 Débits de crue de la Cèze-amont (Bagnols sur Cèze)

La DREAL dispose d'une station de mesure à La **Roque-sur-Cèze** qui enregistre les hauteurs et les débits de la Cèze depuis 1961 (54 années d'observation) pour un bassin versant contrôlé de **1 060 km²**.

D'autre part, des débits et des hydrogrammes de crue ont été reconstitués au pont de Chusclan (**1 180 km²**) dans l'étude globale pour une stratégie de réduction des risques dus aux crues du Rhône (EPTB Territoire Rhône – novembre 2002).

PERIODE DE RETOUR (ANS)	DEBITS DE POINTE (m ³ /s)	
	La Roque – sur- Cèze (1060 km ²) (<i>banque hydro</i>)	Chusclan (1180 km ²) (<i>Etude globale Rhône</i>)
2		540
5	1140 (1790 – 2720)	-
10	1440 (1240 – 1810)	1105
20	-	1550
50	2110 (1790 – 2720)	2130
100	-	2565
500	-	3560
1000	-	3995

Tableau 7 : débits de pointe de la Cèze à la station de la Roque sur Cèze (source : banque hydro)

L'étude menée dans le cadre du PPRI de Bagnols sur Cèze définit la **crue historique de 2002** comme la crue de référence pour la cartographie de l'aléa inondation.

Sa période de retour a été estimée à **300 ans** (Etude Safège de réalisation d'une digue destinée à améliorer la protection de Codolet contre les crues du Rhône et de la Cèze - 2008).

	DEBIT DE POINTE RETENU (m ³ /s)	MARGE D'INCERTITUDE
Crue de 2002 (estimée par Sogreah-2003)	3300	3150 - 3500
T = 30 ans	1760	
T = 50 ans	2100	

Tableau 8 : débit de référence de la Cèze – PPRI de Bagnols sur Cèze

L'hydrogramme de crue pris en compte est issu de la reconstitution de Sogreah réalisée dans le cadre de l'étude de Validation des relevés hydrométriques de la crue du 8 et 9 septembre 2002 pour trois estimations de débit basé sur des hypothèses de coefficient de Strickler plus ou moins fort (cf. Figure 14). Pour le PPRI de Bagnols-sur-Cèze l'estimation conduisant à retenir l'hypothèse d'un Strickler moyen a été retenue.

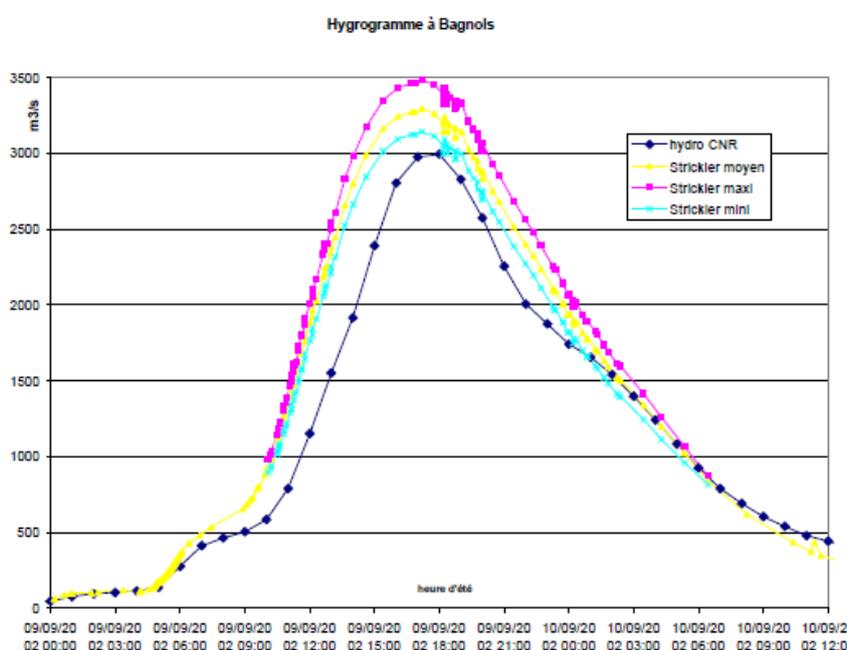


Figure 14 : hydrogramme reconstitué de la Cèze à Bagnols sur Cèze pour l'évènement de septembre 2002 (source étude Sogreah-2003)

4.4.3 Débits de crue de la Tave

Aucune station hydrométrique n'étant disponible sur le bassin de la Tave, il s'agit ici d'estimer ses débits caractéristiques au droit de sa confluence avec la Cèze :

- Estimation du débit décennal par méthodes régionales,
- Estimation du débit centennal par application de la méthode du Gradex.

Ces éléments sont détaillés dans les chapitres suivants.

La définition détaillée des débits des différents cours d'eau sera réalisée à l'aide du **modèle pluie – débit**, définissant les apports des sous bassins versants, et du **modèle hydraulique** qui en assurera la propagation. **L'hydrologie définie par les modèles est validée par comparaison avec les débits de pointe définis dans ce chapitre en aval du bassin de la Tave.**

La méthodologie détaillée mise en œuvre est présentée en **annexe 2**.

a) Débit de crue décennale

En l'absence de mesures, le débit de crue décennale est estimé par :

- différentes formulations régionales (SOCOSE, CRUPEDIX),
- la méthode SHYREG développée par l'IRSTEA ,
- par analogie avec les débits caractéristiques de la Cèze suivant la relation suivante :
- $Q_{Tave} = \frac{0.8 * Q_{Cèze} * S_{BVTave}}{S_{BVCèze}}$,
- Avec Q débit de pointe (m³/s) et S superficie des bassins versants (km²)

Les valeurs obtenues sont synthétisées dans le tableau ci-après.

METHODES	Débit (m ³ /s)
SOCOSE	152
CRUPEDIX	343
BV JAUGE (Cèze)	238 - 323
SHYREG	111
Retenu	343

Tableau 9 : synthèse des débits décennaux (Tave)

Les valeurs estimées par SHYREG et Socose sont nettement inférieures à celles estimées par analogie avec la Cèze ou par la méthode Crupedix.

b) Débit de crue centennale

Le débit centennial est évalué dans un premier temps par : la méthode du **gradex** et comparé ensuite aux estimations faites par la méthode FBG (méthode régionale) et par analogie avec le débit centennial de la Cèze (même formulation que pour le débit décennial).

Le tableau ci-dessous synthétise les débits de crue centennale estimés par ces trois méthodes.

METHODES	Débit (m ³ /s)
GRADEX	999
FBG	1430
BV JAUGE (Cèze)	552

Tableau 10 : synthèse des débits centennaux (Tave)

Comme pour le débit décennial, le débit centennial sera défini après exploitation du modèle pluie débit, qui intègre de façon plus détaillée des mécanismes de production de débit des sous bassins versants. Cette première approche par méthodes statistiques et régionales permet de garantir la cohérence de l'approche pluie débit.

4.5 MODELISATION PLUIE -DEBIT

4.5.1 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.

195 sous bassins versants sont définis, présentés sur la carte de la Figure 15.

Deux échelles de bassins versants sont définies :

- Les bassins versants amont des cours d'eau modélisés
- Les bassins versants 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 plus détaillés permettant de mettre en place le modèle pluie-débit :

- Topographie et pentes
- Géologie et hydrogéologie : carte BRGM (1/50 000ème)
- Occupation du sol : base de données Corine Land Cover (cf. Figure 9)

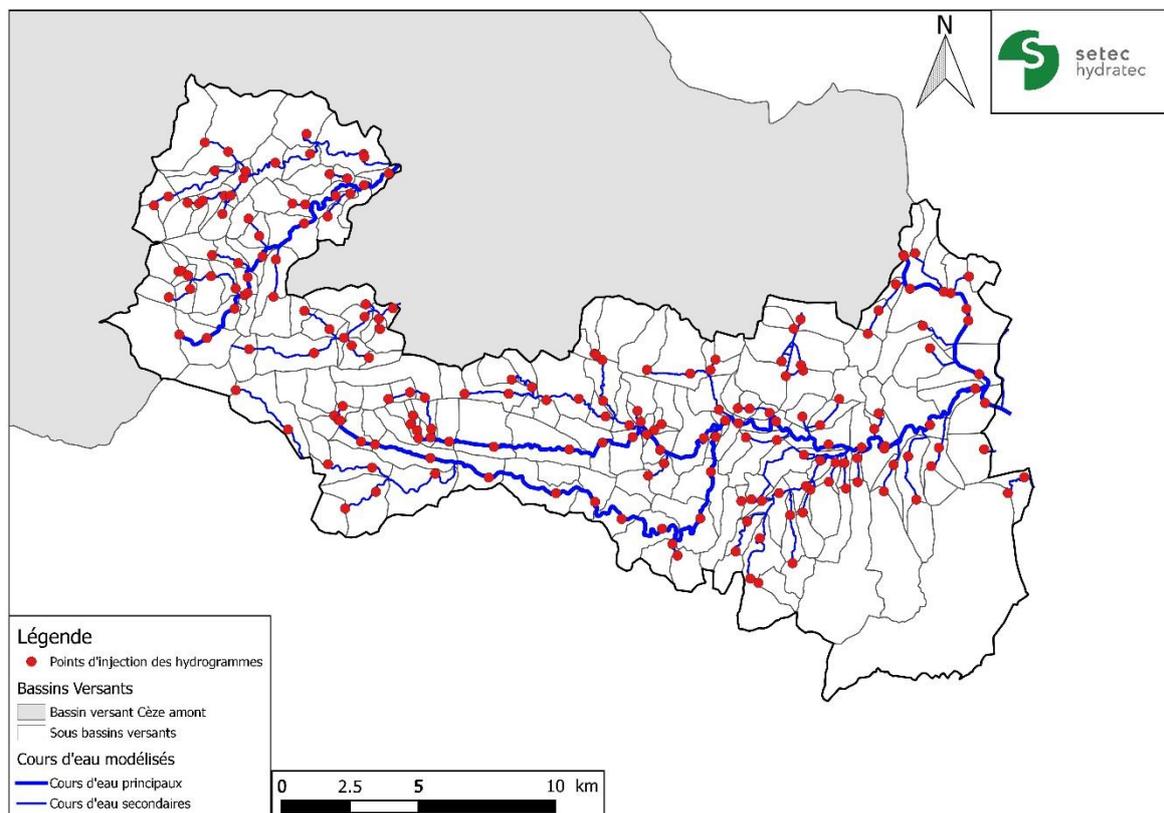


Figure 15 : découpage du territoire en sous bassins versants

4.5.2 Modélisation pluie brute – débit : présentation des formulations mises en œuvre

Une présentation détaillée des formulations mises en œuvre est disponible en **annexe 3**.

La modélisation pluie – débit comprend deux étapes successives, pour lesquelles des formulations adaptées au contexte des bassins versants étudiés ont été retenues :

- **Transformation pluie brute – pluie nette** : la loi de production de pluie nette employée est dérivée de la méthode SCS (Soil Conservation Service) ;
- **Transformation pluie nette – débit**, basée sur la méthode de l'hydrogramme unitaire.

4.5.3 Calage des modèles pluies – débit

Les apports définis par la modélisation pluie débit à l'échelle de chaque sous bassin versant sont injectés dans le modèle hydraulique qui en assure la propagation.

Le calage des modèles pluie – débit a donc été réalisé en parallèle de celui du modèle hydraulique.

a) 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.

Les abaques de l'USDA Soil Conservation Service proposent une estimation du Curve Number (CN), dont est dérivée l'interception potentielle J, qui s'appuie sur deux paramètres :

- 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 proposées pour chacune de ces conditions d'occupation du sol et de capacité d'infiltration sont données dans le tableau ci-après.

Occupation du sol	Catégories de 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 11: 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 premier paramétrage est ajusté dans la phase de calage par application d'un coefficient de correction homogène sur l'ensemble des sous bassins versants ; cette méthodologie permet d'intégrer dans cette étape de calage la variabilité de capacité de production de ruissellement liée aux caractéristiques physiques de chaque sous bassin versant.

La carte ci-après présente les valeurs J retenues à l'issue du calage pour chaque sous bassin versant du modèle pluie – débit.

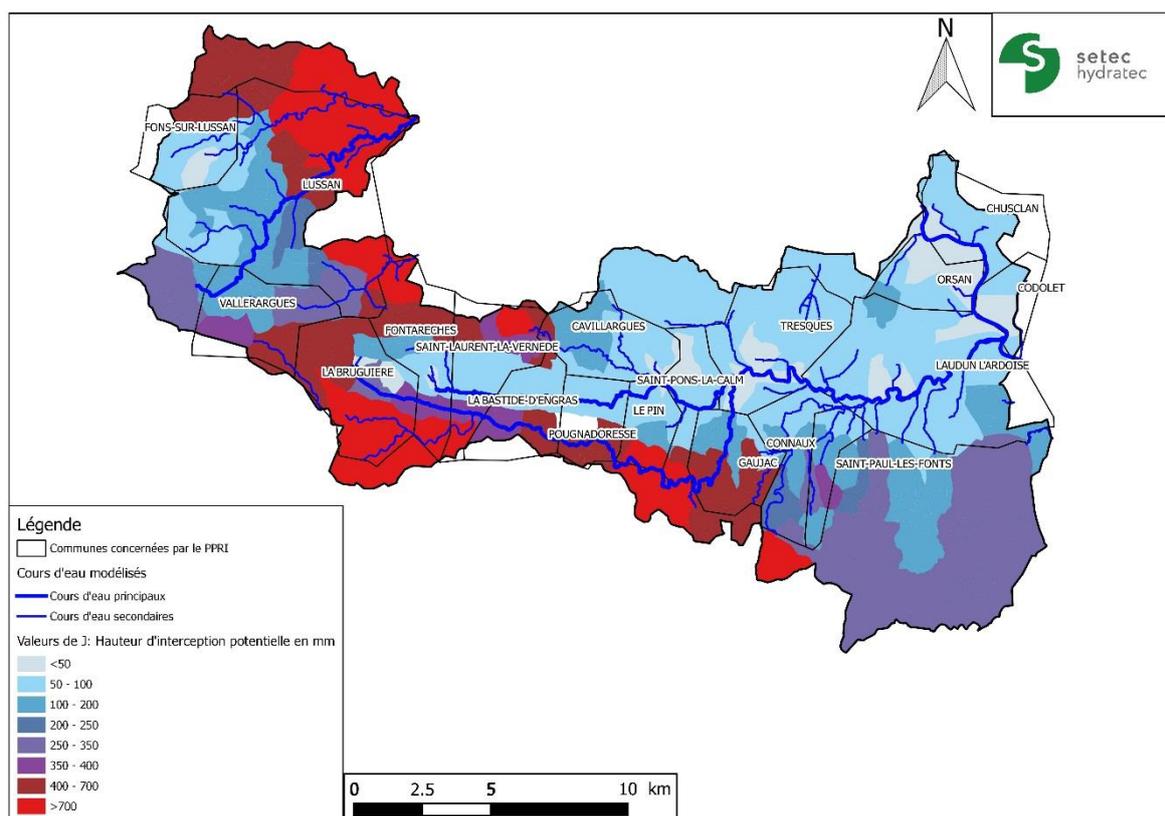


Figure 16 : carte de synthèse du paramètre J sur l'ensemble du territoire

b) Calage

Événements retenus et données disponibles

Le modèle est calé sur l'événement de **septembre 2002**.

Météo 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.

Calage

Le modèle est calé sur la crue de **septembre 2002**, en parallèle du modèle hydraulique. En l'absence de stations hydrométriques permettant de caler le modèle sur des hydrogrammes mesurés, celui-ci s'appuie principalement sur la cohérence obtenue entre les lignes d'eau calculées et les repères de crue disponible (cf §5.5.3). En effet, 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, ce qui n'est pas le cas ici.

La modélisation permet d'estimer le débit de pointe de la crue du 09/09/2002 au niveau de la RN580 à 659m³/s. L'événement correspond à une période de retour de l'ordre de 50 ans (cf. §4.7).

4.6 DEFINITION D'UNE HYDROLOGIE DE REFERENCE

4.6.1 Méthodologie générale

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

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

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

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

4.6.2 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.

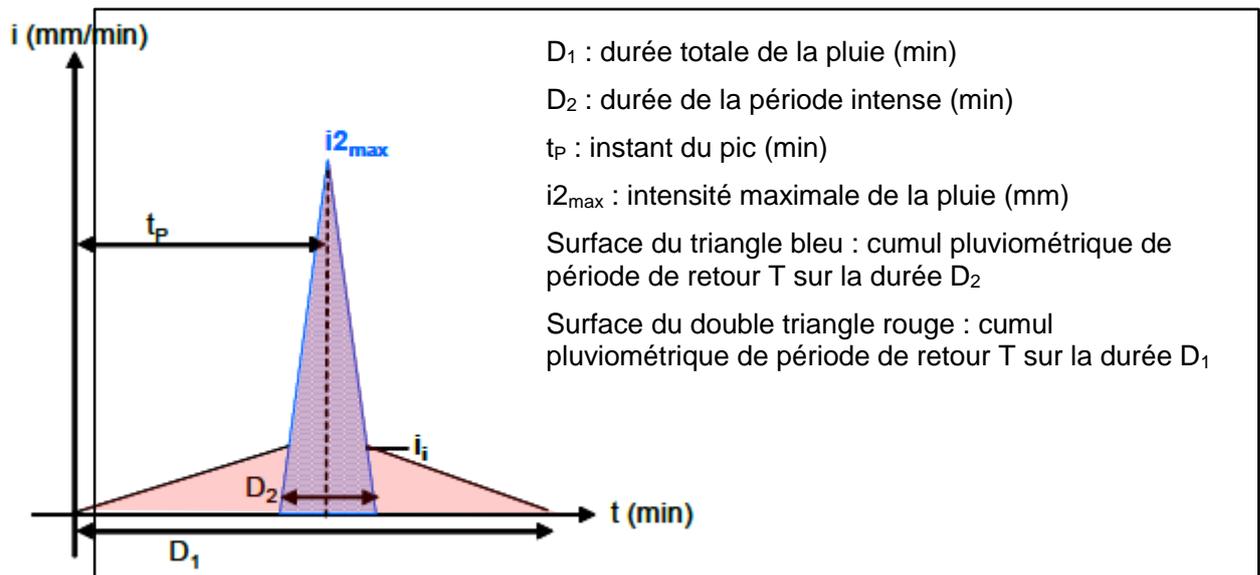


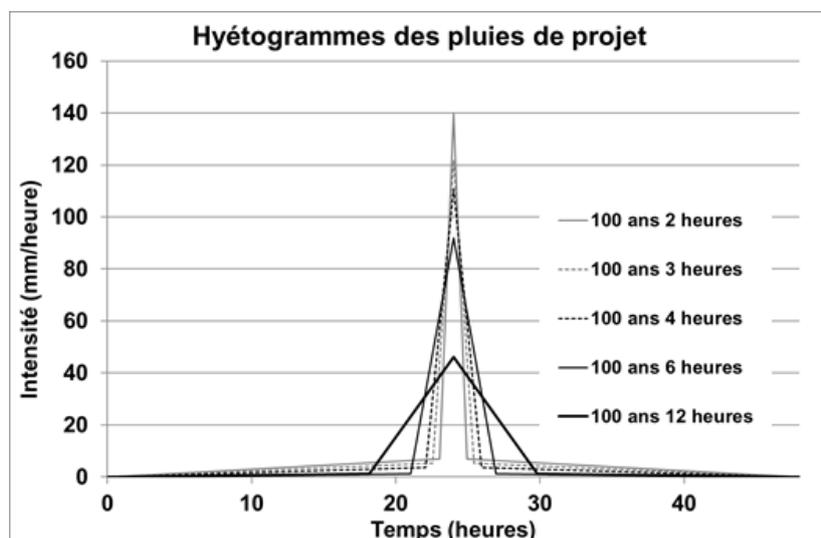
Figure 17 : schématisation d'une pluie double triangle

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 pluies de projet retenues s'appuient sur les coefficients de Montana fournis par Meteo France à la station de Nîmes, basés sur la méthode statistique dite du renouvellement¹.

Les hyétoigrammes définis sont présentés ci-après.



Durée période	5 ans		10 ans		50 ans		100 ans	
	Intense	Global	Intense	Global	Intense	Global	Intense	Global
2h	64 mm	127 mm	79 mm	156 mm	119 mm	234 mm	140 mm	274 mm
3h	-	-	-	-	-	-	183 mm	274 mm
4h	-	-	-	-	-	-	221 mm	274 mm
6h	89 mm	127 mm	117 mm	156 mm	213 mm	234 mm	276 mm	274 mm
12h	105 mm	127 mm	134 mm	156 mm	225 mm	234 mm	277 mm	274 mm

Figure 18 : hyétoigrammes des pluies de projet

1 Les valeurs retenues diffèrent de celles présentées au chapitre 4.3.3, qui ont pour objectif de faire une comparaison relative de la pluviométrie 24h entre les différents postes, suivant différentes méthodes : ajustement de Gumbel et Shyreg ; la méthode du renouvellement n'étant pas disponible sur tous les postes, elle n'a pas été utilisée pour cette analyse.

4.6.3 Validation de l'hydrologie de référence produite par le modèle pluie - débit

La figure ci-dessous présente les hydrogrammes et débits de pointe calculés par la modélisation pluie – débit à l'aval du bassin de la Tave pour les pluies de durées 6h, qui donnent en ce point systématiquement les valeurs maximales.

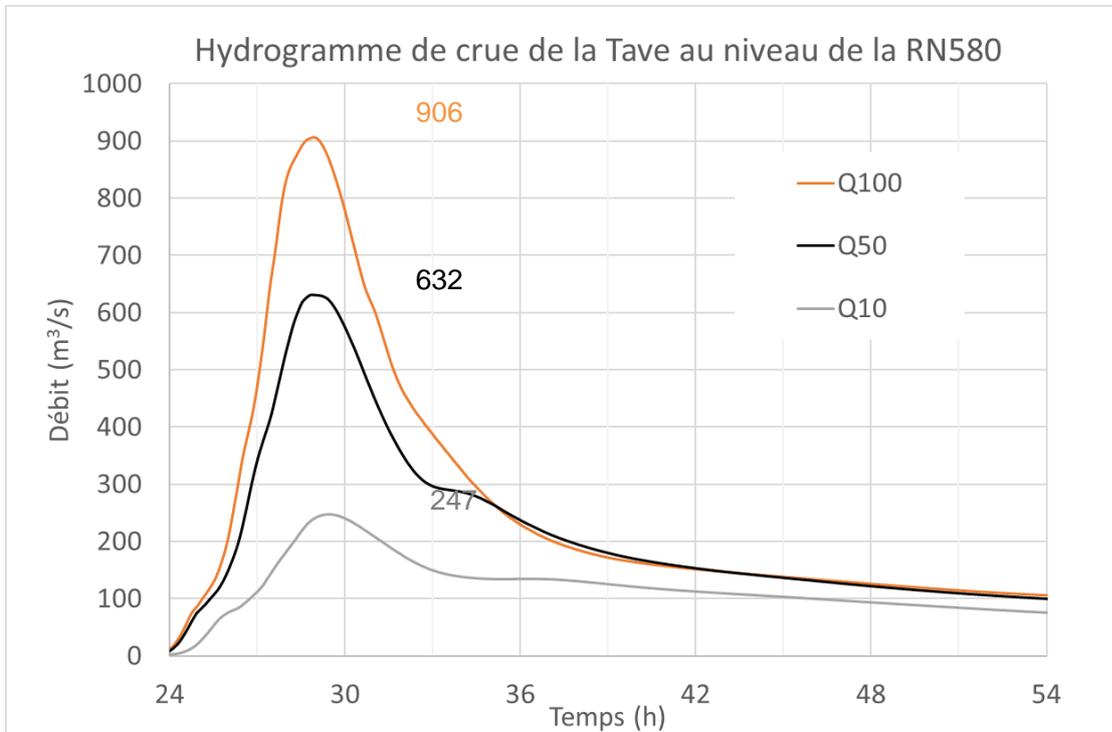


Figure 19 : Hydrogrammes Q10, Q50 et Q100 de la Tave en aval du bassin versant

Le débit de pointe de la crue centennale est estimé à 906 m³/s pour un débit moyen sur 24h de l'ordre de 350 m³/s. Ces valeurs sont cohérentes avec les différentes estimations du débit de pointe centennial réalisées à partir des méthodes classiques de l'hydrologie (cf. §4.4.3).

De même, le débit décennal retenu à 247 m³/s est cohérent avec les estimations faites par analogie avec la Cèze (pour mémoire comprises entre 238 m³/s et 323 m³/s, cf. §4.3.2).

Ces valeurs Q100=906m³/s et Q10= 247m³/s issues des calculs du modèle, constituent des valeurs intermédiaires ni minimalistes (qui auraient tendance à sous-estimer le risque), ni maximalistes (qui auraient tendance à porter trop de contraintes sur le territoire sur la base d'un principe de précaution) par rapport à la fourchette de valeurs établies au travers des diverses méthodes étudiées dans la présente étude. **Cette valeur de Q100 correspond à la valeur retenue pour estimer la crue de référence sur ce cours d'eau.**

4.7 ANALYSE DE LA CRUE DE SEPTEMBRE 2002 SUR LA TAVE

La crue de septembre 2002, la plus forte crue récente observée sur le territoire (hors plaine du Rhône) a été étudié en détail pour établir le calage des modèles. Nous présentons ici les principales caractéristiques de cet événement pour le mettre en perspective des crues de référence retenues pour l'élaboration des cartes d'aléa.

Comme indiqué précédemment, la pluviométrie de cet événement a été reconstituée à partir des images radar fournies par Météo France (données Comephore recalées au sol). Ces données sont en effet nettement plus précises que celles disponibles auprès du SPC Grand Delta (Calamar) pour lesquels des analyses détaillées menées sur le bassin versant voisin des Gardons a montré de très fortes incohérences par rapport aux mesures effectuées au sol liées à la méthode mise en œuvre pour le recalage des cumuls (cf. §4.3.1).

Les données issues des images radar sont intégrées sous forme de hyétoigrammes sur chaque sous bassin versant du modèle pluie – débit.

Le graphique ci-dessous présente les hyétoigrammes et cumuls extraits des images radar sur deux sous bassins versants affluents de la Tave.

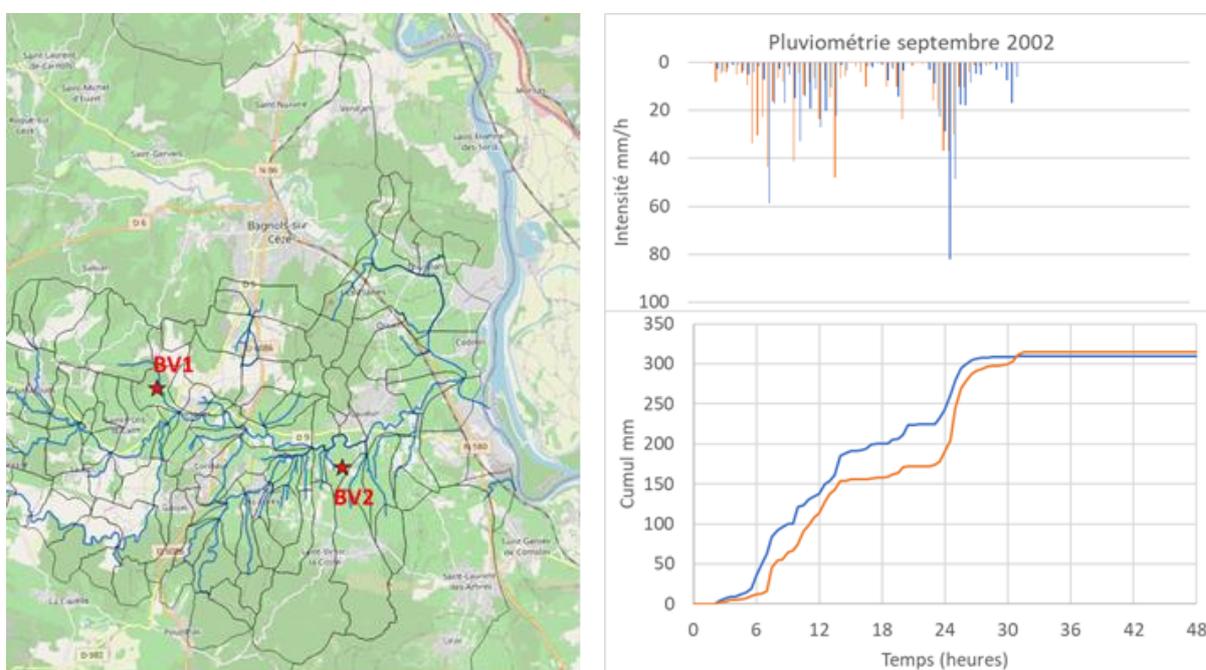


Figure 20 : hyétoigrammes et cumuls de pluviométrie reconstitués pour l'événement de septembre 2002 sur deux sous bassins versants de la Tave

Les cumuls sont quasi centennaux sur une durée de 48h, mais restent relativement modestes pour des durées plus courtes.

Durée	48h		6h		3h		2h		1h	
	Cumul (mm)	Période de retour								
Bassin versant										
BV1	309.0	~100 ans	116.4	5 - 10 ans	78.3	5 - 10 ans	65.3	~5 ans	36.8	< 1an
BV2	315.0	~100 ans	124.7	~10 ans	108.9	10 - 20 ans	91.2	10 - 20 ans	65.4	10 - 20 ans

Tableau 12 : estimation des périodes de retour des cumuls de pluviométrie sur différents pas de temps pour l'événement de septembre 2002

La figure ci-après présente les hydrogrammes calculés pour la crue de septembre 2002 et les crues de périodes de retour 10 ans, 50 ans et 100 ans.

La période de retour de la crue de septembre 2002 en aval du bassin versant de la Tave peut ainsi être estimée à 50 ans.

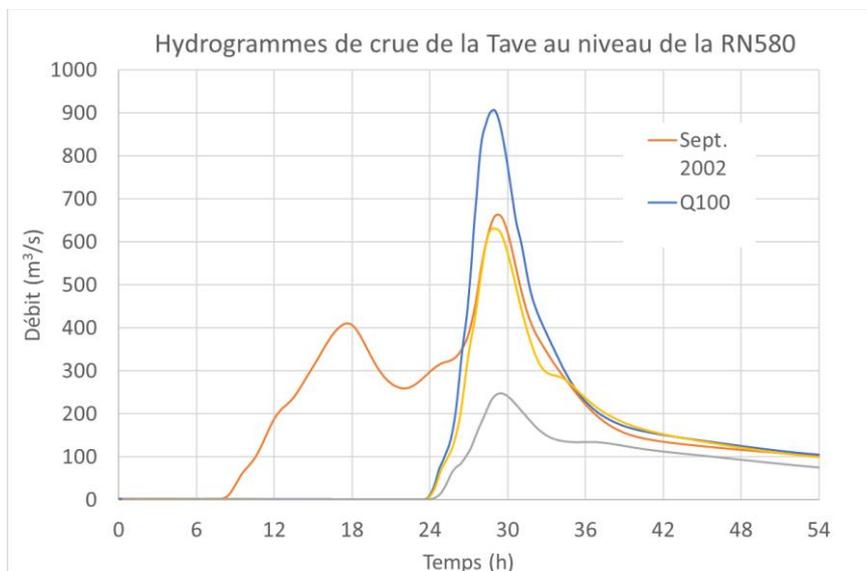


Figure 21 : hydrogrammes calculés pour la crue de septembre 2002 et pour les crues de projet de périodes de retour 10 ans, 50 ans et 100 ans

4.8 CONCOMITANCE DES CRUES DE LA CEZE, DE LA TAVE ET DE LEURS AFFLUENTS

La modélisation, mise en œuvre afin de déterminer les cartes d'aléas de la Cèze, la Tave et de leurs affluents, repose sur deux types de modèles :

- Le modèle pluie-débit, qui permet de calculer des hydrogrammes à l'exutoire de chaque sous bassin versant représentés à partir d'une pluie de référence. Cette pluie de référence peut être réelle et récupérée des données radar (crue de 2002), ou bien synthétique dans le cas de la crue de projet centennale ;
- Le modèle hydraulique, qui permet de propager, entre autres, les hydrogrammes calculés par le modèle pluie débit dans les cours d'eau représentés.

Pour la crue de 2002, la simulation représente la dynamique de crue des deux cours d'eau observée : hydrogramme de la Cèze mesuré à Bagnols-sur-Cèze et hydrogramme résultant de la modélisation pluie-débit pour la Tave.

Pour les crues de projet, dont la crue centennale, la pointe de crue de l'hydrogramme de la Cèze a été calée pour respecter le déphasage avec celle de la Tave calculé par le modèle pour la crue de 2002. Cette dernière simulation se basant sur des données pluviométriques observées, le déphasage introduit pour les crues de projet est réaliste.

Pour ce qui est des concomitances entre les crues de la Tave et de des affluents, et de façon plus générale entre l'ensemble des cours d'eau modélisés sur le bassin de la Tave, la modélisation pluie débit et la propagation des hydrogrammes générés à leur exutoire permet d'intégrer la dynamique propre de chaque sous bassin versant et des cours d'eau et de fait le déphasage des différentes pointes de crues.

4.9 CONCOMITANCES DES CRUES DU RHONE ET DE LA CEZE

4.9.1 Problématiques

Deux communes sont potentiellement touchées par les crues du Rhône et de la Cèze : Codolet (protégé par une digue CNR donc inondable par remontée avale du Rhône) et Laudun.

Sur ces deux communes, l'aléa cartographié correspond à l'aléa maximum estimé pour chacun de ces deux cours d'eau. Le présent paragraphe présente ainsi :

- Les hypothèses de définition de la crue de référence du Rhône,
- Les conditions de concomitance des crues de la Cèze et du Rhône afin de définir les hypothèses de débits (et donc de niveau) du Rhône à retenir en cas de crue forte de la Cèze.

4.9.2 Crue de référence du Rhône

En 2003, les crues du Rhône ont rappelé la vulnérabilité des territoires riverains du fleuve. Cette prise de conscience s'est traduite par un travail concerté autour du phénomène inondation sur l'ensemble du bassin versant du grand fleuve, qui s'est traduit par la rédaction d'une doctrine commune pour l'élaboration des PPRi du Rhône et de ses affluents à crue lente, dans le cadre de la démarche " Plan Rhône ".

Dans le Gard, les études issues de cette démarche interrégionale a permis de délimiter l'enveloppe d'une crue de référence du Rhône. Ces données fournies par l'instance de bassin (DREAL Auvergne-Rhône-Alpes) ont été portées à la connaissance de l'ensemble des 28 communes concernées (PAC signé de M. le préfet du Gard le 9 octobre 2009) et ont été complétées le cas échéant par une topographie complémentaire (en 2012 sur la commune de Laudun l'Ardoise).

A noter que les cartes portées à la connaissance des communes de Laudun, Codolet et Chusclan incluait une connaissance de l'aléa inondation issue de l'étude de la digue de protection rapprochée de Codolet, qui n'a pas été reprise dans le cadre de la présente étude, l'aléa Cèze ayant été entièrement remodelisé.

Dans le cadre de cette étude, deux communes sont concernées par les débordements du Rhône : Codolet (protégé par une digue CNR donc inondable par remontée avale du Rhône) et Laudun. Pour ces deux communes, conformément à la Doctrine Rhône, la crue de référence est la crue de mai 1856 (hydrogrammes et débits) modélisée dans les conditions actuelles d'écoulement (en tenant compte des aménagements existants sur le cours d'eau).

Débit centennal du Rhône estimé à 11 300 m³/s à Beaucaire (aval de la confluence avec le Gardon). Pour mémoire, le débit des crues de mai 1856 et décembre 2003 est estimé respectivement à 12 500 m³/s et 11 500 m³/s.

4.9.3 Concomitances des crues du Rhône et de la Cèze

Les hypothèses retenues sur les concomitances des crues de la Cèze et du Rhône sont reprises de l'étude Egis (2011) Concomitance et Impacts des affluents sur le Rhône. Cette dernière s'appuie sur l'Étude Globale Rhône réalisée suite aux inondations de 1993 et 1994 a permis de mieux connaître le fonctionnement du Rhône et de proposer une stratégie globale de prévention des inondations. Cette étude attirait notamment l'attention sur le risque de concomitance accrue par la mise en place d'aménagements de rétention dynamique pourtant encouragés par la directive européenne.

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.

	Crues océaniques	Crues méditerranéennes	Crues cévenoles	Crues généralisées
Concomitance Forte	0%	6%	32%	6%
Concomitance faible/moyenne	3%	56%	53%	25%
Pas de crue de l'affluent	97%	39%	16%	69%

Tableau 13 : synthèse des risques de concomitance des crues du Rhône et de la Cèze (Egis, 2011)

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 la Cèze :

- 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 de la Cèze et du Rhône est donc relativement faible. Ces conclusions sont confirmées par l'analyse des deux fortes crues du Rhône et de la Cèze survenues depuis la finalisation de cette étude :

- Septembre 2002 : la période de retour de la crue de la Cèze est supérieure à 100ans, alors que celle du Rhône est inférieure à 2 ans en amont du point de confluence,
- Décembre 2003 : la crue du Rhône présente une période de retour de l'ordre de 100 ans, contre 5 à 10 ans pour la crue de la Cèze.

Pour la modélisation, les conditions limites aval suivantes ont été retenues au regard de ces analyses :

- Crue de septembre 2002 : débit et côtes mesurés sur le Rhône (reconstitution de l'événement historique),
- Événements centennaux de la Cèze et de la Tave : crue décennale du Rhône ;
- Événements de périodes de retour inférieures à 100 ans : crue biennale du Rhône.

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

La modélisation s'appuie sur le logiciel hydrariv dont une présentation détaillée est disponible en annexe 4.

5.2 PRESENTATION DU LOGICIEL DE MODELISATION : HYDRARIV

a) Introduction

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.

b) Les domaines de modélisation

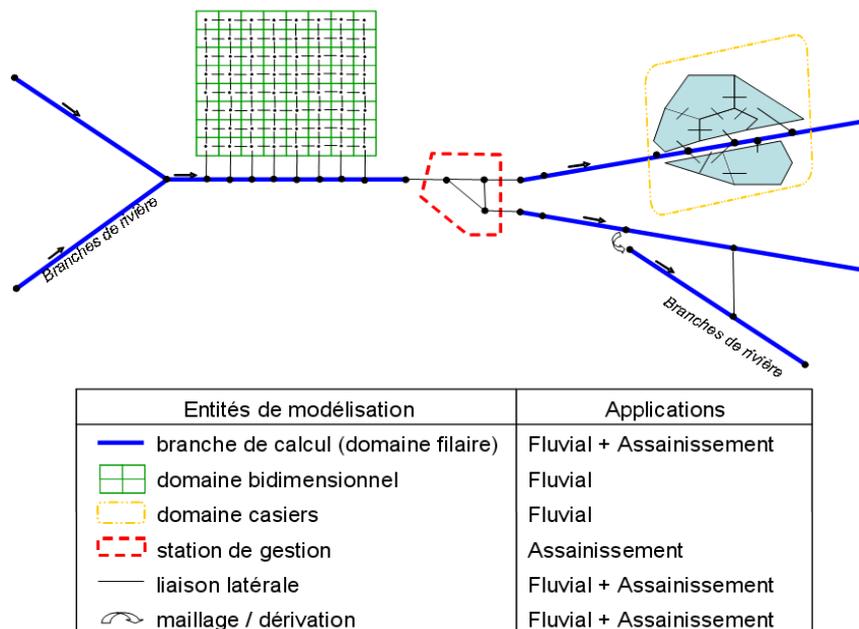
HYDRARIV offre quatre représentations d'écoulement adaptées aux applications fluviales :

- **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 bidimensionnel** : 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 précités.

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



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 : la 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.

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 2015.

Certains profils ont été complétés en lit majeur par les données topographiques issues du Lidar. En tout, 1316 profils en travers ont été levés par le cabinet Richer.

5.3.2 Ouvrages hydrauliques

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

- le cabinet Richer en 2015 et 2016,
- Hydratec en 2015.

Au total 368 ouvrages ont été levés.

5.3.3 Semis de points

Les semis de points décrivant le lit majeur de l'ensemble des vallées proviennent du levé LIDAR réalisé par le cabinet FIT en 2014.

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

La modélisation hydraulique de la Tave s'étend de la commune de La Bruguière jusqu'à la voie ferrée située dans la commune de Laudun l'Ardoise. Celle de la Cèze débute en aval de la commune de Bagnols-sur-Cèze jusqu'à sa confluence avec le Rhône. Enfin, le modèle représente l'Aiguillon depuis la plaine de la commune de Vallerargues jusqu'à l'extrémité nord-est de la commune de Lussan. Le modèle global a été divisé en 4 entités aboutissant à la construction de 4 sous-modèles distincts :

- Modèle **AIG** : L'Aiguillon ainsi que ses affluents.
- Modèle **TAVAM** : La Tave et la Veyre ainsi que leurs affluents depuis leurs sources jusqu'aux communes de Saint-Pons-la-Calm et Le Pin.
- Modèle **TAVAV** : La Tave ainsi que ses affluents et la confluence avec la Veyre, il reprend les écoulements du modèle TAVAM et se termine au niveau de la voie ferrée située sur la commune de Laudun l'Ardoise.
- Modèle **CEZ** : La Cèze depuis l'aval de la commune de Bagnols-sur-Cèze jusqu'à sa confluence avec le Rhône ainsi que sa confluence avec la Tave.

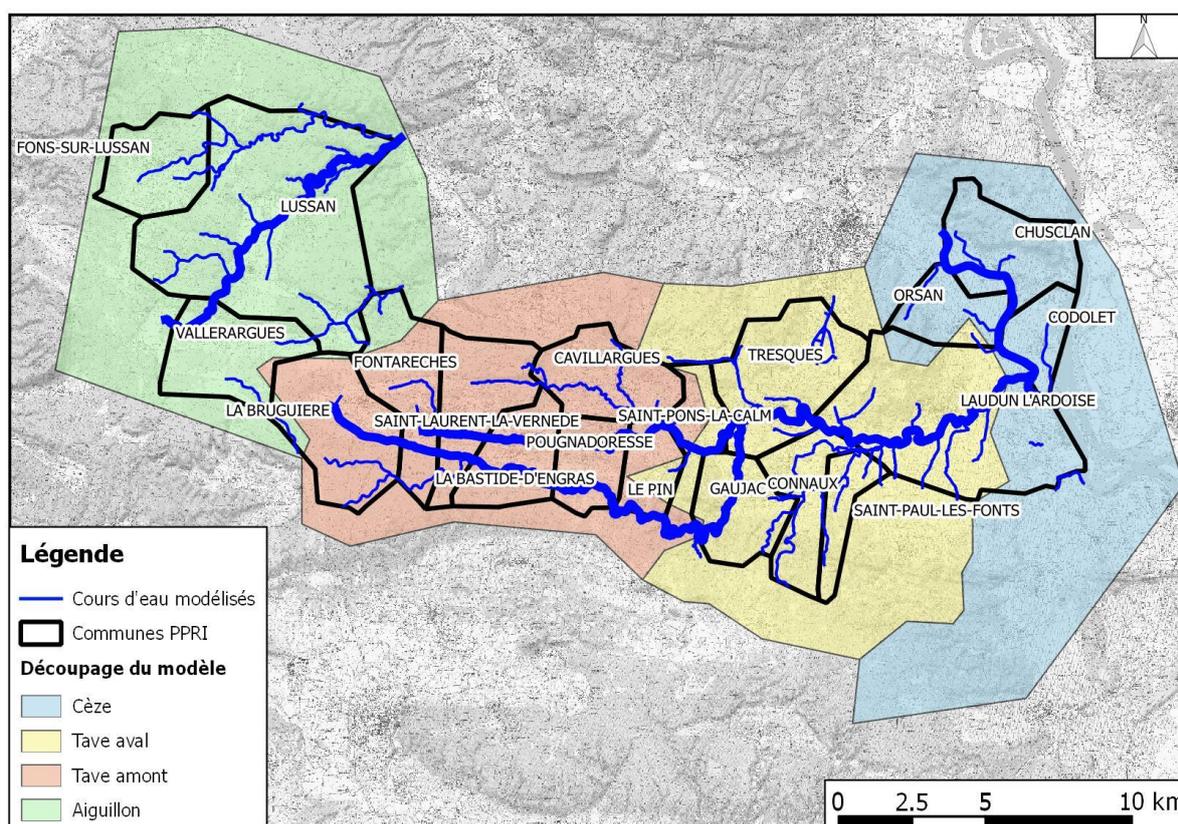


Figure 22: Typologie du modèle hydraulique – Présentation des 4 sous-modèles

5.4.2 Emprise du modèle filaire

Les profils en travers représentant ces cours d'eau sont répartis à intervalles d'environ 200 m dans les secteurs sans enjeux et tous les 50 m dans les secteurs de traversée de zones habitées. L'ensemble des 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 :

- $K = 30$ à 35 pour le lit mineur de la Cèze et ses principaux affluents
- $K = 12$ à 15 pour le lit majeur de la Cèze, de la Tave, de l'Aiguillon et des affluents principaux.
- $K = 20$ à 24 pour le lit mineur de la Tave, de l'Aiguillon et de leurs principaux affluents
- $K = 8$ à 15 pour le lit majeur des affluents secondaires.

5.4.3 Modélisation du lit majeur

La modélisation adoptée pour les modèles **AIG**, **TAVAM**, **TAVAV** et **CEZ** 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 2015 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 **bidimensionnel** : 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 LIDAR.

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

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. 4.5).

Les hydrogrammes de crue en amont de la Cèze sont issus de l'étude globale Rhône ; il s'agit d'hydrogrammes synthétiques mono-fréquence.

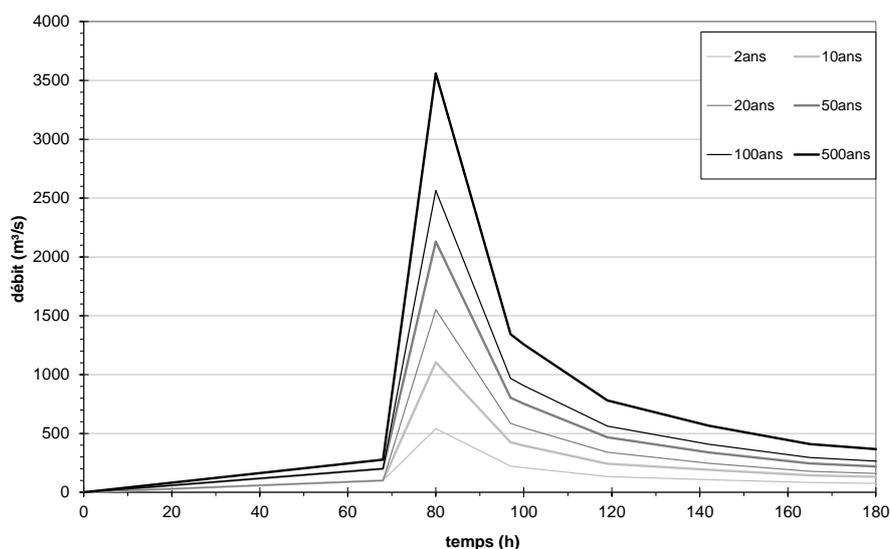


Figure 23 : hydrogrammes amont de la Cèze

5.4.5 Condition limite aval

La condition limite du modèle CEZ est située en aval de l'aménagement CNR de Caderousse où la loi cote – débit est imposée par les règles de consigne de l'aménagement CNR aval (retenue d'Avignon).

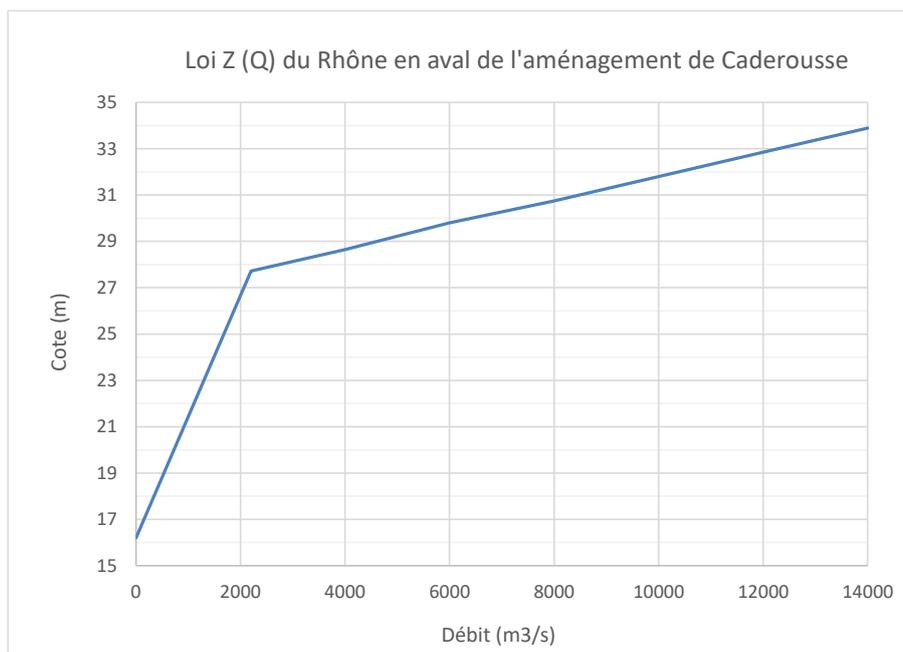


Figure 24 : condition limite aval du Rhône

Les débits transitant dans le Vieux Rhône en aval du barrage de Caderousse sont définis dans les consignes d'exploitation de la CNR. La répartition des débits entre le canal d'amenée et le vieux Rhône est donnée dans le tableau ci-après (source : étude SAFEGE de réalisation d'une digue destinée à améliorer la protection de Codolet contre les crues du Rhône et de la Cèze).

Période de retour	Débit (en m ³ /s)					
	10 ans		100 ans		1000 ans	
Caderousse Amont du barrage	7200		10000		12500	
Débit dérivé Max / Min	2280	1100	2280	1100	2280	1100
Caderousse Aval du barrage	4920	6100	7720	8900	10220	11400

Tableau 14 : consigne d'exploitation de l'aménagement CNR de Caderousse

Lors de la crue de 2002, le graphique suivant donne la répartition des débits entre le canal et le Vieux Rhône (source CNR).

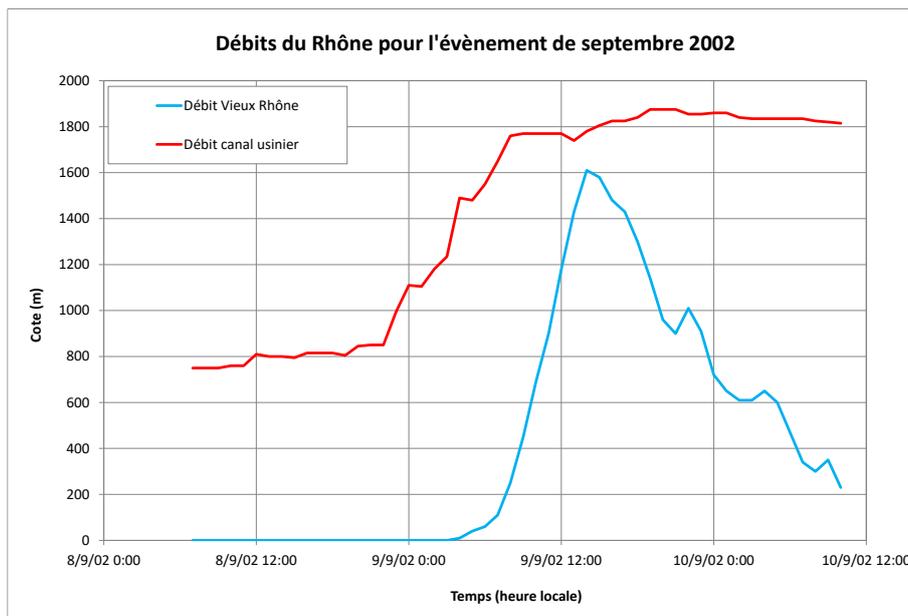


Figure 25 : débits du Rhône pour l'évènement de septembre 2002

Les hydrogrammes de crue du Rhône sont construits par homothétie à partir de l'hydrogramme de crue de septembre 2002.

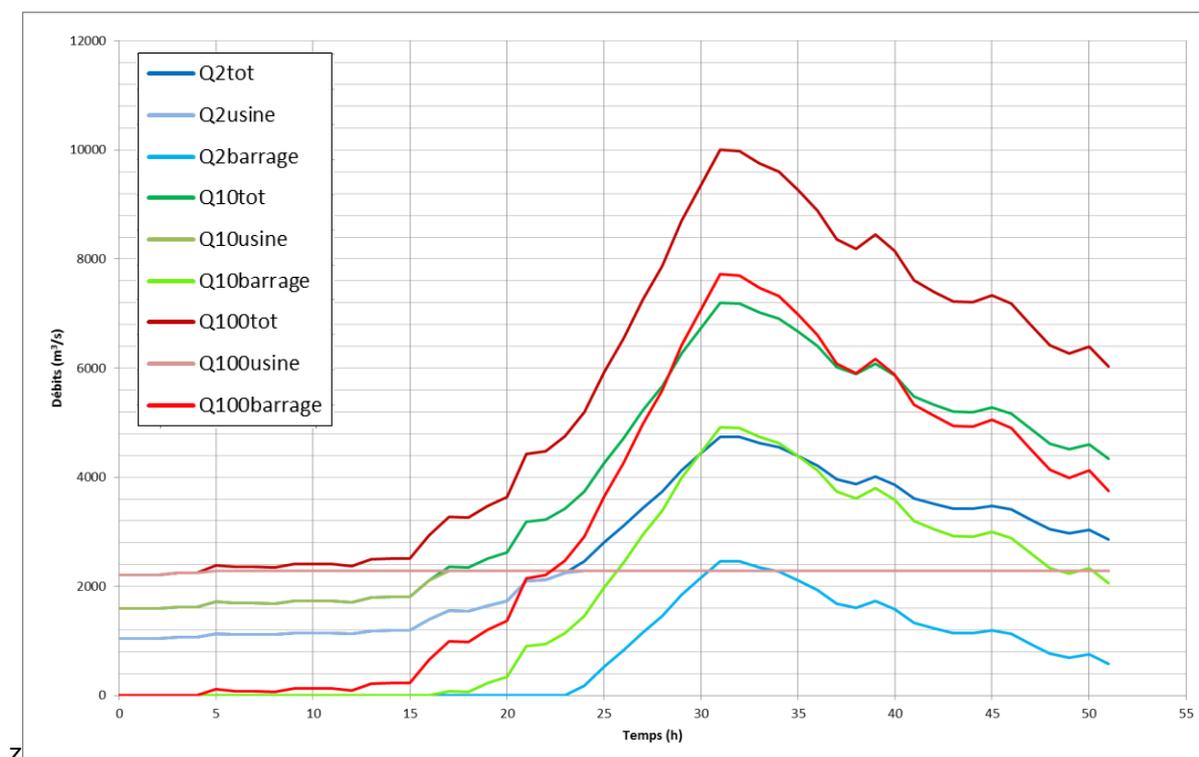


Figure 26 : hydrogrammes de crue du Rhône

5.5 CALAGE ET VALIDATION DU MODELE

5.5.1 Données de calage

Le calage du modèle Cèze, Tave et Aiguillon est réalisé sur la crue du 8 et 9 Septembre 2002 sur la base des observations disponibles. Cette crue est par ailleurs la crue historique la plus forte connue sur une partie du territoire étudié.

Les données utilisées pour le calage sont :

- Les zones d'inondation et conditions d'écoulement connues,
- Les repères de crue recensés.

Les données sur l'emprise des zones inondables ont été recensées lors des entretiens réalisés lors des rencontres avec les communes en début de mission.

D'autre part, 51 repères de crue ont été recensés sur la zone d'étude. Le tableau suivant synthétise la répartition de ces derniers sur les 4 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 fiables,
- 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 <i>Fiabilité du repère</i>	Nombre repères de crue
AIG	1
0	0
1	1
2	0
TAVAM	0
TAVAV	24
0	5
1	18
2	1
CEZ	26
0	5
1	21
2	0
Total	51

Figure 27: synthèse des repères de crue fiables sur l'ensemble du secteur d'étude

Ces repères de crues sont répartis sur la Cèze, la Tave et l'Aiguillon

- Sur le modèle **AIG** : 3 repères sur l'Aiguillon ou son lit majeur.
- Sur le modèle **TAVAV** : 24 repères sur la Tave ou son lit majeur.
- Sur le modèle **CEZ** : 29 repères sur la Cèze ou son lit majeur.

L'ensemble de ces repères est listé au paragraphe 5.5.3.

5.5.2 Cas des aménagements réalisés après la crue de septembre 2002

Certains aménagements réalisés après la crue de 2002 n'ont pas été pris en compte dans le modèle afin de reproduire convenablement les niveaux d'eau observés lors de la crue. Il s'agit des travaux suivants :

- reconstruction du pont de la RN580 dont les fondations avaient été endommagées lors de la crue de 2002.
- Construction de la digue entourant la ville de Codolet dont les travaux ont été finalisés en 2015.

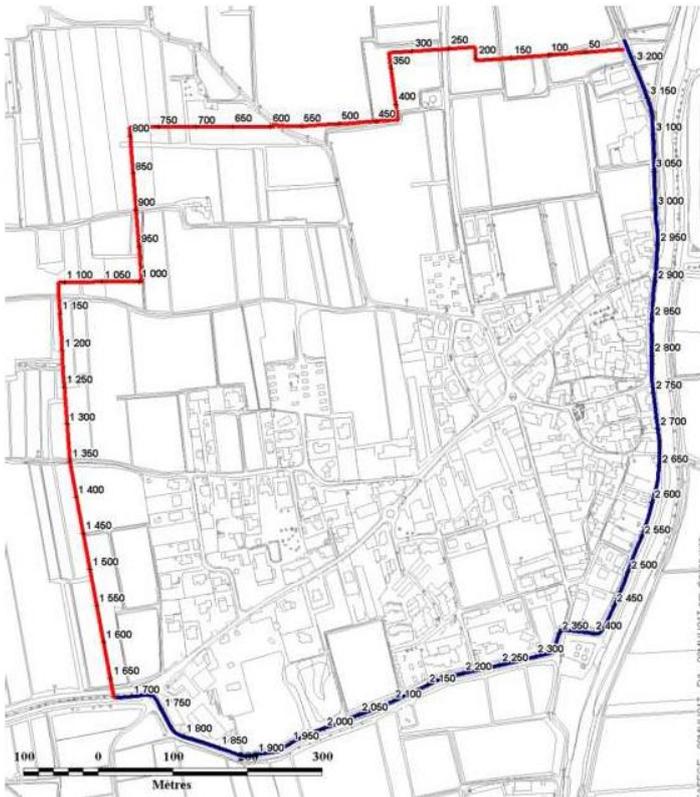


Figure 28 : Localisation de la digue de protection du centre de Codolet – source : Etude AVP SAFEGE

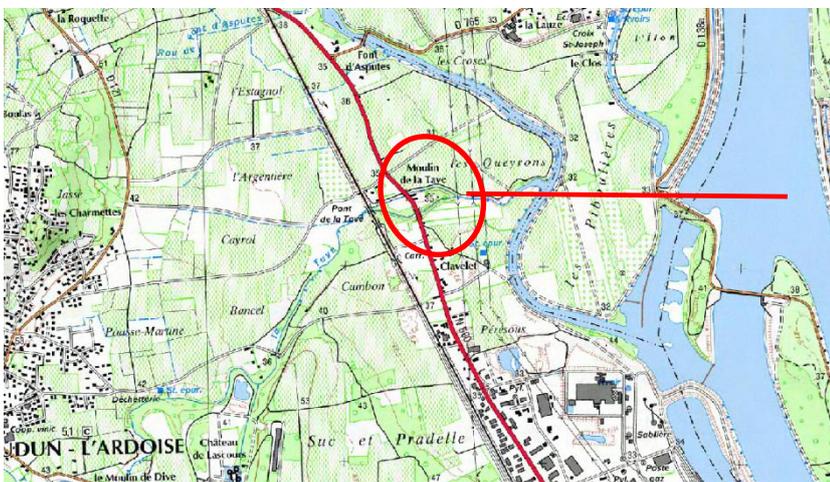


Figure 29 : Localisation du pont de la RN580

5.5.3 Résultats du calage

Le tableau suivant présente la comparaison des cotes mesurées et calculées aux différents repères de crue.

Nom PHE	ZPHE mesurée	Zcalculée	Ecart (cm)		Communes	Modèles	Fiabilité
			Dz=Zmes-Zcal (1D)	Dz=Zmes-Zcal (2D)			
cez_28	43.248	42.825	-42	-99	Bagnols-sur-Cèze	CEZE	1
cez_27	40.862	40.669	-19	12	Bagnols-sur-Cèze	CEZE	1
cez_26	40.299	40.24	-5.9	-13	Orsan	CEZE	1
cez_24	39.746	39.636	-11	1	Chusclan	CEZE	1
cez_25	38.827	38.937	11	13	Chusclan	CEZE	1
cez_21	38.357	38.827	47	-8	Chusclan	CEZE	1
cez_23	38.476	38.786	31	13	Chusclan	CEZE	1
cez_22	38.171	38.411	24	27	Chusclan	CEZE	1
cez_17	37.345	37.575	23	20	Chusclan	CEZE	0
cez_18	37.333	37.213	-12	16	Orsan	CEZE	1
cez_16	34.478	34.678	-	20	Codolet	CEZE	1
cez_15	33.45	33.6	-	15	Codolet	CEZE	1
cez_14	33.45	33.44	-	-1	Codolet	CEZE	1
cez_13	35.17	35.14	-	-3	Codolet	CEZE	1
cez_12	33.45	33.69	-	24	Codolet	CEZE	1
cez_11	33.45	33.72	-	27	Codolet	CEZE	1
cez_10	34.43	35.01	-	58	Codolet	CEZE	1
cez_9	-	-	-	-	Codolet	CEZE	1
cez_8	33.45	33.83	-	38	Codolet	CEZE	1
cez_19	36.541	36.781	24	45	Orsan	CEZE	0
cez_6	35.297	35.167	-13	55	Laudun l'Ardoise	CEZE	0
cez_7	34.362	34.932	57	20	Codolet	CEZE	1
cez_3	33.283	33.493	21	51	Laudun l'Ardoise	CEZE	1
cez_157	96.782	96.682	-10	-	Saint-Pons-la-Calm	TAVAV	1
cez_158	95.276	95.086	-19	-	Saint-Pons-la-Calm	TAVAV	1
cez_156	91.293	90.503	-79	-	Saint-Pons-la-Calm	TAVAV	1
cez_155	76.22	76.22	0	-3	Tresques	TAVAV	1
cez_154	75.907	75.817	-9	-54	Tresques	TAVAV	2
cez_153	72.238	72.448	21	-	Tresques	TAVAV	1
cez_152	71.27	71.57	30	40	Tresques	TAVAV	1
cez_151	66.523	66.553	3	22	Connaux	TAVAV	1
cez_150	65.022	65.542	52	57	Laudun l'Ardoise	TAVAV	0
cez_149	62.659	62.889	23	2	Laudun l'Ardoise	TAVAV	1
cez_148	61.664	61.314	-35	-33	Laudun l'Ardoise	TAVAV	1
cez_147	57.596	57.706	11	1	Laudun l'Ardoise	TAVAV	1
cez_146	56.765	57.385	62	18	Laudun l'Ardoise	TAVAV	1
cez_145	52.954	53.284	33	24	Laudun l'Ardoise	TAVAV	1
cez_140	47.894	48.374	48	17	Laudun l'Ardoise	TAVAV	0
cez_141	48.41	48.13	-28	3	Laudun l'Ardoise	TAVAV	0
cez_139	44.285	44.705	42	27	Laudun l'Ardoise	TAVAV	0
cez_137	42.098	42.008	-9	-17	Laudun l'Ardoise	TAVAV	1
cez_5	38.289	39.179	89	-	Laudun l'Ardoise	TAVAV	0

cez_4	34.954	35.724	77	87	Laudun l'Ardoise	TAVAV	1
cez_144	51.247	51.687	44	-4	Laudun l'Ardoise	TAVAV	1
cez_142	49.472	49.835	36.3	42	Laudun l'Ardoise	TAVAV	0
cez_138	44.256	44.467	21.1	-9	Laudun l'Ardoise	TAVAV	1
cez_144	51.247	51.567	32	-4	Laudun l'Ardoise	TAVAV	1
cez_142	49.472	50.062	59	42	Laudun l'Ardoise	TAVAV	0
cez_143	49.535	49.865	33	35	Laudun l'Ardoise	TAVAV	1
cez_138	44.256	44.526	27	-9	Laudun l'Ardoise	TAVAV	1
cez_1	34.621	34.937	31.6	30	Laudun l'Ardoise	TAVAV	1
cez_2	33.777	33.993	21.6	16	Laudun l'Ardoise	TAVAV	1
cez_3	33.777	33.887	11	51	Laudun l'Ardoise	TAVAV	1
cez_167	220.00					AIG	1

Tableau 15 : Tableau comparatif des hauteurs d'eau calculées par rapport aux repères de crue

La précision pour les repères de crue varie de quelques centimètres à presque 1 mètre à certains endroits. Ces écarts entre les niveaux d'eau historiques peuvent s'expliquer par des relevés de repères de crue surestimés ou sous-estimés ou par des paramètres hydrauliques localisés comme des embâcles dont nous n'avons pas connaissance.

Les deux figures suivantes présentent les écarts entre le modèle et les PHE relevées lors de la crue de septembre 2002.

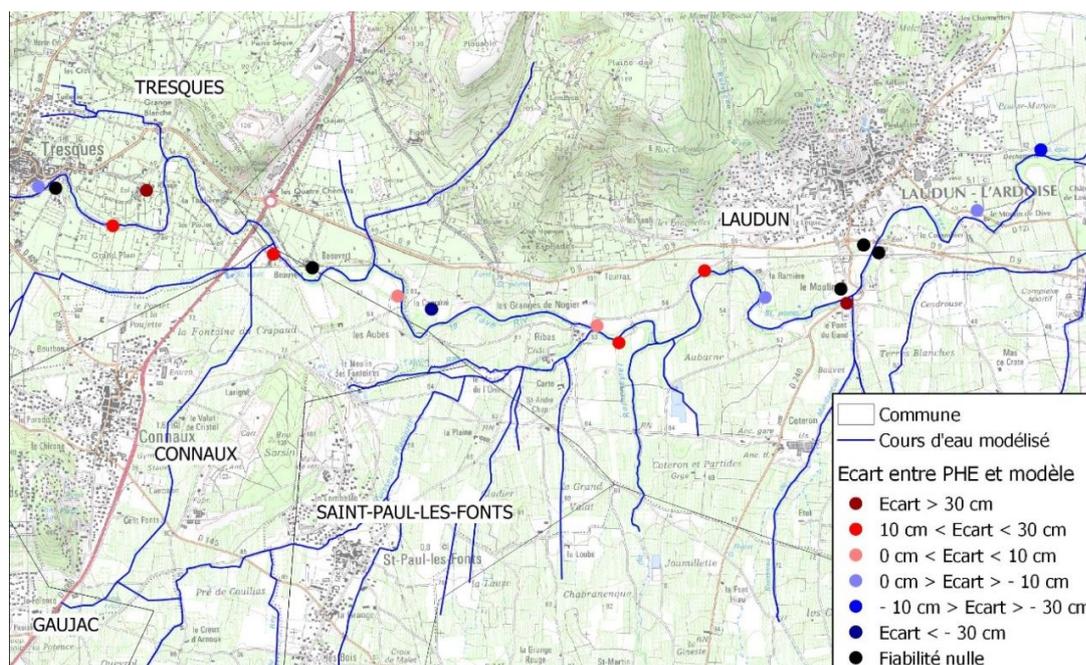


Figure 30 : A – écarts entre le modèle et les PHE

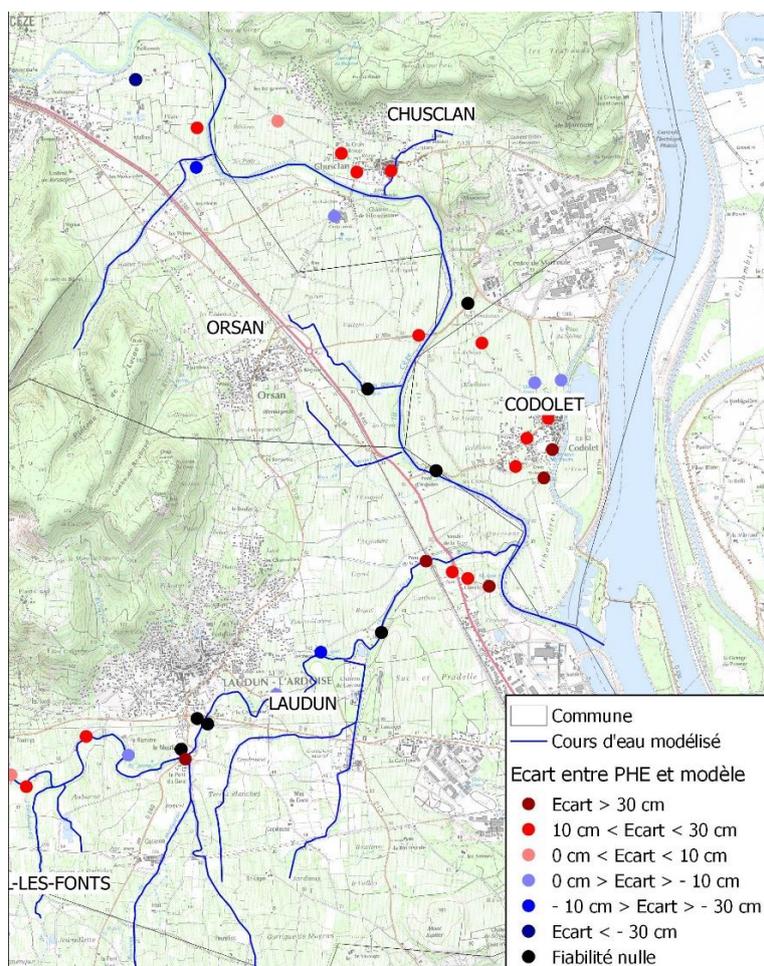
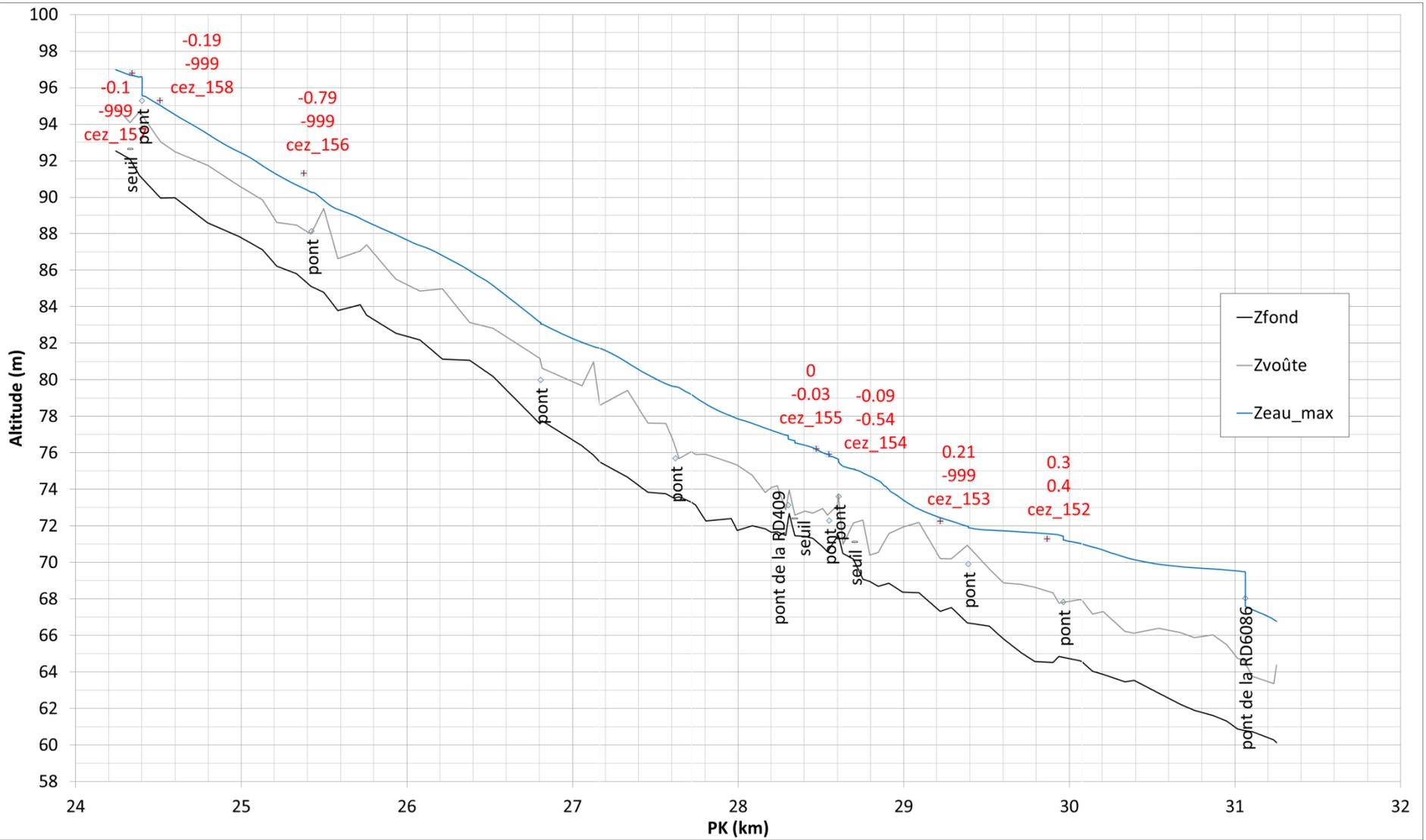


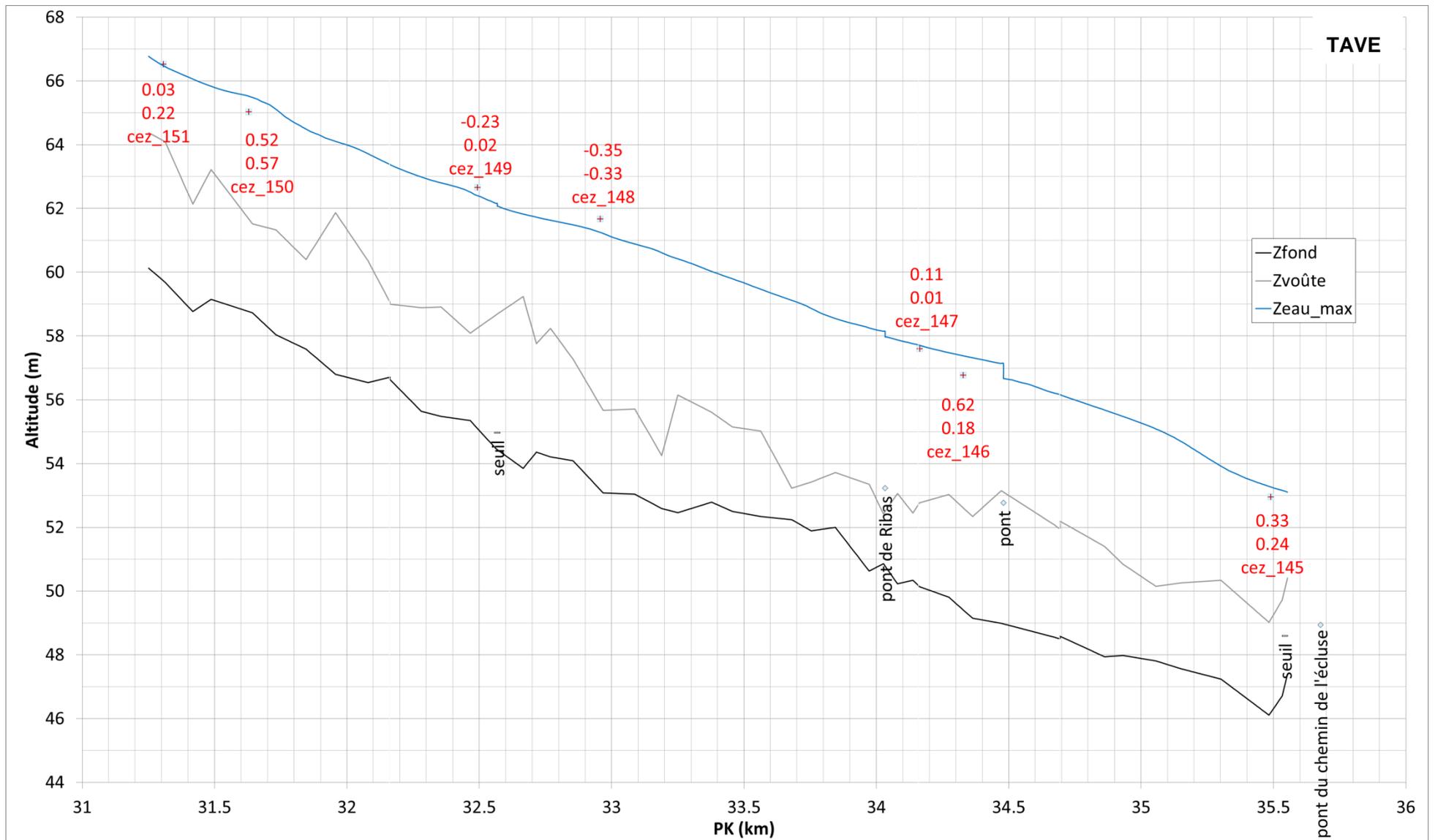
Figure 31 : B – écarts entre le modèle et les PHE

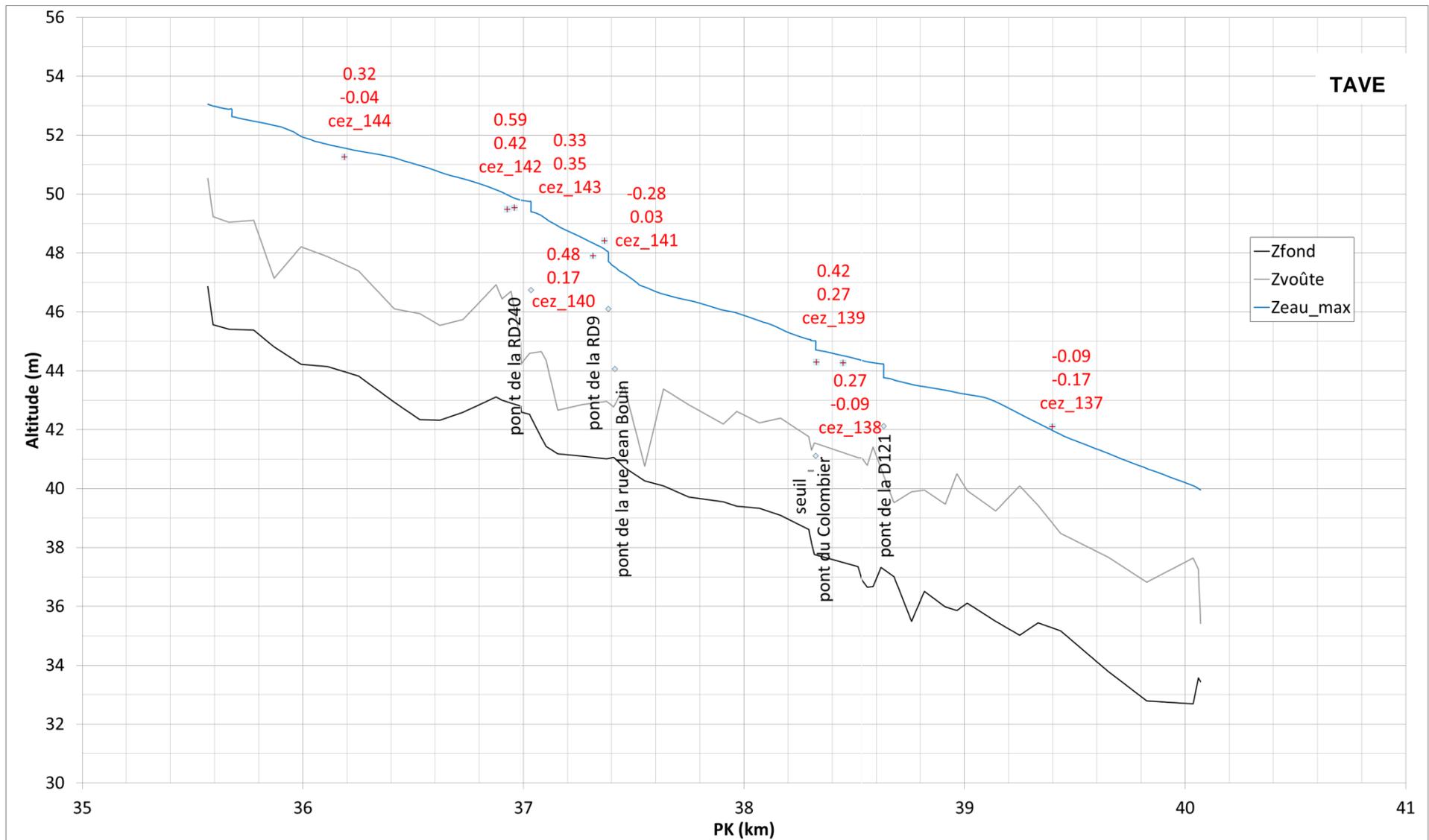
Les profils en long de la Tave de Tresques jusqu'à sa confluence avec la Cèze sont donnés en pages suivantes. Ils permettent d'apprécier le calage altimétrique de la ligne d'eau pour la crue de septembre 2002 sur le linéaire disposant de repères de crue. Les profils en long de la Cèze depuis la sortie de Bagnols sur Cèze jusqu'à sa confluence avec le Rhône sont présentés également en pages suivantes.

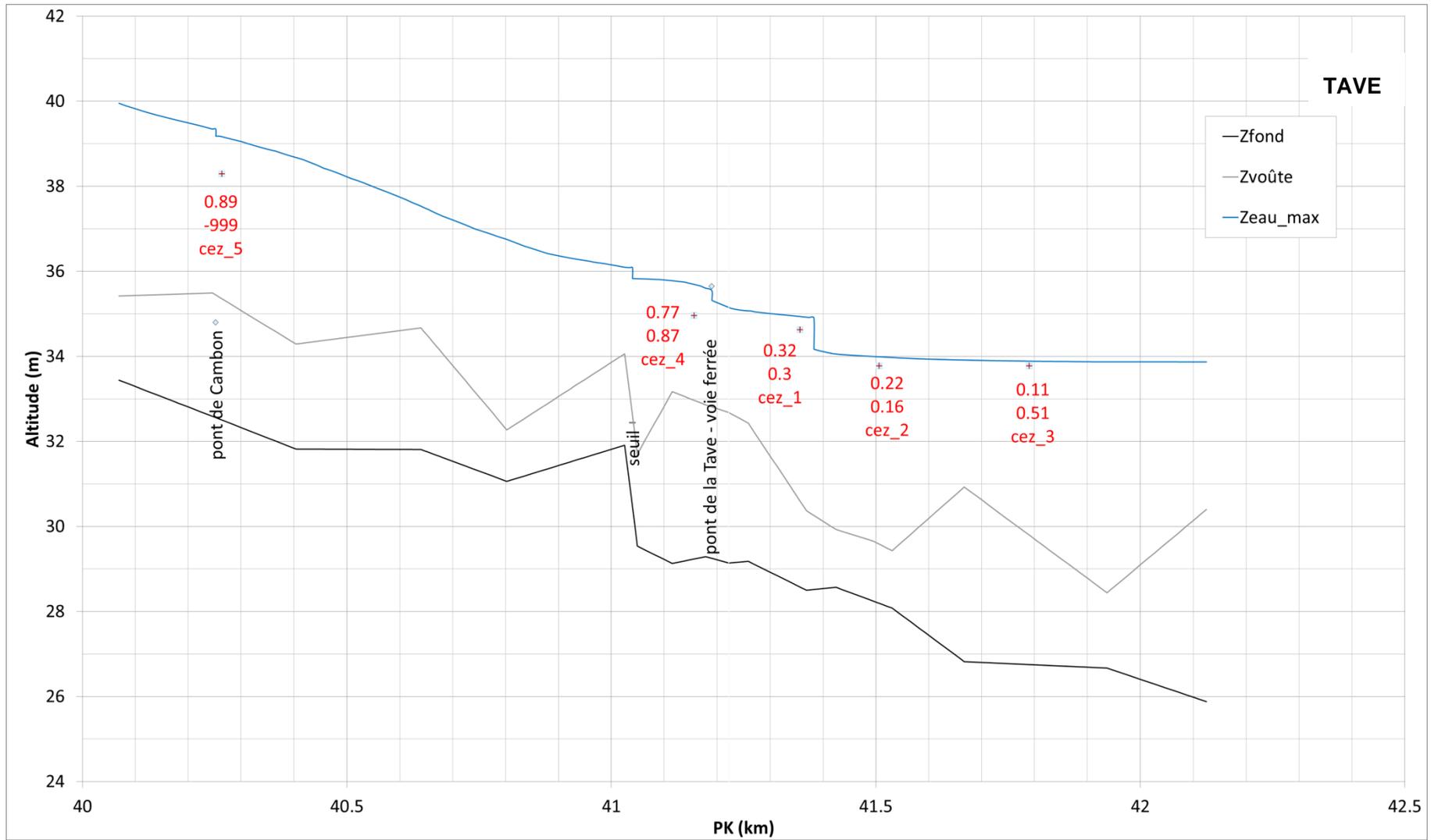
Les repères de crue sont localisés sur les profils en long et l'étiquette associée indique la différence entre la hauteur calculée et la cote du repère. La première ligne est une comparaison avec le lit mineur lorsque le repère est proche de celui-ci, la deuxième indique la différence avec la hauteur d'eau calculée à l'emplacement du repère dans le domaine bidimensionnel, l'étiquette indique -999 lorsqu'il n'y a pas de comparaison possible.

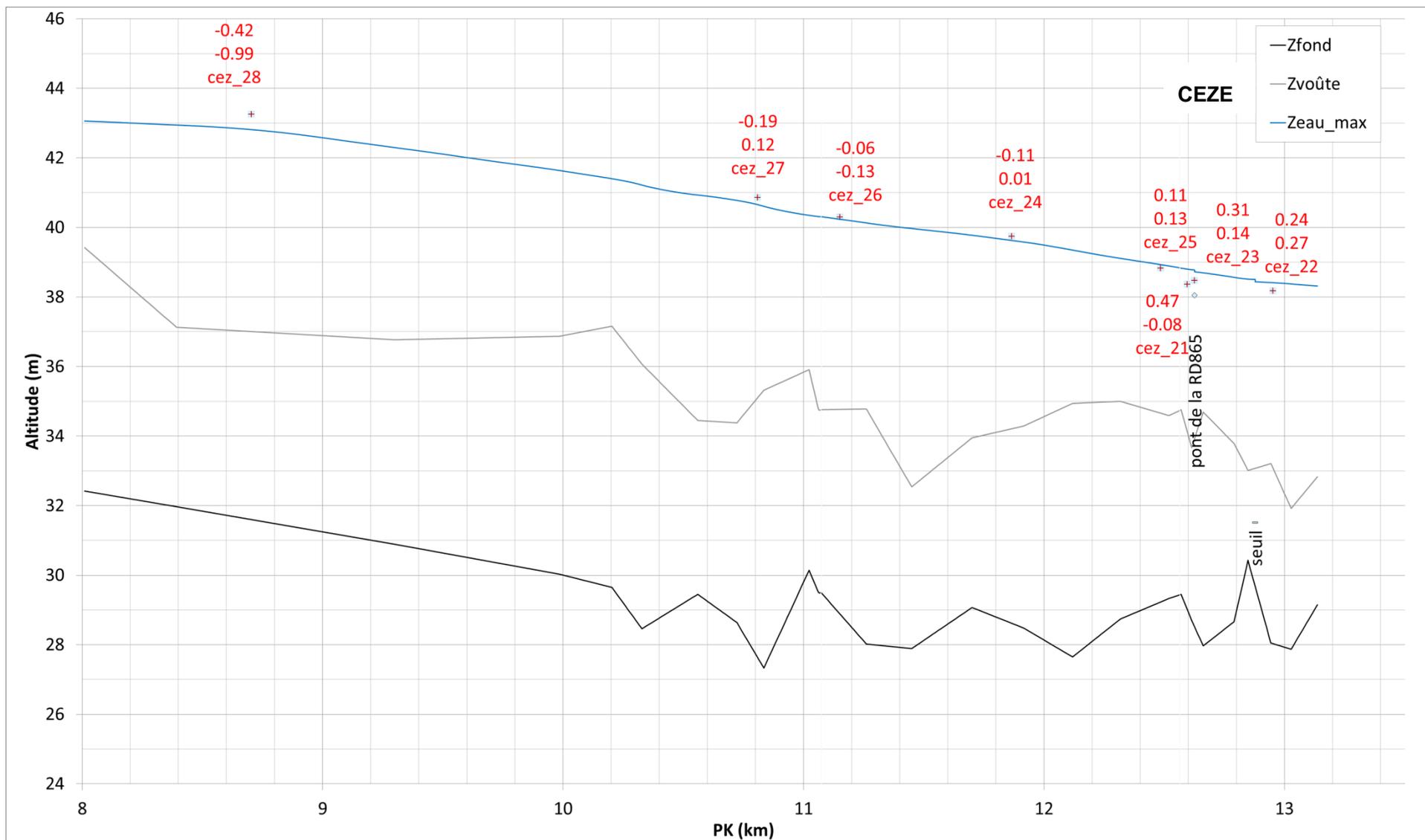
Les cotes de voûte des ponts ainsi que les cotes des seuils sont également représentées.

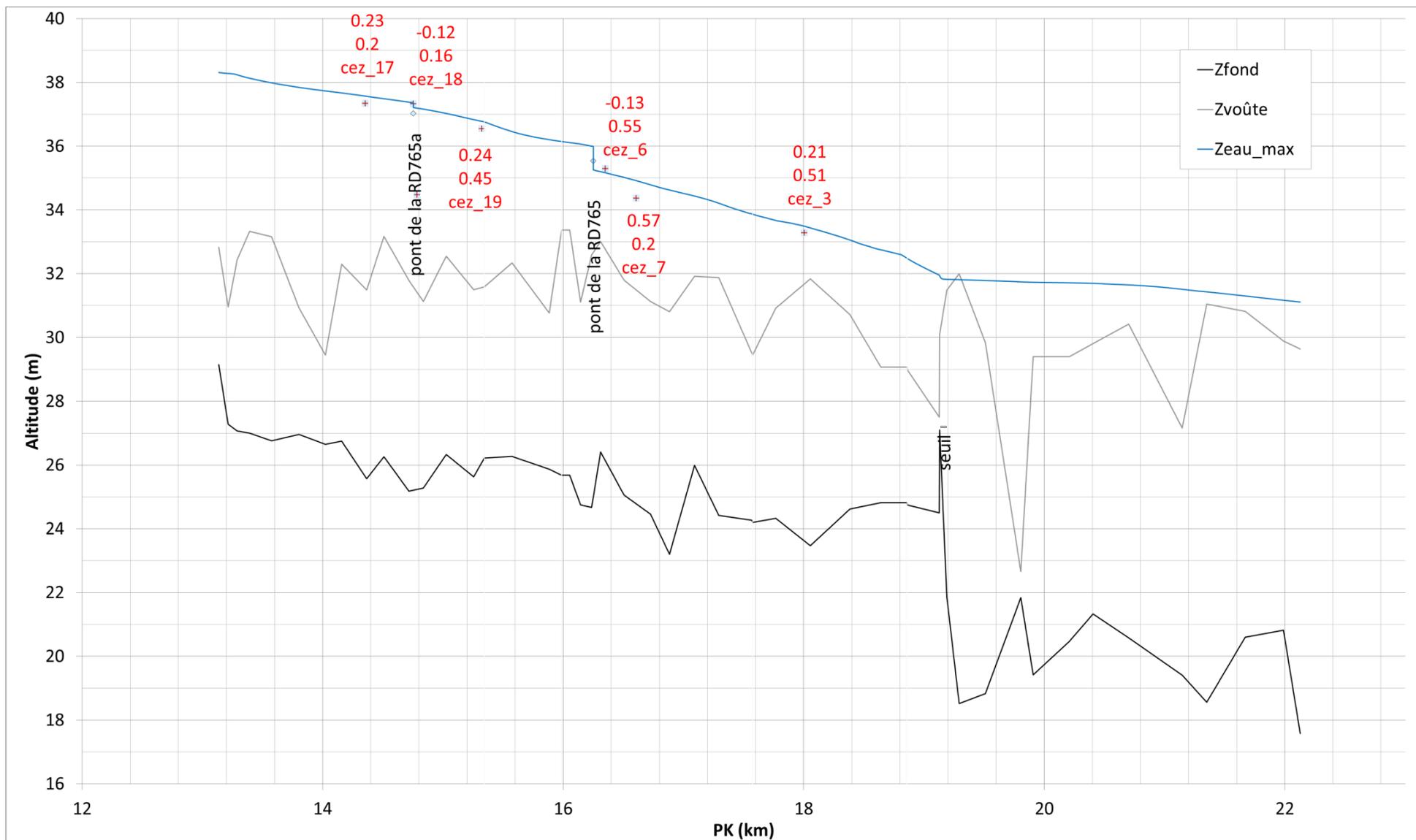












6. CARTOGRAPHIES DES ZONES INONDABLES ET DE L'ALEA

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. 4.6.1) et de l'évènement de septembre 2002 modélisés.

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

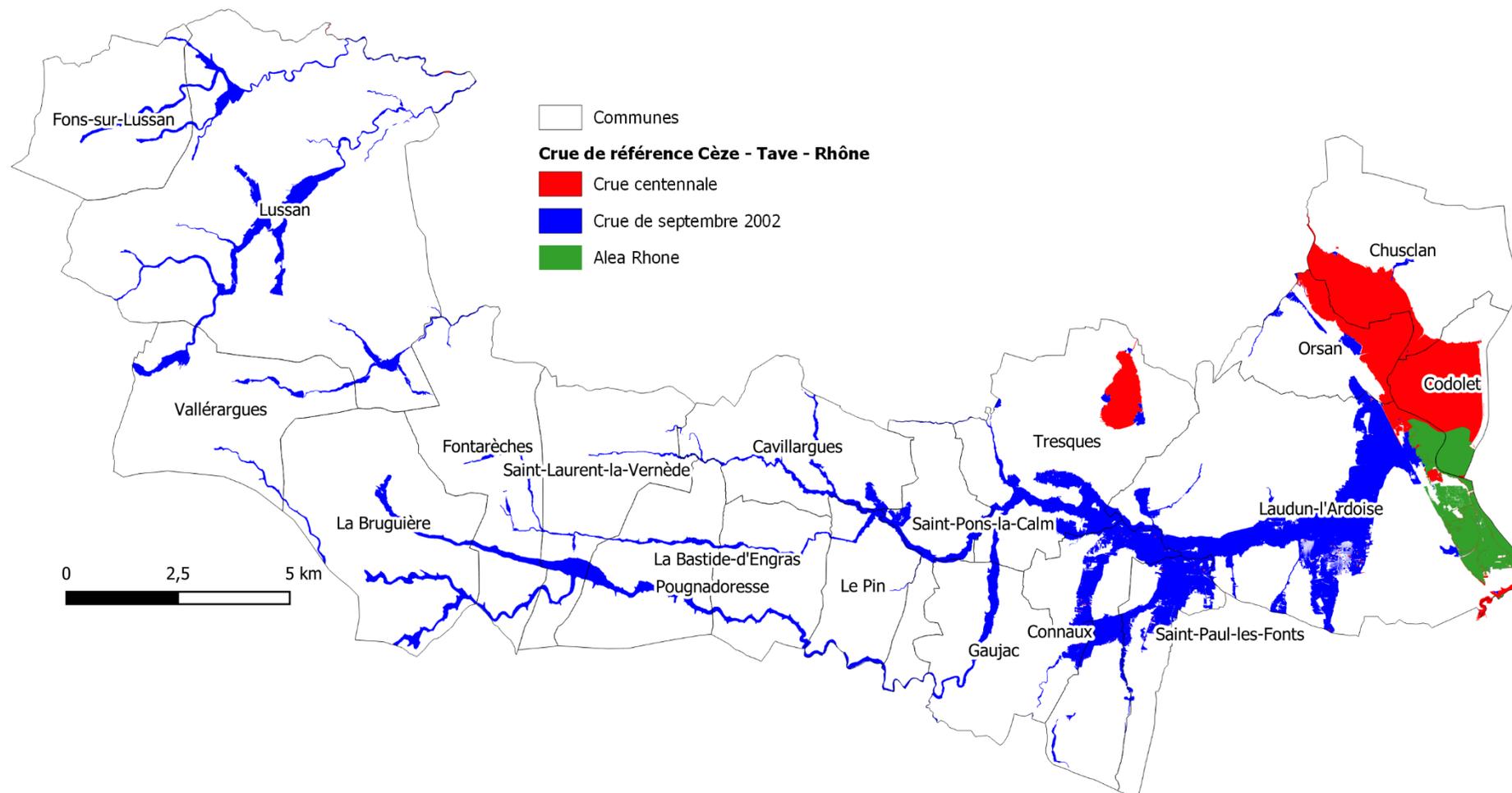
Nom du scénario	Scénario de pluie correspondant	Condition limite aval (Rhône)
P100-2h	Pluie centennale 48 h de durée intense 2h	Q10
P100-3h	Pluie centennale 48 h de durée intense 3h	Q10
P100-4h	Pluie centennale 48 h de durée intense 4h	Q10
P100-6h	Pluie centennale 48 h de durée intense 6h	Q10
P100-12h	Pluie centennale 48 h de durée intense 12h	Q10
S02-actu	Évènement de septembre 2002	Hydrogramme de septembre 2002

Tableau 16 : caractéristiques des scénarios modélisés pour la définition de l'aléa de référence

La figure ci-après identifie la crue la plus forte entre la crue centennale et la crue de septembre 2002 sur le territoire modélisé; la crue de référence retenue correspond ainsi à la crue de septembre 2002 sur les secteurs en rouge et à un événement centennal sur les secteurs en bleu.

La crue de référence correspond à la crue centennale sur la majorité du territoire, à l'exception de la Cèze aval.

Sur la Cèze aval (communes de Codolet et de Laudun), l'aléa est constitué par l'aléa maximal de la Cèze (obtenu pour la crue de 2002) et de l'aléa défini par la doctrine Rhône (cf. 4.9.2).



Crue de référence retenue

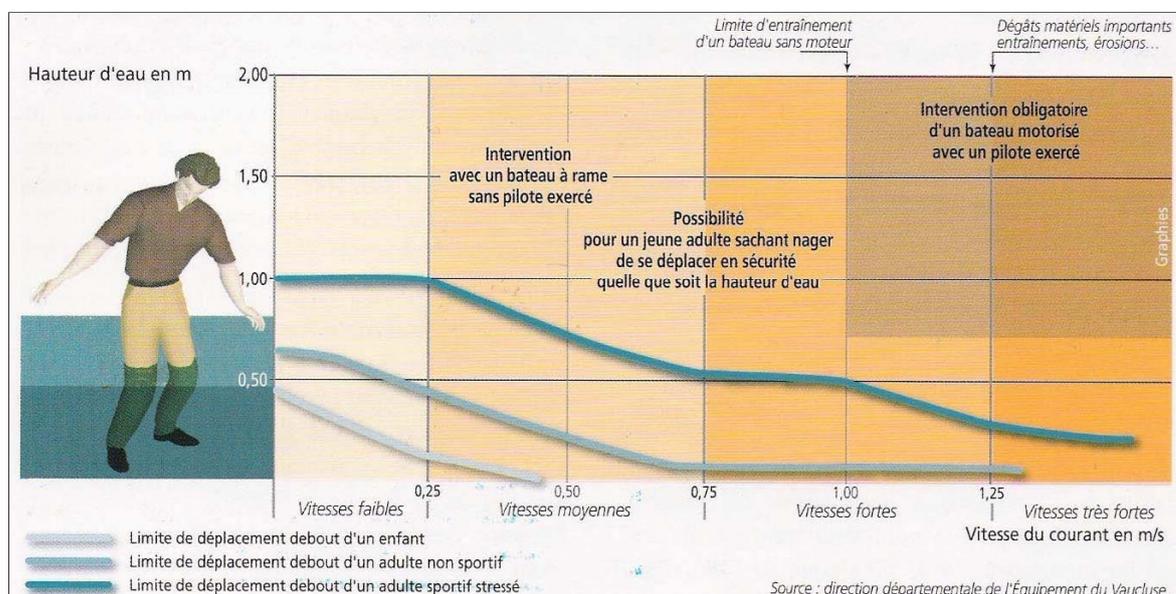
6.1.2 Caractérisation des niveaux d'aléa

a) Ensemble des cours d'eau hors Rhône

L'aléa est qualifié de fort lorsque les hauteurs d'eau dépassent 0.5 m.

En effet, on considère que le risque pour les personnes est lié principalement aux déplacements :

- routiers (véhicules emportés en tentant de franchir une zone inondée). A 0,5 m, une voiture peut être soulevée par l'eau et emportée par le courant, aussi faible soit-il. C'est aussi la limite de déplacement des véhicules d'intervention classiques de secours,
- pédestres : des études basées sur des retours d'expérience des inondations passées, menées par des services de secours (équipements, pompiers, services municipaux, ...) montrent qu'à partir de 0,5 m. d'eau un adulte non entraîné et, a fortiori des enfants, des personnes âgées ou à mobilité réduite, sont mis en danger : fortes difficultés dans leur déplacement, disparition totale du relief (trottoirs, fossés, bouches d'égout ouvertes, ...), stress.



Ce type d'aléa correspond également aux zones d'écoulement principal, qu'il s'agit de préserver prioritairement de manière à ne pas aggraver les conditions d'écoulement.

L'aléa est qualifié de modéré lorsque les hauteurs d'eau sont inférieures à 0.5 m.

Il s'agit de zones d'expansion de crue où le risque, en termes de fréquence de submersion, de hauteur d'eau et de vitesse de courant y est moins important. Ces zones ne sont donc pas en principe concernées par les crues courantes, mais ont été ou seront submergées lors des crues rares ou exceptionnelles. Dans ce cas, elles jouent un rôle essentiel de stockage et leur caractère naturel doit être préservé.

L'aléa résiduel

L'aléa est qualifié de résiduel dans les secteurs qui ne sont pas directement exposés aux risques d'inondation au regard de la crue de référence, mais susceptibles d'être mobilisés pour une crue supérieure à la crue de référence. Ils jouent un rôle majeur de stockage de ces crues. En limite d'aléa calculé par modélisation, l'approche hydrogéomorphologique peut délimiter une zone plus

large que le calcul hydraulique. Le risque y est inférieur à celui de la zone modérée et des projets d'urbanisation peuvent y être envisagés dans les zones urbanisées, tout en conservant la capacité de stockage dans les zones non urbanisées.

Au final, trois classes d'aléa sont définies :

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

b) Rhône

Sur les communes de Codolet, Laudun et Chusclan l'aléa retenu est constitué de l'enveloppe maximale de l'aléa associé au Rhône et de l'aléa associé à la Cèze.

Compte tenu des vitesses d'écoulement plus faible que sur les autres cours d'eau, l'aléa Rhône est considéré comme :

- Fort lorsque les hauteurs d'eau dépassent 1m
- Modéré lorsque les hauteurs d'eau sont inférieures à 1m.
- Résiduel : au-delà de la crue de référence dans l'emprise du plan des surfaces submersibles du Rhône.

6.2 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 sont demandées par la directive inondation.

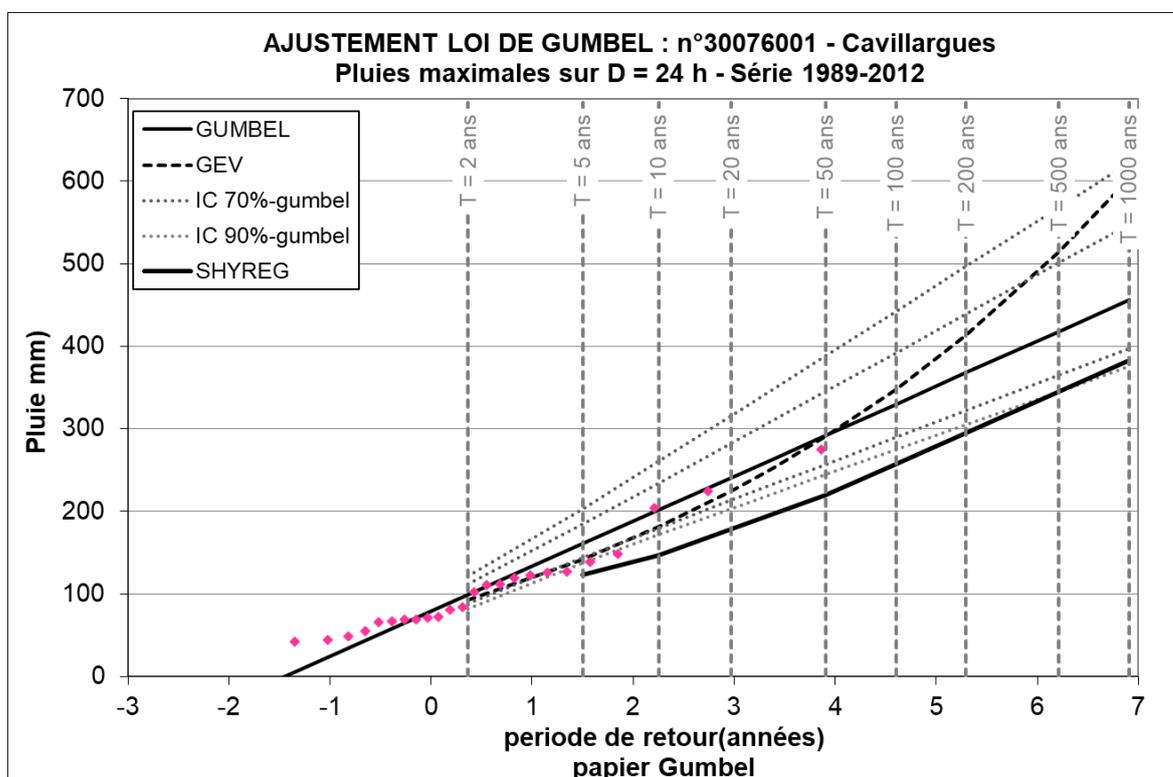
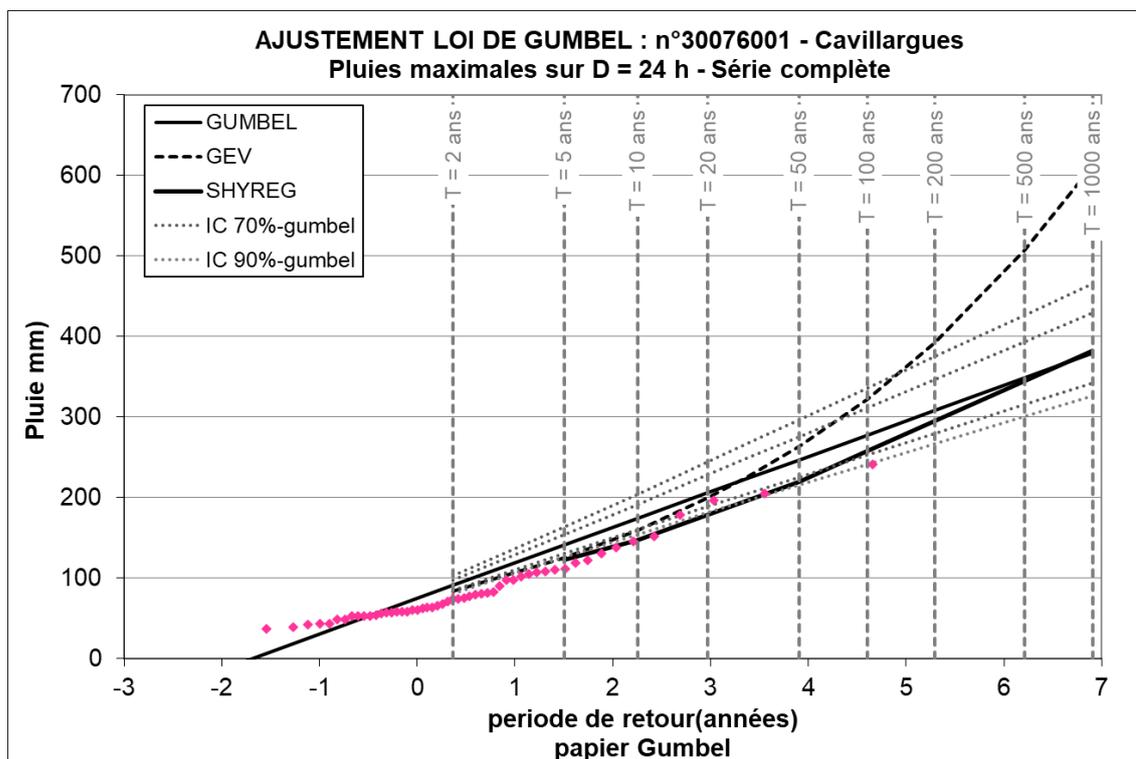
ANNEXES

ANNEXE 1

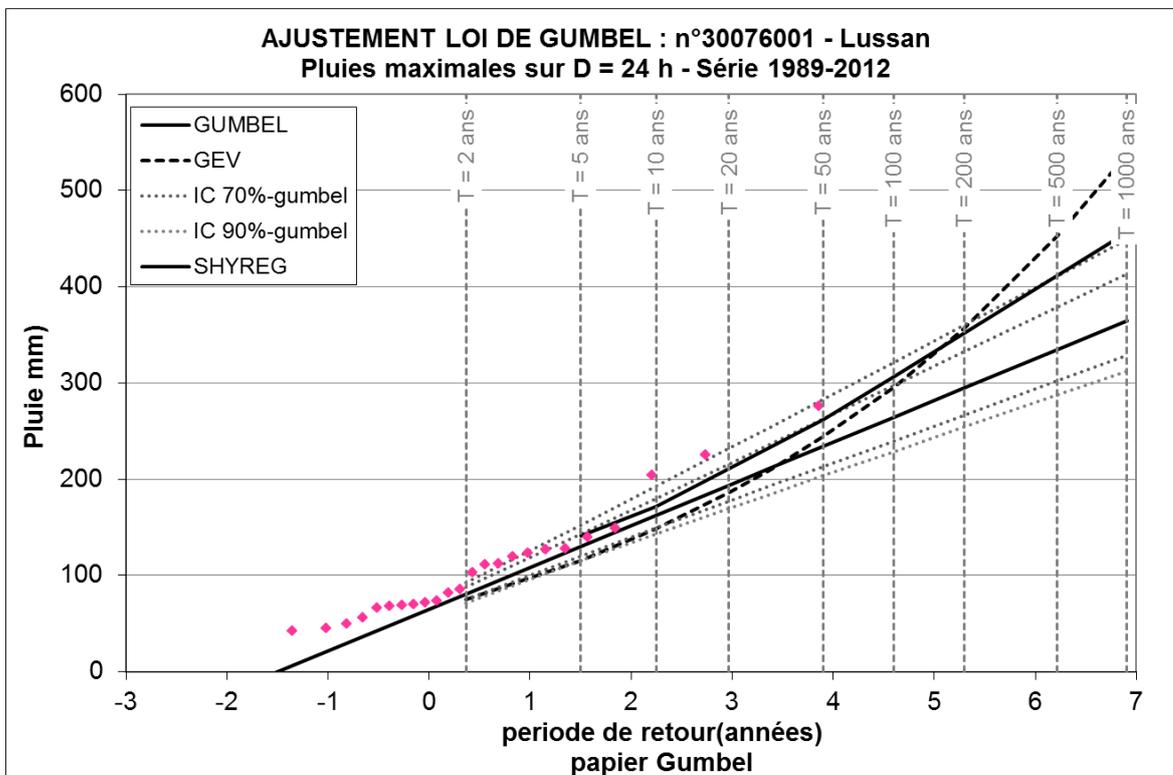
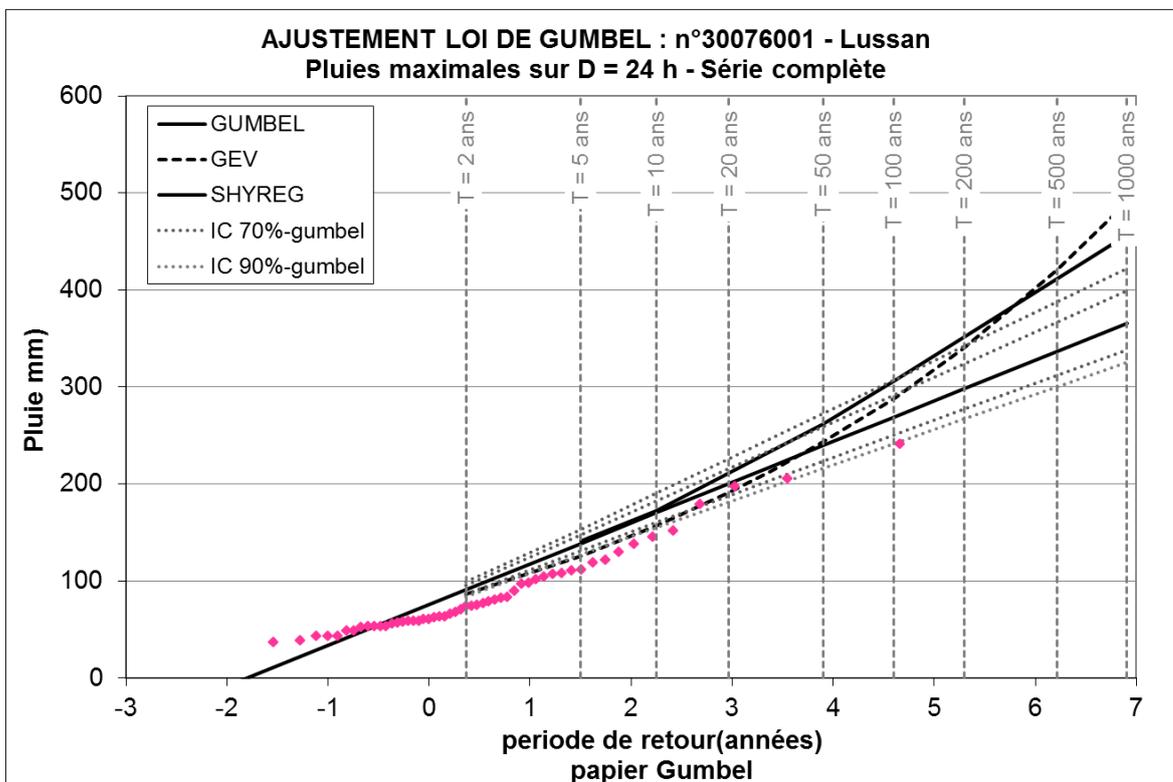
PLUVIOMETRIE PAR STATION - AJUSTEMENTS STATISTIQUES

TOUTES LOIS

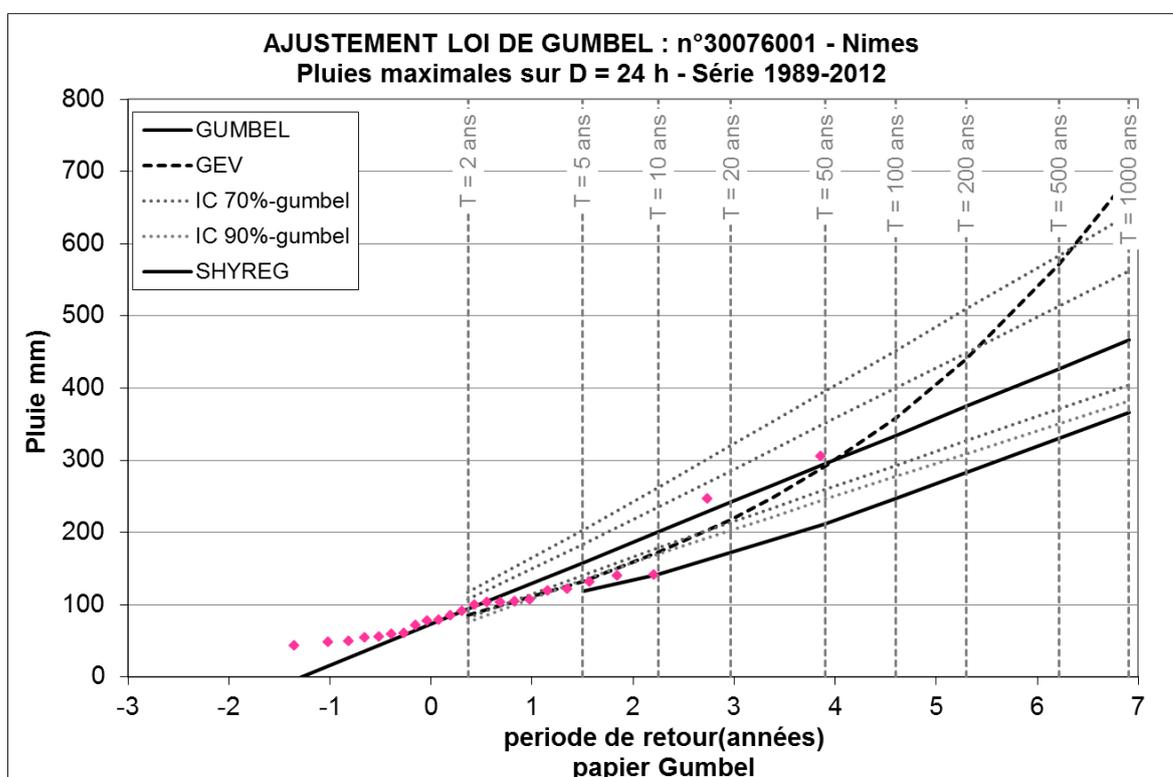
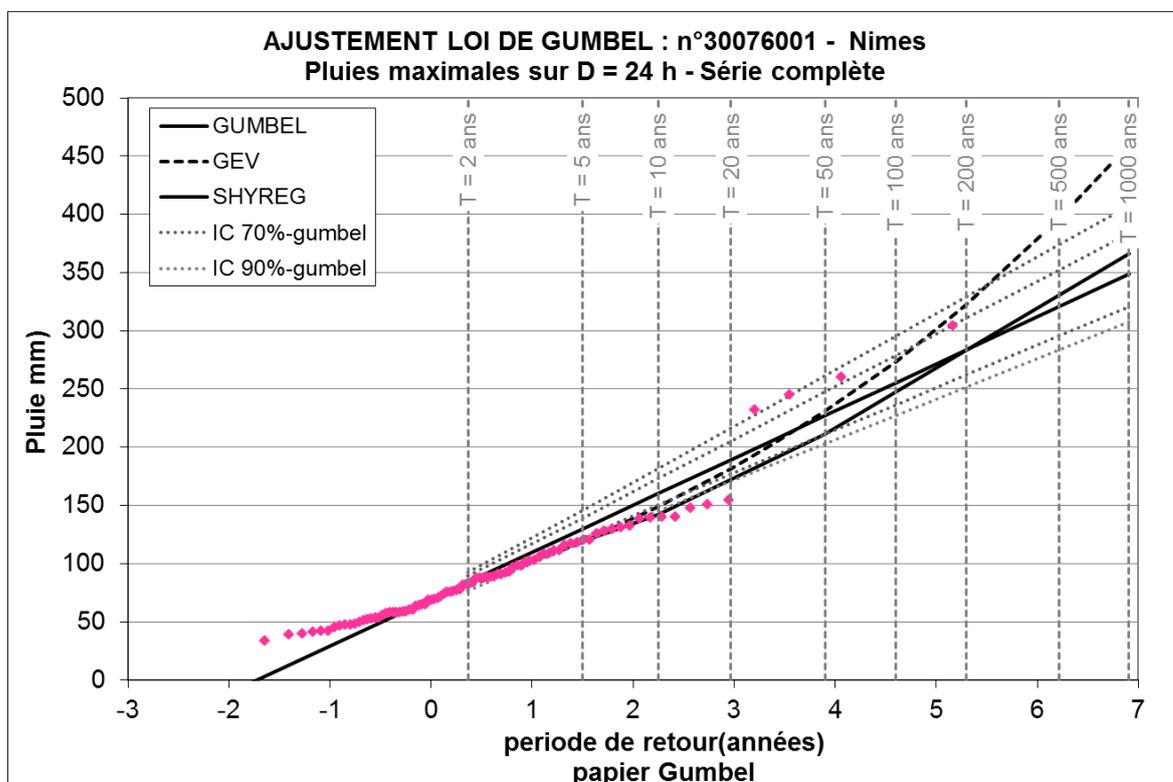
Station de Cavillargues



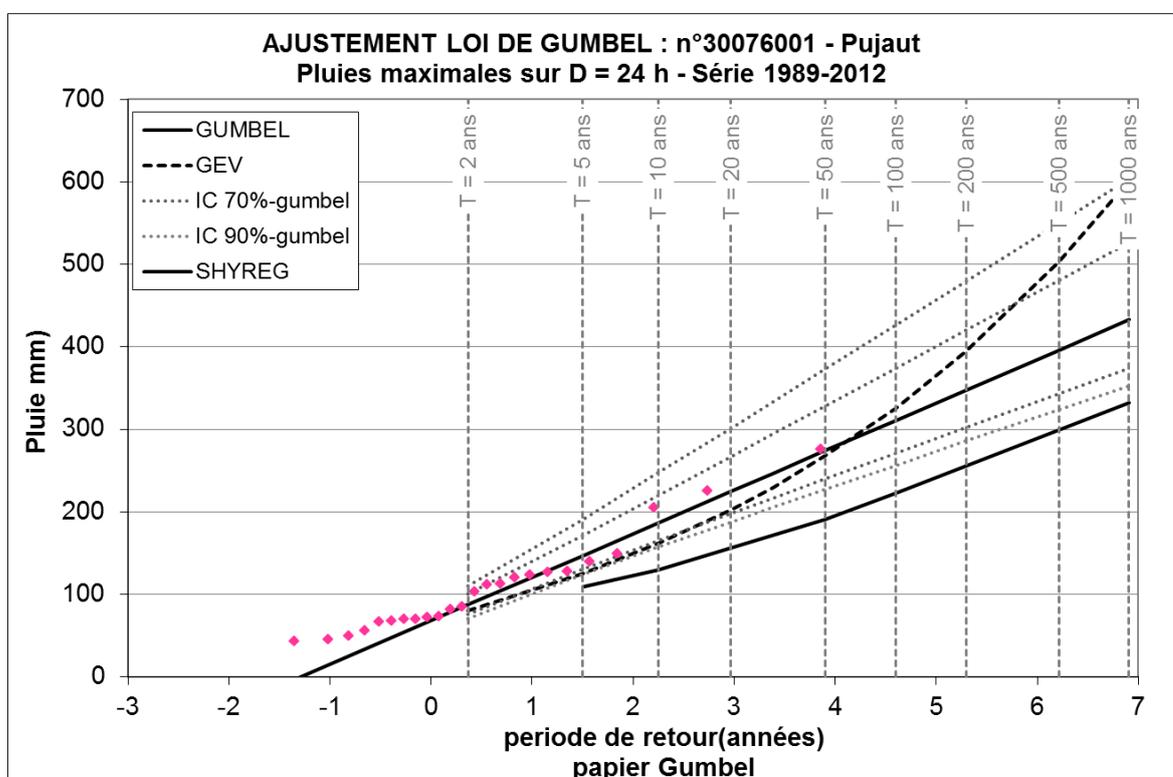
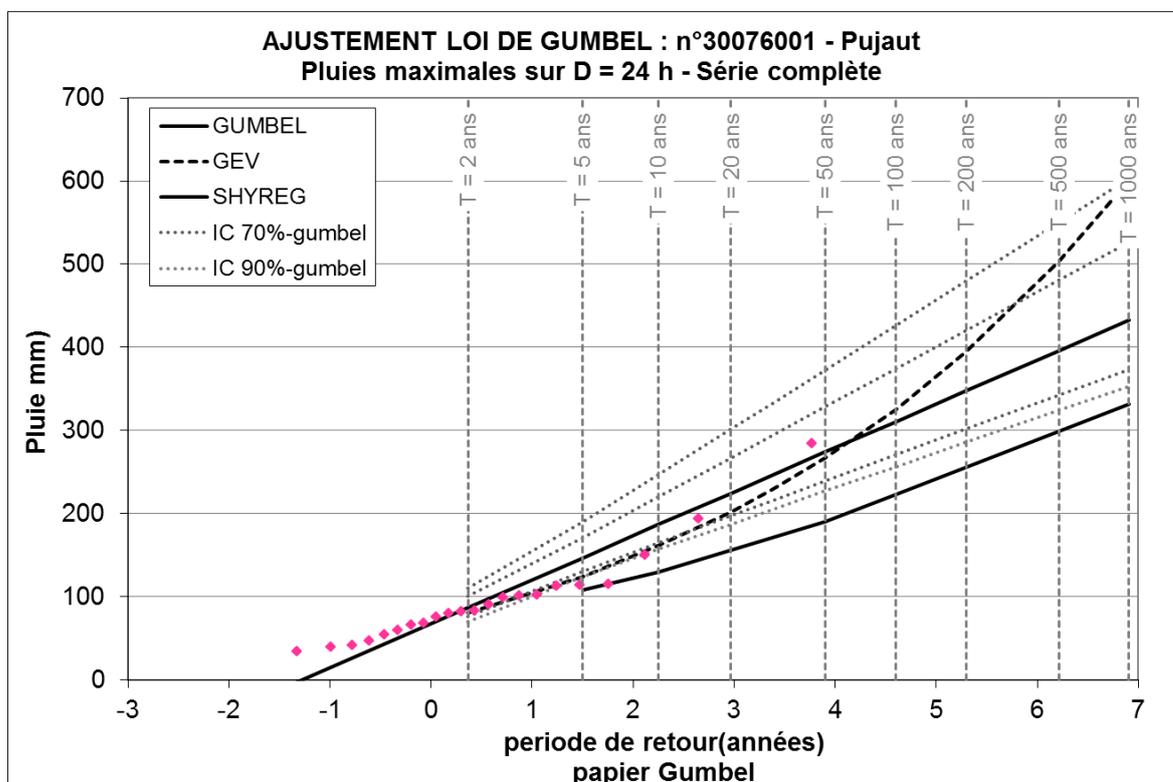
Station de Lussan



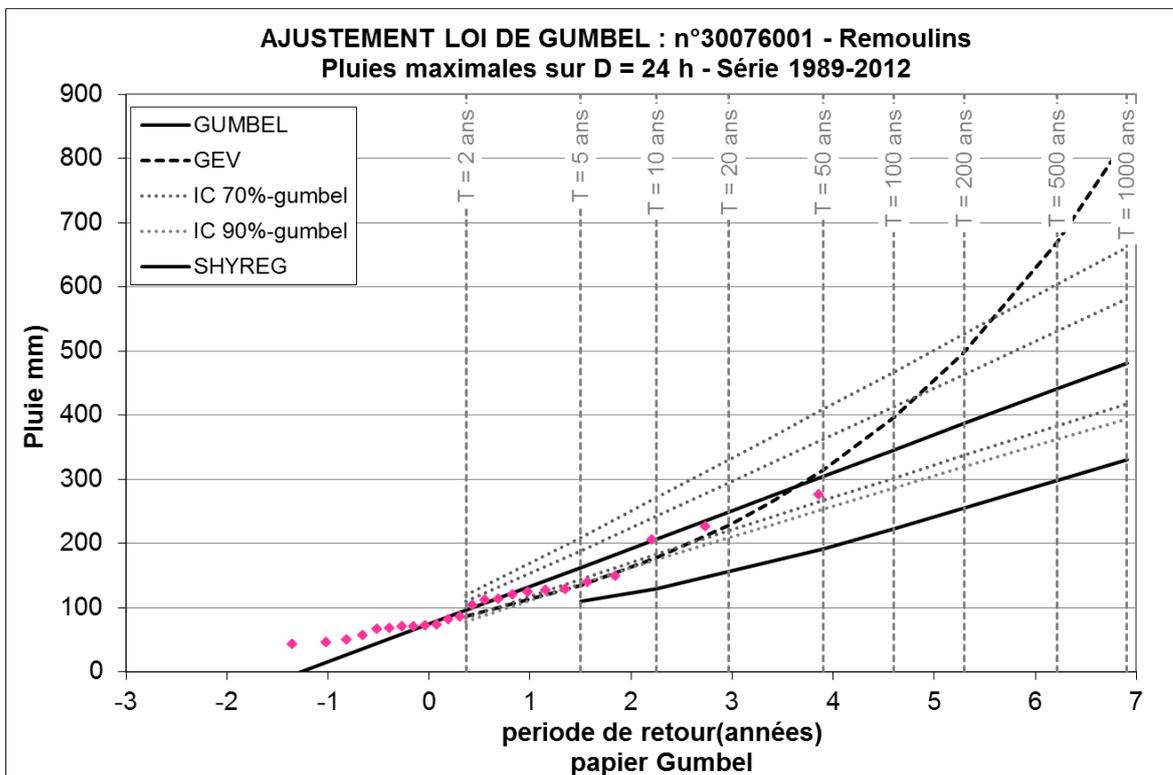
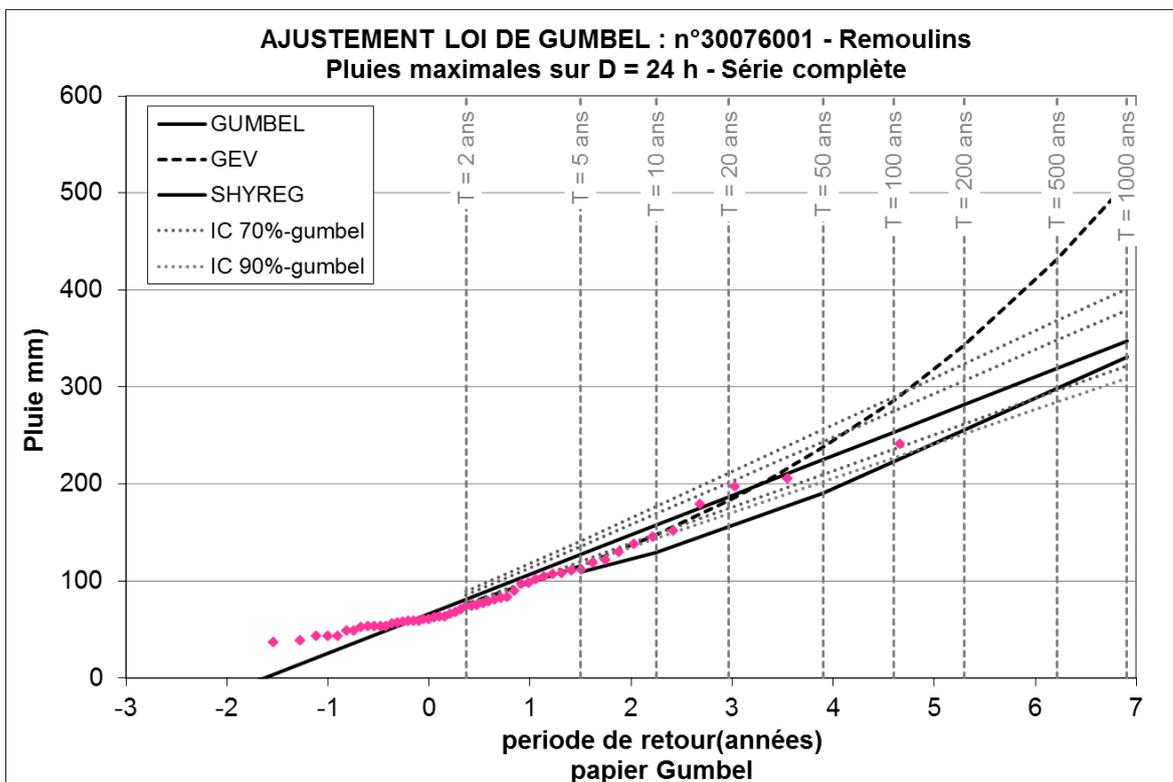
Station de Nîmes



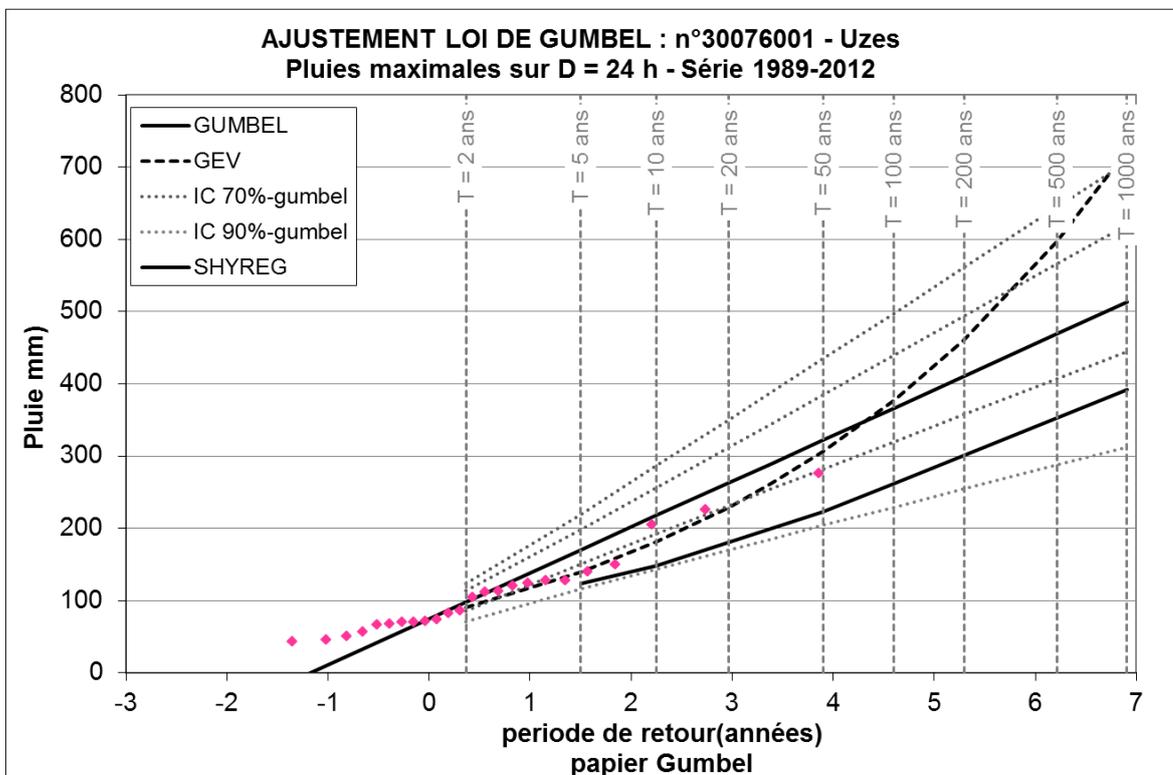
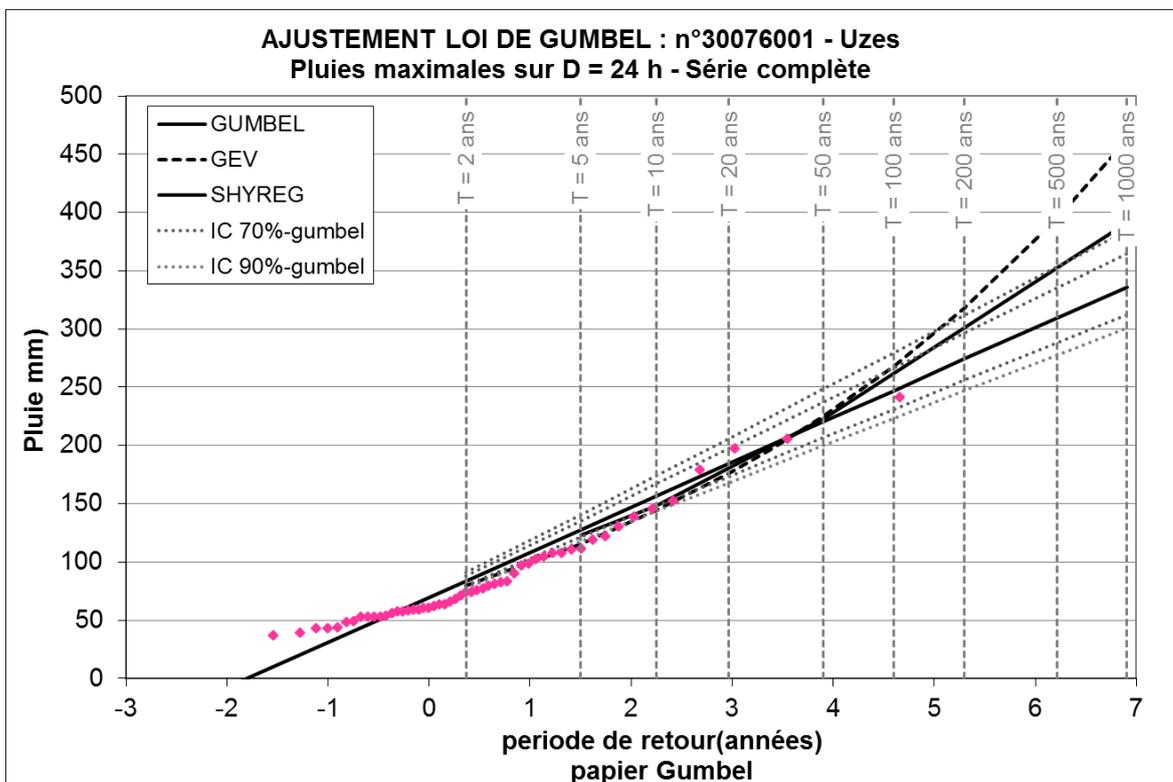
Station de Pujaut



Station de Remoulins



Station d'Uzes



Annexe 1-7
Synthèse

Période 1 – 1961-2012

INSEE	Nom	LambX	LambY	Altitude	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)	Gumbel	GEV (écart Gumbel)	SHYREG (écart Gumbel)	Gumbel	GEV (écart Gumbel)	SHYREG (écart Gumbel)				
30076001	CAVILLARGUES	774800	1903700	131	141.7	125.9	-11%	122.9	-13%	175.2	160.7	-8%	147.0	-16%	248.8	265.0	6%	219.7	-12%	280.0	323.9	16%	257.5	-8%	382.9	612.2	60%	382.3	0%
30151001 30151003 30151004 30151002	LUSSAN	762400	1907200	258	153.3	126.0	-18%	141.3	-8%	191.1	161.6	-15%	171.9	-10%	274.2	285.2	4%	261.3	-5%	309.4	364.7	18%	306.8	-1%	425.5	834.2	96%	457.0	7%
30334001 30334003	UZES	765800	1890100	105	150.9	131.8	-13%	123.3	-18%	188.1	167.9	-11%	148.1	-21%	269.8	274.9	2%	222.5	-18%	304.4	334.8	10%	261.8	-14%	418.6	624.5	49%	391.7	-6%
30212001 30212002	REMOULINS	778800	1883700	22	143.3	122.7	-14%	109.3	-24%	178.7	159.1	-11%	129.8	-27%	256.5	276.8	8%	190.8	-26%	289.4	347.9	20%	223.3	-23%	398.1	731.6	84%	330.6	-17%
30189001	NIMES (NIMES-COURBESSAC)	766500	1875000	59	139.1	120.8	-13%	118.9	-15%	173.0	153.8	-11%	142.0	-18%	247.6	253.8	2%	211.2	-15%	279.2	310.8	11%	247.3	-11%	383.4	594.2	55%	366.6	-4%

Période 2 – 1989-2012

INSEE	Nom	LambX	LambY	Altitude	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)	Gumbel	GEV (écart Gumbel)	SHYREG (écart Gumbel)	Gumbel	GEV (écart Gumbel)	SHYREG (écart Gumbel)				
30076001	CAVILLARGUES	774800	1903700	131	160.7	141.9	-12%	122.9	-24%	201.6	181.3	-10%	147.0	-27%	291.7	290.6	0%	219.7	-25%	329.8	348.2	6%	257.5	-22%	455.7	603.3	32%	382.3	-16%
30151001 30151003 30151004 30151002	LUSSAN	762400	1907200	258	182.1	139.1	-24%	141.3	-22%	232.5	182.8	-21%	171.9	-26%	343.3	342.8	0%	261.3	-24%	390.1	450.7	16%	306.8	-21%	544.9	1134.8	108%	457.0	-16%
30209002	PUJAUT	794500	1891600	44	147.1	124.8	-15%	108.8	-26%	186.7	161.2	-14%	129.2	-31%	273.9	267.3	-2%	190.3	-31%	310.8	325.8	5%	223.3	-28%	432.6	601.6	39%	332.3	-23%
30334001 30334003	UZES	765800	1890100	105	169.9	139.8	-18%	123.3	-27%	217.5	181.4	-17%	148.1	-32%	322.4	306.3	-5%	222.5	-31%	366.8	377.0	3%	261.8	-29%	513.3	723.2	41%	391.7	-24%
30212001 30212002	REMOULINS	778800	1883700	22	162.8	134.7	-17%	109.3	-33%	207.0	177.6	-14%	129.8	-37%	304.4	314.7	3%	190.8	-37%	345.6	396.8	15%	223.3	-35%	481.6	832.2	73%	330.6	-31%
30189001	NIMES (NIMES-COURBESSAC)	766500	1875000	59	158.2	132.6	-16%	118.9	-25%	201.0	172.1	-14%	142.0	-29%	295.1	291.1	-1%	211.2	-28%	334.9	358.8	7%	247.3	-26%	466.3	692.2	48%	366.6	-21%

ANNEXE 2

METHODOLOGIE DETAILLEE D'ESTIMATION DES DEBITS
DECENNAL ET CENTENNAL DE LA TAVE AVAL

Durée caractéristique de crue

Les temps de concentration et durées caractéristiques de crue sont calculées à partir des relations ci-après. Elles permettent d'évaluer la durée de pluie à retenir pour le calcul des débits de pointe des crues.

- Temps de concentration du bassin versant (T_c) = Moyenne des valeurs calculées par les formules de Ventura, Passini, Kirpich, Giandotti et Turazza.

- Durée caractéristique de crue :

- Formule du Cémagref ($BV < 15\text{km}^2$) :

$$\ln(Dr) = 0.375 \ln(S) + 3.729$$

avec S , surface du bassin versant en km^2

Dr , durée caractéristique de crue (mn)

- Formule de Socose ($BV > 15\text{km}^2$) :

$$D = -0.69 + 0.32 * \log S + 2.2 \sqrt{\frac{Pa}{PJ_{10ans} * Ta}} \text{ avec}$$

\log

avec D , durée caractéristique de crue en heure

S , surface du bassin versant en km^2

P_a , cumul pluviométrique interannuel (mm)

PJ_{10ans} , pluie journalière décennale (mm)

T_a , température moyenne interannuelle ramenée au niveau de l'océan ($^{\circ}\text{C}$)

Surface	173 km^2
Longueur	32.2 km
Pente	0.9 %
Coefficient de ruissellement	0.3
Temps de concentration	7.4 h
durée caractéristique	9.05 h
Pluie décennale journalière PJ_{10ans}	154 mm
Température moyenne interannuelle T_a	14.7 $^{\circ}\text{C}$

Caractéristiques du bassin versant de la Tave

Débit de crue décennale

Le débit de crue décennale est estimé :

- par la méthode **Crupedix** calée sur les débits de crue cévenole (introduction d'un coefficient régional de 1.5) pour un bassin versant de surface supérieure à 10 km².

Avec :

$$Q_{\text{Crupedix}} = R * \left(\frac{P_{10}}{80}\right)^2 * S^{0.8} \quad \text{où :}$$

- R , coefficient régional pris égal à 1.5
- P_{10} , pluie de bassin décennale sur 24 h exprimée en mm.
- S , surface du bassin versant en km².

- par ratio des surfaces de bassin versant en utilisant la formule de Meyer qui permet d'extrapoler le débit connu d'un bassin versant voisin à un bassin versant non jaugé.

$$Q_{BV\text{nonjaugé}} = Q_{BV\text{jaugé}} * \left(\frac{S_{BV\text{nonjaugé}}}{S_{BV\text{jaugé}}}\right)^{0.8}$$

- Par la méthode de **Socose**

La formulation Socose nécessite la prédétermination de la durée caractéristique de crue D (en h).

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

- Débits issus de la base de données **SHYREG**

Synthèse :

METHODES	Débit (m ³ /s)
SOCOSE	152
CRUPEDIX	343
BV JAUGE (Cèze)	238 - 323
SHYREG (DUREE = 12H)	111
Retenu	343

Synthèse des débits décennaux (Tave)

Débit de crue centennale

Le débit centennal est évalué dans un premier temps par la méthode du gradex et comparé ensuite à l'estimation faite par la méthode FBG.

Méthode du gradex

Cette méthode constitue une approche hydro pluviométrique probabiliste du calcul des débits de fréquence de dépassement comprise entre 10^{-2} et 10^{-4} .

Elle s'applique aux bassins versant de quelques km^2 à plusieurs milliers de km^2 .

La méthode prend pour hypothèse qu'au-delà d'une certaine valeur de précipitation (que nous avons supposé correspondre à un événement décennal), la valeur moyenne de la capacité de rétention du bassin tend à devenir constante pour les fortes averses. La fonction de répartition des volumes de crue extrême a donc le même comportement asymptotique que celui de la fonction de répartition des précipitations maximales annuelles.

La loi de probabilité du débit instantané maximal se déduit ensuite à l'aide d'un rapport d'affinité caractéristique de la forme moyenne des hydrogrammes de crue.

$$\text{Formule du Gradex : } Q_{100} = Q_{10} + (u_{100} - u_{10}) * G_r * K_p$$

avec :

- u_T : variable de Gumbel $U_T = -\ln \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right)$,
- T : période de retour en années,
- G_r (m^3/s) : gradex G_r (m^3/s) = G_r (mm) * ($S_{BV} / 3.6 * Dr$)
- K_p : coefficient de pointe

Cette méthode est appliquée en considérant une durée caractéristique de crue de 24h.

Ne disposant d'aucune mesure sur la Tave, l'estimation du coefficient de pointe est réalisée sur la base de l'hydrogramme de crue centennale reconstituée par le modèle pluie-débit (cf. Figure 19). On retient $K_p = 2.95$.

Un gradex de bassin est calculé à partir des gradex déduits des ajustements statistiques réalisés sur les pluies journalières maximales annuelles (cf. §4.3.2a)). Le gradex retenu correspond à la moyenne de tous les gradex calculés.

INSEE	Nom	LambX	LambY	Altitude	Gradex 24h (mm)
30076001	CAVILLARGUES	774800	1903700	131	44.2
30151001 30151003 30151004 30151002	LUSSAN	762400	1907200	258	50.3
				Moyenne	47.3

Gradex des pluies pour une durée de 24 heures

Méthode FBG

Pour les bassins versants de superficie $< 20 \text{ km}^2$, la formule est la suivante :

$$Q_{FBG} = \frac{C * S * I}{3.6}$$

Avec :

- C coefficient de ruissellement estimé par la formule expert à $0.8 \times (1 - P_0/P_J)$,
- P_0 rétention initiale estimée à 53 mm sur le bassin versant et correspondant à la valeur moyenne proposée par les experts pour des terrains limoneux peu pentus (entre 0 et 5%) et occupés à parts égales entre garrigues, pâturages et cultures
- P_J , pluie journalière centennale évaluée à 310mm dans le Gard,
- S, superficie du bassin en km²,
- I, intensité de la pluie centennale en mm/h calculée sur le temps de concentration du bassin versant.

Pour les bassins versants de **20 km²** < superficie < **400 km²**, la formule est la suivante :

$$Q_{FBG} = 30 * S^{0.75}$$

Méthode par ratio des surfaces de bassin versant en utilisant la formule de Meyer

Le tableau ci-dessous synthétise les débits de crue centennale estimés par les trois méthodes présentées précédemment.

METHODES	Débit (m ³ /s)
GRADEX	999
FBG	1430
BV JAUGE (Cèze)	552

Synthèse des débits centennaux (Tave)

ANNEXE 3

FORMULATIONS RETENUES POUR LA MODELISATION PLUIE DEBIT

Transformation pluie brute – pluie nette

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

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

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

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

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

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

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

Ce modèle, 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.
- F0 : 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.

Transformation pluie nette – débit

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

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

Le ruissellement rapide est un ruissellement de surface provoqué par la saturation locale du sol : il mobilise une surface croissante avec le taux moyen de saturation du sol J/J0.

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

Pour traduire ce phénomène on pose :

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

Le coefficient alpha est supposé obéir à une loi de la forme : $\alpha = (J/J_0)^{\beta}$, 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.

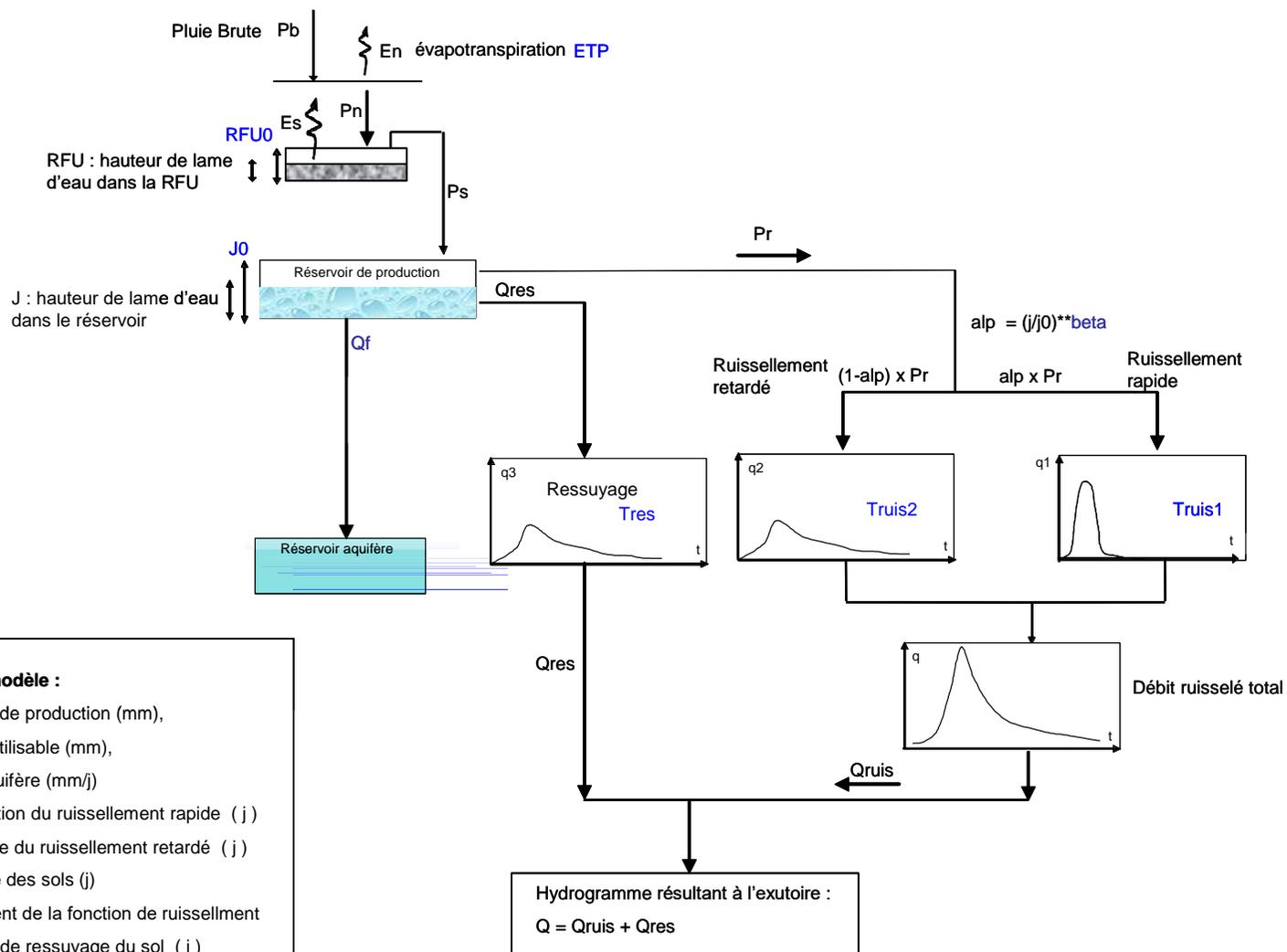
L'hydrogramme unitaire ici retenu est celui proposé dans la méthode SOCOSE.

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^{er} 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 32 : schéma conceptuel du modèle pluie-débit retenu



Paramètres de calage du modèle :

- J_0 : 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)
- T_{res} : temps de ressuyage des sols (j)
- beta : coefficient d'ajustement de la fonction de ruissellement
- T_{res} : temps caractéristique de ressuyage du sol (j)

ANNEXE 4

PRESENTATION DU LOGICIEL HYDRARIV

