

**Annexe 7 : Bassins versant Audois**

<i>Bassins versant Audois</i> .....	1
<i>I. Reconstitution des débits</i> .....	2
<i>II. Résultats de l'analyse statistique des séries reconstituées</i> .....	4

## I. Reconstitution des débits

Compte-tenu du faible volume d'informations collectées pour un site unique, l'estimation des débits des crues historiques a été entreprise au sein d'une "zone d'étude", constituée d'un tronçon de quelques kilomètres de long pour chaque cours d'eau étudié. De ce fait, la surface drainée n'est pas tout à fait homogène au sein des séries de débits de crues historiques finalement obtenues, ce qui nous a obligé à travailler sur des valeurs "normées" de ces débits. La variable de normalisation retenue est le débit pseudo-spécifique ( $Q/S^{0.8}$ ).

Les estimations de débit ont été réalisées à partir d'informations locales concernant la section d'écoulement et la pente de la ligne d'eau de la crue (ou à défaut du fond du lit). Les vitesses moyennes d'écoulement ont été dans chaque cas estimées en se basant sur les ordres de grandeur donnés par les formules de Manning-Strickler et celle de la vitesse critique ( $V = \sqrt{g \cdot h}$  en section rectangulaire). D'importantes sources d'incertitude affectent les estimations de débits finalement obtenues: fiabilité parfois incertaine des sources d'information, possibles évolutions de la section d'écoulement, impossibilité fréquente d'appliquer la formule de Manning Strickler, et, lorsque cette formule peut s'appliquer, estimation délicate des coefficients de Strickler K à l'époque de la crue considérée. Compte-tenu de ces sources d'incertitude, nous avons préféré présenter les estimations de débit effectuées sous forme d'intervalles des valeurs de débits possibles, ces intervalles incluant fréquemment des valeurs allant du simple au double (cf. Tableau 1). Les valeurs de débit probable définies relèvent par conséquent du dire d'expert. Il convient de rester très prudent en ce qui concerne ces valeurs, l'information réellement fiable étant constituée par les intervalles de débit possible définis pour chaque crue. Ces intervalles ont d'ailleurs souvent pu être validés par recoupement entre plusieurs estimations réalisées pour une même crue (cf. Tableau 1).

Section	Surface drainée en km <sup>2</sup>	Section mouillée en m <sup>2</sup>	Méthode d'estimation des vitesses	Débit pseudo spécifique estimé $Q/S^{0.8}$		
				Borne inférieure	Valeur probable	Borne supérieure
1 – Lastours – Barrage Roger	73	64	Choix d'un intervalle	4,20	5,17	7,27
2 – Lastours – pont	87	52	Manning Strickler	4,21	5,05	6,18
3 – Lz Caunette – passerelle	95,5	64 à 73	Manning Strickler	2,61	4,04	5,99
4 – Pont de la Fonde	97	51 à 83	Choix d'un intervalle	2,70	6,43	8,49

**Tableau 1** Estimations de débit réalisées pour la crue de 1874 sur l'Orbiel

On peut également ajouter que dans bon nombre de cas, l'estimation du débit des crues historiques s'avère tout simplement impossible. Ceci ajoute une difficulté lors de la définition du seuil de perception, qui doit à la fois garantir qu'aucune crue dépassant ce seuil n'est restée inconnue, et permettre de savoir si les crues historiques connues, mais dont le débit ne peut être estimé, ont dépassé ou non ce seuil. Ceci nous a souvent contraint à choisir un seuil relativement élevé, de façon à acquérir la quasi certitude que ce seuil n'était pas dépassé par les crues historiques au débit non estimé. Cette "quasi-certitude" repose toutefois parfois sur des hypothèses bien fragiles...

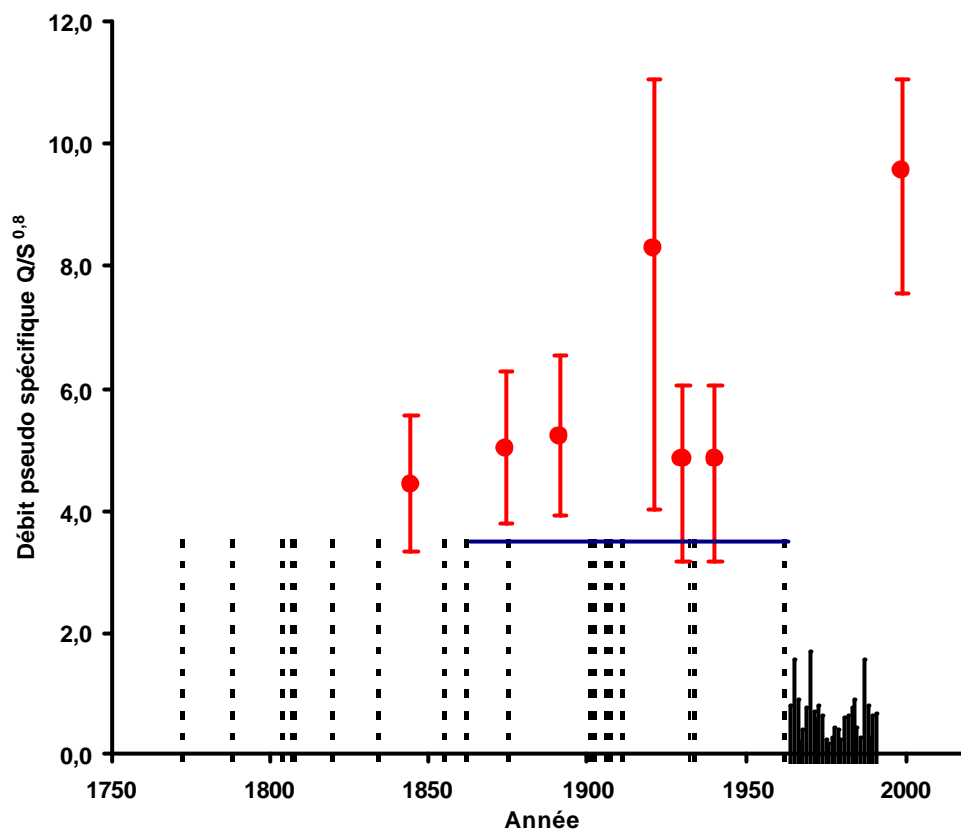


figure 1 Résultats de la reconstitution des crues historiques de la Clamoux

Malgré toutes ces difficultés, les résultats obtenus nous semblent encourageants. En effet, nous ne nous sommes jamais heurtés à un échec complet au cours des quatre reconstitutions menées. Pour chacun des quatre cours d'eau étudiés, une chronique de crues historiques, d'une longueur d'un siècle au minimum, et pouvant aller jusqu'à deux siècles, a pu être ajoutée aux chroniques de mesures systématiques issues des stations limnigraphiques. Ces chroniques donnent de plus une idée du débit atteint, pour chaque crue historique ayant dépassé le seuil de perception. On peut ajouter que, aussi imprécises soient elles, les estimations de débit réalisées pour les crues historiques supportent tout à fait la comparaison avec les données de débit issues des enregistrements limnigraphiques récents: pour les crues importantes, on en est réduit dans les deux cas à utiliser les mêmes méthodes d'estimation, avec les mêmes facteurs d'imprécision. L'examen des chroniques finalement obtenues laisse peu de doute quant à l'apport des données historiques reconstituées, pour la connaissance des crues extrêmes des cours d'eau étudiés (cf. figure 1 et figure 2).

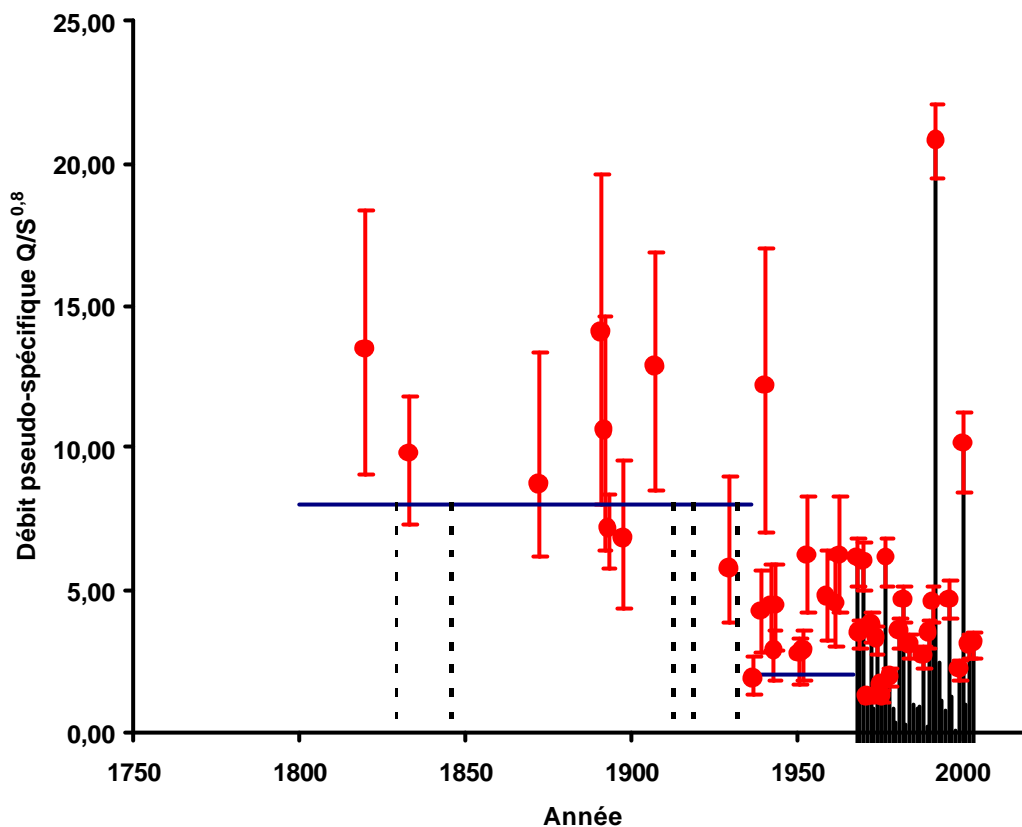


figure 2 . Résultats de la reconstitution des crues historiques de la Salz

On pourra enfin remarquer que la qualité des reconstitutions historiques obtenues semble très liée au contexte local. La reconstitution la plus complète, du moins en ce qui concerne le XX<sup>ème</sup> siècle, a été obtenue pour La Salz, pour la bonne et simple raison que ce cours d'eau, intégré dès le début du siècle au réseau d'annonce des crues, était équipé d'échelles de crue auxquelles des lectures régulières étaient organisées. Un autre contexte favorable a été rencontré dans le cas de l'Orbiel, du fait de la forte activité industrielle et agricole existant au XIX<sup>ème</sup> siècle sur les rives de ce cours d'eau, équipé de ce fait de très nombreux ouvrages (notamment des barrages ou prises d'eau). De ce fait, les sources d'information disponibles permettent de remonter plus loin dans le temps que pour la Salz. Enfin, Le Lauquet et La Clamoux constituent des contextes moins favorables, du fait de l'absence de lectures organisées aux échelles de crues (qui existaient pourtant dès le début du XX<sup>ème</sup> siècle), et du faible nombre d'aménagements hydrauliques présents au XIX<sup>ème</sup> sur ces cours d'eau. Toutefois, dans ces deux cas, l'exploitation des informations liées à la présence des ponts a permis une reconstitution historique intéressante, sur une durée d'un siècle au minimum (dans le cas de la Clamoux). Dans le cas du Lauquet, la reconstitution effectuée a même pu remonter au début du XIX<sup>ème</sup>, grâce aux archives relatives à l'un des (très rares) barrages présents sur ce cours d'eau.

## **II. Résultats de l'analyse statistique des séries reconstituées**

L'étude statistique des séries reconstituées a été l'occasion d'évaluer l'intérêt de l'information historique pour la prédétermination des crues des petits cours d'eau.

Nous nous sommes avant toute chose posé la question de la stationnarité des séries étudiées. La couverture des bassins versants étudiés a en effet très fortement évolué au cours du temps, beaucoup de cultures ayant notamment été abandonnées au profit de forêts. Toutefois le test de stationnarité que nous avons appliqué aux séries étudiées ne permet pas d'identifier de nette non-stationnarité. Nous avons par conséquent fait le choix d'admettre la stationnarité de ces séries.

L'analyse statistique de ces données permet en premier lieu de mettre en évidence de fortes disparités dans l'intensité des crues, parmi les quatre bassins versants étudiés, à période de retour empirique équivalente (cf. figure 3). Les deux bassins des Corbières présentent manifestement des crues bien plus intenses que ceux de la Montagne Noire. Cette différence s'observe y compris pour les crues de faible intensité, issues de la période de mesures systématiques, et se confirme, voire s'accroît, pour les crues les plus importantes (dont la plupart sont des crues historiques).

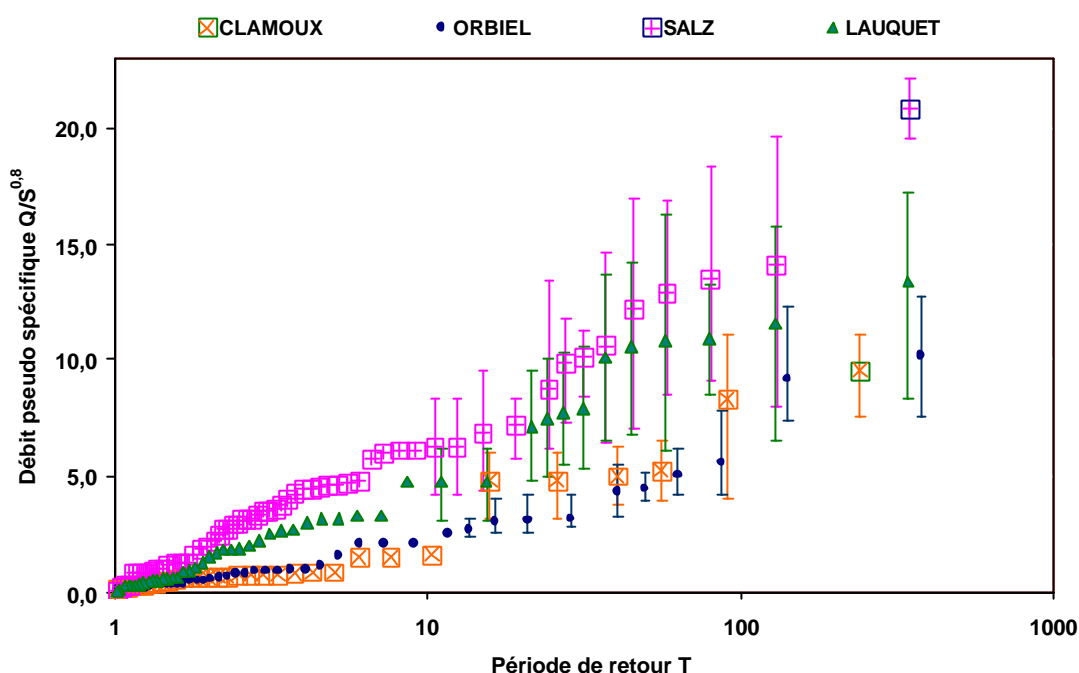


figure 3. Graphiques des probabilités empiriques associées aux séries de crues reconstituées

Par ailleurs, l'utilisation de ces données pour l'ajustement de distributions statistiques, met très clairement en évidence l'importance des données historiques pour préciser le calage des distributions. En effet, les ajustements obtenus en n'utilisant que les données systématiques sont souvent totalement irréalistes, et présentent dans ce cas des intervalles de confiance extrêmement larges. Ils sont en revanche réorientés de façon très favorable dès lors que des données historiques sont valorisées lors du calage, et présentent dans ce cas des intervalles de confiance fortement réduits. Les figures 31 et 32 illustrent, dans le cas de l'Orbiel, l'effet d'orientation des résultats du calage des distributions de Gumbel et Fréchet, lié à l'utilisation des données historiques. Par ailleurs la figure 6 illustre le resserrement des intervalles de confiance associés au calage de la distributions de Fréchet, dans le cas de la Salz. L'effet positif des données historiques est fonction du nombre de degrés de liberté de la distribution ajustée: il s'avère plus important dans le cas de la distribution de Fréchet (3 paramètres) que pour la distribution de Gumbel (2 paramètres). Par ailleurs, l'effet de la nature des données historiques sur la qualité des ajustements obtenus est apparu relativement limité: l'ajustement

aux crues observées, ainsi que les intervalles de confiance, sont généralement restés très proches notamment entre le cas de crues historiques au débit supposé connu (vraisemblance n°1) et le cas de crues historiques censurées dans un intervalle (vraisemblance n°4). Une dégradation sensible des résultats a pu être observée ponctuellement, autant dans le sens d'un moins bon ajustement que d'un intervalle de confiance élargi, lorsque les données historiques valorisées étaient de type binomiales (vraisemblance n°2), ou limitées à la plus forte crue observée (vraisemblance n°3). Il n'en reste pas moins que dans tous les cas, la valorisation d'une information historique, indépendamment de sa nature, a permis d'améliorer très sensiblement les ajustements effectués.

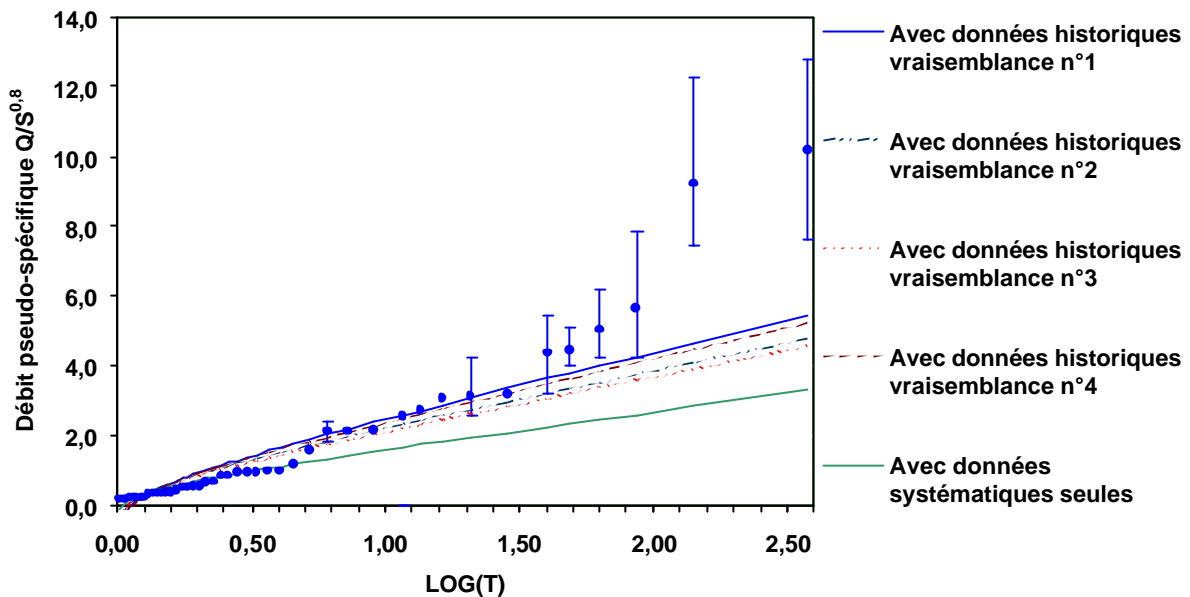


figure 4 Ajustement de la distribution de Gumbel à la série des crues de l'Orbiel

Le caractère imprécis des débits de crues historiques reconstitués, qui pouvait paraître important, n'a finalement pas constitué un frein important l'exploitation de ces données sur le plan statistique. Mais il convient de rappeler ici que nous n'avons pas considéré le cas (très défavorable), de biais systématiques sur les débits estimés [Kuczera, 1996], puisque nous n'avons pu caractériser les erreurs d'estimation que sous forme d'intervalles de débits possibles. De même, l'imprécision des données systématiques, parfois importante, semble avoir une influence limitée, ce qui là encore peut être lié au mode de représentation de ces erreurs.

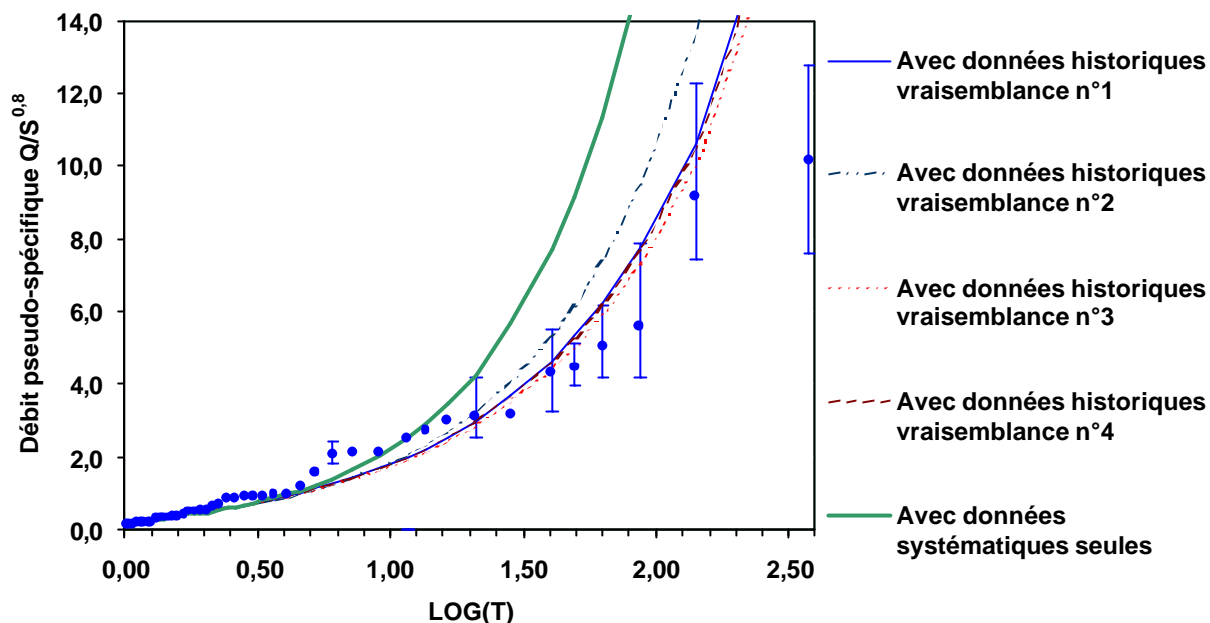


figure 5 Ajustement de la loi de Fréchet à la série des crues de l'Orbiel

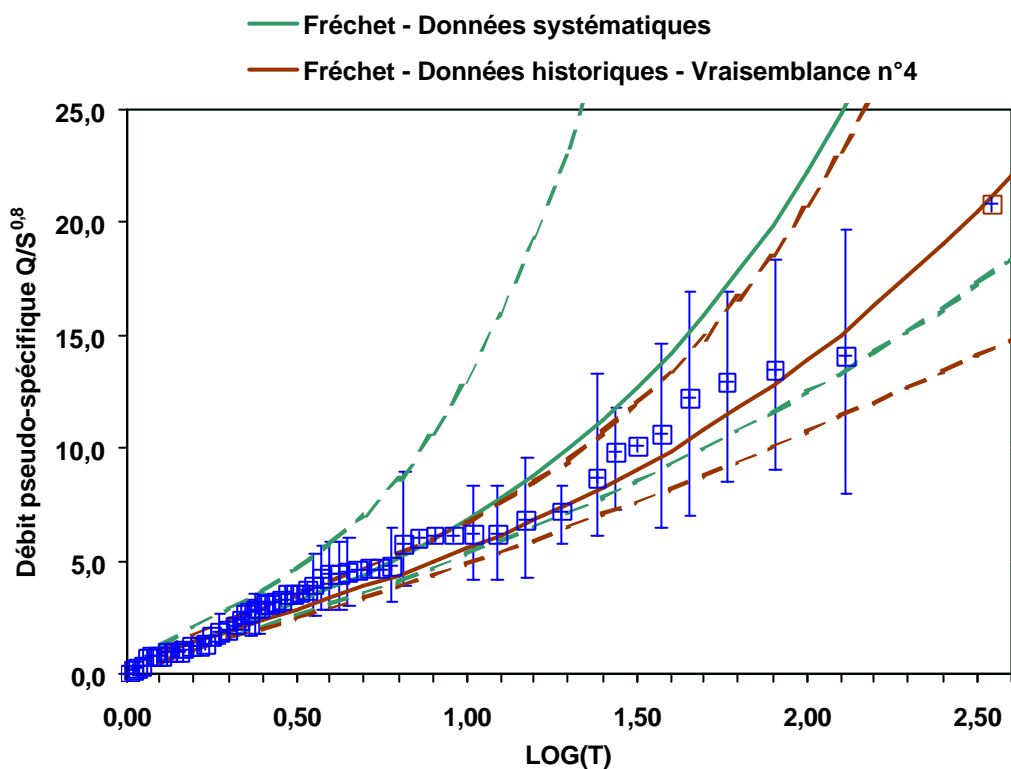


figure 6 Intervalles de confiance calculés pour la distribution de Fréchet, ajustée sur la série de crues de la Salz, en utilisant les fonctions de vraisemblance n°4 (données historiques avec débits représentés sous forme d'intervalles) et n°5 (données systématiques seules)

Au-delà du calage des distributions, les données historiques ont montré leur intérêt lorsqu'il s'agit d'effectuer le choix d'une distribution apte à représenter les crues des cours d'eau étudiés. Une procédure de test permettant de rejeter certaines distributions candidates a été développée. Ce test est basé sur la comparaison des vraisemblances de l'échantillon observé, et d'échantillons simulés à partir de la distribution candidate. Il a permis d'exclure de façon

définitive la distribution de Gumbel, pour représenter les crues de la Clamoux et de l'Orbiel. Cette même procédure de test a permis de rejeter toutes les distributions calées à partir des données systématiques seules, confirmant ainsi l'intérêt des données historiques pour préciser le calage de ces distributions. Toutefois cette procédure de test n'a permis que de confirmer, de façon quantifiée, l'impression visuelle tirée d'ajustements particulièrement inadaptés. Dès lors que les ajustements paraissaient plus satisfaisants, ce test n'a généralement pas permis de conclure.

Enfin, face à la difficulté d'obtenir des ajustements satisfaisants à partir des séries systématiques courtes, nous avons souhaité tester une méthode d'extrapolation très utilisée en France, et beaucoup moins sensible aux séries de crues observées puisque basée sur les propriétés statistiques des pluies: la méthode du Gradex. La méthode a montré des capacités d'extrapolation étonnantes, les débits obtenus pour des périodes de retour de 100 à 200 ans, étant généralement très cohérents avec ceux des crues historiques (cf. figure 7 dans le cas du Lauquet). La variabilité des débits observés d'un bassin à l'autre est notamment très bien reproduite avec le Gradex, en raison de facteurs de forme  $r$  très différents (les valeurs du Gradex des pluies étant pour leur part très proches parmi les bassins étudiés). Ces variations du facteur de forme peuvent provenir de différences dans la pluviométrie, tout comme, plus probablement, des caractéristiques des bassins étudiés qui engendrent des relations pluie-débit différentes. Le Gradex apparaît finalement comme un méthode d'extrapolation intéressante, ne nécessitant pas de données historiques, mais applicable uniquement aux bassins jaugés de façon à pouvoir évaluer correctement le facteur de forme.

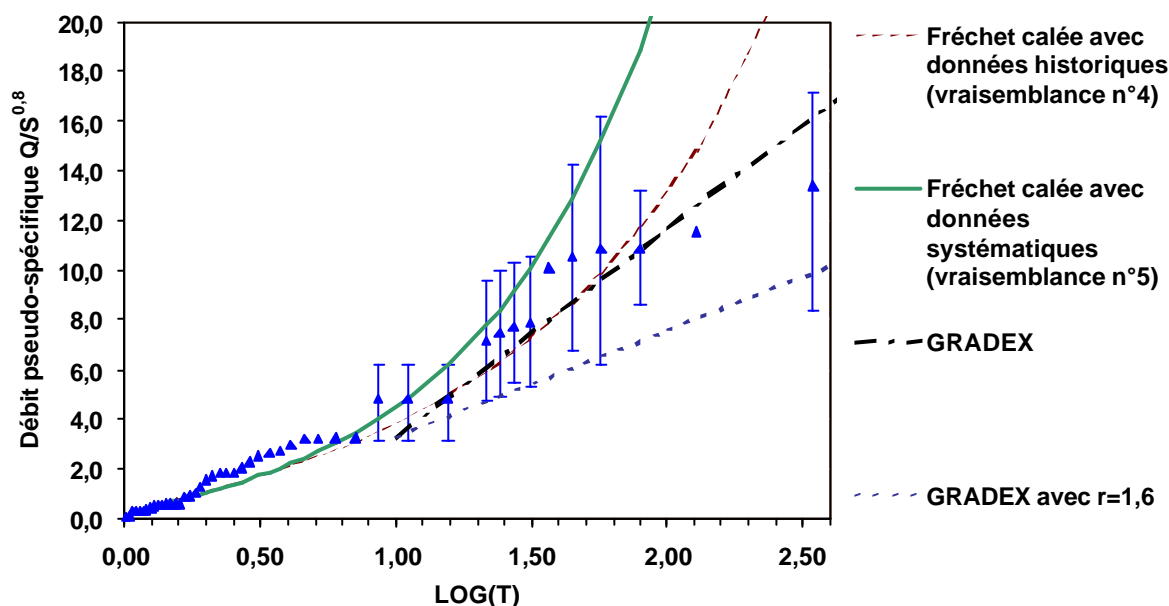


figure 7. Application de la méthode du Gradex dans le bassin du Lauquet

A défaut de pouvoir généraliser, du fait de leur variabilité, les distributions empiriques des crues historiques observées sur les quatre bassins étudiés, il semble à l'heure actuelle bien délicat de traiter le cas de bassins non jaugés. Pour cela une étape préalable serait de pouvoir expliquer, par des paramètres physiques, la variabilité des débits observés entre les différents bassins, de façon à pouvoir par la suite appliquer des méthodes de régionalisation. Nous avons vu que pour les quatre bassins étudiés, les facteurs de forme calculés lors de l'application du Gradex expliquent très bien cette variabilité des débits. Mais il n'est pas encore possible de

caractériser l'origine des variations de ce facteur de forme, et par conséquent d'évaluer ce facteur dans des bassins non jaugés. Si des éléments d'explication ont pu être avancés dans le cas des bassins étudiés (notamment la présence du karst dans le cas de l'Orbiel et de la Clamoux, ou la encore la forme plus allongée de ces bassins), il est encore nécessaire de confirmer ces explications, qui ne restent pour l'instant que des hypothèses.