

Annexe 5 : Gardon de Saint Jean à Saint Jean du Gard

<i>Gardon de Saint Jean à Saint Jean du Gard</i>	1
<i>I. Recueil de données</i>	2
I.1. Topographie et reconstitution de l'évolution verticale du lit.....	2
I.2. Données hydrométriques	6
<i>II. Reconstitution des débits à St Jean du Gard</i>	7
II.1. Définition d'un barème.....	7
II.2. Estimation des débits.....	8
II.3. Vérification et validation des résultats	9
<i>III. Analyse probabiliste des débits de crue à St Jean du Gard</i>	12
III.1. Série de débit utilisée et représentation des incertitudes	12
III.2. Distribution des valeurs maximales annuelles	13

I. Recueil de données

I.1. Topographie et reconstitution de l'évolution verticale du lit

Sources utilisées pour la topographie et les PHE anciennes à Saint-Jean-du-Gard

On a récapitulé dans le tableau suivant les sources utilisées pour la topographie ancienne à Saint-Jean.

Références	Date	Informations
AD30 3 O 1441	1910	Topographie + PHE des crues de 1890, 1861 et 1907

Tableau 1 : principales sources documentaires pour la topographie à St-Jean du Gard

Les archives n'ont pas délivré beaucoup d'informations anciennes pour ce secteur. On ne dispose que de deux profils longitudinaux partiels, relativement aisés à recalcr et de quelques laisses de crues parmi lesquelles seule celle de 1890 indique une ligne d'eau.

Profils en long du lit et lignes d'eau à Saint-Jean du Gard : critique des données

Cotes de la fin du XIX^e et du début du XX^e siècle

Le document retrouvé permet de restituer les profils topographiques du fond du lit et les lignes d'eau de la crue de 1890.

Le profil en long de 1905 ne pose pas de problème particulier dans la mesure où il est formulé en cotes NGF (système Lallemand) qu'il suffit de convertir dans le système actuel. Cependant, les données disponibles ne sont pas suffisamment nombreuses (points trop espacés et présents uniquement au niveau des ponts) pour pouvoir apporter des conclusions précises sur le fond du lit à cette époque.

Cotes récentes

Deux profils sont disponibles pour la topographie contemporaine : celui du Service des Grandes Forces Hydrauliques, levé en 1948 (ligne d'eau d'étiage) et le profil levé en 2003 par le Cabinet Richer. Ils n'ont pas posé de problème de recalage.

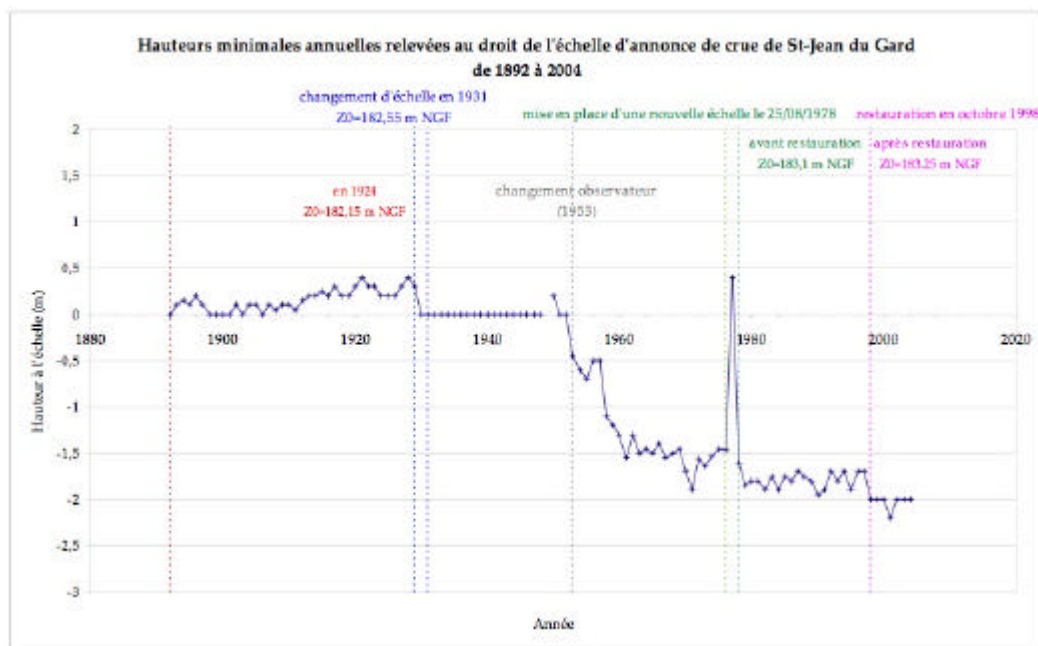


Figure 2: Hauteurs minimales annuelles relevées à l'EAC de Saint-Jean-du-Gard entre 1892 et 2004 — source : K. Pobanz, 2006)

On remarque une cassure dans les années 1930 ; elle correspond au changement d'échelle de 1931.

Supposition sur l'altitude des zéros d'échelles :

Nous supposons qu'aucun changement d'échelle supplémentaire, autre que ceux mentionnés ci-dessus, n'a eu lieu. La reconstitution des altitudes successives des échelles est alors immédiate.

Synthèse des valeurs de Z0 prises en compte pour la suite de l'étude :

- de 1892 à 1929, Z0=182,15 m NGF
- de 1931 à 1976, Z0=182,55 m NGF
- de 1978 à 1998, Z0=183,10 m NGF
- de 1998 à 2004, Z0=183,25 m NGF

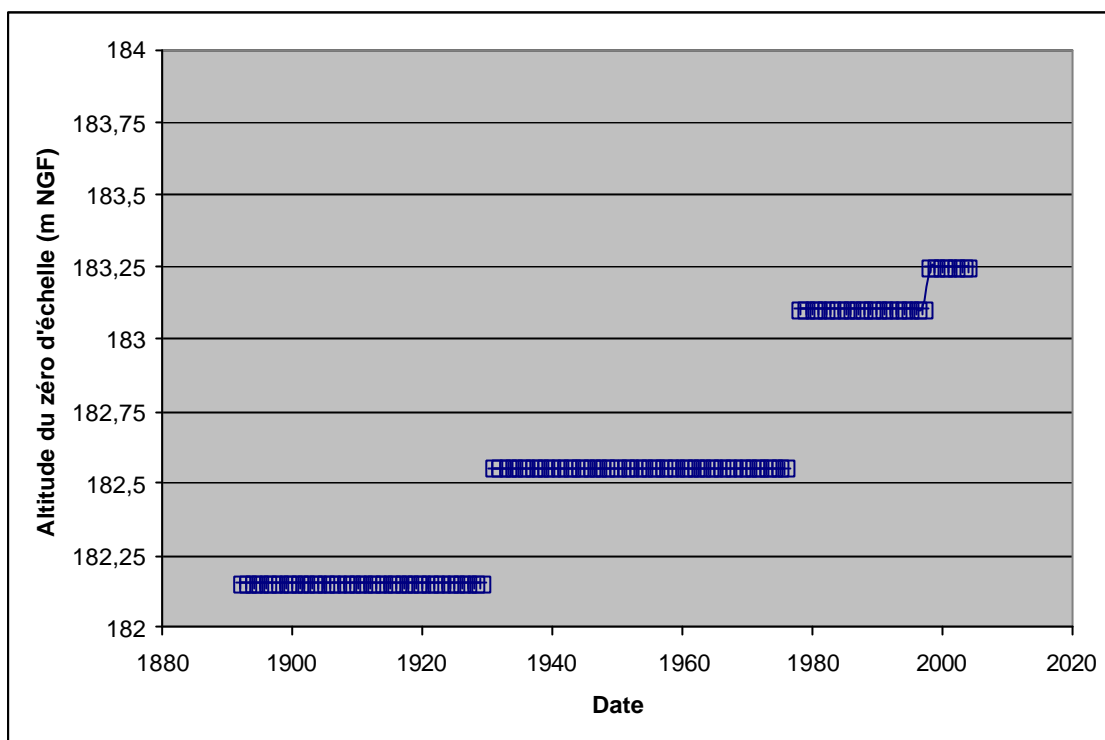


Figure 3: Variations de la hauteur de l'échelle d'annonce des crues de Saint-Jean-du-Gard. NB : deux hypothèses peuvent être faites pour les années 1980-1998.

Supposition sur le seuil :

Comme le montre la ligne d'eau de 1948 (**Figure 1**), un seuil était présent en aval du pont Vieux à cette date. Lorsque nous nous sommes rendus sur place, nous avons constaté que ce seuil n'existe plus (un autre seuil est présent en amont du pont Vieux).

Les valeurs négatives ne sont pas relevées de 1931 à 1948, ce qui rend impossible une quelconque interprétation. Cependant, après 1950, la courbe chute brusquement. Nous feront alors l'hypothèse que cette brusque variation est due à la suppression du seuil à l'aval du pont Vieux. En visualisant également la courbe de la **Figure 2**, nous supposons que cette suppression a eu lieu au voisinage de l'année 1957.

Périodisation de l'évolution verticale du lit du Gardon à Saint-Jean

Les éléments dont nous disposons permettent de proposer une périodisation de l'évolution du lit du Gardon de Saint-Jean. On distinguera deux périodes.

Une topographie récente, valable après la crue 1958 et se basant sur la topographie du cabinet Richer levée en 2003.

Une topographie ancienne, se basant sur la ligne d'eau d'étiage de 1948 et considérant qu'un seuil était présent en aval du pont Vieux avant 1958. En aval du pont Neuf, la topographie reste inchangée tandis qu'en amont, la topographie récente est rehaussée d'en moyenne 1 à 2 mètres selon les sections.

I.2. Données hydrométriques

Crués anciennes à Saint-Jean

L'ensemble des crués dépassant la cote d'alerte et enregistrées sur les Gardons aux stations d'Alès, d'Anduze, de Saint-Jean-du-Gard et de Mialet a été répertorié dans un tableau général donné en annexe.

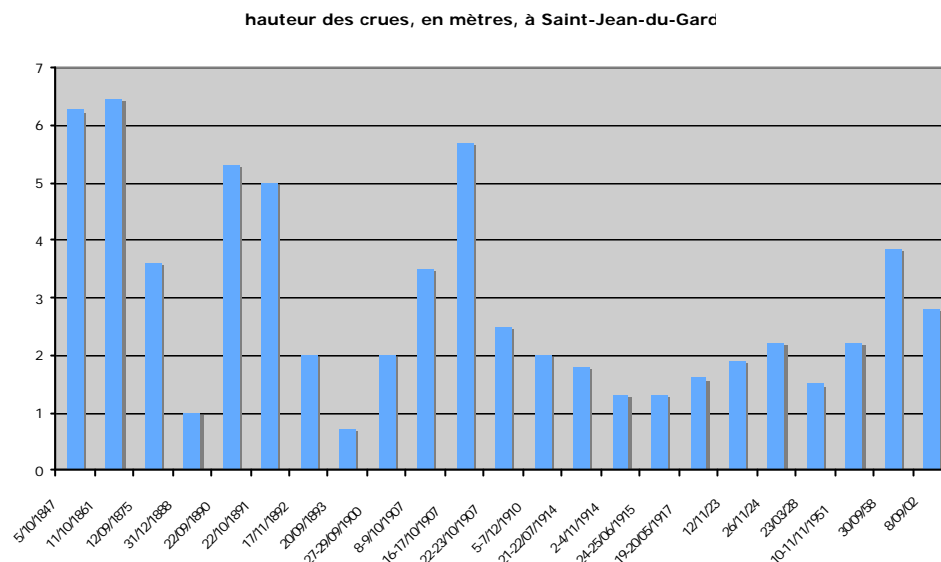


Figure 4: Hauteur atteinte par les crués historiques connues à Saint-Jean-du-Gard.

Cotes et lignes d'eau des crués du Gardon à Saint-Jean

Les hypothèses proposées pour l'altitude du zéro d'échelle permettent de convertir les hauteurs d'eau des crués en cotes altitudinales, exploitables dans les modélisations hydrauliques. Les résultats sont donnés en annexe.

Hierarchisation des crués majeures du Gardon à Saint-Jean

Date	H. en mètres	Cote en NGF
11 octobre 1861	6,45	188,60
22 septembre 1890	5,3	187,45
22 octobre 1891	4,5	186,65
30 septembre 1958	3,85	186,40
9 septembre 2002	2,8	186,05
12 septembre 1875	3,6	185,75
9 octobre 1907	3,5	185,65
1 ^{er} octobre 1920	3,3	185,45
23 octobre 1977	2,2	185,30
10 novembre 1951	2,2	184,75

Tableau 2 : hiérarchisation des crués à St Jean du Gard à partir des cotes

On a classé les principales crués du Gardon de Saint-Jean par ordre d'importance décroissante. Les hauteurs sont extraites du tableau général donné en annexe. Le tableau permet de constater que les plus fortes crués ne sont pas renseignées sous forme de ligne

d'eau à Saint-Jean-du-Gard. On peut donc penser que les débits modélisés à partir de la crue de 1890 seront un minimum pour cette section.

II. Reconstitution des débits à St Jean du Gard

II.1. Définition d'un barème.

Trois courbes de tarages ont été retenues conformément à la périodisation de l'évolution du lit proposé ci-dessus. Les lois déterminées pour la reconstitution des débits de crues historiques au niveau de l'échelle d'annonce de crue de Saint-Jean du Gard sont répertoriées sur la **Figure 6** Elles sont obtenues en traçant les courbes de tendance des courbes de tarages établies (Pobanz, 2006).

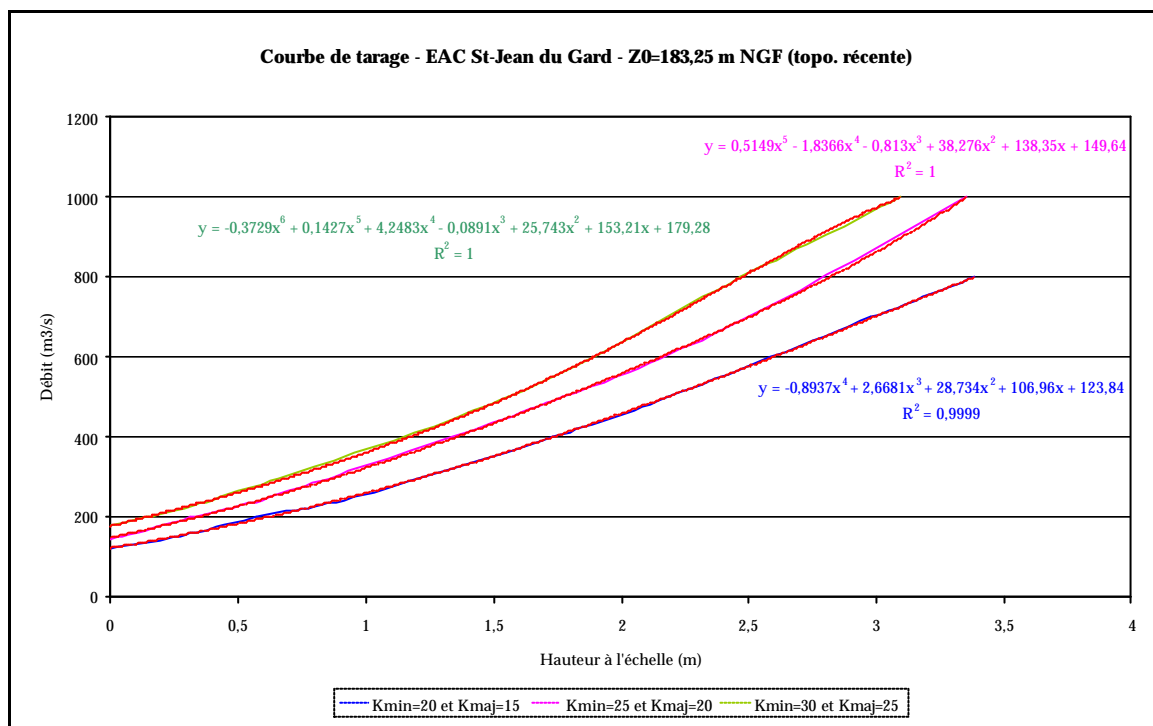


Figure 5 : Détermination des lois $Q=f(h)$

On note x la hauteur à l'échelle (en m) et y le débit correspondant (en $m^3.s^{-1}$).

TOPO ANCIENNE		Kmin-Kmaj	
01/01/1892 -> 31/08/1929 : Z0=182,15 m NGF	20-15	$y = 5,7306x^4 - 60,294x^3 + 254,17x^2 - 328,69x + 136,37$	
	25-20	$y = 9,4533x^4 - 95,258x^3 + 380,24x^2 - 501,24x + 215,24$	
	30-25	si $h < 4,958$:	$y = 4,9843x^5 - 51,653x^4 + 192,33x^3 - 263,65x^2 + 199,14x - 73,844$
		si $h \geq 4,958$:	$y = 19114x^2 - 186632x + 457073$
01/07/1931 -> 30/09/1958 : Z0=182,55 m NGF	20-15	$y = 5,7151x^4 - 50,51x^3 + 182,98x^2 - 142,51x + 34,12$	
	25-20	$y = -1,7741x^5 + 29,671x^4 - 161,33x^3 + 412,04x^2 - 329,78x + 83,823$	
	30-25	si $h < 4,558$:	$y = 4,5607x^5 - 35,848x^4 + 87,656x^3 - 9,0001x^2 - 4,1973x - 1,2965$
		si $4,558 \leq h < 4,688$:	$y = 5384,6x - 22943$
	si $h \geq 4,688$:	$y = -759,9x^2 + 8317,1x - 19990$	
TOPO RECENTE			
01/10/1958 -> 12/09/1976 : Z0=182,55 m NGF	20-15	$y = -0,4083x^4 + 2,3695x^3 + 24,636x^2 + 71,373x + 61,112$	
	25-20	$y = 32,44x^2 + 93,646x + 69,693$	
	30-25	$y = 3,059x^3 + 27,352x^2 + 106,78x + 88,241$	
25/08/1978 -> 31/10/1998 : Z0=183,1m NGF	20-15	$y = -0,8937x^4 + 3,2043x^3 + 27,412x^2 + 98,532x + 108,44$	
	25-20	$y = 0,1873x^4 + 0,0182x^3 + 31,632x^2 + 128,5x + 131,39$	
	30-25	$y = -1,3319x^5 + 4,1232x^4 + 5,2791x^3 + 21,846x^2 + 139,84x + 158,03$	
01/11/1998 -> 31/12/2004 : Z0=183,25m NGF	20-15	$y = -0,8937x^4 + 2,6681x^3 + 28,734x^2 + 106,96x + 123,84$	
	25-20	$y = 0,5149x^5 - 1,8366x^4 - 0,813x^3 + 38,276x^2 + 138,35x + 149,64$	
	30-25	$y = -2,0202x^5 + 6,9288x^4 + 2,8236x^3 + 21,274x^2 + 152,08x + 179,77$	

Figure 6. Lois déterminées pour la reconstitution des débits de crues historiques au niveau de l'EAC de Saint-Jean du Gard

II.2. Estimation des débits

Une fois ce barème déterminé, il est possible de reconstituer le débit de toutes les crues s'étant produites après 1892 (**Figure 7**). Pour cela, connaissant la hauteur d'eau à l'échelle d'annonce de crue et la date à laquelle l'événement s'est produit, il suffit de se référer au barème ci-dessus et d'appliquer la formule correspondante. Le rond bleu indique le débit reconstitué d'une crue donnée. L'incertitude sur les débits est représentée en violet, les extrémités symbolisant les débits maximaux (en vert) et les débits minimaux (en rose). Les traits verticaux en pointillé représentent les changements d'échelle.

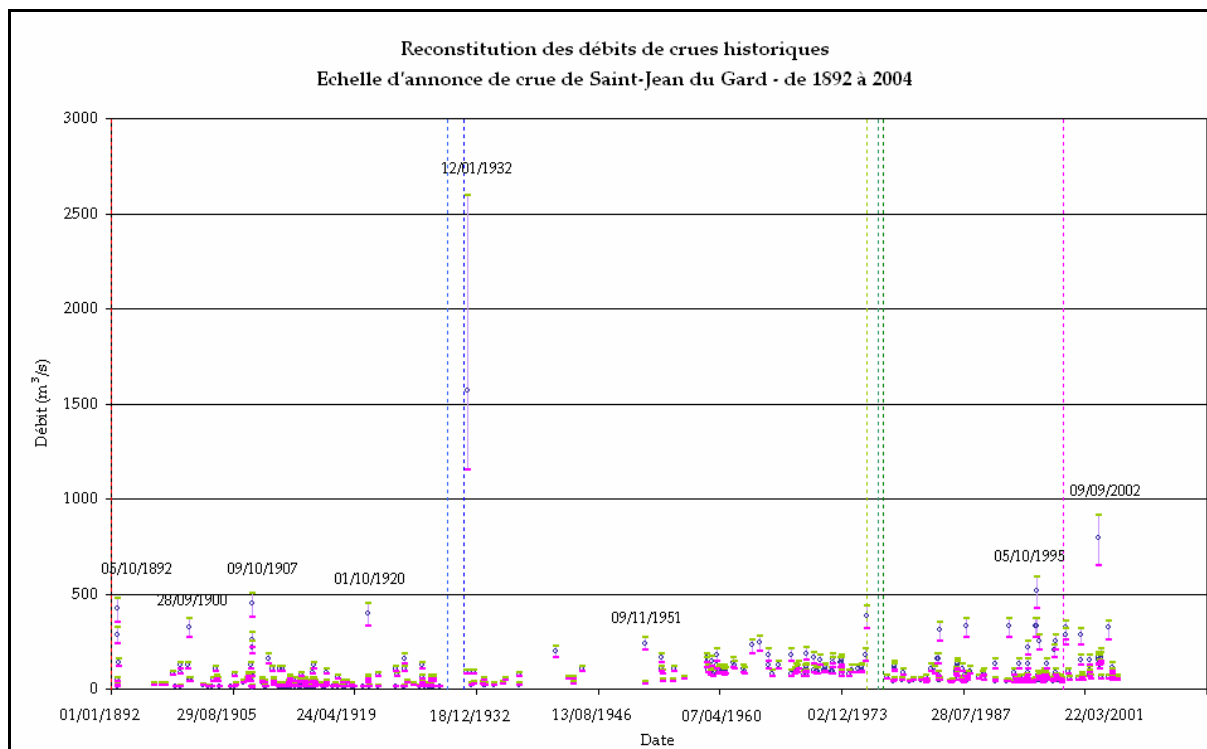


Figure 7 : Reconstitution des débits de crues historiques au niveau de l'EAC de Saint-Jean du Gard

II.3. Vérification et validation des résultats

Nous disposons de repères de crue pour l'événement de 2002. Nous pouvons ainsi voir si la ligne d'eau correspondant au débit reconstitué pour la crue de 2002 coïncide avec ces repères.

D'après le document répertoriant les cotes de crues journalières de 1892 à 2004 fourni par nos collaborateurs, la hauteur maximale atteinte à l'EAC en 2002 est de 2,80 m (le 09/09/2002).

D'après notre barème, le débit moyen correspondant est de $795 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. La ligne d'eau calculée avec ce débit et un couple de coefficients de Strickler moyens ($K_{\min} = 25 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ et $K_{\text{maj}} = 20 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$) est représentée **Figure 8**. La ligne d'eau minimale est obtenue pour un débit de $652 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ et pour un couple de Strickler maximal ($K_{\min} = 30 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ et $K_{\text{maj}} = 25 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$). De même, la ligne d'eau maximale est obtenue pour un débit de $917 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ et pour un couple de Strickler minimal ($K_{\min} = 20 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ et $K_{\text{maj}} = 15 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$).

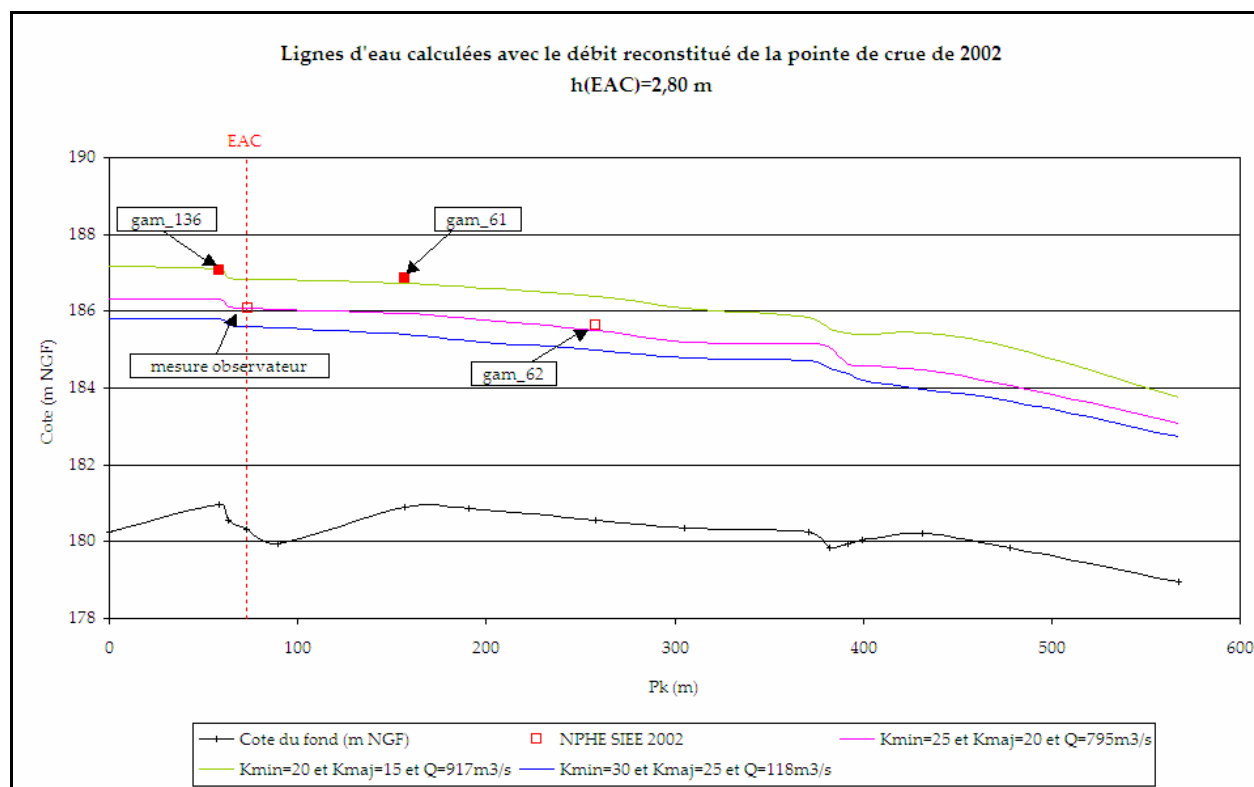


Figure 8 : Lignes d'eau telles que la hauteur à l'EAC soit de 7,60m

La ligne d'eau moyenne reconstituée pour la pointe de crue de 2002 coïncide avec le NPHE n° gam_62 et de manière évidente avec la mesure de l'observateur. Cependant, il faut noter que la position de l'ensemble des NPHE est relativement douteuse. En effet, la mesure faite par l'observateur et le NPHE noté gam_62 sont beaucoup plus bas que les NPHE notés gam_136 et gam_61.

Deux interprétations sont alors possibles :

- soit on considère que la mesure de l'observateur est correcte et que les NPHE notés gam_136 et gam_61 sont beaucoup trop hauts pour être représentatifs de la hauteur d'eau atteinte lors de la crue ;
- soit on tient compte des remarques de la SIEE issues du rapport sur l'étude de l'événement de septembre 2002, qui sont tout à fait pertinentes :
 - ✓ « le NPHE n° gam_62 est située derrière l'endiguement en rive gauche au droit d'une grille du réseau pluvial : elle n'est donc pas, à priori, représentative du niveau du Gardon ;
 - ✓ le NPHE n° gam_61 est localisée dans un cabanon dont l'entrée est face aux écoulements : il est fort probable que le niveau relevé à l'intérieur se rapproche de celui de la charge, tout ou partie de l'énergie cinétique des flots se transformant en énergie potentielle au droit de cet obstacle ;
 - ✓ le NPHE n° gam_136 est représentative du niveau du Gardon à l'amont du Vieux Pont
 - ✓ la mesure de l'observateur (2,8 m, soit 186,10 m NGF) est anormalement basse par rapport aux autres valeurs. »

Dans ce cas, il est intéressant d'estimer la hauteur maximale atteinte à l'échelle d'annonce de crue de Saint-Jean du Gard à l'aide de notre modèle « récent » et des NPHE gam_136 et gam_61. Le principe est de simuler plusieurs débits et de déterminer quel est celui pour lequel l'écart entre la ligne d'eau moyenne calculée et les NPHE est minimale. Par itération, nous estimons que pour la crue de 2002, la hauteur maximale atteinte à l'échelle d'annonce de crue de Saint-Jean du Gard est de 3,61 mètres, pour un débit de $1200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ([1090 ;1320]).

La ligne d'eau calculée avec ce débit et un couple de coefficients de Strickler moyens ($K_{\min} = 25 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ et $K_{\text{maj}} = 20 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$) est représentée **Figure 9**. La ligne d'eau minimale est obtenue pour un débit de $1090 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ et pour un couple de Strickler maximal ($K_{\min} = 30 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ et $K_{\text{maj}} = 25 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$). De même, la ligne d'eau maximale est obtenue pour un débit de $1320 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ et pour un couple de Strickler minimal ($K_{\min} = 20 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ et $K_{\text{maj}} = 15 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$).

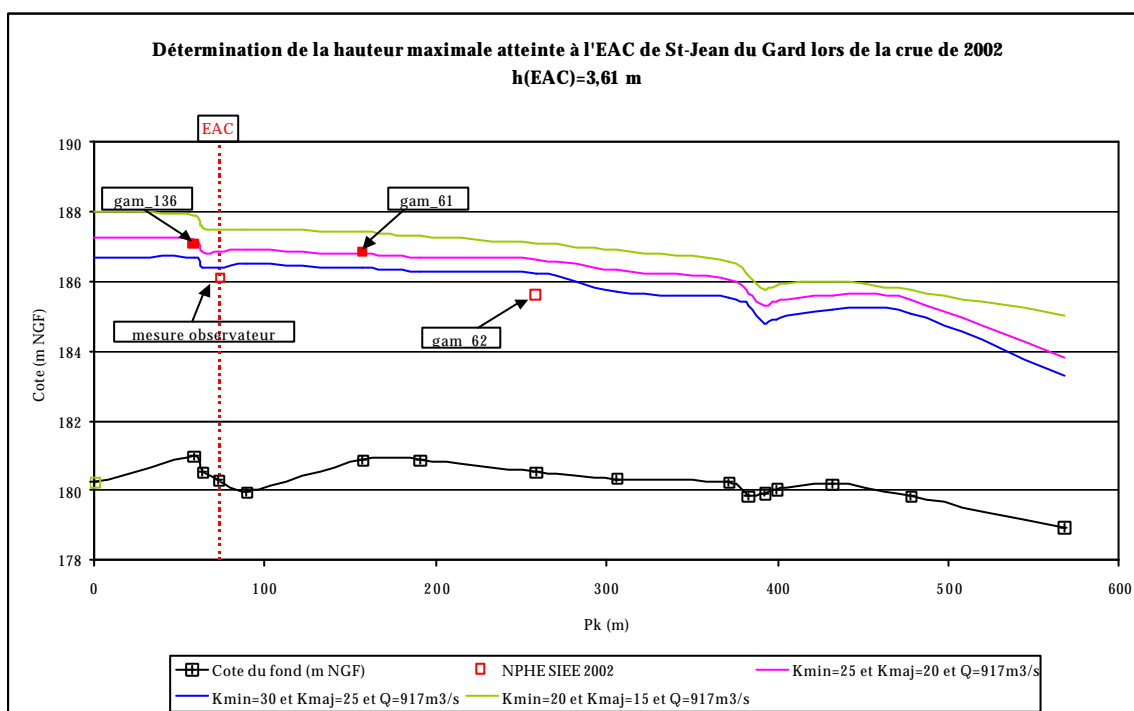


Figure 9 : Estimation de la hauteur maximale à l'échelle pour la crue de 2002

Notons que le débit de pointe estimé par la SIEE lors de l'étude sur la crue de 2002 est compris entre 950 et $1250 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, pour une hauteur moyenne de 3.56 m à l'échelle d'annonce de crue DDE.

III. Analyse probabiliste des débits de crue à St Jean du Gard

III.1. Série de débit utilisée et représentation des incertitudes

La série traitée va résulter de deux sources de hauteurs :

- Echelle d'annonce des crues à St Jean (1892-2005). CT modèle «2003 » à partir de 1958 ; CT modèle «ancien » lorsqu'un seuil en aval de Pont Vieux existait encore, avant 1958.
- Recueil d'informations issues du classement qualitatif des crues et de la base de données des hauteurs de crues anciennes établis par les historiens : 1741-1891.

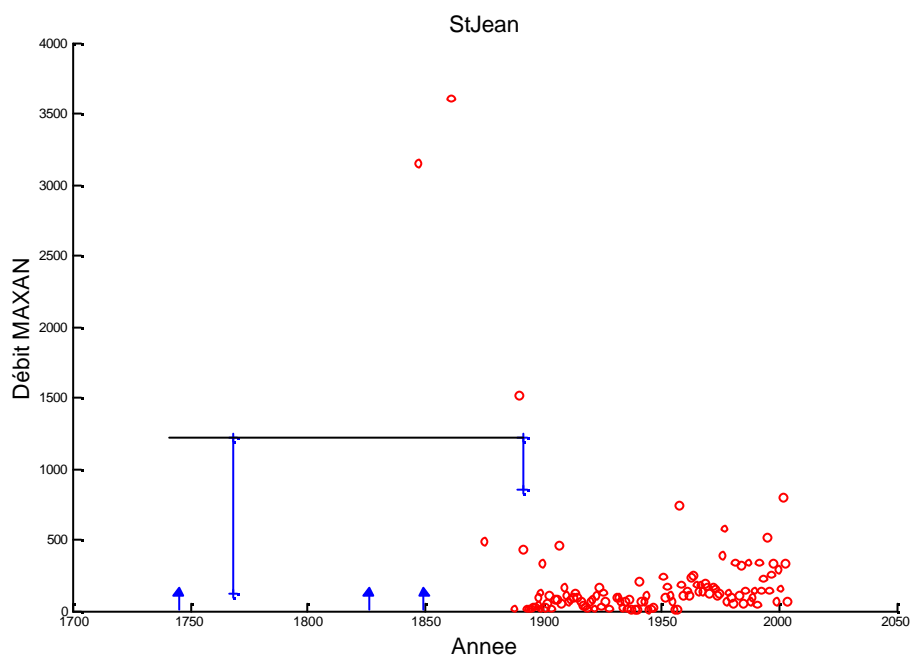


Figure 10. Série de débit de pointe à St Jean du Gard (1741-2005)

Correction d'incohérences

Crue du 30/09/1958 à St Jean : dans la base de données HistoCrues on trouve une cote de 3.85 m, alors que la chronique des hauteurs journalières indique 1.8. Compte tenu de la puissance de la crue à l'aval, 1,8 est peu plausible. On a retenu 3.85 m.

Seuils de perceptions

Sur la période 1741-1891, il a été pris à 1216 m³/s, qui correspond à la cote d'alerte de la station en 1892

Erreurs de courbes de tarage

Deux erreurs vont être modélisées :

- Pour les données avant le 30/09/1958, erreur multiplicative [0.7 ;1.3]
- A partir du 30/09/1958, on prendra [0.8 ;1.2]

III.2. Distribution des valeurs maximales annuelles

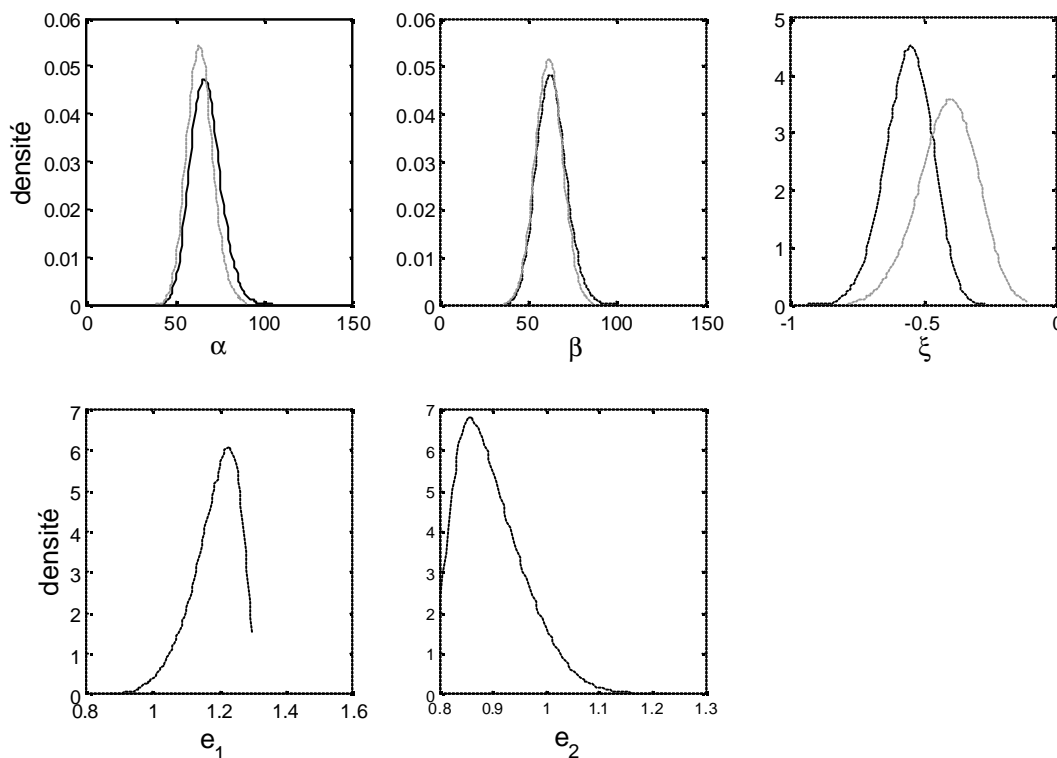


Figure 11. Distribution des paramètres de la loi GEV, et des erreurs sur la courbe de tarage

Sur la **Figure 11** les traits noirs représentent les résultats en prenant en compte toutes les données et les erreurs de CT, les traits clairs représentent les résultats en prenant les données 1892-2005, sans erreur de courbe de tarage. Les densités des erreurs multiplicatives e_1 et e_2 sur les courbes de tarage (avant et après 1958) ne contiennent la valeur 1 qu'en queue de distribution : le modèle probabiliste identifie une erreur systématique de CT.

La prise en compte des informations antérieures à 1892 conduit à des quantiles plus élevés (**Figure 12** ; traits forts pour l'ensemble des données, traits faibles avec les données 1892-2005). La prise en compte de ces informations ne modifie que très peu les paramètres d'échelle et de position, mais conduit à un paramètre de forme très fort (environ -0.6 en valeur moyenne). En conséquence, des quantiles bien plus élevés sont estimés. On peut y voir l'influence de deux valeurs exceptionnelles autour de $3000\text{m}^3/\text{s}$ avant 1892. Comme dans le cas du Mialet, le modèle identifie des erreurs de courbe de tarage qui sont concordantes avec la rupture que l'on observe sur les données aux alentours de 1958. L'ajustement aux fréquences empiriques est satisfaisant.

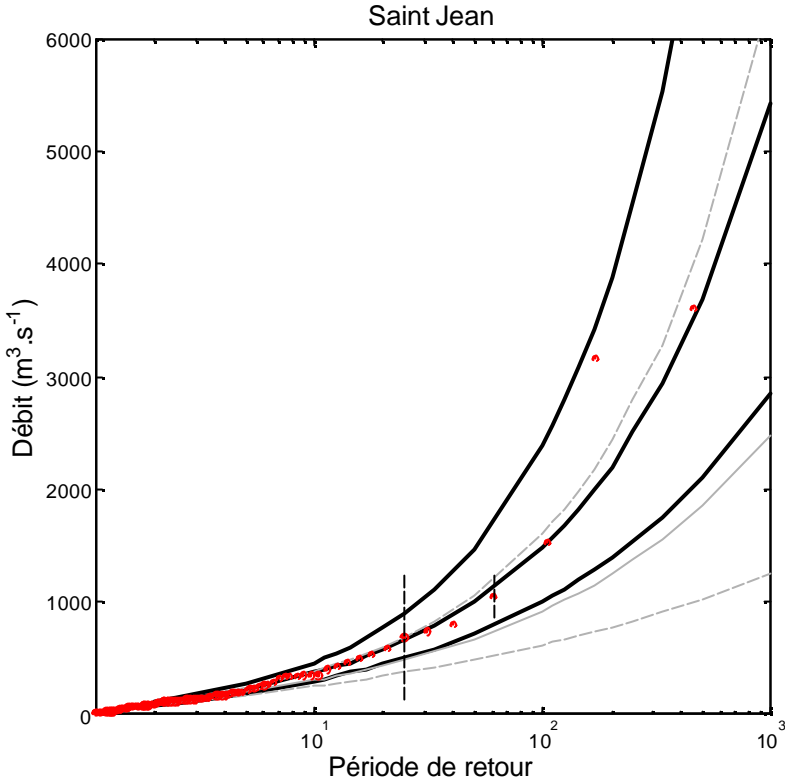


Figure 12. Loi GEV sur les valeurs maximales annuelles à St Jean