

Koninklijke Academie voor Overzeese Wetenschappen
Klasse voor Natuur- en Geneeskundige Wetenschappen, N.R., XVIII-7 en laatste, Brussel, 1972

Hydrologie et Bilan de l'Eau du Bassin versant de la Karuzi au Burundi

(Archives de la Mission de la Karuzi — Volume IV)

PAR

A. BODEUX

Chef de Travaux
Institut Royal Météorologique de Belgique

150 F

Académie royale des Sciences d'Outre-Mer
Classe des Sciences Naturelles et Médicales S.N., XVIII-7 et dernier, Bruxelles 1972

Koninklijke Academie voor Overzeese Wetenschappen
Klasse voor Natuur- en Geneeskundige Wetenschappen, N.R., XVIII-7 en laatste, Brussel, 1972

Hydrologie et Bilan de l'Eau du Bassin versant de la Karuzi au Burundi

(Archives de la Mission de la Karuzi — Volume IV)

PAR

A. BODEUX

Chef de Travaux
Institut Royal Météorologique de Belgique

Académie royale des Sciences d'Outre-Mer
Classe des Sciences Naturelles et Médicales S.N., XVIII-7 et dernier, Bruxelles 1972

Mémoire présenté à la Séance du 28 mars 1972
Rapporteurs: MM. R. TAVERNIER, F. JURION et J. LEBRUN

D/1972/0419/7

RESUME

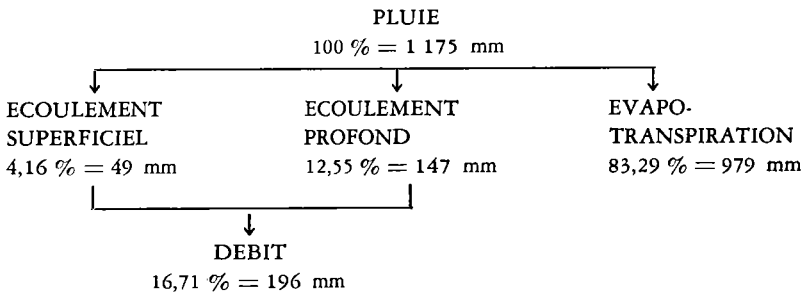
L'auteur présente les résultats de l'étude des observations hydrologiques qui ont été effectuées pendant une période de deux ans (de 1959 à 1961). Il décrit d'abord les caractéristiques du bassin versant et discute ensuite les données hydrologiques. L'étude de ces données permet de dresser le bilan d'eau moyen actuel. Il est à remarquer que, malgré une pluviosité annuelle élevée (1 175 mm), l'évapotranspiration consomme plus de 83 % des précipitations.

SAMENVATTING

Dit werk is gewijd aan de studie van de hydrologische waarnemingen die gedurende twee jaar (van 1959 tot 1961) uitgevoerd werden. In het eerste gedeelte worden de kenmerken van het bekken beschreven, waarna de hydrologische gegevens behandeld worden. De verwerking van deze gegevens laat toe een waterbalans voor het bekken op te stellen. Opmerkelijk is dat niettegenstaande de hoge neerslag (1 175 mm), meer dan 83 % van het neerslagwater voor evapotranspiratie verbruikt wordt.

INTRODUCTION

Le bassin de la Karuzi couvre une superficie de 780 km² dans la partie NE du Burundi entre les latitudes 2°50' à 3°15' Sud et les longitudes 30° à 30°20' Est. Il fait partie des plateaux du Burundi central dont les altitudes varient de 1 450 à 1 850 mètres, et se compose de deux terroirs (*): celui de la Nyabiho en amont de Buhiga, celui de la Ndurumu en aval. Le bassin est peu compact, présente un relief relativement accidenté et dispose d'un réseau de drainage très dense. Des observations hydrologiques y ont été faites (**) pendant une période de deux ans et le bilan d'eau moyen annuel que l'on peut en déduire est le suivant:



(*) Nous croyons utile de maintenir cette terminologie utilisée à bon escient dans des études antérieures relatives au bassin de la Karuzi.

(**) G. OPDEDRYNCK, Ingénieur agronome (génie rural), a séjourné au Burundi de juillet 1959 à juin 1961. Dès son retour en Belgique il a commencé le dépouillement et le traitement de ses mesures et observations, mais il dut abandonner rapidement le travail pour occuper un nouveau poste dans le secteur privé. Le Professeur HEYNDRICKX de l'Institut Agronomique de Gand l'a assisté pendant les deux premiers mois de son séjour en Afrique, également dans le travail de dépouillement des limnigrammes effectué en Belgique.

A. GENERALITES

a) SITUATION GÉOGRAPHIQUE

Le bassin de la Karuzi, situé dans la partie NE du Burundi (*Fig. 1*), couvre une superficie de 780 km²; il fait partie des plateaux du Burundi central dont les altitudes varient de 1 450 à 1 850 mètres.

Des crêtes continues formées de roches schisto-quartzitiques et atteignant généralement 1 700 à 1 850 mètres jalonnent le pourtour du bassin et lui donnent une forme de fer de lance orienté SSW-NNE (*Fig. 2*).

A hauteur de Buhiga, vers le centre de l'axe longitudinal, une chaîne quartzitique le recoupe suivant un axe SW-NE; elle part des hauts pourtours à l'altitude de 1 800 mètres et s'affaisse à Buhiga jusqu'à la cote 1 450. Cette chaîne délimite deux terroirs: au Nord celui de la Nyabiho caractérisé par ses plateaux tabulaires, ses pentes raides et un sol caillouteux riche du type urucekeri (Ferrisol?); au Sud celui de la Ndurumu avec ses collines étirées aux dômes aplanis, et un sol farineux pauvre du type ikivuvu.

Le réseau de drainage est très dense, mais l'écoulement des eaux présente à première vue deux aspects: dans le terroir de la Nyabiho le relief est très accidenté et le drainage rapide depuis les crêtes du pourtour et les hauts plateaux centraux de Butaha-Kizi-Kiremba; par contre dans celui de la Ndurumu le relief est calme à l'intérieur d'une longue cuvette, et les eaux se frayent lentement un passage à travers les papyraies et les pseudo-marais.

La Karuzi (ou Ndurumu sur les cartes officielles) alimente la Ruvuvu qui, avec la Malagarasi et la Lumpungu forment le réseau hydrographique primaire du Burundi. Contrairement à ces deux dernières qui sont tributaires du fleuve Congo, la Ruvuvu

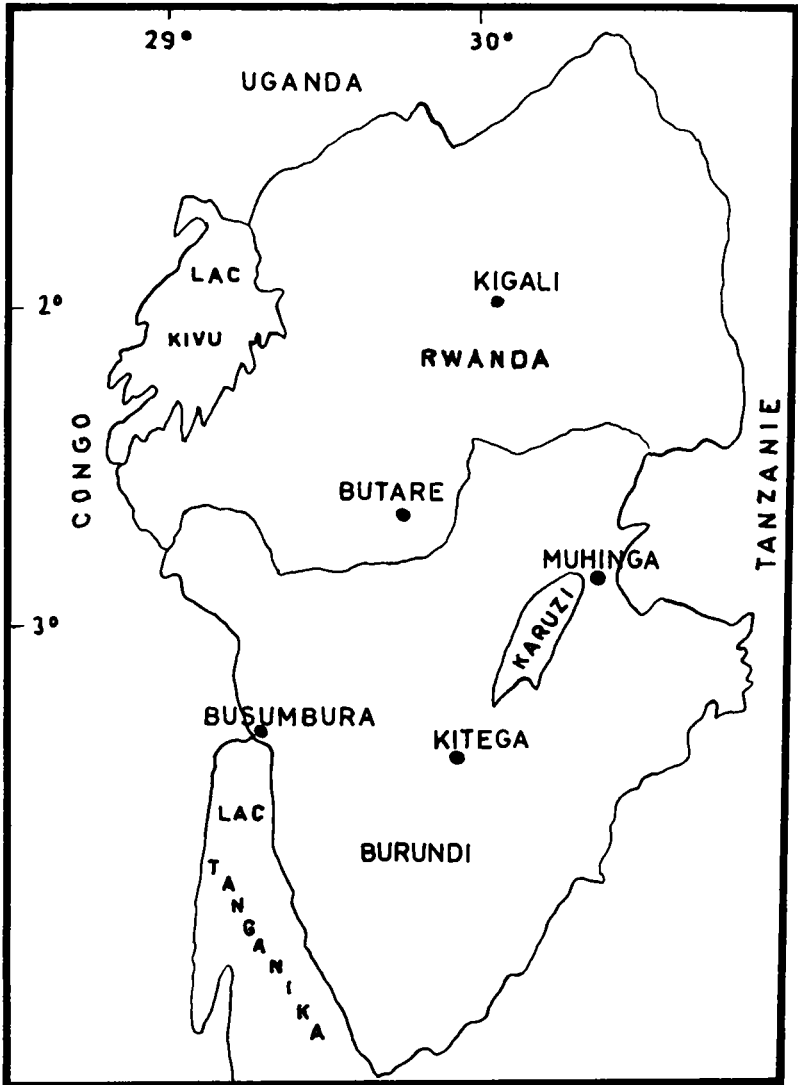


Fig.1- Carte du Rwanda, du Burundi et situation du bassin de la Karuzi.

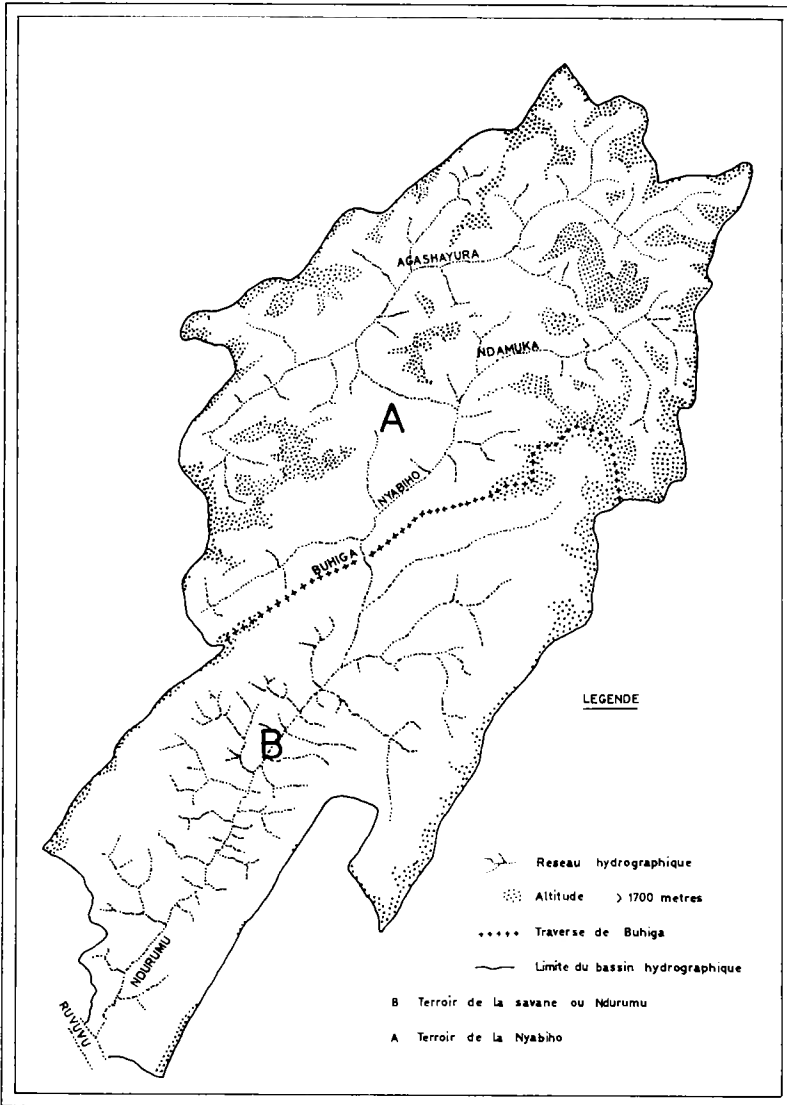


Fig. 2. — Le bassin hydrographique de la Karuzi.

appartient au bassin du Nil; à la pointe SE du Rwanda elle s'unit à la rivière principale de ce pays, la Nyabarongo, et se dirige vers le lac Victoria sous le nom de Kagera.

Pour plus de détails sur le climat, les sols, la végétation et un premier bilan écologique de l'eau dans le bassin de la Karuzi nous renvoyons aux études déjà publiées dans les « Archives de la Mission de la Karuzi », volumes I et III; leur lecture préalable permettra de mieux comprendre l'hydrologie de ce bassin.

b) STATIONS DE JAUGEAGE ET PÉRIODE D'OBSERVATIONS

La station de jaugeage de la Karuzi était située à 300 mètres en amont de la confluence avec la Ruvuvu. Elle comprenait un limnigraphe dont le tambour effectuait une rotation complète par jour, et un moulinet lourd (poisson) OTT type V Arkansas mû par un système de câbles. Les courbes de jaugeage furent établies et régulièrement contrôlées par 196 mesures de débit: dans 130 cas ce débit fut calculé à partir de données obtenues sur une verticale à 6/10 de la profondeur; dans 66 cas les valeurs furent prises à diverses profondeurs sur 6 verticales équidistantes de 2 mètres. Les observations couvrent la période allant du 1^{er} mars 1959 au 4 septembre 1961.

La station de jaugeage de la Nyabiho était située en aval des chutes de Buhiga; un limnigraphe dont le tambour était à rotation hebdomadaire y enregistrait les variations du niveau d'eau. La courbe de jaugeage fut établie à partir de 23 mesures de débit effectuées à l'aide d'un moulinet portatif qui mesurait la vitesse du courant le long de 4 verticales équidistantes de 2 mètres. Les observations ont débuté le 13 août 1959 et ont pris fin le 3 juin 1961.

B. LES CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT

1. LA SUPERFICIE ET LA SITUATION (voir *Fig. 2*)

a) *Le bassin de la Karuzi*

Le bassin de la Karuzi a une superficie de 780,5 km²; il s'étend entre les longitudes 30° à 30°20' est et les latitudes 2°50' à 3°15' sud. Les sources les plus lointaines se situent dans les hauts reliefs de Karira-Kiremba-Mukoni-Ruganirwa près de Muhinga; son exutoire se trouve à la confluence avec la Ruvuvu à Bihembe, à 22 km au NNE de Kitega.

b) *Le terroir de la Nyabibo*

Il constitue la partie septentrionale du bassin de la Karuzi et occupe une superficie de 414,6 km². La limite sud est formée par la traverse rocheuse de Buhiga et son exutoire se trouve aux chutes de Buhiga.

c) *Le terroir de la Ndurumu*

Il forme la partie méridionale du bassin de la Karuzi et s'étend des chutes de Buhiga jusqu'à la confluence avec la Ruvuvu. La superficie est de 365,9 km².

2. L'INDICE DE COMPACTITE (Gravelius)

Cet indice est le rapport entre le périmètre P du bassin et le périmètre P' d'un cercle ayant même surface A ; on sait que ce dernier est le périmètre minimum d'une aire donnée, de sorte que l'indice de compacité maximum est 1. Il s'exprime:

$$K_c = \frac{P}{2 \sqrt{\pi \cdot A}}$$

- a) Le bassin de la Karuzi: $Kc = 1,73$;
- b) Le terroir de la Nyabiho: $Kc = 1,54$;
- c) Le terroir de la Ndurumu: $Kc = 1,62$.

Le bassin de la Karuzi est donc peu compact, et plus étiré dans la partie Sud (Ndurumu) que dans la partie Nord (Nyabiho). Les crues à l'exutoire se manifesteront tardivement en regard du moment des précipitations et auront tendance à se montrer progressives.

3. LE RECTANGLE ÉQUIVALENT

C'est un rectangle ayant même périmètre P et même surface \bar{A} que le bassin versant; la connaissance de sa longueur L et de sa largeur l explicite la notion de l'indice de compacité Kc . Ses dimensions se calculent à partir des deux équations:

$$P = 2(L + l) = 2 Kc \sqrt{\pi} \cdot A.$$

$$\text{et } L \times l = A$$

- a) Le bassin de la Karuzi: $L = 75,30$ km; $l = 10,36$ km;
- b) Le terroir de la Nyabiho: $L = 46,85$ km; $l = 8,85$ km;
- c) Le terroir de la Ndurumu: $L = 47,16$ km; $l = 7,76$ km.

Le bassin de la Karuzi est 7 fois plus long que large et la comparaison des rapports L/l confirme la compacité un peu supérieure du terroir de la Nyabiho.

4. LA RÉPARTITION ALTIMÉTRIQUE DE LA SUPERFICIE ET LA COURBE DES FRÉQUENCES ALTIMÉTRIQUES CUMULÉES

- a) *Le bassin de la Karuzi (Fig. 3a)*

Les 3/4 de la surface du bassin sont compris entre les altitudes de 1 500 et 1 700 mètres avec un maximum peu marqué de fréquence altimétrique à 1 575 mètres. Les régions d'altitude supérieure à 1 750 mètres ou inférieure à 1 500 mètres consti-

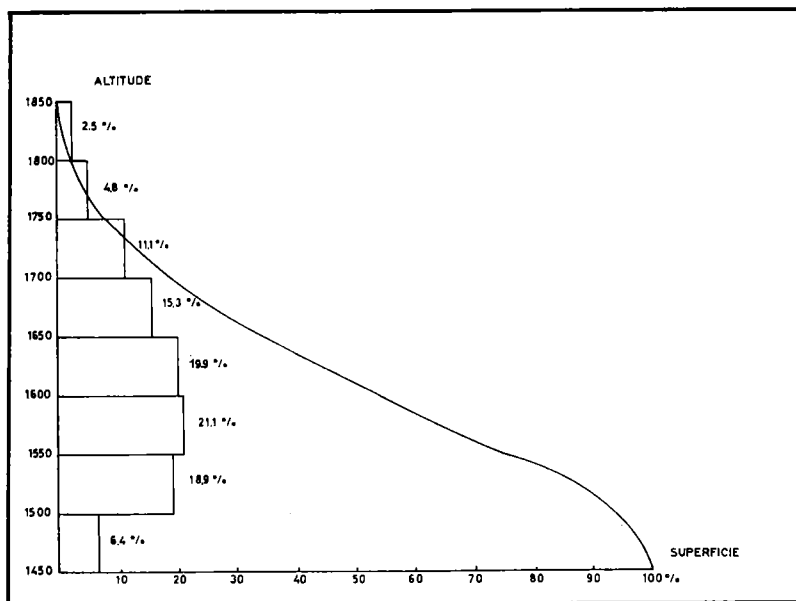


Fig. 3a. — Bassin de la Karuzi: répartition altimétrique de la superficie et courbe des fréquences altimétriques cumulées.

tuent respectivement 7,3 % et 6,4 % de la surface et présentent les pentes les plus fortes.

b) *Le terroir de la Nyabibo (Fig. 3b)*

Les 3/4 de la surface du terroir se situent à une altitude supérieure à 1 600 mètres, avec un maximum de fréquence altimétrique à 1 625 mètres. Les fortes pentes sont localisées au-dessus de 1 750 mètres (8,9 % de la surface) et en dessous de 1 550 mètres (7,3 % de la surface).

c) *Le terroir de la Ndurumu (Fig. 3c)*

Près des 3/4 de la surface du terroir se situent à une altitude comprise entre 1 450 et 1 600 mètres avec un maximum de fréquence altimétrique marqué à 1 525 mètres. Dans la majeure partie de ce terroir le relief est donc peu accidenté; toutefois les hauts sommets du pourtour du bassin, qui représentent un peu plus de 25 % de la superficie du terroir, présentent de très fortes pentes entre les altitudes de 1 600 et de 1 800 à 1 850 mètres.

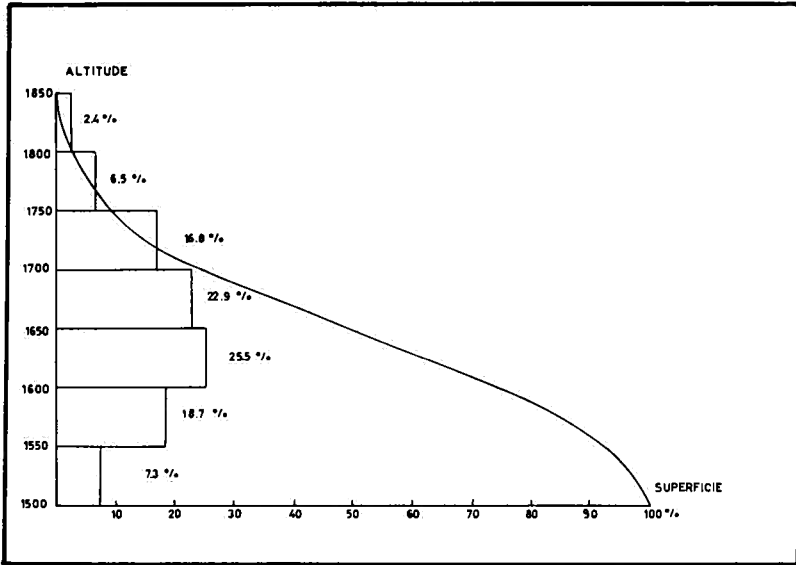


Fig. 3b. — Terroir de la Nyabiho: répartition altimétrique de la superficie et courbe des fréquences altimétriques cumulées.

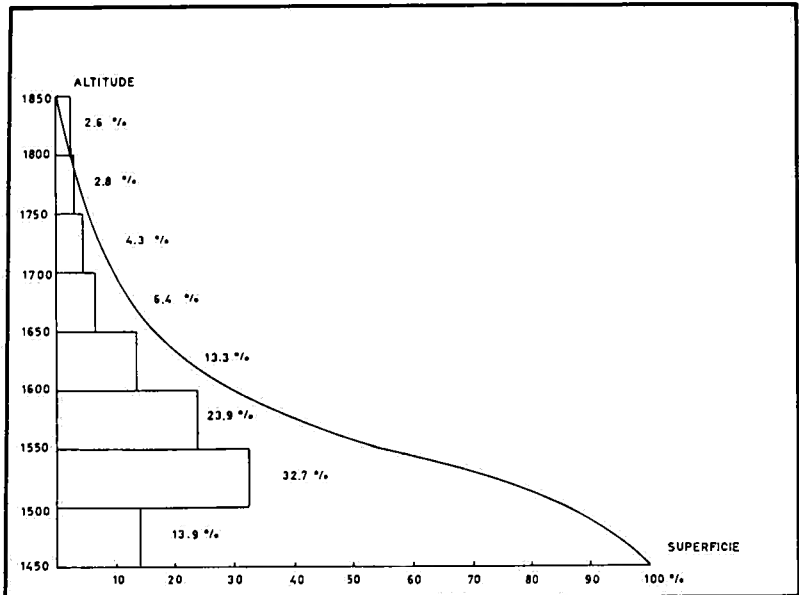


Fig. 3c. — Terroir de la Ndurumu: répartition altimétrique de la superficie et courbe des fréquences altimétriques cumulées.

5. LA PENTE MOYENNE

La pente moyenne est le rapport entre la différence des altitudes extrêmes du bassin hydrographique et la longueur du rectangle équivalent.

- a) le bassin de la Karuzi: 5,9 ‰ ou 0,0059 m/m;
- b) le terroir de la Nyabiho: 7,6 ‰ ou 0,0076 m/m;
- c) le terroir de la Ndurumu: 9,7 ‰ ou 0,0097 m/m.

La pente moyenne est donc nettement plus élevée dans la moitié méridionale du bassin.

6. L'INDICE DE PENTE (Roche)

La connaissance de la pente moyenne présente peu d'importance dans les bassins à relief accidenté car elle ne tient pas compte de la forme des courbes hypsométriques. L'indice de pente est plus significatif: c'est la somme des racines carrées des pentes moyennes de chacun des éléments de surface compris entre deux lignes de niveau successives (a_i, a_{i-1}, \dots), pondérée par la surface intéressée (b_i) et divisée par la racine carrée de la longueur (L) du rectangle équivalent:

$$I_p = \frac{\sum_i^n \sqrt{b_i (a_i - a_{i-1})}}{\sqrt{L}}$$

- a) le bassin de la Karuzi: 0,069;
- b) le terroir de la Nyabiho: 0,082;
- c) le terroir de la Ndurumu: 0,084.

L'indice de pente égal à 0,069 pour le bassin de la Karuzi est une valeur proche, peut-être un peu supérieure, à celle que l'on calcule pour un bassin versant normal. Quant aux deux terroirs, ils présentent des indices très voisins malgré une configuration différente du relief.

7. LE PROFIL EN LONG (Fig. 4) ET LA PENTE MOYENNE DE LA RIVIÈRE

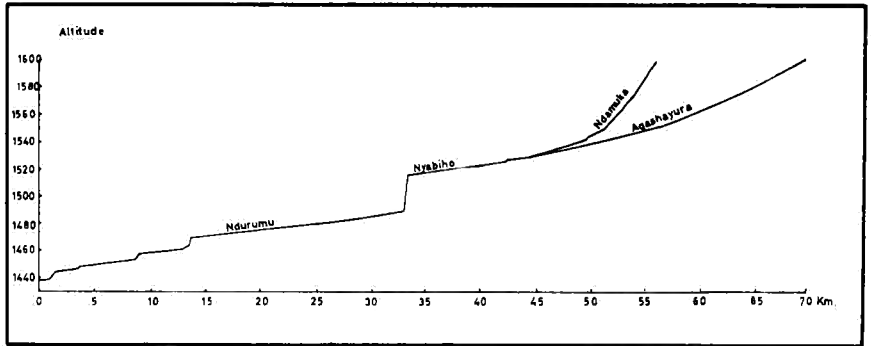


Fig. 4. — Le profil en long de la rivière.

Dessiner le profil en long depuis la ou les sources les plus éloignées de l'exutoire donnerait un fausse image du profil de la rivière. En effet, les eaux déferlent des hauts sommets le long de pentes très raides mais relativement courtes, et le réseau hydrographique permanent prend réellement corps à faible distance de ces sommets, mais à l'altitude générale de 1 600 mètres. Depuis cette cote de départ le profil en long est très régulier, si l'on excepte une chute de 26,6 mètres à mi-parcours (Buhiga) et une série de petites chutes secondaires (rapides) échelonnées au long des 13 derniers kilomètres.

Les coefficients moyens de pente sont:

- a) la rivière Karuzi: 2,4 ‰;
- b) la rivière Nyabiho-Karuzi: 1,6 ‰;
- c) la rivière Ndurumu-Karuzi: 2,6 ‰.

Dans le terroir de la Nyabiho l'écoulement des eaux sera à première vue plus lent que dans celui de la Ndurumu; toutefois, dans ce dernier, les larges papyrus entravent le débit depuis Buhiga jusqu'à la hauteur de Ruyogoro-Rukamba (± 15 km).

8. LE PROFIL EN TRAVERS DE LA RIVIÈRE

a) *A la section de jaugeage en amont de la confluence de la Karuzi avec la Ruvuvu: Fig. 5a.*

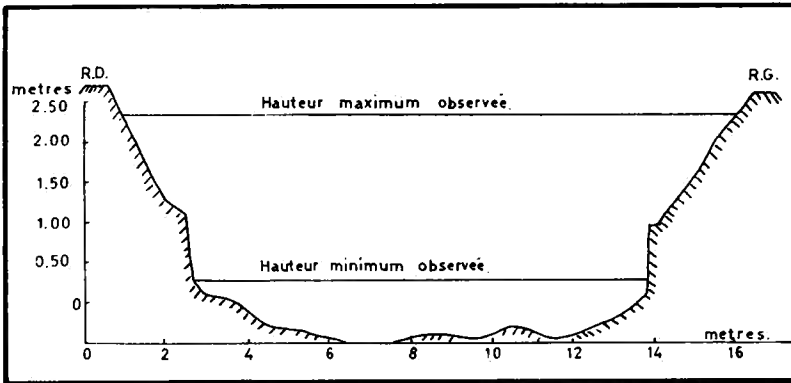


Fig. 5a. — Le profil en travers de la Ndurumu-Karuzi à la section de jaugeage.

b) *A la section de jaugeage de la Nyabiho à Buhiga: Fig. 5b.*

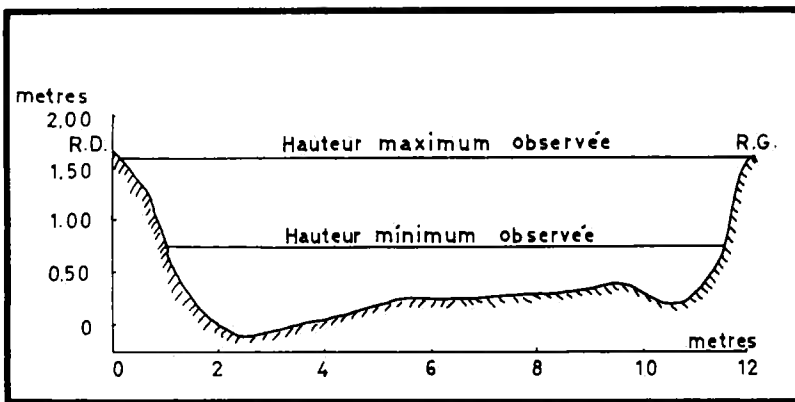


Fig. 5b. — Le profil en travers de la Nyabiho à la section de jaugeage de Buhiga.

9. LE COEFFICIENT DE DRAINAGE

Ce coefficient est défini comme étant la longueur moyenne du réseau hydrographique par km^2 de superficie du bassin.

- a) le bassin de la Karuzi: $0,58 \text{ km/km}^2$;
- b) le terroir de la Nyabiho: $0,51 \text{ km/km}^2$;
- c) le terroir de la Ndurumu: $0,67 \text{ km/km}^2$.

Ce réseau est très dense, particulièrement dans le terroir de la Ndurumu.

C. LES DONNEES HYDROLOGIQUES

1. LES PRÉCIPITATIONS

MOIS	NORMALE BASSIN KARUZI (*) mm	BASSIN KARUZI		TERROIR NYABIHO		TERRIOR NDURUMU	
		1959/60 mm	1960/61 mm	1959/60 mm	1960/61 mm	1959/60 mm	1960/61 mm
J	0	0	0	0	0	0	0
A	15	21	6	23	2	19	11
S	50	38	42	42	41	34	43
O	86	154	70	182	66	122	75
N	145	146	92	142	102	151	81
D	154	199	71	201	70	196	77
J	150	168	82	153	79	186	85
F	137	92	221	95	230	90	211
M	150	178	150	180	134	175	169
A	191	221	225	227	243	213	205
M	94	12	63	15	67	9	58
J	3	0	0	0	0	0	0
A	1 175	1 229	1 022	1 260	1 034	1 195	1 015

— Les lames d'eau journalières précipitées sur le bassin ont été évaluées à l'aide de moyennes pondérées des cotes udométriques relevées dans 24 pluviomètres. Les coefficients de pondération ont été déterminés par la méthode de THIESSEN.

— La saison des pluies 1959/1960 peut être qualifiée de normalement pluvieuse, totalisant un léger excès de précipitations par rapport à la normale; elle connut toutefois un déficit de pluies en février et une saison sèche précoce.

— La saison des pluies 1960/1961 fut caractérisée par un déficit jusque fin janvier; les pluies furent abondantes de février à avril, mais le total de la saison fut largement déficitaire.

(*) Voir « Archives de la Mission de la Karuzi », volume III.

— Trois années d'observations pluviométriques (1958 à 1961) ne permettent pas de mettre en évidence une pluviosité plus abondante dans l'un des deux terroirs.

2. LE DÉBIT

a) *Le bassin de la Karuzi*

MOIS	1959/60 DEBIT q en m ³ /s			1960/61 DEBIT q en m ³ /s		
	MOYEN	MAXI- MUM	MINI- MUM	MOYEN	MAXI- MUM	MINI- MUM
A	2.58	2.72	2.51	2.94	3.76	2.80
S	2.81	3.25	2.58	3.05	3.36	2.88
O	3.64	5.98	2.59	3.23	5.72	2.65
N	4.68	6.58	3.27	3.73	4.25	3.20
D	6.83	10.79	4.12	3.38	4.97	2.84
J	6.38	8.44	4.64	2.99	3.48	2.67
F	4.87	5.95	4.42	5.73	8.42	3.22
M	5.97	7.54	4.55	5.45	7.98	3.65
A	10.36	12.56	7.54	8.47	10.36	5.79
M	5.58	8.26	4.20	4.75	6.16	3.24
J	3.69	4.20	3.35	2.88	3.24	2.74
J	3.26	3.35	3.06	2.72	2.79	2.71
A	5.05	—	—	4.09	—	—

2. Les débits caractéristiques

ANNEE	MODULE m ³ /s	DEBITS CARACTERISTIQUES EN m ³ /s					
		DC MAX	DC 1	DC 3	DC 6	DC 9	DC E
1959/60	5.1	11.3	8.5	6.3	4.6	3.3	2.7
1960/61	4.1	9.2	7.4	4.8	3.2	2.8	2.7

Module : débit moyen annuel

DC MAX : débit dépassé 10 jours par an

DC 1-3-6-9: débit dépassé 1-3-6-9 mois par an

DC E : débit dépassé 355 jours par an

3. Courbe des débits moyens journaliers classés: voir Fig. 6a.

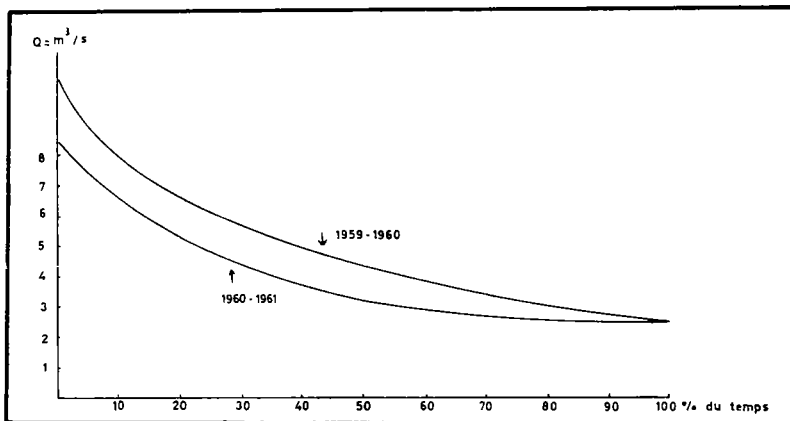


Fig. 6a. — Rivière Karuzi: courbe des débits moyens journaliers classés.

4. Analyse des débits

Du 16 août 1959 au 15 août 1961, soit une période de 2 ans, il fut mesuré un débit total de 288 930 240 m³ ou 370,2 mm; ce débit représente 16,42 % des précipitations recueillies pendant cette période. Si l'on établit un bilan annuel, on obtient les valeurs suivantes:

16 août 1959/15 août 1960:

160 237 440 m³ = 205,3 mm = 16,72 % des précipitations.

16 août 1960/15 août 1961:

128 692 800 m³ = 164,9 mm = 16,07 % des précipitations.

Bien que les années 1959/60 et 1960/61 aient été très différentes sous l'angle de la pluviosité les coefficients d'écoulement sont très voisins, de sorte que la valeur moyenne débit/précipitations = 16,42 % peut être valablement retenue.

En première approximation le débit moyen annuel de la rivière Karuzi est égal à quelque 16 % des précipitations.

b) *Le terroir de la Nyabibo*

1. Les débits mensuels

MOIS	1959/60 DEBIT q en m ³ /s			1960/61 DEBIT q en m ³ /s		
	MOYEN	MAXI- MUM	MINI- MUM	MOYEN	MAXI- MUM	MINI- MUM
A	2.07	— —	— —	1.66	1.73	1.57
S	1.56	1.88	1.41	1.69	2.13	1.50
O	2.31	3.75	1.39	1.80	2.31	1.41
N	2.46	3.83	1.57	2.31	2.84	1.80
D	3.45	8.05	1.93	2.10	3.05	1.62
J	2.99	4.54	2.28	1.77	2.37	1.41
F	2.25	3.27	1.82	2.87	3.83	1.85
M	2.57	3.59	2.02	2.80	4.73	2.02
A	4.23	5.64	3.05	3.62	4.73	2.37
M	2.46	3.59	2.02	2.30	3.43	1.50
J	1.85	2.02	1.72	1.27	1.50	1.20
J	1.79	1.82	1.73	1.18	1.25	1.12
A	2.50	— —	— —	2.11	— —	— —

2. Les débits caractéristiques

ANNEE	MODULE m ³ /s	DEBITS CARACTERISTIQUES EN m ³ /s					
		DC MAX	DC 1	DC 3	DC 6	DC 9	DC E
1959/60	2.5	5,2	3.8	2.8	2.2	1.7	1.5
1960/61	2.1	4.0	3.4	2.5	1.9	1.4	1.1

Module : débit moyen annuel

DC MAX : débit dépassé 10 jours par an

DC 1-3-6-9: débit dépassé 1-3-6-9 mois par an

DC E : débit dépassé 355 jours par an.

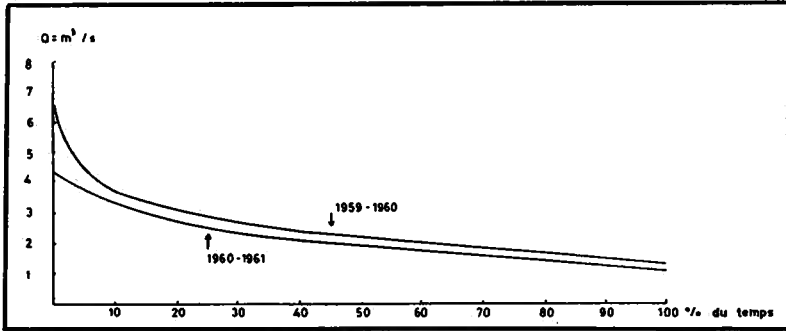
3. Courbe des débits moyens journaliers classés: voir *Fig. 6b*.

Fig. 6b. — Rivière Nyabiho: courbe des débits moyens journaliers classés.

4. Analyse des débits

— Du 16 août 1959 au 31 mai 1961 on a mesuré à l'exutoire de la Nyabiho à Buhiga $135\,385\,344\text{ m}^3$ d'eau, qui correspondent à 327 mm ou 14,23 % des précipitations. Pendant cette même période le bassin de la Karuzi débitait $270\,702\,432\text{ m}^3$ ou, 347 mm, soit 15,38 % des précipitations.

— Du 16 août 1959 au 15 août 1960 le débit à l'exutoire de la Nyabiho fut de $77\,610\,528\text{ m}^3$ ou 187 mm qui représentent 14,85 % des précipitations. Pendant cette même période le débit de la Karuzi atteignait $160\,237\,440\text{ m}^3$ ou 205 mm, soit 16,72 % des précipitations.

Dans le premier cas le rapport débit/précipitations était inférieur en Nyabiho de 1,15 %, dans le second cas de 1,87 %, ce qui donne une moyenne de 1,50 %. Comme le bassin de la Karuzi écoule annuellement 16,42 % des précipitations on peut admettre, en première approximation, que le débit moyen annuel de la Nyabiho représente environ 15 % des précipitations.

c) *Le terroir de la Ndurumu*

Les volumes d'eau de débit du terroir de la Ndurumu sont calculés par différence pondérée entre les débits mesurés de la Karuzi et de la Nyabiho. On calcule ainsi un débit moyen annuel égal à 18 % des précipitations.

3. L'ÉCOULEMENT SUPERFICIEL

Par écoulement superficiel nous entendons ici à la fois le volume des eaux de précipitations qui forme le ruissellement de surface (ruissellement superficiel) et celui qui, à faible profondeur dans le sol, s'écoule latéralement sur la face supérieure des couches géologiques ou pédologiques imperméables, approvisionnant la majorité des sources temporaires (écoulement hypodermique).

a) *Le bassin de la Karuzi*

Si nous établissons un graphique (*Fig. 7 a, b*) des débits moyens journaliers de la rivière au cours de la saison des pluies, plus exactement depuis le jour précédant la première précipitation jusqu'à une dizaine de jours après la dernière, nous y remarquons certains débits plus faibles qui se présentent régulièrement après une période de quelques jours sans précipitations; et ces débits plus faibles semblent former un alignement légèrement ascendant au fur et à mesure que progresse la saison des pluies. Pour la saison des pluies 1959/60 leur ajustement répond à l'équation:

$$y = 0,000015 x^2 + 0,102115 x + 24,164$$

pratiquement égale à celle d'une droite de la forme:

$$y = 0,12 x + 22$$

En dessinant cette droite sur le graphique nous scindons les eaux d'écoulement de la saison des pluies en deux parties dont on peut raisonnablement supposer que la partie supérieure représente le volume d'écoulement superficiel. Cet écoulement superficiel prend les valeurs suivantes:

- du 16 août 1959 au 15 août 1960: 24,35 % du débit;
- du 16 août 1960 au 15 août 1961: 26,38 % du débit;
- du 16 août 1959 au 15 août 1960: 4,07 % des précipitations;
- du 16 août 1960 au 15 août 1961: 4,24 % des précipitations;
- saison des pluies 1959/60: 29,65 % du débit;
- saison des pluies 1960/61: 31,75 % du débit.

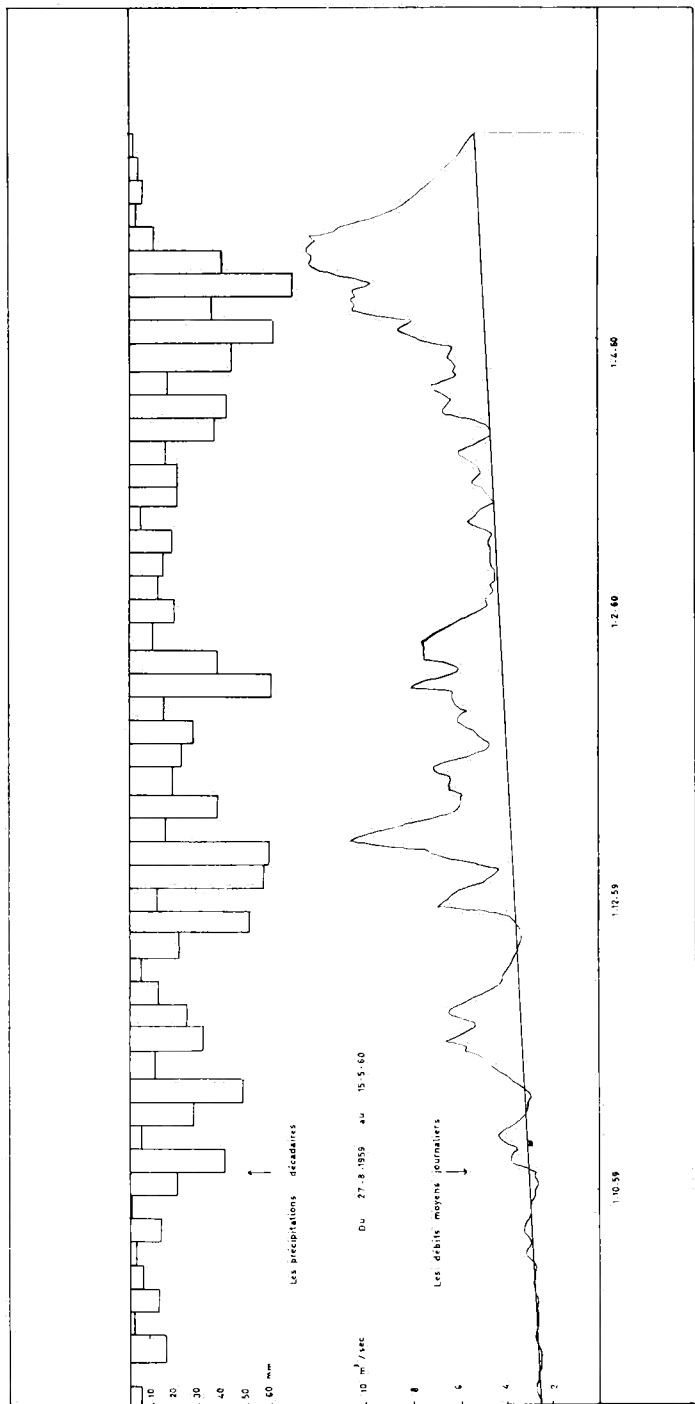


Fig. 7a. — Bassin de la Karuzi: les débits moyens journaliers et les précipitations décadaires en 1959-1960.

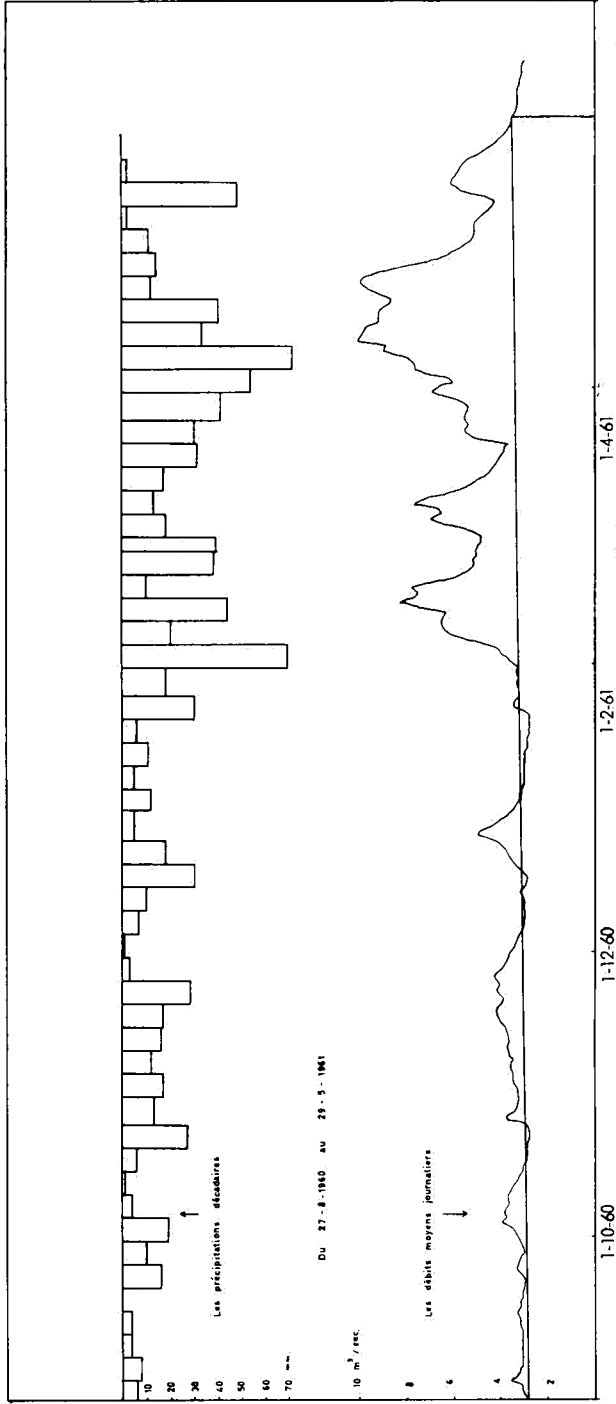


Fig. 7b. — Bassin de la Karuzi: les débits moyens journaliers et les précipitations décadaires en 1960-1961.

L'écoulement superficiel moyen annuel est égal à quelque 25 % du débit et à quelque 4 % des précipitations.

En saison des pluies il constitue 30 % du débit et durant les deux mois aux précipitations les plus abondantes, c.-à-d. les mois de mars-avril, l'écoulement superficiel en représente 40 à 50 %; en période de fortes crues il peut atteindre 65 %.

b) *Le terroir de la Nyabiho*

La courbe des débits moyens journaliers de la Nyabiho (Fig. 7 c, d) montre également une série de débits plus faibles qui s'échelonnent le long d'une droite légèrement ascendante. Le tracé de cette droite délimite le volume du débit dû à l'écoulement superficiel; pour le terroir de la Nyabiho ce dernier prend les valeurs suivantes:

- 16 août 1959 au 15 août 1960: 27,81 % du débit;
- 16 août 1960 au 15 août 1961: 29,42 % du débit;
- 16 août 1959 au 15 août 1960: 4,12 % des précipitations;
- 16 août 1960 au 15 août 1961: 4,51 % des précipitations;
- saison des pluies 1959/60: 34,46 % du débit;
- saison des pluies 1960/61: 34,62 % du débit.

L'écoulement superficiel moyen annuel est égal à quelque 28,5 % du débit et à quelque 4 % des précipitations.

c) *Le terroir de la Ndurumu*

La valeur de l'écoulement superficiel moyen annuel dans ce terroir peut être chiffré comme terme résiduel de la différence pondérée entre les écoulements superficiels du bassin de la Karuzi et du terroir de la Nyabiho. *Il est égal à environ 21,5 % du débit et à quelque 4 % des précipitations.*

4. L'ÉCOULEMENT PROFOND

Il s'agit ici de l'infiltration de l'eau des précipitations dans les couches profondes du sol, infiltration soustraite à l'écoulement superficiel. Lorsqu'on envisage une période au moins égale à 1 an, mais de préférence plus longue, aux deux extrémités de laquelle les débits de la rivière sont semblables, on peut supposer qu'en ces deux moments extrêmes les réserves en eau de la nappe

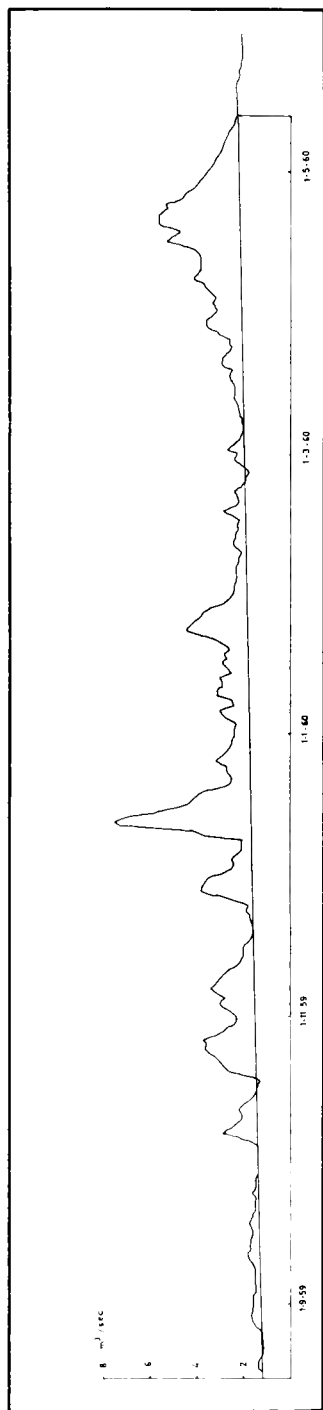


Fig. 7c. — Terroir de la Nyabiho: les débits journaliers du 16-8-1956 au 13-5-1960.

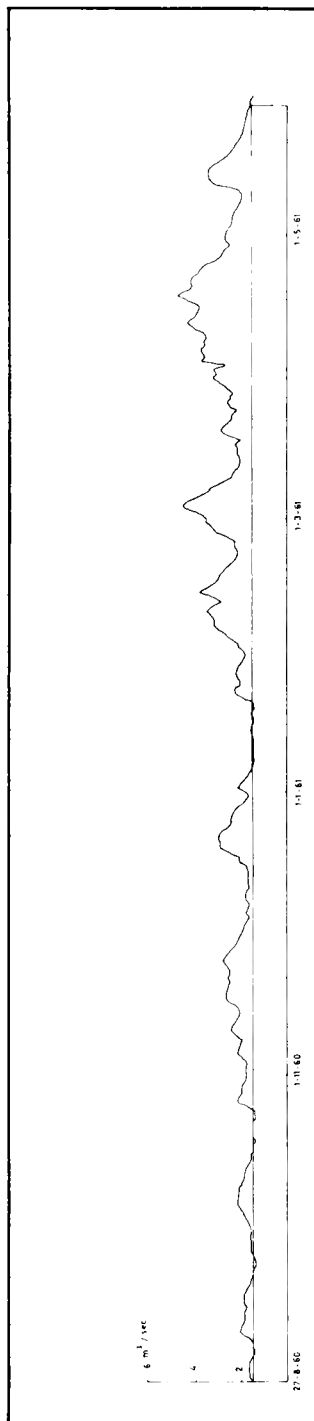


Fig. 7d. — Terroir de la Nyabiho: les débits moyens journaliers du 27-8-1960 au 29-5-1961.

profonde sont également semblables. Dès lors le volume d'eau mesuré à l'exutoire pendant cette période, diminué du volume d'eau dû à l'écoulement superficiel, provient uniquement de l'infiltration consécutive aux précipitations qui se sont produites pendant ce laps de temps. On peut dès lors en déduire le volume d'écoulement profond moyen annuel.

a) *Le bassin de la Karuzi*

Le 13 août 1959 et le 2 septembre 1961 le débit de la Karuzi était de $2,54 \text{ m}^3/\text{s}$. Pendant cette période de 2 ans et 19 jours les précipitations ont totalisé 2 255 mm et le débit de la rivière fut de 376 mm dont 94 mm provenaient de l'écoulement superficiel. La partie du débit alimentée par les nappes profondes atteignait donc 282 mm correspondant à un *écoulement profond moyen annuel de l'ordre de 12 à 13 % des précipitations*.

b) *Le terroir de la Nyabihò*

— Le 1 septembre 1959 et le 20 août 1960 les débits étaient respectivement de $1,56 \text{ m}^3/\text{s}$ et $1,57 \text{ m}^3/\text{s}$; pendant cette période de 1 an moins 11 jours l'écoulement profond fut égal à 10,66 % des précipitations.

— Le 1 juin 1960 et le 22 mai 1961 les débits étaient respectivement de $2,02 \text{ m}^3/\text{s}$ et $2,03 \text{ m}^3/\text{s}$; pendant cette période de 1 an moins 9 jours l'écoulement profond fut égal à 11,40 % des précipitations.

On peut en déduire que *l'écoulement profond moyen annuel est égal à 11 % des précipitations*.

c) *Le terroir de la Ndurumu*

Des valeurs obtenues pour le bassin de la Karuzi et le terroir de la Nyabihò on déduit que *l'écoulement profond y est égal à quelque 14 % des précipitations*.

5. L'ÉVAPOTRANSPIRATION

La quantité d'eau « utile » dont dispose un bassin versant est égale au volume d'eau P dû aux précipitations diminué de celui

q quittant le bassin à l'exutoire. Cette eau « utile » permet l'évapotranspiration E et fait varier le taux d'humidité du sol Δs ainsi que la réserve des nappes profondes Δp . On obtient ainsi $P - q = E + \Delta s + \Delta p$.

On conçoit cependant qu'il soit possible de déterminer une période relativement longue telle que le taux d'humidité du sol soit le même en début et en fin de période: c'est le cas de périodes s'étendant d'une saison des pluies (maximum d'intensité) à la suivante, ou joignant deux saisons sèches. Dans ce cas l'équation devient:

$$P - q = E + \Delta p$$

De même on peut au cours de ces saisons de pluie ou de ces saisons sèches déterminer des moments où les débits de la rivière sont les mêmes en début et fin de période, ce qui signifie que les réserves des nappes profondes sont sensiblement les mêmes. Alors l'équation s'écrit sous la forme réduite:

$$P - q = E$$

a) *Le bassin de la Karuzi*

— saison sèche: le débit est de 2,78 m³/s le 30 juin 1959 et le 21 octobre 1960. La lame d'eau des précipitations atteint 1 306 mm et le débit totalise 242 mm. L'évapotranspiration est de 1 306 — 242 = 1 064 mm ou 81,49 % des précipitations;

— saison sèche: le débit est de 2,82 m³/s le 24 août 1960 et le 13 juin 1961. La lame d'eau des précipitations atteint 1 026 mm et le débit totalise 143 mm. L'évapotranspiration est de 1 026 — 143 = 883 mm ou 86,07 % des précipitations;

— saison des pluies: le débit est de 4,30 m³/s le 9 décembre 1959 et 4,31 m³/s le 28 décembre 1960. La lame d'eau des précipitations atteint 1 135 mm et le débit totalise 207 mm. L'évapotranspiration est de 1 135 — 207 = 928 mm ou 81,78 % des précipitations;

— saison des pluies: le débit est de 6,48 m³/s le 18 mars 1960 et de 6,47 m³/s le 5 mars 1961. La lame d'eau des précipitations atteint 928 mm et le débit totalise 173 mm. L'évapotranspiration est de 928 — 173 = 755 mm ou 81,35 % des précipitations;

— période de 2 ans: le débit est de $2,54 \text{ m}^3/\text{s}$ le 13 août 1959 et le 2 septembre 1961. La lame d'eau des précipitations atteint $2\,255 \text{ mm}$ et le débit totalise 376 mm . L'évapotranspiration est de $2\,255 - 376 = 1\,879 \text{ mm}$ ou $83,33 \%$ des précipitations.

L'évapotranspiration moyenne pour les quatre saisons est de $(81,49 + 86,07 + 81,78 + 81,35) / 4 = 82,67 \%$ des précipitations, et elle atteint $83,33 \%$ lorsqu'elle est calculée pour une période de 2 ans. On peut donc admettre que l'évapotranspiration moyenne annuelle est égale à 83% des précipitations.

b) *Le terroir de la Nyabiho*

— saison sèche: le débit est de $1,51 \text{ m}^3/\text{s}$ le 4 septembre 1959 et le 2 septembre 1960. La lame d'eau des précipitations atteint $1\,238 \text{ mm}$ et le débit totalise 187 mm . L'évapotranspiration est de $1\,238 - 187 = 1\,051 \text{ mm}$ ou $84,86 \%$ des précipitations. Pendant ce temps, entre le 27 septembre 1959 et le 22 septembre 1960, l'évapotranspiration dans le bassin de la Karuzi atteignait $82,83 \%$ des précipitations;

— saison des pluies: le débit est de $3,11 \text{ m}^3/\text{s}$ le 1^{er} avril 1960 et le 1 avril 1961. La lame d'eau des précipitations atteint 967 mm et le débit totalise 173 mm . L'évapotranspiration est de $967 - 173 = 794 \text{ mm}$ ou $82,15 \%$ des précipitations. Pendant ce temps, entre le 1^{er} avril 1960 et le 6 avril 1961, l'évapotranspiration dans le bassin de la Karuzi atteignait $82,10 \%$ des précipitations;

— période de 21 mois: le débit est de $1,56 \text{ m}^3/\text{s}$ le 1^{er} septembre 1959 et le 30 mai 1961. La lame d'eau des précipitations atteint $2\,273 \text{ mm}$ et le débit totalise 322 mm . L'évapotranspiration est de $2\,273 - 322 = 1\,951 \text{ mm}$ ou $85,84 \%$ des précipitations. Pendant ce temps, entre le 16 septembre 1959 et le 13 juin 1961, l'évapotranspiration dans le bassin de la Karuzi atteignait $84,53 \%$ des précipitations.

Si nous établissons les moyennes pour ces trois périodes dans le terroir de la Nyabiho et dans le bassin de la Karuzi nous obtenons:

Nyabiho: $(84,86 + 82,15 + 85,84) / 3 = 84,28 \%$

Karuzi: $(82,83 + 82,10 + 84,53) / 3 = 83,15 \%$.

Le rapport Nyabiho/Karuzi $= 84,28/83,15 = 1,014$.

L'évapotranspiration moyenne annuelle dans le bassin de la Karuzi atteignant 83 % des précipitations, on obtient pour le terroir de la Nyabiho $83 \times 1,014 = 84,16$ %.

L'évapotranspiration est égale à 84 % des précipitations.

c) *Le terroir de la Ndurumu*

Connaissant les valeurs de l'évapotranspiration dans le bassin de la Karuzi et dans le terroir de la Nyabiho on calcule, par différence pondérée, que l'évapotranspiration y est de l'ordre de 81 à 82 % des précipitations.

D. LE BILAN D'EAU MOYEN ANNUEL

a) LE BASSIN DE LA KARUZI

Pour une période relativement longue, le bilan d'eau d'un bassin hydrographique répond à l'équation $P = E + N + R$ ($N + R = Q$) c'est-à-dire que la somme des volumes d'eau évapotranspirée (E) infiltrée (N) et ruisselée (R) doit être égale au volume des précipitations. Dans le cas présent nous retrouvons $83,00\%$ (E) + $12,51\%$ (N) + $4,15\%$ (R) = $99,66\%$ des précipitations, ce qui signifie une erreur minime de $0,34\%$ ou 4 mm à répartir proportionnellement sur les 3 termes. Ce qui donne:

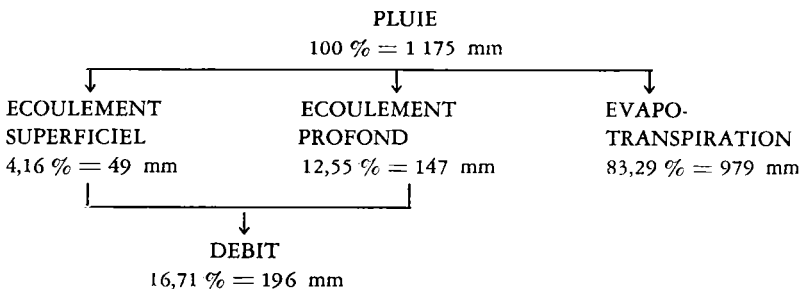
$E = 83,29\%$ des précipitations;

$N = 12,55\%$ des précipitations;

$R = 4,16\%$ des précipitations.

On remarque que $N + R$ qui forment le débit q totalisent $16,71\%$ des pluies alors que la mesure de l'écoulement à l'exutoire pendant deux ans indique une moyenne annuelle approximative de $16,42\%$; la différence est de $3,4$ mm.

Le bilan d'eau moyen annuel peut dès lors s'écrire:



b) *Le terroir de la Nyabiho*

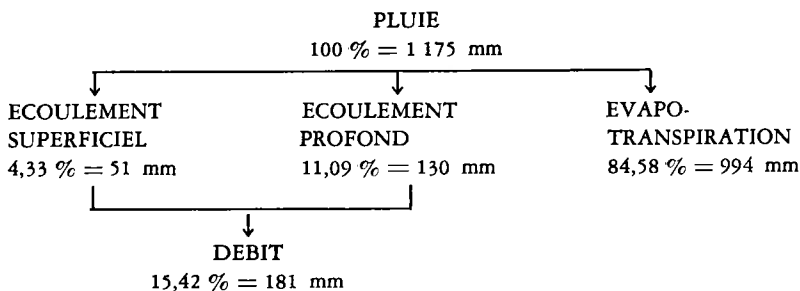
Des divers calculs il ressort que l'évapotranspiration, l'écoulement superficiel et l'écoulement profond totalisent $84,16\% + 4,31\% + 11,03\% = 99,50\%$ des précipitations, soit une erreur par défaut de $0,50\%$ ou $5,9\text{ mm}$ à répartir proportionnellement sur les 3 termes. On obtient ainsi:

$E = 84,58\%$ des précipitations;

$R = 4,33\%$ des précipitations;

$N = 11,09\%$ des précipitations.

Le bilan d'eau moyen annuel est:

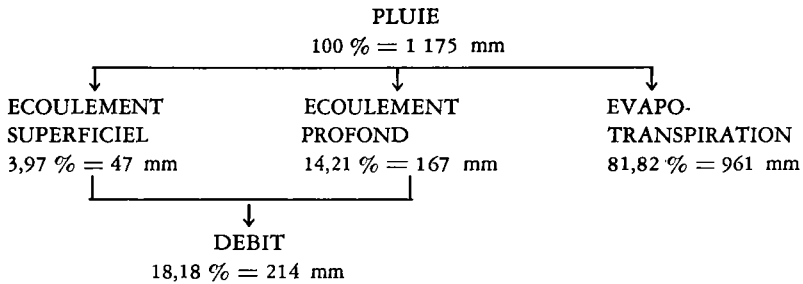


Des mesures de débit effectuées à l'exutoire de la Nyabiho entre le 16 août 1959 et le 31 mai 1961 on pouvait déduire en première approximation que l'écoulement annuel dans ce terroir, exprimé en % des précipitations, était inférieur de $1,51\%$ à celui du bassin de la Karuzi: $16,71\% - 1,51\% = 15,20\%$ des précipitations.

Cette valeur est inférieure de $0,22\%$ ou $2,6\text{ mm}$ au débit moyen réel.

c) *Le terroir de la Ndurumu*

Connaissant le bilan d'eau moyen annuel du bassin de la Karuzi et du terroir de la Nyabiho, on obtient par différence pondérée *le bilan d'eau moyen annuel du terroir de la Ndurumu:*



d) Comparaison du bilan d'eau des deux terroirs

L'écoulement superficiel est du même ordre de grandeur, la différence n'atteignant que 4 mm/an. Dans le terroir de la Ndurumu l'infiltration annuelle est supérieure de 37 mm ce qui provoque un débit plus élevé de 33 mm; cette plus grande infiltration peut s'expliquer par une plus grande proportion d'affleurements rocheux et une plus grande perméabilité des terres de culture. Par contre l'évapotranspiration annuelle est plus élevée de 33 mm dans le terroir de la Nyabiho; cette différence est probablement due à des cultures vivrières plus nombreuses.

Cependant, cette différence de 30 à 40 mm/an est trop faible pour permettre de différencier les deux terroirs; en effet:

— elle ne dépasse pas la hauteur des précipitations recueillies au cours d'une seule journée très pluvieuse;

— elle ne représente que 3 % des précipitations annuelles; or l'erreur instrumentale possible sur les mesures pluviométriques et limnimétriques est de cet ordre de grandeur;

— elle résulte de calculs et d'interprétations faites au départ des données obtenues après deux années seulement d'observations et de mesures.

Dans ces conditions, il convient d'admettre un même bilan d'eau pour les deux terroirs, bilan qui est celui du bassin de la Karuzi.

E. CONCLUSIONS

1. Dans les conditions d'aménagement actuel du bassin de la Karuzi l'évapotranspiration consomme plus de 83 % des eaux de précipitations.

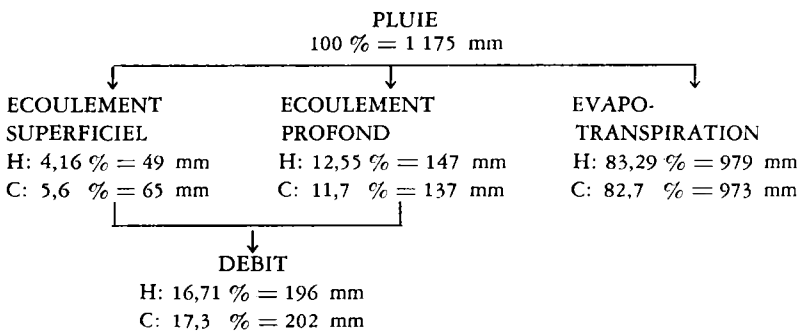
2. Cette évapotranspiration se produit au cours de la saison des pluies et pendant le premier mois de la saison sèche.

3. La création de barrages permettrait, dans les conditions optimales, la mise en réserve de 196 mm/an qui correspondent au volume du débit.

4. Cette réserve d'eau est insuffisante pour permettre une irrigation étendue et continue en saison sèche.

5. Par contre elle pourrait suffire pour une irrigation de complément en début et fin de saison des pluies permettant ainsi de stabiliser dans le temps la période de la production vivrière.

6. Le bilan d'eau établi à partir d'observations hydrologiques (H) diffère très peu de celui établi (*) à partir d'observations mésoclimatiques et écologiques (C) confirmant ainsi la précision des valeurs attribuées aux divers termes du bilan.



(*) Voir « Archives de la Mission de la Karuzi », vol. III.

7. Pour le bassin du Congo en amont de Kisangani et celui de l'Uele-Ubangi en amont de Bangui BULTOT a calculé des valeurs semblables:

- débit moyen annuel: 16 à 18 % des précipitations;
- évapotranspiration moyenne annuelle: 82 à 84 % des précipitations.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BODEUX, A.: Le bilan d'eau dans le bassin hydrographique de la Karuzi au Burundi. *Archives de la Mission de la Karuzi*, vol. III. Bruxelles, 1967, 102 p. 8 figs., 75 tabl. Bibl. p. 92-100.
- [2] BULTOT, F.: Sur la détermination des moyennes mensuelles et annuelles de l'évaporation réelle et de l'écoulement dans le Bassin congolais. *Bulletin des Séances de l'Académie royale des Sciences d'Outre-Mer*, t. VIII, fasc. 4, p. 816-838, Bruxelles, 1962. 8 tabl., 4 cartes, 11 référ.
- [3] PAHAUT, P.: Physiographie et pédologie du bassin de la Karuzi. *Archives de la Mission de la Karuzi (Urundi)*, vol. I, p. 9-108, 15 référ. Service des Publications d'Assistance technique, Ministère des Affaires Etrangères et du Commerce Extérieur, Bruxelles, 1961.
- [4] REMENIERAS, G.: L'Hydrologie de l'Ingénieur. Collection du Laboratoire national d'Hydraulique, Eyrolles, 1960.
- [5] ROCHE, M.: Hydrologie de surface. Gauthier-Villars, Paris, 1963.
- [6] VAN DER BEN, D.: Phytosociologie du bassin de la Karuzi. *Archives de la Mission de la Karuzi (Urundi)*, vol. I, p. 109-133. Service des Publications d'Assistance technique, Ministère des Affaires Etrangères et du Commerce Extérieur, Bruxelles, 1961.

TABLE DES MATIERES

RÉSUMÉ	3
SAMENVATTING	3
INTRODUCTION	5
A. GÉNÉRALITÉS	7
B. LES CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT	11
1. La superficie et la situation	11
2. L'indice de compacité	11
3. Le rectangle équivalent	12
4. La répartition altimétrique de la superficie et la courbe des fréquences altimétriques cumulées	12
5. La pente moyenne	15
6. L'indice de pente	15
7. Le profil en long et la pente moyenne de la rivière	16
8. Le profil en travers de la rivière	17
9. Le coefficient de drainage	18
C. LES DONNEES HYDROLOGIQUES	19
1. Les précipitations	19
2. Le débit	20
3. L'écoulement superficiel	24
4. L'écoulement profond	27
5. L'évapotranspiration	29
D. LE BILAN D'EAU MOYEN ANNUEL	33
E. CONCLUSIONS	36
BIBLIOGRAPHIE	38





Achévé d'imprimer le 23 février 1973
par l'Imprimerie SNOECK-DUCAJU et Fils, S.A., Gand-Bruxelles