

**Office de la Recherche Scientifique
et Technique Outre-Mer**

**Institut de Recherches Scientifiques
au CONGO**

**MINES DOMANIALES
DES POTASSES D'ALSACE**

RESSOURCES EN EAUX SUPERFICIELLES DE LA RÉGION DE HOLLE

**En vue de l'alimentation en eau
des Mines de Potasse de la SOFIPOTA**

par

G. HIEZ

Hydrologue

Maitre de Recherches à l'O.R.S.T.O.M.

Mai 1964

OFFICE de la RECHERCHE SCIENTIFIQUE
et TECHNIQUE OUTRE-MER

.....
INSTITUT de RECHERCHES SCIENTIFIQUES
au CONGO
.....

MINES DOMANIALES
des POTASSES d'ALSACE
.....

RESSOURCES en EAUX SUPERFICIELLES
de la région de HOLLE
en VUE de l'ALIMENTATION en EAU des MINES de POTASSE
de la SOFIPOTA

par
G. HIEZ
Hydrologue
Maître de Recherches à l'ORSTOM

Mai 1964

S O M M A I R E

	Page
Introduction	1
<u>I - Facteurs conditionnels du régime des eaux</u>	2
A - Situation géographique	2
B - Altitude et relief	2
C - Nature du sol	2
D - Végétation	4
E - Réseau hydrographique	4
F - Régime pluviométrique	4
<u>II - Etude des débits</u>	9
A - Equipement	9
B - Observations limnimétriques	10
C - Mesures de débit	11
D - Courbes d'étalonnage et débits journaliers	12
E - Débits d'étiage	12
<u>III - Analyses de l'eau de la région de HOLLE-St-PAUL</u>	17
A - Emplacement des prélèvements	17
B - Mode opératoire	17
C - Analyses bactériologiques	19
D - Analyses physiques	22
E - Analyses chimiques	24
<u>IV - Pollution de l'eau en aval de l'usine de traitement</u>	29
Conclusion	33

Par lettre de commande du 2 Octobre 1963, les Mines Domaniales de Potasse d'Alsace confiaient à l'Institut de Recherches Scientifiques du Congo, Organisme relevant de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, "l'étude des ressources en eau du réseau hydrographique de la région de HOLLE (République du Congo)".

Cette étude devait permettre :

- 1° -- d'estimer les quantités d'eau disponibles pour l'usine de traitement et les cités,
- 2° -- de donner tous renseignements utiles relatifs à la qualité de l'eau sur les trois plans: physique chimique et bactériologique,
- 3° -- de déterminer l'influence possible des eaux résiduelles et du déversement des déchets sur la pollution des eaux en aval du cirque TRILLOBE (P5 de la carte).

L'objet du présent rapport est de présenter les résultats des études effectuées par l'IRSC pour remplir ce triple but.

I - FACTEURS CONDITIONNELS du REGIME des EAUX

A - SITUATION GEOGRAPHIQUE :

Les mines à alimenter étant situées entre les villages de TCHIBANDA et de MAKOLA, les réseaux hydrographiques pouvant fournir les quantités d'eau nécessaires aux installations industrielles et aux cités sont ceux de la Haute TCHIVOUBA et du Haut NTOMBO. Le centre de gravité de cette région a sensiblement les coordonnées suivantes :

Latitude : $4^{\circ} 34'$ Sud

Longitude : $12^{\circ} 6'$ Est

La TCHIVOUBA est un affluent de la LOEME, fleuve côtier, le NTOMBO, un affluent du KOUILOU-NIARI.

B - ALTITUDE et RELIEF :

L'altitude moyenne est voisine de 60 - 80 m. Elle n'a aucune influence sur le régime.

Le relief est mou sauf aux abords des criques et à l'approche des lits creusés par les marigots.

C - NATURE du SOL :

1°) Géologie :

Toute la région intéressant la zone St-PAUL-HOLLE, jusqu'à la côte, est située sur la "Série des Cirques", datée plio-pleistocène, c'est-à-dire fin tertiaire, début quaternaire.

La nature des éléments de ces terrains est variable : sables, graviers et argiles de différentes couleurs donnant des sols perméables à dominante sableuse.

L'épaisseur de cette série ne dépasserait pas 100 mètres.

La présence, à faible profondeur, de sédiments phosphatés à huîtres, a été reconnue dans la région située au Sud de HOLLE ; leur âge serait Crétacé supérieur - Eocène moyen.

2°) Pédologie :

En surface, on trouve les types de sol suivants :

- Sols ocres profondément lessivés :

- sous savane : Plateau de HINDA
- sous forêt : GUENA, Sud de HOLLE

Ils sont caractérisés par :

- des taux d'argile assez bas : 10 à 25 %
- une dominante de sables fins : 50 à 60 %

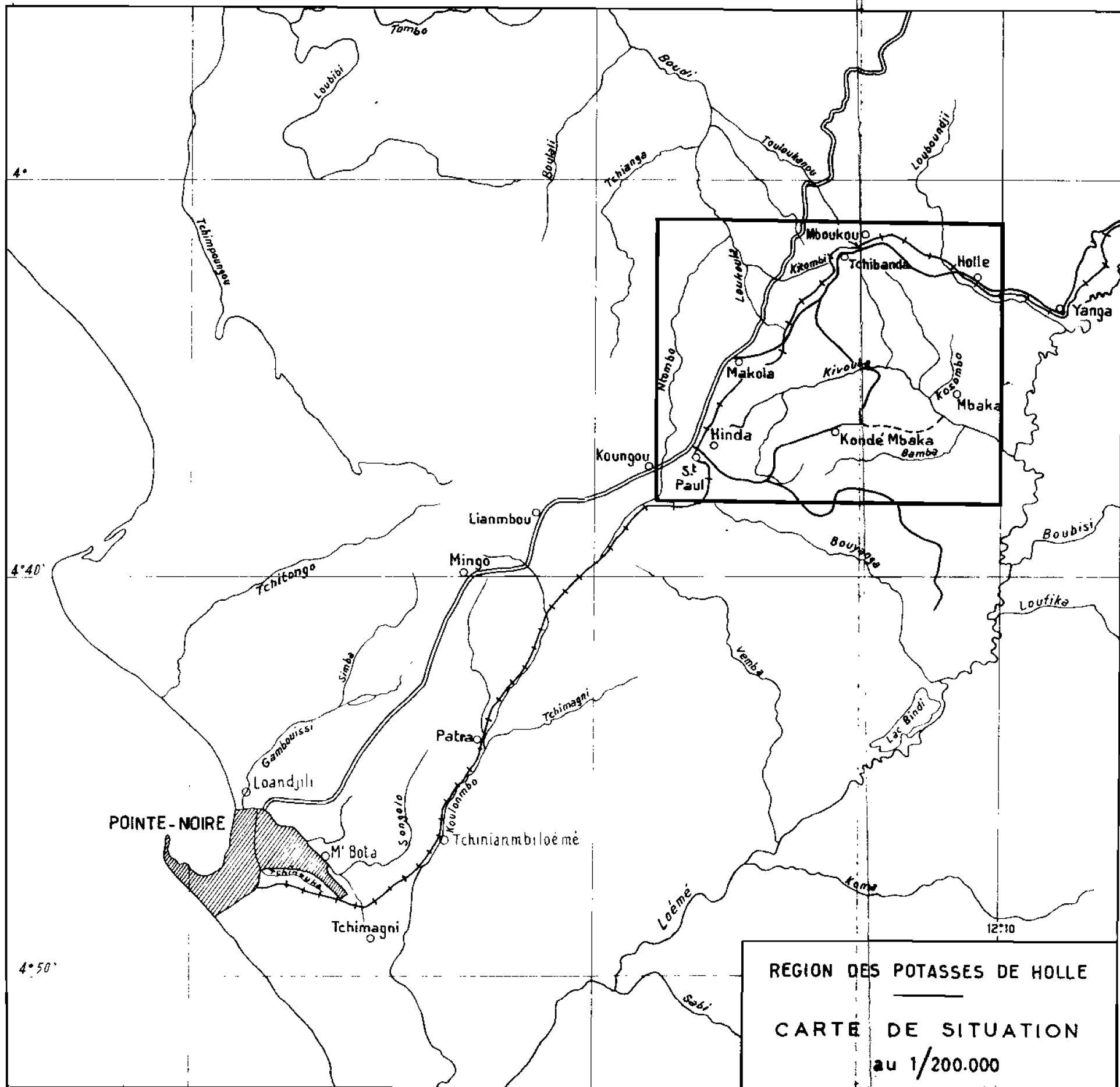
Ces caractéristiques impliquent une bonne perméabilité d'ensemble.

- Sols forestiers sur affleurements crétacés.

Ils correspondent à la zone située au Sud de HOLLE, où des terrains phosphatés ont été reconnus par sondage.

Le caractère essentiel en est le taux d'argile relativement plus élevé : 30 à 50 %. La perméabilité de ces sols serait moindre que celle de la catégorie précédente.

L'existence de ces sols argileux en surface montre que les terrains géologiques correspondants sont antérieurs à la "Série des Cirques".



REGION DES POTASSES DE HOLLE

CARTE DE SITUATION

au 1/200.000

D - VEGETATION :

Le sol est recouvert en général par une savane herbacée peu dense. Le sable est souvent apparent. Des galeries forestières bordent les cours d'eau.

E - RESEAU HYDROGRAPHIQUE :

On n'observe pas de rigoles de ruissellement, sauf à l'abord immédiat des lits souvent encaissés. Il n'y a d'ailleurs même pas de traces de ruissellement sur le sol. Le lit majeur des cours d'eau de cette région est en général assez large et constitué de sables fins très fluents lorsqu'ils sont saturés d'eau. Le lit est fréquemment marécageux.

Les deux réseaux hydrographiques intéressés sont celui de la TCHIVOUBA et celui de la LOUKOULA. La première se jette dans la LOEME. Elle reçoit sur sa rive gauche, dans la zone qui nous intéresse, la KOUBAMBI, la ZINGUILA et la KOSSOMBO.

La LOUKOULA est un affluent du NTOMBO, lequel rejoint le KOUILOU-NIARI dans une zone marécageuse proche de l'embouchure de ce fleuve. La TCHIBOMBI est un petit affluent de la LOUKOULA très proche des mines de potasse.

On trouvera plus loin l'implantation des diverses stations.

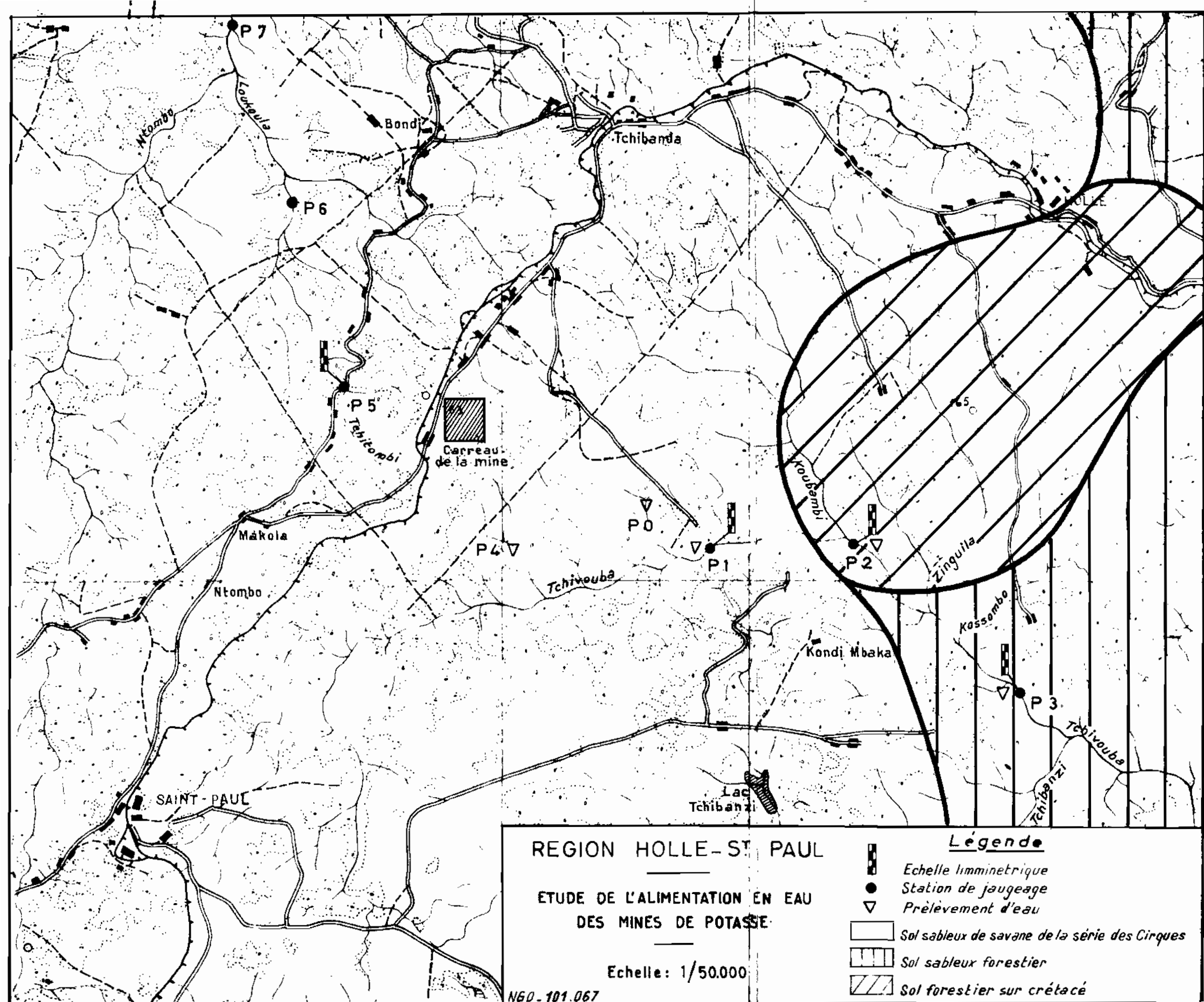
F - REGIME PLUVIOMETRIQUE :

On dispose des relevés des trois stations de POINTE-NOIRE, HOLLE et GUENA.

Bien que les étiages annuels se situent en Décembre et parfois même en Janvier, il nous est apparu que le meilleur cycle pluviométrique annuel à prendre en considération était celui du 1er Septembre au 31 Août, les premières pluies de Septembre et même d'Octobre n'ayant aucun effet sur la valeur de l'étiage.

La station de POINTE-NOIRE, la plus ancienne, est observée depuis 34 ans et il serait intéressant de rattacher les relevés des deux autres stations à ceux de celle-ci, de façon à pouvoir disposer de moyennes portant sur la même période.

Malheureusement, comme on peut le voir sur le tableau ci-après, les éléments dont nous disposons pour GUENA ne peuvent pas nous permettre d'effectuer ce rattachement. Les données de HOLLE ne sont guère plus









REGION HOLLE-ST PAUL

ETUDE DE L'ALIMENTATION EN EAU
DES MINES DE POTASSE

Echelle: 1/50.000

NGO-101.067

Légende

-  Echelle linéaire
-  Station de jaugeage
-  Prélèvement d'eau
-  Sol sableux de savane de la série des Cirques
-  Sol sableux forestier
-  Sol forestier sur crétacé

PRECIPITATIONS MENSUELLES (en mm)

GUENA

Année	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total annuel
1954-55	-	235,1	327,3	138,9	203,2	22,1	236,5	402,3	64,2	0,0	0,0	2,5	-
1955-56	22,0	259,8	432,2	229,7	82,9	205,5	170,0	169,1	93,1	0,1	0,0	0,3	1664,7
1956-57	15,3	57,9	94,9	377,4	178,7	296,3	270,9	236,5	69,0	0,0	0,0	10,2	1607,1
1957-58	12,5	43,7	240,2	288,1	55,8	0,0	95,4	93,5	0,0	0,0	0,0	1,5	830,7
1958-59	27,8	21,8	153,3	61,3	335,7	242,0	282,4	149,6	45,5	0,0	0,0	0,0	1319,4
1959-60	9,6	142,7	361,5	186,5	251,3	382,9	449,6	230,5	156,8	0,0	0,0	0,0	2171,4
1960-61	37,1	91,0	296,5	367,4	332,1	156,6	219,5	169,6	52,6	0,0	0,0	0,0	1722,4
1961-62	44,0	312,8	-	389,6	411,6	140,7	242,6	162,6	117,9	0,0	0,0	0,0	-
1962-63	1,7	426,7	205,6	173,0	155,1	175,1	200,4	231,8	185,5	0,5	2,4	2,6	1760,4

HOLLE

Année	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total annuel
1950-51	-	-	176,5	195,0	-	227,6	288,0	299,6	90,5	-	-	-	-
1951-52	-	-	-	224,0	65,0	249,7	244,1	225,2	273,2	0,0	0,0	0,0	-
1952-53	0,0	94,7	173,7	76,8	90,7	213,0	375,0	157,6	67,0	0,0	0,0	0,0	1284,5
1953-54	0,0	33,0	51,0	14,0	20,0	254,5	108,5	174,0	15,5	0,0	0,0	0,0	670,5
1954-55	0,0	156,1	348,9	178,6	211,7	21,4	289,1	267,3	65,0	0,0	0,0	0,0	538,1
1955-56	30,0	-	-	-	115,0	71,0	224,5	206,2	41,2	0,3	G	0,3	-
1956-57	21,2	49,1	217,5	153,8	253,2	332,8	156,3	211,9	68,3	G	0,8	5,2	1470,1
1957-58	9,5	42,2	225,2	311,1	70,9	122,1	108,8	72,9	1,4	0,0	0,0	1,3	965,4
1958-59	8,7	42,0	103,7	123,2	480,2	269,8	225,0	217,1	28,7	0,0	0,7	1,5	1500,6
1959-60	12,5	50,6	335,9	163,2	194,5	304,3	289,4	164,0	58,1	0,0	0,0	0,0	1572,5
1960-61	67,3	141,4	334,2	553,6	-	-	-	-	90,9	-	-	-	-
1961-62	-	-	-	-	30,6	144,4	285,2	129,7	151,5	0,0	0,0	1,6	-
1962-63	4,5	81,7	-	233,4	357,1	253,8	284,2	133,4	251,3	0,0	0,0	0,0	-

satisfaisantes. Cependant, elles permettent de préciser que la région de MOULLE-ST. PAUL est un peu plus arrosée que celle de POINTE-NOIRE.

Pour la même période de 34 ans, la moyenne se situerait aux environs de 1370 mm, alors qu'à POINTE-NOIRE, comme nous allons le voir, elle est égale à 1285 mm.

Le régime pluviométrique du type équatorial de transition austral est caractérisé dans cette région par deux saisons des pluies et deux saisons sèches, mais la saison sèche secondaire, en Décembre ou Janvier ou Février, est peu marquée, elle apparaît même très mal sur la moyenne. Par contre, la saison sèche principale de Mai à Septembre est longue et sévère puisque, pendant trois mois, les précipitations sont nulles et pendant les deux mois de Mai et Septembre, elles restent faibles en général.

Mais ce qui est particulièrement important pour le but qui nous préoccupe, c'est de classer l'hydraulicité de 1963 par rapport à celle de 1958 pendant laquelle se sont produits, dans la région, des étiages particulièrement sévères et qui a fait, à cette époque, l'objet d'études approfondies. Nous procéderons à cet effet à l'analyse des relevés pluviométriques de POINTE-NOIRE.

a) Pluviométrie annuelle :

La distribution des précipitations annuelles est sensiblement gaussienne, avec une probabilité pour que $X^2 > X_0^2$ de 0,40 environ.

On en déduit les caractéristiques suivantes :

$$P_{\text{moy.}} = 1\ 285\ \text{mm}$$

$$P_{\text{max.}} = 2\ 158\ \text{mm}$$

$$P_{\text{min.}} = 585\ \text{mm}$$

$$\text{Ecart-type} = 417\ \text{mm}$$

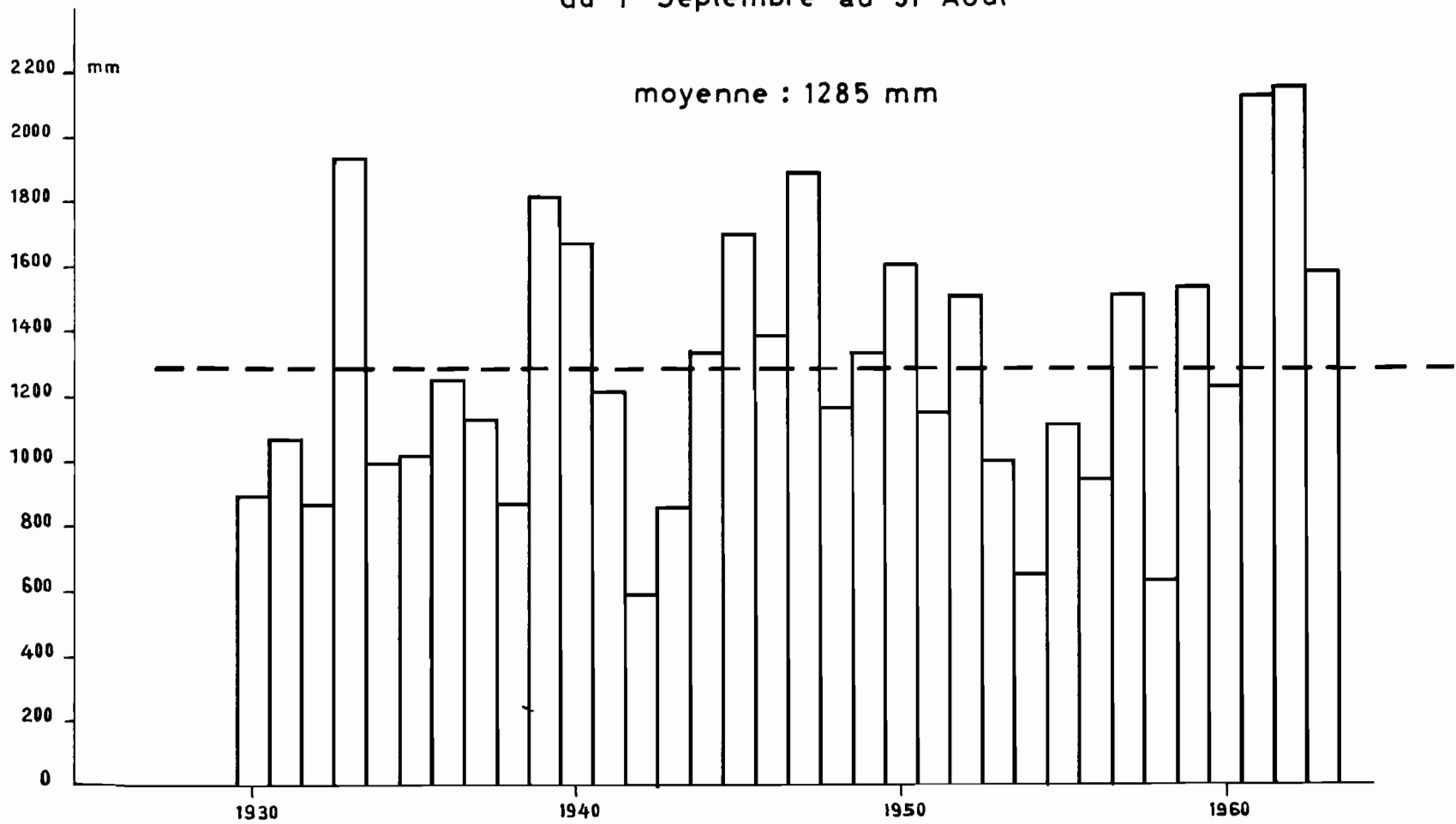
$$\text{Demi intervalle de confiance : } \Delta \bar{P} = 143$$

$$\Delta \sigma = 101$$

NGO. 101.060

PRECIPITATIONS A POINTE NOIRE

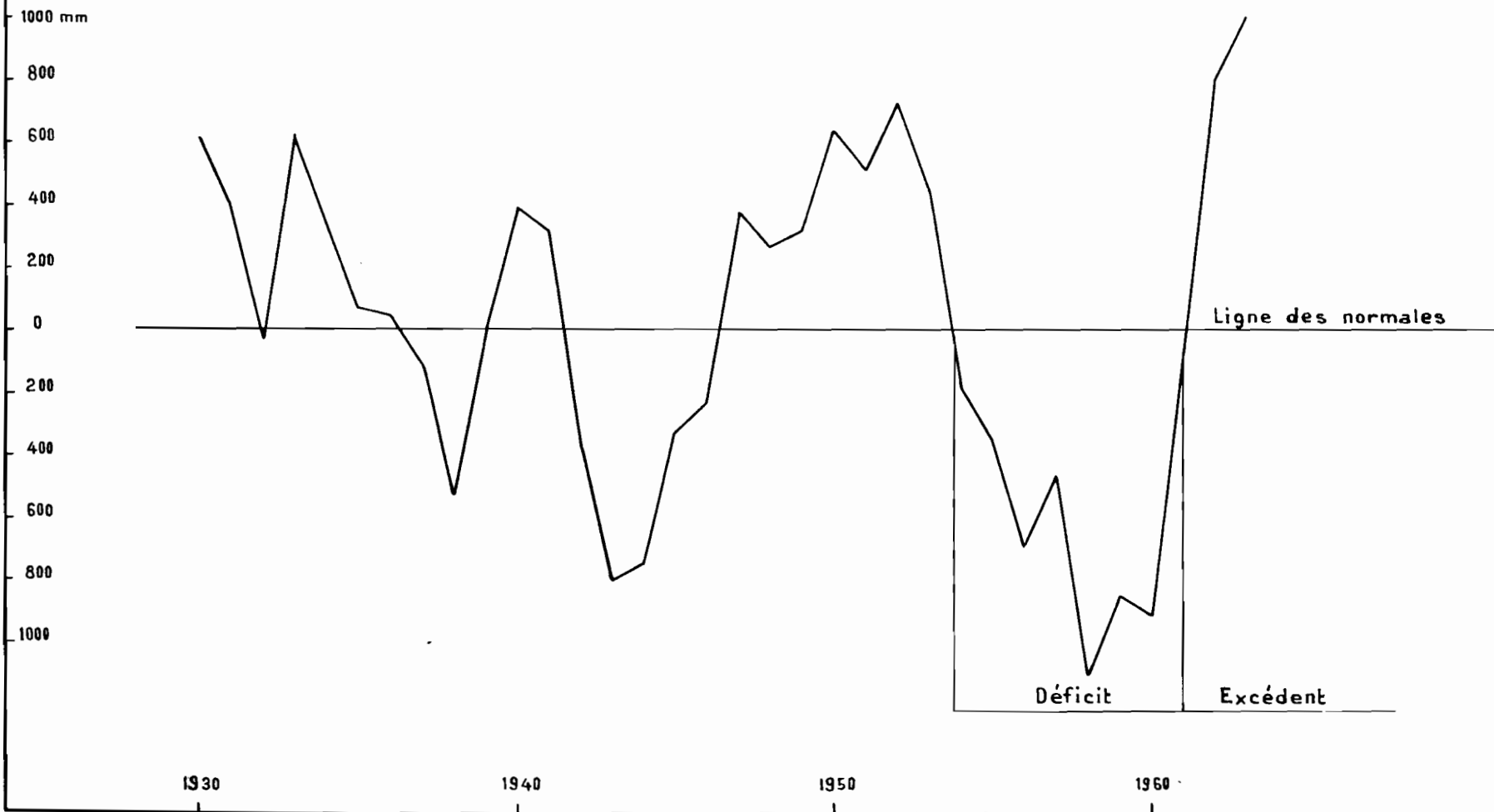
HAUTEURS ANNUELLES
du 1^{er} Septembre au 31 Aout

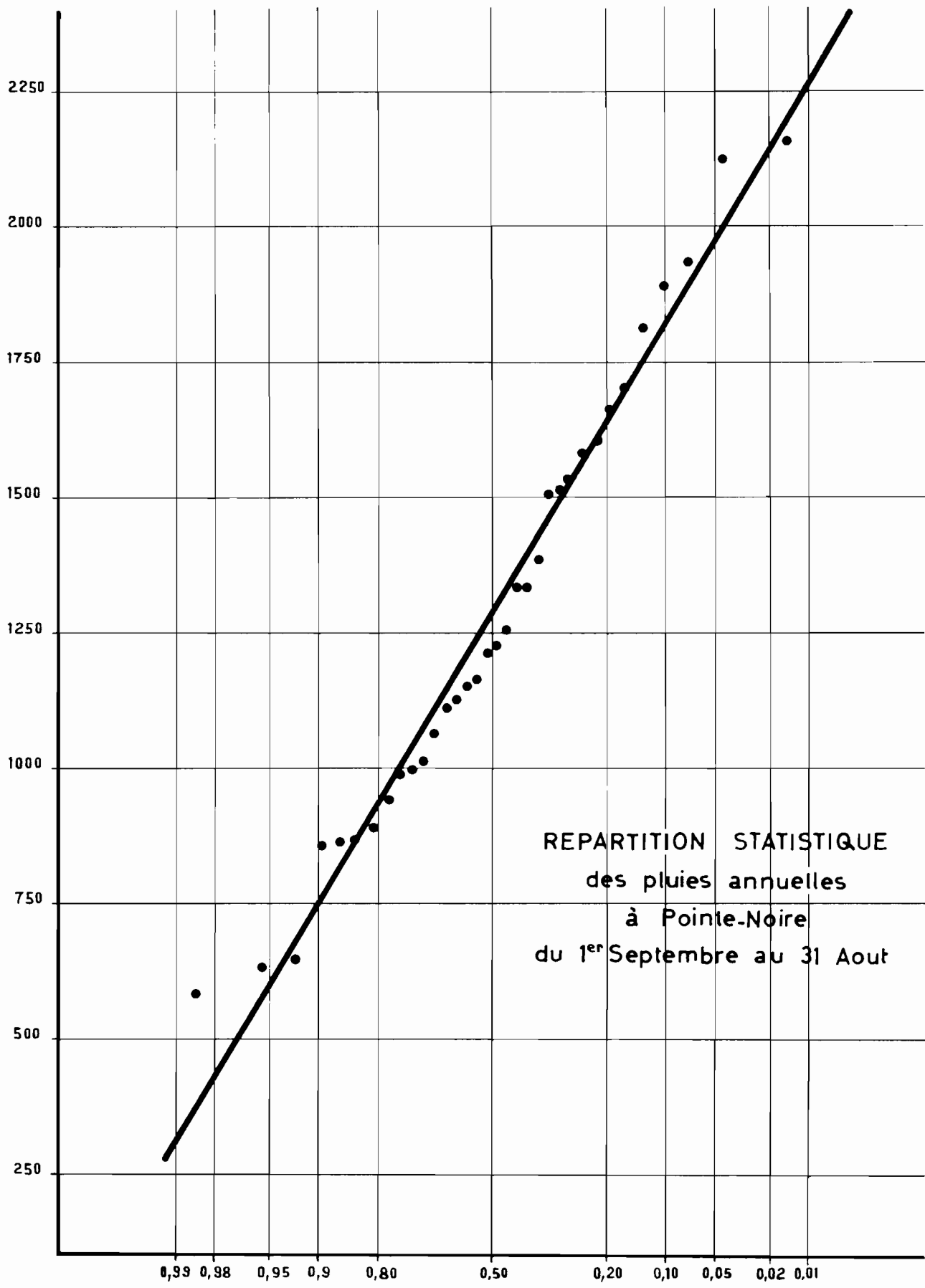


NGO. 101.059

PLUVIOMETRIE A POINTE NOIRE

Ecart à la moyenne cumulé





REPARTITION STATISTIQUE
des pluies annuelles
à Pointe-Noire
du 1^{er} Septembre au 31 Aout

Il y a donc 95 % de chances pour que :
 $1\ 142 < \bar{p} < 1\ 428$
 $316 < \sigma < 518$

Nous pouvons alors dégager les valeurs suivantes :

- Précipitation annuelle cinquantenaire	:	sèche	429
		humide	2 141
- Précipitation annuelle période de retour 20 ans	:	sèche	599
		excédentaire	1 971
- Précipitation annuelle période de retour 10 ans	:	déficitaire	751
		excédentaire	1 819
- Précipitation annuelle période de retour 5 ans	:	déficitaire	934
		excédentaire	1 636

On en déduit le classement suivant pour les années 1958 et 1963 :

- Précipitation en 1958 : 634,1 déficitaire période de retour 1 fois en 17 ans
- Précipitation en 1963 : 1 581,2 excédentaire période de retour 1 fois en 4 ans.

b) Précipitations des 6 derniers mois :

La distribution est très sensiblement gaussique avec probabilité pour que $X^2 > X_0^2$ d'environ 90 % :

F_6 moy.	=	505	
P_6 max.	=	891	$P = 95 \%$
P_6 min.	=	133	$436 < \bar{P}_6 < 574$
Ecart-type	=	201	$152 < \sigma_6 < 250$
\bar{P}_6	=	69	
σ_6	=	49	

On en déduit ce qui suit :

	Déficitaire	Excédentaire
- Période de retour 50 ans	92 mm	919 mm
- Période de retour 20 ans	174 mm	836 mm
- Période de retour 10 ans	248 mm	763 mm
- Période de retour 5 ans	336 mm	675 mm
- 1958 : 133,4 déficitaire période de retour : 1 fois en 31 ans		
- 1963 : 680,1 excédentaire période de retour : 1 fois en 5 ans.		

c) Précipitations des 9 derniers mois :

La distribution s'ajuste moins bien à une loi normale, par suite d'une répartition très irrégulière des pluies de Décembre et Janvier :

P_9 moy.	=	1 015	
P_9 max.	=	1 585	
P_9 min.	=	420	$P = 95 \%$
Ecart-type	=	344	$897 < \bar{P}_9 < 1 133$
ΔP_9	=	118	$261 < \sigma_9 < 427$
$\Delta \sigma_9$	=	83	

On en déduit les résultats suivants :

	Déficitaire	Excédentaire
- Période de retour 50 ans	310 mm	1 721 mm
- Période de retour 20 ans	450 mm	1 580 mm
- Période de retour 10 ans	575 mm	1 455 mm
- Période de retour 5 ans	726 mm	1 304 mm
- 1958 : 419,7 déficitaire période de retour : 1 fois en 24 ans		
- 1963 : 1 143,2 excédentaire période de retour : 1 fois en 3 ans		

d) Influence sur les débits :

Les marigots de la région de HOLLE-ST.PAUL étant essentiellement alimentés par des nappes d'eau souterraines plus ou moins profondes, les étiages ne sont pas seulement influencés par les pluies de l'année qui précède, mais aussi par les pluies tombées antérieurement depuis une période plus ou moins longue qu'il est difficile de préciser sans une étude beaucoup plus approfondie.

Pour situer les étiages 1958 et 1959, donc avoir une idée de l'état des réserves en eau souterraines, il a paru utile de tracer le diagramme cumulatif des écarts pluviométriques à la moyenne annuelle : on remarque immédiatement que la période qui s'étend de 1957 à 1958-1959 est très largement déficitaire, alors que depuis 1960, la pluviométrie ne cesse d'être excédentaire. En 1963, la courbe atteint un niveau encore jamais atteint depuis 1929.

La différence entre 1963 et 1958, soit 2 199 mm, représente, par rapport à 1958, un déficit total de 20,5 mois de pluie.

Considérant, d'après ce qui précède, que l'occurrence de la sécheresse de 1958 se situe entre 20 et 30 ans, nous estimons raisonnable de se référer à cette année, pour estimer l'étiage minimal des marigots de HOLLE.

II -- ETUDE des DEBITS

A -- EQUIPEMENT :

Il était prévu dans la commande que quatre stations seraient aménagées :

Station n°1 sur la TCHIVOUBA à 4 km du croisement de l'ancienne route de BRAZZAVILLE et du CFCO.

Station n°2 en aval du confluent de la TCHIVOUBA et de la ZUIGUILA.

Station n°3 à proximité de la KOSOMBO et de la TCHIVOUBA.

Station n°4 à l'exutoire de la dépression utilisée pour l'épandage des déchets de traitement.

En fait, en plein accord avec la SOFIPOTA, un plus grand nombre de stations a été aménagé. L'équipement général des deux réseaux peut être présenté comme suit :

1°) Echelles limnimétriques observées régulièrement :

Station P₂ sur la TCHIVOUBA contrôlant 57,6 km².

2°) Echelles limnimétriques non observées de façon continue :

Station P₁ sur la TCHIVOUBA contrôlant 33,8 km².

Station P₃ sur la TCHIVOUBA contrôlant 79,5 km².

Station P₅ sur la TCHITOMBI contrôlant 2,96 km².

3°) Stations où sont effectuées les jaugeages :

Stations P₁, P₂, P₃, P₅ et la station P₆, sur la LOUKOULA qui contrôle 10,9 km².

4°) Points où sont effectués des prélèvements d'eau pour analyse :

Stations P₀, P₁, P₂, P₃, P₄ (on trouvera l'implantation de P₀ et P₄ sur la carte ci-contre).

L'ensemble des conditions naturelles est très comparable à ce que l'on peut observer sur les bassins des petits ruisseaux de la région de POINTE-NOIRE. Par exemple, les différences sont faibles avec les plateaux qui bordent la KOULOMBO ; notons seulement sur ce dernier bassin une plus forte prédominance de la savane et une faible pente générale vers la mer, c'est pourquoi il est possible de comparer les résultats obtenus dans la région de LOLE avec ceux de certaines rivières de POINTE-NOIRE étudiées en 1958-1959 et remises en service en 1963.

En 1958-1959, les stations de la région de POINTE-NOIRE étaient les suivantes :

-- KOULOMBO à MPAKA contrôlant	:	110	km ²
-- GAMBOUTSI à LOANDJILI contrôlant	:	56	km ²
-- SONGOLO au district contrôlant	:	38,7	km ²

En 1963, certains emplacements ayant été changés, les superficies contrôlées sont les suivantes :

-- KOULOMBO à TCHINIAMBILOMIE	:	96	km ²
-- GAMBOUTSI à LOANDJILI	:	56	km ²
-- SONGOLO à MBATA	:	29,1	km ²

B - OBSERVATIONS LIMNIMÉTRIQUES :

Elles figurent pour la période de basses eaux 1963-1964 dans les tableaux généraux hauteurs-débits présentés après le paragraphe débits journaliers.

C - MESURES de DEBIT :

On en trouvera la liste ci-après :

P ₁	H cm	Q l/s
7-10-1963	162	509
9-10-1963	161,5	498
14-11-1963	171	670
2-12-1963	159	488
P ₂		
8-11-1963	160	663
12-11-1963	162	721
14-11-1963	171,5	900
18-11-1963	176	1 040
2-12-1963	158	635
P ₃		
15-10-1963	162	1 096
12-11-1963	163	1 111
18-11-1963	179	1 435
P ₄		
9-10-1963	150	30
P ₅		
23-11-1963		150
2-12-1963		143
P ₆		
23-11-1963		150
2-12-1963		143
P ₇		
23-11-1963		2 570
2-12-1963		1 568

KOULOMBO

	H cm	Q l/s
9-11-1963	140	1 650
21-11-1963	184	3 815
3-12-1963	142,5	1 450

SONGOLO

2-10-1963	49	165
4-10-1963	47	118
21-11-1963	74	578
3-12-1963	46	164

GAMBOUISSI

2-10-1963	90	1 234
4-10-1963	88	1 174
21-11-1963	172	3 204
3-12-1963	92	1 145

D -- COURBES d'ETALONNAGE et DEBITS JOURNALIERS :

On trouvera ci-après les courbes d'étalonnage des stations suivantes : P₁, P₂, P₃ et des stations de la KOULOMBO, de la GAMBOUISSI et de la SONGOLO.

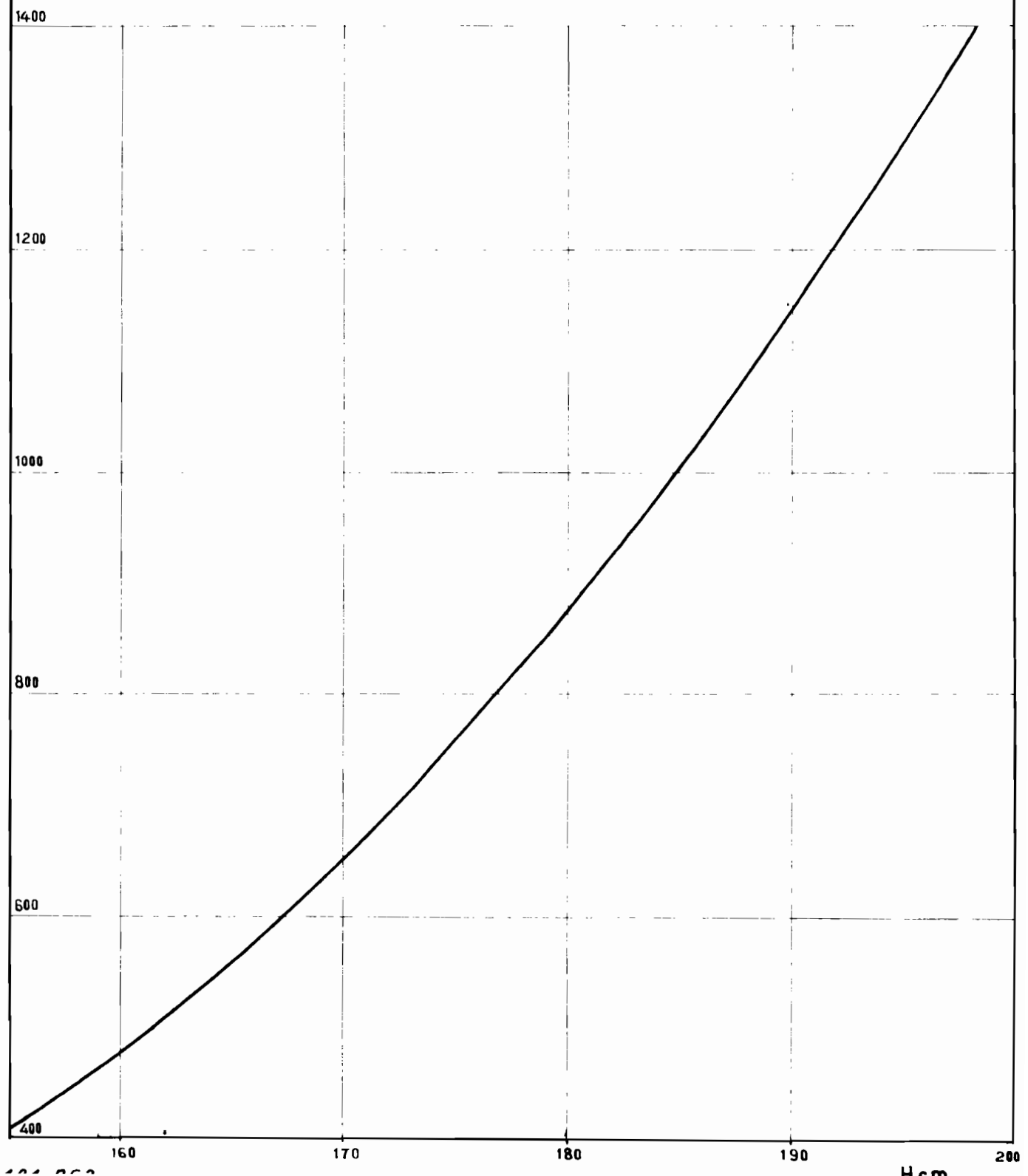
On doit bien considérer qu'il est très difficile, sans aménager des dispositifs spéciaux de tranquillisation, de lire les hauteurs à 1/2 cm près. Etant donné les échelles des hauteurs reportées sur les graphiques ci-joints, soit 4 mm pour 1 cm, il ne faudrait pas rechercher une trop grande précision dans l'utilisation de ces graphiques. Ils ont permis la mise au point des tableaux de hauteurs et de débits journaliers aux mêmes stations.

E -- DEBITS d'ETIAGE :

Les caractéristiques d'étiage sont les plus importantes pour le problème qui nous préoccupe.

TCHIVOUBA au P1
COURBE D'ETALONNAGE

Q l/sec



TCHIVOUBA au P2

COURBE D'ETALONNAGE

Q l/sec

1600

1400

1200

1000

800

600

160

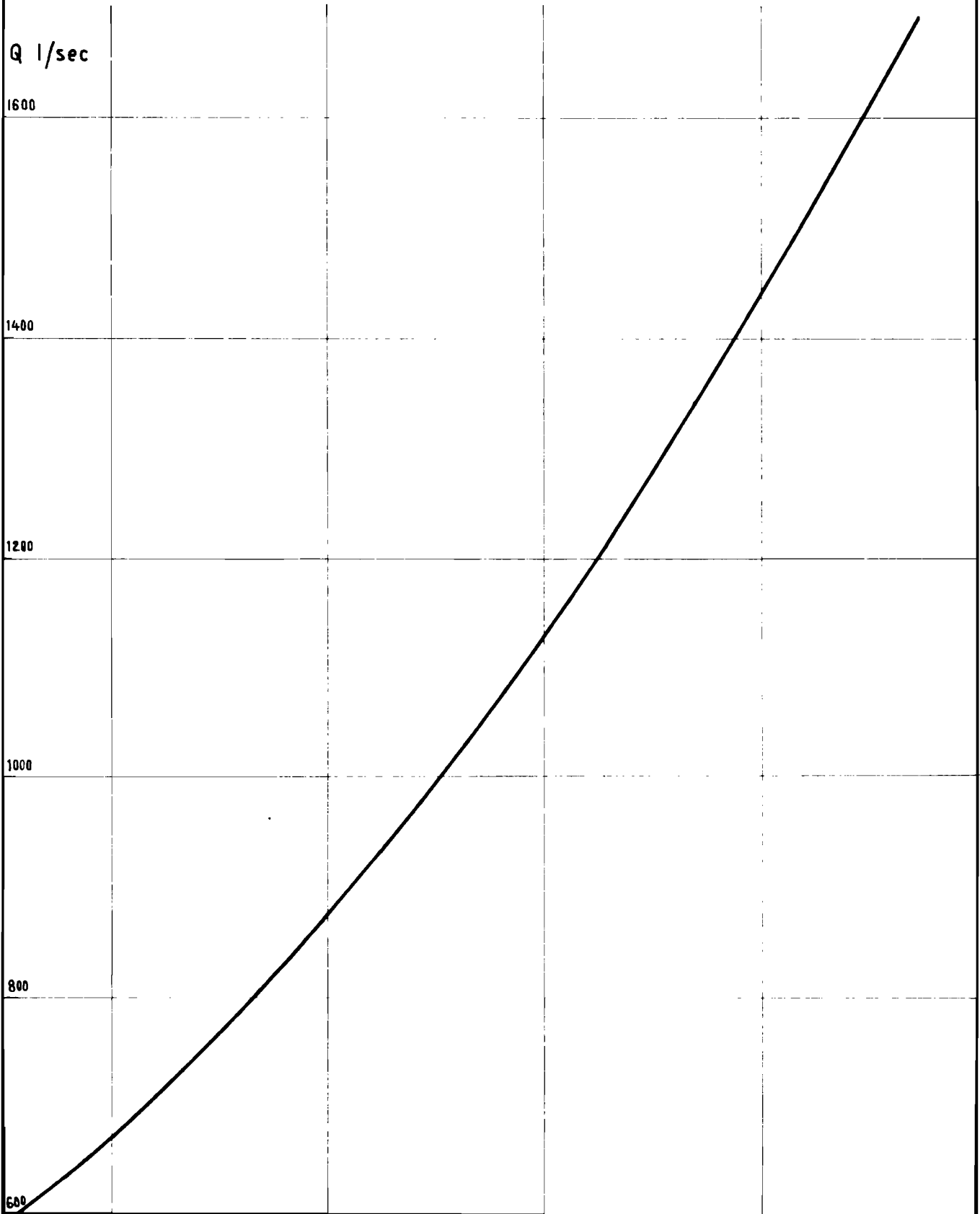
170

180

190

Hcm

200



TCHIVOUBA au P3
COURBE D'ETALONNAGE

Q l/sec

2000

1800

1600

1400

1200

1000

160

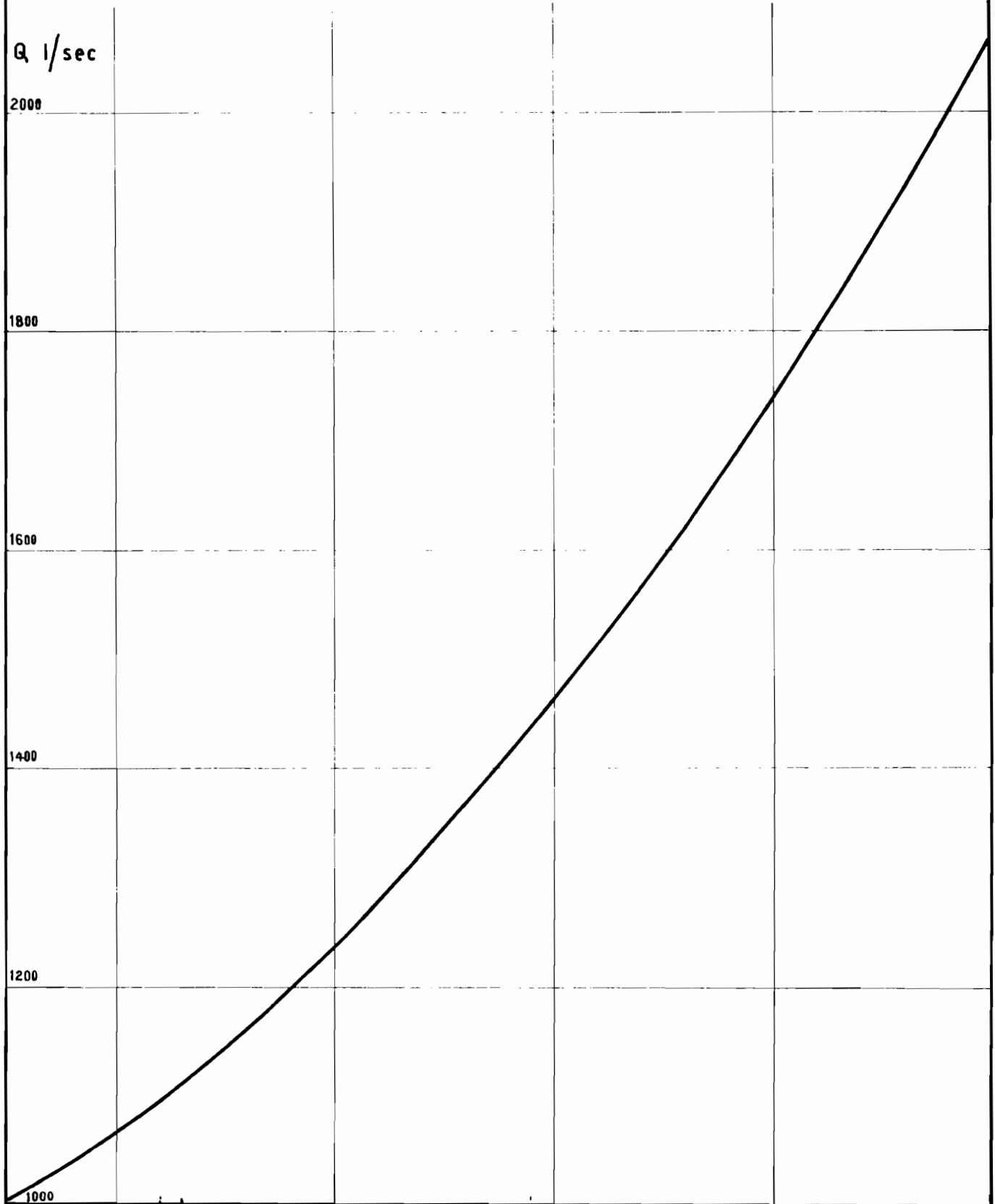
170

180

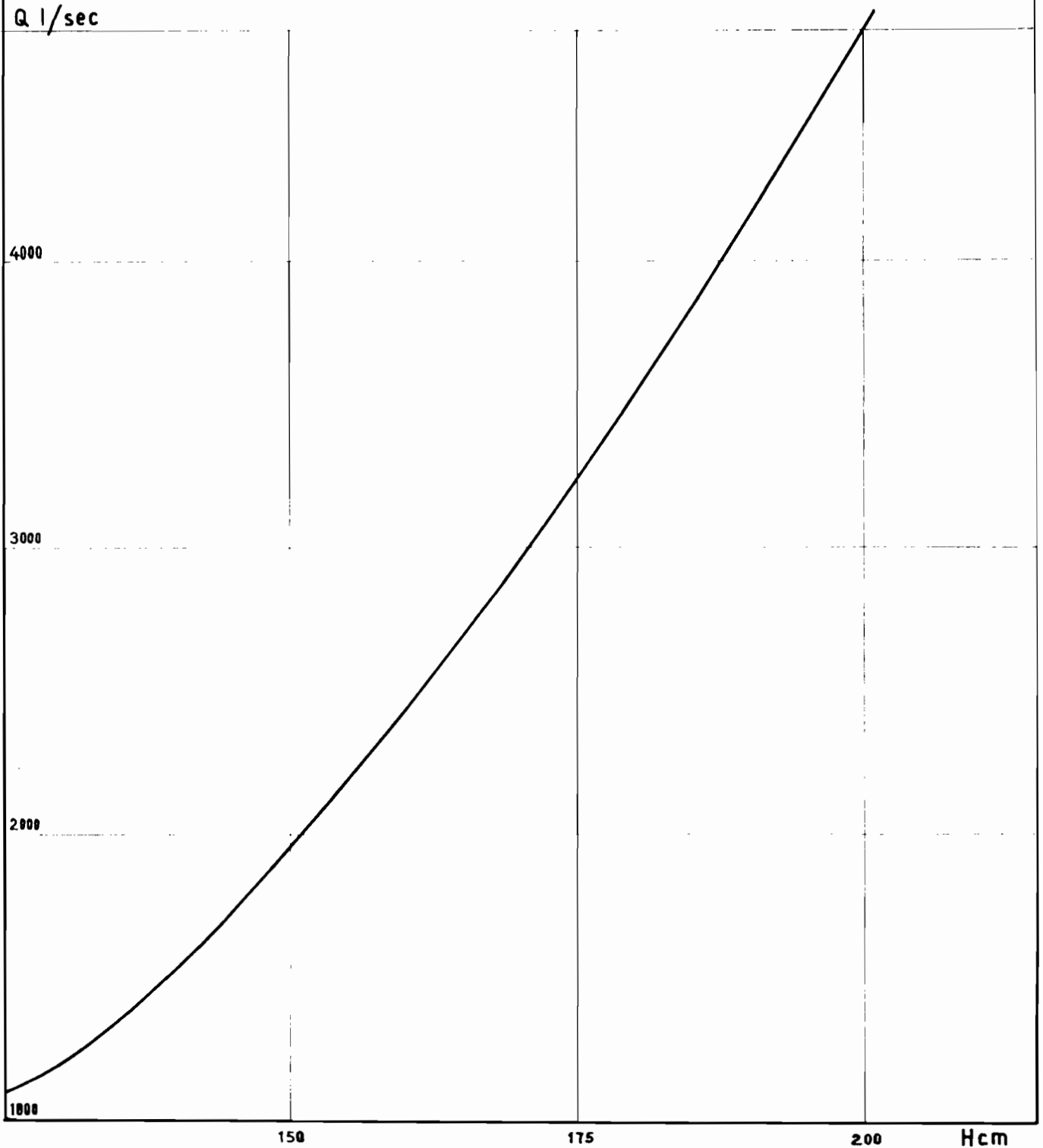
190

200

Hcm



KOULOMBO à TCHINIANBOULOEME
COURBE D'ETALONNAGE



GAMBOUISSI à LOANDJILI

COURBE D'ETALONNAGE

Q l/sec

3000

Hautes eaux

2000

140

160

180

Basse eaux

1000

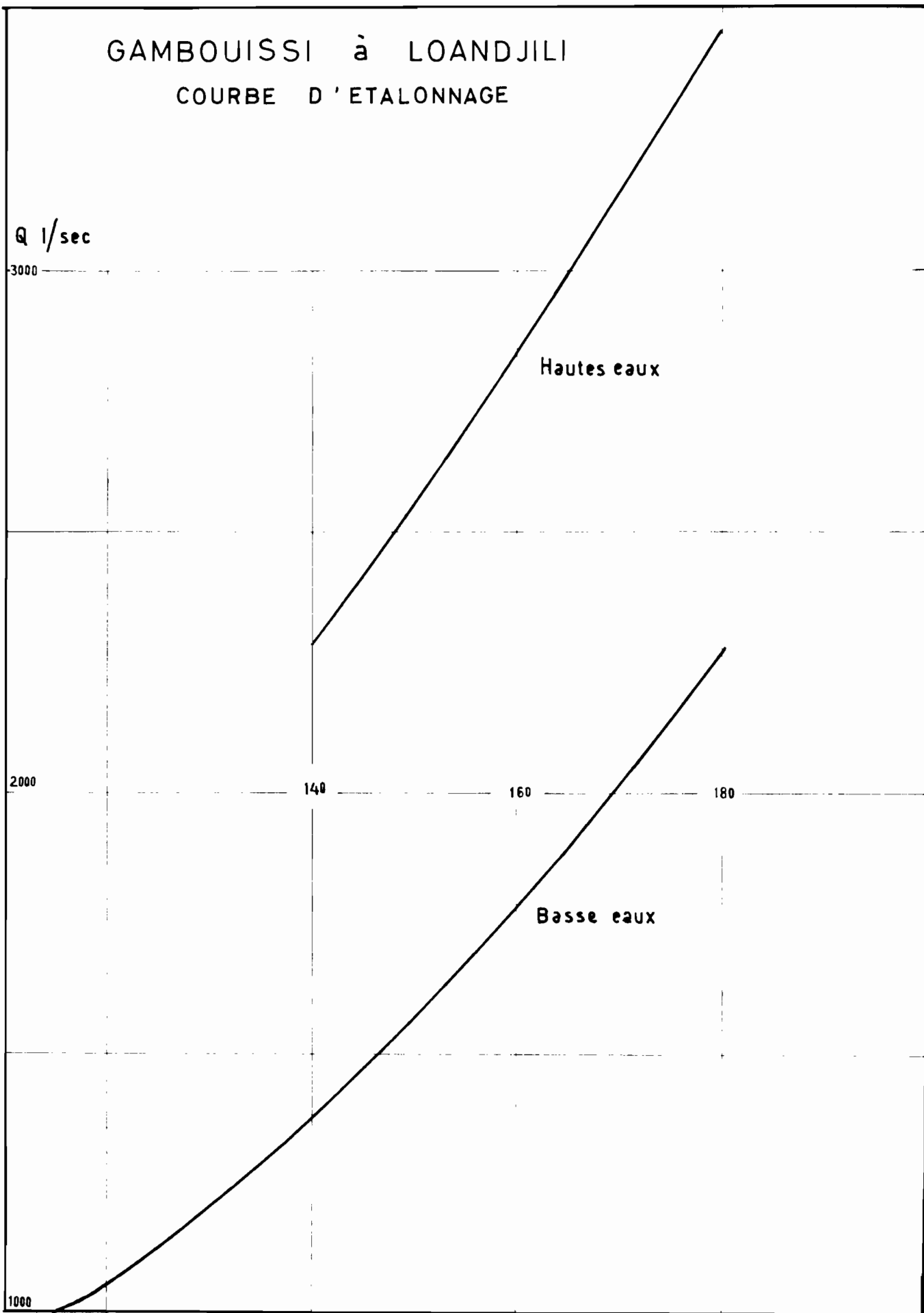
80

100

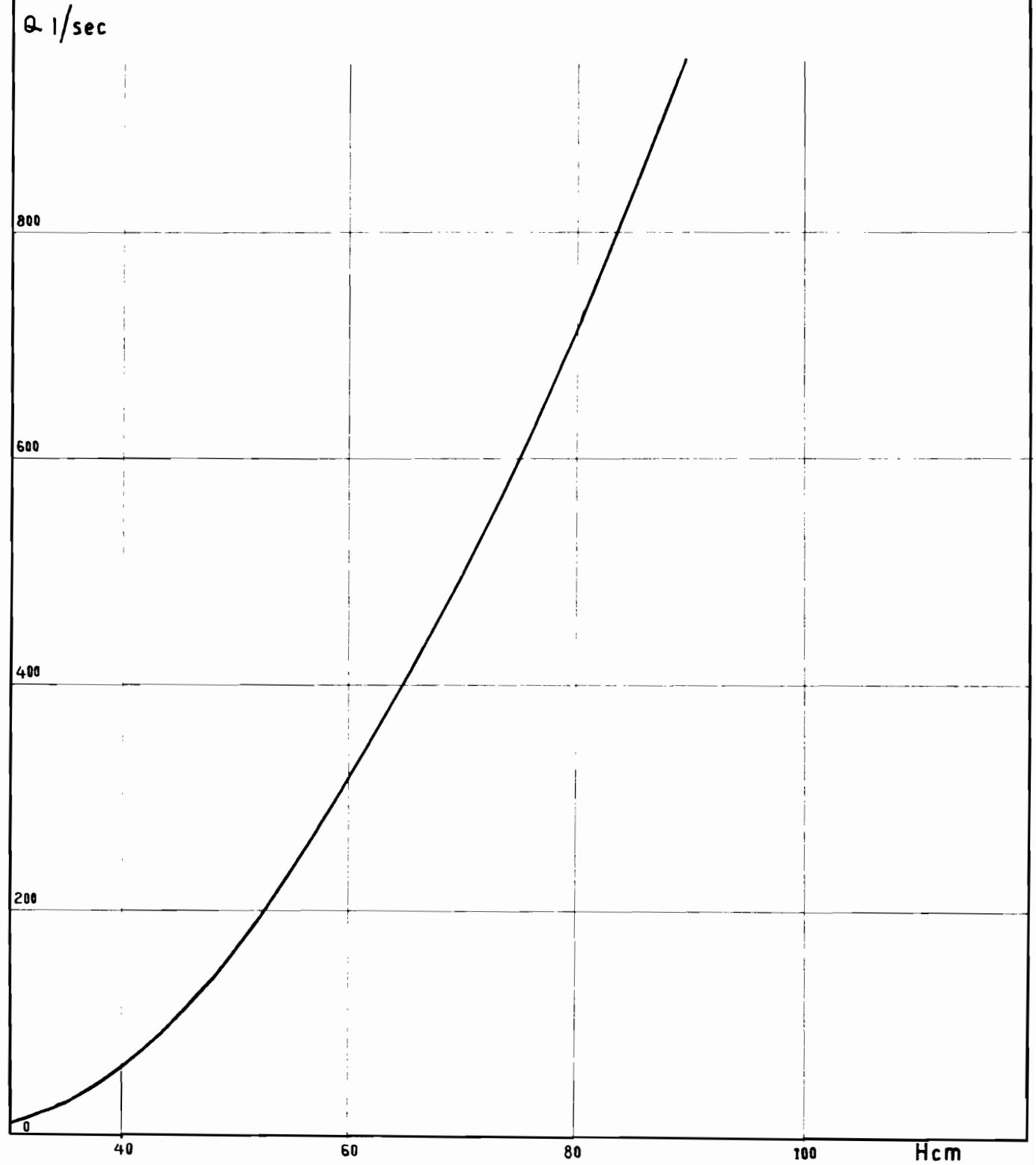
120

140

Hcm



LA SONGOLO à M'BOTA
COURBE D'ETALONNAGE



On considérera d'abord les données obtenues au cours de l'étiage 1963 dans les régions de HOLLE et de POINTE-NOIRE, puis les données de l'étiage 1958 dans la région de POINTE-NOIRE, ce qui nous permettra d'en déduire, par comparaison, des conclusions intéressantes les petits cours d'eau de HOLLE dans le cas particulier d'un étiage rigoureux.

Les tableaux de débits journaliers établis au paragraphe précédent nous permettent de déterminer les étiages 1963.

Pour P₂, station observée de la façon la plus complète, on peut hésiter entre le 17 Décembre avec 588 l/s et le 30 Décembre avec 584 l/s.

Pour les autres stations, l'étiage se produit également vers le 17 Décembre.

Cependant, la GAMBOUISSI présente un étiage équivalent les 7 et 8 Novembre, comme probablement la KOULOMBO. Un étiage secondaire à la même date n'est pas exclu sur les marigots de la région de HOLLE. On constate de façon générale une assez bonne concordance entre les variations de débits de basses eaux de l'année 1963 sur les marigots des deux régions.

Le tableau ci-après présente les étiages observés et les débits relevés au début du tarissement pour les 5 stations: P₁, P₂, P₃, la KOULOMBO et la GAMBOUISSI.

On a calculé également les débits spécifiques d'étiage en l/s.km².

Station	Superficie km ²	Date	Débit l/s	Débit spécifique l/s.km ²
P ₁	33,8	7 Octobre	509	15,1
		17 Décembre	451	13,3
P ₂	57,6	8 Novembre	673	11,7
		17 Décembre	588	10,2
		30 Décembre	584	10,1
P ₃	79,5	15 Octobre	1 098	13,8
		17 Décembre	1 012	12,7
		28 Décembre	1 030	12,9
KOULOMBO	96	16 Décembre	1 506	15,7
GAMBOUSSI	56,1	8 Novembre	1 136	20,2
		16 Décembre	1 136	20,2

L'été 1963 a été abondant : deux séries de pluies, l'une vers le milieu de Novembre, l'autre dans la seconde quinzaine de Décembre, sont venues perturber la courbe de décrue, ce qui rend difficile et peu sûr le calcul d'un coefficient de tarissement valable.

Notons que sur la TCHIVOUBA, la différence de débit spécifique est grande entre P₁ et P₂, ceci peut être dû aux raisons suivantes : le bassin versant à prendre en compte n'est pas exactement le bassin versant géographique, et pour P₁, il est probablement plus grand, le drainage effectué par la TCHIVOUBA proprement dite s'effectuerait à un niveau nettement plus bas que pour son affluent, la KOUBAMBI, qui conflue à l'amont de P₂.

Par ailleurs, la présence de la fenêtre crétacée de perméabilité moindre, située au NE de la station P₂ serait responsable d'une

alimentation moins soutenue.

Il y a enfin des pertes par évaporation dans les fonds de vallées marécageuses entre P₁ et P₃.

La station P₃ draine la nappe à un niveau beaucoup plus bas que P₂ (bien en dessous de la courbe 20 mm), il est normal qu'elle fournisse un débit plus abondant.

Sur la GAMBOUISSI, les ouvrages de prise pour l'alimentation en eau de POINTE-NOIRE régularisent le débit, augmentant donc l'étiage absolu. En plus, le barrage créant une mise en charge doit augmenter artificiellement les réserves souterraines, ce qui explique le débit spécifique élevé de 20 l/s.km².

Ces quelques remarques étant faites, les débits spécifiques sont assez homogènes. Les coefficients de tarissement de l'ordre de 20 à 40 x 10⁻⁴ semblent également très voisins.

Ceci justifie l'utilisation des données de 1958 dans la région de POINTE-NOIRE pour l'estimation des très faibles étiages.

On a observé, à cette époque, les débits suivants :

Station	Superficie km ²	Date	Débit l/s	Débit spécifique l/s.km ²
KOULOMBO	110	4 Octobre 1958	940	8,5
		2 Janv. 1959	880	8,0
		24 Sept. 1959	983	8,9

Les débits spécifiques d'étiage de la KOULOMBO pour l'année 1958 peuvent être obtenus en divisant par 1,97 les débits d'étiage de 1963. Le régime de la KOULOMBO présentant le débit spécifique le plus proche de ceux des cours d'eau de la région de HOLLE, on peut admettre que

le rapport entre étiage 1963 et étiage 1958 serait du même ordre de grandeur. En admettant à titre de sécurité un coefficient de 2,1, on trouverait pour l'étiage 1958 :

à P₁ : 215 l/s soit 6,4 l/s.km² ou 18 600 m³/jour

P₂ : 280 l/s soit 4,9 l/s.km² ou 24 700 m³/jour

P₃ : 480 l/s soit 6,0 l/s.km² ou 41 500 m³/jour

Comme nous l'avons vu plus haut, la période de retour d'un tel étiage serait de l'ordre de 20 à 30 ans,

La valeur médiane du débit d'étiage à P₁ serait de l'ordre de 300 à 350 l/s, soit entre 8,9 et 10,4 l/s.km², valeur forte due à la perméabilité des terrains environnants, mais nettement inférieure à celle que l'on trouve sur les plateaux batékés.

On trouverait pour P₂ : 400 à 450 l/s, soit entre 7 et 7,8 l/s.km², et pour P₃ entre 700 et 800 l/s, soit entre 8,8 et 10 l/s.km².

Année hydrologique
du 1er Septembre au 31 Août

PRECIPITATIONS à POINTE-NOIRE (en mm)

Année	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total annuel
1929-30	19	42	167	96	97	134	181	56	101	0	0	0	892
1930-31	0	157	79	37	170	334	29	242	13	3	0	0	1063
1931-32	11	32	163	108	328	84	46	73	17	0	0	2	864
1932-33	15	40	321	269	78	321	374	377	137	0	2	2	1936
1933-34	16	34	28	42	79	162	262	171	190	8	0	0	990
1934-35	2	27	135	240	100	97	203	130	80	0	0	0	1014
1935-36	35	131	76	211	250	184	186	146	30	1	0	4	1253
1936-37	21	37	49	209	278	77	111	244	99	2	0	1	1128
1937-38	7	42	115	92	68	46	193	146	154	0	0	4	867
1938-39	23	79	193	234	138	414	192	326	211	0	0	3	1812
1939-40	1	22	64	207	472	182	327	354	44	0	0	0	1671
1940-41	13	19	20	143	84	317	235	209	170	0	0	1	1210
1941-42	4	17	30	31	79	147	115	158	6	2	0	1	585
1942-43	9	32	72	139	93	11	133	322	42	0	0	2	856
1943-44	31	15	110	58	199	343	252	166	153	1	0	8	1336
1944-45	21	132	175	265	204	329	387	143	43	0	0	1	1700
1945-46	12	349	349	123	120	91	257	80	2	0	0	2	1386
1946-47	21	118	329	151	340	150	295	140	341	1	0	2	1880
1947-48	4	18	309	108	121	429	125	39	5	1	0	3	1163
1948-49	26	25	151	127	122	179	402	272	26	0	0	2	1333
1949-50	14	127	252	66	175	393	175	232	164	3	0	4	1605
1950-51	4	52	310	70	16	138	223	202	133	0	0	2	1150
1951-52	5	74	183	256	69	315	155	63	382	1	0	1	1504
1952-53	23	76	166	77	99	233	222	54	49	0	0	1	999
1953-54	3	20	31	6	46	224	259	58	3	1	0	0	650
1954-55	10	122	228	70	188	41	160	253	36	0	2	1	1112
1955-56	22	149	237	87	86	97	120	137	7	0	0	2	944
1956-57	11	59	69	110	216	207	558	217	64	0	1	4	1516
1957-58	9	34	171	263	20	4	56	71	1	0	0	5	634
1958-59	6	42	65	28	279	376	576	144	16	0	1	0	1533
1959-60	4	58	178	121	41	375	181	217	52	0	0	0	1226
1960-61	21	160	424	385	304	255	314	271	9	0	0	2	2126
1961-62	27	404	297	184	484	142	334	188	95	0	2	0	2158
1962-63	8	135	296	213	136	115	240	234	205	0	0	0	1581
Moyenne	13	85	172	141	164	204	232	181	90	0,7	0,3	2	1285

HAUTEURS et DEBITS JOURNALIERS

à la station P₁

Année 1963

: Jours :	: Octobre :		: Novembre :		: Décembre :	
	: Cote :	: Débit :	: Cote :	: Débit :	: Cote :	: Débit :
: 1 :	:	:	:	:	: 158 :	: 451 :
: 2 :	:	:	:	:	: 159 :	: 464 :
: 3 :	:	:	:	:	: 158,5 :	: 458 :
: 4 :	:	:	:	:	: 158,5 :	: 458 :
: 5 :	:	:	:	:	:	:
: 6 :	:	:	:	:	:	:
: 7 :	: 162 :	: 509 :	:	:	:	:
: 8 :	:	:	: 160 :	: 476 :	:	:
: 9 :	: 161,5 :	: 500 :	:	:	:	:
: 10 :	:	:	:	:	:	:
: 11 :	:	:	:	:	:	:
: 12 :	:	:	: 160,5 :	: 484 :	:	:
: 13 :	:	:	:	:	:	:
: 14 :	:	:	: 171 :	: 674 :	:	:
: 15 :	:	:	:	:	:	:
: 16 :	:	:	:	:	:	:
: 17 :	:	:	: 179 :	: 852 :	: 158 :	: 451 :
: 18 :	:	:	: 170 :	: 653 :	: 161,5 :	: 500 :
: 19 :	:	:	:	:	:	:
: 20 :	:	:	:	:	:	:
: 21 :	:	:	: 171 :	: 674 :	: 191 :	: 1180 :
: 22 :	:	:	:	:	: 193 :	: 1240 :
: 23 :	:	:	: 162 :	: 509 :	:	:
: 24 :	:	:	:	:	:	:
: 25 :	:	:	:	:	:	:
: 26 :	:	:	: 161 :	: 492 :	:	:
: 27 :	:	:	: 160,5 :	: 484 :	:	:
: 28 :	:	:	:	:	: 159 :	: 464 :
: 29 :	:	:	:	:	:	:
: 30 :	:	:	:	:	:	:
: 31 :	:	:	:	:	:	:

- Cote en cm
- Débit en m³/s

HAUTEURS et DEBITS JOURNALIERS

à la station P₂

Année 1963 - 1964

: Jours :	: Novembre :				: Décembre :				: Janvier :			
	: 7 h :		: 18 h :		: 7 h :		: 18 h :		: 7 h :		: 18 h :	
	: Cote :	: Débit:	: Cote :	: Débit:	: Cote :	: Débit:	: Cote :	: Débit:	: Cote :	: Débit:	: Cote :	: Débit:
: 1 :	:	:	:	:	: 158 :	: 642 :	: 158 :	: 642 :	: 180,5 :	: 1147 :	: 173 :	: 949 :
: 2 :	:	:	:	:	: 158 :	: 642 :	: 158 :	: 642 :	: 161 :	: 692 :	: 159 :	: 658 :
: 3 :	:	:	:	:	: 157,5 :	: 633 :	: 157,5 :	: 633 :	: 169 :	: 855 :	: 177 :	: 1051 :
: 4 :	:	:	:	:	: 157 :	: 626 :	: 157,5 :	: 633 :	: 181 :	: 1162 :	: 178 :	: 1078 :
: 5 :	:	:	:	:	: 158 :	: 642 :	: 158 :	: 642 :	: 199 :	: 1714 :	: 200 :	: 1745 :
: 6 :	:	:	:	:	: 158,5 :	: 650 :	:	:	: 194 :	: 1559 :	: 186 :	: 1311 :
: 7 :	:	:	:	:	: 157 :	: 626 :	:	:	: 174 :	: 973 :	: 168 :	: 833 :
: 8 :	: 160 :	: 673 :	:	:	: 158 :	: 642 :	:	:	: 162 :	: 711 :	: 161,5 :	: 701 :
: 9 :	:	:	:	:	: 157 :	: 626 :	:	:	: 159 :	: 658 :	: 158 :	: 642 :
: 10 :	: 161 :	: 692 :	:	:	: 157 :	: 626 :	:	:	: 164 :	: 748 :	: 165 :	: 767 :
: 11 :	:	:	:	:	: 157,5 :	: 633 :	:	:	: 161 :	: 692 :	: 163 :	: 729 :
: 12 :	: 162 :	: 711 :	:	:	: 156 :	: 611 :	:	:	: 162,5 :	: 720 :	: 160,5 :	: 683 :
: 13 :	:	:	:	:	: 156 :	: 611 :	:	:	: 191 :	: 1466 :	: 201 :	: 1802 :
: 14 :	: 171,5 :	: 913 :	:	:	: 157 :	: 626 :	:	:	: 195,5 :	: 1606 :	: 182 :	: 1191 :
: 15 :	:	:	:	:	: 157 :	: 626 :	:	:	: 165 :	: 767 :	: 165,5 :	: 778 :
: 16 :	:	:	:	:	: 156,5 :	: 619 :	:	:	: 160 :	: 673 :	: (151) :	: (551) :
: 17 :	:	:	:	:	: 154,2 :	: 588 :	:	:	: 170 :	: 877 :	: 173 :	: 949 :
: 18 :	: 176 :	: 1024 :	:	:	: 161,5 :	: 702 :	:	:	: 174,5 :	: 985 :	: 165 :	: 767 :
: 19 :	: 165 :	: 767 :	:	:	: 161 :	: 692 :	:	:	: 161 :	: 692 :	: 159 :	: 658 :
: 20 :	: 160 :	: 673 :	:	:	: 158,5 :	: 650 :	:	:	: 159,5 :	: 666 :	: 159 :	: 658 :
: 21 :	: 190 :	: 1435 :	:	:	: 157 :	: 626 :	: 173 :	: 949 :	: 158,5 :	: 650 :	: 158 :	: 642 :
: 22 :	: 172 :	: 925 :	:	:	: 205 :	: 1940 :	:	:	: 157 :	: 626 :	: 156 :	: 611 :
: 23 :	: 162 :	: 711 :	: 160 :	: 673 :	: 168 :	: 833 :	: 165 :	: 767 :	: 155,5 :	: 603 :	: 156 :	: 611 :
: 24 :	: 159,5 :	: 666 :	: 159,5 :	: 666 :	: 160 :	: 673 :	: 159,5 :	: 666 :	: 157 :	: 626 :	: 158 :	: 642 :
: 25 :	: 159,5 :	: 666 :	: 159,5 :	: 666 :	: 158 :	: 642 :	: 157 :	: 676 :	: 156 :	: 611 :	: 157 :	: 626 :
: 26 :	: 159,5 :	: 666 :	: 159,5 :	: 666 :	: 158 :	: 642 :	: 157 :	: 626 :	: 159,5 :	: 666 :	: 168 :	: 833 :
: 27 :	: 159,5 :	: 666 :	: 159 :	: 658 :	: 156 :	: 611 :	: 156 :	: 611 :	: 187 :	: 1342 :	: 180 :	: 1132 :
: 28 :	: 159 :	: 658 :	: 158,5 :	: 650 :	: 155 :	: 595 :	: 153 :	: 573 :	: 163 :	: 729 :	: 161 :	: 692 :
: 29 :	: " :	:	:	:	: 156 :	: 611 :	: 155 :	: 595 :	: 159 :	: 658 :	: 158,5 :	: 650 :
: 30 :	: " :	:	:	:	: 154 :	: 584 :	: 153 :	: 573 :	: 157 :	: 626 :	: 156 :	: 611 :
: 31 :	:	:	:	:	: 181 :	: 1162 :	: 184 :	: 1251 :	: 156 :	: 611 :	: 158 :	: 642 :

- Cote en cm

- Débit en m³/s

HAUTEURS et DEBITS JOURNALIERS

à la stations P₃

Année 1963

: Jours	: Octobre		: Novembre		: Décembre	
	: Cote	: Débit	: Cote	: Débit	: Cote	: Débit
: 1					: 158	: 1042
: 2					: 158	: 1042
: 3					: 157,5	: 1036
: 4					: 158	: 1042
: 5						
: 6						
: 7						
: 8			: 160	: 1066		
: 9						
: 10						
: 11						
: 12			: 163	: 1113		
: 13						
: 14						
: 15	: 162	: 1098	: 162	: 1098		
: 16						
: 17					: 155,5	: 1012
: 18			: 179	: 1437		
: 19						
: 20						
: 21						
: 22						
: 23						
: 24						
: 25						
: 26			: 161	: 1082		
: 27			: 162	: 1098		
: 28					: 157	: 1030
: 29						
: 30						
: 31						

- Cote en cm
- Débit en m³/s

HAUTEURS et DEBITS JOURNALIERS

à la station de la SONGOLO

Année 1963 - 1964

: Jours :	: Octobre :	: Novembre :	: Décembre :	: Janvier :		: Février :
				7 h :	18 h :	
	: Cote :	: Cote :	: Cote :	: Cote :	: Cote :	: Cote :
: 1 :		: 47 :	: 47 :	: 67 :	: 67 :	: 51 :
: 2 :	: 49 :	: 48 :	: 46 :	: 67 :	: 69 :	: 65 :
: 3 :		: 48 :	: 46 :	: 87 :	: 85 :	: 61 :
: 4 :	: 47 :	: 48 :	: 46 :	: 84 :	: 84 :	: 58 :
: 5 :		: 48 :	: 45 :	: 88 :	: 86 :	: 56 :
: 6 :		: 48 :	: 47 :	: 85 :	: 80 :	: 56 :
: 7 :		: 49 :	: 47 :	: 64 :	: 61 :	: 55 :
: 8 :		: 49 :	: 46 :	: 58 :	: 54 :	: 54 :
: 9 :		: 50 :	: 45 :	: 52 :	: 52 :	: 53 :
: 10 :		: 50 :	: 46 :	: 51 :	: 51 :	: 55 :
: 11 :		: 48 :	: 46 :	: 51 :	: 50 :	: 102 :
: 12 :		: 51 :	: 45 :	: 50 :	: 50 :	: 100 :
: 13 :		: 51 :	: 47 :	: 60 :	: 58 :	: 65 :
: 14 :		: 58 :	: 47 :	: 57 :	: 56 :	: 77 :
: 15 :		: 52 :	: 47 :	: 55 :	: 54 :	: 75 :
: 16 :		: 53 :	: 47 :	: 54 :	: 54 :	: 65 :
: 17 :		: 90 :	: 48 :	: 67 :	: 66 :	: 62 :
: 18 :	: 46 :	: 66 :	: 49 :	: 60 :	: 59 :	: 62 :
: 19 :	: 48 :	: 64 :	: 49 :	: 57 :	: 56 :	: 61 :
: 20 :	: 48 :	: 61 :	: 48 :	: 55 :	: 54 :	: 61 :
: 21 :	: 48 :	: 74 :	: 49 :	: 53 :	: 53 :	: 62 :
: 22 :	: 48 :	: 82 :	: 51 :	: 55 :	: 55 :	: 62 :
: 23 :	: 48 :	: 51 :	: 51 :	: 54 :	: 54 :	: 61 :
: 24 :	: 48 :	: 49 :	: 49 :	: 55 :	: 55 :	: 67 :
: 25 :	: 48 :	: 49 :	: 48 :	: 58 :	: 59 :	: 66 :
: 26 :	: 48 :	: 48 :	: 48 :	: 66 :	: 65 :	: 65 :
: 27 :	: 47 :	: 47 :	: 49 :	: 64 :	: 63 :	: 64 :
: 28 :	: 46 :	: 48 :	: 48 :	: 63 :	: 59 :	: 63 :
: 29 :	: 47 :	: 48 :	: 48 :	: 53 :	: 53 :	: 60 :
: 30 :	: 46 :	: 46 :	: 48 :	: 52 :	: 51 :	
: 31 :	: 46 :		: 48 :	: 50 :	: 50 :	

- Cote en cm

HAUTEURS et DEBITS JOURNALIERS

à la station de la KOULOMBO

Année 1963 - 1964

	Novembre		Décembre		Janvier					
	7 h	18 h	7 h	18 h	7 h	18 h				
	Cote: Débit:	Cote: Débit:	Cote: Débit:	Cote: Débit:	Cote: Débit:	Cote: Débit:				
1			:143	:1668	:143	:1668	:159	:2392	:162	:2540
2			:143	:1668	:143	:1668	:162	:2540	:163	:2590
3			:142,5	:1648	:142,5	:1648	:164	:2640	:164	:2640
4			:142	:1627	:142	:1627	:163	:2590	:162	:2540
5			:141	:1586	:141,5	:1607	:161	:2490	:160,5	:2465
6			:141	:1586	:141	:1586	:160	:2440	:158	:2344
7			:"	:"	:"	:"	:157	:2296	:156	:2248
8			:"	:"	:"	:"	:154	:2154	:153	:2108
9	:140	:1545	:140,5	:1566	:140	:1545	:152	:2062	:151	:2016
10			:140	:1545	:139,5	:1526	:148	:1882	:146	:1794
11			:139	:1506	:139	:1506	:145	:1750	:143	:1668
12			:"	:"	:"	:"	:142,5	:1648	:141	:1586
13	:146	:1794	:"	:"	:"	:"	-	-	-	-
14	:151	:2016	:"	:"	:"	:"	-	-	-	-
15	:152	:2062	:"	:"	:"	:"	-	-	-	-
16	:175	:3240	:"	:"	:"	:"	-	-	-	-
17	:163	:2590	:142	:1627	:149	:1926	-	-	-	-
18	:171	:3008	:161	:2490	:173	:3124	:149	:1926	:149	:1926
19	:170,5	:2979	:175	:3240	:165	:2690	:149	:1926	:149	:1926
20	:162	:2540	:163	:2590	:159	:2392	:148,5	:1904	:148	:1882
21	:184	:3770	:158	:2344	:157	:2296	:148	:1882	:147	:1838
22	:186	:3895	:157	:2296	:155	:2200	:147	:1838	:146	:1794
23	:161	:2490	158	:2344	:153	:2108	:150	:1970	:146	:1794
24	:154,5	:2177	152	:2062	:150	:1970	:149	:1926	:144,5	:1730
25	:148,5	:1904	148	:1882	:148	:1882	:148,5	:1904	:144	:1709
26	:146,5	:1816	146	:1794	:147	:1838	:145	:1750	:143	:1668
27	:144,5	:1730	144	:1709	:145	:1750	:144	:1709	:142	:1627
28	:144	:1709	144	:1709	:144	:1709	:144	:1709	:150	:1970
29	:145	:1750	144,5	:1730	:143	:1668	:143	:1668	:153	:2108
30	:144	:1709	143	:1668	:142	:1627	:142	:1627	:152	:2062
31			:142	:1627	:159	:2392	:148	:1882	:145	:1750

- Cote en cm
- Débit en m³/s

HAUTEURS et DEBITS JOURNALIERS

à la station de GAMBOUISSI

Année 1963 - 1964

: Jours :	: Octobre :		: Novembre :		: Décembre :		: Janvier :		: Février :		: Mars :			
	: Cote :	: Débit :	: Cote :	: Débit :	: Cote :	: Débit :	: Cote :	: Débit :	: Cote :	: Débit :	: Cote :	: Débit :		
							7 h	17 h						
1			86	1136	94	1270	95	1288	94	1270	90	1200	85	1120
2	90	1200	88	1168	92	1235	93	1253	93	1253	112	1610	84	1104
3			92	1235	92	1235	198	4040	198	4040	109	1550	83	1088
4	88	1168	88	1168	92	1235	220	4760	218	4690	105	1473	85	1120
5			86	1136	90	1200	230	5100	227	5000	95	1288	83	1088
6			87	1152	89	1184	225	4930	223	4860	92	1235	80	1040
7			86	1136	89	1184	115	1680	113	1640	92	1235	79	1025
8			86	1136	88	1168	112	1610	111	1590	91	1218	75	965
9			86	1136	88	1168	109	1550	97	1323	88	1168	71	905
10			87	1152	89	1184	96	1305	96	1305	87	1152	70	890
11			85	1120	88	1168	93	1253	92	1235	202	4170	75	965
12			87	1152	89	1184	91	1218	91	1218	197	4000	82	1072
13			87	1152	89	1184	109	1550	108	1530	164	2970	88	1168
14			120	1790	86	1136	106	1492	104	1463	113	1640	85	1120
15			120	1790	87	1152	98	1340	97	1323	109	1550	82	1072
16			120	1790	86	1136	94	1270	93	1253	102	1414	86	1136
17			145	2430	87	1152	98	1340	99	1358	98	1340	83	1088
18	87	1152	147	2480	113	1640	97	1323	95	1288	94	1270	80	1040
19	86	1136	149	2530	111	1590	96	1305	94	1270	94	1270	80	1040
20	87	1152	172	3210	110	1570	93	1253	93	1253	92	1235	89	1184
21	88	1168	172	3210	112	1610	113	1640	111	1590	91	1218	98	1340
22	88	1168	(97)	1323	127	1950	109	1550	107	1510	89	1184	97	1323
23	87	1152	87	1152	160	2850	93	1253	93	1253	89	1184	93	1253
24	87	1152	85	1120	160	2850	92	1235	92	1235	89	1184	91	1218
25	87	1152	170	3150	132	2070	91	1218	90	1200	87	1152	90	1200
26	87	1152	160	2850	115	1680	97	1323	98	1340	85	1120	115	1680
27	85	1120	99	1358	92	1235	102	1414	100	1375	84	1104	113	1640
28	85	1120	98	1340	92	1235	98	1340	97	1323	84	1104	110	1570
29	85	1120	97	1323	91	1218	97	1323	96	1305	81	1056	100	1375
30	85	1120	94	1270	90,5	1209	95	1288	95	1288			95	1288
31	85	1120			90	1200	92	1235	90	1200			94	1270

Cote en cm

Débit en m³/s

III . ANALYSES de l'EAU de la REGION de HOLLE-St-PAUL

A - EMPLACEMENT des PRELEVEMENTS -

Les prélèvements ont été effectués au droit de chacune des stations de contrôle du débit : P1, P2, P3.

En outre, il a paru intéressant de connaître la qualité de l'eau qui n'a pas encore été en contact prolongé avec l'atmosphère et les divers agents de pollution. On a choisi, à cet effet, une tête de marigot en P0, remplacée ultérieurement, par suite des conditions d'accès difficiles, par la tête du marigot situé au droit de la station de pompage provisoire, en P4.

Enfin, en amont de P4, une fosse a été creusée pour permettre le prélèvement de l'eau qui sourd directement du sol ; ce point n'a pu, hélas, être retenu, la mobilité des sables rendant impossible la stabilisation de la cavité qu'il était, par ailleurs, difficile de maintenir propre.

B - MODE OPERATOIRE -

Chaque prélèvement comporte le remplissage de cinq flacons :

- 2 flacons en plastique de 2 litres (destinés aux analyses chimiques à BRAZZAVILLE).
- 2 flacons en plastique de 0,5 litre (destinés à l'analyse du CO² libre et au pH à POINTE-NOIRE).
- 1 flacon en verre, stérilisé, destiné aux analyses bactériologiques.

Les consignes suivantes ont été observées :

Les flacons en plastique doivent être rincés énergiquement à trois reprises avec l'eau à prélever.

Pour le prélèvement proprement dit, plonger le flacon en plein courant (au milieu du marigot), la partie supérieure du flacon étant à une vingtaine de centimètres de la surface.

Quand le remplissage est terminé, attendre quelques dizaines de secondes en maintenant le flacon immergé (évacuation des bulles). Mettre alors le ou les bouchons en place, serrer énergiquement. On peut alors sortir le flacon de l'eau.

Il sera aussitôt placé dans une boîte à glace.

Les flacons en verre, stérilisés, doivent être plongés tels qu'ils se présentent, en plein courant, en les maintenant légèrement inclinés vers le bas.

Détacher sous l'eau l'emballage du bouchon et le capuchon en papier du flacon. Remplir le flacon de façon qu'il reste une bulle d'air de 2 ou 3 cc. Mettre en place le bouchon. Sortir le flacon de l'eau. Recouvrir le goulot d'un petit sachet en plastique solidement serré avec un élastique. Placer le flacon dans la boîte à glace.

Les boîtes à glace ont été aussitôt acheminées :

- les unes vers l'aérodrome où elles étaient immédiatement embarquées, l'horaire des prélèvements ayant été immédiatement établi en fonction des heures de départ des avions directs sur BRAZZAVILLE.

Les délais écoulés entre les prélèvements et l'arrivée des échantillons dans les laboratoires de BRAZZAVILLE n'ont jamais excédé 4 heures. La glace s'est toujours parfaitement conservée pendant le transport, bien que préparée plusieurs heures à l'avance;

- les autres vers le laboratoire du Centre Océanographique, pour analyse du CO² libre.

C - ANALYSES BACTERIOLOGIQUES -

On trouvera, reproduits dans les tableaux ci-joints, les résultats des analyses effectuées par l'Institut Pasteur de BRAZZAVILLE.

Une analyse complète a été demandée pour le point 4 le 17 Décembre. Elle présente une pollution pour le moins anormale, alors qu'il n'y a aucun habitant à des kilomètres à la ronde et que l'eau sourd directement du sol. Peut-être pourrait-on incriminer un couple de gorilles qui hante le boquetau où est situé ce point ? Les bactéries décelées sont en effet d'origine fécale.

Analyse bactériologique d'eaux de consommation
(Colimétrie)

adressée à l'Institut Pasteur par O.R.S.T.O.M.

Date du prélèvement	N° des flacons	Lieux de prélèvement	Heures des prélèvements	N° examen	Résultats	Indice MPN
16/11/1963	0	Tête de Marigot	4 h.30	394	E. Coli : + Coliformes : +	24 000
	1	Marigot	4 h.45	395	E. Coli : + Coliformes : +	24 000
	2	Marigot	4 h.40	396	E. Coli : + Coliformes : +	24 000
	3	Marigot	4 h.45	397	E. Coli : + Coliformes : +	390
	4	Tête de Marigot	5 h.00	398	E. Coli : + Coliformes : +	24 000
26/11/1963	1	Tchivouba	6 h.35	414	E. Coli : + Coliformes : +	24 000
	2	"	6 h.40	415	E. Coli : + Coliformes : +	24 000
	3	"	6 h.30	416	E. Coli : + Coliformes : +	24 000
	4	Source	7 h.10	417	E. Coli : + Coliformes : +	24 000
					Eaux non potables	

Nota : "E. Coli" signifie "Escherichia Coli"

Date du prélèvement :	N° des flacons :	Lieux de prélèvement :	Heures des prélèvements :	N° examen :	Résultats :	Indice MPN :
3/12/1963	1	Marigot	6 h.50	424	E. Coli : + Coliformes : +	24 000
	2	"	"	425	E. Coli : + Coliformes : +	24 000
	3	"	"	426	E. Coli : + Coliformes : +	2 400
	4	Source	7 h.10	427	E. Coli : + Coliformes : +	2 100
	5	Résurgence aménagée en amont du point 4 (?)			E. Coli : + Coliformes : +	24 000
17/12/1963	1		6 h.45	446	E. Coli : + Coliformes : +	24 000
	2	Tchivouba	6 h.50	447	E. Coli : + Coliformes : +	24 000
	3	"	7 h.00	448	E. Coli : + Coliformes : +	24 000
	4	Source Analyse complète	7 h.10	449	E. Coli : + Coliformes : + Streptocoques: D Welchia perfringens	7 000 7 000 0

D - ANALYSES PHYSIQUES -

Les caractères physiques suivants ont fait l'objet de mesures précises ou d'observations qualitatives :

ODEUR	RESISTIVITE
SAVEUR	pH
COULEUR	TEMPERATURE
	MATIERES en SUSPENSION

L'ODEUR de tous les échantillons prélevés a toujours été nulle, même deux à trois jours après le prélèvement. Il en a été de même pour la SAVEUR.

En ce qui concerne la COULEUR, les échantillons prélevés en P₄ étaient pratiquement incolores, tandis que ceux prélevés en P₀ étaient légèrement jaunes. Cette teinte jaune tendait à être plus marquée en P₁, P₂ et P₃.

Les résultats des mesures de RESISTIVITE sont donnés dans le tableau ci-joint. Les valeurs obtenues sont comprises entre 40 000 et 70 000 ohms x cm et sont donc élevées, ce qui tend à montrer que les eaux analysées sont peu chargées en matières dissoutes (résidu salin de l'ordre de 20 mg/litre). On note encore que le point P₄ se distingue un peu des autres points de prélèvement par une résistivité un peu plus forte.

RESISTIVITE en Ω /cm (Pont de Kohlrausch)

	P0			P1			P2			P3			P4	
	(1)	(2)		(1)	(1)		(2)	(1)		(2)	(1)			
A	64000	58000	65000	54 000	46 000	64 000	50 000	60000	40000	50000	84 000	60 000		
B				45 000		46 000		42000			58 000			
C				50 000		55 000		50000			64 000			
D				58 000		65 000		60000			70 000			

(1) Mesures vérifiées à l'Ohmmètre PARIS-LABO

(2) Mesures de contrôle effectuées au Laboratoire des Mines

Les résultats des mesures de pH sont donnés dans le tableau ci-joint. Si l'on examine particulièrement les mesures indiquées dans la partie b) du tableau (mesures effectuées en laboratoire), on note que l'acidité est nettement marquée en P1 et en P4 (pH compris entre 4,5 et 5,0). L'acidité est un peu plus faible en P2 et P3 (pH compris entre 5,3 et 5,7).

Quelques mesures de TEMPERATURE ont été effectuées lors des prélèvements des 26 Novembre et 3 Décembre 1963. Les résultats ont été les suivants :

Date	P1	P2	P3	P4
26 Novembre 1963	24,5°	24,8°	24,7°	24,5°
3 Décembre 1963	24,5°	-	-	24,5°

Les MATIERES en SUSPENSION ont été mesurées à diverses reprises. On a obtenu les concentrations suivantes (en milligrammes par litre) :

	P0	P1	P2	P3	P4
A	7,2	10,8	6,5	5,8	6,4
B	-	9,2	8,0	7,4	4,2
C	-	12,2	10,5	8,6	6,0
D	-	6,8	8,0	7,0	4,5
Moyenne:	-	9,8	8,3	7,2	5,3

MESURES de pH

a) Mesures "in situ" (appareil Beckman)

Date	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	Amont P1 (station de pompage)	Amont P4 (résurgence)
18/11/1963	4,74	4,48	4,91	5,28	-	4,42	-
27/11/1963	4,68	5,59	5,64	4,70	-	-	4,63
28/12/1963	-	4,94	5,75	5,94	5,11	4,87	-

b) Mesures au Laboratoire

	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
A	5,0	4,7	5,3	5,5	4,7
B	-	4,6	5,3	5,5	4,5
C	-	5,0	5,6	5,7	4,7
D	-	4,8	5,4	5,5	4,7

Les concentrations diminuent de l'amont vers l'aval entre P₁, P₂ et P₃, mais c'est encore en P₄ qu'elles sont les plus faibles en moyenne. De toute façon, les matières en suspension n'excèdent pas 12 mg/l, ce qui correspond à une turbidité peu marquée.

E - ANALYSES CHIMIQUES -

Les analyses chimiques ont porté sur les dosages suivants :

- Oxygène dissous
- Acide carbonique libre
- Chlorures
- Matières organiques
- Résidu sec à 105°
- Pertes par calcination
- Calcium
- Sodium
- Potassium

On a, en outre, procédé à quelques analyses qualitatives.

Les résultats obtenus sont donnés ci-après (en mg/litre) :

Oxygène dissous

Date	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
27 Novembre 1963	6,63 - 6,73	6,79 - 6,79	4,66 - 5,07	6,69 - 6,77

Les faibles teneurs obtenues paraissent confirmer l'origine souterraine des eaux des "marigots" étudiés.

ACIDE CARBONIQUE LIBRE

Date	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
16/11/1963	6,95	8,1	8,1	2,3
26/11/1963	7,87 8,34	6,02	10,65	7,18 8,10
3/12/1963	7,41 7,87	3,70 4,86	3,70 4,17	3,70 4,86
17/12/1963	4,86 5,33	4,63 4,86	6,95(?)	4,86 4,86

CHLORURES

	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
A	10,7	10,7	10,7	14,2	8,9
B	-	17	17,6	17,6	11,7
C	-	12	12	11	10
D	-	11	13	12	9
Valeur moyenne		12,7	13,3	13,7	9,9

Dans le cas présent, il semble que les chlorures seraient plutôt présents à l'état de K Cl et non de Na.Cl, comme on les exprime habituellement.

MATIERES ORGANIQUES

(Oxygène consommé, en milieu acide)

	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
A	3,9	1,6	1,5	1,6	2,8
B	-	1,5 - 1,5	2,7 - 2,6	1,5 - 1,6	5,8 - 5,2
C	-	1,2	0,6	2,5	2,2
D	-	1,6 - 1,4	1,2 - 0,7	2,6 - 2,8	2,6 - 2,2

On notera que la valeur théoriquement admissible est de 3 mg/litre . Les résultats obtenus restent tous en deçà de cette valeur, sauf un relatif à P₄ qui, pour une raison inconnue, s'est avéré anormalement élevé.

RESIDU SEC à 105°

	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
A	20	30	32	40	24
B	-	22,8	26	26,8	9
C	-	25	36	32	15
D	-	18,8	28	33	17
Moyenne	-	24,2	30,5	33,0	16,3

PERTES par CALCINATION

La calcination n'a laissé que des traces et a pratiquement fait disparaître la totalité du résidu sec. On peut en conclure que celui-ci était fort, probablement constitué de chlorures et matières organiques.

CALCIUM

	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
A	5,6	11,2	11,2	11,2	5,6
B	-	5,6	11,2	11,2	5,6
C	-	6	10	10	5
D	-	8	10	10	6
Moyenne		7,7	10,6	10,6	5,6

SODIUM

	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
A	1,4	1,4	1,4	2,1	< 1
B	-	1,6	1,6	1,9	1,8
C	-	1,3	1,3	1,7	1,2
D	-	1,2	1,3	1,8	1
Valeur moyenne	-	1,4	1,4	1,9	1,2

POTASSIUM

	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
A	6,3	7,3	7,3	7,3	5,3
B		12	12	12	12
C		8	10	10	6
D		8,6	9,6	9,6	6
Valeur moyenne		9,0	9,7	9,7	7,3

ANALYSES QUALITATIVES

Les analyses qualitatives ont recherché les éléments suivants :

- Silice
- Fer
- Phosphates
- Nitrates et Nitrites
- Ammoniaques
- Sulfate
- Magnésium

Après concentration des échantillons de 300 à 50 cm³, on a pu mettre en évidence des traces visibles de :

- Silice
- Phosphates
- Sulfates

IV - POLLUTION de l'EAU en AVAL de l'USINE de TRAITEMENT

Les déchets de traitement, dont l'importance est évaluée à environ 1 000 000 tonnes par an, doivent être stockés dans une dépression en forme de "cirque trilobé", dont l'exutoire est situé en P5.

Constitués en grande partie de chlorure de sodium, ces déchets seront lessivés par les eaux de pluie, de drainage et d'épandage et on peut se demander quelles seront les conséquences de ce lessivage, au double point de vue humain et faunistique, sur la qualité des eaux en aval de P5.

A noter qu'aucune agglomération humaine n'est signalée entre le P7 et NGANDA PILI sur la NTOMBO à 15 km en aval ; encore ce village est-il situé à 4 km des marais de la NTOMBO.

La dose de Cl Na, considérée comme mortelle pour les poissons d'eau douce particulièrement fragiles, est de 10 g/litre environ.

Pour les humains, la dose maximale admissible ne doit pas dépasser 1,5 g/litre.

Trois points ont fait l'objet de mesures du débit :

- P5 sur la TCHITOMBI (Superficie du bassin versant : 2,96 km²)
- P6 sur la LOUKOULA (Superficie du bassin versant : 10,9 km²)
- P7 sur la NTOMBO (Superficie du bassin versant : 94,5 km²)

Partant des débits observés le 2 Décembre 1963 :

- P5 : 35 l/s ou 11,8 l/s.km²
- P6 : 143 l/s ou 13,1 l/s.km²
- P7 : 1568 l/s ou 16,6 l/s.km²,

on peut estimer le débit d'étiage minimal en fonction des valeurs précédemment déterminées :

Soit : P₅ : 17 l/s ou 5,7 l/s.km²
P₆ : 68 l/s ou 6,2 l/s.km²
P₇ : 750 l/s ou 7,9 l/s.km²

On remarquera que le débit spécifique en P₇ est identique à celui de la KOULOMBO en 1958 pour un bassin d'une superficie comparable.

Le débit moyen annuel à ces différents points peut être évalué en prenant en compte la pluviométrie moyenne annuelle, soit 1 350 mm et le déficit moyen d'écoulement estimé, dans le cas le plus défavorable, à 850 mm. La hauteur de pluie écoulée serait alors de 500 mm, correspondant à un débit spécifique de 16 l/s.km².

Il serait évidemment très problématique de déterminer, même approximativement, le pourcentage des déchets entraînés par lessivage dans le réseau hydrographique. Nous envisagerons donc seulement d'une façon toute théorique quelques cas limites :

1er Cas : Lessivage annuel de la totalité des déchets :

La dilution de 1 000 000 tonnes par an de ClNa jusqu'à la concentration de 10 g/litre, nécessiterait un débit de :

$$\frac{1 \times 10^{12}}{10 \times 31,5 \times 10^6} = 3\ 170 \text{ l/s}$$

qui devraient être fournis par un bassin versant d'une superficie de

$$\frac{3\ 170 \text{ l/s}}{16 \text{ l/s.km}^2} \approx 200 \text{ km}^2$$

soit à environ 15 km en aval de P₅.

A la concentration de 1,5 g/l, le débit :

$$\frac{1 \times 10^{12}}{1,5 \times 31,5 \times 10^6} = 21\ 140 \text{ l/s}$$

serait fourni par un bassin de $\frac{21\ 140}{16} = 1320 \text{ km}^2$.

L'eau de la plus grande partie des marais de la NTOMBO serait alors inutilisable pour la consommation humaine, presque jusqu'au confluent de la NTOMBO avec le KOUILOU.

Toutefois, ce cas ne tient pas compte de la capacité maximale de transport de la TCHITOMBI à l'exutoire de la dépression (voir 2ème cas). Il suppose donc que le stockage des déchets serait prévu à plusieurs kilomètres en aval de P5, même si on admet une concentration largement supérieure à 10 g/litre .

2ème Cas : Saturation de toute l'eau de pluie s'écoulant sur le bassin de la TCHITOMBI en année moyenne.

En supposant :

- une même lame d'eau utile de 500 mm sur l'ensemble du bassin d'alimentation,
 - une saturation maximale de 360 g/litre de ClNa à la température de 25°,
- la TCHITOMBI aurait une capacité moyenne de transport de :

$$16 \times 2,96 \times 0,360 = 17 \text{ kg/s}$$

soit environ : 535 000 tonnes par an, c'est-à-dire la moitié seulement de la production de déchets.

A la concentration de 10 g/litre, un débit de :

$$\frac{17.000}{10} = 1.700 \text{ l/s}$$

serait nécessaire. En aval du P7, la faune pourrait alors survivre.

A la concentration de 1,5 g/litre, le débit devrait être de :

$$\frac{17.000}{1,5} = 11.300 \text{ l/s}$$

correspondant environ au débit du bassin de la NTOMBO, à proximité de NGANDA PILI, soit à 20 km en aval de P5.

3ème Cas : Saturation de toute l'eau drainée par le bassin de la TCHITOMBI en étiage absolu.

Le débit d'étiage minimal en P₅ étant fixé à 17 l/s, la TCHITOMBI transportera :

$$17 \times 0,360 = 6,1 \text{ kg de ClNa/s}$$

En P₆, la concentration ne serait plus que de :

$$\frac{6 \cdot 120}{68} = 90 \text{ g/litre}$$

En P₇, de :

$$\frac{6 \cdot 120}{750} = 8,2 \text{ g/litre}$$

Pour abaisser la concentration à 1,5 g/litre, il faudrait un débit de 4 080 l/s, obtenu bien en amont de NGANDA PILI.

L'examen de ces trois cas-limites ne permet aucune conclusion très précise sur la pollution chimique à craindre. On peut cependant en déduire qu'elle ne saurait avoir d'effets graves sur plus de quelques dizaines de kilomètres du cours du marigot en aval du point de stockage des déchets.

Il est cependant nécessaire d'envisager une hypothèse un peu plus inquiétante. Il n'est pas exclu, en effet, que la nappe superficielle qui alimente les marigots de la région HOLLE-S^t-PAUL, soit plus ou moins directement reliée par un réseau de fissures à une nappe artésienne profonde dont l'existence a déjà été reconnue. La régularité du débit des marigots de la région s'expliquerait par des apports de cette nappe profonde. Il faudrait alors s'assurer que des cheminements d'eaux souterraines ne seraient pas susceptibles de propager les déchets chimiques en direction du marigot de TCHIVOUBA où est envisagée la future prise d'eau. Il y a là une incertitude qui demanderait à être levée par une étude hydrogéologique détaillée.

CONCLUSIONS

Dans l'état actuel des études, le débit minimal nécessaire au fonctionnement de l'usine peut être pratiquement garanti. Il serait cependant très intéressant de procéder à une nouvelle campagne de mesures plus détaillées, qui comporterait des relevés pluviométriques, des enregistrements piézométriques de la nappe et l'aménagement d'une véritable station de jaugeage en P1 (éventuellement à l'occasion des travaux de la prise d'eau).

Le mode de captage le plus recommandable semble être l'aménagement dans le lit du "marigot" d'un drain ou d'un radier filtrant ou encore de tranchées filtrantes. Ce mode de captage serait plus économique que des forages dans la nappe et fournirait vraisemblablement une eau de qualité tout à fait comparable. La hauteur de refoulement à prévoir serait de 40 à 60 mètres.

La pollution bactériologique est sans grande importance puisque de toute façon, l'eau devrait être traitée pour la consommation domestique.

Pour les usages industriels, il est nécessaire d'adoucir l'eau. Dans le cas présent, ce traitement ne poserait pas de problème particulier, l'eau étant très peu chargée en éléments minéraux.

La pollution chimique qui serait provoquée vers l'aval par les déchets de l'usine ne semble pas, a priori, rédhibitoire et serait limitée vraisemblablement au lit principal de la NTOMBO. Toutefois, on ne peut pas totalement exclure l'hypothèse d'une contamination des eaux souterraines qui contribuent à l'alimentation des marigots de la région et notamment celui de TCHIVOUBA. Une étude hydrogéologique détaillée serait nécessaire pour lever cette incertitude.