

Remerciements

Je tiens à remercier les membres du jury pour le temps consacré à l'évaluation du présent manuscrit. Je remercie en particulier les professeurs Bernard Bobée et Taha Ouarda ainsi que Michel Lang pour l'encadrement de cette thèse et leurs corrections du manuscrit.

Je tiens également à remercier Denis Coeur pour son apport essentiel dans la réalisation de l'Etat Général des Sources et Christine Gigon pour sa grande disponibilité et son aide pour accéder aux données du Service d'Annonce des Crues de l'Ardèche. J'adresse également mes remerciements aux personnes responsables des fonds d'archives exploités (Société Hydrotechnique de France, Fonds Maurice Pardé, Archives Départementales de l'Ardèche,).

Enfin je remercie particulièrement mes parents, Jean Claude et Simone Naulet, ma compagne Elisabeth Delecroix ainsi que tous mes amis français et québécois pour leur soutien durant cette thèse. Je remercie en particulier Eric Sauquet pour m'avoir prêté un peu plus longtemps que prévu son ordinateur.

Résumé

Cette thèse aborde l'exploitation de l'information historique pour améliorer la prédétermination du risque d'inondation. Après avoir présenté la problématique en introduction, ce rapport se décompose en quatre parties.

Le chapitre 2 présente les différentes données exploitables dans l'analyse fréquentielle des crues. Les informations préhistoriques, historiques et contemporaines sont abordées en détaillant d'une part les moyens disponibles pour les obtenir et d'autre part les problèmes liés à leur utilisation. La formalisation des données sur les crues en vue de leur exploitation dans l'analyse fréquentielle est ensuite abordée.

Le chapitre 3 aborde l'analyse fréquentielle des crues avec prise en compte des données historiques et présente une synthèse des méthodes existantes. Une formulation généralisée pour la méthode du maximum de vraisemblance (MLE_G) dans le cadre des séries de maxima annuels (AM) a été développée. Une adaptation de la méthode de l'algorithme des moments espérés (EMA) aux lois EV1 et GEV est également effectuée. Les méthodes adaptées aux séries de valeurs supérieures à un seuil (POT) sont présentées en second lieu. Quelques commentaires sont également effectués sur les probabilités empiriques et sur la prise en compte des erreurs de mesure des débits.

Le chapitre 4 traite de l'inventaire et de la collecte des données historiques sur les inondations à travers l'étude de cas de l'Ardèche. Une méthodologie, appelée HISTORISQUE et basée sur une collaboration entre historiens et hydrologues, a été développée. Les principaux résultats de la mise en oeuvre de cette méthode sur le bassin étudié sont ensuite présentés.

Le chapitre 5 présente l'exploitation de l'information historique sur deux secteurs du bassin versant de l'Ardèche. Les données limnimétriques collectées sont critiquées puis converties en débits par le biais de modèles hydrauliques 1D. Une vérification de la stationnarité des séries reconstituées est effectuée avant d'estimer les quantiles de crue. Une comparaison des résultats obtenus en exploitant soit l'information historique, soit l'information pluviométrique (méthode du Gradex) montre une bonne cohérence.

En guise de conclusion, nous dressons un bilan du travail réalisé et ouvrons des perspectives pour la poursuite des recherches sur la prise en compte de l'information des crues historiques.

Mots clés : Crues Historiques, Analyse Fréquentielle, Maximum de Vraisemblance, Algorithme des Moments Espérés, Ardèche.

Abstract

This thesis deals with the use of historical flood information to improve flood risk estimation. The problem is presented in introduction and after this report is divided into four parts.

Chapter 2 presents the various data exploitable in flood frequency analysis (FFA). Prehistoric, historical and contemporary information are discussed. Actual means to collect this data and problems involved in its use are also presented. The formalization of the flood data for exploitation in FFA is then tackled.

Chapter 3 deals with FFA when historical data are taken into account and presents a synthesis of existing methods. A generalized formulation for the method based on Maximum Likelihood Estimators (MLE_G) within the framework of the annual maximum flood series (AM) was developed. An adaptation of the Expected Moment Algorithm (EMA) to EV1 and GEV distributions is also carried out. Methods adapted to Peak Over Threshold series (POT) are presented afterwards. Some comments are also carried out on plotting position and measurement errors.

Chapter 4 drafts the inventory and the gathering of historical data on floods through the case study of Ardeche river. A methodology, called HISTORISQUE and based on a collaboration between historians and hydrologists, was developed. Main results of this method applied to the Ardeche river are then presented.

Chapter 5 presents the exploitation of historical information on two sectors of the catchment area of Ardeche. The collected limnimetric data are criticized then converted into flows with hydraulic models. The stationarity of the reconstituted series is examined before estimating flood quantiles. A comparison of results obtained by exploiting either historical information, or pluviometric information (Gradex method) shows a good agreement.

We conclude by striking the balance of this work and proposing future prospects of the use of historical flood information.

Key-Words : Historical floods, Flood Frequency Analysis, Maximum Likelihood Estimators, Expected Moment Algorithm, Ardèche river.

Table des matières

1	Introduction	15
1.1	Préambule	15
1.2	Contexte et problématique	15
1.3	Programmes associés	19
1.4	Plan de la thèse	20
1.5	Bibliographie	22
2	Données disponibles pour l'étude de la distribution des crues	25
2.1	Introduction	27
2.2	Différentes sources d'informations relatives aux crues	27
2.2.1	La période préhistorique (<i>Paleoflood</i>)	28
2.2.2	La période historique	33
2.2.3	La période contemporaine	38
2.3	Schématisation des données	43
2.3.1	L'information systématique (<i>systematic data</i>)	43
2.3.2	L'information non systématique (<i>non systematic data</i>)	43
2.3.3	Traitement statistique de l'information non systématique	45
2.4	Conclusion	47
2.5	Bibliographie	48
3	Analyse fréquentielle des crues avec données non systématiques	53
3.1	Introduction	55
3.2	Rappel des méthodes d'estimation des paramètres sans information censurée	57
3.2.1	Méthode du maximum de vraisemblance (MLE)	57
3.2.2	Méthode des moments (MO)	58
3.2.3	Méthode des moments de probabilité pondérés (PWM)	59
3.2.4	Méthode des <i>L</i> -Moments (LM)	60
3.3	Estimation des paramètres avec information censurée, à partir d'échantillons constitués de valeurs maximales annuelles (AM)	63
3.3.1	Méthode du maximum de vraisemblance (MLE)	64
3.3.2	Méthode des moments pondérés historiquement (HWM)	71
3.3.3	Méthodes des moments partiels de probabilité pondérés (PPWM)	74
3.3.4	Méthode de l'algorithme des moments espérés (EMA)	76
3.4	Rappel du modèle de dépassement	79
3.4.1	Principe général	79
3.4.2	Modèle de dépassement avec flux de Poisson	82

3.5	Estimation des paramètres avec information censurée, à partir d'échantillons constitués de valeurs supérieures à un seuil (POT)	83
3.5.1	Intensité des crues non connue, censure de type binomiale (MLE_{sbc})	83
3.5.2	Intensité des crues connues au-dessus d'un seuil fixé (MLE_{sc})	84
3.5.3	Intensité des crues située dans un intervalle de censure au-dessus d'un seuil fixé (MLE_{sic})	84
3.5.4	Intensité des plus fortes crues connues (MLE_{smf})	85
3.6	Quelques remarques sur les probabilités empiriques (<i>plotting position</i>)	86
3.6.1	Probabilités empiriques sans information censurée	86
3.6.2	Probabilités empiriques avec information censurée	91
3.7	Réduction de l'incertitude d'échantillonnage grâce à l'information historique	96
3.8	Prise en compte des erreurs de reconstitution des débits dans les méthodes d'estimation	97
3.9	Conclusion	100
3.10	Bibliographie	103
4	Collecte des données historiques sur les inondations de l'Ardèche	109
4.1	Introduction	110
4.2	Présentation du bassin versant étudié	111
4.3	Inventaire et collecte des informations sur les crues historiques	116
4.3.1	Aspects généraux de la méthodologie	116
4.3.2	Déroulement de la démarche	117
4.4	Principaux résultats concernant les historiques	125
4.4.1	Rapide historique des services producteurs de données techniques sur les cours d'eau	125
4.4.2	Valeurs remarquables de pluies et de cotes de crues de l'Ardèche issues de l'enquête historique	135
4.5	Conclusion	153
4.6	Bibliographie	154
5	Exploitation de l'information historique (Vallon et St-Martin)	167
5.1	Introduction	168
5.2	Choix des secteurs étudiés	169
5.3	Critique des données limnimétriques	171
5.3.1	Zéro des échelles	171
5.3.2	Cotes retenues et exhaustivité des événements	177
5.4	Reconstitution des débits de crue	183
5.4.1	Secteur de Vallon	183
5.4.2	Secteur de Saint Martin	193
5.4.3	Chroniques de débit retenues	197
5.5	Analyse fréquentielle	203
5.5.1	Test de l'homogénéité et de la stationnarité	203
5.5.2	Ajustements à l'aide des données de Vallon-Pont-d'Arc issues de la période systématique, puis historique	207
5.5.3	Comparaison des résultats obtenus avec l'information des crues historiques de St-Martin avec l'extrapolation par la méthode du Gradex213	213
5.6	Conclusion	216

5.7	Bibliographie	217
6	Conclusion et perspectives	223
6.1	Conclusion	223
6.2	Perspectives	226
6.3	Bibliographie	227
A	Rapports et publications réalisés dans le cadre de la thèse	229
B	Détail des programmes	231
B.1	Format des fichiers de données	231
B.2	Lecture des fichiers et construction des structures	233
B.3	Fonction d'estimation des paramètres de la loi EV1 par la méthode EMA	234
B.4	Fonction d'estimation des paramètres de la loi EV1 par la méthode MLE_G	236
B.5	Fonction d'estimation des paramètres de la loi GEV par la méthode EMA	240
B.6	Fonction d'estimation des paramètres de la loi GEV par la méthode MLE_G	243
B.7	Bibliographie	246
C	Etat Général des Sources sur l'Ardèche	247
C.1	Instruments de recherche	249
C.1.1	Institut de Géographie Alpine (IGA) - Fonds Maurice Pardé	249
C.1.2	Archives Départementales de l'Ardèche (ADA)	250
C.1.3	Archives Nationales (AN)	250
C.1.4	Bibliothèque de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (ENPC)	251
C.1.5	Société Hydrotechnique de France (SHF)	251
C.1.6	Bibliothèque Nationale (BN)	251
C.2	Grille de Lecture	251
C.3	Détail des fonds documentaires exploités	253
C.3.1	Direction Régionale de l'Environnement Rhone-Alpes (DIREN-RA)	253
C.3.2	Institut de Géographie Alpine (IGA)	254
C.3.3	Direction Départementale de l'Equipement de l'Ardèche (DDE07)	261
C.3.4	Archives Départementales de l'Ardèche (ADA)	271
C.3.5	Archives communales (AC)	276
C.3.6	Archives Nationales (AN)	277
C.3.7	Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (ENPC)	280
C.3.8	Société Hydrotechnique de France (SHF)	295
C.3.9	Bibliothèque Nationale (BN)	302
C.4	Bibliographie	306
D	Historique des crues de l'Ardèche	307
D.1	Crues de l'Ardèche avant le XIXe siècle	308
D.2	Crues de l'Ardèche de 1805 à 1830	313
D.3	Inventaire des relevés hydrométriques disponibles aux stations de Vallon Pont d'Arc et St-Martin d'Ardèche	318
D.3.1	Station de Vallon Pont d'Arc	319
D.3.2	Station de St-Martin d'Ardèche	320
D.4	Bibliographie	320



Liste des figures

1.1	Inondation de Nîmes le 03/10/1988	16
1.2	Inondation de Palaja le 23/06/1992	16
1.3	Inondation de l'Aude le 12/11/1999 (destruction du pont SNCF)	16
1.4	Inondation du Saguenay à Chicoutimi le 19/07/1996	16
1.5	Illustration du concept de risque d'inondation	17
2.1	Les différentes sources d'informations relatives aux crues	28
2.2	Schéma de principe d'élaboration des terrasses	30
2.3	Schéma d'une coupe stratigraphique type	30
2.4	Schéma de localisation des différents dépôts	30
2.5	Courbe de tarage établie à partir de dépôts de paléo-crues	34
2.6	Schéma d'une section de contrôle idéale	39
2.7	Exemple d'évolution du matériel et d'adaptation du traitement à EDF	40
2.8	Schéma de la relation section mouillée-débit en fonction du régime de l'écoulement	42
2.9	Différents types d'informations historiques	44
3.1	Diagramme du rapport des L -moments	62
3.2	Schéma des différents types d'information relatives aux crues dans le cadre du modèle de maxima annuels	64
3.3	Schéma de principe de la méthode HWM	72
3.4	Schéma de principe de la méthode PPWM	75
3.5	Schéma de l'algorithme des moments espérés	79
3.6	Définition des variables aléatoires décrivant le processus du renouvellement	80
3.7	Estimation de alpha pour la loi EV1	87
3.8	Illustration des formules de probabilités empiriques, cas de la loi EV1	88
3.9	Illustration de l'inconsistance du traitement des crues historiques par le calcul des probabilités empiriques sur différentes périodes	91
3.10	Illustration de la détermination des probabilités au dépassement des seuils	94
3.11	Série des maxima annuels de la Big Sandy River à la station de Bruceton	95
3.12	Probabilités empiriques par la formule de Hirsch et Stedinger (1987)	95
3.13	Probabilités empiriques par la formule modifiée	95
3.14	Probabilités empiriques avec probabilité de dépassement du seuil estimé par la méthode analytique	95
3.15	Influence de l'erreur de mesure sur l'estimation des quantiles	98
3.16	Estimation de l'intervalle de confiance à 95 % avec débits ponctuels (a et b) ou compris dans un intervalle (c)	98

4.1	Détail des stations hydrométriques du bassin versant de l'Ardèche depuis 1857	112
4.2	Profil en long de l'Ardèche et surface drainée	113
4.3	Hydrogrammes de quelques crues à la station de Sauze St-Martin (n° 61)	113
4.4	Répartition des débits moyens journaliers suivant l'époque de l'année à la station de Sauze St-Martin (n° 61) - Régime pluvial cévenol	113
4.5	Topographie et pluviomètres du bassin de l'Ardèche	114
4.6	Courbe hypsométrique du bassin de l'Ardèche	114
4.7	Structures géologiques du bassin de l'Ardèche	114
4.8	Aménagements hydrauliques	114
4.9	Les différentes étapes de la collecte et de la validation des informations historiques	118
4.10	Surface du bassin versant de l'Ardèche et des sous bassins d'après Cassini	127
4.11	Evolution du nombre de postes pluviométriques au cours des deux derniers siècles	133
4.12	Chronique hauteurs/temps (CTH) à la station de St-Martin d'Ardèche (n° 64) sur la période 1892-1964	138
4.13	Chronique hauteurs/temps (CTH) à la station de Vallon Pont d'Arc (n° 55) sur la période 1861-1964	138
4.14	Carte de l'Ardèche à Vallon-Pont-d'Arc (IGN 1985)	145
4.15	Carte de l'Ardèche à Vallon-Pont-d'Arc en 1857: localisation des sections en travers	145
4.16	Profils en long de lignes d'eau de crues de l'Ardèche à Vallon Pont d'Arc (1827, 1846, 1855, 1856)	146
4.17	Profil en travers n° 1	146
4.18	Profil en travers n° 2	147
4.19	Profil en travers n° 3	147
4.20	Plan du débouché de l'arche de Pont d'Arc	147
4.21	Chronique de débits moyens journaliers (QJO) à la station de Sauze St-Martin (n° 61)	149
4.22	Chronique de débits instantanés maximum mensuels (QMM) à la station de Sauze St-Martin (n° 61)	149
4.23	Chronique de hauteurs instantanées maximales mensuelles (HMM) à la station de Sauze St-Martin (n° 61)	149
4.24	Chronique hauteurs/temps (CTH) à la station de Sauze St-Martin (n° 61)	150
4.25	Chronique hauteurs/temps (CTH) à la station de Vallon Pont d'Arc (n° 55)	150
5.1	Altitude des crues historiques au Moulin de Salavas	170
5.2	Hauteurs minimales annuelles à l'échelle de Vallon (n° 55) sur la période 1875-1964	173
5.3	Hauteurs minimales annuelles à l'échelle de St-Martin (n° 64) sur la période 1892-1964	173
5.4	Hauteurs maximales annuelles des crues historiques à Vallon (n° 55) avant la mise en place du SAC	178
5.5	Correspondance entre les hauteurs aux échelles de Vallon (n° 55) et de St-Martin (n° 64) établie à partir des cotes maximales annuelles issues des relevés d'observateurs	181

5.6	Localisation des profils en travers du modèle hydraulique de Vallon	184
5.7	Crue du 22 septembre 1890 au niveau de l'arche naturelle de Pont d'Arc	185
5.8	Coefficients de rugosité des débits de crues et de basses eaux simulés	185
5.9	Représentation 3D de la géométrie du modèle hydraulique de Vallon	186
5.10	Profil en long de l'Ardèche à Vallon, topographie actuelle (1994-97)	187
5.11	Profil en long de l'Ardèche à Vallon, topographie ancienne (1849)	187
5.12	Courbe de tarage en régime permanent à l'échelle de Vallon (n° 55) et tests de sensibilité du modèle aux paramètres de calage	189
5.13	Crues de 1857: a) Hydrogramme estimé au pont de Vallon, b) limniogrammes observés (points) et simulés (ligne) aux différentes échelles	191
5.14	Crues de 1859: a) Hydrogramme estimé au pont de Vallon, b) limniogrammes observés (points) et simulés (ligne) aux différentes échelles	191
5.15	Modélisation en régime transitoire: a) Hydrogrammes théoriques testés, b) Courbe de tarage à l'échelle de Vallon	191
5.16	Modélisation en régime transitoire: sensibilité de la courbe de tarage de Vallon aux coefficients de rugosité	191
5.17	Courbe de tarage à l'échelle de Vallon (n° 55) avant 1921	192
5.18	Courbe de tarage à l'échelle de Vallon (n° 55) période 1921-2001	192
5.19	Profil en long de l'Ardèche à St-Martin	193
5.20	Courbe de tarage de l'échelle de St-Martin (n° 64) avant 1941	195
5.21	Courbe de tarage de l'échelle de St-Martin (n° 64) depuis 1941	195
5.22	Courbe de tarage de l'échelle de Sauze (n° 61)	196
5.23	Comparaison des débits de crue estimés à Vallon, Sauze et St-Martin	197
5.24	Test de stationnarité de la série des débits supérieurs au seuil de 810 m ³ /s à Vallon sur la période 1980-2001	204
5.25	Test de stationnarité de la série des débits supérieurs au seuil de 2250 m ³ /s à Vallon sur la période 1892-2001	204
5.26	Test de stationnarité de la série des débits supérieurs au seuil de 4750 m ³ /s à Vallon sur la période 1815-2001	205
5.27	Test de stationnarité de la série des débits supérieurs au seuil de 5650 m ³ /s à Vallon sur la période 1708-2001	205
5.28	Test de saisonnalité à Vallon pour différents seuils	206
5.29	Chronique de débits maximum annuels à Vallon exploitée dans l'analyse fréquentielle	208
5.30	Chronique de débits maximum annuels à St-Martin exploitée dans l'analyse fréquentielle	208
5.31	Distributions des débits à Vallon avec prise en compte de l'information historique	211
5.32	Distribution des débits à St-Martin avec information historique ou pluviométrique	215
B.1	Fonction d'Euler	235
C.1	Grille de lecture	252



Liste des tableaux

3.1	Valeurs de alpha pour la formule des probabilités empiriques	89
3.2	Propriétés des méthodes statistiques d'exploitation des données historiques	100
3.3	Synthèse des fonctions de vraisemblance pour les différents types d'information historique (BC, C, IC et MF) suivant les approches maxima annuel (AM) ou valeur supérieure à un seuil (POT)	101
4.1	Caractéristiques des principaux barrages sur l'Ardèche	115
4.2	Fonds inventoriés dans le cadre du projet HISTORISQUE-Ardèche	122
4.3	Valeurs en mètre à ajouter aux altitudes anciennes pour les convertir au système NGF-IGN69 dans les secteurs de Vallon Pont d'Arc et St-Martin d'Ardèche	129
4.4	Cumuls de pluie remarquables sur la période 1805-1900	135
4.5	Hauteurs maximales annuelles au-dessus de l'étiage des crues historiques répertoriées à Vallon (n° 55) et St-Martin (n° 64) sur la période 1522-1891	141
4.6	Synthèse des lacunes des séries disponibles dans la banque HYDRO aux stations de Vallon et Sauze	152
5.1	Historique des stations de Vallon	172
5.2	Estimation du zéro du limnigraphe de Vallon	175
5.3	Historique des stations de Sauze	176
5.4	Historique des stations de Saint Martin	177
5.5	Hauteurs maximales annuelles au-dessus de l'étiage des crues historiques retenues à Vallon (n° 55) et St-Martin (n° 64) - Seuils adoptés sur la période 1645-1891	180
5.6	Erreurs relatives maximales entre les hauteurs modélisées et les laisses des crues historiques à Vallon	188
5.7	Comparaison entre les débits de crue (m ³ /s) estimés à Vallon par Maurice Pardé et ceux issus du modèle hydraulique	198
5.8	Liste des crues de l'Ardèche à Vallon, Sauze et St-Martin	200
5.9	Quantiles (en m ³ /s) estimés à Vallon	212
5.10	Quantiles (en m ³ /s) estimés à St-Martin	214
B.1	Format des fichiers	232
B.2	Structure des données non censurées	233
B.3	Structure des données censurées	233
B.4	Différentes combinaisons des bornes de l'information censurée	234
B.5	Différentes combinaisons des bornes de l'information censurée	241

