

FLEUVES et RIVIERES du CAMEROUN

=====

Le CAMEROUN présente une grande variété de régions géographiques caractérisées par des facteurs climatologiques, géologiques et botaniques très différents.

L'Hydrologie du territoire est intimement liée à ces paramètres et les caractéristiques principales des régimes représentés en sont directement fonction.

On retrouve la même diversité dans le réseau hydrographique : les collecteurs des cours d'eau camerounais aboutissent en des points souvent très éloignés les uns des autres.

13 NOV. 1984

O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire

N° : 15 102

Cote : B

B 15102

H Y D R O G R A P H I E

On peut distinguer quatre ensembles d'importance très inégale (Fig.1) :

- 1°) les tributaires du CONGO
- 2°) les fleuves se jetant directement dans le golfe de GUINEE
- 3°) les tributaires du NIGER
- 4°) les tributaires directs ou indirects du Lac TCHAD.

1°) - TRIBUTAIRES du CONGO

Deux grands affluents de la SANGHA drainent le Sud-Est du territoire : la NGOKO et la KADEI.

a) la NGOKO est formée par la réunion du DJA et de la BOUMBE.

Le DJA prend naissance vers la cote 800 sur le plateau situé au Sud d'ABONG MBANG.

Il se dirige d'abord vers l'Ouest et, après un coude très accentué coule vers l'Est pendant 200 km. Il prend alors la direction générale Sud-Est jusqu'à la SANGHA où il se jette sous le nom de NGOKO qui est le sien depuis la réception de la BOUMBE (peu avant MOLOUNDOU).

Le profil en long du DJA est mal connu : la première partie de son cours présente une pente générale assez faible, n'excluant pas des accidents locaux. A une distance de 180 km de FORT-SOUFFLAY, la pente s'accroît, le DJA rejoignant la cuvette congolaise dont il atteint le niveau de base, 360 m, à une vingtaine de km à l'amont de cette localité. Dans cette section du cours, on retrouve une série de rapides et de chutes (chutes CHOLET). A son confluent avec la BOUMBE, son bassin versant couvre environ 40 400 km²; à son arrivée dans la SANGHA (sous le nom de NGOKO), il est de 76 000 km².

La BOUMBE prend sa source non loin de celle du DJA mais son parcours est beaucoup plus direct et son profil en long beaucoup plus régulier. Le seul affluent important de la BOUMBE est le BOK dit localement TSENE MAKANDA sur la rive droite.

Ces cours d'eau forestiers traversent des régions très peu peuplées, au développement économique encore très lent. Ils sont utilisés localement pour la pêche à une très petite échelle; la NGOKO présente un certain intérêt pour la navigation; leur régime participe à la fois du régime équatorial de transition et du régime équatorial pur.

b) La KADE (dite KADEI) est une rivière de savane qui prend sa source vers la cote 1000, dans les contreforts Sud-Est de l'ADAMAOUA. Elle conserve la direction générale Nord-Sud jusqu'à la rencontre de son principal affluent la DOUME à 50 km à l'aval de BATOURI. La KADEI prend alors la direction générale Ouest-Est jusqu'à sa sortie du CAMEROUN. En ce point elle est alimentée par un bassin de 23 800 km².

2°) - FLEUVES se JETANT dans le GOLFE de GUINEE

C'est l'ensemble le plus étendu situé presque en totalité sur le territoire camerounais.

On y distingue trois séries de bassins d'importance très inégale :

- a) les fleuves côtiers de l'Ouest
- b) la SANAGA
- c) les fleuves côtiers du Sud

a) - Fleuves côtiers de l'Ouest MUNGO, WOURI et DIBAMBA

Le MUNGO, prend sa source dans le CAMEROUN britannique au Nord du Mont KOUPE. Ce petit fleuve a une très forte pente dans son cours supérieur; très faible à partir de la frontière. Il se jette dans le golfe de GUINEE entre le CAP CAMEROUN et DOUALA, par un immense delta qu'il partage avec le WOURI. En ce point, son bassin versant est de 4 000 km².

Le WOURI, est le cours d'eau principal du Sud-Ouest et draine toute la partie Sud des pays Bamiléké. Il est formé par la réunion du NKAM et du MAKOMBE.

Le NKAM par son affluent la MENOUX descend des monts BAMBOUTO (altitude 2 600 m). Sa pente est très rapide dans son cours supérieur où il franchit les chutes, bien connues, d'EKOM au Sud de la route de BAFANG, près de NKONGSAMBA. La pente s'atténue un peu, s'accroît à nouveau entre les cotes 500 et 200, et diminue avant le confluent de la MAKOMBE.

La MAKOMBE est constituée par un éventail de petits cours d'eau à très forte pente prenant leur source dans le massif de BANA entre les cotes 2000 et 800 m. La rivière principale a un cours beaucoup moins rapide.

Le WOURI qui prolonge la MAKOMBE (direction Sud-Ouest) a une pente très faible. Il passe à YABASSI, reçoit la DIBOMBE, important affluent rive droite et se jette dans le golfe de GUINEE par un immense estuaire envasé où ont été aménagés le port de DOUALA et son annexe de BONABERI. Les chalands remontent jusqu'à YABASSI. Le bassin versant du WOURI, à DOUALA, a une superficie de 11 500 km².

La DIBAMBA, est formée par la réunion de l'EBO, de l'EKEM et de la DIBAMBA proprement dite. De nombreuses chutes coupent le cours de ces petites rivières : la dernière très spectaculaire, se trouve à quelques kilomètres en amont du pont de BONEPOUPA. La DIBAMBA se termine au Sud de DOUALA : son bassin est alors de 2 700 km².

La pêche est activement pratiquée dans ces trois cours d'eau dont le cours inférieur est navigable. Les cours supérieurs du MUNGO et surtout du WOURI, pourraient permettre d'importants aménagements hydroélectriques.

b) - La SANAGA

C'est le plus grand fleuve du CAMEROUN. Drainant tout le versant sud de l'ADAMA OUA et le versant est de la chaîne occidentale, jusqu'aux monts BAMBOUTO, il est formé par la réunion du LOM et du DJEREM.

Le DJEREM prend naissance sur le plateau de l'ADAMAOUA, château d'eau le plus important du CAMEROUN, vers 1100 m d'altitude, 40 km au Nord de MEIGANGA. Il coule vers l'Ouest pendant 180 km avec une forte pente. Puis, au confluent avec son principal affluent rive droite, le MENG vers l'altitude 750 - 800 m, il tourne brusquement vers le Sud-Sud-Ouest, traversant, jusqu'à son confluent avec le LOM, des savanes presque désertes. Le DJEREM reçoit deux affluents importants sur sa rive droite :

- la VINA du SUD, issue des montagnes à l'Est de NGAOUNDERE vers 1600 m. Sa pente est forte et sa vallée peut se prêter à des aménagements agricoles et hydroélectriques à quelques kilomètres de NGAOUNDERE.

- le BELI ou MENG, qui prend sa source dans la chaîne frontalière vers 2000 m d'altitude au Nord-Nord-Est de BANYO à faible distance des sources du MBAM. La partie supérieure de son cours est d'accès difficile, à pente très forte; il passe à TIBATI avant de se jeter, 30 km plus loin, dans le DJEREM.

Le LOM prend naissance en OUBANGUI sur la bordure Sud-Est de l'ADAMAOUA vers la cote 1200, au Nord-Est de MEIGANGA. Il traverse jusqu'à BETARE-OYA des régions presque aussi désertes que la vallée du DJEREM. Le LOM ne reçoit qu'un affluent important, le PANGAR (rive droite), 35 km en amont de son confluent avec le DJEREM.

La SANAGA, après ce confluent qui lui donne naissance, prend la direction générale Ouest-Sud-Ouest jusqu'à la mer. Elle coule d'abord au milieu d'une assez large galerie forestière; sa pente est faible puisque, dans le secteur de NANGA EBOKO, la SANAGA est navigable. Puis sur 20 km en amont des chutes de NACHTIGAL, elle se dénivelle de près de 100 m. Elle reçoit, sur sa rive droite, le MBAM à la cote 380 et entre en forêt. La SANAGA traverse alors le système montagneux assez complexe qui, du plateau Bamiléké, rejoint ceux de l'Ouest de l'OUBANGUI en passant par YAOUNDE et BERTOUA. Du confluent du MBAM jusqu'à EDEA, elle descend de 370 m sur 170 km par des séries de chutes et de rapides dont les plus belles sont les chutes HERBERT et d'EDEA. Ce bief est probablement le plus important de tout le CAMEROUN au point de vue énergétique puisque le plafond théorique de productibilité hydroélectrique est de 55 milliards de kWh par an. Actuellement, les 1200 millions de kWh de l'aménagement d'EDEA alimentent les réseaux urbains d'EDEA et de DOUALA, ainsi que la puissante industrie de transformation de bauxite, ALUCAM.

A l'aval d'EDEA, la SANAGA entre en plaine et se jette dans le golfe de GUINEE à 65 km des chutes. Son bassin versant est alors de 140 000 km².

Depuis le confluent DJEREM-LOM jusqu'à la mer, la SANAGA ne reçoit qu'un seul affluent notable : le MBAM, qui roule un volume annuel égal à 65 % de celui de la SANAGA à l'amont du confluent.

Le MBAM prend sa source vers 1900 m d'altitude dans les montagnes constituant la frontière avec le NIGERIA au Nord-Nord-Est de BANYO. Il descend rapidement en suivant une direction générale Nord-Sud et, après un parcours de 100 km, traverse, Ouest-Sud-Ouest, la plaine des TIKAR entre les cotes 700 et 600 jusqu'au confluent de la MAPE. Il reçoit là une série de petits affluents rive droite issus de la chaîne frontière, dont le DARIE.

Après la MAPE, il prend la direction générale Nord-Sud jusqu'au confluent du NOUN, descendant progressivement de 650 à 500 m, il reçoit deux affluents importants : le KIM sur la rive gauche qui vient de la région de YOKO et le NOUN sur la rive droite qui, issu des montagnes proches de la frontière en CAMEROUN britannique vers 2000 m d'altitude, descend très rapidement du Nord au Sud jusqu'à l'Est de BAFOUSSAM. Puis la pente diminue et la direction s'infléchit vers le Sud-Est.

Un peu avant BAFIA, le MBAM forme un coude de très grand rayon, reçoit le NDJIM sur sa rive gauche et conflue avec la SANAGA à la cote 380 après un parcours de 400 km. Son bassin versant au confluent est de 40 000 km².

c) - Les fleuves côtiers du Sud du CAMEROUN

Une série de fleuves côtiers d'importance très inégale se jettent dans l'Océan Atlantique, entre l'estuaire de la SANAGA et la frontière de la GUINEE ESPAGNOLE, ce sont du Nord au Sud : le NYONG, la LOKOUNDJE, la KIENKE, la LOBE et le NTEM.

Le NYONG est un fleuve important. Il prend naissance à l'Est d'ABONG-MBANG sur le grand plateau mamelonné situé au Sud-Est du territoire, vers la cote 700. Il suit la direction générale Ouest-Sud-Ouest jusqu'à MBALMAYO, soit à peu près à mi-chemin de son cours. Dans ce secteur amont, la pente est très faible, le fleuve est même navigable, mais la totalité du lit est encombré de plantes aquatiques.

Peu après MBALMAYO, le NYONG commence à descendre vers la mer par une série de chutes dont les plus importantes sont celles de MAKAK et de NJOK : ce bief est particulièrement intéressant pour la production d'énergie électrique. Puis le fleuve entre en plaine s'infléchit vers le Sud-Ouest pour se jeter dans l'Océan après un parcours de 520 km. Son bassin versant est de 29 000 km² à l'estuaire.

La LOKOUNDJE, est un petit fleuve côtier (160 km) qui prend naissance en bordure du plateau. Elle descend par une série presque continue de rapides et de chutes jusqu'à l'Océan.

La KIENKE et la LOBE, sont encore moins importantes. La LOBE présente des chutes spectaculaires à son estuaire au Sud de KRIBI. En plusieurs points de son cours, la LOBE dont le bassin est très arrosé présente des sites intéressants pour des aménagements hydroélectriques.

Le NTEM, plus important que le NYONG, traverse des régions bien moins peuplées et mal connues. Il prend sa source au GABON vers la cote 1100. Sa direction générale Ouest-Nord-Ouest s'infléchit vers l'Ouest à sa sortie du GABON avec lequel il forme frontière pendant 30 km puis quitte le plateau; c'est sur ce tronçon que se trouvent les chutes de NYABESSAM. Il se divise ensuite en deux bras BONGOLA et CAMPO dont le plus méridional est limitrophe de la GUINEE ESPAGNOLE. Ils se réunissent avant de se jeter dans l'Océan, à CAMPO, après un parcours de 360 km, ayant drainé un bassin de 31 000 km².

Parmi ses affluents, peu importants, le KOM semble être ou avoir été en contact avec l'AYINAYINA, de direction opposée (bassin de l'OGOWE) par un large couloir marécageux que révèlent les cartes les plus récentes; il suggère une capture qu'il serait intéressant de définir.

3°) - LA BENOUE, tributaire du NIGER est le grand fleuve du Nord. C'est un bassin soudanien, avec ses cours d'eau presque à sec pendant la longue saison sèche et débordant largement pendant les trois mois de hautes eaux. La BENOUE a joué un rôle très important dans l'histoire géologique de cette partie de l'Afrique. Elle a plusieurs fois servi d'exutoire à la cuvette tchadienne et la capture très partielle du LOGONE en est une modeste survivance; les faibles pentes, la largeur de la vallée, l'épaisseur des alluvions de la BENOUE et du mayo KEBI prouvent l'importance passée de ce fleuve.

La BENOUE prend sa source au lieu-dit HAMAM ADAM, à 1300 m d'altitude, dans les Monts MBANG, à 25 km au Nord de NGAOUNDERE, à 2 km de la BINI qui, plus loin, deviendra la VINA, branche mère du LOGONE.

C'est alors un ruisseau descendant presque immédiatement l'ADAMAOUA de 1300 à 700 m. Elle conserve encore une pente assez forte avec rapides et cascades jusque vers le village de BOUGOUMA où elle entre dans la plaine à la cote 250 correspondant au niveau de base de l'ancienne BENOUE. Elle reçoit alors une série de petits affluents en éventail : le REY et la LISSAKA qui drainent le versant Nord de l'ADAMAOUA, le TCHINA venant du TCHAD, sur la rive droite; le MBAY formé par les mayo SALA et BOKI sur la rive gauche. Ces rivières drainent la région encore montagneuse située au Nord de l'ADAMAOUA. La BENOUE traverse alors les gorges de LAGDO et, gardant la direction Sud-Est Nord-Ouest, rencontre sur sa rive droite, le mayo KEBI, ancienne vallée principale dont le volume annuel roulé ne correspond plus qu'au 1/3 de celui de la BENOUE. La pente est très faible : 0,08 o/oo, le lit majeur, large de plusieurs kilomètres, comporte de nombreux lacs et marécages. Après un parcours total de 350 km, la BENOUE reçoit sur sa rive gauche le FARO, puis quelques kilomètres après, en rive droite, un affluent secondaire, le TIEL, et entre au NIGERIA; son bassin versant est alors de 92 000 km².

Les deux affluents principaux de la BENOUE, au CAMEROUN, sont le KEBI et le FARO.

Le MAYO KEBI, est un curieux cours d'eau : ancien émissaire de la cuvette tchadienne, il ne présente pas une origine bien nette. En fait, il part du lit majeur du LOGONE dont il collecte une partie des eaux vers le maximum de la crue annuelle. Il forme une série continue de lacs et d'étangs dont les plus importants sont les lacs de FIANGA et de TIKEM (alt. 330 m), entre lesquels s'insère un second effluent au cours imprécis, quittant le LOGONE à ERE et qui reçoit du Sud un petit cours d'eau, la KABIA. C'est la dépression d'ERE qui présente, de beaucoup, le plus fort débit.

A la sortie du Lac de TIKEM, le lit du KEBI devient plus net. Il oblique vers l'Ouest, passe un seuil granitique à MBOURAO et rejoint le niveau de base de la BENOUE par les célèbres chutes GAUTHIOT. Il forme ensuite deux lacs : celui de TRENE et le grand lac de LERE, rencontre ses trois principaux affluents, les mayo BINDER, LOUTI et OULO puis, par une ancienne gorge à moitié remblayée, rejoint la BENOUE à la cote 230.

Le KEBI a une très faible pente et ses affluents présentent un régime torrentiel (mayo LOUTI signifie rivière folle): à chaque crue de ces affluents, le flot, perpendiculaire au lit principal, s'y partage au confluent en deux parties, l'une allant vers l'amont, l'autre vers l'aval; dès que la crue diminue, l'écoulement du KEBI redevient normal. Les alluvions des mayo BINDER, LOUTI et OULO véritables torrents s'élèvent en bourrelets perpendiculaires au talweg du mayo KEBI, qui ont contribué à former le lac de LERE.

Le FARO, rivière caractéristique de l'ADAMAOUA est presque aussi important que la BENOUE. Il prend sa source vers la cote 1000, serpente sur le plateau vers la cote 900, puis descend par des séries de cascades et rapides spectaculaires, mais peu connus, jusque vers la cote 450 à 220 km de sa source; la pente diminue; il rencontre ensuite son principal affluent, le DEO, se dirige vers le NORD, avec un lit très large encombré de bancs de sables.

Vers l'aval, il se sépare en trois bras qui se rejoignent avant le confluent avec la BENOUE vers la cote 170. Son bassin versant est de 29 000 km². Les alluvions transportées par le FARO perturbent complètement le lit de la BENOUE qu'ils encombrent de sable sur environ 200 km en aval.

La BENOUE est navigable pendant 55 jours en moyenne depuis GAROUA. BENOUE et KEBI offrent des possibilités intéressantes de régularisation. Les inondations dans le lit majeur permettent d'importantes cultures d'arachides et de mil repiqué.

4°) - TRIBUTAIRES du LAC TCHAD

Ces cours d'eau forment trois groupes aux caractères très différents : le LOGONE, les mayo de la région de MAROUA, l'EL BEID.

a) Le LOGONE : sa branche mère est la VINA qui, sous le nom de BINI, prend sa source non loin de celle de la BENOUE, au Nord de NGAOUNDERE. Par une région très peu connue, elle descend Est-Nord-Est vers la plaine du TCHAD par des rapides ou cascades séparant des biefs calmes, jusqu'au confluent avec la MBERE (cote 478).

La MBERE, affluent très important de la rive droite, prend également sa source sur le plateau de l'ADAMAOUA, entre NGAOUNDERE et MEIGANGA vers 1200 m. Elle s'installe plus loin dans un fossé d'effondrement, vers la cote 700, en recevant à droite, le NGOU, qui descend par de très belles cascades, les chutes LANCRENON (150 m de dénivellation).

Beaucoup plus à l'aval, le LOGONE matérialise la frontière jusqu'au confluent avec le CHARI (FORT-FOUREAU) qu'elle suit au delà jusqu'au TCHAD. LOGONE et CHARI sont bordés de zones marécageuses très étendues, surtout alimentées par les affluents ou les débordements en nappe des cours d'eau. A l'aval de YAGOUA, deux affluents du LOGONE, le GUERLEOU et la LOGOMATIA, alimentent pour la majeure partie une immense nappe d'eau : le Grand YAERE.

b) Les petits mayo de la région de MAROUA sont des torrents analogues aux affluents rive droite du mayo KEBI. Le plus important est le TSANAGA qui vient de MOKOLO et passe à MAROUA. A sec en saison sèche, ils coulent en hautes eaux dans des lits de sables de largeur démesurée et vont se perdre dans des marécages qui, généralement, communiquent avec le Grand YAERE.

Un sous-écoulement important peut y persister en saison sèche : il constitue alors une nappe phréatique très intéressante.

c) L'EL BEID est un drain naturel du grand YAERE vers le Lac TCHAD. Sa pente est très faible; son lit encombré d'arbres traverse une plaine d'argile grise imperméable. Il présente deux crues; la première est due au ruissellement des pluies de Juillet, Août et Septembre, la seconde à la crue du LOGONE qui gonfle le YAERE.

Pour être complet, il convient de signaler à l'extrême Nord, le Lac TCHAD, dont la rive camerounaise est basse et marécageuse.

H Y D R O L O G I E

Le facteur conditionnel principal du régime est la pluviométrie. Les isohyètes se confondent souvent avec les frontières qui séparent les régimes-types.

On distingue du Nord au Sud deux principaux régimes :

1 - Le régime tropical : pluviométrie annuelle de 600 à 1.500 - 1.600 mm.

2 - Le régime équatorial : pluviométrie annuelle 1.800 à 3.000 mm et plus.

Entre eux s'intercalent des régimes de transition et ceux des grands fleuves correspondant à la superposition de plusieurs régimes (régimes mixtes) ; il existe enfin de nombreuses singularités locales.

a) En régime équatorial, il y a quatre saisons : deux saisons sèches relatives en été et en hiver, et deux saisons des pluies abondantes au printemps et en automne. La végétation dominante est celle de la forêt dense humide (moist forest), souvent dégradée par les cultures anciennes ou actuelles (cultures vivrières ou d'exportation).

b) Le régime tropical est caractérisé par deux saisons, égales ou inégales selon la latitude, et d'autant plus contrastées que l'on monte vers le Nord. La forêt fait alors place à la savane et aux galeries forestières de plus en plus minces. Le peuplement arboré évolue vers les espèces résistant le mieux à la chaleur : baobabs, épineux, etc... Les mils, sorghos et arachides remplacent le manioc et le bananier et, plus au Nord, les champs de coton alternent avec les cultures vivrières.

CARACTERISTIQUES GENERALES DES DIVERS REGIMES HYDROLOGIQUES -

La courbe de variation des débits d'une rivière ressemble à la courbe des hauteurs pluviométriques. Les autres facteurs conditionnels du régime : dimensions, forme, exposition des bassins versants, relief, caractères géologiques, végétation, température et humidité relative viennent parfois masquer la relation pluie-débit, mais la corrélation existe toujours.

Sur un petit bassin versant peu perméable, les deux courbes sont très comparables; les crues suivent immédiatement les pluies qui leur donnent naissance.

Un grand bassin ne réagit pas de la même façon :

- d'une part, seules des pluies importantes entraînent des crues sensibles aux stations aval,

- d'autre part, un grand bassin est doué "d'inertie hydrologique" et c'est parfois plusieurs jours, voire plusieurs semaines après une pluie importante, que l'on enregistre la crue correspondante.

Au cours de l'année, les débits suivent des variations saisonnières : une ou deux périodes d'étiage encadrées par des périodes de hautes eaux correspondent aux saisons sèches et humides.

Le développement annuel du cycle est basé sur les déplacements du Front intertropical de convergence (F.I.T.), ainsi que les rappelle, dans cet ouvrage, l'article sur la climatologie.

Au CAMEROUN, les différents régimes hydrologiques se répartissent géographiquement ainsi (Fig. 1) :

Les bassins du NTEM, de la LOBE, de la KIENKE, de la LOKOUNDJE, sont soumis au régime équatorial ; tout le bassin de la BENOUE est caractéristique du régime tropical ; les bassins au Nord de MAROUA sont du type sahélien. Les autres bassins fluviaux appartiennent, soit à des types de transition, soit à des types mixtes, soit à des régimes altérés par des particularités locales.

La SANAGA, le plus grand fleuve du CAMEROUN, possède un régime mixte participant aux régimes tropical de transition et équatorial de transition. Le NYONG est du type équatorial de transition.

Le WOURI et les rivières du pays Bamiléké sont du type tropical de transition avec certaines particularités locales.

La VINA, la BENOUE supérieure, le FARO, le DJEREM supérieur sont soumis au régime tropical de transition de l'ADAMAOUA.

On analysera successivement pour chaque régime :

- la situation géographique et les rivières typiques,

- le module, c'est-à-dire le débit moyen annuel rapporté au kilomètre carré de bassin versant,

- les variations saisonnières des débits, par l'étude des étiages, des crues et plus généralement du graphique annuel des débits.

Il conviendra de distinguer entre petits et grands bassins ; des études de ruissellement sur bassins expérimentaux ont en effet permis de constater des différences très importantes entre ceux de quelques km² et ceux de plusieurs milliers de km².

- les crues exceptionnelles. Malgré l'insuffisance de renseignements dans ce domaine, les débits les plus forts observés ou estimés seront indiqués, soulignant là encore la différence profonde entre grand et petit bassin.

- L'irrégularité interannuelle.

Elle sera définie ici par le coefficient

$$K_3 = \frac{\text{module maximum}}{\text{module minimum}}$$

- le déficit d'écoulement

C'est la différence entre le volume précipité (P) et le volume débité (V) ; il correspond aux pertes de toutes natures intervenant dans le cycle de l'eau : pertes par évaporation et consommation des végétaux (E), perte définitive par infiltration (I) compensée partiellement par la condensation (C) ; il est donc traduit par la formule :

$$D = P - V = E + I - C.$$

- l'érosion

Le problème de l'érosion est très difficile à analyser. Les mesures en rivière nécessitent un matériel important, et pour être précises, doivent être continues. Une grande crue peut transporter à elle seule le quart, sinon plus, du volume solide total annuel. La lutte contre l'érosion est vitale dans le pays Bamiléké et surtout dans le Nord-Cameroun où il devient nécessaire de protéger le sol contre les entraînements de terre arable. Des mesures de transport solide ont été faites dans le Nord qui font ressortir l'importance des dégradations observées.

I - REGIMES EQUATORIAUX

A) Régime équatorial

Il est représenté au CAMEROUN par les rivières du Sud : NTEM, LOBE, LOKOUNDJE et KIENKE, dont les bassins versants sont couverts par la grande forêt équatoriale.

La bande couverte est théoriquement assez étroite. Très vite, quand on s'écarte vers le Nord de l'équateur climatique, la durée de la saison sèche de Juillet-Août diminue, rompant la symétrie parfaite qui caractérise le régime équatorial pur. La LOKOUNDJE (Fig. 2) déborde légèrement en zone équatoriale de transition. Le graphique est très équilibré, mais les étiages sont légèrement différents : celui du mois d'Août est moins bas que celui du premier trimestre.

Le régime équatorial pur est moins homogène que le régime tropical par exemple, car il n'est pas défini par deux limites pluviométriques, mais par une symétrie dans la répartition des pluies ; il s'étend à certaines stations recevant plus de 4 mètres d'eau par an et d'autres à peine 1.800 mm suivant la distance à la côte.

Module - Les modules suivent grossièrement la pluviométrie en accentuant les écarts, et les chiffres que l'on peut rencontrer vont de 60 à peut-être 15 l/s/km². On observe ainsi 55 l/s/km² sur la LOBE et 22 l/s/km² sur la LOKOUNDJE.

Il convient de souligner qu'en Afrique, les modules les plus forts appartiennent généralement au régime équatorial.

Variation saisonnière des débits - Le graphique annuel des débits se décompose en quatre parties distinctes :

De Décembre à Février : première saison sèche
De Mars à Juin : première saison des pluies
En Juillet, Août : seconde saison sèche
De Septembre à Décembre : seconde saison des pluies.

Sur le graphique de la LOBE (Fig. 3), par exemple, on remarque la parfaite symétrie des débits. Les pointes sont d'importance équivalente et les étiages identiques, ce qui semble être le critère le plus significatif.

Sur un petit bassin versant, il est probable que l'averse maxima annuelle détermine une pointe de débit très nette, de 300 à 800 l/s/km², suivant la dimension du bassin. Les débits restent élevés entre les averses, le tarissement n'a pas le temps de s'amorcer. Les étiages, plus difficiles à évaluer, dépendent des conditions locales : l'épaisse couverture végétale diminue l'évaporation et la couche humifère

retient une quantité d'eau appréciable. Au cours des deux saisons dites sèches de nombreuses petites pluies gonflent les débits, déformant la courbe de tarissement.

La LOBE et le NTEM sont les seuls bassins notables qui soient typiquement équatoriaux. On note sur la LOBE des débits de crue annuelle de 210 l/s/km² et des étiages de 8 l/s/km². La "dentelle" des crues subsiste : le bassin n'est pas assez important pour qu'elles se conjuguent. Ce trait caractérisant les "grands bassins" doit s'observer en régime équatorial pour des surfaces de réception plus modestes de l'ordre de 20.000 km² ; en effet, la lenteur des fleuves équatoriaux et les pluies fréquentes de grande extension dont le ruissellement est freiné par la végétation permettent le recouvrement des ondes de crue et leur fusion en un phénomène unique après un parcours beaucoup plus réduit qu'en régime tropical par exemple.

Crues exceptionnelles - Les observations sont encore trop récentes pour en déduire des chiffres sûrs. On peut admettre cependant que, pour un petit bassin, la pointe de crue se situe entre 0,8 et 2 m³/s/km² (fréquence décennale).

Pour un bassin de dimensions moyennes, il faut insister sur le fait que des pluies généralisées peuvent s'y abattre et provoquer une crue considérable ; les débits spécifiques maxima, mais non exceptionnels, atteignent alors près de 300 l/s/km² (sur 5 ans) ; la crue décennale ne doit guère dépasser 400 l/s/km².

Ces débits spécifiques diminuent rapidement avec l'augmentation de la surface : pour le NTEM (18.500 km² à la station d'observation) on obtient 45 l/s/km² de crue maxima en quatre ans.

Irrégularité interannuelle - Les résultats obtenus sont ici encore trop peu nombreux pour que l'on puisse avancer des chiffres sûrs. Après quatre années d'observations sur la LOBE, le coefficient K₃, peu élevé, est de 1,36, valeur comparable à celle des rivières voisines.

On peut s'attendre, pour des rivières moyennes et des pluviométries annuelles inférieures à 2 m, à des irrégularités interannuelles de 1,5 à 2 au maximum sur une longue période.

Déficit d'écoulement. Son appréciation est difficile, car si les débits sont connus avec une bonne approximation, il n'en est pas de même des pluies, les pluviomètres étant rares en zone forestière.

L'influence du facteur évaporation est réduite dans le climat équatorial. En effet, l'hygrométrie est élevée et proche de la saturation, principalement sous forêt. Les mouvements de l'air, au voisinage du sol, sont freinés par la végétation. La forte pluviométrie répartie sur toute l'année entraîne une nébulosité intense et une faible insolation. Mais la consommation d'eau par la végétation est certainement importante (forêt et plantes agricoles). Le déficit est de l'ordre de 800 à 1.200 mm.

Erosion - On n'a fait au CAMEROUN aucune mesure de transports solides en rivière équatoriale ; mais l'érosion doit être faible, grâce à l'épaisse couverture végétale.

B) Régime équatorial de transition

On a vu que la zone purement équatoriale est très étroite : elle déborde sur la LOKOUNDJE sans la recouvrir totalement. Dès le 4° parallèle Nord, une dissymétrie apparaît dans le graphique annuel.

Au CAMEROUN, le régime équatorial de transition est limité au Nord par le bassin de la SANAGA dont certains affluents Sud lui sont vraisemblablement soumis.

On y classe : le NYONG et deux affluents de la SANGHA : la DOUME et le DJA.

La pluviométrie, plus faible que pour le régime équatorial, varie de 1.800 à 1.500 mm environ.

Module - Le NYONG a un module de 7,5 l/s/km², chiffre anormalement bas pour le régime considéré, mais qui peut s'expliquer. En effet, le bassin du NYONG a une forme très allongée d'Est en Ouest et sa pente longitudinale est très faible. Ces deux caractéristiques sont liées. La végétation aquatique recouvre totalement le fleuve sur de grandes distances et entrave la navigation, possible cependant de MBALMAYO à ABONG MBANG.

Pour des rivières à pente plus forte, il faudrait tenir compte de modules plus élevés : 10 à 15 l/s/km², suivant dans une large mesure les variations de la hauteur pluviométrique annuelle.

Variations saisonnières des débits - Les caractères généraux sont proches du climat équatorial (Fig. 4). Les deux pointes de crues sont toutefois différentes et les étiages inégaux.

Les quatre saisons subsistent mais la saison sèche de Juillet-Août est plus courte ; la grande saison sèche commençant fin Novembre s'allonge au détriment de la saison des pluies de Mars à Juin, qui s'amenuise. L'étiage dure de Décembre à Mars, et l'on note sur le NYONG (14.300 km²) 2 l/s/km² au minimum ; on aurait 3 à 4 l/s/km² sur un bassin mieux arrosé. Les pluies ne disparaissent pas alors complètement et inscrivent des pointes isolées qui viennent perturber la courbe de tarissement ; elles sont suffisamment importantes pour augmenter nettement les débits journaliers du NYONG pendant le 1er trimestre.

Dès la fin du mois de Mars, les pluies se font plus fréquentes, les premières crues se dessinent : la petite saison des pluies va durer jusqu'en Juin.

Sur un grand bassin, les maxima de printemps sont moins élevés qu'en Novembre. Sur un petit bassin qui réagira non pas à un total hebdomadaire ou mensuel, mais à une averse, les crues seront du même ordre de grandeur qu'en Novembre mais moins fréquentes.

En Juillet-Août, on note un très net ralentissement dans les précipitations : c'est la petite saison sèche. Les débits restent supérieurs à ceux de l'étiage de Février : ils sont de 5 l/s/km² sur le NYONG.

La saison des pluies principale débute en Septembre. Les débits augmentent rapidement jusqu'en Octobre et, si le bassin est assez grand, ils restent élevés jusqu'à la fin Novembre ; les débits spécifiques de crue principale sont de 20 l/s/km² sur le NYONG ; on aurait 50 à 60 l/s/km², peut-être plus, sur un bassin mieux drainé.

Crues exceptionnelles - La distinction entre petit bassin et grand bassin est importante : il est probable que les débits spécifiques sont d'environ 1,5 à 2 m³/s/km² sur un bassin de quelques dizaines de km² pour une crue décennale. La même fréquence sur le NYONG donne 30 l/s/km² pour près de 15.000 km² ; chiffres assez faibles et très comparables à ceux observés en régime équatorial.

La grande forêt est la principale responsable de ces régimes peu contrastés. A l'Est du territoire vers BATOURI, les premières savanes doivent accentuer la différence entre étiages et hautes eaux et augmenter les débits spécifiques de crue.

Irrégularité interannuelle - Les coefficients calculés montrent une bonne homogénéité dans les résultats. Sur dix années, il faudrait envisager un coefficient K3 de 1,5 sur un bassin d'une superficie au moins égale à celle du NYONG et de 1,5 à 2 pour des bassins plus petits.

Le déficit d'écoulement est un peu plus important qu'en régime équatorial à pluviométrie égale. La saison sèche est plus longue et l'humidité relative moyenne moins forte. On observe 1.250 mm sur le NYONG pour une pluviométrie moyenne de 1.500 mm, déficit supérieur à la normale pour les raisons citées plus haut.

II - REGIMES TROPICAUX

A) Régime tropical de transition

L'opposition est très nette entre le régime tropical de transition et les régimes équatoriaux : les graphiques annuels des débits n'ont qu'une pointe de crue en Septembre-Octobre et des étiages plus longs et plus sévères. La végétation passe de la grande forêt aux galeries forestières entre lesquelles s'étend la savane. Ce paysage typique du régime tropical de transition s'observe particulièrement bien à partir de NANGA EBOKO. A l'Ouest la forêt subsiste plus longtemps car les pluies sont plus importantes.

Toutes les rivières situées au Nord du fleuve SANAGA lui-même et au Sud de la falaise de NGAOUNDERE participent à ce régime. Elles forment trois groupes géographiques :

- a) - Les affluents Nord de la SANAGA : régime tropical de transition de l'Est au Nord.
 - b) - Les rivières de l'Ouest (Pays Bamiléké) ; régime tropical de transition de l'Ouest.
 - c) - Les rivières du plateau de l'ADAMAOUA : régime tropical de transition de l'ADAMAOUA.
- a) - Régime tropical de transition de l'Est au Nord (affluents Nord de la SANAGA)

Il est représenté par le MBAM et le LOM inférieur ; la pluviométrie moyenne annuelle y est comprise entre 1.900 et 1.400 mm.

Les modules sont importants : 15 à 20 l/s/km².

Variations saisonnières des débits (Fig. 5) - Les premiers mois de l'année ne reçoivent que peu ou pas de précipitations. Les débits décroissent suivant une courbe de tarissement assez pure. Quelques pluies isolées à partir de Février viennent remonter les débits d'étiage et interrompre leur décroissance régulière. Les étiages sont abondants : 3 à 5 l/s/km².

En Avril-Mai, les pluies s'installent et les débits augmentent rapidement. On observe souvent un ralentissement des unes et des autres au mois d'Août, qui rappelle la proximité de l'équateur.

Le maximum de débit se produit en Septembre ou Octobre. Les débits spécifiques, de 70 à 100 l/s/km² pour la crue annuelle, sont valables pour des bassins versants de quelques dizaines de milliers de km².

Sur un petit bassin les étiages sont plus sévères et dépendent des conditions locales. Pendant les hautes eaux, chaque crue est rapidement évacuée : le ruissellement est moins freiné en savane qu'en forêt, les débits de pointe sont plus importants, la crue annuelle s'établit vers 1,5 à 2 m³/s/km² pour un bassin de 10 à 40 km².

Sur le MBAM et le LOM les débits de crue sont de l'ordre de 60 à 70 l/s/km². La montée des eaux est régulière et les crues se composent pour donner des variations continues de débit.

Les pluies cessent fin Octobre ; fin Décembre, les débits sont comparables à ceux d'étiage.

Crues exceptionnelles - Les averses ne sont pas plus violentes qu'en climat équatorial, mais le ruissellement est beaucoup moins freiné par la végétation. Aussi les crues maxima observées sur le MBAM et le LOM sont-elles respectivement de 77 et 63 l/s/km². Il est prudent de majorer ces chiffres vraiment proches de la crue annuelle : celui de 100 l/s/km² n'est certainement pas exagéré pour la crue décennale.

Remarquons que le MBAM, pour une superficie quatre fois supérieure à celle du LOM, donne des débits spécifiques plus forts. Certains affluents de droite, le NOUN et la MAPE ont un régime tropical de l'Ouest et leur abondance vient renforcer celle du MBAM.

Irrégularité interannuelle - Elle est du même ordre qu'en climat équatorial. Il est probable que le coefficient K₃ peut atteindre 2, sinon le dépasser légèrement. Il ne peut plus y avoir compensation d'une saison des pluies sur l'autre au cours de l'année, les pluies sont plus groupées : autant de facteurs qui accroissent l'irrégularité.

Le déficit d'écoulement atteint ici des valeurs maxima : 1.300 à 1.400 mm pour le LOM et le MBAM. Le déficit d'écoulement passe ici par un maximum : s'il pleut moins qu'en régime équatorial, les pluies sont plus groupées, la saison sèche plus longue, la durée d'ensoleillement plus importante et les températures diurnes plus fortes. Tous ces facteurs concourent à diminuer l'hygrométrie moyenne et à augmenter le potentiel d'évaporation.

L'érosion - Les galeries forestières ne freinent qu'imparfaitement les eaux de ruissellement. Sous ce régime, les transports solides sont appréciables mais encore bien loin des chiffres qu'on obtiendra plus au Nord.

b) - Régime tropical de transition de l'Ouest (WOURI et rivières du pays Bamiléké)

Résultant de la proximité de l'océan, des monts CAMEROUN et MANENGOUBA, c'est un régime de montagne aux pluies abondantes (2 à 3 m de moyenne annuelle) et violentes (certaines averses apportent 3 à 400 mm en 24 heures) ; les rivières y ont des pentes très fortes.

L'aire géographique n'est pas très importante mais les caractères propres à cette région sont très accusés.

Les modules figurent parmi les plus riches du CAMEROUN. On note 35 l/s/km² pour le WOURI pour un indice pluviométrique de 2.160 mm.

Variations saisonnières des débits - Le régime est d'aspect tropical malgré la très forte pluviométrie car on n'observe qu'une pointe de débit par an. Il y a deux saisons principales : la saison sèche longue de 4 mois, et celle des pluies. Au mois d'Août on note certaines années un ralentissement des précipitations qui entraîne une baisse rapide des débits. Ce rappel équatorial est accidentel et ne correspond pas à une petite saison sèche comme en régime équatorial de transition.

La saison "sèche" s'étale de la mi-Novembre à Mars. Les pluies y sont toutefois assez nombreuses, entraînant de petites crues qui défigurent le tarissement et relèvent les étiages. Ceux du WOURI (Fig. 6), le plus grand fleuve de ce régime, sont sensibles à des crues de saison sèche. Il en est donc de même pour les rivières plus petites. Les étiages sont riches de 7 l/s/km² à YABASSI et légèrement inférieurs à ceux des fleuves équatoriaux dont les bassins reçoivent une hauteur annuelle de pluie équivalente.

Dès le mois d'Avril, la pluviométrie augmente et ne se ralentira qu'après le mois d'Octobre, le plus arrosé avec celui de Septembre. Le sol est alors pratiquement saturé et c'est la période des crues les plus violentes. Les débits spécifiques sont en moyenne assez élevés : 125 l/s/km² sur le WOURI.

Sur le bassin du WOURI, qui approche 10.000 km², une certaine compensation intervient entre les divers affluents. La crue la plus violente observée est de 130 l/s/km². Il est probable que la crue décennale est proche de 200 l/s/km².

La végétation joue son rôle dans le déroulement des crues. En climat équatorial, la forêt est le grand élément modérateur. Dans l'Ouest du territoire, la zone forestière est encore importante sur le bassin inférieur du WOURI, et le bassin supérieur est dominé par les prairies et les plantations qui freinent encore quelque peu les eaux de ruissellement. L'infiltration est forte dans cette région aux sols volcaniques perméables et les sources sont fréquentes sur les lignes de contact.

Les éléments font défaut, qui permettraient de comparer le régime Ouest au régime équatorial, mais semble-t-il, les crues du premier ne sont pas plus fortes que celles du second, grâce surtout à l'infiltration dont le rôle est négligeable dans la zone de régime équatorial.

Irrégularité interannuelle - La forte pluviométrie et sa relation étroite avec la mousson entraînent une irrégularité interannuelle faible, probablement la plus faible du territoire ; K3 est de 1,19 en quatre ans pour le WOURI. Sur une période de 10 ans, il ne doit pas dépasser 1,5.

Le déficit d'écoulement du WOURI est de 1.200 mm pour une pluviométrie moyenne supérieure à 2 m. La lame d'eau écoulée est donc importante. L'altitude, en réduisant les températures moyennes, réduit aussi le potentiel d'évaporation. Les rosées matinales sont fréquentes. Notons également que la saison sèche reçoit, malgré son nom, de nombreuses averses. Ces faibles pertes jointes à l'écoulement rapide des eaux déterminent des déficits inférieurs à ceux du LOM et du MBAM.

L'érosion est très active en pays Bamiléké. Les éléments favorables sont nombreux : les pentes sont fortes en général et les terres volcaniques de la plus riche province du territoire sont facilement entraînées par les eaux. La forêt jouait jadis son rôle modérateur, mais elle a dû reculer devant l'homme. La forte poussée démographique des Bamiléké les conduit à augmenter sans cesse les surfaces cultivées au détriment de la forêt. D'importantes mesures de conservation des sols s'imposent d'urgence : reforestation et modification de certains modes de culture.

c) - Régime tropical de transition de l'ADAMAOUA (rivières du plateau de l'ADAMAOUA)

La VINA (Fig. 7), le DJEREM, le LOM supérieur, le MENG, le HAUT-FARO probablement sont soumis à ce régime que l'on peut comparer à celui de l'Ouest.

En effet, les plateaux de l'ADAMAOUA sont à 1.200 m d'altitude, ce qui réduit température et évaporation, et les pentes moyennes sont fortes. La différence principale entre les deux régimes porte sur la hauteur pluviométrique annuelle, qui est de 1.500 mm au lieu de 2.000 mm, et sa répartition dans l'année. D'autre part, la saison sèche est plus longue et plus rigoureuse qu'à l'Ouest, la végétation n'est donc pas la même. La grande forêt n'existe plus. Les plateaux sont couverts d'une savane monotone coupée de galeries forestières et parcourue en saison sèche par les feux de brousse ; aussi les eaux de ruissellement ne rencontrent-elles que de faibles obstacles.

Le module de la VINA est élevé : 22 l/s/km². Il varie certainement avec la hauteur précipitée car l'évaporation devient très active, surtout durant la saison sèche et la part qu'elle prélève sur les pluies varie peu d'une année sur l'autre.

Variation saisonnière des débits - La saison sèche augmentant de durée du Sud vers le Nord, est en moyenne de 5 mois à NGAOUNDERE (Novembre à Mars). Les phénomènes météorologiques sont moins réguliers qu'au Sud. Il arrive que le mois d'Avril ne soit pas plus arrosé que le mois de Mars, mais en 1954, au contraire, le total de Mars était proche de 200 mm.

Les petits cours d'eau sont presque à sec dès le mois de Janvier, sauf dans le cas, assez fréquent sur l'ADAMAOUA, où ils sont alimentés par une source.

Un grand bassin conserve un étiage apparent très appréciable : la VINA débite 4 l/s/km², ce qui la classe parmi les rivières riches du territoire. Sa plaine marécageuse, au Sud-Est de NGAOUNDERE, concourt vraisemblablement à renforcer l'étiage.

Les premiers orages éclatent en Avril ou Mai, suivant les années. Les averses sont courtes mais intenses et accompagnées d'un vent violent. Les mois les plus arrosés sont Juillet et Août en moyenne. Les pluies cessent totalement en Octobre ou Novembre suivant les années.

Sur un petit bassin, chaque averse entraîne une crue violente et brève. Les débits spécifiques de pointe sont élevés, de l'ordre de 1 à 2 m³/s/km². Entre deux averses, les débits de base sont faibles, de quelques litres par seconde.

Sur la VINA, bassin moyen de 1.690 km², les crues des affluents se composent pour donner une montée régulière du plan d'eau. Le débit maximum est atteint en Septembre ou Octobre : à la station du LAHORE, de WAKWA près de NGAOUNDERE, il est de 75 à 80 l/s/km² en moyenne, mais la grande plaine d'inondation en amont de cette station écrête les pointes maxima. A l'entrée de la plaine, la VINA doit rouler en crue 150 à 160 l/s/km².

Dès la mi-October, les eaux baissent ; la courbe de récession est très pure car les pluies sont pratiquement nulles dès Novembre et sans influence sur l'écoulement.

Crues exceptionnelles - Tout porte à croire qu'elles sont assez élevées : l'intensité des pluies qui peut atteindre 60 mm/h pendant plus d'une heure, les pentes fortes et la végétation maigre favorisant un écoulement rapide, entraînent des débits de pointe dépassant 5 m³/s/km² sur un bassin de quelques km².

Sur des bassins de quelques centaines de km², les cas de "tornades" s'abattant simultanément en divers points du bassin ne sont pas rares et les crues seront encore élevées. Pour la VINA, une compensation s'établit entre les différents affluents et le débit spécifique maximum observé est de 93 l/s/km². La crue décennale ne doit guère dépasser 110 à 120 l/s/km². Mais l'écrêtement des crues par la plaine d'inondation est maximum à ce moment. Il faudrait donc envisager, pour le cas général, des débits très supérieurs et voisins de 200 l/s/km².

Irrégularité interannuelle - On a déjà noté que la saison des pluies ne se reproduit plus avec la même rigueur qu'en climat équatorial ; la saison sèche est de durée inégale d'une année à l'autre : ces facteurs ne peuvent qu'augmenter l'irrégularité interannuelle. Le coefficient K₃ est de 1,51 après 6 ans d'observations sur la VINA. Il est nettement plus fort que ceux déjà rencontrés : sur une longue période, il doit atteindre aisément 1,8 ou même 2 sur un bassin de 1.500 km².

Le déficit d'écoulement commence à décroître par rapport au régime de transition précédemment examiné. Il est assez faible pour la VINA (820 mm) à cause des conditions de température et d'évaporation dues à l'altitude moyenne élevée des plateaux de l'ADAMAOUA ; cependant, la présence de zones marécageuses augmente sensiblement les pertes tant par évaporation directe que par la consommation des plantes ; une rivière mieux drainée accuserait un déficit d'écoulement de 750 à 800 mm.

Erosion - On ne possède encore aucun chiffre, mais la végétation pauvre, les pentes relativement fortes et les pluies violentes ne peuvent que favoriser des dégradations spécifiques élevées.

REGIMES MIXTES - cas particulier de la SANAGA

Avec ses 135.000 km² à EDEA et plus de 140.000 km² à l'embouchure, ce bassin versant de forme assez ramassée, sauf à l'aval, s'étend de NGAOUNDERE à YAOUNDE et de DOUALA à MEIGANGA.

Quelques affluents Sud ont un régime équatorial de transition, les affluents de l'Est, du Nord et de l'Ouest, un régime tropical de transition.

Le régime de la SANAGA est donc un régime de transition et plus précisément tropical de transition : la grande forêt couvre tout l'Ouest et le Sud du bassin ; au Nord et à l'Est de NANGA-EBOKO, elle fait place progressivement à la savane dont les forêts galeries diminuent d'importance vers le Nord sans toutefois disparaître.

La pluviométrie moyenne annuelle sur le bassin versant est de 1.650 mm environ. Le module est de 16 l/s/km², soit un débit moyen annuel de 2.162 m³/s à EDEA (à titre de comparaison, celui du RHONE, en aval de VALENCE, est de 1.600 m³/s).

Variations saisonnières des débits (Fig. 8) - Le caractère tropical du régime se traduit par un graphique simple. Les mois de Janvier et de Décembre sont les plus secs de l'année. Sur la partie inférieure du bassin on note quelques pluies sans influence sur les débits qui décroissent. Celles de Février et Mars produisent quelques petites crues qui déforment la courbe de tarissement.

L'étiage se produit en Mars. Il est de 3 à 4 l/s/km², c'est-à-dire de 400 à 500 m³/s à EDEA, s'abaissant à 300 m³/s environ en année sèche. La saison des pluies débute en Avril dont le total pluviométrique est trois fois supérieur à celui de Mars. Les débits augmentent lentement. Le bassin absorbe les eaux de pluie et rétablit le volume de ses réserves. Les pluies augmentent pendant les mois suivants et la SANAGA présente alors des crues de plus en plus violentes.

On note certaines années une baisse très sensible des débits au mois d'Août, mais ce phénomène n'est pas systématique et disparaît d'une moyenne de plusieurs années.

Les débits croissent jusqu'au mois d'Octobre. La crue maximum annuelle atteint en moyenne de 50 à 55 l/s/km² soit 6.000 à 7.000 m³/s.

Les pluies diminuent très rapidement au mois de Novembre. Les débits qui ne sont plus alimentés par les eaux de ruissellement s'effondrent avec régularité et en Décembre sont déjà nettement inférieurs au module.

Crues exceptionnelles - La crue maximum observée (1943) est de 8.500 m³/s, dépassant de peu la crue moyenne annuelle. Il est probable qu'une crue de 80 l/s/km², soit près de 11.000 m³/s, est très rare. En effet, les pluies importantes de grande extension ne sont pas fréquentes, surtout sur la partie amont du bassin.

Irrégularité interannuelle - Le coefficient K₃ est de 1,45 pour une période d'observations de 15 années. Il est assez élevé compte tenu de la superficie du bassin, mais ne contredit pas les résultats obtenus pour des bassins plus petits sous le même régime.

Déficit d'écoulement - Il est de 1.140 mm par an et correspond bien à une moyenne pondérée entre le MBAM, le LOM et les rivières du cours inférieur, influencées par le régime équatorial.

Erosion - Aucune mesure ne permet actuellement d'estimer les phénomènes d'érosion sans doute plus importants au Nord (savanes et pentes fortes) qu'au Sud (zone forestière).

B) Régime tropical pur

Les plateaux de l'ADAMAOUA se terminent brutalement au Nord et à l'Est par une descente rapide sur le bassin de la BENOUE et se raccordent à l'Ouest aux monts ALANTIKA. Au Nord de NGAOUNDERE, de la cote 1.200, on atteint en quelques dizaines de km la cote 500 au pied de la falaise. La transition est brusque à tous les points de vue : température, humidité relative, végétation.

Les isohyètes vont en décroissant du Sud vers le Nord. On note encore 1.400 mm au pied de la falaise mais il est probable que sur la falaise elle-même les précipitations atteignent des chiffres supérieurs en de nombreux points, particulièrement bien exposés. On retrouve au Nord, dans les monts du MANDARA, des pluies de relief atteignant 1.400 mm au col de MERI, par exemple ; la pluviométrie moyenne est cependant de l'ordre de 1.000 mm et le régime tropical pur est observé au CAMEROUN entre les isohyètes 1.200 et 850 mm.

Les rivières tropicales du CAMEROUN composent le bassin de la BENOUE (64.000 km² à GAROUA). Les affluents Sud sont moins caractéristiques que ceux du Nord : le FARO en particulier présente des étiages plus riches, un module plus abondant et subit une saison des pluies un peu plus longue que les autres rivières de la région grâce à un séjour prolongé sur les plateaux. Il n'intervient d'ailleurs pas dans le régime de la BENOUE à GAROUA puisqu'il conflue 90 km en aval de cette ville.

Il faut souligner également que les débits du mois de Novembre sur la BENOUE sont parfois soutenus par les débordements du LOGONE lorsque la saison des pluies est abondante en A.E.F. Les eaux du LOGONE empruntent alors le cours du **mayo** KEBI, lui-même régularisé par la traversée de plusieurs lacs : dépression TOUBOURI, lacs de TIKEM et de LERE). Ces déversements saisonniers des eaux du LOGONE dans le bassin de la BENOUE ont fait redouter une capture du LOGONE par la BENOUE. A la suite des études faites par la Mission LOGONE-TCHAD, il ne semble pas que le phénomène tende à s'aggraver.

Modules - Ils sont inférieurs à 10 l/s/km², sauf pour le FARO et la très haute BENOUE qui subissent l'influence des plateaux de l'ADAMAOUA. On observe 7,5 l/s/km² sur la BENOUE à RIAO et 6 à GAROUA. Les valeurs correspondantes sont plus faibles pour les affluents Nord : 2,9 pour le KEBI à FAMOU.

Variations saisonnières des débits (Fig. 9) - La saison sèche occupe une partie de l'automne, l'hiver et un mois du printemps boréal. Les débits sont très faibles et sur un petit bassin, s'annulent dès le mois d'Octobre. Un sous-écoulement persiste dans les alluvions dont la section, jusqu'au bed rock, peut être très importante. Il semble que l'humidité soit permanente dans le talweg d'un ruisseau de quelques km². Il est évident que la nature géologique et pédologique du bassin joue alors un grand rôle. Si un seuil rocheux oblige les eaux à cheminer en surface pendant un temps appréciable, le tarissement est alors total, l'évaporation absorbant sur ce seuil le faible débit qui circulait dans les sables.

Sur un bassin moyen la courbe de récession se prolonge de Novembre à Janvier-Février. Les débits apparents s'annulent généralement ou sont insignifiants, mais l'écoulement est pérenne dans le lit de sable parfois très épais.

Sur un grand bassin comme celui de la BENOUE, les débits apparents subsistent jusqu'à la saison des pluies. Ils sont très maigres et ne dépassent pas 0,01 l/s/km², mais supposent un écoulement dans les sables probablement très important.

L'évaporation n'est pas très élevée, car en Décembre, Janvier et Février, les températures maxima sont modérées. Dès le mois de Mars, les températures remontent, l'humidité relative diminue pour passer par un minimum en Mars ou Avril. L'évaporation dépasse facilement 5 mm par jour sur une nappe d'eau libre. Au mois d'Avril, les premiers grains orageux s'abattent sur la région : les pluies sont rares ou nulles au début, mais le vent est violent et l'électricité atmosphérique active. C'est la période la plus pénible de l'année car la température est élevée et l'humidité relative assez forte.

En Mai, les averses sont plus nombreuses surtout dans le Sud. Le déplacement Sud-Nord du F.I.T. explique ce retard des bassins du Nord sur ceux du Sud. La fréquence des grains augmente jusqu'en Août, diminue à nouveau jusqu'en Septembre ou Octobre. Les pluies cessent totalement en Novembre.

Les premières tornades ne ruissellent généralement pas sur un petit bassin, sauf si le sol est imperméable et la pente très forte comme sur les monts des environs de GUIDER et de FIGUIL, par exemple. Le lit s'assèche après chaque crue car les pluies sont espacées de 5 à 10 jours. Sur des terrains plus perméables il faudra attendre la fin de Juin ou le début de Juillet pour observer les premières crues. L'évaporation est encore forte et le sol desséché peut absorber des hauteurs d'eau considérables durant les premières semaines de la saison des pluies. La végétation renaît et consomme elle aussi une part appréciable des eaux de ruissellement. Au mois de Juillet, les crues sont assez fréquentes (une averse tous les trois ou quatre jours) pour qu'un écoulement de base subsiste entre deux crues. Cet écoulement permanent se maintiendra jusqu'à la fin Octobre. Les débits les plus élevés se rencontrent indistinctement en Juillet, Août ou Septembre avec une concentration plus grande pendant les deux premiers mois car la végétation n'est pleinement développée qu'au début de Septembre, réduisant alors le coefficient d'écoulement. Les débits spécifiques maxima peuvent atteindre 5 à 6 m³/s/km² pour des bassins de 30 à 50 km².

Sur un grand bassin comme celui de la BENOUE, les premières précipitations d'Avril et Mai sont sans effet. Les eaux commencent à monter en Juin. La crue se développe assez rapidement en Juillet pour atteindre son maximum en Août ou Septembre. Elle reste étale avec de brusques poussées dues à des coïncidences d'averses sur le bassin et la décrue s'amorce en Octobre ; aucune pluie ne vient perturber la courbe de tarissement. Le débit moyen de Novembre est 5 fois plus faible que celui d'Octobre. On observe assez souvent en Août, correspondant au passage du soleil au zénith, un ralentissement des pluies et des débits. Survenant en pleine période navigable, ce creux gêne considérablement le mouvement des navires.

Les débits spécifiques de crue sont modérés, 50 l/s/km² pour la BENOUE, mais bien plus élevés sur les bassins plus petits comme celui du LOUTI (1.000 à 2.000 km²). Le caractère montagneux prépondérant explique une crue annuelle dépassant 500 l/s/km² : c'est un véritable torrent qui se calme d'ailleurs dans la plaine un peu avant son confluent avec le mayo KEBI : sa pente en amont est de 1 à 2 o/oo.

Crues exceptionnelles - D'après des études effectuées sur petits bassins et dont les résultats sont très différents de ce que l'on mesure sur des rivières plus grandes, il semble que pour quelques hectares on atteigne 30 m³/s/km², 15 à 20 m³/s/km² pour 4 à 5 km² et probablement 5 à 10 m³/s/km² pour 25 à 50 km² ; ces crues, extrêmement violentes, sont dues à des précipitations intenses (70 mm en 1 heure par exemple) et centrées sur le bassin. La surface arrosée par une averse importante n'est pas très grande, quelques dizaines de km² au maximum ; au-delà, s'il pleut, la hauteur pluviométrique est beaucoup plus faible.

Sur le grand bassin de la BENOUE, les crues sont produites par des additions de crues élémentaires et la loi des grands nombres montre qu'il est improbable que tout le bassin soit arrosé par des averses de 50 à 80 mm en 1 heure. Il en résulte une pondération des crues élémentaires : la plus forte crue depuis plusieurs décades est de 6.700 m³/s, soit 105 l/s/km².

Sur un bassin comme celui du LOUTI, les coïncidences sont plus fréquentes et les débits spécifiques peuvent atteindre 1 à 2 m³/s/km².

On constate que le régime tropical favorise les crues les plus sévères : les éléments qui leur sont favorables l'emportent de beaucoup, dans le bassin de la BENOUE, sur les éléments modérateurs : les pluies sont toujours violentes, les pentes généralement fortes et la végétation clairsemée. Les débits sont assez élevés pour créer un réseau hydrographique dense, surtout dans le bassin supérieur. Mais dès l'entrée dans la plaine, les premiers symptômes de dégradation apparaissent. Le franchissement du bourrelet de rive par chaque affluent pose un problème : les cours d'eau restent parallèles et confluent en un point correspondant à une dépression naturelle. Les eaux se rejoignent et inondent des surfaces importantes pendant les crues en perdant de leur vigueur : d'où des débits spécifiques très importants sur les petits bassins et des débits spécifiques modérés sur les grands bassins.

Irrégularité interannuelle - On peut supposer a priori qu'elle sera forte. La pluviométrie annuelle n'est pas très importante et la saison des pluies est courte. Sur 25 ans, on a trouvé 2,2 pour la BENOUE, coefficient élevé par rapport à la grande superficie du bassin. Il dépasse vraisemblablement 3 pour les bassins de 1.000 ou 2.000 km².

Le déficit d'écoulement, très inférieur au potentiel d'évaporation de l'air (2.500 mm environ), est de 890 mm en moyenne sur la BENOUE. Ce n'est pas excessif pour plusieurs raisons : les débits s'écoulent rapidement sur le terrain et dans le fleuve évitant ainsi une longue évaporation ; ils sont totalement écoulés lorsque la saison sèche s'installe et que l'humidité relative descend à quelques % avec des températures diurnes de 40° ; la consommation végétale, appréciable certes, n'est pas comparable à celle des autres régimes où la forêt crée une rétention très importante ; pendant la saison sèche, le sol est déshydraté sur plusieurs décimètres et, malgré l'humidité très faible, l'évaporation est réduite, d'où la différence entre le déficit d'écoulement et le potentiel d'évaporation mesuré sur nappe d'eau libre ; le déficit est aggravé dans le cas où les plaines d'inondation et les lacs sont nombreux.

Erosion - Comme on l'a vu, la dégradation des vallées est déjà sensible. Les rivières rongent leurs berges friables et basses et s'élargissent démesurément en d'immenses lits de sable. Les fortes pentes sur les petits bassins et l'absence de végétation dense favorisent une érosion active en tête de bassin. Des mesures récentes ont donné des dégradations spécifiques de 6 à 700 tonnes par an et par km². Ces alluvions se déposent dans la plaine, remblaient les lits, forment des bourrelets de rive, ce qui diminue d'autant les transports solides en aval : aussi la dégradation spécifique sur la BENOUE mesurée à KINADA en aval de GAROUA ne semble-t-elle pas dépasser 4 à 6 tonnes par an et par km², c'est-à-dire beaucoup moins que la SEINE ou la LOIRE.

C) Régime Sahélien

C'est une variante du régime tropical. Il se caractérise par une dégradation beaucoup plus prononcée du réseau hydrographique, et par une pluviosité annuelle inférieure à 7 ou 800 mm. Ces caractéristiques s'appliquent aux rivières situées au Nord de MAROUA.

Le TSANAGA (Fig. 10), à BOGO, peut être pris comme rivière-type.

Modules - En régime tropical, et a fortiori en régime sahélien, la dissymétrie est très importante et les moyennes n'en rendent évidemment pas compte : le "débit moyen" n'est observé que quelques jours par an. Le module du TSANAGA, de 3,5 l/s/km² à BOGO est plus important qu'on aurait pu le penser, compte tenu de la pluviométrie moyenne du Nord CAMEROUN. Mais les monts du MANDARA culminent à 1.000 m et la pluviométrie, mal connue d'ailleurs, y est assez forte ; on a mesuré 1.400 mm au col de MERI. Ces régions montagneuses présentent toutes les caractéristiques des zones à fort ruissellement : terrain imperméable, fortes pentes et végétation clairsemée ; le réseau hydrographique y est bien tracé et les crues se propagent rapidement. Les débits spécifiques sont élevés et analogues à ceux du régime tropical pur ; mais quand le mayo entre en plaine, la dégradation du réseau y est beaucoup plus nette ; les apports du bassin intermédiaire, négligeables ou nuls, ne compensent pas les pertes par évaporation et infiltration dans les immenses vallées alluviales. On constate donc un amoindrissement des débits d'amont vers l'aval. Sur le TSANAGA, le débit moyen annuel passe de 7 m³/s à MAROUA pour 930 km², à 5 m³/s à BOGO pour 1.630 km² ; il y a souvent disparition complète des débits apparents. En saison des pluies, le TSANAGA se perd dans une zone d'inondation, ou YAERE, qui borde le LOGONE, mais son apport est faible et sensible uniquement en fin de saison.

Variation saisonnière des débits - La saison sèche dure d'Octobre à Mai. Les quatre premiers mois sont entièrement secs et les débits nuls avant la fin de Novembre. Durant toute cette période, le sous-écoulement dans les sables est permanent pour un bassin de quelques centaines de km². Les températures sont élevées, l'humidité relative réduite à quelques % : l'évaporation est donc intense.

Les premières "tornades" sèches apparaissent en Avril.

La saison des pluies commence pratiquement en Mars. Les grains sont violents mais leur fréquence ne dépasse pas une averse tous les 2 à 3 jours au plus fort de la saison humide, en Août par exemple. Les premiers mois n'enregistrent que de petites crues isolées qui disparaissent peu à peu vers l'aval, absorbées par les sables. L'écoulement permanent ne s'établit qu'en Juillet et le maximum de débit se situe généralement en Août ou Septembre. Chaque averse inscrit une pointe très acérée sur le graphique des débits atteignant facilement 100 l/s/km² ; après chaque crue les débits retombent très vite à leur valeur initiale. Au mois d'Octobre, les pluies cessent : les débits diminuent immédiatement et disparaissent quelques semaines plus tard.

Crues exceptionnelles - Pour un petit bassin, les chiffres sont analogues à ceux qui ont été donnés pour le régime tropical pur, car les phénomènes météorologiques générateurs sont les mêmes. Les facteurs pente, constitution du sol, végétation et période de l'année viendront modifier les chiffres proposés, c'est-à-dire 15 à 20 m³/s/km² pour 5 km² et 5 à 10 m³/s/km² pour 25 à 50 km².

Sur 1.000 ou 2.000 km² et à condition que le bassin supérieur soit montagneux, c'est-à-dire sans dégradation sensible, on observe encore des débits de pointe de 1 m³/s/km². En plaine, les crues sont très rapidement amorties et les débits dépendent essentiellement du point où sont faites les mesures.

Irrégularité interannuelle - Les observations sont encore trop récentes pour que l'on puisse annoncer des chiffres précis. L'irrégularité doit être forte. On peut supposer que le coefficient K₃ atteint 4 ou peut-être même 5 : il augmente quand la hauteur pluviométrique annuelle diminue.

Le déficit d'écoulement, si l'on considère un fleuve de plaine, dépend lui aussi de l'endroit où les mesures sont faites. En montagne le ruissellement est important : sol imperméable, averses intenses, forte pente et végétation pauvre ; le déficit est plus faible.

Il est de 600 à 650 mm pour le TSANAGA à MAROUA, mais pour une pluviométrie de 900 mm environ, c'est-à-dire supérieure à la pluviométrie du régime typique sahélien.

L'érosion est très active dans ces régions. Des mesures de transport solide donneraient certainement des chiffres élevés en montagne où l'écoulement est important, la végétation rare et ne protégeant pas le sol. En plaine, au contraire, les dégradations spécifiques sont modérées puisque l'écoulement, faible lui-même, décroît d'amont en aval, ce qui explique en partie la création de lacs et de marécages.

H. PELLERAY

Ingénieur I.E.T. à ELECTRICITE DE FRANCE

Chef de la Section d'Hydrologie
de l'INSTITUT de RECHERCHES
SCIENTIFIQUES du CAMEROUN

(O.R.S.T.O.M.)

