

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Band: 91 (1973)
Heft: 33

Artikel: Utilisation de l'analyse fréquentielle des crues pour la détermination de la crue de projet
Autor: Bruschin, J. / Estève, R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-71958>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 17.11.2024

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Utilisation de l'analyse fréquentielle des crues pour la détermination de la crue de projet

Suite du numéro 32, p. 777-781

Par J. Bruschin et R. Estève, Lausanne

DK 551.49:627.51

Communication du Laboratoire d'hydraulique de l'EPFL sur mandat et en collaboration avec le Service fédéral des routes et des digues

2. Séries annuelles – méthodes et résultats de l'analyse du réseau hydrographique suisse

2.1 Introduction

Sur l'initiative conjointe du LHYDREP et du SFRD, il fut décidé en 1970 déjà de procéder à une analyse des séries annuelles pour l'ensemble du réseau hydrographique suisse, soit pour 420 stations environ. Il s'agissait en l'occurrence d'une analyse fréquentielle de ces séries devant conduire à l'attribution d'une loi de probabilité, sur une dizaine de lois utilisées couramment en hydrologie, à toute station susceptible d'une analyse complète, de calculer dans ce cas les débits correspondant aux durées de retour de 10, 20, 50, 100, 200 et 1000 ans et représenter graphiquement sur papier Gibrat-Gauss (Galton) la ou les lois acceptées selon certains critères ainsi que, et cela pour toutes les stations, les probabilités expérimentales des crues observées.

Le traitement de cet important volume d'informations devrait d'emblée être envisagé sur le plan des moyens de l'EPFL – un ordinateur de taille relativement modeste, l'IBM 7040¹⁾, et un traceur (plotter) type CIN 6011, lesquels:

- ont imposé des limitations principalement dans le choix des lois de probabilité à traiter et dans la représentation graphique
- ont déterminé la conception, la structure et même le choix de certains algorithmes des programmes de calcul

2.2 Choix des lois de probabilité

Les lois d'un emploi courant en hydrologie – voir fig. 1.4 – peuvent être classées en:

- lois «normales» simple ou des logarithmes (log-normale) proposées par Galton, à deux paramètres G2 (loi connue aussi sous le nom de Gibrat-Gauss) et à 3 paramètres G3
- lois exponentielles dont la plus connue est celle proposée par Fuller (FU) et généralisée par Goodrich (GO), Jenkinson, etc.
- lois dites des extrêmes ou doublement exponentielles dont celle utilisée par Gumbel (GU), la loi des logarithmes correspondante de Fréchet (FR) et la loi de von Mises
- lois de type Gamma dont nous citons la loi Gamma (GA), Pearson III (3 paramètres) et log-Pearson III.

Les critères du choix qui a été fait, l'utilisation dans l'analyse des séries de toutes ces lois nous paraissant une solution excessive, sont les suivants:

- conserver au moins une loi par catégorie, la préférence

- allant aux lois à deux paramètres libres susceptibles d'une linéarisation (papier de probabilité) soit G2, FU, GU et FR
- tenir compte de l'expérience acquise avec les lois G2 et FU qui manquent trop souvent de souplesse en les doublant respectivement par G3 et GO
- assurer une automatisation complète des calculs et dessins avec nos moyens

C'est ce dernier critère qui a décidé de l'élimination de la loi log-Pearson III²⁾ sélectionnée en 1967 sur six lois (les autres étant GA, GU, FR, G3 et Pearson III), par un groupe de travail auprès du Water Resources Council – USA et seule à être utilisée dans le cadre de cette institution. Ce choix résultant d'une analyse portant sur 10 stations seulement a été confirmé par une étude plus récente concernant 329 stations situées dans la plaine centrale des USA (séries de 15 à 64 années) qui par ailleurs classe les lois G3 et GU en très bonne position sur 8 lois examinées. Toutefois, l'utilisation de cette loi impliquait l'emploi de tables établies par le WRC et limitées à une probabilité de dépassement $P = 0,5\%$ (il nous était demandé de descendre à $P = 0,1\%$) donc pratiquement une intervention manuelle pour chaque station, la capacité de l'ordinateur étant nettement dépassée en traitement automatique par l'apparition de coefficients numériques inférieurs à 10^{-76} , moins fréquents dans le cas de la loi GA de même structure.

Le choix final correspond donc à la liste des sept lois données à la fig. 1.4.

2.3 Analyse et préparation préalables des données

Les séries annuelles ont été constituées à partir des indications données aux «Annuaire hydrologiques de la Suisse» couvrant la période 1894-1970, selon les règles suivantes:

- la série est formée par toutes les crues annuelles observées. Les modifications importantes du régime hydrologique sont signalées
- les débits de crue indiqués dans les annuaires par des fourchettes sont pris dans la série avec la valeur obtenue par extrapolation des courbes débits-hauteurs. Ces valeurs sans être sûres doivent néanmoins être considérées comme les plus probables.

Les règles ci-dessus ne sont pas le résultat d'une étude approfondie de chaque station – impossible dans ce cadre – et ne font que traduire la volonté d'assurer une uniformité de traitement de toute l'information en évitant des manipulations

¹⁾ Le programme a été adapté récemment par le Bureau fédéral de statistique pour emploi sur ordinateurs de la série IBM 360-65.

²⁾ Cette loi a été incluse dans le programme adapté par le Bureau fédéral de statistique pour ordinateurs de taille supérieure.

qui ne sauraient être dans notre cas qu'arbitraires. C'est lors d'études particulières qu'un supplément d'information ou des considérations subjectives pourraient conduire à une ou même plusieurs modifications de telle ou telle série annuelle. L'instrument et les modalités d'analyse utilisés dans notre étude pourront, bien entendu, être réutilisés.

Les séries brutes ainsi obtenues pour chaque station ont été examinées au point de vue de leur homogénéité statistique (test de *Wilks*). Nous avons admis qu'un résultat positif nous autorise à combiner toutes les crues annuelles observées en une seule série.

En ce qui concerne le test d'adéquation (χ^2) il n'est significatif qu'à partir d'un certain nombre de valeurs observées par classe (fraction de l'intervalle $Q_{\min} - Q_{\max}$ de la série). Après examen approfondi de la question, nous avons constaté que les séries comprenant moins de 25 valeurs conduisent à des résultats équivoques. Il apparaît donc que seules les stations ayant $N \geq 25$, où N est le nombre de crues annuelles dans chaque série homogène, peuvent être complètement analysées. Les environ 420 séries ont de ce fait été réparties en quatre catégories traitées différemment:

- 1 - $N \leq 10$ station abandonnée
- 2 - $10 < N < 20$ on calcule les probabilités expérimentales et les points seuls sont portés sur les graphiques
- 3 - $20 < N < 25$ analyse et représentation quasi-complètes; seul le test d'adéquation n'est pas exécuté. Cas de 22 stations
- 4 - $N \geq 25$ traitement complet pour 127 stations

Les deux dernières catégories sont les seules intéressantes pour la suite et les conclusions de notre étude. Pour contrôle, nous avons constitué à l'intérieur de la catégorie 4, un groupe de 54 stations-témoins ayant $N \geq 50$, statistiquement les plus sûres, qui ont été étudiées une fois ensemble et une 2e fois indépendamment du groupe $N \geq 25$. Les 149 stations sont caractérisées globalement par les deux graphiques (fig. 2.1 et 2.2) montrant la distribution des stations par superficie du bassin versant et par taille des séries annuelles analysées.

2.4 Description succincte du programme de calcul AFC 3

L'analyse fréquentielle proprement dite est exécutée en cycle continu par l'ordinateur, lequel:

- réarrange les séries par ordre décroissant des débits et calcule les probabilités expérimentales $n/N+1$ où n est le rang de la crue et N le nombre total de crues dans la série.

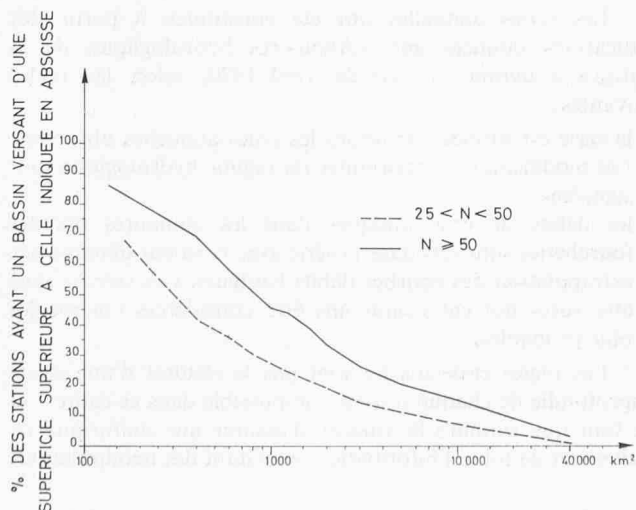


Fig. 2.1. Superficie des bassins versants étudiés

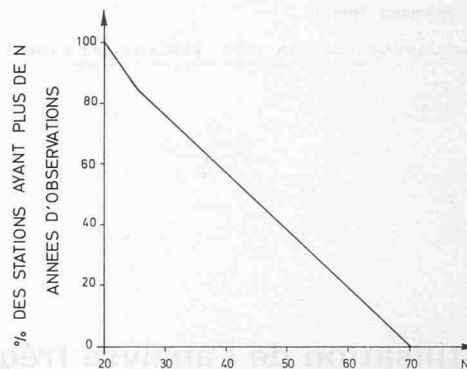


Fig. 2.2. Stations limnigraphiques étudiées — nombre N d'années d'observations (tailles des échantillons)

- calcule les moments de 1er, 2e et 3e ordres de l'échantillon (série)
- procède à l'ajustement des paramètres des lois retenues pour l'analyse par la méthode des moments
- détermine les débits «théoriques» correspondant aux durées de retour T de 10, 20, 50, 100, 200 et 1000 ans
- exécute le test d'adéquation du χ^2 et élimine les lois pour lesquelles le seuil de signification ε est inférieur à 1%. Les autres lois sont classées en deux groupes: $\varepsilon > 5\%$ et $1 < \varepsilon < 5\%$. Imprime le χ^2 cumulé des deux dernières classes (grandes crues) des lois acceptées
- imprime les valeurs $Q_{T\min}$ et $Q_{T\max}$ (fourchettes) pour les T déjà citées et les lois acceptées par le test d'adéquation au seuil de 1% au moins
- ordonne l'enregistrement sur bandes magnétiques des résultats en vue de l'impression par le traceur (plotter) des points expérimentaux et des lois théoriques ajustées en échelles logarithmiques et probabilité gaussienne (papier log-normal).

Le programme de calcul AFC3 (voir l'organigramme de la fig. 2.3) est formé:

- d'un programme principal
- de 14 sous-programmes de calcul
- de 2 sous-programmes de fonction

Le nombre de crues par série est limité à $N = 120$, mais le nombre de lois de probabilité analysées peut être porté à 15 sans modification d'utilisation de mémoire.

Le traitement des 7 lois de probabilité retenues est soumis aux règles suivantes:

- les lois G3 et GO ont la priorité sur G2 et FU respectivement, ces deux dernières n'intervenant que lorsque les moments du 3e ordre sont négatifs, un des débits théoriques de la loi ajustés est inférieur à $1\text{m}^3/\text{s}$, etc.
- la dernière condition citée ci-dessus entraîne la suppression de toute loi
- la loi GA est supprimée lorsque $B_7 \geq 2$, la capacité de l'ordinateur est dépassée ou la précision des résultats intermédiaires est insuffisante pour la suite des calculs

Un exemple complet de sortie des résultats est donné en annexe.

Le temps de traitement sur l'ordinateur IBM 7040 d'un échantillon est pratiquement indépendant de sa taille: pour la compilation et l'exécution avec traitement en vue du traçage graphique compris il est de 0,255 heure.

2.5 Résultats de l'analyse

Sur les 127 stations ayant subi une analyse complète, 108 ont accepté au seuil de signification de 5%, au moins une des lois utilisées. Il est apparu toutefois que la plupart des stations

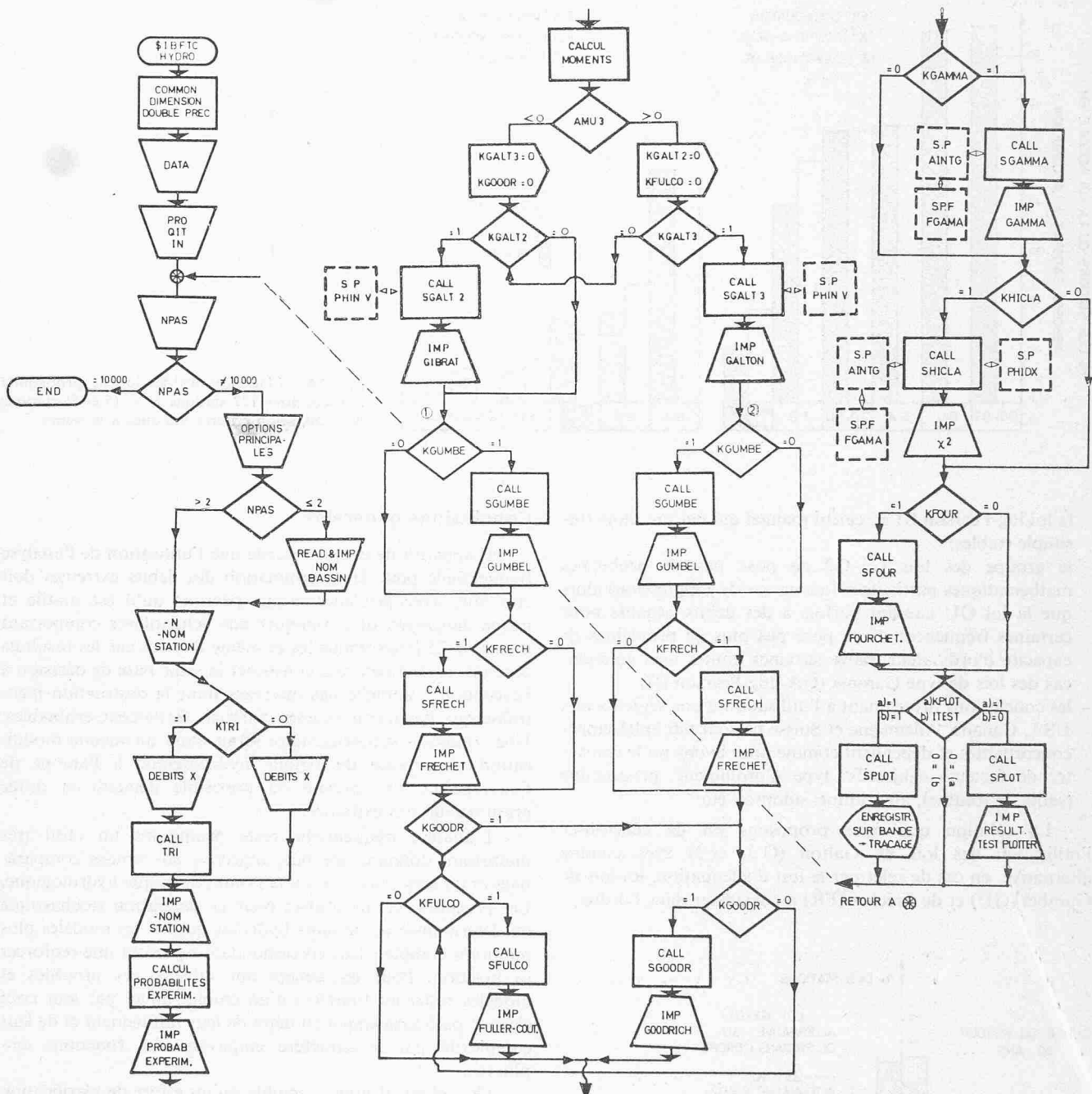


Fig. 2.3. Organigramme général du programme AFC 3

acceptent 2 à 5 lois simultanément ce qui pose le problème des critères de choix. Nous avons retenu les trois suivants :

- la loi choisie devrait être la plus généralement acceptée
- parmi les lois acceptées, elle devrait se classer régulièrement au seuil de signification le plus élevé. Nous avons admis comme critère: S ou $\sum \chi^2 = \text{minimum}$ (fig. 1.3) en même temps que la somme $(m_i - np_i)/np_i$ pour les 2 dernières classes (les plus grandes crues)
- elle devrait conduire à la «meilleure prévision» c'est-à-dire que la moyenne des écarts entre les crues prévues à partir des lois adoptées et les crues observées devrait être la plus faible. L'analyse effectuée aux USA classe, à cet égard, la loi log-Pearson III en 1ère position suivie des lois G3 et GU.

La fig. 2.4 montre pour l'ensemble des stations et pour les stations ayant $N \geq 50$ que les deux premiers critères sont contradictoires. Nous sommes alors partis de l'observation que pour toutes les stations ayant accepté au moins une loi au

seuil de 5%, cette loi est soit G3 (G2) soit GU ou FR. Si nous comparons maintenant les écarts entre les prévisions obtenues par un choix résultant de l'application du seul 2e critère et les prévisions correspondantes pour les crues cinquantenaires et centennaires lorsque sont attribuées par ordre des lois G3 (G2), GU et FR ou GU, G3 (G2) et FR (1er critère) nous constatons (fig. 2.5) que dans le premier cas ces écarts restent compris entre $\pm 5\%$ pour 88% et 71% des stations aux fréquences respectives. Les résultats sont nettement moins bons pour le 2e cas où ces écarts sont d'une manière générale sensiblement plus forts. S'ajoutent à ceci les faits suivants :

- l'utilisation des lois de Galton a une solide tradition en Europe
- les lois de Galton sont acceptées au seuil de signification de 1% par 98% des stations analysées
- les résultats intermédiaires des calculs par ordinateur pour la loi G 3 (moments) peuvent être directement utilisés pour

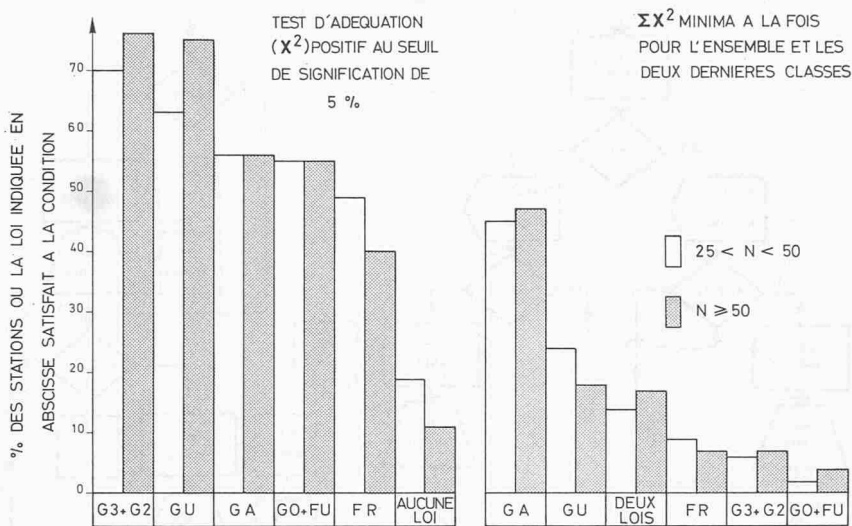


Fig. 2.4. Classifications des lois de probabilité utilisées pour 127 stations $N \geq 25$ et 54 stations $N \geq 50$, selon critères indiqués à la figure

la loi log-Pearson III en calcul manuel qui devient alors très simple (tables)

- le groupe des lois G3-G2 ne pose pas de problèmes mathématiques particuliers (aucun cas de suppression) alors que la loi GU conduit parfois à des débits négatifs pour certaines fréquences. Il ne pose pas plus de problèmes de capacité d'ordinateur (dans certaines limites bien entendu) cas des lois de type Gamma (GA, log-Pearson III)
- les conclusions tirées quant à l'utilisation d'une seule loi aux USA, Canada, Allemagne et Suisse ne sont pas entièrement concordantes et dépendent comme nous avons pu le constater de facteurs subjectifs: type d'ordinateur, programme (sauts de routine), algorithmes adoptés, etc.

La solution que nous proposons est de généraliser l'utilisation des lois de Galton (G3, G2) avec comme alternative, en cas de rejet par le test d'adéquation, les lois de Gumbel (GU) et de Fréchet (FR) à considérer dans l'ordre.

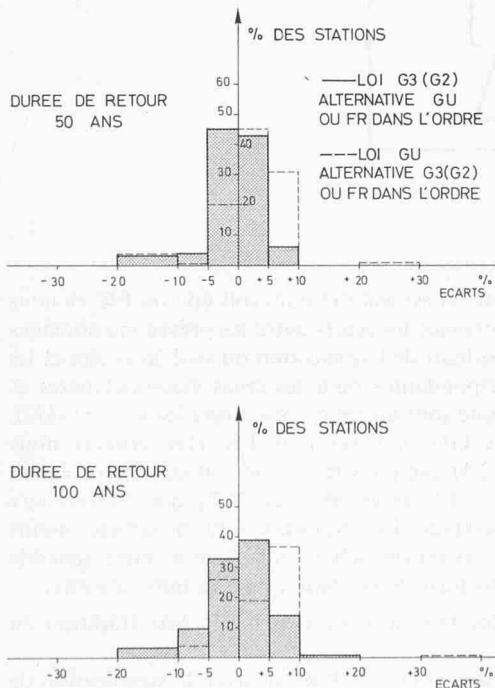


Fig. 2.5. Crues cinquantiennes et centennaires: écarts par rapport à la loi la plus «adéquate» selon indications données à la figure

Conclusions générales

Il apparaît de ce qui précède que l'utilisation de l'analyse fréquentielle pour la détermination des débits extrêmes doit être faite avec prudence. Nous pensons qu'il est inutile et même dangereux de l'appliquer aux échantillons comportant moins de 25 crues annuelles et même dans ce cas les résultats obtenus ne devraient pas constituer la seule base de décision à l'exception éventuelle des ouvrages dont la destruction n'entraîne que des inconvénients matériels facilement évaluables. Une condition supplémentaire serait alors qu'aucune modification importante du régime hydrologique à l'amont de l'ouvrage ne soit prévue ou prévisible pendant la durée présumée de son existence.

L'analyse fréquentielle reste néanmoins un outil très intéressant donnant une base objective aux études comparatives et un sens plus précis à la notion de risque hydrologique. Les procédés récents utilisés pour la génération stochastique ou déterministe de données hydrologiques et les modèles plus ou moins complets leur correspondant ne feront que renforcer sa position. Pour les années qui suivent, ces procédés et modèles resteront toutefois d'un emploi limité par leur coût élevé et paradoxalement en dépit de leur raffinement et de leur complexité par le caractère empirique des fonctions employées.

Ceci étant, il nous a semblé qu'un effort de clarification des idées et de simplification des procédés s'imposait. C'est à ce but que nous avons consacré cette publication.

Bibliographie

- [1] Les débits maximums des cours d'eau suisses observés jusqu'en 1956. Publication de l'Inspection Fédérale des Travaux Publics - 1958.
- [2] M. Roche: Hydrologie de surface, Paris, 1963.
- [3] Ven Te Chow: Handbook of applied hydrology, McGraw-Hill, 1964.
- [4] G. Remeneiras: L'hydrologie de l'ingénieur. Paris, 1965.
- [5] J. Bernier: Sur l'application des diverses lois limites des valeurs extrêmes aux problèmes des débits de crue. Revue des Statistiques Appliquées, 1965.
- [6] E. J. Gumbel: Statistics of Extremes, Columbia University Press, 1967.
- [7] D. Lauterbach: Betrachtungen zur Wahl von Verteilungsfunktionen für die Berechnung von Hochwasserdurchflüssen. WWT, 1-1968.
- [8] H. Stefan: Ein einheitliches Verfahren zur Bestimmung von Hochwasserhäufigkeiten. «Die Wasserwirtschaft» 8/1968.
- [9] Shane, etc.: Peak flood discharge confidence limits. «Journal of the Hydraulics Division», Janvier 1969.

NOMBRE DE MESURES DE L ECHANTILLON = 51

AMU1 = 1392.647 AMU2 = 249400.191 AMU3 = 119056969. ECTYP = 499.400

LISTE DES DEBITS MESURES ET PROBABILITES
EXPERIMENTALES CORRESPONDANTES

AMLOG1 = 3.117109 AMLOG2 = 0.024132 ECTYL = 0.155344

RANG DEBITS M3/S PROB.EXP.

GALTON 3P

RANG	DEBITS M3/S	PROB.EXP.
1	3100.0	1.923
2	2600.0	3.846
3	2100.0	5.769
4	2050.0	7.692
5	1980.0	9.615
6	1980.0	11.538
7	1960.0	13.462
8	1920.0	15.385
9	1850.0	17.308
10	1810.0	19.231
11	1800.0	21.154
12	1800.0	23.077
13	1700.0	25.000
14	1680.0	26.923
15	1650.0	28.846
16	1640.0	30.769
17	1580.0	32.692
18	1510.0	34.615
19	1476.0	36.538
20	1450.0	38.462
21	1440.0	40.385
22	1415.0	42.308
23	1400.0	44.231
24	1350.0	46.154
25	1307.0	48.077
26	1302.0	50.000
27	1270.0	51.923
28	1265.0	53.846
29	1250.0	55.769
30	1250.0	57.692
31	1250.0	59.615
32	1230.0	61.538
33	1180.0	63.462
34	1170.0	65.385
35	1075.0	67.308
36	1070.0	69.231
37	1050.0	71.154
38	1037.0	73.077
39	1010.0	75.000
40	1000.0	76.923
41	1000.0	78.846
42	1000.0	80.769
43	948.0	82.692
44	921.0	84.615
45	920.0	86.538
46	889.0	88.462
47	872.0	90.385
48	670.0	92.308
49	670.0	94.231
50	590.0	96.154
51	588.0	98.077

XOGAL3 = -224.504 AGALT3 = 7.6293 BGALT3 = -24.3295

PROB. DE DEPASS. CHOISIES DEBITS CORRESP. EN M3/S

99.5	485
98.0	606
93.0	765
80.0	974
60.0	1206
40.0	1443
20.0	1767
10.0	2050
5.0	2313
2.0	2647
1.0	2893
0.5	3137
0.1	3792

CRUE POUR UNE PERIODE DE RETOUR DE

10 ANS	=	2050	M3/S
20 ANS	=	2313	M3/S
50 ANS	=	2647	M3/S
100 ANS	=	2893	M3/S
200 ANS	=	3137	M3/S
1000 ANS	=	3702	M3/S

GUMBEL

AGU = 0.002450 XOGU = 1157.079453

PROB. DE DEPASS. CHOISIES DEBITS CORRESP. EN M3/S

99.5	476
98.0	600
93.0	757
80.0	962
60.0	1192
40.0	1431
20.0	1769
10.0	2075
5.0	2369
2.0	2749
1.0	3034
0.5	3318
0.1	3975

CRUE POUR UNE PERIODE DE RETOUR DE

10 ANS	=	2075	M3/S
20 ANS	=	2369	M3/S
50 ANS	=	2749	M3/S
100 ANS	=	3034	M3/S
200 ANS	=	3318	M3/S
1000 ANS	=	3975	M3/S

FRECHET

HFR = 3.047196 AKFR = 8.256216

PROB. DE DEPASS. CHOISIES DEBITS CORRESP. EN M3/S

99.5	700
98.0	762
93.0	848
80.0	976
60.0	1142
40.0	1344
20.0	1693
10.0	2088
5.0	2552
2.0	3309
1.0	4021
0.5	4882
0.1	7652

CRUE POUR UNE PERIODE DE RETOUR DE

10 ANS	=	2088	M3/S
20 ANS	=	2552	M3/S
50 ANS	=	3309	M3/S
100 ANS	=	4021	M3/S
200 ANS	=	4882	M3/S
1000 ANS	=	7652	M3/S

GOODRICH

AGOOD = 0.189E-04 ALFGO = 609.5714 Y = 0.6227

PROB. DE DEPASS. CHOISIES DEBITS CORRESP. EN M3/S

99.5	641
98.0	686
93.0	750
80.0	952
60.0	1184
40.0	1436
20.0	1784
10.0	2073
5.0	2339
2.0	2652
1.0	2870
0.5	3077
0.1	3520

CRUE POUR UNE PERIODE DE RETOUR DE

10 ANS	=	2078	M3/S
20 ANS	=	2339	M3/S
50 ANS	=	2652	M3/S
100 ANS	=	2870	M3/S
200 ANS	=	3077	M3/S
1000 ANS	=	3520	M3/S

GAMMA

AGAM = 0.55840E-02 GGAM = 0.77765E 01 ALOGG = -0.24211E 02

PROB. DE DEPASS. CHOISIES DEBITS CORRESP. EN M3/S

99.5	438
98.0	566
93.0	737
80.0	964
60.0	1213
40.0	1460
20.0	1786
10.0	2058
5.0	2303
2.0	2599
1.0	2808
0.5	3008
0.1	3444

CRUE POUR UNE PERIODE DE RETOUR DE

10 ANS	=	2058	M3/S
20 ANS	=	2303	M3/S
50 ANS	=	2599	M3/S
100 ANS	=	2808	M3/S
200 ANS	=	3008	M3/S
1000 ANS	=	3444	M3/S

Annexe:

Exemple de traitement à l'ordinateur — Station de St-Margrethen sur le Rhin

TEST DU KHI CARRE

	LCI	CLASSE	DEGRES LIB.	DF	ANU	KHI CARRE PART.	KHI CARRE CUM.
	3	1	4	0.134391	6.853942	0.191634	0.191634
	3	2	4	0.120894	6.165592	0.545779	0.737414
	3	3	4	0.160070	8.163551	0.165841	0.903255
	3	4	4	0.125162	6.383275	0.059585	0.962840
	3	5	4	0.178434	9.100136	0.484671	1.447511
	3	6	4	0.104445	5.326715	0.525631	1.973141
	3	7	4	0.150354	7.668061	0.058203	2.031344
	4	1	4	0.107472	5.431086	1.157604	1.157604
	4	2	4	0.088921	4.534975	2.647511	3.805115
	4	3	4	0.135529	6.911961	0.001121	3.806236
	4	4	4	0.127730	6.514216	0.036226	3.842462
	4	5	4	0.225596	11.505398	1.764269	5.606731
	4	6	4	0.151906	7.747187	0.072063	5.678794
	4	7	4	0.137571	7.016116	0.000037	5.678831
LOIS AJUSTEES (1)							
K(1) = 1	7	1	4	0.140341	7.157413	0.099191	0.099191
K(2) = 0	7	2	4	0.134656	6.867464	0.186770	0.285962
K(3) = 1	7	3	4	0.167861	8.560901	0.284598	0.570559
K(4) = 1	7	4	4	0.123006	6.273304	0.084180	0.654739
K(5) = 1	7	5	4	0.166046	8.468345	0.254600	0.909339
K(6) = 0	7	6	4	0.094721	4.830788	0.974061	1.883400
K(7) = 1	7	7	4	0.145681	7.429730	0.024855	1.908255
	1	1	3	0.133160	6.791164	0.215174	0.215174
	1	2	3	0.129086	6.532380	0.329728	0.544902
	1	3	3	0.167294	8.532002	0.275085	0.819988
	1	4	3	0.127511	6.503055	0.037975	0.857963
	1	5	3	0.176659	9.009629	0.448255	1.306217
	1	6	3	0.101032	5.152617	0.662348	1.968565
	1	7	3	0.144095	7.348853	0.016560	1.985125
	5	1	3	0.129059	6.323896	0.072284	0.072284
	5	2	3	0.116498	5.708384	0.292249	0.364533
	5	3	3	0.147681	7.236381	0.007722	0.372255
	5	4	3	0.134597	6.595248	0.024840	0.397095
	5	5	3	0.162635	7.969123	0.117855	0.514949
	5	6	3	0.065022	3.186084	4.565466	5.080415
	5	7	3	0.226274	11.087442	1.506856	6.587272

RESULTATS FORTRAN. 23 06 72

SOMME DES KHI CARRÉS DES 2 PREMIERES CLASSES

AKC(3) = 0.737414
 AKC(4) = 3.805115
 AKC(7) = 0.285962
 AKC(1) = 0.544902
 AKC(5) = 0.364533

RESULTATS DU TEST DU KHI CARRE

LIMITE DE SIGNIFICATION SUP. A 5 0/0 POUR LOI NUMERO 3
 LIMITE DE SIGNIFICATION SUP. A 5 0/0 POUR LOI NUMERO 4
 LIMITE DE SIGNIFICATION SUP. A 5 0/0 POUR LOI NUMERO 7
 LIMITE DE SIGNIFICATION SUP. A 5 0/0 POUR LOI NUMERO 1
 LIMITE DE SIGNIFICATION SUP. A 5 0/0 POUR LOI NUMERO 5

LOIS CONSERVEES (1)

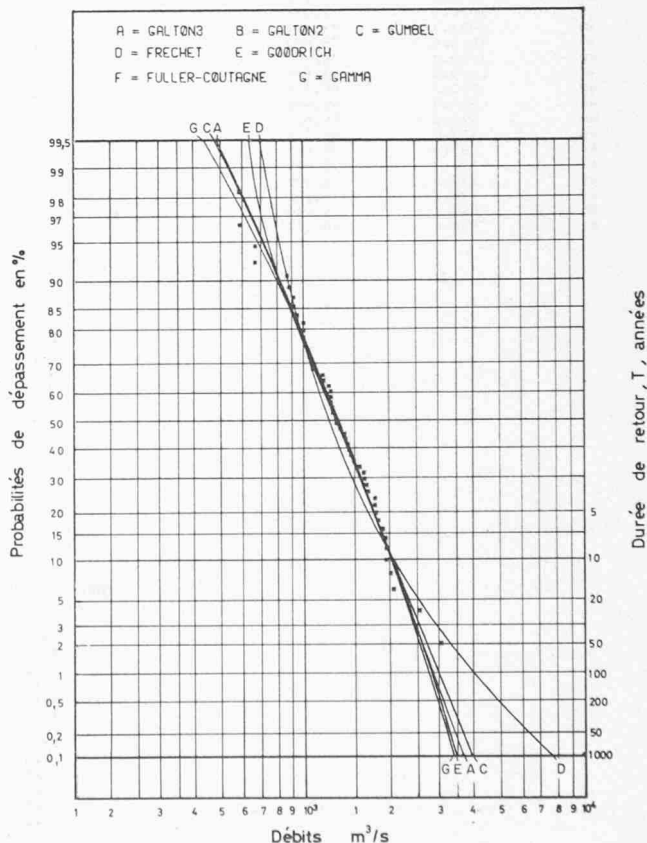
LOI NUMERO 1 INDICEE 1
 LOI NUMERO 2 INDICEE 0
 LOI NUMERO 3 INDICEE 1
 LOI NUMERO 4 INDICEE 1
 LOI NUMERO 5 INDICEE 1
 LOI NUMERO 6 INDICEE 0
 LOI NUMERO 7 INDICEE 1

FOURCHETTES EN M3/S

CRUES POUR UNE PERIODE DE RETOUR DE 10 ANS	2050	GALT3	2088	FRECH
CRUES POUR UNE PERIODE DE RETOUR DE 20 ANS	2303	GAMMA	2552	FRECH
CRUES POUR UNE PERIODE DE RETOUR DE 50 ANS	2599	GAMMA	3309	FRECH
CRUES POUR UNE PERIODE DE RETOUR DE 100 ANS	2808	GAMMA	4021	FRECH
CRUES POUR UNE PERIODE DE RETOUR DE 200 ANS	3008	GAMMA	4882	FRECH
CRUES POUR UNE PERIODE DE RETOUR DE 1000 ANS	3444	GAMMA	7652	FRECH

Bibliographie (Suite)

- [10] W. Bechteler: Untersuchung langjähriger hydrologischer Reihen. Mitteilungen der TH München, 3-1969.
- [11] G. Remeneiras: Limites pratiques d'utilisation des méthodes statistiques d'analyse fréquentielle pour la détermination des crues extrêmes. Congrès International de l'Accadémie dei Lincei, Nov. 1969.
- [12] R. Schröder: Häufigkeitsanalyse hydrologischer Daten. TB 5-Institut für Hydraulik und Hydrologie an der TH Darmstadt, 1969.
- [13] Yen Ben Chie: Risks in hydrologic design of engineering projects. Journal of the Hydraulics Division, Avril 1970.
- [14] H. Schreiber: Über Methoden zur Berechnung der n-Jährlichkeit von Hochwässern. «Österreichische Wasserwirtschaft», 5/6, 1970.
- [15] H. G. Mendel: Die Verteilungsfunktion in der hydrologischen Ex-



tremwertstatistik. Communication au Symposium de l'Interprevent, Septembre 1971.

- [16] P. Victorov: Effect of period of record in flood prediction. «Journal of the Hydraulics Division», Novembre 1971.
- [17] K. P. Singh, etc.: Two-distribution method for flood frequency analysis. «Journal of the Hydraulics Division», Janvier 1972.
- [18] C. H. Hardison, M. E. Jennings: Bias in computed flood risk. «Journal of the Hydraulics Division», Mars 1972.
- [19] Annales hydrologiques de la Suisse - OFEH.

Adresse des auteurs: J. Bruschin, chef de section, et R. Estèves, ing., Laboratoire d'hydraulique d'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 67 rue de Genève, 1004 Lausanne.