

Projet ANR-08-RISK-03-01

Prédétermination des valeurs extrêmes de pluies et de crues » (EXTRAFLO)

Programme RISKNAT 2008

Tâche IV : Approches naturalistes pour l'estimation des crues extrêmes

Rapport IV.2 « *Comparaison des résultats de
l'approche hydro-géomorphologique avec la
modélisation hydraulique : 2. Cas d'étude sur le
Gardon* »

Date : Décembre 2012

Rapport réalisé par :

⁽¹⁾ Irstea, Centre de Lyon HHLY

Avec la participation de :

⁽²⁾ Cete Méditerranée, Aix-en-Provence

Auteurs :

B. Terrier¹, A. Latapie¹, A. Paquier¹, J.L Delgado²



Table des matières

1	Recueil des données	6
1.1	Données topographiques	6
1.1.1	Données topographiques récentes (postérieures à 2002)	6
1.1.2	Données topographiques entre 1958 et 2002	6
1.1.3	Données topographiques antérieures à 1958	7
1.1.4	Données sur les ouvrages	7
1.2	Données hydrométriques, pluviométriques et laisses de crues	8
1.2.1	Données hydrométriques	8
1.2.2	Données pluviométriques	9
1.2.3	Laisses de crue	10
1.3	Données granulométriques	10
1.4	Données sur les extractions	11
1.4.1	Extractions sur le Gardon d'Alès	11
1.4.2	Extractions sur le Gardon d'Anduze	11
1.4.3	Extractions sur les Gardons réunis	12
1.4.4	Extractions sur les Gardons aval (du Pont du Gard au Rhône)	12
2	Modélisation hydraulique	12
2.1	Modèles 1D ancien (pré-1958)	13
2.1.1	Modélisation de la crue de 1958	13
	Le Gardon d'Anduze	13
	Les Gardons d'Alès et réunis	14
2.1.2	Modélisation de la crue de 1907	17
	Les Gardons d'Alès et réunis	17
2.2	Modèle 1D ancien (1958-2002)	18
2.2.1	Modélisation de la crue de 1976	18
2.2.2	Modélisation de la crue de 1997	19
2.2.3	Modélisation de la crue de 2002	20
	Estimation des apports des affluents	20
	Le Gardon d'Anduze	22
	Les Gardons d'Alès et réunis	22
2.3	Modèle 1D récent (post 2002)	24
2.3.1	Modélisation de la crue de 2008	24
2.3.2	Modélisation avec des hydrogrammes de projet	25
2.4	Modélisation bidimensionnelle	29
3	Comparaison entre la cartographie hydrogéomorphologique et les résultats des modèles	32
3.1	Caractéristiques de la cartographie hydrogéomorphologique	32
3.2	Méthodologie adoptée pour la comparaison	33
3.2.1	Estimation des apports des affluents	37
3.2.2	Détermination des quantiles de crues	37
3.3	Périodes de retour associées aux différents lits	38
3.4	Synthèse de la comparaison	42

4	Analyse des incertitudes	43
4.1	Précision des données	43
4.1.1	Données altimétriques et cartographiques	43
4.1.2	Données hydrométriques et laisses de crues	44
4.1.3	Données pluviométriques	44
4.2	Prise en compte des incertitudes de la modélisation	45
4.2.1	Incertitudes sur les coefficients de rugosité	45
4.2.2	Incertitudes liées à la modélisation hydraulique	45
4.2.3	Incertitudes liées aux hydrogrammes de projet et aux quantiles de crue	45
4.2.4	Synthèse de l'analyse des incertitudes	46
5	Conclusions	47
	Bibliographie	48
	ANNEXES	50
	Annexe A - Données topographiques	51
	Annexe B - Données de laisses de crue	64
	Annexe C - Estimation des quantiles de crue des affluents	69
	Annexe D - Méthodologie de cartographie des zones inondées	70

Liste des tableaux

1	Stations de mesures hydrométriques et données disponibles sur le site de la Banque Hydro.	8
2	Principaux affluents des Gardons.	9
3	Remoulins : Estimation du débit de pointe de la crue de 1958 et débits caractéristiques estimés par différentes études.	9
4	Crue 2002 : comparaison des estimations des débits de pointe des affluents.	21
5	Tronçons définis sur le Gardon d'Anduze.	33
6	Tronçons définis sur le Gardon d'Alès et les Gardons réunis.	34
7	Estimation des quantiles de crues des principales stations hydrométriques.	38
8	Gardon d'Anduze : périodes de retour attribuées au lit moyen pour chaque tronçon (quantiles Shyreg estimés à Anduze).	39
9	Gardon d'Anduze : périodes de retour attribuées au lit majeur pour chaque tronçon (quantiles Shyreg estimés à Anduze).	39
10	Gardon d'Alès et réunis : périodes de retour attribuées au lit moyen pour chaque tronçon avec les modèles 1D et 2D (quantiles Shyreg estimés à Alès pour les tronçons 01 à 10, à Ners pour les tronçons 11 à 17, à Russan pour les tronçons 18 à 21 et à Remoulins pour les tronçons aval).	40
11	Gardon d'Alès et réunis : périodes de retour attribuées au lit majeur pour chaque tronçon.	41
12	Evaluation des approches suivant les types de secteur.	42
13	Anduze : liste des profils en travers récents.	51
13	Anduze : liste des profils en travers récents.	52
14	Gardons réunis : liste des profils en travers récents (post 2002).	52
14	Gardons réunis : liste des profils en travers récents (post 2002).	53
14	Gardons réunis : liste des profils en travers récents (post 2002).	54
14	Gardons réunis : liste des profils en travers récents (post 2002).	55
14	Gardons réunis : liste des profils en travers récents (post 2002).	56
14	Gardons réunis : liste des profils en travers récents (post 2002).	57
14	Gardons réunis : liste des profils en travers récents (post 2002).	58
14	Gardons réunis : liste des profils en travers récents (post 2002).	59
15	Gardons réunis : liste des profils en travers « anciens » (pre 2002).	59
15	Gardons réunis : liste des profils en travers « anciens » (pre 2002).	60
15	Gardons réunis : liste des profils en travers « anciens » (pre 2002).	61
15	Gardons réunis : liste des profils en travers « anciens » (pre 2002).	62
15	Gardons réunis : liste des profils en travers « anciens » (pre 2002).	63
16	Caractéristiques des principaux ouvrages.	64
17	Crue de septembre 2002 : laisses de crue disponibles.	64
17	Crue de septembre 2002 : laisses de crue disponibles.	65
17	Crue de septembre 2002 : laisses de crue disponibles.	66
18	Crue de 1907 : laisses de crue disponibles.	67
19	Crue de 1958 : laisses de crue disponibles.	67
20	Crue de décembre 1997 : laisses de crue disponibles.	68
19	Crue de 1958 : laisses de crue disponibles.	68
21	Estimation des débits de pointe de différentes périodes de retour des affluents (méthodes ISL et Shyreg).	69

Table des figures

1	Le bassin versant des Gardons (d'après Bonnifait <i>et al.</i> (2009)).	7
2	Données granulométriques.	10
3	Crue de 1958 : hydrogrammes définis avec le modèle hydrologique HMS pour le Gardon et ses affluents.	14
4	Crue de 1958 sur le Gardon d'Anduze : lignes d'eau calculées et mesurées. . .	14
5	Crue de 1958 sur les Gardons d'Alès et réunis : lignes d'eau calculées et mesurées.	15
6	Crue de 1958 sur les Gardons d'Alès et réunis : comparaison des limnigrammes calculés avec le modèle hydraulique et des mesures aux stations d'Alès, Ners et Remoulins.	16
7	Crue de 1958 sur les Gardons d'Alès et réunis : (a) erreurs relatives et (b) impacts des variations du coefficient de rugosité sur les surfaces inondées. . .	17
8	Crue de 1907 sur les Gardons d'Alès et réunis : ligne d'eau calculée et laisses de crue.	18
9	Crue de 1907 sur les Gardons d'Alès et réunis : erreurs relatives.	18
10	Crue de 1976 sur les Gardons réunis : comparaison des lignes d'eau calculées et des laisses de crue.	19
11	Crue de 1997 sur les Gardons réunis : comparaison à Remoulins des (a) hydrogrammes et (b) limnigrammes mesurés et simulés.	20
12	Le pont de Russan (a) à l'étiage et (b) pendant la crue de 2002 (photos du Conseil Général du Gard).	21
13	Crue 2002 à Anduze : hydrogrammes de crue estimés avec les approches Althair, SAC et HEC-HMS.	22
14	Crue 2002 à Anduze : (a) comparaison des lignes d'eau modélisées et des laisses de crue et (b) impacts des variations de débit sur les hauteurs d'eau.	23
15	Crue 2002 sur les Gardons d'Alès et réunis : comparaison des lignes d'eau modélisées et des laisses de crue.	23
16	Crue 2008 : hydrogrammes mesurés aux principales stations hydrométriques. .	24
17	Crue de 2008 sur les Gardons d'Alès et réunis : comparaison des hydrogrammes calculés avec le modèle hydraulique et des mesures aux stations d'Alès, Ners, Russan et Remoulins.	25
18	Anduze : (a) hydrogrammes Shyreg de période de retour 100 ans (chaque hydrogramme est caractérisé par $PM1$, $PM24$, Q_p et $LM24$) et (b) hydrogrammes normés retenus pour la modélisation hydraulique.	26
19	Anduze : influence de la forme de l'hydrogramme sur (a) les hauteurs d'eau maximales et (b) les débits et les hauteurs d'eau.	27
20	Les Gardons d'Alès et réunis : Hydrogrammes de période de retour 100 ans définis en entrée du modèle hydraulique (hydrogrammes ISL, Shyreg et en « créneau » avec conservation du volume de l'hydrogramme ISL).	28
21	Les Gardons d'Alès et réunis : influence de la forme de l'hydrogramme sur (a) les débits et (b) les hauteurs d'eau à Ners, Russan et Remoulins.	29
22	Les Gardons d'Alès et réunis : influence de la forme de l'hydrogramme sur les débits et les hauteurs d'eau.	29
23	Crue 2002 : comparaison des lignes d'eau obtenues avec le modèle 1D et les modèles 2D avec différentes valeurs du coefficient de rugosité.	30
24	Crue de 2002 : comparaison des maximums des hauteurs d'eau : a [(K1D-15%) - K1D] et b [(K1D+15%) - K1D].	31

25	Exemple de cartographie des différents lits avec l'approche géomorphologique à l'amont de Russan	32
26	Le Gardon d'Anduze : cartographie des différents tronçons définis.	34
27	Les Gardons d'Alès et réunis : cartographie des différents tronçons (01 à 10).	35
28	Les Gardons d'Alès et réunis : cartographie des différents tronçons (11 à 30).	36
29	Comparaison des débits à Alès et Anduze (a) <i>QTVAR</i> entre 2007 et 2012 et (b) maximum annuels, quantiles de crue Shyreg et débits historiques reconstitués.	37
30	Comparaison des débits à Ners et Remoulins (a) <i>QTVAR</i> entre 2008 et 2012 et (b) maximum annuels, quantiles de crue Shyreg et débits historiques reconstitués.	38
31	Evolution du profil en long entre Ners et Moussac (d'après SIEE (1996) et Pobanz (2006)).	43
32	Modèle hydrologique HMS : Hydrogramme de la crue 2002 à Anduze et Remoulins avec des jeux de données dégradés.	44
33	Comparaison des estimations de quantiles de crue pour les stations d'Anduze et d'Alès (les pointillés définissent les bornes basses et hautes de l'intervalle de confiance à 90%).	46
34	Exemple de cartographie.	70
35	Chargement du script Python sous Arcgis - modification de l'onglet « Paramètres ».	72

Introduction

Le projet de recherche Extraflo vise à comparer différentes approches pour la détermination des caractéristiques des crues extrêmes. Un des volets du projet se focalise sur la détermination des zones inondées et souhaite comparer la pertinence de différentes approches en différenciant le domaine des crues fréquentes pour lesquelles des informations récentes existent et celui des crues extrêmes pour lesquelles peu ou pas d'information est disponible. A partir des différentes approches de délimitation des zones inondables (approche hydrologique-hydraulique, approche hydro-géomorphologique et approche historique), il s'agit de définir la fiabilité ou l'incertitude associée à la délimitation de la zone inondable.

La présente étude sur les Gardons cherche à répondre aux objectifs suivant :

- analyser les incertitudes liées à la stratégie de modélisation (1D et 2D),
- évaluer l'impact de ces incertitudes en terme de surfaces inondées,
- associer un débit au remplissage des différents lits géomorphologiques (lit mineur, lit moyen, lit majeur et lit majeur exceptionnel),

1 Recueil des données

Le Gardon prend sa source au niveau des crêtes des Cévennes et rejoint le Rhône au niveau de la commune de Comps dans le Gard. Il draine un bassin versant de 2 157 km².

Le bassin versant du Gardon est constitué de plusieurs rivières dénommées « gardon de ». Dans un souci de simplicité, on peut distinguer deux sous bassins amonts majeurs : le Gardon d'Anduze qui couvre une superficie de 631 km² et le Gardon d'Alès qui draine une surface estimée à 445 km². Le Gardon d'Alès et le Gardon d'Anduze se rejoignent sur les communes de Ribaute-les-Tavernes et Vézénobres et prennent l'appellation de « Gardons » ou « Gardons réunis ». Entre l'aval de la confluence des Gardons d'Alès et d'Anduze (Ners) et l'entrée dans les gorges (Russan), le Gardon présente un linéaire d'environ 25 km où les secteurs de débordements en lit majeur sont importants ; ce linéaire est communément appelé la Gardonenque. Les Gardons traversent ensuite un secteur de gorges (entre Russan et Remoulins) où les zones de débordement sont beaucoup plus limitées. L'aval de Remoulins jusqu'au Rhône est caractérisé par un élargissement notable du lit majeur. Les différents Gardons et les principales villes sont illustrés sur la figure 1. Les données nécessaires à la construction et au calage des différents modèles sont détaillées dans les paragraphes qui suivent.

1.1 Données topographiques

1.1.1 Données topographiques récentes (postérieures à 2002)

Suite à la crue de septembre 2002, de nombreuses campagnes topographiques ont été réalisées. 348 profils en travers ont ainsi pu être récoltés pour la construction d'un modèle « récent ». La plupart de ces profils s'étendent suffisamment loin latéralement et englobent donc la surface inondée en 2002. La liste des profils en travers disponibles pour les Gardons d'Anduze, et les Gardons d'Alès ainsi que les Gardons réunis est donnée dans les tableaux 13 et 14 en Annexe A. Un profil en long levé en 2004 a également été collecté.

1.1.2 Données topographiques entre 1958 et 2002

Les profils plus « anciens » proviennent d'études réalisées entre les années 1970 et 1999. 175 profils en travers ont ainsi été collectés et sont détaillés dans le tableau 15 en Annexe A.

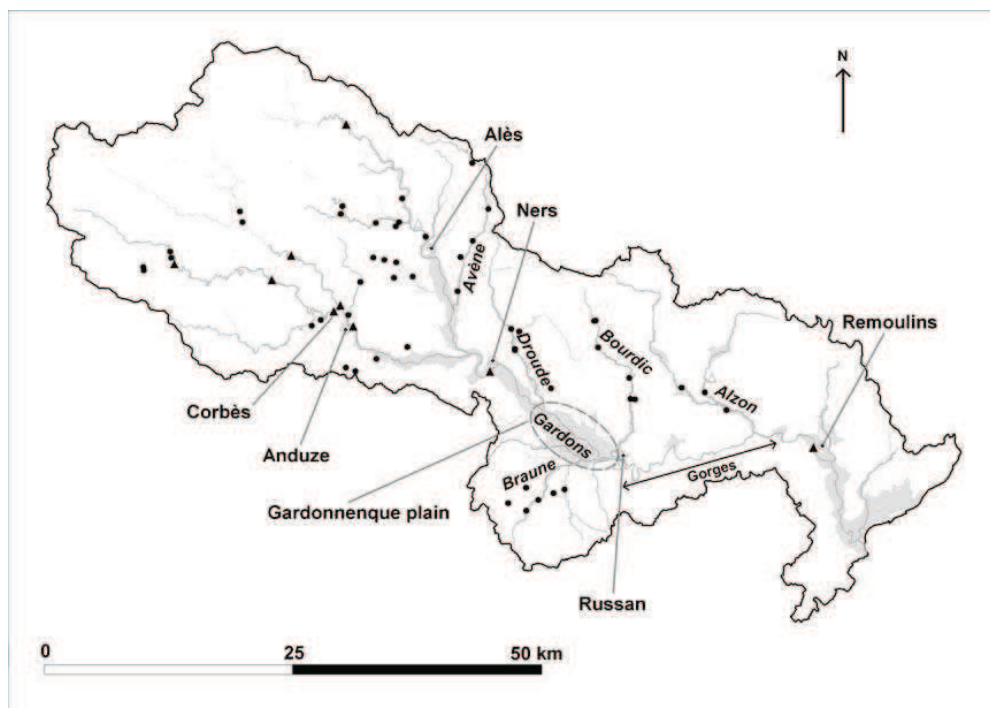


FIGURE 1 – Le bassin versant des Gardons (d'après Bonnifait *et al.* (2009)).

Les profils en travers disponibles sur le Gardon d'Anduze ont été levés après la crue de 2002. Ces profils en travers récents ont été ajustés à partir de la ligne d'eau d'étiage de 1996.

1.1.3 Données topographiques antérieures à 1958

Entre 1907 et 1958, le profil en long de ligne d'eau d'étiage levé par les Forces Hydrauliques de l'IGN (1948) est la seule donnée topographique collectée. Ce profil couvre les Gardons d'Anduze, d'Alès et s'arrête à Moussac ; il permet d'ajuster la cote du fond du cours d'eau. Avant 1907, seules quelques données topographiques très localisées ont pu être reconstituées, notamment sur Anduze et Alès (Neppel, 2007).

1.1.4 Données sur les ouvrages

Les Gardons sont traversés par de nombreux ouvrages, qu'il faut intégrer au mieux dans la modélisation hydraulique. La liste des ouvrages recensés ainsi que l'approche adoptée pour les intégrer dans le modèle sont présentées dans le tableau 16 en Annexe A. Ce paragraphe ne détaille donc pas l'ensemble des ouvrages mais donne un aperçu des structures influençant l'écoulement des Gardons.

Le barrage de Ste-Cécile-d'Andorge sur le Gardon d'Alès a été mis en eau en 1967 afin d'écrêter les crues. Cette construction fait suite au barrage des Cambous (localisé juste à l'aval de celui de Ste-Cécile), construit en 1957 afin d'alimenter en électricité la centrale thermique du Fesc ainsi que l'alimentation en eau industrielle des Houillères du Gard avant de permettre une utilisation touristique du plan d'eau. Ces deux barrages assurent également le soutien d'étiage du Gardon d'Alès. Ces barrages affectent également le transport de sédiments ; ainsi en 1977, le barrage de St-Cécile-d'Andorge avait stocké $139\,000\text{ m}^3$ de graves, soit un apport

de 14 000 m³ par an. Depuis 1979, un carrière exploite environ 10 000 m³ de matériaux grossiers chaque année en queue de retenue (BCEOM, 2000).

Les principales villes localisées le long du Gardon sont protégées par des digues ; ainsi, à Anduze, un quai digue fut réalisé en 1770 (après les inondations de 1768) pour protéger les quartiers les plus exposés. Alès est également fortement endiguée. On notera également la présence du remblai routier pour la mise en 2 × 2 voies de la RN 106 entre Nîmes et Alès. Suite à la crue de 2002, les plans de la RN106 entre La Calmette et Boucoiran ont été modifiés pour intégrer plus d’ouvrages d’évacuation (buses). La topographie détaillée de cet axe n’étant pas disponible pour cette étude, la description de la géométrie du lit majeur de ce secteur présente quelques incertitudes (fin des travaux RN106 en 2008).

L’aménagement de Vallabrègues a été réalisé en 1967 par la CNR. Le Gardon a ainsi été endigué à sa confluence, et se rejette désormais juste en aval du barrage de Vallabrègues ; la débitance de cette nouvelle confluence en situation de crue du Gardon et de hautes eaux du Rhône est souvent mise en cause. Cet aménagement de la CNR n’est qu’un de ceux qui ont modifié les écoulements dans la basse plaine des Gardons depuis la dernière grande crue de 1958 (A9, TGV, urbanisme..).

1.2 Données hydrométriques, pluviométriques et laisses de crues

1.2.1 Données hydrométriques

Le régime hydrologique du Gardon et de ses affluents est typiquement méditerranéen avec des étiages très sévères, des débits moyens faibles voire nuls sur certains affluents et des crues rapides. Le nombre de stations hydrométriques sur les Gardons et ses affluents est limité et les acquisitions sont relativement récentes. La majorité des échelles sont des stations d’annonce de crue gérées par le SPC. Les données de débits journaliers moyen QJ et de débits à pas de temps variables $QTVAR$ disponibles pour les Gardons sur la Banque Hydro sont récapitulées dans le tableau 1. Dans la région des Cévennes, un observatoire, l’OHMCV (Observatoire Hydrologique Méditerranée Cévennes Vivarais) mutualise également de nombreuses données hydrologiques, de connaissances et de méthodes (<http://www.ohmcev.fr>). Enfin, de nombreuses données limnimétriques anciennes ont également été collectées.

Tableau 1 – Stations de mesures hydrométriques et données disponibles sur le site de la Banque Hydro.

Nom station	Code station	QJ	$QTVAR$	Surface bassin (km ²)
Anduze (PK 5,4)	V7144010	1970-2011	2008-2011	543
Alès (PK 22,3)	V7155010	1971-2011	2008-2011	315
St Hilaire de B. (PK 28)	V7155040	1993-2002	1993-2002	328
Ners (PK 40)	V7164015	1998-2011	2008-2011	1 100
Russan (PK 58,9)	V7184015	2008-2011	2008-2011	1 521
Remoulins (PK 90,4)	V7194010	2010-2011	2010-2011	1 855
Remoulins (CNR)	V7194005	2011-2012	2011-2012	

Les principaux affluents des Gardons et la surface de leur bassin versant sont détaillés dans le tableau 2. Peu de données hydrométriques sont disponibles pour ces sites mais de nombreuses modélisations hydrologiques ont été réalisées afin d’obtenir des estimations des

apports des affluents lors des crues historiques. Quelques uns des modèles hydrologiques sont détaillés dans la suite du rapport.

Tableau 2 – Principaux affluents des Gardons.

Nom affluents	Surface bassin (km ²)	Commune et PK (km)
Galeizon (RD)	86	Cendras (PK 17,1)
Grabieux (RG)	34	Alès (PK 20)
Avène (RG)	58	St Hilaire de B. (PK 29)
Droude (RG)	128	Moussac (PK 48)
Braune (RD)	143	Dions (PK 57,4)
Bourdic (RG)	95	Russan (PK 58,7)
Alzon (RG)	203	Collias (PK 81,9)
Valliguière (RG)	72	Remoulins (PK 93)
Briancon (RG)	28	Comps (PK 103,6)

Les crues historiques ont fait l'objet de nombreuses études qui ont permis d'estimer les débits de pointe à partir des hauteurs d'eau mesurées aux différentes échelles. Les deux dernières crues les plus importantes qui ont affecté le bassin versant des Gardons sont celles des 8 et 9 septembre 2002 et celle du 30 septembre 1958. Les débits de pointe Q_p ont été estimé à 3 600 m³/s à Anduze en 2002 et à 3 000 m³/s en 1958 alors qu'à Remoulins $Q_p = 4 500$ m³/s en 1958 et 6 700 m³/s en 2002 (estimation Sogreah, 2003). Quelques estimations des débits de pointe de la crue de 1958 et des débits caractéristiques estimés à la station de Remoulins dans différentes études sont détaillées dans le tableau 3 et illustrent la variabilité et les incertitudes des différentes estimations.

Tableau 3 – Remoulins : Estimation du débit de pointe de la crue de 1958 et débits caractéristiques estimés par différentes études.

Nom étude	Crue de 1958 (m ³ /s)	Crues statistiques (m ³ /s)		
		Q10	Q100	Q1000
CNR 67	3 500	2 000	3 300	5 000
SOGREAH 93	4 900	-	4 500	-
PPR 94	4 500	-	4 900	-
BCEOM 94	4 900	2 500	4 500	-
ISL 98	-	2 100	4 100	-
EGR 00	4 000	2 200	4 380	6 540

1.2.2 Données pluviométriques

Le service d'Annonce des Crues du Gard (SAC30) dispose d'un réseau de 11 postes pluviographiques sur le bassin du Gardon : Barre des Cévennes, Berthel, Ste Cécile, St Roman, Saumane, Soudorgues, Mialet, Anduze, Alès, Ners, Remoulins. Ces postes font partie du réseau de Météo-France et enregistrent la lame d'eau précipitée au pas de temps de 5 minutes. Les données hydrométriques sur les affluents étant peu nombreuses, ces données permettent de reconstituer différents événements avec des modèles hydrologiques (ALTHAIR, ECRET,

1.2.3 Laisses de crue

De nombreuses laisses de crue ont été collectées lors des différents événements ; 66 laisses de crue sont ainsi disponibles pour l'événement de 2002. Il faut souligner que ces mesures ne correspondent pas toujours au pic de la crue et ne couvrent pas l'ensemble du linéaire. Une liste complète des crues historiques ainsi que les hauteurs d'eau relevées sur les échelles d'annonce de crues sont disponibles dans le rapport établi par le CETE Méditerranée (Delgado, 2006). Les laisses de crue utilisées dans la suite du présent rapport sont détaillées dans les tableaux no. 17 pour l'événement de 2002, no. 18 pour l'événement de 1907 et no. 19 pour celui de 1958 (Annexe B).

1.3 Données granulométriques

La majorité des données granulométriques disponibles correspond à des mesures réalisés sur des dépôts dans le lit mineur sur les Gardons par SIEE (1996) ; cette étude précise que les matériaux prélevés étaient a priori lavés par la décrue et semblaient donc mal refléter le diamètre moyen du matériel transporté. Des données supplémentaires analysées par le CETE Méditerranée en 2006 au niveau du pont du Gard et des mesures réalisés au Moulin de la Baume en 2010 sont également disponibles. L'ensemble des données est présenté sur la figure 2.

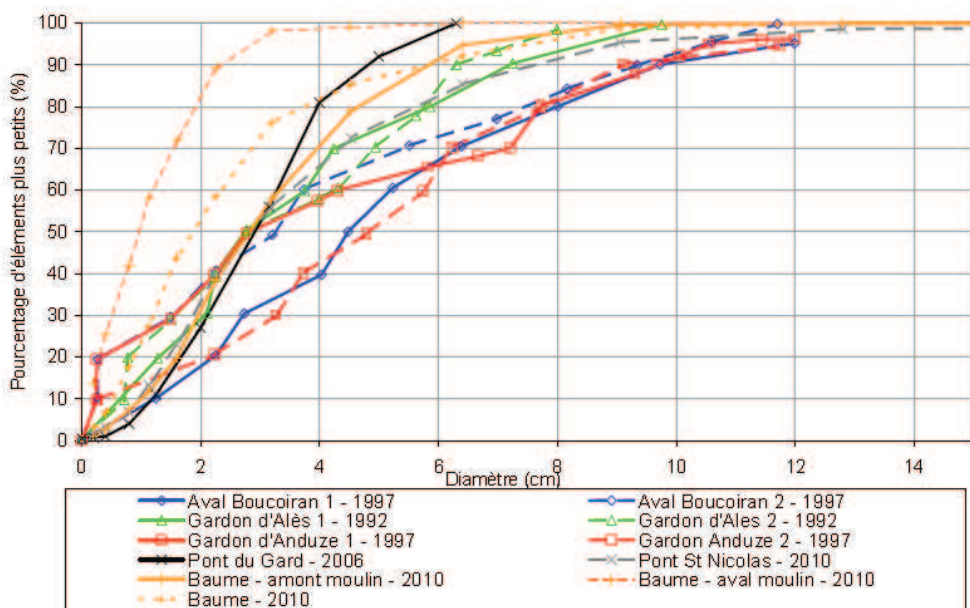


FIGURE 2 – Données granulométriques.

Les échantillons prélevés en 1997 révèlent une granularité des sédiments relativement étendue. En revanche, les courbes obtenues sur le secteur du moulin de la Baume et du pont du Gard présentent une gamme de diamètre plus limitée qui pourrait être assimilée à une tendance au pavage. Le diamètre médian d_{50} diminue longitudinalement ; le d_{50} passe ainsi de 48 mm à Anduze à 8 mm au niveau du moulin de la Baume. Les mesures réalisées sur le secteur

du moulin de la Baume illustrent la forte variabilité locale de la granularité ; l'incertitude sur les valeurs de d_{50} est donc forte.

Dans la configuration actuelle, les matériaux grossiers sont stockés derrière le barrage de Ste Cécile d'Andorge, celui des Cambous n'arrêtant que de faibles quantités de matériaux fins. Or, seuls les matériaux grossiers ont une influence notable sur la dynamique des Gardons (SMAGE 1999) L'apport moyen en matériaux grossiers au niveau de Ste Cécile est estimé entre 10 000 m³ et 15 000 m³ par an. Ces matériaux étant intégralement retenus par le barrage de Ste Cécile, un déficit important en aval est constaté.

1.4 Données sur les extractions

Les extractions de granulats sont apparues dans la vallée des gardons vers 1950. D'abord artisanale, cette activité s'est rapidement développée au début des années 1960 et a connu un essor important. Les informations récoltées sur les extractions sont essentiellement issues de l'Etude de la dynamique fluviale des Gardons rédigée par SIEE (1996). Cette étude retrace l'historique des extractions sur l'ensemble des Gardons en fournissant une analyse de l'évolution des profils en long par secteur. Un résumé des résultats de cette étude est donné ci-après pour les différents Gardons. Il faut noter que les Gorges du Gardon n'ont jamais été exploitées car le substratum rocheux est atteint mais également en raison des difficultés d'accès.

1.4.1 Extractions sur le Gardon d'Alès

Les matériaux du Gardon d'Alès étaient de qualité assez médiocre par rapport à ceux du Gardon d'Anduze ; les extractions ont été plutôt limitées avant que les travaux de chenalisation entraînent une extraction massive. Les principales dates associées aux extractions sur ce secteur sont :

- 1960 : première tentative de chenalisation sur le Gardon d'Alès sur un linéaire de 5 à 6 km. Ensuite, des extractions ponctuelles sont réalisées.
- 1976 : chenalisation modérée afin d'éviter la mise à nu du substratum. Un volume total d'extraction de 650 000 m³ a été prélevé en 3 ans. Le chenal devait permettre l'écoulement d'un débit de 400 m³/s.
- 1982 : extraction postérieure à la chenalisation de 15 000 m³/an. Le volume extrait après chenalisation excède vraisemblablement 50 000 m³.

Le barrage de Sainte-Cécile, mis en eau en 1967, retient intégralement entre 10 et 15 000 m³ de matériaux par an. L'absence de ces matériaux entraîne donc un déficit important à l'aval.

1.4.2 Extractions sur le Gardon d'Anduze

Les extractions sur le Gardon d'Anduze, conduites quasi-exclusivement à l'aval d'Anduze, ont été importantes en raison de l'excellente qualité des matériaux.

- Les curages à l'aval d'Anduze se sont terminés dans les années 60. Les volumes prélevés étaient faibles.
- 1976 : projet de chenalisation sur 3 ans pour un linéaire de plus de 13 km (sauf entre le Pont de Lézan et le Pont SNCF), avec extraction de 1 750 000 m³. La largeur de lit prévue était de 70 à 100 m afin d'évacuer un débit de 670 m³/s.
- En 1982, les extractions représentaient un volume annuel de 15 000 m³/an.
- Les extractions dans le lit mineur se sont arrêtées depuis le début des années 1990.

1.4.3 Extractions sur les Gardons réunis

Les extractions ont été très importantes et ont suivi le rythme des extractions sur le Gardon d'Anduze. Ainsi en 1987, le volume total extrait sur l'ensemble Gardon d'Anduze - Gardons réunis est estimé à 13 millions de m³ (CETE Méditerranée, 1987). Après cette date, les extractions en lit mineur ont rapidement cessé.

- Avant 1939, une drague était installée à demeure au Pont St-Chaptes ; les volumes prélevés étaient faibles.
- Dans les années 1960, suite à la crue de 1958, des extractions massives ont été conduites pour réaliser un projet de chenalisation. Aucun bilan global n'a été établi en l'absence d'un système de redevance.
- Au début des années 1980, le volume annuel d'extraction représentait 600 000 m³. En 1982, les autorisations en cours atteignaient 1 à 1,5 millions de tonnes. L'ensemble de ce volume a vraisemblablement été extrait.
- Les dernières extractions ont eu lieu en 1990. Des prélèvements importants ont été faits dans cette phase ultime pour la constitution de stocks.

1.4.4 Extractions sur les Gardons aval (du Pont du Gard au Rhône)

Les extractions sur ce secteur diffèrent de ce qui a été réalisé en amont. Tout d'abord, l'objectif premier était plutôt la production de matériaux que la création d'un chenal d'écoulement. L'absence de substratum proche de la surface permet des extractions en souilles profondes contrairement aux décapages sur une profondeur de 1 à 2 m généralement réalisés à l'amont. Les superficies correspondant aux très forts volumes prélevés sont donc faibles. Ces extractions se poursuivaient encore en 1997 mais étaient isolées du lit du Gardon, même lors de crues.

- Il n'y a pas de chiffres avant 1982. A titre d'exemple, en 1982, 600 000 m³ ont été extraits dans le lit majeur du Gardon. Il est probable que ce rythme ait été suivi les années précédentes.
- En 1983, 15 000 m³ ont été prélevés dans le lit mineur et 130 000 m³ dans lit majeur sur le seul site de Fournès.
- En 1984, sur ce même site de Fournès, 6 000 m³ étaient prélevés dans le lit mineur contre 120 000 m³ dans le lit majeur. Cette évolution traduit la fin des prélèvements dans le lit mineur.

2 Modélisation hydraulique

Plusieurs modèles couvrant différents secteurs et différentes périodes ont été construits afin de simuler les crues anciennes et plus récentes :

- un modèle 1D ancien prenant en compte l'abaissement du lit mineur pour les crues survenues avant 1958 (nommé pré-1958) pour les secteurs d'Anduze et des Gardons d'Alès et réunis (simulation des crues de 1907 et 1958),
- un modèle 1D 1958-2002 basé sur les données topographiques disponibles avant 2002 (nommé pré-2002) pour les secteurs d'Anduze et des Gardons d'Alès et réunis (simulation des crues de 1976, 1997 et 2002),
- un modèle 1D récent basé sur les données topographiques « récentes » disponibles (nommé post-2002 par la suite) pour les secteurs d'Anduze et des Gardons réunis (simulation de la crue de 2008 et attribution des périodes de retour aux couches géomor-

- phologiques),
- un modèle 2D sur le secteur de la Gardonnenque (simulation de la crue de 2002 et attribution des périodes de retour aux couches géomorphologiques).

Les modèles unidimensionnels sont réalisés avec le logiciel RubarBE et les simulations 2D sont effectuées avec le logiciel Rubar20. Ces modèles hydrauliques résolvent les équations de Barré de Saint-Venant. Les modèles ont une représentation des lits débordants, formulée en lits composés par la formule de Debord, qui fait intervenir deux coefficients de rugosité (un dans le lit mineur K_{min} et un dans le lit majeur K_{maj}). Les différentes simulations réalisées sont détaillées ci-après ; le détail des simulations ne suit pas nécessairement la chronologie des événements mais s’articule en fonction des calages réalisés.

2.1 Modèles 1D ancien (pré-1958)

Deux modèles ont été réalisés : un modèle couvrant le Gardon d’Anduze s’étendant de l’amont du pont de la voie ferrée à Anduze (PK 0) à la confluence avec le Gardon d’Alès (PK 14,4) et un modèle des Gardons d’Alès et réunis s’étendant de l’aval du barrage de Cambous (PK 2,3) à la confluence avec le Rhône (PK 104,6). Ces modèles anciens ont été construits à partir des profils en travers récents dont la cote du fond a été ajustée avec le profil en long levé par les Grandes Forces Hydrauliques de l’IGN en 1948. Aucune donnée n’est disponible à l’aval de la confluence avec la Droude (Moussac PK 48,5), la topographie de ce secteur n’a donc pas été ajustée en l’absence de données anciennes.

2.1.1 Modélisation de la crue de 1958

Les hydrogrammes utilisés en entrée des modèles ont été définis à partir des résultats du modèle hydrologique HMS (Fig. 3). En effet, ces estimations de débits sont les seules disponibles sur les affluents pour cet événement.

On notera que le modèle HMS semble donner une valeur du débit de pointe relativement faible à Anduze ($Q_p = 1\,890\text{ m}^3/\text{s}$) en comparaison aux estimations faites dans différentes études pour cet événement majeur ; on peut mentionner entre autres la valeur du débit de pointe estimée à $3\,020\text{ m}^3/\text{s}$ et citée dans le rapport de BRL Ingénierie (2005) (obtenue à partir de la formule de Myer : $Q = AS^{0,75}$) ainsi que la valeur $Q_p = 3\,700\text{ m}^3/\text{s}$ fournie par Bianciotto (2005) et qui est obtenue par modélisation hydraulique. La reconstitution de ce débit de pointe à partir de la hauteur d’eau relevée en 1958 à Anduze ($H = 7,6\text{ m}$) et de la courbe de tarage fournie par le SPC (courbe version 1.4) donne une valeur $Q_p = 1\,820\text{ m}^3/\text{s}$; l’estimation HMS est donc utilisée en entrée du modèle et sera ajustée si les lignes d’eau modélisées sont trop faibles par rapport aux données de laisses de crue.

Le Gardon d’Anduze

Le coefficient de rugosité du lit mineur K_{min} est compris entre 30 et $35\text{ m}^{1/3}/\text{s}$ et celui du lit majeur K_{maj} est égal à $15\text{ m}^{1/3}/\text{s}$ sur l’ensemble du linéaire. Les lignes d’eau modélisées sont comparées aux sept laisses de crue disponibles sur la figure 4. Les erreurs relatives $\Delta H/H$ calculées sont comprises entre -11,6% au niveau de Cardet (PK 10,5) et +11,7% à Anduze (PK 0,5). La valeur du débit de pointe estimée avec la méthode HMS à $1\,890\text{ m}^3/\text{s}$ nous permet donc d’obtenir des résultats cohérents avec les laisses de crue disponibles.

Ce modèle nous permet également de déterminer l’apport du Gardon d’Anduze à la confluence ($Q_p = 2\,270\text{ m}^3/\text{s}$) pour le modèle des Gardon d’Alès et réunis.

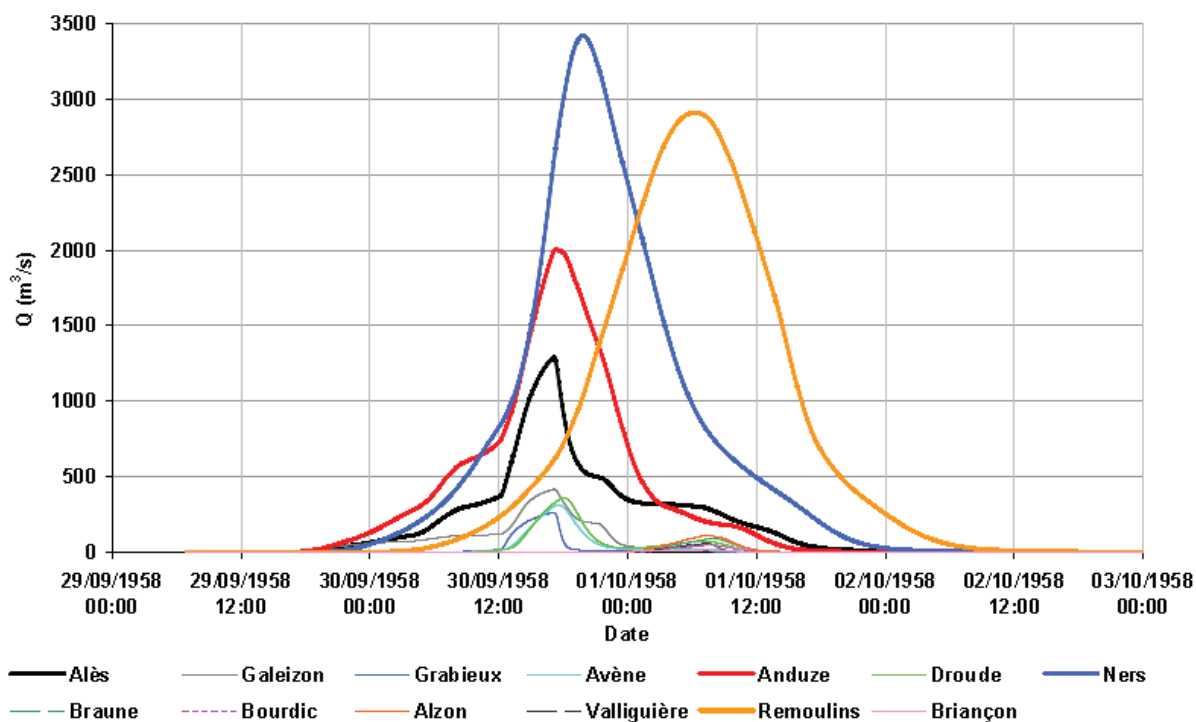


FIGURE 3 – Crue de 1958 : hydrogrammes définis avec le modèle hydrologique HMS pour le Gardon et ses affluents.

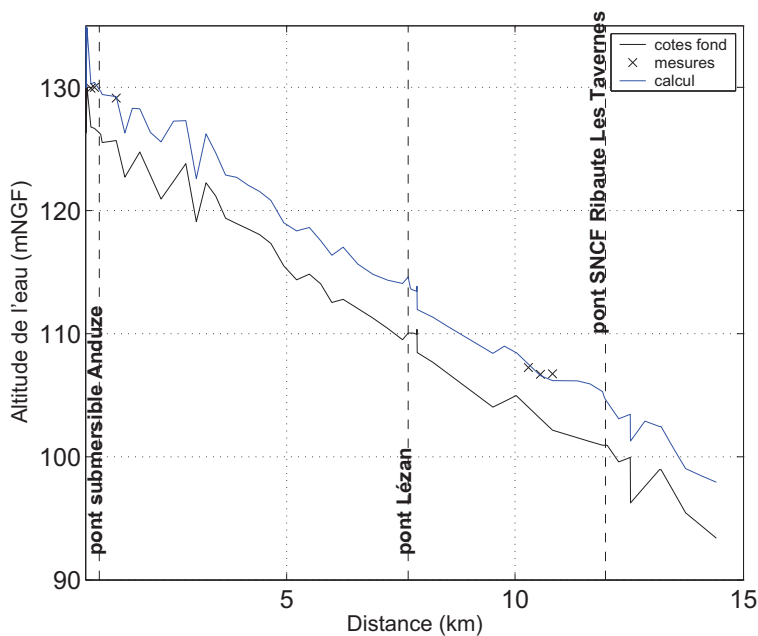


FIGURE 4 – Crue de 1958 sur le Gardon d'Anduze : lignes d'eau calculées et mesurées.

Les Gardons d'Alès et réunis

La limite amont du modèle étant localisée à l'aval du barrage de Cambous, le débit de

pointe Q_p a été pris égal à $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ selon l'estimation fournie par Coyne et Bellier (1983). Les apports des affluents résultent du modèle hydrologique HMS (Fig. 3) et des résultats obtenus avec le modèle hydraulique sur le Gardon d'Anduze. A l'aval, une cote d'eau de 14 m est imposée au niveau de Comps ; cette cote correspond au niveau d'eau relevé lors de la crue de 2002 mais il semble que les deux événements soient similaires sur l'aval du secteur d'étude. En effet, les laisses de crue relevées à Remoulins pour les événements de 1958 et 2002 sont très proches.

Un premier calcul est réalisé avec des coefficients de rugosité constants $K_{min} = 25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ et $K_{maj} = 15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (noté K_{const} par la suite) ; les valeurs du coefficient du lit mineur sont ensuite ajustées et varient entre 20 et $45 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (noté $K_{min\text{ varie}}$) puis ceux du lit majeur sont ajustés entre 5 et 15 (noté $K_{maj\text{ varie}}$). Et enfin les deux coefficients sont ajustés (noté K_{varie}). Les résultats obtenus avec ces quatre simulations sont présentés sur la figure 5.

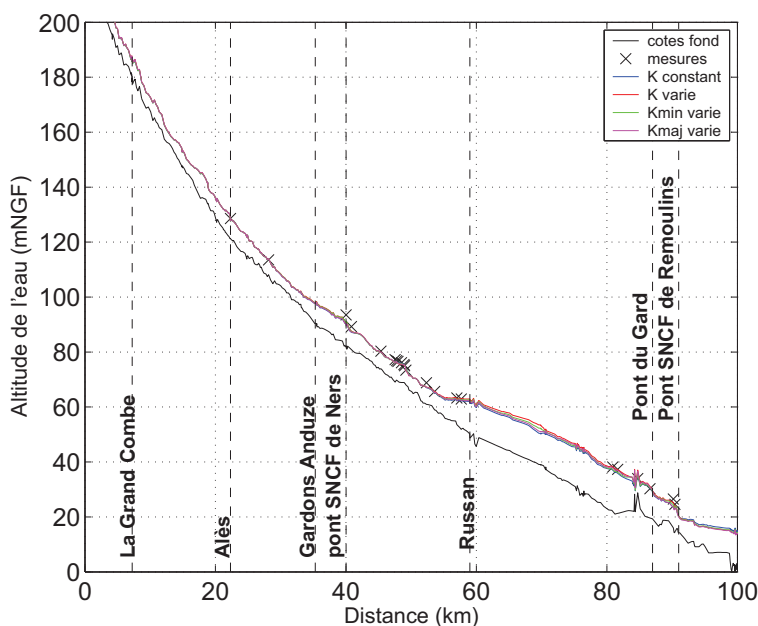


FIGURE 5 – Crue de 1958 sur les Gardons d'Alès et réunis : lignes d'eau calculées et mesurées.

Le modèle K_{varie} permet d'obtenir les erreurs les plus faibles. Les variations des valeurs de rugosité du lit mineur K_{min} semblent avoir plus d'impact sur les hauteurs d'eau que les variations de K_{maj} . Ainsi, en moyenne, une variation de la valeur du coefficient de rugosité du lit mineur de $-3 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ entraîne une variation de $+22 \text{ cm}$ sur la hauteur d'eau modélisée tandis que cette même variation sur le coefficient de rugosité du lit majeur a pour conséquence une élévation de $+12 \text{ cm}$ sur la cote de l'eau simulée.

Les erreurs relatives $\Delta H/H$ ont été calculées et sont comprises entre $\pm 10\%$ pour la majorité des résultats du modèle avec les valeurs de K ajustées. Il faut toutefois souligner les erreurs importantes au niveau de Ners (PK 40) où $\Delta H/H$ atteint 30% , ainsi qu'à La Calmette (PK 52) et à Vers Pont du Gard (PK 87) (Fig. 7a). Pour ces trois points de mesures, les données de laisses de crues présentent quelques incertitudes. Ainsi, l'échelle de mesure du pont de Ners est fortement influencée par les remous occasionnés par les ponts lors des crues ; de plus, une incertitude demeure sur le zéro de l'échelle en 1958 (le zéro de l'échelle est ainsi reporté à $82,93 \text{ mNGF}$ en 1924 et est modifié en 1965 à $82,68 \text{ mNGF}$; les fiches d'historique des crues à cette station élaborées par la DDE 30 se basent sur le zéro de 1965 pour la crue

de 1958...). A la Calmette, la cote de l'eau de 1958 a été corrigée de + 25 cm d'après les fiches de repères de crue (cf. fiche no. R3 100 du rapport SOGREAH (2005)). Enfin, la laisse de crue de Vers-Pont-du-Gard (référéncée La-Bégude-St-Pierre) est localisée dans un méandre, des erreurs liées à la représentation du méandre dans le modèle 1D sont inévitables. Il faut également souligner les incertitudes sur les débits de la crue de 1958 ; le rapport de SOGREAH (2003) proposait ainsi de réviser à la baisse les valeurs de débits sur la partie aval et réduisait le débit à Russan de 4 530 à 3 500 m³/s ; la marge d'incertitude fournie est de $\pm 15\%$. Au vu des incertitudes sur les débits en entrée du modèle et sur les laisses de crue, les résultats semblent acceptables.

L'influence des variations du coefficient de rugosité sur le temps de propagation de la crue est également considéré en comparant les limnigrammes disponibles aux stations d'Alès, Ners et Remoulins (archives SPC et DDT) avec les limnigrammes obtenus avec les différentes simulations (Fig. 6).

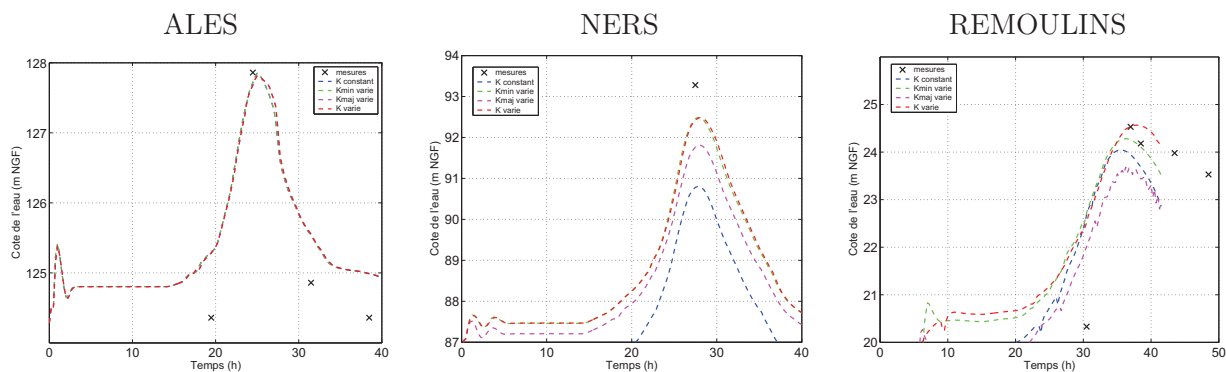


FIGURE 6 – Crue de 1958 sur les Gardons d'Alès et réunis : comparaison des limnigrammes calculés avec le modèle hydraulique et des mesures aux stations d'Alès, Ners et Remoulins.

A Ners, on observe un léger retard sur le pic de crue modélisé ; à Remoulins, la montée de crue simulée est en avance par rapport aux données mais la hauteur d'eau est respectée. Malgré les différents tests réalisés, les décalages temporels et d'amplitude n'ont pas pu être réduits. Les incertitudes sur les laisses de crues, les zéros des échelles limnimétriques ainsi que sur la topographie à cette période sont vraisemblablement les causes de ces résultats qui restent néanmoins très acceptables.

L'impact des variations des coefficients de rugosité sur les surfaces inondées est également estimé et présenté sur la figure 7b. Les surfaces inondées sont calculées à l'échelle du tronçon dont la définition est fournie dans le paragraphe 3. Les valeurs de ΔK ont été comparées en prenant les valeurs de la simulation *Kconst* comme référence. En moyenne, une variation du coefficient de rugosité de $-3\text{ m}^{1/3}/\text{s}$ entraîne une variation de la surface inondée de moins de 10%. Toutefois, localement ces variations peuvent être beaucoup plus fortes comme sur le secteur de la Gardonenque, au niveau de St-Chaptes (PK 48), où la variation de la surface inondée atteint les 44% pour une variation du coefficient de rugosité de $-5\text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

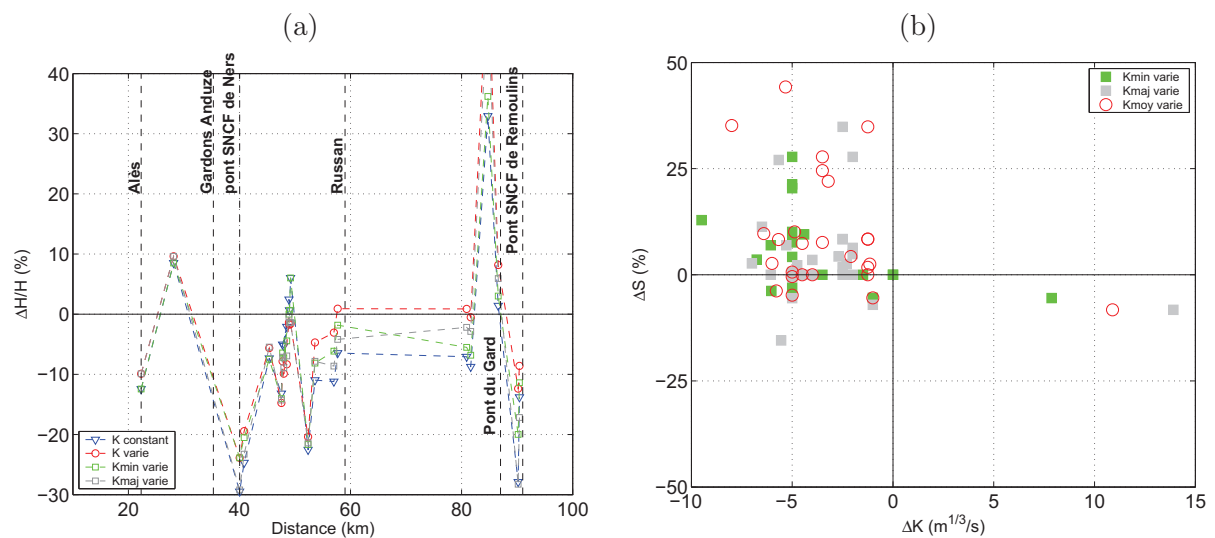


FIGURE 7 – Crue de 1958 sur les Gardons d’Alès et réunis : (a) erreurs relatives et (b) impacts des variations du coefficient de rugosité sur les surfaces inondées.

2.1.2 Modélisation de la crue de 1907

L’automne 1907 est marqué par une succession d’événements; ainsi, en l’espace de trois semaines, le Gardon grossit trois fois atteignant des cotes de plus en plus élevées :

- entre le 25 et le 28 septembre 1907,
- les 8 et 9 octobre 1907,
- les 16 et 17 octobre 1907.

L’événement le plus fort étant celui du 16 et 17 octobre, seul cet épisode est détaillé par la suite.

Les Gardons d’Alès et réunis

Dans le projet InondHis (Pobanz, 2006; Neppel, 2007), les courbes de tarage avaient été reconstituées par modélisation hydraulique à la station d’Alès et des lois déterminées afin de reconstruire les débits des crues historiques. La valeur moyenne du débit de pointe Q_p pour la crue du 16 octobre 1907 à Alès est ainsi estimée à $1\,230\text{ m}^3/\text{s}$ (avec une incertitude évaluée à $\pm 180\text{ m}^3/\text{s}$). Un débit constant de $1\,230\text{ m}^3/\text{s}$ a donc été injecté en entrée du modèle. Pour la condition limite aval, Pardé (1963) reporte que le Gardon atteint 7,50 m à Remoulins soit un débit estimé entre $3\,200$ et $3\,500\text{ m}^3/\text{s}$. Seul l’apport du Gardon d’Anduze a été inclus dans cette simulation avec un débit de pointe estimé à $3\,535\text{ m}^3/\text{s}$ (d’après les résultats du projet Inondhis). Les coefficients de rugosité des lits mineurs et majeurs définis dans la modélisation de la crue de 1958 sont ici repris. La ligne d’eau simulée est comparée aux 11 laisses de crue disponibles sur la figure 8.

A première vue, les résultats sont relativement satisfaisants. Toutefois, la détermination des erreurs relatives $\Delta H/H$ révèle que les erreurs sont fortes sur les secteurs d’Alès et à l’amont de Russan (Fig 9). Les erreurs relatives sont ainsi comprises entre 17,7% et 30,7%. Les incertitudes sur la topographie, l’hydrologie et les laisses de crue étant importantes, ces résultats semblent toutefois acceptables.

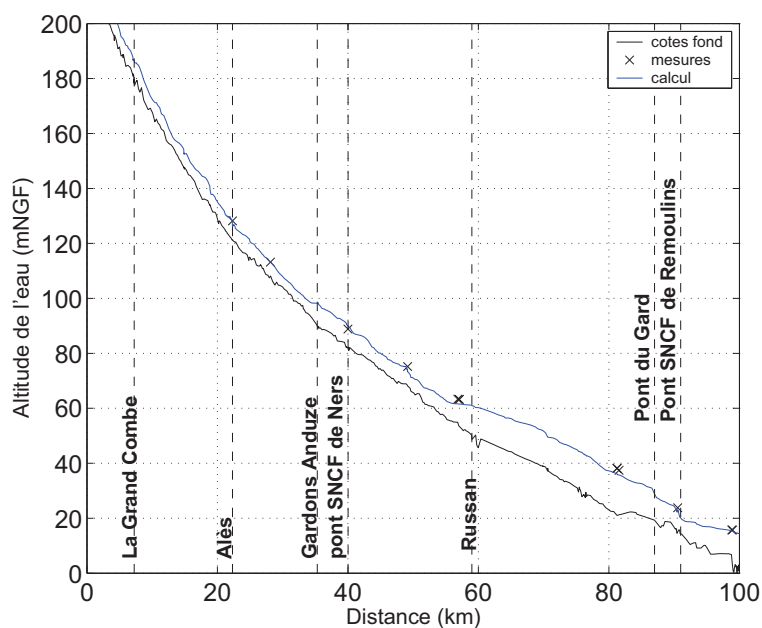


FIGURE 8 – Crue de 1907 sur les Gardons d’Alès et réunis : ligne d’eau calculée et laisses de crue.

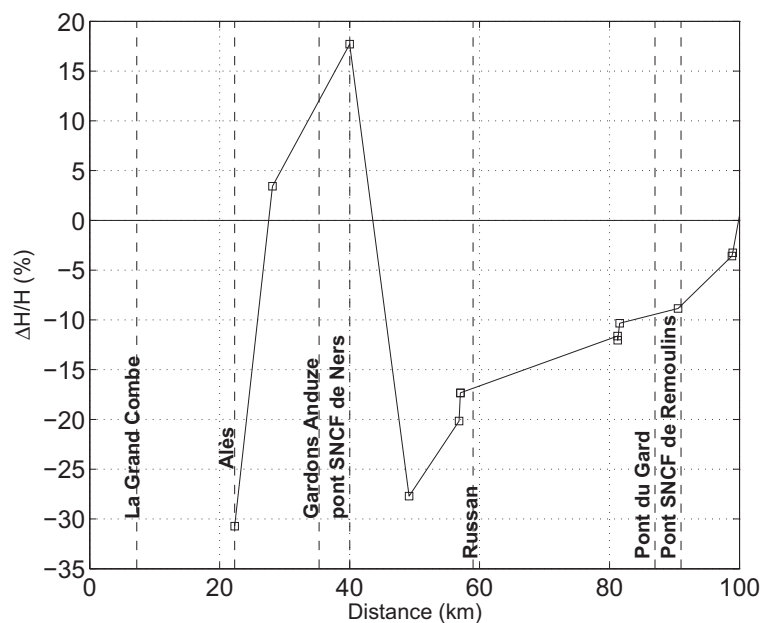


FIGURE 9 – Crue de 1907 sur les Gardons d’Alès et réunis : erreurs relatives.

2.2 Modèle 1D ancien (1958-2002)

2.2.1 Modélisation de la crue de 1976

Aucun hydrogramme ou débit de pointe mesurés in situ n’est disponible pour cet événement, le calcul est donc basé sur l’estimation du débit faite dans l’étude de Coyne et Bellier (1983) et reprise dans le rapport de Paquier (1995). Un débit permanent de $1\,450\text{ m}^3/\text{s}$ cor-

respondant au débit de pointe au niveau du pont de Ners est introduit dans le modèle. Ce débit semble sous estimé car les cotes observées sont au même niveau que celles de 1997 (en 1997, à Ners, $Q_p = 1789 \text{ m}^3/\text{s}$). Cinq laisses de crues ont été utilisées pour vérifier le calage de cet événement. La ligne d'eau modélisée est comparée aux laisses de crue sur la figure 10. Le modèle sous estime les hauteurs d'eau ; les erreurs sont plus fortes à l'amont, sur le secteur de Moussac (PK 49) avec des erreurs relatives de 25%, puis ces erreurs sont moindres sur l'aval avec des valeurs de $\Delta H/H$ comprises entre 3 et 5%.

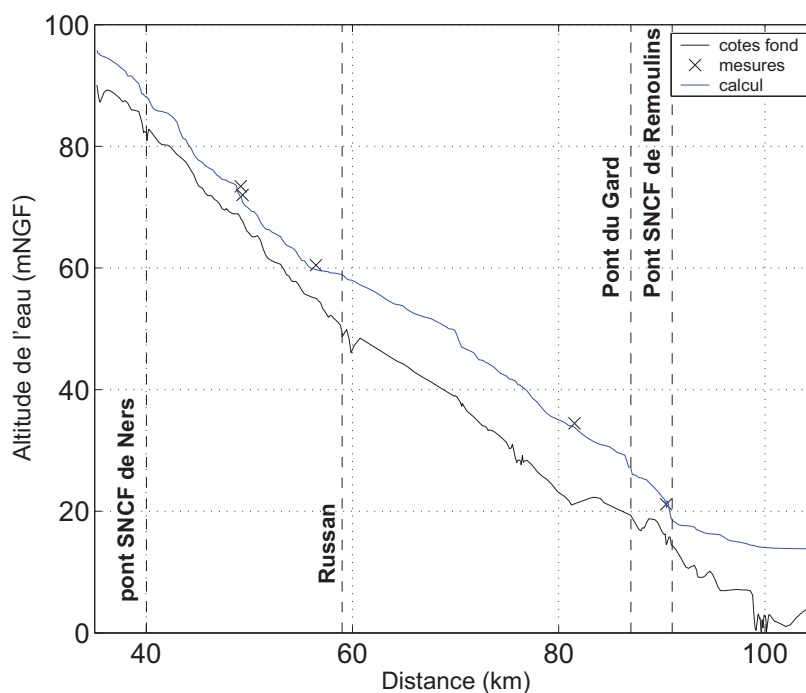


FIGURE 10 – Crue de 1976 sur les Gardons réunis : comparaison des lignes d'eau calculées et des laisses de crue.

2.2.2 Modélisation de la crue de 1997

L'hydrologie de la crue des 18 et 19 décembre 1997 est basée sur les estimations d'I.S.L. (2005) et les données de la DDE 30 qui a reconstitué les hydrogrammes à Ners et à Remoulins à partir des hauteurs d'eau mesurées et des courbes de tarage. Le modèle a donc été écourté et débute à la station hydrométrique de Ners (PK 40) avec un débit de pointe Q_p de $1789 \text{ m}^3/\text{s}$. Seules deux laisses de crue ont été collectées pour cet événement (à Moussac et Remoulins). Le modèle surestime la hauteur d'eau à Moussac de 30 cm et sous estime très légèrement la cote de l'eau à Remoulins (-6 cm). Cette simulation permet principalement de vérifier la propagation de la crue ; ainsi les hydrogrammes et limnigrammes calculés à Remoulins sont présentés sur la figure 11. Le modèle reproduit correctement le début de montée de la crue mais le débit de pointe est ensuite sous estimé de $100 \text{ m}^3/\text{s}$ et se produit avec un retard de 2 heures par rapport au pic de crue observé. En terme de hauteur d'eau, le laminage apparaît moins fort et le limnigramme calculé est comparable aux mesures malgré un léger décalage temporel observable pour la modélisation.

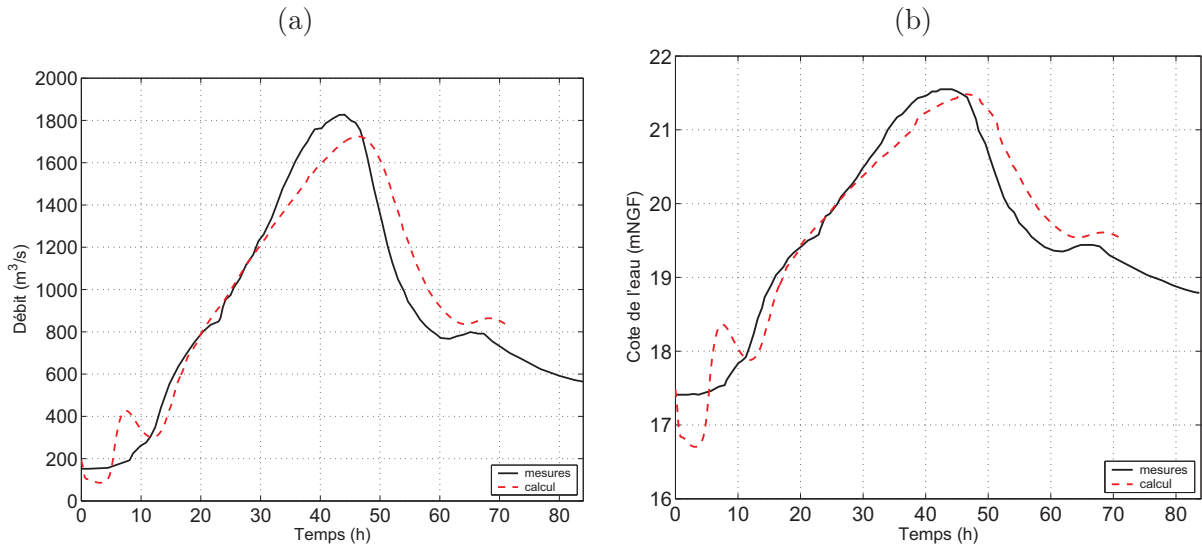


FIGURE 11 – Crue de 1997 sur les Gardons réunis : comparaison à Remoulins des (a) hydrogrammes et (b) limnigrammes mesurés et simulés.

2.2.3 Modélisation de la crue de 2002

Les 08 et 09 septembre 2002, les Gardons et certains de leurs affluents ont connu une crue exceptionnelle après laquelle 24 victimes ont été dénombrées. Cette inondation a relativement peu touché le bassin amont mais elle a considérablement touché l’aval à partir d’Anduze et d’Alès, et surtout à l’aval de leur confluence, où les niveaux de 1958 ont été largement dépassés à Dions, Collias, Remoulins et Montfrin. La modélisation de l’événement de 2002 est complexe car une forte incertitude demeure sur la concomitance de la crue du Gardon avec ses affluents. Les affluents semblent avoir joué un rôle prépondérant dans le déroulement de la crue de la vallée moyenne (Gardonnenque) (Fig. 12). L’amorce de la crue à Remoulins est due à l’Alzon ; il s’ensuit que la montée de crue a lieu presque en même temps à Russan et à Remoulins (SOGREAH, 2003).

Les cotes observées lors de la crue dépassent largement les cotes pour lesquels les jaugeages ont été effectués (Gaume *et al.*, 2003). Les valeurs de débits annoncées correspondent donc a priori plus à des extrapolations. De nombreuses études ont amené des estimations de débits variées dont un résumé sommaire est fourni dans les paragraphes qui suivent.

Estimation des apports des affluents

De nombreuses estimations des hydrogrammes des affluents ont été réalisées à partir des données pluviométriques. Quelques uns de ces modèles hydrologiques sont ici brièvement décrits afin de comparer leurs résultats et sélectionner les jeux de données pertinents pour la modélisation hydraulique.

Le modèle pluie-débit ALTHAIR, mis au point par le service d’annonce de crues de la DDE 30, repose sur le concept de dépassement de la capacité d’infiltration de surface pour la production de ruissellement (mode de production Hortonien). Le transfert est assuré à l’aide d’une loi géomorphologique qui calcule une vitesse de propagation pour chaque pixel en fonction de sa distance à l’exutoire. Ce modèle est distribué et par conséquent, il prend en compte la variabilité spatiale des précipitations.

Le Cereve a appliqué un modèle physico-conceptuel, utilisant la fonction de production



FIGURE 12 – Le pont de Russan (a) à l'étiage et (b) pendant la crue de 2002 (photos du Conseil Général du Gard).

du Soil Conservation Service (SCS) et une fonction de transfert basée sur le modèle d'onde cinématique (Gaume *et al.*, 2003).

I.S.L. (2005) a utilisé le modèle ECRET basé sur un module pluie-débit de type hydrogramme-unitaire, un module de propagation et de sommation des hydrogrammes de type Muskingum et un module d'écrêtement par laminage dans les retenues artificielles.

Des estimations supplémentaires ont également été réalisées avec le logiciel HEC-HMS (Hydrologic Engineering Centre - Hydrologic Modelling System) développé par les ingénieurs de l'armée américaine (USACE) et avec le modèle CVN. Les débits de pointe estimés pour les principaux affluents avec ces différentes approches sont synthétisés dans le tableau 4.

Tableau 4 – Crue 2002 : comparaison des estimations des débits de pointe des affluents.

Affluents	ALTHAIR	Cereve2003	ECRET	CVN	HMS
Galeizon	-	-	1 054	2 080	989
Grabieux	-	750	669	792	646
Avène	-	-	716	955	583
Droude	2 346	1 500	1 243	1 451	1 211
Braune	1 041	1 750	1 426	1 397	1 354
Bourdic	669	1 000	613	605	549
Alzon	-	1 500	1 309	1 817	1 290
Valliguière	-	-	522	1 156	346
Briancon	-	-	139	201	104

Les débits de pointe estimés sont très variables selon les modèles. Le modèle CVN est sensible au temps d'enregistrement pluviométrique et tend à surestimer les pics de crue (Anquetin *et al.*, 2010). Les modèles ECRET et HMS donnent des valeurs comparables (sauf pour l'Avène et la Valliguière) mais ces deux modèles présentent des similarités. Au vu des valeurs et du jeu de données disponibles, seules les estimations obtenues avec les approches HMS et CVN seront testées dans la modélisation hydraulique des Gardons d'Alès et réunis.

Le Gardon d'Anduze

Pour le Gardon d'Anduze, trois hydrogrammes de crue ont été testés en entrée du modèle : l'hydrogramme obtenu avec le modèle Althair de la DDE, l'hydrogramme obtenu avec le modèle HEC-HMS et enfin l'estimation moyenne du SAC 30 réalisée à partir des courbes de tarage (Fig. 13).

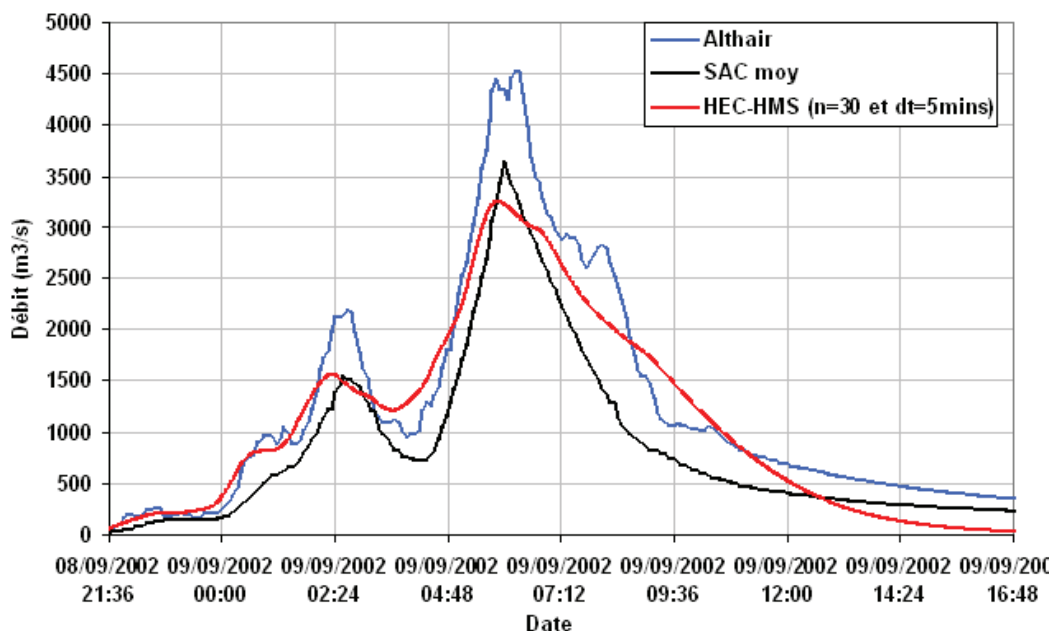


FIGURE 13 – Crue 2002 à Anduze : hydrogrammes de crue estimés avec les approches Althair, SAC et HEC-HMS.

L'hydrogramme obtenu avec le modèle Althair donne un débit de pointe largement supérieur aux deux autres estimations. Le volume de crue obtenu avec le modèle HEC-HMS est le plus important. Les lignes d'eau calculées avec ces trois hydrogrammes sont comparées aux dix laisses de crue disponibles pour cet événement sur la figure 14a. Les erreurs obtenues sont fortes, en particulier sur le secteur d'Anduze où les trois modèles surestiment les hauteurs d'eau. Ces erreurs sont liées à une mauvaise représentation du pont en crue. Les résultats obtenus avec l'hydrogramme HEC-HMS tend à sous estimer les hauteurs d'eau. L'hydrogramme du SAC 30 donne les résultats les plus pertinents avec des erreurs relatives de 16,7% au pont de Lézan et une légère sous estimation sur le secteur de Cardet avec des erreurs relatives $\Delta H/H$ comprises entre -0,6% et -6,7%. L'influence des variations de débit ΔQ sur les hauteurs d'eau ΔH est présentée sur la figure 14b en prenant comme résultats de référence les résultats obtenus avec l'hydrogramme SAC 30 (simulation qui donnait les erreurs les plus faibles).

Les Gardons d'Alès et réunis

En entrée du modèle, l'hydrogramme établi par le SAC30 à Alès a été ajusté en enlevant les apports des deux affluents contribuant au débit des Gardons entre le barrage des Cambous et Alès (le Galeizon et le Grabieux). Les apports des affluents sont basés sur les estimations HMS et CVN décrites ci-dessus. 63 laisses de crue ont été retenues pour le calage de la crue de 2002, en plus des données relevées aux échelles d'Alès, Ners et Remoulins. Certaines laisses de

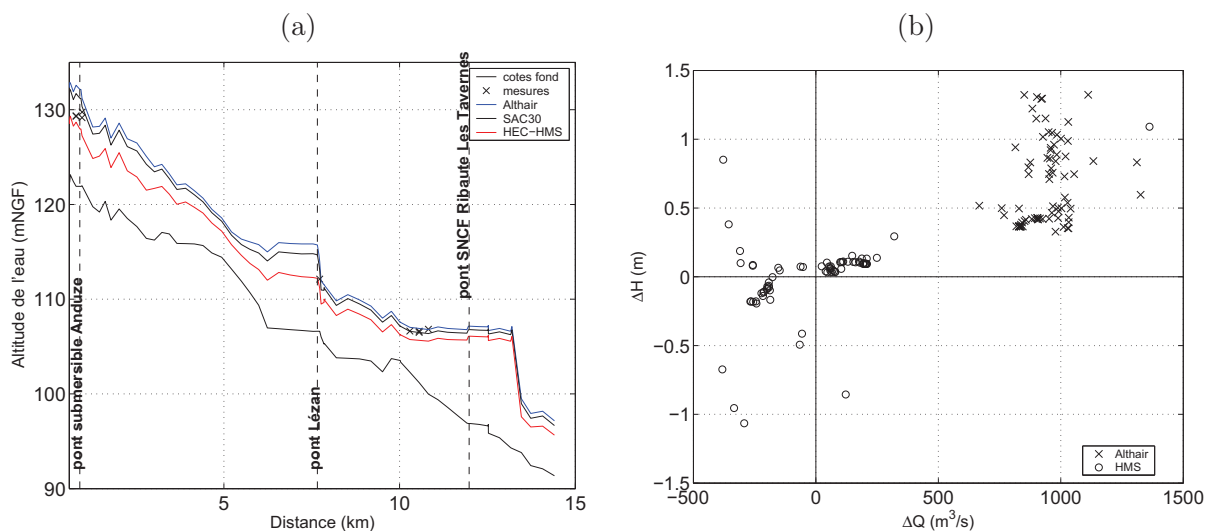


FIGURE 14 – Crue 2002 à Anduze : (a) comparaison des lignes d'eau modélisées et des laisses de crue et (b) impacts des variations de débit sur les hauteurs d'eau.

crues ont été écartées car étant placées dans le bassin versant d'affluents des Gardons (Tab. 17 en Annexe B). Les lignes d'eau calculées sont comparées aux laisses de crue sur la figure 15.

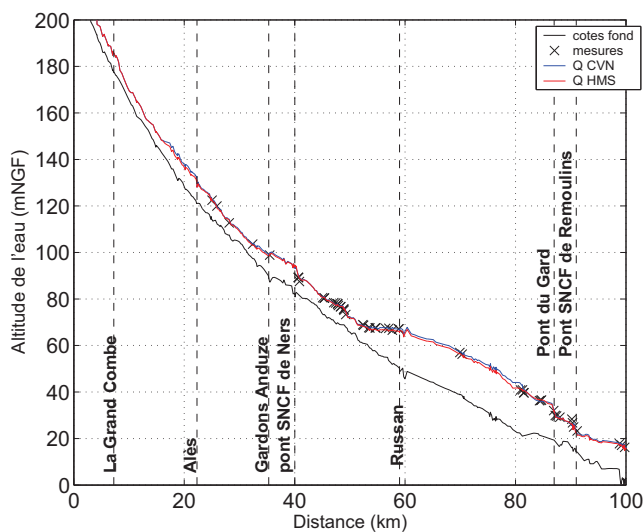


FIGURE 15 – Crue 2002 sur les Gardons d'Alès et réunis : comparaison des lignes d'eau modélisées et des laisses de crue.

Les erreurs relatives $\Delta H/H$ sont comprises entre -15% et +15% avec les erreurs les plus fortes localisées sur le secteur de la Gardonnenque (entre Moussac et Russan) et à l'aval de Remoulins. La Gardonnenque présente une large plaine d'inondation avant le resserrement des Gorges ; ce secteur a donc été modélisé avec le modèle bidimensionnel (cf. paragraphe 2.4). Les résultats obtenus avec les hydrogrammes générés par la méthode HMS sont les plus probants pour cette crue et seront donc utilisés dans le modèle 2D.

2.3 Modèle 1D récent (post 2002)

2.3.1 Modélisation de la crue de 2008

Deux événements successifs se sont produits en octobre et novembre 2008. Les données de débit à pas de temps variables enregistrées aux stations d'Alès et d'Anduze pour l'événement de novembre 2008 ont été utilisées en entrée du modèle hydraulique (Fig. 16). A Alès, le modèle sous estime la hauteur d'eau de 20 cm, à Ners le calcul est très proche de la mesure avec un ΔH de -5 cm. En revanche, à Russan, les résultats du modèle sont supérieurs de 35 cm aux mesures.

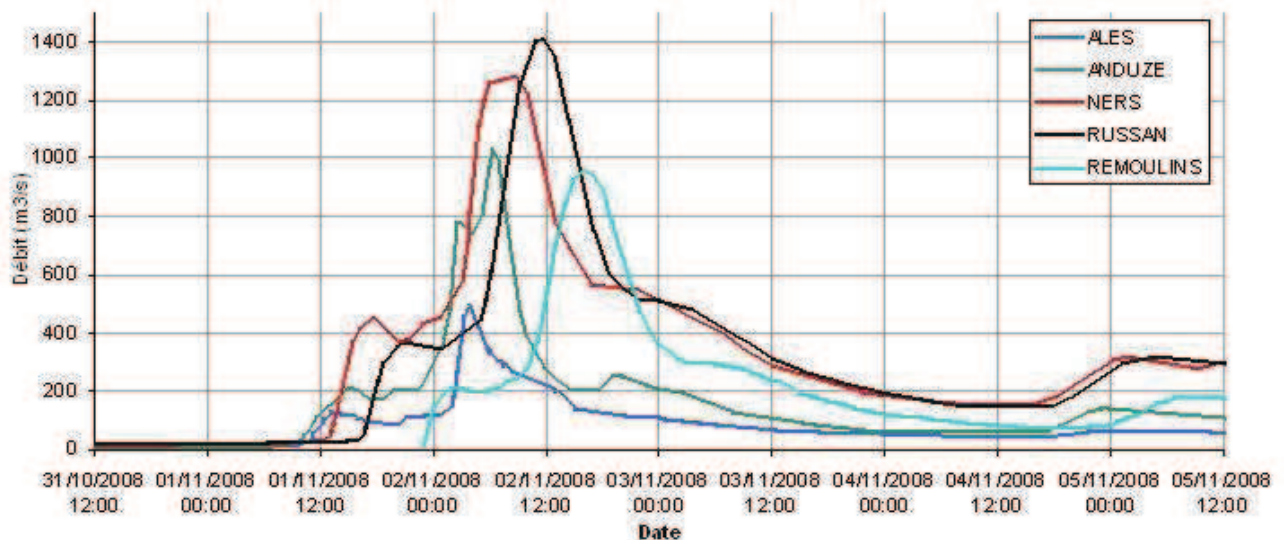


FIGURE 16 – Crue 2008 : hydrogrammes mesurés aux principales stations hydrométriques.

Les hydrogrammes obtenus en sortie du modèle hydraulique sont comparés aux données enregistrées aux stations hydrométriques d'Alès, Ners, Russan et Remoulins sur la figure 17.

Le modèle hydraulique reproduit correctement la dynamique de la crue. Un léger décalage temporel est observé sur le pic de crue calculé à Alès (+ 1h par rapport aux mesures). A la station de Ners, le temps de propagation de la pointe de crue est respecté mais elle est surestimée par le modèle de $100 \text{ m}^3/\text{s}$. A Russan, la propagation de la crue est cohérente avec les mesures mais le pic de crue est sous estimé d'environ $200 \text{ m}^3/\text{s}$. Enfin, à Remoulins le modèle surestime le débit et le pic modélisé se produit plus tôt. Les deux derniers hydrogrammes modélisés semblent refléter une mauvaise estimation des apports des affluents.

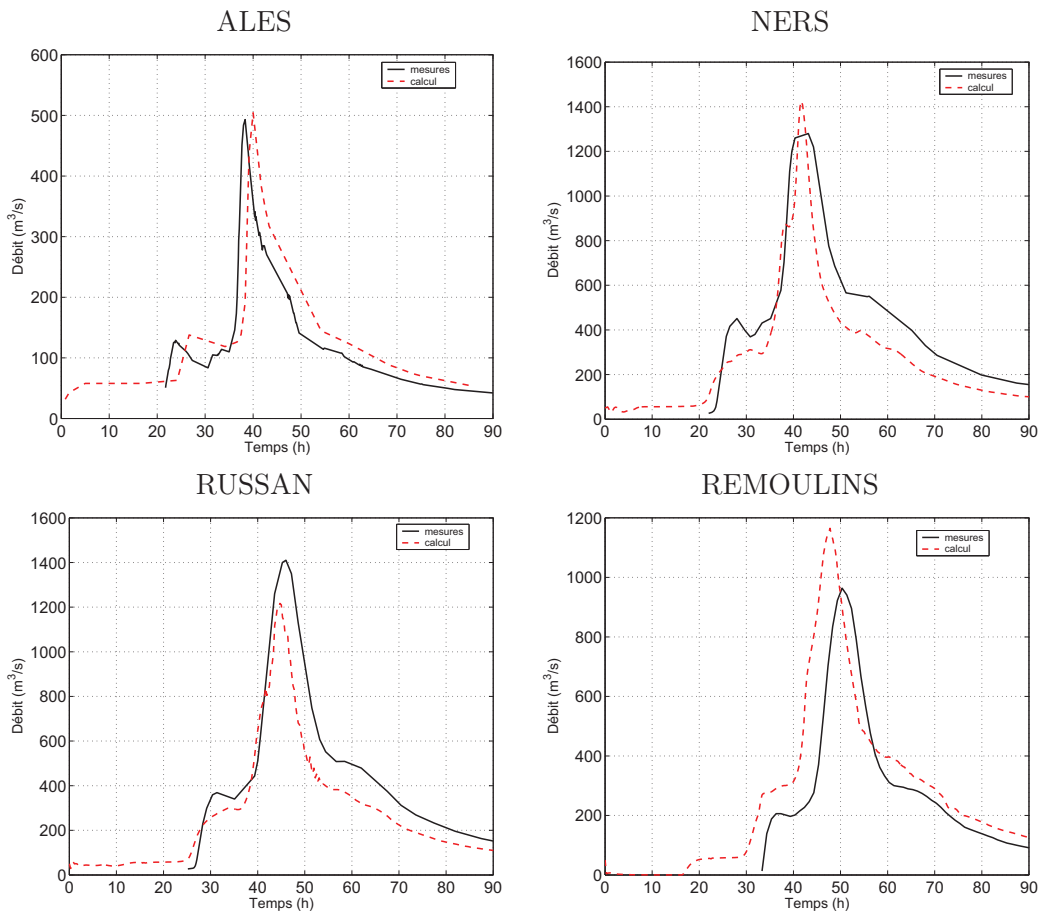


FIGURE 17 – Crue de 2008 sur les Gardons d’Alès et réunis : comparaison des hydrogrammes calculés avec le modèle hydraulique et des mesures aux stations d’Alès, Ners, Russan et Remoulins.

2.3.2 Modélisation avec des hydrogrammes de projet

Détermination des hydrogrammes de projet

La méthode Shyreg, développée par le Cemagref d’Aix en Provence (Arnaud et Fine, 2006), permet d’estimer des quantiles de crues à partir des données pluviométriques. Elle constitue la régionalisation de la méthodologie SHYPRE (Simulation d’Hydrogrammes pour la PRÉdétermination des crues). SHYREG s’appuie sur une transposition simple de la pluie horaire en débit associé à un générateur stochastique de pluie horaire, permettant de valoriser l’information donnée par les pluviographes. A partir de ces quantiles, des hydrogrammes de projet, caractérisés par un débit de pointe et un débit moyen en 24h et de même période de retour, ont pu être générés. Pour chaque station hydrométrique et chaque affluent, 13 formes différentes d’hydrogrammes ont ainsi été obtenus avec la méthodologie Shyreg. Chaque hydrogramme est caractérisé par une pluie moyenne sur 1h et sur 24h ($PM1$ et $PM24$), par un débit de pointe (Q_p) et par une lame d’eau ($LM24$). Une illustration des différentes formes d’hydrogrammes obtenues à Anduze pour un débit de période de retour de 100 ans est présentée sur la figure 18a. Afin d’estimer l’influence de la forme de l’hydrogramme sur les résultats de la modélisation hydraulique et de limiter le nombre de simulations numériques, des hydrogrammes définis par les approches Shyreg et Ecret ISL ont été testés sur le Gardon

d'Anduze et les Gardons d'Alès et réunis.

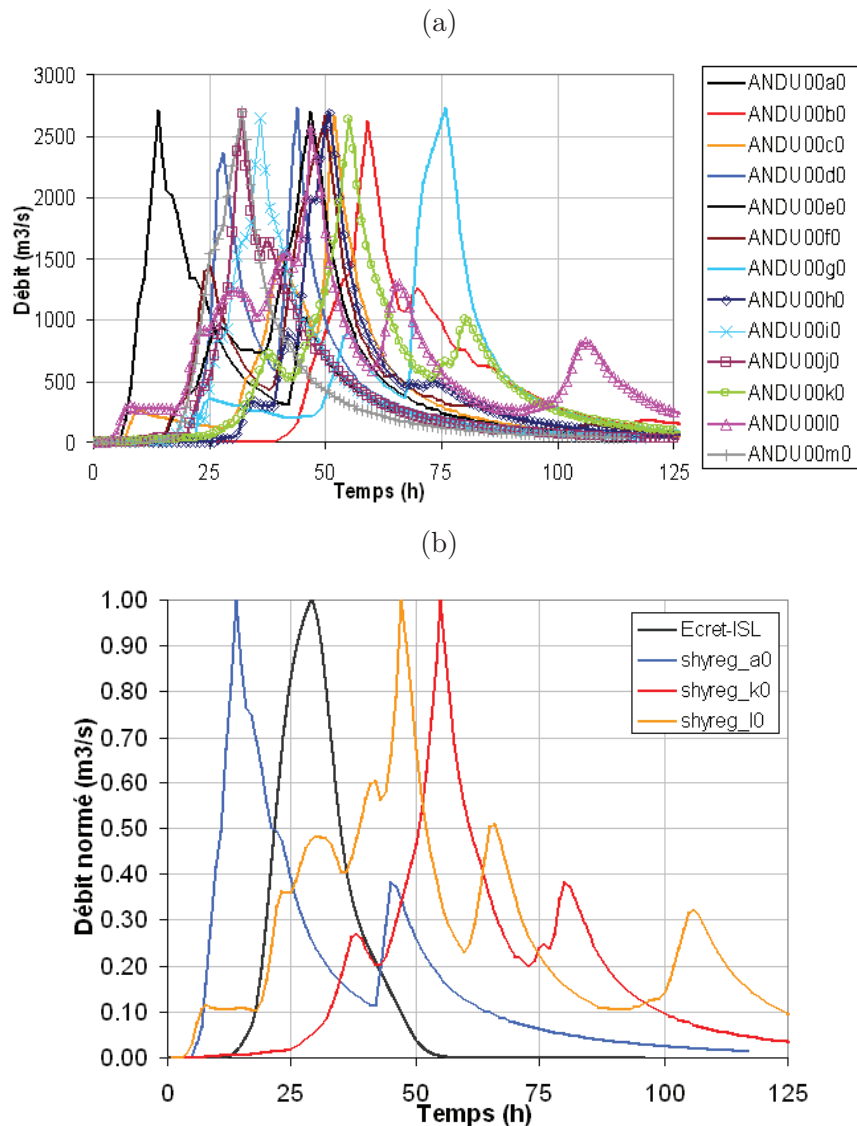


FIGURE 18 – Anduze : (a) hydrogrammes Shyreg de période de retour 100 ans (chaque hydrogramme est caractérisé par $PM1$, $PM24$, Q_p et $LM24$) et (b) hydrogrammes normés retenus pour la modélisation hydraulique.

Influence de la forme de l'hydrogramme : test sur le Gardon d'Anduze

Trois hydrogrammes Shyreg et un hydrogramme centennal obtenu avec la méthode Ecret d'ISL ont été sélectionnés et introduits dans le modèle hydraulique unidimensionnel couvrant le Gardon d'Anduze (Fig. 18b). Les hydrogrammes ont été définis par une simple homothétie des hydrogrammes normés et un débit de pointe Q_p de $2600 \text{ m}^3/\text{s}$ (Fig. 18b). La valeur de ce débit de pointe correspond à la moyenne des Q_p défini avec l'approche Shyreg pour $T = 100$ ans. Les résultats obtenus sur les hauteurs d'eau maximales et sur les débits maximums sont également comparés aux résultats obtenus en injectant un débit constant de $2600 \text{ m}^3/\text{s}$ en entrée du modèle (Fig. 19).

L'hydrogramme défini avec l'approche Ecret d'ISL donne des résultats très proches des résultats obtenus avec un régime permanent, avec une variation maximale de la hauteur d'eau de 5,8 cm. Les hydrogrammes obtenus avec l'approche Shyreg présentent des volumes de crue supérieurs à l'hydrogramme ISL pour Anduze ; les variations maximales de hauteurs d'eau atteignent 27 cm avec l'approche Shyreg-a0, 24 cm avec l'approche Shyreg-10 et 19 cm avec l'approche Shyreg-k0 par rapport aux hauteurs d'eau calculées en régime permanent. En terme de débits, les hydrogrammes Shyreg donnent des variations atteignant 300 m³/s sur l'aval du secteur par rapport au débit permanent. Les surfaces inondées obtenues avec ces différentes simulations ont également été cartographiées et les variations maximales de surfaces ΔS_{hydrau} sont de 4% pour les résultats ISL-Ecret et atteignent jusqu'à 15% avec l'hydrogramme Shyreg-a0 (par rapport aux surfaces inondées obtenues avec le calcul en débit constant).

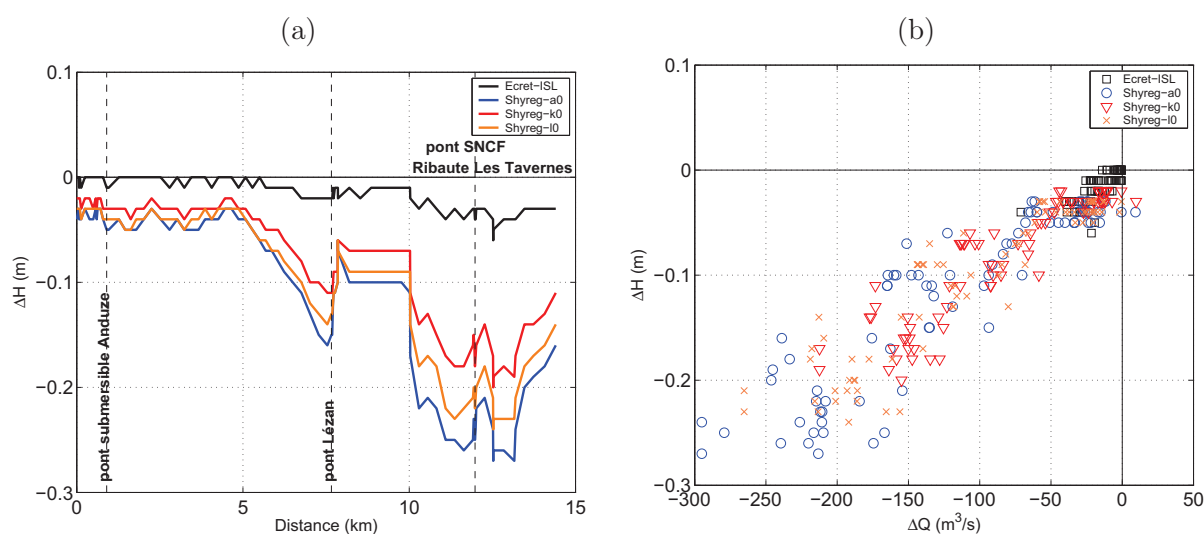


FIGURE 19 – Anduze : influence de la forme de l'hydrogramme sur (a) les hauteurs d'eau maximales et (b) les débits et les hauteurs d'eau.

En l'absence d'apports latéraux majeurs, la forme de l'hydrogramme permet de prendre en compte les phénomènes de laminage observables sur le bassin versant. Des hydrogrammes présentant un même pic de crue et un volume de crue comparables donnent des résultats très proches. Les tests réalisés sur les Gardons d'Alès et réunis dans le paragraphe suivant permettent de vérifier cette hypothèse sur un bassin dont le régime est fortement influencé par les affluents.

Influence de la forme de l'hydrogramme : test sur les Gardons d'Alès et réunis

Sur les Gardons d'Alès et réunis, les hydrogrammes de période de retour de 100 ans, définis par l'approche Shyreg (forme a0) et la méthode Ecret ISL ont été introduits en entrée du modèle. Les débits de pointe estimés avec ces deux méthodes étant parfois très différents (cf tab. 21 en Annexe B), les hydrogrammes ont été normés et une simple homothétie basée sur les estimations du débit de pointe de l'approche Shyreg a permis de définir les hydrogrammes en entrée du modèle. Ces deux formes d'hydrogrammes ne présentent pas toujours le même volume de crue ; ainsi, les hydrogrammes Shyreg de l'Avène, et de l'Alzon ont un volume de crue supérieur de 30% au volume de crue de l'hydrogramme ISL. Afin de tester l'influence de la forme de l'hydrogramme en respectant le volume de la crue, un hydrogramme en « créneau »,

respectant le débit de pointe au pic de la crue et le volume de l'hydrogramme ISL a été généré. Enfin, une simulation avec un débit constant (noté Q_{palier} par la suite) a également été utilisé en entrée du modèle. Afin de tester l'influence de la forme des hydrogrammes et non la concomitance des crues, les apports des affluents ont été déterminés en se basant sur le décalage temporel défini dans l'approche ISL. Les hydrogrammes testés en entrée du modèle hydraulique (Gardons et affluents) sont présentés sur la figure 20.

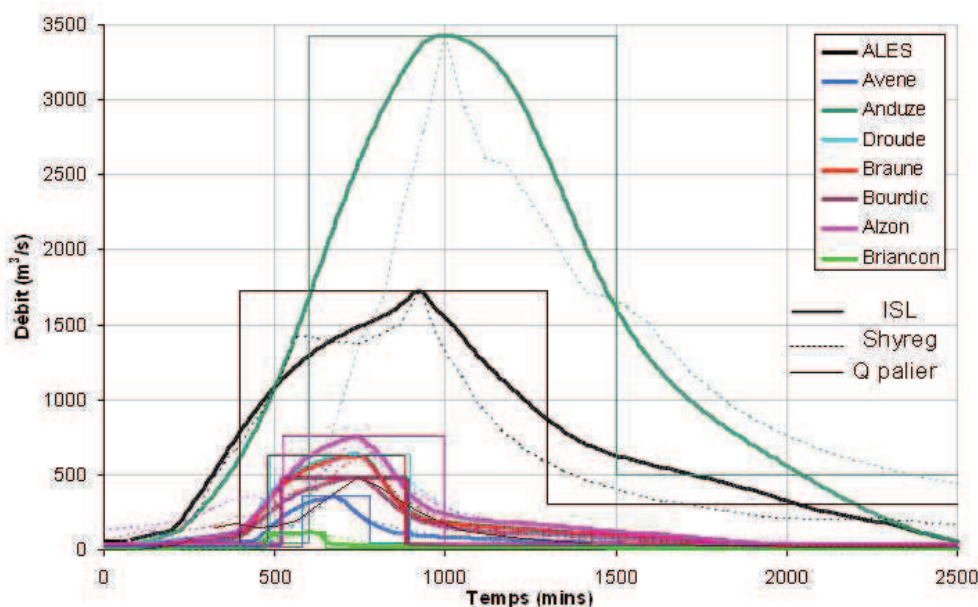


FIGURE 20 – Les Gardons d'Alès et réunis : Hydrogrammes de période de retour 100 ans définis en entrée du modèle hydraulique (hydrogrammes ISL, Shyreg et en « créneau » avec conservation du volume de l'hydrogramme ISL).

Les hydrogrammes et limnigrammes calculés à Ners, Russan et Remoulins avec les différentes simulations sont illustrés sur les figures 21a et 21b. Les résultats obtenus avec le débit constant en palier sont très différents des résultats obtenus avec les hydrogrammes respectant une montée et une descente de crue ; ainsi, à Russan, la différence entre les hauteurs d'eau au pic de la crue atteint 4 m. En revanche, les hydrogrammes ISL et en « créneau » donnent des résultats relativement similaires. En prenant comme référence les débits et hauteurs d'eau maximums obtenus avec les hydrogrammes en palier, les variations ΔQ et ΔH sont récapitulées sur la figure 22. A l'amont, lorsque les apports d'affluents sont faibles, les résultats sont très proches ($\Delta H < 0,5$ m et $\Delta Q < 500$ m³/s) ; en revanche, à l'aval, les résultats diffèrent fortement. Il en est de même pour les surfaces inondées ; la cartographie des résultats de ces simulations révèle des différences de surfaces inondées atteignant les 50%.

Ces tests soulignent la difficulté à dériver une méthodologie permettant de définir des périodes de retour associées aux débits remplissant les différents lits géomorphologiques (cf. paragraphe 3). A la vue des résultats obtenus, il semble pertinent de modéliser une forme d'hydrogramme classique (avec montée et descente de crue) et le cas le plus défavorable (débit constant en palier).

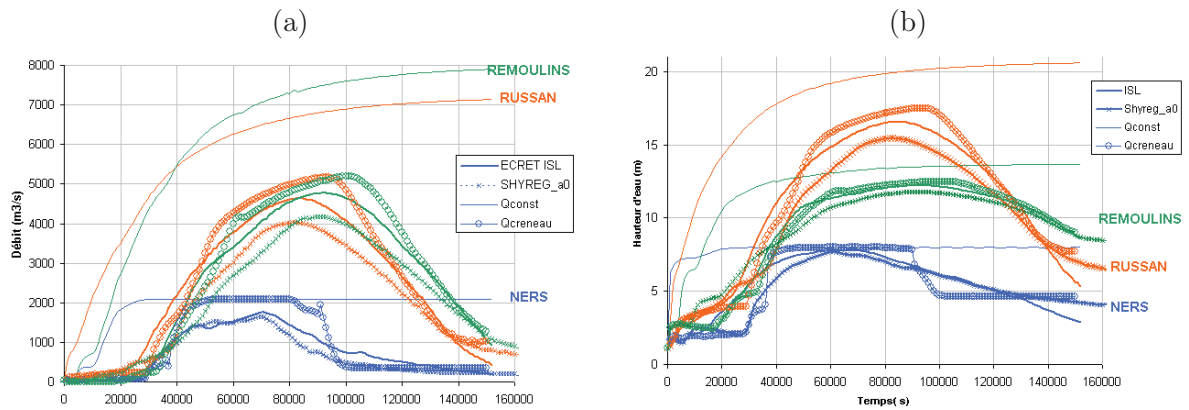


FIGURE 21 – Les Gardons d’Alès et réunis : influence de la forme de l’hydrogramme sur (a) les débits et (b) les hauteurs d’eau à Ners, Russan et Remoulins.

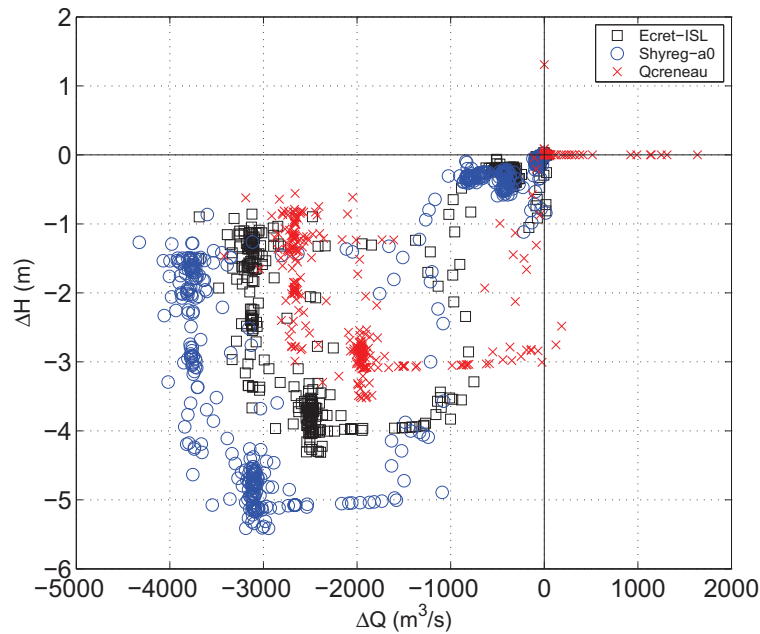


FIGURE 22 – Les Gardons d’Alès et réunis : influence de la forme de l’hydrogramme sur les débits et les hauteurs d’eau.

2.4 Modélisation bidimensionnelle

Le modèle 2D de la Gardonnenque s’étend de Moussac (PK 44,3) à Russan (PK 58,9). Sur ce secteur, on observe un resserrement du lit majeur au droit de Moussac et la confluence avec la Droude qui, lors de crues, sont à l’origine de vitesses d’écoulement très importantes. Le lit majeur s’élargit ensuite permettant un étalement de la crue. A l’aval de la plaine, l’entrée des Gorges provoque un effet verrou avec une surélévation de la ligne d’eau du Gardon, accentuée par les apports conjoints du Bourdic et de la Braune. La capacité de stockage de cette zone naturelle d’expansion de crue est estimée dans une fourchette de 50 à 150 millions de m³ (PPRI du Gardon amont).

La construction du maillages du modèles bidimensionnel nécessite d’adapter la géométrie

afin d'obtenir une description du cours d'eau pertinente. Les profils en travers sont ainsi espacés de 100 m longitudinalement avec un pas d'espace transversal de 5 m dans le lit mineur et 15 m dans le lit majeur. Les coefficients de rugosité nécessitent également d'être validés ; en effet, dans un modèle bidimensionnel, la topographie est mieux représentée, en particulier les petites variations géométriques qui sont prises en compte dans le coefficient de rugosité en 1D. Dans un premier temps, les coefficients de rugosité du modèle 1D ont été repris (noté « K1D » par la suite), puis un pourcentage a été appliqué sur l'ensemble des valeurs des coefficients de rugosité.

La géométrie du modèle est basée sur la topographie du lit mineur du modèle 1D 1958-2002, et complétée avec les données topographiques du lit majeur levées après la crue de 2002. La simulation de la crue de 2002 permet de comparer les résultats avec ceux obtenus avec le modèle unidimensionnel et d'adapter le calage du coefficient de rugosité aux spécificités de la modélisation bidimensionnelle. Plusieurs tests ont été menés pour quantifier l'influence du coefficient de rugosité sur les hauteurs d'eau. Dans un premier temps, les coefficients de rugosité du modèle 1D ont été utilisés (simulation notée 2D-K1D dans la suite du paragraphe), avant d'appliquer un ajustement de $\pm 15\%$ (simulations notées 2D-K1D+15% et 2D-K1D-15%). Afin de pouvoir comparer les résultats 1D et 2D, l'hydrogramme obtenu avec le modèle 1D à Moussac est introduit en entrée du modèle 2D et les apports des affluents dérivés avec l'approche *HMS* sont utilisés. Les lignes d'eau obtenues sont comparées aux résultats du modèle 1D et aux laisses de crue sur la figure 23.

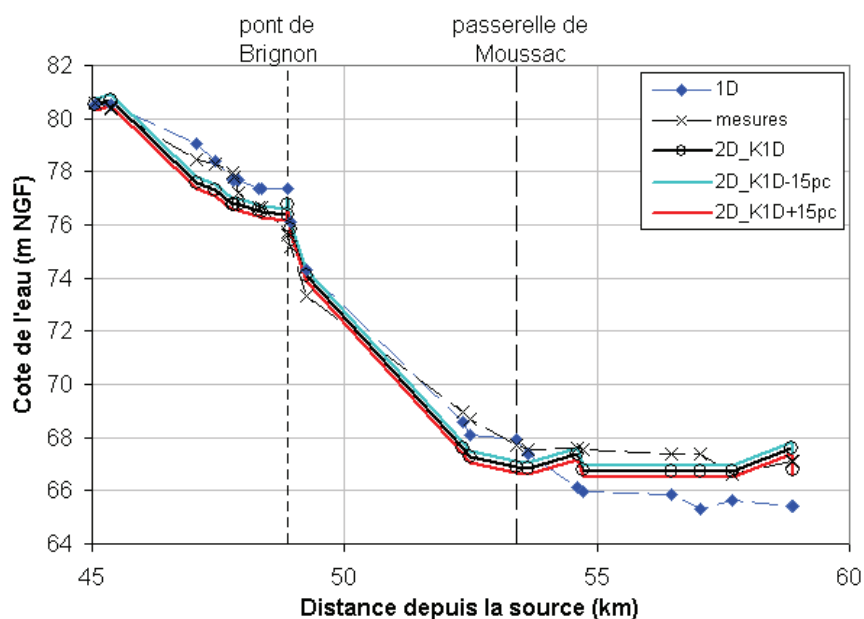


FIGURE 23 – Crue 2002 : comparaison des lignes d'eau obtenues avec le modèle 1D et les modèles 2D avec différentes valeurs du coefficient de rugosité.

Les résultats obtenus avec le modèle bidimensionnel et les différentes options de calcul permettent d'améliorer les résultats sur le secteur aval, en particulier à l'aval de Moussac. Sur le reste du linéaire, le modèle 1D donnait des résultats plus proches des laisses de crue disponibles. Le modèle bidimensionnel avec les coefficients de rugosité du modèle 1D diminué de 15% (2D-K1D-15pc) donne les résultats les plus probants malgré de forts écarts entre le calcul et les mesures. Afin de compléter la comparaison des différentes approches de modélisation,

les zones inondées obtenues avec les modèles bidimensionnels ont été comparées à l'enveloppe de la crue de 2002 fournie par le CETE Méditerranée. Les zones inondées obtenues avec les modèles sont relativement proches de l'enveloppe de la crue sauf en rive droite au niveau de St-Geniès-de-Malgoires. Les apports des petits affluents que sont l'Esquielle, la Rouvégade et l'Auriol semblent être nécessaires pour reproduire correctement l'emprise de la crue de 2002. Ces affluents confluent avec le Gardon au niveau de Dions. L'Esquielle peut se décharger en deux points : vers l'Auriol en amont de la D424 par l'intermédiaire d'un fossé de décharge en rive gauche ou vers la Braune, en amont de la D114, par l'intermédiaire d'un fossé de décharge en rive droite en partie obstruée par des embâcles. Pour l'Auriol et l'Esquielle le débit de 2002 correspondrait à un débit centennal (d'après le PPRI des Gardons amont). Une simulation avec ces apports a été faite et améliore légèrement les résultats sans toutefois permettre de remplir complètement l'enveloppe de la crue de 2002 au niveau de St-Geniès-de-Malgoires en rive droite.

Enfin, les maximums des hauteurs d'eau obtenus avec les différents modèles sont comparés pour visualiser l'influence du coefficient de rugosité. Les résultats de cette comparaison prenant comme référence les hauteurs d'eau de la simulation avec les coefficients de rugosité du modèle 1D sont présentées sur la figure 24. Les variations du coefficients de rugosité de $\pm 15\%$ entraînent des changements de hauteurs d'eau compris entre ± 20 cm en moyenne.

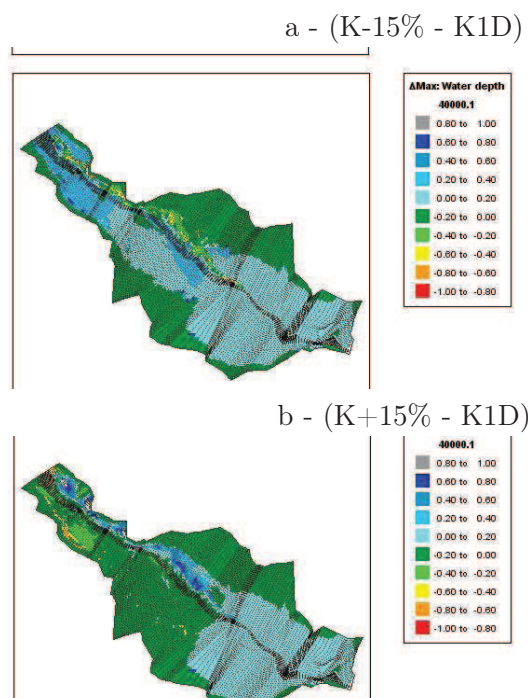


FIGURE 24 – Crue de 2002 : comparaison des maximums des hauteurs d'eau : a [(K1D-15%) - K1D] et b [(K1D+15%) - K1D].

3 Comparaison entre la cartographie hydrogéomorphologique et les résultats des modèles

3.1 Caractéristiques de la cartographie hydrogéomorphologique

La méthode hydrogéomorphologique est préconisée par le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (MEDD) à l'échelle nationale afin d'élaborer des atlas des zones inondables sur tous les cours d'eau de manière globale et homogène. Les bases de la méthodes sont détaillées par Masson *et al.* (1996) et reposent sur l'analyse de :

- l'organisation physique de la vallée,
- les informations relatives aux crues historiques,
- l'occupation des sols,
- les aménagements anthropiques susceptibles de modifier le fonctionnement hydraulique du cours d'eau.

Cette méthodologie est basée sur une interprétation stéréoscopique de photographies aériennes, une reconnaissance de terrain (nature des sols, végétation) et une enquête sur les crues historiques (Delgado, 2006). C'est une analyse de la formation et du fonctionnement des plaines alluviales qui permet de délimiter les limites physiques naturelles du champ d'expansion des crues (DREAL Languedoc Roussillon, 2003). La cartographie identifie différentes enveloppes avec les définitions suivantes (Fig. 25) :

- le lit mineur : espace inondé en totalité par une crue fréquente annuelle ou biannuelle,
- le lit moyen : espace inondé en cas de crue moyenne, de fréquence généralement inférieure à 10 ans,
- le lit majeur : espace inondé par les crues les plus rares ou exceptionnelles,
- la limite de la plaine alluviale : enveloppe maximale des crues (au sens géomorphologique, c'est à dire liée à la présence de talus).

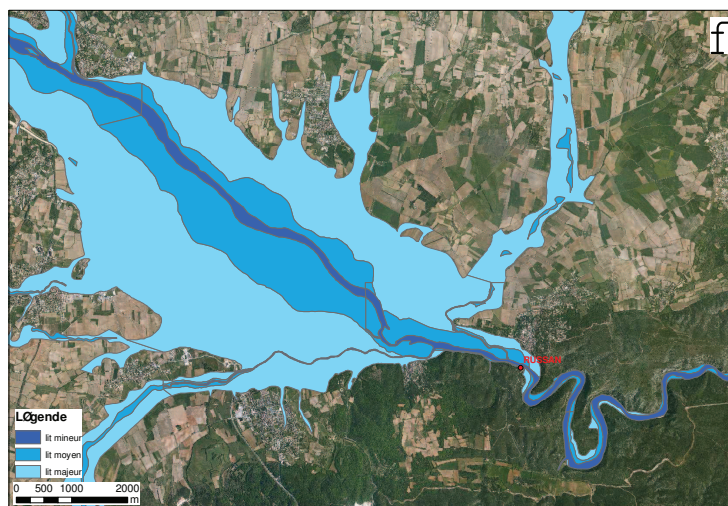


FIGURE 25 – Exemple de cartographie des différents lits avec l'approche géomorphologique à l'amont de Russan

Le lit majeur et la limite de la plaine alluviale sont confondues sur la majorité du site étudié sauf en amont de Boucoiran où une légère différence est visible. Dans la suite du rapport le lit majeur et la limite de la plaine alluviale seront confondues. Les limites du lit majeur

fournies par la cartographie hydrogéomorphologique et les limites de la crue de 2002 résultant des missions de terrain sont communes ou très proches. La crue de 2002 semble dépasser les limites géomorphologiques dans la plaine du Lézan, à l’aval de la Gardonnenque (Russan et Dions) où l’effet verrou provoqué par l’engorgement du Gardon a entraîné une élévation importante de la ligne d’eau ainsi qu’au niveau de Remoulins et de Montfrin où le remblai de la ligne SNCF semble avoir provoqué une surcote au droit de Remoulins.

Il faut noter que les données relatives aux zones inondables ont été cartographiées puis numérisées à l’échelle 1/25 000, la précision des contours est de l’ordre de 25 m (1 mm sur la carte).

3.2 Méthodologie adoptée pour la comparaison

La comparaison entre la cartographie et les résultats de la modélisation hydraulique doit permettre d’associer un débit au remplissage des différents lits géomorphologiques. Un intervalle de périodes de retour peut ensuite être attribué à chacun de ces débits. Les hauteurs d’eau maximales calculées avec le modèle hydraulique 1D sont cartographiées avec le logiciel ArcGIS et comparées aux limites des différents lits. Sur le secteur de la Gardonnenque où les écoulements en crue sont complexes, un modèle 2D a été réalisé et permet de comparer les zones inondables obtenues en 1D et 2D. La description détaillée de la méthodologie utilisée pour la cartographie est fournie en Annexe C. La cartographie des résultats du modèle hydraulique a été réalisée à l’échelle du tronçon géomorphologiquement homogène. Les limites des tronçons correspondent à des ruptures de pentes ou à la présence d’ouvrages, de confluence ou d’îles influençant l’écoulement. Neuf tronçons permettent de caractériser le Gardon d’Anduze et 30 tronçons ont ainsi été définis sur les Gardons d’Alès et des Gardons réunis. Les limites des différents tronçons sont détaillées dans le tableau 5 et la figure 26 pour le Gardon d’Anduze et le tableau 6 et les figures 27 et 28 pour les Gardons d’Alès et réunis.

Le découpage en tronçons prenant en compte la présence des affluents, et en considérant les remarques faites au paragraphe 2.3.2 sur l’influence de la forme de l’hydrogramme sur la cartographie des zones inondées, il semble raisonnable de modéliser une gamme de débits de pointe compris entre 700 m³/s et 10 000 m³/s en se basant sur une seule forme d’hydrogramme synthétique (shyreg).

Tableau 5 – Tronçons définis sur le Gardon d’Anduze.

No.	Limite amont	Limite aval	PK amont	PK aval
01A	pont voie ferrée Anduze	pont submersible	0	0,72
02A	pont submersible	camping le Maliver	0,72	2,52
03A	camping le Maliver	seuil la Tour de Barre	2,52	4,66
04A	seuil la Tour de Barre	seuil	4,66	5,50
05A	seuil	pont D24 + seuil	5,50	7,70
06A	pont D24 + seuil	seuil Cardet	7,70	10,03
07A	seuil Cardet	pont SNCF Les Tavernes	10,03	12,00
08A	pont SNCF Les Tavernes	pont N110	12,00	13,20
09A	pont N110	confluence	13,20	14,41

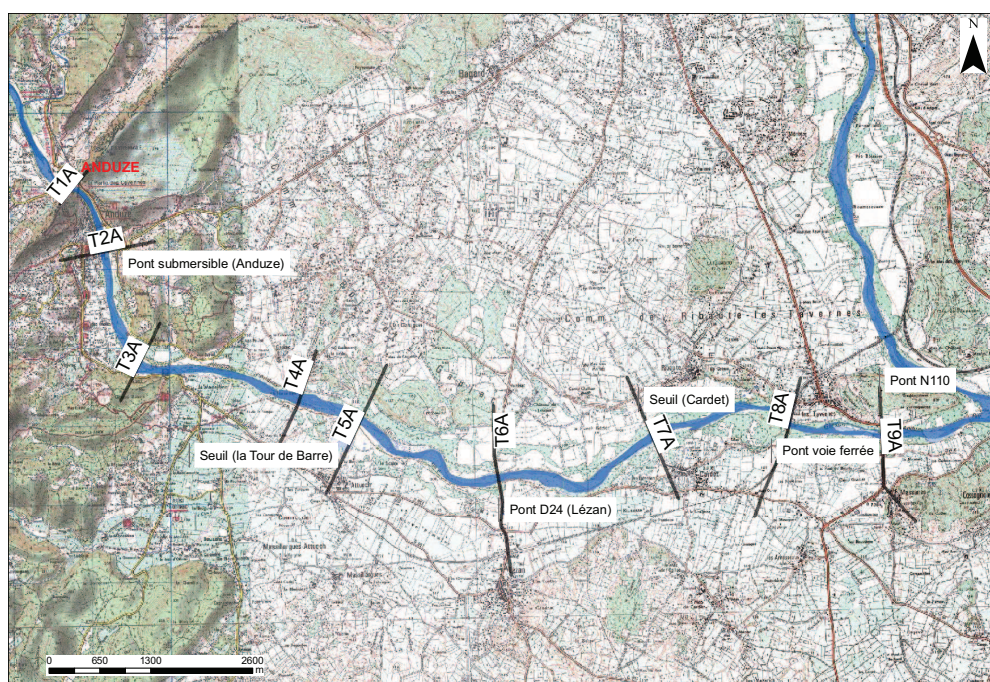


FIGURE 26 – Le Gardon d'Anduze : cartographie des différents tronçons définis.

Tableau 6 – Tronçons définis sur le Gardon d'Alès et les Gardons réunis.

No.	Limite amont	Limite aval	PK amont	PK aval
01	aval barrage de Cambous	pont Les Taillades	2,2	4,20
02	pont Les Taillades	passerelle La Grand Combe	4,20	6,30
03	passerelle La Grand Combe	pont La Rouvière	6,30	11,40
04	pont La Rouvière	aval seuil de la Tour	11,40	14,80
05	aval seuil de la Tour	confluence Galeizon (Cendras)	14,80	17,10
06	confluence Galeizon (Cendras)	confluence Grabieux (Alès)	17,10	20,00
07	confluence Grabieux (Alès)	pont rocade (Alès)	20,00	24,80
08	pont rocade (Alès)	confluence Avène (St Hilaire de B.)	24,80	29,00
09	confluence Avène	pont voie ferrée (Les Tavernes)	29,00	33,10
10	pont voie ferrée	confluence Gardon d'Anduze	33,10	35,50

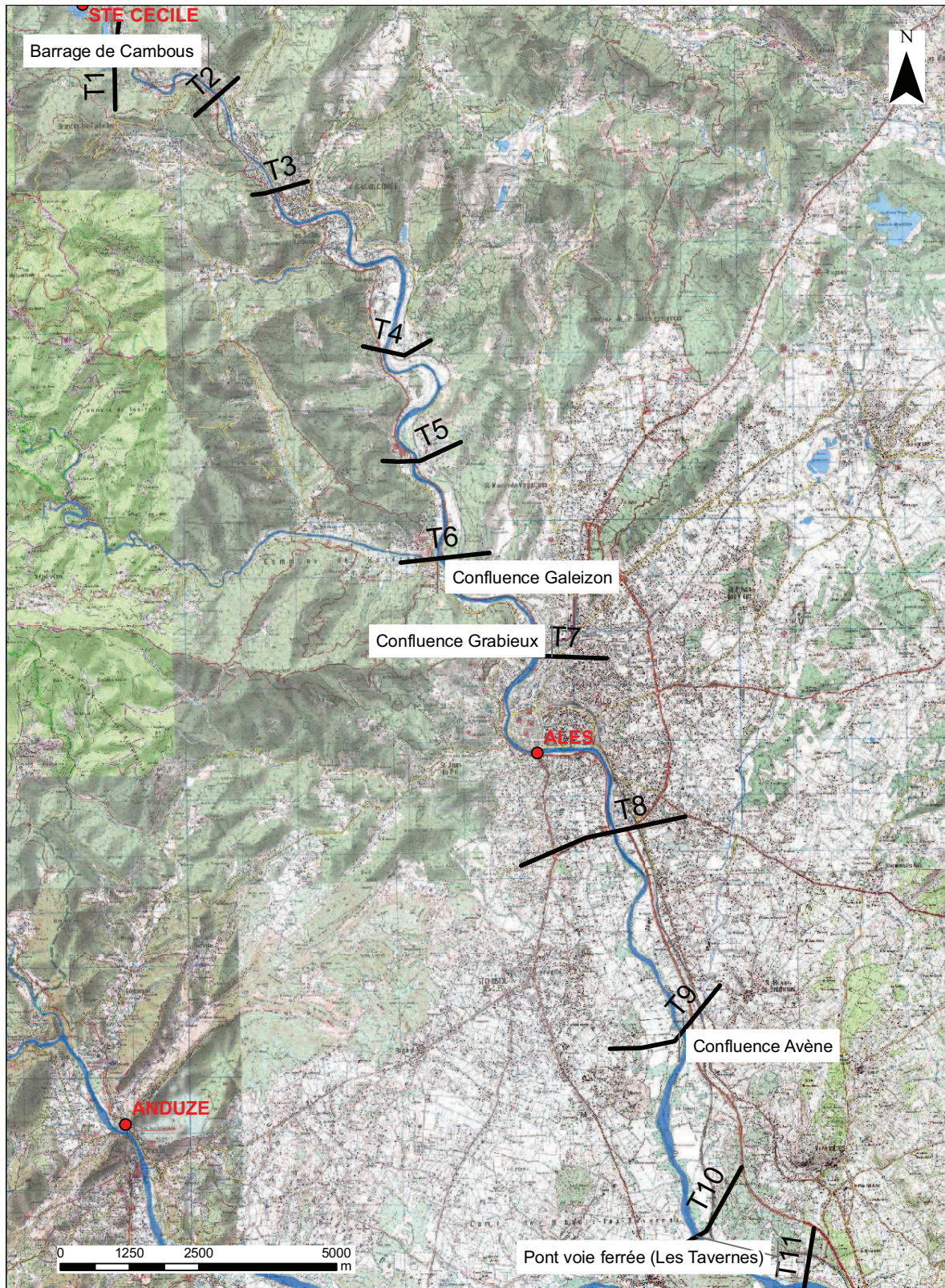


FIGURE 27 – Les Gardons d’Alès et réunis : cartographie des différents tronçons (01 à 10).

No.	Limite amont	Limite aval	PK amont	PK aval
11	confluence Gardon d'An-duze	seuil La Garenne	35,50	38,05
12	seuil La Garenne	pont SNCF de Ners	38,05	40,15
13	pont SNCF de Ners	confluence Droude	40,15	48,00
14	confluence Droude	pont (St Chaptès)	48,00	53,60
15	pont (St Chaptès)	pont (Dions) et Braune	53,60	57,60
16	pont (Dions)	pont (Russan)et Bourdic	57,60	58,90
17	pont (Russan)	Gour du Colombier	58,90	68,70
18	Gour du Colombier	Pont St Nicolas	68,70	69,80
19	Pont St Nicolas	aval méandre	69,80	72,00
20	aval méandre	Moulin de la Baume	72,00	76,40
21	Moulin de la Baume	pont Collias et Alzon	76,40	81,30
22	pont Collias	« la barque Vieille »	81,30	83,60
23	« la barque Vieille »	aval méandre	83,60	85,10
24	aval méandre	pont du Gard	85,10	87,00
25	pont du Gard	pont Remoulins	87,00	90,40
26	pont Remoulins	pont autoroute	90,40	93,40
27	pont autoroute	pont Montfrin	93,40	99,70
28	pont Montfrin	pont SNCF	99,70	100,90
29	pont SNCF	Comps (Briançon)	100,90	103,20
30	Comps	confluence Rhône	103,20	104,60

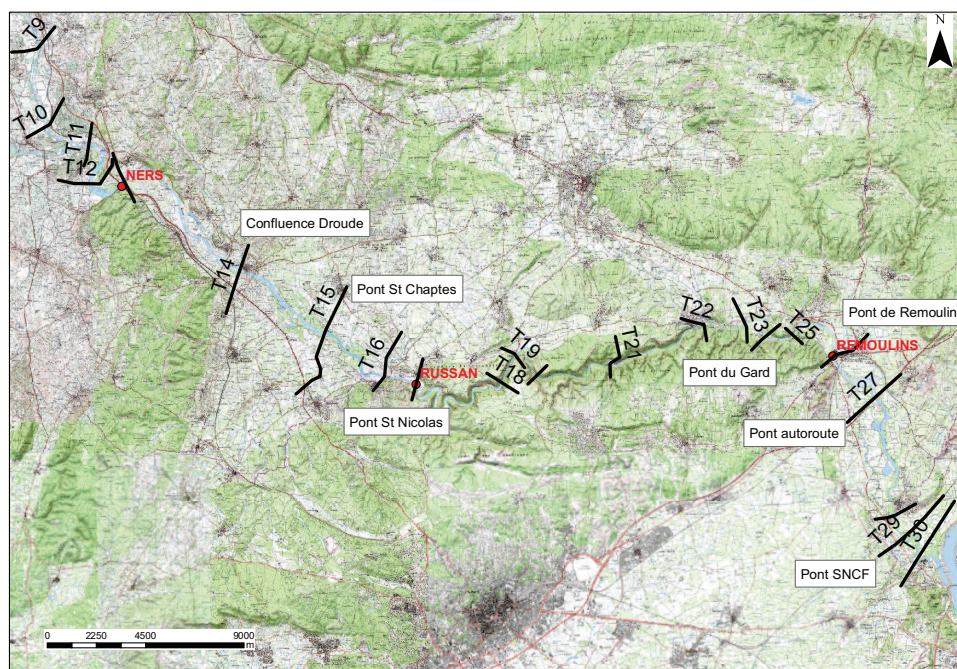


FIGURE 28 – Les Gardons d'Alès et réunis : cartographie des différents tronçons (11 à 30).

3.2.1 Estimation des apports des affluents

Une des difficultés de la cartographie des zones inondables pour différentes gammes de débits et donc différentes périodes de retour est l'estimation des apports des affluents. En effet, un débit centennal à l'amont ne coïncidera pas nécessairement à des événements de même période de retour sur l'ensemble des affluents (sauf scénario catastrophe). Les débits à pas de temps variables *QTVAR* disponibles aux stations d'Alès, Anduze, et Ners entre 2007 et 2011 sont représentés sur la figure 29a afin de visualiser si les crues du Gardon d'Alès sont concomitantes avec les crues du Gardon d'Anduze. Pour la majorité des pics de débits analysés, les crues sont concomitantes à Alès et Anduze. On notera les valeurs suspectes de débit le 07 septembre 2010 avec un débit de 557 m³/s à Ners et de 20 m³/s à Alès ainsi qu'à Anduze. Toutefois, les données de *QTVAR* disponibles ne sont pas suffisantes pour affirmer la concomitance des crues et ne permettent pas d'estimer les apports latéraux intermédiaires tel que l'Avène. La figure 29b compare donc les débits maximums annuels *MAXAN* d'Alès et d'Anduze avec les *MAXAN* disponibles à Ners. Les quantiles déterminés avec l'approche Shyreg et les débits reconstitués à partir des historiques des hauteurs d'eau et des courbes de tarage disponibles sont également représentés. Pour les débits Alès + Anduze inférieurs à 2000 m³/s, l'Avène semble peu contribuer au débit à Ners. Pour des valeurs de débits supérieures à 2000 m³/s, l'apport de l'Avène peut apporter jusqu'à 35% du débit. Cet ordre de grandeur déterminé à partir des données historiques semble toutefois surestimé.

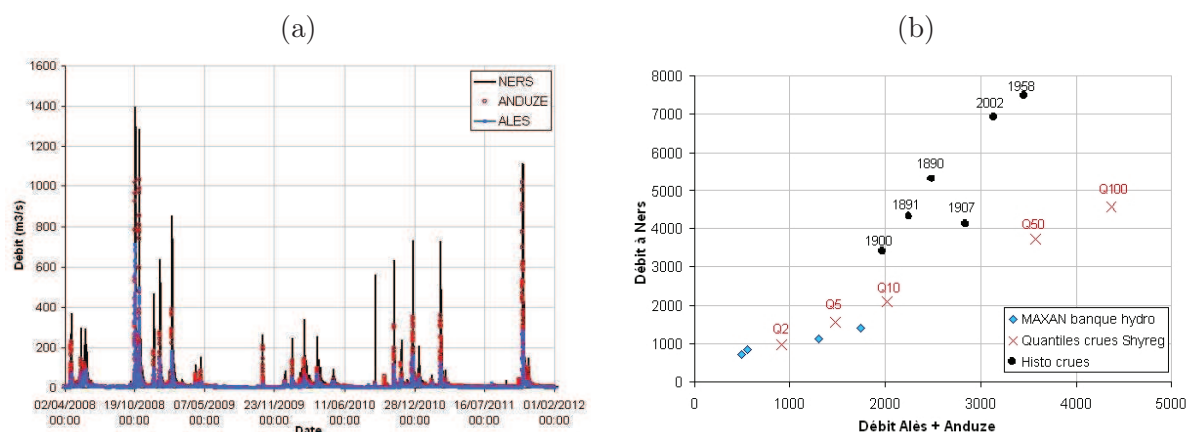


FIGURE 29 – Comparaison des débits à Alès et Anduze (a) *QTVAR* entre 2007 et 2012 et (b) maximum annuels, quantiles de crue Shyreg et débits historiques reconstitués.

De façon similaire, les données de débits disponibles à Ners et à Remoulins sont comparées sur les figures 30a et b.

3.2.2 Détermination des quantiles de crues

Les résultats des analyses statistiques pour les crues rares sont à prendre avec précaution car les chroniques de débits disponibles sur les Gardons sont courtes et les données de crue ne sont pas souvent fiables en raison des difficultés de tarage des stations pour les débits débordants. Les quantiles de crue déterminés avec l'approche Shyreg sont détaillés dans le tableau 7. Pour la station de Remoulins, les estimations réalisées par EGIS Eau (2011) sont également

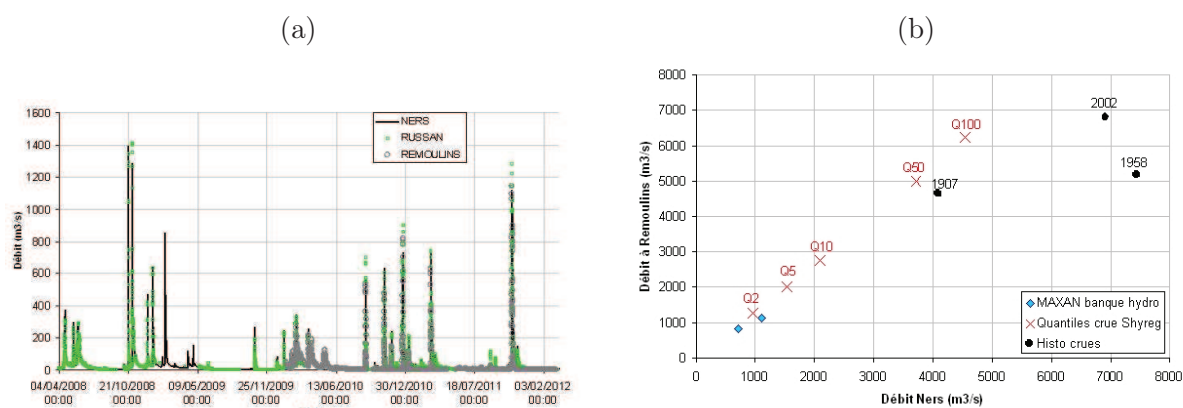


FIGURE 30 – Comparaison des débits à Ners et Remoulins (a) *QTVAR* entre 2008 et 2012 et (b) maximum annuels, quantiles de crue Shyreg et débits historiques reconstitués.

présentées. Les estimations sont très variables suivant les approches adoptées pour la dérivation des quantiles de crues. Une description plus détaillée des comparaisons de différentes analyses (locales, régionales, locales-régionales) pour estimer les quantiles de crue est disponible dans le rapport sur l’Action 7 du projet Extraflo ; une brève discussion est également fournie dans le paragraphe 4.2.3.

Tableau 7 – Estimation des quantiles de crues des principales stations hydrométriques.

Nom station	Crues statistiques (m^3/s)					Source
	Q10	Q50	Q100	Q500	Q1000	
Anduze	1 220	2 160	2 640	3 975	4 670	Shyreg
Alès	795	1 410	1 730	2 600	3 050	Shyreg
Ners	2 100	3 720	4 550 5 550	6 815	7 965	Shyreg (I.S.L., 2005)
Russan	2 505	4 515	5 565	8 420	9 830	Shyreg
Remoulins	1 800 2 740	3 170 5 015	3 745 6 230	5 075 9 530	5 655 11 150	EGR (EGIS Eau, 2011) Shyreg

3.3 Périodes de retour associées aux différents lits

Pour chaque tronçon et chaque lit, un débit permettant de « remplir » le lit géomorphologique est ainsi défini. La valeur du débit sélectionnée tend à minimiser la différence ΔS entre la surface de la couche géomorphologique S_{geom} et la surface inondée obtenue avec le modèle S_{mod} ($\Delta S = S_{geom} - S_{mod}$). On peut ensuite attribuer une période de retour moyenne T_{moy} à ces valeurs de débit obtenues avec le modèle unidimensionnel (et bidimensionnel pour le secteur de la Gardonnenque). Les résultats sont récapitulés dans les tableaux ci-après et correspondent respectivement au lit moyen et au lit majeur pour le Gardon d’Anduze (Tab. 8 et 9) et les Gardons d’Alès et réunis (Tab. 10 et 11). Les périodes de retour moyennes fournies correspondent aux estimations obtenues avec Shyreg. Les intervalles de période de retour T_{min} et T_{max} ainsi que les cartographies obtenues pour les différents lits et les différents tronçons sont détaillés dans le document « Cartographie des zones inondées des Gardons » joint au

présent rapport.

Tableau 8 – Gardon d’Anduze : périodes de retour attribuées au lit moyen pour chaque tronçon (quantiles Shyreg estimés à Anduze).

No.	Débit (m ³ /s)	$\Delta S(\%)$	T_{moy}
01A	995	+ 6,9 %	6,5
02A	985	+ 1,3 %	6,4
03A	690	+ 3,8 %	3,2
04A	1 000	- 7,5 %	6,6
05A	995	- 9,1 %	6,5
06A	975	- 3,9 %	6,25
07A	1 300	- 5,2 %	12
08A	1 300	- 4,3 %	12
09A	975	- 5,9 %	6,25

Tableau 9 – Gardon d’Anduze : périodes de retour attribuées au lit majeur pour chaque tronçon (quantiles Shyreg estimés à Anduze).

No.	Débit (m ³ /s)	$\Delta S(\%)$	T_{moy}
01A	3 500	+ 9,7 %	358
02A	3 460	+ 9,4 %	346
03A	3 430	+ 4,4 %	337
04A	3 500	+ 8,6 %	358
05A	3 500	+ 3,7 %	358
06A	3 400	+ 3,4 %	328
07A	3 500	+ 7,5 %	358
08A	3 800	+ 9,2 %	448
09A ¹	2 520	+ 1,6 %	88

Sur le Gardon d’Anduze, les débits permettant de remplir le lit moyen sont compris entre 980 m³/s et 1 300 m³/s, et correspondent à des périodes de retour moyennes estimées entre 6 et 12 ans. Le tronçon 03 présente un débit de remplissage plus faible que les tronçons adjacents ; cette différence semble être due à une mauvaise représentation à l’aval du tronçon du seuil du Tour de la Barre pour des débits moyens.

Pour remplir le lit majeur défini par l’approche géomorphologique, des débits de 3 400 m³/s sont nécessaires. Le dernier tronçon défini sur le Gardon d’Anduze présente un débit de remplissage plus faible de 2 520 m³/s ; cette valeur représente le débit minimal nécessaire pour remplir la surface de la couche géomorphologique. Les calculs réalisés avec un débit de 3 700 m³/s permettent également de remplir le lit majeur défini par l’approche morphologique. Les débits de remplissage des différents lits sont donc homogènes sur le linéaire du Gardon d’Anduze.

Pour les Gardons d’Alès, les débits nécessaires pour remplir le lit moyen sont compris entre 500 m³/s et 1 000 m³/s jusqu’à la confluence avec le Gardon d’Anduze (soit du tronçon

1. Le débit indiqué correspond à la valeur minimale nécessaire pour remplir le lit.

Tableau 10 – Gardon d’Alès et réunis : périodes de retour attribuées au lit moyen pour chaque tronçon avec les modèles 1D et 2D (quantiles Shyreg estimés à Alès pour les tronçons 01 à 10, à Ners pour les tronçons 11 à 17, à Russan pour les tronçons 18 à 21 et à Remoulins pour les tronçons aval).

No.	Modèle 1D			Modèle 2D		
	Q (m ³ /s)	$\Delta S(\%)$	T_{moy}	Q (m ³ /s)	$\Delta S(\%)$	T_{moy}
01	500	- 6,0 %	3,8			
02	1 100	- 5,3 %	25			
03	795	+ 3,7 %	10			
04	490	- 19,7 %	3,7			
05	785	- 15,5 %	9,7			
06	1 065	+ 9,8 %	22			
07	780	- 3,6 %	9,6			
08	770	- 9,1 %	9,4			
09	770	- 9,9 %	9,4			
10	775	- 6,1 %	9,5			
11	1 095	+ 9,1 %	2,7			
12	2 800	- 8,2 %	21,8			
13	2 500	+ 9,3 %	16,3			
14	2 740	- 4,9 %	20	1 950	+ 7,7 %	8,7
15	1 450	- 9,1 %	4,5	1 400	- 4,3 %	4,8
16	1 030	- 4,9 %	2,3	1 400	+ 5,2 %	4,8
17	2 500	+ 2,1 %	8,4	2 200	+ 1,3 %	7,7
18	2 300	+ 1,8 %	8,4	2 200	+ 0,8 %	7,7
19	1 900	- 4,1 %	5	1 700	- 2,1 %	4,1
20	1 900	- 1,5 %	5	1 700	- 2,3 %	4,1
21	1 900	- 2,1 %	5	1 700	- 3,1 %	4,1
22	1 900	- 4,8 %	4,5	1 700	- 2,7 %	3,7
23	1 400	+ 8,1 %	2,5	1 300	+ 3,7 %	2,1
24	1 190	+ 0,9 %	2,1	1 350	+ 1,5 %	2,3
25	1 172	- 12,2 %	2	1 300	- 6,5 %	2,1
26	1 200	- 13,1 %	2			
27	1 150	- 10,2 %	2			
28	1 280	- 12,4 %	2			
29	1 280	- 9,8 %	2			
30	1 280	- 15,1 %	2			

01 au tronçon 10). Les tronçons 14, 15 et 16 correspondent au secteur de la Gardonenque où la modélisation bidimensionnelle semble être plus appropriée ; les débits permettant de remplir le lit moyen de ces trois tronçons sont compris entre 1 400 m³/s et 1 950 m³/s. Sur le secteur des Gorges (du tronçon 17 au tronçon 22), des débits compris entre 1 400 m³/s et 2 500 m³/s sont nécessaires pour remplir le lit moyen ; les résultats du modèle 1D et 2D sont comparables. Plus à l’aval (entre Collias et la confluence avec le Rhône), les débits remplissant le lit moyen ont une valeur moyenne de 1 200 m³/s.

Pour le lit majeur, les débits sont compris entre 2 600 m³/s et 2 900 m³/s à l’amont de

Tableau 11 – Gardon d'Alès et réunis : périodes de retour attribuées au lit majeur pour chaque tronçon.

No.	Modèle 1D			Modèle 2D		
	Q (m ³ /s)	ΔS (%)	T_{moy}	Q (m ³ /s)	ΔS (%)	T_{moy}
01	2 600	+ 12 %	502			
02	2 980	+ 22,3 %	922			
03	2 995	+ 22,2 %	939			
04	2 960	+ 18,8 %	900			
05	2 960	+ 14,8 %	900			
06	2 915	+ 19,7 %	850			
07	2 890	+ 10,6 %	823			
08	2 890	+ 10,7 %	823			
09	2 890	+ 14,1 %	823			
10	2 880	+ 6,2 %	812			
11	7 910	+ 0,2 %	975			
12	7 965	+ 14,2 %	999			
13	7 920	+ 4,2 %	980			
14	7 940	+ 17,1 %	989	5 200	+ 12,3 %	215
15	6 820	- 0,1 %	503	4 440	+ 1,2 %	93
16	5 980	+ 22,1 %	352	5 500	- 8,7 %	268
17 ²	2 500	+ 2,1 %	8,4	2 200	+ 1,3 %	7,7
18 ²	2 300	+ 1,8 %	8,4	2 200	+ 0,8 %	7,7
19	3 690	- 1,9 %	29,7	2 950	- 3,1 %	15
20 ²	1 900	- 1,5 %	5	1 700	- 2,3 %	4,1
21 ²	1 900	- 2,1 %	5	1 700	- 3,1 %	4,1
22	2 600	- 1,8 %	10	2 200	+ 1,2 %	6
23	3 900	- 2,8 %	26	3 400	- 4,3 %	17
24	1 900	- 1,7 %	5	2 200	+ 0,7 %	5
25	5 890	+ 0,7%	86	5 700	+ 0,3 %	78
26	5 700	+ 8,5%	78			
27	5 500	+ 4,7%	70			
28	6 000	- 7,2%	90			
29	6 000	- 10,3%	90			
30	6 000	- 25%	90			

la confluence avec le Gardon d'Anduze. Malgré des simulations avec des débits plus forts, le modèle ne permet pas de remplir le lit majeur défini par l'approche géomorphologique en certain secteur. On notera en particulier la zone de méandre à La Grand Combe (tronçon no. 3), où le modèle ne permet pas de remplir les limites du lit majeur, ainsi que sur la commune de Saint-Hilaire-de-Brethmas (tronçon no. 08 et amont du tronçon 09), où les limites du lit majeur de la cartographie géomorphologique s'arrêtent à l'ancienne route d'Alès, tandis que les résultats du modèle donnent une surface inondée s'arrêtant au niveau de la RN106 construite en 2008. Sur le secteur de la Gardonenque (tronçons 14, 15 et 16), les débits permettant de remplir le lit majeur sont plus faibles que ceux du modèle 1D. L'entrée des Gorges est caractérisée par des valeurs de débits de remplissage beaucoup plus faibles qu'à l'amont ; en

effet les valeurs minimales de remplissage sont indiquées dans le tableau 11 et de nombreux tronçons présentent la même enveloppe pour le lit moyen et le lit majeur (tronçon 17, 18, 20 et 21). Des débits plus forts ont été modélisés et un débit maximal de $10\,000\text{ m}^3/\text{s}$ permet de remplir les Gorges jusqu'au haut de la terrasse (à vérifier..).

3.4 Synthèse de la comparaison

La comparaison entre les enveloppes des différents lits définies par des approches géomorphologiques et les enveloppes des zones inondées calculées avec les modèles hydrauliques montre une continuité dans les valeurs de débits de remplissage sur des linéaires relativement homogènes (comme le Gardon d'Anduze). En revanche sur les Gardons réunis, les discontinuités dans les valeurs de débits nécessaires pour remplir les différents lits illustrent l'hétérogénéité de la zone (Gardon enque à plaine d'inondation, secteur des Gorges).

Le choix d'une approche (modélisation hydraulique ou géomorphologie) dépend principalement des données disponibles (topographie de la rivière, fonctionnement des ouvrages, hydrologie) et du temps imparti à l'étude. En fonction des particularités des différents tronçons identifiés sur les Gardons, les avantages et les limites des différentes approches sont détaillés dans le tableau 12.

Tableau 12 – Evaluation des approches suivant les types de secteur.

Secteur	Géomorphologie		modèle 1D		modèle 2D	
	+	-	+	-	+	-
zone urbaine endiguée	rapide à	ouvrages exclus	quantification des phénomènes et rapidité du calcul	topo lit majeur	quantification des phénomènes et adapté aux écoulements complexes	détails ouvrages
îles	mettre en	aucun ?		topo bifurcation		topo bifurcation
confluence	oeuvre et	limites ZI confondus		concomitance effets 2D		concomitance topo zone
encaissant peu marqué	coût limité	limite lit majeur erronée		aucun ?		aucun ?

L'approche géomorphologique semble la plus appropriée lorsqu'il s'agit d'étudier de grand linéaire où les données topographiques et hydrométriques sont limitées. En revanche, pour les cours d'eau aménagés (avec des données topographiques et hydrométriques), la modélisation hydraulique permet de quantifier les phénomènes en permettant une meilleure définition des différents lits. Le choix entre modélisation unidimensionnelle et bidimensionnelle dépend principalement de la complexité des écoulements à modéliser et de la précision des données topographiques

2. Le débit indiqué correspond à la valeur minimale nécessaire pour remplir le lit majeur.

4 Analyse des incertitudes

Les incertitudes associées aux résultats présentés dans ce rapport peuvent être regroupées en deux entités : les incertitudes associées aux données et les incertitudes associées aux hypothèses de calcul.

4.1 Précision des données

4.1.1 Données altimétriques et cartographiques

Les profils en long récoltés sur les Gardons et l'historique des extractions permettent d'évaluer les évolutions du lit mineur et donc de fournir une estimation des incertitudes associées aux données topographiques disponibles. Un exemple de profil en long extrait des données de SIEE (1996) et Pobanz (2006) est donné sur la figure 31 et illustre les évolutions du profil en long entre Ners et Moussac. Les lignes d'eau correspondent à des périodes d'étiage et bien que la valeur de débit ne soit pas connue, il semble raisonnable de considérer ces niveaux comme représentatifs de la topographie des Gardons. La ligne d'eau d'étiage de 1948 est largement supérieure à celle de 1996 avec une variation de 2 m en moyenne. Les données de radier disponible en 1985 et 1995 révèlent une variation d'environ 50 cm, avec des évolutions particulières comme sur le secteur de Brignon où le lit s'est localement comblé. L'analyse des différentes études nous a permis d'ajuster les données topographiques afin de prendre en considération ces évolutions dans les modèles anciens.

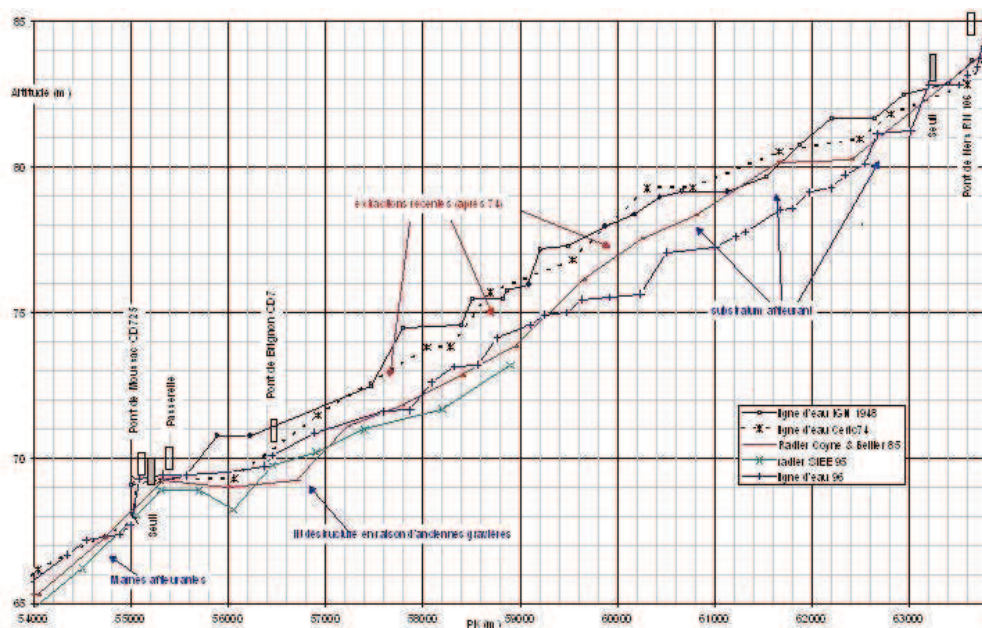


FIGURE 31 – Evolution du profil en long entre Ners et Moussac (d'après SIEE (1996) et Pobanz (2006)).

La précision des contours des différents lits de l'approche géomorphologique est de l'ordre de 25 m (soit 1 mm sur la carte à l'échelle 1/25 000). Il faut également souligner que les limites de l'enveloppe du lit majeur ont pu être validées avec les laisses de la crue récente de septembre 2002, ce qui représente un cadre « favorable » par rapport à d'autres sites tels que la Garonne (également étudié dans le cadre de ce projet) et dont la dernière crue majeure remonte à

1875. On notera que pour certains tronçons (par exemple à l’aval du tronçon 08 défini sur le Gardon d’Anduze, au niveau de Massanes en rive droite), l’enveloppe géomorphologique est supérieure à l’enveloppe de la crue de 2002 ; cette différence est associée à des zones inondées par ruissellement, drainage et réseau pluvial et identifiée suite à l’événement de 2002.

4.1.2 Données hydrométriques et laisses de crues

Sur les Gardons, le SPC 30 a reconstitué l’historique des stations de jaugeage présentes sur les linéaires modélisés. Les modifications des échelles d’annonce de crue entraînent des variations des niveaux du « zéro » des échelles. L’analyse des données anciennes doit donc prendre en compte ces évolutions.

Une incertitude sur la forme des hydrogrammes anciens observés aux stations hydrométriques existe en raison de la faible résolution temporelle des données anciennes. Les estimations des débits de pointe pour les crues anciennes sont également variables suivant les études (cf. tableau 3).

L’incertitude associée aux laisses de crue anciennes est estimée à ± 5 cm et celle associée aux débits à $\pm 10\%$. Ces erreurs peuvent paraître fortes, une précision de ± 1 cm sur les hauteurs d’eau et $\pm 5\%$ sur les débits est généralement admise (Pelletier, 1988). Cependant, durant une crue, les erreurs de mesures sont vraisemblablement plus fortes en raison des zones de turbulence. Pour les laisses de crue les plus anciennes (avant 1958), à quelques exceptions près, une incertitude de l’ordre de 0,50 m peut être envisagée.

4.1.3 Données pluviométriques

Afin d’évaluer les incertitudes introduites dans les modèles hydrologiques, des dégradations du jeu de données pluviométriques ont été appliquées dans le modèle HEC-HMS. Au niveau spatial, le nombre de pluviomètres n a été pris égal à $n = 7$, $n = 11$ et $n = 30$ et en terme d’enregistrement dt , $dt = 5$ min, $dt = 1$ h et enfin $dt = 3$ fois par jour. Les résultats obtenus à Anduze et Remoulins sont présentés sur la figure 32. Le nombre de pluviomètres a une influence plus marquée pour les résultats de Remoulins. Le temps d’enregistrement de 5 min ou 1 h permet d’obtenir des résultats similaires ; toutefois, la dégradation à 3 jours détériore significativement les résultats.

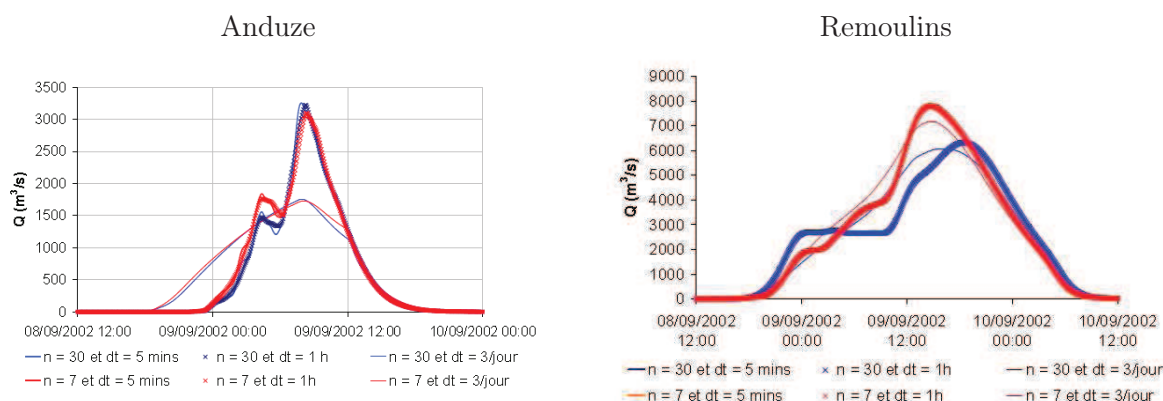


FIGURE 32 – Modèle hydrologique HMS : Hydrogramme de la crue 2002 à Anduze et Remoulins avec des jeux de données dégradés.

4.2 Prise en compte des incertitudes de la modélisation

4.2.1 Incertitudes sur les coefficients de rugosité

Les coefficients de rugosité utilisés dans la modélisation hydraulique correspondent à une valeur globale du coefficient de Strickler qui prend en compte le frottement de peau (grains du substrat), la rugosité de forme (formes du lit) et la rugosité des berges influencée par la présence de végétation. Ce coefficient fluctue donc selon que l'on considère des débits d'étiage ou des débits de crue. Les tests réalisés dans le paragraphe 2.1.1 illustrent la sensibilité des modèles unidimensionnels aux variations des coefficients de rugosité. Une diminution du coefficient de $3\text{m}^{1/3}/\text{s}$ entraîne ainsi une élévation moyenne de 15 cm de la ligne d'eau de crue.

La modélisation 2D permet une meilleure représentation de la géométrie du cours d'eau et les coefficients de rugosité nécessite d'être adapté en conséquence. Les tests réalisés dans le paragraphe 2.4 permettent de visualiser les ajustements de coefficients nécessaires pour une bonne représentation de l'hydraulique en 2D.

4.2.2 Incertitudes liées à la modélisation hydraulique

La comparaison des résultats obtenus sur la simulation de la crue de 2002 avec les modèles 1D et 2D permet d'évaluer les incertitudes associées à la modélisation hydraulique. Sur le secteur de la Gardonnenque, le modèle 1D montrait ses limites, la configuration des écoulements étant complexes en lien avec la présence du verrou que représente l'entrée des Gorges. Le modèle 2D de la Gardonnenque a ainsi permis d'améliorer les résultats sur l'aval tout en illustrant les limites de la modélisation car les apports des affluents sont vraisemblablement erronées dans la simulation de la crue de 2002. Enfin on ne peut nier les incertitudes liées à la résolution des modèles et donc au pas de discrétisation adopté pour représenter la géométrie du cours d'eau, en particulier lors de la dérivation de modèles « anciens ».

4.2.3 Incertitudes liées aux hydrogrammes de projet et aux quantiles de crue

Des hydrogrammes de projet générés par différentes méthodes ont été introduits dans le modèle hydraulique unidimensionnel afin de tester l'influence de la forme de l'hydrogramme sur les hauteurs d'eau et sur la cartographie des zones inondables (paragraphe 2.3.2). La variation de hauteur d'eau peut atteindre + 27 cm et l'influence sur les surfaces inondées peut atteindre 15% si on compare les résultats obtenus avec l'hydrogramme présentant le volume de crue le plus important avec ceux obtenus avec un débit constant. Ce cas représente le cas le plus défavorable, en effet d'après l'ensemble des tests réalisés, il semble que la zone inondée soit principalement influencée par les débits de pointe plutôt que par le volume d'eau représenté par l'hydrogramme.

Les quantiles de crues sont déterminés à partir d'analyses statistiques; ces résultats sont donc à considérer avec précaution, en particulier pour les crues rares, car les chroniques de débits disponibles sur les stations hydrométriques des Gardons sont courtes et les données de crues ne sont pas souvent fiables en raison des difficultés de tarage des stations pour les débits débordants. Neppel *et al.* (2010) détaillent ainsi une analyse fréquentielle des débits de crues avec les données historiques en prenant en compte les erreurs aléatoires (liées à la lecture de la hauteur d'eau) et systématiques (liées à une sur ou sous estimation de la courbe de tarage) pour les stations d'Alès, Anduze, Mialet et Saint-Jean-du-Gard. Les résultats de cette analyse sont présentés sur la figure 33a et 33b pour les stations d'Anduze et d'Alès respectivement. Les débits centennaux et millénaux ont également été estimés avec la formulation empirique

dite FBG (Formule de Bressand-Golossof, Bressand et Golossof (1996)). Pour les bassins du Gard, les auteurs donnent les relations suivantes :

$$Q_{100} = 30 \times A^{0,75} \text{ et } Q_{1000} = 50 \times A^{0,75}$$

avec A la superficie du bassin versant en km^2 . Les valeurs obtenues avec ces estimations « simplistes » ainsi que les quantiles obtenus avec la méthode Shyreg (cf. paragraphe 2.3.2) sont également présentées sur la figure 33. Enfin, les estimations de quantiles réalisées dans le cadre de l'action 7 du projet Extraflo par des approches locales/régionales et hito-régionales sont également présentées sur la figure pour la station d'Anduze.

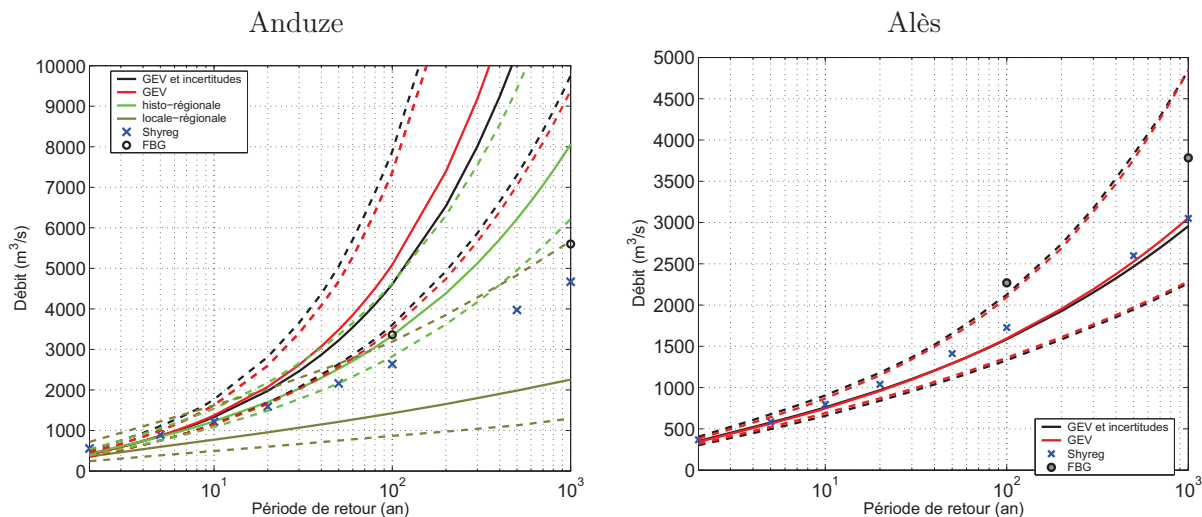


FIGURE 33 – Comparaison des estimations de quantiles de crue pour les stations d'Anduze et d'Alès (les pointillés définissent les bornes basses et hautes de l'intervalle de confiance à 90%).

Pour la station d'Anduze, l'estimation moyenne du débit de pointe est très variable selon les méthodologies adoptées pour la dérivation des Q_p . L'approche Shyreg donne ainsi des quantiles de crue beaucoup plus faibles que les débits obtenus avec les ajustements GEV. On notera également la différence entre les débits obtenus avec l'ajustement GEV seul et ceux définis avec l'ajustement GEV prenant en compte l'incertitude de reconstitution des débits historiques. Pour la station d'Alès, en revanche, les estimations obtenues avec les différentes méthodes sont proches. Enfin la formule FBG donne des estimations très différentes des autres méthodes dans les deux cas.

4.2.4 Synthèse de l'analyse des incertitudes

Les résultats obtenus montrent que :

- La sensibilité aux valeurs du coefficient de rugosité du lit mineur est forte (l'erreur relative est d'environ 10% sur les hauteurs d'eau si on varie ce coefficient de $\pm 5 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ et les variations sur les surfaces inondées atteignent $\pm 10\%$)
- La sensibilité à la forme de l'hydrogramme en entrée du modèle est faible lorsque les apports des affluents sont faibles ($\Delta H < 0,5\text{m}$ et $\Delta Q < 500\text{m}^3/\text{s}$). En revanche lorsque les affluents contribuent fortement les résultats sont très différents avec des variations des surfaces inondées atteignant les 50%.

5 Conclusions

La modélisation hydraulique des Gardons se révèle complexe sur certains secteurs où les données topographiques sont limitées (Gardonenne). Des données lidar plus précises en lit majeur permettraient d'améliorer les résultats des modèles. Une autre difficulté est l'estimation des apports des affluents lors des crues ; en effet, ces cours d'eau ne font pas l'objet d'un suivi hydrométrique et les estimations réalisées à partir des modèles hydrologiques varient considérablement suivant les événements et les méthodes utilisées. La modélisation hydraulique se révèle difficile à exploiter si les données topographiques disponibles sont limitées ou lorsque le fonctionnement hydraulique devient complexe en crue (mise en charge de ponts ou ressaut hydraulique). Ces configurations correspondent à des lignes d'eau chahutées, ce qui induit souvent une mesure de niveau moins précise.

L'approche géomorphologique permet d'exploiter les effets des crues anciennes sur le modelé de la forme des zones inondées et donne des résultats rapidement à grande échelle. Cette approche semble complémentaire des approches hydrologiques-hydrauliques qui permettent d'affiner la connaissance sur les zones à enjeux, ou sur les secteurs artificialisés. Les approches géomorphologiques donnent des informations utiles pour la modélisation hydraulique : repérage des formes caractéristiques (encaissant, points hauts, chenaux secondaires). Inversement, l'approche hydraulique peut aider à interpoler les limites de la zone inondable entre deux zones hydro-géomorphologiques. Elle permet également de modéliser l'effet d'aménagements récents et d'attribuer une gamme de débit correspondant au remplissage des différents lits géomorphologiques. Des périodes de retour peuvent ensuite être associées à ces valeurs de débits même si cette attribution est délicate du fait des incertitudes liées à la modélisation ainsi qu'aux intervalles de confiance associés aux quantiles de crue.

Le choix du modèle hydraulique (1D ou 2D) est conditionné par les données disponibles ainsi que par les caractéristiques de la rivière et son type d'écoulement. Les modèles 2D sont ainsi à privilégier lorsque l'écoulement présente des phénomènes complexes (écoulement non parallèle dans les deux lits ou lit majeur de rugosité non homogène). Les modèles 1D sont plus simples à mettre en oeuvre au vu de la rapidité de la résolution numérique.

Bibliographie

Références

- ANQUETIN, S., BRAUD, I., VANNIER, O., VIALLET, P., BOUDEVILLAIN, B., CREUTIN, J. et MANUS, C. (2010). Sensitivity of the hydrological response to the variability of rainfall fields and soils for the Gard 2002 flash-flood event. *Journal of Hydrology*, 394:134–147.
- ARNAUD, P. et FINE, J. (2006). Modélisation pluie-débit pour la modélisation des crues par SHYREG. Etude du comportement à l’infini du modèle GR simplifié. Rapport technique, DPRR.
- BCEOM (2000). Schéma d’aménagement et de gestion des eaux des Gardons. Rapport technique, BCEOM.
- BIANCIOFFO, L. (2005). Les crues du Gardon sur la commune d’Anduze : approche historique et enjeux. Mémoire de D.E.A., Université Paul Valéry (Montpellier 3).
- BONNIFAIT, L., DELRIEU, G., LE LAY, M., BOUDEVILLAIN, B., A.MASSON, BELLEUDY, P., GAUME, E. et SAULNIER, G. (2009). Hydrologic and hydraulic distributed modelling with radar rainfall input : Reconstruction of the 8-9 September 2002 catastrophic flood event in the Gard region, France. *Advances in Water Resources*, 32:1077–1089.
- BRAUD, I., ROUX, H., ANQUETIN, S., MAUBOURGUET, M., MANUS, C., VIALLET, P. et DARTUS, D. (2010). The use of distributed hydrological models for the Gard 2002 flash flood event : Analysis of associated hydrological processes. *Journal of Hydrology*, 394:162–181.
- BRESSAND, F. et GOLOSSOF, G. (1996). Méthode de calcul des débits rares et exceptionnels d’eaux pluviales sur les petits versants naturels situés dans l’arc méditerranéen. Rapport technique, DDE du Gard.
- BRL INGÉNIERIE (2005). Etudes globales des sous-bassins versants du Gardon suite à la crue des 08 et 09 septembre 2002. Rapport technique, SMAGE des Gardons.
- CETE MÉDITERRANÉE (1987). Environnement et aménagement d’un cours d’eau méditerranéen - Etude de cas : les Gardons. Rapport technique, CETE.
- COYNE ET BELLIER (1983). Etude générale de l’aménagement hydraulique du Gard. Rapport technique, Coyne et Bellier.
- DELGADO, J. (2006). Pont du Gard : Etude du confortement des appuis rocheux. Rapport technique, CETE Méditerranée.
- DREAL LANGUEDOC ROUSSILLON (2003). Atlas départemental des zones inondables - Le Gard - Note de présentation. Rapport technique, DREAL Languedoc Roussillon.
- EGIS EAU (2011). Concomitance et impacts des affluents sur le Rhône. Rapport technique, EGIS Eau.
- GAUME, E., PAYRASTE, O. et ROSA DA SILVA, B. (2003). Analyse hydrologique des crues des 08 et 09 septembre 2002 dans le Gard. Rapport technique, CERREVE.

- I.S.L. (2005). Hydrologie du bassin versant des Gardons. Rapport technique, SMAGE des Gardons.
- MASSON, M., GARRY, G. et BALLAIS, J. (1996). Cartographie des zones inondables : approche hydrogéomorphologique. Rapport technique, Ministère de l'équipement, ministère de l'environnement.
- NEPPEL, L. (2007). InondHis : analyse régionale des précipitations et crues anciennes en Languedoc-Roussillon. Rapport technique, UMR Hydrosiences Montpellier.
- NEPPEL, L., RENARD, B., LANG, M., AYRAL, P. A., COEUR, D., GAUME, E., JACOB, N., PAYRASTRE, O., POBANZ, K. et VINET, F. (2010). Flood frequency analysis using historical data : accounting for random and systematic errors. *Hydrological Sciences Journal*, 55:192–208.
- PAQUIER, A. (1995). Barrage de Sainte Cécile d'Andorge - étude de propagation de l'onde de rupture. Rapport technique, Cemagref.
- PARDÉ, M. (1963). Les crues cévenoles catastrophiques de septembre-octobre 1958. *Annales de Géographie*, 72:472–477.
- PELLETIER, P. (1988). Uncertainties in the single determination of river discharge : a literature review. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 13:834–850.
- POBANZ, K. (2006). Reconstitution par modélisation hydraulique des débits de crues historiques de l'Hérault et du Gard. Mémoire de D.E.A., ISITV.
- SIEE (1996). Etude de la dynamique fluviale des Gardons. Rapport technique, SIEE.
- SOGREAH (2003). Validation des relevés hydrométriques de la crue du 08 et 09 septembre 2002. Rapport technique no. 102793, SOGREAH.
- SOGREAH (2005). Pose de repères de crue - fiches de repères de crue. Rapport technique, SOGREAH.

ANNEXES

ANNEXE A - DONNEES TOPOGRAPHIQUES

Tableau 13 – Anduze : liste des profils en travers récents (post 2002).

Nom profil	Pk (m)	Dressé par	Année	Remarque
P1	0	Cabinet Richer	2003	
P2	54,1	Cabinet Richer	2003	
P3	72,2	Cabinet Richer	2003	pont voie ferrée
P4	95,5	Cabinet Richer	2003	
P5	134,3	Cemagref(inondhis)	2006	
P6	246,6	Cabinet Richer	2003	
P7	387,3	Cabinet Richer	2003	
P8	498,4	Cabinet Richer	2003	
P9	573,5	Cemagref(inondhis)	2006	
Pont	612	Chabert	2000	aval pont D910
P10	630,1	Cemagref(inondhis)	2006	
P11	716,4	Cabinet Richer	2003	
P12	792,9	Cemagref(inondhis)	2006	
P14	902,4	Cabinet Richer	2003	
P13	931,9	Cemagref(inondhis)	2006	pont submersible
P15	962	Cabinet Richer	2003	
digue-anduzeP6	1 269,3	Enjalbert	2009	
digue-anduzeP7	1 459,7	Enjalbert	2009	
digue-anduzeP8	1 787,9	Enjalbert	2009	
digue-anduzeP9	2 252,6	Enjalbert	2009	
digue-anduzeP10	2 794,7	Enjalbert	2009	
digue-anduzeP11	3 023,2	Enjalbert	2009	
digue-anduzeP12	3 662,1	Enjalbert	2009	
digue-anduzeP13	4 656,4	Enjalbert	2009	seuil (Gaujeac)
digue-anduzeP14	5 497,9	Enjalbert	2009	seuil (Attuech)
digue-anduzeP15	6 238,4	Enjalbert	2009	
CardetP11	7 536,6	Cabinet Richer	2005	
CardetP10am	7 662,2	Cabinet Richer	2005	
CardetP10ambis	7 707,5	Cabinet Richer	2005	amont pont D24
CardetP10av	7 725,6	Cabinet Richer	2005	aval pont D24
CardetP10avbis	7 765,9	Cabinet Richer	2005	
CardetP19am	7 851,2	Cabinet Richer	2005	
CardetP9seuil	7 854,5	Cabinet Richer	2005	seuil
CardetP9aval	7 858	Cabinet Richer	2005	seuil
CardetP8	8 199,2	Cabinet Richer	2005	
CardetP7	9 514,9	Cabinet Richer	2005	
CardetP6amont	10 021	Cabinet Richer	2005	seuil
CardetP6seuil	10 025,8	Cabinet Richer	2005	seuil
CardetP6aval	10 029,7	Cabinet Richer	2005	seuil
CardetP5	10 820,3	Cabinet Richer	2005	
CardetPOA4amont	11 915,4	Cabinet Richer	2005	

Tableau 13 – Anduze : liste des profils en travers récents (post 2002).

Nom profil	Pk (m)	Dressé par	Année	Remarque
CardetPOA4am	11 959,5	Cabinet Richer	2005	amont pont SNCF
CardetPOA4av	11 977,1	Cabinet Richer	2005	aval pont SNCF
CardetPOA4aval	12 016,7	Cabinet Richer	2005	
CardetP3amont	12 521,7	Cabinet Richer	2005	
CardetP3seuil	12 525,4	Cabinet Richer	2005	
CardetP3amont	12 527,7	Cabinet Richer	2005	
CardetPOA2am	13 161,3	Cabinet Richer	2005	amont pont D6110
CardetPOA2av	13 196,5	Cabinet Richer	2005	aval pont D6110
CouetM17	13 734,3	Cabinet Couet-Mende	2005	
CouetM18	14 407,7	Cabinet Couet-Mende	2005	

Tableau 14 – Gardons réunis : liste des profils en travers récents (post 2002).

Nom profil	Pk (m)	Dressé par	Année	Remarque
XS160	2 201,00	MAS Associés	2006	
XS158	2 489,12	MAS Associés	2006	
XS157	2 631,54	MAS Associés	2006	
XS155AM	2 663,01	MAS Associés	2006	
OA155am	2 716,91	MAS Associés	2006	
OA155av	2 729,54	MAS Associés	2006	
XS155AV	2 769,87	MAS Associés	2006	
XS153	3 109,52	MAS Associés	2006	
XS150	3 312,26	MAS Associés	2006	
XS149	3 519,99	MAS Associés	2006	
XS148	3 752,56	MAS Associés	2006	
XS144AM	4 144,53	MAS Associés	2006	
OA144am	4 182,05	MAS Associés	2006	
OA144av	4 197,53	MAS Associés	2006	
XS143AMc	4 225,05	MAS Associés	2006	
XS143	4 270,48	MAS Associés	2006	
XS142	4 489,72	MAS Associés	2006	
XS140	4 842,59	MAS Associés	2006	
XS136AM	5 512,08	MAS Associés	2006	
OA136am	5 544,33	MAS Associés	2006	
OA136av	5 556,96	MAS Associés	2006	
XS136AV	5 605,16	MAS Associés	2006	
XS135	5 848,21	MAS Associés	2006	
XS134	6 063,86	MAS Associés	2006	
XS132AM	6 252,45	MAS Associés	2006	
OA132am	6 278,62	MAS Associés	2006	

Tableau 14 – Gardons réunis : liste des profils en travers récents (post 2002).

Nom profil	Pk (m)	Dressé par	Année	Remarque
OA132av	6 284,01	MAS Associés	2006	
XS132AV	6 308,21	MAS Associés	2006	
XS131	6 427,05	MAS Associés	2006	
XS130	6 566,71	MAS Associés	2006	
XS129	6 755,55	MAS Associés	2006	
XS128	6 925,23	MAS Associés	2006	
XS126AM	7 053,23	MAS Associés	2006	
OA126am	7 084,09	MAS Associés	2006	
OA126av	7 107,64	MAS Associés	2006	
XS126AV	7 138,97	MAS Associés	2006	
XS124AM	7 211,21	MAS Associés	2006	
OA124am	7 244,92	MAS Associés	2006	
OA124av	7 263,01	MAS Associés	2006	
XS124AV	7 308,05	MAS Associés	2006	
XS122AM	7 596,25	MAS Associés	2006	
XS122	7 625,59	MAS Associés	2006	
XS122av	7 636,70	MAS Associés	2006	
XS122AV	7 684,26	MAS Associés	2006	
XS121	7 860,52	MAS Associés	2006	
XS120	8 056,73	MAS Associés	2006	
XS119	8 228,68	MAS Associés	2006	
XS118	8 407,60	MAS Associés	2006	
XS117	8 492,79	MAS Associés	2006	
XS116	8 541,34	MAS Associés	2006	
XS115	8 615,43	MAS Associés	2006	
XS114	8 723,31	MAS Associés	2006	
XS113	9 168,77	MAS Associés	2006	
XS112	9 546,91	MAS Associés	2006	
XS111	9 774,89	MAS Associés	2006	
XS110	10 120,90	MAS Associés	2006	
XS109	10 361,23	MAS Associés	2006	
XS108	10 727,81	MAS Associés	2006	
XS107	11 227,87	MAS Associés	2006	
XS105	11 881,20	MAS Associés	2006	
XS104	12 302,84	MAS Associés	2006	
XS103	12 586,01	MAS Associés	2006	
XS102	12 877,64	MAS Associés	2006	
XS101b	13 962,00	MAS Associés	2006	
XS100	14 373,24	MAS Associés	2006	
XS93AM	14 842,09	MAS Associés	2006	
OA93am	14 855,82	MAS Associés	2006	
OA93av	14 860,49	MAS Associés	2006	
XS93AM	14 871,10	MAS Associés	2006	
XS95AM	14 892,98	MAS Associés	2006	

Tableau 14 – Gardons réunis : liste des profils en travers récents (post 2002).

Nom profil	Pk (m)	Dressé par	Année	Remarque
OA95av	14 907,53	MAS Associés	2006	
OA95am	14 919,28	MAS Associés	2006	
XS95AV	14 938,30	MAS Associés	2006	
XS91	15 109,98	MAS Associés	2006	
XS89	15 617,48	MAS Associés	2006	
XS88	15 827,97	MAS Associés	2006	
XS87	16 077,41	MAS Associés	2006	
XS85	16 662,27	MAS Associés	2006	
XS84	16 981,98	MAS Associés	2006	
XS83	17 231,90	MAS Associés	2006	
XS82	17 463,70	MAS Associés	2006	
XS79	18 432,66	MAS Associés	2006	
XS77AM	18 792,54	MAS Associés	2006	
OA77am	18 832,98	MAS Associés	2006	
OA77av	18 842,03	MAS Associés	2006	
XS77AV	18 894,11	MAS Associés	2006	
XS76	19 101,11	MAS Associés	2006	
XS74	19 417,84	MAS Associés	2006	
XS73	19 657,68	MAS Associés	2006	
XS70	20 034,84	MAS Associés	2006	
XS68AM	20 157,52	MAS Associés	2006	
OA68av	20 202,21	MAS Associés	2006	
OA68am	20 226,15	MAS Associés	2006	
XS68AV	20 272,39	MAS Associés	2006	
XS67	20 353,97	MAS Associés	2006	
XS64	20 702,44	MAS Associés	2006	
XS63	20 993,75	MAS Associés	2006	
XS611	21 175,79	MAS Associés	2006	
OA61am	21 212,24	MAS Associés	2006	
OA61av	21 227,05	MAS Associés	2006	
XS61AV	21 274,08	MAS Associés	2006	
XS58	21 499,29	MAS Associés	2006	
XS57	21 717,05	MAS Associés	2006	
XS55AM	21 931,41	MAS Associés	2006	
OA55am	21 982,11	MAS Associés	2006	
OA55av	21 987,18	MAS Associés	2006	
XS549	22 034,35	MAS Associés	2006	
OA53	22 275,22	MAS Associés	2006	
XS52	22 543,59	MAS Associés	2006	
XS50AM	22 706,19	MAS Associés	2006	
XS50am	22 755,10	MAS Associés	2006	
OA50av	22 766,05	MAS Associés	2006	
XS50AV	22 813,36	MAS Associés	2006	
XS49	22 945,84	MAS Associés	2006	

Tableau 14 – Gardons réunis : liste des profils en travers récents (post 2002).

Nom profil	Pk (m)	Dressé par	Année	Remarque
XS48	23 210,47	MAS Associés	2006	
XS47	23 620,49	MAS Associés	2006	
XS46	23 838,41	MAS Associés	2006	
XS45	24 281,61	MAS Associés	2006	
XS44	24 486,87	MAS Associés	2006	
XS40AM	24 827,14	MAS Associés	2006	
OA40am	24 892,37	MAS Associés	2006	
OA40av	24 909,43	MAS Associés	2006	
XS40AV	24 971,61	MAS Associés	2006	
XS39	25 073,52	MAS Associés	2006	
XS38	26 098,12	MAS Associés	2006	
XS36	26 781,05	MAS Associés	2006	
XS35	27 348,34	MAS Associés	2006	
XS34	27 906,25	MAS Associés	2006	
XS32	29 140,10	MAS Associés	2006	
XS31	29 739,72	MAS Associés	2006	
XS29	30 684,84	MAS Associés	2006	
XS28	30 997,83	MAS Associés	2006	
XS27	31 376,09	MAS Associés	2006	
XS19	32 321,08	MAS Associés	2006	
XS12	32 708,78	MAS Associés	2006	
XS9AM	33 127,25	MAS Associés	2006	
OA9am	33 185,12	MAS Associés	2006	
OA9av	33 206,67	MAS Associés	2006	
XS9AV	33 240,58	MAS Associés	2006	
XS8	33 365,05	MAS Associés	2006	
XS6	34 391,31	MAS Associés	2006	
XS4	35 168,02	MAS Associés	2006	
P4-4A04	35 400,03		2004	
P4-4A04OAAM	35 463,97		2004	
P4-4A04OAam	35 500,88		2004	
P4-4A04OAav	35 515,01		2004	
P4-4A04OAAV	35 565,33		2004	
P5-4A04	35 735,40		2004	
P6-4A04	36 467,29		2004	
P7-4A04	37 177,56		2004	
P8-4A04	37 835,44		2004	
P9-4A04	38 371,80		2004	
P10-4A04	38 487,11		2004	
P11-4A04	38 732,89		2004	
P12-4A04	39 078,88		2004	
Ners04P1	39 637,80	Sogreah	2004	
Ners04P2	39 840,21	Sogreah	2004	
Ners04PVR106Am	40 005,55	Sogreah	2004	

Tableau 14 – Gardons réunis : liste des profils en travers récents (post 2002).

Nom profil	Pk (m)	Dressé par	Année	Remarque
Ners04PVR106OA	40 023,17	Sogreah	2004	
Ners04PVR106AV	40 053,35	Sogreah	2004	
Ners04P5	40 068,05	Sogreah	2004	
Ners04P7	40 188,85	Sogreah	2004	
Ners04SNCFPam	40 260,40	Sogreah	2004	
Ners04SNCFPOA	40 282,96	Sogreah	2004	
Ners04SNCFPav	40 319,70	Sogreah	2004	
Ners04P9	40 514,98	Sogreah	2004	
Ners04P10seuil	40 681,22	Sogreah	2004	
Ners04P11	40 886,35	Sogreah	2004	
P1-3A04	41 598,18	Cabinet Couet	2004	
P14-3A04	42 176,11	Cabinet Couet	2004	
P15-3A04	42 722,40	Cabinet Couet	2004	
P16-3A04	43 252,48	Cabinet Couet	2004	
P17-3A04	43 710,82	Cabinet Couet	2004	
P18-3A04	44 309,22	Cabinet Couet	2004	
P19-3A04	44 805,45	Cabinet Couet	2004	
P20-3A04	45 064,12	Cabinet Couet	2004	
P21-3A04	45 301,16	Cabinet Couet	2004	
P22-3A04	45 530,14	Cabinet Couet	2004	
P23-3A04	45 907,25	Cabinet Couet	2004	
RN106P23	46 730,26	RN106	2004*	
RN106P22	47 196,90	RN106	2004*	
RN106P21AM	47 690,62	RN106	2004*	
RN106P21	47 745,96	RN106	2004*	
RN106P21AV	47 832,45	RN106	2004*	
RN106cP20	48 179,31	RN106	2004*	
RN106P19	48 518,08	RN106	2004*	confluence avec la Droude
RN106P18AM	48 843,61	RN106	2004*	
RN106P18	48 902,07	RN106	2004*	
RN106P18AV	48 949,82	RN106	2004*	
RN106-P17AM	49 134,61	RN106	2004*	
RN106-P17	49 186,97	RN106	2004*	
RN106-P17AV	49 213,66	RN106	2004*	
RN106-P16	49 653,96	RN106	2004*	
RN106-P15	50 310,37	RN106	2004*	
RN106-P14	50 945,22	RN106	2004*	
RN106-P13	51 492,82	RN106	2004*	
RN106-P12	51 821,95	RN106	2004*	
RN106-P11	52 346,32	RN106	2004*	
RN106-P10	53 163,24	RN106	2004*	
RN106-P9AM	53 537,82	RN106	2004*	
RN106-P9	53 592,00	RN106	2004*	

Tableau 14 – Gardons réunis : liste des profils en travers récents (post 2002).

Nom profil	Pk (m)	Dressé par	Année	Remarque
RN106-P9AV	53 674,16	RN106	2004*	
RN106-P8	54 623,24	RN106	2004*	
RN106-P7	55 209,37	RN106	2004*	
RN106-P6	55 687,95	RN106	2004*	
RN106-P5	56 150,39	RN106	2004*	
RN106-P4	57 005,08	RN106	2004*	
RN106-P3AM	57 580,82	RN106	2004*	
RN106-P3	57 664,23	RN106	2004*	
RN106-P3AV	57 740,93	RN106	2004*	
RN106c-P2	58 097,37	RN106	2004*	
RUS04-P1	58 648,22	Sogreah	2004	
RUS04-P2AM	58 976,04	Sogreah	2004	
RUS04-P2OA	58 994,82	Sogreah	2004	
RUS04-P2AV	59 008,95	Sogreah	2004	
RUS04-P3	59 128,07	Sogreah	2004	
RUS04-P5	59 653,39	Sogreah	2004	
RUS04-P6	59 754,21	Sogreah	2004	
RUS04-P7	59 970,58	Sogreah	2004	
RUS04-P8	60 372,01	Sogreah	2004	
CeB82	69 878,30	Coyne et Bellier	1982	
PontGard8AM	69 896,72	Etude Ponts du Gard	2002 ?	
PontGard8	69 904,96	Etude Ponts du Gard	2002 ?	
PontGard8AV	69 913,56	Etude Ponts du Gard	2002 ?	
PonNico10-P1	70 305,37	Cemagref	2010	
PonNico10-P2	70 584,53	Cemagref	2010	
PonNico10-P3	70 616,74	Cemagref	2010	
PonNico10-P4	70 640,64	Cemagref	2010	
PonNico10-P5	70 663,46	Cemagref	2010	
IGNLB	71 507,79	Cemagref	2010	
BaumeP1	75 153,50	Cemagref	2010	
BaumeP2	75 343,20	Cemagref	2010	
BaumeP3	75 464,99	Cemagref	2010	
BaumeP4	75 539,19	Cemagref	2010	
BaumeP5	75 660,53	Cemagref	2010	
BaumeP6	75 866,09	Cemagref	2010	
BaumeP7	76 015,12	Cemagref	2010	
BaumeP8	76 116,21	Cemagref	2010	
BaumeP9	76 226,54	Cemagref	2010	
BaumeP10	76 299,33	Cemagref	2010	
BaumeP11	76 339,21	Cemagref	2010	
BaumeP12	76 381,19	Cemagref	2010	
BaumeP13	76 474,83	Cemagref	2010	
BaumeP14	76 495,53	Cemagref	2010	
BaumeP15	76 555,10	Cemagref	2010	

Tableau 14 – Gardons réunis : liste des profils en travers récents (post 2002).

Nom profil	Pk (m)	Dressé par	Année	Remarque
BaumeP16	76 592,88	Cemagref	2010	
BaumeP17	76 677,69	Cemagref	2010	
PontGard7AM	81 257,98	Etude Ponts du Gard	2002 ?	
PontGard7	81 266,78	Etude Ponts du Gard	2002 ?	
PontGard7AV	81 276,73	Etude Ponts du Gard	2002 ?	
PdG05AM	86 948,19	J-Y Rey	2005	
PdG05OA	86 981,80	J-Y Rey	2005	
PdG05AV	87 026,97	J-Y Rey	2005	
REM05-P1	87 947,15	Dominique Vincens	2005	
REM05-P2	88 576,17	Dominique Vincens	2005	
REM05-P3	89 079,20	Dominique Vincens	2005	
REM04-P1	89 342,86	Sogreah	2004	
REM04-P2	89 881,21	Sogreah	2004	
REM04-P3seuil	90 281,61	Sogreah	2004	
REM05-OA	90 430,11	Dominique Vincens	2004	
REM04-P4	90 602,83	Sogreah	2004	
REM04-P5AM	90 870,71	Sogreah	2004	
REM04-P5OA	90 927,65	Sogreah	2004	
REM04-P5AV	90 983,64	Sogreah	2004	
REM04-P9	91 347,86	Sogreah	2004	
REM04-P10AM	91 642,63	Sogreah	2004	
REM04-P10seuil	91 706,22	Sogreah	2004	
REM04-P10AV	91 752,05	Sogreah	2004	
REM05-P4	91 999,37	Dominique Vincens	2005	
REM05-P5	92 381,98	Dominique Vincens	2005	
REM05-P6	92 854,66	Dominique Vincens	2005	
REM05-P7	93 368,55	Dominique Vincens	2005	
REM05-P8	93 476,75	Dominique Vincens	2005	
REM05-P9	93 585,94	Dominique Vincens	2005	
REM05-P10	93 865,52	Dominique Vincens	2005	
MON09-P1	95 284,13	Aturins	2009	
MON09-P2	95 983,17	Aturins	2009	
MON09-P3	96 601,32	Aturins	2009	
MON09-P4	97 292,74	Aturins	2009	
MON07-P1	97 825,53	Hydrotopo	2007	
MON07-P2	98 528,30	Hydrotopo	2007	
MON07-P3	98 822,08	Hydrotopo	2007	
MON07-P4	99 054,90	Hydrotopo	2007	
MON07-P5	99 182,57	Hydrotopo	2007	
MON07-P6	99 274,34	Hydrotopo	2007	
MON07-P7	99 453,19	Hydrotopo	2007	
MON09ROUTAM	99 716,12	Aturins	2009	
MON09ROUTOA	99 761,62	Aturins	2009	
MON09ROUTOA	99 776,27	Aturins	2009	

Tableau 14 – Gardons réunis : liste des profils en travers récents (post 2002).

Nom profil	Pk (m)	Dressé par	Année	Remarque
MONT09ROUTAV	99 810,60	Aturins	2009	
MON07-P8	100 044,59	Aturins	2009	
MONT09-P6	100 547,25	Aturins	2009	
MONT09SNCFAM	100 842,91	Aturins	2009	
MONT09SNCFOAm	100 897,09	Aturins	2009	
MONT09SNCFOAv	100 917,36	Aturins	2009	
MONT09SNCFAV	100 942,38	Aturins	2009	
MONT09-P11	102 226,48	Aturins	2009	
MONT09-P17	104 613,28	Aturins	2009	

Tableau 15 – Gardons réunis : liste des profils en travers « anciens » (pre 2002).

Nom profil	Pk (m)	Dressé par	Année	Remarque
Geogard4	2 297,09			
PontGard36	2 710,59		1999	pont D357 Haute Levade
PontGard35	3 121,90			pont N106 Le Fraissinet
Geogard3	3 544,32		1999	
PontGard34	4 179,86			pont gare (Levade)
Geogard2	4 501,97		1999	
Geogard1	5 228,66		1999	
CeB25	5 975,46	Coyne et Bellier	1985	
PontGard33	6 283,61		1999	passerelle piscine (La Gd Combe)
PontGard32	7 088,66		1999	pont des pelouses (La Gd Combe)
PontGard31	7 250,68		1999	pont 2 (La Gd Combe)
CeB26	8 352,16	Coyne et Bellier	1985	
CeB27	10 410,17	Coyne et Bellier	1985	
PontGard29	11 392,64		1999	
CeB28	12 923,17	Coyne et Bellier	1985	
CeB29	14 150,91	Coyne et Bellier	1985	
PontGard28	14 851,10		1999	pont Lavabreille
PontGard27	14 964,22		1999	
CeB30	15 847,71	Coyne et Bellier	1985	
CeB31	16 760,48	Coyne et Bellier	1985	
CeB35	17 699,77	Coyne et Bellier	1985	
PontGard26	18 829,06		1999	
Ales1	19 014,21			
Ales2	19 281,47			

Tableau 15 – Gardons réunis : liste des profils en travers « anciens » (pre 2002).

Nom profil	Pk (m)	Dressé par	Année	Remarque
Ales3	19 621,71			
CeB36	19 743,67	Coyne et Bellier	1985	
Ales4	19 859,45			
PontGard25	20 205,57			
Ales42	20 231,24			
Ales5	20 340,88			
Ales6	21 006,39			
PontGard24	21 192,44			
Ales62	21 213,96			
PontGard23	21 470,39		1999	
Ales63	21 499,29			
Ales7	21 582,91			
Ales72	21 976,62			
Ales8	22 090,82			
PontGard21	22 251,60			
Pontgard22	22 279,44		1999	
Ales9	22 700,00			
PontGard20	22 745,20		1999	
CeB37	23 259,07	Coyne et Bellier	1985	
Ales11	23 897,49			
CeB38	24 514,72	Coyne et Bellier	1985	
Ales12	24 582,11			
PontGard19	24 885,62		1999	
Ales13	25 184,97			
CeB39	25 659,60	Coyne et Bellier	1985	
Legue13	25 971,64			
Legue8	26 241,18			
CeB40	26 486,03	Coyne et Bellier	1985	
Legue2	26 594,10			
Legue36	26 747,04			
Legue35	26 895,26			
Legue34	27 030,68			
Legue33	27 201,95			
Step6	27 417,30			
Step5	27 757,89			
Step4	27 942,07			
Step3	28 148,02			
Step2	28 459,90			
Step1	28 797,98			
CeB44	29 316,63	Coyne et Bellier	1985	
CeB45	30 247,86	Coyne et Bellier	1985	
CeB46	30 914,03	Coyne et Bellier	1985	
CeB47	31 679,83	Coyne et Bellier	1985	
CeB48	32 392,68	Coyne et Bellier	1985	

Tableau 15 – Gardons réunis : liste des profils en travers « anciens » (pre 2002).

Nom profil	Pk (m)	Dressé par	Année	Remarque
CeB49	33 096,50	Coyne et Bellier	1985	
PontGard18	33 175,37		1999	
CeB50	33 850,22	Coyne et Bellier	1985	
CeB950	34 470,45	Coyne et Bellier	1985	
CeB24	35 223,93	Coyne et Bellier	1985	
PontGard17	35 511,23		1999	pont D106 (Cassagnolles)
CeB51	36 012,15	Coyne et Bellier	1985	
CeB52	36 945,48	Coyne et Bellier	1985	
CeB53	37 860,41	Coyne et Bellier	1985	
Ners3	38 055,55			
CeB54	38 389,21	Coyne et Bellier	1985	
CeB55	39 466,66	Coyne et Bellier	1985	
Ners2	39 732,57			
PontGard16	40 000,35		1999	
Ners1	40 057,25			
PontGard15	40 254,33		1999	pont SNCF Ners (loi ouvrage)
CeB56	41 400,09	Coyne et Bellier	1985	
P57	42 227,02			
CeB58	43 128,82	Coyne et Bellier	1985	
CeB59	43 689,60	Coyne et Bellier	1985	
CeB60	44 255,87	Coyne et Bellier	1985	
CeB61	44 946,47	Coyne et Bellier	1985	
RN106-25	45 174,07		1995	
CeB62	45 560,20	Coyne et Bellier	1985	
RN106-24	45 898,79		1995	
CeB63	46 361,46	Coyne et Bellier	1985	
RN106-23	46 730,26		1995	
CeB64	46 940,30	Coyne et Bellier	1985	
RN106-22	47 196,90		1995	
CeB65	47 540,64	Coyne et Bellier	1985	
RN106-21	47 745,96		1995	pont de Brignon (loi ouvrage)
CeB66	48 184,06	Coyne et Bellier	1985	
RN106-19	48 518,08		1995	confluence avec la Droude
RN106-18	48 902,07		1995	
RN106-17	49 186,96		1995	seuil amont pont Moussac (loi ouvrage)
CeB68	49 523,03	Coyne et Bellier	1985	
RN106-16	49 653,96		1995	
RN106-15	50 310,37		1995	

Tableau 15 – Gardons réunis : liste des profils en travers « anciens » (pre 2002).

Nom profil	Pk (m)	Dressé par	Année	Remarque
RN106-14	50 945,21		1995	
RN106-13	51 492,82		1995	
RN106-12	51 821,95		1995	
RN106-11	52 346,32		1995	
RN106-10	53 163,24		1995	
RN106-09	53 592,00		1995	
CeB75	54 174,13	Coyne et Bellier	1985	
RN106-08	54 623,24		1995	
RN106-07	55 209,37		1995	
RN106-06	55 687,95		1995	
RN106-05	56 150,39		1995	
CeB78	56 832,60	Coyne et Bellier	1985	
RN106-04	57 005,09		1995	
RN106-03	57 664,23		1995	pont de Dions (loi ouvrage)
RN106-02	58 097,37		1995	
RN106-01	58 980,94		1995	
PontGard9	58 989,64		1999	Pont de Russan
CeB81	59 584,43	Coyne et Bellier	1985	
RUS04-P6	59 754,20			
RUS04-P7	59 970,59			
PontGard8	69 896,34		1999	Pont St Nicolas
CeB83	76 392,01	Coyne et Bellier	1985	
PontGard7	81 255,80		1999	Pont de Collias
CeB84	80 522,40	Coyne et Bellier	1985	
Vers3	84 163,30			
Vers2	84 252,87			
Vers1	84 354,33			
PontGard6	86 981,42		1999	Pont du Gard (loi ouvrage)
Sousta1	87 903,65			
Sousta2	88 032,93			
Sousta3	88 116,01			
Sousta4	88 197,69			
Sousta5	88 353,52			
CeB88	88 588,62	Coyne et Bellier	1985	
CeB89	89 453,44	Coyne et Bellier	1985	
PontGard5	90 418,98		1999	Pont de Remoulins (loi ouvrage)
CeB90	90 708,23	Coyne et Bellier	1985	
PontGard4	90 907,72		1999	Pont SNCF de Remoulins (loi ouvrage)
CeB91	91 461,98	Coyne et Bellier	1985	

Tableau 15 – Gardons réunis : liste des profils en travers « anciens » (pre 2002).

Nom profil	Pk (m)	Dressé par	Année	Remarque
CeB92	92 450,55	Coyne et Bellier	1985	
CeB93	93 299,98	Coyne et Bellier	1985	
PontGard3	93 432,47		1999	
Fournes4	93 483,52			
Fournes3	93 585,05			
Fournes1	94 108,59			
CeB95	94 778,08	Coyne et Bellier	1985	
CeB96	95 585,62	Coyne et Bellier	1985	
CeB97	96 222,98	Coyne et Bellier	1985	
CeB98	97 169,90	Coyne et Bellier	1985	
CeB99	97 942,59	Coyne et Bellier	1985	
CeB100	98 776,87	Coyne et Bellier	1985	
ISL9	98 928,24			
ISL8	99 028,24			
ISL7	99 137,52			
ISL6	99 345,07			
ISL5	99 486,76			
TGV13	99 594,28			
ISL4	99 646,19			
TGV12	99 699,41			
PontGard2	99 756,10		1999	
TGV10	99 816,39			
TGV9	99 889,19			
TGV8	99 976,26			
TGV6	100 103,26			
TGV5	100 130,93			
TGV4	100 277,40			
TGV3	100 369,03			
TGV1	100 503,82			
PontGard1	100 895,02		1999	

Tableau 16 – Caractéristiques des principaux ouvrages.

Ouvrages	Dimension générale	Cote de mise en charge (mNGF)	Source
Pont de la Haute Levade	cote tablier = 206,5		topo 2007
Pont du Fraissinet	cote tablier = 213,2		topo 2007
Seuil du Fraissinet	largeur crête = 2 m, longueur = 17 m	hauteur chute = 1,50 m	constuit entre 1950 et 1955
Seuil de la Levade amont	largeur = 0,3 à 0,5 m, longueur crête = 25 m	hauteur chute = 1,10 m	?
Seuil de la Levade aval	longueur crête = 30 m, largeur 1 m	hauteur chute = 0,60 m	avant 1946
Pont de la Gare (Levade)	cote tablier = 202,8		topo 2007
Passerelle de la piscine	cote tablier = 192,4		topo 2007
Pont des pelouses	cote tablier = 187,2		topo 2007
Pont RN86 à Remoulins	Largeur = 160 m (2 piles de 2 m de large)	28,10	BRL 2006
Pont SNCF à Remoulins	Largeur = 136 m (2 piles de 6 m de large)	24,09	BRL 2006
Pont A9 à Remoulins	Largeur = 250 m (3 piles de 1,5 m de large)	entre 25,09 et 25,92	BRL 2006

ANNEXE B - DONNEES DE LAISSES DE CRUE

Tableau 17 – Crue de septembre 2002 : laisses de crue disponibles.

Commune	Cote de l'eau (mNGF)	Incertitude (cm)	Source
Alès	122,49	-	DDE et SPC (fiche gam-1)
Anduze	130,4	-	DDE et SPC (rapport BRL)
Anduze	129,35	2	SMAGE (fiche R3-2)
Anduze	129,76	-	SMAGE (fiche R3-2)
Anduze	133,75	2	SMAGE (fiche R3-6)
Anduze	129,165	-	SMAGE (fiche R3-120)
Anduze	129,31	-	SMAGE (fiche R3-1)
Boucoiran et Nozières	80,35	1	SMAGE (fiche R3-11)
Boucoiran et Nozières	80,40	-	SMAGE (fiche R3-AR4)
Boucoiran et Nozières	80,56	-	SMAGE (fiche R3-10)

Tableau 17 – Crue de septembre 2002 : laisses de crue disponibles.

Commune	Cote de l'eau (mNGF)	Incertitude (cm)	Source
Brignon	77,94	-	SMAGE (fiche R3-16)
Brignon	77,80	-	SMAGE (fiche R3-17)
Brignon	76,673	-	SMAGE (fiche R3-18)
Brignon	78,27	1	SMAGE (fiche R3-19)
Brignon	78,442	-	SMAGE (fiche R3-20)
Brignon	77,19	-	SMAGE (fiche R3-21)
Brignon	79,307	-	SMAGE (fiche R3-22)
Brignon	77,80	-	SMAGE (fiche R3-AR6)
Brignon	76,67	5	SMAGE (fiche R3-18bis)
Brignon	79,611	-	SMAGE (fiche R3-15)
Cardet	106,62	-	SMAGE (fiche R3-24)
Cardet	106,83	-	SMAGE (fiche R3-25)
Cardet	106,50	5	SMAGE (fiche R3-119)
Cardet	106,63	-	SMAGE (fiche R3-23)
Collias	40,87	-	SMAGE (fiche R3-27)
Collias	39,63	-	SMAGE (fiche R3-28)
Collias	39,72	-	SMAGE (fiche R3-29)
Collias	38,70	3	SMAGE (fiche R3-30)
Collias	40,90	-	SMAGE (fiche R3-26)
Comps	14,19	-	SMAGE (fiche R3-32-AR12)
Comps	14,25	10	SMAGE (fiche R3-32-AR14)
Comps	14,25	10	SMAGE (fiche R3-34)
Comps	13,99	-	SMAGE (fiche R3-AR13)
Comps	14,20	1	SMAGE (fiche R3-31)
Dions	67,40	1	SMAGE (fiche R3-41)
Dions	66,60	4	SMAGE (fiche R3-42)
Dions	67,36	-	SMAGE (fiche R3-43)
Dions	67,14	-	SMAGE (fiche R3-40)
La Calmette	68,693	-	SMAGE (fiche R3-101-AR36)
La Calmette	67,57	5	SMAGE (fiche R3-102)
La Calmette	67,60	5	SMAGE (fiche R3-99)
La Calmette	67,61	3	SMAGE (fiche R3-126)
La Calmette	68,95	15	SMAGE (fiche R3-100)
Lézan	112,12	-	SMAGE (fiche R3-51)
Lézan	121,68	-	SMAGE (fiche R3-50)
Montfrin	17,10	1	SMAGE (fiche R3-53)
Montfrin	14,75	-	SMAGE (fiche R3-54)
Montfrin	16,20	10	SMAGE (fiche R3-128)
Montfrin	17,76	5	SMAGE (fiche R3-52)
Moussac	73,31	-	SMAGE (fiche R3-56)
Moussac	75,70	15	SMAGE (fiche R3-57)
Moussac	75,60	10	SMAGE (fiche R3-58)

Tableau 17 – Crue de septembre 2002 : laisses de crue disponibles.

Commune	Cote de l'eau (mNGF)	Incertitude (cm)	Source
Moussac	75,18	1	SMAGE (fiche R3-55)
Ners	89,30	5	SMAGE (fiche R3-60)
Ners	87,49	-	SMAGE (fiche R3-61)
Ners	89,29	-	SMAGE (fiche R3-62)
Ners	89,20	-	SMAGE (fiche R3-AR23)
Ners	89,20	10	SMAGE (fiche R3-59)
Remoulins	24,98	-	SMAGE (fiche R3-64)
Remoulins	26,75	-	SMAGE (fiche R3-65)
Remoulins	25,30	5	SMAGE (fiche R3-66)
Remoulins	29,17	-	SMAGE (fiche R3-67)
Remoulins	23,27	-	SMAGE (fiche R3-AR26)
Remoulins	28,32	-	SMAGE (fiche R3-63)
St Chaptès	67,70	-	SMAGE (fiche R3-68-AR27)
St Chaptès	67,53	-	SMAGE (fiche R3-69)
St Geniès de M.	87,67	-	SMAGE (fiche R3-73)
St Geniès de M.	84,50	10	SMAGE (fiche R3-74)
St Geniès de M.	85,19	5	SMAGE (fiche R3-124)
St Geniès de M.	88,78	10	SMAGE (fiche R3-125)
St Geniès de M.	88,83	-	SMAGE (fiche R3-72)
St Hilaire de B.	119,99	-	DDE et SPC (fiche gam-2)
St Hilaire de B.	114,79	-	SMAGE (fiche R3-76)
St Hilaire de B.	127,45	2	SMAGE (fiche R3-77)
St Hilaire de B.	123,46	-	SMAGE (fiche R3-78)
St Hilaire de B.	112,72	-	SMAGE (fiche R3-AR30)
St Hilaire de B.	116,34	-	SMAGE (fiche R3-129)
St Hilaire de B.	128,21	-	SMAGE (fiche R3-75)
St Martin de V.	144,48	-	SMAGE (fiche R3-110)
Ste Anastasie	57,00	-	SMAGE (fiche R3-AR31)
Ste Anastasie	67,12	10	SMAGE (fiche R3-85)
Ste Anastasie	67,12	-	SMAGE (fiche R3-86)
Ste Anastasie	56,26	-	SMAGE (fiche R3-83)
Thézières	14,73	5	SMAGE (fiche R3-126)
Thézières	14,55	5	SMAGE (fiche R3-89)
Vers Pont du G.	36,43	-	SMAGE (fiche R3-92-AR34)
Vers Pont du G.	36,54	-	SMAGE (fiche R3-92-AR41)
Vers Pont du G.	32,03	-	SMAGE (fiche R3-94)
Vers Pont du G.	29,71	-	SMAGE (fiche R3-95)
Vers Pont du G.	29,95	-	SMAGE (fiche R3-96)
Vers Pont du G.	36,25	-	SMAGE (fiche R3-91)
Vézénobres	103,59	-	SMAGE (fiche R3-97)
Vézénobres	98,87	-	SMAGE (fiche R3-118)

Tableau 18 – Crue de 1907 : laisses de crue disponibles.

Commune	Cote de l'eau (mNGF)	Incertitude (cm)	Source
Alès	128,2	-	Luc Neppel
Anduze	130,54	-	Luc Neppel
Collias	38,15	-	DDE et SPC (repère gav-380 et gav-279)
Collias	37,45	-	DDE et SPC (repère gav-382)
Ners	88,83	-	Luc Neppel
Remoulins	23,83	-	Luc Neppel
St Chaptès	75,23	-	Luc Neppel

Tableau 19 – Crue de 1958 : laisses de crue disponibles.

Commune	Cote de l'eau (mNGF)	Source
Anduze	129.93	AR1
Anduze	129.950	gam-33, gam-30
Anduze	129.130	gam-32
Anduze	130.000	gam-30
Anduze	136.930	gam-36
Brignon	77.265	gav-414
Brignon	76.570	gav-399 et gav-425
Brignon	76.87	
Brignon	76.1	gav-428 et gav-429
La Calmette	68.548	gav-66
La Calmette	68.810	gav-66, gav-404
Collias	38.150	gav-382
Collias	38.050	gav-283 et gav-287
Collias	39.000	gav-278
Collias	37.290	gav-285
Dions	63.250	AR 16
Dions	63.267	gav-402
Dions	63.130	gav-391, gav-403
Dions	62.890	AR 17
Généragues	137.580	gam-137
Moussac	75.430	gav-412, gav-319
Moussac	73.430	gav-320
Moussac	75.020	gav-430, gav-91, gav-419
Moussac	75.430	

Tableau 20 – Crue de décembre 1997 : laisses de crue disponibles.

Commune	Cote de l'eau (mNGF)	Incertitude (cm)	Source
Moussac	72,25	-	DDE30
Remoulins	20,80	-	DDE30

Tableau 19 – Crue de 1958 : laisses de crue disponibles.

Commune	Cote de l'eau (mNGF)	Source
St Chaptes	65.626	gav-405
Pont du Gard	30.260	AR 35
Pont du Gard	33.960	gav-375
St Hilaire de B.	113.530	AR 30
St Hilaire de B.	111.050	AR 29
Saint Chaptes	65.626	AR 28
Saint Chaptes	65.5	gav-96
Saint Chaptes	65.58	gav-405
Remoulins	23.220	AR 26
Remoulins	26.540	AR 24
Remoulins	26.540	gav-371
Ners	89.240	AR 23
Montfrin	15.570	AR 21
Montfrin	16.640	AR 20
Cardet	107.250	AR 10
Cardet	106.740	AR 9
Cardet	106.700	AR 8
Boucoiran	80.340	AR 4

ANNEXE C - ESTIMATION DES QUANTILES DE CRUE DES AFFLUENTS

Tableau 21 – Estimation des débits de pointe de différentes périodes de retour des affluents (méthodes ISL et Shyreg).

Affluents	Q ₁₀		Q ₅₀		Q ₁₀₀		Q ₁₀₀₀	
	ISL	SHY	ISL	SHY	ISL	SHY	ISL	SHY
Galeizon	207	297	480	527	727	644	-	1 133
Grabieux	-	109	-	204	-	256	-	481
Avène	118	146	275	281	546	359	-	683
Droude	264	251	611	498	934	643	-	1 226
Braune	328	243	769	485	1 196	631	-	1243
Bourdic	196	187	447	372	687	481	-	940
Alzon	409	267	941	566	1 484	754	-	1 546
Valliguière	-	54	-	152	-	220	-	527
Briancon	49	29	117	81	258	121	-	303

ANNEXE D - METHODOLOGIE DE CARTOGRAPHIE DES ZONES INONDEES

Objectif :

Pour chacun des lits identifiés par une approche géomorphologique (c'est à dire le lit mineur, le lit moyen, le lit majeur et le lit majeur exceptionnel), on cherche à définir un débit remplissant le lit et on lui attribue une période de retour. L'extension des crues de différentes périodes de retour est obtenue avec des logiciels de modélisation hydraulique 1D (RubarBE) ou 2D (Rubar20) et des hydrogrammes synthétiques.

Approche adoptée :

La cartographie est réalisée avec le logiciel ArcGis. Les résultats sont présentés à l'échelle du tronçon géomorphologiquement homogène. La nomenclature et la représentation adaptées pour la cartographie sont les suivantes :

- **Commune** permet de répertorier les zones où la cartographie géomorphologique correspond aux surfaces modélisées.
- **Géomorphologie** correspond aux zones où l'emprise cartographiée est supérieure à la surface modélisée
- **Hydraulique** permet d'identifier les secteurs où l'extension de la crue modélisée est supérieure à la cartographie géomorphologique.

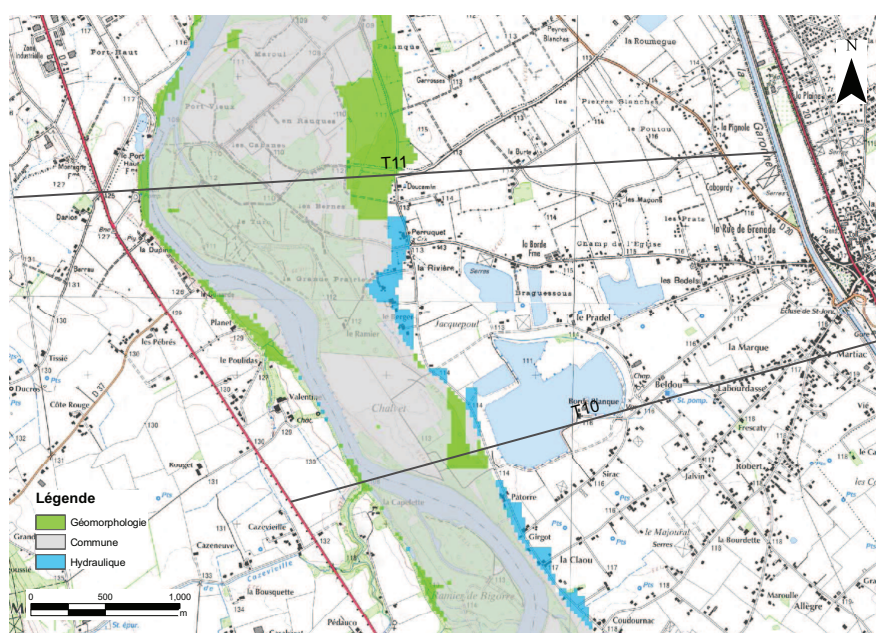


FIGURE 34 – Exemple de cartographie.

Les données nécessaires à la cartographie sont listées ci-après :

- Fichiers résultats de la modélisation hydraulique 1D (RubarBE) ou 2D (Rubar20)
- Polygones délimitant les tronçons
- Polygones définissant les tronçons
- Raster de référence pour les différents lits

Le découpage du site d'étude en tronçons homogènes est réalisé en prenant en compte la

présence d'ouvrages d'art ou d'affleurements rocheux affectant l'écoulement, les changements de styles fluviaux et les brusques variations de pentes.

Méthodologie

1) Mise en forme des fichiers résultats de RubarBE ou Rubar20

- A partir des fichiers de RubarBE « envelop », « geomac-i » + fichier « .st ou .m », on génère un fichier xyh avec l'utilitaire rub3mto300610.exe. [N.B. Le fichier « .st » doit comporter le même nombre de points pour chaque section (géométrie à compléter avec secma)].
- Pour Rubar20, à partir des fichiers « .env » « .frt » « .dat » l'utilitaire trxyh4100.exe permet de générer un fichier xyht.
- Le fichier xyh (ou xyht) est réécrit avec la routine R « Lire-xyh-reecrire.R » pour écrire un fichier texte importable sous ArcGis. [NB. Il faut penser à changer le répertoire d'environnement de travail dans R].

2) Traitement sous Arc Gis (version utilisée : 9.3)

- Charger le fichier texte avec les résultats et définir la projection des données xyh. [N.B. dans l'onglet « source », clic droit sur le fichier xyh « Display xy data », et sélectionner la projection appropriée (Lambert II ou Lambert III)]. Le fichier apparaît alors dans l'onglet « Display ». Enlever l'espace et le point dans le nom de la couche.
- ² Créer un « raster crue » à partir du fichier résultats. [N.B. Spatial Analyst \implies Convert \implies Features to Raster (avec Field = Zf et output cell size = 5)]
- A partir de la couche géomorphologique que l'on veut étudier (lit mineur par exemple), on crée un raster puis avec l'outil « raster calculator » on exécure la commande « IsNull rastlitmineur ». Cette couche est ensuite multipliée par une couche plus grande (par exemple la couche raster du lit majeur). L'option « Reclassify » du Spatial Analyst permet ensuite d'assigner une valeur de 1 aux zones inondées et de 3 aux zones sèches. [N.B. Penser à changer le chemin de sauvegarde de l'option spatial analyst \implies Options \implies Working directory (par défaut la couche est sauvée dans un fichier temporaire.)]
- Créer un shape de la zone de calcul [N.B. Attention le buffer et le raster crue doivent être dans un même groupe pour que le script fonctionne.]
- Charger le script Python « Flood-mappingFinalco.py » (Add toolbox \implies Add script). Au chargement du script Python, l'onglet Parameters doit être modifié comme illustré sur la figure 35.

Il faut également modifier le script afin d'adapter les noms des différents répertoires et les chemins. Deux systèmes de projection sont considérés dans le script : le Lambert 3 et le Lambert 2. Si un autre système de projection est utilisé, le script doit être modifié selon le système adopté pour la cartographie en fonction d'un fichier .prj existant.

Exécuter le script [N.B. les couches doivent être chargées dans le projet .mxd sinon le script plante]. Il faut également créer un répertoire nommé « P » et un répertoire nommé « Results » afin de permettre l'écriture des résultats pour les différents tronçons.

2. Les trois étapes qui s'ensuivent sont à réaliser uniquement lors de la première application du script.

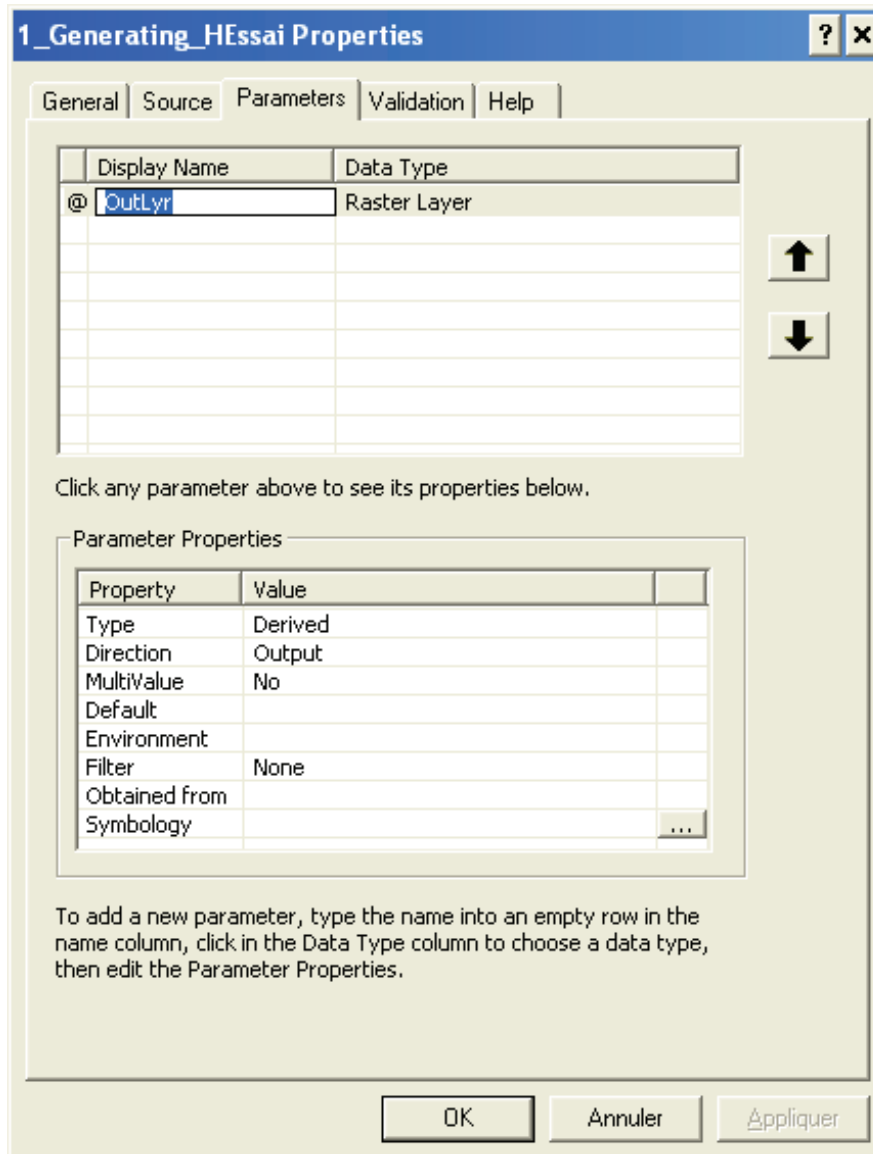


FIGURE 35 – Chargement du script Python sous Arcgis - modification de l'onglet « Paramètres ».

Dans Arcgis, charger le raster « Multiplied ». Les champs 5, 7, 15, 21 sont à renommer de la façon suivante :

- 5 \implies Géomorphologie
- 7 et 15 \implies Commune³
- 21 \implies Hydraulique

3) Exportation des cartes et réalisation des graphiques

La mise en page des cartes et la récupération des données pour tracer des graphiques est détaillée ci-dessous :

3. Le champ 15 correspond à la surface commune non inondée; cette valeur peut donc être supprimée de l'affichage

- Lecture des résultats obtenus avec arcgis pour les différents tronçons : le script « Read-resultsfinal.R » permet de créer un fichier texte compilant l'ensemble des résultats.
- Exportation des cartes des tronçons : l'utilitaire arcgis « Zoom and export settings » permet d'exporter des .pdf ou des .eps de tous les tronçons. La création de « Bookmarks » pour chaque polygone définissant les tronçons permet d'exporter l'ensemble des cartes en une seule fois. Il faut passer en mode « layout », afin de pouvoir ajouter la légende et l'échelle de la carte.
- Création d'un fichier récapitulatif avec l'ensemble des cartes pour les différents tronçons : un fichier latex permet de réunir l'ensemble des cartes en un seul document.