

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

SECRETARIAT D'ETAT A L'HYDRAULIQUE

DIRECTION DES ETUDES DE MILIEU ET DE LA RECHERCHE HYDRAULIQUE

SOUS-DIRECTION DES RESSOURCES EN EAU

PROJET DE BARRAGE
DE ROCHER DES PIGEONS
SUR L'OUED
EL HARRACH

ETUDE HYDROLOGIQUE

SECRETARIAT D'ETAT A L'HYDRAULIQUE

ELECTRICITE DE FRANCE

DIRECTION DES ETUDES DE MILIEU
ET DE LA RECHERCHE HYDRAULIQUE

DIRECTION DES AFFAIRES EXTERIEURES
ET DE LA COOPERATION

SERVICE - HYDROLOGIE

DIVISION - HYDROLOGIE

PROJET DE BARRAGE
DE ROCHER DES PIGEONS
SUR L'OUED
EL HARRACH

ETUDE HYDROLOGIQUE

L. CALVET Ingénieur Hydrologue D.E.M.R.H.

Etude N° 36/SHYL.

H. DOSSEUR Ingénieur Hydrologue E.D.F. DAFECO

Code 02 - 13 - 01

Date Octobre 1974

S O M M A I R E

-o0o0o-

	<u>Pages</u>
TABLEAU RECAPITULATIF DES RESULTATS	
Préambule - CADRE DE L'ETUDE	1
Chapitre I - CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU BASSIN	3
Chapitre II - DONNEES DISPONIBLES	5
Chapitre III - ETUDES DES CRUES	12
Chapitre IV - ETUDE DES APPORTS	35
Chapitre V - ETUDE DES APPORTS SOLIDES	41
Annexe - BIBLIOGRAPHIE UTILISEE	53
Figures -	54

TABLEAU RECAPITULATIF DES RESULTATS

=====

CRUES

- Hydrogramme type

Temps de base T b = 20 heures

Temps de montée T m = 4 heures

$$\alpha = \frac{Q_r \text{ max}}{Q_r \text{ moyen}} \qquad \alpha = 3$$

- Crues

Decennale	1000 m3/s	+	90	m3/s	
Centennale	1900 m3/s	+	150	m3/s	(crue de chantier)
Millénaire	2900 m3/s	+	250	m3/s	
Cinq-millénaire	3500 m3/s	+	300	m3/s	
Dix-millénaire	3800 m3/s	+	350	m3/s	

APPORTS

	Moyenne	136	x	10 ⁶ m3	+ 12 %
	Médiane	117	x	10 ⁶ m3	
Decennale	Humide	230	x	10 ⁶ m3	
Centennale	Humide	407	x	10 ⁶ m3	
Millénaire	Humide	622	x	10 ⁶ m3	
Centennale	Sèche	62,3	x	10 ⁶ m3	
Millénaire	Sèche	29,5	x	10 ⁶ m3	

TAUX D'ABRASION

4500 T / Km2 / an.

Préambule - CADRE DE L'ETUDE

A la demande de la D.P.R.H. (Direction des Projets et des Réalisations Hydrauliques) nous avons procédé à la réactualisation de l'étude hydrologique pour ^{le} projet de barrage de Rocher des Pigeons sur l'oued EL HARRACH.

Une première étude hydrologique avait été réalisée en 1970 par R. LICITRI qui, ne disposant à l'époque d'aucune mesure directe des débits de l'oued HARRACH, avait dû procéder entièrement par analogie avec des bassins voisins (cf. Bibliographie Ref. 1).

Afin de préciser ces premières estimations, une station hydrométrique a été installée par la D.E.M.R.H. à la fin de 1969. On dispose actuellement d'une série continue de 4 années de mesures dont il s'agissait d'exploiter les résultats pour répondre aux trois problèmes hydrologiques essentiels que pose l'aménagement du Rocher des Pigeons :

- l'estimation des débits maximaux de crue (crue de chantier, crue de projet) pour le calibrage des évacuateurs
- l'estimation des apports liquides et leur variabilité interannuelle pour le calcul du volume régularisable
- l'estimation des apports solides pour le calcul des prévisions d'envasement de la retenue.

Dans cette note, nous rendons compte des méthodes utilisées et des résultats acquis au cours de cette étude réalisée par la Division Hydrologie de DAFECO (Electricité de FRANCE) dans les bureaux et avec la collaboration du Service Hydrologique de la D.E.M.R.H. qui a recueilli et mis en forme les données de base et largement participé à leur interprétation.

I. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU BASSIN

I.1. SITUATION :

Il s'agit du haut bassin de l'oued HARRACH fleuve côtier de l'Algérois situé au Sud d'Alger dans la partie centrale de l'atlas blidéen. Son exutoire à Rocher des Pigeons a les coordonnées géographiques suivantes :

Longitude : 3° 3' 26" E

Latitude : 36° 29' 32" N

Ce bassin est largement exposé aux perturbations Nord - Nord-Ouest en provenance de la Méditerranée pour lesquelles il constitue le véritable premier obstacle vers l'intérieur.

I.2. CARACTERISTIQUES GEOMORPHOLOGIQUES :

Superficie du bassin versant	:	387 km ²
Périmètre	:	75 km
Indice de compacité	:	1.06 km ²
Longueur du rectangle équivalent	:	19.7 km
Longueur du thalweg principal	:	35 km
Altitude minimale	:	146 m
Altitude maximale	:	1629 m
Altitude moyenne	:	830 m
Indice de pente de ROCHE	:	0.238
Coefficient de torrentialité	:	69.2
Densité de drainage	:	5.2 km/km ²

Le bassin du HARRACH donne une impression de grande homogénéité d'ensemble avec de fortes pentes latérales (surtout dans la partie basse du bassin) donnant des vallées encaissées.

Le réseau hydrologique est dense et constitué de 2 sous-ensembles drainant des bassins de superficies inégales (environ 1/3 pour l'affluent Sud-Ouest et 2/3 de la superficie totale pour l'affluent Sud-Est).

L'affluent Sud-Ouest draine la zone la plus perméable constituée en partie par "les schistes de la CHIFFA" qui ne représentent qu'environ 10 % du bassin total mais qui jouent un rôle non négligeable dans le soutien des étiages (résultat confirmé par des jauges simultanées effectués en Juillet 1974 sur les deux bras du HARRACH).

Le reste du bassin est surtout constitué par du flysch indifférencié (crétacé marneux) imperméable avec une altération assez poussée et montrant en surface des décollements, des griffes et des glissements en nappes (en particulier dans la zone de la future retenue). La végétation semble très homogène avec absence pratiquement totale de cultures, peu de bois et forêts et essentiellement un maquis peu dense.

II. DONNEES DISPONIBLES

II.1. INFORMATION PLUVIOMETRIQUE :

1.1 - Le réseau pluviométrique.

Sur la carte de situation (figure 1) nous avons indiqué la position des postes pluviométriques dont l'information était susceptible d'intéresser le bassin du HARRACH.

Ce bassin est situé en plein coeur de l'Atlas blidéen au Sud d'Alger dans une région assez difficile d'accès et pratiquement inhabitée, ce qui explique l'absence quasi totale de pluviomètres implantés à l'intérieur de ses limites.

Seul le poste de YEMMA HALIMA installé en 1970 sur le haut du bassin aurait pu fournir une information de première importance mais malheureusement il n'a fonctionné que de façon douteuse et très épisodique jusqu'en 1973.

De même le poste de CHREA, pourvu de séries anciennes aurait été d'un grand intérêt en raison de sa situation en altitude, s'il n'avait cessé de fonctionner en 1962.

Les autres postes sont, soit à proximité du bassin mais soumis à une pluviométrie très différente comme SOUMA, BOUINAN, ARBA, BLIDA situés à basse altitude dans la plaine de la MITIDJA ou comme EL OMARIA, AIN OUZERA très abrités au Sud du bassin, soit en zone montagneuse mais assez éloignés comme SAKAMODY ou DEUX BASSINS.

Nous avons dû cependant nous contenter des données recueillies à ces postes, ce qui compte tenu du relief très accentué du bassin, n'a permis qu'une estimation très grossière des lames d'eau moyennes précipitées sur le bassin.

Cette insuffisance du réseau pluviométrique s'est révélée particulièrement facheuse dans l'étude des relations pluie-débit à l'échelle de la crue.

1.2 - Qualité des données.

Nous avons constaté que dans l'ensemble les données pluviométriques sont d'assez mauvaise qualité, ce qui nous a contraint à rejeter certaines informations douteuses pour lesquelles nous n'avons pu effectuer de vérifications (en raison par exemple de l'impossibilité d'accéder aux originaux).

La plupart des données utilisées (séries longues de pluies journalières) proviennent de copies d'originaux et plus rarement des tableaux publiés dans le rapport sur la "Statistique des pluies de 24 heures en Algérie".

Ces données de base existent également sous forme de cartes perforées mais ne sont pas directement disponibles avant la mise au point des programmes de tri de mise sur bandes et surtout de vérification actuellement en cours au S.E.H. Les premiers listings non corrigés se sont révélés inutilisables.

Les délais fixés pour cette étude ne permettaient pas d'entreprendre l'homogénéisation des données pluviométriques à l'échelle régionale, mais nous avons cependant effectué un contrôle de l'homogénéité des séries utilisées sur quelques postes ayant fonctionné sur une longue période. Ce travail a été fait sur ordinateur par la méthode des simples et doubles masses pour les stations de BLIDA, SOUMAA, L'ARBA, HAMIZ barrage et TABLAT.

Les résultats obtenus font apparaître pour plusieurs de ces stations de très nettes discordances qui correspondent probablement à des erreurs systématiques dans la mesure où à des modifications de l'emplacement du pluviomètre ou de son environnement que seule une enquête à partir des relevés originaux permettrait de préciser.

Pour notre étude, nous avons également disposé des enregistrements effectués sur 2 pluviographes ayant fonctionné pendant la période d'observation des débits. Il s'agit de SAKAMODY situé à la limite des bassins du HAMIZ et du DJEMMA et AIN OUZERA situé au Sud du bassin du HARRACH.

Les données récentes de SAKAMODY sont douteuses avec des écarts considérables entre les résultats du pluviographe et ceux du pluviomètre situé à moins de 10 mètres.

Quant à AIN OUZERA, il est également très douteux et n'a bien fonctionné que de façon épisodique.

II.2. INFORMATION HYDROMETRIQUE :

2.1 - Bassin d'EL HARRACH à Rocher des Pigeons.

La station est équipée d'un limnigraphe qui a fourni des enregistrements de très bonne qualité contrôlés par des lectures d'échelle très fréquentes.

Sur 180 jaugeages effectués entre Septembre 1969 et Juin 1974, seuls 10 dépassent la cote 100 cm avec un maximum jaugé de 150 cm alors que les plus hautes eaux atteignent la cote 500 cm. La courbe de tarage montre une forte dispersion en moyennes eaux et une extrapolation jusqu'à 5 m. On a cependant des mesures de vitesses (moulinet et flotteurs) effectuées durant les fortes crues des 29 et 30 Mars 1974. L'étalonnage aboutit aux résultats suivants :

H m	Q m ³ /s
1	35
1,5	105
2	182
3	365
4	575
5	800

Débits relatifs à l'échelle installée le 11 Juillet 1971 et située en rive droite à environ 25 m du seuil déversant.

2.2 - Bassin du HARRACH à BARAKI.

Cette station a été installée en 1971 à environ 25 km à l'aval de Rocher des Pigeons. Elle contrôle un bassin de 970 km² constitué par le HARRACH proprement dit grossi du DJEMMA. Les enregistrements limnigraphiques sont de bonne qualité et l'étalonnage n'a posé aucun problème jusqu'à la cote 3,25 m. La courbe de tarage est extrapolée de 3,25 à 7 m avec des mesures de vitesse à la cote 6 m.

2.3 - Bassin du MAZAFRAN à Fer à cheval.

Cette station fonctionne depuis 1945 avec des lacunes de 1956 à 1960 et de 1962 à 1969. Pour les données antérieures à 1956 on ne connaît pas l'origine des étalonnages (données non encore revalorisées). Depuis 1960, de nombreux jaugeages ont permis un étalonnage correct malgré de fréquentes variations du fond entraînant une assez grande instabilité des relations hauteur - débit.

2.4 - Bassin de l'ARBATACH au barrage du HAMIZ.

Le contrôle des apports dans la retenue est effectué à partir des variations de stock et des débits turbinés et évacués.

On dispose d'une série continue d'apports depuis 1912 avec cependant des lacunes entre 1940 et 1946, en 1962 et en 1970.

Le contrôle des fiches hebdomadaires de relevés a fait apparaître de nombreuses erreurs dans les calculs. De toute façon, il faut tenir compte d'une grande imprécision sur les résultats obtenus à une échelle de temps inférieure au mois liée essentiellement au procédé de calcul. En outre, il serait nécessaire de vérifier l'éta-lonnage des vannes et déversoirs et d'assurer la remise à jour plus fréquente des courbes capacité - hauteur.

Nous avons cependant considéré que l'estimation globale des apports annuels est acceptable et qu'elle a le grand mérite de fournir une série continue très homogène et de longue durée (54ans). Par contre les apports mensuels sont estimés de façon beaucoup moins satisfaisantes et plus particulièrement en période sèche (Juillet - Aout - Septembre) où le bilan calculé conduit souvent à un apport négatif qui est alors pris égal à zéro.

II.3. INFORMATION RELATIVE AUX TRANSPORTS SOLIDES :

Depuis l'installation de la station de Rocher des Pigeons, on effectue régulièrement des prélèvements pour le calcul des apports solides en suspension. Il s'agit d'échantillons de 500 cm³ prélevés en rive droite de l'oued et en surface.

La fréquence normale des prélèvements est d'une mesure par jour et peut atteindre une moyenne de 10 en période de crue. La concentration en matière solide est déterminée par pesée après filtration et passage à l'étuve.

Nous avons admis qu'en raison du très fort barrage, les prélèvements en rive droite sont représentatifs de la concentration moyenne en suspension dans toute la section de l'oued. Pour le tracé des turbidigrammes, on a été amené à supprimer quelques valeurs aberrantes.

III. ETUDE DES CRUES

En raison de la très courte période d'observation, nous avons tout d'abord cherché à estimer correctement la crue de fréquence decennale en opérant par deux approches différentes et en confrontant les résultats. Ensuite nous sommes passés à l'estimation des crues de fréquences plus rares en appliquant la méthode du gradex.

Pour l'estimation de la crue decennale, nous avons employé 2 méthodes :

- la méthode analytique basée sur l'étude des hydrogrammes de crue et la recherche d'un opérateur pluie - débit utilisé ensuite pour transformer la pluie de fréquence decennale en débit de crue.
- la méthode statistique basée sur la recherche directe de la loi de distribution des débits de crue.

III.1. ESTIMATION DE LA CRUE DECENNALE PAR LA METHODE ANALYTIQUE :

L'analyse des hydrogrammes de ruissellement a porté sur l'ensemble des crues observées entre le 1er Mars 1970 et le 30 Juin 1974 à la station de Rocher des Pigeons. Pour cette période, nous n'avons retenu que les 40 crues observées dont le débit de pointe a été supérieur ou égal à 20 m³/s.

1.1 - Forme des hydrogrammes de ruissellement.

Séparation des phases de l'écoulement. Dans la plupart des cas la mise en évidence ~~sur l'hydrogramme~~ du point "début de crue" ne pose aucun problème, la courbe de montée croit en effet généralement très rapidement. Cependant sur certains hydrogrammes, on observe une montée parasite avant le début de la crue proprement dite (ruissellement immédiat à proximité de la station ou averse préliminaire). Dans ce cas, le point "début de crue" est déterminé par l'intersection du prolongement de la courbe de montée principale (quasi linéaire) et du prolongement de la courbe de décroissance du débit de base précédant la crue.

La recherche du point "fin de ruissellement" est effectuée à partir du tracé de la courbe de décrue sur papier semi-logarithmique. Ce tracé met en évidence assez nettement une décrue franche après le maximum de la crue, suivie généralement de deux droites. Cette deuxième droite correspond à la décrue exponentielle du débit de base et sa pente varie peu d'un hydrogramme à l'autre. Son intersection avec la courbe de décrue ou avec la première droite quand celle-ci existe (et qui correspond probablement à un ruissellement retardé) détermine le point "fin de ruissellement".

La séparation entre écoulement ruisselé et écoulement de base se fait ensuite en joignant le point "début de crue" au point "fin de ruissellement" sur l'hydrogramme tracé en coordonnées arithmétiques.

On détermine alors pour chaque hydrogramme de crue ainsi décomposé le volume ruisselé V_r (obtenu par planimétra-ge) et les principales caractéristiques qui sont rassemblées dans le tableau 1 :

Q_{max}	débit maximal écoulé
Q_o	débit initial de base
$Q_r M$	débit maximal ruisselé
$Q_r m$	débit moyen ruisselé
$\alpha = \frac{Q_r M}{Q_r m}$	
T_m	temps de montée
T_b	temps de base
V_r	volume ruisselé

1.2 - Hydrogramme standart.

Nous avons déterminé un hydrogramme standart de ruissellement qui schématise l'opérateur pluie - débit. La courbe de montée est assimilée à une droite et la courbe de décrue à une exponentielle. La forme est précisée par les paramètres suivants :

(figure 2)

- le temps de base T_b = durée totale du ruissellement
- le temps de montée T_m = intervalle de temps séparant le débit du ruissellement du débit maximal
- le rapport $\alpha = \frac{Q_M}{Q_m}$ du débit maximal Q_M au débit moyen Q_m de l'hydrogramme
- le coefficient k de la courbe de décrue exponentielle à partir du débit maximal.

Ces paramètres sont obtenus à partir de l'analyse des seules crues simples dont on trouvera les caractéristiques dans le tableau 2.

Tableau 1 : Caractéristiques des crues de l'oued EL HARRACH à
Rocher des Pigeons (1/3/70 au 30/6/74).

N°	date du maximum	Q max (m3/s)	Q _o (m3/s)	Q _r max (m3/s)	Q _r moy (m3/s)	$\alpha = \frac{Q_r \text{ max}}{Q_r \text{ moy}}$	T _m (heures)	T _b (heures)	Volume ruisselé 10 ³ m ³	V _r mm	Nature* de la crue
1	21-4-70	90.0	1.64	86.1	26.0	3.3	-	36.5	3420	8.8	C
2	22-4-70	253.	11.1	240	61.5	3.9	9.5	49.5	10958	28.3	S
3	18-5-70	34.4	4.09	29.5	8.88	3.4	3.0	6.0	192	0.5	S
4	15-12-70	57.8	3.38	54.4	22.0	2.2	-	24.0	1898	4.9	C
5	1-1-71	42.2	1.30	40.0	10.2	3.9	4.0	30.5	1119	2.9	(S)
6	4-1-71	39.6	2.92	33.7	11.4	3.0	20.0	41.5	1706	4.4	(S)
7	6-1-71	47.3	8.75	37.4	17.7	2.1	-	38.5	2447	6.3	C
8	15-1-71	29.4	2.40	25.2	7.70	3.3	7.0	23.5	652	1.7	(S)
9	19-1-71	37.0	4.50	27.4	9.26	2.9	-	33.5	1117	2.9	C
10	20-1-71	21.2	10.0	10.4	4.67	2.2	3.5	8.5	143	0.4	S
11	21-1-71	23.1	9.20	-	-	3.8	3.0	10.0	161	0.4	(S)
12	8-3-71	47.3	2.54	44.5	12.8	3.5	3.0	29.0	1332	3.4	S
13	1-4-71	189.	5.48	171.	50.7	3.4	16.0	33.5	6120	15.8	(S)
14	9-4-71	37.0	9.20	27.8	9.75	2.8	4.0	10.0	351	0.9	S
15	27-11-71	824.	0.502	800	25.1	3.2	-	48.0	43500	112.4	C
16	8-12-71	182.	8.32	168	49.5	3.4	5.5	24.5	4363	11.3	S
17	10-12-71	71.7	22.7	48.9	11.9	4.1	-	45.0	1922	5.0	C
18	18-1-72	411.	12.4	392	134	2.9	-	43.0	20779	53.7	C
19	23-1-72	403	38.4	350	136.6	2.6	-	38.0	18662	48.2	C
20	10-2-72	63.3	15.5	47.5	12.6	3.7	-	71.0	3214	8.3	C
21	21-2-72	27.5	13.5	13.7	6.62	2.1	2.0	13.0	310	0.8	S
22	25-2-72	198	11.0	180	64.5	2.8	-	26.0	6034	15.6	C
23	24-3-72	43.8	11.0	32.5	15.1	2.1	-	26.0	1414	3.7	C
24	10-4-72	89.0	6.65	81.4	27.6	3.0	3.5	16.0	1590	4.1	S
25	12-4-72	76.0	8.13	65.4	25.9	2.5	4.0	11.0	1071	2.8	S
26	26-9-72	250.	0.607	249.	24.9	10.0	-	57.0	5119	18.2	C
27	31-12-72	324.	3.91	314.	99.0	3.2	-	80.0	28598	73.9	C
28	24-1-73	77.4	8.58	67.8	18.0	3.8	3.0	25.0	1881	4.9	S
29	2-2-73	89.0	10.1	69.0	23.0	3.0	4.0	13.0	1656	4.3	(S)
30	4-2-73	403.	22.3	359	97.3	3.6	-	63.5	22248	57.5	C
31	12-3-73	29.0	8.28	16.7	9.09	1.8	-	27.0	884	2.3	C
32	24-3-73	229.	7.60	216.	52.0	4.1	4.0	62.0	11613	30.0	C
33	23-4-73	153.	4.80	145.	47.6	3.0	-	25.0	4284	11.1	C
34	25-9-73	68.9	0.580	67.6	8.12	8.1	-	57.0	1668	4.3	C
35	5-12-73	71.7	4.40	66.9	24.8	2.7	5.0	28.0	2497	6.5	S
36	31-12-73	38.7	1.21	35.9	13.2	2.7	-	43.0	2048	5.3	C
37	22-2-74	30.9	3.84	25.3	7.23	3.4	-	80.0	2081	5.4	C
38	14-3-74	156.	2.95	150	31.6	4.7	3.5	22.0	3982	10.3	(S)
39	30-3-74	819	3.48	809	248.	3.2	-	120.0	107338	277.3	C
40	30-4-74	136.	6.60	129	27.9	4.6	3.0	19.0	1908	4.9	S

* C : crue complexe

S : crue simple

Tableau 2. Caractéristiques des crues simples
observées sur l'oued EL HARRACH
à Rocher des Pigeons
(période du 1/3/70 au 30/6/74)

N°	date du maximum	T m (heures)	T b (heures)	$T m / T b$	$\alpha = \frac{Q_r \text{ max}}{Q_r \text{ moy}}$
2	22-4-70	9.5	49.5	0.19	3.9
3	18-5-70	30	6.0	0.50	3.4
10	20-1-71	3.5	8.5	0.41	2.2
12	8-3-71	3.0	29.0	0.10	3.5
14	9-4-71	4.0	10.0	0.40	2.8
16	8-12-71	5.5	24.5	0.22	3.4
21	21-2-72	2.0	13.0	0.15	2.1
24	10-4-72	3.5	16.0	0.22	3.0
25	12-4-72	4.0	11.0	0.36	2.5
28	24-1-73	3.0	25.0	0.12	3.8
35	5-12-73	5.0	28.0	0.18	2.7
40	30-4-74	3.0	19.0	0.16	4.6
moyenne		4.1	19.9	0.25	3.1

T m : Temps de montée

T b : Temps de base

Compte tenu des résultats obtenus sur les 12 crues simples observées nous adopterons les valeurs suivantes :

$$\text{Temps de base : } T_b = 20 \text{ Heures}$$

$$\text{Temps de montée: } T_m = 4 \text{ Heures}$$

$$\alpha = \frac{Q_r M}{Q_{r m}} = 3$$

Si nous admettons une décrue de forme décroissante $q(t)$ à allure exponentielle, nous pouvons déterminer k de la façon suivante :

$$\text{on doit avoir : } q = Q_r M e^{-kt}$$

$$\text{et } V_r = Q_{r m} T_b$$

$$\text{soit : } V_r = Q_{r m} T_b = \frac{1}{2} T_m Q_r M + \int_0^A q dt = Q_r M \frac{T_m}{2} + \frac{1}{k} \frac{A}{e^{kA} - 1}$$

$$\text{avec } A = T_b - T_m \quad \text{et} \quad \alpha = \frac{Q_r M}{Q_{r m}}$$

$$\text{d'où } \frac{1}{k} = \frac{A}{e^{kA} - 1} + \frac{T_b}{\alpha} - \frac{T_m}{2}$$

La résolution de cette équation implicite avec les valeurs adoptées pour T_b , T_m et α conduit à

$$k = 0,178$$

1.3 - Relations Pluie - débit.

Malgré l'insuffisance de l'information pluviométrique relative aux crues observées, nous avons essayé d'estimer grossièrement la lame d'eau moyenne précipitée afférente à chaque crue. Cela nous a permis de calculer un coefficient de ruissellement C_r exprimé en % qui est le rapport de la lame d'eau ruisselée à la lame d'eau précipitée sur le bassin.

Les résultats obtenus figurent dans le tableau 3 dans lequel nous avons classé les crues par ordre de volume ruisselé décroissant en nous limitant aux valeurs supérieures à 3 mm. Compte tenu de la très grande imprécision de l'estimation des lames d'eau précipitées, les coefficients de ruissellement ne sont donnés qu'à titre indicatif pour fixer un ordre de grandeur.

On constate que ces coefficients sont assez élevés ce qui tendrait à confirmer la relative imperméabilité d'ensemble du bassin.

Comme on pouvait s'y attendre, le coefficient de ruissellement dépend à la fois de la quantité d'eau précipitée et de l'état de saturation du bassin qui peut être caractérisé en première approximation par le débit de base au début de la crue.

Ainsi on voit très nettement que C_r est particulièrement faible lorsque la crue est la première de l'année hydrologique et que le déficit de saturation des sols est maximum.

Tableau n°3

Volumes des crues principales et coefficient de ruissellement

Rang	Date du maximum	Volume ruisselé		Précipitation à Rocher des Pigeons mm	Lame d'eau moyenne précipitée estimée mm		Coefficient de ruissellement		Débit initial de base l/s/km ²
		en 10 ³ m ³	en mm		%	%			
1	30-3-74	107338	277	243,6	400	69		899	
2	27-11-71	43430	112	253,5	270	41 *		1,30	
3	31-12-72	28598	74	147,5	155	48		10,1	
4	4-2-73	22248	58	157,2	150	39		57,6	
5	18-1-72	20779	54	67,8	100	54		320	
6	23-1-72	18662	48	46,9	—	—		—	
7	24-3-73	11613	30	92,3	100	30		19,6	
8	22-4-70	10958	28	49,1	65	40		28,7	
9	1-4-71	6120	16	37,4	50	32		14,2	
10	25-2-72	6034	16	47,6	45	36		28,4	
11	26-9-72	5119	13	90,9	85	15 *		1,57	
12	8-12-71	4363	11	29,2	40	28		21,5	
13	23-4-73	4284	11	57,7	75	15		12,7	
14	14-3-74	3982	10	47,3	50	20		7,62	
15	21-4-70	3420	9	41,3	65	13		4,23	
16	10-2-72	3214	8	28,6	35	23		58,7	
17	5-12-73	2497	7	14,9	30	22		11,4	
18	6-1-71	2447	6	7,1	—	—		—	
19	22-2-74	2081	5	—	—	—		—	
20	31-12-73	2048	5	56,1	55	9		3,13	
21	10-12-71	1922	5	18,8	25	20		58,7	
22	30-4-74	1908	5	32,6	40	13		17,1	
23	15-12-70	1898	5	68,3	60	8 *		8,73	
24	24-1-73	1881	5	11,8	30	17		2,22	
25	4-1-71	1706	4	15,4	—	—		—	
26	25-9-73	1668	4	114,2	120	3 *		1,50	
27	2-2-73	1656	4	46,5	55	7		26,1	
28	10-4-72	1590	4	—	—	—		—	
29	24-3-72	1414	4	22,2	28	12		28,4	
30	8-3-71	1332	3	40,0	25	12		6,56	
31	1-1-71	1119	3	63,9	60	5		3,36	
32	19-1-71	1117	3	26,0	30	10		11,6	
33	12-4-72	1071	3	—	—	—		—	

* Première crue de l'année Hydrologique

1.4 - Estimation du débit maximal ruisselé decennal.

Nous savons que la pluie la plus néfaste est celle dont la durée est égale au temps de concentration du bassin qui est défini de façon théorique comme le temps que met l'eau tombée au point hydrauliquement le plus éloigné pour parvenir à l'exutoire.

Nous avons donc déterminé la lame d'eau moyenne de fréquence decennale et de durée égale au temps de concentration à laquelle on appliquera l'opérateur de transformation pluie - débit défini par l'hydrogramme standard.

De façon pratique, le temps de concentration T_C peut être estimé sur les enregistrements comme l'intervalle de temps entre la fin de l'averse donnant effectivement du ruissellement et la fin de ce ruissellement observé à l'exutoire.

- Nous avons tenté d'estimer T_c à partir de quelques pluviogrammes disponibles sur des postes voisins du bassin (SAKAMODY, AIN OU-ZERA). On a trouvé une valeur de 8 à 10 heures. Nous avons également utilisé la formule de GIANDOTTI

$$T_c = \frac{4 \sqrt{S} + 1,5 L}{0,8 \sqrt{h}}$$

(S : surface du bassin versant en km², L : longueur du thalweg principal en km, h : hauteur moyenne du bassin en m).

Pour le HARRACH à Rocher des Pigeons, on obtient $T_c = 5 \text{ h } 40 \text{ mn}$. Nous avons adopté un temps de concentration de 6 heures.

- Pour estimer la lame d'eau précipitée decennale, nous avons tout d'abord effectué l'étude de la distribution statistique des pluies ponctuelles sur tous les postes pourvus de séries longues. Ne pouvant disposer directement des données journalières mises sur cartes perforées, nous n'avons pu entreprendre que l'analyse des pluies maximales annuelles.

Nous avons fait un essai systématique d'ajustement de 6 lois de distribution par la méthode du maximum de vraisemblance :

- loi normale
- loi log normale (GALTON)
- loi de GUMBEL
- loi de GOODRICH
- loi GAMMA incomplète (PEARSON III)
- loi de FRECHET

Il s'avère que 3 de ces lois donnent un ajustement satisfaisant, il s'agit de la loi de GUMBEL, de la loi de GOODRICH et de la loi GAMMA incomplète. Cette dernière semble être le modèle le plus adéquate pour les stations de la région étudiée.

En fait, on ne constate pas d'écarts très significatifs entre les résultats obtenus à partir de ces 3 lois pour la pluie de fréquence décennale, ce qui permet en particulier de justifier l'emploi commode de la loi de GUMBEL avec ajustement graphique.

Le tableau 4 résume les résultats de ces ajustements qui nous conduisent à adopter une lame moyenne journalière précipitée decennale de 130 mm.

Pour passer de la pluie journalière (c'est-à-dire correspondant à la journée météorologique de 8 heures le jour J - 1 à 8 heures le jour J) à la pluie de 24 heures nous avons pris un coefficient multiplicateur de 1.15 généralement admis pour l'Algérie (résultat d'études antérieures).

Enfin pour passer de la pluie de 24 heures à la pluie de 6 heures correspondant au temps de concentration, nous avons utilisé les résultats de l'étude des intensités - durée - fréquence (Bibliographie Ref. 2) effectuée sur un certain nombre de postes algériens, ce qui nous donne un rapport $\frac{H_{6H}}{H_{24H}} = 0,69$.

Tableau n° 4

Distribution des pluies maximales journalieres (en mm)

STATION	Taille de l'échantillons (annees)	FREQUENCE	GUMBEL	GOODRICH	PEARSON III
BLIDA	39	0,10	129,1	140,1	135,3
		0,010	193,0	228,4	209,2
		0,001	255,8	312,3	278,9
SOUMA	34	0,10	96,6	95,6	95,0
		0,010	137,4	124,6	127,1
		0,001	177,5	147,1	154,8
TABLAT	33	0,10	116,4	125,3	126,7
		0,01	178,9	203,0	214,1
		0,001	240,2	274,2	299,5
HAMIZ barrage	58	0,10	104,3	106,1	105,1
		0,01	152,1	145,4	148,8
		0,001	199,1	176,8	187,8
L'ARBA	41	0,10	95,0	96,8	97,9
		0,01	139,0	136,2	145,9
		0,001	182,1	168,9	190,8
EL.OMARIA	16	0,10	76,2	82,2	82,5
		0,01	116,6	114,5	140,3
		0,001	156,3	138,9	197,5
CHREA	23	0,10	138,2	144,6	145,6
		0,01	225,2	215,6	245,5
		0,001	310,6	271,7	340,2
MOUZAIA	18	0,10	133,8	136,0	137,1
		0,01	198,4	182,9	204,5
		0,001	261,8	218,6	266,9
HAKOU FERAOUNE	33	0,10	142,4	151,8	152,3
		0,01	213,6	212,7	244,2
		0,001	283,4	260,5	332,7

La lame d'eau moyenne précipitée de durée 6 heures et de fréquence decennale est donc :

$$H_{10} = 130 \times 1.15 \times 0.69 = 103 \text{ mm}$$

Pour calculer le volume ruisselé V_r correspondant, nous avons fait 3 hypothèses sur la valeur du coefficient de ruissellement decennal C_r (50, 55 et 60 %).

Les résultats sont les suivants :

C_r %	V_r mm	débit moyen Q_m (m ³ /s)	débit maximal Q_{max} (m ³ /s)
50	51.5	277	831
55	56.7	304	912
60	61.8	332	996

Nous adopterons comme résultat de la méthode analytique :

$$Q_{max.10} = 915 \text{ m}^3/\text{s} \pm 9 \%$$

III. 2. ESTIMATION DE LA CRUE DECENNALE PAR L'ANALYSE STATISTIQUE :

2.1 - Analyse statistique des débits de crue.

Cette analyse a porté sur les 37 crues considérées comme indépendantes observées au cours des 4 années hydrologiques complets et dont les débits maximaux x_i sont supérieurs ou égaux à 20 m³/s (seuil de troncature) - soit $n = 37$ le nombre de crues retenues.

La série ainsi constituée appartient à l'échantillon des événements "crues indépendantes" qui se sont produit au cours de ces 4 années mais dont on ne connaît pas la taille.

Soit N' , le nombre total $\geq n$, d'évènements que l'on aurait dû observer, on peut ranger les valeurs observées par ordre décroissant et associer à l'observation de rang R_i la probabilité au dépassement:

$$F_{1i} = \frac{R_i - 0.5}{N'}$$

Cette probabilité est donc une probabilité conditionnelle liée à la taille inconnue de l'échantillon et non une probabilité temporelle absolue.

Il s'agit donc d'adopter un modèle théorique de distribution statistique, et de déterminer les valeurs des paramètres de la loi et le nombre théorique d'évènements N' que l'on aurait du observer donnant la meilleure adéquation.

Nous avons choisi à priori 2 lois de distribution :

- la distribution exponentielle généralisée avec paramètre de forme et paramètre d'échelle positif (loi de GOODRICH) dont la fonction de densité s'écrit :

$$f(x) = \frac{1}{s\sigma} u^{1/\sigma} \exp(-u^{1/\sigma}).$$

$$\text{avec } u = \frac{x - x_0}{s}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x_0 : \text{paramètre de position (borne} \\ \text{inférieure de la variable} \\ s : \text{paramètre d'échelle } > 0 \\ \sigma : \text{paramètre de forme } > 0 \end{array} \right.$$

- la distribution gaussio-logarithmique (loi de GALTON) dont la fonction de densité s'écrit :

$$f(x) = \frac{1}{s \sigma \sqrt{2\pi}} \frac{1}{u} \exp \left\{ - \frac{(\text{Log } u)^2}{2 \sigma^2} \right\}$$

$$\text{avec } u = \frac{x - x_0}{s} \left\{ \begin{array}{l} x_0 : \text{paramètre de position} \\ \quad \text{(borne inférieure de la} \\ \quad \text{variable)} \\ s : \text{paramètre d'échelle } > 0 \\ \sigma : \text{paramètre de forme } > 0 \end{array} \right.$$

L'ajustement de ces lois à l'échantillon observé a été effectué par la méthode du maximum de vraisemblance à l'aide d'un ordinateur. On a admis que le débit de base est négligeable par rapport aux débits maximaux de crue, ce qui revient à prendre pour valeur du paramètre de position $x_0 = 0 \text{ m}^3/\text{s}$.

Les sous programmes PEXGEV (loi de GOODRICH) et PLOGNV (loi de GALTON) déterminent les valeurs des paramètres s et σ ainsi que le nombre total N' d'évènements que l'on aurait du observer en procédant par itérations successives.

Si n est le nombre de débits $x_i \geq x_h$ (x_h étant le seuil de troncature) observés en NA années complètes on a :

$$N' = n / (1 - F(x_h))$$

La fréquence P au dépassement en T années est donc donnée par :

$$F(x) = 1 - \frac{NA}{N'T} = 1 - P(x)$$

Les résultats obtenus à partir des 2 modèles choisis sont les suivants :

Paramètres ajustés	Loi de GOODRICH	Loi GAUSSO-LOG
forme	1.922	1.350
échelle	46.352	53.084
position	0.0	0.0
nombre théorique d'é- venements en 4 ans.	70.6	48.4

Pour comparer l'ajustement obtenu à partir des deux lois, nous avons reporté sur le même graphique (figure 3) les courbes ajustées (les fréquences étant ramenés à un échantillon théorique de 70.6 événements en 4 ans). Nous avons également fait figurer sur ce graphique les débits et fréquences observés.

Nous considérons que l'ajustement à une loi de GOODRICH est le plus satisfaisant ce qui nous conduit à adopter les résultats suivants :

Fréquence	Probabilité d'occurrence	Débit maximal m ³ /s
0.500	1 fois en 2 ans	533
0.200	1 fois en 5 ans	827
0.100	1 fois en 10 ans	1090
0.020	1 fois en 50 ans	1836
0.010	1 fois en 100 ans	2213

Etant donné la très courte période d'observation (4 ans), il convient de considérer ces résultats avec beaucoup de prudence et en particulier de n'attacher aux résultats correspondant à des fréquences inférieures à 0.10 qu'une valeur tout à fait indicative. Ceci est d'autant plus vrai que l'on sait, par ailleurs que la crue du 27 Novembre 1971 et surtout celle du 30 Mars 1974 sont des événements considérés comme exceptionnels dans cette région de l'Algérie.

Pour estimer l'intervalle de confiance pour un seuil de probabilité donné, nous avons procédé de la façon suivante :

A partir de la loi ajustée définie par ses paramètres et le nombre N' d'événements que l'on aurait dû observer ($N' = 71$ dans le cas de la loi de GOODRICH ajustée à nos observations), nous avons constitué 50 échantillons obtenus par une méthode de MONTE-CARLO - Chaque échantillon est réalisé en tirant au hasard un nombre N' de fréquences au dépassement (chiffre compris entre 0 et 1) et en calculant les valeurs des variables correspondant à ces fréquences et en ne conservant ensuite que les valeurs supérieures ou égales au seuil de troncature (20 m³/s dans notre cas).

A partir de chaque échantillon i ainsi constitué on ajuste une loi de GOODRICH et on calcule pour des fréquences données f les débits Q_{if} correspondant.

Les 50 débits correspondant à la fréquence f et provenant des 50 échantillons sont rangés par ordre décroissant, ce qui permet d'estimer les valeurs centrales (moyenne et médiane) et les valeurs extrêmes pour un seuil de probabilité donné.

Ainsi pour un seuil de confiance à 80 % et pour les fréquences 0.1, 0.01 et 0.001, nous trouvons les résultats suivants.

Fréquence f	Débits en m ³ /s.			
	moyenne	médiane	minimum	maximum
0.10	1125	975	575	1810
0.01	2485	1934	1016	4846
0.001	4539	3265	1564	9706

On voit donc que la "fourchette" est très grande et que l'intervalle de variation croît très rapidement quand la fréquence diminue.

Nous savons en effet que pour des fréquences f rares et pour un échantillon de grande taille, la loi de distribution des valeurs Q_{if} tend vers une distribution de GUMBEL.

Nous adopterons comme résultat de l'étude statistique :

$$Q_{\max 10} = 1100 \text{ m}^3/\text{s}$$

2.2 - Analyse statistique des volumes de crue.

Pour compléter l'étude des crues, nous avons analysé la distribution statistique des volumes ruisselés à partir de l'échantillon des 37 crues observées au cours des 4 années hydrologiques complètes (tableau 3).

La méthode utilisée est la même que pour les débits maximaux. Elle conduit aux résultats suivants : (les volumes étant exprimés en mm de hauteur d'eau sur le bassin).

Paramètres ajustés	Loi de Goodrich	Loi Gausso-Log
forme	2.10	1.593
echelle	7.416	5.876
position	0.0	0.0
nombre théorique d'événements en 4 ans.	47.46	38.78

Volumes de fréquences données :

Fréquences	Loi de GOODRICH		Loi GAUSSO-LOG	
	Vr en mm	Vr en 10 ³ m3	Vr en mm	Vr en 10 ³ m3
0.500	83.4	32276	78.8	30496
0.200	142.3	55070	151.8	58747
0.100	197.8	76549	234.8	90868
0.020	363.9	140829	567.2	219506
0.010	451.8	174846	795.9	308013

Il est intéressant de constater que la crue du 30 Mars 1974 a un débit de pointe dont la fréquence calculée est de 0.26 (durée de retour 4 ans) tandis qu'en volume elle correspond à une fréquence de 0.043 (durée de retour 23 ans) pour la loi de GOODRICH et de 0.076 (durée de retour 13 ans) pour la loi GAUSSO-LOG.

III. 3. ESTIMATION DES CRUES DE CHANTIER ET DE PROJET :

A partir du débit maximal de fréquence decennale, nous sommes passés aux débits de fréquences plus rares en utilisant la méthode du GRADEX, ce qui revient à admettre que la loi des pluies pouvant être assimilée à une loi de GUMBEL (ou à une loi exponentielle du type GOODRICH), à partir de la fréquence decennale, les lois de la pluie et du débit (exprimées dans la même unité) sont parallèles.

Le gradex a été calculé sur toutes les stations pluviométriques qui avaient fait l'objet d'une étude de distribution statistique en admettant la bonne adéquation de la loi de GUMBEL. On obtient les résultats donnés dans le tableau 5.

Tableau 5.

STATIONS	Altitudes (m)	Gradex (mm)
TABLAT	450	27
BLIDA	270	27
SOUMA	190	17
HAMMIZ barrage	158	20
L'ARBA	100	19
EL OMARIA	800	17
AIN EL HAMMAM	1200	20
MOUZAIA	1270	28
HAKOU FERACUNE	950	30
CHREA	1550	37

Une fois encore, le manque d'observations pluviométriques sur le bassin nous conduit à prendre 3 hypothèses pour l'estimation du gradex moyen sur le bassin : 25, 27 et 30 mm.

En outre nous avons fait les calculs à partir des 2 résultats obtenus pour le débit maximal decennal :

Q_{M10} estimé par la méthode analytique : 915 m³/s

Q_{M10} " " statistique : 1090 m³/s

On passe du gradex des pluies journalières au gradex des débits journaliers par la relation :

$$\text{gradex débit (m}^3\text{/s)} = \frac{\text{gradex pluie (mm)} \times S \text{ (km}^2\text{)}}{86.4}$$

Il nous faut donc connaître le rapport du débit maximal ruisselé au débit moyen journalier ruisselé. Nous avons calculé ce rapport pour les 40 crues observées, ce qui donne une valeur moyenne de 3.3.

$$\text{On a donc } Q_{r \text{ max.}} = Q_{j r} \times 3.3$$

- 1^{er} calcul à partir de $Q_{r \text{ max}}$ decennal = 915 m³/s.

Gradex Pluie	25 mm		27 mm		30 mm	
gradex débit	112 m ³ /s		121 m ³ /s		134 m ³ /s	
Fréquences	Q_j	$Q_{r \text{ max}}$	Q_j	$Q_{r \text{ max}}$	Q_j	$Q_{r \text{ max}}$
0.1	277	915	277	915	277	915
0.01	535	1766	560	1848	590	1947
0.001	790	2607	840	2772	900	2970
0.0002	975	3218	1030	3399	1115	3680
0.0001	1050	3465	1110	3663	1205	3977

.../...

- 2 ème calcul à partir de $Q_{r \max}$ decennal = 1090 m³/s.

Gradex Pluie	25 mm		27 mm		30 mm	
gradex débit	112 m ³ /s		121 m ³ /s		134 m ³ /s	
Fréquences	Q_j	$Q_{r \max}$	Q_j	$Q_{r \max}$	Q_j	$Q_{r \max}$
0.1	330	1090	330	1090	330	1090
0.01	588	1940	610	2013	640	2112
0.001	840	2772	890	2937	950	3135
0.0002	1030	3399	1080	3564	1170	3861
0.0001	1100	3630	1160	3828	1260	4158

Nous adopterons donc les résultats suivants :

	Fréquence	Débits estimés (m ³ /s)
crue de chantier	0.1	1000 \pm 90 m ³ /s
	0.01	1900 \pm 150 m ³ /s
	0.001	2900 \pm 250 m ³ /s
crue de projet	0.0002	3500 \pm 300 m ³ /s
	0.0001	3800 \pm 350 m ³ /s

IV. ETUDE DES APPORTS

Pour le calcul du volume régularisable, nous avons besoin de connaître 3 éléments concernant les apports :

- l'apport moyen annuel ou module
- la loi de distribution interannuelle des apports
- la loi de répartition mensuelle de l'apport annuel.

Ne disposant que de 4 années hydrologiques complètes observées, nous avons procédé par étude comparative avec les bassins voisins du HAMIZ et du MAZAFRAN pour lesquels on dispose de séries longues.

IV.1. APPORT MOYEN ANNUEL :

Les apports mesurés ou calculés de 1970 à 1973 sur les 3 bassins, figurent dans le tableau 6.

Tableau 6 : Apports annuels.

ANNEE	HARRACH à Roche des Pigeons (387 km ²)			ARBATACH au HAMIZ (138 km ²)			MAZAFRAN à Fer à Cheval (1900 km ²)		
	10 ⁶ m ³	mm	m ³ /s	10 ⁶ m ³	mm	m ³ /s	10 ⁶ m ³	mm	m ³ /s
1970-71	90.9	235	2.88	-	-	-	173	91	5.50
1971-72	322	832	10.2	118	852	3.73	546	287	17.3
1972-73	275	711	8.73	175	1270	5.56	738	389	23.4
1973-74	227	586	7.19	97.1	704	3.08	692	360	21.9
moyenne	229	591	7.25	130	942	4.12	537	282	17.0

La comparaison des résultats des 3 dernières années au HAMIZ à la moyenne obtenue sur les 54 années observées à ce barrage ($54,3 \cdot 10^6$ m³ soit 394 mm ou 3,08 m³/s) indique immédiatement que ces années ont été très exceptionnelles, ce qui confirme le calcul des hydraulicités :

	Hydraulicité $\frac{Q}{\bar{Q}}$	
	HAMIZ barrage (54 années)	MAZAFRAN à Fer à Cheval (17ans)
1970 - 71	--	0.425
1971 - 72	2.17	1.34
1972 - 73	3.23	1.81
1973 - 74	1.79	1.70
Apport moyen	$54,3 \cdot 10^6$ m ³	$407 \cdot 10^6$ m ³

Nous avons admis que l'hydraulicité sur le HARRACH pour les années observées est intermédiaire entre celle du HAMIZ et celle du MAZAFRAN (celle-ci étant ramenée à une estimation sur 54 ans par comparaison des années communes avec le HAMIZ).

Nous obtenons un module estimé à partir du MAZAFRAN de $152 \cdot 10^6$ m³
 et à partir du HAMIZ de $120 \cdot 10^6$ m³

Nous admettons donc comme résultat :

$\bar{Q} = 136 \cdot 10^6$ m ³ \pm 12 %
ou $\bar{Q} = 360$ mm \pm 12 %

IV. 2. DISTRIBUTION STATISTIQUE DES APPORTS ANNUELS :

En première approximation, nous avons adopté pour le HARRACH la loi de distribution des apports du HAMIZ et ceci pour les raisons suivantes :

- ces 2 bassins sont très voisins et situés dans la même zone climatique - Ils ont en particulier un régime pluviométrique identique
- leurs caractéristiques géomorphologiques sont très semblables
- ce sont des bassins plutôt favorables au ruissellement de surface. A notre avis, l'existence d'une petite zone des schistes perméables sur la bordure ouest de HARRACH ne peut avoir un effet régulateur important sur la variabilité des apports annuels, bien qu'elle joue certainement un rôle non négligeable dans la régularisation à l'échelle du mois (soutien des étiages en particulier). Nous estimons d'ailleurs que l'apparente sévérité des étiages constatée sur le HAMIZ n'est que le résultat des procédés de calcul (voir chapitre I).

Nous avons effectué l'étude de la distribution des apports du HAMIZ sur les 53 valeurs observées entre 1912 et 1972. L'ajustement des lois de GUMBEL, LOG-NORMALE, GAMMA incomplète, FRECHET et GOODRICH a conduit aux résultats suivants :

Distribution des apports annuels du HAMIZ en 10^6 m³

Fréquences	GUMBEL	LOG-NOR- MALE	GAMMA incomplète	FRECHET	GOODRICH
0.90	24	25	23	24	21
0.50	48	46	47	44	47
0.10	85	90	92	109	95
0.01	131	160	146	340	147
0.001	176	245	196	1041	192

Sur la figure 4, nous avons tracé les différentes courbes correspondant à ces lois théoriques en portant en ordonnées les apports annuels relatifs $\frac{Q}{\bar{Q}}$ (Q étant le volume de l'apport annuel et \bar{Q} l'apport moyen) - Nous adoptons la distribution LOG-NORMALE qui donne les résultats suivants :

HAMIZ barrage.

Fréquences	0.999	0.90	0.50	0.20	0.10	0.02	0.01	0.001
Apports en 10^6 m ³	11.6	24.6	46.0	71.4	90.4	138	160	245
Apports en mm	84	178	333	518	655	998	1160	1772
Module en m ³ /s	0.368	0.777	1.46	2.27	2.87	4.37	5.08	7.76
Apport relatif $\frac{Q}{\bar{Q}}$	0.217	0.458	0.859	1.33	1.69	2.57	2.99	4.57

l'apport moyen du HAMIZ est $\bar{Q} = 50.4 \cdot 10^6$ m³
(soit 388 mm ou 1.70 m³/s).

Si nous passons à l'oued HARRACH en prenant un module interannuel de 136.16^6 m³ (voir chapitre IV.1.), nous obtenons :

Distribution des Apports annuels du HARRACH (apport moyen 136.10^6 m³)

Fréquences	0.999	0.90	0.50	0.20	0.10	0.02	0.01	0.001
en 10^6 m ³	29.5	62.3	117	181	230	350	407	622
en mm	76	161	302	468	594	904	1052	1607
en m ³ /s	0.935	1.98	3.71	5.73	7.29	11.1	12.9	19.7

IV.3. REPARTITION MENSUELLE DES APPORTS :

Nous avons effectué un certain nombre de corrélations entre les apports mensuels du HARRACH et ceux des oueds voisins. La période d'observation est trop courte pour opérer mois par mois ou même saison par saison, ce qui oblige à prendre en compte dans la même corrélation tous les mois observés. Les résultats donnent des coefficients de corrélation non significatifs ne permettant pas une reconstitution éventuelle.

Cependant on constate que ces corrélations sont plus fortes entre le HARRACH et le MAZAFRAN ($\rho = 0.889$) qu'entre le HARRACH et le HAMIZ ($\rho = 0.857$).

Si nous examinons la répartition mensuelle des apports exprimée en % du total annuel pour la période 1970 à 1973 à Rocher des Pigeons, nous constatons que cette répartition est assez voisine de celle du MAZAFRAN à Fer à Cheval.

- Répartition mensuelle de l'écoulement observée à Rocher des Pigeons -
(en % de l'écoulement annuel).

ANNEES	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
1970 - 71	1.4	1.9	1.7	6.1	24.9	6.7	16.2	28.6	6.8	3.3	1.6	1.0	100.2
1971 - 72	0.5	0.5	16.5	10.3	28.2	15.3	10.7	7.5	6.0	2.3	1.2	0.8	99.8
1972 - 73	2.8	2.1	1.0	9.9	19.2	30.8	17.1	9.2	4.2	1.9	1.1	0.7	100.0
1973 - 74	1.6	1.4	5.1	7.7	18.9	14.5	23.7	16.9	5.8	2.4	1.3	0.9	100.2

- Comparaison de la répartition de l'écoulement sur le HARRACH et
sur le MAZAFRAN -

moyenne 70 - 73	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
HARRACH	1.5	1.4	5.1	7.7	18.9	14.5	23.7	16.9	5.8	2.4	1.3	0.8	100
MAZAFRAN	1.0	1.1	4.1	6.2	20.2	19.2	19.0	19.1	7.0	2.1	0.8	0.4	100

Nous avons donc admis en première approximation une même loi de répartition mensuelle de l'apport total annuel entre le HARRACH et le MAZAFRAN - Ceci nous permet en utilisant le rapport entre le pourcentage calculé sur la période 70 - 73 et le pourcentage calculé sur la totalité des données disponibles du MAZAFRAN (17 ans), de donner les résultats suivants pour le HARRACH :

- Répartition mensuelle moyenne à Rocher des Pigeons -
(en % de l'écoulement total annuel).

S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
1	4	5	12	22	14	15	17	6	2	1	1
10			48				38			4	

V. ETUDE DES APPORTS SOLIDES

D'une manière générale, il existe essentiellement trois approches pour étudier les apports solides d'un bassin versant.

- Mesure de l'envasement dans une retenue existante
- Mesure des concentrations solides des eaux de l'oued
- Estimation d'un taux d'abrasion annuel moyen sur le bassin.

La position géographique du bassin versant de l'oued HARRACHE au site de Rocher des Pigeons et les années disponibles d'hydrologie nous permettent d'envisager ces trois méthodes. Cela montrera aussi que les mesures d'envasement des retenues restent encore la méthode qui semble apporter la meilleure précision dans les estimations.

V.1. MESURE D'ENVASEMENT DANS LA RETENUE DU BARRAGE DU HAMIZ :

L'existence du barrage du HAMIZ dont le bassin versant est proche de celui de l'oued HARRACHE se prête très bien à l'application de la première méthode de l'étude des apports solides.

Géologiquement les deux bassins sont comparables si ce n'est que celui de l'oued HARRACHE possède une partie schisteuse (environ 10 % de la superficie du bassin) qui n'apparaît ni n'affleure sur le HAMIZ. De plus la pluviométrie moyenne interannuelle est comparable si ce n'est égale sur les deux bassins.

1.1 - Données disponibles.

Les données relatives à l'envasement de la retenue du barrage du HAMIZ sont essentiellement celles figurant dans la monographie du barrage établie en 1965 par la D.P.R.H. (ex. S.E.G.G.T.H).

Elles ont été reprises et analysées par le Bureau d'étude COYNE & BELLIER en Février 1971 (cf. Bibliographie Ref. 3).

Les chiffres et résultats issus de cette étude, ayant été admis, et d'autre part les résultats définitifs de la campagne 1968 - 1972 de dévasement du barrage du HAMIZ n'étant pas encore publiés, sont donc simplement repris et énoncés dans la présente étude.

- Les documents de base sont :

- Un graphique donnant les courbes hauteurs-capacités à huit dates différentes qui sont 1872 - 1914 - 1937 - 1941 - 1945 - 1953 - 1954 - 1964. (graphique n° 7 de la monographie - DPRH).
- Un tableau résumant les capacités aux mêmes dates et présentant quelques discordances certaines (tableau page 39 de la monographie - DPRH).

- Les données reprises dans l'étude de COYNE & BELLIER.

Nous n'avons conservé que les chiffres relatifs à la période 1937 - 1964 qui correspond à l'exploitation du barrage après surélévation de celui-ci, exploitation très différente de celle de la période antérieure à 1937, surtout au niveau des chasses effectués pour limiter l'envasement de la retenue (abandon après 1937 de la méthode dite "des chasses espagnoles").

Ces données sont les suivants :

Période	Durée (années)	Envasement de la retenue (Hm3)	Apport solide annuel (m3/an)
1937 - 40	3	3.10	1.030.000
1940 - 45	5	0.60	120.000
1945 - 53	8	1.80	225.000
1953 - 64	11	3.73	339.000
1937 - 45	8	3.7	463.000
1937 - 64	27	9.23	342.000

L'étude dont sont issus ces chiffres met en lumière le fait qu'un levé stéréophotogramétrique effectué en 1968 serait en discordance avec le levé de 1964, ce qui donnerait en prenant en compte le levé de 1968.

1937 - 67	30	7.2	237.000
-----------	----	-----	---------

1.2 - Résultats obtenus.

Nous réenonçons donc les résultats de l'étude COYNE & BELLIER.

- envasement annuel moyen 300.000 m3 (moyenne entre 342.000 et 237.000).
- densité sèche moyenne 1.24 T/m3 (à partir de 8 échantillons prélevés dans la retenue en 1965).
- taux d'abrasion moyen annuel $\frac{300.000 \times 1.24}{138} = 2680 \text{ T/km}^2/\text{an.}$

- il a été estimé qu'une partie des apports solides (25 %) est évacuée lors des crues ce qui conduit à un taux d'abrasion spécifique de : 3 500 T/km²/an.

1.3 - Estimation du taux d'abrasion de l'HARRACH à partir des résultats du HAMIZ.

Si géologiquement les bassins du HAMIZ et de l'HARRACH sont comparables, une visite sur le terrain effectuée au début de la présente étude a permis de constater que :

- le bassin du HAMIZ est très largement cultivé et une très grande partie des terrains ont été stabilisés par des banquettes et quelques reboisements.
- le bassin de l'oued HARRACH n'est presque pas cultivé, recouvert en grande partie par un maquis plus ou moins dense, et sur les espaces à nu, propre à une érosion certaine. De plus, la région des schistes n'est que partiellement boisée et le site de la future retenue est sujet à d'importants glissements de terrains composés presque essentiellement de flysch.

Ces constatations permettent de supposer que sur le bassin de l'oued HARRACH, l'érosion est plus forte que sur le HAMIZ et que le charriage doit y être très nettement plus important.

Nous pensons qu'il est raisonnable de supposer que le taux d'abrasion spécifique du bassin de l'HARRACH est supérieur de 30 % à celui du HAMIZ.

Nous avons donc pour le bassin de l'oued HARRACH un taux d'abrasion spécifique voisin de : 4 500 T/km²/an.

V.2. APPORT SOLIDE A PARTIR DES DONNEES ENREGISTREES SUR LA STATION HYDROMETRIQUE DE ROCHER DES PIGEONS :

2.1 - Les données disponibles.

Elles ont été exposées au chapitre I. Nous rappellerons simplement ici que les prélèvements effectués peuvent être considérés comme représentatifs de la concentration moyenne en suspension sur toute la section de mesure.

La méthode de prélèvement utilisée ne prend pas en compte la mesure du charriage (ou transport de fond) de l'oued, charriage qui au vu de la configuration géologique du bassin est certainement important en éléments grossiers (en particulier en schistes de la partie nord-ouest du bassin). On peut donc admettre que la concentration d'un prélèvement, effectuée en rive de l'oued, est inférieure de 30 % à la concentration moyenne totale (suspension + charriage).

Les turbidigrammes tracés à partir des prélèvements ont mené aux résultats bruts énoncés dans le tableau n° 7. La précision de ces résultats est difficilement chiffrable mais certainement liée au nombre de prélèvements effectués en crue, qui malgré tout restent encore insuffisants.

Tableau n° 7

Apports mensuels liquides et solides mesurés à Rocher des Pigeons

Année		Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Janv.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Total
70/71	A	1,23	1,76	1,52	5,54	22,6	6,07	14,7	25,9	6,13	2,95	1,48	0,891	90,7
	TS	0	0,001	0	0,026	0,005	0	0,019	0,084	0,001	0	0	0	0,136
71/72	A	1,66	1,71	531	332	90,8	49,4	34,3	24,1	19,4	7,44	3,80	2,61	332
	TS	0,006	0,013	1,22	0,104	0,600	0,065	0,003	0,038	0,028	0,002	0	0	2,06
72/73	A	2,57	5,68	2,83	27,1	52,8	84,8	47,1	25,2	11,5	5,18	3,08	1,93	275
	TS	0,293	0,030	0,005	0,162	0,110	0,243	0,139	0,008	0	0	0	0	0,991
73/74	A	3,63	2,28	2,25	10,2	7,04	11,6	115	51,1	13,8	5,05	2,68	2,01	227
	TS	0,049	0	0	0,005	0,001	0,005	2,44	0,121	0	0	0	0	2,62

A = Apports liquides en millions de m³

TS = Apports solides en suspension en millions de tonnes

2.2 - Analyse des résultats.

Les résultats mènent donc à la connaissance des apports en suspension de quatre années hydrologiques sous les formes suivantes.

- Apports en suspension mensuels et annuels résumés dans le tableau n° 7
- Apports solides relatifs aux principales crues enregistrées sur la station hydrométrique (tableau n° 8).
- Apports totaux annuels (suspension + charriage) dans le tableau ci-après.

Année	Apport liquide Hm3	Apport solide (+30 %) Million de T	Taux d'abrasion annuel
1970 - 71	90.7	0.177	460 T/km2/an
1971 - 72	322	2.68	6900 T/km2/an
1972 - 73	275	1.29	3300 T/km2/an
1973 - 74	227	3.41	3800 T/km2/an
Total	914.7	7.56	
Moyenne 4 ans	(228)	1.89	4865 T/km2/an

De cette série de résultats bruts, il n'est pas possible d'envisager sérieusement d'estimer un taux d'abrasion annuel moyen, mais il semble logique de tirer les conclusions suivantes :

- le tableau ci-dessus met en évidence qu'il est peu plausible de trouver une relation correcte entre les apports liquides et solides sur le bassin.

leau N°8

Volume des crues enregistrées - apport solide

(Période - Mars 1970 - Aout 1974)

N° crue	Date	Volume Ruisseau 10 ³ m ³	Transport solide mesuré 10 ³ T	Transport solide corrigé(+30%)	Concentration moyenne g/L	OBSERVATIONS
1	21-4-70	3420	31,1	40,4	9,1	
2	22-4-70	10958	125,1	162,6	11,4	
3	18-5-70	192	---	---	---	
4	15-12-70	1898	19,5	25,4	10,3	1 ^{ère} Crue de l'année hydrologique
5	1-1-71	1119	1,14	1,48	1,0	
6	4-1-71	1706	---	---	---	
7	6-1-71	2447	---	---	---	
8	15-1-71	652	---	---	---	
9	19-1-71	1117	---	---	---	
12	8-3-71	1332	3,16	4,11	2,4	
13	1-4-71	6120	74,4	96,7	12,2	
14	9-4-71	351	2,58	3,35	7,4	
15	27-11-71	43500	1202,4	1563,1	27,6	1 ^{ère} Crue de l'année hydrologique
16	8-12-71	4363	68,8	89,4	15,8	
17	10-12-71	1922	17,7	23,0	9,2	
18	18-1-72	20779	(294,1)	(382,3)	14,2	
19	23-1-72	18662	(278,1)	(361,5)	14,9	
20	10-2-72	3214	17,6	22,9	5,5	
21	21-2-72	310	(0,6)	(0,74)	1,8	
22	25-2-72	6034	(40,2)	(52,2)	6,7	
23	24-3-72	1414	(3,0)	(3,9)	2,1	
24	10-4-72	1590	17,6	22,9	11,1	
25	12-4-72	1071	14,3	18,3	13,4	
	5-9-72	521	25,4	33,0	48,8	} deux premières crues de l'année hydrologique
26	26-9-72	5119	293,0	380,9	57,2	
27	31-12-72	28598	197,1	256,2	6,9	
28	24-1-73	1881	13,8	17,9	7,3	
29	2-2-73	1656	7,9	10,3	4,8	
30	4-2-73	22448	198,3	257,8	8,9	
31	13-3-73	884	8,6	11,2	9,7	
32	24-3-73	11613	104,6	136,0	9,0	
33	23-4-73	4284	(5,9)	(7,7)	1,4	
34	25-9-73	1668	49,0	63,7	29,3	1 ^{ère} crue de l'année hydrologique
35	5-12-73	2497	(2,8)	(3,6)	1,1	
36	31-12-73	2048	(1,3)	(1,7)	0,6	
37	22-2-74	2081	(2,3)	(3,0)	1,1	
38	14-3-74	3981	10,5	13,7	2,6	
39	30-3-74	107338	2519,4	3275,2	23,5	1 ^{ère} crue importante de l'année
40	30-4-74	1908	25,4	33,0	13,3	

() chiffres obtenus par estimation.

- le tableau n° 8 semble confirmer ce qui a déjà été trouvé sur d'autres bassins versants en Algérie : les crues d'automne ou les premières crues d'hiver dans le cas d'étiages prolongés présentent une concentration moyenne nettement plus forte que celles d'hiver ou de printemps. La crue de fin Mars 1974 entre dans la catégorie des crues d'automne par le fait qu'elle n'est précédée dans le temps que par une petite série de 4 crues de très faibles volumes. La courte série de crues enregistrées sur la station laisse supposer que des relations volume ruisselé - apport solide peuvent être recherchées au niveau saisonnier (automne - printemps - hiver) ou même en fonction de l'antécédent pluviomètre de la crue.
- si l'on admet le chiffre avancé au paragraphe V.1. précédent de 4 500 T/km²/an pour le taux d'abrasion moyen annuel, on remarque que :
 - + Sur la période de 4 ans, le taux d'abrasion moyen de la période est à peine supérieur au chiffre avancé alors que l'hydraulicité est de 1,6 environ (apport moyen estimé à 140 Hm³)
 - + Pour l'année hydrologique 73 - 74 de même hydraulicité (1,6), l'apport solide est environ le double du taux avancé et est exclusivement dû à la crue de Mars 1974 très exceptionnelle en volume donc en ruissellement -

V.3. ESTIMATION D'UN TAUX D'ABRASION ANNUEL MOYEN PAR D'AUTRES METHODES :

3.1 - Estimation à partir du coefficient de torrentialité du bassin.

Pour les besoins des différentes études qu'elle mène, la D.E.M.R.H. a essayé de lier l'érosion spécifique au coefficient de torrentialité du bassin qui est une caractéristique géomorphologique du bassin versant.

Le coefficient de torrentialité se définit par :

$$c.T = Dd \times n_1 \quad \left\{ \begin{array}{l} Dd = \frac{\Sigma L}{S} \quad \text{densité de drainage} \\ n_1 = \text{nombre de thalwegs élémentaires par km}^2. \end{array} \right.$$

L'abaque tracé par la D.E.M.R.H. en est encore au stade expérimental et ne semble s'appliquer qu'aux bassins de taille moyenne ce qui est le cas pour le bassin de l'oued HARRACH. Il est basé sur les chiffres d'érosion déjà connus (barrages et stations hydro-métriques où les transports solides sont bien contrôlés).

Pour l'HARRACH à Rocher des Pigeons où le coefficient de torrentialité est $cT = 69,2$, l'abaque nous donne un taux d'érosion spécifique de $3\,500 \text{ T/km}^2/\text{an}$, soit une valeur identique à celle du barrage de l'oued Fodda (bassin du Cheliff). La valeur pour le barrage du HAMIZ est d'après l'abaque $2400 \text{ T/km}^2/\text{an}$.

3.2 - Estimation d'après l'abaque de l'étude des aires d'irrigation.

SOGREAH (cf. Bibliographie Ref. 4) a tenté d'estimer l'importance du transport solide des oueds en fonction du ruissellement annuel de crue (défini par apport liquide total moins apport de base) et la perméabilité des bassins versants, en considérant que le degré de perméabilité est un facteur qui intègre en première approximation les paramètres géomorphologiques et que sur un bassin de nature géomorphologique donnée, le transport solide apporté par les crues croît avec le volume ruisselé.

Les résultats obtenus ont mené à un abaque (graphique 5 du rapport cité) inspiré de la formule de Mr TIXERONT mise au point en Tunisie. $A = \alpha R^{0,15}$

A = dégradation spécifique en T/km²/an

R = ruissellement moyen annuel exprimé en mm

α = coefficient fonction de la perméabilité du bassin.

Cet abaque donne pour le bassin de l'oued HARRACH en prenant la même perméabilité que le bassin de l'oued HAMIZ (perméabilité définie par SOGREAH) et un ruissellement de crue de 206 mm ($\frac{C}{B} = 1,34$) :

Taux d'abrasion = 3400 T/km²/an

ce qui correspond à la formule de TIXERONT $A = 1500 R^{0,15}$ sur l'abaque.

V.4. CONCLUSIONS :

Les trois méthodes étudiées dans l'estimation des apports solides de l'oued HARRACH au site du futur barrage de Rocher des Pigeons mènent à des résultats assez différents qui sont résumés dans le tableau suivant :

Taux d'abrasion T/km ² /an	Méthode employée
4500	d'après envasement du barrage du HAMIZ.
4865	Moyenne calculée sur 4 ans sur la station hydrométrique.
3500	Estimation issue d'abaque
3400	

Bien que les mesures d'envasement du barrage du HAMIZ prêtent encore à quelques critiques sur les chiffres enregistrés à partir des différents levés, nous admettons pour taux d'abrasion moyen annuel au futur barrage de Rocher des Pigeons le chiffre de

$$\underline{4500 \text{ T/km}^2/\text{an}}$$

correspondant à un envasement moyen annuel de

$$\underline{1740 \text{ 000 m}^3/\text{an}}$$

Ce chiffre peut paraître élevé mais nous pensons que l'état du bassin comparé à celui du HAMIZ (non existente de cultures et banquettes), celui de la future cuvette et les chiffres enregistrés en 1971 - 72 et 1973 - 74, le justifient.

Annexe : BIBLIOGRAPHIE

Référence n° 1 : - D.E.M.R.H. N° 15.11/DH.2 - Etude Hydrologique de la Mitidja.

-1- 3ème rapport - Etude préliminaire des sites de barrages et des dérivations de l'Atlas Blidéen -
par R. LICITRI le 16 . 2 . 1970.

-2- 3ème rapport (suite) - Note sur les débits de crue et les transports solides des oueds Harrach et Bou Roumi
par R. LICITRI le 3 . 10 . 1970.

Référence n° 2 : - D.E.M.R.H. N° 18/N * Note Technique : Intensité de pluies en Algérie
par R. LICITRI le 3 . 8 . 1971.

Référence n° 3 : - COYNE & BELLIER - Aménagement des oueds Hamiz - Arbatach et Keddara - Bou Douaou : études préliminaires
Juillet 1971.

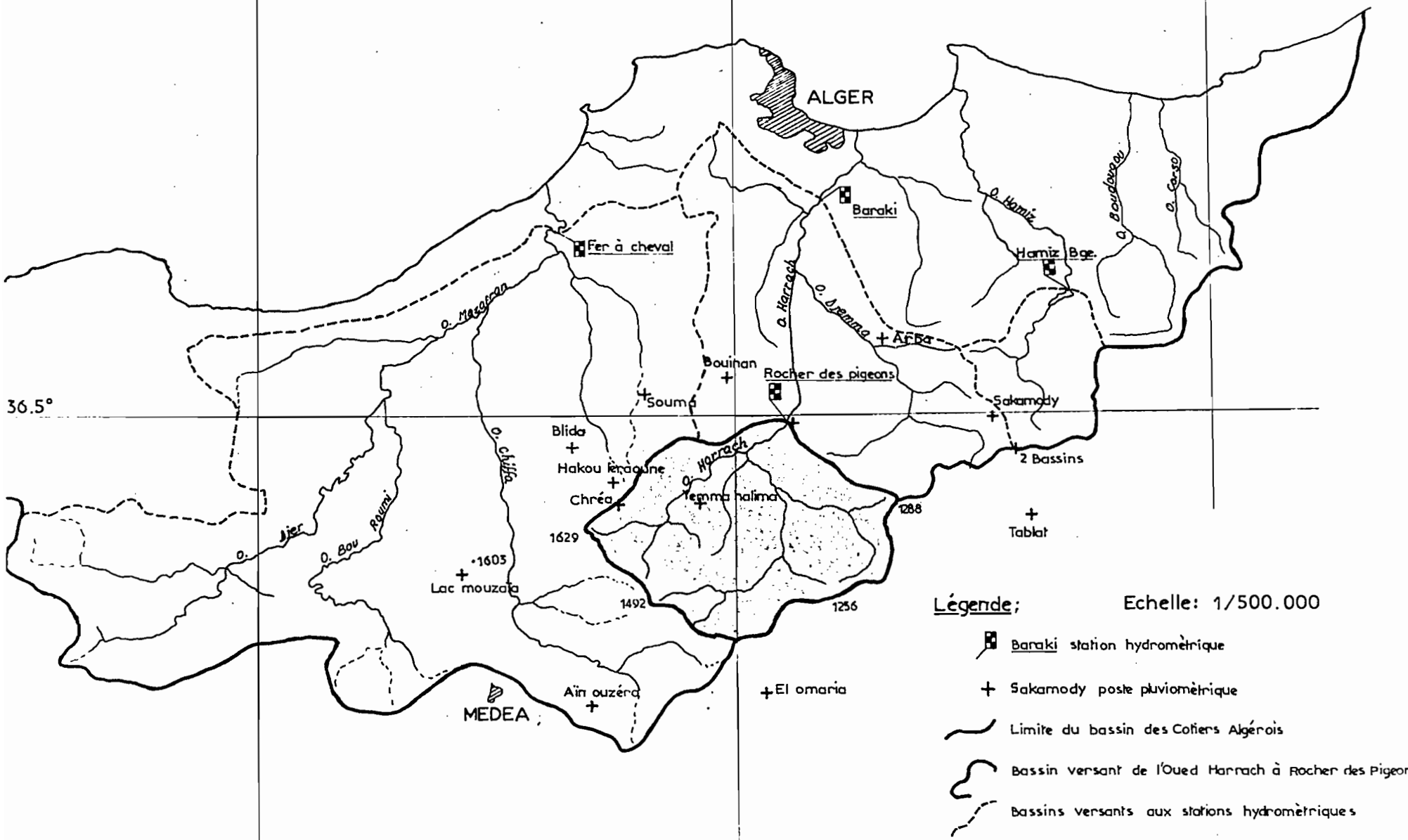
Référence n° 4 : - SOGETHA - SOGREAH - Etude générale des aires d'irrigation et d'assainissement agricole en Algérie.
Dossier O : chapitre II -
Methodologie utilisée en Hydrologie - Avril 1969.

2.5°

3°

CARTE DE SITUATION DU BASSIN

3.5°



Légende;

Echelle: 1/500.000

Baraki station hydrométrique

Sakamody poste pluviométrique

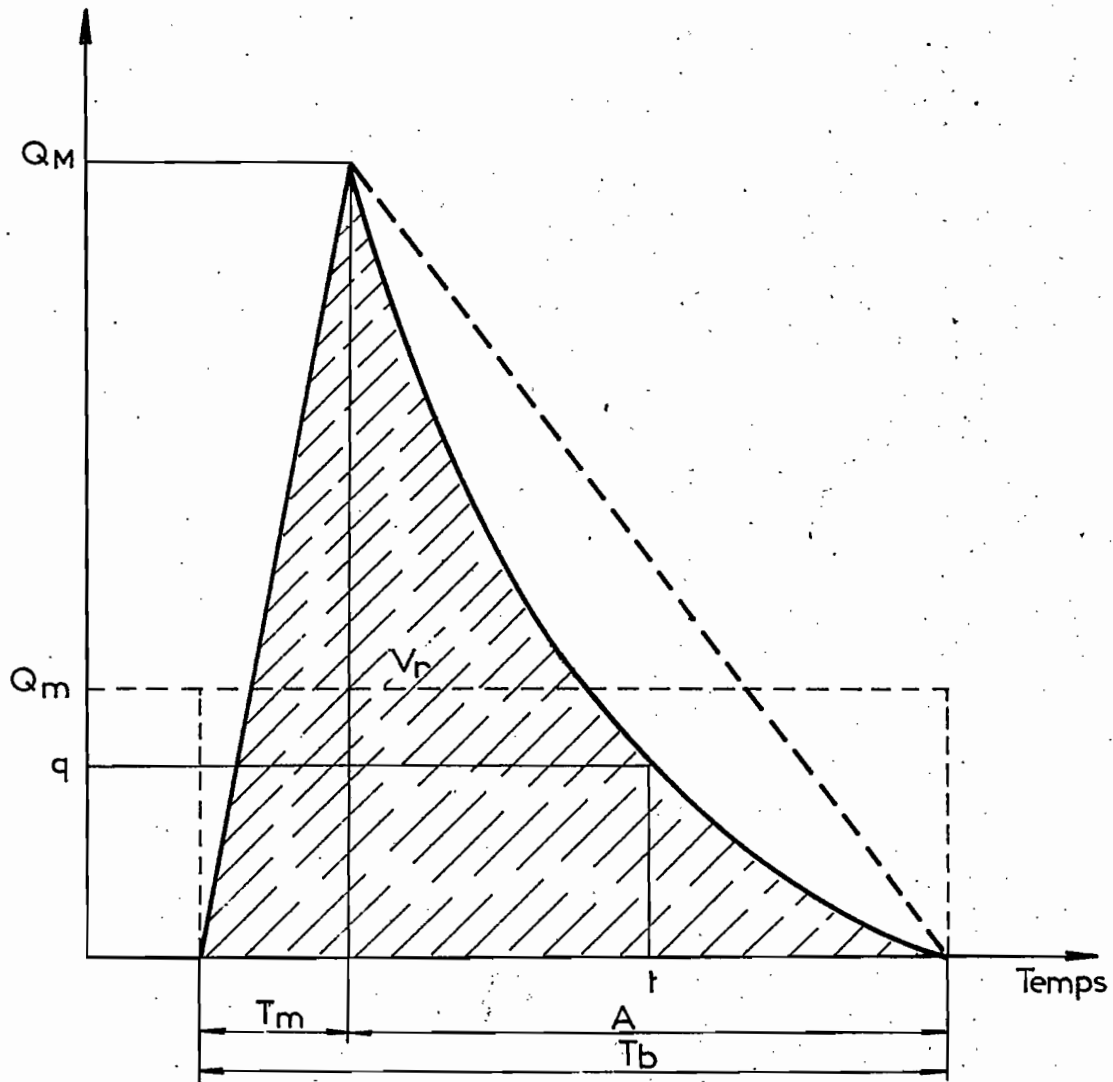
Limite du bassin des Cotiers Algérois

Bassin versant de l'Oued Harrach à Rocher des Pigeons

Bassins versants aux stations hydrométriques

OUED EL HARRACH A ROCHER DES PIGEONS

Hydrogramme standard de ruissellement à décroissance exponentielle



Q_M : Débit maximal ruisselé

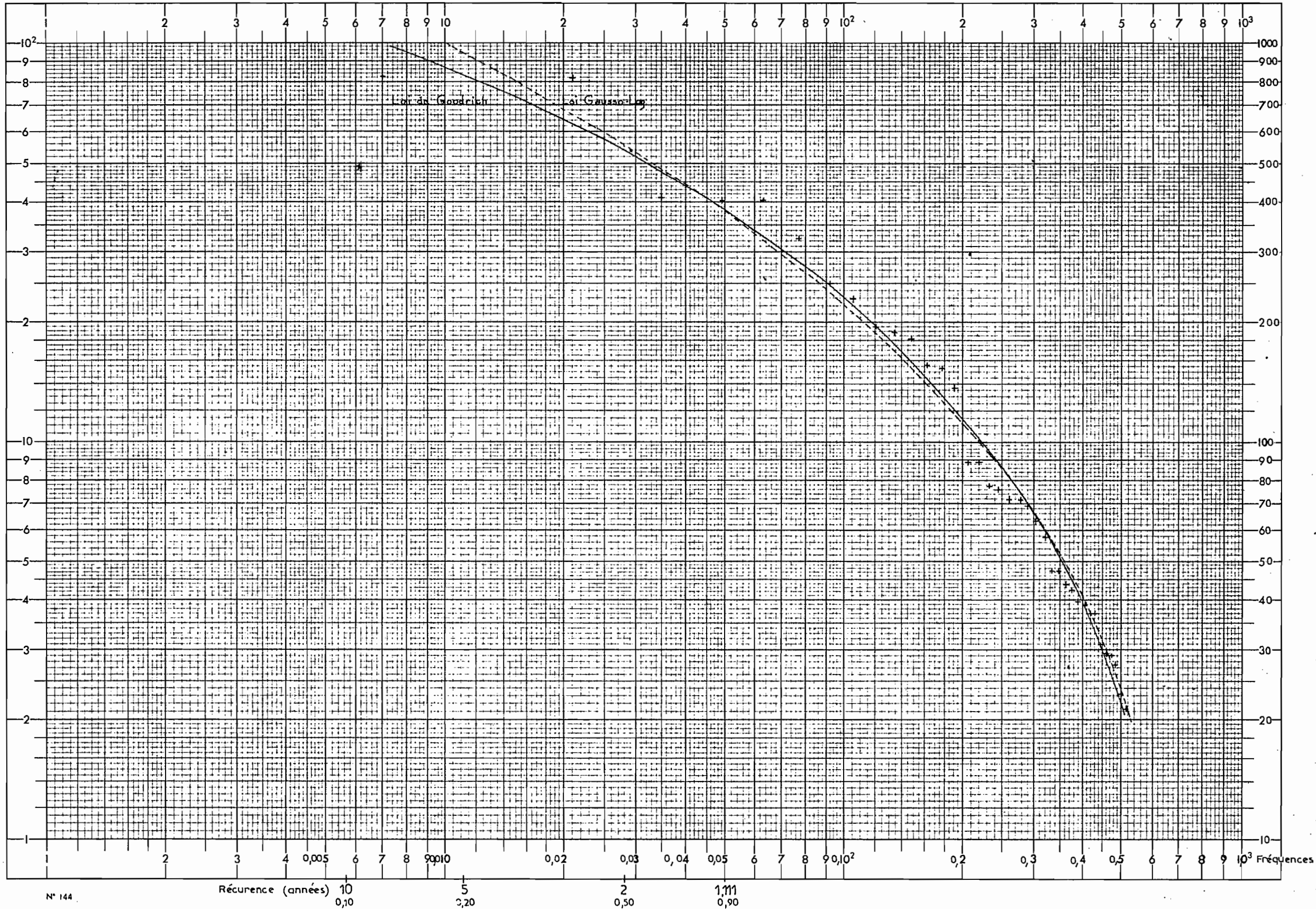
Q_m : Débit moyen ruisselé

V_r : Volume ruisselé

T_m : Temps de montée

T_b : Temps de base

FIG. 3

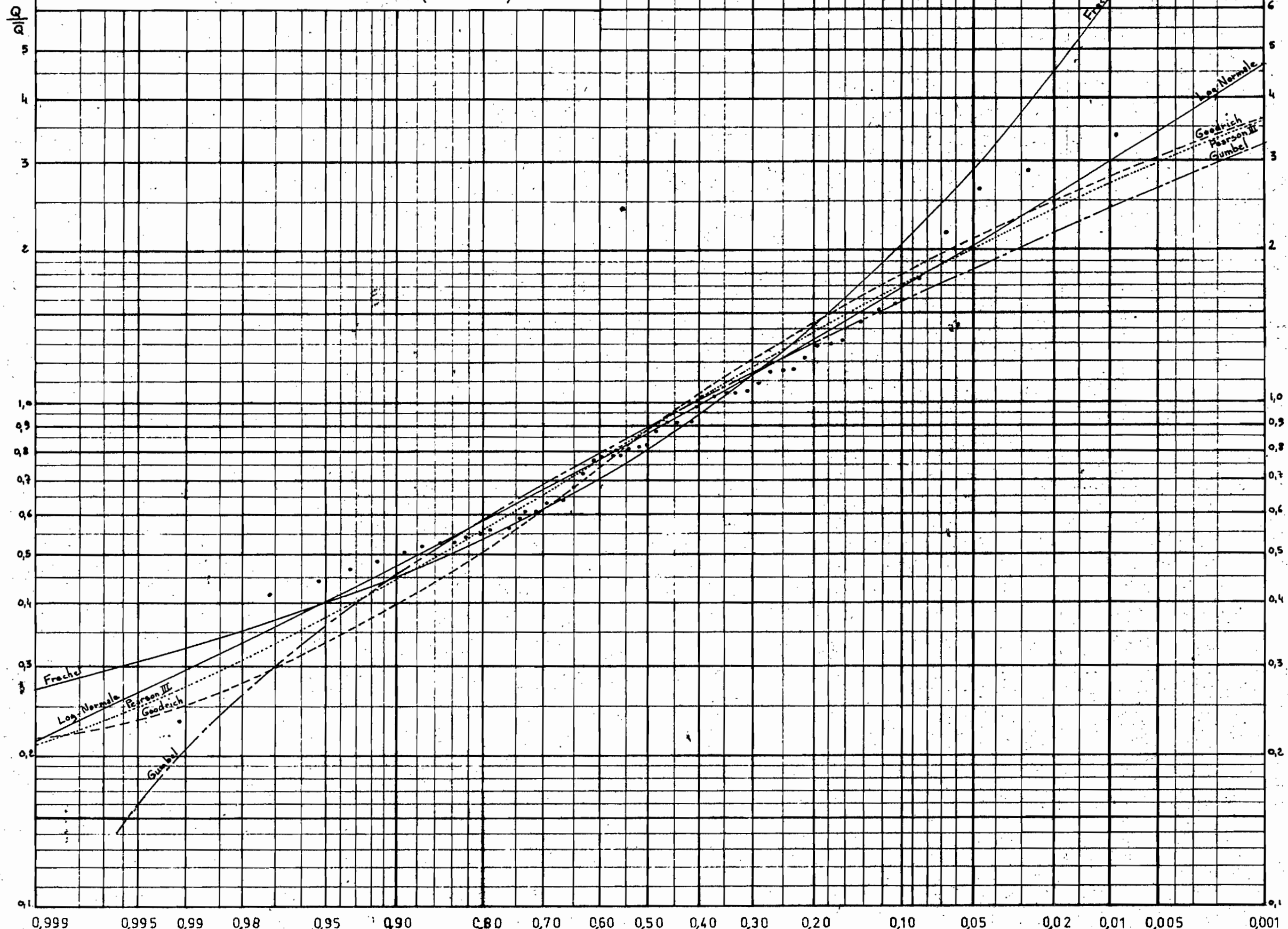


HAMIZ BARRAGE

Apports annuels période 1912-1972

(53 années hydrologiques)

$$\bar{Q} = 1,698 \text{ m}^3/\text{s} \quad (50,4 \text{ Hm}^3)$$



FREQUENCE AU DEPASSEMENT

Calvet L., Dosseur H.

Projet de barrage de Rocher des Pigeons sur l'oued ed
Harrach : étude hydrologique.

Alger : Secrétariat d'Etat à l'Hydraulique, 1974, 53 p. multigr.