

Annexe 6 : Gardons d’Alès à Alès

<i>Gardons d’Alès à Alès</i>	1
<i>I. Recueil des données</i>	2
I.1. Topographie et reconstitution de l’évolution verticale du lit.....	2
I.2. Données hydrométriques	5
<i>II. Reconstitution des débits à Alès</i>	9
II.1. Définition du barème	9
II.2. Estimation des débits.....	11
II.3. Vérification et validation des résultats	11
<i>III. Analyse probabiliste des débits de crue du Gardon à Alès</i>	12
III.1. Série de débit utilisée et représentation des incertitudes	12
III.2. Distribution des valeurs maximales annuelles	14

I. Recueil des données

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

Sources utilisées pour la topographie et les PHE anciennes à Alès

Le tableau suivant récapitule les sources utilisées pour la topographie ancienne à Alès.

Références	Date	Informations
AD30 7 S 268	1851	Topographie + PHE crue de 1846
AN F14 6581	1847	Cotes relatives de la crue de 1846 aux ponts
AD30 7 S 265	1847	Topographie + PHE crue de 1846
AD30 7 S 265	1865	Topographie + PHE crue de 1846
AD30 7 S 265	1850	Topographie + PHE crue de 1846

Tableau 1 : sources utilisées pour la topographie ancienne à Alès.

Les dossiers consultés aux archives n’ont pas donné d’informations antérieures à 1846. On ne possède cependant qu’une seule ligne d’eau de crue antérieure à 1958, celle de la crue de 1846. Le profil en long des PHE de cette crue ainsi que le profil en long du lit du Gardon ont été représentés à plusieurs reprises dans des documents produits entre 1847 et 1865. Les nombreuses incompatibilités entre les profils ont nécessité un examen et une confrontation critiques des sources.

Profils en long du lit et des PHE à Alès : critique des données

Cotes de la fin du XVIII^e siècle

Les éléments topographiques et hydrauliques sont rares. Un document (AC Alès III o 5) permet de reconstituer la cote des PHE de la crue de 1768, en un point seulement, moyennant une conversion des mesures de l’Ancien Régime dans le système métrique actuel.

Détermination des profils du XIX^e siècle

Le profil ancien le plus fiable est extrait d’un document daté de 1865 (AD30 7 S 265) qui donne les cotes de l’étiage et des PHE de 1846. Les levés datent de 1865. Pour recalculer les profils anciens, on a considéré comme cote de référence les hautes eaux de 1846 au Pont Vieux, sur la face amont, soit 130,24 m dans le système de nivellement actuel, en partant de l’hypothèse que cette cote était le fruit d’observations visuelles, donc stable.

On peut ainsi dresser un deuxième profil en long du Gardon, à partir des cotes relatives données par un document datant de 1847 (AD30 7 S 265). Il a suffi de transformer ces cotes en altitudes en considérant que la hauteur d’eau au Pont Vieux (8,12 m) équivalait à 130,24 m NGF. On obtient deux profils (topographique et hydraulique) dont les altitudes générales sont environ un mètre en dessous du profil de 1865.

Notre interprétation de la différence altitudinale est la suivante : après la crue (à la date des relevés du document de 1847) le fond du lit se trouvait à une altitude plus basse, soit par surcreusement, soit parce qu’il était moins comblé par des apports alluviaux. Entre 1846 et 1865, le fond du lit s’est relevé, probablement parce que le barrage alimentant le Moulin Neuf a été construit (ou reconstruit après la crue de 1846). Les levés topographiques faits en 1865

ne représentent probablement pas la ligne d’eau véritable de la crue de 1846 mais une ligne d’eau reconstituée avec certaines des hauteurs d’eau connues à partir de l’altitude du lit de l’année 1865. A l’appui de cette interprétation, une mention concordante dans les documents de 1847 (deux dossiers : AN F14 6581 et AD30 7 S 265) : la chute de la ligne d’eau de 1,85 m entre l’amont et l’aval du Pont Vieux. Elle apparaît bien sur le profil reconstitué à partir des données de 1847.

Profils du XX^e siècle

On ne dispose de pratiquement aucune information entre 1900 et 1948.

Les profils plus récents (GFH, BCEOM, Coyne et Bellier, DDE) ne posent pas de problèmes d’interprétation particuliers excepté le profil de la DDE, datant de 2003, qui annonce un net relèvement des altitudes du lit mineur par rapport à tous les profils compris entre 1948 et 1996. Les altitudes au droit du Pont Vieux sont même presque égale à celles du milieu du XIX^e siècle. Nous posons la question de savoir si le recalage de ce profil a été correctement fait dans la mesure où le lit mineur du Gardon à Alès présente un fort encaissement depuis la fin du XIX^e – début XX^e siècle. La seule hypothèse admissible est la fixation du fond du lit à la fin des années 1990 par la construction de radiers visant à préserver les piles des ponts de l’affouillement. L’hypothèse d’un relèvement du fond du lit est à rejeter. Cette topographie nous paraît donc douteuse.

La **Figure 1** présente le profil en long de 1985 du Gardon d’Alès à Alès ainsi que quelques points de celui de 1992 reconstitués par nos collaborateurs. La topographie récente de 2003 y a été reportée. Nous constatons que la topographie récente se détache considérablement des autres profils en long plus anciens.

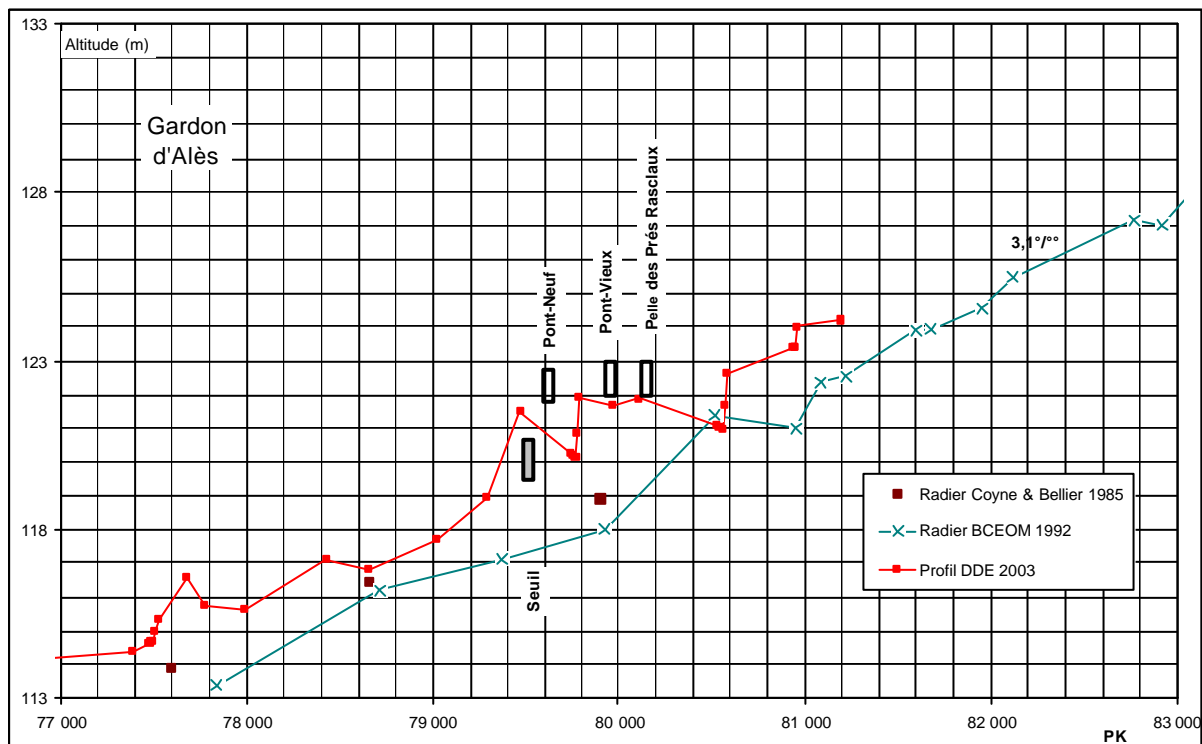


Figure 1. Profils en long de 1985 à 2003

Les conclusions que l’on peut tirer de ce type de données sont complétées par les données hydrométriques anciennes que l’on a récoltées.

Lignes d’eau

Les données topographiques des documents anciens sont souvent accompagnées d’informations sur les lignes d’eau d’étiage ainsi que sur les lignes des plus hautes eaux connues. De nombreuses lignes d’eau ont pu être reconstituées par nos collaborateurs (**Figure 2**). Les lignes d’eau d’étiage ont un rôle important car en plus de nous informer sur la présence éventuelle d’un ouvrage, elles peuvent également nous renseigner sur le profil en long de la rivière lorsque la topographie est manquante. Les lignes des plus hautes eaux seront utilisées pour valider les résultats obtenus à l’issue de la reconstitution des débits des crues historiques. La topographie récente y a été reportée (linéaire rouge).

En étiage, peu d’eau s’écoule dans les petites rivières telles que les Gardons et les lignes d’eau d’étiage sont représentatives du fond du lit. La ligne d’eau de 1996 nous montre qu’un seuil était présent en aval du Pont Neuf à cette date. De plus, les lignes d’eau de 1846 et 1996 sont très proches en amont du pont Neuf.

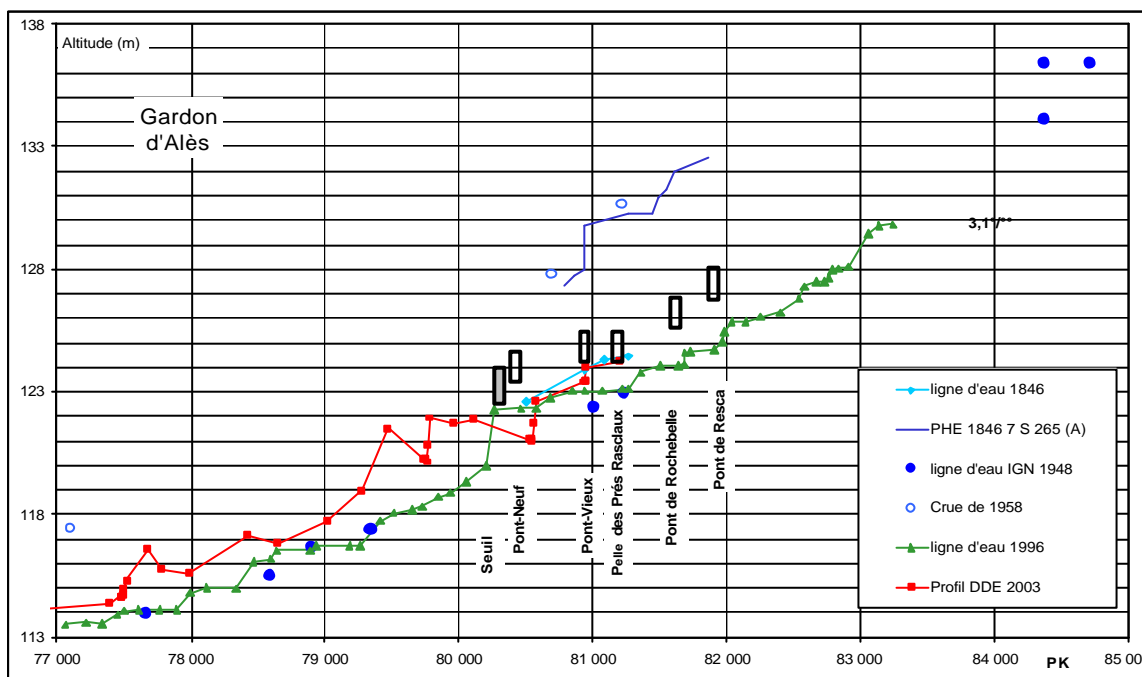


Figure 2. Lignes d’eau reconstituées du Gardon d’Alès à Alès de 1846 à 1996

La **Figure 3** est obtenue en superposant les données intéressantes des **Figures 5 et 6** : on s’aperçoit alors que le fond du lit du Gardon a très peu bougé de 1948 à 1885 car la ligne d’eau d’étiage de 1948 est très proche du radier de 1885.

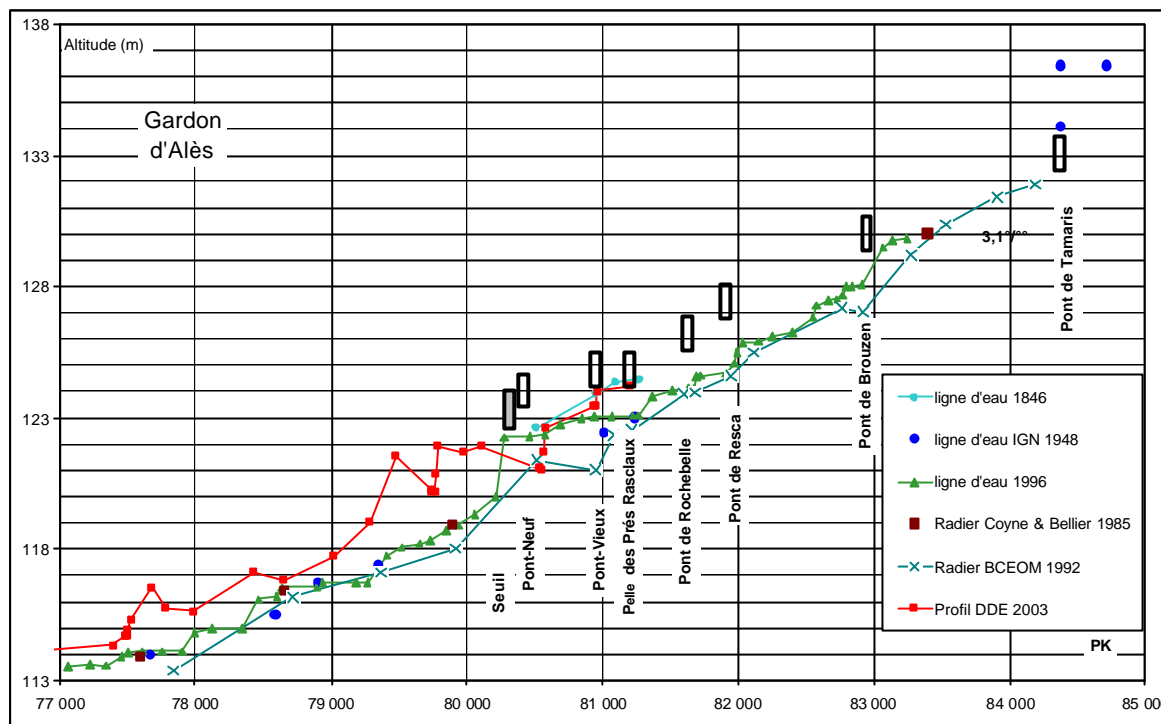


Figure 3. Données anciennes exploitées pour la construction des modèles numériques - Gardon d'Alès à Alès

Rattachement des échelles d'annonce des crues au nivellement général

Données recueillies :

- en 1914, l'altitude du zéro de l'échelle d'annonce de crue était de 123,07 m NGF (*source : DDE 30*) ;
- avant sa restauration en 2003, le zéro de l'échelle était à 122,93 m NGF d'altitude (*source : DDE 30*) ;
- après sa restauration, $Z_0=122,36$ m NGF (*source : DDE 30*).

Suppositions sur le zéro de l'échelle :

Nous ne disposons d'aucune information sur la date où le zéro de l'échelle d'annonce de crue est passé de 123,07 m NGF à 122,93 m NGF. Aucune information précise ne peut être déduite de l'analyse des cotes minimales annuelles et cotes journalières (**Figures 4 et 5**). Nous considérons donc que de 1893 à 1980 (ensemble des données de cotes disponibles), le zéro de l'échelle a la même altitude qu'en 1914, soit $Z_0=123,07$ m NGF.

I.2. Données hydrométriques

Hauteurs d'eau enregistrées depuis 1893

Les relevés journaliers ont été systématiques entre 1893 et 1980 à l'échelle d'Alès. Après 1980, ils ne furent plus réguliers et ne seront pas pris en compte dans l'étude (Benoît J., 2006).

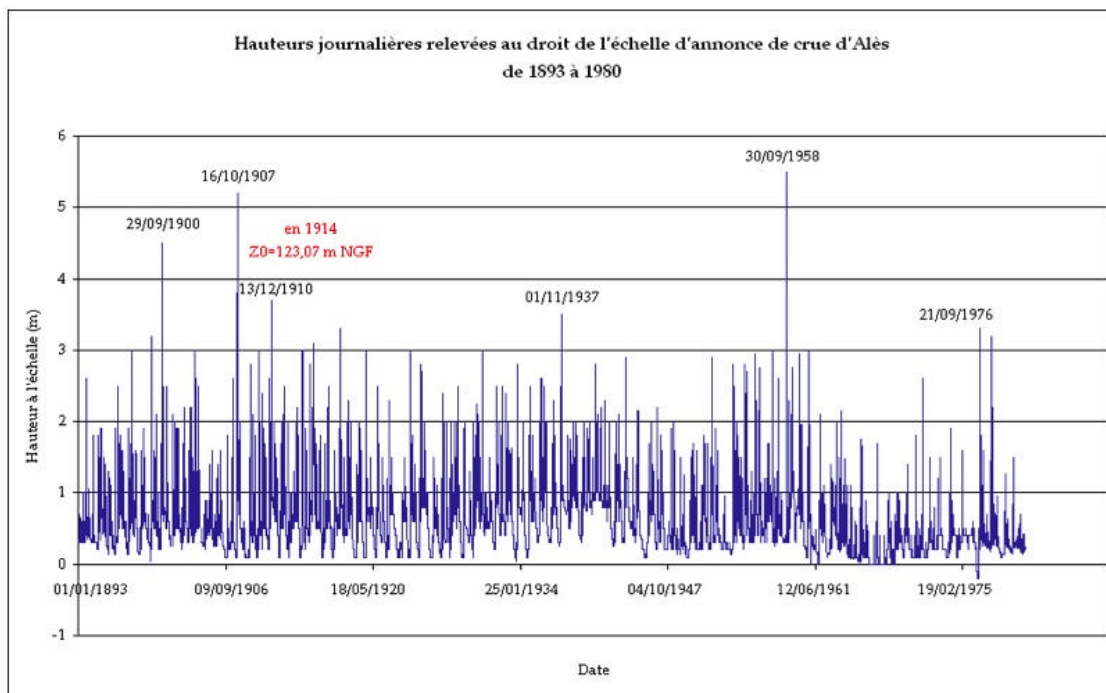


Figure 4 : Hauteurs journalières relevées à l’EAC d’Alès entre 1893 et 1980 — source : Pobanz K., 2006.

Les fluctuations des hauteurs dans la période considérée ne permettent pas de préciser davantage les hypothèses faites au sujet de l’altitude de l’échelle hydrométrique. Les valeurs minimales ne montrent pas non plus de tendance très franche. On observerait plutôt des hauteurs minimales un peu supérieures après les années 1935-1940, ce qui pourrait marquer le passage à l’échelle à 122,43 NGF. Ensuite, les valeurs chutent vers 1965-1970, ce qui peut être lié à l’enfoncement du lit.

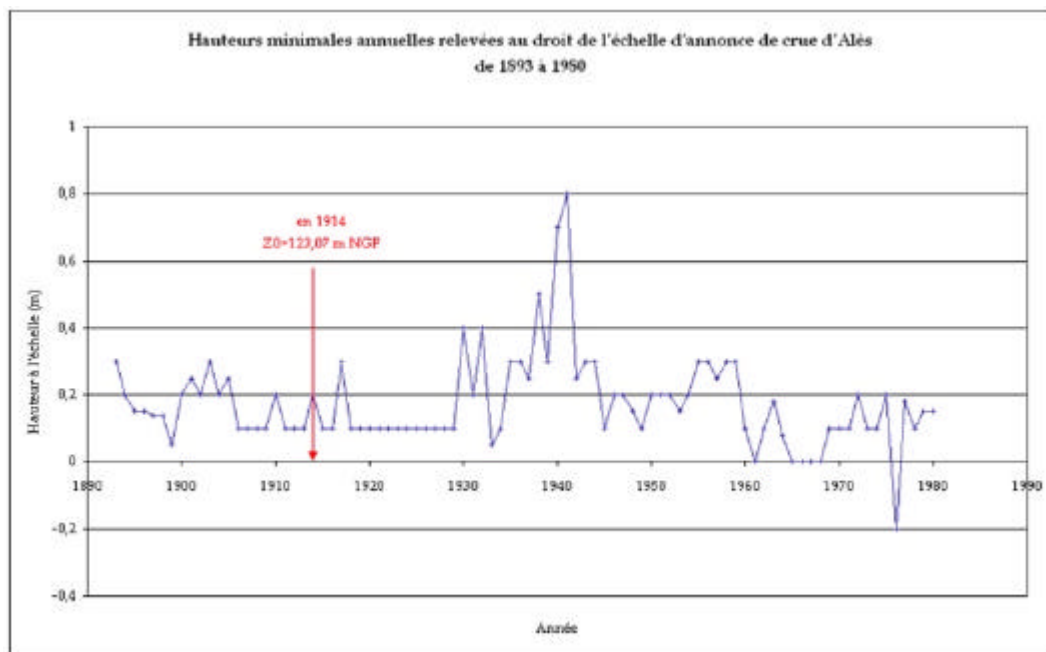


Figure 5 : Hauteurs minimales relevées à l’EAC d’Alès entre 1893 et 1980 — source Pobanz K., 2006.

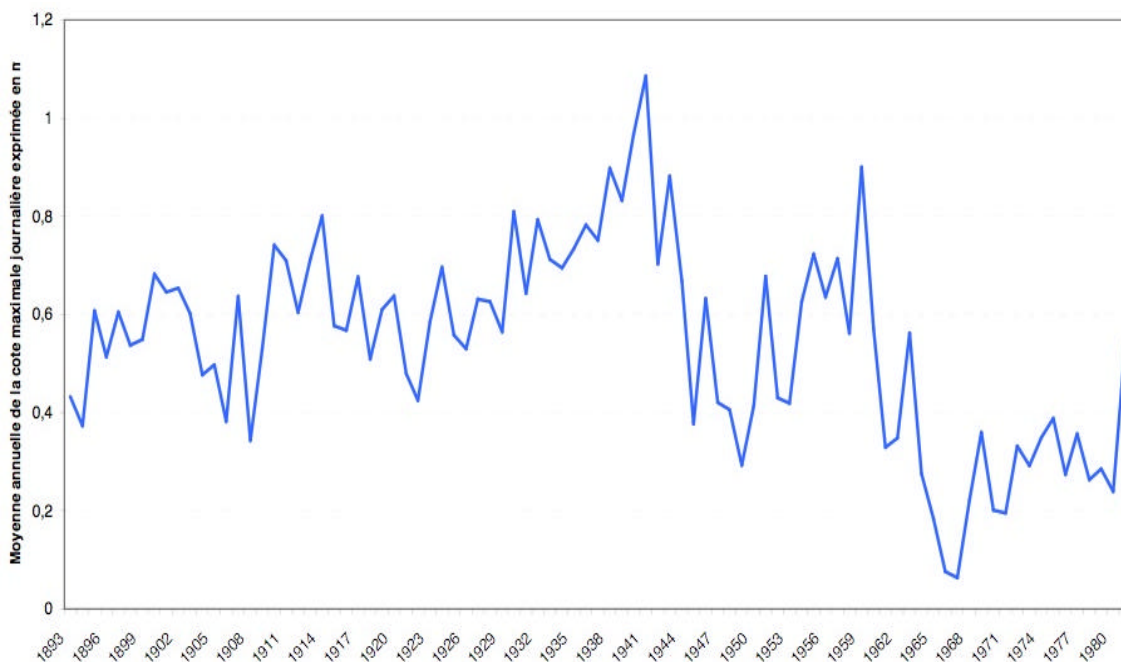


Figure 6 : Evolution de la moyenne annuelle des cotes maximales journalières relevées à l’EAC d’Alès entre 1893 et 1980 — source Benoît J., 2006.

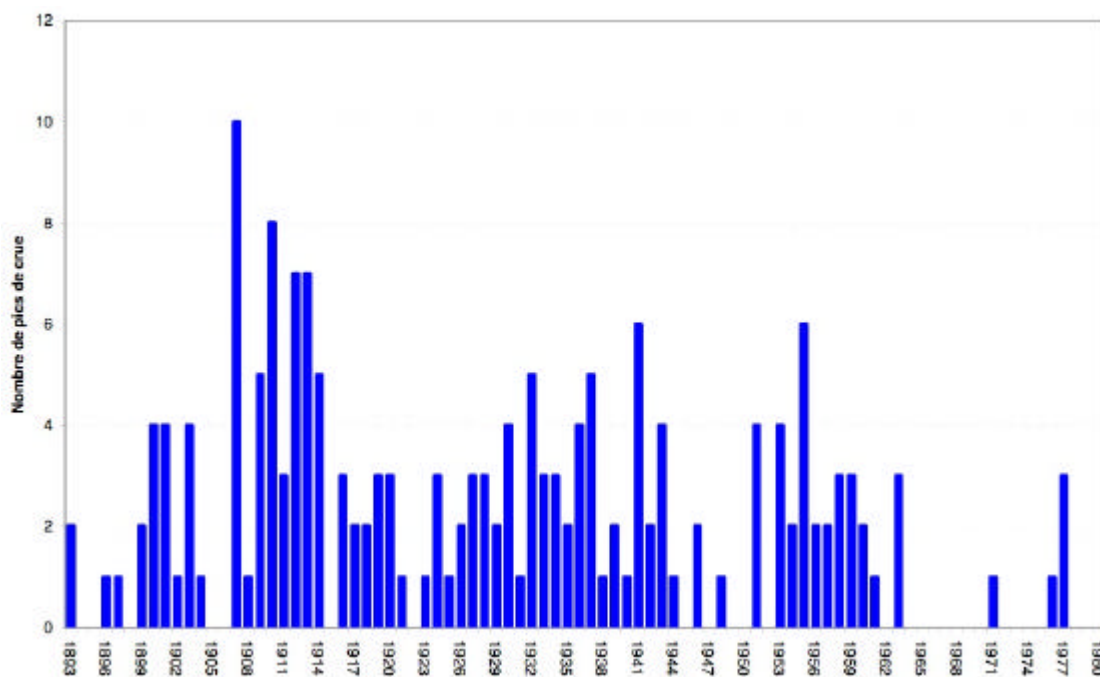


Figure 7 : Crues supérieures à 2 mètres à l’EAC d’Alès entre 1893 et 1980. La valeur de 2 m a été retenue comme seuil de la crue, conformément aux instructions suivies depuis 1896 pour l’observation des montées du Gardon — source Benoît J., 2006.

Les **Figures 5 à 7** mettent en évidence une évolution concordante à partir des années 1965 : un creux dans les hauteurs journalières (en moyenne annuelle) et une raréfaction des crues de plus de deux mètres de hauteur. On peut attribuer cette évolution à un abaissement du fond du lit. L’incision est actuellement un processus généralisé dans les lits des cours d’eau, qui

trouve son origine dans la diminution des apports sédimentaires aux talwegs. Plusieurs processus sont responsables : la stabilisation des versants autrefois déboisés grâce à la reconquête végétale, la pratique des extractions de matériaux de construction et la construction de barrages écrêteurs (Sainte-Cécile-d’Andorge en 1967) qui bloquent la charge de fond. Ces causes ont été analysées par J. Benoît (2006).

Crues anciennes à Alès

L’ensemble des crues 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.

Périodisation de l’évolution verticale du lit du Gardon dans la traversée d’Alès

Compte tenu des éléments que nous avons rassemblés ci-dessus, nous pouvons proposer une périodisation de la topographie du lit du Gardon d’Alès.

Deux modèles seront développés. Un premier modèle « récent » intégrant la topographie de 2003 et un modèle supplémentaire, que l’on qualifiera de modèle « ancien », puisqu’il concernera la période de 1893 à 1980. Pour cela, la topographie récente du lit mineur sera rabaisée de 1 à 6 mètres en moyenne suivant les sections.

Cotes des crues du Gard à Alès

La connaissance des changements du zéro d’échelle permet de convertir les hauteurs d’eau des crues en cotes altitudinales, exploitables dans les modélisations hydrauliques. Dans un premier temps, les cotes ont été calculées dans le NGF contemporain de leur observation. Dans un deuxième temps, elles ont été corrigées pour être toutes traduites dans le système de nivellement actuel.

Les résultats sont fournis dans la base de données.

Hiérarchisation des crues majeures du Gardon à Alès

Le classement des crues par ordre d’importance décroissante a été fait à partir des hauteurs que nous avons reconstituées ou trouvées dans les relevés hydrométriques. Le tableau ci-dessous présente ce classement.

Date	H. en mètres	Cote en NGF
20 septembre 1846	6,18	129,25
11 octobre 1861	5,80	128,87
30 septembre 1958	5,50	128,57
16 octobre 1907	5,20	128,27
9 septembre 2002	5,00	128,07
4 octobre 1958	5,00	128,07
28 septembre 1900	4,50	127,57
22 septembre 1890	4,00	127,07
27 septembre 1907	3,80	126,87
22 octobre 1891	3,70	126,77

Tableau 2 : hiérarchisation des crues du gardon d’Alès à Alès à partir des cotes

Ce tableau montre que les principales crues sont des événements anciens. La forte crue du mois de septembre 2002 ne vient qu’en cinquième position dans ce classement.

II. Reconstitution des débits à Alès

II.1. Définition du barème

Modèle récent.

Aucun jaugeage n’étant disponible, les coefficients de Strickler sont déterminés à partir des tables de Ven Te Chow. Nous retenons les cas suivants :

- Cas maximal : $K_{\min} = 20 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1} / K_{\text{maj}} = 10 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$
- Cas moyen : $K_{\min} = 25 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1} / K_{\text{maj}} = 15 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$
- Cas minimal : $K_{\min} = 30 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1} / K_{\text{maj}} = 20 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$

Les courbes de tarage de la période récente ont été déterminées à titre informatif : aucun barème ($Q=f(h)$) n’a été établi pour le modèle récent puisque les cotes de crues disponibles concernent la période dite « ancienne » (de 1893 à 1980).

Malgré un temps de calcul plus long que pour Mage, nous choisissons d’utiliser RUBARBE pour cette étude en raison du passage en torrentiel de l’écoulement au niveau des ponts. La Figure 8 présente les courbes obtenues au niveau de l’échelle d’annonce de crue DDE.

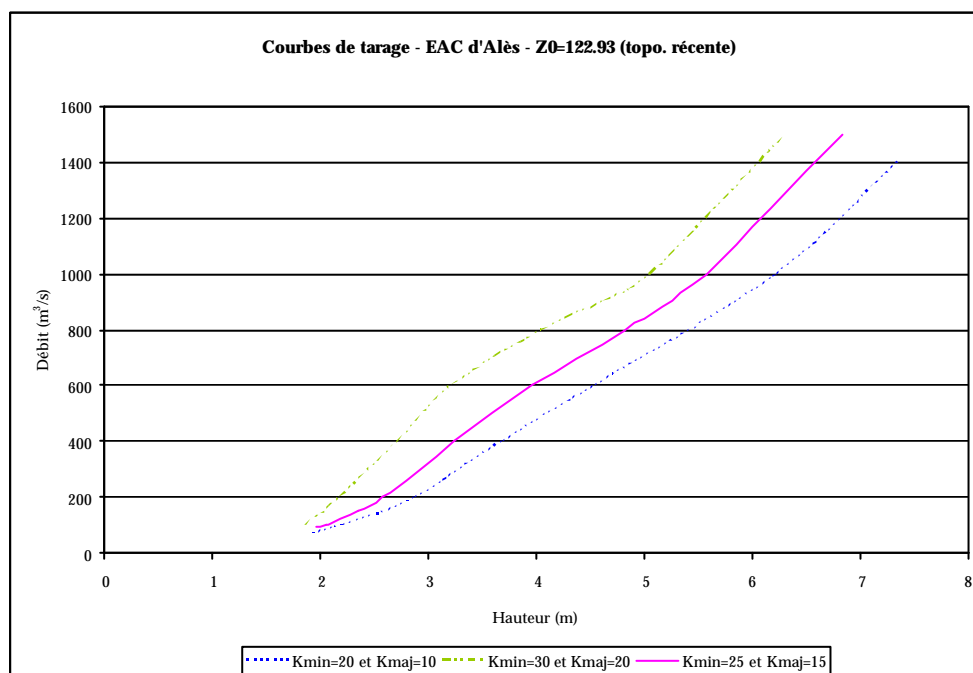


Figure 8. Courbe de tarage de l’échelle d’annonce de crue DDE – topographie récente

Modèle ancien

Compte tenu des relevés topo disponibles un seul modèle supplémentaire est développé en abaissant la topographie récente. Ce nouveau modèle permettra de reconstituer les débits des crues s’étant produites entre 1893 et 1980.

Les coefficients de Strickler restent inchangés. Les nouvelles courbes de tarage obtenues sont présentées **Figure 9**.

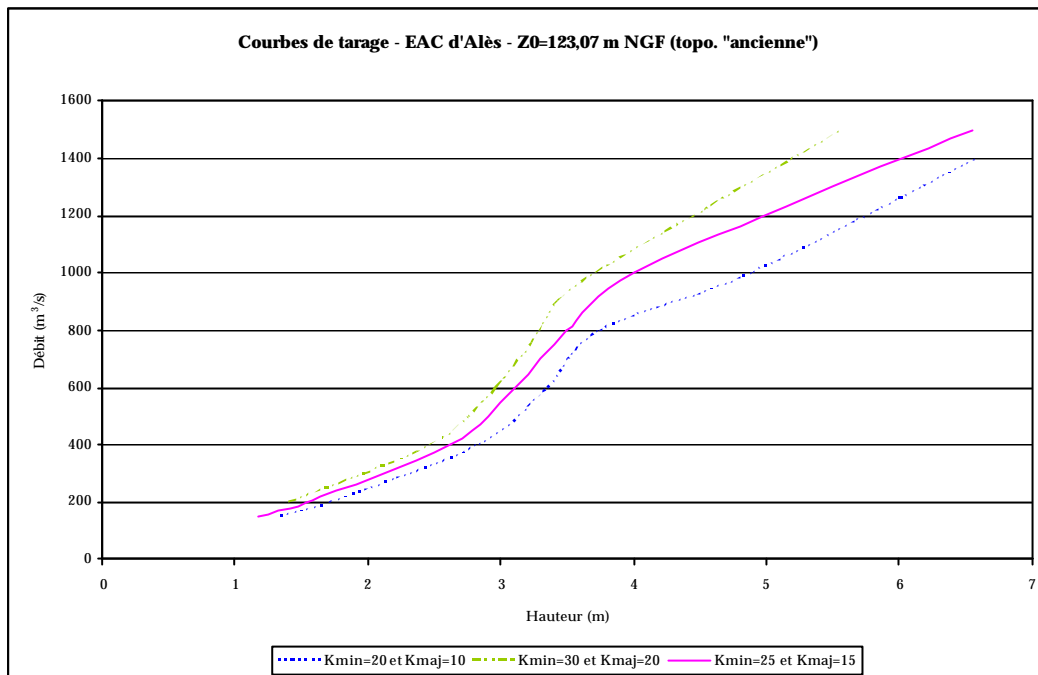


Figure 9. Courbe de tarage de l'échelle d'annonce de crue DDE Z0=123,07 m NGF - topographie ancienne

Les lois déterminées pour la reconstitution des débits de crues historiques au niveau de l'échelle d'annonce de crue d'Alès sont répertoriées sur la **Figure 10**. Elles sont obtenues en traçant les courbes de tendance des courbes de tarages établies. L'écart entre les deux courbes est, comme pour les autres secteurs d'étude, à peine visible.

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

TOPO ANCIENNE		->couvre l'ensemble de nos données de 1893 à 1980	
Z0=123,07 m NGF			
Kmin-Kmaj			
20-10 (Ponts 10-10)	$h < 3,737$:	$y = 34,711x^3 - 161,66x^2 + 371,16x - 139,15$	
	$h \geq 3,737$:	$y = 21,998x^2 - 17,345x + 557,62$	
25-15 (Ponts 12-10)	$h < 3,496$:	$y = -29,983x^4 + 310,74x^3 - 1042,4x^2 + 1551,1x - 681,54$	
	$3,496 \leq h < 3,998$:	$y = 398,41x - 592,83$	
	$h \geq 3,998$:	$y = 196x + 216,39$	
30-20 (Ponts 15-10)	$h < 3,435$:	$y = 56,995x^3 - 253,82x^2 + 513,82x - 178,22$	
	$h \geq 3,435$:	$y = -38,452x^2 + 627,2x - 800,73$	
TOPO RECENTE			
après la crue de 2002			

Figure 10. Lois déterminées pour la reconstitution des débits de crues historiques au niveau de l'EAC d'Alès

II.2. Estimation des débits

Une fois ce barème déterminé, il est possible de reconstituer le débit des crues s’étant produites entre 1893 et 1980 (**Figure 11**). 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.

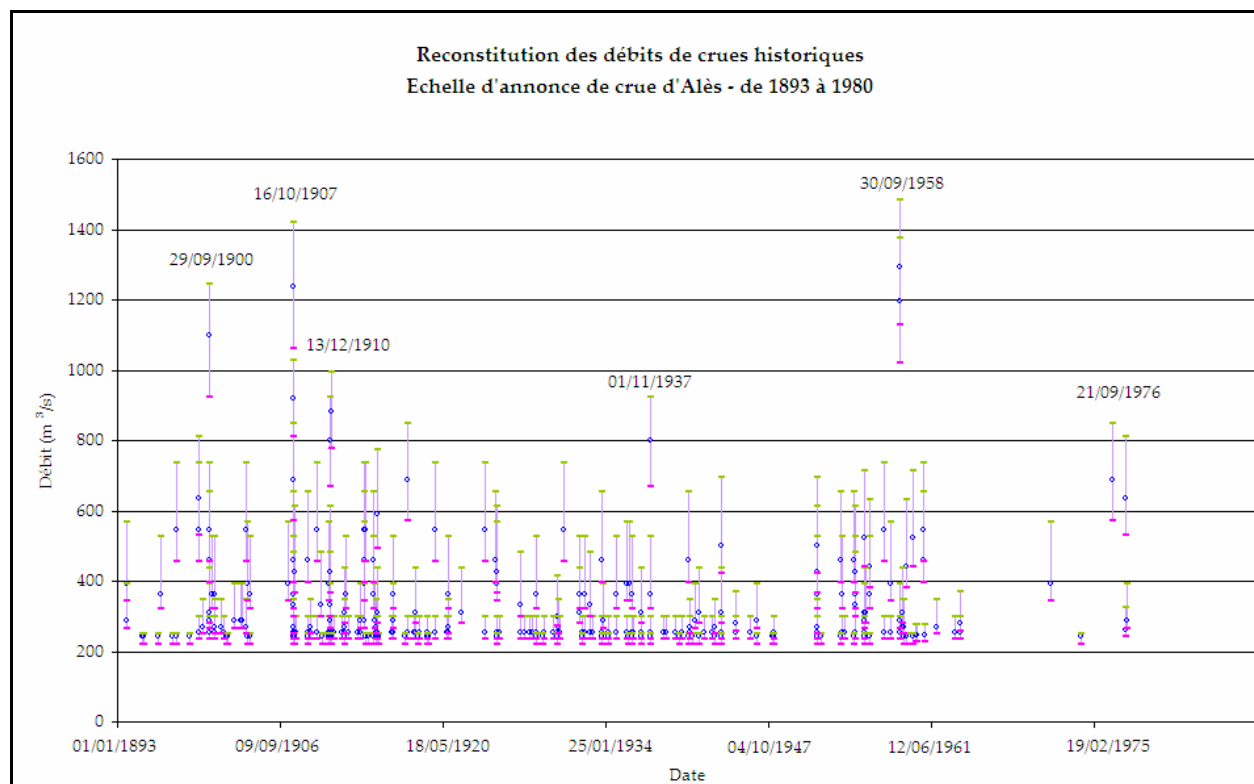


Figure 11. Reconstitution des débits de crues historiques au niveau de l'EAC d'Alès

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).

II.3. Vérification et validation des résultats

Comme indiqué précédemment, nous disposons de repères de crue pour l’événement de 1958. Nous pouvons ainsi voir si la ligne d’eau correspondant au débit reconstitué pour la crue de 1958 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 1958 est de 5,5 m (le 30/09/1958). D’après notre barème, le débit moyen correspondant est de $1294 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. 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 $K_{\text{maj}} = 15 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$) est représentée **Figure 12**. La ligne d’eau minimale est obtenue pour un débit de $1128 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ et pour un couple de Strickler maximal ($K_{\min} = 30 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ et $K_{\text{maj}} = 20$

$m^{1/3} \cdot s^{-1}$). De même, la ligne d’eau maximale est obtenue pour un débit de $1486 \text{ m}^3 \cdot s^{-1}$ et pour un couple de Strickler minimal ($K_{\min} = 20 \text{ m}^{1/3} \cdot s^{-1}$ et $K_{\text{maj}} = 10 \text{ m}^{1/3} \cdot s^{-1}$).

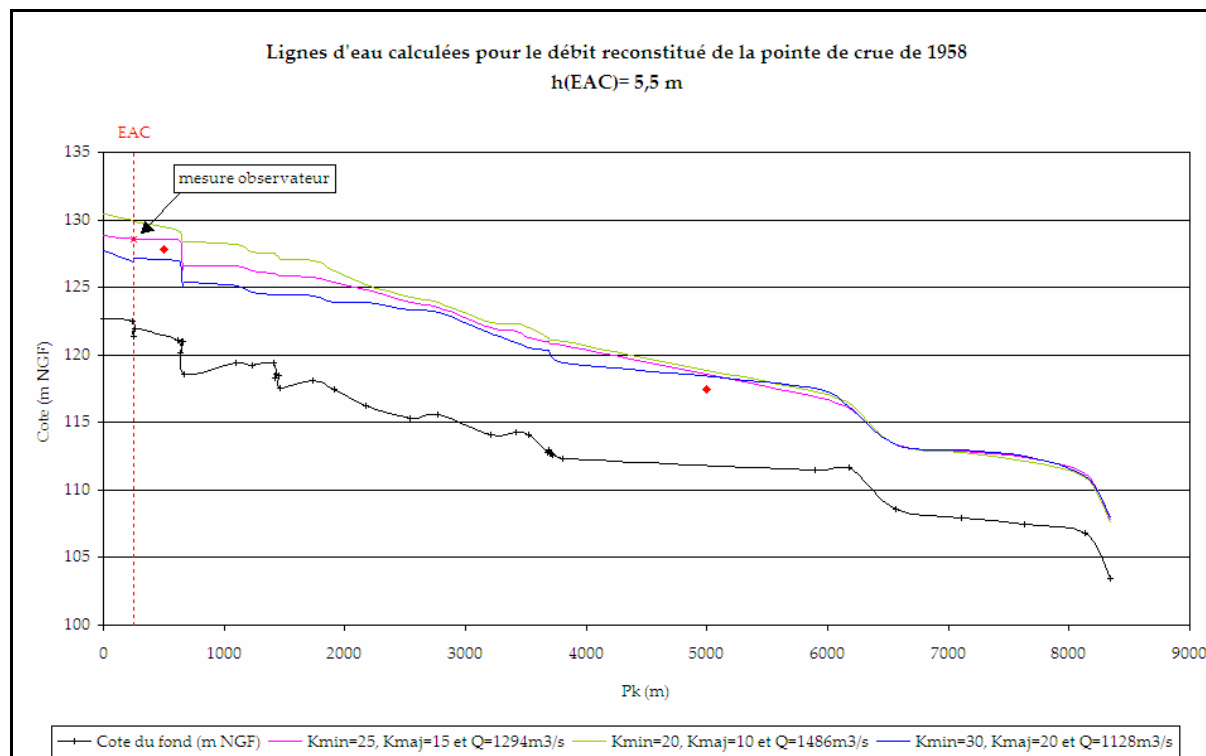


Figure 12. Lignes d'eau telles que la hauteur à l'EAC soit de 5,50 m – crue 1958

La ligne d’eau calculée pour la crue de 1958 est cohérente avec les repères relevés sur le terrain. Cependant, ne connaissant pas la topographie entre les pk 4000 m et 6000 m (Figure 12), il est difficile d’obtenir des résultats satisfaisants sur ce tronçon.

III. Analyse probabiliste des débits de crue du Gardon à Alès

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

La série traitée (Figure 13) va résulter de deux sources de hauteurs :

- Echelle d’annonce des crues à Alès (1893-1980). CT modèle « ancien » avec une topographie déduite de l’analyse morphologique de la rivière
- Recueil d’informations issues du classement qualitatif des crues et de la base de données des hauteurs de crues anciennes établis par les historiens : 1604-1891.

Seuil de perceptions

Sur la période 1604-1740, il a été pris à $2570 \text{ m}^3/\text{s}$, qui correspond à la crue de 1604.

Sur la période 1741-1891, il a été pris à $1196 \text{ m}^3/\text{s}$, qui correspond au dépassement de la cote d’alerte

Erreurs de courbes de tarage

Une erreur multiplicative [0.85 ;1.15] va être modélisée pour toutes les données.

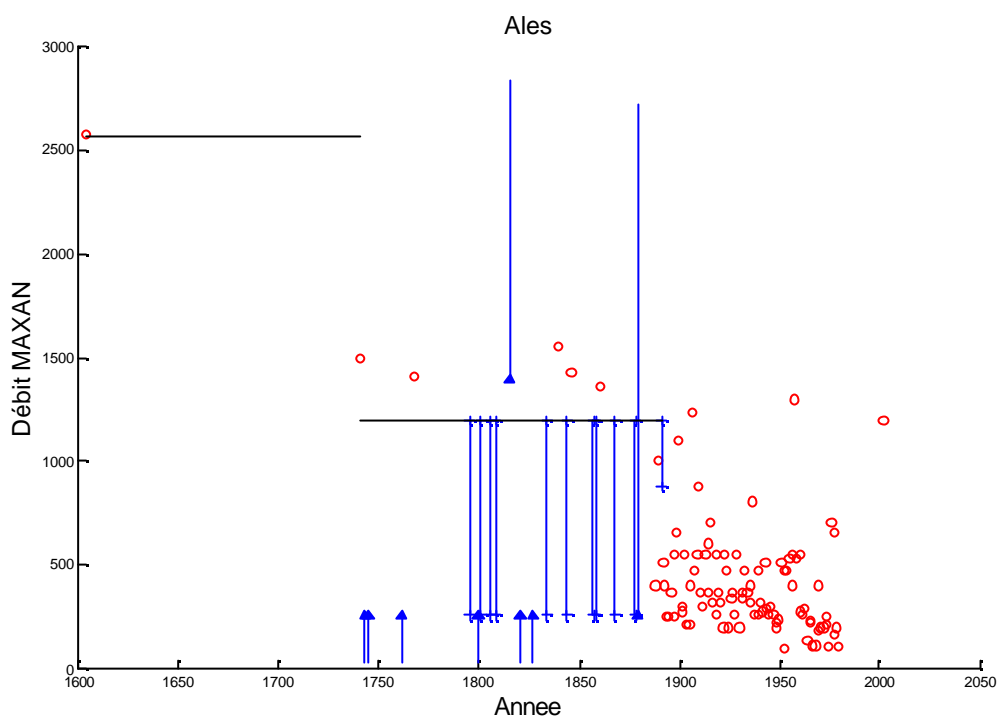


Figure 13. Série de débit de pointe à Alès (1604-2005)

III.2. Distribution des valeurs maximales annuelles

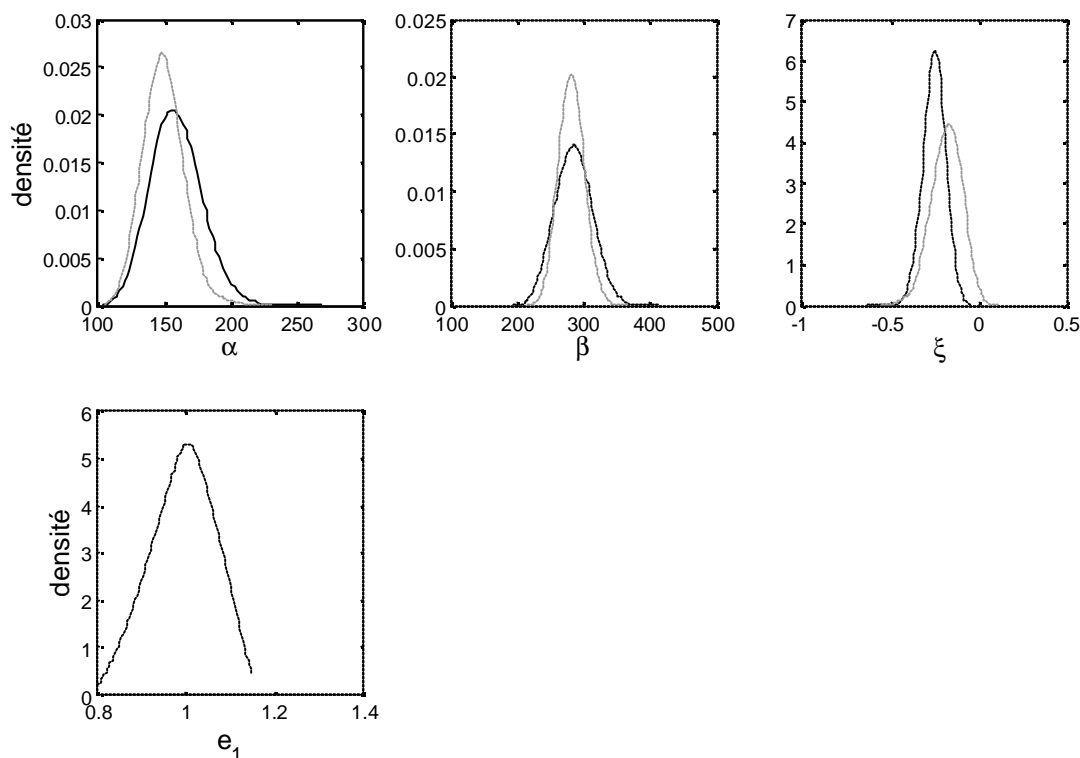


Figure 14. Distribution des paramètres de la loi GEV, et des erreurs sur la courbe de tarage

Sur la Figure 14 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 1893-2000, sans erreur de courbe de tarage. La densité de l’erreur multiplicative e_1 sur la courbe de tarage contient la valeur 1: le modèle probabiliste n’identifie pas d’erreur systématique de CT. Il est intéressant de noter que la distribution *a posteriori* du paramètre d’erreur e_1 est identique à sa distribution *a priori*. Ceci est assez logique, puisqu’une erreur identique est supposée pour toutes les données, si bien que les données ne contiennent aucune information permettant de privilégier une tendance à la sous-estimation ou à la sur-estimation de la courbe de tarage. Ceci étant, l’inclusion de ce paramètre dans le modèle n’est pas inutile, puisque la distribution de l’erreur est intégrée dans la distribution des quantiles, ce qui conduit à une quantification plus pertinente des incertitudes.

La prise en compte des informations antérieures à 1893 conduit à des quantiles peu différents (Figure 15 ; traits forts pour l’ensemble des données, traits faibles avec les données 1893-1980). La prise en compte de ces données plus anciennes conduit à des quantiles plus élevés, du fait d’un paramètre de forme plus fort. L’étendue des intervalles de probabilité à 90% est par contre peu modifiée.

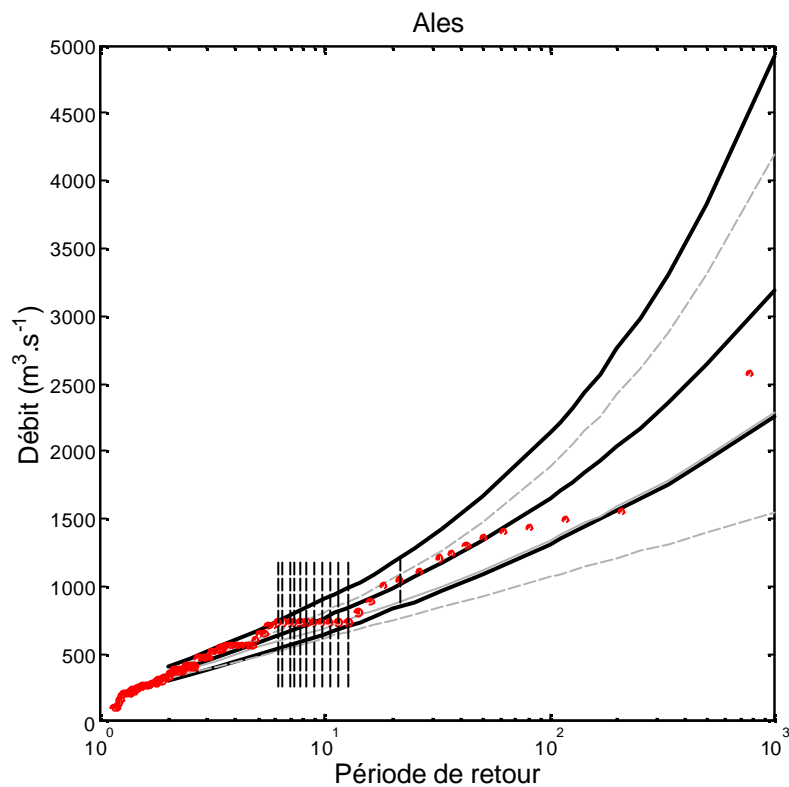


Figure 15. Loi GEV sur les valeurs maximales annuelles à Alès