



n° 11505



Commission internationale de l'Hydrologie du bassin du Rhin

Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes

Estimation des probabilités de crues et d'étiages
dans le bassin du Rhin

Berechnung von Hoch- und Niedrigwasserwahr-
scheinlichkeit im Rheingebiet

Rapporteur: H. G. Mendel, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

Auteurs/Autoren: W. Buck, Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft der Universi-
tät Karlsruhe

R. Kipgen, Administration des services techniques de l'agriculture,
Luxembourg

J. W. van der Made, Rijkswaterstaat, 's-Gravenhage

F. de Montmollin, Service hydrologique national, Berne

H. Zettl, Hydrographisches Zentralbüro im Bundesministerium für
Land- und Forstwirtschaft, Wien

J. F. Zumstein, Agence financière de bassin Rhin-Meuse, Metz



Secretariaat CHR | KHR
Maerlant 4-6

Postbus 17
8200 AA Lelystad
Pays-Bas | Niederlande

Rapport no. I-4 de la CHR
Bericht Nr. I-4 der KHR

Langues originales: français, allemand et néerlandais
Originalsprachen: Französisch, Deutsch und Niederländisch

© 1986, CHR/KHR
ISBN 90 70 980 037

Nederlandstalige gedeelten:

Samenvatting: blz. 43

Bijzonderheden CHR: blz. 72

English texts:

Summary: p. 43

Particulars CHR: p. 72

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK,
DEN HAAG

Estimation

Estimation des probabilités de crues et d'étiages dans le bassin du Rhin = Berechnung von Hoch- und Niedrigwasserwahrscheinlichkeit im Rheingebiet / rapporteur: H. G. Mendel: auteurs/Autoren: W. Buck [et al.]. – 's-Gravenhage: CHR/KHR. – Ill., graf., tab. – (Rapport de la CHR = Bericht der KHR; no. 1-4)
Tekst in het Frans en Duits. – Met lit. opg. – Met samenvatting in het Nederlands en Engels.

ISBN 90-70980-03-7

SISO 568.2 UDC 556.53(282.243.1)

Trefw.: hydrologie; Rijn.

Préface

La *Décennie Hydrologique Internationale (DHI)*, conduite par l'Unesco au cours des années 1965 à 1974, comptait parmi les objectifs principaux de son programme, celui d'améliorer la coopération internationale à l'échelle régionale, dans le domaine de l'hydrologie. Les Etats riverains du Rhin se sont groupés dans le cadre de ce programme, comme d'autres Etats l'ont fait dans d'autres régions, et ils ont fondé ensemble en 1970 la «Commission internationale de l'Hydrologie du bassin du Rhin (CHR)». La Suisse, l'Autriche, la République fédérale d'Allemagne, la France, le Grand-Duché de Luxembourg et les Pays-Bas collaborent aux travaux de la CHR. Le Gouvernement des Pays-Bas s'est acquis la gratitude de ses partenaires en mettant à leur disposition un secrétariat permanent, chargé de la conduite des travaux. Le premier résultat concret de cette activité a été la publication d'une «Monographie hydrologique» ouvrage monumental décrivant les aspects géographiques et hydrologiques du bassin du Rhin, au travers d'un texte richement illustré, accompagné de cartes et de diagrammes sous forme d'atlas. Les données hydrologiques les plus importantes, provenant de stations de mesure sélectionnées, sont présentées dans un volume annexé, sous forme de tableaux. La «Monographie» se veut un inventaire de tout ce qui a trait à l'hydrologie dans le bassin du Rhin.

Lors de sa réunion plénière à Boppard (RFA) en 1978, la Commission a pris la décision de poursuivre la coopération sur la base de cet inventaire. Elle désire se consacrer à des questions pratiques importantes et par dessus tout à l'amélioration des échanges d'information et de données au travers des frontières entre Etats. A la fin de ce rapport on trouve quelques informations sur les activités de la CHR et ses travaux courants, sous forme d'un résumé.

Un des projets mis sur pied dans ce sens a été consacré aux problèmes de standardisation des méthodes de mesures, des paramètres hydrologiques et des méthodes de calcul.

A cet effet, un groupe de travail «Standardisation et traitement des données» a été constitué, ayant comme mission de dresser un rapport sur les problèmes de la détermination des débits dans le bassin du Rhin. Dans ce cadre général les tâches suivantes ont été définies:

- la détermination des débits dans le bassin du Rhin au niveau des régions frontalières;
- la description des stations de mesure, comprenant l'établissement d'un tableau des stations de mesure importantes pour des organismes internationaux;
- l'estimation des probabilités de crues et d'étiages dans le bassin du Rhin.

En ce qui concerne ce dernier point, le groupe de travail a décidé, lors de sa première session tenue à Strasbourg, le 12 octobre 1978, de rédiger un inventaire des diverses méthodes utilisées dans le bassin du Rhin. A cet effet M. H. G. Mendel a été désigné comme rapporteur. Le présent rapport comprend cet inventaire, poursuivi par le groupe de travail.

Lors de l'établissement des contributions nationales, on s'est abstenu volontairement de procéder selon un schéma uniforme, afin que les différents auteurs aient la possibilité de traiter plus en détail les méthodes du pays. On trouvera en plus des différentes contributions nationales un résumé des symboles et des dénominations utilisés, tandis que les fonctions mathématiques et les méthodes utilisées sont données dans un tableau (annexes 2 et 3). En plus la relation entre les diverses fonctions de distribution est décrite dans un appendice séparé.

Le rapport ne contient pas de recommandation pour une méthode déterminée pour l'avenir concernant le calcul des probabilités en hautes et basses eaux dans les différents pays. Plutôt il semble souhaitable de fournir des séries de débits les plus longues possibles – éventuellement complétées de données de précipitation – des stations sélectionnées, afin d'y appliquer les méthodes décrites et de les comparer, et de vérifier l'exactitude de l'extrapolation.

Un exemple des résultats du calcul de la probabilité de crues est donné en annexe 4 pour les stations de Rheinfelden et de Kaub.

Le présent rapport est le quatrième de la série des publications officielles de la CHR. Il existe une seconde série de rapports, publiés sous la responsabilité de leur auteur.

ir. J. van Malde
Président de la CHR

TABLE DES MATIÈRES

	<i>Préface</i>	3
1	Estimation des probabilités de crues et d'étiages en Suisse (F. de Montmollin)	11
1.1	Introduction.	11
1.2	Probabilité de crues	11
1.3	Probabilité d'étiages	15
Fig. 1.1	Exemple d'analyse fréquentielle	13
2	Détermination des probabilités d'occurrence de crues et d'étiages en Autriche (H. Zettl)	17
3	Calcul de la probabilité de crues et d'étiages en République fédérale d'Allemagne (W. Buck)	21
3.1	Introduction.	21
3.2	Probabilité de crues	22
3.2.1	Données	22
3.2.2	Analyse des données	22
3.2.3	Calcul de la probabilité de crues	23
3.3	Probabilité d'étiages	25
3.3.1	Valeurs permettant de caractériser les étiages	25
3.3.2	Sélection des données	25
3.3.3	Analyse des données	26
3.3.4	Estimation des probabilités d'étiages	26
Fig. 3.1	Organigramme de la recommandation du DVWK	24
4	Estimation des probabilités de crues et d'étiages en France (J. F. Zumstein)	30
4.1	Valeurs caractéristiques des crues et des étiages	30
4.2	Echantillonnage	30
4.3	Lois de distribution	31
4.3.1	Choix des lois de distribution	31
4.3.2	Estimation des paramètres	31
4.3.3	Temps de récurrence	32
4.4	Conclusion	32
5	Estimation des probabilités de crues et d'étiages au Luxembourg (R. Kipgen)	33
5.1	Introduction.	33
5.2	Probabilité de crues	33
6	Détermination de la crue de projet pour le Rhin aux Pays-Bas (J. W. van der Made)	35
6.1	Aperçu historique.	35
6.2	Analyse de la probabilité de crues	36
6.3	Durées de dépassement.	37
6.4	Probabilité d'étiages	37
Fig. 6.1	La région considérée	35
Fig. 6.2	Sélection des débits de pointe	36
Fig. 6.3	Fonction de répartition des débits de pointe du Rhin à Lobith	38
Fig. 6.4	Fonction de répartition bidimensionnelle de débits et de durées de dépassement	39
Tab. 6.1	Combinaison des valeurs de débits Q_0 et des durées de dépassements continus T (en jours) pour une fréquence de $8 \cdot 10^{-4}$ par an	40
7	Résumé (français, allemand, néerlandais, anglais)	41
	Bibliographie	45
	Annexes	
Annexe 1	Carte géographique du bassin du Rhin	49
Annexe 2	Liste des symboles et dénominations employés	52
Annexe 3	Aperçu comparatif des méthodes utilisées pour l'estimation des probabilités de crues et d'étiages dans les différents états membres de la CHR	54
Annexe 4	Exemples des calculs de probabilités de crues aux stations de Rheinfelden et de Kaub	56

Appendice (H. G. Mendel)

	Aperçu systématique des fonctions de distribution utilisées dans le bassin du Rhin	59
Fig. 1	Fonctions de distribution qui sont dérivées de la loi normale	65
Fig. 2	Variantes de la loi Gamma générale	67
	Quelques informations sur la CHR (français, allemand, néerlandais, anglais)	70

1. ESTIMATION DES PROBABILITÉS DE CRUES ET D'ÉTIAGES EN SUISSE

1.1 Introduction

La dernière statistique des crues pour la Suisse a été entreprise en 1970 sur l'initiative conjointe du Laboratoire d'hydraulique de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (LHYDREP) et de l'ancien Service fédéral des routes et digues. Il s'agit d'une analyse des séries annuelles pour l'ensemble des stations recensées sur le territoire suisse. Elle a été publiée en 1974, sous le titre suivant: »Les débits maximaux des cours d'eau suisses observés jusqu'en 1969«.

Le but de ce travail est avant tout de faciliter le choix de la »crue de projet« (design flood) lors de corrections de cours d'eau, sans pour autant recommander de façon impérative l'utilisation de l'une ou l'autre des diverses lois de distribution usuelles.

A côté de cet ouvrage à caractère officiel, il existe une série de publications issues des écoles polytechniques de Lausanne et Zürich traitant de domaines particuliers, comme par exemple la régionalisation de paramètres permettant d'évaluer la probabilité de crue de cours d'eau non jaugés.

En ce qui concerne les probabilités d'étiages, on ne possède pas encore de statistique équivalente à celle des crues. La contribution la plus significative provient aussi du LHYDREP, sous la forme d'une thèse traitant de 17 stations, réparties au mieux sur le pays.

Mais un important programme du Fonds national de la recherche scientifique devrait améliorer l'état des connaissances dans ce domaine au cours des prochaines années.

1.2 Probabilité de crues

La publication de données concernant les crues a débuté en 1935 sous forme d'un tableau et de graphiques, mis à la disposition de spécialistes. En 1958 paraît le premier recueil des crues des cours d'eau suisses: »Les débits maximaux des cours d'eau suisses observés jusqu'en 1956« [IFTP, 1958], ouvrage bilingue (allemand et français), composé principalement de tableaux des

crues observées et de différentes représentations graphiques. La notion de probabilité de crue n'apparaît pas encore: »le problème de la fréquence des crues« ainsi que »le calcul des débits maximums probables« n'ont pu être examinés dans le cadre de ce travail.

La réédition de cet ouvrage [ASF, 1974], pour les débits observés jusqu'en 1969, introduit l'analyse fréquentielle en même temps que la méthode probabiliste. Les lois de distribution les plus courantes ont été ajustées et représentées graphiquement, simultanément avec les valeurs observées. Il s'agit des distributions suivantes:

log-normale de Galton (G2 et G3)

Fuller

Gamma

log-Pearson III

Goodrich

Fréchet

Gumbel

La loi log-Pearson III ne donnant que des différences négligeables par rapport aux lois »log-normales« de Galton à 2 et 3 paramètres (G2 et G3), les courbes correspondantes n'ont pas été représentées. Les ajustements sont effectués par la méthode des moments et vérifiés par le test du χ^2 .

Le papier utilisé pour les courbes de fréquence est celui de Galton à 2 paramètres, sauf dans certains cas indiqués spécialement. Les deux lois de Galton se sont révélées bien adaptées pour l'estimation des crues cinquanteaires et centenaires qui figurent dans le tableau général des valeurs observées.

On dispose des séries d'observations systématiques suivantes:

- > 100 ans dans 1 série
- > 50 ans dans 59 séries
- > 25 ans dans 140 séries
- > 10 ans dans 246 séries

La publication comprend:

- un tableau renseignant sur le bassin versant, la durée des observations, les débits moyens et les débits extrêmes;
- des représentations graphiques des débits spécifiques maximaux et moyens en fonction de la superficie des bassins versants pour différents cours d'eau;

7. RÉSUMÉ

Le présent rapport a surtout pour objet l'estimation des probabilités de crues. A cet effet, tous les Etats riverains du Rhin utilisent des fonctions mathématiques de distribution, qui sont ajustées aux pointes de crues observées, généralement suivant la méthode des moments (annexe 3).

Dans aucun des Etats riverains du Rhin il n'existe de directives concernant le calcul de probabilités de crues. Actuellement, de telles directives ne sont pas prévues, car on ne peut pas enlever à l'ingénieur concerné la responsabilité pour le dimensionnement des mesures de construction.

La publication, éditée en Suisse en 1974 par le Service fédéral des routes et des digues, intitulée «Les débits maximaux des cours d'eau suisses observés jusqu'en 1969», a le caractère d'un recueil de documentation. Dans cette publication, les probabilités de dépassement sont indiquées pour 238 stations hydrométriques, et cela théoriquement suivant Galton pour toutes les stations hydrométriques et graphiquement pour 139 stations suivant les 6 lois de distribution usuelles. Une étude concernant les probabilités d'étiages est en cours.

En Autriche, le Service hydrométrique calcule les probabilités de crue à quelques stations hydrométriques au moyen des fonctions de distribution de Gumbel et Pearson (Pearson III et log-Pearson III) ainsi que selon la méthode Schreiber-Nobilis. En général les ajustements sont effectués jusqu'à la crue centenaire, tout en tenant compte des critères hydrologiques propres à chaque bassin. Des travaux d'analyse concernant les basses eaux sont en préparation.

En République fédérale d'Allemagne, l'Association de l'Economie Hydraulique et de génie rural (DVWK) a publié une recommandation, révisée en 1979, comportant une méthode de calcul simple, qui peut être appliquée même à l'aide d'une calculatrice de poche ou de table en utilisant la loi de distribution Pearson III ou log-Pearson III. Le but de cette recommandation est également de rendre les calculs mutuellement comparables. Par contre, le responsable peut toujours décider, dans les cas particuliers, quelle crue il doit choisir comme crue de projet. Plus récemment, une recommandation concernant l'évaluation des probabilités d'étiage sur des bases statistiques est aussi parue dans la série des règles du DVWK.

En France, le choix d'une loi de distribution est effectué par chaque service hydrologique en fonction du type de variable traitée (annexe 3), après étude des caractéristiques physiques et climatiques des bassins versants. Les lois utilisées sont, en général, celles pour

lesquelles il n'est pas trop difficile d'estimer, d'après l'échantillon disponible, les valeurs des paramètres entrant dans les formulations mathématiques.

La vérification de l'adéquation des distributions peut se faire par des tests classiques ou par des tests mis au point au sein de services spécialisés. Le choix des temps de récurrence dépend surtout des diverses contraintes d'ordre économique liées aux aménagements des eaux de surface.

Pour pallier à l'insuffisance d'information hydrologique, l'estimation des valeurs extrêmes de débit peut nécessiter l'emploi de la méthode du gradex, en prenant en compte les précipitations et en supposant des conditions d'écoulement déduites de l'état de saturation des sols.

Au Grand-Duché du Luxembourg, trois ministères s'occupent des débits des cours d'eau, à savoir:

- le ministère de l'agriculture;
- le ministère des travaux publics;
- le ministère des transports.

Des déterminations de probabilités de crues sont, pour le moment, encore faites de manière empirique pour la Moselle. Pour les autres cours d'eau, ils sont estimés selon différentes méthodes mathématiques. Ces estimations sont établies surtout pour les travaux aux cours d'eau ou pour la construction d'ouvrages.

Aux Pays-Bas, dans le bassin du Rhin, le calcul des probabilités de crues est effectué seulement pour la station limnimétrique de Lobith/Bovenrijn. Comme l'analyse des valeurs annuelles maximums a le désavantage, que beaucoup d'informations importantes se perdent, on préfère une méthode, où toutes les valeurs de débits de pointe disponibles, ayant une certaine valeur (supérieure à 5000 m³/s), sont utilisées. L'application du test d'Anderson-Darling et du test de Cramer-von Mises, ainsi que du test concernant le comportement du »failure rate« (le »cumulative total time on test statistic«) ont montré, que la distribution de la fréquence de la population choisie correspond le mieux à la loi exponentielle. Non seulement la fréquence des débits de pointe, mais aussi la durée de dépassement continue de diverses valeurs de débits furent étudiées.