
TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS PRESENTATION DU CADRE GENERAL DE L'ETUDE	10
1 INTERVENANTS	11
2 CONTEXTE ET OBJET DE L'ÉTUDE	13
2.1 Contexte et objectifs	13
2.2 Méthodologie	14
2.2.1 Organisation de l'étude	14
2.2.2 Rappel des objectifs de la phase 1	14
2.2.3 Objectifs de la phase 2	15
2.3 Études réalisées sur le bassin versant des Seynes	16
PHASE 2 Etude du risque statistique	17
1 CARACTÉRISTIQUES DES BASSINS VERSANTS MODÉLISÉS	18
1.1 Rappel du contexte hydrographique	18
1.2 Choix des points de calcul et découpage des bassins versants	18
1.3 Caractéristiques physiques des bassins versants	18
1.4 Estimation des temps caractéristiques des bassins versants	21
1.4.1 Temps de concentration	21
1.4.2 Temps de réponse	23
1.4.3 Durées caractéristiques de crue	25
1.4.3.1 Durée de SOCOSE (D Socose)	25
1.4.4 Durée caractéristique de crue proposée par le SPC Grand Delta (D SPC_GD)	26
1.5 Estimation des coefficients de ruissellement	27
1.5.1 Estimation de la capacité de rétention initiale P_0	28
1.5.2 Détermination de PJ_{10} et PJ_{100}	31
1.5.3 Estimations des coefficients de ruissellement décennaux et centennaux	31
1.6 Estimation des Curve Number	32

2 PLUVIOMÉTRIE DE RÉFÉRENCE	35
2.1 Pluviométrie statistique	35
2.1.1 Stations pluviométriques	35
2.1.2 Données pluviométrique de la station de Nîmes-Courbessac	36
2.1.3 Données SHYREG	37
2.2 Pluviométrie de l'événement des 8 et 9 septembre 2002	39
2.3 Choix de la pluviométrie de référence	42
2.4 Construction des pluies de projet	44
3 ESTIMATION DES DÉBITS DE CRUE	46
3.1 Crues historiques	46
3.2 Méthodologie.....	47
3.3 Modélisation pluie-débit.....	48
3.3.1 Présentation du modèle et de la méthode	48
3.3.2 Construction du modèle pluie-débit	49
3.3.2.1 Découpage du bassin versant.....	49
3.3.2.2 Détermination des Curve Number et des Lagtime.....	51
3.3.2.3 Paramétrage du transfert des hydrogrammes dans les biefs	51
3.3.3 Calage sur la crue de septembre 2002	53
3.3.3.1 Données pluviométriques utilisées	53
3.3.3.2 Ajustement des paramètres.....	54
3.3.3.3 Résultats du calage	55
3.3.4 Modélisation des crues statistiques	56
3.4 Estimation des débits statistiques par les méthodes classiques.....	57
3.4.1 Estimation des débits décennaux.....	57
3.4.2 Estimation des débits centennaux.....	59
3.4.3 Estimation des débits trentennaux	61
3.5 Choix des crues de référence.....	62
3.5.1 Débits de pointe	62
3.5.2 Hydrogrammes de crue.....	64
4 CONSTRUCTION DU MODÈLE HYDRAULIQUE	65
4.1 Données topographiques	65
4.2 Architecture du modèle hydraulique	69
4.3 Paramètres de modélisation.....	72
4.3.1 Coefficients de rugosité	72

4.3.2	Débits injectés	72
4.3.3	Conditions aval	76
4.4	Calage du modèle	77
4.4.1	Crue de calage	78
4.4.2	Données de calage disponibles	78
4.4.2.1	Données des Plus Hautes Eaux atteintes en septembre 2002	78
4.4.2.2	Report de la zone inondée à partir des photographies aériennes	83
4.4.3	Résultats du calage	84
4.4.3.1	Calage au droit du village de Labaume	84
4.4.3.2	Calage au droit du village de Serviers	85
4.4.3.3	Comparaison entre l'emprise inondée modélisée et le report cartographique BCEOM.....	86
5	DÉTERMINATION DE L'ALÉA INONDATION POUR LA CRUE DE RÉFÉRENCE ET LES CRUES STATISTIQUES DÉCENNALE ET TRENTENNALE	87
5.1	Crue de référence centennale	87
5.2	Détermination des zones inondables par les crues trentennale et décennale	87
6	MODÉLISATION DES DOMMAGES À L'ÉTAT INITIAL	88
6.1	Principe de la méthode	88
6.2	Zonage et caractérisation des enjeux	88
6.2.1	Description générale	88
6.2.2	Zonage détaillé par secteur homogène d'enjeux	89
6.2.2.1	Secteurs d'habitat	89
6.2.2.2	Surfaces agricoles.....	89
6.2.2.3	Entreprises.....	89
6.2.2.4	Bâtiments publics	89
6.3	Détermination de la fonction d'endommagement	90
6.3.1	Courbes de dommages liées à l'habitat	90
6.3.1.1	Généralités.....	90
6.3.1.2	Limites d'utilisation	90
6.3.2	Courbes de dommages liés aux bâtiments publics	91
6.3.3	Courbes de dommages liées aux entreprises	92
6.3.4	Matrices agricoles.....	93
6.3.4.1	Généralités.....	93
6.3.4.2	Limites d'utilisation	94
6.4	Calcul des dommages	94
6.4.1	Quantification des enjeux concernés	94
6.4.2	Estimation du coût des dommages	95

ORIENTATION DE LA PHASE 4	96
1 Cartographie de l'aléa inondation.....	96
2 Zonage réglementaire lié à l'aléa inondation	97

TABLE DES ILLUSTRATIONS

FIGURES

Figure 1 : Carte des points de calcul et des bassins versants modélisés	19
Figure 2 : Cartes géologique et d'occupation des sols des bassins versants modélisés.	29
Figure 3 : Localisation des stations pluviométriques Météofrance et SPC	35
Figure 4 : Localisation des stations pluviométriques retenues et des points de calcul SHYREG	37
Figure 5 : Cartes de cumul de pluie CALAMAR sur le Gardon sur l'ensemble de l'événement de 9h le 8/9/2002 à 16h le 9/9/2002 (Rhéa, Météofrance).....	39
Figure 6 : Pluviométrie enregistrée lors de l'événement des 8 et 9 septembre 2002	40
Figure 7 : Comparaison des différentes données de pluies disponibles	42
Figure 8 : Hyétoگرامme de projet centennal.....	45
Figure 9 : Découpage du modèle pluie-débit.....	49
Figure 10 : Carte du découpage des bassins versants de calcul.....	50
Figure 11 : Pluviométrie des 8 et 9 septembre 2002 enregistrée à Uzès	53
Figure 12 : Reconstitution de l'hydrogramme de la crue des 8 et 9 septembre 2002 au pont de Serviers par le modèle pluie-débit	55
Figure 13 : Emprise des campagnes topographiques réalisées	66
Figure 14 : Exemple de levé terrestre d'ouvrage et de profils en travers de cours d'eau	67
Figure 15 : Exemple de relevé LIDAR (Hélimap 2012)	68
Figure 16 : Extraction du MNT DDTM30 pour la modélisation de l'extrémité amont du Lisson	69
Figure 17 : Emprise des zones modélisées en 1D et en 2D	70

Figure 18 : Emprise de la zone modélisée	71
Figure 19 : Points d'injection des hydrogrammes dans le modèle hydraulique	73
Figure 20 : Hydrogrammes décennaux	74
Figure 21 : Hydrogrammes trentennaux	74
Figure 22 : Hydrogrammes centennaux	75
Figure 23 : Hydrogrammes de la crue du 9 septembre 2002	75
Figure 24 : Localisation de la condition aval imposée au modèle	77
Figure 25 : Conditions aval du modèle pour les différentes crues simulées.....	77
Figure 26 : PHE nivelée et témoignages des niveaux de la crue de septembre 2002 au droit de Labaume	79
Figure 27 : PHE nivelées (gav) et témoignages des niveaux de la crue de septembre 2002 au droit de Serviers	81
Figure 28 : PHE nivelée au droit du pont de Caillan	82
Figure 29 : Report de la zone inondée par les Seynes lors de la crue de septembre 2002- Source BCEOM.....	83
Figure 30 : Résultats du calage du modèle sur la crue de 2002, au droit de Labaume	84
Figure 31 : Résultats du calage du modèle sur la crue de 2002, au droit de Serviers	85
Figure 32 : Comparaison de la zone modélisée et du report cartographique BCEOM pour l'emprise de la crue de septembre 2002	86

TABLEAUX

Tableau 1 : Liste des données collectées	16
Tableau 2 : Caractéristiques des bassins versants modélisés.....	20
Tableau 3 : Formules d'estimation des temps de concentration.....	22
Tableau 4 : Estimation des temps de concentration et des temps de réponse des bassins versants	24
Tableau 5 : Estimation des durées caractéristiques des crues des bassins versants...	27
Tableau 6 : Valeurs de la rétention initiale P_0 en fonction de l'occupation et de la nature du sol	28
Tableau 7 : Estimation de la capacité de rétention initiale P_0 des bassins versants modélisés	30
Tableau 8 : Pluies journalières décennale et centennale utilisées dans la méthode des experts	31
Tableau 9 : Estimation des coefficients de ruissellement des bassins versants modélisés	31
Tableau 10 : Grille de correspondance utilisée pour déterminer la classe de perméabilité du sol en fonction du substrat géologique	32
Tableau 11 : Grille de détermination du Curve Number « initial » (avant calage) en fonction de l'occupation des sols et des classes de perméabilité des bassins versants	33
Tableau 12 : Estimation des curve number des bassins versants (avant calage)	34
Tableau 13 : Stations pluviométriques au sein du secteur d'étude.....	36
Tableau 14 : Données pluviométriques à la station de Nîmes Courbessac sur la période 1964-2007 et coefficients de Montana.....	36
Tableau 15 : Quantiles de pluie SHYREG à Belvèzet.....	38
Tableau 16 : coefficients de Montana issus des quantiles de pluie Shyreg	38
Tableau 17 : Période de retour des cumuls pluviométriques maximaux de septembre 2002	41
Tableau 18 : Construction des pluies de projet, exemple $T=100$ ans	44
Tableau 19 : Méthodes proposées pour l'estimation des débits de référence.....	47
Tableau 20 : Curve number et lagtime des bassins versants modélisés.....	51

Tableau 21 : Curve number et lagtime des bassins versants modélisés, ajustés après calage sur la crue de septembre 2002	54
Tableau 22 : Débits centennaux estimés par le modèle pluie-débit SCS.....	56
Tableau 23 : Estimation des débits décennaux	58
Tableau 24 : Estimation des débits centennaux	60
Tableau 25 : Méthodes retenues pour l'estimation des débits de référence	62
Tableau 26 : Débits de référence retenus pour les Seynes et affluents.....	63
Tableau 27 : Liste des cours d'eau modélisés.....	70
Tableau 28 : Choix des coefficients de rugosité	72
Tableau 29 : Débits de pointe injectés aux points de calcul du modèle hydraulique	76
Tableau 30 : Types d'établissements pris en compte dans les fonctions d'aménagement	92
Tableau 31 : Coûts des dommages pour différentes occurrences de crues.....	95
Tableau 32 : Principes de prise en compte du risque « débordement de cours d'eau	97
Tableau 33 : Principes de prise en compte du risque « ruissellement pluvial	98

TABLE DES ANNEXES

Annexe 1 Description des méthodes d'estimation des pluies extrêmes : méthodes de Gumbel, du renouvellement et SHYREG (source météo France)

Annexe 2 Description de la méthode SHYPRE (Source Cemagref)

Annexe 3 Méthode Crupedix

Annexe 4 Méthode SOCOSE

Annexe 5 Méthode des experts

Annexe 6 Méthode de Bressand Golossov

Annexe 7 Méthode du gradex

Annexe 8 Méthode du gradex SPC

Annexe 9 Fonction de production de la méthode SCS

Annexe 10 Fonction de production par la méthode de l'hydrogramme unitaire SCS

Annexe 11 Résultats par profils de la modélisation des crues 10 ans, 30 ans et 100 ans et 2002

Annexe 12 Détail des cotes des plus hautes eaux au droit de la mairie et de la cantine scolaire

Annexe 13 Etude détaillée de l'aléa au droit du lotissement de la CARCARIE

Annexe 14 Carte 1 : Modélisation des crues 10 ans, 30 ans et 100 ans et 2002

Annexe 15 Carte 2 : Aléa inondation pour la crue centennale

Annexe 16 Carte 3 : Synthèse de l'aléa

Annexe 17 Carte 4 : Proposition de règlement

AVANT-PROPOS

**PRESENTATION DU CADRE GENERAL DE
L'ETUDE**

1

INTERVENANTS

Le commanditaire de l'étude est la **COMMUNE DE SERVIERS ET LABAUME**

Mairie

Route d'Alès

30700 Serviers et Labaume

Tél : 04 66 22 16 53

Fax : 04 66 22 22 90



Serviers et Labaume

L'étude est pilotée par le **CONSEIL GENERAL DU GARD**

Direction de l'Eau, Environnement et Aménagement Rural

Hôtel du Département

Rue Guillemette

30044 Nîmes Cedex 9

Tél. : 04 66 76 52 16



Les auteurs de l'étude sont les bureaux :

SAFEGE AIX-EN-PROVENCE

30, avenue Malacrida

13100 Aix-en-Provence

Tél. : 04.42.93.65.20 • Fax : 04.42.93.65.15



CONTEXTE ET OBJET DE L'ÉTUDE

2.1 Contexte et objectifs

La commune de Serviers et Labaume est en cours d'élaboration de son Plan Local d'Urbanisme (PLU), en coordination avec le SCOT (Schéma de Cohérence Territoriale) Uzège Pont du Gard, les services de l'État et la Communauté de Communes de l'Uzège.

C'est dans ce cadre que **la commune de Serviers et Labaume est dans l'obligation d'intégrer dans son PLU la prise en compte des risques d'inondation**, qu'il s'agisse des débordements de cours d'eau, du ruissellement pluvial, ou de l'érosion de berges.

La Circulaire du 21 janvier 2004 relative à la maîtrise de l'urbanisme et l'adaptation des constructions en zone inondable stipule en effet que « *Les PLU doivent comprendre, dans leur rapport de présentation, une analyse des risques qui doit être prise en compte dans la délimitation du zonage et dans la rédaction du règlement et des orientations d'aménagement. L'article R. 123-11 du code de l'urbanisme permet de délimiter dans le PLU des secteurs dans lesquels les constructions sont interdites ou soumises à des règles particulières. (...).* »

Au dossier départemental des risques majeurs (D.D.R.M.), la commune est classée parmi les communes soumises au risque d'inondation.

Huit arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle relatifs au risque inondation ont ainsi été recensés sur la commune. Ils concernent les évènements du 12/10/1990, du 30/07/1991, du 22/09/1993, du 19/10/1994, du 06/10/1997, du 27/05/1998, du 08/09/2002 et du 08/09/2005.

2.2 Méthodologie

2.2.1 Organisation de l'étude

Le zonage du risque d'inondation est réalisé par croisement des cartes d'aléas inondation et d'enjeux.

Il a pour objectif la définition de zones d'aménagements auxquelles sont associées des prescriptions urbanistiques destinées à être intégrées dans le Plan Local d'Urbanisme. Des mesures de prévention et/ou de réduction du risque pourront le cas échéant l'accompagner.

La prestation est découpée en quatre phases dont l'enchaînement chronologique est le suivant :

- ✓ Phase I : **Étude du risque historique**,
- ✓ Phase II : **Étude du risque statistique**,
- ✓ Phase III : **Étude de mesures de réduction du risque** (réduction de l'aléa et / ou de la vulnérabilité),
- ✓ Phase IV : **Élaboration du zonage**.

Le présent rapport correspond à la réalisation de la phase 2 de l'étude.

2.2.2 Rappel des objectifs de la phase 1

La première phase de l'étude a fait l'objet d'un rapport dont la version définitive a été remise en mars 2012. Les objectifs généraux de cette première phase étaient les suivants :

- ✓ La **caractérisation du contexte hydrographique et urbanistique** et de son évolution depuis trente ans,
- ✓ La **caractérisation des évènements survenus** et de leur perception par la population,
- ✓ La **caractérisation de l'aléa au sens « historique et hydrogéomorphologique »** et sa représentation cartographique,
- ✓ **L'identification des principaux enjeux et facteurs de vulnérabilité** situés en zones inondables.

2.2.3 Objectifs de la phase 2

La définition de l'aléa inondation par approche hydrogéomorphologique reste essentiellement qualitative. Certaines limites d'aléas restent par ailleurs relativement imprécises eu égard aux zones d'enjeux qu'elles englobent.

Compte tenu des enjeux observés en centre ville, il a été jugé pertinent de préciser l'aléa inondation sur les tronçons de cours d'eau traversant ces secteurs urbanisés.

Ceci passe par la réalisation d'une modélisation hydraulique permettant de quantifier l'aléa vis-à-vis de la définition de la crue de référence et de son emprise ainsi que de la détermination des paramètres de hauteur de submersion.

L'aléa inondation sera défini pour des pluies d'occurrence centennale ainsi que pour la crue historique de 2002. A titre d'information, l'aléa sera également défini pour des événements d'occurrence décennale et trentennale.

2.3 Études réalisées sur le bassin versant des Seynes

Les principales références bibliographiques ayant servi à élaborer ce document sont les suivantes :

Tableau 1 : Liste des données collectées

Nom du document	Source / Maitre d'ouvrage	Auteur	Date
Analyse hydrologique des crues du 8 et 9 septembre 2002 dans le Gard	Ministère de l'Écologie et du Développement Durable	CEREVE	Juillet 2003
Analyse de l'épisode pluvieux du 8 et 9 septembre 2002	Hydrosciences Montpellier	Luc NEPPEL	Juin 2003
Inventaire cartographique des dégâts de crue du Gard et du Vaucluse des 8 et 9 septembre 2002, bassin versant des Gardons	DIREN Languedoc Roussillon	BCEOM	Juin 2003
Atlas des zones inondables du bassin versant des Gardons, méthode hydrogéomorphologique	DIREN Languedoc Roussillon	Carex Environnement	Févr 2003
Hydrologie du bassin versant des Gardons	SMAGE des Gardons	ISL	Aout 2005
Prédimensionnement et hiérarchisation des sites de stockage des Gardons	SMAGE des Gardons	ISL	2005
Atlas des Zones Inondables	DREAL LR	DREAL LR	2010
Zonage du risque inondation sur la commune d'Arpaillargues et Aureilhac	Commune d'Arpaillargues et Aureilhac	SAFEGE	2011
Doctrine Plan Local d'Urbanisme et Risque Inondation	Conseil Général du Gard, Région Languedoc Roussillon, DISE du Gard	Groupe d'échange Risque inondation	Janv 2012

PHASE 2

ETUDE DU RISQUE STATISTIQUE

1

CARACTÉRISTIQUES DES BASSINS VERSANTS MODÉLISÉS

1.1 Rappel du contexte hydrographique

Une description détaillée du contexte hydrographique dans lequel s'insère la commune de Serviers et Labaume a été réalisée en phase 1 de l'étude de zonage.

Voir Phase 1 - chapitre 4 : Systèmes hydrologiques

1.2 Choix des points de calcul et découpage des bassins versants

Les points de calcul des débits de référence ont été choisis :

- sur les cours d'eau traversant des zones à enjeux au sein du territoire communal : Seynes, Lisson, ruisseau du Château, valat de Guye, Queyrol ;
- aux autres points de confluence hydrologique : ravin de l'Arias, ruisseau des Vignasses, ruisseau d'Arrèze
- aux points de calage éventuel sur la crue de 2002 : ponts de Labaume et de Serviers.

Pour rappel, le Bourdic n'est pas inclus dans l'étude du risque statistique.

La carte en page suivante présente l'ensemble des points de calcul et le découpage des bassins versants qui en découle.

1.3 Caractéristiques physiques des bassins versants

Les caractéristiques des bassins versants modélisés sont présentées dans les cartes et le tableau en pages suivantes :

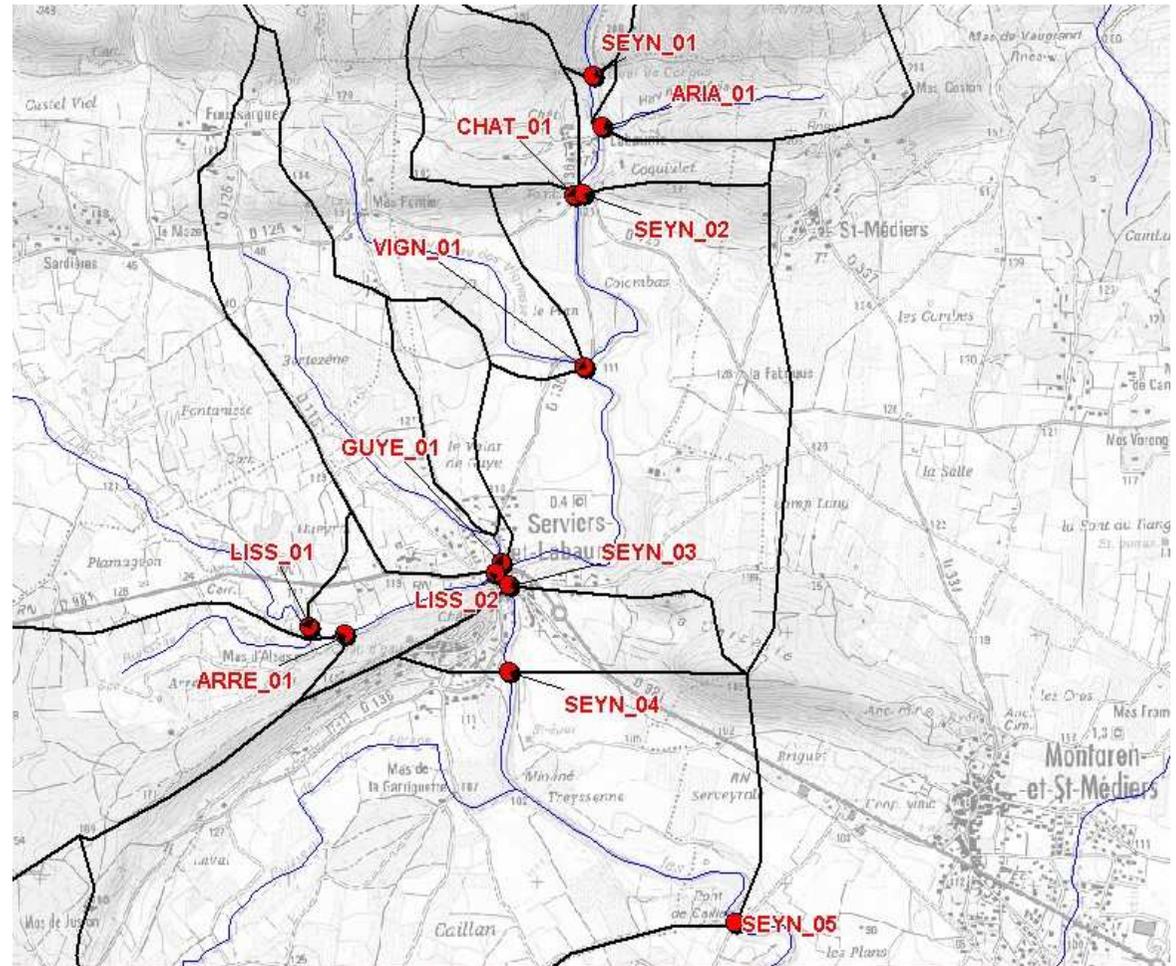
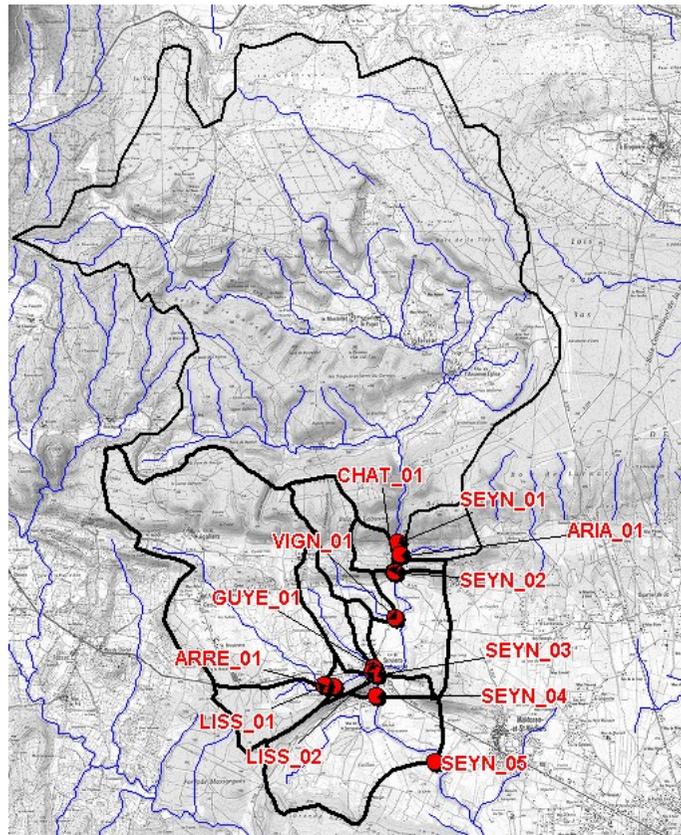


Figure 1 : Carte des points de calcul et des bassins versants modélisés

Tableau 2 : Caractéristiques des bassins versants modélisés

Num Mapinfo	Localisation du point de calcul	Superficie (km ²)	Périmètre (m)	Longueur du chemin hydraulique (m)	Point haut (mNGF)	Point bas (mNGF)	Pente des versants (m/m)	Pente moyenne du chemin hydraulique (°/oo)
BV_SEYN_Labaume	Les Seynes au pont de Labaume	39.37	34 519	9 970	316	120	0.109	19.7
BV_SEYNES	Seynes, amont confluence Lisson	43.66	37 685	12 120	316	110	0.130	17.0
BV_SEYN_Serviers	Les Seynes au vieux pont de Serviers	53.09	40 452	12 600	316	95	0.140	17.5
BV_LISON	Lisson; confluence Seynes	9.33	16 153	5 800	259	110	0.125	25.7
BV_ARIA_01	Ravin de l'Arias	0.82	3 661	1 250	214	123	0.187	72.8
BV_CHAT_01	Ruisseau du Château	0.43	2 697	1 110	250	123	0.156	114.4
BV_VIGN_01	Vignasses	1.42	6 672	2 700	250	111	0.094	51.5
BV_GUYE_01	Le Valat de Guye	0.91	5 711	2 200	160	111	0.062	22.3
BV_QUEY_01	Queyrol	0.23	2 390	1 000	137	112	0.062	25.0
BV_ARRE_01	Ruisseau d'Arrèze	1.12	4 948	1 560	150	110	0.156	25.6

1.4 Estimation des temps caractéristiques des bassins versants

1.4.1 Temps de concentration

Le temps de concentration correspond à la durée que met la goutte d'eau tombée au point le plus éloigné du bassin versant pour parvenir à l'exutoire où l'on cherche à calculer le débit. La connaissance de ce temps de concentration est nécessaire à l'estimation des débits de pointe par les méthodes déterministes, du type méthode rationnelle et leurs déclinaisons régionales.

Les temps de concentration aux différents points de calcul ont été estimés à partir des caractéristiques des bassins versants et des méthodes présentées dans le tableau ci-dessous. **Y sont notamment reprises les méthodes recommandées par la DISE du Gard et le SPC Grand Delta (concernant l'application de la méthode du Gradex).**

Tableau 3 : Formules d'estimation des temps de concentration

<i>Méthode</i>	<i>Formule</i>	<i>Données d'entrée</i>
Kirpich	$T_c = \frac{0,0195}{60} L^{0,77} P^{-0,385}$	Tc temps de concentration en heures L longueur du plus long cheminement hydraulique en m P pente moyenne sur le plus long cheminement en m/m
Giandotti	$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{H_{\max} - H_{\min}}}$	Tc temps de concentration en heures A surface du bassin versant en km ² L longueur du plus long cheminement hydraulique en km H _{max} – H _{min} dénivelé du bassin versant
Passini	$T_c = 0,108 \cdot \frac{\sqrt[3]{A \cdot L}}{\sqrt{P}}$	Tc temps de concentration en heures A surface du bassin versant en km ² L longueur du plus long cheminement hydraulique en km P pente moyenne sur le plus long cheminement en m/m
Ventura	$T_c = 0,1272 \cdot \sqrt{\frac{A}{P}}$	Tc temps de concentration en heures A surface du bassin versant en km ² P pente moyenne sur le plus long cheminement en m/m
Turazza	$T_c = 0,277 \cdot \sqrt{A}$	A surface du bassin versant en km ²
Lefort	$T_c = 1,8 \cdot L^{0,6} P_a^{-0,33} R_m^{-0,23}$	Tc : temps de concentration en heures : L : longueur du bassin versant en km Pa : pente moyenne des versants en m/m Rm : ruissellement = 0,8 (Pj-P0) en mm Pj : pluie journalière décennale (mm) P0 : rétention initiale= seuil de ruissellement (mm)
BRESSAND GOLOSSOV	$T_c = \frac{1000 \cdot L}{\frac{V}{3600}}$ Si P<1% : V= 1 Si 1%<P<10%, V= 1+ (P-1)/9 Si P>10% : V= 2	Tc temps de concentration en heures L longueur du plus long cheminement hydraulique en km V vitesse moyenne des écoulements en m/s
Modèle de l'onde cinématique	$T_c = \frac{L^{0,6} K^{0,6} P^{-0,3} i^{-0,4}}{3600}$	Tc temps de concentration en heures L longueur du plus long cheminement hydraulique en m K rugosité superficielle (Strickler) P pente du plus long cheminement hydraulique en m/m i intensité pluviométrique en m/s

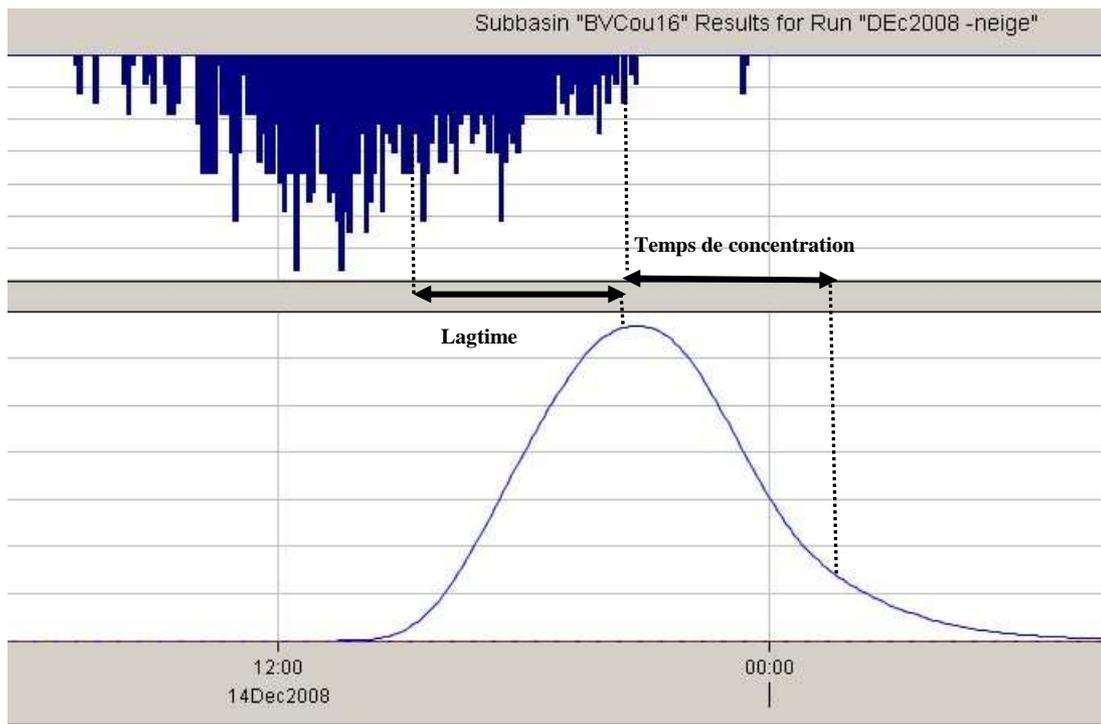
Remarques :

- Le calcul de l'intensité pluviométrique entrant dans la formule de l'onde cinématique a été effectué à partir d'une durée de pluie prise égale à 1 heure, et des quantiles SHYREG 10 ans non abattus, calculé à Belvézet;
- La rugosité superficielle a été prise égale à 20. Elle correspond une valeur usuellement retenue pour le lit mineur.

1.4.2 Temps de réponse

L'estimation du « lagtime » ou temps de réponse à la pluie permet de construire, à partir la pluie nette, l'hydrogramme résultant du ruissellement à l'exutoire de chaque sous-bassin versant.

Pour un bassin versant donné, le lagtime mesure le temps de réponse en débit à la pluie tombée, c'est-à dire la durée séparant le centre de la pluie nette du pic de l'hydrogramme. Empiriquement, on considère que, pour un bassin versant donné, le lagtime peut se déduire du temps de concentration.



La méthode SCS préconise de fixer un lagtime égal à 60% du temps de concentration des bassins versants.

Les résultats des estimations des temps de concentration et des temps de réponse pour l'ensemble des bassins versants modélisés sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 4 : Estimation des temps de concentration et des temps de réponse des bassins versants

Num Mapinfo	Localisation du point de calcul	Temps de concentration											Temps de réponse (avant calage)	
		Superficie (km ²)	Formule Giandotti	Formule Passini	Formule Turazza	Formule Ventura	Formule Kirpich	Formule Bressand Golossov	Formule Experts	Modèle de l'onde cinématique	MOYENNE TC (H)	vitesse moyenne	Lagtime	Lagtime
BV_SEYN_Labaume	Les Seynes au pont de Labaume	39.37	3.58 H	5.64 H	1.74 H	5.69 H	1.77 H	2.50 H	4.41 H	3.06 H	3.55 H	0.78 m/s	2.1 H	128 min
_BV_SEYNES	Seynes, amont confluence Lisson	43.66	3.89 H	6.70 H	1.83 H	6.45 H	2.18 H	3.12 H	4.67 H	3.59 H	4.05 H	0.83 m/s	2.4 H	146 min
BV_SEYN_Serviers	Les Seynes au vieux pont de Serviers	53.09	4.04 H	7.13 H	2.02 H	7.00 H	2.21 H	3.23 H	4.65 H	3.64 H	4.24 H	0.83 m/s	2.5 H	153 min
_BV_LISON	Lisson; confluence Seynes	9.33	2.14 H	2.55 H	0.85 H	2.42 H	1.05 H	1.37 H	3.01 H	2.04 H	1.93 H	0.83 m/s	1.2 H	69 min
BV_ARIA_01	Ravin de l'Arias	0.82	0.72 H	0.40 H	0.25 H	0.43 H	0.22 H	0.20 H	1.07 H	0.59 H	0.49 H	0.72 m/s	0.3 H	17 min
BV_CHAT_01	Ruisseau du Château	0.43	0.48 H	0.25 H	0.18 H	0.25 H	0.17 H	0.15 H	1.05 H	0.48 H	0.38 H	0.82 m/s	0.2 H	14 min
BV_VIGN_01	Vignasses	1.42	0.93 H	0.75 H	0.33 H	0.67 H	0.45 H	0.51 H	2.11 H	1.05 H	0.85 H	0.88 m/s	0.5 H	31 min
BV_GUYE_01	Le Valat de Guye	0.91	1.27 H	0.91 H	0.26 H	0.81 H	0.53 H	0.54 H	2.08 H	1.19 H	0.95 H	0.64 m/s	0.6 H	34 min
BV_QUEY_01	Queyrol	0.23	0.85 H	0.42 H	0.13 H	0.39 H	0.27 H	0.24 H	1.29 H	0.72 H	0.54 H	0.52 m/s	0.3 H	19 min
BV_ARRE_01	Ruisseau d'Arrèze	1.12	1.30 H	0.81 H	0.29 H	0.84 H	0.38 H	0.37 H	1.27 H	0.93 H	0.77 H	0.56 m/s	0.5 H	28 min

On observe une dispersion assez grande des résultats, avec un facteur de plus de 2,5 entre les valeurs extrêmes. Le choix du temps de concentration sera par la suite adapté à chaque méthode mise en œuvre pour l'estimation des débits de pointe.

La valeur du temps de concentration retenue pour le calcul du temps de réponse a été prise égale à la moyenne de toutes les estimations. Les vitesses moyennes correspondantes sont comprises entre 0,5 et 0,8 m/s, ce qui semble cohérent au vu des pentes et de la configuration des bassins versants étudiés

1.4.3 Durées caractéristiques de crue.

1.4.3.1 Durée de SOCOSE (D Socose)

La durée de SOCOSE (D) est une estimation de la durée d'étalement d'une crue, soit la durée pendant laquelle le débit du cours d'eau est supérieur à la moitié de son débit de pointe.

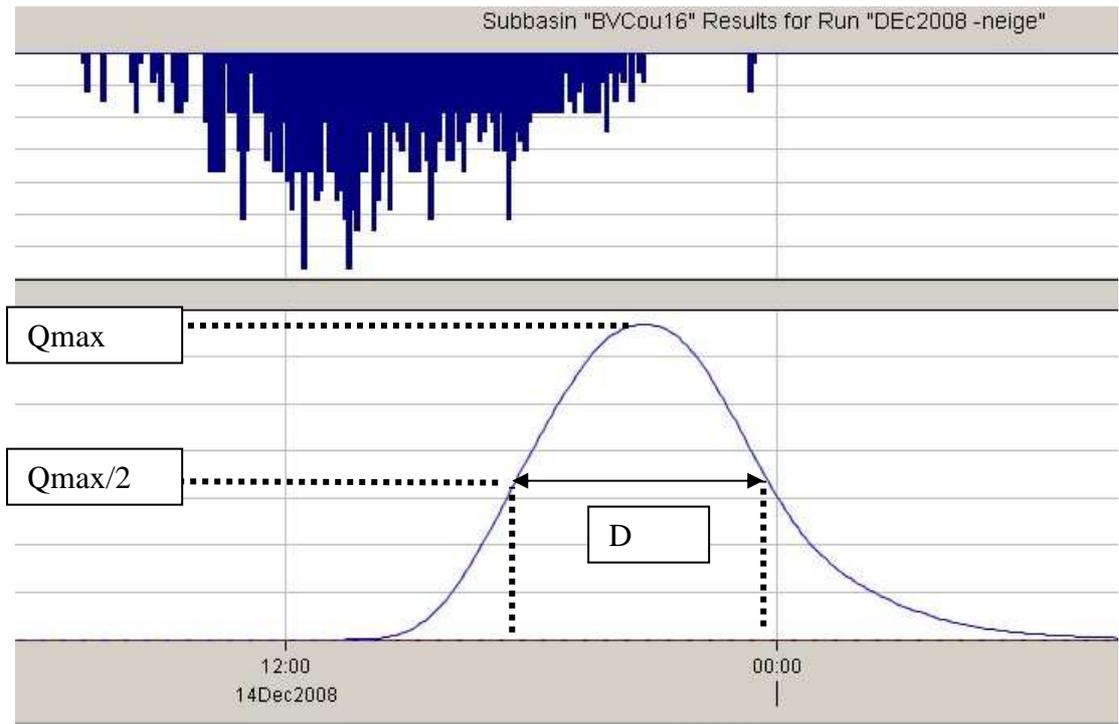
La connaissance de cette durée D est nécessaire à l'utilisation de la méthode du Gradex, qui permet d'estimer le débit de pointe 100 ans.

La durée D se calcule comme suit :

$$\ln (D) = -0,69 + 0,32 \ln (S) + 2,2 \sqrt{(Pa/(P_{10} \times Ta))}$$

Avec :

- S = superficie du bassin versant en km²,
- Pa = précipitation moyenne annuelle = 744 mm
- P₁₀= précipitation journalière décennale = 161 mm (valeur SHYREG 10 ans à Belvèzet sur 24h, divisée par le coefficient de Weiss de 1,14)
- Ta = température moyenne annuelle au niveau de la mer = 14,5 °C



1.4.4 Durée caractéristique de crue proposée par le SPC Grand Delta (D SPC_GD)

Le Service de Prévision des Crues Grand Delta (SPC) propose l'utilisation d'une autre formule d'estimation de la durée caractéristique de crue, ayant reproduit assez fidèlement la dynamique d'écoulement rapide de surface dans les modèles pluie-débit de bassins versants gardois.

La formule proposée est la suivante :

$$D_r = 2.T_c = 2 \cdot \left(\frac{1.5}{60} \cdot \frac{L^{0.75}}{P + 0.08} \right)$$

Avec T_c temps de concentration en heures

L longueur du plus long cheminement hydraulique en km

P pente moyenne sur le plus long cheminement en m/m

Les résultats des estimations des durées caractéristiques de crue sont présentés pour l'ensemble des bassins versants modélisés dans le tableau suivant :

Tableau 5 : Estimation des durées caractéristiques des crues des bassins versants

Num Mapinfo	Localisation du point de calcul	Superficie (km ²)	D Socose (h)	D SPC_GD (h)
BV_SEYN_Labaume	Les Seynes au pont de Labaume	39.37	5.6	2.8
_BV_SEYNES	Seynes, amont confluence Lisson	43.66	5.8	3.3
BV_SEYN_Serviers	Les Seynes au vieux pont de Serviers	53.09	6.2	3.4
_BV_LISON	Lisson; confluence Seynes	9.33	3.5	1.8
BV_ARIA_01	Ravin de l'Arias	0.82	1.6	0.4
BV_CHAT_01	Ruisseau du Château	0.43	1.3	0.3
BV_VIGN_01	Vignasses	1.42	1.9	0.8
BV_GUYE_01	Le Valat de Guye	0.91	1.7	0.9
BV_QUEY_01	Queyrol	0.23	1.1	0.5
BV_ARRE_01	Ruisseau d'Arrèze	1.12	1.8	0.7

Les durées caractéristiques estimées par la méthode du SPC sont nettement inférieures aux durées théoriques de Socose.

Dans la suite de l'étude, l'utilisation de ces durées caractéristiques sera adaptée aux préconisations propres à chaque méthode d'estimations des débits.

1.5 Estimation des coefficients de ruissellement

Le coefficient de ruissellement des bassins versants est nécessaire à l'estimation des débits de pointe par les méthodes déterministes (méthode rationnelle et dérivées).

Le coefficient de ruissellement des bassins a été calculé selon la méthode des experts :

$$C(T=10 \text{ ans}) = 0,6 * (1 - P_o / P_j10)$$

$$C(T=100 \text{ ans}) = 0,8 * (1 - P_o / P_j100)$$

Avec :

- Pj10 : pluie journalière de période de retour 10 ans. Nous avons retenu pour cette valeur la pluie Pj10 = 161 mm (données de pluie SHYREG sur la commune de Belvèzet divisée par le coefficient de Weiss)
- Pj100 : pluie journalière de période de retour 100 ans. Nous avons retenu pour cette valeur la pluie Pj100 = 297 mm (donnée de pluie SHYREG sur la commune de Belvèzet divisée par le coefficient de Weiss).
- Po = rétention initiale

1.5.1 Estimation de la capacité de rétention initiale P₀

Le croisement des paramètres d'occupation du sol et de nature du substrat permet de déterminer la capacité de rétention initiale P₀ de chaque sous bassin versant. P₀ est tabulé et varie entre 0 et 90 selon la nomenclature suivante :

Tableau 6 : Valeurs de la rétention initiale P₀ en fonction de l'occupation et de la nature du sol

Couverture végétale	Morphologie	Pente %	Terrain fortement perméable	Terrain perméable	Terrain peu perméable
Bois	presque plat	0-5	90	65	50
	ondulé	5-10	75	55	35
	montagneux	10-30	60	45	25
Pâturage	presque plat	0-5	85	60	50
	ondulé	5-10	80	50	30
	montagneux	10-30	70	40	25
Culture	presque plat	0-5	65	35	25
	ondulé	5-10	50	25	10
	montagneux	10-30	35	10	0

La carte d'occupation du sol a été présentée dans le rapport de phase 1. La caractérisation du sol, nécessaire à l'application de la méthode des experts, est déterminée par l'analyse de la nature du substrat. Celle-ci influe en effet sur la perméabilité et la capacité de rétention initiale des sols. Ce paramètre a été appréhendé par l'analyse de la carte géologique élaborée par le BRGM.

Les caractéristiques géologiques et d'occupation du sol des bassins versants sont présentées sur la carte ci-dessous. Les résultats de l'estimation de la capacité de rétention, initiale sont présentés à la suite.

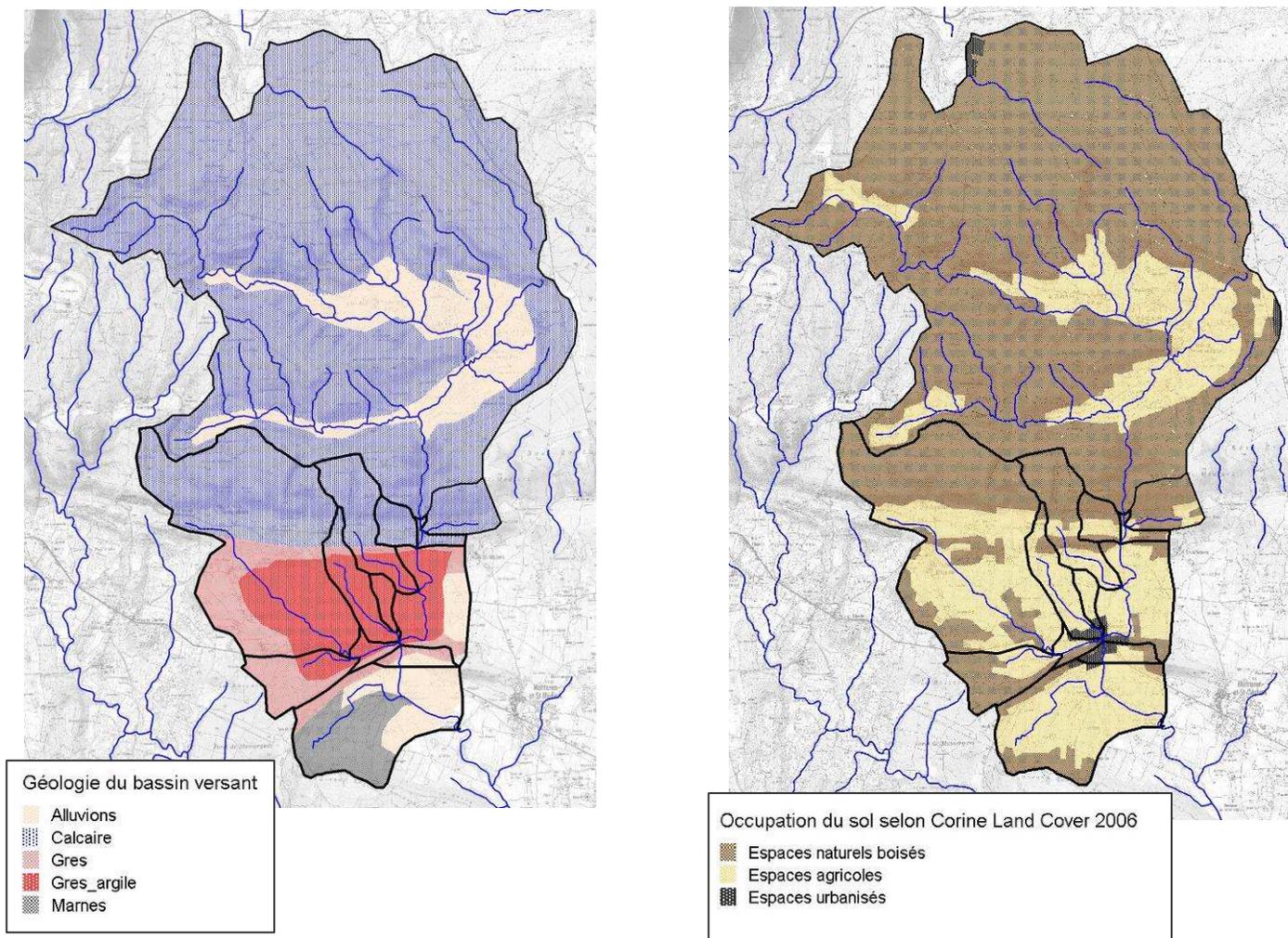


Figure 2 : Cartes géologique et d'occupation des sols des bassins versants modélisés

Tableau 7 : Estimation de la capacité de rétention initiale P0 des bassins versants modélisés

Nom-ss_bv	Localisation du point de calcul	Géologie					Occupation du sol		Rétention P0 (mm)
		Alluvions	Calcaire	Grès	Gres_argile	Marnes	Zones agricoles	Zones boisées	
		Imperméable	Perméable en grand	Peu Perméable	Peu Perméable	Imperméable			
BV_SEYN_Labaume	Les Seynes au pont de Labaume	14%	86%	0%	0%	0%	18%	82%	51
_BV_SEYNES	Seynes, amont confluence Lisson	14%	80%	1%	5%	0%	23%	77%	48
BV_SEYN_Serviers	Les Seynes au vieux pont de Serviers	11%	74%	6%	9%	0%	27%	73%	47
_BV_LISON	Lisson; confluence Seynes	0%	45%	27%	27%	0%	43%	57%	39
BV_ARIA_01	Ravin de l'Arias	0%	100%	0%	0%	0%	17%	83%	56
BV_CHAT_01	Ruisseau du Château	0%	100%	0%	0%	0%	36%	64%	51
BV_VIGN_01	Vignasses	0%	69%	6%	25%	0%	33%	67%	46
BV_GUYE_01	Le Valat de Guye	0%	14%	7%	79%	0%	88%	12%	18
BV_QUEY_01	Queyrol	0%	0%	0%	100%	0%	100%	0%	10
BV_ARRE_01	Ruisseau d'Arrèze	0%	0%	71%	29%	0%	30%	70%	34

1.5.2 Détermination de PJ_{10} et PJ_{100}

Ces valeurs, nécessaires à l'utilisation de la méthode des experts, sont issues des données statistiques SHYREG calculées à Belvézet.

La pluie maximale sur 24 heures est divisée par un coefficient de Weiss de 1,14 pour passer à la pluie maximale journalière.

Tableau 8 : Pluies journalières décennale et centennale utilisées dans la méthode des experts

P24_10 SHYREG BELVEZET	183.6 mm
Pj_10 SHYREG BELVEZET	161.05 mm
P24_100 SHYREG BELVEZET	338.6mm
Pj_100 SHYREG BELVEZET	297.02 mm

1.5.3 Estimations des coefficients de ruissellement décennaux et centennaux

Les coefficients de ruissellement déterminés par cette méthode sont présentés ci-dessous.

Tableau 9 : Estimation des coefficients de ruissellement des bassins versants modélisés

	Localisation du point de calcul	C10 experts	C100 experts
BV_SEYN_Labaume	Les Seynes au pont de Labaume	0.41	0.66
_BV_SEYNES	Seynes, amont confluence Lisson	0.42	0.67
BV_SEYN_Serviers	Les Seynes au vieux pont de Serviers	0.43	0.67
_BV_LISON	Lisson; confluence Seynes	0.46	0.70
BV_ARIA_01	Ravin de l'Arias	0.39	0.65
BV_CHAT_01	Ruisseau du Château	0.41	0.66
BV_VIGN_01	Vignasses	0.43	0.68
BV_GUYE_01	Le Valat de Guye	0.53	0.75
BV_QUEY_01	Queyrol	0.56	0.77
BV_ARRE_01	Ruisseau d'Arrèze	0.47	0.71

1.6 Estimation des Curve Number

Dans le cadre de cette étude, au-delà des méthodes classiques, nous avons mis en œuvre un modèle pluie-débit de type SCS, décrit précisément dans la suite de l'étude et en annexe du présent document.

L'étape de production du ruissellement à partir de la pluie brute, par l'application d'une fonction de production, nécessite de caractériser les bassins versants modélisés par leur **Curve Number**. Ce paramètre permet l'estimation de la part ruisselée de la pluie. Il dépend du potentiel de stockage de l'eau des sols. Il est déterminé par les caractéristiques des sols (perméabilité) et de leur état de surface (occupation du sol), calculées par sous bassin versant. La méthode de calcul s'apparente à celle du calcul de la capacité de rétention initiale par la formule des experts.

Le curve number a donc été calculé et spatialisé par sous-bassin versant, par le croisement de :

- L'organisation géologique du bassin versant permettant de qualifier les classes de perméabilité des sols (source carte géologique régionale du BRGM). Les sols sont classés de A (perméable en grand) à D (impermeable), selon grille de correspondance présentée en page suivante.
- L'occupation du sol, déterminé par l'analyse des données satellite de Corine Land Cover 2006

Le croisement de ces informations a permis d'attribuer une valeur initiale de curve number à chaque sous ensemble homogène en fonction de la grille de correspondance élaborée par le SCS, présentée ci-après.

Rappelons pour l'interprétation des données que les valeurs élevées du CN indiquent une forte propension au ruissellement. **Ce curve number initial a ensuite modifié dans l'étape de calage du modèle sur la crue de 2002**, présentée dans la suite de la présente étude.

Tableau 10 : Grille de correspondance utilisée pour déterminer la classe de perméabilité du sol en fonction du substrat géologique

Alluvions	C	Peu perméable
Calcaire	B	Perméable
Grès	C	Peu perméable
Gres_argile	D	Impermeable
Marnes	C	Peu perméable

Tableau 11 : Grille de détermination du Curve Number « initial » (avant calage) en fonction de l'occupation des sols et des classes de perméabilité des bassins versants

CODE	SCS	A	B	C	D
CLC2006 Corine Land Cover 2006					
111 tissu urbain continu	Urban district: commercial and business	89	92	94	95
112 tissu urbain discontinu	Residential districts by average lot size, 1 acre	51	68	79	84
113 Bâti diffus	Residential districts by average lot size, 2 acre	46	65	77	82
121 zones industr. ou comm	Commercial and business	89	92	94	95
122 Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés	Paved parking lots, roofs, driveways, etc.)	98	98	98	98
124 aéroports et aérodromes	Impervious areas (paved parking lots,...)	98	98	98	98
131 extraction de matériaux	Naturel desert landscaping	63	77	85	88
133 Chantiers	Gravel	76	85	89	91
141 Espaces verts urbains	Open space (lawns, parks,...), fair condition grass cover from 50 to 75%	49	69	79	84
142 Equipements sportifs et de loisirs	Open space (lawns, parks,...), poor condition, grass cover from <50 %	68	79	86	89
211 Terres arables hors périmètres d'irrigation	Row crops, straight row, good hydrologic conditions	67	78	85	89
212 Terres arables hors périmètres d'irrigation	Row crops, straight row, good hydrologic conditions	67	78	85	89
221 vignobles	Row crops, contoured and terraced, poor hydrologic conditions	65	73	79	81
222 vergers et petits fruits	Woods - grass combination (orchard), fair hydrologic conditions	43	65	76	82
223 oliveraies	Row crops, contoured and terraced, poor hydrologic conditions	65	73	79	81
231 prairies	Pasture, grassland, good hydrologic conditions	39	61	74	80
241 Cultures annuelles associées aux cultures permanentes	Row crops, Straight row + crop residue cover, poor hydrologic conditions	71	80	87	90
242 Systèmes culturaux et parcellaires complexes	Rotation meadow, contoured, good hydrologic conditions	55	69	78	83
243 Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants	Row crops, Contoured and terraced, good hydrologic conditions	62	71	78	81
311 Forêts de feuillus	Woods, good hydrologic conditions	30	55	70	77
312 Forêts de conifères	Woods, poor hydrologic conditions	45	66	77	83
313 Forêts mélangées	Woods, fair hydrologic conditions	36	60	73	79
321 Pelouses et pâturages naturels	Herbaceous - mixture of grass, weeds and low-growing brush, fair hydrologic conditions	68	77	81	89
322 Landes et broussailles	brush , fair hydrologic conditions	35	56	70	77
323 Végétation sclérophylle	Desert shrub, poor hydrologic conditions	63	77	85	88
324 Forêt et végétation arbustive en mutation	Desert shrub, good hydrologic conditions	49	68	79	84
331 Plages, dunes et sable	Naturel desert landscaping	63	77	85	88
332 Roches nues	Bare soil	77	86	91	94
333 Végétation clairsemée	Desert shrub, poor hydrologic conditions	63	77	85	88
411 Marais intérieurs		100	100	100	100
511 Cours et voies d'eau		100	100	100	100
512 Plans d'eau		100	100	100	100

Les résultats de l'estimation des curve number (avant calage sur la crue de 2002) pour l'ensemble des bassins versants sont présentés ci dessous :

Tableau 12 : Estimation des curve number des bassins versants (avant calage)

	Localisation du point de calcul	Curve number (avant calage)
BV_SEYN_Labaume	Les Seynes au pont de Labaume	65
_BV_SEYNES	Seynes, amont confluence Lisson	67
BV_SEYN_Serviers	Les Seynes au vieux pont de Serviers	67
_BV_LISON	Lisson; confluence Seynes	70
BV_ARIA_01	Ravin de l'Arias	67
BV_CHAT_01	Ruisseau du Château	68
BV_VIGN_01	Vignasses	68
BV_GUYE_01	Le Valat de Guye	82
BV_QUEY_01	Queyrol	87
BV_ARRE_01	Ruisseau d'Arrèze	75

Leurs caractéristiques sont les suivantes :

Tableau 13 : Stations pluviométriques au sein du secteur d'étude

Code station	Nom station	Lieu	Lambert X	Lambert Y	Altitude (mNGF)	Type	Date de mise en service
3010001	CRUVIERS-LASCOU	DISTILLERIE	7496	18908	103	2	sep-2003
30101001	DEAUX	AERODROME	7449	18984	185	2	juil-1988
30151004	LUSSAN	MAS D AZOR	7623	19074	263	4	aug-2007
30166001	MEYNES	MAS-DE-CAUVIN	7761	18757	71	4	aug-1965
30189001	NIMES	NIMES-COURBESSA	7665	18750	59	0	ian-1945
30189002	NIMES	MAS-DE-PONGE	7581	18759	157	4	may-1957
30212002	REMOULINS	DIGUE BAUDRAN	7803	18835	22	3	sep-2002
30224001	LA ROUVIERE	CHEMIN DES VIGN	7530	18830	79	4	ian-1986
30305001	SALINDRES	USINE-PECHINEY	7453	19098	191	2	jun-1954
30334003	UZES	LE GRAND MAS	7658	18901	72	2	ian-2002
30056001	LA BRUGUIERE SPC	LA BRUGUIERE	7663	19034	285		aou-2004
30228001	SAINTE ANASTASIE SPC	RUSSAN	7594	18830	78		aou-2004
RG30083	NER SPC	NER S	7460	18921	91		??

Selon Météofrance, la seule station représentative du site d'étude et disposant d'une chronique assez longue, à un pas de temps horaire, pour l'estimation des pluies centennales est celle de Nîmes-Courbessac, installée depuis 1921 et modernisée en 1947.

La station d'Uzès, qui n'a été équipée pour un enregistrement à pas de temps horaire qu'en 2002, a été écartée. De la même façon, nous n'avons pas retenu la station de Salindres, qui ne dispose pas de données horaires sur des chroniques suffisamment longues pour l'estimation de pluies statistiques centennales.

2.1.2 Données pluviométrique de la station de Nîmes-Courbessac

Nous disposons du traitement statistique effectué par Météo France sur la chronique de Nîmes Courbessac (période 1964-2007), par la méthode statistique GEV (loi généralisée des valeurs extrêmes) :

Tableau 14 : Données pluviométriques à la station de Nîmes Courbessac sur la période 1964-2007 et coefficients de Montana

	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	30 ans	50 ans	100 ans
t (min)	H (mm)						
6	10.1	13.6	15.9	18.1	19.26	20.9	23.1
15	18	23.3	26.5	29.3	30.8	32.6	34.8
30	27.1	37.2	42.8	47.6	50.1	53	56.6
60	36.9	52.1	61.8	70.7	75.7	81.7	89.6
120	45.1	70.2	86.9	102.8	111.55	123.5	138.9
180	51.4	72.5	94.3	120.1	137.4	162.3	202.1
360	63.1	89.1	117.5	152.3	176.5	211.7	270
720	73.3	103.1	132.1	165.9	188.5	220.4	271.1
1440	83.2	116.9	148.4	184.7	208.8	242.7	296
Coefficient de Montana sur la durée 6 min-1h							
durée de retour	a	b					
2 ans	38.46	0.39					
5 ans	53.56	0.38					
10 ans	62.58	0.39					
20 ans	70.51	0.40					
30 ans	74.88	0.41					
50 ans	79.86	0.43					
100 ans	86.19	0.45					

$$i = a.t^{-b} \text{ avec } i = \text{intensité en mm/h ; } t = \text{durée en h}$$

2.1.3 Données SHYREG

SHYREG est une méthode développée par le CEMAGREF pour la régionalisation des quantiles de pluies. Elle est présentée en annexe du document.

Nous disposons dans le cadre de cette étude des quantiles de pluie SHYREG calculées sur un pixel de 1 km² centré à Belvézet, au point de coordonnées X = 7 620 et Y = 19 030 (Lambert II étendu). Les pluies sont données pour différentes durées (de 1h à 72h) pour différentes périodes de retour (de 10 ans à 100 ans)

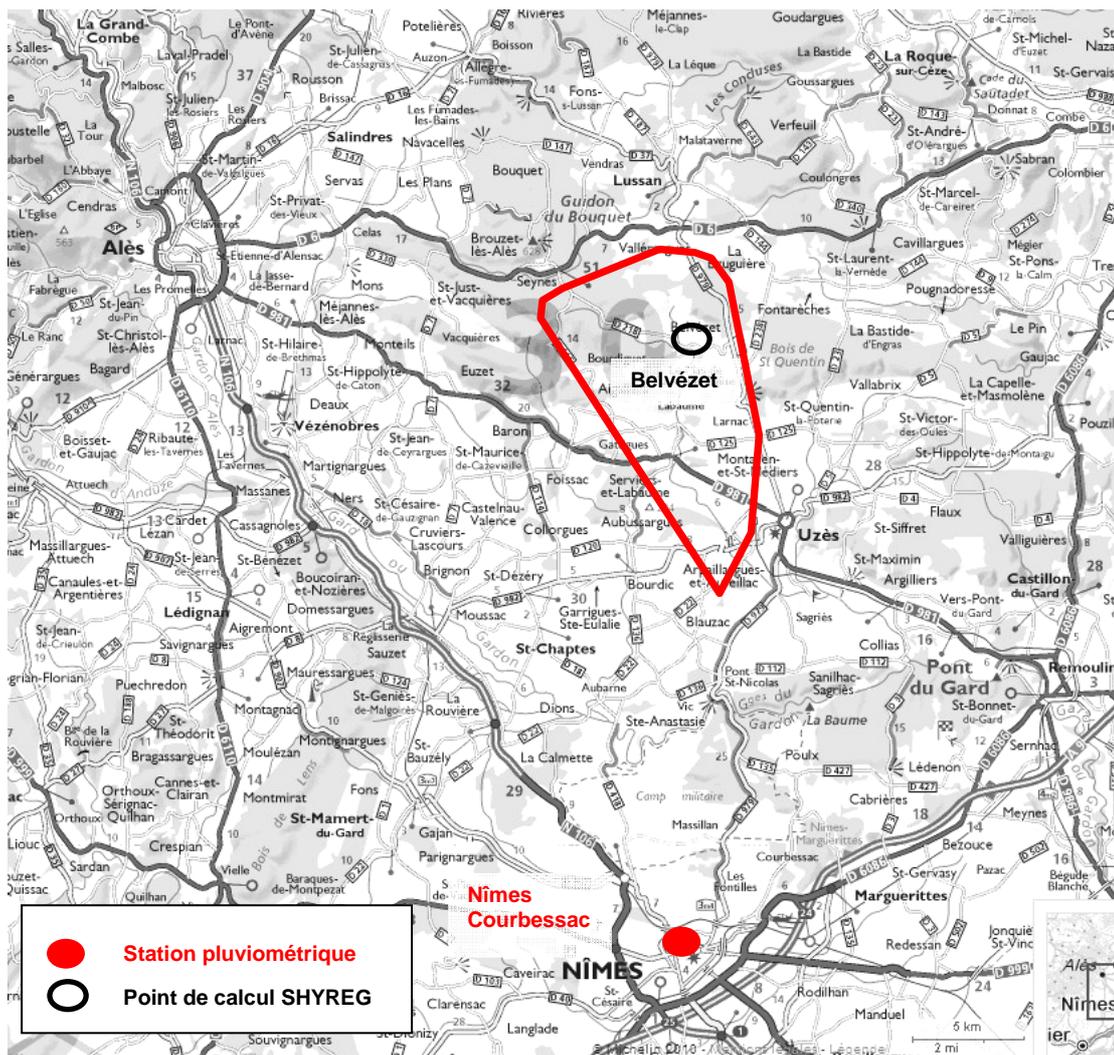


Figure 4 : Localisation des stations pluviométriques retenues et des points de calcul SHYREG

Tableau 15 : Quantiles de pluie SHYREG à Belvèzet

Durées de retour		
Durées de cumul	100 ans	10 ans
1 heure	102.8 mm	61.3 mm
2 heures	119.0 mm	75.6 mm
3 heures	137.6 mm	89.7 mm
4 heures	155.3 mm	100.4 mm
6 heures	193.6 mm	117.2 mm
12 heures	268.8 mm	152.5 mm
24 heures	338.6 mm	183.6 mm
48 heures	382.3 mm	207.0 mm
72 heures	396.2 mm	214.8 mm

Les coefficients de Montana issus des quantiles de pluie Shyreg sont les suivants :

Tableau 16 : coefficients de Montana issus des quantiles de pluie Shyreg

COEFFICIENTS DE MONTANA		
SHYREG BELVEZET		de 1 à 6 h
	t en heures	
<i>durée de retour</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
10 ans	60.26	-0.63
100 ans	97.91	-0.65

$i = a.t^{-b}$ avec i = intensité en mm/h ; t = durée en h

2.2 Pluviométrie de l'événement des 8 et 9 septembre 2002

L'événement des 8 et 9 septembre 2002 a touché un vaste secteur géographique du Vaucluse jusqu'à l'Hérault. La pluie a commencé le 8 vers 10-12 heures et s'est rapidement transformée en événement orageux stationnaire.

L'événement s'est divisé en deux corps d'averse :

- un premier pic très important le 8 dans la soirée,
- un second pic le 9 au matin.

L'image radar de Météo France traitée par le système Calamar permet d'estimer par interpolation la pluie en un endroit donné. Les lames d'eau produites par CALAMAR proviennent d'une double source d'information :

- Les informations radar brutes utilisées par CALAMAR sont issues du radar hydro-météorologique de Nîmes – Manduel exploité par Météofrance,
- Les données pluviographiques utilisées pour calibrer en continu et localement l'information radar proviennent du réseau de télémessure de la DDE30 – SAC.

L'image radar obtenue auprès de Météofrance est présentée ci-dessous.

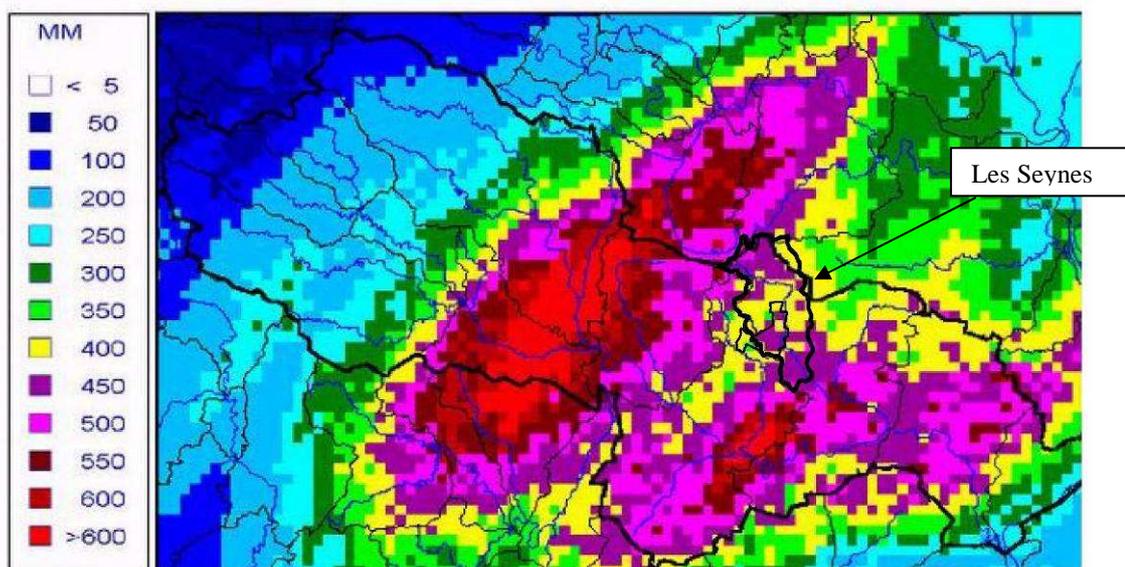


Figure 5 : Cartes de cumul de pluie CALAMAR sur le Gardon sur l'ensemble de l'événement de 9h le 8/9/2002 à 16h le 9/9/2002 (Rhéa, Météofrance)

La précision de l'estimation est liée à la densité du réseau de mesure. La station la plus proche du secteur d'étude est localisée à Uzès, à environ 6 km de Serviers et Labaume, à l'extérieur du bassin versant des Seynes. La station a été installée en janvier 2002 et a pu enregistrer l'épisode pluviométrique exceptionnel survenu les 8

et 9 septembre, qui a touché l'ensemble du département du Gard. Les cumuls enregistrés sont les suivants :

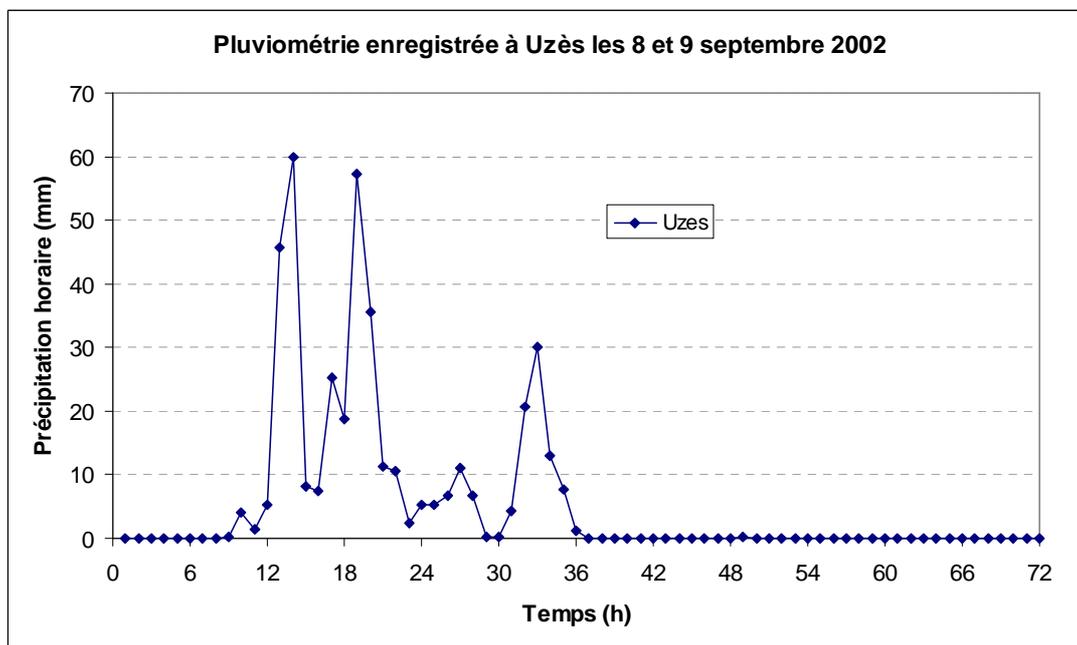


Figure 6 : Pluviométrie enregistrée lors de l'événement des 8 et 9 septembre 2002

À Uzès, l'événement pluvieux s'est étalé sur plus de 24 h, du dimanche 8 septembre à 10h au lundi 9 septembre à 12h, et a été caractérisé par trois pics pluviométriques intenses.

Le cumul total enregistré à Uzès a été de 405 mm. Selon l'étude « *Hydrologie du bassin versant des Gardons* », réalisée par ISL en août 2005 pour le compte du SMAGE des Gardons, le cumul pluviométrique moyen estimé à partir des images radar recalées sur les données enregistrées au sol lors de l'événement de septembre 2002 est de **409 mm**, pour le bassin versant des Seynes à Sanilhac Sagries (taille du bassin versant : 89 km²).

Cette estimation est très proche de la valeur enregistrée à la station d'Uzès, qui, dans le cas de l'événement de septembre 2002, donne une bonne représentation de la pluviométrie totale sur l'ensemble du bassin versant.

Les caractéristiques de l'événement pluvieux enregistré à Uzès sont comparées aux cumuls maximaux centennaux théoriques, pour différentes durées de pluie :

Tableau 17 : Période de retour des cumuls pluviométriques maximaux de septembre 2002

Durée (h)	Cumul pluviométrique maximal pendant la durée considérée (mm)		
	UZES 2002	Nîmes Courbessac GEV 1964-2007 100ans	SHYREG Belvézet 100ans
1	60	102	103
2	105	150	119
3	114	202	138
4	137	250	155
6	177	270	194
12	287	271	269
24	399	296	339
48	406	282	382
72	406		396

→ 4 heures = Temps de concentration des Seynes à Serviers

Durée considérée	Cumul maximal sur la durée	Période de retour estimée / Nîmes
Durée de 1h	Intensité max horaire = 60 mm	T = 10 ans
Durée de 6h	177 mm	T entre 30 et 100 ans
Durée totale de l'épisode = 24h	Cumul total sur l'épisode= 400 mm	T > 100 ans

L'événement pluvieux qui s'est abattu sur le Gard en septembre 2002 apparaît surtout remarquable par sa durée (24h) et le cumul total précipité, qui dépasse les valeurs estimées pour une fréquence centennale.

En revanche, si l'on considère des durées plus courtes, de 1 à 4 h, correspondant aux temps de concentration des bassins versants des Seynes et affluents à hauteur de Serviers et Labaume, le cumul maximal de pluie en 2002 est nettement inférieur au maximum centennal, qu'il soit estimé à Nîmes ou par Shyreg.

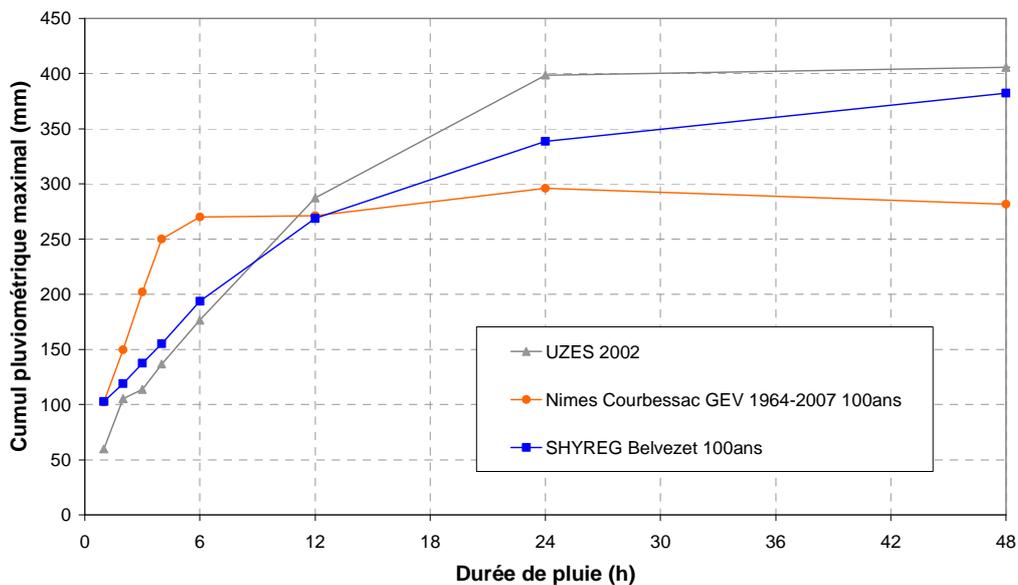
On peut donc théoriquement supposer que pour un bassin versant de taille moyenne comme celui des Seynes, la pluie de septembre 2002 n'aurait pas

engendré de débits de pointe atteignant les valeurs centennales, à l'inverse des bassins versants de plus grande superficie.

2.3 Choix de la pluviométrie de référence

Les cumuls pluviométriques statistiques et historiques (septembre 2002) sont comparés ci-dessous :

Comparaison des cumuls maximaux 2002 avec les cumuls 100 ans



Comparaison des cumuls maximaux 2002 avec les cumuls 100 ans

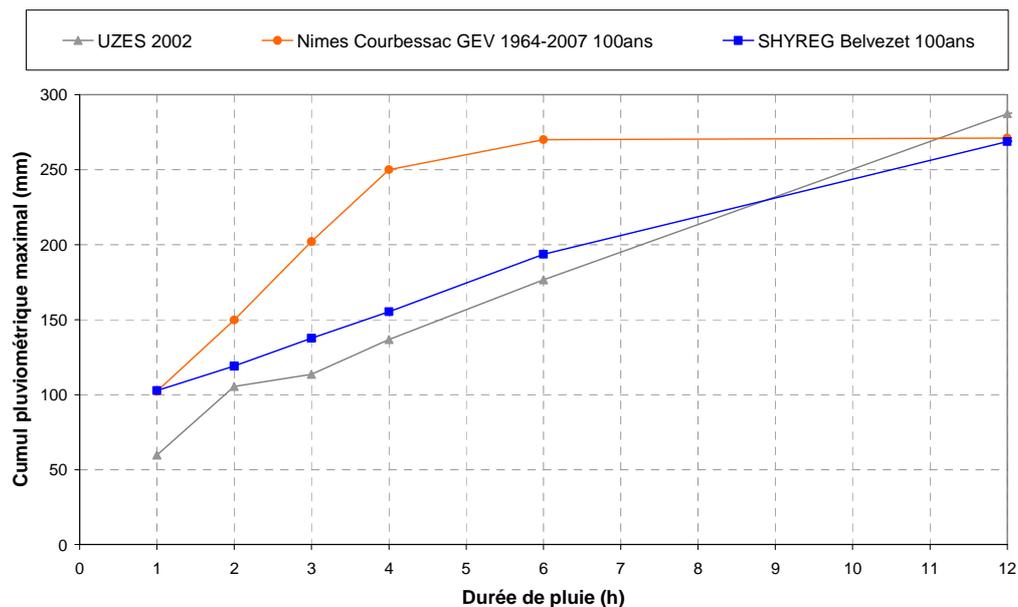


Figure 7 : Comparaison des différentes données de pluies disponibles

L'écart important entre la pluviométrie de Nîmes-Courbessac et de Shyreg Belvézet pour des durées de pluie importantes peut s'expliquer par la différence du type de climat entre ces deux régions. Les pluies Shyreg sont plus représentatives du contexte climatologique cévenol du bassin versant des Seynes.

Les quantiles de pluie Shyreg ne sont pas fournis pour des pas de temps inférieurs à 1h. Or, la plupart des affluents des Seynes ont un temps de concentration inférieur à 1 h. L'extrapolation de la courbe Shyreg pour des pas de temps inférieurs à 1h fournissant des valeurs surestimées, **nous proposons donc d'utiliser comme pluviométrie de référence pour les débits de projet:**

- **le traitement statistique de la chronique de Nîmes Courbessac (période 1964-2006) par la méthode GEV, pour les durées inférieures à 1h;**
- **Les pluies SHYPRE régionalisées (SHYREG) calculées à Belvézet par le Cemagref pour les durées de pluie comprises entre 1 h et 48h.**

2.4 Construction des pluies de projet

L'utilisation d'un modèle pluie-débit nécessite la construction de pluie de projet, injectée en donné d'entre du modèle

Les pluies de projet pour les périodes de retour 10 et 100 ans utilisées ont été construites selon la méthode suivante :

- Quantiles SHYREG pluie calculés par le Cemagref à Belvézet (pixel de 1 km²) pour les durées supérieures à 1h, et calculées à partir de la loi GEV à Nîmes Courbessac pour les durées inférieures à 1 h ;
- Construction d'un **hyétogramme synthétique monofréquence** présentant une pointe de 30 minutes (durées : 30 minutes, 2 h, 4 h, 12 h, 24 h, 48 h). Les durées choisies permettent de prendre en compte les temps de concentration de l'ensemble des bassins versant étudiés ;

Tableau 18 : Construction des pluies de projet, exemple T=100 ans

SHYREG BELVEZET	
Durée (H)	100 ans
0.5	54
2	119
4	155
12	269
24	339
48	382

pic	24.00 H		
Tps (h)	P(mm)	i (mm/h)	P cumulé
0	0	1.8	0
12	22	5.8	22
18	35	14.2	57
22	57	18.2	114
23	18	43.6	132
23.75	33	107.3	164
24.25	54	43.6	218
25	33	18.2	251
26	18	14.2	269
30	57	5.8	326
36	35	1.8	360
48	22	0.0	382

Le hyétogramme de projet utilisé pour la pluie centennale est présenté ci-dessous :

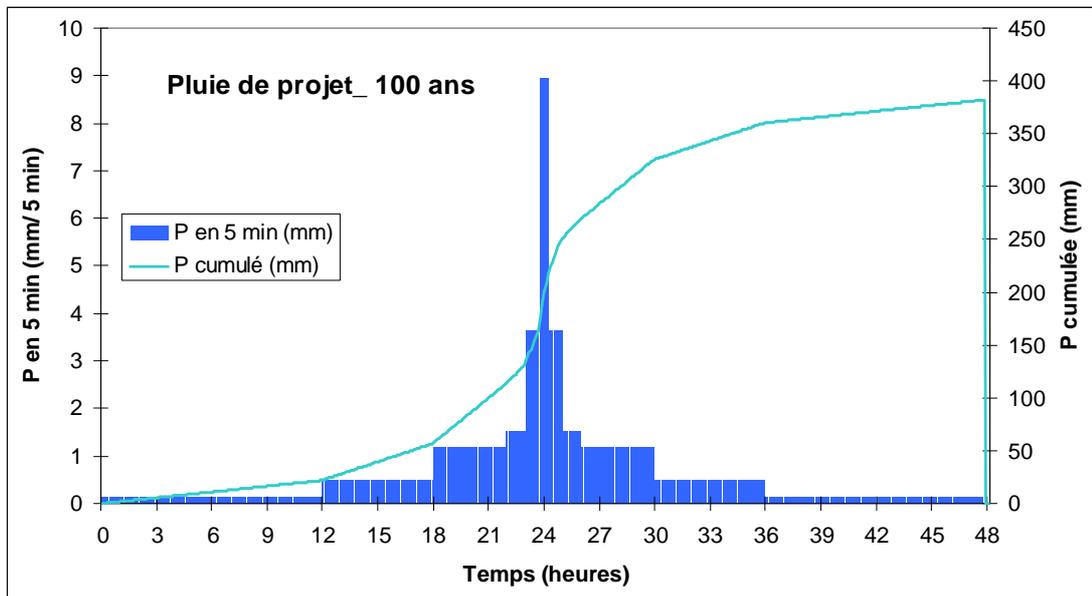


Figure 8 : Hyétogramme de projet centennial

3

ESTIMATION DES DÉBITS DE CRUE

3.1 Crues historiques

En l'absence de station hydrométrique, nous ne disposons pas d'indication du débit de pointe atteint par les Seynes au droit de Serviers et Labaume lors de la crue de septembre 2002.

Dans le cadre de l'étude hydrologique des Gardons réalisée en 2005 pour le compte du SMAGE des Gardons, ISL a estimé par un modèle pluie-débit (ECRET) le débit de pointe des Seynes, calculé à l'exutoire avec l'Alzon, à Uzès. Ce débit a été estimé à 552 m³/s, pour un bassin versant de 68 km², **soit un débit spécifique de 18 m³/s/km²^{0.8}**. En appliquant le même débit spécifique au bassin versant des Seynes au droit de Serviers, qui draine une superficie 53 km², **on peut estimer le débit de pointe des Seynes à environ 430 m³/s au droit de Serviers**.

Selon ISL, le débit de la crue de septembre 2002 sur les Seynes est légèrement inférieur au débit théorique centennal, ce qui semble correspondre à l'estimation des la période de retour des cumuls pluviométriques enregistrés à Uzès.

De ce fait, la crue de septembre 2002 ne peut être considérée comme la crue de référence, qui doit être la crue la plus forte entre une crue historique connue et une crue centennale.

L'étude de la crue de septembre 2002 doit toutefois être réalisée : il s'agit en effet d'un événement historique récent, bien documenté (nombreuses PHE) permettant le calage du modèle hydraulique nécessaire pour la détermination des zones inondables, des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement.

De ce fait, la présente analyse hydrologique permettra de :

- Définir la crue centennale de référence (débits de pointe et hydrogrammes) ;
- Reconstituer l'hydrogramme de crue de septembre 2002, sur la base de la pluviométrie et des estimations existantes de débit (ISL).

3.2 Méthodologie

Nous proposons la méthodologie suivante pour l'évaluation des débits de référence:

Tableau 19 : Méthodes proposées pour l'estimation des débits de référence

Objectif	Méthode proposée
Reconstitution des débits la crue de septembre 2002	Modélisation pluie-débit sous HEC HMS, par un modèle distribué SCS, à partir de la pluie enregistrée à Uzès
Estimation des débits de la crue de référence centennale	Utilisation du modèle pluie-débit calé sur 2002 dans l'étape précédente : injection de pluies théoriques centennales et simulation des hydrogrammes de crue
	Comparaison avec les méthodes classiquement utilisées et recommandées dans le Gard : <ul style="list-style-type: none"> • Méthode du Gradex préconisée par le Service de Prévision des crues du Grand Delta • Méthode des Experts • Méthode de Bressand Golossov
	Analyse critique des résultats, comparaison avec les études précédentes, choix du débit de référence

3.3 Modélisation pluie-débit

3.3.1 Présentation du modèle et de la méthode

Le modèle utilisé est un modèle spatialisé, permettant de simuler la réponse à la pluie de chaque sous-bassin versant, et de propager ensuite les hydrogrammes résultants dans le réseau hydrographique.

La transformation de la pluie en débit est donc modélisée en plusieurs étapes :

1. **étape de production** du ruissellement à partir de la pluie brute, par l'application d'une fonction de production.

Nous avons retenu pour cette fonction la méthode du **Curve Number** mise au point par le Soil Service Conservation (SCS) des États Unis. La méthode est décrite en annexe du présent document. Le paramètre d'entrée spatialisé par sous bassin versant est le Curve Number, qui permet l'estimation de la part ruisselée de la pluie. Il dépend du potentiel de stockage de l'eau des sols, lui-même déterminée par les caractéristiques des sols (perméabilité) et de leur état de surface (occupation du sol), calculées par sous bassin versant ;

2. **étape de transfert** : cette étape est constituée de deux phases :
 - a. **une phase de constitution de l'hydrogramme** à l'exutoire de chaque sous-bassin versant. Nous avons retenu pour cette étape la méthode de l'**hydrogramme unitaire du SCS** (méthode décrite en annexe). La forme de chaque hydrogramme est construite à partir du volume de pluie ruisselée et du temps de réponse à la pluie de chaque sous bassin versant (**lagtime**), dépendant de la morphologie (superficie du bassin versant, pente moyenne, ...)
 - b. **une étape de propagation** et d'agrégation des hydrogrammes de chaque sous bassin dans le réseau hydrographique. Nous avons retenu pour cette phase la méthode de **Muskingum Cunge**, intégrée au modèle pluie-débit, qui permet de simuler la propagation d'un hydrogramme (et sa déformation éventuelle : accentuation ou amortissement) à partir des caractéristiques géométriques sommaires des biefs (section, pente, rugosité) ;

Après sa construction, le modèle nécessite une **phase de calage**. **Ce calage a été réalisé à partir de la crue de septembre 2002**, qui constitue la seule crue largement débordante bien documentée. Le calage a été effectué sur le débit de pointe estimé à partir de l'étude ISL 2005, ainsi que sur les observations des riverains concernant les heures des 2 pics de crue.

Une fois calé, le modèle a permis de simuler la transformation pluie-débit de la pluie centennale retenue, afin de déterminer les débits centennaux de référence à chaque nœud de calcul du bassin versant

Le logiciel utilisé pour la modélisation pluie débit est le logiciel HMS (Hydrologic modeling system), mis au point par l'US Army Corps of Engineers.

3.3.2 Construction du modèle pluie-débit

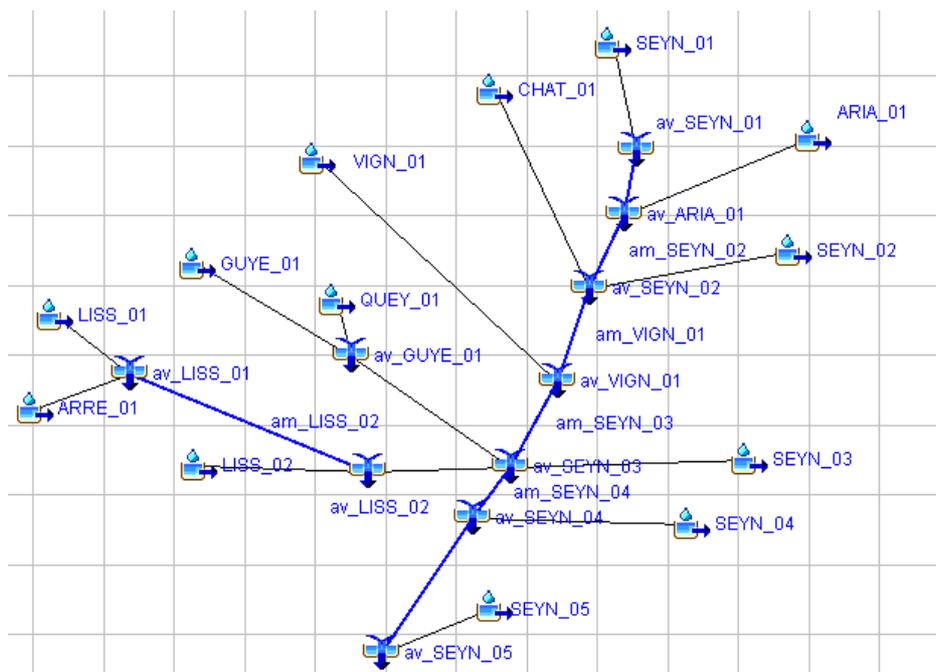
3.3.2.1 Découpage du bassin versant

Le découpage en sous-bassins versant a été réalisé de façon à :

- Tenir compte de la réalité hydrologique du bassin versant : individualisation des bassins versants de chacun des principaux affluents des Seynes ;
- Localiser les points de calcul aux endroits où l'on dispose déjà d'informations sur les débits (connus ou statistiques), de façon à caler le modèle et les débits statistiques aux précédentes estimations ;
- Disposer de points de calcul aux endroits où l'estimation du débit est nécessaire à la modélisation hydraulique et la définition de l'aléa (densification des points de calculs dans les zones à enjeux)

Le découpage du modèle est présenté ci-après :

Figure 9 : Découpage du modèle pluie-débit



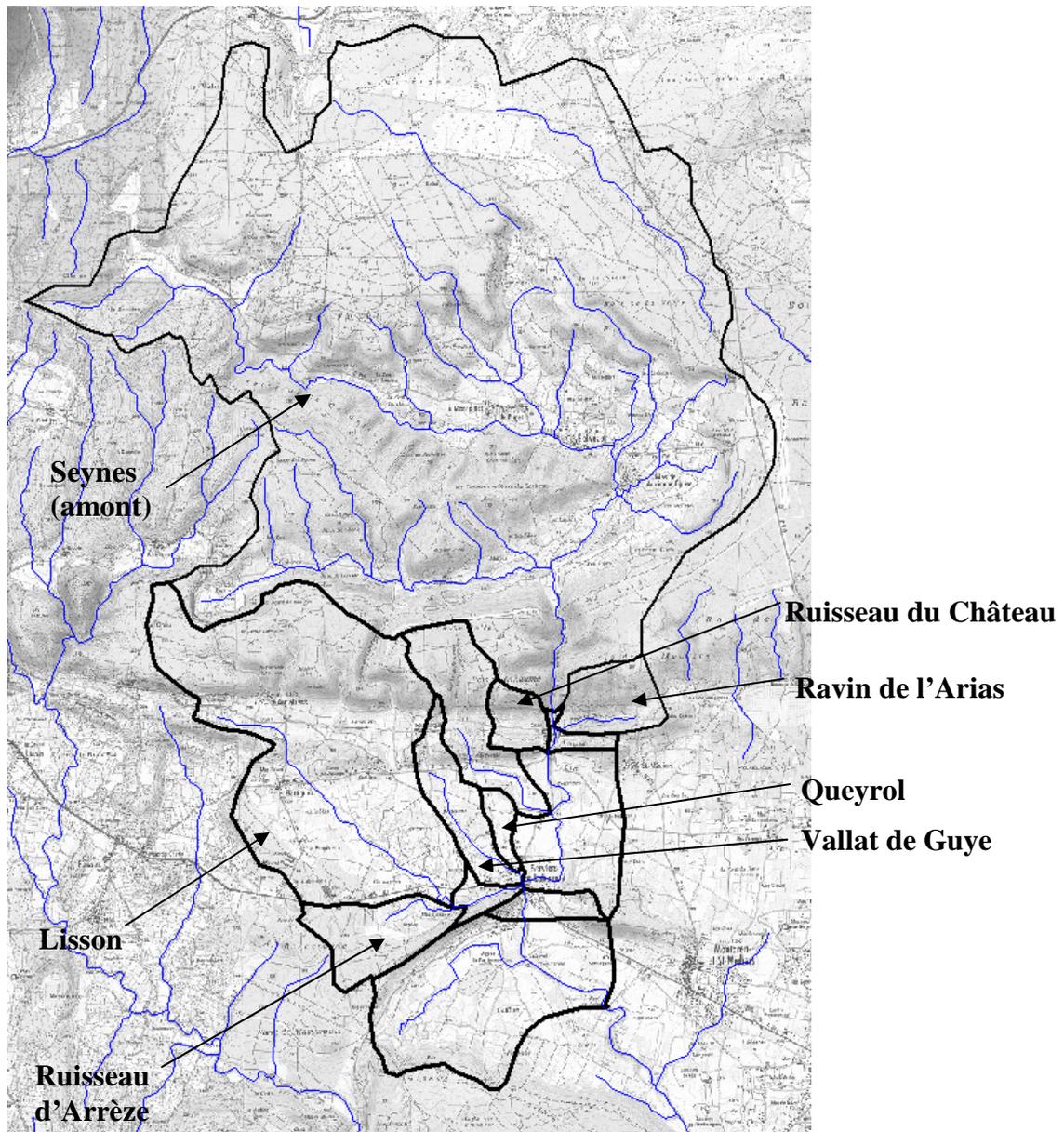


Figure 10 : Carte du découpage des bassins versants de calcul

3.3.2.2 Détermination des Curve Number et des Lagtime

Au sein de la méthode SCS, ces deux paramètres déterminent la réponse des bassins versants à la pluie en termes de ruissellement (Curve Number CN) et de vitesse de réponse (lagtime).

Les valeurs initiales pour chaque bassin versant (avant calage) ont été déterminées dans l'étape précédente (paragraphe 1 CARACTÉRISTIQUES DES BASSINS VERSANTS MODÉLISÉS) et sont rappelées ci-dessous :

Tableau 20 : Curve number et lagtime des bassins versants modélisés

Num Mapinfo	Localisation du point de calcul	CN initial	Lagtime initial
BV_SEYN_Labaume	Les Seynes au pont de Labaume	65	128 min
_BV_SEYNES	Seynes, amont confluence Lisson	67	146 min
BV_SEYN_Serviers	Les Seynes au vieux pont de Serviers	67	153 min
_BV_LISON	Lisson; confluence Seynes	70	69 min
BV_ARIA_01	Ravin de l'Arias	67	17 min
BV_CHAT_01	Ruisseau du Château	68	14 min
BV_VIGN_01	Vignasses	68	31 min
BV_GUYE_01	Le Valat de Guye	82	34 min
BV_QUEY_01	Queyrol	87	19 min
BV_ARRE_01	Ruisseau d'Arrèze	75	28 min

3.3.2.3 Paramétrage du transfert des hydrogrammes dans les biefs

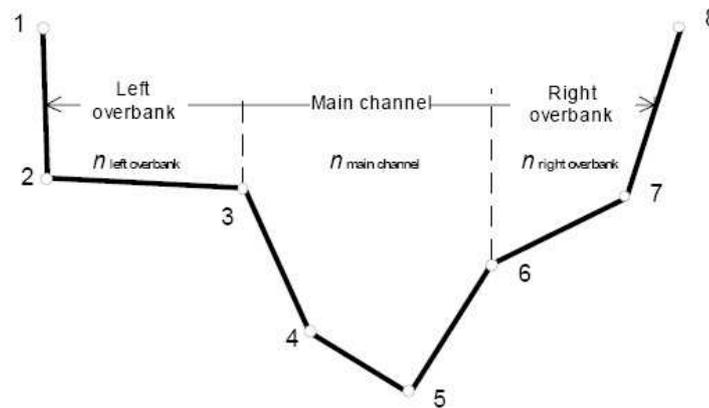
Entre deux points d'injection au droit des exutoires de chaque sous-bassin versant, les hydrogrammes sont propagés dans les Seynes. Nous avons choisi pour cette étape une méthode qui permet de prendre en compte le laminage se produisant en lit majeur.

La méthode choisie est celle de Muskingum Cunge, basée sur un modèle de transfert de flux qui estime l'hydrogramme à la sortie d'un tronçon fluvial à partir d'un

hydrogramme connu à l'entrée, et des caractéristiques physiques du tronçon. Le modèle est basé sur la représentation 1D des équations de Saint-Venant, non détaillée ici.

Les paramètres d'entrée du modèle sont les suivants :

- Section géométrique moyenne sur le tronçon, définie de façon sommaire à partir des données cartographiques et des observations de terrain. Sur la partie aval, dans la plaine, les sections ont été définies en 8 points, avec distinction des lits mineur et majeur :



- Coefficients de rugosité de Manning pour les lits mineur et majeur. Les coefficients choisis varient de 3 à 20, en fonction des situations rencontrées ou supposées sur le terrain ;
- Longueur du bief ;
- Pente longitudinale du bief.

3.3.3 Calage sur la crue de septembre 2002

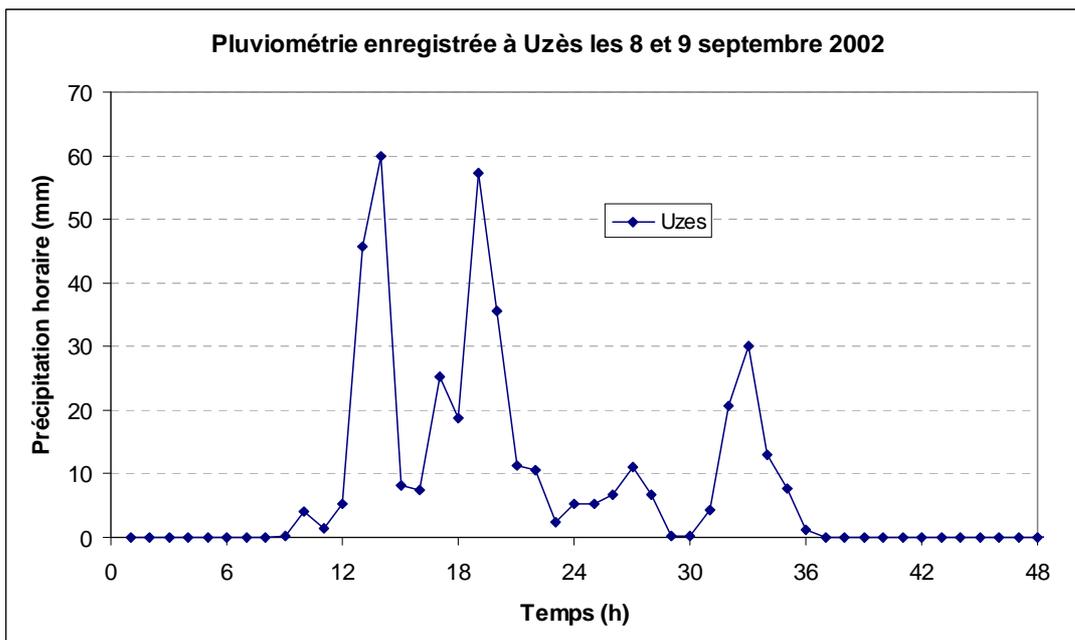
En l'absence de données hydrométriques, le calage a été effectué à partir :

- De l'estimation du débit de pointe à Serviers, soit **430 m³/s**, à partir du débit pseudo-spécifique issu de l'étude ISL 2005 ;
- Des témoignages, selon lesquels la crue a présenté deux pics bien distincts :
 - un premier pic dans la nuit du 8 au 9 septembre, à environ 2h du matin ;
 - Un second pic plus élevé, en fin de matinée le 9 septembre, à environ 11h

3.3.3.1 Données pluviométriques utilisées

La pluviométrie utilisée en entrée du modèle est issue des enregistrements à Uzès, qui sont cohérents avec les estimations radars sur l'ensemble du bassin versants

Figure 11 : Pluviométrie des 8 et 9 septembre 2002 enregistrée à Uzès



3.3.3.2 Ajustement des paramètres

Le calage a conduit à l'ajustement suivant des paramètres initiaux :

- Augmentation de 13 % des curve number ;
- Diminution de 20% des temps de réponse des bassins versants.

Les paramètres calés sont présentés ci-dessous :

Tableau 21 : Curve number et lagtime des bassins versants modélisés, ajustés après calage sur la crue de septembre 2002

Num Mapinfo	Localisation du point de calcul	CN initial	Lagtime initial	CN ajusté	Lagtime ajusté
BV_SEYN_Labaume	Les Seynes au pont de Labaume	65	128 min	74	106 min
_BV_SEYNES	Seynes, amont confluence Lisson	67	146 min	75	122 min
BV_SEYN_Serviers	Les Seynes au vieux pont de Serviers	67	153 min	76	127 min
_BV_LISON	Lisson; confluence Seynes	70	69 min	79	58 min
BV_ARIA_01	Ravin de l'Arias	67	17 min	76	15 min
BV_CHAT_01	Ruisseau du Château	68	14 min	77	11 min
BV_VIGN_01	Vignasses	68	31 min	77	25 min
BV_GUYE_01	Le Valat de Guye	82	34 min	92	28 min
BV_QUEY_01	Queyrol	87	19 min	98	16 min
BV_ARRE_01	Ruisseau d'Arrèze	75	28 min	84	23 min

3.3.3.3 Résultats du calage

L'hydrogramme reconstitué au pont de Serviers est présenté ci-dessous :

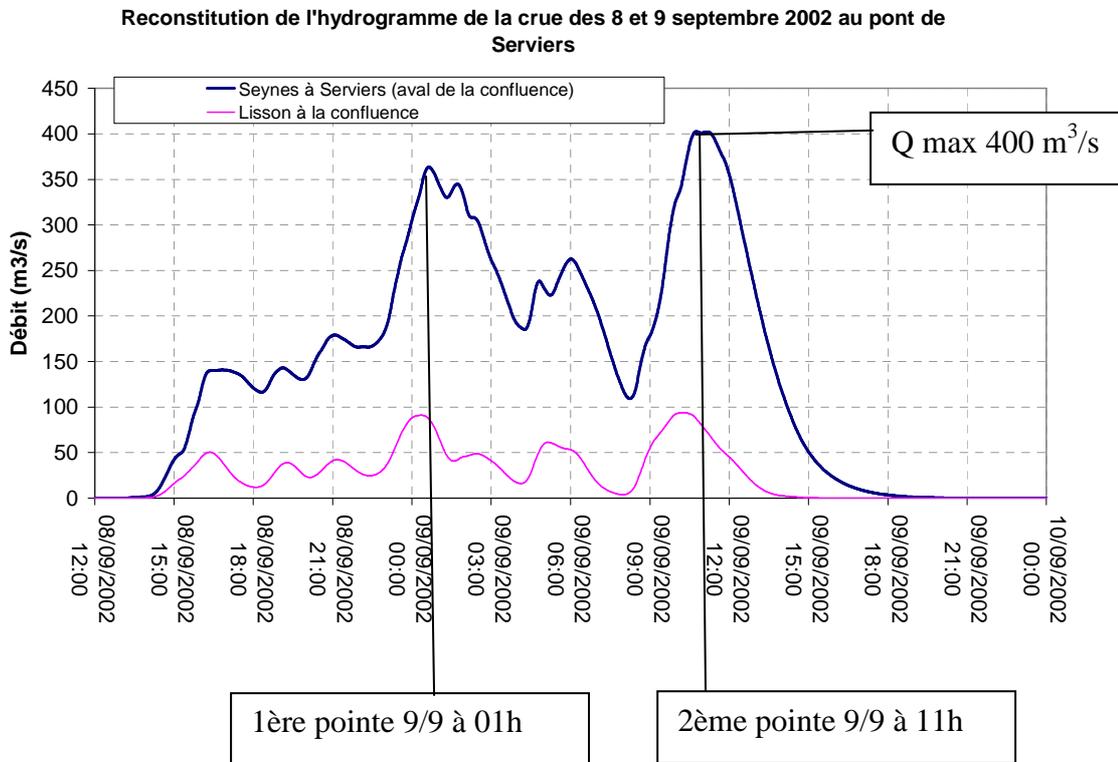


Figure 12 : Reconstitution de l'hydrogramme de la crue des 8 et 9 septembre 2002 au pont de Serviers par le modèle pluie-débit

L'hydrogramme reconstitué présente un débit de pointe de l'ordre de 400 m³/s. L'écart avec l'estimation réalisée à partir de l'étude ISL est inférieur à 10%

Par ailleurs, les 2 pointes de cet hydrogramme coïncident avec les témoignages des riverains, concernant le déroulement de la crue du pont de Serviers.

Selon la reconstitution de l'événement par le modèle, le Lisson aurait apporté en débit de pointe environ 95 m³/s (sur les 400 m³/s des Seynes après la confluence). Les pointes de crue du Lisson auraient eu environ 30 minutes d'avance sur celles des Seynes.

Nous considérerons pour la suite de l'étude que le modèle pluie-débit est bien calé pour une crue largement débordante, de l'ampleur de celle des 8 -9 septembre 2002.

3.3.4 Modélisation des crues statistiques

Après cette phase de calage, le modèle pluie-débit a été utilisé pour estimer le débit d'une crue centennale, à partir des hyétoigrammes centennaux définis au paragraphe 2.4 *Construction des pluies de projet* » du présent document. Pour rappel, les pluies injectées sont des pluies synthétiques monofréquence construites à partir des quantiles centennaux SHYREG de Belvèzet, avec une pointe de 30 minutes.

On rappelle que cette méthode est basée sur l'hypothèse selon laquelle une pluie centennale génère une crue de débit de pointe centennial, hypothèse qui peut être plausible dans le cas d'une saturation des sols et d'un ruissellement importants.

Les résultats des estimations des débits centennaux par le modèle pluie-débit sont présentés ci-dessous :

Tableau 22 : Débits centennaux estimés par le modèle pluie-débit SCS

Point de calcul	Localisation du point de calcul	Superficie (km ²)	L (km)	Q100 modèle SCS (m ³ /s)	Q100 modèle SCS pseudo-spécifique (m ³ /s/km ² ^{.8})
BV_SEYN_Labaume	Les Seynes au pont de Labaume	39.4	9.97	450	24
_BV_SEYNES	Seynes, amont confluence Lisson	43.7	12.12	474	23
BV_SEYN_Serviers	Les Seynes au vieux pont de Serviers	53.1	12.6	567	24
_BV_LISSON	Lisson; confluence Seynes	9.3	5.8	161	27
BV_ARIA_01	Ravin de l'Arias	0.8	1.25	21	25
BV_CHAT_01	Ruisseau du Château	0.4	1.11	12	23
BV_VIGN_01	Vignasses	1.4	2.7	32	24
BV_GUYE_01	Le Valat de Guye	0.9	2.2	21	23
BV_QUEY_01	Queyrol	0.2	1	6	20
BV_ARRE_01	Ruisseau d'Arrèze	1.1	1.56	27	25

Les débits pseudo-spécifiques sont cohérents avec les valeurs régionales. Ces résultats seront comparés dans le paragraphe suivant avec les estimations par les autres méthodes préconisées dans le contexte gardois.

3.4 Estimation des débits statistiques par les méthodes classiques

3.4.1 Estimation des débits décennaux

Les méthodes suivantes ont été utilisées et comparées pour le calcul du débit de pointe de retour 10 ans, à partir des pluies statistiques issues des quantiles SHYREG Belvézet, extrapolées à partir des coefficients de Montana de Nîmes Courbessac GEV pour les durées infrahoraires :

- **Méthode SOCOSE**, avec une valeur de pluie annuelle de 744 mm (Vistre), de pluie journalière décennale de 161 mm (SHYREG Belvézet 24h divisé par le coefficient de Weiss), une température au niveau de la mer de 14,5°C
- **Méthode CRUPEDIX**, avec un coefficient régional R de 1,5 et une valeur de pluie annuelle de 744 mm (Vistre)
- **Méthode rationnelle**, avec le temps de concentration calculé par la formule de Passini (selon les préconisations du SPC Grand Delta), et un coefficient de ruissellement décennal estimé par la formule des experts
- **Méthode des experts**, avec le coefficient de ruissellement calculé par la formule des experts et le temps de concentration selon la formule des experts (Lefort).

Il ne nous a pas paru pertinent d'utiliser le modèle pluie-débit SCS pour l'évaluation d'une crue décennale. Ce modèle a en effet été calé pour une crue exceptionnelle (2002), largement supérieure à la décennale, avec des conditions de ruissellement très fortes et différentes selon nous de ce qui peut produire une averse décennale.

Les résultats des estimations des débits décennaux sont présentés ci-dessous :

Tableau 23 : Estimation des débits décennaux

Point de calcul	Localisation du point de calcul	Superficie (km ²)	Q10 Socose (m ³ /s)	Q10 Crupedix (m ³ /s)	Q10 rationnelle Passini CR10 experts (m ³ /s)	Q10 experts (m ³ /s)	Q10 pseudo-spécifique (m ³ /s/km ² ^0.8)
BV_SEYN_Labaume	Les Seynes au pont de Labaume	39.4	37	115	91	106	5.6
_BV_SEYNES	Seynes, amont confluence Lisson	43.7	41	125	92	116	5.6
BV_SEYN_Serviers	Les Seynes au vieux pont de Serviers	53.1	47	146	109	143	6.0
_BV_LISON	Lisson; confluence Seynes	9.3	12	36	39	35	5.9
BV_ARIA_01	Ravin de l'Arias	0.8	1	5	10	5	6.1
BV_CHAT_01	Ruisseau du Château	0.4	1	3	7	3	5.6
BV_VIGN_01	Vignasses	1.4	3	8	13	6	4.8
BV_GUYE_01	Le Valat de Guye	0.9	2	6	9	5	5.5
BV_QUEY_01	Queyrol	0.2	1	2	4	2	6.0
BV_ARRE_01	Ruisseau d'Arrèze	1.1	2	7	10	8	6.9

Débit décennal retenu pour l'application du gradex

Débit décennal retenu pour la cartographie des risques

Si l'on analyse les résultats des estimations décennales au droit du pont de Serviers :

- La méthode Socose semble sous-estimer très largement les débits décennaux ;
- Les méthodes Crupedix, rationnelle, et des experts donnent de résultats du même ordre de grandeur.

Nous retiendrons pour la suite de l'étude :

- Pour la cartographie des risques, **le débit décennal évalué par la méthode des experts**, qui semble cohérent avec les ordres de grandeur et les estimations des études précédentes (débit pseudo-spécifique de **$6 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2^{0.8}$**), proche du débit pseudo spécifique de $5,6 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2^{0.8}$ calculé au droit d'Uzès par ISL, et de $6,2 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2^{0.8}$ calculé par Safege à Arpaillargues et Aureilhac)
- Pour l'estimation du débit centennal par le Gradex, conformément aux préconisations du SPC, nous utiliserons comme débit pivot le débit décennal calculé par la méthode rationnelle avec le temps de concentration selon Passini.

3.4.2 Estimation des débits centennaux

Les résultats des estimations des débits centennaux ou exceptionnels sont présentés ci-dessous :

Tableau 24 : Estimation des débits centennaux

Point de calcul	Localisation du point de calcul	Superficie (km2)	Débits de pointe (m3/s)					Débits de pointe pseudo-spécifiques (m3/s/km ^{1.6})		
			Q100 experts	Q100 gradex SPC	Q100 modèle SCS	Q Bressand Golossov	QP 2002	Q100 modèle SCS	Q100 ISL 2005	Q100 SAFEGE Arpaillargues
BV_SEYN_Labaume	Les Seynes au pont de Labaume	39.4	270	493	450	471	310	24		
_BV_SEYNES	Seynes, amont confluence Lisson	43.7	291	502	474	510		23		
BV_SEYN_Serviers	Les Seynes au vieux pont de Serviers	53.1	357	602	567	590	403	24	20	24
_BV_LISON	Lisson; confluence Seynes	9.3	86	159	161	144	94	27		
BV_ARIA_01	Ravin de l'Arias	0.8	14	40	21	20	11	25		
BV_CHAT_01	Ruisseau du Château	0.4	8	25	12	12	6	23		
BV_VIGN_01	Vignasses	1.4	16	39	32	28	17	24		
BV_GUYE_01	Le Valat de Guye	0.9	12	25	21	20	11	23		
BV_QUEY_01	Queyrol	0.2	4	12	6	6	3	20		
BV_ARRE_01	Ruisseau d'Arrèze	1.1	19	34	27	26	14	25		

L'analyse des estimations des débits centennaux montre que :

- Selon nous, appliquée aux Seynes au droit de Serviers, la méthode des experts (avec le temps de concentration de Lefort et coefficient de ruissellement des experts) sous-estime les débits centennaux. Elle produit en effet des débits de pointe inférieurs au débit estimé de la crue de 2002, alors que, pour les courtes durées intéressant le bassin versant des Seynes (4h), les cumuls pluviométriques 2002 sont inférieurs aux cumuls centennaux théoriques SHYREG ;
- Les méthodes du Gradex SPC et de la modélisation pluie-débit SCS donnent des résultats assez proches, **entre 570 et 600 m³/s** pour les Seynes au droit de Serviers ;
- La méthode de Bressand Golossov, utilisée pour évaluer le débit de la crue « exceptionnelle », produit des résultats du même ordre de grandeur que les estimations centennales par le Gradex SPC et le modèle SCS ;
- En termes de débits pseudo-spécifiques, la méthode pluie-débit SCS donne des résultats du même ordre de grandeur (autour de **24 m³/s/km^{1,6}**) que le débit pseudo-spécifique calculé par Safege au droit d'Arpaillargues. Ce débit est légèrement plus élevé que le débit pseudo-spécifique des Seynes calculé par ISL à Uzès (20 m³/s/km^{1,6})
- **Nous proposons de retenir pour la suite de l'étude les débits centennaux estimés par le modèle pluie-débit SCS** (calé sur la crue de 2002). Ces débits sont cohérents avec les ordres de grandeur régionaux. Au droit de Serviers, selon cette méthode, le débit centennal théorique des Seynes est estimé à environ **570 m³/s**. Ce débit centennal théorique est supérieur d'environ un tiers au débit atteint par la crue de 2002. Ceci est cohérent avec le fait que les cumuls pluviométriques de 2002 n'ont pas atteint les maximaux centennaux sur les durées courtes intéressant le bassin versant des Seynes.

3.4.3 Estimation des débits trentennaux

Les débits de période de retour 30 ans ont été obtenus par un ajustement de Gumbel, effectué entre les débits retenus pour T=10 ans et T=100 ans. Les résultats de ces estimations sont présentés au paragraphe suivant.

3.5 Choix des crues de référence

3.5.1 Débits de pointe

Au final, les débits de référence ont été retenus selon les méthodes suivantes :

Tableau 25 : Méthodes retenues pour l'estimation des débits de référence

	Période de retour 10 ans	Période de retour 30 ans	Période de retour 100 ans	Septembre 2002
Méthode retenue	Méthode des experts	Ajustement de Gumbel entre Q10 et Q100	Modèle pluie-débit SCS	Modèle pluie-débit SCS

Le tableau suivant présente les débits de référence retenus pour les Seynes et affluents sur le territoire communal de Serviers et Labaume.

Tableau 26 : Débits de référence retenus pour les Seynes et affluents

Point de calcul	Localisation du point de calcul	Superficie (km ²)	Q10 experts (m ³ /s)	Q30 ans (m ³ /s)	Q100 modèle SCS (m ³ /s)	QP 2002 (m ³ /s)
BV_SEYN_Labaume	Les Seynes au pont de Labaume	39.4	106	272	450	310
_BV_SEYNES	Seynes, amont confluence Lisson	43.7	116	288	474	308
BV_SEYN_Serviers	Les Seynes au vieux pont de Serviers	53.1	143	347	567	403
_BV_LISON	Lisson; confluence Seynes	9.3	35	96	161	94
BV_ARIA_01	Ravin de l'Arias	0.8	5	13	21	11
BV_CHAT_01	Ruisseau du Château	0.4	3	7	12	6
BV_VIGN_01	Vignasses	1.4	6	19	32	17
BV_GUYE_01	Le Valat de Guye	0.9	5	13	21	11
BV_QUEY_01	Queyrol	0.2	2	4	6	3
BV_ARRE_01	Ruisseau d'Arrèze	1.1	8	17	27	14

3.5.2 Hydrogrammes de crue

Nous envisageons dans la phase suivante de l'étude de mettre en œuvre un modèle hydraulique des écoulements, en régime transitoire.

Les hydrogrammes injectés en chaque point de calcul seront les suivants :

- Pour la crue de septembre 2002, hydrogrammes issus du modèle pluie-débit SCS ;
- Pour la crue centennale, hydrogrammes issus du modèle pluie-débit SCS en centennal ;
- Pour les crues T=10 et 30 ans : hydrogrammes obtenus par homothétie des hydrogrammes SCS 100 ans, avec les débits de pointe 10 et 30 ans retenus dans l'étape précédente.

CONSTRUCTION DU MODÈLE HYDRAULIQUE

Un modèle hydraulique couplant un modèle filaire (1D) à un modèle de surface (2D) a été construit sur le ruisseau des Seynes et ses affluents, dans leur traversée du territoire communal de Serviers et Labaume.

4.1 Données topographiques

Les données topographiques injectées dans le modèle sont issues de campagnes de levé, réalisées en mai 2012 sur le territoire communal.

Les campagnes ont consisté en :

- Le lever terrestre par HYDROTOPO de 84 profils en travers et 16 ouvrages hydrauliques sur les lits mineurs des ruisseaux des Seynes, du Vallat de Guye, du Lisson, des Vignasses, du Château, d'Arrèze, et des fossés Guye et Queyrol. ;
- Le relevé LIDAR (Laser Aéroporté) de l'emprise inondable par les ruisseaux des Seynes, du Vallat de Guye, du Lisson, des Vignasses, du Château, d'Arrèze, et des fossés Guy et Queyrol, soit une surface totale de 350 ha, à précision XYZ de 5 à 10 cm. La densité des points est de l'ordre de 10 points par mètre carré. Les lignes de rupture ont également été relevées.

La carte suivante présente l'emprise des prestations topographiques réalisées:

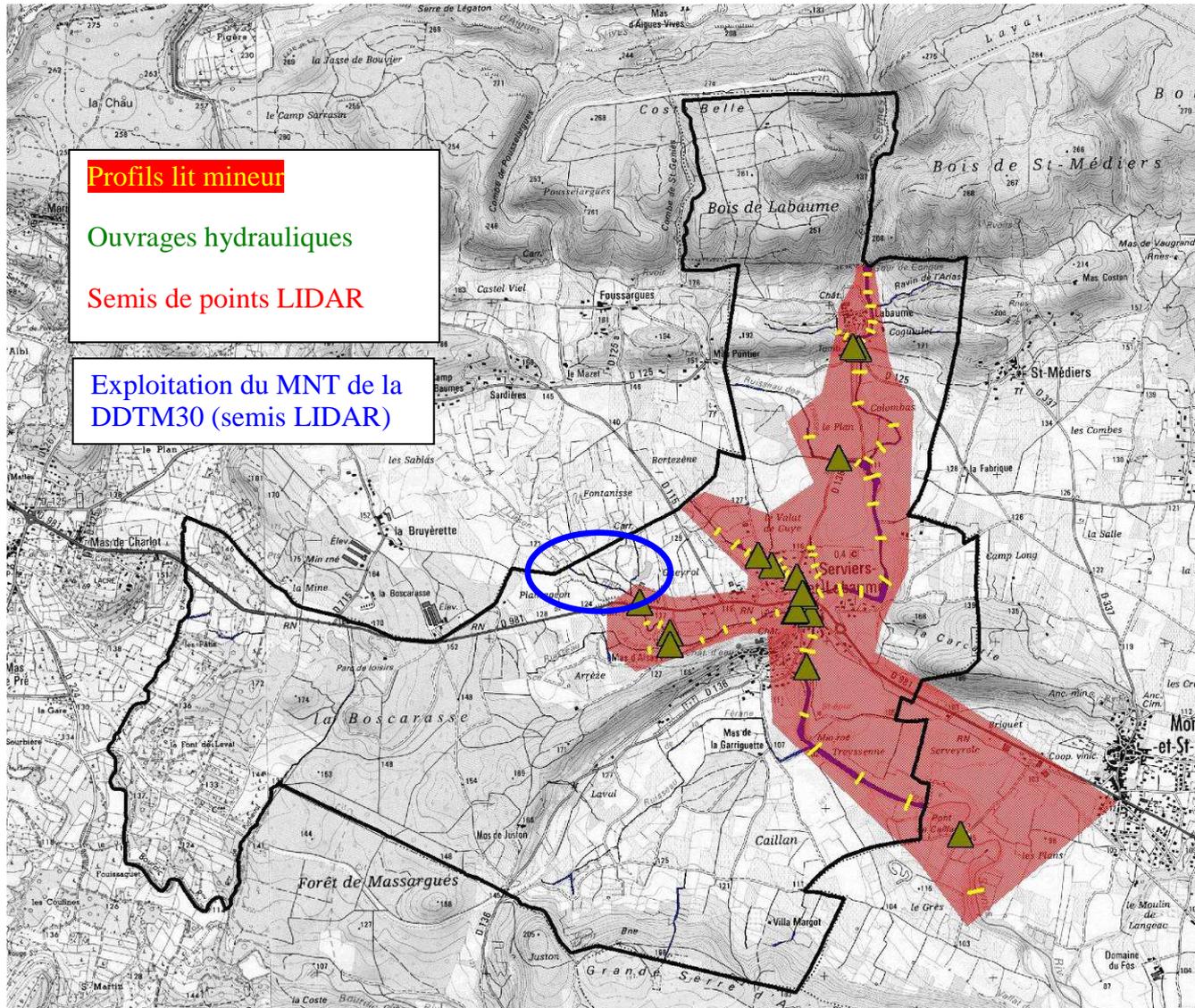


Figure 13 : Emprise des campagnes topographiques réalisées

Notons qu'en complément de ces données topographiques, afin de couvrir l'extrémité amont du Lisson, nous avons également exploité le MNT réalisé à partir d'un semis LIDAR par la DDTM du Gard dans le cadre de l'élaboration du PPRi des Gardons

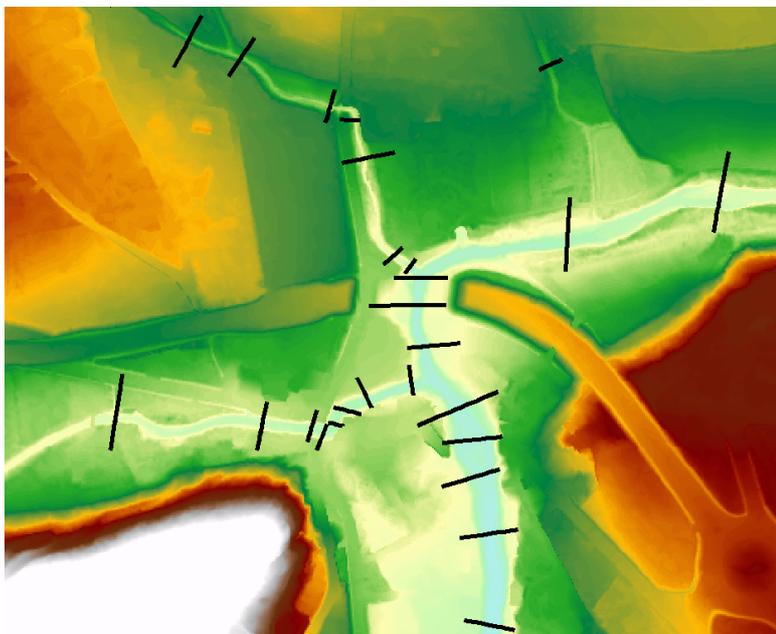
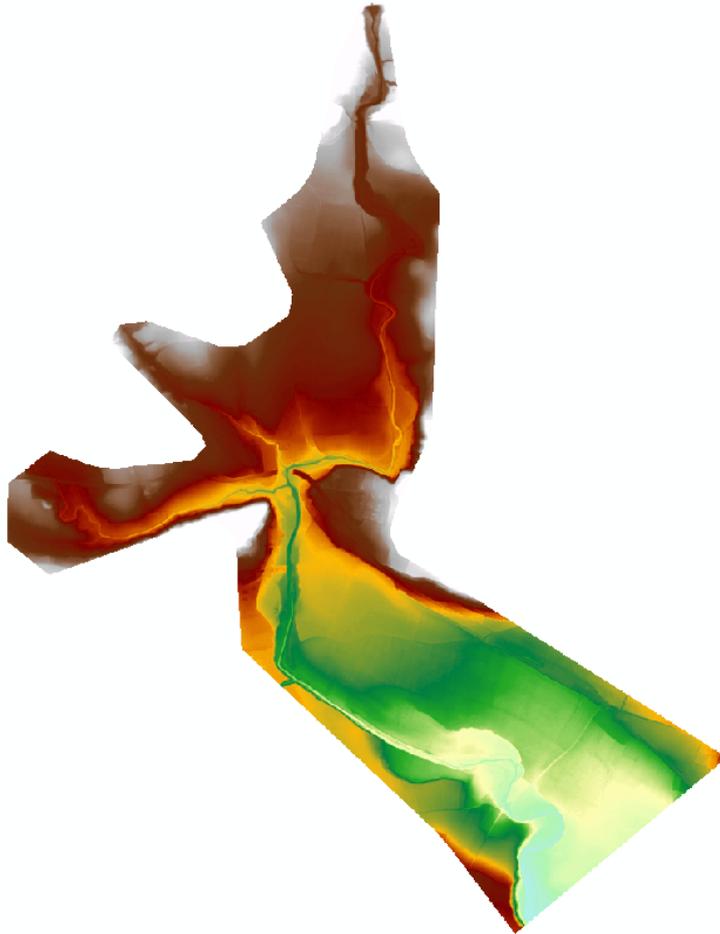


Figure 15 : Exemple de relevé LIDAR (HéliMAP 2012)

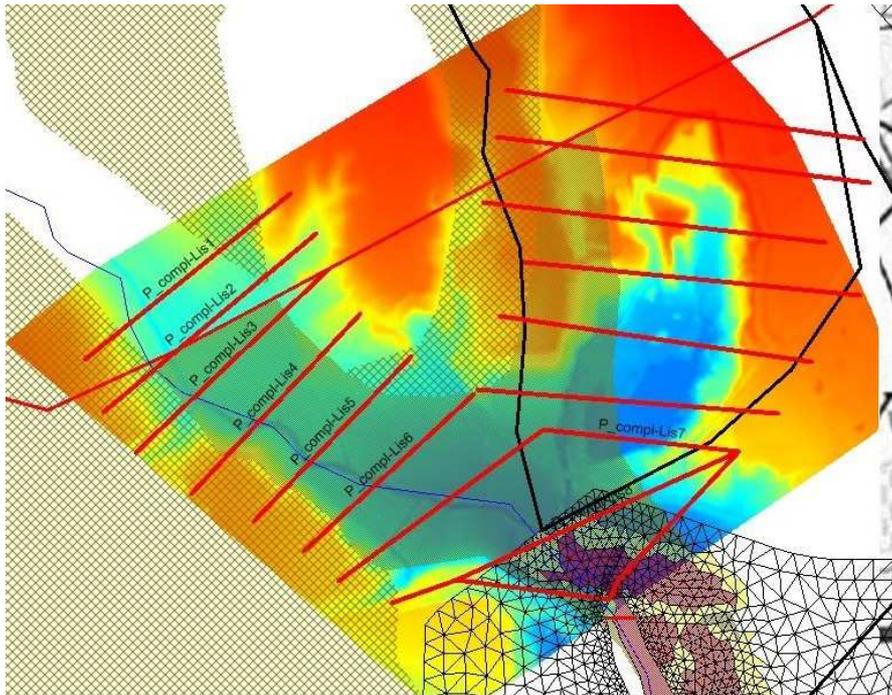


Figure 16 : Extraction du MNT DDTM30 pour la modélisation de l'extrémité amont du Lisson

4.2 Architecture du modèle hydraulique

Le modèle est construit sous le logiciel MIKE FLOOD. Un seul modèle a été réalisé pour le ruisseau des Seynes et les affluents.

Le modèle est caractérisé par le couplage de deux éléments de modélisation

- Modèle filaire en 1 dimension des Seynes et des affluents, sur la largeur couverte par les profils terrestres levés par le géomètre
- Modèle de surface, en 2 dimensions, couvrant l'ensemble des zones potentielles de débordement, dont la topographie a été relevée par un semis de points LIDAR.

Les cours d'eau modélisés et les linéaires concernés sont les suivants :

Cours d'eau modélisé	Nom de calcul	Linéaire concerné (m)
Ruisseau du Château	CHAT	161
Ruisseau des Seynes	SEYN	5 700
Ruisseau des Vignasses	VIGN	429
Fossé	FOSS	268

Fossé de Queyrol	QUEY	88
Valat de Guye	GUYE	684
Lisson	LISSO	1 332
Ruisseau d'Arrèze	ARRE	150

Tableau 27 : Liste des cours d'eau modélisés

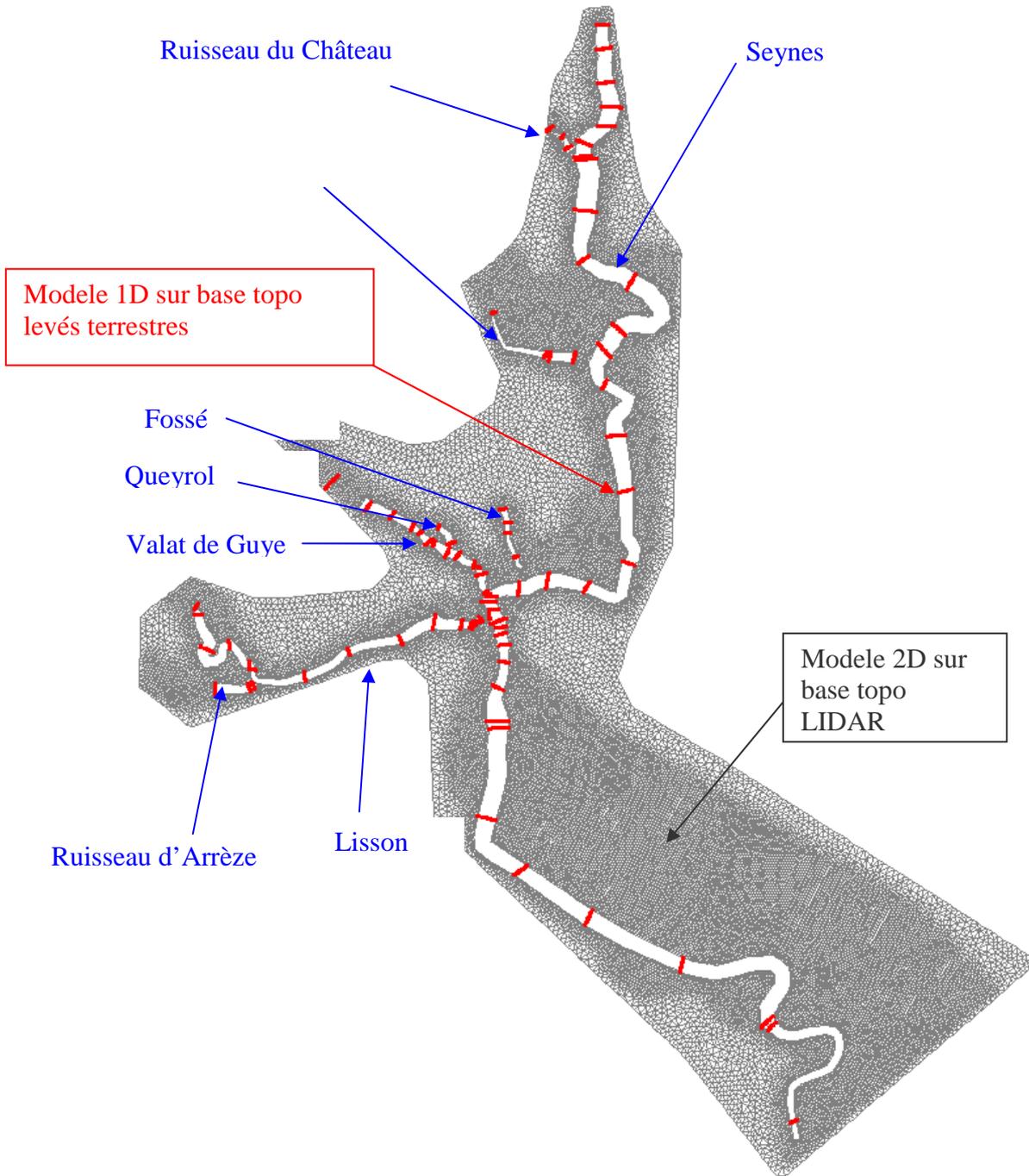


Figure 17 : Emprise des zones modélisées en 1D et en 2D

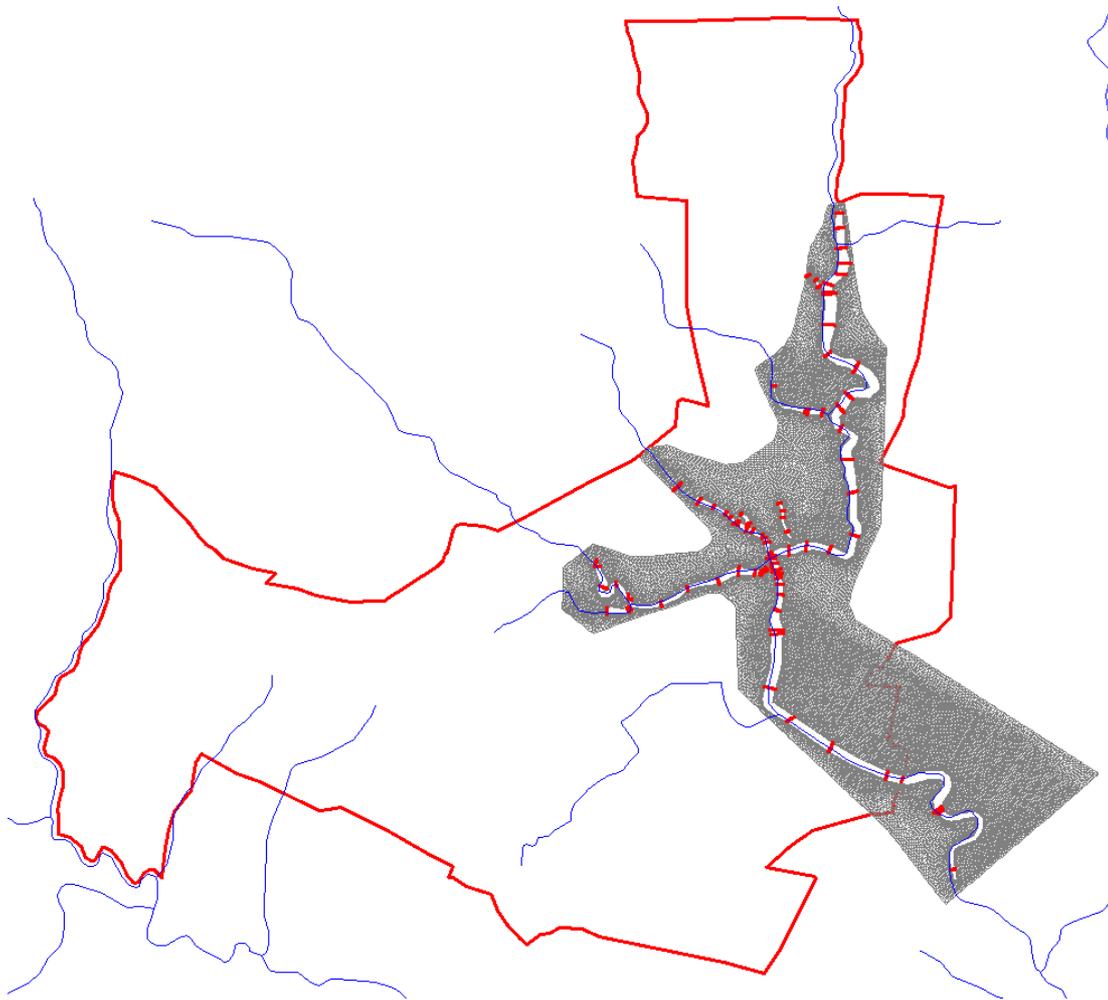


Figure 18 : Emprise de la zone modélisée

4.3 Paramètres de modélisation

4.3.1 Coefficients de rugosité

Les coefficients de rugosité retenus sont les suivants :

Coefficients de rugosité (Strickler)	
Lit mineur tous cours d'eau sauf Lisson	30
Lit mineur Lisson	12
Champs et vignes en lit majeur	16
Zones d'habitat en lit majeur	2

Tableau 28 : Choix des coefficients de rugosité

NB : la choix d'une rugosité très faible dans les zones d'habitat groupé (Serviers) revient à extruder le bâti du maillage du modèle (les écoulements contournent ces zones).

4.3.2 Débits injectés

Les débits injectés aux différents points du modèle hydraulique sont issus de la modélisation pluie-débit mise en œuvre dans l'analyse hydrologique, dont les résultats ont été présentés précédemment.

La modélisation hydraulique a été réalisée en régime transitoire, afin de prendre en compte l'effet d'un éventuel laminage des hydrogrammes dans les zones soumises au débordement.

Les points d'injection des hydrogrammes dans le modèle hydraulique sont présentés dans la carte ci-dessous. Les hydrogrammes ont été injectés à l'extrémité amont de chaque tronçon de cours d'eau modélisé.

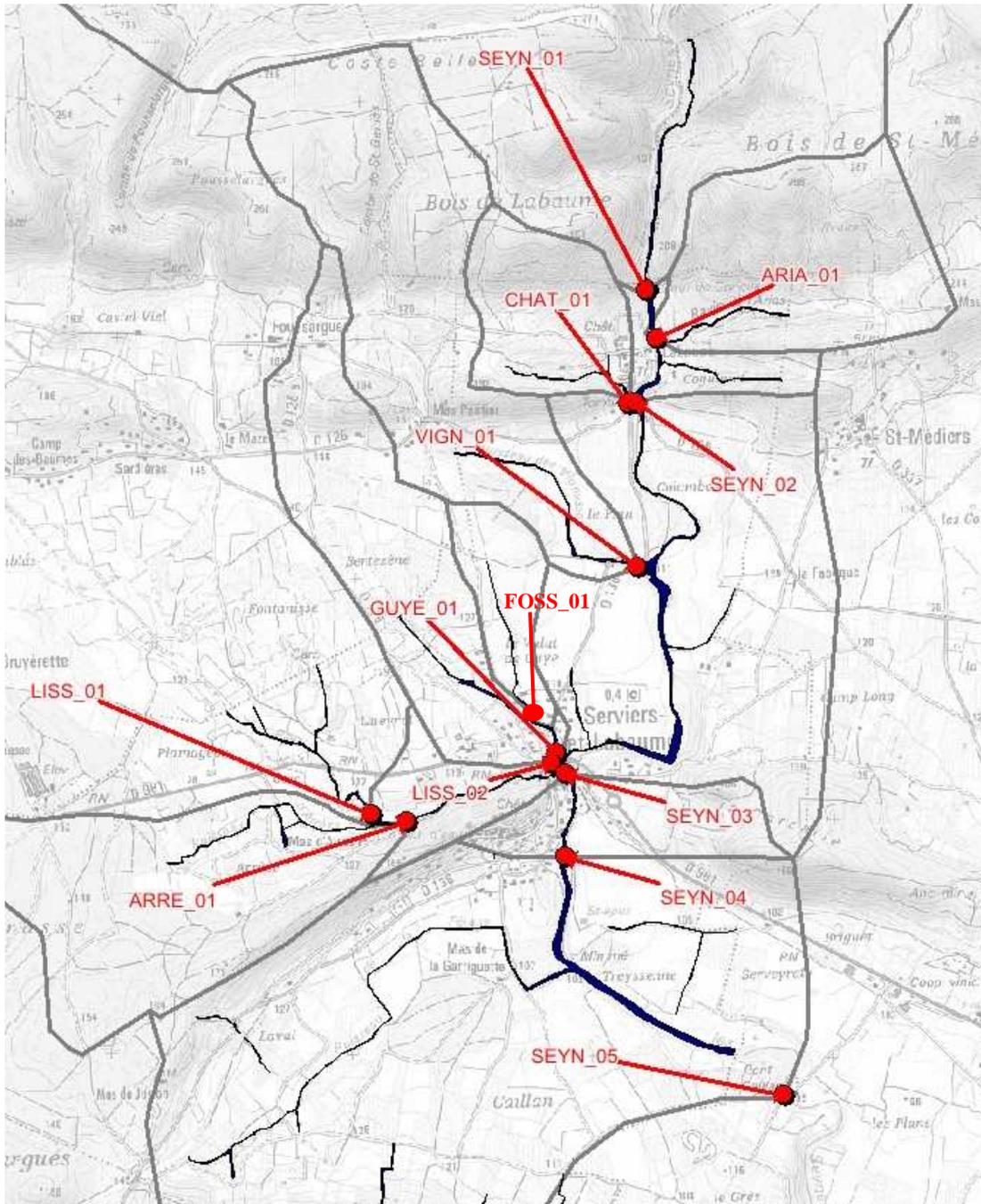


Figure 19 : Points d'injection des hydrogrammes dans le modèle hydraulique

Les hydrogrammes injectés en ce points, ainsi que les débits correspondants, sont les suivants :

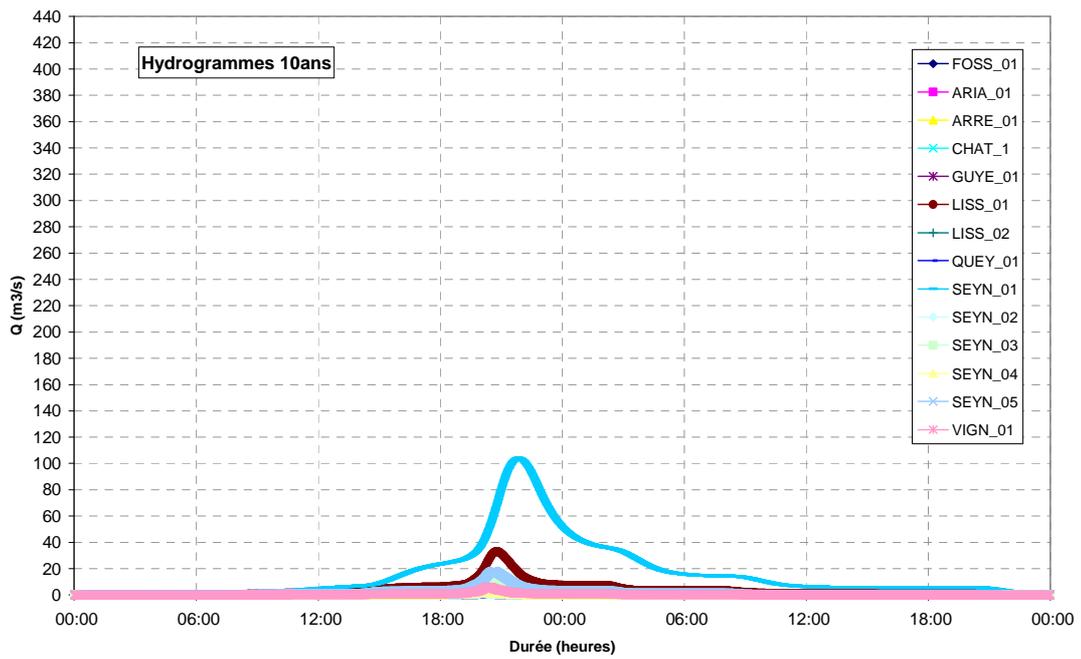


Figure 20 : Hydrogrammes décennaux

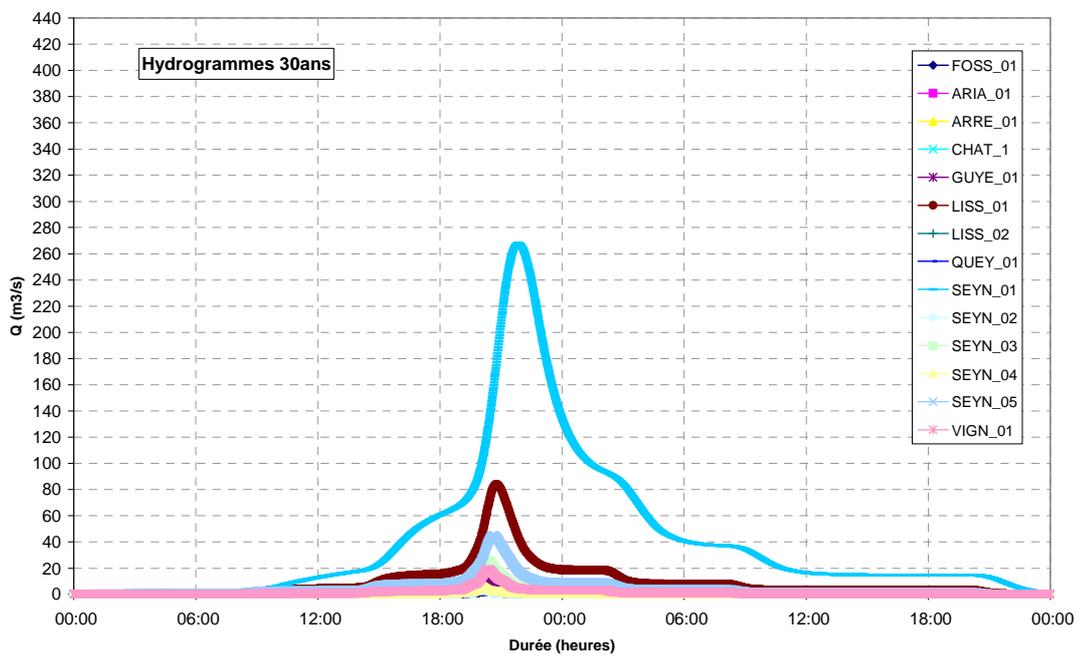


Figure 21 : Hydrogrammes trentennaux

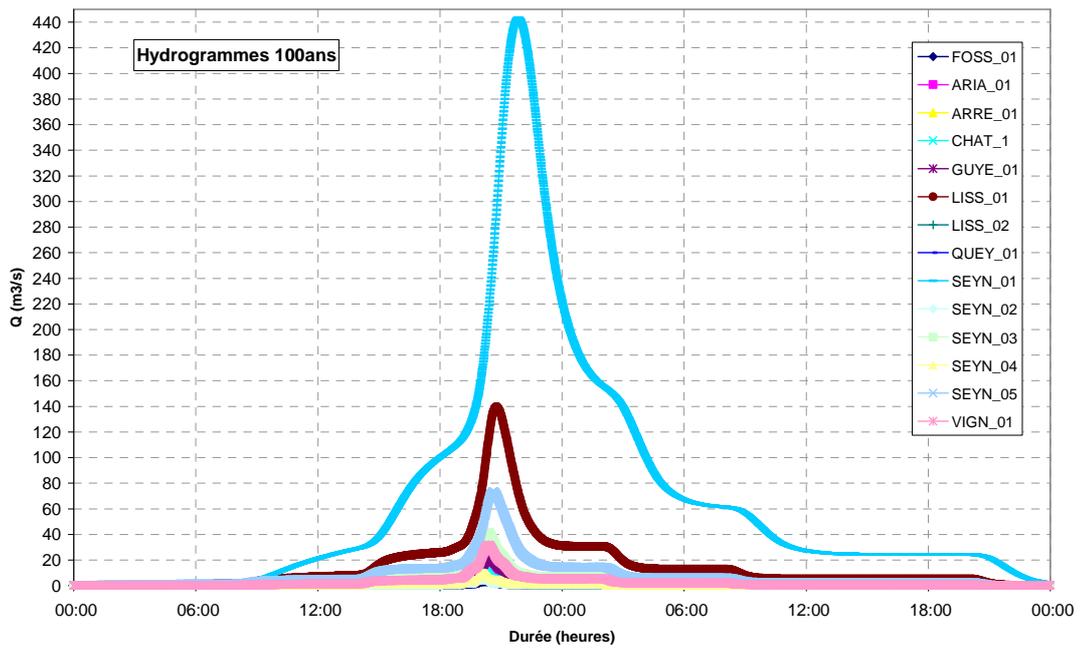


Figure 22 : Hydrogrammes centennaux

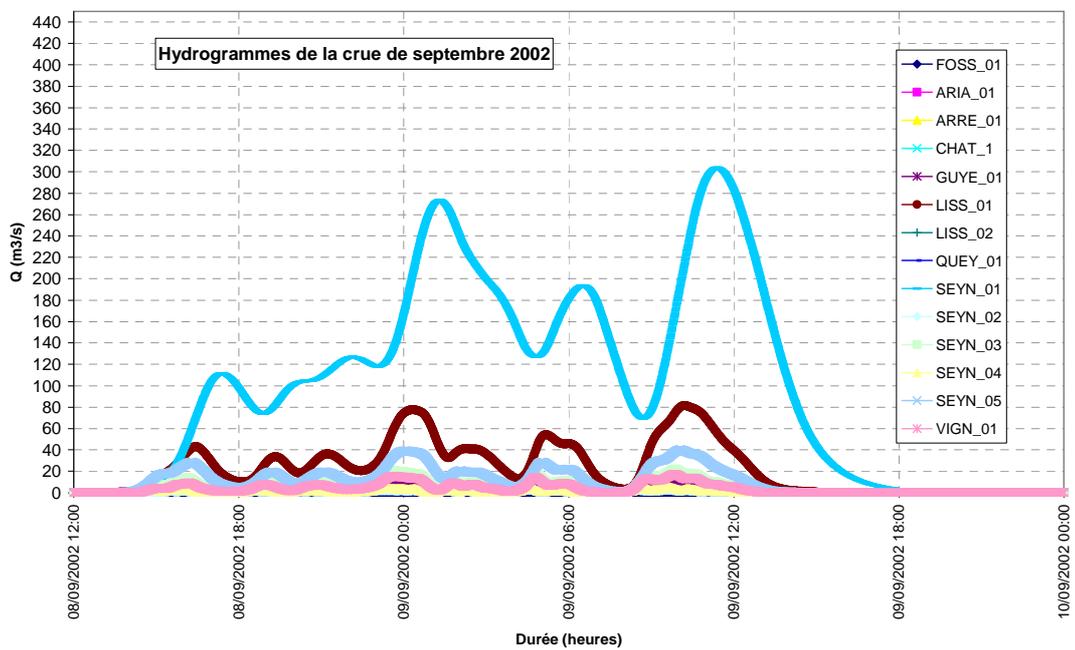


Figure 23 : Hydrogrammes de la crue du 9 septembre 2002

	Q10ans (m3/s)	Q30ans (m3/s)	Q100ans (m3/s)	Q2002 (m3/s)
FOSS_01	1	2	4	2
ARIA_01	5	13	21	11
ARRE_01	8	17	27	14
CHAT_1	3	7	12	6
GUYE_01	5	13	21	11
LISS_01	33	84	140	82
LISS_02	2	4	7	3
QUEY_01	2	4	6	3
SEYN_01	104	268	443	304
SEYN_02	1	3	5	3
SEYN_03	11	26	42	22
SEYN_04	3	6	10	5
SEYN_05	18	45	73	40
VIGN_01	6	19	32	17

Tableau 29 : Débits de pointe injectés aux points de calcul du modèle hydraulique

4.3.3 Conditions aval

Les conditions aval du modèle sont introduites sous la forme de cotes d'eau imposées au profil le plus en aval, situé au droit du pont de Caillan, sur la commune de Montaren et Saint-Médières, à environ 2 km à l'aval du vieux pont de Serviers.

La cote d'eau aval imposée pour la crue des 8-9 septembre 2002 correspond à la cote altimétrique du plan d'eau inondé, tel que reporté dans la carte BCEOM de l'analyse de la crue de 2002.

Concernant les crues statistiques décennale, trentennale et centennale, les cotes d'eau aval ont été prises légèrement supérieures à la cote de la ligne d'eau calculée en régime uniforme, de manière à tenir compte des pertes de charges induites par le franchissement du pont de Caillan.

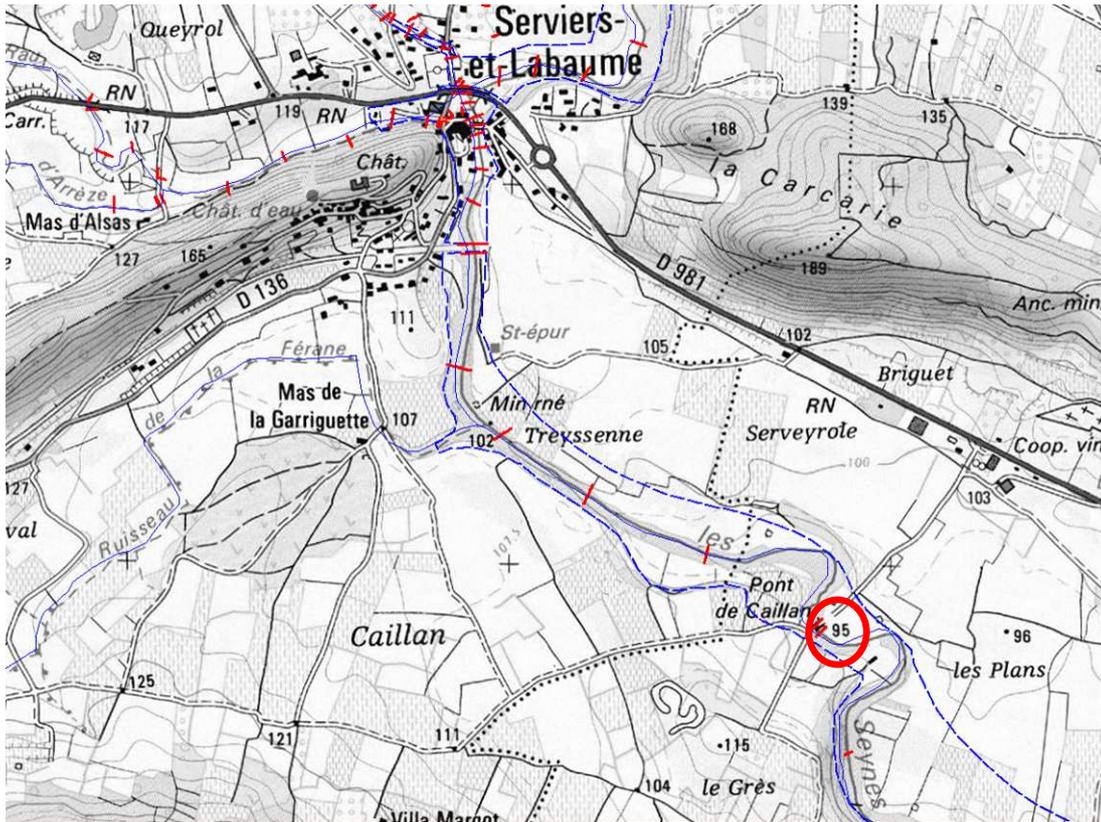


Figure 24 : Localisation de la condition aval imposée au modèle

Ces conditions aval sont présentées dans le tableau suivant :

Crue modélisée	Cote d'eau aval imposée au pont de Caillan
crue de septembre 2002	94.85
100 ans	95
30 ans	94
10 ans	93.5

Figure 25 : Conditions aval du modèle pour les différentes crues simulées

4.4 Calage du modèle

Le calage du modèle se fait par ajustement des coefficients de rugosité de manière à parvenir à une différence jugée acceptable entre les résultats simulés et les cotes des plus hautes eaux relevées lors d'une ou plusieurs crues historiques connues et suffisamment documentées.

4.4.1 Crue de calage

La crue largement débordante la plus récente et la mieux documentée est celle **des 8 et 9 septembre 2002**. Nous la retiendrons comme crue de calage du modèle hydraulique.

4.4.2 Données de calage disponibles

4.4.2.1 Données des Plus Hautes Eaux atteintes en septembre 2002

Nous disposons pour le calage du modèle du recueil des données des plus hautes eaux du 09/09/2002, transmises par le Service d'Annonce des Crues de la DDE 30. Ces cotes des plus hauts niveaux ont été nivelées par la cabinet Richer, dans le cadre de la mission réalisée par Stratégis pour le compte de la DDE du Gard.

Sur le secteur étudié, seules 4 cotes des Plus Hautes Eaux ont été nivelées : une au droit du hameau de Labaume, deux à proximité du vieux pont de Serviers, et une au droit du pont de Caillan, à l'aval

D'autre part, les enquêtes de terrain, le recueil des témoignages des riverains, et la collecte de photos et vidéos que nous avons effectués en 2011 et 2012 nous ont permis de repérer d'autres laisses de la crue des 8 et 9 septembre 2002.

On rappelle que la description du déroulement de cette crue et des dégâts occasionnés a fait l'objet d'un chapitre complet du rapport de phase 1 de cette étude.

L'ensemble des repères de crues utiles au calage du modèle hydraulique est cartographié ci-dessous.

Notons que nous ne disposons pas du nivellement altimétrique précis de la cote des PHE reportée sur l'écusson du mur de la mairie, mais nous savons que le niveau de l'eau était à cet endroit supérieur de 1,55 m au niveau du trottoir.

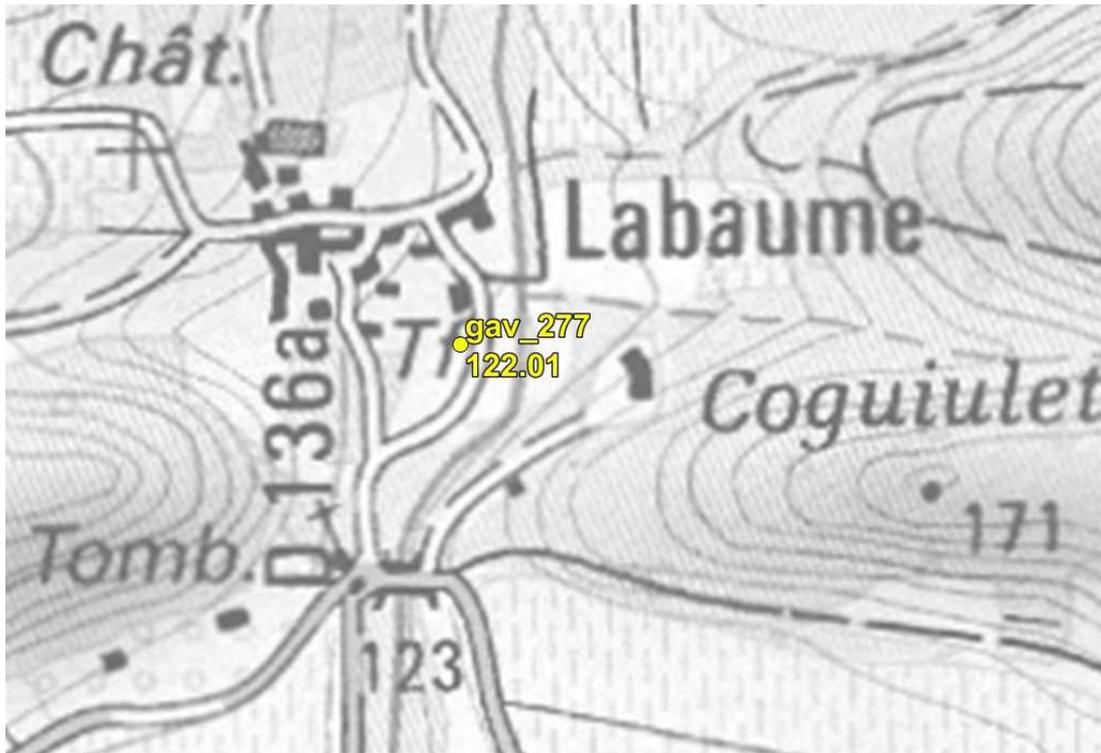


Figure 26 : PHE nivelée et témoignages des niveaux de la crue de septembre 2002 au droit de Labaume



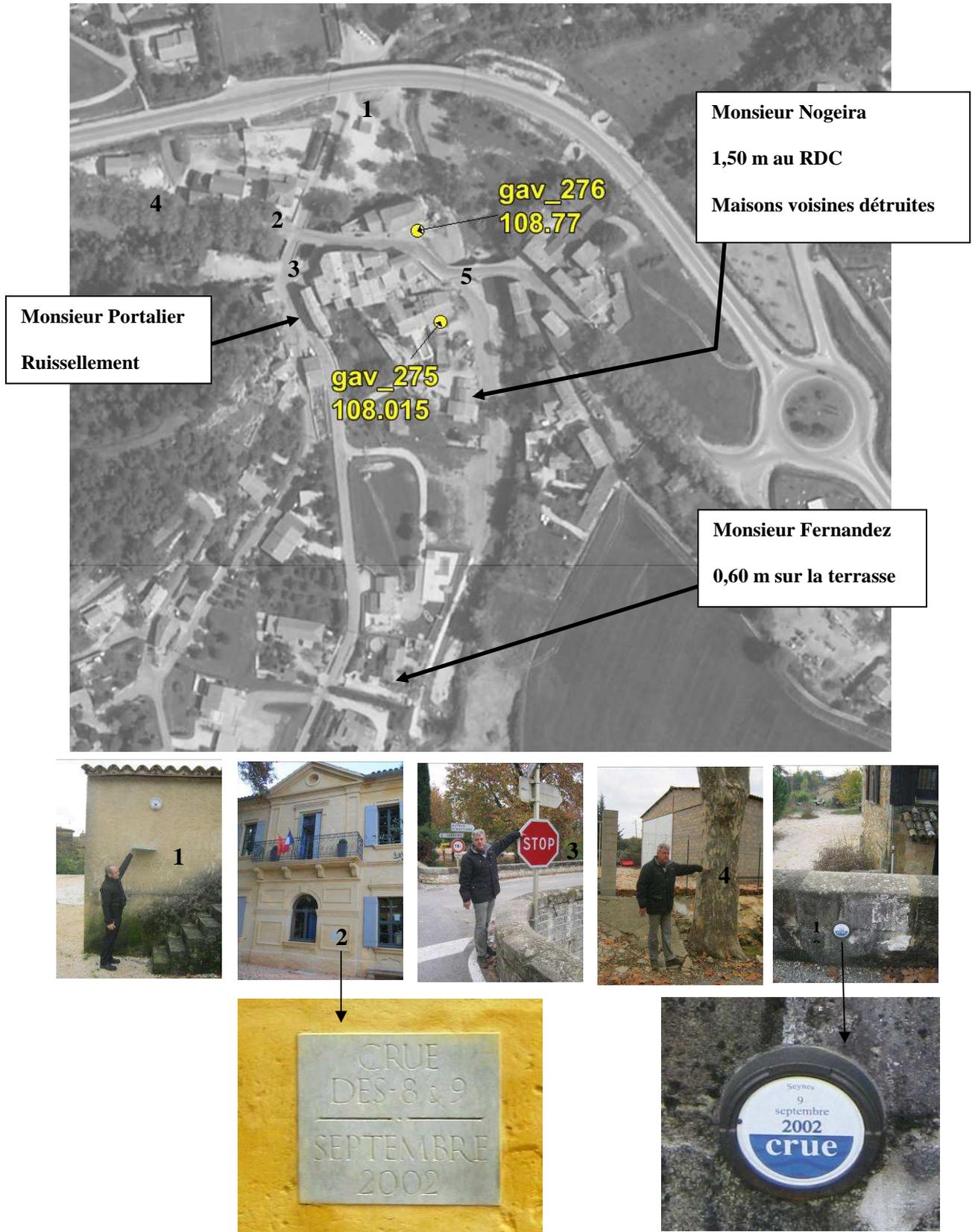


Figure 27 : PHE nivelées (gav) et témoignages des niveaux de la crue de septembre 2002 au droit de Serviers



Figure 28 : PHE nivelée au droit du pont de Caillan

4.4.2.2 Report de la zone inondée à partir des photographies aériennes

Nous disposons également pour le calage du modèle du report de l'emprise maximale de la zone inondée, réalisée par le BCEOM à partir de prises de vues aériennes.

Sur le territoire communal, ce report n'a été fait que sur le ruisseau des Seynes. Le Lisson et les autres affluents n'ont pas été traités.

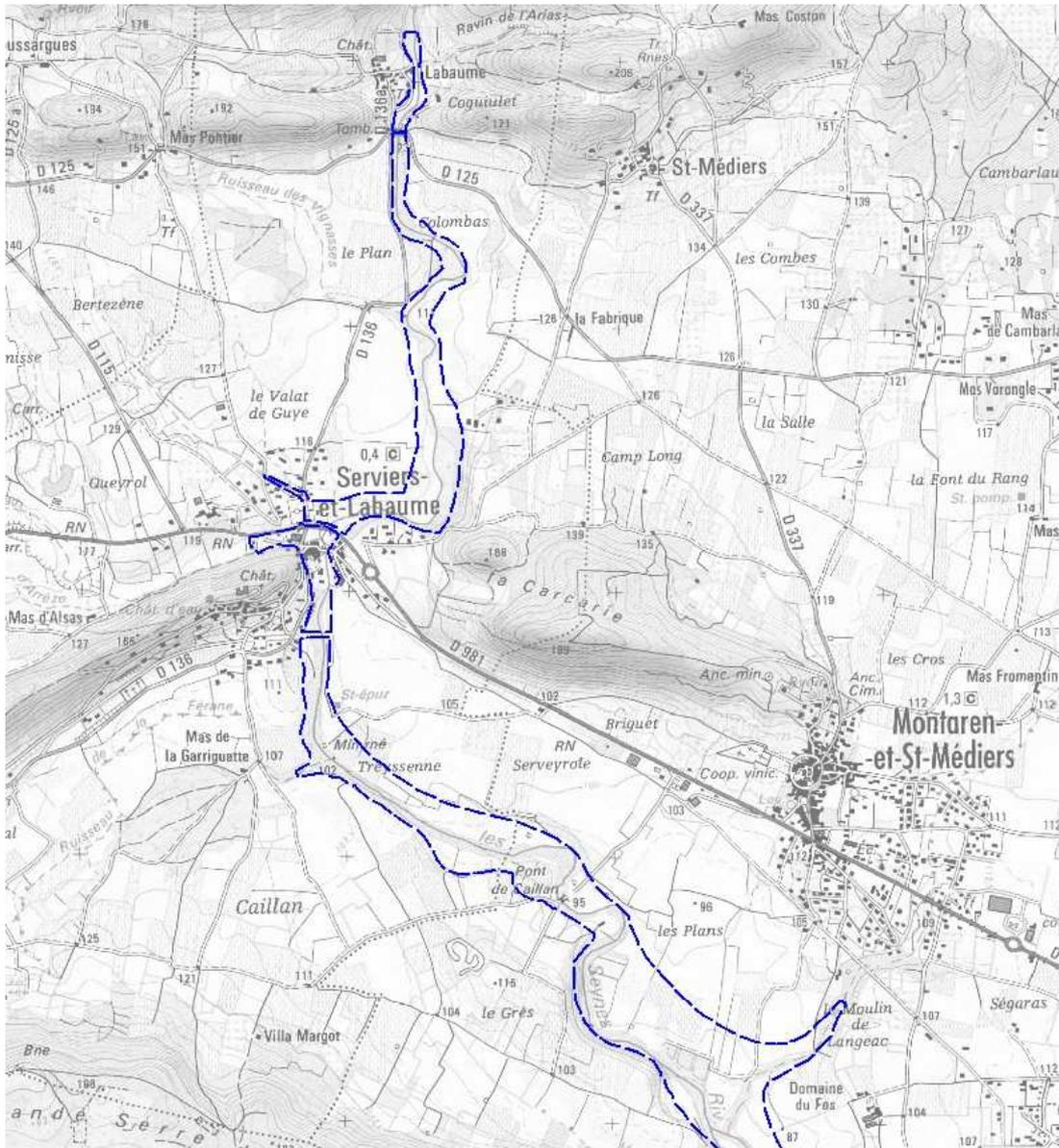


Figure 29 : Report de la zone inondée par les Seynes lors de la crue de septembre 2002- Source BCEOM

4.4.3 Résultats du calage

Les hydrogrammes de la crue de septembre 2002 ont été injectés aux différents nœuds du modèle hydraulique, pour une simulation des écoulements et un calage des hauteurs simulées avec les hauteurs observées et nivelées.

Les résultats du calage sont présentés ci-après.

4.4.3.1 Calage au droit du village de Labaume

Précisons en premier lieu que nous ne disposons que de peu d'information pour le calage du modèle sur le secteur de Labaume.

Nous avons relevé une incohérence entre la cote PHE nivelée gav_277 de 122,01 m NGF et le témoignage que nous avons recueilli auprès de Monsieur Boyer (1,70 m par rapport au plancher de la maison et au niveau de la route). Nous avons privilégié ce témoignage direct pour le calage du modèle, ce qui va dans le sens de la sécurité et d'une certaine cohérence hydraulique.



Figure 30 : Résultats du calage du modèle sur la crue de 2002, au droit de Labaume

4.4.3.2 Calage au droit du village de Serviers

Au droit de Serviers, nous avons calé le modèle sur les PHE nivelées et sur les témoignages directs. Les écarts entre les cotes maximales observées et les cotes simulées sont très faibles, comme le montre la carte suivante.

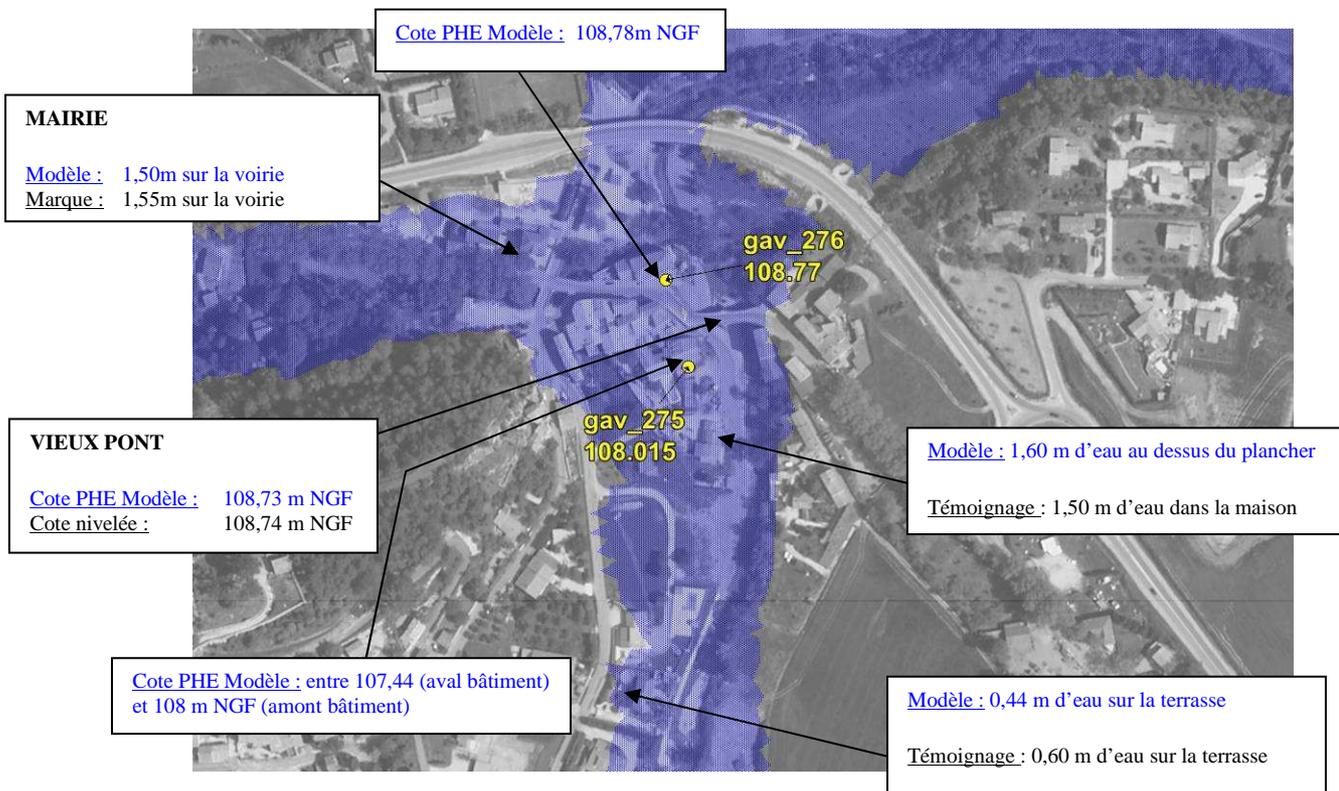


Figure 31 : Résultats du calage du modèle sur la crue de 2002, au droit de Serviers

L'écart entre cote modélisée et cote observée est de l'ordre de 1 cm dans le quartier du vieux pont, et d'environ -5 cm au niveau de la mairie. Il est un plus élevé dans la partie aval entre les cotes modélisées et les hauteurs d'eau approximatives selon les témoignages (+10 cm au droit la maison de Monsieur Nogeira, -16 cm au droit de la terrasse de Monsieur Fernandez).

Au vu des faibles écarts avec les PHE nivelées, nous avons considéré que le modèle était bien calé.

4.4.3.3 Comparaison entre l'emprise inondée modélisée et le report cartographique BCEOM

L'emprise modélisée de la zone inondée en septembre 2002 est légèrement différente du report cartographique de la crue effectué par BCEOM. Ceci est dû à la différence d'échelle, le report ayant été fait sur la base d'une carte au 1/25000 pour l'ensemble des communes du Gardon, alors que nous avons travaillé avec de la donnée topographique LIDAR bien plus précise localement.

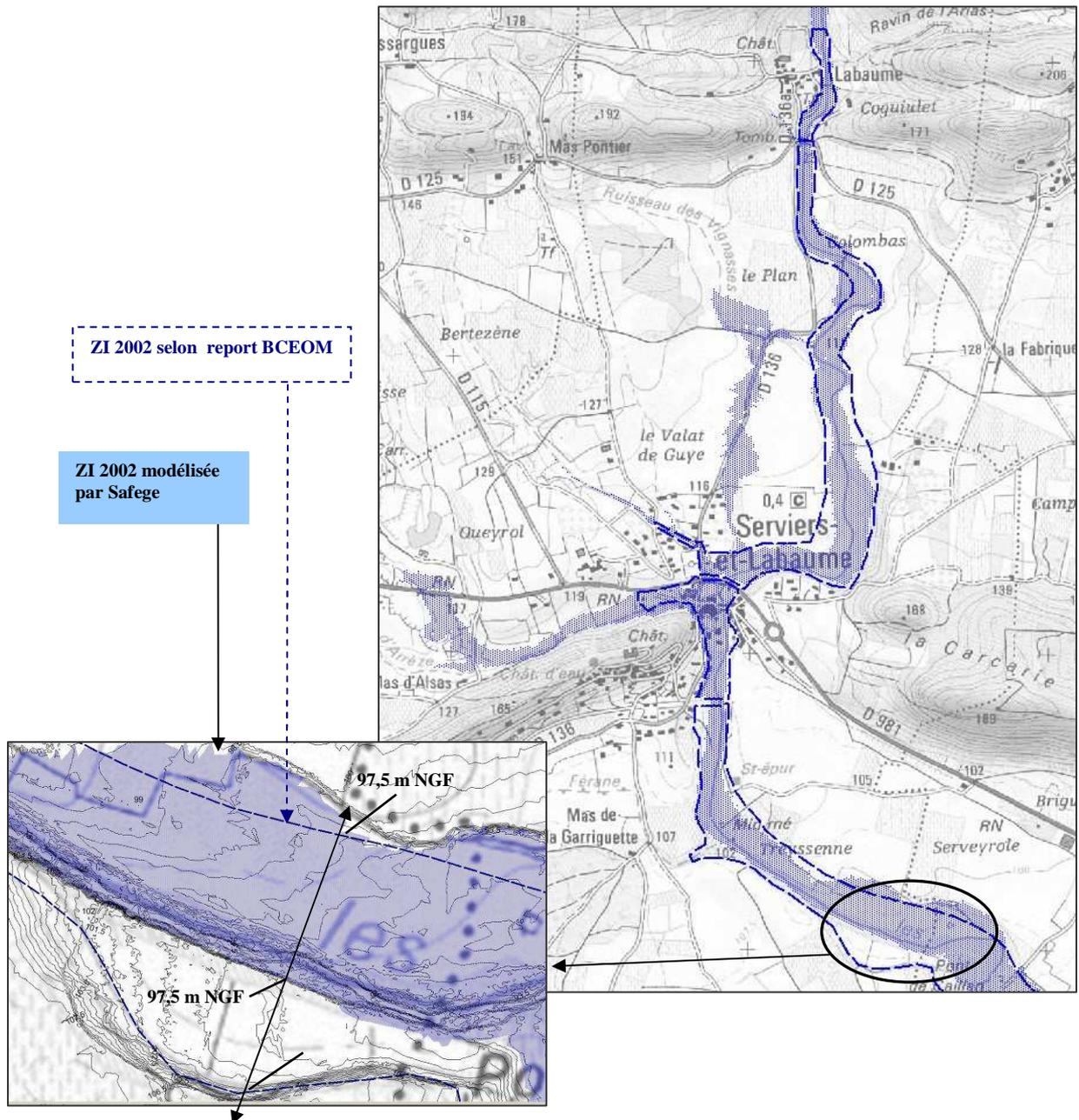


Figure 32 : Comparaison de la zone modélisée et du report cartographique BCEOM pour l'emprise de la crue de septembre 2002

DÉTERMINATION DE L'ALÉA INONDATION POUR LA CRUE DE RÉFÉRENCE ET LES CRUES STATISTIQUES DÉCENNALE ET TRENTENNALE

5.1 Crue de référence centennale

Rappelons au préalable que la crue de référence est la crue centennale, estimée plus forte en débit de pointe que la crue de septembre 2002.

Le modèle hydraulique calé sur la crue de 2002 a permis la simulation de la crue centennale, par injection des débits centennaux précédemment retenus.

Les résultats sont présentés dans la carte 1 fournie en annexes du présent rapport.

5.2 Détermination des zones inondables par les crues trentennale et décennale

Les cartes de l'emprise des zones inondables par les crues de périodes de retour 10 ans et 30 ans ont également été réalisées par injection des hydrogrammes définis dans l'étude hydrologique, et simulations à partir du modèle hydraulique calé sur la crue de 2002.

La carte représentant les zones inondables pour les crues de différentes périodes de retour sont fournies dans la carte 1 en annexe du présent rapport.

6

MODÉLISATION DES DOMMAGES À L'ÉTAT INITIAL

6.1 Principe de la méthode

Il s'agit à ce stade de produire une estimation du coût des dommages potentiels produits par différents types de crues en l'état actuel. L'objectif étant, préalablement à l'élaboration d'un plan d'action, de vérifier l'opportunité de poursuivre des investigations sur des actions pressenties par la commune (objet de la phase III).

La modélisation des dommages à l'état initial est décomposée de la manière suivante :

- Étude des enjeux (objet de la phase I de l'étude) ;
- Calcul des dommages potentiels provoqués par une inondation pour les enjeux « habitat », « entreprises », « bâtiments publics » et « agriculture ».

6.2 Zonage et caractérisation des enjeux

6.2.1 Description générale

Le calcul des dommages subis sur un territoire en cas d'inondation nécessite une analyse détaillée des enjeux liés au secteur d'habitat, aux zones d'activités économiques et aux surfaces agricoles.

Nous avons dès lors réalisé un découpage de l'occupation du sol en secteurs homogènes déclinés selon les classes suivantes : structures d'habitats, activités économiques et surfaces agricoles.

Parallèlement, nous avons répertorié les éventuels enjeux ponctuels que sont les établissements recevant du public, les établissements de gestion de crises, les sites sensibles en cas de crise ainsi que les infrastructures (*Voir carte des enjeux de la phase I*).

6.2.2 Zonage détaillé par secteur homogène d'enjeux

6.2.2.1 Secteurs d'habitat

La détermination des secteurs bâtis a été réalisée sur base du cadastre, des photo-aériennes et des enquêtes de terrain.

Les paramètres suivants ont été observés :

- ✓ La majorité des habitats touchés par les inondations sont de type maison de ville ou des maisons individuelles R+1, de petites superficies.
- ✓ Seules deux habitations ne comprenant qu'un rez de chaussée sont situées dans le lit majeur des Seynes.

6.2.2.2 Surfaces agricoles

L'analyse des photos aériennes et l'enquête de terrain ont montré que, sur la commune de Serviers et Labaume, le lit majeur des Seynes et du Lisson était essentiellement occupé par des grandes cultures (blé), avec quelques parcelles de vignes et de vergers.

6.2.2.3 Entreprises

Sont considérés comme entreprises tous les bâtiments abritant une activité économique, les bureaux de l'administration et les locaux abritant des activités scolaires et de santé.

On ne dénombre qu'une seule entreprise dans la zone inondable du secteur d'étude, le restaurant « l'Olivier », dans le village de Serviers.

6.2.2.4 Bâtiments publics

Les bâtiments publics suivants ont été recensés en zone inondable (10, 30 ou 100 ans) :

- Mairie ;
- École.

6.3 Détermination de la fonction d'endommagement

Les méthodes standards permettent de calculer les dommages potentiels provoqués par une inondation pour les enjeux « **habitat** », « **entreprises** », « **bâtiments publics** » et « **agriculture** ».

Les fonctions de dommages utilisées dans cette étude décrivent le lien entre l'intensité de l'inondation et les dommages qu'elle occasionne. L'intensité de l'inondation est décrite par la hauteur d'eau au droit de l'enjeu considéré (la maison, l'entreprise, la parcelle agricole, etc.) : c'est le paramètre hydraulique essentiel pour calculer la plupart des dommages et, dans tous les cas, le plus facilement connu, auquel s'ajoutent la vitesse du courant, la durée de submersion, etc.

Les dommages sont exprimés en euros, soit pour une surface donnée (m², hectare, etc.), soit pour un enjeu « type » (un pavillon, une boulangerie, etc.). Globalement, plus les paramètres hydrauliques sont élevés, plus le montant des dommages est important.

6.3.1 Courbes de dommages liées à l'habitat

6.3.1.1 Généralités

Selon les préconisations du GERI, les courbes utilisées dans le cadre de la présente étude sont issues de l'adaptation des courbes développées en Angleterre par le Flood Hazard Research (2010). L'adaptation a été réalisée par le CETE Méditerranée aux spécificités du Gard (2012). L'actualisation des prix a été réalisée sur base de l'indice des prix à la consommation de l'INSEE conformément au rapport du CETE.

De manière générale, les courbes prennent en compte les dommages par unité de surface (m²) aux différents postes du bâti (extérieure et intérieure) et du mobilier (incluant les coûts de nettoyage).

Il est proposé une courbe pour chaque type d'habitat identifié dans notre secteur d'étude selon la typologie suivante :

- ✓ Maison individuelle – RDC (type « pavillon »)
- ✓ Maison de ville R+1 avec présence d'un garage sur la quasi totalité du RDC
- ✓ Maison de ville R+1

6.3.1.2 Limites d'utilisation

Les fonctions prennent en compte les dommages directs à l'immobilier et au mobilier ainsi que les coûts liés au nettoyage. Les courbes proposées n'incluent toutefois pas

les dommages aux sous-sols. En effet, il a été considéré que ces derniers étaient rarement présents dans les habitations gardoises.

Ces courbes fournissent un montant de dommages moyen par m² pour 14 hauteurs d'eau comprises entre 0 et 3 m.

Les courbes de dommages à l'habitat ne considèrent pas le facteur vitesse. Nous intégrerons dès lors les habitations répertoriées en secteur où des vitesses supérieures à 1m/s sont enregistrées parmi les critères quantitatifs non monétaires attendu qu'il existe un risque non négligeable pour les vies humaines.

6.3.2 Courbes de dommages liés aux bâtiments publics

Les fonctions proposées pour l'évaluation des dommages directs aux bâtiments publics sont issues des courbes développées au Royaume Uni par le Flood Hazard Research Center (2010).

Il est proposé une fonction de dommages pour chacun des 10 types d'établissements suivants :

- Atelier technique ;
- Centre d'hébergement : maison de retraite, foyers d'accueil, auberges de jeunesse, prisons ;
- Administration courante : mairies, services départementaux, bureaux de poste, commissariats de police, gendarmeries... ;
- Caserne de pompiers ;
- Établissement d'enseignement – crèche : écoles, collèges, lycées, universités et crèches ;
- Local associatif – gymnase : salles des fêtes, maisons de quartier (MJC), locaux d'activités socio-éducatives et culturelles et gymnases ;
- Bibliothèque – musée ;
- Lieu de culte (excepté monument historique) ;
- Piscine ;
- Théâtre.

Les fonctions prennent en compte les dommages directs à l'immobilier et au mobilier.

Ces courbes fournissent un montant des dommages moyen par m² pour 17 hauteurs d'eau comprises entre -1 m et 3 m :

- Les dommages aux sous sols sont pris en compte le cas échéant (hauteurs d'eau négatives).
- La surface considérée correspond à la surface au sol de l'établissement. Il s'agit donc pour chaque bâtiment de disposer de son emprise au sol.
- Les dommages sont exprimés en fonction de la hauteur d'eau par rapport au premier plancher. Aussi pour les appliquer, il est nécessaire de disposer de la hauteur du premier plancher des bâtiments par rapport au terrain naturel.

Les courbes sont exprimées en euros 2010.

6.3.3 Courbes de dommages liées aux entreprises

Les courbes proposées pour l'évaluation des dommages directs aux activités économiques (hors activités agricoles) correspondent aux courbes développées au Royaume Uni par le Flood Hazard Research Center.

Il est proposé une fonction de dommages pour chacun des 31 types d'établissements suivants :

Manufacture, usine, atelier
Industrie extractive
Laboratoire pharmaceutique
Bureau
Bureau équipement high-tech
Hall d'exposition automobile
Garage
Entrepôt de stockage de biens de consommation hors alimentaire
Entrepôt de stockage de produits de grande consommation dont alimentaire non surgelé
Entrepôt de stockage de produits alimentaires surgelés
Entrepôt de stockage d'équipements électroniques
Commerce, boutique de centre-ville
Magasin, entrepôt de vente au détail
Supermarché, Hypermarché
Autres commerces (commerces de détail sur éventaires et marchés)
Station-service
Hôtel
Autres hébergements touristiques (gîte, chambre d'hôtes...)
Autres hébergements (foyers, internats, chambres étudiants)
Restaurant, cafétéria
Snack, fast-food
Bar, discothèque
Cinéma
Banque
Cabinet médical, centre médico-social
Location de véhicules et de machines
Station d'ambulances
Laboratoire d'analyses médicales / Cabinet de médecin spécialiste
Centre sportif ou de loisir
Salon de coiffure ou de beauté
Autres services personnels (définition de la NAF)

Tableau 30 : Types d'établissements pris en compte dans les fonctions d'aménagement

Les fonctions prennent en compte les dommages directs au bâtiment, aux stocks et à l'outil de production (installations techniques, matériel, outillage).

Ces courbes fournissent un montant de dommages moyen par m² pour 17 hauteurs d'eau comprises entre – 1 m et 3 m.

Les dommages aux sous-sols sont pris en compte le cas échéant (hauteurs d'eau négatives).

La surface considérée correspond à la surface au sol de l'établissement. Il s'agit donc pour chaque bâtiment de disposer de son emprise au sol.

Les dommages sont exprimés en fonction de la hauteur d'eau par rapport au premier plancher. Aussi, pour les appliquer, il est nécessaire de disposer de la hauteur du premier plancher des bâtiments par rapport au terrain naturel.

Un tableau de correspondance attribue à chaque code APE (Activité Principale Exercée) de la Nomenclature d'Activités Française (NAF) 2008, la fonction de dommages jugée a priori la mieux adaptée.

Les courbes proposées sont exprimées en euro 2010.

6.3.4 Matrices agricoles

6.3.4.1 Généralités

Les grilles proposées pour l'évaluation des dommages directs aux cultures correspondent aux matrices développées en 2003 par AScA dans le cadre de l'étude EGR (Étude Globale pour une stratégie de réduction des risques dus aux crues du Rhône) et réactualisées dans le cadre de l'outil standard Plan Rhône en 2010.

L'adaptation de ces matrices au contexte agricole de la vallée du Rhône a été conduite par la consultation d'experts agricoles locaux et des références technico-économique disponibles sur les différentes productions de la vallée, qui ont permis également d'actualiser les coûts des dommages en fonction des conditions particulières de production et de marché de la vallée du Rhône.

Ce sont ces matrices qui sont actuellement recommandées par les annexes techniques nationales du cahier des charges PAPI et, plus spécifiquement, par le GERI pour le département du Gard.

Les grilles proposées concernent les grandes classes de cultures suivantes :

- ✓ Vignes
- ✓ Vergers

- ✓ Grandes cultures d'hiver (blé) et grandes cultures de printemps (maïs, riz, tournesol)
- ✓ Cultures à haute valeur ajoutée
- ✓ Serre (tunnel ou verre)

Ces courbes fournissent un montant de dommages moyen par ha pour différentes variables :

- ✓ 3 hauteurs de submersion : < 0,5 m, comprises entre 0,5 et 1,5 m, > 1,5m.
- ✓ 3 classes de vitesses : < 1 m/s, comprises entre 1 et 2 m/s, > 2 m/s.
- ✓ 5 périodes culturales : septembre, octobre, novembre à mi-mars, mars-avril, mai.

6.3.4.2 Limites d'utilisation

Les principales limites à l'utilisation de ces matrices sont listées ci-dessous :

- ✓ L'échelle très vaste sur laquelle elles ont été réalisées ne permet probablement pas de prendre en compte les spécificités du Gard.
- ✓ Certains dommages ne sont pas pris en compte, tels que les dommages au sol et au capital végétal ou les dommages liés à la durée de submersion.
- ✓ Les classes considérées restent génériques sans prendre en compte les sous types de cultures (exemple abricotier, cerisiers, ... pour le groupe « verger »).

L'ensemble de ces approximations engendre dès lors vraisemblablement une sous-estimation des dommages agricoles.

6.4 Calcul des dommages

6.4.1 Quantification des enjeux concernés

Le tableau suivant dénombre les enjeux concernés par les zones inondables pour différentes périodes de retour.

Quantification des enjeux touchés - état initial					
Occurrence (ans)			10	30	100
Entreprises	Hangars agricoles	Nombre inondés	0	2	3
	Restaurant	Nombre inondés	0	1	1
Bâtiments publics		Nombre inondés	0	2	3
Habitats		Nombre inondés	2	20	27
Terres agricoles		Superficie en z.i.(hectares)	20	36	47

Tableau 31 : Enjeux concernés par les zones inondables pour des crues de différentes occurrences

6.4.2 Estimation du coût des dommages

Le tableau suivant reprend les coûts estimés en situation existantes pour différentes occurrences de crues.

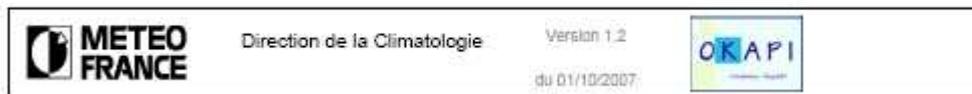
Afin d'éviter une surestimation des hauteurs d'eau, nous avons considéré qu'en moyenne, le seuil habitable des bâtiments était surélevé de 10 cm par rapport au terrain naturel ou à la voirie.

Dommages en situation initiale - €			
Occurrence (ans)	10	30	100
Entreprises	0	218 472	328 170
Bâtiments publics	0	81 833	370 926
Habitats	85 832	1 564 180	2 820 300
Agricoles	1 902	4 228	6 480
TOTAL	87 734	1 868 712	3 525 875

Tableau 32 : Coûts des dommages pour différentes occurrences de crues

ANNEXE 1

DESCRIPTION DES MÉTHODES D'ESTIMATION DES PLUIES EXTRÊMES : MÉTHODES DE GUMBEL, DU RENOUVELLEMENT ET SHYREG (SOURCE MÉTÉO FRANCE)



Annexe

Durées de retour de précipitations extrêmes

Généralités

Un des problèmes fréquemment posé par les utilisateurs est la connaissance de la valeur extrême d'un paramètre en un point donné. Une réponse à cette question est la communication d'un record, portant sur une série de mesure plus ou moins longue. Mais un record est par définition toujours susceptible d'être dépassé. De plus si nous disposons de séries très longues et spatialement denses pour certains paramètres (précipitations et températures extrêmes quotidiennes), c'est loin d'être le cas pour tous (précipitations à pas de temps fins). Dans ce cas, la représentativité d'un record est très limitée.

Or, dans divers domaines d'activités tributaires des conditions atmosphériques – et notamment ceux liés à l'évacuation des eaux pluviales, au débit des cours d'eau, à l'irrigation – l'analyse statistique des données climatologiques fournit des éléments objectifs permettant de prendre les décisions utiles lors de l'établissement de plans à long terme. Et comme il s'agit souvent d'évaluation de risques, les résultats sont, le plus souvent, exprimés en fréquence ou sous forme probabiliste.

Partant des séries observées, la détermination des durées de retour de phénomènes extrêmes consiste alors à calculer quelles sont les valeurs du paramètre susceptibles d'être dépassées en moyenne une fois tous les 5, 10, 20, 30, 50 ou 100 ans... Les estimations obtenues sont toujours accompagnées d'un intervalle de confiance. A ces fins, plusieurs lois statistiques (Gauss, Galton, loi GEV, méthode du renouvellement) sont à notre disposition. Chacune d'elle s'adapte plus ou moins bien à l'ajustement de l'échantillon, selon la taille de celui ci, et surtout la nature du phénomène considéré (précipitations cumulées sur une durée courte ou longue, vents forts, températures extrêmes...). La Direction de la Climatologie met à jour tous les ans une base de données de durées de retour de pluies (loi GEV et du renouvellement) et de vents forts (renouvellement). Ces données font l'objet d'une validation.

Lorsque la densité spatiale des séries de mesures fait défaut (précipitations à pas de temps fins, vents), on peut être tenté de réaliser une interpolation spatiale des estimations. Il faut savoir que les extrêmes sont très dépendants de l'environnement immédiat du poste de mesure. Cet exercice est donc périlleux et déconseillé. Cependant, le CEMAGREF a développé pour le paramètre précipitations, une méthode nommée SHYREG permettant d'y remédier. Celle ci produit une

estimation de quantiles de pluie pour des cumuls allant de 1 à 72 heures et des durées de retour de 2 à 100 ans disponibles sur une grille de 1 km de résolution. Ces estimations sont obtenues par simulations de longues chroniques de pluie à l'aide d'un générateur stochastique de pluies horaires.

Présentation synthétique des méthodes disponibles sur Okapimet, mode précalculé

Méthode	GEV	Renouvellement	SHYREG
Paramètre traité	- Maxima annuels de précipitations à pas de temps fins (cumuls sur 6 minutes à 192 heures) - Maxima annuels de précipitations quotidiennes (cumuls sur 1 à 10 jours).	- Précipitations à pas de temps fins supérieures à des seuils fixés à la station (cumuls sur 6 minutes à 192 heures). - Précipitations quotidiennes supérieures à un seuil à la station (cumuls sur 1 à 10 jours).	Cumuls maxima de précipitations de 1 à 72 heures calculés sur des chroniques simulées de précipitations horaires.
Durées de retour traitées	5, 10, 20, 30, 50, 100 ans	5, 10, 20, 30, 50, 100 ans	2, 5, 10, 20, 50, 100 ans
Disponibilité spatiale	au point de mesure - densité importante pour les pluies quotidiennes - densité faible pour les pluies à pas de temps fins.	au point de mesure densité importante pour les pluies quotidiennes	en points de grille (1 km) avantage d'une densité régulière
Mise à jour	annuelle	annuelle	Non prévue à ce jour
Limitations	- les résultats issus de séries de moins de 25 ans sont peu fiables. - les extrapolations au delà de 4 fois la longueur de la série sont peu fiables.	- les extrapolations au delà de 4 fois la longueur de la série sont peu fiables.	- pas d'intervalles de confiance - pas de prise en compte des événements récents
Avantages	- prise en compte des événements récents - intervalles de confiance - Bon ajustement des événements rares	- prise en compte des événements récents - intervalles de confiance - traitement possible des séries courtes (dès 10 ans)	Disponibilité en tout point

Choix de la méthode (estimations précalculées) :

- estimations ponctuelles non disponibles à proximité du lieu d'étude, on privilégiera la méthode SHYREG, surtout dans les zones accidentées.
- estimations ponctuelles disponibles à proximité du lieu d'étude, on privilégiera :
 - la loi GEV si la série dispose de 25 ans au moins
 - la méthode du renouvellement dans les autres cas.

Remarques générales :

- Il est possible d'estimer des quantiles à partir de séries de 10 ans de données, à l'aide de la méthode du renouvellement. Celle-ci a en effet été développée pour permettre de traiter les échantillons auxquels la loi GEV est inapplicable (en pratique les échantillons de moins de 25 ans)
- On admet en général qu'il n'est pas raisonnable d'évaluer des quantiles de durée de retour supérieure à 4 fois la taille de l'échantillon, quelle que soit la méthode.
- On insiste sur l'importance de l'intervalle de confiance associé aux estimations.
- La loi GEV, quand elle est applicable, permet d'occulter les phénomènes de doubles populations visibles dans les ajustements par la méthode du renouvellement et dus à la présence simultanée de pluies convectives et stratiformes (sud-est de la France).

Loi GEV

Généralités

Cette méthode est d'usage répandu pour la modélisation des valeurs extrêmes des phénomènes naturels, que ce soit en météorologie ou en hydrologie. Elle permet d'évaluer les événements exceptionnels (se produisant en moyenne une fois tous les 5, 10, 20, 30, 50 et 100 ans).

Si le produit est calculable dès que la série dispose de 10 ans de données, l'emploi de la méthode est néanmoins fortement déconseillé en dessous de 25 ans car l'échantillon utilisé contient seulement une valeur par an.

Principe

La loi généralisée des valeurs extrêmes (GEV) dépend de trois paramètres (paramètre de localisation, d'échelle et de forme). Une distinction s'effectue en fonction du paramètre de forme k . On a donc trois lois appelées lois de Fisher-Tippett de type I, II et III pour respectivement les valeurs de $k=0$, $k<0$ et $k>0$.

La fonction de répartition de la loi s'énonce :

- pour $k \neq 0$, $F(x) = \exp\left(-\left(1 - k \frac{x-D}{G}\right)^{1/k}\right)$
- pour $k = 0$, $F(x) = \exp\left(-\exp\left(-\frac{x-D}{G}\right)\right)$

où D est le paramètre de localisation et G le paramètre d'échelle.

La loi de type I est plus communément connue sous le nom de loi de Gumbel. (cf méthodes paramétrables)

La méthode consiste à réaliser un ajustement direct aux valeurs maximales annuelles de la variable météorologique. Cet ajustement se fait par la méthode des moments pondérés.

L'avantage de la loi GEV est la prise en compte des ajustements non linéaires en queue de distribution (vers les événements les moins fréquents) dans un diagramme de type Gumbel.

Restrictions

La loi GEV ne tire pas le profit maximum des informations journalières disponibles et peut s'avérer tout à fait insuffisante par rapport à une méthode de type "renouvellement" qui prend en compte toutes les valeurs dépassant un seuil fixé.

Ainsi la méthode du maximum annuel donnera le même poids à une hauteur maximale très supérieure aux autres valeurs de l'année, et à une hauteur maximale très proche de plusieurs autres valeurs.

Au delà de 4 fois la longueur de la série de données, les estimations sont fournies à titre indicatif.

Il faut bien garder à l'esprit que ces valeurs sont des estimations qui dépendent des informations disponibles au moment de leur évaluation. Un événement ultérieur est toujours susceptible de les contredire.

Echelles du diagramme d'ajustement

En abscisses : Les valeurs du paramètre dans l'unité précisée, suivant une échelle linéaire.

En ordonnées : les durées de retour en années suivant une échelle $\text{Ln}(\text{Ln})$.

On rappelle la correspondance entre fréquence cumulée (%) et durée de retour (années) : durée = $1/(1 - F)$

Méthode du renouvellement

Généralités

Cette méthode, utilisée à l'origine par les hydrologues pour l'estimation de valeurs extrêmes de crues, permet d'évaluer les événements exceptionnels (se produisant en moyenne une fois tous les 5, 10, 20, 30, 50 et 100 ans) pour des séries disposant d'au moins 10 ans de données.

On sélectionne tous les événements supérieurs à un seuil ce qui permet de conserver en général plus d'un événement par an. (Alors qu'un ajustement par une loi de Gumbel ne s'applique qu'à des maxima annuels, soit une valeur par an).

Principe et mise en oeuvre

On effectue d'abord si possible l'ajustement des hauteurs dépassant un seuil à une loi généralisée de Pareto, puis on choisit la loi d'ajustement des nombres annuels de dépassements.

1 - Choix de l'échantillon de dépassements de seuil à utiliser :

Pour chaque durée de cumul (6min, 15min, etc...), on ne conserve que le maximum quotidien des dépassements de seuil afin d'assurer l'indépendance des données.

2 - Ajustement des hauteurs de dépassement de seuil :

Afin de retenir le seuil pour lequel les ajustements sont les meilleurs, plusieurs seuils sont testés. A partir de l'échantillon initial le seuil est progressivement augmenté tant que le nombre moyen de dépassements annuels est supérieur à 1.

Tous les seuils pour lesquels l'ajustement à une loi généralisée de Pareto est " acceptable " (test du χ^2 à 5%) sont stockés et classés, du meilleur ajustement jusqu'au moins bon.

Si aucune valeur de seuil ne permet un ajustement des hauteurs, on n'effectue aucun calcul de durée de retour.

3 - Ajustement des nombres annuels de dépassements :

On essaie alors d'ajuster les nombres annuels de dépassements à une loi de Poisson. On teste successivement chaque seuil stocké précédemment en partant du seuil fournissant le meilleur ajustement des hauteurs. Dès que pour un seuil, l'ajustement de la loi de Poisson est correct (χ^2 à 5%) le processus s'arrête, et l'estimation des hauteurs de fréquence rare est faite avec ce seuil.

Si l'ajustement à une loi de Poisson échoue, on essaie d'ajuster à une loi binomiale négative.

Si le nombre d'années ne permet pas l'utilisation du test du χ^2 (la majorité des cas où l'on a moins de 20 ans de données), on utilise une loi simplifiée : la loi asymptotique. Dans ce cas, le calcul des précipitations de durée de retour 5 ans n'est fourni qu'à titre indicatif.

Restrictions

Au delà de 4 fois la longueur de la série de données, les valeurs fournies sont à prendre avec précautions.

Il faut bien garder à l'esprit que ces valeurs sont des estimations qui dépendent des informations disponibles au moment de leur évaluation. Un événement ultérieur est toujours susceptible de les contredire.

Echelles du diagramme d'ajustement

En abscisses : Les valeurs du paramètre dans l'unité précisée, suivant une échelle linéaire.

En ordonnées : Les durées de retour en années suivant une échelle logarithmique.

On rappelle la correspondance entre fréquence cumulée (%) et durée de retour (années) : durée = $1/(1 - F)$

Méthode SHYREG (Simulation d'HYétogrammes REGIONalisée)

Contexte

Un des inconvénients majeurs concernant les estimations des durées de retour pour des cumuls de pluie inférieurs à la journée est la faible densité spatiale du réseau d'observation. Le réseau de mesures des précipitations journalières étant beaucoup plus dense, des recherches ont été entreprises par le Cemagref en vue de déterminer des liaisons entre les caractéristiques des pluies journalières et des paramètres des lois de probabilité des variables caractérisant les épisodes pluvieux.

Principe du générateur

Le signal pluie est décrit par 9 variables, dont les lois de probabilité ont été identifiées par une approche adimensionnelle sur 217 postes pour lesquels existent des chroniques de pluie horaire. Un tirage ordonné, par la technique de Monte-Carlo, permet de tirer au hasard la réalisation de chacune des variables, ce qui permet de construire des chroniques synthétiques de pluie horaire. Le modèle peut notamment générer des chroniques infinies, ce qui permet d'estimer directement des quantiles par calcul fréquentiel et sans hypothèse supplémentaire sur une loi de probabilité censée représenter les échantillons. A ce niveau, il s'agit d'une approche locale.

Régionalisation

La méthode SHYREG est basée sur la régionalisation du générateur de chroniques de pluie horaire. Il a été montré que 3 variables issues de données quotidiennes expliquent correctement à elles seules les paramètres nécessaires au générateur. Ces trois variables sont :

- NE : le nombre moyen d'événements pluvieux par saison
- μ PJMAX : la moyenne des pluies journalières maximales des événements d'une saison
- μ DTOT : la moyenne des durées des événements pluvieux par saison

Une régionalisation de ces 3 caractéristiques moyennes des échantillons de pluies journalières a alors été entreprise, à partir de 2812 postes. Elle a été réalisée sur 11 zones homogènes, pour 2 saisons « été » et « hiver », à l'aide de prédicteurs géographiques tels que altitude, distances (à la mer, aux lignes de crêtes...) et composantes principales de relief.

La spatialisation résultante (sur grille de résolution 1 km), permet le lancement du générateur de séries horaires en tout point de cette grille. Elle permet du même coup de disposer en chaque point de quantiles pour les cumuls infra et supra journaliers : 1 à 72 heures pour des périodes de retour de 2 à 100 ans.

Les quantiles ainsi obtenus pour les cumuls sur 24 heures ont été comparés à une interpolation par krigeage des quantiles de pluies journalières (i e mesurés entre 06H00 (J) et 06H00 (J+1) et donc non centrés sur la pluie maximale en 24 heures) calculés par la méthode GEV (voir plus haut) disponibles à Météo France, pour les durées de retour 10, 50 et 100 ans. Elle montre une bonne concordance entre les valeurs sur la majorité du territoire métropolitain, excepté sur le quart sud-est. Sur cette zone, le champ de quantiles SHYREG varie énormément en fonction de la topographie du terrain (qui n'a pas été intégrée à l'interpolation des quantiles GEV). Cette prise en compte est certainement un atout de la méthode SHYREG.

Une deuxième comparaison a ensuite été réalisée localement, pour 85 postes disposant de séries à pas de temps fins de 25 ans au moins. Cette fois les cumuls ajustés par la loi GEV sont aussi des cumuls de pluie centrés sur le pic d'intensité maximale. Dans la plupart des cas SHYREG aboutit à des quantiles plus importants, notamment pour les grandes durées de retour (50 ans et plus).

Restrictions

Les valeurs disponibles ne prennent pas en compte les événements récents.

Les quantiles ne sont pas assortis d'intervalles de confiance.

ANNEXE 2 DESCRIPTION DE LA MÉTHODE SHYPRE (SOURCE CEMAGREF)

La méthode SHYPRE

Type de résultat (recherche, travaux d'expertise, brevet, guides...)

SHYPRE, acronyme de Simulation d'HYDrogrammes pour la PREdétermination des crues, est une méthode développée au groupement d'Aix-en-Provence du Cemagref. Elle s'appuie sur les travaux de Cernesson (1993), Cernesson et al (1996), Arnaud (1997) et Arnaud et al (1999). Elle associe un générateur aléatoire de pluies horaires et une transformation de la pluie en débit. Les techniques de simulation permettent de générer de très longues chroniques de pluie horaire (sur 100 000 ans, par exemple) d'où se déduisent les hydrogrammes de crue par application d'une modélisation simple de la pluie en débit. Un simple classement des pluies et des débits simulés permet de tracer les distributions de fréquence « empiriques » des pluies et des débits de toutes durées et d'en déduire les quantiles pour une large gamme de périodes de retour, de 2 à 1000 ans.

Le modèle de génération de pluie s'appuie sur une description géométrique du signal temporel de pluie. La génération du signal temporel de pluie est réalisée en deux étapes. La première étape est l'étude descriptive du phénomène. Elle est basée sur l'analyse de la structure temporelle interne des événements pluvieux observés au pas de temps horaire, un événement pluvieux étant défini par une hauteur journalière de pluie supérieure à 20 mm. Cette analyse amène au choix des lois de probabilité qui les caractérisent. La seconde étape est la reconstitution de la chronique de pluie par les variables descriptives, générées de façon aléatoire par une méthode de Monte Carlo.

Initialement, l'étude d'une cinquantaine de postes pluviographiques, situés sur le pourtour méditerranéen français, a permis de déterminer les lois de probabilité théoriques qui reproduisent au mieux les distributions de fréquences empiriques des différentes variables. Le calage de ces différentes lois de probabilité à chacun des postes permet de définir un modèle local.

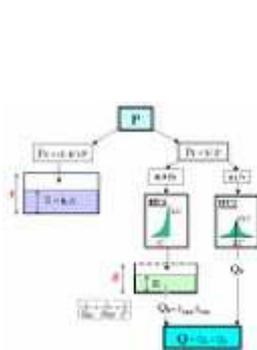
Ce modèle est en cours d'utilisation en milieu tropical (Île de la Réunion) et sur l'ensemble de la France métropolitaine.

Deux modèles peuvent être mis en œuvre par SHYPRE pour la transformation pluie-débit :

le modèle conceptuel GR3H défini par 3 paramètres (Edijatno et al. 1989) ;

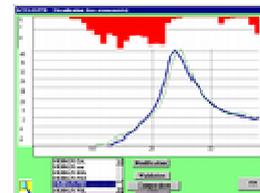
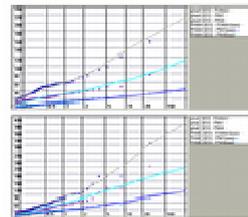
- la fonction de production du Soil Conservation Service (National Engineering Handbook 1985), associée à un hydrogramme unitaire. Ce modèle est défini par 2 paramètres : un pour la fonction de production et un autre qui représente le temps de montée de l'hydrogramme unitaire.

Pour un bassin versant jaugé, la méthode identifie le paramétrage du modèle qui reproduit au mieux les crues observées. Après cette phase de calage, SHYPRE est utilisé en simulation. Des hyétogrammes horaires sont simulés et transformés en débit. La méthode fournit ainsi différents scénarios de crue. Le traitement statistique de ces informations permet aussi l'estimation des quantiles de débits de différentes durées sur l'ensemble de la plage des fréquences (du courant à l'exceptionnel).



Architecture du modèle GR3H

Poste de Bessèges : Distribution de fréquence des pluies de durée 1, 4 et 24 heures, pour la saison été et la saison hiver. Les points représentent les observations et les traits pleins sont déduits de la simulation (période de retour en abscisses et pluie en ordonnées)



Bassin versant de recherche du Réal Collobrier. Modélisation (en pointillé) d'une crue sur le bassin versant du Pont de Fer (en trait plein). En abscisse : temps en heure ; en ordonnées : débit en l/s.

Auteurs [Breil Dominique](#)

ANNEXE 3

MÉTHODE CRUPEDIX

Objectif : Estimation du débit de pointe de la crue de fréquence décennale sur un bassin versant non jaugé.

Source bibliographique Synthèse nationale sur les crues des petits bassins versants. Fascicule 3. La méthode CRUPEDIX. Ministère de l'Agriculture. Juillet 1980.

Cette formule a été calculée par le Service de l'Hydraulique du Ministère de l'Agriculture en 1980 par une approche statistique à partir d'observations de crues sur 630 bassins versants de superficie comprise entre 10 et 2 000 km².

Elle se présente sous la forme suivante :

$$Q_d = S^{0.8} \cdot (P_{10}/80)^2 \cdot R$$

avec : Q_d : débit instantané de crue de fréquence décennale, en m³/s.

S : Superficie du bassin versant, en km².

P_{10} : Précipitation journalière de fréquence décennale, en mm.

R : Coefficient régional. La valeur de ce coefficient est 1,5 pour l'arc méditerranéen.

L'intervalle de confiance qui a une probabilité de plus de 90 % d'encadrer la valeur vraie est l'intervalle ($Q_d/2$, $2Q_d$). L'intervalle ($2Q_d/3$, $3Q_d/2$) correspond à une probabilité d'environ 70 %.

ANNEXE 4

MÉTHODE SOCOSE

Objectif : Estimation du débit de pointe de la crue de fréquence décennale sur un bassin versant non jaugé.

Source bibliographique : Synthèse nationale sur les crues des petits bassins versants. Fascicule 2. La méthode SOCOSE. Ministère de l'Agriculture. Juillet 1980.

Cette formule a été calculée par le Service de l'Hydraulique du Ministère de l'Agriculture en 1980 à partir d'observations sur 187 bassins versants retenus, de superficie variant entre 2 et 200 km².

Les variables explicatives utilisées par cette méthode sont :

- S : Surface du bassin versant, en km².
- L : Longueur du plus long talweg, en km.
- Pa : Pluviométrie moyenne interannuelle, en mm.
- P₁₀ : Précipitation journalière décennale, en mm.
- Ta : Température moyenne interannuelle réduite au niveau de la mer, en °C.
- b : Exposant de la loi de MONTANA de fréquence décennale.

Elles permettent d'atteindre les valeurs intermédiaires suivantes indispensables au calcul du débit de crue décennale :

① Calcul de la durée caractéristique de crue D :

$$\ln(D) = -0,69 + 0,32 \ln(S) + 2,2 \sqrt{(Pa/(P_{10} \times Ta))}$$

D en heures, S en km, Pa et P₁₀ en mm, Ta en °C

② Calcul de l'interception potentielle J :

$$J = 260 + 21 \ln(S/L) - 54 \sqrt{(Pa/P_{10})}$$

J en mm, S en km, L en km, Pa et P₁₀ en mm.

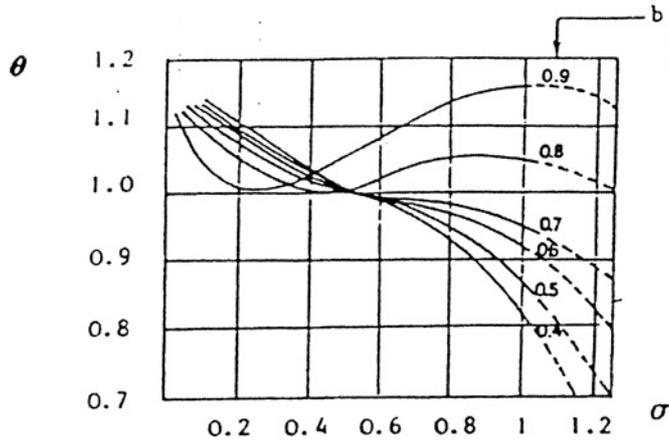
- ③ Calcul de l'indice pluviométrique k :

$$k = 24b \times P10 / [21 (1 + \sqrt{S / (30 \times 3 D)})]$$

- ④ Calcul du nombre intermédiaire ρ :

$$\rho = 1 - J / (5 \times k \times (1,25 \times D)^{1-b})$$

- ⑤ Détermination du coefficient ε à partir de b et ρ , par le graphique ci-après :



- ⑥ Calcul du débit de pointe de crue décennale Q_d en m^3/s

$$Q_d = \varepsilon \times k \times S \times \rho^2 \left((1,25D)^b \times (15 - 12\rho) \right) \quad \text{si } \rho > 0$$

$$Q_d = 0 \quad \text{si } \rho \leq 0$$

ANNEXE 5

MÉTHODE DES EXPERTS

Objectif : Estimation du débit de pointe de crues diverses sur un bassin versant non jaugé, adaptation au contexte gardois.

Source bibliographique : *Méthodologie et principes de calcul pour le dimensionnement hydraulique des ouvrages de franchissement des petits bassins versants* : Astier, Desbordes, lefort, Limandat, décembre 1993

Cette formule est une adaptation de la formule rationnelle au contexte gardois.

La formule rationnelle s'écrit $Q = C I A / 3,6$

avec A : surface du bassin versant en km²

C : coefficient d'écoulement

I : intensité de la pluie (mm/h) pendant le temps de concentration du bassin versant

Q : débit de même fréquence que I

Expression du coefficient d'écoulement "centennal"

C est donné par $C = 0,8 (I - P_0/PJ_{100})$

P₀ est tabulé et varie entre 0 et 90 selon les sols, la morphologie et la couverture végétale (tableau 2.1). Soit $0,56 \leq C \leq 0,8$ avec PJ_{100} = valeur de la pluie journalière de fréquence centennale

Expression du temps de concentration

$T_c = 1,8 \cdot L^{0,6} \cdot P_a^{-0,33} \cdot R_m^{-0,23}$

avec T_c : temps de concentration en heures

L : longueur du bassin versant en km

P_a : pente moyenne des versants en m/m

R_m : ruissellement = $0,8 (P_j - P_0)$ en mm

P_j : pluie journalière (mm)

P₀ : seuil de ruissellement (mm)

Couverture végétale	Morphologie	Pente %	Terrain sable grossier	Terrain limoneux	Terrain argileux compact
Bois	presque plat	0-5	90	65	50
	ondulé	5-10	75	55	35
	montagneux	10-30	60	45	25
Pâturage	presque plat	0-5	85	60	50
	ondulé	5-10	80	50	30
	montagneux	10-30	70	40	25
Culture	presque plat	0-5	65	35	25
	ondulé	5-10	50	25	10
	montagneux	10-30	35	10	0

Valeurs de P ₀

ANNEXE 6

MÉTHODE DE BRESSAND GOLOSSOV

Objectif : Estimation du débit de pointe de crues exceptionnelles sur un bassin versant non jaugé, adaptation au contexte cévenol

Source bibliographique : *Méthodes de calcul des débits rares et exceptionnels d'eaux pluviales et des lignes d'eau correspondantes sur les petits bassins versants naturels situés sur l'Arc méditerranéen français : DDE du Gard, novembre 1996*

La formule de Bressand Golossov permet d'évaluer le débit de pointe de crues exceptionnelles (contexte cévenol). Sa formulation dépend de la superficie des bassins versants (A) :

1. Si $A \leq 20 \text{ km}^2$

Elle est inspirée de la méthode rationnelle : $QIX = C.I.A$, avec

- QIX = débit de pointe en m^3/s ,
- C = coefficient de ruissellement
- I = intensité pluviométrique en mm/h, calculée à partir des coefficients de Montana de Nîmes Courbessac, pour le temps de concentration t_c du bassin versant ;
- A = superficie du bassin versant en km^2

La méthode de Bressand Golossov prend en compte un **coefficient de ruissellement C** variable selon l'événement (supérieur pour des pluies plus intenses, et calculé comme suit :

$$C_{100} = 0,8 \cdot (1 - P_0) / P_j$$
$$C_{10} = 0,6 \cdot C_{100}$$

Avec

- P_0 : rétention initiale ou seuil de ruissellement (mm) :

Couverture végétale	Morphologie	Pente %	Terrain sable grossier	Terrain limoneux	Terrain argileux compact
Bois	presque plat	0-5	90	65	50
	ondulé	5-10	75	55	35
	montagneux	10-30	60	45	25
Pâturage	presque plat	0-5	85	60	50
	ondulé	5-10	80	50	30
	montagneux	10-30	70	40	25
Culture	presque plat	0-5	65	35	25
	ondulé	5-10	50	25	10
	montagneux	10-30	35	10	0

Valeurs de P_0

- P_j = pluie journalière centennale

Le **temps de concentration** est estimé à partir de l'estimation de la vitesse moyenne d'écoulement sur les versants et dans le réseau. Cette vitesse est calculée en fonction de la pente des versants P :

- Pour $P < 1\%$: $V = 1$ m/s
- Pour $1\% < P < 10\%$: $V = 1 + (P-1)/9$ avec P exprimée en %
- Pour $10\% < P$: $V = 2$ m/s

2. Si $A > 20 \text{ km}^2$: le débit de pointe est calculé par la formule de Myer

$$Q = 30.A^{0.75}$$

ANNEXE 7

MÉTHODE DU GRADEX

OBJECTIF : Estimation du débit de pointe de crues de fréquences rares.

Source bibliographique :

- ♦ *GUILLOT P. et DUBAND D. (1967). La méthode du Gradex pour le calcul de la probabilité des crues à partir des pluies. AISH Publications n° 84.*
- ♦ *CTGREF - Informations Techniques - Cahier n° 7, feuillet n° 4, septembre 1972 : l'application de la méthode du Gradex à l'estimation des crues de faible fréquence.*
- ♦ *MICHEL C. et OBERLIN G. (1987). Seuil d'application de la méthode du Gradex - La Houille Blanche n° 3.*

Très souvent, le nombre d'années d'observation des débits aux stations de jaugeage ne permet pas de déterminer les débits de pointe de crues de fréquences rares (au-delà de la fréquence décennale). Ces débits peuvent être estimés par la méthode du GRADEX, développée à l'origine par GUILLOT et DUBAND, ingénieurs à la Direction technique Générale d'EDF, en 1967.

Cette méthode, qui tire profit du nombre d'années d'observation des pluies plus important que celui des débits, est la plus utilisée en France pour la détermination des crues de probabilité très faible.

On suppose que pour un bassin versant donné, on dispose d'une durée caractéristique de crue D ou temps de base des hydrogrammes (souvent celle de la crue décennale obtenue par la méthode SOCOSE).

Soient P , la pluie décennale de l'année et Q , le débit maximal de la même année. Les réalisations de P et Q n'appartiennent pas forcément au même événement averse - crue. Par ailleurs, les volumes de pluie et de débit se rapportent à la durée caractéristique du bassin versant.

La méthode du GRADEX repose sur les hypothèses suivantes :

- La variable aléatoire P suit la loi de Gumbel : $F_p = \exp(-\exp(-(P-P_o)/a_p))$
ou $P = P_o - a_p \ln(-\ln F_p)$

avec F_p : fréquence au non-dépassement de la variable aléatoire P ou encore probabilité qu'une année donnée, la pluie maximale soit inférieure ou égale à l'avaleur P,

a_p : gradex de la distribution (abréviation de gradient exponentiel)

P_o : paramètre de position de la loi.

On suppose que pour un événement pluviométrique exceptionnel, tout supplément de pluie dP est efficace et entraîne un supplément d'écoulement dQ tel que $dQ = dP$.

En combinant la loi de probabilité des pluies et l'hypothèse concernant le passage des pluies aux débits, il est démontré que la loi de probabilité des valeurs de crues extrêmes est également une loi de Gumbel avec une valeur de gradex égale à celle des pluies (dans la mesure où les débits Q et les pluies P sont exprimés dans la même unité).

$$Q = Q_o - a_q \ln(-\ln F_q)$$

avec $a_q = S \text{ (km}^2\text{)}.a_p\text{(mm)} / (3,6.D\text{(h)})$

on a par exemple : $Q_{10} = Q_o - a_q \ln(-\ln 0,9)$

d'où $Q = Q_{10} + a_q \ln(\ln 0,9 / \ln F_q)$

Ainsi par exemple $Q_{100} = Q_{10} + a_q \times 2,35$

Ce résultat permet d'obtenir le débit de crue correspondant à une fréquence donnée. Il s'agit d'un débit moyen QM sur une durée égale à la durée caractéristique de crue, à partir duquel on déduit le débit instantané de pointe QI de même fréquence à l'aide d'un coefficient R égal à QI / QM .

Le rapport moyen R entre le débit instantané de crue et le débit moyen journalier de crue est donné par la méthode SOCOSE :

$$QI/QM = 1 + 1,56 \times \exp[-0,137 * (\ln(D))^2]$$

Pratiquement, on procède de la façon suivante :

- détermination du temps de base des hydrogrammes (pris égal à la durée caractéristique D de la crue de fréquence décennale) ;
- détermination du coefficient $R = QI/QM$;
- détermination du débit moyen décennal sur une durée égale à D ;
- détermination de la loi fréquentiel (loi de Gumbel) des pluies maximales annuelles d'une durée voisine de D (estimation du gradex des pluies) ;
- estimation du gradex des débits sur une durée voisine de D
- estimation des débits moyens et de pointe de diverses fréquences.

ANNEXE 8

MÉTHODE DU GRADEX SPC

Le Service de Prévisions des Crues Grand Delta propose l'adaptation suivante de la méthode du Gradex (source : note du SPC Grand Delta) :

SPC Grand Delta

Proposition d'une méthodologie de calcul des crues de référence pour les petits bassins versants (< 400 km²) (en complément de la méthode FBG)

La présente note expose une méthodologie de calcul des débits de référence, pouvant être appliquée aux petits bassins versants du département du Gard, et éventuellement confrontée aux résultats de la méthode FBG, généralement utilisée jusqu'alors dans le département.

Le principe consiste à appliquer la méthode du Gradex pour réaliser l'extrapolation depuis un débit de période de retour faible (inférieur à 10 ans) vers un débit centennal. Compte tenu des incertitudes, parfois importantes, sur différents paramètres liés à l'application de la méthode du Gradex, il est demandé que certaines règles de prudence soient appliquées dans le choix de ces différents paramètres, et ceci de façon à minimiser les risques de sous-estimation du débit centennal. Ces recommandations sont détaillées ci-après.

Une méthodologie très similaire a d'ores et déjà été employée dans le cadre du PPRI du moyen Vidourle. Dans ce cas, les débits obtenus par la méthode du Gradex se sont avérés légèrement inférieurs à ceux obtenus par la méthode FBG, et ont malgré tout été retenus après comparaison des résultats donnés par les deux méthodes.

En effet, on peut considérer que la méthodologie d'application du Gradex présentée ici, tout comme la méthode FBG, conduit, compte-tenu de ses hypothèses, à estimer la borne supérieure de l'intervalle de confiance dans lequel le débit centennal peut se situer. Nous considérons donc comme raisonnable de retenir, parmi les deux méthodes, celles qui donne le débit le plus faible.

Pour l'application de la méthode du Gradex, il est demandé de suivre les recommandations suivantes:

Recommandation n°1: Choix du point "pivot" de départ pour l'extrapolation par la méthode du Gradex

Le point "pivot" à partir duquel l'extrapolation par le Gradex est effectuée doit correspondre à une période de retour qui n'excède pas 10 ans.

Recommandation n°2: Evaluation du débit décennal (ou moins le cas échéant).

Il est, dès que possible, préférable d'utiliser une statistique déterminée à partir de mesures de débit sur une période suffisamment longue (environ 30 ans au minimum). Ce genre d'informations est malheureusement très rarement disponible dans le cas des petits bassins versants. A défaut, il est proposé d'employer deux méthodes distinctes selon la taille du bassin considéré.

- Pour un bassin de moins de 20 km², utilisation de la méthode rationnelle en considérant un coefficient d'écoulement de 0,3 minimum, sur un temps de concentration déterminé par la formule de Passini (jugée adaptée pour ce type d'événement pour lequel les écoulements se font encore majoritairement en subsurface, ce qui a tendance à augmenter le temps de concentration T_c par rapport à un phénomène de ruissellement direct):

$$T_c = 0,108 \cdot \frac{\sqrt[3]{A \cdot L}}{\sqrt{P}}$$

où:

- T_c est le temps de concentration exprimé en heures
 - A est la surface du bassin versant en km²
 - L est la longueur du plus long cheminement hydraulique en km
 - P est la pente moyenne sur le plus long cheminement m/m
- Pour un bassin de plus de 20 km², utilisation de la formule Crupédix, avec un coefficient régional de 1,5 et une pluie journalière décennale déterminée à partir des statistiques pluviométriques disponibles pour des séries d'observations d'une durée de 30 ans minimum. Si des séries d'une durée inférieure sont exploitées, la pluie décennale sur 24 h retenue ne devra pas être inférieure à 150 mm.

Recommandation n°3: Evaluation de la durée caractéristique de crue D_r

La durée caractéristique de crue doit être évaluée, autant que possible, à partir d'un nombre significatif de crues mesurées (une dizaine au minimum). Ce genre de données étant rarement disponibles sur les petits bassins, il est particulièrement important de ne pas surestimer la durée sur laquelle le Gradex est appliqué. En attendant d'en savoir plus sur les durées caractéristiques de crue des bassins du Gard, il est proposé de se baser sur l'estimation du temps de concentration par la formule suivante:

$$T_c = 1,5 \cdot \frac{L^{0,75}}{P + 0,08}$$

où:

- T_c est le temps de concentration exprimé en minutes
- L est la longueur du plus long cheminement hydraulique en km
- P est la pente moyenne sur le plus long cheminement en m/m

Cette formule de temps de concentration, utilisée à l'heure actuelle par le SPCGD dans ses modèles pluie-débit, a prouvé qu'elle reproduit assez fidèlement la dynamique d'écoulement rapide de surface dans les bassins. Toutefois, une crue n'étant pas constituée uniquement d'écoulement de surface mais également pour une bonne partie d'écoulement "retardé" de subsurface, nous pensons raisonnable de considérer que la durée caractéristique de crue sera de l'ordre de deux fois ce temps de concentration. Il est donc proposé de retenir la durée caractéristique suivante:

$$D_r = 2 * T_c$$

Recommandation n°4: Evaluation du rapport débit de pointe/débit moyen sur la durée caractéristique de crue

Comme pour la durée caractéristique de crue, ce rapport doit être évalué, dès que possible, à partir d'un nombre significatif de crues mesurées (une dizaine au minimum). Ce genre de données étant rarement disponibles sur les petits bassins, il faut être attentif à ne pas sous estimer ce rapport. Ce dernier étant généralement réputé compris entre 1,3 et 2, nous proposons de retenir, à défaut d'informations plus précises, la valeur de 2.

Recommandation n°5: évaluation du Gradex ponctuel des pluies sur 24 heures

Le Gradex peut être évalué par un ajustement d'une distribution de Gumbel aux séries d'observations pluviométriques maximales annuelles disponibles, qui doivent être les plus longues possibles. L'idéal serait d'avoir des séries de pluie dépassant largement les cent ans... A défaut, nous demandons que,

lorsque des séries de moins de 60 ans sont utilisées, le gradex obtenu à partir de plusieurs postes soit comparé, et moyenné en cas de doute, et enfin que la valeur retenue ne soit jamais inférieure à celle obtenue au poste de Nîmes-Courbessac (plaine aval dans laquelle le gradex est réputé être le plus faible).

Lorsque des séries très longues sont disponibles (de l'ordre de cent ans ou plus), il est également possible d'évaluer le Gradex à partir de la différence pluie centennale – pluie décennale éventuellement estimées à partir d'un ajustement autre que de type "Gumbel".

Lorsque les gradex utilisés correspondant à des pluies journalières (et non 24 heures comme cela devrait être le cas), il est demandé de les majorer de 10%.

Recommandation n°6: prise en compte de l'abattement spatial des pluies

Compte tenu de la méconnaissance de cet abattement et de la complexité de son évaluation, et considérant que nous nous situons ici dans des bassins versants de petite taille pour lesquels l'effet d'abattement spatial reste limité, nous considérons que cet abattement spatial peut dans un premier temps être négligé. Pour les bassins approchant les 400 km², ceci constitue une hypothèse forte, et il sera probablement nécessaire, dès que la connaissance le permettra, d'évaluer l'effet de cet abattement.

Il est donc proposé, en attendant mieux, de retenir les valeurs de Gradex déterminées à partir des statistiques pluviométriques ponctuelles.

Recommandation n°7: passage du gradex des pluies sur 24 heures au gradex sur la durée caractéristique de crue D_r .

Il est proposé de retenir les exposants des lois de Montana déterminées par SIEE en 1994, et déjà utilisées dans la méthode FBG. Ces lois ne semblent pas remises en cause par les dernières statistiques pluviométriques dont nous disposons.

Les formules utilisées seront donc du type:

$$\text{pour } 6\text{h} < D_r < 24\text{h}, \quad \text{Gradex } D_r = \text{Gradex } 24\text{h} \cdot \left(\frac{D_r}{24}\right)^{1-b} \text{ avec } b=0,76$$

$$\text{pour } 0,5\text{h} < D_r < 6\text{h}, \quad \text{Gradex } D_r = \text{Gradex } 6\text{h} \cdot \left(\frac{D_r}{6}\right)^{1-b} \text{ avec } b=0,487$$

$$\text{pour } 0,1\text{h} < D_r < 0,5\text{h} \quad \text{Gradex } D_r = \text{Gradex } 0,5\text{h} \cdot \left(\frac{D_r}{0,5}\right)^{1-b} \text{ avec } b=0,366$$

avec D_r durée caractéristique de crue, exprimée en heures

ANNEXE 9

FONCTION DE PRODUCTION DE LA MÉTHODE SCS

La méthode utilisée pour la transformation de la pluie brute (précipitée) en pluie nette (ruisselée) et la construction des hydrogrammes est du type « **hydrogramme unitaire SCS** (Soil Conservation Service) ». Cette méthode permet dans un premier temps le calcul du volume d'eau ruisselé, via le coefficient CN (Curve Number), et dans un second temps la construction d'un hydrogramme unitaire.

La méthode SCS-CN estime la pluie ruisselée comme une fonction de la pluie totale précipitée, de l'occupation du sol, de la géologie et du taux d'humidité initial, à partir de l'équation suivante :

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

Où:

P_e = ruissellement à l'instant t

P = pluie totale à l'instant t

I_a = pertes initiales

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

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

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

$$I_a = 0.2 S$$

Par conséquent, à l'instant t, la quantité d'eau ruisselée est:

$$P_e = \frac{(P - 0.2 S)^2}{P + 0.8 S}$$

Le ruissellement pour un intervalle de temps est calculé comme la différence entre les ruissellements cumulés au début et à la fin de la période.

La capacité de rétention maximale S est reliée aux caractéristiques du bassin versant par l'intermédiaire d'un coefficient CN (Curve Number)

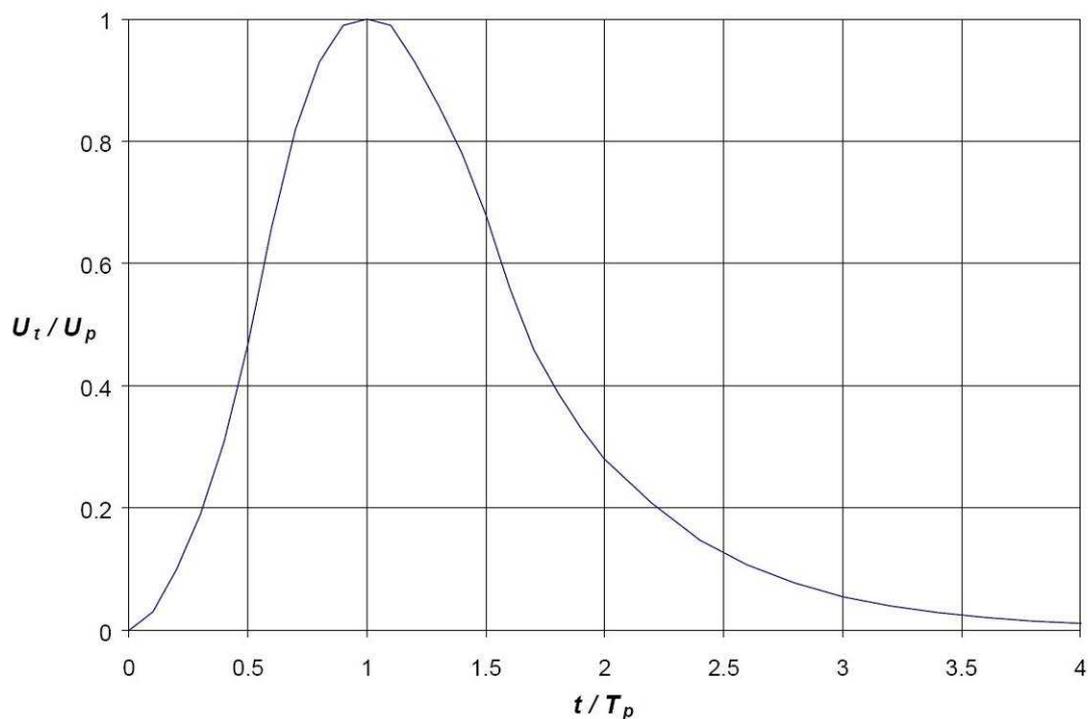
$$S = \frac{25400 - 254CN}{CN}$$

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

ANNEXE 10

FONCTION DE PRODUCTION PAR LA MÉTHODE DE L'HYDROGRAMME UNITAIRE SCS

La construction de l'hydrogramme unitaire généré par chaque sous-bassin versant est basée sur la méthode de l'hydrogramme unitaire SCS. Cette méthode construit pour chaque pluie élémentaire un hydro gramme unitaire, à une seule pointe, dont la forme adimensionnelle est la suivante :



Avec U_p = débit de pointe de l'hydro gamme élémentaire

T_p = temps de montée de l'hydrogramme'

Les chercheurs du SCS ont établi l'équation suivante pour le calcul du débit de pointe U_p :

$$Up = C.P_e \frac{A}{T_p}$$

Où :

- C= coefficient de conversion = 2.08
- Pe = pluie ruisselée à l'instant t
- A = superficie du bassin versant
- Tp = temps de montée de l'hydrogramme

Le temps de montée est calculé comme suit

$$T_p = \frac{\Delta t}{2} + t_{lag}$$

Où :

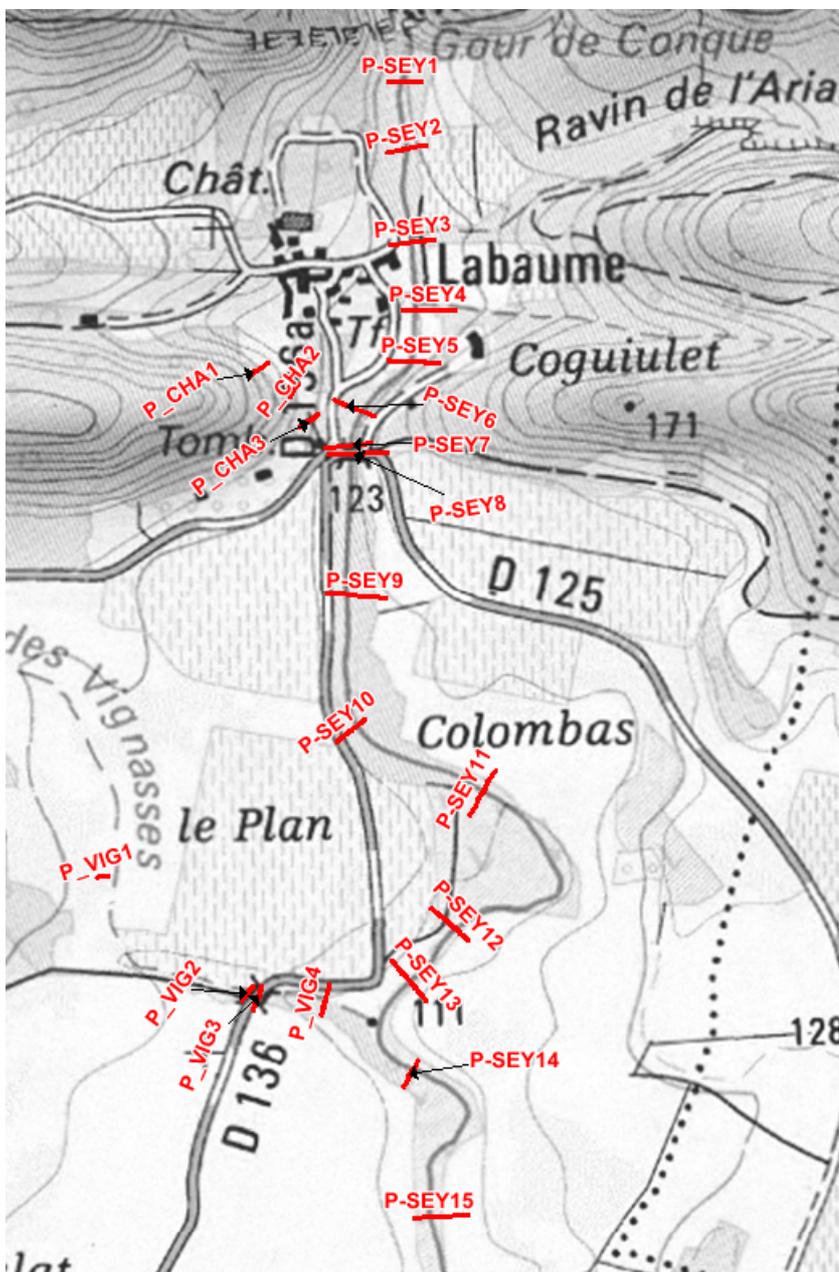
- Δt = pas de temps du calcul = durée de l'intervalle d'une pluie élémentaire
- T lag = lagtime, correspondant à la durée séparant le centroïde des précipitations à la pointe de l'hydrogramme

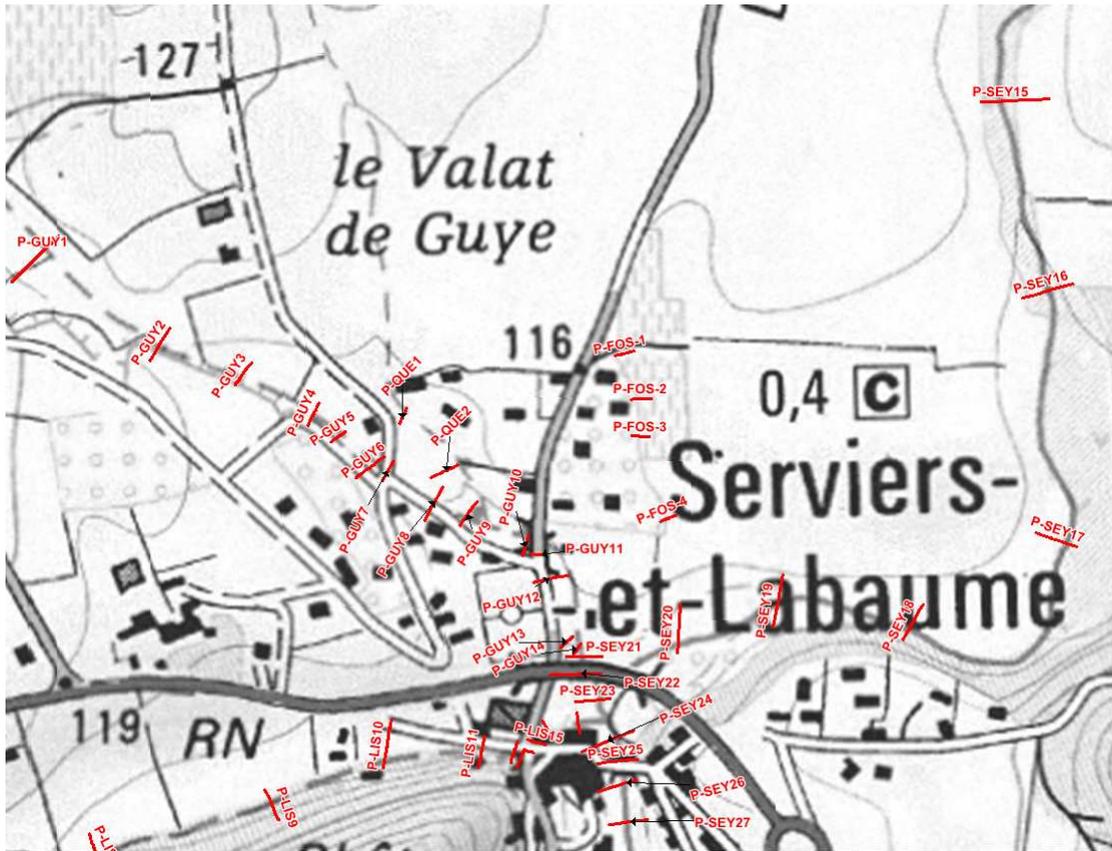
Le lagtime est calculé par la formule T lag= K.Tc, où

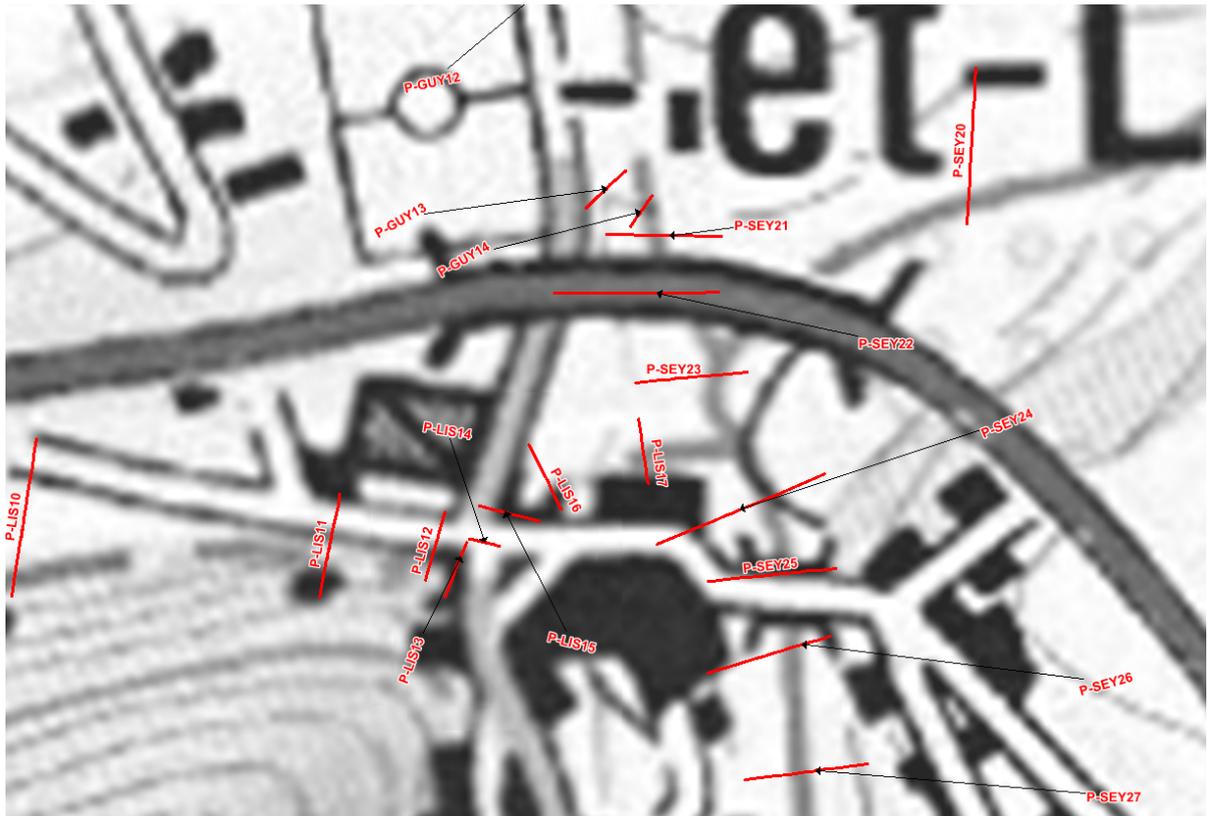
- K = coefficient multiplicateur, cde l'ordre de 60%.
- Tc = temps de concentration du bassin versant, calculés selon les méthodes adaptées au contexte de chaque bassin versant.

Une fois le lagtime déterminé, le modèle calcule les temps de montée Tp et le débit de pointe Up

ANNEXE 11 RÉSULTATS PAR PROFILS DE LA MODÉLISATION DES CRUES 10 ANS, 30 ANS ET 100 ANS ET 2002





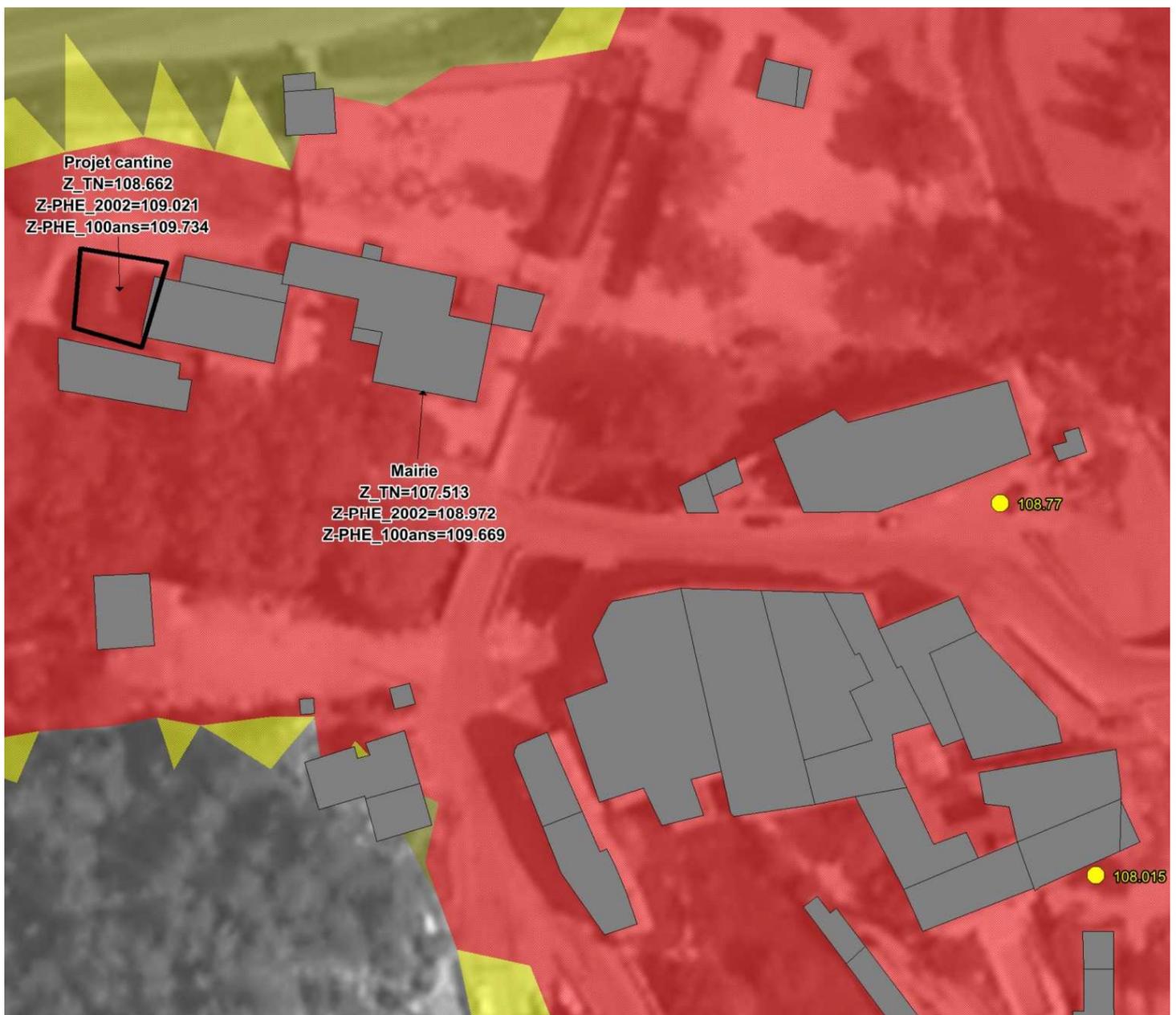


	Profil	Z PHE 10 ans (mNGF)	Z PHE 30 ans (mNGF)	Z PHE 100 ans (mNGF)	Z PHE 2002 (mNGF)
Ruisseau du Château	P-CHA1	129.87	129.98	130.07	129.96
	P-CHA2	126.29	126.44	126.55	126.41
	P-CHA3	123.87	124.14	124.35	124.09
	P-CHA-amOH1	123.35	123.7	123.94	123.65
	P-CHA-avOH1	121.36	121.8	123.91	122.22
Ruisseau des Seynes	P-SEY1	123.01	124.09	124.88	124.24
	P-SEY2	122.53	123.54	124.56	123.73
	P-SEY3	121.76	122.76	124.04	122.99
	P-SEY4	121.23	122.34	124.06	122.64
	P-SEY5	120.89	122.23	124.06	122.57
	P-SEY6	120.24	121.79	123.9	122.2
	P-SEY7	119.96	121.79	123.91	122.22
	P-SEY8	119.6	120.53	121.25	120.71
	P-SEY9	118.94	119.76	120.36	119.9
	P-SEY10	118.2	119.04	119.59	119.18
	P-SEY11	116.58	117.08	117.52	117.18
	P-SEY12	114.78	115.53	116.11	115.66
	P-SEY13	114.31	115.03	115.58	115.17
	P-SEY14	113.89	114.58	115.13	114.72
	P-SEY15	112.65	113.68	114.28	113.86
	P-SEY16	111.33	111.9	112.37	112.01
	P-SEY17	109.69	110.56	111.35	110.76
	P-SEY18	108.44	109.68	110.69	109.98
	P-SEY19	107.52	109.16	110.31	109.52
	P-SEY20	107.12	108.98	110.15	109.36
	P-SEY21	106.59	108.56	109.71	108.93
	P-SEY22	106.52	108.66	109.87	109.05
	P-SEY23	106.21	108.46	109.62	108.84
	P-SEY24	106.13	108.6	109.81	108.99
	P-SEY25	106.21	108.61	109.87	109.01
	P-SEY26	105.91	107.26	108.19	107.5
	P-SEY27	105.65	107.12	108.12	107.39
	P-SEY28	105.32	106.87	107.83	107.16
	P-SEY29	104.69	106.16	107.11	106.43
	P-SEY30	103.86	105.11	105.87	105.22
	P-SEY31	103.72	104.94	105.63	105.09
	P-SEY32	102.28	103.11	103.67	103.21
	P-SEY33	101.02	102.02	102.59	102.14
	P-SEY34	99.16	100.26	100.77	100.36
	P-SEY35	97.15	97.83	98.32	97.92
	P-SEY36	95.54	96.66	97.25	96.78
	P-SEY37	95.13	95.98	96.43	96.1
	P-SEY38	93.79	94.27	95.23	95.06
Ruisseau des Vignasses	P-VIG1	121.78	121.94	122.02	121.93
	P-VIG2	118.67	119.33	119.48	119.3
	P-VIG3	117.03	117.34	117.42	117.32
	P-VIG4	114.91	115.22	115.49	115.22
	P-VIG Conflu	114.17	114.9	115.49	115.05
Ruisseau du Fossé	P-FOS1	112.16	112.59	112.81	112.42
	P-FOS2	111.35	111.91	112.25	111.75
	P-FOS3	110.59	111.14	111.46	110.99
	P-FOS4	108.95	109.49	110.22	109.67
Ruisseau de Queyrol	P-QUE1	112.57	112.69	112.75	112.65
	P-QUE2	109.88	110.58	110.89	110.38
Valat de Guye	P-GUY1	116.79	116.99	117.13	116.95
	P-GUY2	114.28	114.63	114.84	114.56
	P-GUY3	113.22	113.48	113.62	113.43
	P-GUY4	112.1	112.4	112.6	112.34
	P-GUY5	112.08	112.37	112.51	112.31
	P-GUY6	112.07	112.36	112.5	112.3
	P-GUY7	109.66	110.56	110.95	110.35
	P-GUY8	109.24	110.54	110.9	110.29
	P-GUY9	109.09	110.51	110.86	110.27
	P-GUY10	109.04	110.53	110.89	110.28
	P-GUY11	107.41	108.6	109.84	108.98
	P-GUY12	107.14	108.61	109.85	108.98
	P-GUY13	106.64	108.61	109.83	108.99
	P-GUY14	106.63	108.6	109.77	108.97

	Profil	Z PHE 10 ans (mNGF)	Z PHE 30 ans (mNGF)	Z PHE 100 ans (mNGF)	Z PHE 2002 (mNGF)
Ruisseau du Lisson	P-LIS1	114.34	116.58	117.44	116.53
	P-LISSO-amOH1	114.3	116.5	117.32	116.45
	P-LISSO-avOH1	114.09	114.56	114.79	114.55
	P-LIS2	113.98	114.42	114.7	114.4
	P-LIS3	113.14	113.39	113.62	113.38
	P-LIS4	112.48	112.95	113.34	112.93
	P-LIS5	112.08	112.57	112.96	112.55
	P-LIS6	111.72	112.22	112.6	112.2
	P-LIS7	110.39	111.01	111.48	110.99
	P-LIS8	109.27	109.87	110.38	109.86
	P-LIS9	108.18	109.08	109.87	109.21
	P-LIS10	107.45	108.88	109.81	109.1
	P-LIS11	106.86	108.79	109.75	109.03
	P-LIS12	106.85	108.84	109.82	109.07
	P-LIS13	106.51	108.56	109.71	108.92
	P-LIS14	106.35	108.54	109.76	108.92
	P-LIS15	106.37	108.54	109.73	108.92
P-LIS16	106.23	108.54	109.72	108.92	
P-LIS17	106.16	108.54	109.72	108.92	
Ruisseau d'Arrèze	P-ARR1	114.47	114.71	114.87	114.64
	P-ARR2	112.83	113.1	113.29	113.02
	P-ARR3	111.55	112.05	112.48	112.04

ANNEXE 12

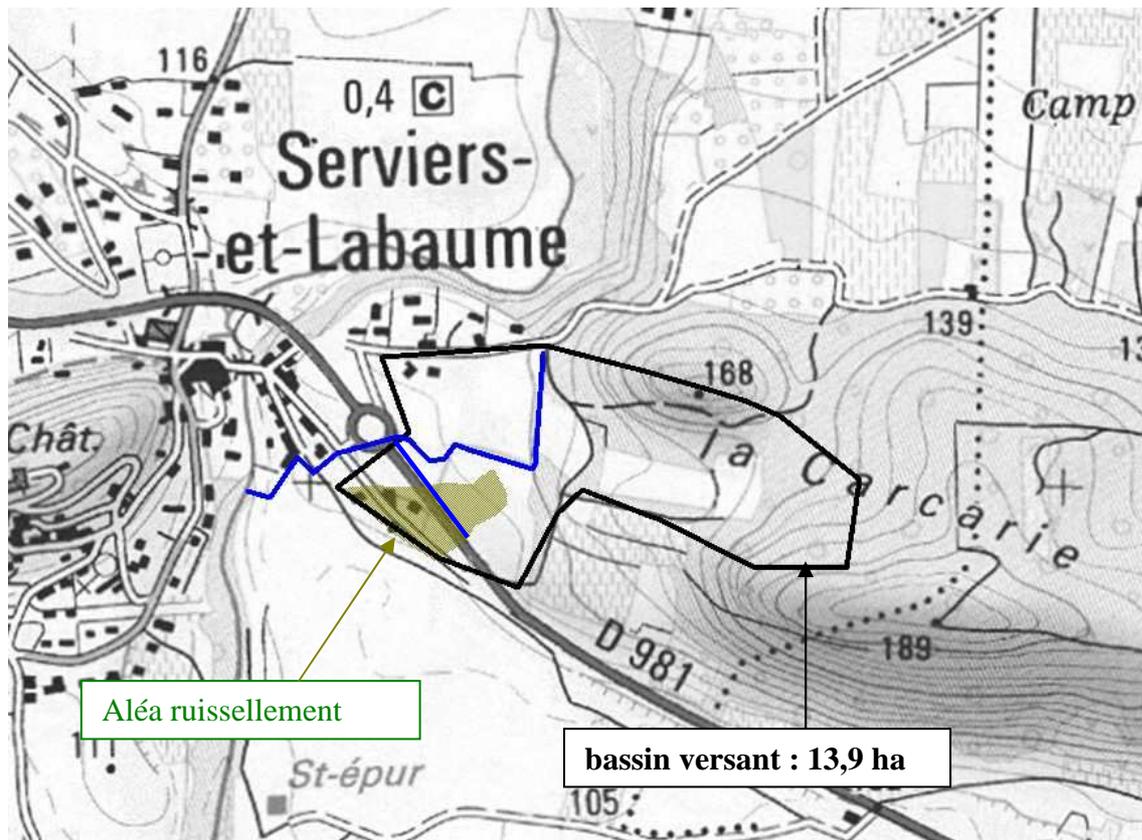
DÉTAIL DES COTES DES PLUS HAUTES EAUX AU DROIT DE LA MAIRIE ET DE LA CANTINE SCOLAIRE



ANNEXE 13
ETUDE DÉTAILLÉE DE L'ALÉA AU DROIT
DU LOTISSEMENT DE LA CARCARIE

Suite aux interrogations émises sur la qualification en aléa ruissellement du secteur de la Carcarie, l'objet de cette note est d'étudier plus finement ce secteur, pour statuer si la zone d'aléa ruissellement doit être maintenue ou non (en particulier au vu du réseau de drainage existant, non pris en compte dans l'étude initiale)

Délimitation du bassin versant drainé (bassin versant de la Carcarie)



Évaluation du débit centennial intercepté par ce bassin versant de la Carcarie :

On utilise les ordres de grandeur des débits spécifiques des bassins versants de même taille, d'occupation du sol similaire, déjà étudiés dans la phase 2 de l'étude de zonage. Le bassin versant de mêmes caractéristiques en termes de superficie et de degré d'urbanisation est celui du ruisseau de Queyrol.

En appliquant le débit 100 ans pseudo-spécifique calculé (et validé en phase 2 de l'étude) sur ce bassin versant du Queyrol, soit $21,7 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^{1.6}$ pour un BV de 13,9 ha, on obtient :

$$Q_{100} \text{ Carcarie} = 21 * (0,139)^{0.8} = 4,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

Point de calcul	Localisation du point de calcul	Superficie (km2)	Superficie (ha)	Q100 modèle SCS (m3/s)	Q100 spécifique (m3/s/km2)	Q100 pseudo spécifique (m3/s/km2^0.8)
BV_QUEY_01	Queyrol	0.200	20.0	6.0	30.0	21.7
BV carcarie	Exutoire du BV	0.139	13.9	4.5	32.3	21.7

Étude des conditions d'écoulement dans le réseau de drainage

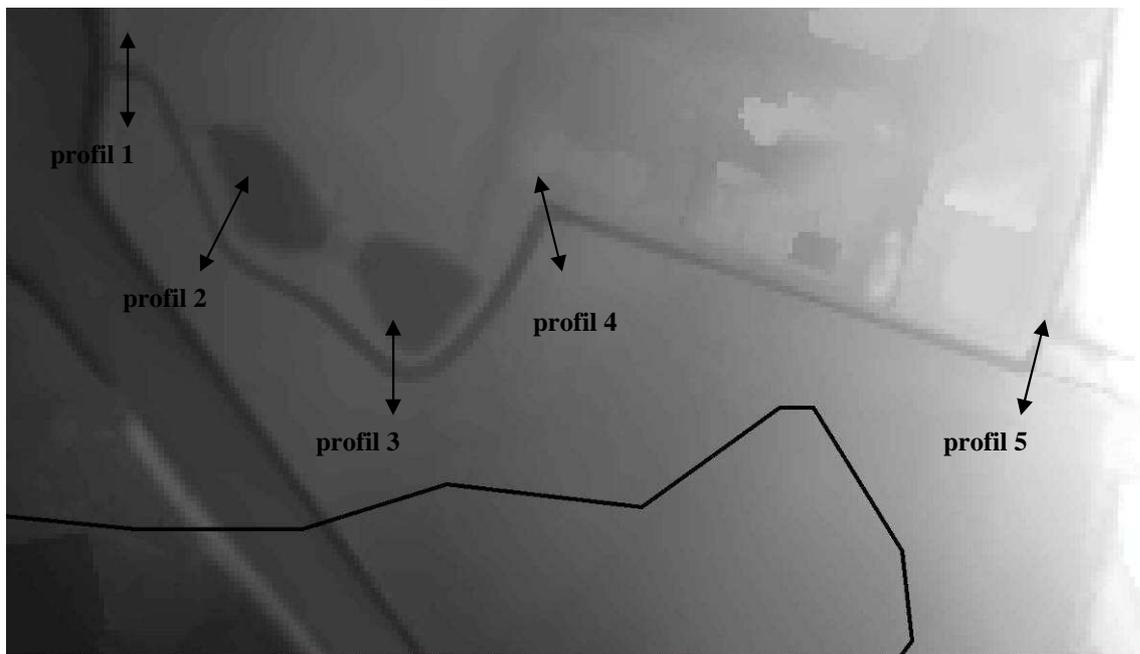
Un fossé de drainage des eaux du bassin versant et de la zone pavillonnaire a été récemment aménagé sur le secteur de la Carcarie.

Précisons que l'analyse hydrogéomorphologique initiale n'avait pas tenu compte de l'aménagement de ce fossé.





La géométrie et la topographie de ce fossé sont bien représentées par le levé LIDAR effectué dans le cadre de l'étude de zonage :



Nous avons pu, de ce fait, par l'application d'une formule simple de Manning Strickler, calculer approximativement la capacité hydraulique de ce fossé, jusqu'à la route D981

Les résultats sont les suivants :

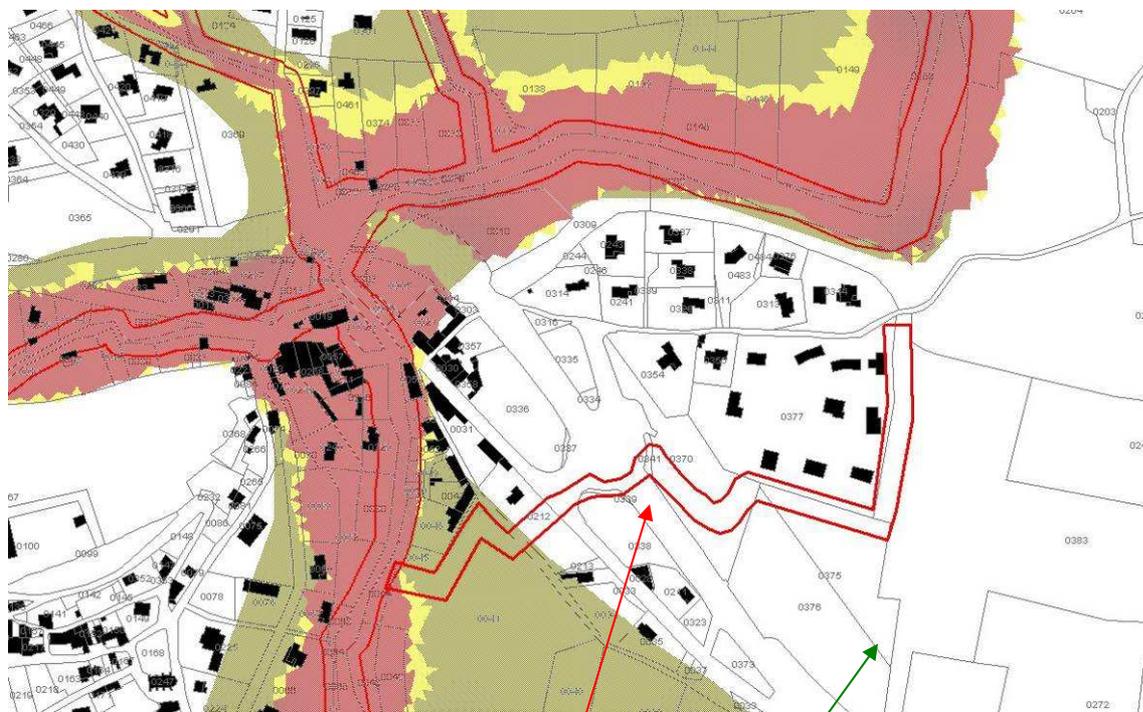
Détermination des débits capables	profil1	profil2	profil3	profil4	profil5	
profondeur	1	1	1	1	1	m
largeur au fond	1	1	1	1	1	m
pente	0.02	0.02	0.01	0.03	0.05	m/m
Ks	30	30	30	30	30	
hauteur d'eau	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	m
largeur en haut	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	m
Q(h)	5.19	5.19	4.54	6.45	8.89	m3/s

Le débit capable du fossé est en tout point supérieur au débit centennal généré par le bassin versant (y compris sa partie urbanisée), estimé à 4,5 m³/s.

La détermination de l'aléa ruissellement initialement présentée en phase 1 de l'étude n'avait pas pris en compte ces éléments de calcul.

Nous estimons que, à la lumière de ces considérations et en l'absence de risque avéré, il est pertinent de supprimer de la cartographie initiale la zone d'aléa ruissellement sur le secteur de la Carcarie, et de la remplacer par un zone d'aléa d'érosion, définie par une bande de 10 m de part et d'autre des berges du fossé, sur la base du levé LIDAR.

Le fossé de la Carcarie est ensuite pris en charge par le réseau d'assainissement de la RD981.



ajout aléa érosion

suppression aléa ruissellement

ANNEXE 14
**CARTE 1 : MODÉLISATION DES CRUES
10 ANS, 30 ANS ET 100 ANS ET 2002**

ANNEXE 15
**CARTE 2 : ALÉA INONDATION POUR LA
CRUE CENTENNALE**

ANNEXE 16
CARTE 3 : SYNTHÈSE DE L'ALÉA



29 Juin 2015

CARTE 1

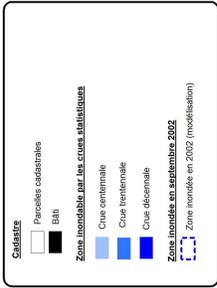
Aléa inondation

Zones inondables par les crues
décennale, trentennale,
centennale et historique

Phase 2



Zonage du risque inondation à l'échelle communale
de Serviers et Labaume

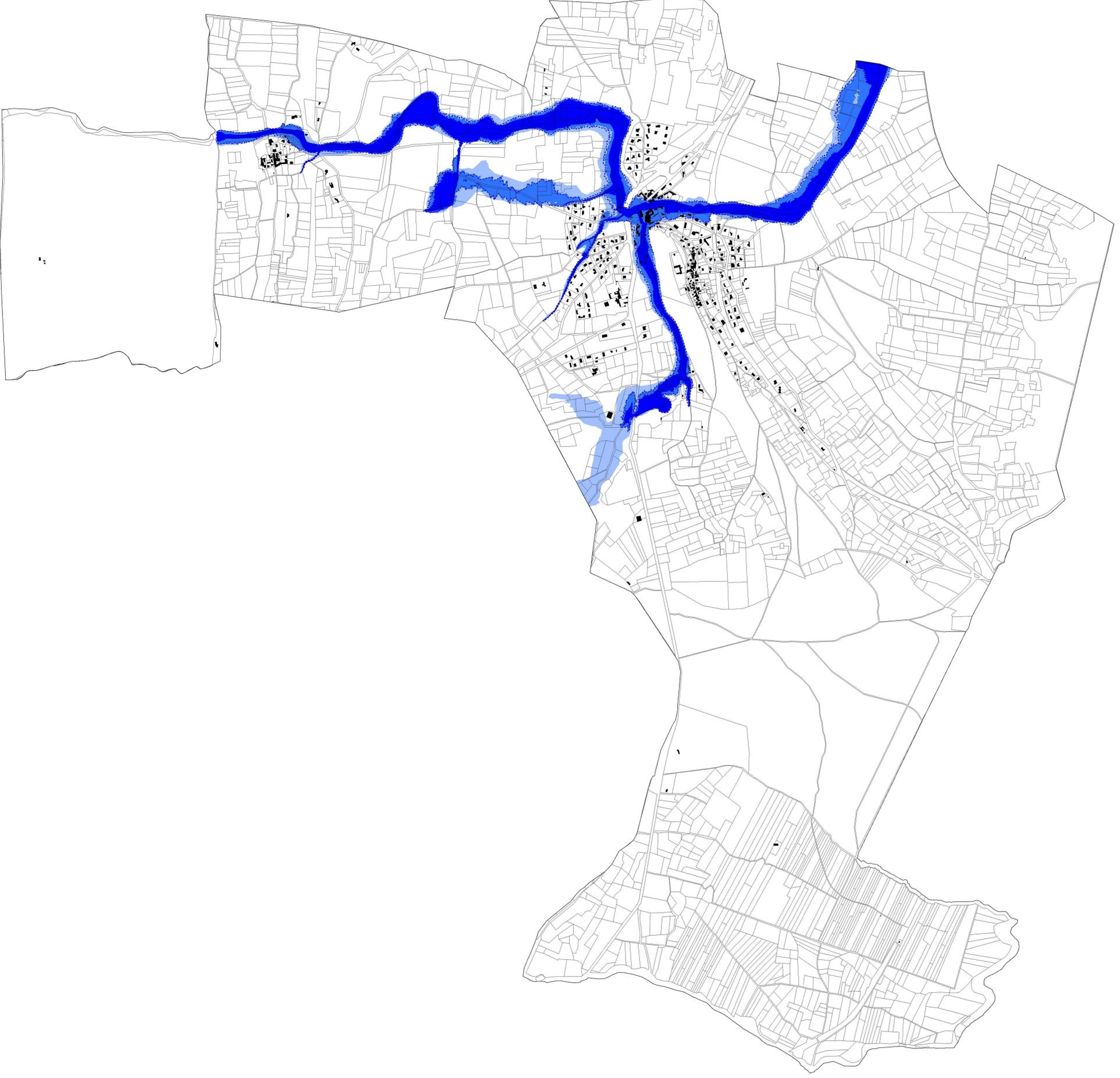


Sources : Cadastre 2009, PDS, IGN Paris - SCAN 258 et 802m®
Comex Land Cover 2006, ORVAL LR



0 100 200
Mètres

Échelle: 1/7 000



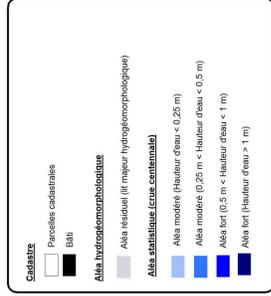


29 Juin 2015

CARTE 2
Aléa inondation
Crue centennale
Approche statistique
Phase 2



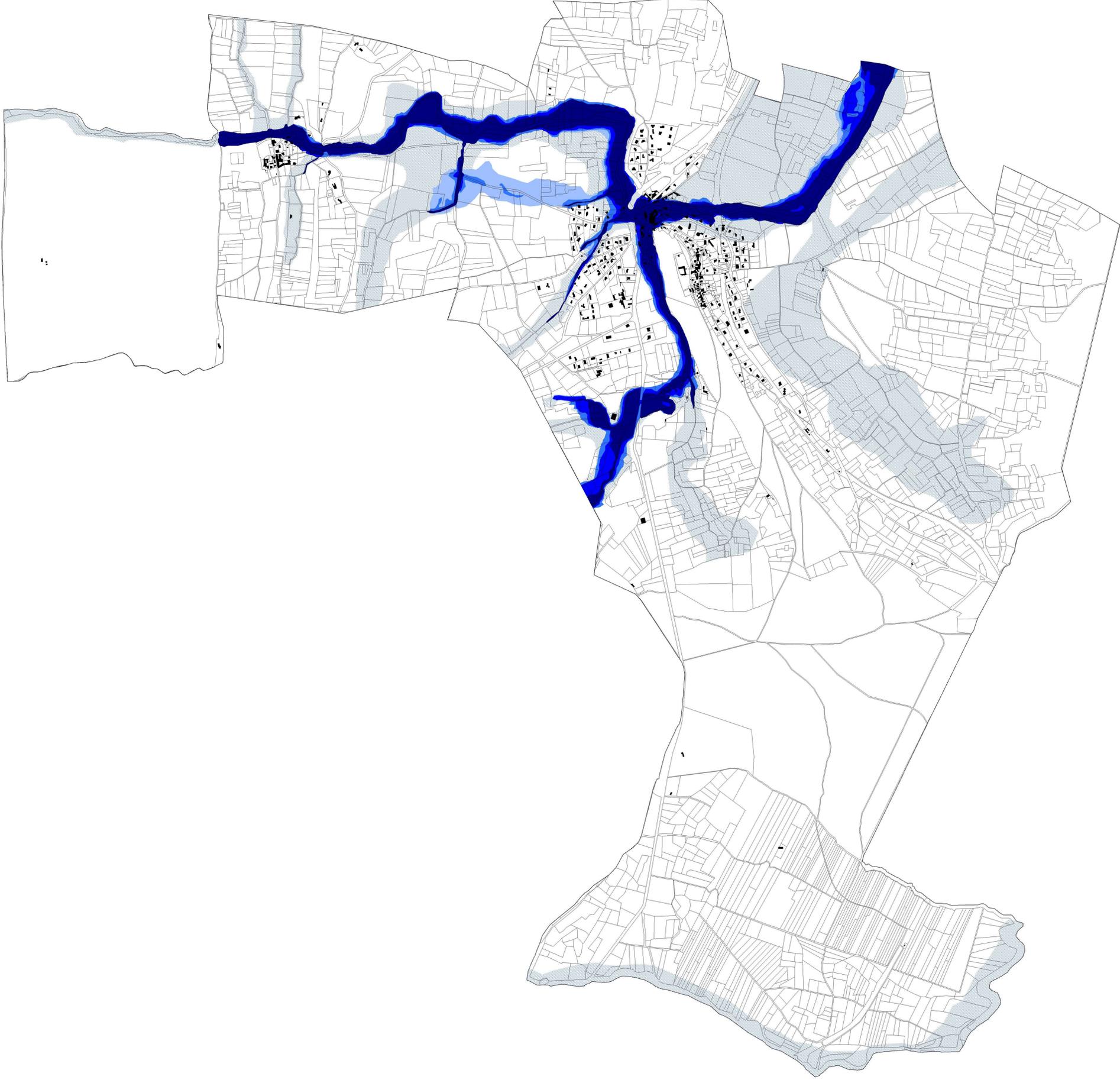
Zonage du risque inondation à l'échelle communale
de Serviers et Labaune



Sources: Cadastre 2009, PDS, IGN Paris - SCAN 258 et 802m®
Corine Land Cover 2006, ONAL, LR



0 100 200
Mètres
Échelle: 1/7 000





29 juin 2015

CARTE 3 Aléa Phase 2



Zonage du risque inondation à l'échelle communale
de Serviers et Labaune

- Cadastr**
- Parcelles cadastrales
 - Bât
- Aléa de débordement de cours d'eau**
- Aléa fort
 - Aléa modéré
 - Aléa réduit
- Aléa lié au ruissellement pluvial**
- Aléa modéré
 - Aléa indifférencié
- Aléa lié à l'érosion de berges**
- Limite du franc bord

Source: Cadastre 2009, PDS, IGN Paris - SCAN 258 et R202m08
Comex Land Cover 2006, ONAL LR



0 100 200
Mètres
Échelle: 1/7 000

