

P 10
MIN
2 P 3

PROGRAMME DES NATIONS UNIES
POUR LE DEVELOPPEMENT

F. A. O.

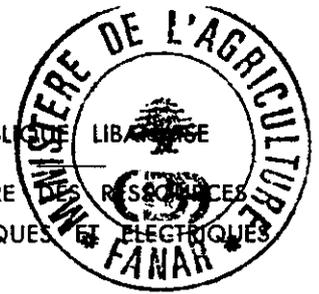
الجمهورية اللبنانية

مكتب وزير الدولة لشؤون التنمية الإدارية
مركز مشاريع ودراسات القطاع العام

REPUBLIQUE

MINISTERE

HYDRAULIQUES



PROJET DE DEVELOPPEMENT HYDRO-AGRICOLE

République Libanaise

Bureau du Ministre d'Etat pour la Réforme Administrative

Centre des Projets et des Etudes sur le Secteur Public

(C.P.E.S.P.)

ETUDE DES CRUES DES FLEUVES DU LIBAN NORD

MIN
283



PROGRAMME DES NATIONS-UNIES

POUR LE DEVELOPPEMENT

F.A.O. .

REPUBLIQUE LIBANAISE

MINISTERE DES RESSOURCES

HYDRAULIQUES ET ELECTRIQUES

ETUDE DES CRUES DES FLEUVES

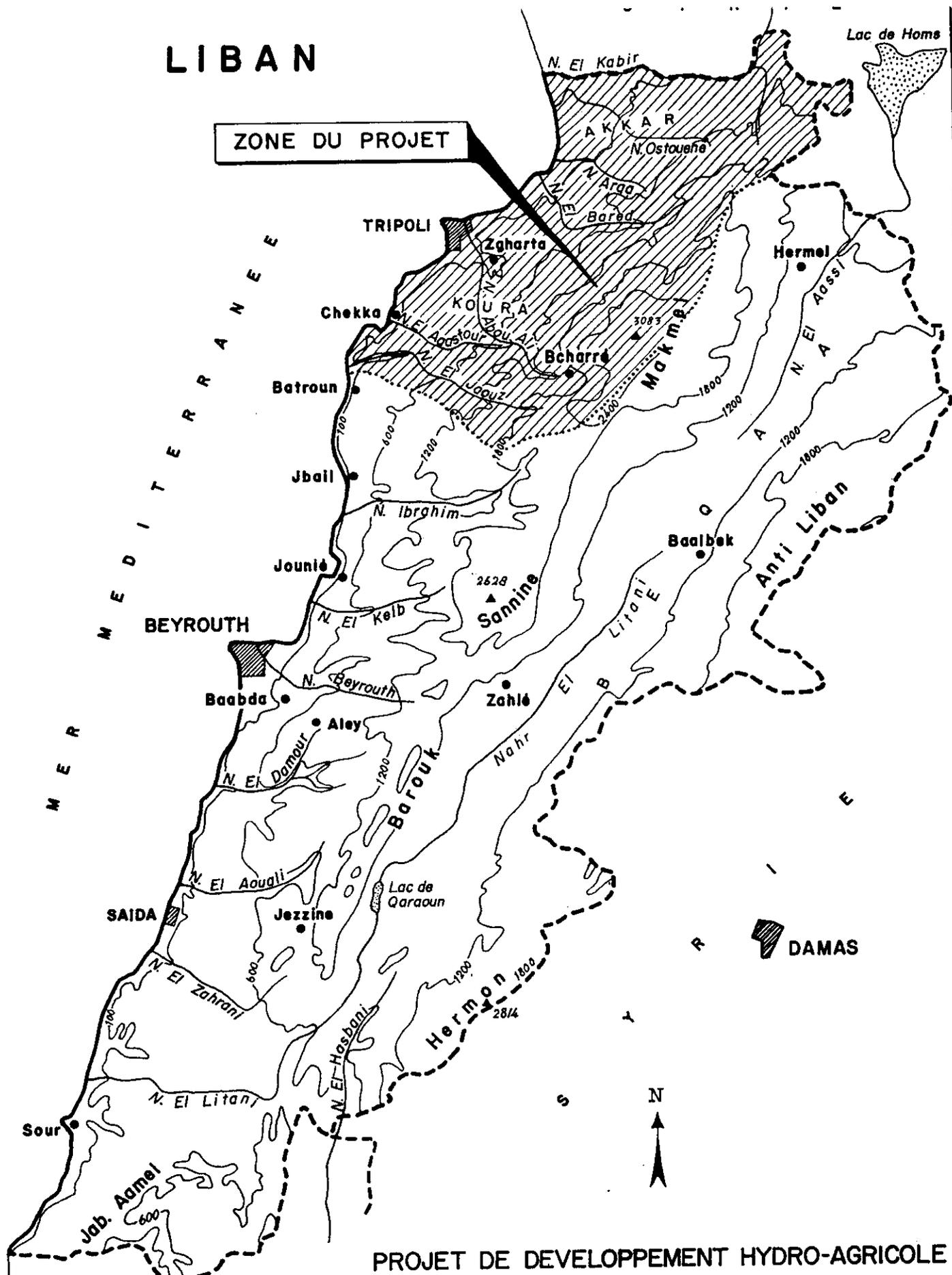
DU LIBAN - NORD

AE - 06

Beyrouth, Mai 1971

LIBAN

ZONE DU PROJET



PROJET DE DEVELOPPEMENT HYDRO-AGRICOLE

0 20 40 km.

Echelle

AVANT-PROPOS

Le Projet de Développement Hydro-Agricole a été créé avec le concours du Programme des Nations pour le Développement (PNUD) et de l'Organisation des Nations-Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO).

Le Projet a été déclaré opérationnel en mars 1969, date qui marque le début officiel des travaux . Il est rattaché à la Direction Générale de l'Équipement du Ministère des Ressources Hydrauliques et Electriques .

Les objectifs assignés au Projet sont les suivants :

- 1) Investigations complémentaires (Hydrologie, Hydrogéologie, Pédologie).
- 2) Planification hydraulique du Nord du Liban .
- 3) Etude de factibilité pour l'irrigation de la plaine d'Akkar (10.000 ha environ) .
- 4) Projet et exécution d'un secteur pilote de 300 ha .
- 5) Participation à l'exécution d'un périmètre de 800 ha.
- 6) Expérimentations et démonstrations hydro-agricoles .
- 7) Etudes hydrogéologiques particulières .
- 8) Organisation et législation pour l'utilisation des eaux .
- 9) Démarrage d'une planification nationale de l'utilisation des eaux .

A la date d'édition du présent dossier, les principaux collaborateurs du Projet (Ingénieurs ou assimilés) sont les suivants :

	<u>Experts de la F.A.O.</u>	<u>Ingénieurs du Gouvernement libanais et de contrepartie</u>
Direction	MM. J.P.Villaret	MM. N. Nahas
Agronomie	A. Marasovic C. Petersen	S. Bitar M. Soufy
Hydrologie	J.H. Visser A. Servais	C. Arab N. Naja
Génie Civil	J. Soltos M.G. Bos	A. Atallah
Hydrogéologie	G. Chapond A. Guerre	G. Makhoul
Irrigation	M. Mesny E. Kramer	S. Sibai A. Mikati
Economie des exploitations	U. Grieb	M. Fazaa F. Leger
Economie générale	A. Odeurs M. Bral	G. Panayot
Législation des eaux		A. Wakim

Le présent rapport entre dans le cadre des études de Planification Hydraulique du Liban Nord (Objectif N°2 du Projet) et constitue, dans ce cadre, la sixième publication du Projet dans le domaine de l'Hydrologie. Il reste susceptible de révisions en fonction des résultats ultérieurs obtenus par le Projet.

Ce rapport a été plus particulièrement préparé par MM. Visser et Servais avec la collaboration, pour l'hydrométrie, de M.A.Daouk du Service hydrologique de l'Office du Litani, M.Saliba du Ministère des Ressources Hydrauliques et Electriques et M.N.Naja du Projet Hydro-Agricole.

S O M M A I R E

	<u>P A G E S</u>
1. Introduction	1
2. Méthodologie du calcul	3
3. Formules utilisées et application aux séries dites longues de AARIDA sur le Kébir et de KOUSBA sur l'Abou Aali	4
31. Lois statistiques	4
311. AARIDA sur le Kébir	4
3111. Gumbel	4
3112. Frechet	6
3113. Galton Gibrat	7
3114. Bernier	8
312. HALBA/HAKOUR sur l'Aarqa	11
3121. Remarques sur les données de base	11
3122. Gumbel	12
3123. Frechet	13
3124. Galton Gibrat	14
3125. Bernier	14
313. KOUSBA sur l'Abou Aali	16
3131. Remarques sur les données de base	16
3132. Gumbel	16
3133. Frechet	18
3134. Galton Gibrat	18
3135. Bernier	19
32. Comparaison des méthodes statistiques et des résultats obtenus	22

SOMMAIRE (suite)

	<u>P A G E S</u>
33. Méthodes empiriques	23
331. Mallet Gauthier	23
332. Scimeni	23
333. Forti	24
334. Massif Central	24
335. Daratta	24
336. Application à Larida sur le Kébir	25
337. Application à Halba-Hakour sur l'Aarqa	26
338. Application à Kousba sur l'Abou Aali	27
4. Application aux séries dites courtes des stations de jaugeages du Nord du Liban	28
41. Lois statistiques	28
411. Bared-Embouchure	28
412. Tirane sur Bared	30
413. Michmich sur Bared - el Moussa	32
414. Abou Samra sur Abou Aali	34
415. Daraya sur Abou Aali	36
416. Pont de Zgharta sur Jouaaït	38
417. Beitchlala sur Jaouz	40
418. Ilât sur Houaïche	42
42. Formules empiriques	44
421. Mallet Gauthier	44
422. Scimeni	46
423. Forti	47
424. Massif Central	48
425. Daratta	49
5. Analyse des résultats	
- Tableau 3C - Synthèse des crues calculées	50
- Analyse des résultats	51
6. Valeurs de crues retenues pour les bassins versants du Liban-Nord ..	51
- Tableau des valeurs de crues pour les bassins versants du Liban-Nord	52
- Tableau des valeurs de crue pour les barrages en étude	53
7. Liste des tableaux	54
8. Liste des figures	75
9. Annexe	
91. Loi de Gumbel	
92. loi de Bernier	

CALCUL DES CRUES DES FLEUVES DU LIBAN NORD

1 - INTRODUCTION

L'application des lois statistiques type Gumbel, Galton-Gibrat, etc... pour le calcul de la fréquence et de la hauteur des crues à partir d'une série d'observations demande, en général, une longue série de mesures (pour fixer les idées : d'eau moins 50 ans) .

En l'absence de toute mesure, on dispose de formules, dites empiriques, qui calculent la crue et sa fréquence à l'aide des caractéristiques du bassin versant, par exemple : la surface, la longueur, la densité du réseau naturel de drainage, etc....

L'ingénieur, au Liban, se trouve dans une situation qui se place quelque part entre ces deux extrêmes .

Des six fleuves principaux du Liban Nord, les séries les plus longues ne comptent que treize ou quinze années de mesures au limnigraphe, le reste des séries ne comportant que deux à cinq années de mesures .

Placé devant cette situation, le Projet Hydro-Agricole a adopté une méthode de calcul proposée par M.J.BERNIER, Ingénieur du Laboratoire National d'Hydraulique de l'Electricité de France . Cette méthode, appelée ci-après, méthode Bernier, présente l'avantage d'utiliser très intensivement l'information disponible en tenant compte de toutes les crues dépassant une certaine valeur au lieu de n'utiliser qu'une seule valeur par année comme c'est très souvent le cas avec les autres lois statistiques .

Cette procédure, qui augmente pour ainsi dire, la densité de l'information utilisable pour une période donnée, permet ainsi l'application de la méthode à des séries relativement courtes .

Une autre difficulté, qui s'ajoute à celle de l'information insuffisante (séries courtes), est l'incertitude concernant la validité des données de base : les limnigrammes et les courbes de tarage .

Rappelons qu'un limnigraphe enregistre continuellement la variation du plan d'eau d'un fleuve à un endroit donné sur un papier millimétrique . Le résultat s'appelle une limnigramme . Parallèlement, des jaugeages sont faits régulièrement dans la section du fleuve au droit du limnigraphe . Ces jaugeages fournissent le plan d'eau, la section mouillée et les vitesses d'eau observées en différents points de cette section, permettant ainsi l'établissement d'une courbe

de tarage qui donne la relation hauteur d'eau - débit écoulé . La validité de la courbe hauteur-débit dépend du nombre de jaugeages effectués et de la dispersion des débits observée au moment des jaugeages . La fréquence des jaugeages dépend de la stabilité de la section qui, à son tour, est influencée principalement par l'importance du charriage de fond du fleuve .

Or le nombre de jaugeages aux stations du Liban-Nord est extrêmement faible pour la période d'avant 1965 . En plus les jaugeages sont faits normalement pour des débits faibles (donc pas pendant la crue) . Les courbes hauteur-débit sont par conséquent étalonnées pour des faibles valeurs de la hauteur d'eau et du débit et leur validité pour les forts débits dépend entièrement de l'extrapolation appliquée par la personne chargée de faire les dépouillements . Il s'est avéré que pas mal de données hydrométriques, utilisées depuis fort longtemps par tout le monde, sont faussées par des erreurs d'extrapolation notamment pour la période d'avant 1965 .

Ces erreurs ont été corrigées dans la mesure du possible et les nouvelles valeurs des débits de crue ont été calculées et utilisées ensuite pour cette étude .

Ces rectifications expliquent pour une grande partie les valeurs plus basses avancées dans ce rapport en comparaison avec celles utilisées autrefois pour l'estimation des crues .

Les méthodes utilisées dans ce rapport ne tiennent compte que du débit de pointe et non pas du volume correspondant pour les deux raisons suivantes :

- Séries de données trop courtes
- Insuffisance de l'information concernant la forme de la crue .

Si dans l'avenir, des données plus amples sont disponibles, une méthode à deux variables (débit et volume) pourra être appliquée .

2 - METHODOLOGIE DU CALCUL

(voir aussi l'organigramme des calculs FIGURE 30)

Avant de généraliser la méthode BERNIER à tous les fleuves, on l'a appliquée aux deux séries continues disponibles de Aarida sur le Kébir et de Kousba sur l'Abou Aali, longues respectivement de 13 années . (La série d'environ 10 années d'observations de Halba/Hakour sur l'Aarqa a paru avoir une qualité trop faible et ne peut être utilisée comme une série longue) .

La comparaison, pour ces deux séries, de la méthode BERNIER, avec d'autres formules théoriques nous a amené à appliquer les formules de GUMBEL et de FRECHET, celles-ci étant du même type théoriquement, et la formule de GALTON-GIBRAT (Chapitres 31 et 32) .

Vu le degré acceptable de concordance des résultats de ces méthodes, nous avons pensé qu'une application plus générale est justifiable et en conséquence, la méthode BERNIER a été utilisée, comme seule loi théorique pour les séries courtes d'une dizaine de stations de jaugeages du Liban-Nord (Chapitre 4) .

Pour permettre aux intéressés de comparer ces résultats avec les chiffres résultant d'autres méthodes de calcul, et étant donné que des séries de 4 à 5 ans ne justifient plus l'application des formules théoriques (GUMBEL, etc...) citées ci-dessus, des formules empiriques ont aussi été utilisées (Chapitre 33) . Parmi ces dernières, les plus simples (SCIMENI, BARATTA, FORTI et "MASSIF CENTRAL") ne tiennent compte que de la superficie du bassin versant . Une meilleure base de calcul est présentée par la formule de MALLET et GAUTIER établie pour les bassins versants de l'Algérie et qui tient compte de la surface, de la longueur et de la pluviométrie annuelle du bassin versant . Sa faiblesse réside dans les difficultés rencontrées pour donner une valeur raisonnable aux coefficients A et k (notamment ce dernier), ce qui demande une certaine quantité d'informations historiques .

Une analyse des chiffres résultant de l'application de ces diverses méthodes est faite au Chapitre 5 (TABLEAUX de synthèse 38 et 39 et FIGURES 27 et 28) .

Le Chapitre 6 donne enfin les valeurs de crues retenues pour le calcul de l'évacuateur de crues de différents barrages étudiés par le Projet Hydro-Agricole (TABLEAU 40 et FIGURE 31) .

3 - FORMULES APPLIQUEES AUX SERIES DITES LONGUES DE DEBITS de AARIDA

sur le NAHR EL KEBIR et de KOUSBA sur le NAHR ABOU AALI

31. Lois Statistiques (Gumbel, Fréchet, Galton-Gibrat et Bernier)

311. Application à AARIDA sur le Kébir

3111 . GUMBEL

On dispose d'une série de débits de crues de 13 années faisant l'objet du tableau 42 .

Les valeurs extrêmes annuelles sont classées par ordre croissant dans le Tableau 1 avec la distribution des logarithmes des débits et leur fréquence empirique .

TABEAU 1

rang m	Année	Débit maximum annuel de la crue x m ³ /sec	z = log x	Fréquence K	1 - K
1	62-63	198	2.29667	0.930	0.07
2	67-68	196	2.29226	0.860	0.14
3	60-61	186	2.26951	0.786	0.214
4	55-56	179	2.25285	0.715	0.285
5	61-62	162	2.20952	0.643	0.357
6	66-67	135	2.13033	0.572	0.428
7	63-64	120	2.07918	0.500	0.500
8	64-65	117	2.06819	0.429	0.571
9	56-57	111	2.04532	0.358	0.642
10	58-59	105	2.02119	0.286	0.714
11	57-58	80	1.90309	0.215	0.785
12	59-60	57	1.75587	0.143	0.857
13	65-66	38	1.57978	0.072	0.928
Moyennes		129.5	2.06952		
Ecart types		52.5	0.21738		

On calcule les coefficients de la droite de Gumbel, soient :

$$\frac{1}{\alpha} = 0.78 \times \sigma = 40.95$$

$$X_0 = \bar{X} - \frac{1}{\alpha} \times 0.577 = 106$$

On obtient :

$$\underline{X = 106 + 41 Y}$$

Les débits de crue calculés X pour différentes valeurs de la variable réduite Y, sont rassemblés dans le Tableau 2

TABLEAU 2

Y	X m3/s	Y	X m3/s
-2	24	3	229
-1	65	4	270
0	106	5	311
1	147	6	352
2	188	7	393

- Intervalle de confiance

A l'aide de la relation $\Delta x = 2\sigma_x \cdot F(N)$, on calcule l'intervalle de confiance à 95 % de la droite de Gumbel.

Pour m = 13 on sait que $X_{13} = 198 \text{ m}^3/\text{s}$

$$\sigma_{X_{13}} = 52.5$$

$$F(13) = 1.08 \text{ (Figure 1)}$$

d'où

$$\underline{X = 198 \pm 113 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Pour m = 4 on obtient : $X_4 = 105 \text{ m}^3/\text{s}$
 $\sigma_{X_4} = 22.5$

D'où

$$\underline{X = 105 \pm 49 \text{ m}^3/\text{sec}}$$

Pour la crue millénaire, on obtient donc selon Gumbel :

$$X = 393 \pm 113 \text{ m}^3/\text{s}$$

Pour la crue dixmillénaire :

$$X = 485 \pm 113 \text{ m}^3/\text{s}$$

3112 . FRECHET

La loi de Frechet ajuste la distribution des logarithmes des débits .

Cette loi, qui est à décroissance algébrique, donne généralement des valeurs très élevées pour les crues de faible fréquence (millénaire etc...) et son application ne se justifie que pour une forme particulière de la distribution des fréquences empiriques . Nous reviendrons sur cette remarque lors de l'application BERNIER (3114) .

On calcule les coefficients :

$$\frac{1}{\alpha} = 0.78 \quad \sigma_Z = 0.169$$
$$Z_0 = \bar{Z} - \frac{1}{\alpha} \quad 0.577 = 1.972$$

On obtient :

$$\underline{Z = 1.972 + 0.169 Y}$$

Les logarithmes Z des débits de crues, calculés pour différentes valeurs de la variable réduite Y de Gumbel, sont rassemblés dans le Tableau 3 .

TABLEAU 3

Y	Z = log X	X m3/sec	Y	Z = log X	X m3/sec
-2	1.634	43.0	3	2.479	301.3
-1	1.803	63.5	4	2.648	444.6
0	1.972	93.8	5	2.817	656.3
1	2.141	138.4	6	2.986	968.3
2	2.310	204.2	7	3.155	1429.0

3113 . GALTON-GIBRAT

- La distribution de GALTON est une distribution Gaussienne de log X .
La variable réduite de GAUSS correspondant à

$$t = \frac{Z - \bar{Z}}{\sigma_Z} \quad (11)$$

ou encore $Z = \sigma_Z \cdot t + \bar{Z} \quad (12)$

- On procède de la manière suivante :

- 1) Les valeurs extrêmes annuelles sont classées comme pour GUMBEL, mais en considérant la distribution de leurs logarithmes et en calculant la moyenne \bar{Z} et l'écart-type σ_Z de cette distribution .
- 2) Dans la table de GAUSS, (Tableau 4) on choisit la valeur de la variable t correspondant aux probabilités de non occurrence des événements de crue . (Par exemple 0.9, 0.99 et 0.999 correspondant respectivement aux périodes de retour 10, 100 et 1000) .
- 3) On remplace t par sa valeur dans la relation (12) ce qui donne Z, logarithme de l'intensité de l'évènement .

- En appliquant la relation (12) à la série du Tableau 1, on obtient :

$$\underline{Z = 0.217 t + 2.0695}$$

En se servant du tableau de la distribution de GAUSS, on calcule alors les valeurs des débits de crue et leurs fréquences correspondantes, comme indiqué ci-dessus . Ces résultats sont présentés dans le Tableau 4 .

TABLEAU 4

Fréquence	t	0.217 t	Z = log X	X m3/s
0.9	1.282	0.278	2.3475	222.6
0.95	1.645	0.357	2.4265	267
0.975	1.960	0.425	2.4945	312
0.99	2.326	0.506	2.5755	376
0.995	2.576	0.559	2.6285	425
0.9975	2.81	0.610	2.6795	478
0.999	3.291	0.670	2.7395	548.9

3114 . BERNIER

31141 . Remarques

- La méthode, développée en annexe doit être utilisée avec précaution et il importe, avant d'appliquer les relations (7) et (8) pour un seuil quelconque, de vérifier la linéarité de la relation (6) dans un système d'axes semi logarithmique .
- En effet, pour que la loi exponentielle (7) soit représentative de la distribution empirique, il faut que celle-ci présente une allure linéaire dans le système d'axe $(q-q_0)$, $\log(1-K)$. Si la décroissance de $1-K$ présente elle-même une allure parabolique, alors il convient, selon les recommandations de M.BERNIER, de préférer à la relation (7) une relation du type :

$$K = e^{-e^{-\bar{\phi} Z} (Z-u_Z)} \quad (x) \quad (13)$$

qui considère la distribution des logarithmes où $Z = \log q$.

- Tout le succès de la méthode BERNIER repose sur cette vérification et nous l'adopterons systématiquement comme préalable à chaque application .

31142 . Application au KEBIR

- On calcule les fréquences en fonction des débits classés par ordre décroissant (Tableau 5) .

L'examen de la Figure 2, fait apparaître une assez bonne linéarité de la relation (7) . Nous considérons donc la droite de distribution q et son intervalle supérieur de confiance à 95 % pour un seuil $q_0 = 50 \text{ m}^3/\text{sec}$.

(x) le $\bar{\phi}$ utilisé ici correspond au ϕ de l'équation (7) du Chapitre 92 .

TABLEAU 5

n	q	1-K	n	q	K	n	q	K
1	50	0.975	14	72	0.641	27	117	0.325
2	50	0.949	15	74	0.615	28	117	0.300
3	51	0.923	16	80	0.590	29	118	0.275
4	54	0.897	17	80	0.564	30	120	0.250
5	56	0.872	18	81	0.540	31	120	0.255
6	56	0.846	19	83	0.513	32	123	0.200
7	57	0.821	20	83	0.487	33	135	0.175
8	59	0.795	21	92	0.475	34	146	0.150
9	61	0.770	22	95	0.450	35	162	0.125
10	62	0.744	23	104	0.425	36	179	0.100
11	64	0.718	24	105	0.400	37	186	0.075
12	65	0.693	25	111	0.375	38	196	0.050
13	71	0.667	26	116	0.350	39	198	0.025

Les paramètres de la relation (7) sont les suivants :

$$q_c = 50 \text{ m}^3/\text{sec} \quad \bar{p} = \frac{1}{48.7}$$

$$\bar{q} = \frac{3849}{39} = 98.7 \quad u = 103.5$$

Et la fonction de répartition correspondante :

$$K = e^{-e^{-\left(\frac{q-103.5}{48.7}\right)}}$$

Le Tableau 6 reprend quelques valeurs de la fréquence K en fonction des débits de crue q .

TABLEAU 6

q	K
103.5	0.368
200	0.871
300	0.9822
400	0.9977
425	0.9986

L'intervalle de confiance supérieur à 95 % se calcule par la relation :

$$\bar{p} = \frac{\sqrt{n} - 2}{\sqrt{n}(\bar{q} - q_0)} = \frac{1}{71.6}$$

et $u = 128.8$ on obtient $K = e^{-e^{-\left(\frac{q - 128.8}{71.6}\right)}}$

et le Tableau 7 présente quelques couples de valeurs (K, q) calculés .

TABLEAU 7

q	K
128.8	0.368
400	0.9776
600	0.9986

Remarque

Les Tableaux 2, 3, 4, 5, 7 ont été reportés en graphique sur la Figure 3.

On observe une bonne concordance entre les méthodes de GUMBEL et BERNIER .

On obtient respectivement pour les crues millénaires et dixmillénaires(à 95%) :

$$Q_{1000} = 625 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$Q_{10000} = 780 \text{ m}^3/\text{s} \quad . \text{ Soit des débits spécifiques de crue de :}$$

$$Q_s(1000) = \frac{625}{437} = 1.43 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{km}^2$$

$$Q_s(10000) = \frac{780}{437} = 1.785 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{km}^2$$

312. Application à HALBA/HAKOUR sur l'Aarqa

3121. Remarques sur les données de base

- Les mesures dont on dispose à Halba/HaKour s'étalent sur 10 années hydrologiques en une série interrompue depuis 1955 jusqu'à 1970 (Tableau 43). Ces interruptions sont dues à de multiples pannes du limnigraphe ou à des mises au point consécutives à des changements d'appareil . En effet, les enregistrements du Aarqa ont été réalisés par cinq types différents de limnigraphes .

D'autre part, la courbe limnimétrique nous a semblé faiblement étalonnée, les débits jaugés dépassant très rarement 10 m³/sec . De plus, les débits de crues ont été extrapolés linéairement sur des courbes limnimétriques présentant de fortes divergences pour les hautes eaux .

- Nous avons alors retracé les courbes hauteurs-débits sur du papier double log en considérant :

- . les débits jaugés en basses eaux par périodes pour distinguer les phases de dépôt et d'érosion qui changent le profil ;
- . que ces différentes courbes doivent converger dans les hautes eaux pour lesquelles les dépôts ou l'érosion de fond sont très peu sensibles par rapport au débit total ;
- . que ce point de convergence est la tangente le long de laquelle les débits de crue seront extrapolés selon une parabole, puisque la droite est dessinée sur papier logarithmique .

- Les courbes de tarage de Halba/Hakour sont représentées figures 4 . La série redépuillée des débits de pointe est reprise dans le Tableau 43 .

Il ressort des calculs qu'il y a trop d'incertitude concernant les données de base . En conséquence, cette série de Halba/Hakour ne peut pas être considérée comme une "série longue" et ne peut pas servir pour la comparaison de la méthode Bernier avec les autres lois théoriques .

3122. GUMBEL

Les valeurs extrêmes annuelles sont classées dans le Tableau 8 .

TABLEAU 8

rang n	Année	Débit de crue Xm3/s	Z = log X	Fréquence K	1-K
1	67-68	130	2.11394	0.91	0.09
2	66-67	85	1.92942	0.82	0.18
3	55-56	80	1.90309	0.73	0.27
4	62-63	55	1.74036	0.64	0.36
5	68-69	44	1.64345	0.54	0.46
6	63-64	40	1.60206	0.45	0.55
7	57-58	25	1.39794	0.36	0.64
8	69-70	16	1.20412	0.27	0.73
9	64-65	15	1.17609	0.18	0.82
10	56-57	14	1.14603	0.09	0.91
Moyenne		52	1.5917		
Ecart type		42.9	0.3562		

Les coefficients de la droite de Gumbel valent :

$$\frac{1}{\alpha} = 33.4 \text{ et } X_0 = 33.1$$

On obtient donc :

$$X = 33.1 + 33,4 Y$$

Les débits de crues calculés pour différentes valeurs de la variable réduite sont repris dans le Tableau 9 .

TABLEAU 9

Y	X m3/sec	Y	X m3/sec
0	33.1	4	167
1	66.5	5	200
2	100	6	233
3	133	7	267

- Intervalle de confiance à 95 %

Pour $m = 10$ on a $X_{10} = 150 \text{ m}^3/\text{sec}$

$$\sigma_{X13} = 42.9$$

$$F(10) = 1.10$$

d'où

$$\Delta X = 94.4$$

$$\text{et } X = 150 \pm 94.4 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$\text{Pour } m = 4 \quad X = 25, \quad \sigma_X = 5.1 \quad \text{et } \Delta X = 11.1$$

$$\text{et } X = 25 \pm 11 \text{ m}^3/\text{sec}$$

Pour les crues millénaires et dixmillénaires on obtient donc :

$$X_{1000} = 267 \pm 94 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$X_{10000} = 340 \pm 94 \text{ m}^3/\text{sec}$$

3123. FRECHET

D'après le Tableau 8, on obtient $\frac{1}{\alpha} = 0.2778$ et $Z_0 = 1.4314$

Ensuite :

$$\underline{Z = 1.4314 + 0.2778 Y}$$

Le Tableau 10, reprend les valeurs calculées de Y, Z et X.

TABLEAU 10

Y	Z = log X	X m ³ /sec
0	1.4314	27
1	1.7042	50
2	1.9770	95
3	2.2498	178
4	2.5226	333
5	2.7954	624
6	3.0682	1170
7	3.3410	2193

3124. GALTON - CIBRAT

On applique la relation (12) et d'après le Tableau 3, on obtient :

$$Z = 0.3562 t + 1.5917$$

Le Tableau 11 reprend les valeurs calculées de la fréquence et des débits de crue .

TABLEAU 11

Fréquence	Z = log X	X m3/sec
0.8	1.8916	78
0.9	2.0482	112
0.95	2.1420	139
0.975	2.2309	191
0.99	2.4202	263
0.995	2.5093	323
0.9975	2.5926	391
0.999	2.6924	492

NB :

Les Tableaux 9, 10 et 11 sont reportés en graphique sur la Figure 6

3125. BERNIER

Nous choisissons un seuil q_0 assez haut pour que les crues soient indépendantes, soit $q_0 = 10 \text{ m}^3/\text{sec}$.

Le Tableau 12 reprend les débits rangés avec leur fréquence empirique .

On observe sur la Figure 5, une linéarité satisfaisante de la relation (6) .

On calcule ensuite la droite de BERNIER pour $q_0 = 10 \text{ m}^3/\text{sec}$ et son intervalle supérieur de confiance à 95 % .

TABLEAU 12

m	q	Fréquence	m	q	Fréquence	m	q	Fréquence
1	130	0.032	11	30	0.355	21	15	0.677
2	100	0.064	12	30	0.386	22	15	0.710
3	85	0.097	13	25	0.420	23	15	0.740
4	80	0.128	14	25	0.450	24	15	0.774
5	55	0.160	15	22	0.483	25	14	0.806
6	45	0.194	16	20	0.515	26	13	0.839
7	44	0.226	17	20	0.548	27	12	0.870
8	40	0.258	18	17	0.580	28	11	0.903
9	35	0.290	19	17	0.612	29	10	0.935
10	30	0.323	20	16	0.646	30	10	0.969

Pour $q_0 = 10 \text{ m}^3/\text{s}$, on obtient :

$$k = 3$$

$$\bar{q} = 33.5$$

$$\bar{p} = \frac{1}{23.5}$$

$$u = 35.8$$

et la fonction de répartition correspondante :

$$K = e^{-e^{-\left(\frac{q-35.8}{23.5}\right)}}$$

Pour l'intervalle supérieur de confiance à 95 %, on a :

$$\bar{p}_1 = \frac{1}{37}$$

$$u_1 = 50.6$$

$$\text{et } K = e^{-e^{-\left(\frac{q_1 - 50.6}{37}\right)}}$$

Les deux fonctions sont calculées pour deux points permettant de tracer les droites correspondantes (Tableau 13) .

TABLEAU 13

Fréquence	q	q ₁
0.368	35.8	50.6
0.999	200	307

Remarque :

Les courbes calculées 312 sont reportées en graphique sur la Figure 6 .

313. Application à KOUSBA sur l'Abou Aali

3131. Remarque sur les données de base

On dispose de mesures réalisées depuis 1948 jusque 1970 avec une interruption de 1953 à 1956 .

Les débits extrapolés semblant sous-estimés, on a procédé à un nouveau dépouillement, comme pour l'Aarqa (3121). La courbe limnimétrique retenue est représentée figure 7 et la série des débits de crue est reprise dans le Tableau 44.

3132. GUMBEL

Dans le Tableau 14, on classe les débits en valeurs extrêmes annuelles .

TABLEAU 14

m	Année	DEBIT DE CRUE X m3/sec	Z = log X	Fréquence K	1-K
1	66-67	92.0	1.96379	0.95	0.05
2	67-68	72.0	1.85733	0.90	0.10
3	68-69	48.4	1.68485	0.85	0.15
4	51-52	39.5	1.59660	0.80	0.20
5	48-49	30.9	1.48996	0.75	0.25
6	61-62	29.8	1.47422	0.70	0.30
7	57-58	29.7	1.47276	0.65	0.35
8	50-51	28.2	1.45025	0.60	0.40
9	65-66	27.8	1.44404	0.55	0.45
10	49-50	23.5	1.37107	0.50	0.50
11	63-64	23.2	1.36549	0.45	0.55
12	58-59	22.0	1.34242	0.40	0.60
13	52-53	21.9	1.34044	0.35	0.65
14	62-63	21.0	1.32222	0.30	0.70
15	64-65	20.5	1.31175	0.25	0.75
16	60-61	17.4	1.24055	0.20	0.80
17	56-57	15.0	1.17609	0.15	0.85
18	69-70	9.6	0.99564	0.10	0.90
19	59-60	9.5	0.97772	0.05	0.95
Moyennes		$\bar{X} = 30.64$	$\bar{Z} = 1.41459$		
Ecartes types		$\sigma = 19.05$	$\sigma_Z = 0.23517$		

Les coefficients de la droite de Gumbel valent :

$$\frac{1}{\alpha} = 14.86 \text{ et } X_0 = 22.07, \text{ on a donc :}$$

$$\underline{X = 22 + 14.9 Y}$$

Les débits calculés X, pour différentes valeurs de la variable réduite Y sont rassemblés Tableau 15 .

TABLEAU 15

Y	X m3/sec	Y	X m3/sec
0	15	4	82
1	37	5	97
2	52	6	112
3	67	7	127

L'intervalle de confiance au niveau de la fréquence 0.95 vaudra :

$$\Delta X = 40 \text{ m3/sec}$$

On obtient donc respectivement pour les crues millénaires et dixmillénaires :

$$X_{1000} = 127 \pm 40 \text{ m3/sec}$$

$$X_{10000} = 215 \pm 40 \text{ m3/sec}$$

Rem . :

- La droite est représentée figure 9 .
- On remarque que l'ajustement des débits observés en fonction des fréquences empiriques K n'est pas très satisfaisant (Figure 8) et qu'un meilleur ajustement devrait être représenté par (FRECHET) une loi double exponentielle .

3133. FRECHET

A l'aide du Tableau 14, on obtient :

$$Z = 1.30879 + 0.1834 Y$$

Le Tableau 16, reprend les valeurs calculées de Y, Z et X .

TABLEAU 16

Y	Z = log X	X m3/sec	Y	Z = log X	X m3/sec
-2	0.94199	8.7	3	1.85899	72.3
-1	1.12539	13.4	4	2.04239	110.3
0	1.30879	20.4	5	2.22579	168.2
1	1.49219	31.1	6	2.40919	256.6
2	1.67559	47.4	7	2.59259	391.4

La courbe est représentée Figure 9 .

3134. GALTON-GIBRAT

Le Tableau 14 nous donne les coefficients σ_z et \bar{z} , on applique ensuite la relation (12) et on obtient :

$$Z = 0,235 t + 1.41$$

TABLEAU 17

Fréquence K	Z = log X	X m3/sec
0.9	1.711	51.4
0.95	1.797	62.6
0.975	1.871	74.3
0.99	1.957	90.6
0.995	2.015	103.5
0.9975	2.070	117.5
0.999	2.183	152.4

3135. BERNIER

On choisit un seuil q_0 égal à 10 m³/sec . Cependant l'ajustement des débits classés du Tableau 18 en fonction des fréquences (Figure 8) présente une allure parabolique, déjà observée (3132 et 3133) et nous utiliserons la relation (13) BERNIER-FRECHET .

Dans le Tableau 18, les débits sont classés par ordre décroissant avec leur rang m , leur logarithme et la fréquence . Les répétitions sont indiquées 3ème colonne .

TABLEAU 18

rang m	DEBITS X m ³ /s		Z = log X	K
1	92	1	1.96379	0.0102
2	84	1	1.92428	0.0204
3	72	1	1.85733	0.0306
4	48	1	1.68124	0.0408
5	47	1	1.67210	0.0510
6	39	1	1.59106	0.0612
7	31	1	1.49136	0.0714
8-11	30	4	1.47712	0.0816-0.112
12-14	28	3	1.44716	0.1225-0.1430
15-16	27	2	1.43136	0.153 -0.163
17-18	26	2	1.41497	0.1735-0.1840
19	25	1	1.39794	0.194
20	24	1	1.38021	0.204
21-23	23	3	1.36173	0.214 -0.234
24-25	22	2	1.34242	0.245 -0.255
26-28	21	3	1.32222	0.265 -0.286
29-30	20	2	1.30103	0.296 -0.306
31	19	1	1.27875	0.316
32-34	18	3	1.25527	0.326 -0.347
35-44	17	10	1.23045	0.357 -0.449
45-48	16	4	1.20412	0.458 -0.490
49-58	15	10	1.17609	0.500 -0.592
59-62	14	4	1.14603	0.602 -0.633
63-72	13	10	1.11394	0.642 -0.735
73-77	12	5	1.07918	0.745 -0.785
78-83	11	6	1.04139	0.796 -0.846
84-97	10	14	1.0000	0.856 -0.990

La figure 8 représente l'ajustement de la distribution empirique du Tableau 18 . La droite '2' ajustée n'est pas représentative de la distribution empirique pour $q_0 = 10$ m³/s . La courbe '4' semble être mieux représentative de la distribution pour $q_0 = 15$.

La courbe 6 donne la limite de l'intervalle de confiance à 95 % de l'ajustement à décroissance algébrique . A titre indicatif, le calcul de la crue, pour cette limite à 95 %, donne un débit "millénaire" de 1050 m³/sec .

La courbe '5' qui semble être un bon ajustement est la limite supérieure à 67 % . La crue millénaire pour cette fonction donne une valeur de q = 561 m³/sec .

Nous faisons maintenant le calcul pour les deux fonctions qui ajustent le mieux la distribution, c'est-à-dire la fonction BERNIER-FRECHET et sa limite supérieure à 67 % .

Le Tableau 18 donne, pour $q_0 = 15$ ou $Z_0 = 1.176$:

$$\begin{array}{ll} \mu = 3.05 & \bar{\rho}_Z = \frac{1}{0.172} = 5.83 \\ \bar{Z} = 1.3477 & \mu_Z = 1.355 \end{array}$$

et la fonction de répartition :

$$K = e^{-e^{-(Z-1.355)5.8}}$$

D'autre part, pour la limite supérieure de l'intervalle de confiance à 67 %, on obtient :

$$\bar{\rho}_{Z(67)} = 1/0.196 = 5.1$$

$$\mu_{Z(67)} = 1.394$$

et la fonction correspondante :

$$K_{(67)} = e^{-e^{-(Z-1.394)5.1}}$$

Le Tableau 19 présente les fréquences calculées pour les deux fonctions K et K(67) et les débits correspondants .

TABLEAU 19

DEBITS DE CRUE	FREQUENCES	
	K	K(67)
32	0.65	0.56
50	0.873	0.811
71	0.945	0.907
80	0.959	0.927
100	0.9763	0.955
126	0.9866	0.9732
159	0.9925	0.9837
200	0.9958	0.99015
251	0.9976	0.994
316	0.9987	0.9964
360	0.999	0.99725
398	-	0.99792
447	-	0.99835
501	-	0.9987
561	-	0.999

Les deux courbes sont représentées Figure 9 (courbes 3 et 4) .

32 . Comparaison des méthodes statistiques et des résultats obtenus

- D'une manière générale on observe que la formule de Gumbel est une limite inférieure, la formule de Fréchet une limite supérieure . La formule de Galton-Gibrat donne une valeur intermédiaire ainsi que celle de BERNIER .
- Pour autant que le test d'ajustement simple exponentiel soit satisfaisant les plages intéressées sont balayées par les formules de GUMBEL et BERNIER .
- Si l'ajustement à décroissance algébrique est plus satisfaisant, on a vu que les formules de FRECHET et GALTON-GIBRAT représentent une meilleure approche du problème pour les séries dites longues et une formule du type "BERNIER - FRECHET" (13) pour les séries courtes .
- Dans le Chapitre 4, nous appliquerons la méthode BERNIER aux séries courtes en retenant les valeurs de l'intervalle supérieur de confiance à 95 % si la distribution est double exponentielle ou les valeurs calculées par la relation (13) si la distribution est à décroissance algébrique . Le Tableau 20 présente une synthèse des débits calculés par les méthodes statistiques pour les séries longues .

TABLEAU 20

	GU 1000 95 %	GU 10000 95 %	BE 1000 95 %	BE 10000 95 %	GA-GI 1000	FRE 1000
AARIDA sur le KEBIR	506	598	625	780	549	1429
KOUSBA sur l'ABOU AALI	167	255	360(BF) 561(BF67)	750(BF)	152	391

33 . Formules empiriques

331 . MALLET GAUTIER

$$Q \text{ max} = k \times B \times S \times \log (1 + A \times h) \times \left(\frac{S}{L}\right)^{0.25}$$

- où : k est un coefficient qui pour l'Algérie a varié de 1 à 6
h est la hauteur moyenne annuelle de la pluie en mètre
S est la superficie du bassin en km²
L est la longueur du bassin en km
A est un coefficient égal à 20 pour un bassin normal (intervient peu dans le résultat)

$$B = 2 \times S^{-0.25} \sqrt{1 + 4 \log T - \log S}$$

où T est la période de retour considérée .

Remarque

- La détermination de k et A demande un certain nombre d'informations historiques . Pour fixer les idées, on calcule un coefficient k sur la base des débits calculés par les méthodes de BERNIER ET GUMBEL pour une période de retour de 1000 années .
- Dans le paragraphe 421, les débits de crues sont calculés pour une valeur de k = 2 . Ceci afin de tenir compte à la fois des mesures historiques ci-dessus et du coefficient k calculé pour le Aasfour sur la base des débits estimés (Rapport de la SCET), ou de dépouillements limnimétriques (SCET et Point IV) .

332 . SCIMENI

$$Q \text{ max} : \left(\frac{600}{A + 10} \right) A$$

A étant la superficie du bassin versant . La formule s'applique à des bassins inférieurs à 1000 km² .

Q max étant le débit maximum exprimé en m³/sec .

333. FORTI

FORTI propose deux formules . L'une pour des pluies maximales de 400 mm par 24 heures, l'autre pour des pluies maximales de 200 mm par 24 heures .

3331. 400 mm/24 h.

$$Q_m = (3.25 \frac{500}{A+125} + 1)A$$

3332. 200 mm/24 h.

$$Q_m = (2.35 \frac{500}{A+125} + 0.5) A$$

334. "MASSIF CENTRAL"

Cette formule est appliquée aux barrages existants du Massif Central

$$Q_{max} = 10.76 A^{0.737}$$

335. BARRATA

Cette formule italienne s'applique à des bassins de montagne .

$$Q_{max} = (\frac{280}{A} + 2) A$$

Les paramètres intervenant dans ces formules sont repris dans le TABLEAU 21.

TABLEAU 21

STATIONS-FLEUVES	BASSIN VERSANT	LONGUEUR	PRECIPITATION
	km ²	km	Moyenne Annuelle m
AARIDA sur Kébir	437	25	0.950
HALBA-HAKOUR sur Aarqa	102	15	0.652
ILAT sur Heuaich(Aarqa)	75	4	0.960
TIRANE sur Bared	40	8	1.172
MICHNICH sur Bared	161	12	1.172
ABOU SAMRA sur Abou-Aali	466	32	1.000
KOUSBA sur Abou-Aali	142	18	1.300
DARAYA sur Abou-Aali	144	20	1.300
ZCHARTA sur Jouaait	98	10	1.300
BEITHLALA sur Jaouz	74	10	1.365
BARED embouchure	281	25	1.172

336. Application à AARIDA sur le Kébir

3361. MALLET GAUTHIER

$$Q_{\text{crue}} = 2 \times \log(1 + 20 \times 0.950) \times \left(\frac{437}{625}\right)^{0.25} \times 437 \times A$$

$$\text{où } A = 2 \times 437^{-0.25} \sqrt{1 + 4 \log T - \log 437}$$

1) $T = 100 \quad A = 1.1$

$$Q_{100} = 1038.75 \times 1.1 = 1143 \text{ m}^3/\text{sec}$$

2) $T = 1000 \quad A = 1.41$

$$Q_{1000} = 1038.78 \times 1.41 = 1463 \text{ m}^3/\text{sec}$$

3362. SCIMENI

$$Q_{\text{max}} = \left(\frac{600}{437 + 10} + 1\right) 437 = 1024 \text{ m}^3/\text{sec}$$

3363. FORTI

$$\text{- A } Q_{\text{max}} = \left(3.25 \frac{500}{437 + 25} + 1\right) 437 = 1700 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$\text{- B } Q_{\text{max}} = \left(2.35 \frac{500}{437 + 125} + 0.5\right) 437 = 1132 \text{ m}^3/\text{sec}$$

3364. MASSIF CENTRAL

$$Q_{\text{max}} = 10.76 \times 437^{0.737} = 925 \text{ m}^3/\text{sec}$$

3365. BARATTA

$$Q_{\text{max}} = \left(\frac{280}{437} + 12\right) 437 = 1154 \text{ m}^3/\text{sec}$$

337. Application à HALBA/HAKOUR sur l'Aarqa

3371. MALLET GAUTHIER

$$Q_{100} = 2 \times \log(1 + 20 \times 0.625) \left(\frac{102}{15^2}\right)^{0.25} \times 102 \times 1.66 = 319 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$Q_{1000} = 2 \times \log(1 + 20 \times 0.652) \left(\frac{102}{15^2}\right)^{0.25} \times 102 \times 2.09 = 401 \text{ m}^3/\text{sec}$$

3372. SCIMENI

$$Q_{\max} = \left(\frac{600}{102 + 10} + 1\right) 98 = 648 \text{ m}^3/\text{sec}$$

3373. FORTI

$$- A \quad Q_{\max} = \left(3.25 \frac{500}{102 + 125} + 1\right) 102 = 832 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$- B \quad Q_{\max} = \left(2.35 \frac{500}{102 + 125} + 0.5\right) 102 = 579 \text{ m}^3/\text{sec}$$

3374. MASSIF CENTRAL

$$Q_{\max} = 10.76 \times 102^{0.737} = 325 \text{ m}^3/\text{sec}$$

3375. BARATTA

$$Q_{\max} = \left(\frac{280}{102} + 2\right) 102 = 484 \text{ m}^3/\text{sec}$$

338. Application à KOUSBA sur l'Abou-Aali

3381. MALLET GAUTHIER

$$Q_{100} = 2 \times \log (1 + 20 \times 1.3) \left(\frac{142}{182} \right)^{0.25} \times 142 \times = 489 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$Q_{1000} = = 612 \text{ m}^3/\text{sec}$$

3382. SCIMENI

$$Q_{\max} = \left(\frac{600}{142 + 10} + 1 \right) 142 = 703 \text{ m}^3/\text{sec}$$

3383. FORTI

$$A \quad Q_{\max} = \left(3.25 \frac{500}{142 + 125} + 1 \right) 142 = 1006 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$B \quad Q_{\max} = \left(2.35 \frac{500}{142 + 125} + 0.5 \right) 142 = 696 \text{ m}^3/\text{sec}$$

3384. MASSIF CENTRAL

$$Q_{\max} = 10.76 \times 142^{0.737} = 415 \text{ m}^3/\text{sec}$$

3385. BARATTA

$$Q_{\max} = \left(\frac{280}{144} + 2 \right) 142 = 564 \text{ m}^3/\text{sec}$$

4. APPLICATION AUX SERIES COURTES DES STATIONS DE JAUGEAGE DU LIBAN-NORD

41. Méthodes statistiques

On applique ici la méthode BERNIER avec son intervalle de confiance à 95 %.

411. BARED - EMBOUCHURE

On dispose d'une série dépouillée de débits de crues enregistrée au cours des 3 années hydrologiques 66-67, 67-68 et 68-69 . Ces résultats font l'objet du Tableau 45 en Annexe .

Le Tableau 22 reprend les débits classés par ordre décroissant et les fréquences empiriques en vue de l'ajustement exponentiel . Celui-ci est représenté figure 10 par un ajustement linéaire dans le système de représentation .

TABLEAU 22

m	q m3/sec	1-K	m	q m3/sec	1-K
1	5.0	0.96	13	31.6	0.48
2	7.6	0.92	14	32.2	0.44
3	12.3	0.88	15	33.0	0.40
4	14.8	0.84	16	36.5	0.36
5	17.0	0.80	17	36.8	0.32
6	17.5	0.76	18	38.6	0.28
7	18.8	0.72	19	39.0	0.24
8	21.7	0.68	20	40.9	0.20
9	22.0	0.64	21	43.0	0.16
10	22.0	0.60	22	61.8	0.12
11	28.8	0.56	23	77.0	0.08
12	30.5	0.52	24	88.5	0.04

A l'aide du tableau 22, on obtient les paramètres de la fonction de répartition :

$$\mu = \frac{24}{3} = 8$$

$$\bar{q} = \frac{776.9}{24} = 32.4$$

$$\bar{p} = \frac{1}{27.4}$$

$$\mu = 61.9$$

Soit la fonction :

$$K = e^{-e^{-\left(\frac{q - 61.9}{27.4}\right)}}$$

Pour la limite supérieure de l'intervalle de confiance à 95 %

$$\bar{\rho}_1 = \frac{1}{46.25}$$

Soit la fonction :

$$\mu_1 = 101$$

$$K_1 = e^{-e^{-\left(\frac{q - 101}{46.25}\right)}}$$

Le Tableau 23 présente les débits de crue calculés pour les deux fonctions K et K₁.

TABLEAU 23

q m3/sec	FREQUENCE	
	K	K ₁ (95 %)
62	0.38	-
100	0.78	0.368
150	0.9608	-
200	0.99391	0.889
250	0.99895	-
300	-	0.9866
400	-	0.9984

Les deux droites correspondantes sont tracées Figure 11. On obtient respectivement pour les crues millénaires et dixmillénaires (à 95 %) :

$$Q_{1000} = 430 \text{ m3/sec}$$

$$Q_{10000} = 540 \text{ m3/sec}$$

Soit des modules de crue, pour un bassin de 281 km², de

$$Q_{S1000} = \frac{430}{281} = 1.53 \text{ m3/sec/km}^2$$

$$Q_{S10000} = \frac{540}{281} = 1.92 \text{ m3/sec/km}^2$$

412. TIRANE sur BARED

On dispose d'une série de crues dépouillée de 3 années : 1966-67, 67-68 et 68-69 (Tableau 46 en Annexe) . Le Tableau 24 reprend les débits classés avec leur fréquence empirique .

TARLEAU 24

m	q m3/sec	1-K	m	q m3/sec	1-K
1	4.7	0.96	13	11.3	0.46
2	6.2	0.92	14	12.0	0.42
3	6.3	0.87	15	15.1	0.37
4	6.5	0.83	16	16.4	0.33
5	6.6	0.79	17	18.2	0.29
6	7.9	0.75	18	19.6	0.25
7	8.0	0.71	19	22.3	0.22
8	8.9	0.67	20	25.3	0.17
9	9.0	0.61	21	36.4	0.12
10	10.0	0.58	22	51.0	0.08
11	10.2	0.53	23	52.0	0.04
12	10.5	0.50			

La Figure 12 représente l'ajustement exponentiel (droite 2) . Les droites 4 sont les limites supérieure et inférieure à 95 % de l'intervalle de confiance de la droite 4 .

La courbe 3 est l'ajustement double exponentiel de la distribution 1 et semble être graphiquement plus satisfaisante que 2 ou 4 . Cependant le débit millénaire calculé pour l'ajustement double exponentiel est "aberrant" : on trouve 22.000 m3/sec .

On calculera donc la fonction de répartition correspondante à l'ajustement 2 et 4 .

A l'aide du Tableau 24, on obtient les paramètres :

$$\mu = \frac{23}{3} = 7.67$$

$$\bar{q} = \frac{372}{23} = 16.15$$

$$\bar{p} = \frac{1}{11.2}$$

$$u = 27.8$$

Soit la fonction :

$$K = e^{-e^{-\left(\frac{9 - 27.8}{11.2}\right)}}$$

Pour la limite supérieure de l'intervalle de confiance à 95 % :

$$\bar{p}_1 = \frac{1}{19.22}$$

$$\mu_1 = 44.2$$

Soit la fonction :

$$K_1 = e^{-e^{-\left(\frac{9 - 44.2}{19.2}\right)}}$$

Le Tableau 25 présente les débits de crue calculés pour les deux fonctions K et K₁.

TABLEAU 25

q m3/sec	FREQUENCE	
	K	K ₁
27.8	0.368	-
44	-	0.368
50	0.875	
75	0.986	
90	0.998	
100	-	0.948
150	-	0.9962
175	-	0.999

Les deux droites correspondantes sont tracées Figure 13 . On obtient pour les crues millénaires et dixmillénaires :

$$q_{1000} = 175 \text{ m3/sec}$$

$$q_{10000} = 210 \text{ m3/sec}$$

Soit des débits spécifiques de crue pour un bassin de 40 km² :

$$q_{S1000} = \frac{175}{40} = 4.4 \text{ m3/sec/km}^2$$

$$q_{S10000} = \frac{210}{40} = 5.25 \text{ m3/sec/km}^2$$

413. MICHMICH sur le BARED

On dispose d'une série de crues dépouillée des années 1966-67, 67-68 et 68-69 . Cette série fait l'objet du Tableau 47 en Annexe . La Tableau 26 reprend ces débits classés avec leur fréquence .

TABLEAU 26

m	q m ³ /sec	1-K	m	q m ³ /sec	1-K
1	24	0.03	17	12	0.52
2	22	0.06	18	12	0.55
3	20	0.09	19	10	0.58
4	20	0.12	20	10	0.61
5	19	0.15	21	9	0.64
6	19	0.18	22	9	0.67
7	19	0.21	23	9	0.70
8	18	0.24	24	7	0.74
9	17	0.27	25	6	0.76
10	17	0.30	26	6	0.79
11	16	0.33	27	6	0.82
12	15	0.36	28	5	0.85
13	15	0.39	29	5	0.88
14	14	0.42	30	4	0.91
15	13	0.45	31	4	0.94
16	12	0.49	32	4	0.97

La Figure 14 représente l'ajustement exponentiel . Celui-ci est satisfaisant bien qu'il surestime la distribution ou alors les débits sont eux-mêmes sous-estimés .

A l'aide du Tableau 26, on obtient les paramètres suivant pour $q_0 = 6 \text{ m}^3/\text{sec}$

$$\mu = \frac{31}{3} = 10.33$$

Soit la fonction :

$$\bar{q} = \frac{391}{31} = 12.6$$

$$K = e^{-e^{-\left(\frac{q - 24}{12.6}\right)}}$$

$$\bar{\rho} = \frac{1}{8.6}$$

$$\mu = 24$$

Pour la limite supérieure de l'intervalle de confiance à 95 % :

$$\bar{\rho}_1 = \frac{1}{13.4}$$

Soit la fonction :

$$\mu_1 = 35.2$$

$$K_1 = e^{-e^{-\left(\frac{q - 35.2}{13.4}\right)}}$$

TABLEAU 27

q m ³ /sec	FREQUENCES	
	K	K ₁
24	0.368	-
35	-	0.368
40	0.654	-
50	-	0.718
60	0.9848	-
75	-	0.950
80	0.9905	-
100	-	0.992
125	-	0.9987

On obtient (Figure 15) pour les crues et les débits spécifiques millénaires et dixmillénaires :

$$q_{1000} = 130 \text{ m}^3/\text{sec} \quad \text{et} \quad q_S(1000) = \frac{130}{161} = 0,81 \text{ m}^3/\text{sec km}^2$$

$$q_{10000} = 160 \text{ m}^3/\text{sec} \quad \text{et} \quad q_S(10000) = \frac{160}{161} = 1 \text{ m}^3/\text{sec/km}^2$$

414. ABOU SAMRA sur l'ABOU AALI

On dispose d'une série de crues s'étalant sur cinq années hydrologiques 1965-66, 66-67, 67-68, 68-69, 69-70 .

Cette série fait l'objet du Tableau 48 en Annexe .

En se fixant le seuil de 7 m³/sec, on a classé les 98 valeurs de débits de crue en fonction de leur fréquence Figure 16, courbe 1 .

La droite 2 représente l'ajustement de la distribution, la droite 3 la limite supérieure de l'intervalle de confiance à 95 % .

En examinant la Figure 16, on constate que la courbe '1' est linéaire dans sa partie inférieure (jusque 50 m³/s) puis amorce une allure parabolique . Les calculs de la crue millénaire dans le cas de l'ajustement simple exponentiel a donné un débit de 335 m³/s, ce qui semble faible .

On a donc choisit un ajustement double exponentiel : courbe 5 (Fig.16).

Le Tableau 28 reprend les débits classés pour $q_c = 50$ m³/sec, leur fréquence et leurs logarithmes .

TABLEAU 28

m	X m ³ /sec	Z = log X	1-K	m	X m ³ /sec	Z = log X	1-K
1	103	2.21219	0.05	11	50	1.76343	0.55
2	160	2.20412	0.10	12	55	1.74036	0.60
3	105	2.02119	0.15	13	55	1.74036	0.65
4	104	2.01703	0.20	14	55	1.74036	0.70
5	75	1.87506	0.25	15	55	1.74036	0.75
6	73	1.86332	0.30	16	52	1.71600	0.80
7	73	1.86332	0.35	17	50	1.69897	0.85
8	65	1.81291	0.40	18	50	1.69897	0.90
9	65	1.81291	0.45	19	50	1.69897	0.95
10	60	1.77815	0.50				

(la droite 6 représente la limite supérieure à 67 % de l'ajustement double exponentiel . Le débit millénaire calculé correspondant = 1585 m3/sec).

Si l'on considère seulement l'ajustement représenté par la courbe 5, on obtient les paramètres suivants :

$$q_0 = 50 \text{ m3/sec}$$

Soit la fonction de répartition :

$$z_0 = 1.69897$$

$$\bar{z} = 1.84$$

$$K = e^{-e^{-7.14(z - 1.887)}} .$$

$$\bar{\rho} = \frac{1}{0.14} = 7.14$$

$$\mu_z = 1.887$$

Le Tableau 29 reprend les valeurs calculées de la fonction .

TABLEAU 29

m3/sec	Fréquence K
80	0.360
315	0.9861
395	0.9932
505	0.9967
630	0.99835
710	0.9985
725	0.9987
750	0.999

On obtient respectivement pour les crues millénaires et dixmillénaires :

$$q_{1000} = 750 \quad \text{et} \quad q_{10000} = 1585 \text{ m3/sec}$$

et pour les débits spécifiques de crue pour un bassin de 466 km² :

$$q_{S(1000)} = \frac{750}{466} = 1.61 \quad \text{et} \quad q_{S(10000)} = \frac{1585}{466} = 3.4 \text{ m3/sec/km}^2 .$$

415. DARAYA sur l'ABOU AALI

On dispose d'une série de 4 années (Tableau 49) .

Le Tableau 30 reprend les débits classés supérieurs au seuil 16 m3/s avec leur fréquence .

TABLEAU 30

m	X m3/sec	Z = log X	1-K	m	X m3/sec	Z = log X	1-K
1	16	1.20412	0.95	21	22	1.34242	0.45
2	16	1.20412	0.90	22	24	1.38021	0.40
3	17	1.23045	0.85	23	24	1.38	0.35
4	17	1.23045	0.80	24	25	1.39794	0.30
5	18	1.25527	0.75	25	29	1.46240	0.25
6	18	1.25527	0.70	26	29	1.46	0.20
7	18	1.25527	0.65	27	31	1.49136	0.15
8	18	1.25527	0.60	28	47	1.67210	0.10
9	19	1.27875	0.55	29	47	1.67210	0.05
10	20	1.30103	0.50				

La mise en graphique de X en fonction de $\log(1-K)$, Figure 18, montre que la fonction empirique présente une allure parabolique (1) . La courbe 2 est l'ajustement double exponentiel obtenu à l'aide des paramètres calculés à l'aide du Tableau 30 .

$$\text{Si } q_0 = 16 \text{ m3/sec}$$

$$Z_0 = 1.204$$

$$\bar{Z} = 1.354$$

$$\bar{\rho} = \frac{1}{0.15} = 6.7$$

$$\mu_Z = 1.434$$

L'ajustement exponentiel (courbe 2) s'obtient par la fonction :

$$1 - K = e^{-6.7(Z-1.204)}$$

et la fonction de répartition correspondante :

$$K = e^{-e^{-6.7(Z-1.434)}}$$

Le Tableau 31 présente les valeurs calculées de la fréquence K en fonction des débits .

TABLEAU 31

X m3/sec	K
27.5	0.368
90	0.9695
110	0.9827
130	0.9893
150	0.9929
200	0.9969
250	0.9984
275	0.99875
293	0.999
532	0.9999

La courbe correspondante est tracée Figure 19 . Si on ajuste la courbe empirique 1 (Figure 10) par la limite supérieure de l'intervalle de confiance à 67 %, on obtient la fonction suivante :

$$1-K = e^{-5.14 (Z-1.204)} \quad \text{courbe 3, Figure 10}$$

et la fonction de répartition correspondante :

$$K = e^{-e^{-5.14(Z-1.496)}}$$

La crue millénaire, pour cette fonction atteint une valeur de 873 m3/sec,
et dixmillénaire de : 1960 m3/sec .

416. PONT DE ZGHARTA sur le JOUAAIT

On dispose d'une série de débits de crues de 3 années, 66-67, 67-68, 68-69 .(Tableau 50) .

Le Tableau 32 reprend ces débits, en les classant en fonction de la fréquence et pour un seuil de $q_0 = 10 \text{ m}^3/\text{sec}$.

TABLEAU 32

m	X m3/sec	1-K	m	X m3/sec	1-K
1	10.0	0.94	9	20.5	0.44
2	10.5	0.87	10	27.0	0.37
3	11.5	0.81	11	27.1	0.31
4	11.9	0.75	12	37.6	0.25
5	12.0	0.69	13	43.0	0.19
6	12.3	0.62	14	44.3	0.12
7	12.6	0.56	15	57.6	0.06
8	14.2	0.50			

La Figure 20 présente l'ajustement exponentiel (droite 2) de la distribution observée (courbe 1) . Ces débits sont les limites de l'intervalle de confiance à 95 % .

A l'aide du Tableau 32, on obtient les paramètres suivants :

pour $q_0 = 10 \text{ m}^3/\text{sec}$

et la fonction de répartition :

$$\mu = \frac{15}{3} = 5$$

$$\bar{q} = 23.5 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$\bar{\rho} = \frac{1}{13.5}$$

$$\mu = 31.7$$

$$K = e^{-e^{-\left(\frac{q - 31.7}{13.5}\right)}}$$

Pour l'intervalle de confiance à 95 %, on obtient :

$$\bar{y}_1 = 27.9$$

$\mu_1 = 55$ et la fonction de répartition :

$$K_1 = e^{-e^{-\left(\frac{q - 55}{27.9}\right)}}$$

Le Tableau 33 reprend des valeurs calculées de q en fonction de K et K_1 .

TABLEAU 33

q m3/sec	FREQUENCES	
	K	K_1
31.7	0.368	
50	0.773	
55		0.368
75	0.96	
100	0.9947	0.819
120	0.9986	
200		0.9944
248		0.999
404		0.9999

On obtient donc, à la limite supérieure de l'intervalle de confiance à 95 %, les valeurs de crues millénaires et dixmillénaires :

$$q_{1000} = \underline{248 \text{ m3/sec}} \quad \text{et} \quad q_{10000} = \underline{404 \text{ m3/sec}}$$

et les débits spécifiques de crue correspondants :

$$q_{S1000} = \frac{248}{98} = \underline{2.53 \text{ m3/sec/km}^2} \quad \text{et}$$

$$q_{S10000} = \frac{404}{98} = \underline{4.12 \text{ m3/sec/km}^2}$$

N.B. Les 2 droites du Tableau 33 sont tracées Figure 21 .

417. BEITCHLALA sur le JAOUZ

Les mesures dont on dispose et qui s'étalent sur les 3 années hydrologiques 66-67, 67-68, 68-69 sont reportées Tableau 51 .

Le Tableau 34 reprend tous les débits classés à partir du seuil $q_0 = 6 \text{ m}^3/\text{sec}$.

TABLEAU 34

m	X m ³ /sec	1-K	m	X m ³ /sec	1-K
1	6	0.96	14	16	0.46
2	7	0.92	15	17	0.42
3	7	0.88	16	17	0.38
4	8	0.85	17	18	0.35
5	8	0.81	18	18	0.31
6	11	0.77	19	20	0.27
7	11	0.73	20	22	0.23
8	11	0.69	21	23	0.19
9	12	0.65	22	24	0.15
10	12	0.62	23	31	0.12
11	12	0.58	24	32	0.08
12	13	0.54	25	33	0.04
13	14	0.50			

L'ajustement exponentiel est satisfaisant (Figure 22, droite 2) .
On calcule les paramètres de la fonction de répartition à l'aide du Tableau 34 :

pour $q_0 = 6 \text{ m}^3/\text{sec}$

$$\frac{\mu}{q} = 8,3$$

$$\frac{\mu}{q} = 16.1$$

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{10}$$

$$u = 27$$

$$\text{soit } K = e^{-e^{-\left(\frac{q-27}{10}\right)}}$$

Pour la limite supérieure de l'intervalle de confiance à 95 %, on obtient :

$$\bar{p}_1 = \frac{1}{16.7}$$

$$\mu_1 = 41.3$$

$$\text{Soit } K_1 = e^{-e^{-\left(\frac{q - 41.3}{16.7}\right)}}$$

Le Tableau 35, présente les valeurs calculées de q en fonction des fréquences K et K₁.

TABLEAU 35

q m3/sec	FREQUENCES	
	K	K ₁
27	0.368	-
41	-	0.368
50	0.905	-
75	0.99182	0.9668
90	0.99815	-
96	0.999	-
100	-	0.9705
130	0.9999	-
150	-	0.9985
197	-	0.9999

Les 2 droites sont représentées Figure 23 . On obtient respectivement pour les crues millénaires et dixmillénaires (intervalle supérieure à 95 %) :

$$q_{1000} = 160 \text{ m3/sec} \quad \text{et} \quad q_{10000} = 197 \text{ m3/sec}$$

et pour les débits spécifiques de crues correspondants :

$$q_S 1000 = \frac{160}{74} = 2.3 \text{ m3/sec/km}^2$$

$$\text{et } q_S 10000 = \frac{197}{74} = 2.7 \text{ m3/sec/km}^2 .$$

418. ILAT sur le HOUAICH (AARQA)

On dispose d'une série de 2 années hydrologiques 66-67 et 67-68 (Tableau 52).
Le Tableau 36 reprend les débits classés, leur logarithme, leur fréquence pour le seuil $q_0 = 3 \text{ m}^3/\text{sec}$.

TABLEAU 36

m	X m ³ /sec	Z = log X	1-K	m	X m ³ /sec	Z = log X	1-K
1	19.9	1.29885	0.05	11	4.2	0.62325	0.52
2	11.6	1.06446	0.10	12	4.1	0.61278	0.57
3	9.5	0.97772	0.14	13	3.7	0.56820	0.62
4	7.5	0.87506	0.19	14	3.4	0.53148	0.67
5	6.6	0.81954	0.24	15	3.4	0.53148	0.71
6	6.1	0.78533	0.29	16	3.2	0.50515	0.76
7	5.2	0.71600	0.33	17	3.2	0.50515	0.81
8	4.8	0.68124	0.38	18	3.1	0.49136	0.86
9	4.6	0.66276	0.43	19	3.0	0.47712	0.90
10	4.3	0.63347	0.47	20	3.0	0.47712	0.95

La Figure 24 montre que l'ajustement est nettement double exponentiel.
On obtient les paramètres de la fonction de répartition à l'aide du Tableau 36.

Pour $q_0 = 3 \text{ m}^3/\text{sec}$

$$z_0 = 0.477$$

$$\bar{z} = 0.6919$$

$$\bar{\rho}_z = \frac{1}{0.215} = 4.6$$

$$\mu_z = 0.961$$

et la fonction de répartition :

$$K = e^{-e^{-4.6(z - 0.961)}}$$

Le Tableau 37 reprend les valeurs calculées de la fréquence en fonction des débits .

TABLEAU 37

m3/sec	K
9	0.368
20	0.814
32	0.923
51	0.9695
80	0.9876
100	0.992
125	0.9949
177	0.99725
200	0.998
250	0.99875
275	0.999
906	0.9999

La courbe est représentée Figure 25 . On obtient respectivement pour les crues millénaires et dixmillénaires 275 m3/sec et 906 m3/sec et pour les débits spécifiques de crue correspondants :

$$q_{S1000} = \frac{275}{75} = 3.67 \quad \text{et} \quad q_{S10000} = \frac{906}{75} = 12.1 \text{ m3/sec/km}^2 .$$

42. Formules empiriques

On applique aux séries courtes les formules présentées au paragraphe 33.

421. MALLET-GAUTHIER

4211. BARED embouchure

1) T = 100

$$Q_{\max} = 2 \times \log(1 + 20 \times 1,172) \times \left(\frac{281}{25}\right)^{0.25} \times 1,25 \times 281 = 973 \text{ m}^3/\text{sec}$$

2) T = 1000

$$Q_{\max} = 2 \times \log(1 + 20 \times 1,172) \times \left(\frac{281}{25}\right)^{0.25} \times 1,59 \times 281 = 1018 \text{ m}^3/\text{sec}$$

4212. BARED Tirane

1) T = 100

$$Q_{\max} = 2 \times \log(1 + 20 \times 1,172) \times \left(\frac{40}{5}\right)^{0.25} \times 40 \times 2,16 = 213 \text{ m}^3/\text{sec}$$

2) T = 1000

$$Q_{\max} = 2 \times \log(1 + 20 \times 1,172) \times \left(\frac{40}{5}\right)^{0.25} \times 40 \times 2,69 = 266 \text{ m}^3/\text{sec}$$

4213. BARED Michmich

1) T = 100

$$Q_{\max} = 2 \times \log(1 + 20 \times 1,172) \times \left(\frac{161}{12}\right)^{0.25} \times 1,47 \times 161 = 668 \text{ m}^3/\text{sec}$$

2) T = 1000

$$Q_{\max} = 2 \times \log(1 + 20 \times 1,172) \times \left(\frac{161}{12}\right)^{0.25} \times 1,85 \times 161 = 843 \text{ m}^3/\text{sec}$$

4214. JAOUZ Beitchlala

1) T = 100

$$Q_{\max} = 2 \times \log(1 + 20 \times 1,365) \times \left(\frac{74}{100}\right)^{0.25} \times 74 \times 1,82 = 417 \text{ m}^3/\text{sec}$$

2) T = 1000

$$Q_{\max} = 2 \times \log(1 + 20 \times 1,365) \times \left(\frac{74}{100}\right)^{0.25} \times 74 \times 2,17 = 497 \text{ m}^3/\text{sec}$$

4215. JOUAAIT Pont de Zgharta

1) T = 100

$$Q_{\max} = 2 \times \log(1 + 20 \times 1,300) \times \left(\frac{98}{100}\right)^{0.25} \times 98 \times 1,06 = 297 \text{ m}^3/\text{sec}$$

2) T = 1000

$$Q_{\max} = 2 \times \log(1 + 20 \times 1,300) \times \left(\frac{98}{100}\right)^{0.25} \times 98 \times 2,01 = 563 \text{ m}^3/\text{sec}$$

4216. HOUAICHE Ilat

1) T = 100

$$Q_{\max} = 2 \times \log(1 + 20 \times 0,960) \times \left(\frac{75}{16}\right)^{0.25} \times 75 \times 1,81 = 503 \text{ m}^3/\text{sec}$$

2) T = 1000

$$Q_{\max} = 2 \times \log(1 + 20 \times 0,960) \times \left(\frac{75}{16}\right)^{0.25} \times 75 \times 2,15 = 597 \text{ m}^3/\text{sec}$$

4217. ABOU AALI Daraya

1) T = 100

$$Q_{\max} = 2 \times \log(1 + 20 \times 1,300) \times \left(\frac{144}{20^2}\right)^{0.25} \times 144 \times 1,53 = 489 \text{ m}^3/\text{sec}$$

2) T = 1000

$$Q_{\max} = 2 \times \log(1 + 20 \times 1,300) \times \left(\frac{144}{20^2}\right)^{0.25} \times 144 \times 1,92 = 613 \text{ m}^3/\text{sec}$$

4218. AARKA Hakour

1) T = 100

$$Q_{\max} = 2 \times \log(1 + 20 \times 0,652) \times \left(\frac{102}{15^2}\right)^{0.25} \times 102 \times 1,66 = 319 \text{ m}^3/\text{sec}$$

2) T = 1000

$$Q_{\max} = 2 \times \log(1 + 20 \times 0,652) \times \left(\frac{102}{15^2}\right)^{0.25} \times 102 \times 2,09 = 401 \text{ m}^3/\text{sec}$$

422. SCIMENI

- . 1 KEBIR
$$Q_{\max} = \left(\frac{600}{437 + 10} + 1 \right) 437 = 1024 \text{ m}^3/\text{sec}$$
- .2 BARED embouchure
$$Q_{\max} = \left(\frac{600}{281 + 10} + 1 \right) 281 = 800 \text{ m}^3/\text{sec}$$
- .3 BARED Tirane
$$Q_{\max} = \left(\frac{600}{40 + 10} + 1 \right) 40 = 520 \text{ m}^3/\text{sec}$$
- .4 BARED Michmich
$$Q_{\max} = \left(\frac{600}{161 + 10} + 1 \right) 161 = 726 \text{ m}^3/\text{sec}$$
- .5 JAOUZ Beitchlala
$$Q_{\max} = \left(\frac{600}{74 + 10} + 1 \right) 74 = 603 \text{ m}^3/\text{sec}$$
- .6 JOUAAIT Pont de Zgharta
$$Q_{\max} = \left(\frac{600}{93 + 10} + 1 \right) 93 = 642 \text{ m}^3/\text{sec}$$
- .7 AARKA Hakour
$$Q_{\max} = \left(\frac{600}{102 + 10} + 1 \right) 102 = 648 \text{ m}^3/\text{sec}$$
- .8 ABOU AALI Daraya
$$Q_{\max} = \left(\frac{600}{144 + 10} + 1 \right) 144 = 705 \text{ m}^3/\text{sec}$$
- .9 HOUAICHE Ilat
$$Q_{\max} = \left(\frac{600}{75 + 10} + 1 \right) 75 = 604 \text{ m}^3/\text{sec}$$

423. FORTI

.1 KEBIR

$$1 \text{ A } Q \text{ max} = \left(3.25 \frac{500}{437 + 125} + 1 \right) 437 = 1700 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$1 \text{ B } Q \text{ max} = \left(2.35 \frac{500}{437 + 125} + 0.5 \right) 437 = 1132 \text{ m}^3/\text{sec}$$

.2 BARED embouchure

$$2 \text{ A } Q \text{ max} = \left(3.25 \frac{500}{281 + 125} + 1 \right) 281 = 1500 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$2 \text{ B } Q \text{ max} = \left(2.35 \frac{500}{281 + 125} + 0.5 \right) 281 = 950 \text{ m}^3/\text{sec}$$

.3 BARED Tirane

$$3 \text{ A } Q \text{ max} = \left(3.25 \frac{500}{40 + 125} + 1 \right) 40 = 440 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$3 \text{ B } Q \text{ max} = \left(2.35 \frac{500}{40 + 125} + 0.5 \right) 40 = 300 \text{ m}^3/\text{sec}$$

.4 BARED Michmich

$$4 \text{ A } Q \text{ max} = \left(3.25 \frac{500}{161 + 125} + 1 \right) 161 = 1000 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$4 \text{ B } Q \text{ max} = \left(2.35 \frac{500}{161 + 125} + 0.5 \right) 161 = 700 \text{ m}^3/\text{sec}$$

.5 JAOUZ

$$5 \text{ A } Q \text{ max} = \left(3.25 \frac{500}{74 + 125} + 1 \right) 74 = 678 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$5 \text{ B } Q \text{ max} = \left(2.35 \frac{500}{74 + 125} + 0.5 \right) 74 = 474 \text{ m}^3/\text{sec}$$

.6 JOUAAIT

$$6 \text{ A } Q \text{ max} = \left(3.25 \frac{500}{98 + 125} + 1 \right) 98 = 812 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$6 \text{ B } Q \text{ max} = \left(2.35 \frac{500}{98 + 125} + 0.5 \right) 98 = 566 \text{ m}^3/\text{sec}$$

.7 HOUAICHE

$$7 \text{ A } Q \text{ max} = \left(3.25 \frac{500}{75+125} + 1 \right) 75 = 604 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$7 \text{ B } Q \text{ max} = \left(2.35 \frac{500}{75 + 125} + 0.5 \right) 75 = 478 \text{ m}^3/\text{sec}$$

.8 ABOU AALI Daraya

$$8 A \quad Q \text{ max} = \left(3.25 \frac{500}{144 + 125} + 1 \right) 144 = 1014 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$8 B \quad Q \text{ max} = \left(2.35 \frac{500}{144 + 125} + 0.5 \right) 144 = 701 \text{ m}^3/\text{sec}$$

.9 ARKA Hakour

$$9 A \quad Q \text{ max} = \left(3.25 \frac{500}{102 + 125} + 1 \right) 102 = 832 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$9 B \quad Q \text{ max} = \left(2.35 \frac{500}{102 + 125} + 0.5 \right) 102 = 579 \text{ m}^3/\text{sec}$$

424. "MASSIF CENTRAL"

.1	<u>KEBIR</u>	$Q \text{ max} = 10.76 \times 437^{0.737} =$	925 m ³ /sec
.2	<u>BARED embouchure</u>	$Q \text{ max} = 10.76 \times 281^{0.737} =$	686 m ³ /sec
.3	<u>BARED Tirane</u>	$Q \text{ max} = 10.76 \times 40^{0.737} =$	163 m ³ /sec
.4	<u>BARED Michmich</u>	$Q \text{ max} = 10.76 \times 161^{0.737} =$	400 m ³ /sec
.5	<u>JAOUZ</u>	$Q \text{ max} = 10.76 \times 74^{0.737} =$	257 m ³ /sec
.6	<u>JOUAAIT</u>	$Q \text{ max} = 10.76 \times 93^{0.737} =$	316 m ³ /sec
.7	<u>HOUAICHE</u>	$Q \text{ max} = 10.76 \times 75^{0.737} =$	259 m ³ /sec
.8	<u>ABOU AALI Daraya</u>	$Q \text{ max} = 10.76 \times 144^{0.737} =$	419 m ³ /sec
.9	<u>ARKA Hakour</u>	$Q \text{ max} = 10.76 \times 102^{0.737} =$	325 m ³ /sec

425 . DARATTA

.1	<u>KEBIR</u>	$Q \text{ max} = \left(\frac{280}{437} + 2 \right) 437 =$	1154 m ³ /sec
.2	<u>BARED embouchure</u>	$Q \text{ max} = \left(\frac{280}{281} + 2 \right) 281 =$	843 m ³ /sec
.3	<u>BARED Tirane</u>	$Q \text{ max} = \left(\frac{280}{40} + 2 \right) 40 =$	360 m ³ /sec
.4	<u>BARED Michnich</u>	$Q \text{ max} = \left(\frac{280}{161} + 2 \right) 161 =$	602 m ³ /sec
.5	<u>JAOUZ</u>	$Q \text{ max} = \left(\frac{280}{74} + 2 \right) 74 =$	428 m ³ /sec
.6	<u>JOUAAT</u>	$Q \text{ max} = \left(\frac{280}{98} + 2 \right) 98 =$	476 m ³ /sec
.7	<u>HOUAICHE</u>	$Q \text{ max} = \left(\frac{280}{75} + 2 \right) 75 =$	430 m ³ /sec
.8	<u>ABOU AALI Daraya</u>	$Q \text{ max} = \left(\frac{280}{144} + 2 \right) 144 =$	568 m ³ /sec
.9	<u>AARKA Hakour</u>	$Q \text{ max} = \left(\frac{280}{102} + 2 \right) 102 =$	484 m ³ /sec

Remarque : La Figure 28 représente la variation de quelques lois empiriques exprimant le débit maximum en fonction de la superficie du bassin versant .

TABLEAU SYNTHÈSE DES CRUES CALCULÉES

POUR LE LIBAN-NORD

TABLEAU 39

LOIS STATISTIQUES	KEBIR AARIDA	ABOU AALI KOUSBA	BARED embouch.	BARED TIRANE	BARED MICHMICH	JAOUZ BEITCHELALA	JOUAAIT pont Zgharta	HOULICHE ILAT	ABOU AALI DARAYA	AARKA HAKOUR	ABOU AALI * ABOU SAMRA
GUMBEL											
T = 100 à 95 %	405	85	-	-	-	-	-	-	-	250	-
T = 1000 à 95 %	506	125	-	-	-	-	-	-	-	360	-
BERNIER											
T = 100 à 95 %	455	140	310	130	90	120	190	80	135	220	330
T = 1000 à 95 %	625	360	425	175	130	160	250	275	292	305	750
FRECHET											
T = 100	550	140	-	-	-	-	-	-	-	490	-
T = 1000	1429	390	-	-	-	-	-	-	-	2193	-
GALTON-GERRAT											
T = 100	375	85	-	-	-	-	-	-	-	255	-
T = 1000	550	160	-	-	-	-	-	-	-	490	-
FORMULES EMPIRIQUES											
MALLET GAUTHIER											
T = 100	1143	489	973	213	610	417	297	503	489	319	1094
T = 1000	1463	612	1018	266	843	497	563	597	613	401	1396
SCHEINI	1024	703	860	520	726	603	642	604	705	648	1053
FORTI "400"	1700	1006	1500	440	1000	678	812	684	1014	832	1747
FORTI "200"	1132	696	950	300	700	474	566	478	701	579	1160
"MASSIF CENTRAL"	925	415	686	163	400	257	316	259	419	325	996
BARATTA	1154	564	843	360	602	428	476	430	568	484	1212

* Qualité très faible des données limnimétriques .

5. ANALYSE DES RESULTATS

Le Tableau 38 (page 50) résume les résultats de tous les calculs et permet les conclusions suivantes :

51. Les valeurs trouvées avec la méthode proposée par M. Bernier se situent en général entre les valeurs obtenues avec Gumbel et Fréchet et non loin des valeurs obtenues avec Galton-Gibrat .

Les valeurs millénaires de Fréchet sont très élevées (phénomène connu généralement) et ne se justifient pas pour Aarida sur le KÉbir (voir Figure 2) .

Il paraît que la méthode Bernier est valable pour les deux séries "longues" existantes au Liban-Nord et est appliquée par conséquent aux autres fleuves de cette région .

52. Ces valeurs, reconverties en $m^3/s/km^2$, mises en graphique (Figures 26 et 27) font apparaître la possibilité d'ajuster une courbe à la plupart des points : sur papier double-logarithmique le résultat est une droite.

Cette droite fait monter les valeurs de la crue millénaire pour Aarida sur KÉbir (+ 10 %) , DeitChlala sur Jaouz (+ 45 %) , Daraya sur Abou Aali (+ 30 %) , Pont Zgharta sur Jouaait (+ 20 %) , et notamment pour Michmich sur Abou Moussa (+ 300 %) .

Par la même droite seront légèrement diminuées les valeurs de Hât sur Houaiche et de Abou Samra sur Abou Aali .

6. VALEURS DE CRUES RETENUES pour les bassins versants du LIBAN-NORD

Avec la droite de la Figure 27 les valeurs du Tableau 39 ont été établies . Ces chiffres donnent les valeurs retenues par le Projet pour les crues aux différentes stations de jaugeages au Nord du Liban . Pour les sites de barrages se situant quelque part dans un bassin versant ayant une station de jaugeage, les valeurs à la station seront corrigées en fonction de la surface . Pour les barrages dans les bassins non-jaugés des interpolations seront faites avec les bassins voisins .

Enfin l'abaque de la Figure 31 permet de situer immédiatement les valeurs de crue pour différentes périodes de retour en fonction des superficies des bassins versants du Liban-Nord .

TABLEAU 39

VALEURS DE CRUES RETENUES pour les bassins versants du LIBAN-NORD

STATIONS	CRUE DECENNALE	CRUE CENTENAIRE	CRUE MILLENAIRE	CRUE "MAXIMALE" ou DIXMILLENAIRE
AARIDA sur Kébir	276	437	720	1092
BEIT EL HAJ sur Estouène	138	214	306	403
HALBA/HAKOUR sur Aarqa	138	214	306	403
ILAT sur Houaiche (Aarqa)	116	180	259	322
DARED embouchure	225	357	562	800
MICHMICH sur Abou Moussa (Dared)	169	266	403	548
TIRANE sur Dared	80	123	172	208
ABOU SAMRA sur Abou Aali	280	466	746	1120
KOUSEBA sur Abou Aali	160	250	372	515
DARAYA sur Abou Aali	160	250	372	515
PONT ZGHARTA sur Jouaait	136	212	304	401
BEITHLALA sur JAOUZ	116	180	259	322
BZIZA sur Aasfour *	100	140	195	235

* par extrapolation .

TABLEAU 40

VALEURS DE CRUE POUR LES BARRAGES EN ETUDE (ABAQUE 31)

BARRAGES FLEUVE	BASSIN VERSANT km ²	DEBIT DE CRUE POUR LES PERIODES DE RETOUR			
		T = 10 m ³ /sec	T = 100 m ³ /sec	T = 1000 m ³ /sec	T = 10000 m ³ /sec
DAR BEACHTAR sur Aasfour	56.5	105	150	220	270
IAAL sur Jouaait	3.7	± 20	± 30	± 40	± 50
QARQAF sur Haour	12.7	50	70	90	100
BARED CENTRALE sur Bared	275	225	350	560	800
QARAYA sur Bared-el Mousse	205	190	300	470	660
KFAR HARRA sur Estouène	99.5	140	210	320	410
NOURA ET TAHTA sur Kébir	552	300	500	830	1270

7. LISTE DES TABLEAUX

P A G E S

Tableau 41 Distribution normale cumulée

55

Tableau donnant la date, le débit de pointe, le volume et la durée de la crue :

42	AARIDA sur le Kébir	56
43	HALBA-HAKOUR sur Aarqa	58
44	KOUSBA sur Abou Aali	60
45	BARED Embouchure	64
46	TIRANE sur Bared	65
47	MICHMICH sur Bared	66
48	ABOU SAMRA sur Abou Aali	67
49	DARAYA sur Abou Aali	71
50	PONT ZGHARTA sur Jouaait	72
51	BEIT CHLALA sur Jaouz	73
52	ILAT sur Aarqa-Houaich	74

TABLEAU 41
DISTRIBUTION NORMALE CUMULEE

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2} dt$$

x	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
.0	.5000	.5040	.5080	.5120	.5160	.5199	.5239	.5279	.5319	.5359
.1	.5398	.5438	.5478	.5517	.5557	.5596	.5636	.5675	.5714	.5753
.2	.5793	.5833	.5871	.5910	.5948	.5987	.6026	.6064	.6103	.6141
.3	.6179	.6217	.6255	.6293	.6331	.6368	.6406	.6443	.6480	.6517
.4	.6554	.6591	.6628	.6664	.6700	.6736	.6772	.6808	.6844	.6879
.5	.6915	.6950	.6985	.7019	.7054	.7088	.7123	.7157	.7190	.7224
.6	.7257	.7291	.7324	.7357	.7389	.7422	.7454	.7486	.7517	.7549
.7	.7580	.7611	.7642	.7673	.7704	.7734	.7764	.7794	.7823	.7852
.8	.7881	.7910	.7939	.7967	.7995	.8023	.8051	.8078	.8106	.8133
.9	.8159	.8186	.8212	.8238	.8264	.8289	.8315	.8340	.8365	.8389
1.0	.8413	.8438	.8461	.8485	.8508	.8531	.8554	.8577	.8599	.8621
1.1	.8643	.8665	.8686	.8708	.8729	.8749	.8770	.8790	.8810	.8830
1.2	.8849	.8869	.8888	.8907	.8925	.8944	.8962	.8980	.8997	.9015
1.3	.9032	.9049	.9066	.9082	.9099	.9115	.9131	.9147	.9162	.9177
1.4	.9192	.9207	.9222	.9236	.9251	.9265	.9279	.9292	.9306	.9319
1.5	.9332	.9345	.9357	.9370	.9382	.9394	.9406	.9418	.9429	.9441
1.6	.9452	.9463	.9474	.9484	.9495	.9505	.9515	.9525	.9535	.9545
1.7	.9554	.9564	.9573	.9582	.9591	.9599	.9608	.9616	.9625	.9633
1.8	.9641	.9649	.9656	.9664	.9671	.9678	.9686	.9693	.9699	.9706
1.9	.9713	.9719	.9726	.9732	.9738	.9744	.9750	.9756	.9761	.9767
2.0	.9772	.9778	.9783	.9788	.9793	.9798	.9803	.9808	.9812	.9817
2.1	.9821	.9826	.9830	.9834	.9838	.9842	.9846	.9850	.9854	.9857
2.2	.9861	.9864	.9868	.9871	.9875	.9878	.9881	.9884	.9887	.9890
2.3	.9893	.9896	.9898	.9901	.9904	.9906	.9909	.9911	.9913	.9916
2.4	.9918	.9920	.9922	.9925	.9927	.9929	.9931	.9932	.9934	.9936
2.5	.9938	.9940	.9941	.9943	.9945	.9946	.9948	.9949	.9951	.9952
2.6	.9953	.9955	.9956	.9957	.9959	.9960	.9961	.9962	.9963	.9964
2.7	.9965	.9966	.9967	.9968	.9969	.9970	.9971	.9972	.9973	.9974
2.8	.9974	.9975	.9976	.9977	.9977	.9978	.9979	.9979	.9980	.9981
2.9	.9981	.9982	.9982	.9983	.9984	.9984	.9985	.9985	.9986	.9986
3.0	.9987	.9987	.9987	.9988	.9988	.9989	.9989	.9989	.9990	.9990
3.1	.9990	.9991	.9991	.9991	.9992	.9992	.9992	.9992	.9993	.9993
3.2	.9993	.9993	.9994	.9994	.9994	.9994	.9994	.9995	.9995	.9995
3.3	.9995	.9995	.9995	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9997
3.4	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9998

x	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.090	3.291	3.291	4.417
F(x)	.90	.95	.975	.99	.995	.999	.9995	.99995	.999995
2(1-F(x))	.20	.10	.05	.02	.01	.002	.001	.0001	.00001

TABLEAU 42
KEBIR-AARIDA

m	Date	Volume Mille m3	Pointe m3/s	Durée	
				Jour	Heure
1	4-8 Avr. 62	1.424.700	15.400	4	12
2	18-20 Fév. 61	1.443.600	16.000	3	4
3	8-10 Janv. 59	1.772.100	16.000	3	0
4	26-29 Mai 68	387.000	16.300	4	0
5	13-17 Avr. 61	1.076.400	18.000	4	10
6	10-13 Avr. 64	1.260.900	18.000	4	0
7	8-10 Oct. 66	634.500	19.000	2	14
8	14-16 Dec. 65	1.440.000	19.000	3	6
9	8-9 Dec. 63	1.539.000	19.000	2	8
10	31-3/4 Mars 61	2.631.600	20.600	4	18
11	9-14 Janv. 62	2.759.400	23.000	5	12
12	10-11 Janv. 66	898.000	24.000	1	13
13	3-4 Fév. 56	1.022.400	24.000	1	16
14	7-8 Janv. 65	2.171.400	24.000	2	10
15	23-27 Mars 58	2.268.000	25.000	4	18
16	13-16 Fév. 57	2.383.000	25.000	4	4
17	21-23 Nov. 61	3.159.000	25.000	3	0
18	18-19 Janv. 61	1.705.500	26.000	2	10
19	8-11 Janv. 60	1.850.625	26.000	3	20
20	1-4 Mars 66	1.206.000	27.000	4	0
21	19-22 Mars 66	3.119.400	29.000	4	3
22	29-30 Dec. 60	1.591.200	30.000	3	10
23	14-18 Mars 57	2.630.250	30.000	4	10
24	15-18 Fév. 61	2.910.600	30.000	2	18
25	20-22 Oct. 60	855.000	31.000	2	17
26	8-10 Nov. 56	2.329.200	31.000	3	22
27	2-3 Mars 62	1.785.600	32.000	2	19
28	10-12 Oct. 67	2.199.600	32.000	3	11
29	20-23 Dec. 62	2.102.400	33.000	3	20
30	5-7 Fév. 58	1.461.600	34.000	2	20
31	6-7 Avr. 65	4.347.000	34.000	4	0
32	25-31 Dec. 65	8.476.200	34.000	7	2
33	5-6 Fév. 56	799.200	36.000	1	8
34	28-29 Janv. 56	1.188.000	36.000	2	0
35	27-29 Dec. 61	2.088.000	36.000	3	10
36	8-9 Janv. 66	2.179.800	38.000	2	10
37	16-20 Janv. 64	3.776.400	38.000	5	0
38	9-13 Mars 62	3.304.800	39.000	4	0
39	8-12 Janv. 65	4.915.800	39.000	5	21
40	3-4 Janv. 58	2.610.000	40.000	2	3
41	28-30 Avr. 63	3.258.000	40.000	3	0

TABLEAU 42 (suite)

XEBIR-AARIDA

m	Date	Volume Mille m ³	Pointe m ³ /s	Durée	
				Jour	Heure
43	1 - 2 Fév. 56	2.736.000	42.000	2	3
44	7 - 9 Dec. 57	4.209.750	43.000	4	0
45	3 - 10 Dec. 58	4.423.000	45.000	3	0
46	4 - 10 Mars 63	7.775.000	45.000	3	0
47	22 - 25 Mars 59	4.634.500	47.000	4	4
48	5 - 8 Avr. 67	2.754.000	47.500	4	12
49	14 - 18 Mars 63	3.816.000	47.500	5	6
50	10 - 11 Mars 63	3.361.500	48.000	4	6
51	15 - 21 Mars 56	3.244.000	50.000	7	0
52	21 - 23 Nov. 64	13.743.000	51.000	3	0
53	3 - 11 Dec. 56	7.753.500	54.000	5	6
54	15 - 16 Dec. 55	3.235.000	56.000	2	15
55	10 - 12 Janv. 63	4.500.000	56.000	3	4
56	19 - 20 Dec. 55	1.600.000	57.000	1	18
57	10 - 12 Avr. 60	4.297.500	57.000	4	13
58	17 - 18 Fév. 62	5.292.000	59.000	2	20
59	6 - 8 Janv. 58	5.296.500	61.000	3	20
60	23 - 24 Mars 67	4.234.000	62.000	2	17
61	20 - 24 Fév. 63	6.525.000	64.000	5	4
62	20 - 22 Janv. 61	5.541.750	65.000	2	14
63	26 Mars 67	3.712.500	71.000	1	6
64	5 - 7 Dec. 67	5.733.000	72.000	3	21
65	12 - 15 Dec. 66	10.462.500	74.000	5	0
66	24 Janv. 63	5.044.500	80.000	2	14
67	10 - 12 Janv. 58	5.256.000	80.000	3	3
68	14 - 18 Fév. 67	3.572.500	81.000	5	20
69	10 - 13 Dec. 63	6.165.000	83.000	3	12
70	27 Mars 67	6.313.000	83.000	4	13
71	24 - 29 Mars 65	9.517.500	92.000	6	10
72	23 - 23 Fév. 64	14.962.500	95.000	6	6
73	14 - 17 Fév. 65	7.344.000	104.000	4	3
74	24 - 27 Fév. 59	9.936.000	105.000	4	4
75	1 - 4 Janv. 57	16.623.000	111.000	6	4
76	22 - 27 Fév. 63	16.963.000	116.000	5	18
77	17 Janv. 63	9.090.000	117.000	2	21
78	3 - 4 Avr. 65	9.265.500	117.000	4	3
79	18 Dec. 55	6.930.000	118.000	3	12
80	12 - 17 Mars 64	14.800.000	120.000	6	4
81	6 - 13 Fév. 56	23.080.000	120.000	7	0
82	22 - 24 Dec. 67	19.026.000	123.000	3	0
83	17 - 23 Janv. 67	30.231.000	135.000	3	14
84	12 - 15 Fév. 63	10.899.000	146.000	4	0
85	19 - 26 Fév. 62	25.037.500	162.000	7	0
86	23 - 5/2 Janv. 56	23.350.000	179.000	7	0
87	21 - 25 Dec. 61	20.191.500	186.000	5	3
88	14 - 18 Janv. 63	29.137.000	196.000	5	0
89	25 - 29 Janv. 63	27.013.500	198.000	3	10

TABIEAU 43

TABLEAU - ELKOUR sur AARQA

Rang	DATE DE LA POINTE	DEBIT DE CRUE m ³ /sec	VOLUME ESTIME *	DUREE DE LA CRUE	
				JOUR	HEURE
1	14 Jan 68	130			
2	23 Jan 68	100			
3	19 Jan 67	85			
4	17 Dec 55	30			
5	25 Jan 63	50			
6	23 Fév. 67	45			
7	15 Déc. 68	44			
8	27 Marc 64	40			
9	23 Jan 69	35			
10	26 Jan 69	30			
11	17 Jan 68	30			
12	28 Fév. 56	30			
13	20 Jan 58	25			
14	18 Avr 63	25			
15	13 Mai 67	22			
16	26 Oct 68	20			
17	17 déc. 68	20			
18	29 Jan 67	17			
19	17 Marc 67	17			
20	25 Jan 70	16			
21	22 Fév. 67	15			
22	24 Marc 69	15			
23	10 Jan 58	15			
24	17 Dec 62	15			
25	5 Nov 64	15			
26	30 Jan 57	14			
27	10 Dec 63	13			

* Données non disponibles

TABLEAU 43 (suite)

HALBA HAKOUR sur LARQA

Rang	DATE DE LA POINTE	DEBIT DE CRUE m ³ /sec	VOLUME ESTIME *	DUREE DE LA CRUE	
				JOUR	HEURE
28	9 Fév. 64	12			
29	1 Fév. 57	11			
30	10 Fév. 68	10			
31	14 Marc 68	10			
32	22 Dec. 67	9			
33	21 Fév. 66	9			
34	12 Dec. 68	9			
35	11 Marc 69	9			
36	20 Marc 69	9			
37	24 Jan 70	9			

* Données non disponibles

TABLEAU 44

KOUSBA sur ABOU AALI

Rang	DATE DE LA POINTE	DEBIT DE POINTE m ³ /sec.	VOLUME ESTIME Mm ³ *	DUREE DE LA CRUE	
				JOUR	HEURE
1	28 Fév. 67	92.0			
2	23 Avr. 67	84.0			
3	22 Dec. 67	72.0			
4	16 Mars 69	48.4			
5	20 Jan 69	46.8			
6	3 Fév. 52	39.5			
7	28 Mars 49	30.9			
8	23 Mars 49	30.3			
9	Mars 67	30.0			
10	21 Nov. 61	29.8			
11	31 Mai 58	29.7			
12	23 Jan. 51	28.2			
13	2 Jan. 66	27.8			
14	14 Dec. 68	27.6			
15	16 Dec 66	26.6			
16	5 Avr. 67	26.6			
17	4 Fév. 52	25.9			
18	19 Fév. 62	25.6			
19	28 Jan 67	24.6			
20	5 Mars 50	23.5			
21	17 Jan 67	23.6			
22	12 Mars 64	23.2			
23	5 Jan 50	23.2			
24	12 Mars 59	22.0			
25	10 Fév. 53	21.9			
26	12 Fév. 63	21.0			
27	14 Dec. 65	20.6			
28	28 Avr 65	20.5			
29	12 Mars 68	20.0			

* Données non disponibles

TABLEAU 44 (suite)

KOUCEA sur ABOU AALI

Rang	DATE DE LA POINTE	DEBIT DE POINTE m ³ /sec.	VOLUME ESTIME Mm ³ *	DUREE DE LA CRUE	
				JOUR	HEURE
30	13 Fév 51	19.6			
31	1 Fév. 64	19.0			
32	18 Fév. 53	18.2			
33	26 Nov. 48	18.2			
34	Jan 68	17.8			
35	Mars 68	17.4			
36	12 Fév. 67	17.0			
37	26 Dec. 66	17.0			
38	Nov 64	17.0			
39	31 Mars 61	17.4			
40	10 Mars 52	17.0			
41	23 Mars 53	16.7			
42	9 Dec. 53	16.7			
43	18 Fév. 63	16.6			
44	Fév 65	16.5			
45	31 Dec 50	16.3			
46	7 Avr 61	16.0			
47	27 Dec 48	15.9			
48	Mars 67	15.3			
49	13 Jan 69	15.0			
50	Jan 57	15.0			
51	Avr. 63	15.2			
52	11 Mai 49	15.0			
53	29 Fév. 63	15.0			
54	18 Dec. 51	14.8			
55	13 Avr 61	14.7			
56	8 Mai 57	14.6			
57	Mars 66	14.5			

* Données non disponibles

TABEAU 44 (suite)

KOUGBA sur ABOU AALI

Rang	DATE DE LA POINTE	DEBIT DE POINTE m ³ /sec	VOLUME ECTIME Mm ³ *	DUREE DE LA CRUE	
				JOUR	HEURE
58	Mai 68	14.5			
59	21 Nov 67	14.4			
60	6 Dec 67	14.4			
61	17 Dec 68	14.0			
62	19 Jan 59	13.8			
63	25 Mars 63	13.3			
64	30 Avr 49	13.1			
65	24 Fév. 59	13.1			
66	17 Jan 64	12.8			
67	2 Mars 50	12.5			
68	26 Mars 51	12.5			
69	20 Jan 61	12.5			
70	25 Mars 61	12.5			
71	9 Dec 63	12.5			
72	Aout 65	12.5			
73	15 Avr. 49	11.3			
74	21 Mars 52	11.6			
75	17 Avr 57	11.6			
76	6 Mars 58	11.6			
77	12 Dec 60	11.5			
78	2 Fév. 49	10.8			
79	7 Dec. 57	10.3			
80	3 Jan 53	10.3			
81	27 Jan 61	10.9			
82	27 Avr. 61	10.5			
83	Mars 62	10.3			
84	13 Jan. 49	10.5			
85	7 Févr. 49	10.1			
86	6 Avr. 52	10.3			

* Données non disponibles

TABLÉAU 44 (suite)

KOUSBA sur ABOU ALI

Rang	DATE DE LA POINTE	DEBIT DE POINTE m ³ /sec.	VOLUME ESTIME Mm ³ *	DUREE DE LA CRUE	
				JOUR	HEURE
87	Dec. 56	10.1			
88	Fév. 57	10.1			
89	11 Jan 62	10.1			
90	4 Dec 69	9.9			
91	24 Jan 70	9.9			
92	12 Jan 50	9.9			
93	28 Avr 50	10.3			
94	4 Mars 63	9.3			
95	Jan 65	10.0			
96	7 Mars 60	9.5			
97	Avr. 62	9.5			

* Données non disponibles

TABLEAU 45
BARRÉ-EMBOUCHURE

m	Date		Volume Mille m3	Pointe m3/s	Durée	
					Jour	Heure
1	25	Fév. 67	123.840	4.980	1	18
2	20-27	Nov. 67	1.033.240	7.550	7	0
3	-	.	2,236.500	7.700	2	16
4	17-23	Dec. 66	2.579.040	12.300	9	0
5	21-23	Dec. 66	2.030.400	14.800	3	6
6			2.993.760	15.650	9	0
7	20-23	Avr. 68	656.640	17.000	3	0
8	16-25	Janv. 67	4.545.000	17.500	6	10
9	8-20	Mars 68	2.350.080	18.800	12	0
10	10-12	Oct. 67	1.249.200	21.700	2	18
11	28-2/10	Sept. 66	2.500.000	22	5	0
12	18-30	Mai 67	2.300.400	22.000	7	0
13	26-31	Mars 67	4.017.600	23.320	9	0
14	3-4	Janv. 69	403.200	30.500	0	20
15	20	Mars 69	1.206.000	31.600	1	21
16	24-26	Janv. 68	612.000	32.150	2	4
17	16-18	Mars 67	1.200.000	33	2	0
18	14-16	Janv. 68	1.332.000	36.500	2	20
19	29-31	Mars 69	2.548.800	36.800	3	15
20	1-2	Fév. 69	1.220.400	38.600	1	12
21	12-13	Mai 67	950.000	39	2	0
22	26-4/4	Mars 67	9.244.800	40.900	9	12
23	4-5	Avril 68	930.000	43	0	6
24			13.909.009	51.332	13	0
25	15-16	Dec. 68	2.727.000	61.750	2	12
26	21-23	Dec. 67	2.236.500	77	2	16
27	20-22	Avril 67	4.194.000	83.500	2	19

TABLEAU 46
BARRÉ - TIRANE

m	Date		Volume Mille m ³	Pointe m ³ /s	Durée	
					Jour	Heure
1	1	Janv. 66	108.000	4.700	1	21
2	10-12	Oct. 67	277.200	6.150	2	21
3	19	Dec. 66	223.920	6.300	1	9
4	19-21	Fév. 66	295.200	6.450	3	6
5	26	Janv. 69	295.200	6.600	4	12
6	5-27	Avr. 68	3.620.160	7.900	21	0
7	21-22	Nov. 67	450.450	7.950	3	8
8	3	Avr. 67	210.600	8.350	1	22
9	10-11	Avr. 67	329.400	9.000	2	18
10	17	Dec. 66	537.120	10.000	2	7
11	10-15	Mars 68	811.440	10.240	5	5
12	10-16	Déc. 68	1.257.300	10.450	6	0
13	18	Oct. 67	182.250	11.200	1	23
14	10-12	Fév. 69	1.224.000	12.000	3	12
15		Mai 68	16.104.960	15.100	44	0
16	28	Janv. 67	1.051.200	16.350	4	16
17	26-27	Mars 67	511.200	18.200	2	9
18	20-21	Mars 69	918.000	19.550	2	16
19	22-25	Mars 69	1.647.000	22.300	3	3
20	1-3	Mai 67	1.680.300	25.250	4	4
21	23-24	Janv. 68	1.551.600	36.400	3	6
22	22-24	Fév. 67	2.084.400	51.000	3	13
23	22-23	Dec. 67	2.331.000	52.000	2	18

TABLEAU 47
MICHELICH-OUADI JOUHANNEB

m	Date		Volume Mille m ³	Pointe m ³ /s	Durée	
					Jour	Heure
1	20	Nov. 67	87.640	3.250	1	5
2	19	Dec. 66	126.720	3.860	1	3
3	20	Dec. 66	32.760	4.020	0	13
4	20	Fév. 68	68.760	4.500	1	22
5	18	Oct. 67	167.400	4.650	2	20
6	17-18	Janv. 67	101.850	6.000	1	19
7	17	Dec. 66	263.280	6.000	2	13
8	21	Oct. 67	38.200	6.380	0	14
9	10	Dec. 66	145.080	6.940	1	19
10	1-15	Janv. 69	3.496.500	9.100	14	0
11	15	Mars 68	57.600	9.200	0	16
12	26	Mars 67	141.640	9.500	1	20
13	10	Fév. 67	113.400	10.150	0	12
14	15	Fév. 67	23.800	10.200	1	9
15	14	Janv. 68	144.000	11.520	1	0
16	7	Avr. 68	284.400	11.750	1	10
17	11	Avr. 68	133.200	11.900	1	12
18	10	Mars 68	403.200	13.300	2	0
19	9	Mars 68	198.000	13.300	1	11
20	15	Dec. 68	2.782.300	14.500	7	0
21	24	Janv. 68	203.400	14.700	1	5
22	27	Avr. 67	162.000	16.500	1	0
23	29	Avr. 67	135.000	16.800	0	22
24	11	Mai 67	171.000	17.400	0	20
25	28	Avr. 67	205.200	17.600	1	4
26	12-14	Mars 68	1.659.600	18.700	3	4
27	7-8	Mars 69	612.000	19.000	2	2
28	26-28	Fév. 69	1.395.000	19.000	3	14
29	20	Avr. 67	797.400	20.000	2	7
30	12	Mai 67	201.600	20.300	1	8
31	22	Dec. 67	936.400	22.200	1	20
32	23-24	Fév. 67	847.800	24.3	2	13

TABLEAU 48

ABOU SAMRA sur Nahr ABOU AALI

Rang	DATE DE LA POINTE	DEBIT DE POINTE M3/sec.	VOLUME ESTIME Mm3 *	DUREE DE LA CRUE	
				JOUR	HEURE
1	22 Dec. 67	163		0	18
2	23 Fev. 67	160		1	0
3	20 Mars 69	105		3	0
4	22 Fev. 67	104		0	6
5	23 Jan. 69	75		1	0
6	26 Mars 67	73		0	12
7	28 Jan. 67	73		2	0
8	21 Jan. 70	65		2	0
9	1 Fev. 69	65		2	0
10	21 Jan. 69	60		2	0
11	24 Mars. 69	58		2	12
12	17 Mars 67	55		0	4
13	17 Dec. 68	55		3	0
14	26 Jan. 69	55		1	0
15	22 Mars 69	55		1	12
16	16 Mai 67	52		0	3
17	3 Mai 67	50		3	0
18	14 Jan. 68	50		3	0
19	24 Jan. 69	50		0	12
20	7 Mars 69	49		3	0
21	20 Avr. 67	49		1	0

* Données non disponibles .

TABLEAU 48 (Suite)

ABOU SAMRA sur Nahr ABOU AALI

Rang	DATE DE LA POINTE	DEBIT DE POINTE m ³ /scc.	VOLUME ESTIME Mm ³ *	DUREE DE LA CRUE	
				JOUR	HEURE
22	18 Jan. 69	45		0	18
23	26 Jan. 66	45		2	0
24	15 Mai 67	41		1	18
25	22 Jan. 69	41		0	18
26	10 Mars 69	39		0	12
27	31 Jan. 68	39		2	0
28	14 Mars 68	39		3	0
29	13 Dec. 69	39		1	0
30	15 Déc. 68	39		3	0
31	13 Mai 67	38		0	12
32	13 Jan. 69	37		3	0
33	8 Fév. 69	36		3	0
34	24 Jan. 70	35		3	0
35	18 Jan. 67	34		1	0
36	18 Dec. 66	34		1	12
37	23 Dec. 67	34		4	0
38	20 Dec. 67	33		3	0
39	19 Jan. 67	32		0	18
40	16 Avr. 67	31		0	8
41	17 Avr. 67	31		0	8
42	25 Avr. 69	31		4	0
43	25 Jan. 68	30		0	12
44	13 Avr. 67	30		4	0
45	15 Avr. 67	28		0	8
46	28 Jan. 68	28		0	18
47	14 Avr. 67	27		0	6
48	6 Jan. 68	27		3	0
49	16 Mars 68	27		0	18

* Données non disponibles.

TABLEAU 48 (Suite)

ABOU SAMRA sur Nahr ABOU AALI

Rang	DATE DE LA POINTE	DEBIT DE POINTE m3/sec.	VOLUME ESTIME km3 *	DUREE DE LA CRUE	
				JOUR	HEURE
50	12 Avr. 67	26		0	12
51	26 Avr. 67	26		0	18
52	13 Mai 68	26		1	0
53	25 Dec. 66	25		0	6
54	10 Jan. 68	25		1	0
55	18 Avr. 68	25		5	0
56	5 Avr. 67	24		2	0
57	11 Avr. 67	24		0	18
58	1 Mars 68	24		5	0
59	12 Mai 69	24		4	0
60	27 Fevr. 69	23		3	0
61	19 Fevr. 68	22		4	0
62	22 Mai 68	22		1	0
63	18 Oct. 67	21		0	6
64	19 Fevr. 66	21		0	18
65	10 Mars 68	20		2	0
66	26 Mai 68	20		0	12
67	20 Dec 67	19		0	18
68	8 Avr. 68	19		6	0
69	5 Mai 68	19		4	0
70	4 Avr. 67	19		3	0
71	21 Nov. 67	19		0	12
72	6 Dec. 67	18		3	0
73	27 Dec. 68	18		3	0
74	12 Fevr. 67	16		1	0
75	5 Juin 69	16		1	0
76	23 Mars 70	16		3	0
77	11 Mars 70	15		3	0
78	27 Mars 66	15		3	0

* Données non disponibles

TABLEAU 48 (Suite)

ABOU SAMRA sur Nahr ABOU AALI

Rang	DATE DE LA POINTE	DEBIT DE POINTE m3/sec.	VOLUME ESTIME Mm3 *	DUREE DE LA CRUE	
				JOUR	HEURE
79	I7 Dec. 66	I5		I	0
80	I2 Dec. 68	I5		2	I2
8I	I8 Dec. 67	I4		I	0
82	8 Fevr.67	I4		I	0
83	IO Avr. 70	I3		IO	0
84	I Jan. 70	I3		I	0
85	II Oct. 67	I3		0	4

* Données non disponibles .

TABLEAU 49
ABOU AALI - DARAYA

m	Date		Volume Mille m ³	Pointe m ³ /s	Durée	
					Jour	Heure
1	27	Fév. 66	188.800	6.500	0	22
2	25	Dec. 65	448.200	7.000	2	0.0
3	15-16	Avr. 66	374.400	7.500	2	12
4	5	Juin 68	108.000	7.870	1	6
5	26	Dec. 66	259.200	8.000	1	23
6	21-22	Nov. 67	315.000	8.530	2	0
7	27	Dec. 65	791.500	9.050	2	16
8	17	Janv. 67	166.500	9.575	0	23
9	19	Fév. 68	651.500	12.200	3	14
10	1-6	Mai 68	862.200	12.800	3	20.5
11	2-5	Juin 67	95.400	14.000	0	15
12	2-3	Janv. 66	1.069.200	14.500	2	17
13	26-27	Mars 66	1.494.000	15.530	4	0.0
14	14-18	Avr. 68	120.500	16.200	0	13.5
15	25-26	Mars 67	738.000	16.360	2	17
16	11-14	Mai 69	540.000	16.960	3	16
17	19	Avr. 67	343.800	17.500	2	10
18	1	Avr. 69	286.200	17.650	1	6
19	1	Fév. 69	664.200	17.800	2	12
20	17	Dec. 68	1.105.200	17.750	2	17
21	14	Janv. 68	900.000	18.240	2	12.5
22	14	Mars 68	381.600	20.150	1	10.5
23	22	Fév. 67	763.200	21.800	1	4
24	20-21	Janv. 69	1.341.000	23.750	2	8
25	20-22	Avr. 67	1.164.800	23.840	2	14
26	1-4	Mai 67	1.155.600	25.180	2	16
27	23	Mars 69	3.474.000	28.780	4	25
28	23	Fév. 67	1.368.000	28.660	2	8
29	10	Dec. 68	2.350.800	31.220	3	1
30	15	Dec. 67	1.792.800	46.650	3	18
31	20	Mars 69	1.926.000	46.650	3	11.5

TABLÉAU 50
JOUAALIT-PONT ZGHARTA

n	D a t e		Volume Mille m ³	Pointe m ³ /s	Durée	
					Jour	Heure
1	23-26	Avr. 69	180.000	3.300	4	0.0
2	12-15	Mars 68	157.500	3.525	3	16
3	21-22	Nov. 67	307.300	4.900	3	10
4	19	Janv. 69	91.300	3.300	0	16.5
5	16	Mai 67	84.600	3.925	2	8
6	20-21	Janv. 69	795.600	9.040	3	21
7	1	Fév. 69	199.300	9.030	2	0.0
8	25	Dec. 66	104.400	10.000	0	15
9	17-21	Dec. 68	733.000	10.500	4	1
10	14-17	Dec. 68	1.026.000	11.430	3	11
11	23	Janv. 69	243.000	11.920	2	6.5
12	14-15	Janv. 68	176.400	11.960	1	22
13	14	Janv. 68	84.600	12.250	0	16.5
14	10	Mai 68	637.200	12.560	1	16
15	23	Mars 69	665.300	14.130	3	0.0
16	26	Mars 67	525.300	20.540	3	4
17	12-13	Janv. 67	702.300	27.00	2	17
18	26	Dec. 66	464.400	27.030	2	17
19	14	Janv. 68	331.600	37.530	0	6.5
20	23	Fév. 67	900.000	43.040	3	0.0
21	22	Dec. 67	766.800	44.250	1	1.5
22	22	Fév. 67	792.000	57.600	0	20

TABLEAU 51
BL JAOUZ - E.CHLALA

m	D a t e		Volume Mille m3	Pointe m3/s	Durée	
					Jour	Heure
1	28	Janv. 67	284.400	6.400	3	4
2	30	Nov. 68	495.000	6.510	2	8
3	24	Mars 67	658.800	7.000	4	17
4		Fév. 67	558.000	7.900	3	7
5	10	Mars 68	306.000	8.250	2	20
6	22-23	Fév. 69	592.200	11.134	2	10
7	17	Déc. 66	610.200	11.430	2	10
8	22	Fév. 67	423.000	11.450	1	12
9	22	Janv. 69	459.000	11.500	1	12.5
10	12	Mars 68	939.600	11.860	2	3
11	11	Oct. 67	261.000	12.400	2	8
12	14	Mai 68	98.600	12.950	1	1
13	26	Mars 67	842.400	14.100	2	11
14	23	Avr. 67	1.301.400	16.140	4	0
15	23	Fév. 67	1.162.000	16.500	2	17
16	17	Déc. 68	982.400	17.200	1	4
17	21	Mars 69	2.023.200	18.034	3	12
18	20-21	Janv. 69	1.593.000	18.260	3	3.5
19	18-22	Avr. 67	1.647.000	19.880	4	0
20	21	Nov. 67	889.920	22.200	3	6
21	2	Mai 67	603.000	22.940	1	0
22	14	Déc. 68	1.558.800	24.000	2	7
23	15	Déc. 68	2.142.000	30.700	1	12
24	20-21	Mars 69	1.379.200	32.168	2	2
25	22	Déc. 67	959.400	33.160	2	1.5

TABLEAU 52
ILAT sur MARSA HOULICH

Rang	DATE DE LA POINTE	DEBIT DE POINTE m3/sec.	VOLUME ESTIME M m3*	DUREE DE LA CRUE	
				Jour	Heure
1	14 Jan. 68	19.9			
2	23 Dec. 67	11.6			
3	9 oct. 67	9.5			
4	23 Fév. 67	7.5			
5	25 Jan. 68	6.6			
6	17 Jan. 67	6.1			
7	18 Dec. 66	5.2			
8	14 Mars 68	4.8			
9	19 Mai 67	4.6			
10	19 Jan. 67	4.3			
11	12 Dec. 66	4.2			
12	17 Dec. 66	4.1			
13	17 Mars 67	3.7			
14	26 Dec. 66	3.4			
15	7 Avr. 67	3.4			
16	27 Mars 67	3.2			
17	4 Avr. 67	3.2			
18	6 Mars 67	3.1			
19	13 Mai 67	3.0			
20	10 Jan. 68	3.0			

* Données non disponibles.

8. LISTE DES FIGURES

FIGURE	1	Relation entre N et F(N)
	2	Aarida sur Kébir ajustement exponentiel
	3	Crues de Aarida sur Kébir
	4	Courbes de tarage de Halba-Hakour sur Aarqa
	5	Ajustement exponentiel de Halba-Hakour sur Aarqa
	6	Crues de Halba-Hakour sur Aarqa
	7	Courbes de tarage de Kousba sur Abou Aali
	8	Ajustement exponentiel de Kousba
	9	Crues de Kousba
	10	Ajustement exponentiel de Bared embouchure
	11	Crues de Bared embouchure
	12	Ajustement exponentiel de Tirane sur Bared
	13	Crues de Tirane sur Bared
	14	Ajustement exponentiel de Michmich(Bared)
	15	Crues de Michmich sur Bared
	16	Ajustement exponentiel de Abou Samra sur Abou Aali
	17	Crues de Abou Samra sur Abou Aali
	18	Ajustement exponentiel de Daraya
	19	Crues de Daraya
	20	Ajustement exponentiel Pont de Zgharta sur Jouaait
	21	Crues du Pont de Zgharta sur Jouaait
	22	Ajustement exponentiel de Beitchlala sur Jaouz
	23	Crues de Beitchlala
	24	Ajustement exponentiel de Ilat sur Houaich
	25	Crues de Ilat
	26	"Ajustement parabolique" du module de crue millénaire
	27	"Evolution du débit spécifique de crue pour les crues T ₁₀ , T ₁₀₀ , T ₁₀₀₀ , et T ₁₀₀₀₀
	28	Comparaison de quelques formules empiriques
	29	Carte au 1/200.000 du Liban-Nord avec bassins versants, stations météo, pluviométriques et hydrométriques
	30	Organigrammes des calculs
	31	Débits de crues pour les fleuves du Liban-Nord
	32	Données hydrométriques existantes au Liban-Nord .
