

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE

—○—  
Inspection Générale Union Française  
et Etranger

ÉTAT DU CAMEROUN

—○—  
Service des Ports  
et Voies Navigables

Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer  
—○—

# AMÉLIORATION DE LA NAVIGABILITÉ DE LA BÉNOUÉ

RAPPORT DÉFINITIF  
des campagnes d'études 1954-1955-1956

## B O R D E R E A U   G E N E R A L

=====

### I - NCTE HYDROLOGIQUE

### II - HYDROGRAPHIE

- 1) Travaux topographiques et hydrographiques
- 2) Interprétation des travaux hydrographiques

### III - PROPOSITION POUR L'AMELIORATION DE LA NAVIGABILITE

#### A - INTRODUCTION :

- 1) La BENCUE, voie de communication du Nord-CAMEROUN et du TCHAD
- 2) Difficultés de navigation - Améliorations possibles
- 3) Annexe

#### B - SOLUTION REDUITE :

- 1) Principes et réalisation pratique
- 2) Hauteurs et débits limites de navigation
- 3) Période de navigation
- 4) Tirant d'eau optimum
- 5) Adaptation et modernisation des bateaux
- 6) Amélioration des méthodes d'exploitation
- 7) Aménagement sommaire des seuils difficiles

#### C - REGULARISATION DU DEBIT :

- 1) Possibilités de régularisation
- 2) Conséquences hydrographiques de la régularisation
- 3) Régularisation par le barrage de LAGDO

#### D - CONCLUSIONS GENERALES :

ELECTRICITÉ DE FRANCE

—○—  
Inspection Générale Union Française  
et Étranger

ÉTAT DU CAMEROUN

—○—  
Service des Ports  
et Voies Navigables

Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer

—○—

# AMÉLIORATION DE LA NAVIGABILITÉ DE LA BÉNOUÉ

---

I

NOTE HYDROLOGIQUE

NOTE HYDROLOGIQUE

-----



## S O M M A I R E

- A - INTRODUCTION
- B - FACTEURS CONDITIONNELS DU REGIME
- C - OBSERVATIONS ET MESURES
- D - ELEMENTS DU REGIME
- ⊕ E - TRANSPORTS SOLIDES

### Annexes

- 1 - Relevés de hauteurs d'eau et de débits de la BENOUE
- ⊕ 2 - Note sur l'annonce des crues de la Haute-BENOUE, par M. ALDEGHERI.

-----

# CHAPITRE I

---

## NOTE HYDROLOGIQUE

---

### A - INTRODUCTION -

La BENOUE, principal affluent du NIGER Inférieur, prend sa source au CAMEROUN, dans le massif de l'ADAMAOUA. Elle dévale rapidement le rebord septentrional de ce massif puis, grossie du MAYO KEBI, infléchit son cours vers l'Ouest et, après un parcours d'environ 350 km, reçoit sur sa rive gauche un affluent important, le FARO, qui marque la frontière entre le CAMEROUN et le NIGERIA. Elle suit alors une direction Sud-Ouest, reçoit quelques affluents importants - la GONGOLA sur sa droite, la TARABA, la DONGA et la KATSENA sur sa gauche - et après un parcours de quelques 800 km sur le territoire du NIGERIA rejoint le NIGER à LOKOJA, à environ 400 km de la tête du delta par lequel celui-ci se jette dans l'Atlantique. La BENOUE constitue pour les territoires du Nord-CAMEROUN et du TCHAD une voie de pénétration qui, bien que n'offrant pas des conditions de navigation idéales, présente cependant l'avantage de n'être coupée d'aucune chute ni rapide entre GAROUA et la mer, soit sur près de 1.400 km.

Les premières études hydrologiques de la BENOUE sur la partie camerounaise de son cours ont été entreprises en 1950 par la Commission Scientifique du LOGONE et du TCHAD, dans le cadre des études de l'amélioration de la navigabilité qui lui avaient été confiées par le Ministère de la France d'Outre-Mer. Ces études ont permis la publication, en 1953, d'une "Monographie Hydrologique de la Haute-BENOUE", jointe au Rapport de Mission de la Commission du LOGONE et du TCHAD.

Cependant, les études de la Mission LOGONE-TCHAD étaient incomplètes, du fait qu'elles étaient restées limitées à la BENOUE camerounaise. Avec l'accord du Gouvernement du NIGERIA, ces études ont pu être reprises en 1954 et étendues jusqu'à GAMADIO, village situé à près de 200 km au delà de là .

frontière, en aval des passages les plus difficiles pour la navigation. La présente note fait le point des observations et mesures hydrologiques qui ont été effectuées de 1954 à 1956 par la Mission d'ELECTRICITE DE FRANCE, à qui la Direction des Ports et Voies Navigables du Cameroun avait confié les nouvelles études de l'amélioration de la navigabilité. Nous ferons également état des données hydrologiques recueillies par le Service d'Annonce des Crues de la BENOUE, créé en 1954 par la Direction des Ports et Voies Navigables du Cameroun avec la collaboration de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer. Signalons enfin que la Moyenne et Basse-BENOUE, ainsi que le NIGER Inférieur, ont été l'objet des investigations de NEDECO, Bureau d'Etudes Néerlandais chargé par le Gouvernement nigérien d'études analogues à celles de la Mission E.D.F., à une plus vaste échelle.

## B - FACTEURS CONDITIONNELS du REGIME -

Les facteurs conditionnels du régime ont déjà été étudiés de façon assez détaillée dans la "Monographie Hydrologique de la Haute-BENOUE". Nous les examinerons ici succinctement et les compléterons rapidement pour le bassin de la Moyenne-BENOUE.

### 1) RELIEF et GEOLOGIE

On peut distinguer, dans la partie camerounnaise du bassin de la BENOUE :

- Au Sud, le plateau granitique de l'ADAMAOUA, recouvert en partie d'épanchements de laves anciennes ou récentes et limité au Nord par la retombée abrupte de la "Falaise". L'altitude de l'ADAMAOUA varie entre 1.000 et 1.500 m.
- En contre-bas de la Falaise, le pays des Namchis, le pays de Boubandjida et, plus au Nord, le pays Fali, ancienne pénéplaine de schistes cristallins, injectés par places de massifs de jeunes granites, à laquelle l'érosion a donné un relief assez accentué. L'altitude y oscille généralement entre 200 et 800 m ; elle atteint cependant 1.600 m dans le massif de POLI. Vers le Nord, l'ancienne pénéplaine est en partie recouverte de formations crétacées, telles que les grés tabulaires du TINGUELIN, dans la région de GAROUA.
- En bordure de la frontière CAMEROUN-NIGERIA, la chaîne des ALANTIKAS qui culmine vers 1.500 m et, plus au Nord, les massifs granitiques et volcaniques des MANDARA et des KAPSIKI.

Au NIGERIA, le bassin de la BENOUE, axé dans une direction générale Nord-Est - Sud-Ouest, est recouvert, dans sa partie médiane, par des dépôts crétacés qui occupent un ancien fossé d'origine tectonique.

Entre le confluent du FARO et GAMADIO, les dépôts crétacés donnent lieu à des collines gréseuses qui bordent la vallée de la BENOUE de façon parfois assez étroite, notamment sur la rive droite entre OURO-BOKI et YOLA ("Bagele Hills").

Les dépôts crétacés sont limités de part et d'autre par deux importants massifs précambriens dans lesquels on rencontre de nombreuses intrusions de jeunes granites et des épanchements volcaniques. Ce sont :

- Au Nord-Ouest, le plateau BAUCHI, qui culmine vers 1.600 m et où prend naissance la GONGOLA ;
- Au Sud-Est, la chaîne frontalière qui prolonge l'ADAMAOUA en direction du Mont CAMEROUN, avec des sommets atteignant 2.000 m. Trois gros affluents y prennent leur source : la TARABA, la DONGA et la KATSENA. Entre le confluent du FARO et GAMADIO, les contreforts de cette chaîne s'approchent à quelques dizaines de kilomètres de la BENOUE ("Vere-Hills").

## 2) PLUVIOMETRIE

La pluviométrie sur l'ensemble du bassin de la BENOUE dépend de deux facteurs principaux : la latitude et le relief.

D'une façon générale, la pluviométrie décroît avec la latitude, depuis les régions équatoriales jusqu'aux régions sahéliennes. Les isohyètes affectent donc, dans l'ensemble, une direction Est-Ouest. Elles subissent cependant certaines déformations dues au relief qui a tendance à augmenter la pluviosité.

La majeure partie du bassin de la BENOUE est comprise entre les isohyètes 1.500 et 750 mm. La pluviométrie ne dépasse 1.500 mm que sur le bassin supérieur de la BENOUE et de ses principaux affluents, c'est-à-dire sur le plateau BAUCHI, sur le massif de l'ADAMAOUA et surtout sur la chaîne frontalière qui le prolonge vers le Sud-Ouest (voir carte à isohyètes - CAM 7984).

La répartition saisonnière des précipitations est conforme au climat tropical : la quasi-totalité des pluies annuelles tombe entre les mois d'Avril et d'Octobre, avec un maximum en Août-Septembre. Cependant, dans les régions les plus méridionales du bassin, la saison des pluies débute dès le mois de Mars et les précipitations maxima se produisent fin Juin ou début Juillet, puis en Septembre, avec une diminution intermédiaire plus ou moins nette fin Juillet ou début Août (climat tropical de transition).

Il est à noter, par ailleurs, que sur le plateau BAUCHI le maximum des précipitations se produit en Juillet et que la fin de la saison des pluies se produit dès le début d'Octobre.

A titre indicatif, on trouvera ci-après les précipitations moyennes mensuelles de quelques stations représentatives :

République du NIGER

République  
du  
TCHAD

République du DAHOMEY

NIGERIA

NUMAN

GAROUA

YOLA

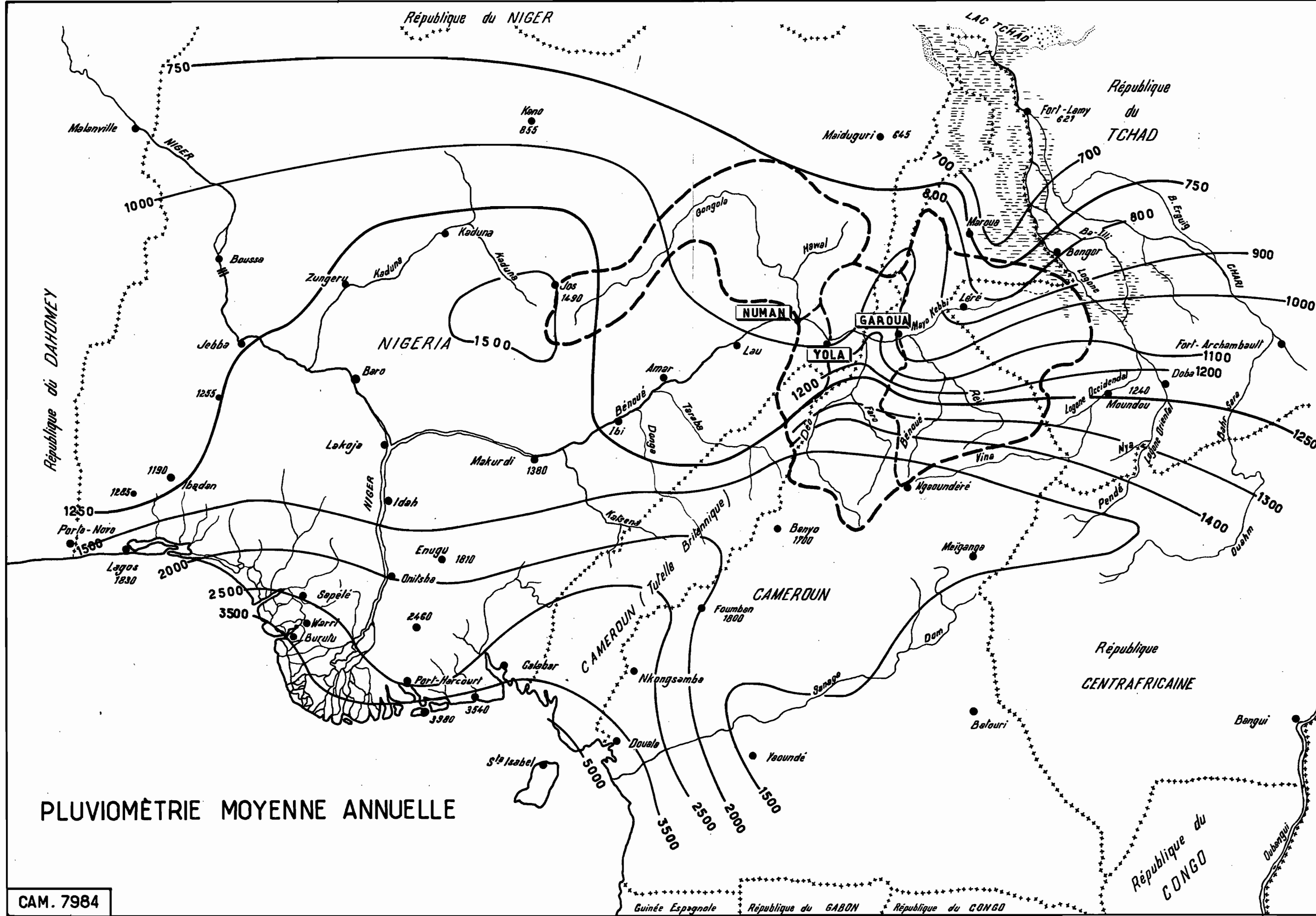
République  
CENTRAFRICAINE

CAMEROUN

CAMEROUN (Tutelle  
Britannique)

PLUVIOMÉTRIE MOYENNE ANNUELLE

CAM. 7984



| Stations   | J | F  | M  | A   | M   | J   | J   | A   | S   | O   | N  | D | Année |
|------------|---|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|---|-------|
| NGAOUNDERE | 4 | 2  | 43 | 145 | 206 | 240 | 280 | 274 | 240 | 150 | 10 | 4 | 1.598 |
| GAROUA     | 0 | 1  | 5  | 35  | 121 | 152 | 177 | 211 | 209 | 74  | 1  | 0 | 986   |
| KAELE      | 0 | 0  | 2  | 24  | 72  | 122 | 191 | 209 | 173 | 33  | 1  | 0 | 827   |
| YOLA       | 0 | 0  | 8  | 46  | 124 | 161 | 172 | 192 | 201 | 82  | 5  | 0 | 991   |
| MAKURDI    | 0 | 12 | 36 | 108 | 184 | 205 | 203 | 218 | 248 | 151 | 10 | 1 | 1.376 |
| JOS        | 3 | 3  | 26 | 88  | 246 | 232 | 329 | 300 | 213 | 43  | 3  | 2 | 1.492 |
|            |   |    |    |     |     |     |     |     |     |     |    |   |       |

### 3) VEGETATION

La plus grande partie du bassin versant de la BENOUE est couverte d'une végétation de savane plus ou moins dense.

Sur le relief, notamment dans l'ADAMAOUA et sur le Plateau BAUCHI, on rencontre une végétation de prairie avec galeries forestières le long des thalwegs. La savane boisée occupe, d'une façon générale, la partie méridionale du bassin sur laquelle la pluviométrie annuelle dépasse 1.000 à 1.250 mm.

Plus au Nord, la savane boisée disparaît et fait place à une savane plus clairsemée qui peut même prendre des caractères de savane à épineux lorsque la pluviométrie descend au-dessous de 800 à 900 mm.

## C - OBSERVATIONS et MESURES -

### 1) LIMNIMETRIE

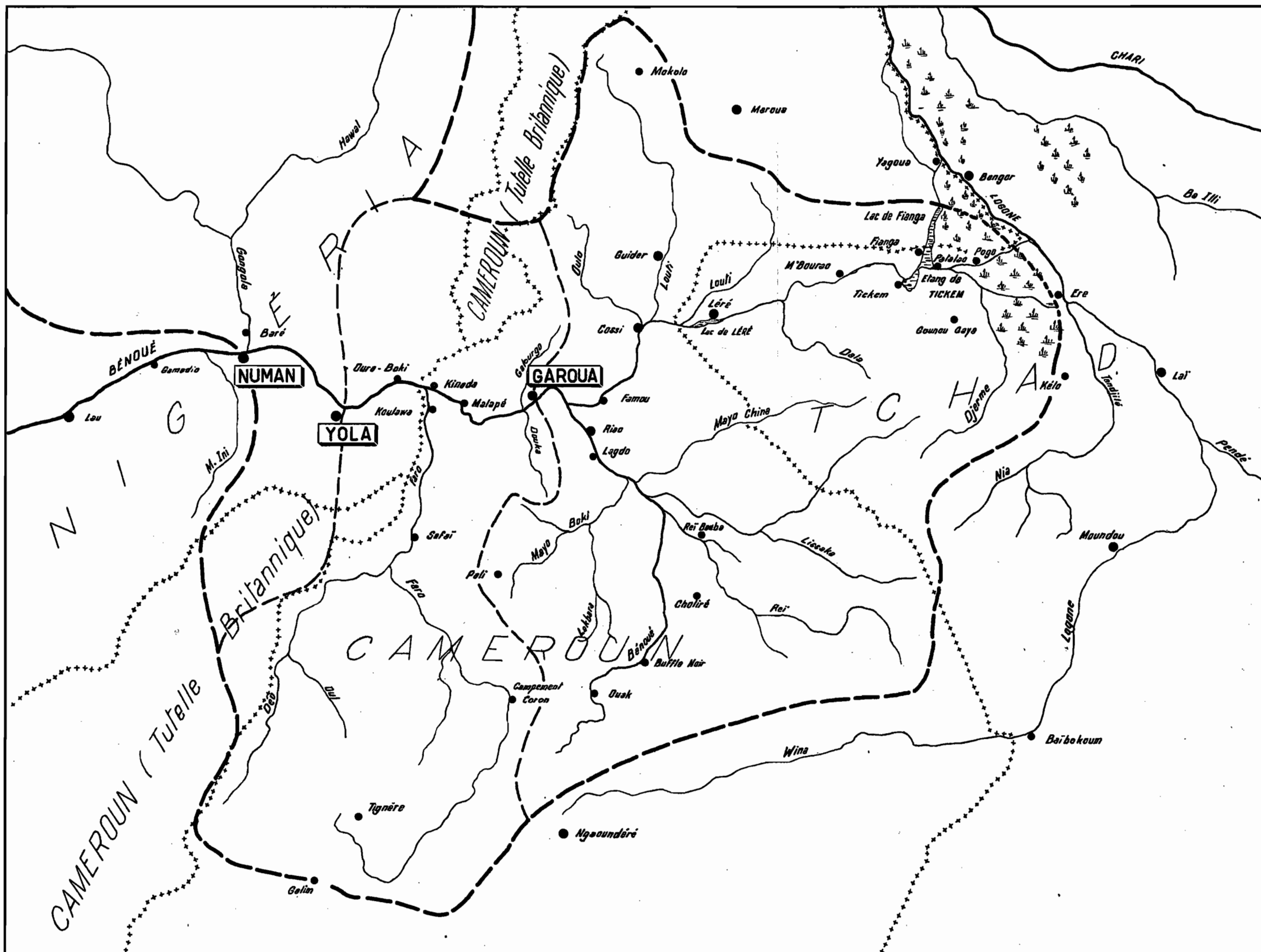
En 1954, une des premières activités de la Mission E.D.F. et du Service d'Annonce des Crues de la BENOUE a été de remettre en état et de compléter le réseau d'échelles limnimétriques précédemment installées par la Mission LOGONE-TCHAD et l'O.R.S.T.O.M. D'une façon générale, la Mission E.D.F., dont l'activité était plus particulièrement centrée sur les passages difficiles pour la navigation, qui se trouvent entre le confluent du FARO et GAMADIO, s'est occupé de l'installation et de l'exploitation des échelles situées au NIGERIA, tandis que le Service d'Annonce des Crues s'est chargé de celles mises en place au CAMEROUN.

Les stations limnimétriques de la BENOUE et de ses affluents, situées en amont de GAMADIO, sont portées dans le tableau ci-joint, avec des indications sur les périodes d'observations.

Les deux stations les plus importantes sont celles de GAROUA, pour laquelle on possède des relevés à peu près continus depuis 1930, et celle de YOLA, pour laquelle existent des relevés assez discontinus et pas très précis pour une vingtaine d'années. (Pour les années 1954 à 1956, nous préférons, à la station de YOLA, celle d'OURO-BOKI qui a été contrôlée de plus près et dont l'étalonnage est plus sûr. Le bassin intermédiaire entre OURO-BOKI et YOLA étant peu important, les débits à ces deux stations peuvent être considérés comme très sensiblement équivalents.)

On trouvera en annexe les relevés limnimétriques des principales stations pendant les années 1954 à 1957 incluses. Nous conservons en archives des observations beaucoup plus complètes, effectuées heure par heure pour certaines stations, à certaines époques.





# BASSIN DE LA BÉNOUÉ SUPÉRIEURE

ÉCHELLE : 1/2 000 000

| Stations                | Cours d'eau        | Superficie du bassin versant : km2 | Mise en service | Observations                                                               |
|-------------------------|--------------------|------------------------------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------------|
| BUFFLE NOIR             | BENOUE             | 2.900                              | 1955            |                                                                            |
| CHOLIRE                 | MAYO REÏ           | 6.000                              | 1955            | - limnigraphe de hautes eaux                                               |
| GAINA                   | MAYO GAINA         | 12.000                             | 1955            | - limnigraphe                                                              |
| RIAO                    | BENOUE             | 31.000                             | 1951            |                                                                            |
| COSSI                   | MAYO KEBI          | 26.000                             | Juillet 1954    |                                                                            |
| <u>GAROUA</u>           | BENOUE             | 64.000                             | 1930            |                                                                            |
| MALAPE                  | "                  | 67.000                             | Juillet 1955    | - limnigraphe de hautes eaux ; fonctionnement intermittent en 1955 et 1956 |
| KINADA                  | "                  | 68.000                             | Juillet 1956    | - échelle NEDECO                                                           |
| Camp <sup>t</sup> CORON | FARO               | 6.300                              | 1955            |                                                                            |
| SAFAÏ                   | "                  | 23.500                             | 1950            |                                                                            |
| KOULAWA                 | "                  | 27.000                             | Juillet 1955    | - limnigraphe ; fonctionnement intermittent en 1955 et 1956                |
| TEPE                    | Confl. FARO-BENOUE | 95.500                             | Juillet 1956    | - limnigraphe NEDECO                                                       |
| OURO-BOKI               | BENOUE             | 104.000                            | 25 Juillet 1954 |                                                                            |
| <u>YOLA</u>             | "                  | 107.000                            | 13 Août 1954    | - relevés antérieurs U.A.C.                                                |
| NUMAN                   | "                  | 170.000                            | 13 Sept. 1954   |                                                                            |
| BARE                    | GONGOLA            | 55.500                             | 16 Sept. 1954   | - lectures intermittentes                                                  |
| GAMADIO                 | BENOUE             | 175.000                            | Juillet 1955    | - échelle NEDECO                                                           |

## 2) MESURES de DEBITS

Au total, la Mission E.D.F. a procédé à environ 80 mesures de débits pour l'étalonnage des stations limnimétriques dont elle avait la charge. On trouvera, ci-dessous, la liste complète et les résultats de ces mesures.

De son côté, le Service d'Annonce des Crues a effectué de nombreux jaugeages, dont nous reproduisons ci-dessous les résultats pour les stations de RIAO, COSSI, GAROUA et SAFAI.

| Stations             | Dates    | Hauteurs<br>d'eau<br>cm | Débits<br>m <sup>3</sup> /s |
|----------------------|----------|-------------------------|-----------------------------|
| RIAO                 | 22-10-54 | 369                     | 565                         |
|                      | 3-11     | 228                     | 163                         |
|                      | 14-11    | 192                     | 100                         |
|                      | 3-10     | 492                     | 1.170                       |
|                      | 4-10     | 482                     | 1.105                       |
|                      | 3-12     | 145                     | 35                          |
|                      | 11- 1-55 | 106                     | 11,5                        |
|                      | 13- 9    | 512                     | 1.370                       |
|                      | 26- 9    | 571                     | 2.210                       |
|                      | 15- 4-56 | 087                     | 2,3                         |
|                      | 17- 8    | 382                     | 630                         |
|                      | 25- 8    | 302                     | 380                         |
|                      | 29- 8    | 446                     | 950                         |
|                      | 4- 9     | 505                     | 1.370                       |
|                      | 10- 9    | 556                     | 1.860                       |
|                      | 21- 9    | 526                     | 1.545                       |
|                      | 8-10     | 600                     | 2.840                       |
|                      | 6- 1-57  | 123                     | 11                          |
| COSSI<br>(Mayo KEBI) | 4-11-54  | 48                      | 110                         |
|                      | 30-11    | 37                      | 85                          |
|                      | 24-12    | 22                      | 56                          |
|                      | 17-10    | 44                      | 103                         |
|                      | 18-10    | 43                      | 102                         |
|                      | 19-10    | 66                      | 135                         |
|                      | 20-10    | 53                      | 104                         |
|                      | 21-10    | 67                      | 132                         |
|                      | 22-10    | 53,5                    | 113                         |

| Stations             | Dates    | Hauteurs<br>d'eau<br>cm | Débits<br>m <sup>3</sup> /s |
|----------------------|----------|-------------------------|-----------------------------|
| COSSI<br>(Mayo KEBI) | 6- 1-55  | 07                      | 40                          |
|                      | 24- 5    | -                       | 0,007                       |
|                      | 16- 4-56 | 36                      | 1,9                         |
|                      | 23- 8    | 174                     | 225                         |
|                      | 5- 9     | 180                     | 245                         |
|                      | 11- 9    | 230                     | 385                         |
|                      | 14- 9    | 360                     | 850                         |
|                      | 19- 9    | 205                     | 350                         |
|                      | 7- 1-57  | 80                      | 33                          |
|                      | 17- 9    | 218                     | 310                         |
| GAROUA               | 17- 5-54 | 043                     | 1,3                         |
|                      | 4- 9     | 710                     | 2.860                       |
|                      | 29- 9    | 602                     | 1.335                       |
|                      | 20-10    | 453                     | 805                         |
|                      | 23-10    | 435                     | 740                         |
|                      | 25-10    | 385                     | 587                         |
|                      | 30-10    | 310                     | 396                         |
|                      | 4-11     | 258                     | 284                         |
|                      | 8-11     | 234                     | 239                         |
|                      | 12-11    | 216                     | 214                         |
|                      | 22-11    | 191                     | 166                         |
|                      | 4-12     | 164                     | 117                         |
|                      | 15- 1-55 | 112                     | 41                          |
|                      | 13- 6    | 132                     | 70                          |
|                      | 15- 7    | 240                     | 285                         |
|                      | 18- 7    | 314                     | 465                         |
|                      | 20- 7    | 264                     | 340                         |
|                      | 29- 7    | 375                     | 625                         |
|                      | 16- 8    | 582                     | 1.455                       |
|                      | 29- 8    | 558                     | 1.355                       |
|                      | 9- 9     | 725                     | 3.250                       |
|                      | 20- 9    | 666                     | 2.230                       |
|                      | 28- 9    | 683                     | 2.625                       |
|                      | 18- 4-56 | 51                      | 5                           |
|                      | 28- 7    | 431                     | 785                         |
|                      | 31- 8    | 536                     | 1.180                       |
|                      | 1- 9     | 537                     | 1.215                       |
|                      | 6- 9     | 592                     | 1.530                       |
|                      | 12- 9    | 625                     | 1.685                       |
|                      | 13- 9    | 639                     | 1.865                       |

| Stations          | Dates    | Hauteurs<br>d'eau<br>cm | Débits<br>m <sup>3</sup> /s |
|-------------------|----------|-------------------------|-----------------------------|
| GAROUA<br>(suite) | 15- 9-56 | 670                     | 2.170                       |
|                   | 18- 9    | 718                     | 3.000                       |
|                   | 20- 9    | 705                     | 2.790                       |
|                   | 22- 9    | 679                     | 2.320                       |
|                   | 2-10     | 556                     | 1.310                       |
|                   | 21- 5-57 | 56                      | 4                           |
|                   | 19- 9    | 584                     | 1.510                       |
|                   | 1-10     | 611                     | 1.750                       |
| MALAPE            | 11- 9-55 | 740                     | 2.900                       |
|                   | 23- 9    | 685                     | 2.000                       |
|                   | 9-11     | 203                     | 355                         |
|                   | 18- 5-57 | - 109                   | 2,9                         |
| KINADA            | 9- 8-56  | 337                     | 930                         |
|                   | 13- 9    | 474                     | 1.530                       |
|                   | 4-10     | 403                     | 1.170                       |
|                   | 26-10    | 202                     | 390                         |
| SAFAÏ<br>(Faro)   | 6-10-54  | 277                     | 1.345                       |
|                   | 8-10     | 372                     | 2.890                       |
|                   | 27-10    | 208                     | 633                         |
|                   | 28-10    | 205                     | 621                         |
|                   | 6-11     | 158                     | 336                         |
|                   | 17-11    | 137                     | 219                         |
|                   | 14-12    | 101                     | 90                          |
|                   | 12- 1-55 | 79                      | 41                          |
|                   | 11- 7    | 158                     | 363                         |
|                   | 19- 8    | 198                     | 670                         |
|                   | 30- 9    | 220                     | 1.015                       |
|                   | 22-10    | 210                     | 850                         |
|                   | 14- 4-56 | 50                      | 22                          |
|                   | 27- 9    | 200                     | 640                         |
|                   | 10-10-57 | 294                     | 1.790                       |

| Stations                     | Dates    | Hauteurs<br>d'eau<br>cm | Débits<br>m <sup>3</sup> /s |
|------------------------------|----------|-------------------------|-----------------------------|
| KOSSEL-<br>KOULAWA<br>(Faro) | 9- 8-55  | - 71                    | 1.270                       |
|                              | 10- 9    | - 70                    | 1.260                       |
|                              | 1-10     | - 95,5                  | 1.000                       |
|                              | 11-10    | - 1,5                   | 2.140                       |
|                              | 27-10    | - 68                    | 1.350                       |
|                              | 8-11     | - 183                   | 405                         |
|                              | 21- 1-56 | - 291                   | 37                          |
|                              | 30-10    | - 222                   | 203                         |
| OURO-BOKI                    | 2- 9-54  | 464                     | 2.550                       |
|                              | 23- 9    | 523                     | 3.400                       |
|                              | 7-10     | 504                     | 3.110                       |
|                              | 22-10    | 468                     | 2.570                       |
|                              | 31-10    | 349                     | 1.200                       |
|                              | 5-11     | 300                     | 820                         |
|                              | 16-11    | 266                     | 550                         |
|                              | 18-12    | 182                     | 177                         |
|                              | 3- 5-55  | 95                      | 31                          |
|                              | 2- 8     | 449                     | 2.320                       |
|                              | 6- 9     | 536                     | 3.680                       |
|                              | 24- 9    | 551                     | 3.800                       |
|                              | 10-10    | 594                     | 4.600                       |
|                              | 26-10    | 421                     | 2.050                       |
|                              | 4-11     | 369                     | 1.310                       |
|                              | 6-11     | 338                     | 1.075                       |
|                              | 18- 1-56 | 138                     | 79                          |
|                              | 14- 8-56 | 385                     | 1.400                       |
| YOLA                         | 13- 8-54 | 367                     | 840                         |
|                              | 9- 9     | 619                     | 3.900                       |
|                              | 9-10     | 571                     | 3.180                       |
|                              | 20-10    | 570                     | 3.250                       |
|                              | 24-10    | 505                     | 2.400                       |
|                              | 28-10    | 433                     | 1.380                       |
|                              | 3-11     | 374                     | 910                         |
|                              | 18-11    | 280                     | 540                         |
|                              | 20-12    | 175                     | 185                         |

| Stations          | Dates    | Hauteurs<br>d'eau<br>cm | Débits<br>m <sup>3</sup> /s |
|-------------------|----------|-------------------------|-----------------------------|
| YOLA (suite)      | 16- 1-55 | 137                     | 107                         |
|                   | 27- 4    | 96                      | 27                          |
|                   | 26- 9    | 627                     | 4.200                       |
|                   | 24-10    | 485                     | 2.230                       |
|                   | 1- 8-56  | 402                     | 1.360                       |
|                   | 26- 9    | 598                     | 3.520                       |
|                   | 30- 9    | 528                     | 2.650                       |
|                   | 19-10    | 480                     | 2.010                       |
|                   | 24-10    | 375                     | 1.045                       |
|                   | 28-10    | 324                     | 695                         |
|                   |          |                         |                             |
| NUMAN             | 15- 9-54 | 558                     | 4.600                       |
|                   | 16-10    | 574                     | 4.940                       |
|                   | 26-10    | 427                     | 2.500                       |
|                   | 2-11     | 331                     | 1.350                       |
|                   | 19-11    | 221                     | 590                         |
|                   | 22-12    | 150                     | 207                         |
|                   | 15- 1-55 | 124                     | 117                         |
|                   | 30- 4    | 89                      | 33                          |
|                   | 28- 9    | 607                     | 5.330                       |
|                   | 23-10    | 463                     | 2.920                       |
|                   | 27- 7-56 | 337                     | 1.460                       |
|                   | 20-10    | 409                     | 2.210                       |
|                   |          |                         |                             |
| BARE<br>(GONGOLA) | 18- 9-54 | 268                     | 710                         |
|                   | 14-10    | 255                     | 620                         |
|                   | 20-11    | 105                     | 55                          |
|                   | 23-12    | 79                      | 15,5                        |
|                   | 28- 8-55 | 241                     | 420                         |
|                   | 18-10    | 227                     | 320                         |
|                   | 29- 7-56 | 255                     | 560                         |
|                   | 2- 9     | 379                     | 1.625                       |
|                   | 27- 9    | 247                     | 445                         |

| Stations | Dates    | Hauteurs<br>d'eau<br>cm | Débits<br>m <sup>3</sup> /s |
|----------|----------|-------------------------|-----------------------------|
| GAMADIO  | 27- 7-55 | 116                     | 1.870                       |
|          | 2- 9     | 265                     | 3.500                       |
|          | 21-10    | 299                     | 3.650                       |
|          | 19- 7-56 | 10                      | 990                         |
|          | 5- 9     | 315                     | 4.070                       |
|          | 28- 9    | 330                     | 4.350                       |
|          | 22-10    | 141                     | 1.810                       |

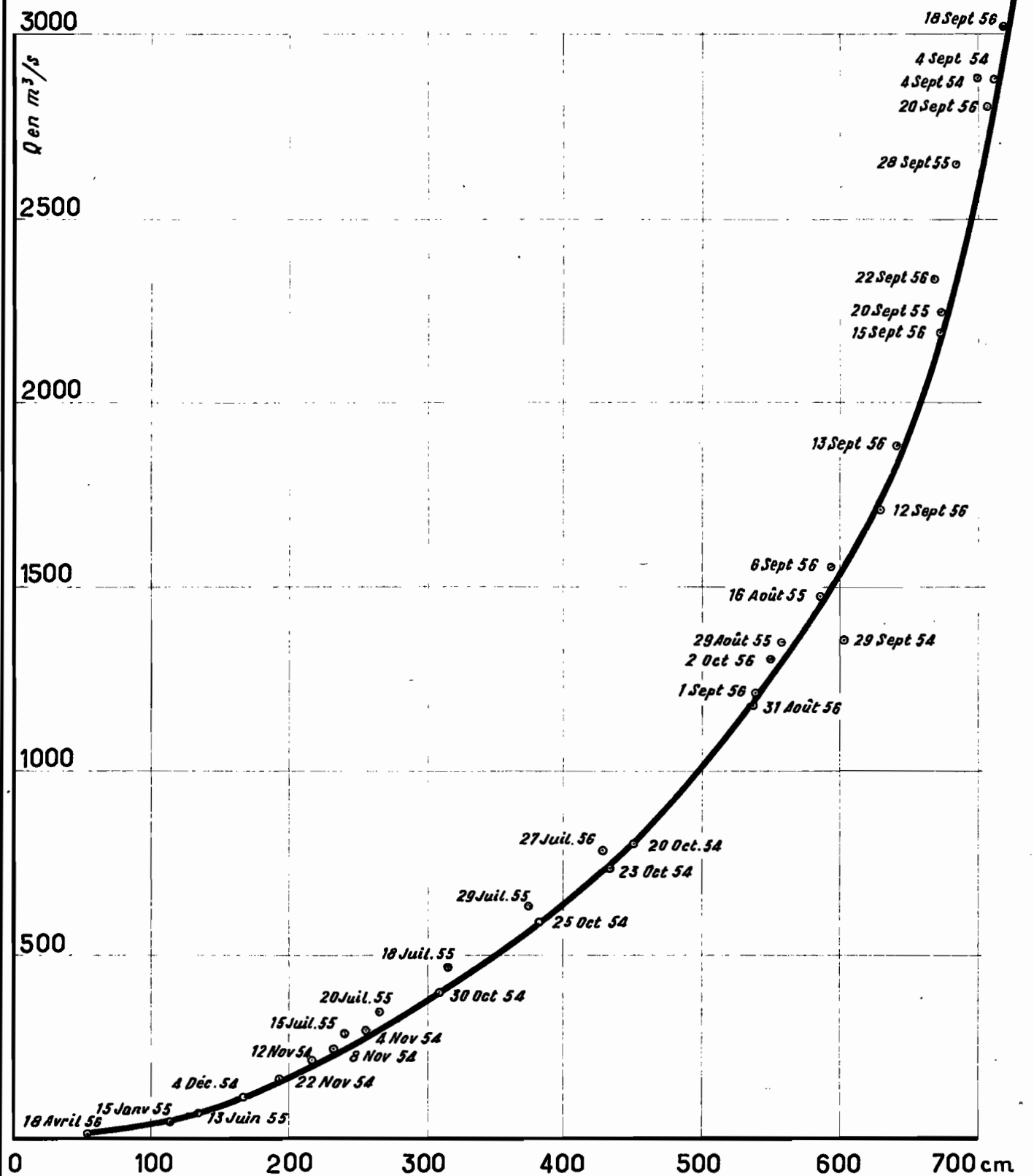
Ces jaugeages ont permis d'établir des courbes d'étalonnage que l'on trouvera, ci-jointes, et que l'on peut considérer comme satisfaisantes pour la plupart des stations.

L'erreur d'étalonnage peut, en général, être estimée inférieure à 5 %, sauf pour la station de KINADA soumise à l'influence du remous du FARO, ainsi que pour celles du FARO et de la GONGOLA (SAFAI, KOULAWA et BARE) qui ne présentent pas une très bonne stabilité. La courbe d'étalonnage de GAMADIO demanderait également à être confirmée par quelques jaugeages complémentaires.



# COURBE D'ÉTALONNAGE

## La BÉNOUÉ à GAROUA



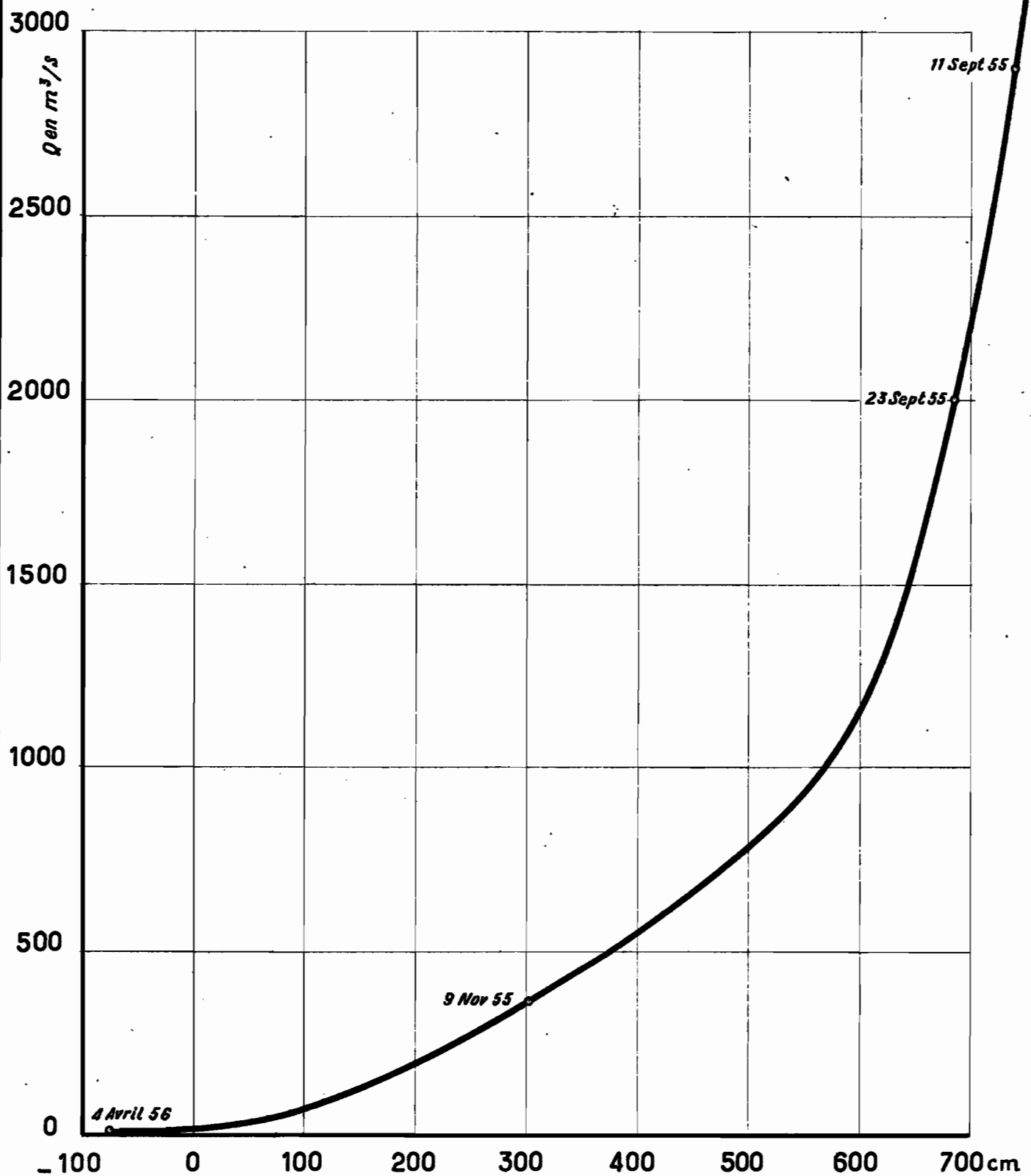
CAM 9689

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

ED: LE: DES: VISA: TUBE N°: A1

# COURBE D'ÉTALONNAGE

## La BÉNOUÉ à MALAPÉ



CAM\_9690

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

ED:

LE:

DES:

VISA:

TUBE N°:

A1

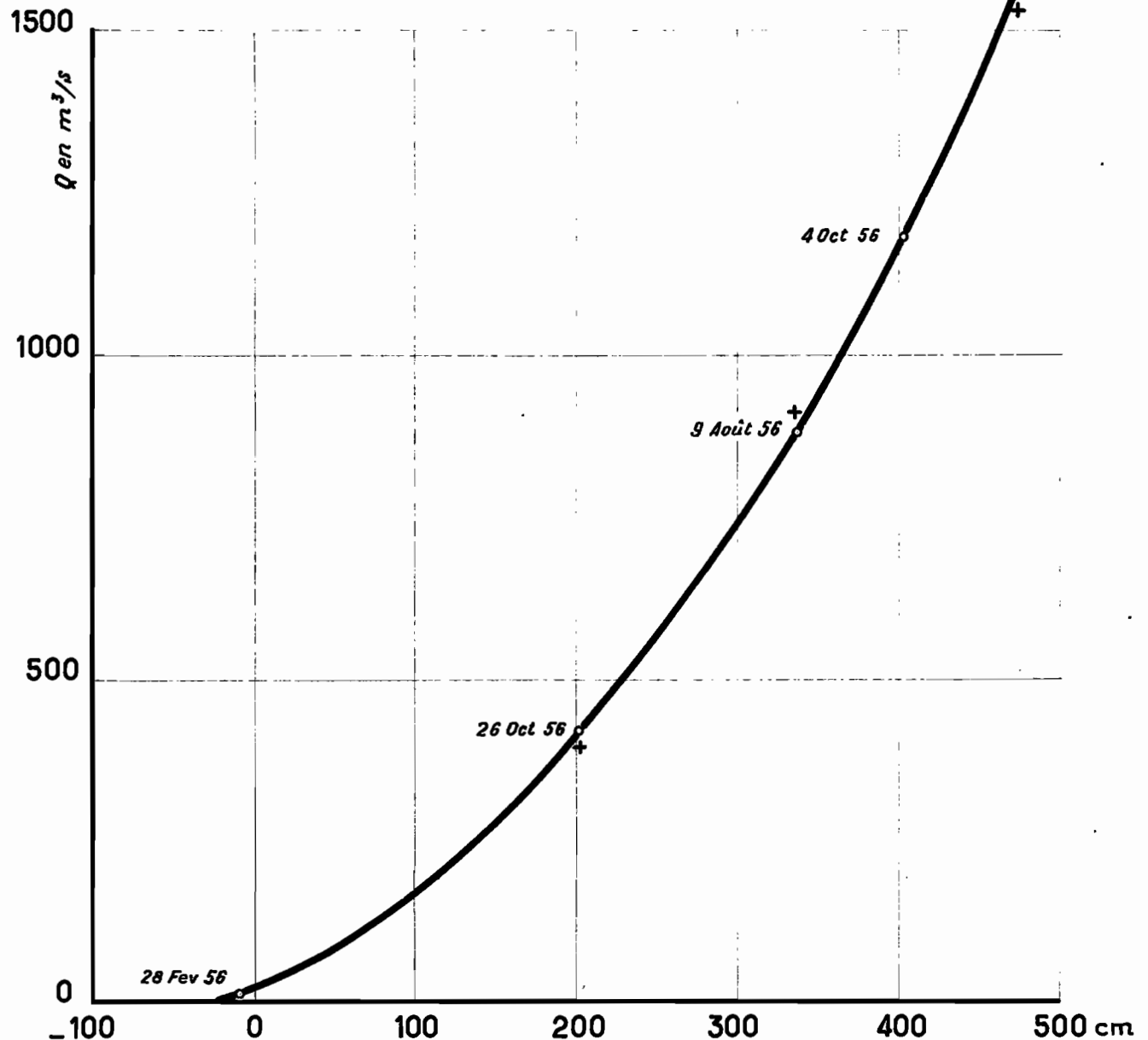
# COURBE D'ÉTALONNAGE

## La BÉNOUÉ à KINADA

La station de jaugeage de Kinada subit l'influence du remous du Faro

- + Point correspondant aux débits mesurés
- o P<sup>t</sup> correspond<sup>nt</sup> aux débits ajustés à la "pente normale"

$$i_n = 3 H \times 10^{-7}$$



Nota : Pour les hauteurs d'eau supérieures à 500 cm, les débits à la station deviennent très mal définis, car les débordements hors du lit apparent sont très importants. Une plaine d'inondation continue relie le Faro et la Bénoué

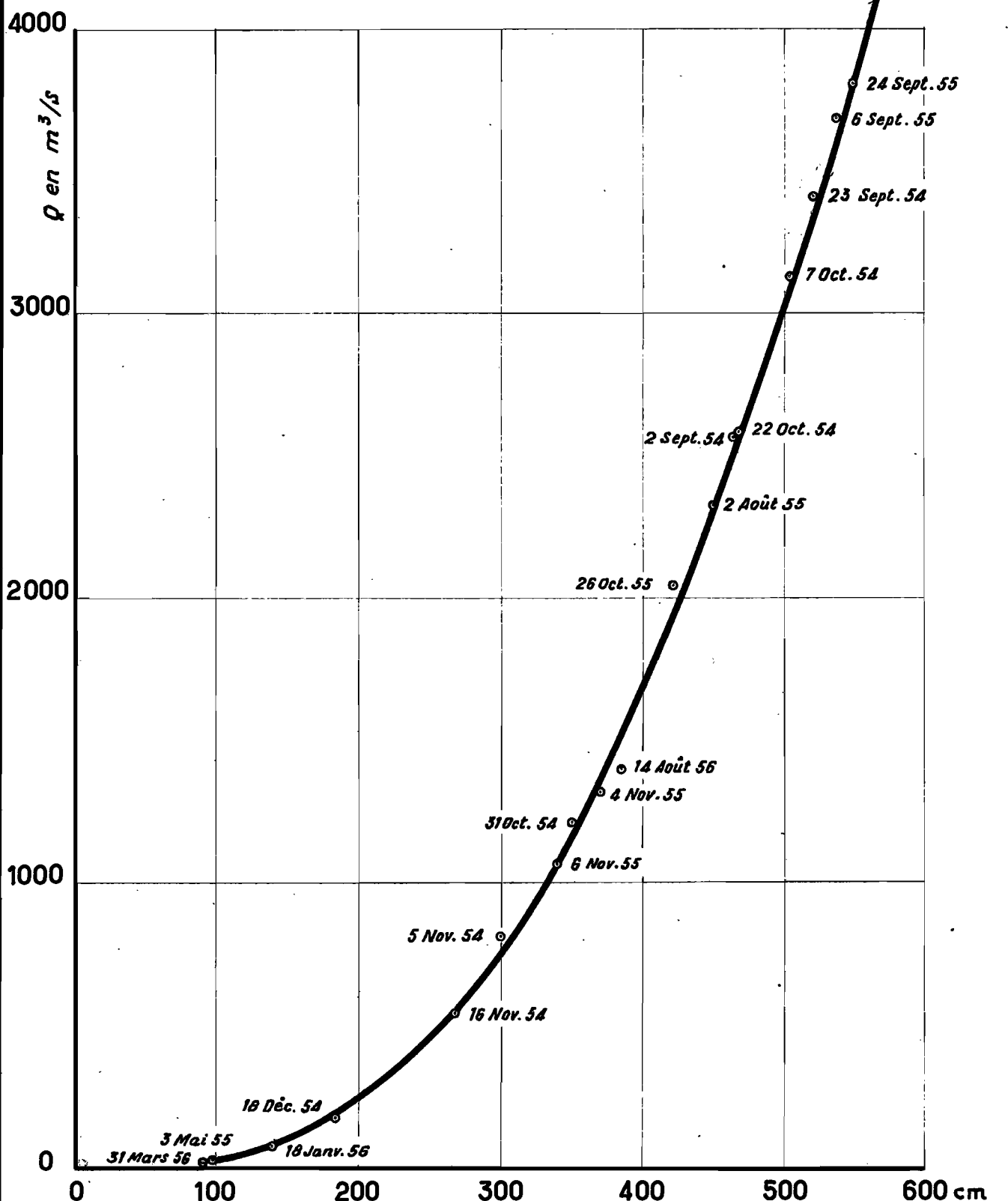
CAM\_9691

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

ED: LE: DES: VISA: TUBE N°: A1

# COURBE D'ÉTALONNAGE

## La BÉNOUÉ à OURO-BOKI



**CAM\_9692**

**ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER**

ED:

LE:

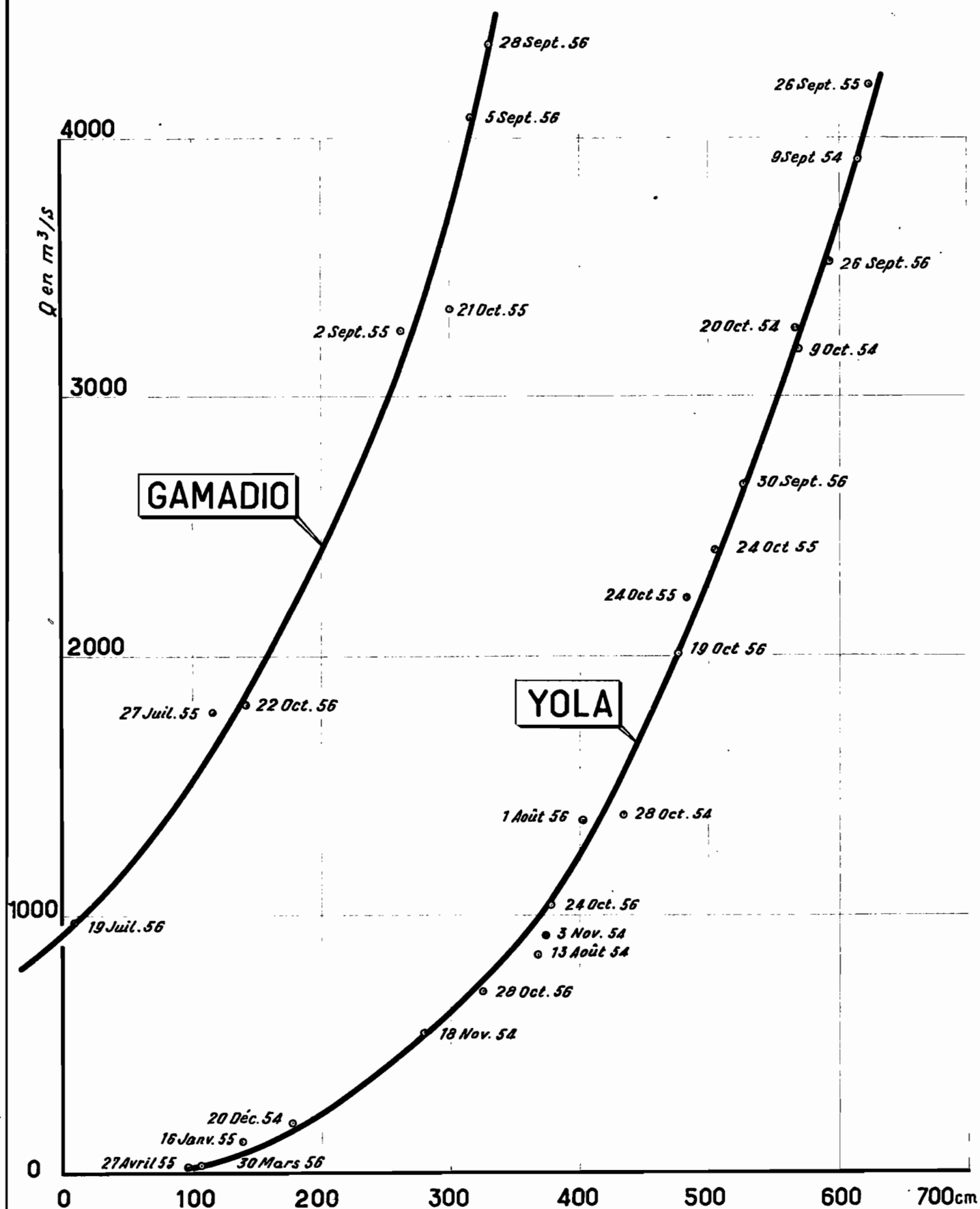
DES:

VISA:

TUBE N°:

**A1**

# COURBES D'ÉTALONNAGE DE LA BÉNOUÉ A:



CAM\_9693

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

ED:

LE:

DES:

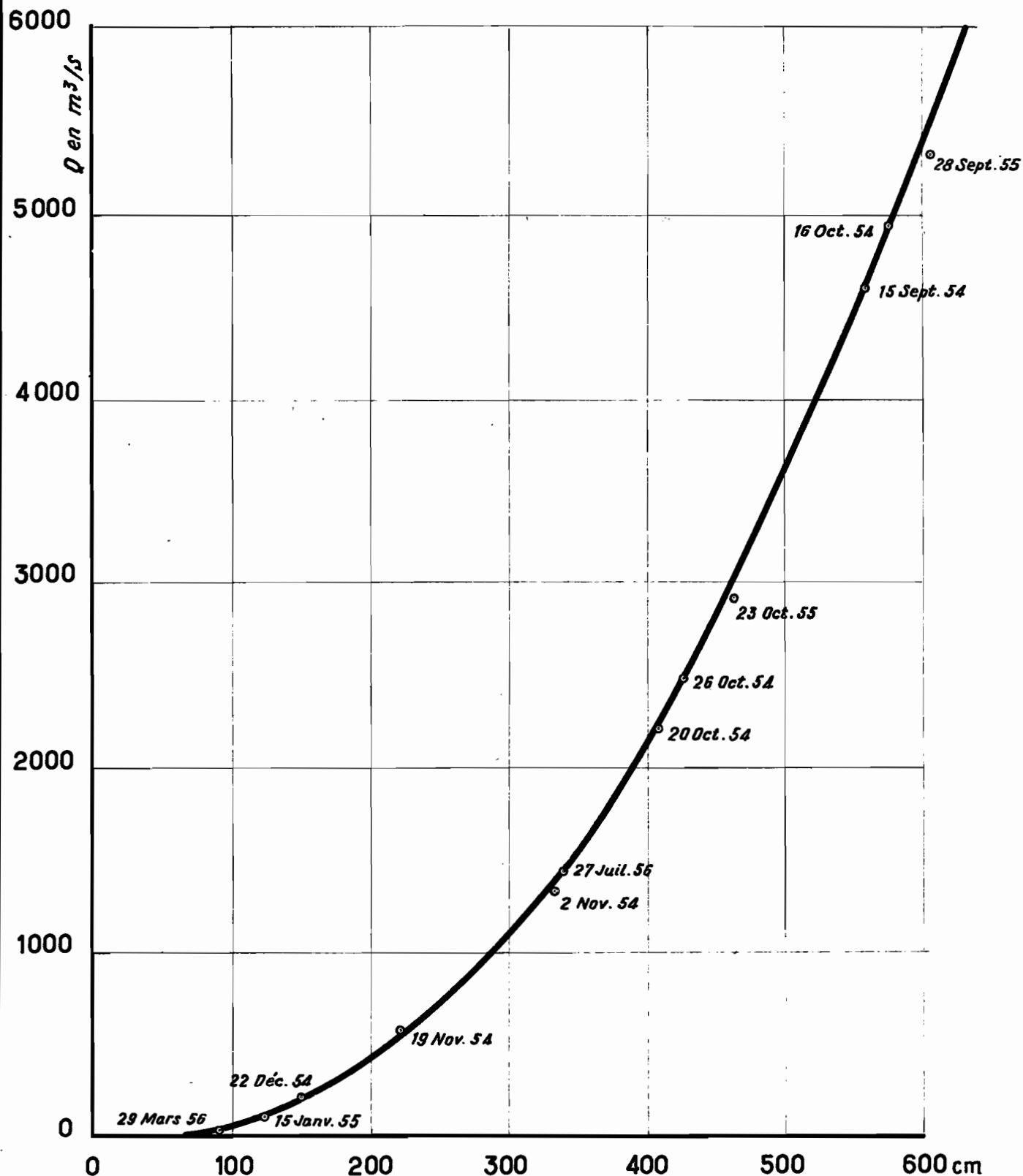
VISA:

TUBE N°:

A1

# COURBE D'ÉTALONNAGE

## La BÉNOUÉ à NUMAN



**CAM 9694**

**ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER**

ED:

LE:

DES:

VISA:

TUBE N°:

A1

# COURBE D'ÉTALONNAGE

Le FARO à SAFAÏ

8 Oct. 54

3000

$Q$  en  $m^3/s$

2500

2000

1500

1000

500

10 Oct. 57

6 Oct. 54

30 Sept. 55

22 Oct. 55

19 Août 55

27 Oct. 54

28 Oct. 54

11 Juil. 55

6 Nov. 54

17 Nov. 54

14 Déc. 54

12 Janv. 55

27 Sept. 56

14 Avril 56

300 cm

200

100

0

CAM\_9687

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

ED:

LE:

DES:

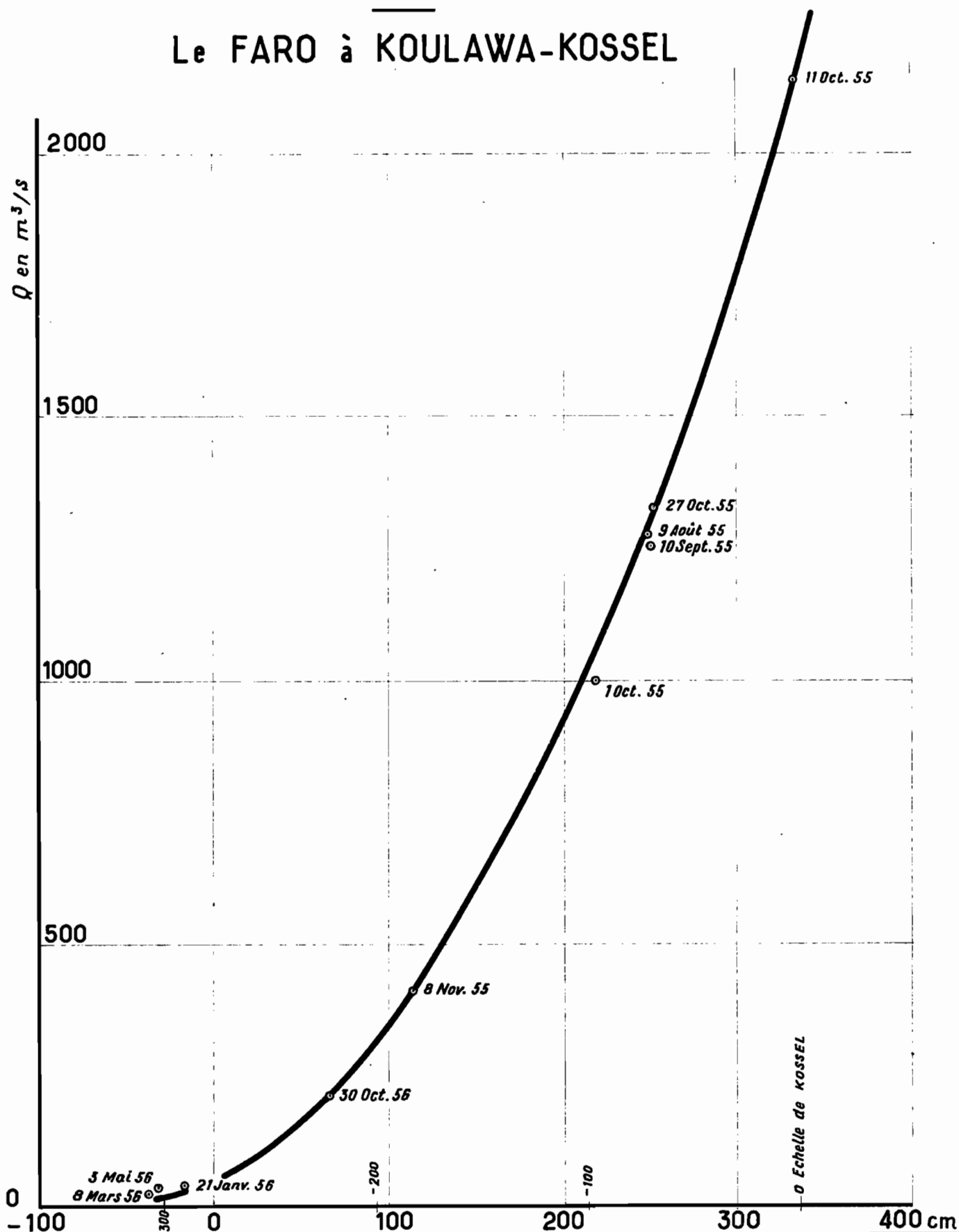
VISA:

TUBE N°:

A1

# COURBE D'ÉTALONNAGE

## Le FARO à KOULAWA-KOSSEL



**CAM\_9688**

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

ED:

LE:

DES:

VISA:

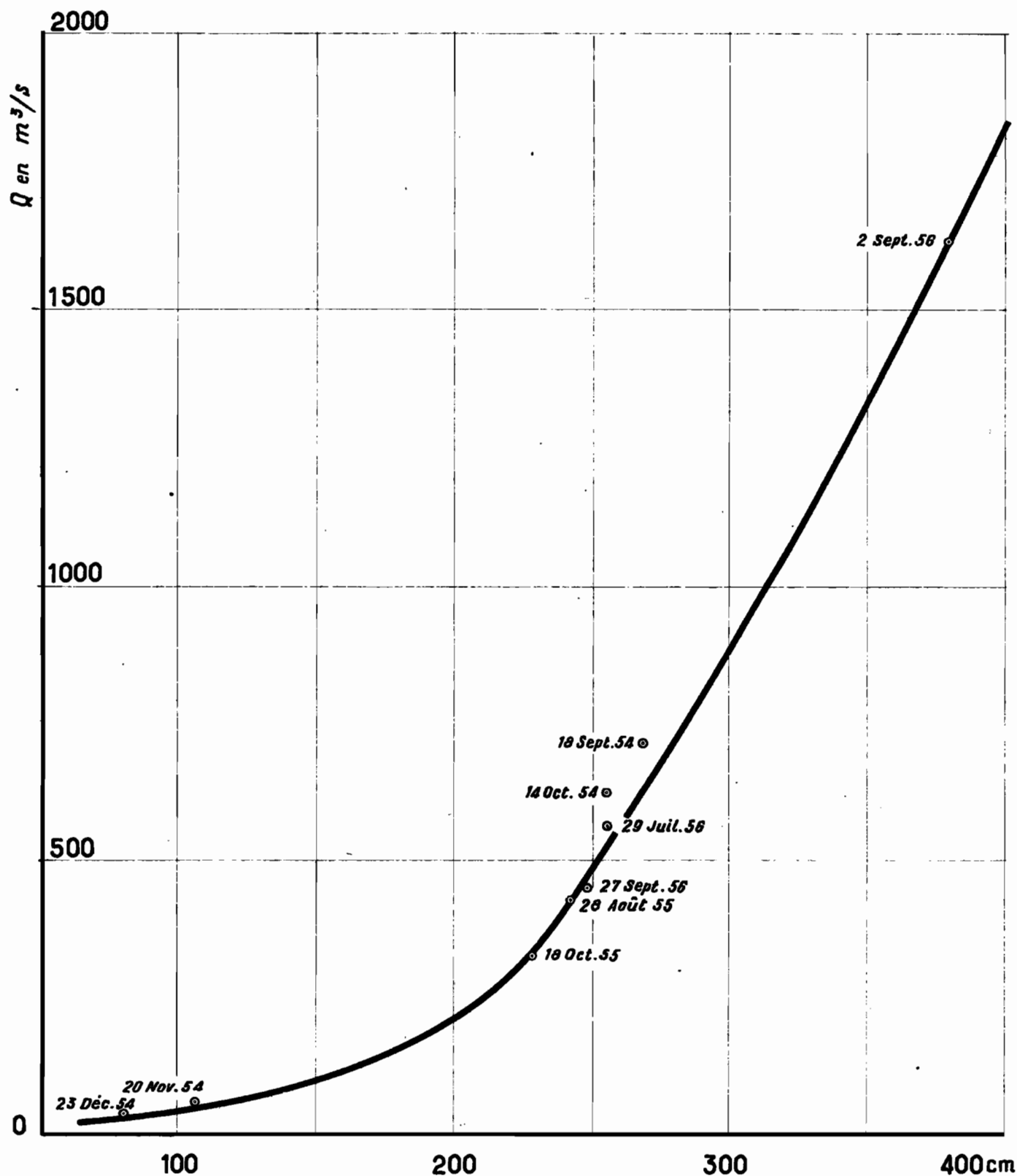
TUBE N°:

A1



# COURBE D'ÉTALONNAGE

## La GONGOLA à BARE



CAM 9686

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

ED:

LE:

DES:

VISA:

TUBE N°:

A1

## D - ETUDE du REGIME -

### 1) TRAITS GENERAUX DU REGIME

Le régime hydrologique de la BENOUE est étroitement lié à la répartition saisonnière des précipitations sur le bassin versant. Il se caractérise essentiellement par une crue annuelle bien individualisée, suivie d'un étiage très prolongé. Ce régime de type tropical subit cependant des modifications importantes, depuis la naissance de la BENOUE sur le Plateau de l'ADAMAOUA, jusqu'à son confluent avec le NIGER à LOKOJA.

A la station du Buffle Noir, dont le bassin versant est seulement de 2.900 km<sup>2</sup>, la BENOUE présente un caractère torrentiel très net. Les variations de débits sont très brusques ; chaque tornade ou grosse averse donne lieu à une pointe de crue distincte, qui peut durer moins d'une journée.

A RIAO (bassin de 31.000 km<sup>2</sup>), la BENOUE a définitivement quitté son cours rocheux (dernier seuil à BOUKOUMA) et est devenue une rivière de plaine assez importante (module : 280 m<sup>3</sup>/s), qui subit déjà des débordements notables en hautes-eaux. De ce fait, les crues brutales de l'extrémité supérieure de la BENOUE et de ses affluents (MAYO REI, MAYO TCHINA et MAYO BOKI) parviennent à RIAO fortement amorties. L'hydrogramme des débits pendant la saison des pluies est ainsi beaucoup moins dentelé qu'au Buffle Noir mais présente encore des pointes multiples très nettes.

L'allure de la crue annuelle de la BENOUE à GAROUA (Km 0 - bassin de 64.000 km<sup>2</sup>) n'est pas très différente de celle observée à RIAO, malgré les apports intermédiaires du MAYO-KEBI. Cet affluent draine une région dont le climat est de tendance sahélienne. Son module est de 90 m<sup>3</sup>/s environ. Bien qu'un peu atténuées et retardées, on retrouve généralement à GAROUA les mêmes pointes de crues qu'à RIAO. Le régime de la BENOUE à GAROUA est particulièrement bien connu, car cette station a été l'objet des observations les plus anciennes et les plus complètes. On en étudiera plus loin les caractéristiques précises (module moyen : 375 m<sup>3</sup>/s). Qualitativement, on peut dire qu'en général la crue annuelle débute lentement au début de Mai et

ne s'amorce franchement que dans la deuxième quinzaine de Juillet. Pendant la première partie du mois d'Août, les débits restent étales ou même décroissent temporairement. La montée principale des hautes-eaux se produit à la fin d'Août et au début de Septembre. Le maximum de la crue est presque toujours atteint entre le 1er et le 20 Septembre et très fréquemment au voisinage du 10 Septembre. La décrue s'amorce alors nettement dans la dernière décade de Septembre, avec parfois une dernière recrudescence dans les premiers jours d'Octobre. Après le 20 Octobre, la saison des pluies est terminée, la décroissance des débits devient très régulière et le tarissement se poursuit à un rythme de plus en plus lent jusqu'au mois d'Avril de l'année suivante.

Entre GAROUA et le confluent du FARO (Km 76), le régime de la BENOUE ne subit pas de modifications très sensibles, si ce n'est un certain amortissement des pointes de crue dû aux débordements dans les plaines d'inondation, qui deviennent importants en aval de MALAPE.

Au confluent, le volume annuel des apports du FARO est sensiblement équivalent à celui de la Haute-BENOUE (module de  $400 \text{ m}^3/\text{s}$ ), mais son régime est nettement plus irrégulier. Les relevés de la station de SAFAI (bassin de  $23.500 \text{ km}^2$ ) accusent des variations de débits très brusques de caractère torrentiel, qui s'expliquent par le relief accentué du bassin. Bien que très dentelé, l'hydrogramme de la crue annuelle du FARO est un peu plus étalé que celui de la Haute-BENOUE. La première montée des eaux se fait généralement sentir dès la deuxième quinzaine d'Avril ; la pointe maximum est plus tardive et se produit souvent dans la première décade d'Octobre ; enfin, la décroissance des débits au début de la saison sèche est un peu moins rapide que sur la Haute-BENOUE. L'étiage absolu est également moins sévère.

Après le confluent du FARO, la BENOUE quitte le territoire du CAMEROUN pour pénétrer au NIGERIA. Le régime sur la partie de son cours comprise entre le FARO et la GONGOLA est bien défini par les relevés des stations d'OURO-BOKI et surtout de YOLA, pour laquelle on possède des observations anciennes qui seront étudiées plus loin en détail. D'une façon générale, l'hydrogramme annuel de YOLA (km 128 - bassin de  $107.000 \text{ km}^2$  - module de  $740 \text{ m}^3/\text{s}$ ) résulte de la combinaison des hydrogrammes de GAROUA et de SAFAI, compte-tenu d'un effet

d'amortissement très sensible pour les apports du FARO. Les pointes multiples de SAFAI n'apparaissent en effet, à YOLA, qu'atténuées et plus ou moins fondues.

En général, la montée des eaux à YOLA débute lentement à la fin d'Avril ou au début de Mai ; elle devient plus sensible à partir de la fin Juin et se poursuit pendant le mois de Juillet, mais elle est alors fréquemment interrompue par une décroissance temporaire pendant la première quinzaine d'Août. Dans la dernière décade d'Août, la montée des eaux redevient très rapide, elle donne souvent lieu à un maximum de débit vers le 10 Septembre. Il est fréquent que l'on observe alors une baisse provisoire, suivie d'une dernière recrudescence à la fin de Septembre ou au début d'Octobre. Cette deuxième pointe, due au FARO, surpasse parfois la première. Elle est suivie d'une décrue très rapide, qui commence au plus tard à la mi-October, mais qui peut cependant, dans la dernière décade de ce mois, offrir un bref répit dû à d'ultimes averses sur le haut bassin de la BENOUE ou du FARO. Le tarissement se poursuit rapidement en Novembre, puis se ralentit progressivement dans les mois suivants jusqu'à l'étiage absolu, vers la mi-Avril.

A NUMAN (km 185 - bassin de 170.000 km<sup>2</sup>), les débits de la BENOUE sont modifiés de façon assez sensible par les apports de la GONGOLA. Celle-ci a un régime presque aussi irrégulier que le FARO, avec des pointes de crues aussi brusques mais moins fréquentes. Les plus fortes se produisent généralement fin Août ou début Septembre. L'hydrogramme annuel de la BENOUE à NUMAN (module d'environ 900 m<sup>3</sup>/s) garde cependant une physionomie assez voisine de celui de YOLA, les apports de la GONGOLA étant insuffisants pour le bouleverser profondément.

En aval de NUMAN, les travaux de la Mission E.D.F. ont été limités à la station de GAMADIO (km 223), dont la courbe de crue annuelle est sensiblement identique à celle de NUMAN. Nous possédons cependant pour la Moyenne et la Basse-BENOUE les relevés des stations de LAU, AMAR, IBI, MAKURDI et LOKOJA qui nous ont été communiqués par NEDECO et UNITED AFRICA COMPANY. On peut dire que jusqu'à LAU (km 274) l'hydrogramme de NUMAN reste pratiquement inchangé ou ne subit que des modifications mineures. Par contre, entre LAU et AMAR

CAM 9004

ED:

LE: M. MICHA

DES: J. H. H. H.

VISA:

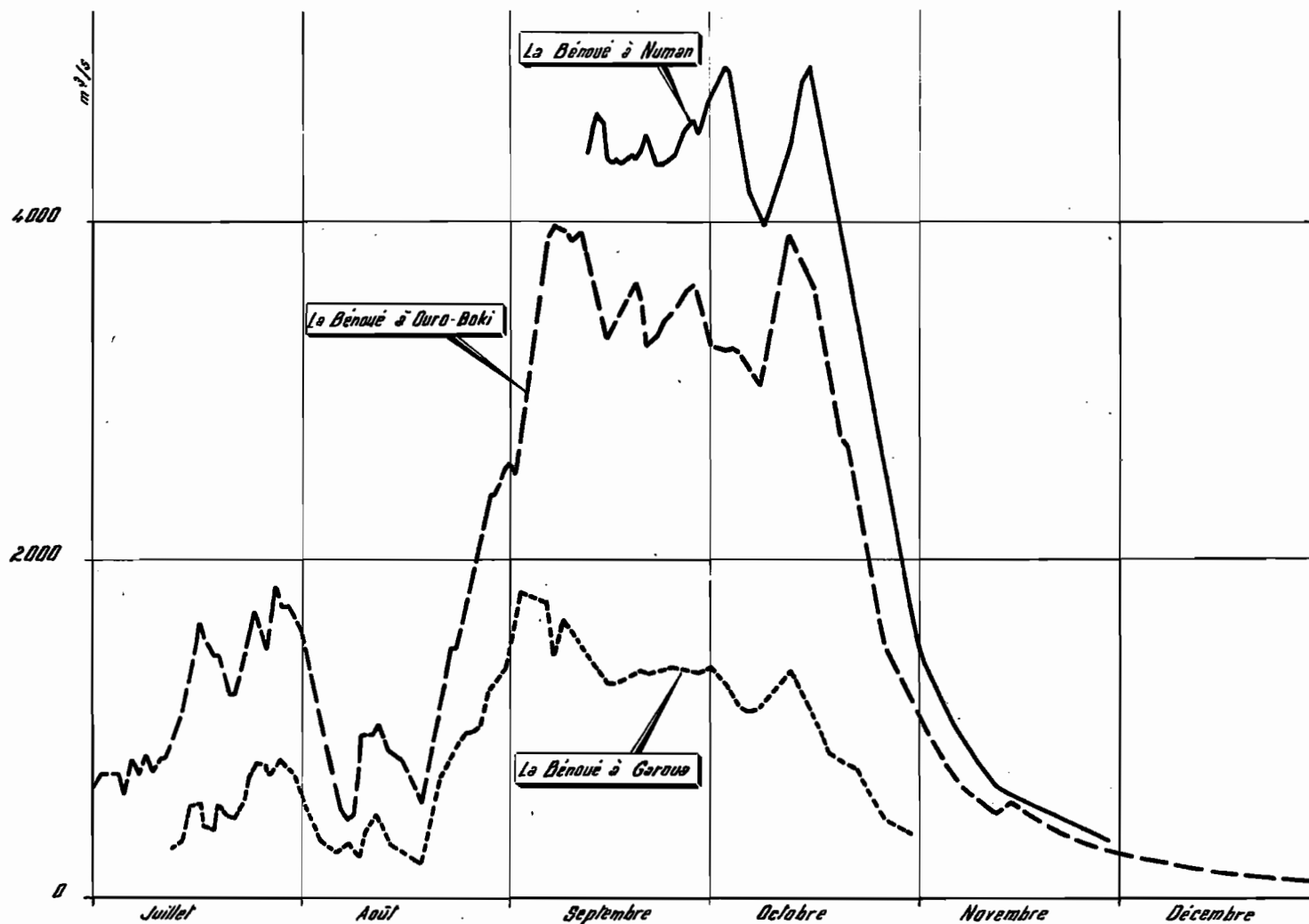
TUBE N°:

AO

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

# GRAPHIQUE DES DÉBITS AUX STATIONS DE NUMAN, OURO-BOKI, GAROUA

ANNÉE 1954



CAM 9005

ED:

LE: J. M. ACQUA

DES: J. P. HEDRICH

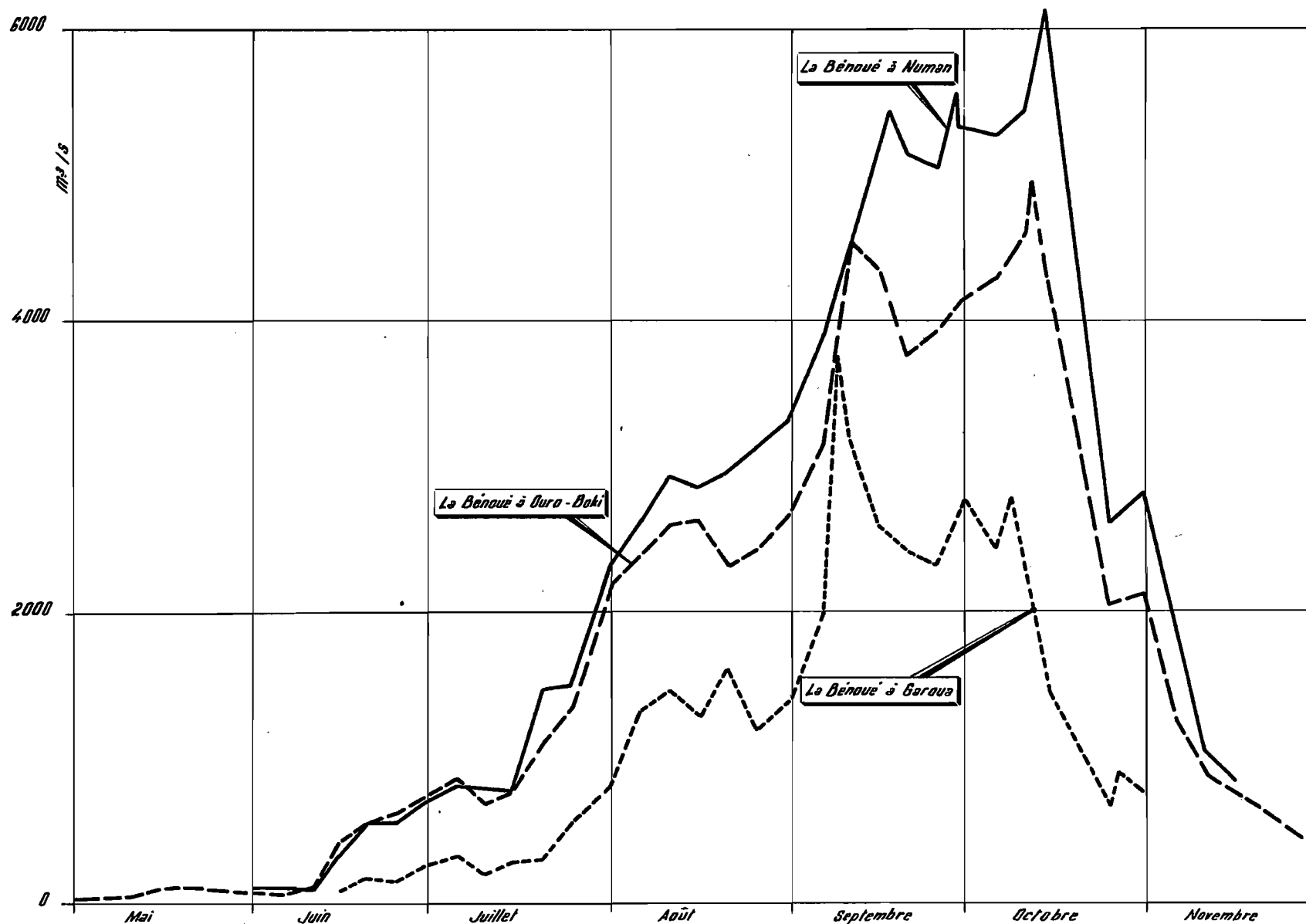
VISA:

TUBE N°:

AO

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

# GRAPHIQUE DES DÉBITS AUX STATIONS DE NUMAN, OURO-BOKI, GAROUA ANNÉE 1955



CAM 9006

ED:

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

LE: J.-P. MENET

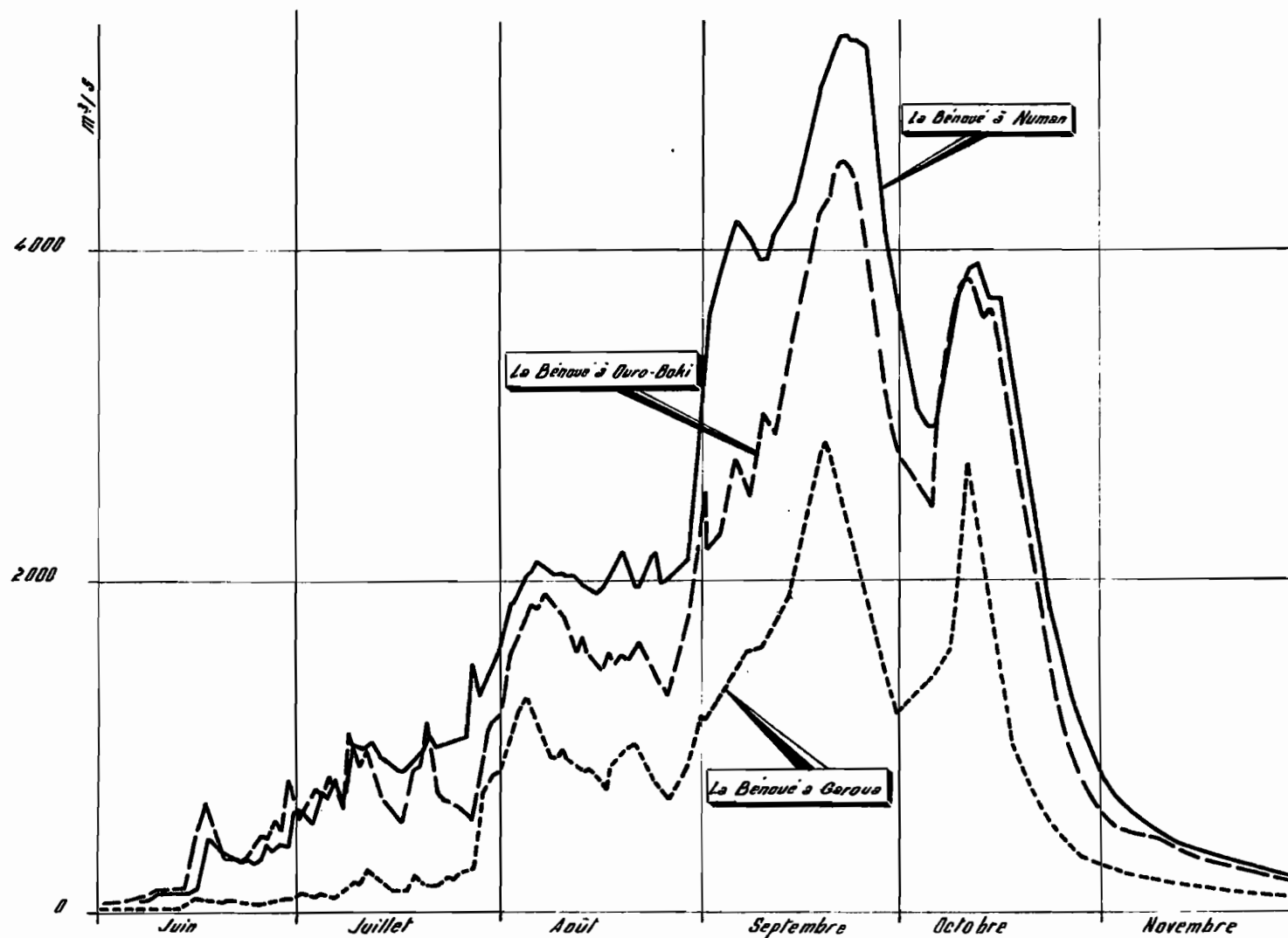
DES: J.-P. Hofflich

VISA:

TUBE N°:

AO.

# GRAPHIQUE DES DÉBITS AUX STATIONS DE NUMAN, OURO-BOKI, GAROUA ANNÉE 1956



(km 407), on note un amortissement assez sensible de la crue, surtout en très hautes-eaux. Il est vraisemblable que dans ce secteur les débordements dans le lit majeur commencent à prendre une grande ampleur. Malgré l'absence de gros affluents, le module de la BENOUE à AMAR est sensiblement supérieur à celui de NUMAN (d'après mesures de NEDECO =  $1.200 \text{ m}^3/\text{s}$  environ, au lieu de  $900 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

Entre AMAR et IBI (km 511), la BENOUE reçoit en rive gauche deux affluents importants : la TARABA et la DONGA dont les modules sont sensiblement équivalents et voisins de  $350 \text{ m}^3/\text{s}$ . Ces affluents ont un régime "tropical de transition" qui se rapproche légèrement du type équatorial (période de hautes-eaux un peu plus longue et marquée certaines années par un creux intermédiaire en Août). De ce fait, l'hydrogramme d'IBI présente, par rapport à celui d'AMAR, une montée plus progressive qui s'amorce nettement dès le début de Juin. D'autre part, la décrue est légèrement plus tardive et moins rapide en Octobre-Novembre.

Ces mêmes tendances s'affirment plus nettement sur l'hydrogramme de MAKURDI (km 670), par suite des apports de la KATSINA-ALA, grosse rivière issue de la région montagneuse de BAMENDA (module d'environ  $700 \text{ m}^3/\text{s}$ ). L'étalement de la crue qui s'explique également par les débordements dans le lit majeur, s'accroît progressivement sur la Basse-BENOUE jusqu'à son confluent avec le NIGER, à LOKOJA (km 890). Le module de la BENOUE passe d'environ  $2.000 \text{ m}^3/\text{s}$  à  $3.000 \text{ m}^3/\text{s}$  entre IBI et LOKOJA.

Le régime du Bas-NIGER, en aval de LOKOJA, se caractérise par une crue principale dite "crue Blanche" qui est du type tropical et ressemble à celle de la BENOUE. La montée des eaux commence au début de Juin et se poursuit assez lentement jusqu'à la fin Août. En Septembre, la crue s'accélère pour atteindre sa valeur maximum vers la mi-October. La décrue s'amorce assez brusquement dans la dernière décade d'October et reste très rapide pendant tout le mois de Novembre. Elle se ralentit progressivement en Décembre et Janvier, puis fait place à une période d'étalement de Février à Avril. Celle-ci est due à l'arrivée de la "crue Noire" qui provient du bassin su-



périeur du NIGER, après avoir subi un retard et un laminage considérable dans la traversée du "delta intérieur" (entre KE-MACINA et TOMBOUCTOU).

A la fin d'Avril la "crue Noire" s'achève et l'on observe une baisse de débit assez lente pendant tout le mois de Mai.

Le régime du Bas-NIGER évolue peu entre LOKOJA et ABOH (km 1.370), à l'entrée du delta. On note cependant un léger amortissement de la crue principale et une faible diminution du module, qui passe d'environ 6.000 à 5.500 m<sup>3</sup>/s entre LOKOJA et ABOH.

A l'intérieur du delta, le NIGER se partage en une multitude de bras sinueux et ramifiés ("creeks"), dont les conditions d'écoulement, partiellement influencées par la marée, sont très complexes. La majeure partie du débit du NIGER est cependant absorbée par cinq ou six bras principaux, les uns se dirigeant vers le Sud du delta, les autres vers l'Ouest.

## 2) REGIME de la BENOUE à GAROUA (bassin de 64.000 km<sup>2</sup>)

### a) Variations annuelles des hauteurs d'eau

Le diagramme de variations annuelles des hauteurs d'eau est l'élément du régime qui intéresse le plus directement la navigation, tout au moins dans l'état actuel des choses (débit non régularisé).

Il importe non seulement de déterminer ce diagramme pour une année moyenne, mais également de préciser les modifications qu'il peut subir en année sèche et en année humide.

Deux méthodes de calcul peuvent être envisagées. Dans la première, on considère des hauteurs d'eau déterminées, échelonnées par exemple de 50 en 50 cm, et on cherche à quelle date telle hauteur d'eau a été atteinte ou dépassée, d'une part à la montée, d'autre part à la descente, dans 25, 50, 75% ..... des années observées.

Dans la deuxième, on considère des dates fixes, échelonnées par exemple de 5 en 5 jours, et on détermine les hauteurs d'eau qui ont été atteintes ou dépassées à telle date, dans 25, 50, 75% ..... des années observées.

La première méthode est d'application délicate, sinon impossible, dès que les variations annuelles observées ne sont pas très régulières et présentent notamment des pointes multiples. Aussi avons nous adopté la seconde méthode qui, dans le cas de la BENOUE, peut seule conduire à des résultats facilement interprétables. Les relevés limnimétriques que nous possédons ne nous ont d'ailleurs permis de l'appliquer rigoureusement que pour les mois de Juillet à Octobre. On trouvera sur le graphique CAM 8931 les diagrammes obtenus pour :

|                                  |   |     |
|----------------------------------|---|-----|
| l'année humide, de fréquence 25% |   |     |
| l'année médiane, "               | " | 50% |
| et l'année sèche, "              | " | 75% |

Il ne faut pas perdre de vue la signification exacte de ces diagrammes qui correspond, en fait, à des années purement fictives, dont toutes les hauteurs d'eau journalières auraient la même fréquence. Ce qui fait tout leur intérêt, c'est qu'ils permettent d'évaluer la probabilité pour que telle hauteur d'eau soit observée à une date donnée.

On retrouve sur ces diagrammes l'allure des variations annuelles de la BENOUE à GAROUA, telles qu'elles ont été décrites précédemment. On peut noter en particulier :

- une première montée rapide dans la deuxième quinzaine de Juillet,
- une période d'étale ou de décroissance provisoire dans la première moitié d'Août,
- une forte montée dans la deuxième quinzaine d'Août se prolongeant en Septembre
- un maximum entre le 5 et le 20 Septembre,
- une décrue rapide dans la dernière décade de Septembre qui se poursuit à un rythme accru pendant tout le mois d'Octobre, avec cependant un bref ralentissement dans la première quinzaine d'Octobre.

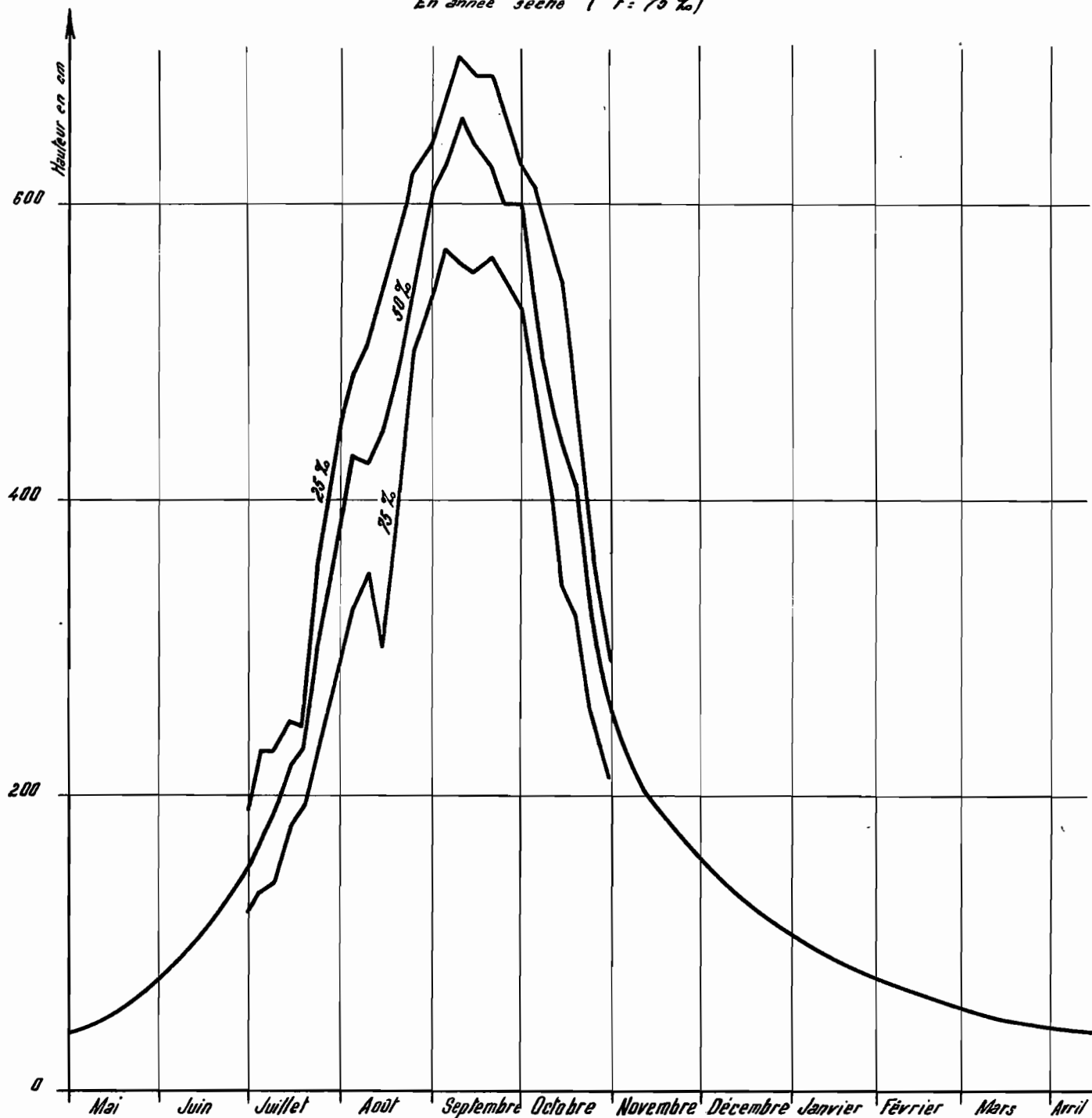
# La BÉNOUÉ à GAROUA

## DIAGRAMME DE VARIATION DES HAUTEURS D'EAU

*En année humide ( F = 25 % )*

*En année médiane ( F = 50 % )*

*En année sèche ( F = 75 % )*



CAM. 8931

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: XIX-1-NCMLX

DES: J-P Haeflich

VISA:

TUBE N°:

AO

## b) Variations annuelles des débits

L'étalonnage de l'échelle limnimétrique de GAROUA permet de transformer immédiatement les diagrammes de hauteurs d'eau en diagrammes de débits (voir graphique CAM 8.933). Ceux-ci ont évidemment la même signification ; ils permettent d'évaluer la probabilité pour que tel débit soit observé à une date donnée et, à ce titre, seraient d'un grand intérêt pour l'établissement du programme d'exploitation d'un barrage régularisateur.

L'allure des variations annuelles des débits est évidemment semblable à celle des hauteurs d'eau et nous n'y reviendrons pas.

## c) Débits mensuels

Les débits mensuels donnent un schéma simplifié des variations annuelles des débits. Nous pouvons les déterminer à partir des diagrammes précédents, en années humide, médiane et sèche. Ils peuvent également être évalués pour l'année moyenne en calculant, mois par mois, la moyenne arithmétique de la série des débits mensuels observés. On trouvera dans le tableau 1 ci-joint les résultats obtenus.

On remarque certains écarts entre les débits médians et moyens, ces derniers étant dans l'ensemble un peu supérieurs aux premiers. Il apparaît, que pour un mois donné, la répartition des débits mensuels sur notre série d'observations est légèrement dissymétrique. Autrement dit, les débits élevés tendent à s'écarter davantage de la valeur médiane que les faibles débits. Cependant, du point de vue statistique, les écarts observés entre débits médians et débits moyens ne sont pas assez importants pour être vraiment significatifs (voir étude des modules).

La moyenne des débits mensuels de fréquence 50% donne un module annuel d'une fréquence sensiblement équivalente. Par contre, la moyenne estimée des douze débits de fréquence 25 ou 75% ne conduit pas à un module de la même fréquence. On conçoit, en effet, que l'année humide de fréquence 25% ne comporte pas nécessairement que des mois humides ; de même, une

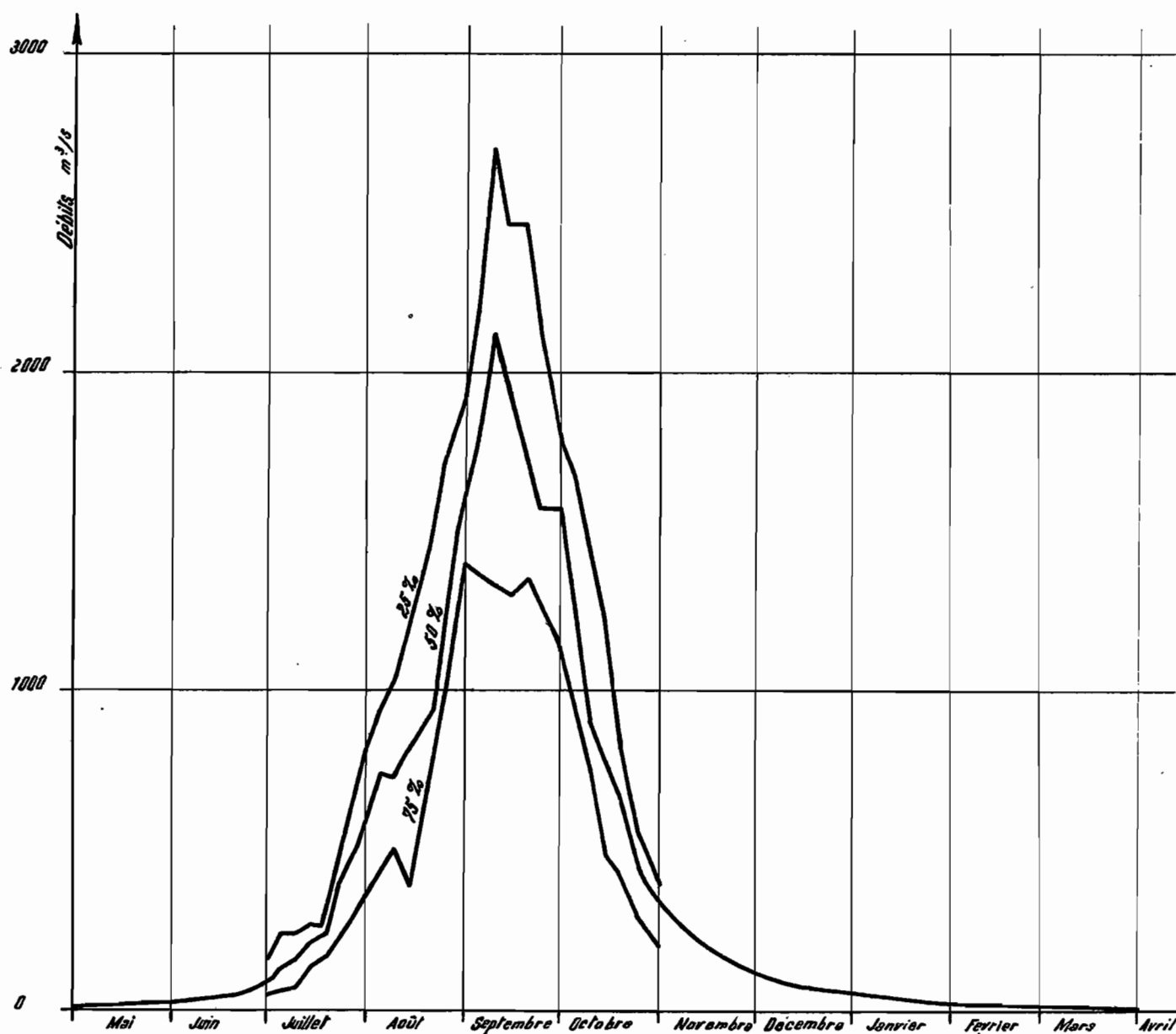
# La BÉNOUÉ à GAROUA

## DIAGRAMME DE VARIATION DES DÉBITS

*En année humide (F=25%)*

*En année médiane (F=50%)*

*En année sèche (F=75%)*



CAM 8933

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: 17-1-MCM/LX

DES: J-P Hebert

VISA:

TUBE N°:

AO

TABLEAU N° 1

Bassin : 64.000 km<sup>2</sup>

DEBITS MENSUELS (en m<sup>3</sup>/s)  
de la BENOUE à GAROUA

|                            | Janv. | Fév. | Mars | Avril | Mai  | Juin | Juil. | Août  | Sept. | Oct.  | Nov.  | Déc. | Année              |
|----------------------------|-------|------|------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--------------------|
| Année humide<br>(F = 25%)  | -     | -    | -    | -     | -    | -    | 370   | 1.320 | 2.300 | 1.090 | -     | -    | (470)<br>(F = 14%) |
| Année médiane<br>(F = 50%) | (25)  | (10) | (4)  | (2)   | (17) | (55) | 270   | 960   | 1.790 | 790   | (170) | (60) | 360                |
| Année sèche<br>(F = 75%)   | -     | -    | -    | -     | -    | -    | 165   | 675   | 1.310 | 565   | -     | -    | (250)<br>(F = 92%) |
| Année moyenne              | 24    | 10   | 3,9  | 2     | 16,5 | 75   | 325   | 1.090 | 1.885 | 860   | 170   | 60   | 375                |

année qui a été sèche dans l'ensemble, peut avoir connu certains mois voisins ou même légèrement supérieurs à la moyenne.

En fait, l'étude de la fréquence des modules que nous examinerons plus loin, nous permet d'admettre des fréquences de 14% et 92% respectivement pour les modules de nos années humides et sèches.

#### d) Débits classés

Pour des raisons analogues à celles qui viennent d'être indiquées ci-dessus, il n'est pas possible de déterminer exactement les courbes de débits classés en années humide et sèche, à partir des diagrammes de variations annuelles des débits. Leur fréquence ne serait pas très bien définie.

Nous avons donc considéré les différents débits caractéristiques de toutes les années observées et nous en avons tiré les valeurs correspondantes de fréquences de 25, 50 et 75%.

Ces valeurs ont été portées dans le tableau n° 2 et ont permis de tracer les courbes du graphique CAM 8.960.

#### e) Modules annuels

Le tableau n° 3 donne la série des modules - ou débits moyens annuels - observés à GAROUA de 1930 à 1957 (à l'exception des années 1937 et 1940). Ce tableau contient également les éléments nécessaires pour caractériser la distribution statistique des modules suivant le schéma de Gauss :

- Module moyen estimé  $M = 375 \text{ m}^3/\text{s}$ , soit  $5,85 \text{ l/s/km}^2$

- Ecart-type : 
$$\sigma = \sqrt{\frac{(m - M)^2}{N - 1}} = 88 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Erreur probable sur le module moyen : 
$$\frac{\sigma}{\sqrt{N}} = 17,5 \text{ m}^3/\text{s}$$
  
(erreur ayant une chance sur trois d'être dépassée)

TABLEAU N° 2

DEBITS CLASSES (en m<sup>3</sup>/s)  
de la BENOUE à GAROUA

|               | 1     | 10    | 1     | 2     | 3    | 6    | 9    | 355   |
|---------------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|
|               | jour  | jours | mois  | mois  | mois | mois | mois | jours |
| Année humide  | 3.700 | 2.805 | 1.860 | 1.160 | 470  | 95   | -    | -     |
| Année médiane | 3.000 | 2.375 | 1.575 | 865   | 390  | 60   | 10   | 2     |
| Année sèche   | 2.200 | 1.785 | 1.215 | 740   | 325  | 30   | -    | -     |



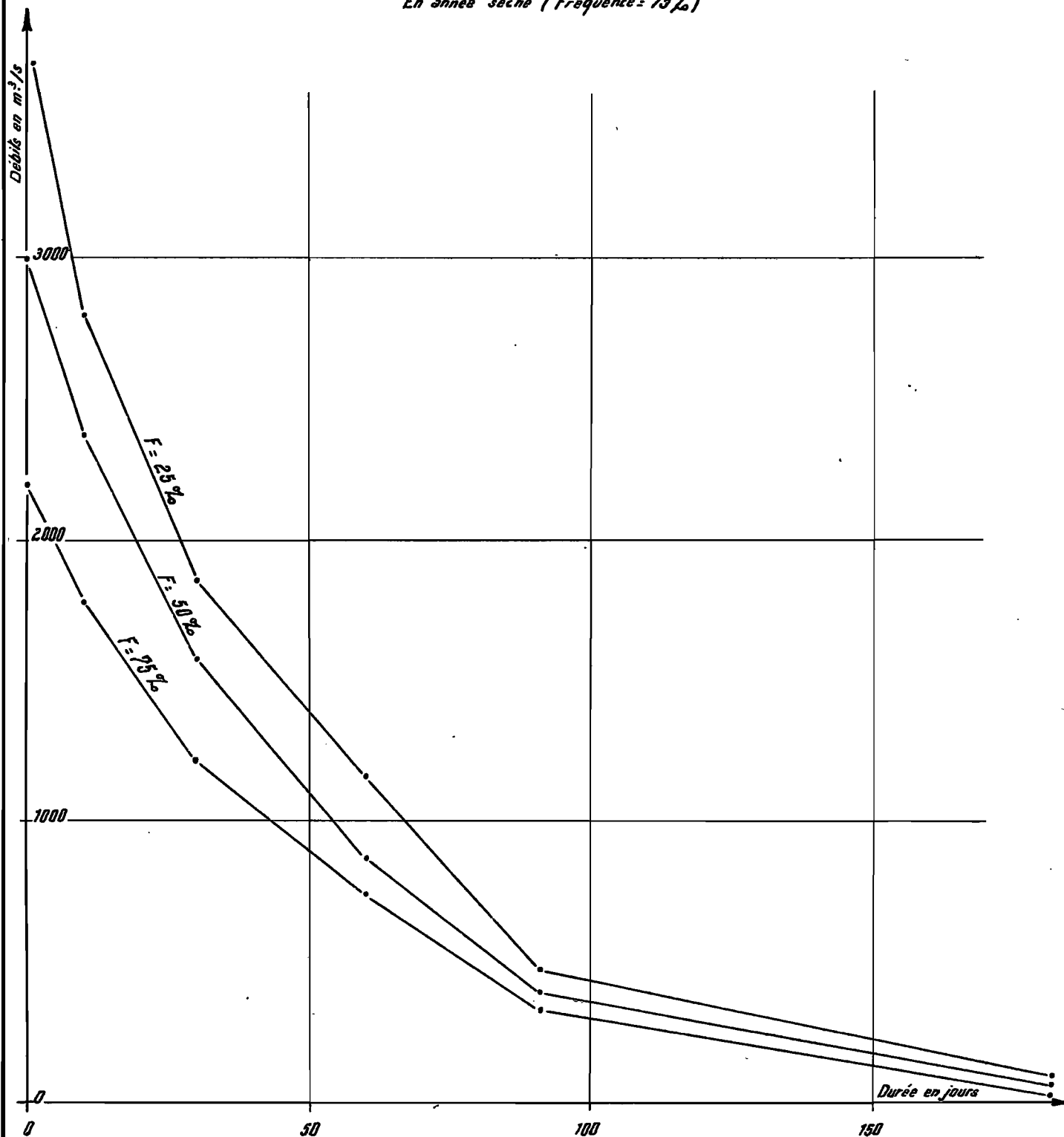
# La BÉNOUÉ à GAROUA

## COURBE DES DÉBITS CLASSÉS

*En année humide (Fréquence = 25 %)*

*En année médiane (Fréquence = 50 %)*

*En année sèche (Fréquence = 75 %)*



CAM 8960

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: IV-11 - MGMLX

DES: J-P Haeffrich

VISA:

TUBE N°:

AO

- Erreur maximum probable sur le module moyen :

$$\frac{2.5}{\sqrt{N}} = 35 \text{ m}^3/\text{s}$$

(erreur ayant une chance sur vingt d'être dépassée)

- Intervalle de confiance (95%) du module moyen :

$$340 \text{ m}^3/\text{s} < M < 410 \text{ m}^3/\text{s}$$

Le graphique CAM 8961 donne une représentation de la répartition des modules (échelle linéaire), en fonction de leurs fréquences (échelle gaussique). On y a tracé la droite de Gauss correspondant au module moyen et à l'écart-type estimés plus haut. Bien qu'il ne soit pas excellent, l'ajustement paraît acceptable et c'est pour avoir une idée objective de sa valeur que nous l'avons soumis au test du  $\chi^2$ . Le tableau n° 4 montre que celui-ci est de 1,56 (deux degrés de liberté), valeur, qui d'après les tables de  $\chi^2$  a une probabilité de dépassement de 50%. On admet généralement que la loi d'ajustement essayée n'est à rejeter catégoriquement que lorsque la probabilité de dépassement du  $\chi^2$  est supérieure à 5%. Nous pouvons donc considérer notre ajustement de Gauss comme très acceptable.

Le graphique CAM 8961 paraît mettre en évidence une certaine dyssymétrie dans la distribution des modules, les valeurs de fréquence rare étant, dans l'ensemble, un peu plus fortes que ne le voudrait la loi de Gauss. Cependant, le test du  $\chi^2$  nous a prouvé que ces écarts ne sont pas assez importants pour être significatifs.

On peut d'ailleurs penser que ces écarts disparaîtraient pour une plus longue période d'observations. On constate, en effet, que pour beaucoup de cours d'eau les années sèches, de même que les années humides, se groupent souvent par séries, sans d'ailleurs que l'on puisse véritablement parler de "cycles", car l'alternance des séries sèches et des séries humides ne présente aucune régularité.

TABLEAU N° 3

MODULES  
de la BENOUE à GAROUA

| Année | Module<br>m | m - M | (m - M) <sup>2</sup>   | n  | F% = $\frac{n}{N+1} \times 100$ | Année | Module<br>m | m - M | (m - M) <sup>2</sup>   | n  | F% = $\frac{n}{N+1} \times 100$ |
|-------|-------------|-------|------------------------|----|---------------------------------|-------|-------------|-------|------------------------|----|---------------------------------|
| 1930  | (420)       | + 45  | 20,3 x 10 <sup>2</sup> | 7  | 25,9                            | 1945  | (292)       | - 83  | 69,0 x 10 <sup>2</sup> | 22 | 81,5                            |
| 1931  | (510)       | + 135 | 182,0                  | 3  | 11,1                            | 1946  | (503)       | + 128 | 164,0                  | 5  | 18,5                            |
| 1932  | (365)       | - 10  | 1,0                    | 13 | 48,1                            | 1947  | (346)       | - 29  | 8,4                    | 16 | 55,3                            |
| 1933  | (350)       | - 25  | 6,2                    | 14 | 51,9                            | 1948  | (556)       | + 181 | 328,0                  | 1  | 3,7                             |
| 1934  | (380)       | + 5   | 0,3                    | 11 | 40,7                            | 1949  | 254         | - 121 | 146,2                  | 25 | 92,6                            |
| 1935  | (450)       | + 75  | 56,2                   | 6  | 22,2                            | 1950  | 329         | - 46  | 21,2                   | 18 | 66,7                            |
| 1936  | (400)       | + 25  | 6,3                    | 8  | 29,4                            | 1951  | 334         | - 41  | 16,8                   | 17 | 63,0                            |
| 1938  | (325)       | - 50  | 25,0                   | 19 | 70,4                            | 1952  | 295         | - 80  | 64,0                   | 21 | 77,8                            |
| 1939  | (280)       | - 95  | 90,0                   | 23 | 85,2                            | 1953  | 279         | - 96  | 92,0                   | 24 | 88,9                            |
| 1941  | (315)       | - 60  | 36,0                   | 20 | 74,1                            | 1954  | 373         | - 2   | 0,0                    | 12 | 44,5                            |
| 1942  | (350)       | - 25  | 6,2                    | 15 | 55,5                            | 1955  | 525         | + 150 | 225,0                  | 2  | 7,4                             |
| 1943  | (510)       | + 135 | 182,0                  | 4  | 14,8                            | 1956  | 382         | + 7   | 0,5                    | 10 | 37,0                            |
| 1944  | (240)       | - 135 | 182,0                  | 26 | 95,3                            | 1957  | 394         | + 19  | 3,6                    | 9  | 33,3                            |

$$\sum (m) = 975,7$$

$$M = 375$$

$$\sum (m - M)^2 = 1932 \times 10^2$$

$$N = 26$$

TABLEAU N° 4

MODULES  
de la BENOUE à GAROUA

Test du  $\chi^2$

| N° de la<br>classe | Borne<br>de la<br>classe | $n_i$ | F %<br>théo-<br>rique | $v_l$ | $n_i - v_i$ | $(n_i - v_i)^2$ | $\frac{(n_i - v_i)^2}{v_i}$ |
|--------------------|--------------------------|-------|-----------------------|-------|-------------|-----------------|-----------------------------|
| 1                  | 300                      | 6     | 20                    | 5,2   | + 0,80      | 0,64            | 0,123                       |
| 2                  | 300- 360                 | 7     | 24                    | 0,25  | + 0,75      | 0,56            | 0,09                        |
| 3                  | 360- 420                 | 7     | 26                    | 6,75  | + 0,25      | 0,06            | 0,009                       |
| 4                  | 420- 520                 | 4     | 25                    | 6,5   | - 2,5       | 6,25            | 0,96                        |
| 5                  | 520                      | 2     | 5                     | 1,3   | + 0,7       | 0,49            | 0,377                       |
| $\Sigma =$         |                          | 26    | 100                   | 26,00 | 0           |                 | $\chi^2$ 1,559              |

$$\chi^2 = 1,56$$

Degrés de liberté :

$$K - 1 - p = 5 - 1 - 2 = 2$$

Probabilités de dépassement 50%  
(d'après tables  $\chi^2$ )

CAM 8961

ED:

LE: M. H. MICHEL

DES: J. P. Haeffely

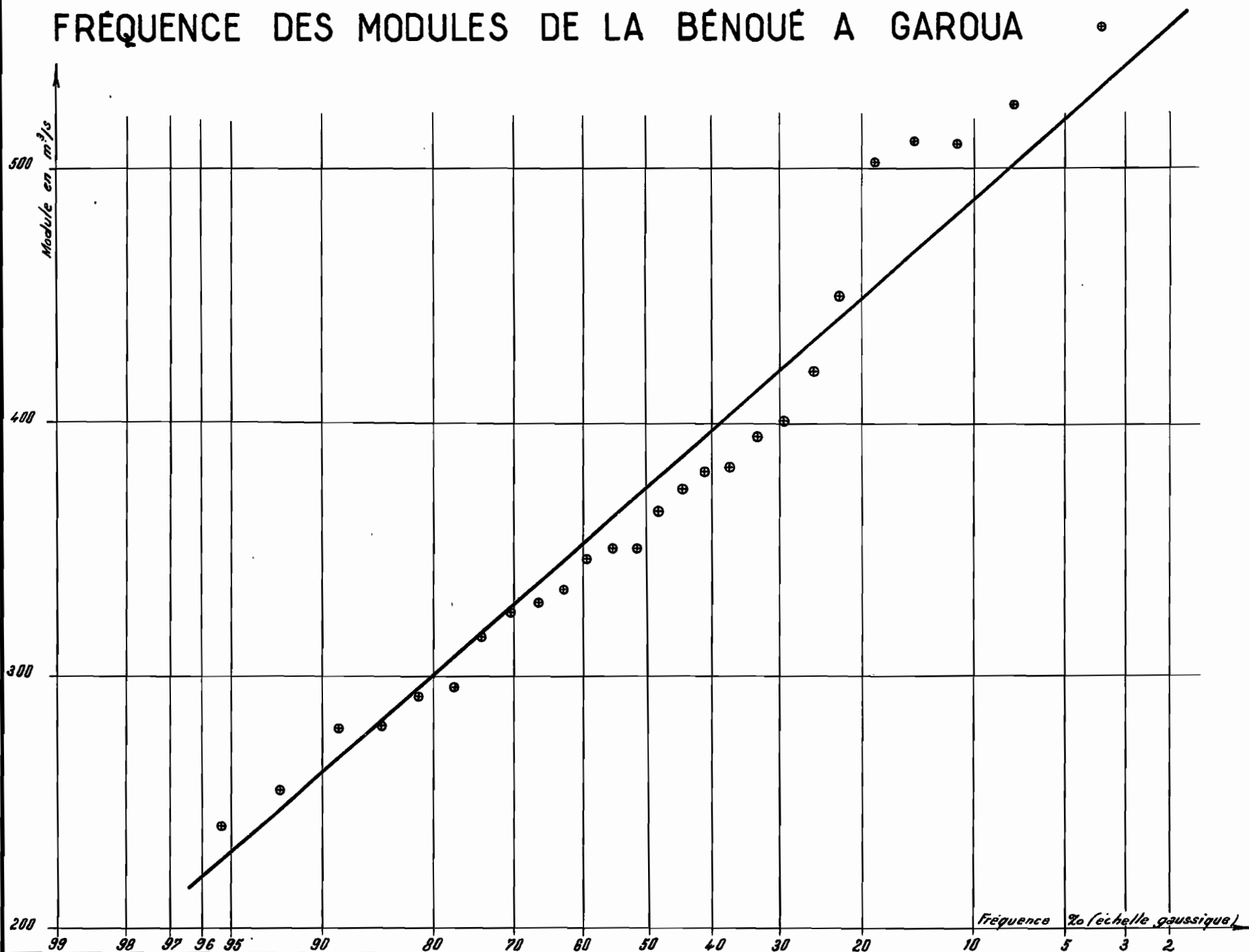
VISA:

TUBE N°:

AO

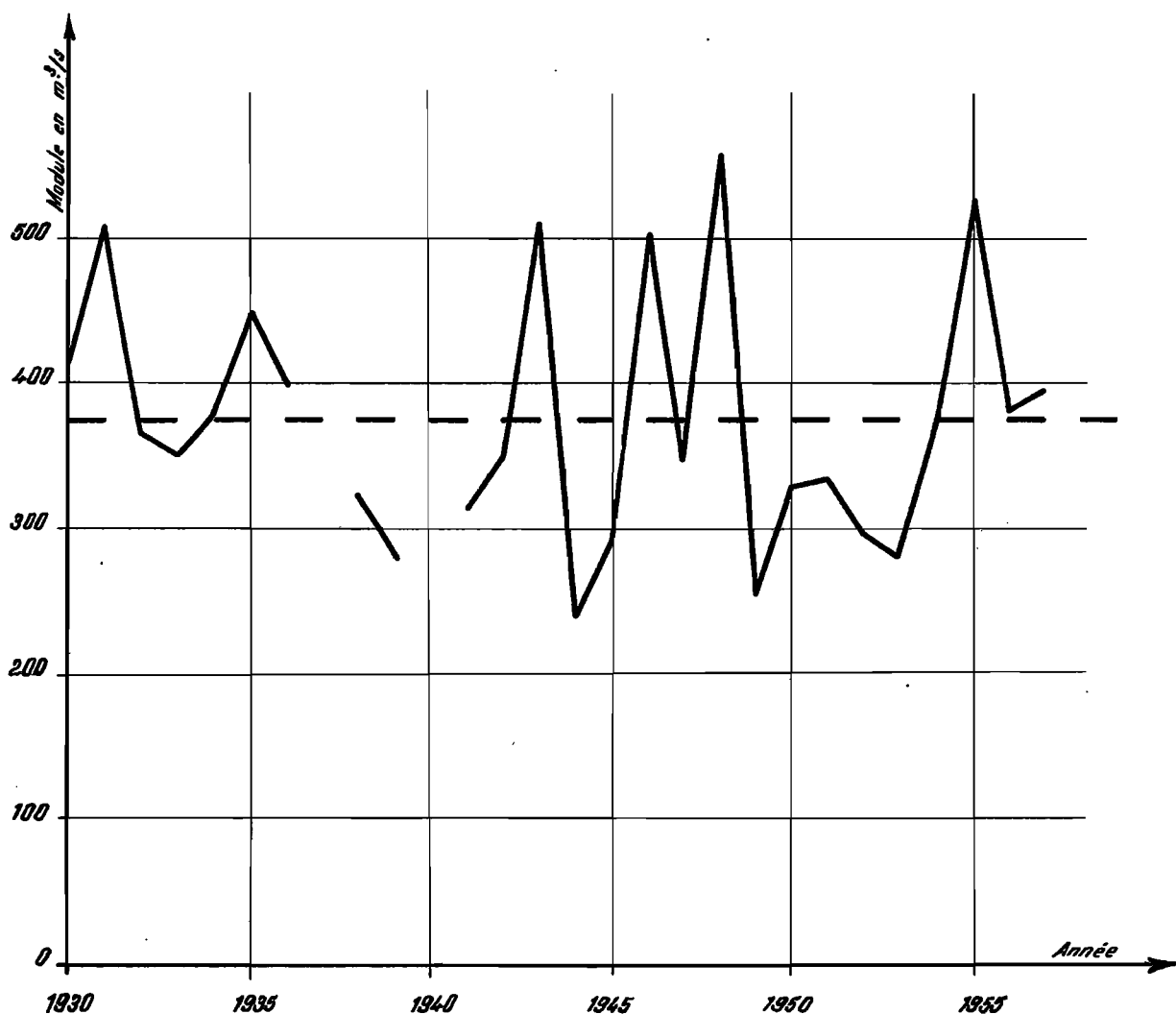
ELECTRICITE DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

## FRÉQUENCE DES MODULES DE LA BÉNOUÉ A GAROUA



# La BÉNOUÉ A GAROUA

MODULES ANNUELS DE 1930 A 1957



CAM 8962

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: IV - 11 - ME MLX

DES: J.-P. Heulrich

VISA:

TUBE N°:

A O

La distribution des modules peut donc être considérée comme conforme à la loi de Gauss, non pas à l'échelle de quelques années, mais seulement à l'échelle de plusieurs décennies. Ce fait aurait son importance pour la régularisation interannuelle du débit de la BENOUE par un barrage-réservoir, la succession de deux années très sèches étant moins improbable que ne le voudrait la loi de Gauss.

#### f) Irrégularité interannuelle

L'irrégularité interannuelle de la BENOUE peut être caractérisée de façon simple par le coefficient de variation des modules, dont la distribution est supposée gaussienne, le coefficient de variation n'est autre que l'écart-type rapporté du module moyen :

$$C_v = \frac{\sigma}{M} = \frac{88}{375} = \underline{0,235}$$

On peut également définir d'autres coefficients, qui n'ont un sens précis que pour une certaine période d'observation (26 ans, dans le cas présent) :

$$K_1 = \frac{\text{Module maximum}}{\text{Module moyen}} = \frac{556}{375} = 1,48$$

$$K_2 = \frac{\text{Module minimum}}{\text{Module moyen}} = \frac{240}{375} = 0,64$$

$$K_3 = \frac{\text{Module maximum}}{\text{Module minimum}} = \frac{556}{240} = 2,32$$

#### g) Débit maximum annuel

Le tableau N° 5 donne la liste des débits maxima de crues, observés annuellement de 1930 à 1958 (à l'exception des années 1937 et 1940). Le débit de 1948, qui est de loin le plus élevé (6.000 m<sup>3</sup>/s), est donné sous toute réserve, car il résulte d'une large extrapolation de la courbe d'étalonnage.

TABLEAU N° 5

DEBIT MAXIMUM ANNUEL  
de la BENOUE à GAROUA

| Années | Q max | n  | $F\% = \frac{n}{N+1} \times 100$ | Années | Q max   | n  | $F\% = \frac{n}{N+1} \times 100$ |
|--------|-------|----|----------------------------------|--------|---------|----|----------------------------------|
| 1930   | 2.260 | 19 | 67,8                             | 1945   | 3.355   | 10 | 35,7                             |
| 1931   | 3.860 | 5  | 17,9                             | 1946   | 4.390   | 3  | 10,7                             |
| 1932   | 2.955 | 16 | 57,2                             | 1947   | 3.080   | 13 | 46,5                             |
| 1933   | 3.860 | 6  | 21,4                             | 1948   | (6.000) | 1  | 3,6                              |
| 1934   | 3.335 | 11 | 39,3                             | 1949   | 2.260   | 20 | 71,4                             |
| 1935   | 4.410 | 2  | 7,1                              | 1950   | 1.965   | 24 | 85,7                             |
| 1936   | 3.515 | 9  | 32,2                             | 1951   | 2.185   | 21 | 75,0                             |
| 1938   | 4.210 | 4  | 14,3                             | 1952   | 2.040   | 23 | 82,1                             |
| 1939   | 1.775 | 26 | 92,9                             | 1953   | 2.110   | 22 | 78,6                             |
| 1941   | 3.730 | 7  | 25,0                             | 1954   | 2.940   | 17 | 60,7                             |
| 1942   | 2.975 | 15 | 53,5                             | 1955   | 3.300   | 12 | 42,8                             |
| 1943   | 3.555 | 8  | 28,6                             | 1956   | 3.025   | 14 | 50,0                             |
| 1944   | 1.390 | 27 | 96,4                             | 1957   | 2.610   | 18 | 64,3                             |
|        |       |    |                                  | 1958   | 1.905   | 25 | 89,3                             |



CAM 8963

ED:

LE: 11.11.1961

DES: J.P. Haefliger

VISA:

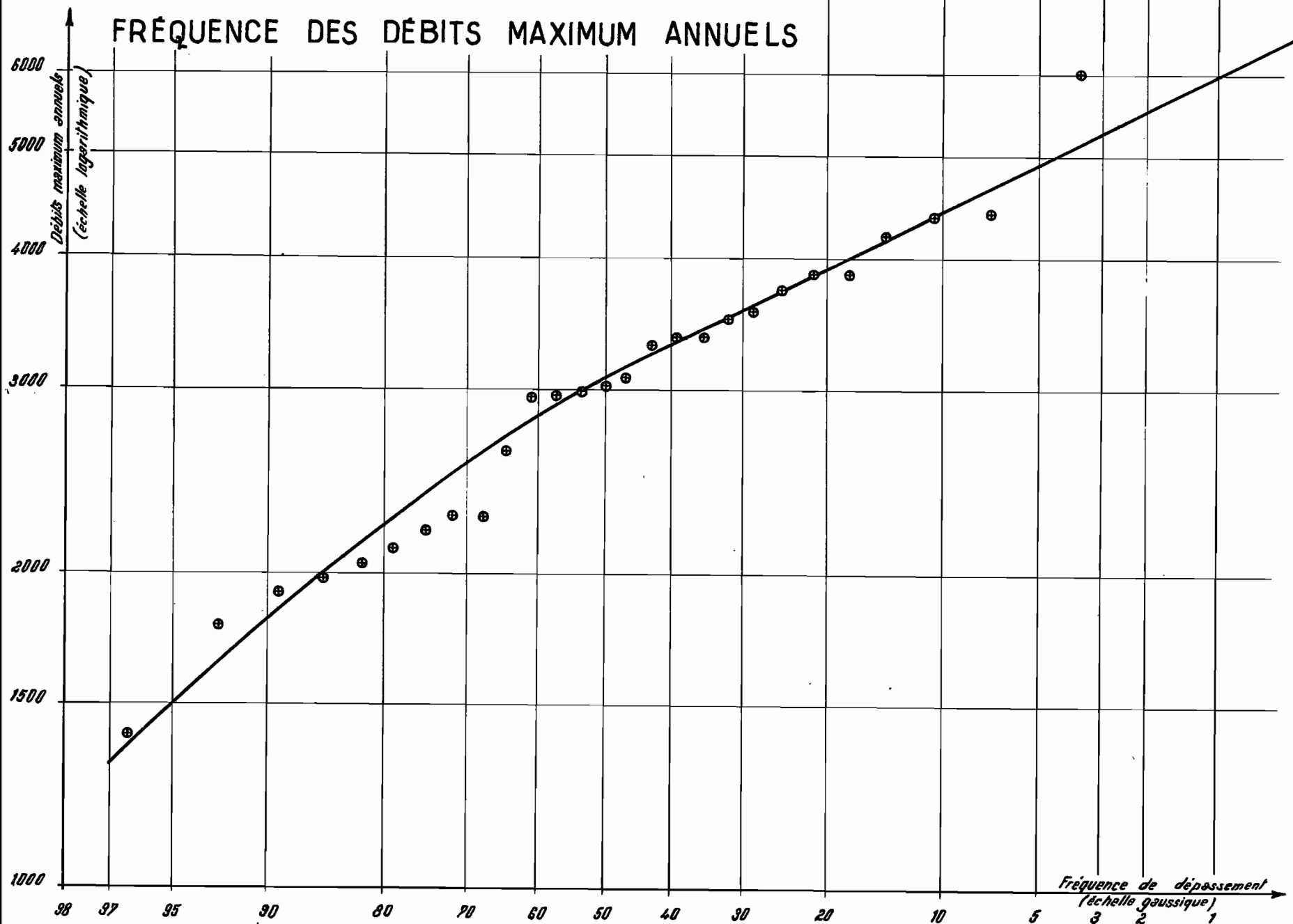
TUBE N°:

AO

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

## La BÉNOUÉ à GAROUA

## FRÉQUENCE DES DÉBITS MAXIMUM ANNUELS



Sur le graphique CAM 8963, ces débits de crue (échelle logarithmique) ont été portés en fonction de leur fréquence de dépassement (échelle gaussienne), calculée par la formule :

$$F \% = \frac{n}{N + 1} \times 100$$

n : numéro de classement, par ordre décroissant, du débit maximum annuel considéré

N : nombre total de débits maxima annuels observés (27).

Aux points ainsi obtenus, nous avons ajusté graphiquement une courbe qui est pratiquement rectiligne dans sa partie supérieure et que nous avons extrapolée par une droite pour la détermination des crues exceptionnelles. On aboutit aux résultats suivants :

|                               |   |                         |              |                 |
|-------------------------------|---|-------------------------|--------------|-----------------|
| débit maximum de crue médiane | : | 3.100 m <sup>3</sup> /s | (48,5 l/s/km |                 |
| "                             | " | "                       | décennale :  | 4.500 " (70,5 " |
| "                             | " | "                       | centenaire:  | 6.000 " (94,- " |

#### h) Bilan d'écoulement annuel

Le bilan d'écoulement annuel, c'est-à-dire la comparaison entre les précipitations sur le bassin versant et les débits écoulés à GAROUA, a pu être établi de façon assez précise pour les années 1952 à 1957, ainsi que pour l'année moyenne. On se reportera au tableau n° 6.

TABLEAU N° 6

BILAN D'ECOULEMENT  
de la BENOUE à GAROUA

| : Année :   | : Module :            | :Lame d'eau :  | :Précipitation: | : Déficit :    | :Coefficient : |
|-------------|-----------------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|
| :           | :                     | :équivalente : | :moyenne s/le : | :d'écoulement: | :d'écoulement: |
| :           | : m <sup>3</sup> /s : | : mm :         | : bassin :      | : mm :         | : % :          |
| : 1952 :    | : 295 :               | : 145 :        | : 1.015 :       | : 870 :        | : 14,3 :       |
| : 1953 :    | : 279 :               | : 140 :        | : 1.060 :       | : 920 :        | : 13,2 :       |
| : 1954 :    | : 373 :               | : 185 :        | : 1.175 :       | : 990 :        | : 15,7 :       |
| : 1955 :    | : 525 :               | : 260 :        | : 1.190 :       | : 930 :        | : 21,9 :       |
| : 1956 :    | : 382 :               | : 190 :        | : 1.020 :       | : 830 :        | : 18,6 :       |
| : 1957 :    | : 394 :               | : 195 :        | : 1.125 :       | : 930 :        | : 17,3 :       |
| : année :   | : 375 :               | : 185 :        | : 1.130 :       | : 945 :        | : 16,4 :       |
| : moyenne : | :                     | :              | :               | :              | :              |

On constate que le déficit d'écoulement varie entre 830 et 990 mm. Sa valeur moyenne de 945 mm est en accord avec les résultats obtenus sur d'autres bassins tropicaux de climat analogue.

### 3) REGIME DE LA BENOUE à YOLA (Bassin de 107.000 km<sup>2</sup>)

#### a) Variations annuelles des hauteurs d'eau

Pour déterminer le diagramme des variations annuelles de la BENOUE à YOLA, nous avons procédé de la même façon que pour GAROUA. Nous avons considéré des dates fixes, échelonnées de 5 en 5 jours, et nous avons déterminé les hauteurs d'eau qui, à telle date, étaient atteintes ou dépassées dans 25, 50 et 75% des années observées.

Les relevés limnimétriques que nous possédons pour l'ancienne échelle de YOLA (avant 1954) sont très fragmentaires et peu précis. Ils ne nous ont permis d'appliquer la méthode indiquée que d'une façon approximative et pour les mois de Juillet à Octobre seulement. Pour les autres mois de l'année, nous avons dû nous contenter de déterminer les hauteurs d'eau observées en année moyenne, d'après les seuls relevés des années 1954 à 1957.

On trouvera sur le graphique CAM 8932 les diagrammes de variations en :

- année humide (fréquence 25%)
- année médiane (fréquence 50%)
- année sèche (fréquence 75%)

Rappelons que ces diagrammes correspondent à des années purement fictives, mais permettent de déterminer la probabilité pour que telle hauteur d'eau soit observée à une date fixée. Ils donnent, en outre, une bonne représentation de l'allure des variations annuelles de la BENOUE à YOLA. On peut noter en particulier :

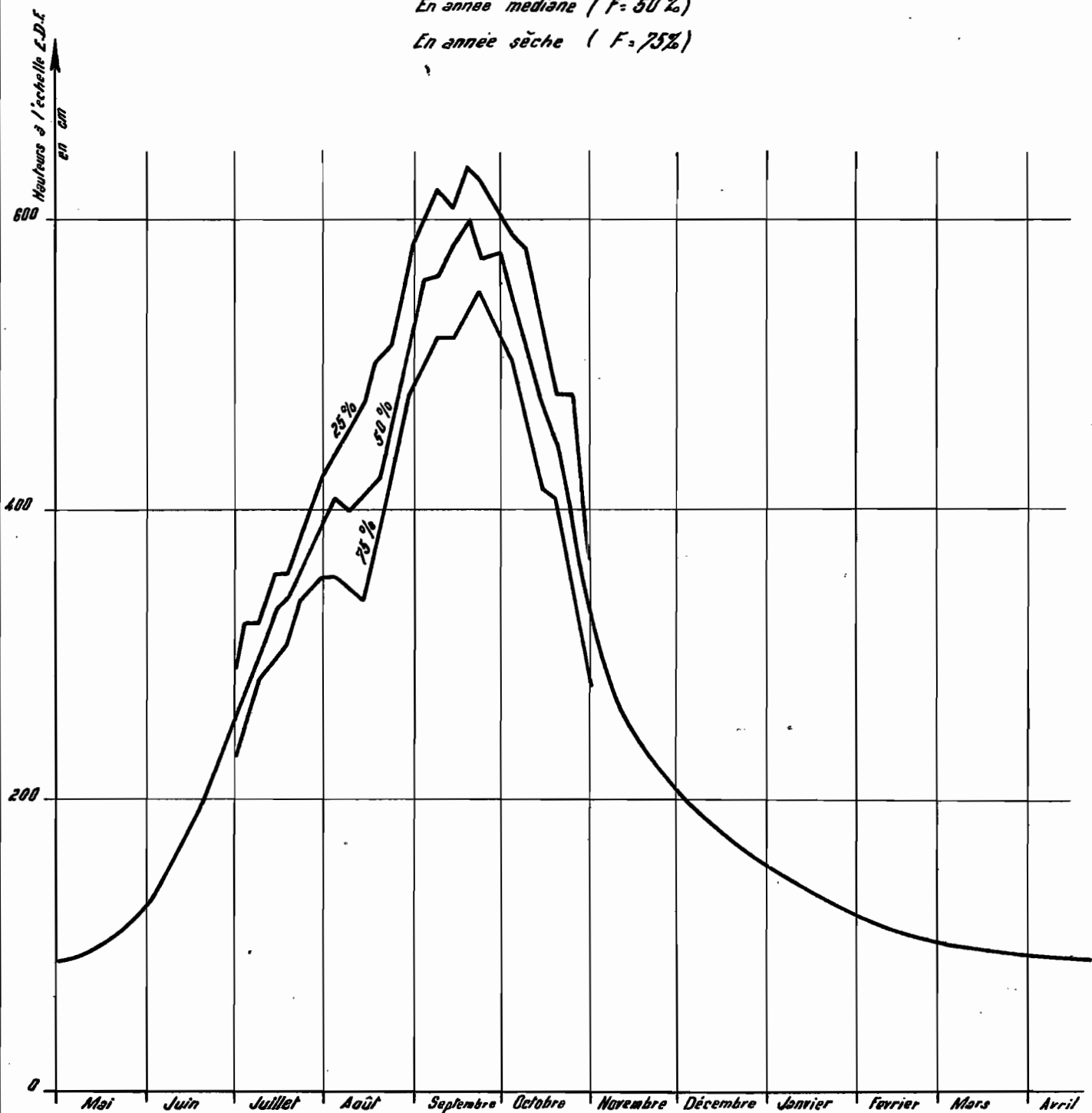
# La BENOUE à YOLA

## DIAGRAMME DE VARIATION DES HAUTEURS D'EAU

*En année humide (F = 25 %)*

*En année médiane (F = 50 %)*

*En année sèche (F = 75 %)*



CAM 8932

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: STU - J. MENA

DES: J.-P. Haeftich

VISA:

TUBE N°:

AO

- une première montée assez rapide en Juin et Juillet,
- une période de ralentissement ou même de baisse temporaire dans la première moitié du mois d'août,
- une forte montée à la fin d'août, qui se prolonge pendant la plus grande partie du mois de Septembre,
- un ou deux maxima, situés généralement entre le 10 Septembre et le début d'Octobre,
- une décrue très rapide qui s'amorce dès la première décade d'Octobre, mais qui est souvent marquée par un bref répit vers le milieu du mois,
- une décroissance continue et rapide à partir du 20 Octobre, qui se prolonge en Novembre et se poursuit pendant toute la saison sèche à un rythme ralenti.

#### b) Variations annuelles des débits

Les variations annuelles des débits, qui sont figurées sur le graphique CAM 8934, ont été déterminées à partir des variations de hauteurs d'eau, en utilisant la courbe d'étalonnage de YOLA. Elles n'appellent pas de remarques particulières.

#### c) Débits mensuels

Les débits mensuels de la BENOUE à YOLA ont été déterminés en années humide, médiane et sèche, à partir des diagrammes de débits précédents.

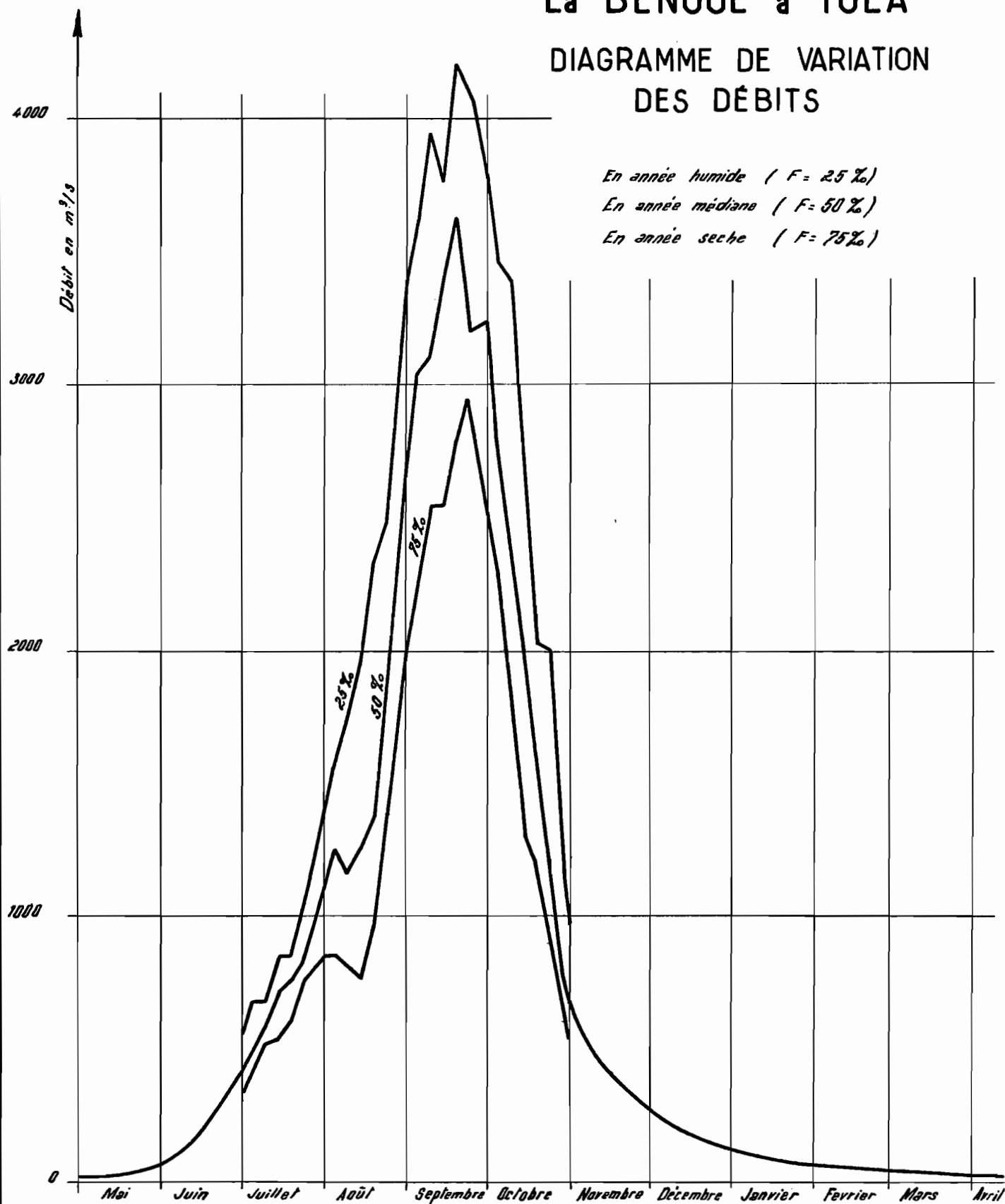
Ils ont pu également être évalués pour l'année moyenne, en calculant mois par mois la moyenne arithmétique de la série des débits mensuels observés.

On trouvera dans le tableau N° 7 ci-joint les résultats obtenus. Notons que ceux-ci sont seulement approximatifs, étant donné le manque de précision des observations limnimétriques anciennes de YOLA.

On relève, comme pour GAROUA, quelques écarts entre les débits médians et moyens, ce qui n'est guère étonnant, car il existe une corrélation certaine entre les débits de YOLA et de GAROUA. Ces écarts paraissent cependant insuffisants pour être significatifs.

# La BÉNOUÉ à YOLA

## DIAGRAMME DE VARIATION DES DÉBITS



CAM 8934

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: XIV-1- MCMLX

DES: J-P. Haettich

VISA:

TUBE N°:

AO

TABLEAU N° 7

Bassin : 107.000 km<sup>2</sup>

BENOUE à YOLA  
DEBITS MENSUELS ( en m<sup>3</sup>/sec.)

|               | Janv. | Fév. | Mars | Avril | Mai  | Juin  | Juil. | Août  | Sept. | Oct.  | Nov.  | Déc.  | Année |
|---------------|-------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Année humide  |       |      |      |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |
| (F = 25%)     | -     | -    | -    | -     | -    | -     | 880   | 2.160 | 3.870 | 2.580 | -     | -     | -     |
| Année médiane |       |      |      |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |
| (F = 50%)     | (85)  | (45) | (25) | (20)  | (35) | (210) | 680   | 1.550 | 3.240 | 1.900 | (425) | (175) | 705   |
| Année sèche   |       |      |      |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |
| (F = 75%)     | -     | -    | -    | -     | -    | -     | 580   | 1.100 | 2.580 | 1.450 | -     | -     | -     |
| Année moyenne | (85)  | (45) | (25) | (20)  | (35) | (210) | 730   | 1.660 | 3.400 | 2.040 | (425) | (175) | 740   |



#### d) Débits classés

Les débits classés de la BENOUE à YOLA ont été déterminés en considérant les différents débits caractéristiques de toutes les années observées. On en a extrait les valeurs correspondantes de fréquence 25, 50 et 75%.

Celles-ci ont été portées dans le tableau N° 8 et ont permis de tracer les courbes du graphique CAM 8964.

#### e) Modules annuels

Le tableau N° 9 donne la série des modules observés à YOLA de 1929 à 1957 (à l'exception des années 1931, 1933 à 1935, 1937 et 1940). Il permet également de caractériser la distribution statistique des modules suivant le schéma de Gauss :

- Module moyen estimé :  $M = \frac{740}{s} \text{ m}^3/\text{s}$ , soit  $6,9 \text{ l/s/km}^2$
- Ecart-type :  $\sigma = \sqrt{\frac{(m - M)^2}{N - 1}} = 175 \text{ m}^3/\text{s}$
- Erreur probable sur le module moyen =  $\frac{\sigma}{\sqrt{N}} = 37,5 \text{ m}^3/\text{s}$   
(erreur ayant une chance sur trois d'être dépassée)
- Erreur maximum probable sur le module moyen :  
$$\frac{2\sigma}{\sqrt{N}} = 75 \text{ m}^3/\text{s}$$
  
(erreur ayant une chance sur vingt d'être dépassée)
- Intervalle de confiance (95%) du module moyen :

$$665 \text{ m}^3/\text{s} < M < 815 \text{ m}^3/\text{s}$$

Le graphique CAM 9001 donne une représentation de la distribution des modules (échelle linéaire), en fonction de leurs fréquences (échelle gaussique). On constate que la droite de Gauss correspondant à la moyenne et à l'écart-type ci-dessus, s'ajuste aux points représentatifs d'une façon satisfaisante, ce qui est par ailleurs confirmé par le test du  $\chi^2$ .

La succession des modules de 1929 à 1957 (voir graphique CAM 9002) montre, comme à GAROUA, un certain groupement par séries des années sèches et des années humides. On retrouve, par exemple, une hydraulicité

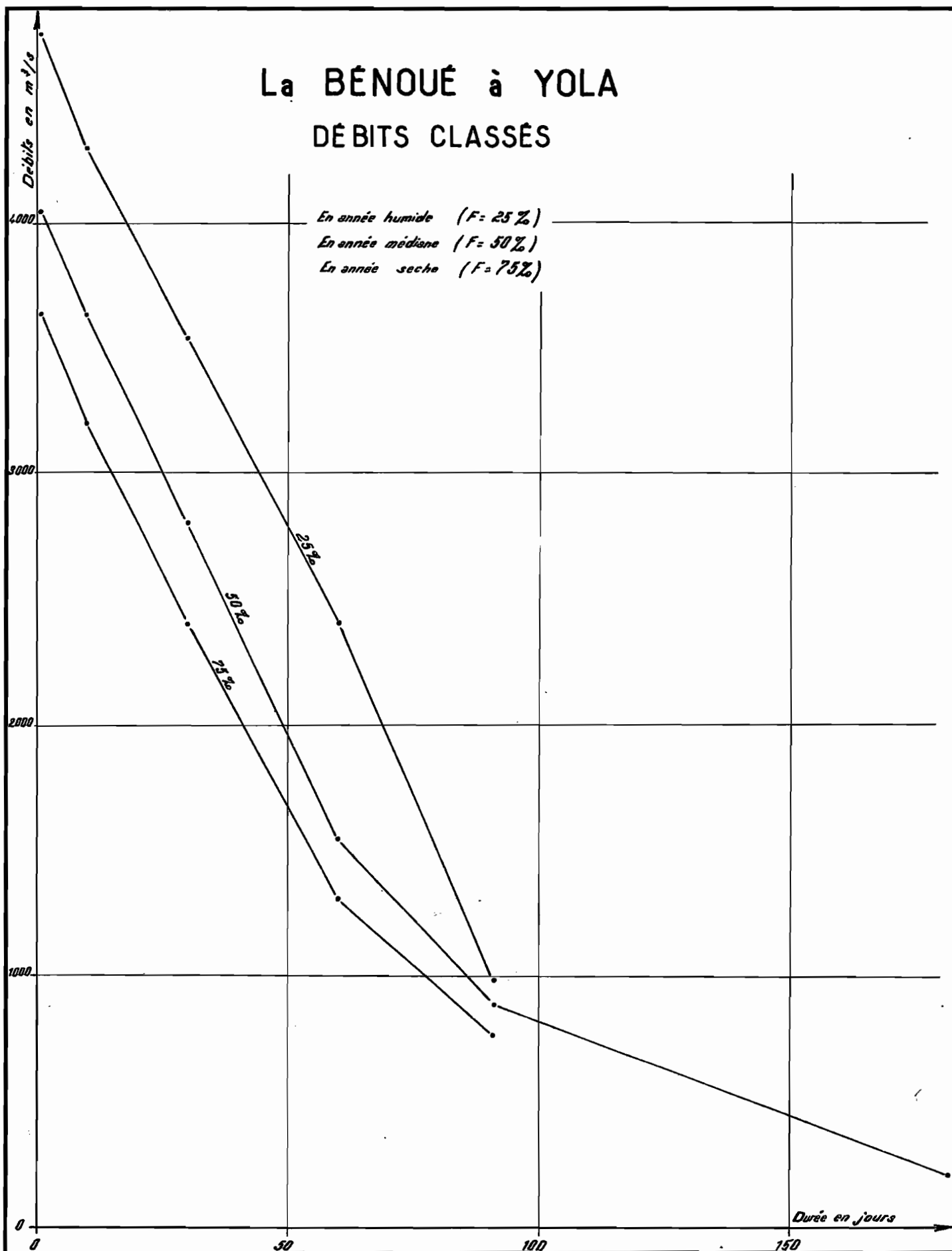
TABLEAU N° 8

DEBITS CLASSES (en m<sup>3</sup>/s)  
de la BENOUE à YOLA

|               | 1     | 10    | 1     | 2     | 3    | 6     | 9    | 355   |
|---------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|
|               | jour  | jours | mois  | mois  | mois | mois  | mois | jours |
| Année humide  | 4.750 | 4.295 | 3.540 | 2.405 | 980  | -     | -    | -     |
| Année médiane | 4.040 | 3.630 | 2.800 | 1.545 | 880  | (190) | (40) | (20)  |
| Année sèche   | 3.630 | 3.200 | 2.405 | 1.300 | 775  | -     | -    | -     |

# La BÉNOUÉ à YOLA

## DÉBITS CLASSÉS



CAM 8964

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: M. H. MENET

DES: J. P. Huetlich

VISA:

TUBE N°:

AO

TABLEAU N° 9

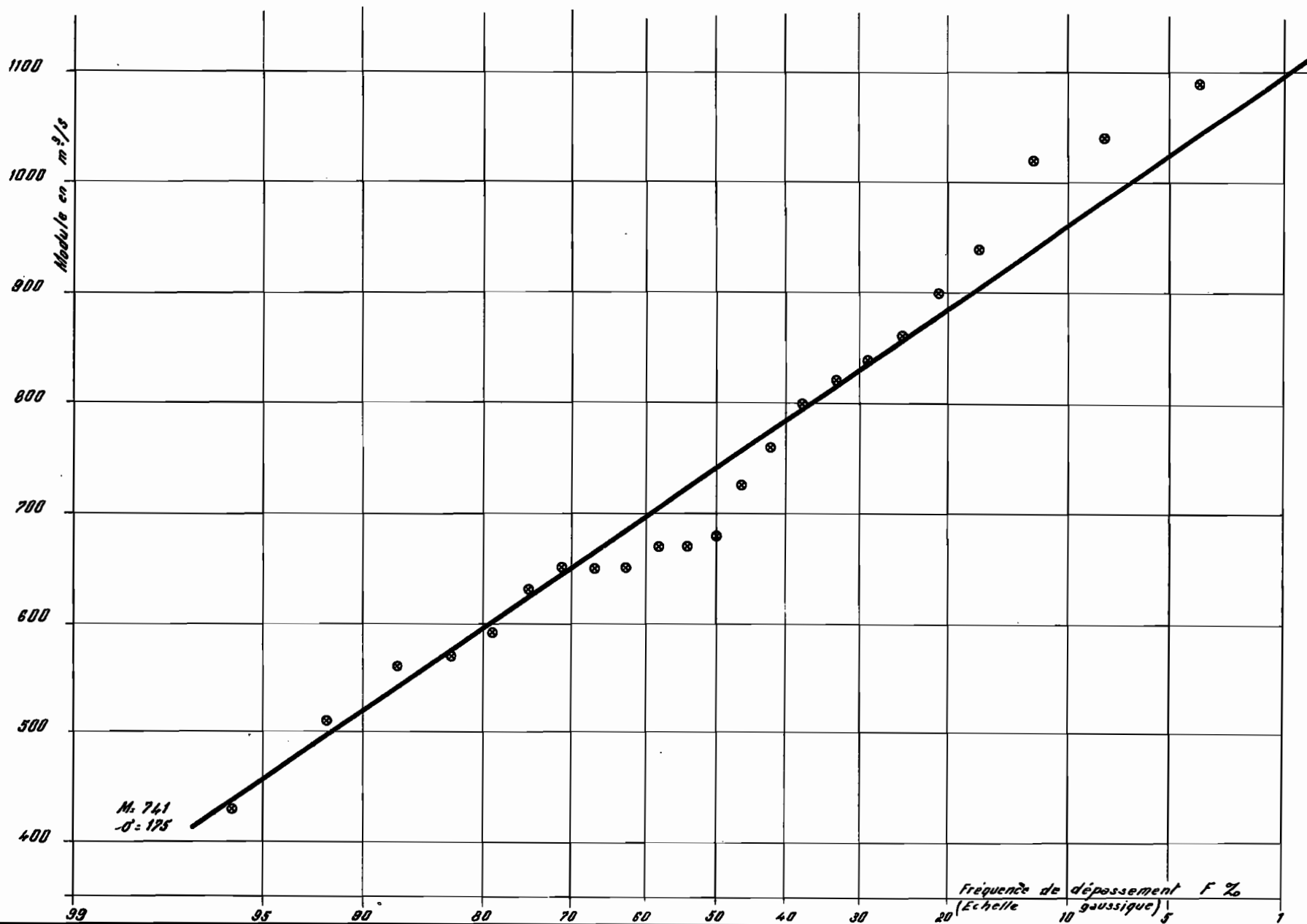
MODULES  
de la BENOUE à YOLA

| Année | Module<br>m | m - M | (m - M) <sup>2</sup>    | n  | F% = $\frac{n}{N+1} \times 100$ | Année | Module<br>m | m - M | (m - M) <sup>2</sup> | n  | F% = $\frac{n}{N+1} \times 100$ |
|-------|-------------|-------|-------------------------|----|---------------------------------|-------|-------------|-------|----------------------|----|---------------------------------|
| 1929  | 1.090       | + 349 | 1.220 x 10 <sup>2</sup> | 1  | 4                               | 1946  | 650         | - 91  | 83 x 10 <sup>2</sup> | 17 | 71                              |
| 1930  | 820         | + 79  | 62                      | 8  | 33                              | 1947  | 860         | + 119 | 142                  | 6  | 25                              |
| 1932  | 800         | + 59  | 35                      | 9  | 37,5                            | 1948  | 1.020       | + 279 | 780                  | 3  | 12,5                            |
| 1936  | 725         | - 16  | 5                       | 11 | 46                              | 1949  | 670         | - 71  | 51                   | 13 | 54                              |
| 1938  | 560         | - 181 | 327                     | 21 | 87,5                            | 1950  | 570         | - 171 | 293                  | 20 | 83                              |
| 1939  | 670         | - 71  | 50                      | 14 | 58                              | 1951  | 630         | - 111 | 123                  | 18 | 75                              |
| 1941  | 680         | - 61  | 37                      | 12 | 50                              | 1952  | 650         | - 91  | 83                   | 16 | 67                              |
| 1942  | 650         | - 91  | 83                      | 15 | 62,5                            | 1953  | 590         | - 151 | 228                  | 19 | 79                              |
| 1943  | 900         | + 159 | 254                     | 5  | 21                              | 1954  | 840         | + 99  | 98                   | 7  | 29                              |
| 1944  | 430         | - 311 | 970                     | 23 | 96                              | 1955  | 1.040       | + 299 | 895                  | 2  | 8                               |
| 1945  | 510         | - 231 | 535                     | 22 | 92                              | 1956  | 760         | + 19  | 4                    | 10 | 42                              |
|       |             |       |                         |    |                                 | 1957  | 940         | + 199 | 396                  | 4  | 17                              |

$$\sum \frac{(m)}{M} = \frac{17.055}{741}$$

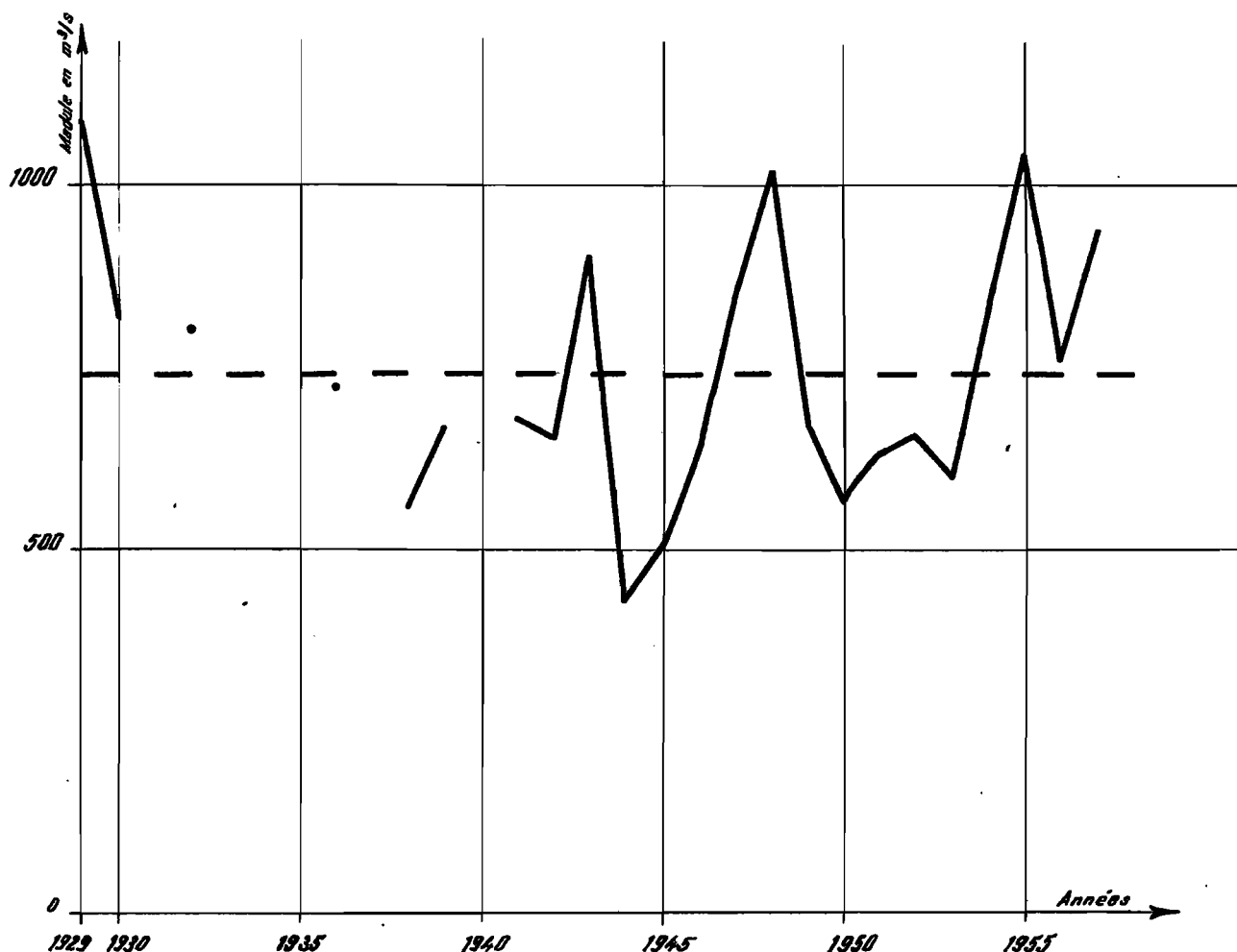
$$\sum (m - M)^2 = 6.754 \times 10^2$$

$$N = 23$$



# La BÉNOUÉ à YOLA

MODULES ANNUELS DE 1929 à 1957



CAM 9002

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: XIX-VI-1954

DES: JP Heulrich

VISA:

TUBE N°:

AO

nettement déficitaire de 1949 à 1953. Ce fait n'a rien de surprenant, la corrélation entre les modules de YOLA et de GAROUA étant nécessairement assez serrée, puisque les apports de YOLA proviennent pour moitié environ de GAROUA.

L'influence du FARO n'est cependant pas négligeable et donne parfois lieu à des hydraulicités assez différentes entre GAROUA et YOLA. Par exemple, l'année 1946, nettement excédentaire à GAROUA, a été légèrement déficitaire à YOLA.

#### f) Irrégularité interannuelle

L'irrégularité interannuelle de la BENOUE à YOLA peut être caractérisée par le coefficient de variation du module :

$$C_v = \frac{\sigma}{M} = \frac{175}{740} = \underline{0,237}$$

On remarque que ce coefficient a pratiquement la même valeur qu'à GAROUA.

On peut également calculer les coefficients  $K_1$ ,  $K_2$  et  $K_3$  qui ont été utilisés précédemment :

$$K_1 = \frac{\text{Module maximum}}{\text{Module moyen}} = \frac{1.090}{740} = 1,47$$

$$K_2 = \frac{\text{Module minimum}}{\text{Module moyen}} = \frac{430}{740} = 0,58$$

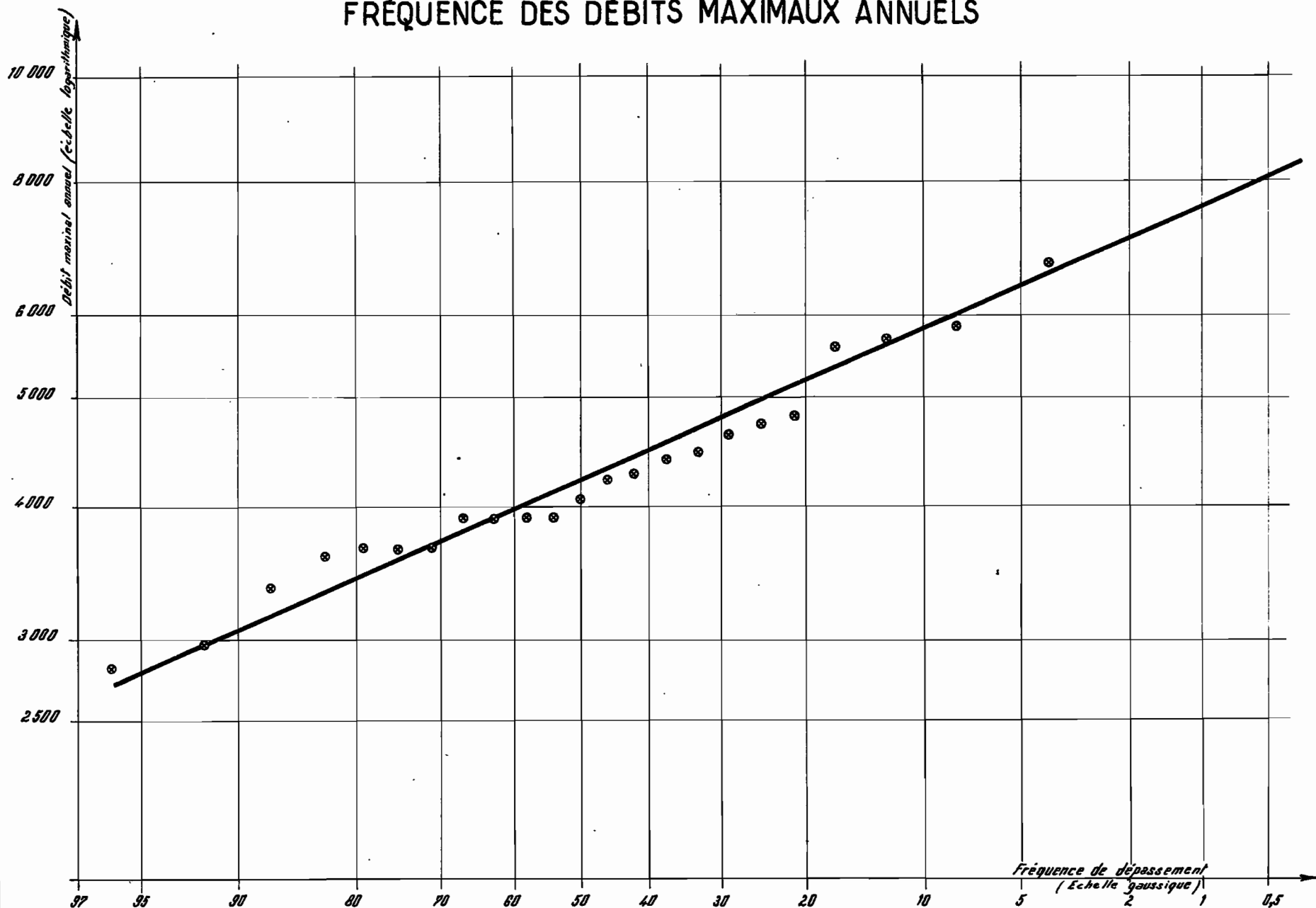
$$K_3 = \frac{\text{Module maximum}}{\text{Module minimum}} = \frac{1.090}{430} = 2,54$$

Précisons que ces coefficients s'appliquent à une série de 23 années d'observations.

#### g) Débit maximum annuel

On trouvera dans le tableau n° 10 la liste des débits de crue maxima observés sur 23 années. Ils ont été reconstitués à partir de relevés limnimétri-

A0





ques assez fragmentaires et ne peuvent donc être considérés comme très précis.

Ces débits maxima annuels ont été portés sur un graphique gaussien-logarithmique (CAM 9003) en fonction de leur fréquence. Les points représentatifs s'alignent approximativement suivant une droite qu'il a été facile d'extrapoler pour la détermination des crues exceptionnelles :

Débit maximum de crue médiane =  $4.200 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $39 \text{ l/s/km}^2$ )  
" " " décennale =  $5.750 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $53,5 \text{ l/s/km}^2$ )  
" " " centenaire =  $7.600 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $71 \text{ l/s/km}^2$ )

#### h) Bilan d'écoulement annuel

Le bilan d'écoulement de la BENOUE à YOLA a pu être établi seulement pour l'année moyenne, les données pluviométriques que nous possédons pour des années particulières étant insuffisamment précises, surtout pour la partie du bassin située au NIGERIA.

Pour l'année moyenne, les différents termes du bilan s'établissent comme suit :

- Module :  $740 \text{ m}^3/\text{s}$ , soit  $6,9 \text{ l/s/km}^2$
- lame d'eau équivalente : 220 mm
- Précipitation moyenne sur le : 1.160 mm
- Déficit d'écoulement<sup>bassin</sup> : 940 mm
- Coefficient d'écoulement : 19%

On constate que le déficit d'écoulement moyen est sensiblement identique à celui de GAROUA. Par contre, le coefficient d'écoulement de YOLA est un peu supérieur, ce qui s'explique par la plus forte pluviométrie moyenne du bassin du FARO, qui est plus méridional et plus montagneux. Pour cette même raison, le module spécifique de YOLA est de  $6,9 \text{ l/s/km}^2$  contre  $5,85 \text{ l/s/km}^2$  à GAROUA.

TABLEAU N° 10

DEBIT MAXIMUM ANNUEL  
de la BENOUE à YOLA

| : Crues :<br>: Années : | Q max | : n :  | $F\% = \frac{n}{N + 1} \times 100$ | : Crues :<br>: Années : | Q max   | : n :  | $F\% = \frac{n}{N + 1} \times 100$ |
|-------------------------|-------|--------|------------------------------------|-------------------------|---------|--------|------------------------------------|
| : 1929 :                | 4.825 | : 5 :  | 21                                 | : 1946 :                | 3.555   | : 20 : | 83                                 |
| : 1930 :                | 3.630 | : 17 : | 71                                 | : 1947 :                | 4.470   | : 8 :  | 33                                 |
| : 1932 :                | 5.700 | : 3 :  | 12,5                               | : 1948 :                | (6.700) | : 1 :  | 4                                  |
| : 1936 :                | 4.645 | : 7 :  | 29                                 | : 1949 :                | 3.630   | : 18 : | 75                                 |
| : 1938 :                | 3.630 | : 19 : | 79                                 | : 1950 :                | 3.330   | : 21 : | 87,5                               |
| : 1939 :                | 3.875 | : 14 : | 58                                 | : 1951 :                | 4.040   | : 12 : | 50                                 |
| : 1941 :                | 4.295 | : 10 : | 42                                 | : 1952 :                | 3.875   | : 16 : | 67                                 |
| : 1942 :                | 3.875 | : 15 : | 62,5                               | : 1953 :                | 2.800   | : 23 : | 96                                 |
| : 1943 :                | 5.850 | : 2 :  | 8                                  | : 1954 :                | 4.210   | : 11 : | 46                                 |
| : 1944 :                | 2.930 | : 22 : | 92                                 | : 1955 :                | 5.600   | : 4 :  | 17                                 |
| : 1945 :                | 3.875 | : 13 : | 54                                 | : 1956 :                | 4.750   | : 6 :  | 25                                 |
| : :                     | :     | : :    | :                                  | : 1957 :                | 4.400   | : 9 :  | 37,5                               |
| : :                     | :     | : :    | :                                  | : :                     | :       | : :    | :                                  |

4) REGIME DE LA BENOUE A NUMAN (bassin de 170.000 km<sup>2</sup>)

Les données que nous possédons sur la BENOUE à NUMAN sont maigres et se réduisent à des relevés limnimétriques assez incomplets des années 1954, 1955 et 1956. Il n'est donc pas possible de définir le régime de la BENOUE à NUMAN de façon précise. Ce régime n'est cependant pas très différent de celui de YOLA et n'est modifié que par les apports de la GONGOLA qui correspondent approximativement à une majoration des débits de 20% en moyenne.

L'allure des variations annuelles est très analogue à celle de YOLA. On n'observe guère de pointes particulières dues à la GONGOLA qu'entre la fin-Juillet et la fin-Septembre. Encore sont-elles le plus souvent d'amplitude modérée. La première montée des eaux en Juin-Juillet et la décrue à partir du début d'Octobre sont pratiquement parallèles à celles de YOLA.

Le tableau N° 11 ci-joint donne la valeur des débits mensuels observés à NUMAN de 1954 à 1956. Cette dernière année semble avoir été voisine de la normale et l'on peut en déduire que le module moyen à NUMAN est d'environ 900 m<sup>3</sup>/s. Le module spécifique correspondant est de 5,3 l/s/km<sup>2</sup>, valeur nettement plus faible que celle de YOLA. La GONGOLA draine, en effet, un bassin qui est dans l'ensemble peu arrosé, sauf dans son extrémité supérieure (Plateau BANCHI).

En ce qui concerne le débit maximum annuel, les observations effectuées de 1954 à 1956 permettent, par comparaison avec GAROUA et YOLA, de donner les valeurs approchées suivantes :

|                                 |   |                         |                             |
|---------------------------------|---|-------------------------|-----------------------------|
| - Débit maximum de crue médiane | : | 5.000 m <sup>3</sup> /s | (29,5 l/s/km <sup>2</sup> ) |
| - " " " décennale               | : | 7.000 m <sup>3</sup> /s | (41 " )                     |
| - " " " centenaire              | : | 9.000 m <sup>3</sup> /s | (53 " )                     |

Le bilan d'écoulement en année moyenne peut s'établir approximativement comme suit :

|                          |   |                       |                            |
|--------------------------|---|-----------------------|----------------------------|
| - Module                 | : | 900 m <sup>3</sup> /s | (5,3 l/s/km <sup>2</sup> ) |
| - Lamé d'eau équivalente | : | 165 mm                |                            |

TABIEAU N° 11Bassin : 170.000 km<sup>2</sup>BENOUE à NUMAN

| Année | Janv. | Févr. | Mars | Avril | Mai  | Juin  | Juil. | Août  | Sept.   | Oct.  | Nov.  | Déc.  | Module  |
|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|---------|
| 1954  | -     | -     | -    | -     | -    | -     | -     | -     | (4.450) | 3.820 | 765   | 265   | -       |
| 1955  | (115) | (50)  | (35) | (30)  | (60) | 330   | 1.140 | 2.850 | 4.710   | 4.405 | 1.480 | (300) | (1.290) |
| 1956  | (100) | (40)  | (30) | (30)  | (35) | (220) | 975   | 2.095 | 4.440   | 2.645 | 375   | 130   | (925)   |

- Précipitation moyenne sur le bassin : 1.080 mm
- Déficit d'écoulement : 915 mm
- Coefficient d'écoulement : 15,3 %

On remarque que le déficit et surtout le coefficient d'écoulement sont inférieurs à ceux de YOLA, ce qui peut s'expliquer par l'influence de la GONGOLA dont le bassin ne reçoit pas de précipitations supérieures à 1.000 mm, sauf dans la région de JOS.

#### 5) STATIONS SECONDAIRES DU BASSIN SUPERIEUR DE LA BENOUE

Les stations secondaires pour lesquelles nous possédons des données hydrologiques plus ou moins complètes, sont les suivantes :

- RIAO : station située sur la BENOUE à environ 50 km en amont de GAROUA (bassin de 31.000 km<sup>2</sup>)
- COSSI : située sur le MAYO-KEBI à environ 85 km en amont de GAROUA (bassin de 26.000 km<sup>2</sup>)
- SAFAÏ : située sur le FARO, à environ 90 km en amont de son confluent avec la BENOUE
- BARE : située sur la GONGOLA, à environ 15 km de son confluent avec la BENOUE.

Les principales données relatives à ces stations ont été portées dans les tableaux n° 12 à 18, auxquels on se reportera utilement. Dans l'ensemble, les quatre stations ci-dessus ont un régime du même type tropical mais comportent diverses nuances qui apparaissent clairement sur le tableau récapitulatif n° 19.

La Haute-BENOUE à RIAO et le FARO à SAFAÏ qui proviennent du Massif de l'ADAMAOUA ont un déficit d'écoulement voisin de 1.000 mm. Le bassin du FARO étant nettement plus arrosé, a un module spécifique relativement élevé de 17 l/s/km<sup>2</sup>, tandis que celui de RIAO est presque de moitié moindre (9 l/s/km<sup>2</sup>).

TABLEAU N° 12

Bassin : 31.000 km<sup>2</sup>

DEBITS MENSUELS (en m<sup>3</sup>/s)  
de la BENOUE à RIAO

| Année   | Janv. | Févr. | Mars  | Avril  | Mai   | Juin | Juil. | Août  | Sept.   | Oct.  | Nov. | Déc.   | Module |
|---------|-------|-------|-------|--------|-------|------|-------|-------|---------|-------|------|--------|--------|
| 1950    | (10)  | (3)   | (0,7) | (0,5)  | 6,0   | 31   | 125   | 956   | 1.560   | (700) | (62) | (16,5) | 290    |
| 1951    | 9,9   | 3,85  | 0,95  | 0,3    | 3,1   | 29,2 | 171   | 741   | 1.120   | 678   | 180  | 39     | 249    |
| 1952    | 21,7  | 12,7  | 6,45  | 0,35   | 12,2  | 28,1 | 238   | 712   | (1.300) | -     | -    | -      | -      |
| 1953    | 11,7  | 4,6   | 1,3   | 0,5    | 12,9  | 42   | 221   | 667   | 744     | 333   | 41,5 | 12,9   | 175    |
| 1954    | (6)   | (3)   | 1,4   | 0,9    | 2,7   | 33,4 | 316   | 557   | 1.535   | 803   | 100  | 26,3   | 283    |
| 1955    | 9,8   | 3,0   | (0,7) | (0,5)  | (4,5) | 42,3 | 276   | 1.030 | 1.820   | 1.150 | 165  | 52     | 381    |
| 1956    | 25,4  | 12,0  | 6,4   | (0,4)  | (5)   | (50) | 223   | 670   | 1.495   | 928   | 101  | 37     | 296    |
| 1957    | 17,4  | 7,3   | 1,55  | (0,45) | 7,9   | 113  | 264   | 768   | 1.245   | 769   | 91   | 16,7   | 275    |
| Moyenne | 14    | 6,15  | 2,45  | 0,5    | 6,8   | 46   | 230   | 760   | 1.350   | 765   | 105  | 28,5   | 278    |

TABLEAU N° 13

Bassin : 31.000 km<sup>2</sup>

BENOUE à RIAO

| Année   | Débits classés (m <sup>3</sup> /s) |          |        |        |        |           | Lame d'eau<br>écoulée | Précipi-<br>tation<br>moyenne | Défi-<br>cit<br>d'écou-<br>lement | Coefficient<br>d'écou-<br>lement |
|---------|------------------------------------|----------|--------|--------|--------|-----------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
|         | Maxim.                             | 10 jours | 3 mois | 6 mois | 9 mois | 355 jours | mm                    | mm                            | mm                                | %                                |
| 1951    | 1.560                              | 1.350    | 466    | 36     | 1,75   | (0,2)     | 255                   | 1.375                         | 1.120                             | 18,5                             |
| 1952    | > 2.200                            | -        | -      | -      | 12,3   | 0,2       | -                     | -                             | -                                 | -                                |
| 1953    | 2.690                              | 1.230    | 250    | 24     | 5,0    | 0,4       | 180                   | 1.070                         | 890                               | 16,8                             |
| 1954    | 3.180                              | 1.790    | 257    | 26     | 2,6    | 0,65      | 290                   | 1.370                         | 1.080                             | 21,2                             |
| 1955    | 3.130                              | 2.100    | 466    | 50     | 2,8    | 0,50      | 385                   | 1.320                         | 935                               | 29,2                             |
| 1956    | 2.780                              | 2.130    | 278    | 39     | -      | -         | 300                   | 1.150                         | 850                               | 26,0                             |
| 1957    | 2.370                              | 1.620    | 294    | 25     | 7,2    | 0,35      | 280                   | 1.250                         | 970                               | 22,4                             |
| Moyenne | 2.600                              | 1.700    | 335    | 33     | 5,-    | 0,4       | 280                   | 1.280                         | 1.000                             | 22,-                             |

TABLEAU N° 14

Bassin : 26.000 km<sup>2</sup>

DEBITS MENSUELS (en m<sup>3</sup>/s)  
du MAYO-KEBI à COSSI

| Année       | Janv. | Févr. | Mars  | Avril | Mai  | Juin | Juil. | Août | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. | Module |
|-------------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|--------|
| 1954        |       |       |       |       |      |      | 110   | 126  | 172   | 128  | 93   | 67   |        |
| 1955        | 30    | 13,4  | (5,4) | (2)   | 0,5  | 78   | 121   | 320  | 487   | 212  | 168  | 114  | 129    |
| 1956        | 47    | (24)  | (8)   | (1,5) | 0,1  | 43   | 101   | 302  | 337   | 150  | 90   | 83   | 99     |
| 1957        | 40    | 19,6  | 7,3   | 2,2   | 19   | 63   | 174   | 301  | 315   | 198  | 83   | 45   | 106    |
| Moyenne (1) | 23,6  | 11,8  | 3,9   | 1     | 14,1 | 49   | 118   | 225  | 300   | 160  | 87   | 59   | 88     |

(1) Les moyennes mensuelles ont été calculées en tenant compte des relevés antérieurs (1950-1954) de la station de FAMOU.



TABLEAU N° 15

MAYO-KEBI à COSSI

| Année | Débits classés (m <sup>3</sup> /s) |          |        |        |        |           | Lame d'eau<br>écoulée | Précipi-<br>tation<br>moyenne | Déficit<br>d'écou-<br>lement | Coefficient<br>d'écoule-<br>ment |
|-------|------------------------------------|----------|--------|--------|--------|-----------|-----------------------|-------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
|       | Maxim.                             | 10 jours | 3 mois | 6 mois | 9 mois | 355 jours | mm                    | mm                            | mm                           | %                                |
| 1954  | 435                                | 225      |        |        |        |           |                       |                               |                              |                                  |
| 1955  | 975                                | 535      | 185    | 60     | 6,1    | 0         | 155                   | 1.025                         | 870                          | 15,1                             |
| 1956  | 750                                | 485      | 100    | 32     |        | 0         | 120                   | 940                           | 820                          | 12,8                             |
| 1957  | 710                                | 410      | 180    | 46     | 17,5   | 0,35      | 130                   | 960                           | 830                          | 13,5                             |

TABLEAU N° 16

Bassin : 23.500 km<sup>2</sup>

DEBITS MENSUELS (en m<sup>3</sup>/s)  
du FARO à SAFAÏ

| Année   | Janv. | Févr. | Mars | Avril | Mai  | Juin  | Juil. | Août  | Sept. | Oct.  | Nov. | Déc.  | Module |
|---------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|--------|
| 1951    | (10)  | (3)   | (1)  | (1)   | 50   | 245   | 555   | 920   | 1.085 | 970   | 410  | (110) | 365    |
| 1953    | 22    | 24    | 12   | 12    | 127  | 290   | 405   | 675   | 1.170 | 1.050 | 227  | 69    | 342    |
| 1954    | 23    | 17    | 16   | 21    | (70) | (250) | (600) | 740   | 1.590 | 1.495 | 254  | 95    | (430)  |
| 1955    | 49    | 26    | 18   | 27    | 69   | 245   | 650   | 1.035 | 1.360 | 1.425 | 305  | 88    | 445    |
| 1956    | 38    | 23    | 20   | 30    | 46   | 350   | 615   | 630   | 1.280 | 715   | 162  | 96    | 334    |
| 1957    | 39    | 21    | 19   | 29    | 180  | 415   | 790   | 1.065 | 1.200 | 1.265 | 365  | 150   | 464    |
| Moyenne | 30    | 19    | 17   | 24    | 94   | 310   | 605   | 845   | 1.280 | 1.155 | 285  | 100   | 400    |

TABLEAU N° 17Bassin : 23.500 km<sup>2</sup>FARO à SAFAI

| Année | Débits classés (m <sup>3</sup> /s) |          |        |        |        |           | Lame    | Précipi- | Déficit | Coefficient |
|-------|------------------------------------|----------|--------|--------|--------|-----------|---------|----------|---------|-------------|
|       | Maxim.                             | 10 jours | 3 mois | 6 mois | 9 mois | 355 jours | d'eau   | tation   | d'écou- | d'écoule-   |
|       |                                    |          |        |        |        |           | écoulée | moyenne  | lement  | ment        |
|       |                                    |          |        |        |        |           | mm      | mm       | mm      | %           |
| 1951  | 2.150                              | 1.500    | 620    | 150    | -      | -         | 490     |          |         |             |
| 1953  | 2.990                              | 1.400    | 425    | 175    | 24     | -         | 460     |          |         |             |
| 1954  | 3.810                              | 1.940    | 460    | -      | 22     | 15        | 575     |          |         |             |
| 1955  | 3.740                              | 1.700    | 780    | 115    | 35     | 16        | 595     |          |         |             |
| 1956  | 3.390                              | 1.570    | 525    | 120    | 29     | 18        | 445     | 1.405    | 960     | 31,7        |
| 1957  | 3.250                              | 2.050    | 770    | 260    | 32     | 18        | 620     | 1.760    | 1.140   | 35,2        |

TABLEAU N° 18Bassin : 55.000 km<sup>2</sup>

DEBITS MENSUELS (en m<sup>3</sup>/s)  
de la GONGOLA à BARE

| Année | Janv. | Févr. | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil. | Août  | Sept.   | Oct.  | Nov. | Déc. | Module |
|-------|-------|-------|------|-------|-----|------|-------|-------|---------|-------|------|------|--------|
| 1954  | -     | -     | -    | -     | -   | -    | -     | -     | -       | (400) | (65) | (25) | -      |
| 1955  | (8)   | (7)   | (6)  | 5     | 19  | 80   | 170   | 445   | (900)   | (500) | -    | -    | (185)  |
| 1956  | -     | -     | -    | -     | -   | -    | (270) | (800) | (1.100) | -     | -    | -    | -      |

TABLEAU N° 19

TABLEAU RECAPITULATIF

| Station | Module            | Module              | Débit de crue (m <sup>3</sup> /s) |                   |                   | Préci: | Lame    | Déficit    | Coef.      | Superfi:        | Observa-  |
|---------|-------------------|---------------------|-----------------------------------|-------------------|-------------------|--------|---------|------------|------------|-----------------|-----------|
|         | moyen             | spécif.             | médiane                           | décennale         | centen.           | pit.   | d'eau:  | d'écou:    | d'écou:    | cie du:         |           |
|         | m <sup>3</sup> /s | l/s/km <sup>2</sup> | m <sup>3</sup> /s                 | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | mm     | moyenne | écoulement | écoulement | bassin:         |           |
|         | m <sup>3</sup> /s | l/s/km <sup>2</sup> | m <sup>3</sup> /s                 | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /s | mm     | mm      | mm         | %          | km <sup>2</sup> |           |
| GAROUA  | 375               | 5,85                | 3.100                             | 4.500             | 6.000             | 1.130  | 185     | 945        | 16,4       | 64.000          | BENOUE    |
| YOLA    | 740               | 6,9                 | 4.200                             | 5.750             | 7.600             | 1.160  | 220     | 940        | 19,0       | 107.000         | BENOUE    |
| NUMAN   | (900)             | (5,3)               | (5.000)                           | (7.000)           | (9.000)           | 1.080  | (165)   | (915)      | (15,3)     | 170.000         | BENOUE    |
| RIAO    | 280               | 9,05                | 2.500                             | (3.500)           | (5.000)           | 1.285  | 285     | 1.000      | 22,0       | 31.000          | BENOUE    |
| COSSI   | 90                | 3,45                | (700)                             | -                 | -                 | 925    | 110     | 815        | 11,9       | 26.000          | MAYO-KEBI |
| SAFAI   | 400               | 17,0                | (3.300)                           | -                 | -                 | 1.545  | 535     | 1.010      | 34,8       | 23.500          | FARO      |
| BARE    | (185)             | (3,35)              | (1.200)                           | -                 | -                 | 935    | (105)   | (830)      | (11,2)     | 55.500          | GONGOLA   |

Le MAYO-KEBI à COSSI et la CONGOLA à BARE drainent des bassins situés plus au nord et nettement plus secs que les deux précédents ; ils ont pour cette raison des déficits d'écoulement d'environ 800 à 850 mm seulement. Leur module spécifique descend à une faible valeur ( $3,5 \text{ l/s.km}^2$ ).

Il est à noter pour le MAYO KEBI que modules et coefficient d'écoulement sont légèrement renforcés par la capture très partielle du LOGONE qui, pour la période d'observation, a apporté en moyenne un peu plus de 5% du module total.

En ce qui concerne les débits maxima de crue, le FARO vient nettement en tête ( $3.300 \text{ m}^3/\text{s}$  environ pour la crue médiane), ce qui s'explique par le caractère montagneux du bassin et son état de saturation avancé à la fin de la saison des pluies. La Haute-BENOUE à RIAO connaît également des crues élevées ( $2.500 \text{ m}^3/\text{s}$  environ en année médiane) tandis que la GONGOLA, malgré son bassin important, et le MAYO-KEBI n'ont que des débits de crue assez modérés (respectivement  $1.200$  et  $700 \text{ m}^3/\text{s}$ ). L'évolution des crues est très rapide sur les quatre bassins, mais apparaît toutefois moins brusque à RIAO sous l'effet de débordements importants dans des plaines d'inondation qui jouent un rôle régularisateur. Le MAYO-KEBI est légèrement régularisé par les lacs de son cours moyen.

A titre de comparaison, les données essentielles des stations principales (GAROUA, YOLA et NUMAN) ont été rappelées dans le tableau récapitulatif. On notera en particulier que les déficits d'écoulement de ces stations (de l'ordre de 900 à 950 mm) admettent des valeurs intermédiaires entre les extrêmes observés aux stations secondaires. Il en est de même pour les modules spécifiques et les débits spécifiques de crue.

## E - TRANSPORTS SOLIDES -

### 1) GENERALITES

Le débit solide d'un cours d'eau peut, suivant le mode de déplacement des matériaux, être divisé en "transport en suspension" et "charriage de fond".

Dans le "transport en suspension", les matériaux sont maintenus au sein de la masse liquide par les composantes ascendantes de l'écoulement turbulent. La répartition théorique de leur concentration sur une verticale est donnée de façon assez satisfaisante par l'expression suivante :

$$\frac{C}{C_a} = \left( \frac{h - y}{y} \times \frac{a}{h - a} \right)^z$$

$$\text{avec } z = \frac{W}{K V_{gh} i}$$

C : concentration à la distance y du fond

C<sub>a</sub> : " " " " a " "

K : constante de Karman (0,4)

W : vitesse de sédimentation des particules

h : profondeur de l'écoulement

i : pente

Cette équation ne donne que la concentration relative et ne permettrait de calculer le transport solide en suspension que si l'on connaissait la valeur de C<sub>a</sub> à la distance a du fond.

On peut observer que lorsque z devient petit, c'est-à-dire lorsqu'il s'agit de particules ayant une faible vitesse de sédimentation (donc un faible diamètre) ou d'un courant présentant une "force tractrice" ( $V_{gh}$ ) élevée, la répartition de la concentration tend à devenir plus uniforme sur toute la profondeur ; en revanche, pour des valeurs élevées de z, la concentration devient très faible dans la partie supérieure du courant et la plupart des matériaux sont transportés au voisinage du lit.

Le "charriage de fond" est constitué par les particules plus grosses qui, ne pouvant être soulevées par le courant, roulent ou glissent sur le fond ; occasionnellement, elles peuvent avancer par bonds. (Ce mode de transport intermédiaire est quelquefois appelé "saltation", mais il est généralement rattaché au charriage de fond.) De nombreuses formules théoriques ont été proposées pour déterminer l'intensité du charriage de fond à partir des caractéristiques de l'écoulement. Les plus employées actuellement sont celles de Meyer-Peter et d'Einstein, qui conduisent à des résultats comparables. Cependant, il serait imprudent de perdre de vue que ces formules, établies d'après des essais de laboratoire, ont un domaine de validité assez restreint. Elles supposent notamment que l'écoulement est uniforme et la granulométrie des matériaux du fond homogène, conditions qui sont loin d'être satisfaites sur la BENOUE. On verra, par ailleurs, dans l'étude de l'hydrographie (Ch. II-2) que le charriage s'effectue en partie d'une façon discontinue, comme l'atteste l'évolution des seuils dans un cycle annuel : en hautes eaux, transfert de matériaux d'une mouille au seuil qui lui fait suite immédiatement en aval ; en basses eaux, transfert d'un seuil à la mouille suivante. Ce processus est évidemment très différent du charriage que l'on peut observer en laboratoire dans un canal vitré à écoulement uniforme. Pour cette raison, nous avons renoncé à faire usage de toute formule théorique qui ne pourrait donner que des résultats fort douteux.

Si l'on considère , non pas le mode de déplacement mais l'origine immédiate des matériaux, on peut distinguer dans le débit solide d'un cours d'eau, d'une part, la "charge de ruissellement" et, d'autre part, la "charge en matériaux du fond". Il est évident que l'origine première de tous les matériaux doit être recherchée dans l'érosion du bassin versant. Cependant, parmi ces matériaux, les particules les plus fines sont entraînées d'une façon continue sans dépôts intermédiaires, tandis que les plus grossières tendent à s'accumuler dans le lit et ne progressent que de façon lente et intermittente.

Les particules les plus fines, qui n'interviennent pratiquement pas dans la composition du lit, constituent la "charge de ruissellement" et représentent une part importante du débit solide total. Les particules grossières, au contraire, entrent en majeure partie dans la composition du lit, mais ne forment qu'une faible part du débit solide appelée "charge en matériaux du fond".

La "charge de ruissellement" dépend directement des conditions dans lesquelles s'effectue l'érosion du bassin versant à un moment donné (couverture végétale, humidité du sol, etc...) et pour cette raison ne présente pas de relation



définie avec le débit liquide. Ainsi, à débit égal, elle est généralement plus élevée en début qu'en fin de saison des pluies. Elle est d'ailleurs presque toujours loin de la saturation. Par contre, la "charge en matériaux du fond" est assez étroitement liée au débit liquide et reste toujours voisine de la saturation puisque les éléments susceptibles d'être transportés se trouvent disponibles dans le lit en quantité pratiquement illimitée. La réserve de matériaux que constitue le lit alluvionnaire régularise en quelque sorte les apports solides de forte granulométrie provenant de l'ensemble du bassin versant.

La "charge de ruissellement" n'intervient pratiquement pas dans les caractéristiques hydrographiques du lit apparent ; par contre, la stabilité du chenal, le déplacement des bancs de sable, l'exhaussement des seuils, etc... dépendent étroitement de la "charge en matériaux du fond". Pour l'étude du comblement de la retenue d'un barrage, les deux formes de transports solides doivent être prises en compte, mais la "charge de ruissellement" joue le rôle de beaucoup le plus important.

## 2) MESURES

### a) CHARGE DE RUISSELLEMENT :

Pendant la campagne 1955, des mesures de transports solides ont été effectuées, en nombre assez réduit, avec une turbidisonde "Neyrpic", qui permet de prélever des échantillons d'eau à différentes profondeurs. Cet appareil, dont le remplissage à la profondeur et pendant la durée voulues est commandé par air comprimé, ne s'est d'ailleurs pas révélé d'un usage extrêmement pratique, surtout pour les vitesses d'écoulement supérieures à 1,50 m/s. Les volumes d'eau prélevés étant de l'ordre d'un litre, les poids de matière solide recueillis sont de quelques dizaines de milligrammes et doivent être mesurés avec une balance permettant d'apprécier le milligramme, après avoir été filtrés et desséchés à l'étuve. Le résidu sec obtenu est essentiellement constitué par du limon ; le volume des prélèvements est, en effet, trop faible pour que l'on recueille en quantité appréciable des particules de sable d'une granulométrie comparable à celles que l'on trouve dans le lit de la BENOUE. On peut donc considérer que les résultats obtenus à l'aide de la turbidisonde Neyrpic correspondent à la "charge de ruissellement". On trouvera ces résultats dans le tableau ci-après :

| Stations      | Date     | Hau-<br>teur<br>d'eau | Concentration<br>g/m <sup>3</sup> |       |       | Débit<br>liquide<br>m <sup>3</sup> /s | Débit<br>solide<br>appro-<br>ximatif<br>Tonne/<br>jour |
|---------------|----------|-----------------------|-----------------------------------|-------|-------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------|
|               |          |                       | Mé-<br>diane                      | maxim | minim |                                       |                                                        |
| GAROUA        | 20- 9-55 | 666                   | 95                                | 200   | 20    | 2.200                                 | 18.000                                                 |
| MALAPE        | 6- 7-55  | 135                   | 110                               | 160   | 60    | 230                                   | 2.200                                                  |
| KOSSEL (FARO) | 10- 7-55 | 170                   | 215                               | 490   | 160   | 470                                   | 8.700                                                  |
| "             | 11-10-55 | 1,5                   | 150                               | 220   | 35    | 2.120                                 | 27.000                                                 |
| OURO-BOKI     | 26-10-55 | 421                   | 165                               | 245   | 40    | 1.960                                 | 28.000                                                 |

Les concentrations en troubles observées sont relativement peu élevées, même sur un affluent à régime assez torrentiel comme le FARO. Elles sont d'ailleurs comparables à celles observées sur d'autres fleuves africains de régime tropical, tels que le CHARI et le LOGONE.

Bien que nos mesures soient en nombre très restreint, on peut affirmer, d'après des observations qualitatives, que la turbidité ne présente pas de relation définie avec le débit liquide. En particulier, elle a tendance à être nettement plus forte au début de la saison des pluies, car les herbes de savane encore peu développées protègent mal le sol désagrégé en poussière par une longue sécheresse. Il n'est donc pas possible de déterminer avec précision la quantité de matières solides transportées annuellement sous forme de "charge de ruissellement". On peut cependant en évaluer un ordre de grandeur satisfaisant pour les besoins pratiques.

Sur la BENOUE Camerounnaise, si l'on admet une turbidité moyenne de 100 g/m<sup>3</sup>, on trouve, pour la station de GAROUA (module : 375 m<sup>3</sup>/s), une charge annuelle de ruissellement égale à :

$$100 \times 375 \times 31,5 \times 10^6 = 1,2 \times 10^{12} \text{ g/an}$$

soit 1.000.000 m<sup>3</sup>/an

en supposant une densité moyenne de 1,2 des dépôts de limon.

Pour la station d'OURO-BOKI (module : 750 m<sup>3</sup>/s), si l'on retient une turbidité moyenne de 150 g/m<sup>3</sup>, la charge annuelle de ruissellement ressort à :  $3,5 \times 10^{12}$  g/an,

soit 3.000.000 m<sup>3</sup>/an.

Nous retiendrons de ces estimations que le comblement d'une retenue de plusieurs milliards de mètres cubes, telle que celle de LAGDO ou de RIBADU (cf. Ch. III-C), s'effectuerait à un rythme lent et ne poserait donc pas de problème inquiétant.

b) CHARGE en MATERIAUX du FOND :

Pendant la campagne 1956, la Mission E.D.F. a pu disposer de différents appareils de mesure des débits solides mis au point par le Laboratoire d'Hydraulique de DELFT :

- Bouteille de Delft, type DF.1 : Destinée à mesurer les transports de sable en suspension depuis la surface jusqu'à 40 cm du fond, elle est constituée par une sorte de récipient à l'intérieur duquel l'eau pénètre par un ajutage spécial placé à l'avant. Elle y dépose son sable en suspension dans une chambre de décantation et ressort à l'arrière par plusieurs orifices.

- Bouteille de Delft, type DF.2 : Destinée à mesurer les transports de sable en suspension, entre 40 et 10 cm du fond, elle est très analogue à l'appareil précédent mais, au lieu d'être directement suspendue par un câble, elle est fixée à un châssis qui repose sur le fond.

- B.T.M.A. (Bottom Transport Meter "Arnheim") : Prévu pour mesurer le charriage de fond entre 0 et 10 cm du lit, il constitue une sorte de nasse à sable assez perfectionnée. Disons cependant que, contrairement aux deux appareils précédents, celui-ci ne nous a pas permis d'obtenir de résultats intéressants. Les mesures, répétées dix fois de suite au même point, présentaient une telle dispersion (couramment dans le rapport de 1 à 10, parfois de 1 à 100) qu'il n'a même pas été possible d'en dégager un ordre de grandeur. Il semble que cette dispersion soit due, d'une part, à l'irrégularité naturelle du phénomène de charriage sur un lit dont la topographie est, dans le détail, très complexe (cf. Ch. II-2) et, d'autre part, à certaines causes d'erreurs qui peuvent, dans certaines circonstances, troubler gravement les mesures : dragage du fond au début du relevage de l'appareil, enlèvement partiel de la nasse. Quoi qu'il en soit, nous n'avons pas tenu compte des résultats obtenus avec le B.T.M.A., car ils nous paraissaient trop incertains. Nous avons d'ailleurs déjà signalé que le charriage de fond est, sur la BENOUE, un phénomène discontinu qui, pour cette raison, se prête mal à des mesures ayant une signification précise.

Les appareils de mesure du Laboratoire de DELFT ne permettent pas de prélever les particules les plus fines entrant dans la composition du débit solide. Les éléments d'un diamètre inférieur à 0,1 mm et en particulier le limon en suspension n'ont pas la possibilité de se déposer à l'intérieur des chambres de décantation de DF.1 et DF.2. On peut donc considérer que ces appareils négligent la "charge de ruissellement" et ne mesurent que la "charge en matériaux du fond".

Le tableau ci-dessous donne l'ensemble des résultats obtenus avec les bouteilles de Delft DF.1 et DF.2, résultats auxquels il faut bien se garder d'attacher une très grande précision. Nos mesures ont été limitées aux trois stations qui circonscrivent le confluent du FARO, à savoir KINADA sur la BENOUE Camerounnaise, KOSSEL sur le Bas-FARO et OURO-BOKI sur la BENOUE Nigérienne.

# MESURES de TRANSPORTS SOLIDES

("charge en matériaux du fond" seulement)

DF.1 : transport en suspension entre la surface et 40 cm du fond  
DF.2 : " " " " 40 cm et 10 cm " "

| Stations  | Date     | Hauteur :<br>d'eau :<br>cm | Débit :<br>liquide :<br>m3/s | DF.1 :<br>m3/jour | DF.2 :<br>m3/jour | DF.1 :<br>+ DF.2 :<br>m3/jour |
|-----------|----------|----------------------------|------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------|
| KINADA    | 9- 8-56  | 337                        | 930                          | 625               | 175               | 800                           |
|           | 13- 9-56 | 474                        | 1.530                        | 1.700             | 500               | 2.200                         |
|           | 4-10-56  | 403                        | 1.170                        | 1.250             | 600               | 1.850                         |
|           | 26-10-56 | 202                        | 390                          | (traces)          | 15                | 15                            |
| KOSSEL    | 7- 8-56  | - 176                      | 420                          | 300               | 400               | 700                           |
|           | 14- 9-56 | - 58                       | 1.380                        | 5.050             | 2.750             | 7.800                         |
|           | 3-10-56  | - 121                      | 830                          | 900               | 650               | 1.550                         |
|           | 7-10-56  | - 42                       | 1.590                        | 5.500             | 3.750             | 9.250                         |
| OURO-BOKI | 14- 8-56 | 385                        | 1.400                        | 1.100             | 700               | 1.800                         |
|           | 17- 9-56 | 574                        | 4.250                        | 9.100             | 4.200             | 13.300                        |
|           | 2-10-56  | 471                        | 2.645                        | 1.450             | 1.300             | 2.750                         |
|           | 25-10-56 | 327                        | 990                          | 60                | 65                | 125                           |

CAM-6671

ED:

LE: 3-5-57

DES: J. Mélyer

VISA:

TUBE N°:

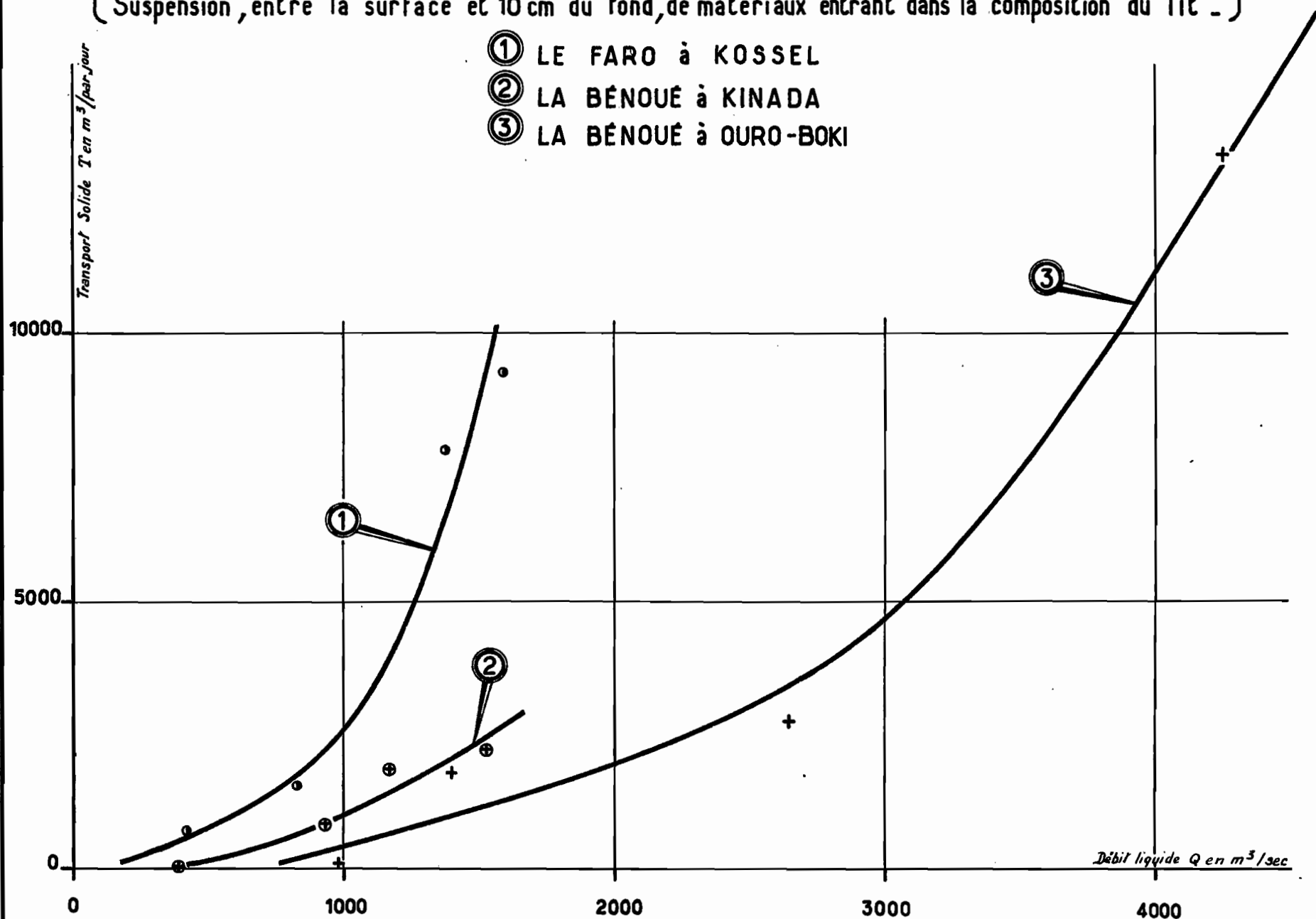
AO

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

## RELATION ENTRE TRANSPORTS SOLIDES ET DÉBITS LIQUIDES

(Suspension, entre la surface et 10 cm du fond, de matériaux entrant dans la composition du lit.)

- ① LE FARO à KOSSEL
- ② LA BÉNOUÉ à KINADA
- ③ LA BÉNOUÉ à OURO-BOKI



Les données de ce tableau ont permis de tracer assez grossièrement (voir graphique CAM 6.671) pour ces trois stations des courbes de relation entre le transport solide total en suspension (total de DF.1 et DF.2) et le débit liquide. La dispersion des points de mesure donne à penser que la précision de ces courbes est de l'ordre de 30 %. (1)

La courbe des débits classés de YOLA en année médiane, qui a été établie précédemment et qui peut être considérée comme très approximativement valable pour OURO-BOKI, permet de déterminer pour cette station la courbe des transports solides classés et d'en déduire le volume annuel des transports solides : 450.000 m<sup>3</sup>/an (voir graphique CAM 7983 ). Rappelons que ce volume s'entend seulement pour la "charge en matériaux du fond" et ne fait pas intervenir le charriage de fond. Pour tenir compte de ce dernier, nous majorerons d'un tiers le volume trouvé, ce qui nous donnera une valeur probablement surestimée mais que nous adopterons par prudence, soit :

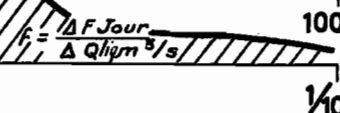
$$T = \underline{600.000 \text{ m}^3/\text{an}}$$

Une notion, assez intéressante parce que conditionnant en partie les caractères hydrographiques, est le "débit d'élaboration du lit", c'est-à-dire le débit auquel correspond en moyenne le plus gros volume de transports solides et donc le remaniement le plus important du lit. Ce débit correspond à l'ordonnée maximum de la courbe  $f \times T(Q)$ , où  $f$  et  $T$  sont respectivement la fréquence partielle et le débit solide correspondant au débit liquide  $Q$ . On trouve que le "débit d'élaboration" est d'environ 4.200 m<sup>3</sup>/s en année médiane. Il est assez voisin du maximum annuel et correspond sensiblement au débit qui est atteint ou dépassé pendant une semaine chaque année.

---

(1) Les mesures effectuées en 1957 par le Service d'Annonce des Crues confirment sensiblement l'allure des courbes de relation Transport solide/Débit liquide. Cependant, elles semblent indiquer, pour un même débit liquide, un transport solide un peu inférieur pour le FARO à KOSSEL et supérieur pour la BENOUE à OURO-BOKI.

\_\_\_\_\_



AO

### 3) GRANULOMETRIE

La granulométrie des matériaux transportés par la BENOUE est une donnée importante qu'il nous reste à considérer. La dimension des matériaux qui constituent la "charge de ruissellement" n'a pas été mesurée de façon précise, étant donné que ces éléments n'interviennent pratiquement pas dans les caractéristiques hydrographiques du lit. Rappelons seulement qu'il s'agit de particules de limon d'un diamètre de l'ordre de quelques microns à quelques dizaines de microns.

La granulométrie des particules sableuses qui constituent la "charge en matériaux du fond" a été mesurée avec un jeu de tamis calibrés (mailles de 0,1 - 0,197 - 0,310 - 0,490 - 0,710 - 1,0 - 2,0 - 3,17 - 5,0 - 7,0 et 10,0 mm) à partir de deux catégories d'échantillons. Les échantillons de la première catégorie ont été directement prélevés en saison sèche sur les bancs de sable et dans le lit d'étiage, à raison de 5 à 10 échantillons par station, régulièrement répartis dans un profil en travers.

Les résultats obtenus ont été résumés dans le tableau ci-dessous qui contient, pour différentes stations de la BENOUE et de ses affluents en amont d'OURO-BOKI, les valeurs moyennes de trois diamètres caractéristiques (d.10, d.50 et d.90). Rappelons que l'on désigne par d.10, d.50 et d.90 les mailles des tamis qui retiennent respectivement 10, 50 et 90 % des échantillons de sable étudiés.

| :Diamètre: | BENOUE  | BENOUE | BENOUE    | MAYO    | FARO    | FARO   | DEO     |
|------------|---------|--------|-----------|---------|---------|--------|---------|
| :caracté-  | à OURO- | à      | à         | KEBI    | à       | au Cpt | à       |
| :ristique: | BOKI    | GAROUA | RIAO      | à COSSI | TCHAMBA | CORON  | LARO    |
| :-----:    | -----:  | -----: | -----:    | -----:  | -----:  | -----: | -----:  |
| : d.10     | : 4 mm  | : 2 mm | : 0,85 mm | : 2 mm  | : 8 mm  | : 2 mm | : 10 mm |
| : d.50     | : 0,8   | : 0,6  | : 0,4     | : 0,6   | : 2     | : 0,6  | : 3     |
| : d.90     | : 0,4   | : 0,3  | : 0,2     | : 0,2   | : 0,5   | : 0,2  | : 0,5   |
| :          | :       | :      | :         | :       | :       | :      | :       |

La deuxième catégorie d'échantillons de la "charge en matériaux du fond" a été recueillie en hautes eaux, au cours des mesures de débit solide effectuées avec les appareils du Laboratoire de DELFT. Outre les matériaux collectés par ces appareils, on a directement prélevé du sable sur le fond avec une drague



du type Berthoit. Nous donnons ci-dessous la valeur moyenne du diamètre médian (d.50) des différents échantillons obtenus :

| Mode de<br>prélèvement | BENOUE à<br>OURO-BOKI | BENOUE à<br>KINADA | FARO à<br>KOSSEL |
|------------------------|-----------------------|--------------------|------------------|
| DF.1                   | 0,25 mm               | 0,1 mm             | 0,2 mm           |
| DF.2                   | 0,35                  | 0,3                | 0,3              |
| Drague                 | 0,9                   | 0,6                | 0,7              |

On constate que les éléments transportés sous forme de suspension (DF.1 et DF.2) ont un diamètre moyen de l'ordre de 0,1 à 0,3 mm ; d'après nos observations, ils dépassent rarement 0,4 mm, même pendant la période des plus hautes eaux. Par contre, les éléments qui reposent directement sur le lit et sont entraînés sous forme de "charriage de fond" sont de l'ordre de 0,6 à 0,9 mm en moyenne et peuvent atteindre assez fréquemment des valeurs de plusieurs millimètres.

ANNEXE N° 1

RELEVES DE HAUTEURS D'EAU  
ET DE DEBITS DE LA BENOUE

- de 1954 à 1957
- aux stations de : GAROUA  
OURO-BOKI  
NUMAN

-----

# BENOUE à GAROUA

|       |      | 1 9 5 4          |       |                           | 1 9 5 5          |       |                           | 1 9 5 6          |       |                           | 1 9 5 7          |       |                           |
|-------|------|------------------|-------|---------------------------|------------------|-------|---------------------------|------------------|-------|---------------------------|------------------|-------|---------------------------|
| Mois  | Jour | Hauteur<br>d'eau | Débit | Débit<br>moyen<br>mensuel | Hauteur<br>d'eau | Débit | Débit<br>moyen<br>mensuel | Hauteur<br>d'eau | Débit | Débit<br>moyen<br>mensuel | Hauteur<br>d'eau | Débit | Débit<br>moyen<br>mensuel |
| Janv. | 1    | 86               | 22    |                           | 125              | 55    |                           | 131              | 64    |                           | 117              | 56    |                           |
|       | 10   | 80               | 17    |                           | 117              | 47    |                           | 119              | 49    |                           | 109              | 46    |                           |
|       | 20   | 72               | 12    | 14                        | 106              | 36    | 41,3                      | 102              | 32    | 40,0                      | 101              | 36    | 40                        |
| Févr. | 1    | 66               | 8     |                           | 97               | 27,5  |                           | 90               | 22    |                           | 92               | 27    |                           |
|       | 10   | 60               | 5,5   |                           | 90               | 22    |                           | 86               | 19    |                           | 87               | 23    |                           |
|       | 20   | 56               | 4     | 5,1                       | 80               | 15    | 18,6                      | 79               | 14    | 16,8                      | 81               | 18    | 20                        |
| Mars  | 1    | 51               | 2,5   |                           | 68               | 8,5   |                           | 73               | 11    |                           | 78               | 15    |                           |
|       | 10   | 47               | 2     |                           | 59               | 7     |                           | 69               | 9     |                           | 74               | 13    |                           |
|       | 20   | 45               | 1,5   | 1,8                       | 52               | 5,5   | 6,2                       | 63               | 7,5   | 8,2                       | 68               | 9     | 10                        |
| Avril | 1    | 42               | 1,3   |                           | 48               | 5     |                           | 58               | 6,5   |                           | 60               | 5,5   |                           |
|       | 10   | 41               | 1,2   |                           | 47               | 4,5   |                           | 55               | 6     |                           | 55               | 4     |                           |
|       | 20   | 40               | 1,1   | 1,2                       | 46               | 4,5   | 4,6                       | 50               | 5     | 5,5                       | 50               | 2     | 3                         |
| Mai   | 1    | 38               | 1     |                           | 45               | 4,5   |                           | 45               | 4,5   |                           | 45               | 1,5   |                           |
|       | 10   | 41               | 1,2   |                           | 72               | 10    |                           | 44               | 4,5   |                           | 45               | 2     |                           |
|       | 20   | 43               | 1,4   | 8,8                       | 74               | 11,5  | 9,1                       | 44               | 4     | 4,4                       | 57               | 4,5   | 15                        |
| Juin  | 1    | 131              | 74    |                           | 72               | 10    |                           | 36               | 3,5   |                           | 102              | 37    |                           |
|       | 5    | 128              | 70    |                           | 76               | 12,5  |                           | 40               | 4     |                           | 115              | 54    |                           |
|       | 10   | 133              | 77    |                           | 73               | 11    |                           | 44               | 4,5   |                           | 232              | 250   |                           |
|       | 15   | 155              | 106   |                           | 136              | 71    |                           | 141              | 78    |                           | 243              | 270   |                           |
|       | 20   | 129              | 72    |                           | 204              | 185   |                           | 126              | 58    |                           | 193              | 170   |                           |
|       | 25   | 185              | 157   | 108                       | 183              | 147   | 95,9                      | 100              | 30    | 33,4                      | 179              | 147   | 161                       |

# BENOUE à GAROUA (suite)

|       |      | 1 9 5 4 |       |         | 1 9 5 5 |       |         | 1 9 5 6 |       |         | 1 9 5 7 |       |         |
|-------|------|---------|-------|---------|---------|-------|---------|---------|-------|---------|---------|-------|---------|
| Mois  | Jour | Hauteur | Débit | Débit   | Hauteur | Débit | Débit   | Hauteur | Débit | Débit   | Hauteur | Débit | Débit   |
|       |      | d'eau   |       | moyen   | d'eau   |       | moyen   | d'eau   |       | moyen   | d'eau   |       | moyen   |
|       |      |         |       | mensuel |         |       | mensuel |         |       | mensuel |         |       | mensuel |
| Juil. | 1    | 170     | 132   |         | 232     | 239   |         | 149     | 90    |         | 141     | 87    |         |
|       | 5    | 203     | 188   |         | 265     | 307   |         | 135     | 70    |         | 275     | 350   |         |
|       | 10   | 228     | 240   |         | 200     | 177   |         | 190     | 160   |         | 280     | 360   |         |
|       | 15   | 330     | 480   |         | 240     | 254   |         | 163     | 113   |         | 245     | 280   |         |
|       | 20   | 361     | 560   |         | 246     | 266   |         | 195     | 168   |         | 224     | 230   |         |
|       | 25   | 450     | 820   | 449     | 366     | 554   | 347     | 222     | 221   | 238     | 318     | 450   | 393     |
| Août  | 1    | 378     | 610   |         | 496     | 995   |         | 503     | 1.030 |         | 508     | 1.050 |         |
|       | 5    | 248     | 280   |         | 563     | 1.345 |         | 550     | 1.270 |         | 522     | 1.120 |         |
|       | 10   | 230     | 250   |         | 588     | 1.495 |         | 491     | 975   |         | 427     | 750   |         |
|       | 15   | 265     | 320   |         | 559     | 1.320 |         | 445     | 795   |         | 427     | 750   |         |
|       | 20   | 239     | 380   |         | 609     | 1.640 |         | 498     | 1.005 |         | 527     | 1.145 |         |
|       | 25   | 490     | 970   | 588     | 540     | 1.215 | 1.357   | 425     | 725   | 958     | 521     | 1.115 | 1.037   |
| Sept. | 1    | 621     | 1.730 |         | 593     | 1.530 |         | 535     | 1.185 |         | 617     | 1.700 |         |
|       | 5    | 706     | 2.805 |         | 642     | 1.935 |         | 580     | 1.450 |         | 637     | 1.880 |         |
|       | 10   | 669     | 2.245 |         | 711     | 2.890 |         | 607     | 1.625 |         | 682     | 2.425 |         |
|       | 15   | 588     | 1.495 |         | 683     | 2.440 |         | 666     | 2.215 |         | 569     | 1.380 |         |
|       | 20   | 600     | 1.575 |         | 667     | 2.225 |         | 708     | 2.840 |         | 586     | 1.480 |         |
|       | 25   | 602     | 1.590 | 1.910   | 662     | 2.155 | 2.345   | 641     | 1.925 | 1.875   | 559     | 1.320 | 1.684   |
| Oct.  | 1    | 606     | 1.615 |         | 683     | 2.440 |         | 550     | 1.270 |         | 609     | 1.640 |         |
|       | 5    | 570     | 1.385 |         | 670     | 2.258 |         | 573     | 1.405 |         | 633     | 1.840 |         |
|       | 10   | 565     | 1.355 |         | 675     | 2.325 |         | 679     | 2.375 |         | 581     | 1.455 |         |
|       | 15   | 578     | 1.435 |         | 603     | 1.595 |         | 595     | 1.540 |         | 531     | 1.165 |         |
|       | 20   | 459     | 850   |         | 515     | 1.085 |         | 425     | 725   |         | 431     | 760   |         |
|       | 25   | 390     | 640   | 1.067   | 402     | 655   | 1.561   | 323     | 440   | 1.160   | 350     | 530   | 1.082   |

BENOUE à GAROUA (suite)

|        |      | 1 9 5 4 |       |         | 1 9 5 5 |       |         | 1 9 5 6 |       |         | 1 9 5 7 |       |         |
|--------|------|---------|-------|---------|---------|-------|---------|---------|-------|---------|---------|-------|---------|
| Mois   | Jour | Hauteur | Débit | Débit   | Hauteur | Débit | Débit   | Hauteur | Débit | Débit   | Hauteur | Débit | Débit   |
|        |      | d'eau   |       | moyen   | d'eau   |       | moyen   | d'eau   |       | moyen   | d'eau   |       | moyen   |
|        |      |         |       | mensuel |         |       | mensuel |         |       | mensuel |         |       | mensuel |
| Nov.   | 1    | 288     | 380   |         | 405     | 665   |         | 240     | 255   |         | 277     | 350   |         |
|        | 10   | 225     | 230   |         | 283     | 348   |         | 198     | 175   |         | 221     | 230   |         |
|        | 20   | 198     | 179   | 218     | 257     | 290   | 342     | 171     | 127   | 157     | 172     | 135   | 189     |
| Déc.   | 1    | 168     | 128   |         | 222     | 220   |         | 157     | 104   |         | 149     | 97    |         |
|        | 10   | 155     | 106   |         | 200     | 177   |         | 145     | 84    |         | 137     | 82    |         |
|        | 20   | 145     | 92    | 98      | 170     | 125   | 145     | 132     | 66    | 74      | 126     | 68    | 73      |
| Module |      |         |       | 373     |         |       | 525     |         |       | 382     |         |       | 394     |

BENOUE à OURO-BOKI

|       |      | 1 9 5 4          |                           |                           | 1 9 5 5          |                           |                           | 1 9 5 6          |                           |                           | 1 9 5 7          |                           |                           |
|-------|------|------------------|---------------------------|---------------------------|------------------|---------------------------|---------------------------|------------------|---------------------------|---------------------------|------------------|---------------------------|---------------------------|
| Mois  | Jour | Hauteur<br>d'eau | Débit<br>moyen<br>mensuel | Débit<br>moyen<br>mensuel | Hauteur<br>d'eau | Débit<br>moyen<br>mensuel | Débit<br>moyen<br>mensuel | Hauteur<br>d'eau | Débit<br>moyen<br>mensuel | Débit<br>moyen<br>mensuel | Hauteur<br>d'eau | Débit<br>moyen<br>mensuel | Débit<br>moyen<br>mensuel |
| Janv. | 1    |                  |                           |                           | 158              | 111                       |                           | 164              | 126                       |                           |                  |                           |                           |
|       | 10   |                  |                           |                           | 148              | 91                        |                           | 148              | 91                        |                           |                  |                           |                           |
|       | 20   |                  |                           |                           | 138              | 73                        | 82                        | 134              | 68                        | 80                        |                  |                           |                           |
| Févr. | 1    |                  |                           |                           | 126              | 58                        |                           | 119              | 49                        |                           |                  |                           |                           |
|       | 10   |                  |                           |                           | 117              | 48                        |                           | 108              | 41                        |                           |                  |                           |                           |
|       | 20   |                  |                           |                           | 107              | 40                        | 45                        | 97               | 34                        | 38                        |                  |                           |                           |
| Mars  | 1    |                  |                           |                           | 98               | 34                        |                           | 90               | 30                        |                           |                  |                           |                           |
|       | 10   |                  |                           |                           | 89               | 30                        |                           | 94               | 32                        |                           |                  |                           |                           |
|       | 20   |                  |                           |                           | 82               | 26                        | 28                        | 85               | 28                        | 29                        |                  |                           |                           |
| Avril | 1    |                  |                           |                           | 78               | 24                        |                           | 95               | 33                        |                           |                  |                           |                           |
|       | 10   |                  |                           |                           | 72               | 21                        |                           | 84               | 27                        |                           |                  |                           |                           |
|       | 20   |                  |                           |                           | 85               | 28                        | 27                        | 83               | 27                        | 29                        |                  |                           |                           |
| Mai   | 1    |                  |                           |                           | 90               | 30                        |                           | 83               | 27                        |                           |                  |                           |                           |
|       | 10   |                  |                           |                           | 95               | 33                        |                           | 106              | 40                        |                           |                  |                           |                           |
|       | 20   |                  |                           |                           | 149              | 93                        | 62                        | 82               | 26                        | 31                        |                  |                           |                           |
| Juin  | 1    |                  |                           |                           | 127              | 59                        |                           | 123              | 54                        |                           |                  |                           |                           |
|       | 5    |                  |                           |                           | 120              | 50                        |                           | 136              | 70                        |                           |                  |                           |                           |
|       | 10   |                  |                           |                           | 143              | 81                        |                           | 142              | 79                        |                           |                  |                           |                           |
|       | 15   |                  |                           |                           | 235              | 386                       |                           | 250              | 463                       |                           | 274              | 603                       |                           |
|       | 20   |                  |                           |                           | 260              | 515                       |                           | 229              | 358                       |                           | 285              | 675                       |                           |
|       | 25   |                  |                           |                           | 271              | 585                       | 336                       | 253              | 478                       | 299                       | 273              | 615                       |                           |
|       |      |                  |                           |                           |                  |                           |                           |                  |                           |                           | 253              | 505                       |                           |

BENOUE à OURO-BOKI (suite)

| ===== |      |         |       |         |         |       |         |         |       |         |         |       |         |
|-------|------|---------|-------|---------|---------|-------|---------|---------|-------|---------|---------|-------|---------|
|       |      | 1 9 5 4 |       |         | 1 9 5 5 |       |         | 1 9 5 6 |       |         | 1 9 5 7 |       |         |
| Mois  | Jour | Hauteur | Débit | Débit   | Hauteur | Débit | Débit   | Hauteur | Débit | Débit   | Hauteur | Débit | Débit   |
|       |      | d'eau   |       | moyen   | d'eau   |       | moyen   | d'eau   |       | moyen   | d'eau   |       | moyen   |
|       |      |         |       | mensuel |         |       | mensuel |         |       | mensuel |         |       | mensuel |
| Juil. | 1    |         |       |         | 297     | 760   |         | 269     | 571   |         | 212     | 421   |         |
|       | 5    |         |       |         | 305     | 820   |         | 308     | 840   |         | 307     | 833   |         |
|       | 10   |         |       |         | 280     | 640   |         | 315     | 893   |         | 298     | 766   |         |
|       | 15   |         |       |         | 290     | 710   |         | 282     | 654   |         | 299     | 773   |         |
|       | 20   |         |       |         | 338     | 1.080 |         | 347     | 1.160 |         | 293     | 731   |         |
|       | 25   | 397     | 1.675 |         | 365     | 1.330 | 996     | 278     | 628   | 801     | 306     | 1.665 | 1.028   |
| Août  | 1    | 377     | 1.455 |         | 438     | 2.190 |         | 387     | 1.565 |         | 430     | 2.085 |         |
|       | 5    | 301     | 788   |         | 451     | 2.365 |         | 413     | 1.870 |         | 456     | 2.435 |         |
|       | 10   | 318     | 915   |         | 470     | 2.635 |         | 409     | 1.820 |         | 430     | 2.085 |         |
|       | 15   | 309     | 848   |         | 471     | 2.645 |         | 385     | 1.540 |         | 420     | 1.955 |         |
|       | 20   | 297     | 760   |         | 446     | 2.300 |         | 384     | 1.530 |         | 457     | 2.450 |         |
|       | 25   | 392     | 1.620 | 1.201   | 457     | 2.450 | 2.481   | 367     | 1.350 | 1.661   | 456     | 2.435 | 2.275   |
| Sept. | 1    | 473     | 2.675 |         | 476     | 2.720 |         | 438     | 2.189 |         | 548     | 3.820 |         |
|       | 5    | 522     | 3.405 |         | 506     | 3.160 |         | 480     | 2.775 |         | 570     | 4.315 |         |
|       | 10   | 554     | 3.920 |         | 586     | 4.455 |         | 498     | 3.040 |         | 549     | 3.835 |         |
|       | 15   | 520     | 3.360 |         | 575     | 4.265 |         | 536     | 3.627 |         | 506     | 3.162 |         |
|       | 20   | 533     | 3.580 |         | 542     | 3.725 |         | 588     | 4.490 |         | 488     | 2.895 |         |
|       | 25   | 528     | 3.500 | 3.500   | 551     | 3.870 | 3.836   | 547     | 3.805 | 3.357   | 506     | 3.160 | 3.506   |

BENOUE à OURO-BOKI (suite)

|        |      | 1 9 5 4          |       |                           | 1 9 5 5          |       |                           | 1 9 5 6 |       |                           | 1 9 5 7          |       |                           |
|--------|------|------------------|-------|---------------------------|------------------|-------|---------------------------|---------|-------|---------------------------|------------------|-------|---------------------------|
| Mois   | Jour | Hauteur<br>d'eau | Débit | Débit<br>moyen<br>mensuel | Hauteur<br>d'eau | Débit | Débit<br>moyen<br>mensuel | Hauteur | Débit | Débit<br>moyen<br>mensuel | Hauteur<br>d'eau | Débit | Débit<br>moyen<br>mensuel |
| Oct.   | 1    | 518              | 3.345 |                           | 563              | 4.065 |                           | 471     | 2.645 |                           | 555              | 3.950 |                           |
|        | 5    | 515              | 3.300 |                           | 576              | 4.285 |                           | 457     | 2.450 |                           | 533              | 3.660 |                           |
|        | 10   | 529              | 3.515 |                           | 587              | 4.470 |                           | 552     | 3.885 |                           | 523              | 3.500 |                           |
|        | 15   | 545              | 3.770 |                           | 564              | 4.080 |                           | 520     | 3.375 |                           | 563              | 4.065 |                           |
|        | 20   | 495              | 2.995 |                           | 506              | 3.160 |                           | 406     | 1.785 |                           | 465              | 2.575 |                           |
|        | 25   | 413              | 1.870 | 2.870                     | 427              | 2.045 | 3.459                     | 332     | 1.030 | 2.289                     | 385              | 1.555 | 2.906                     |
| Nov.   | 1    | 335              | 1.055 |                           | 432              | 2.110 |                           | 264     | 540   |                           | 335              | 1.055 |                           |
|        | 10   | 271              | 585   |                           | 309              | 848   |                           | 237     | 396   |                           | 299              | 773   |                           |
|        | 20   | 252              | 475   | 563                       | 275              | 609   | 833                       | 209     | 271   | 338                       | -                | -     |                           |
| Déc.   | 1    | 215              | 295   |                           | 241              | 415   |                           | 188     | 196   |                           | -                | -     |                           |
|        | 10   | 196              | 220   |                           | 216              | 299   |                           | 180     | 170   |                           | -                | -     |                           |
|        | 20   | 178              | 165   | 194                       | 190              | 203   | 253                       | 167     | 134   | 148                       | -                | -     |                           |
| Module |      |                  |       | 820<br>environ            |                  |       | 1.042                     |         |       | 760                       |                  |       | 940<br>environ            |

(Les débits à la station de YOLA sont sensiblement identiques)



# BENOUE à NUMAN

|       |      | 1 9 5 4 |       |         | 1 9 5 5 |       |         | 1 9 5 6 |       |         |
|-------|------|---------|-------|---------|---------|-------|---------|---------|-------|---------|
| Mois  | Jour | Hauteur | Débit | Débit   | Hauteur | Débit | Débit   | Hauteur | Débit | Débit   |
|       |      | d'eau   |       | moyen   | d'eau   |       | moyen   | d'eau   |       | moyen   |
|       |      |         |       | mensuel |         |       | mensuel |         |       | mensuel |
| Janv. | 1    |         |       |         | 136     | 156   |         |         |       |         |
|       | 10   |         |       |         | 128     | 128   |         |         |       |         |
|       | 20   |         |       |         |         |       | (115)   |         |       | (100)   |
| Févr. | 1    |         |       |         |         |       |         |         |       |         |
|       | 10   |         |       |         |         |       |         |         |       |         |
|       | 20   |         |       |         |         |       | (50)    |         |       | (40)    |
| Mars  | 1    |         |       |         |         |       |         |         |       |         |
|       | 10   |         |       |         |         |       |         |         |       |         |
|       | 20   |         |       |         |         |       | (35)    |         |       | (30)    |
| Avril | 1    |         |       |         |         |       |         |         |       |         |
|       | 10   |         |       |         |         |       |         |         |       |         |
|       | 20   |         |       |         |         |       | (30)    |         |       | (30)    |
| Mai   | 1    |         |       |         |         |       |         |         |       |         |
|       | 10   |         |       |         |         |       |         |         |       |         |
|       | 20   |         |       |         |         |       | (60)    |         |       | (35)    |
| Juin  | 1    |         |       |         | 114     | 85    |         |         |       |         |
|       | 5    |         |       |         | 112     | 80    |         |         |       |         |
|       | 10   |         |       |         | 114     | 85    |         | 106     | 65    |         |
|       | 15   |         |       |         | 180     | 350   |         | 126     | 121   |         |
|       | 20   |         |       |         | 218     | 564   |         | 182     | 361   |         |
|       | 25   |         |       |         | 220     | 570   | 332     | 171     | 307   | (220)   |

BENOUE à NUMAN (suite)

|       |      | 1 9 5 4          |                           |                 | 1 9 5 5          |                           |       | 1 9 5 6          |                           |       |
|-------|------|------------------|---------------------------|-----------------|------------------|---------------------------|-------|------------------|---------------------------|-------|
| Mois  | Jour | Hauteur<br>d'eau | Débit<br>moyen<br>mensuel | Débit           | Hauteur<br>d'eau | Débit<br>moyen<br>mensuel | Débit | Hauteur<br>d'eau | Débit<br>moyen<br>mensuel | Débit |
| Juil. | 1    |                  |                           |                 | 245              | 730                       |       | 226              | 608                       |       |
|       | 5    |                  |                           |                 | 260              | 830                       |       | 239              | 690                       |       |
|       | 10   |                  |                           |                 | 254              | 796                       |       | 282              | 991                       |       |
|       | 15   |                  |                           |                 | 251              | 770                       |       | 268              | 888                       |       |
|       | 20   |                  |                           |                 | 334              | 1.430                     |       | 281              | 983                       |       |
|       | 25   |                  |                           |                 | 335              | 1.440                     | 1.141 | 292              | 1.070                     | 976   |
| Août  | 1    |                  |                           |                 | 408              | 2.220                     |       | 360              | 1.670                     |       |
|       | 5    |                  |                           |                 | 434              | 2.560                     |       | 393              | 2.040                     |       |
|       | 10   |                  |                           |                 | 456              | 2.870                     |       | 394              | 2.050                     |       |
|       | 15   |                  |                           |                 | 449              | 2.770                     |       | 383              | 1.920                     |       |
|       | 20   |                  |                           |                 | 456              | 2.870                     |       | 398              | 2.097                     |       |
|       | 25   |                  |                           |                 | 468              | 3.055                     | 2.849 | 390              | 2.005                     | 2.094 |
| Sept. | 1    |                  |                           |                 | 482              | 3.275                     |       | 503              | 3.615                     |       |
|       | 5    |                  |                           |                 | 515              | 3.820                     |       | 530              | 4.080                     |       |
|       | 10   |                  |                           |                 | 550              | 4.435                     |       | 521              | 3.925                     |       |
|       | 15   | 558              | 4.575                     |                 | 600              | 5.345                     |       | 550              | 4.435                     |       |
|       | 20   | 550              | 4.435                     |                 | 590              | 5.160                     |       | 592              | 5.195                     |       |
|       | 25   | 548              | 4.395                     | (4.450)<br>env. | 585              | 5.070                     | 4.711 | 595              | 5.255                     | 4.439 |

# BENOUE à NUMAN (suite)

|        |      | 1 9 5 4          |       |                           | 1 9 5 5          |       |                           | 1 9 5 6          |       |                           |
|--------|------|------------------|-------|---------------------------|------------------|-------|---------------------------|------------------|-------|---------------------------|
| Mois   | Jour | Hauteur<br>d'eau | Débit | Débit<br>moyen<br>mensuel | Hauteur<br>d'eau | Débit | Débit<br>moyen<br>mensuel | Hauteur<br>d'eau | Débit | Débit<br>moyen<br>mensuel |
| Oot.   | 1    | 564              | 4.685 |                           | 598              | 5.310 |                           | 483              | 3.290 |                           |
|        | 5    | 554              | 4.505 |                           | 596              | 5.270 |                           | 460              | 2.930 |                           |
|        | 10   | 523              | 3.960 |                           | 605              | 5.420 |                           | 516              | 3.835 |                           |
|        | 15   | 572              | 4.830 |                           | 633              | 5.970 |                           | 503              | 3.615 |                           |
|        | 20   | 525              | 3.995 |                           | 533              | 4.135 |                           | 405              | 2.185 |                           |
|        | 25   | 456              | 2.870 | 3.820                     | 430              | 2.505 | 4.407                     | 355              | 1.620 | 2.646                     |
| Nov.   | 1    | 351              | 1.580 |                           | 436              | 2.585 |                           | 255              | 796   |                           |
|        | 10   | 262              | 840   |                           | 296              | 1.100 |                           | 190              | 403   |                           |
|        | 20   | 220              | 570   | 764                       |                  | (750) | (1.480)                   | 163              | 269   | 373                       |
| Déc.   | 1    | 185              | 376   |                           |                  |       |                           | 145              | 191   |                           |
|        | 10   | 172              | 312   |                           |                  |       |                           | 136              | 156   |                           |
|        | 20   | 152              | 220   | 264                       |                  |       | (300)                     | 124              | 114   | 132                       |
| Module |      |                  |       |                           |                  |       | 1.290<br>env.             |                  |       | 925<br>env.               |

ANNEXE N° 2

NOTE SUR L'ANNONCE DES CRUES  
de la HAUTE-BENOUE

par M. ALDEGHERI  
chargé de recherches de l'ORSTOM

-----

a) ORGANISATION DU SERVICE D'ANNONCE DES CRUES

La mise sur pied d'un Service d'annonce des crues nécessite, en plus de la connaissance précise des temps de propagation des ondes, l'organisation d'un système de transmission rapide des renseignements relatifs à l'état des affluents d'amont.

Sur le bassin de la BENOUE, les moyens de transmission n'existant pas, il a fallu procéder à l'installation, à chaque station d'observation, de postes radio récepteurs émetteurs.

En 1954, nous avons 4 stations fixes équipées de postes de 100 watts en ondes courtes et une station mobile avec émetteur de 60 watts montée sur le baliseur travaillant dans la zone des "flats" d'OURO-BOKI. Les stations fixes étaient installées respectivement à GAROUA et RIAO, sur la BENOUE, COSSI sur le MAYO-KEBI et SAFAI sur le FARO.

En 1955, deux nouvelles stations ont été créées sur le Haut FARO et la Haute BENOUE, et les installations améliorées (abris en dur). La station d'OURO-BOKI a été placée à terre et dotée d'un émetteur de 100 watts.

En 1956-1957, nous avons fonctionné avec le réseau créé en 1955. Le schéma de ces installations est donné en annexe. Les sept stations peuvent être groupées en trois catégories :

- Stations limnimétriques d'alerte :

Ce sont le Campement CORON sur le Haut-FARO et le BUFFLE NOIR sur la Haute-BENOUE.

Les pluies sur le bassin versant situé à l'amont de ces stations se font sentir à l'échelle très rapidement et le maximum de la crue est enregistré environ 30 heures après la fin de la précipitation.

- Stations principales :

RIAO sur la BENOUE à 60 km en amont de GAROUA.

COSSI sur le MAYO KEBI à environ 90 km en amont de GAROUA.

SAFAI sur le FARO à environ 120 km en amont d'OURO-BOKI.

- Stations centrales :

GAROUA sur la BENOUE qui utilise les renseignements de RIAO et COSSI.

OURO-BOKI sur la BENOUE où les hauteurs sont calculées à partir de celles existant à GAROUA et SAFAI .

En plus de ces stations, nous avons essayé d'obtenir les renseignements pluviométriques recueillis par les postes météorologiques. Ces renseignements sont difficilement exploitables, d'une part à cause de la mauvaise répartition des postes et surtout à cause des difficultés de transmissions. Les messages parviennent mal ou parfois même ne parviennent pas du tout.

En 1958, nous avons pratiquement renoncé à recueillir les renseignements pluviométriques et les prévisions ne sont faites qu'à partir des observations effectuées aux stations du Service et plus particulièrement à partir des relevés de hauteurs d'eau.

Les échelles sont lues toutes les heures dans la journée et une fois toutes les deux heures dans la nuit lorsque le plan d'eau monte à 18 heures. Les lecteurs notent également en cas de pluie, l'heure de début des averses ainsi que l'heure de fin et la hauteur totale de la précipitation. Tous ces renseignements sont groupés à GAROUA et ont permis de tracer des graphiques de hauteur d'eau précis.

b) PREVISION DES CRUES :

Cette prévision est faite à partir des hauteurs d'eau d'une manière empirique, en se basant sur les observations des années précédentes.

Le premier travail qui a été fait est celui de la détermination des temps de propagation de la crue entre les différentes stations. A partir des 4 courbes de variation des hauteurs d'eau obtenues de

1954 à 1957 on a établi des graphiques de corrélations pour des hauteurs bien caractéristiques (début et maximum des pointes de crues) à deux stations. Les corrélations obtenues en général ne sont pas très satisfaisantes, mais il est difficile, actuellement, d'obtenir mieux, les renseignements que nous possédons étant, comme nous l'avons dit plus haut, encore très insuffisants.

#### TEMPS de PROPAGATION de l'ONDE de CRUE -

##### - Entre le BUFFLE NOIR et RIAO :

Le graphique N° 1 a été obtenu en portant en abscisse les hauteurs à RIAO et en ordonnées les hauteurs au BUFFLE NOIR. Ces hauteurs correspondent au début de chaque pointe de crue au BUFFLE NOIR et à RIAO. Chaque point a été affecté du temps de propagation en heures mis par l'onde de crue pour aller du BUFFLE NOIR à RIAO.

Les points sont assez dispersés. Les temps de propagation varient entre 18 et 40 heures et les temps les plus faibles ne correspondent pas toujours avec les cotes les plus basses. Il est difficile d'établir une loi pour les temps de propagation.

Au début de l'onde de crue, la vitesse de propagation est donc comprise entre  $\frac{180 \text{ km}}{18} = 10 \text{ km/heure}$  et  $\frac{180 \text{ km}}{40} = 4,5 \text{ km/heure}$ .

Sur le graphique n° 2 on a porté les hauteurs maxima atteintes au BUFFLE NOIR et à RIAO par des crues homologues. On a également affecté chaque point du temps mis par le maximum de la crue pour aller du BUFFLE NOIR à RIAO.

Les points se placent assez bien sur deux courbes distinctes. La courbe en trait plein correspond aux points de crues rapides du BUFFLE NOIR se produisant alors que le niveau à RIAO est encore assez bas, au début de la crue. Cette courbe est valable chaque fois que la différence de hauteur relative sur le graphique entre les maxima des crues au BUFFLE NOIR et à RIAO est grande ( $\geq$  à 1,5 m).

CAM 8941

ED:

LE: M. J. MICHEL

DES: J. P. HOFFMANN

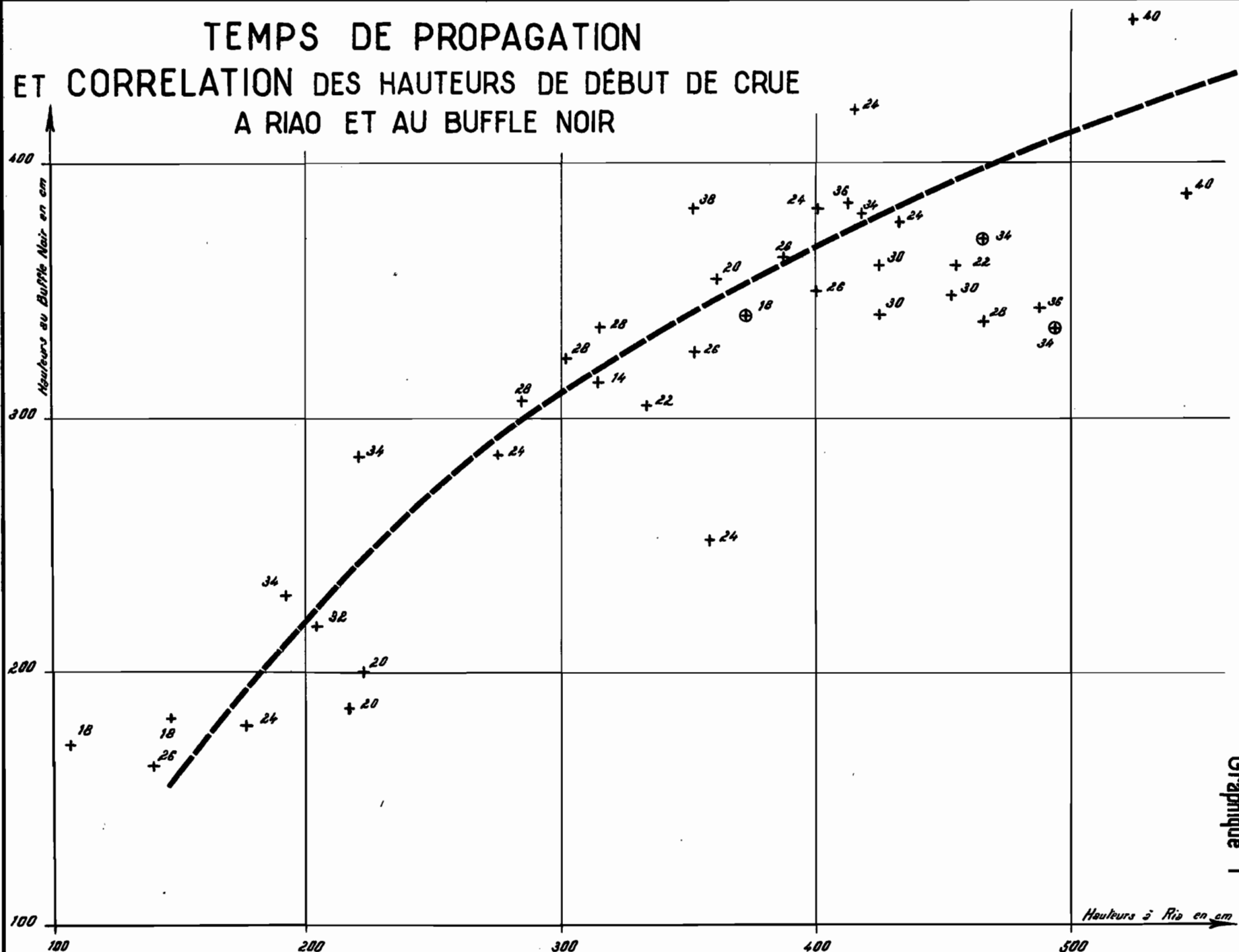
VISA:

TUBE N°:

AO

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

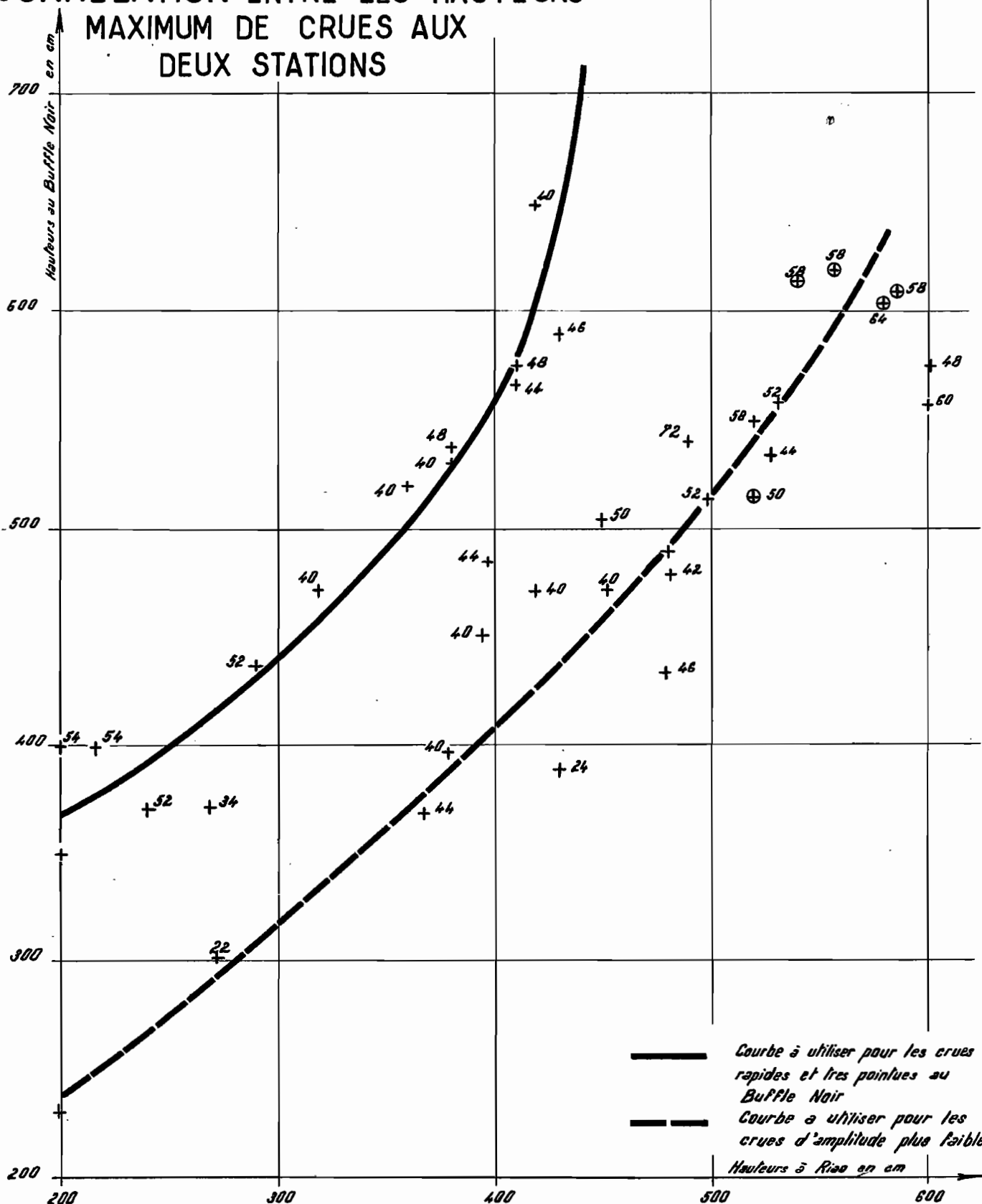
# TEMPS DE PROPAGATION ET CORRELATION DES HAUTEURS DE DÉBUT DE CRUE A RIO ET AU BUFFLE NOIR





# TEMPS DE PROPAGATION ENTRE LE BUFFLE NOIR ET RIO CORRELATION ENTRE LES HAUTEURS<sup>+5%</sup> MAXIMUM DE CRUES AUX DEUX STATIONS

Graphique 2



CAM8942

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: JEU - I - MEMEX

DES: J-P Haeflich

VISA:

TUBE N°:

AO

La courbe en pointillés est à utiliser pour les hauteurs au BUFFLE NOIR sensiblement égales à celles de RIAO (au moment de la grande crue à RIAO en particulier).

Les temps de propagation varient dans de grandes proportions et ils se placent sans ordre sur le graphique. Il n'est pas possible de dire que le temps de propagation augmente avec les hauteurs à l'échelle. Ils sont variables entre 24 heures et 72 heures, ce qui donne des vitesses de propagation comprises entre :

$$\frac{180}{24} = 7,5 \text{ km/h} \quad \text{et} \quad \frac{180}{72} = 2,5 \text{ km/h}$$

- Entre RIAO et GAROUA :

Les graphiques 3 et 4 correspondent respectivement à la corrélation des hauteurs au début des pointes de crues à RIAO et GAROUA et au maximum des crues aux deux mêmes stations.

Les temps de propagation sont toujours portés à côté de chaque point. Ils varient entre 12 et 34 heures pour les débuts des crues et entre 14 et 60 heures pour les maxima. On a donc des vitesses de translation des crues comprises entre :

$$\frac{55}{12} = 4,5 \text{ km/h} \quad \text{et} \quad \frac{55}{34} = 1,6 \text{ km/h} \quad \text{pour le graphique n° 3}$$

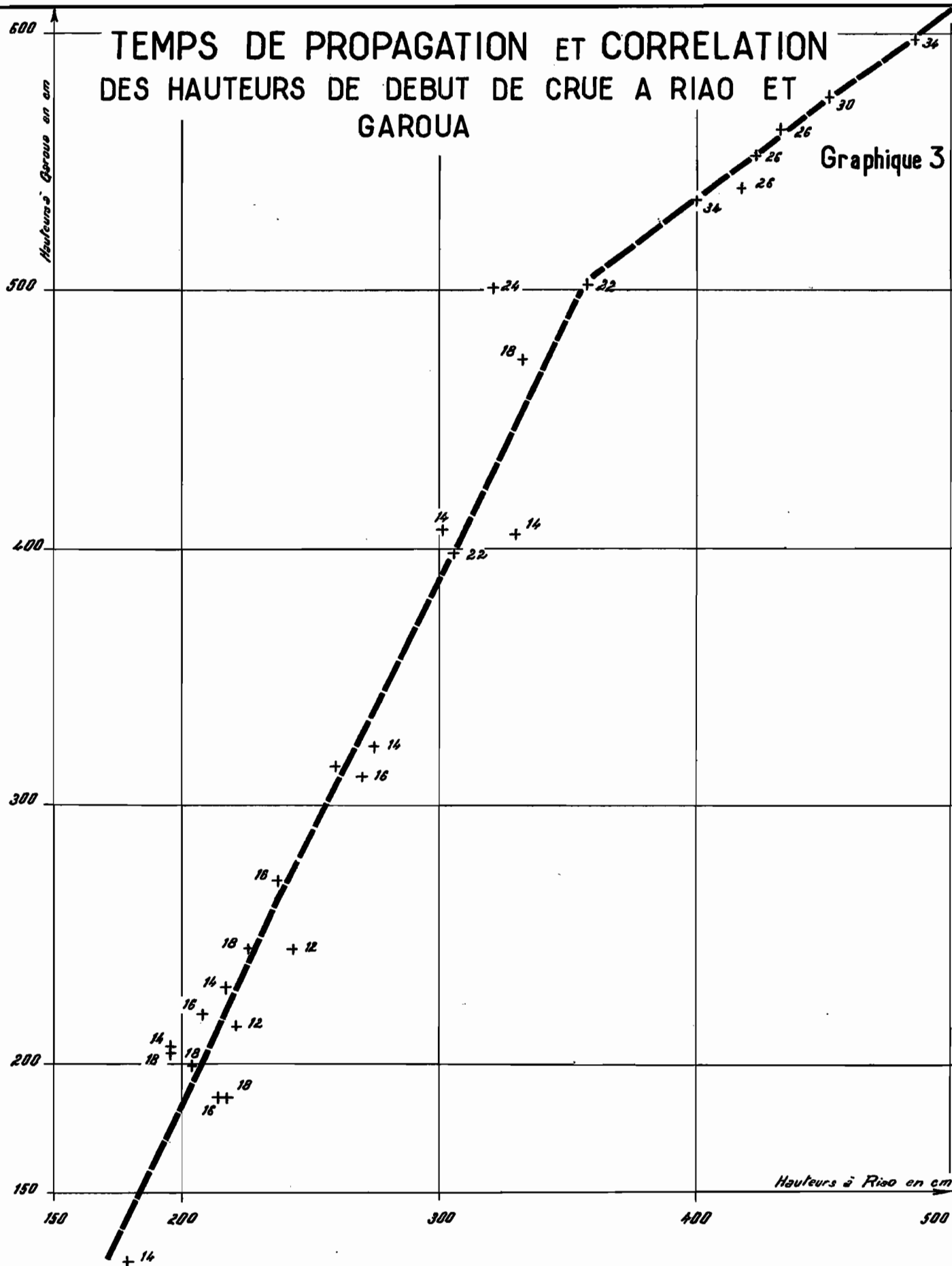
et entre :

$$\frac{55}{14} = 3,9 \text{ km/h} \quad \text{et} \quad \frac{55}{50} = 1,1 \text{ km/h} \quad \text{pour le graphique n° 4.}$$

Entre RIAO et GAROUA il y a de très vastes plaines d'inondation qui font augmenter dans de grandes proportions la durée de propagation. Il est à remarquer que dans le cas des maximum de crue pour des cotes comprises entre 1,50 et 3,50 à RIAO, le temps de propagation est compris entre 14 et 20 heures. Entre 3,50 et 4,50 à RIAO, l'onde de crue met de 22 à 36 heures pour aller à GAROUA. Au-dessus de 4,50 les temps sont toujours supérieurs à 36 heures et atteignent 50 heures.

# TEMPS DE PROPAGATION ET CORRELATION DES HAUTEURS DE DEBUT DE CRUE A RIOA ET GAROUA

Graphique 3



CAM 8943

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: VII-1-MCMLX

DES: J-P Haeflich

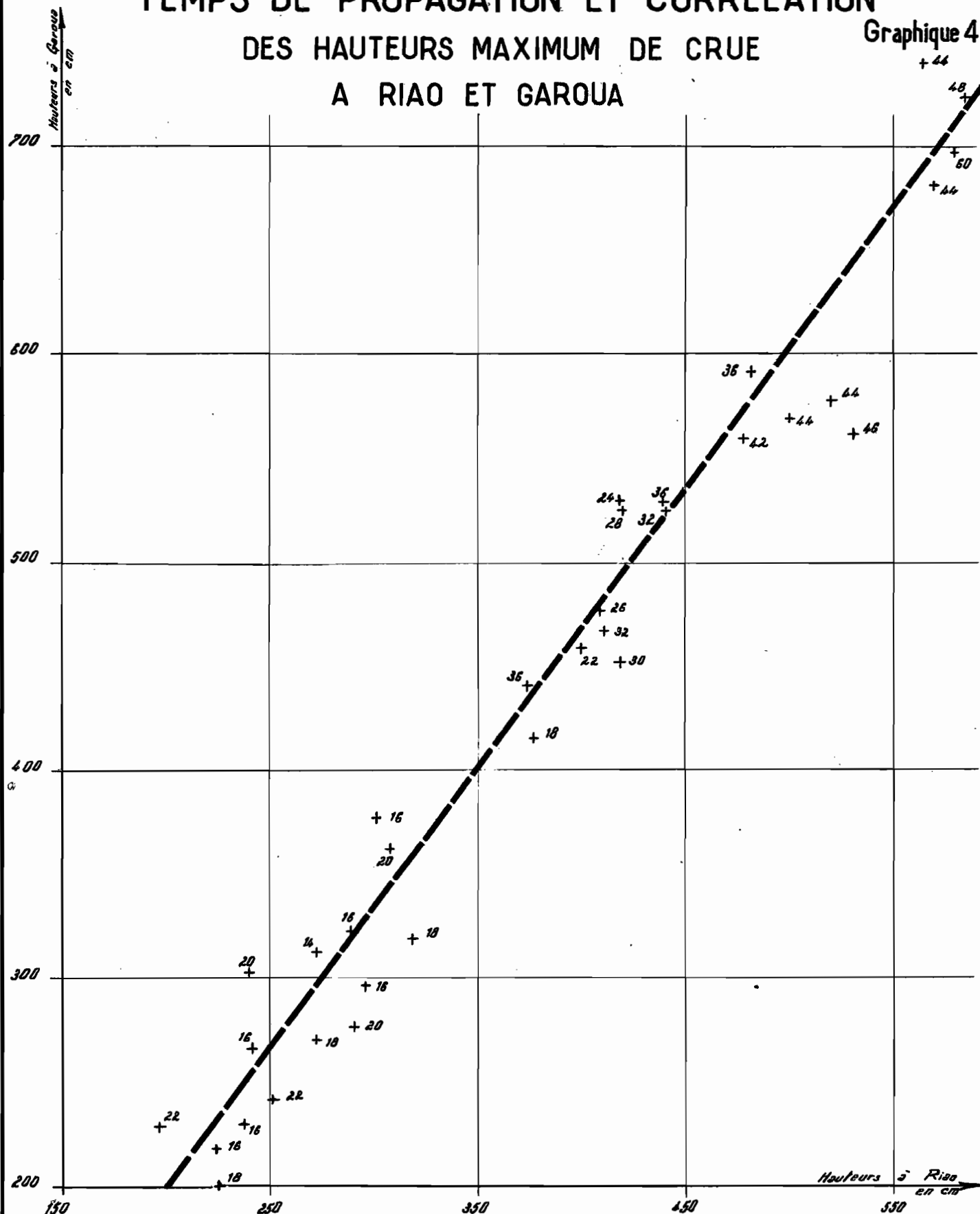
VISA:

TUBE N°:

AO

# TEMPS DE PROPAGATION ET CORRELATION DES HAUTEURS MAXIMUM DE CRUE A RIO ET GAROUA

Graphique 4



CAM 8944

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: JIV - 1 - NCMXY

DES: JP HOFFSCH

VISA:

TUBE N°:

AO

Pour les débuts de pointes de crues, les temps sont compris entre 14 et 24 heures jusqu'à 3,50 à RIAO. Au-dessus de 3,50 les temps varient de 24 à 34 heures.

- Entre COSSI et GAROUA :

La durée de propagation est assez difficile à déterminer car, dans une année, il n'y a pas beaucoup de pointes de crues à COSSI qui soient bien visibles à GAROUA. Les graphiques que nous avons tracés avec les observations de 54 à 57 ne comportent qu'un nombre assez restreint de points. Ces points sont très dispersés, cela provient du fait que les crues que l'on considère à GAROUA comme provenant du MAYO KEBI sont vraisemblablement perturbées légèrement par le débit de la BENOUE, à l'ament du confluent.

Le graphique n° 5 donne les temps de propagation et la corrélation entre les hauteurs au début de la pointe de crue à COSSI et GAROUA.

Les temps de propagation varient entre 18 et 36 heures. La vitesse de propagation est donc comprise entre  $\frac{90}{18} = 5$  km/h et  $\frac{90}{36} = 2,5$  km/h.

Sur le graphique n° 6 ont été portées les hauteurs maxima de crue à GAROUA et COSSI avec, pour chaque point, la durée de propagation. La dispersion est grande.

La durée de propagation varie de 20 à 46 heures. L'onde de crue parcourt donc :

$$\frac{90}{20} = 4,5 \text{ km/h} \quad \text{et} \quad \frac{90}{40} = 2 \text{ km/h}$$

L'influence du MAYO KEBI sur les hauteurs de la BENOUE à GAROUA n'est vraiment sensible qu'au début de la crue pendant les mois de Mai, Juin et Juillet. En Août, Septembre et Octobre, le débit de la BENOUE est beaucoup plus important que celui du MAYO KEBI et les points de ce dernier ne sont pas visibles à GAROUA.

Fin Octobre le MAYO KEBI reçoit une quantité non négligeable d'eau provenant des débordements du LOGONE. Ces apports sont régularisés par la série de lacs se trouvant sur le Haut MAYO KEBI et ils mont pour

CAM 8945

ED:

LE: J. P. MENIL

DES: J. P. HOFFMICH

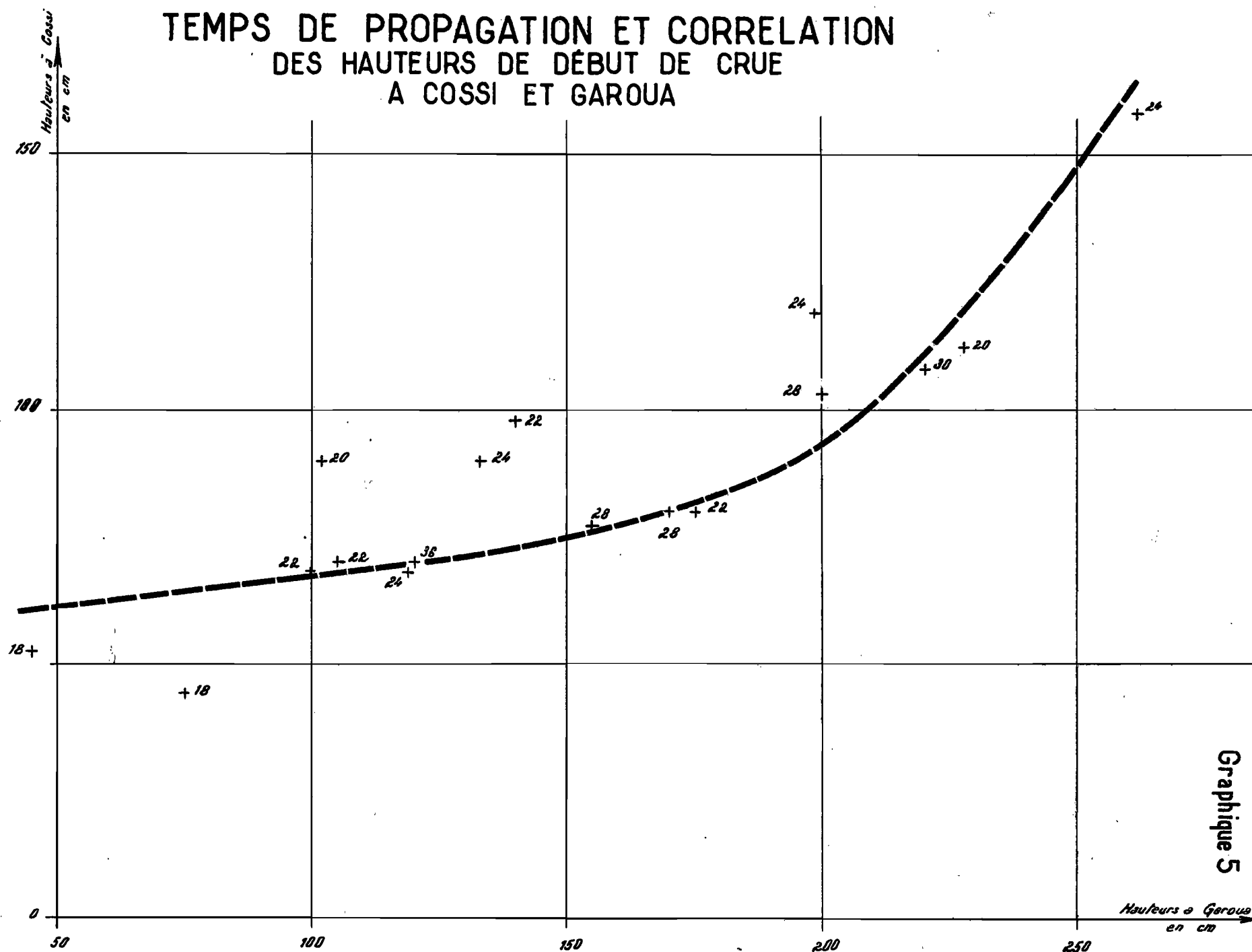
VISA:

TUBE N°:

AO

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

# TEMPS DE PROPAGATION ET CORRELATION DES HAUTEURS DE DÉBUT DE CRUE A COSSI ET GAROUA



CAM 8946

ED:

LE: M. J. MICHEL

DES: J. P. HEDIN

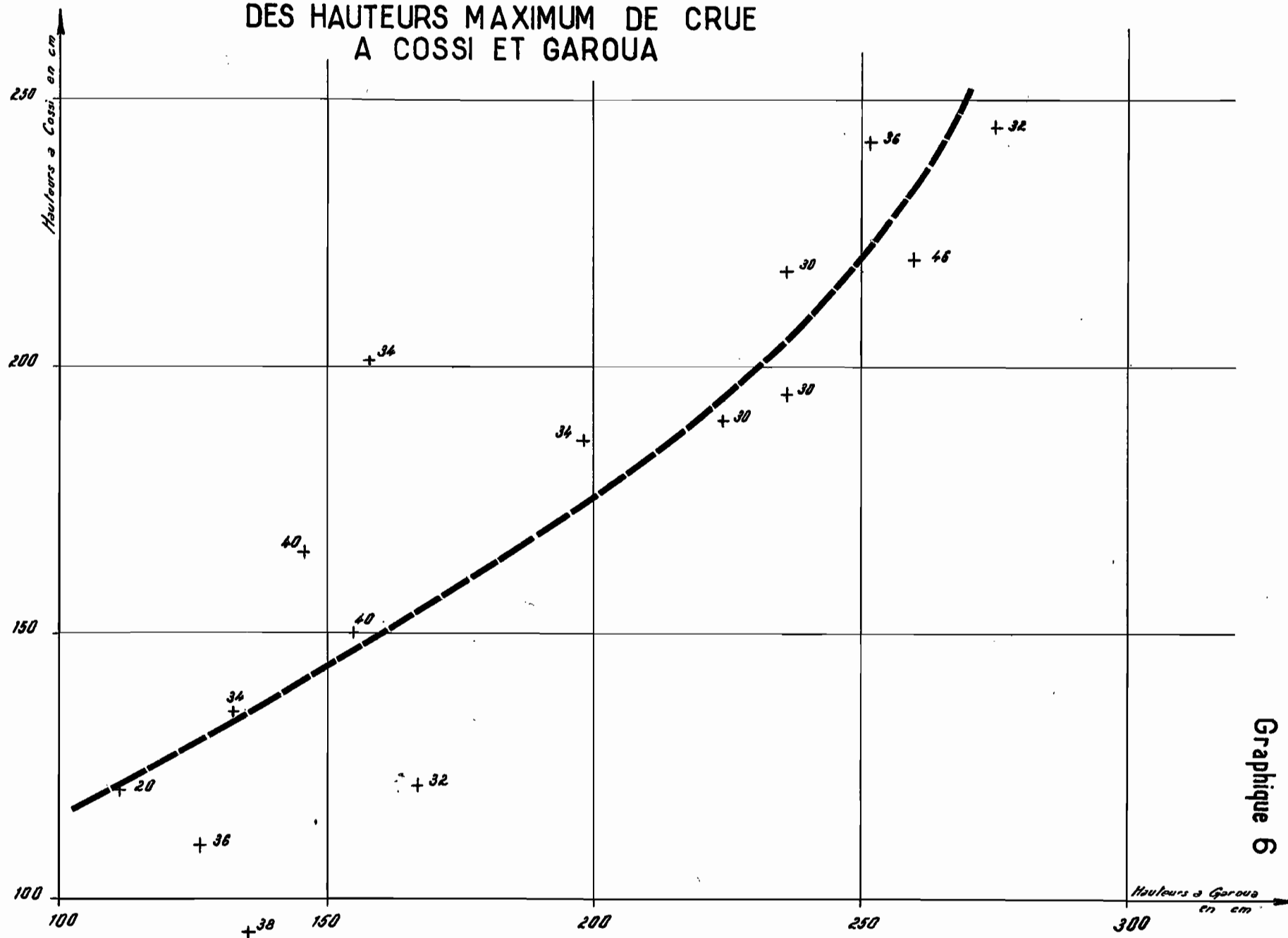
VISA:

TUBE N°:

AO

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

# TEMPS DE PROPAGATION ET CORRELATION DES HAUTEURS MAXIMUM DE CRUE A COSSI ET GAROUA



Graphique 6

effet que de maintenir la cote du MAYO KEBI stationnaire pendant 10 et même 15 jours ; ils n'ont pratiquement pas d'influence sur le débit de la BENOUE à GAROUA qui continue à baisser régulièrement.

- Entre GAROUA et OURO-BOKI :

A OURO-BOKI la courbe de variation des hauteurs d'eau au cours d'une saison des pluies est en gros identique à celle de GAROUA. Cependant la BENOUE à OURO BOKI subit très nettement l'influence du FARO et la courbe à OURO-BOKI présente des dentelures qu'on ne voit pas à GAROUA.

La détermination du temps de propagation a été relativement plus difficile que pour les autres stations, étant donné le peu de crues à GAROUA donnant à OURO-BOKI une montée des eaux non influencée par le FARO.

Nous n'avons pu déterminer le temps de propagation qu'à partir des maxima des crues. Le graphique n° 7 donne ces temps ainsi que la corrélation entre les hauteurs à GAROUA et OURO-BOKI.

On constate que les temps vont régulièrement en croissant avec la hauteur à l'échelle. Nous avons pu ainsi graduer la courbe de corrélation en temps de propagation.

La vitesse de propagation entre GAROUA et OURO-BOKI est comprise entre  $\frac{87}{20} = 4,35$  km/h et  $\frac{87}{68} = 1,3$  km/h. Sur ce tronçon aussi l'influence des plaines d'inondation est très importante. Entre GAROUA et le FARO, la BENOUE s'étale dans de nombreux bras et lacs parallèles aux berges de la rivière.

- Entre le CAMPAMENT CORON et SAFAI :

Le Haut-FARO jusqu'à SAFAI est une rivière à très forte pente ayant des crues très pointues et très rapides se propageant très vite.

Les essais de corrélation entre les hauteurs au début des pointes et les hauteurs maxima des crues (graphiques n° 8 et 9) donnent des nuages de points,



CAM 8947

ED:

LE: 10-1-1961

DES: J. P. Hoffmeyer

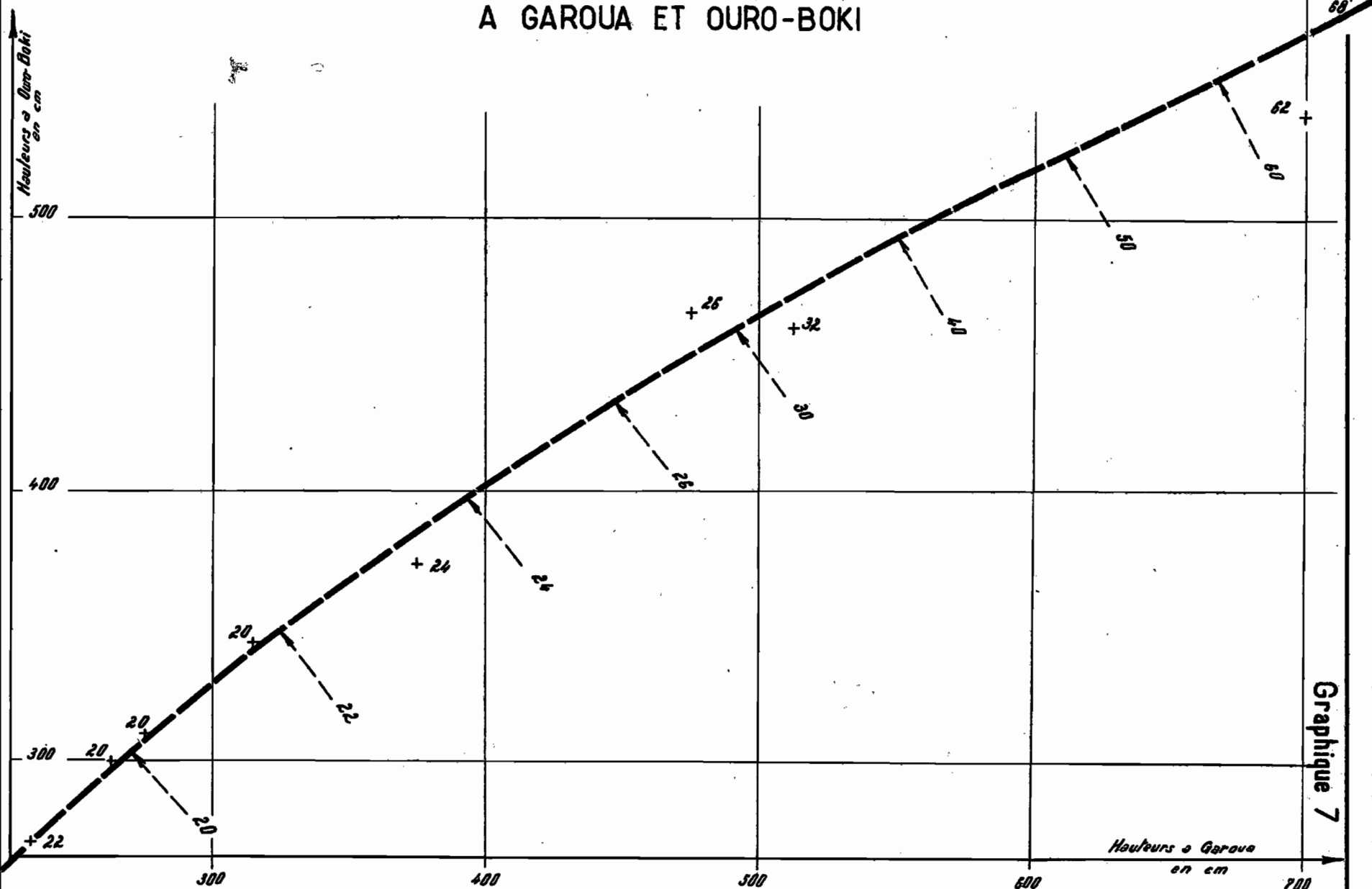
VISA:

TUBE N°:

AO

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

# TEMPS DE PROPAGATION ET CORRELATION DES HAUTEURS MAXIMUM DE CRUE A GAROUA ET OURO-BOKI



CAM 8948

ED:

LE: Mr. J. M. M. M. M.

DES: J. P. H. H. H. H.

VISA:

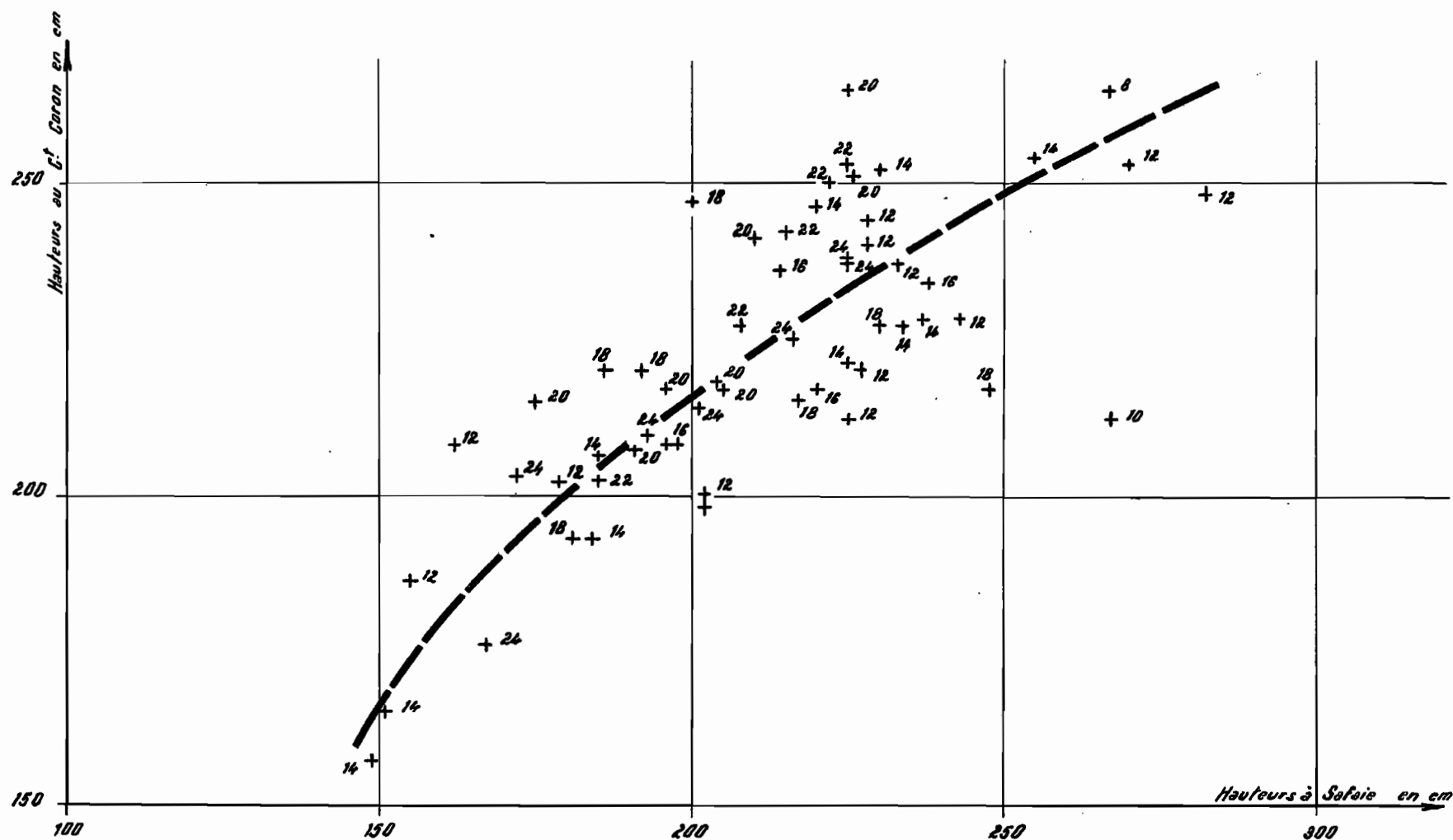
TUBE N°:

AO

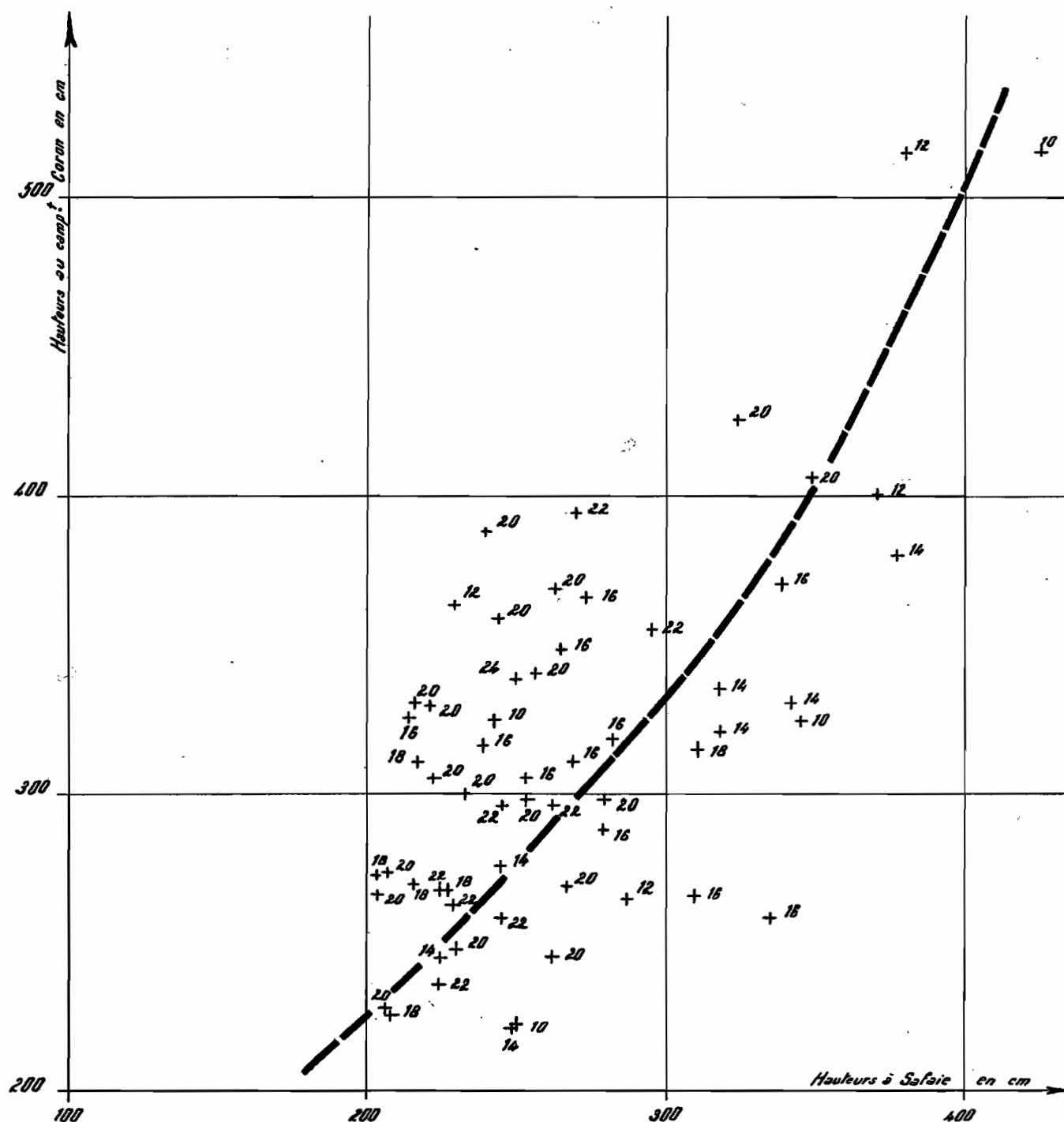
ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

## TEMPS DE PROPAGATION ET CORRELATION

DES HAUTEURS DE DÉBUT DE CRUE AU CAMPMENT CORON ET A SAFAIE



# TEMPS DE PROPAGATION ET CORRELATION DES HAUTEURS MAXIMUM DE CRUE AU CAMPEMENT CORON ET A SAFAIE



CAM 8949

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: DIV. 1 - NCHLX

DES: J.P. HADJICHI

VISA:

TUBE N°:

A O

On a tracé une courbe moyenne. Les erreurs commises en calculant la hauteur à SAFAI à partir de la hauteur au Campement CORON peuvent être très importantes et il faut de ce fait utiliser ces courbes avec prudence.

Les temps de propagation varient également sans loi bien apparente. Pour le début de la pointe de crue, ils varient entre 8 et 24 heures, ce qui donne des vitesses de l'onde de crue égales à

$$\frac{150}{8} = 18,7 \text{ km/h} \quad \text{et} \quad \frac{156}{24} = 6,3 \text{ km/h}$$

Pour le maximum de la crue, les vitesses de propagation sont sensiblement les mêmes (temps compris entre 12 et 24 heures).

Le DEO, affluent principal de rive gauche du FARO, doit avoir un régime à peu près identique à celui du Haut-FARO, les courbes au Campement CORON et à SAFAI étant presque toujours semblables.

- Entre SAFAI et OURO-BOKI :

Le graphique n° 10 donne la corrélation entre les hauteurs à SAFAI et celles à OURO-BOKI pour le début de la pointe de crue. Les temps sont compris entre 20 et 40 heures, ce qui donne une vitesse de propagation comprise entre :

$$\frac{110}{20} = 5,5 \text{ km/h} \quad \text{et} \quad \frac{110}{40} = 2,75 \text{ km/h}$$

Pour les maxima des pointes de crues, le graphique n° 11 donne la courbe moyenne de corrélation. La dispersion des points est assez grande.

Les temps de propagation varient assez régulièrement avec la hauteur à l'échelle de 30 à 58 heures, ce qui donne des vitesses comprises entre :

$$\frac{110}{30} = 3,7 \text{ km/h} \quad \text{et} \quad \frac{110}{58} = 1,8 \text{ km/h}$$

CAM 8950

ED:

LE: M. I. M. M. I.

DES: J. P. M. M. I.

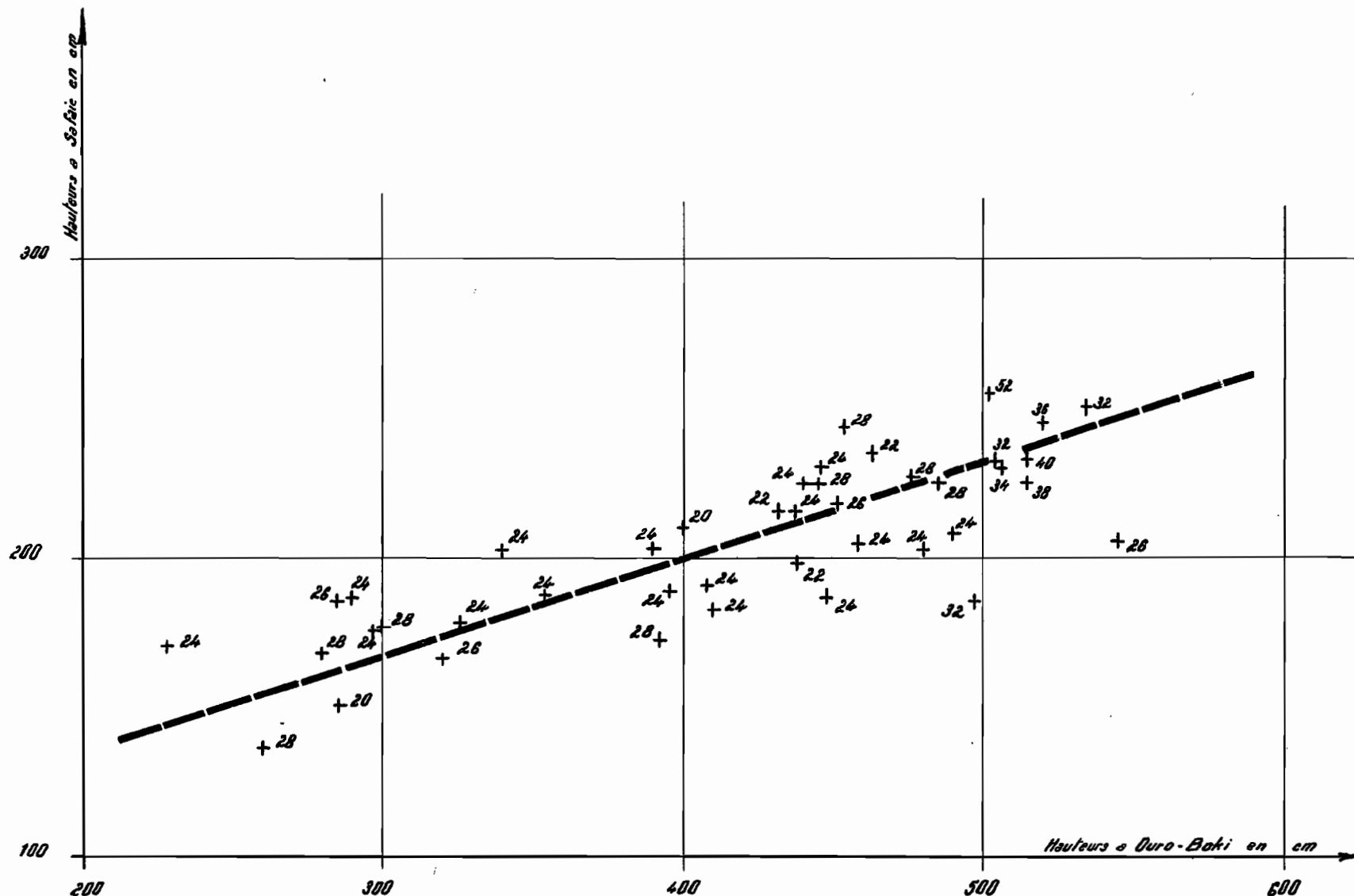
VISA:

TUBE N°:

AO

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

# TEMPS DE PROPAGATION ET CORRELATION DES HAUTEURS DE DÉBUT DE CRUE A SAFAIE ET OURO-BOKI



CAM 89 51

ED:

LEMINI-MINI

DES: J. J. M. M. M.

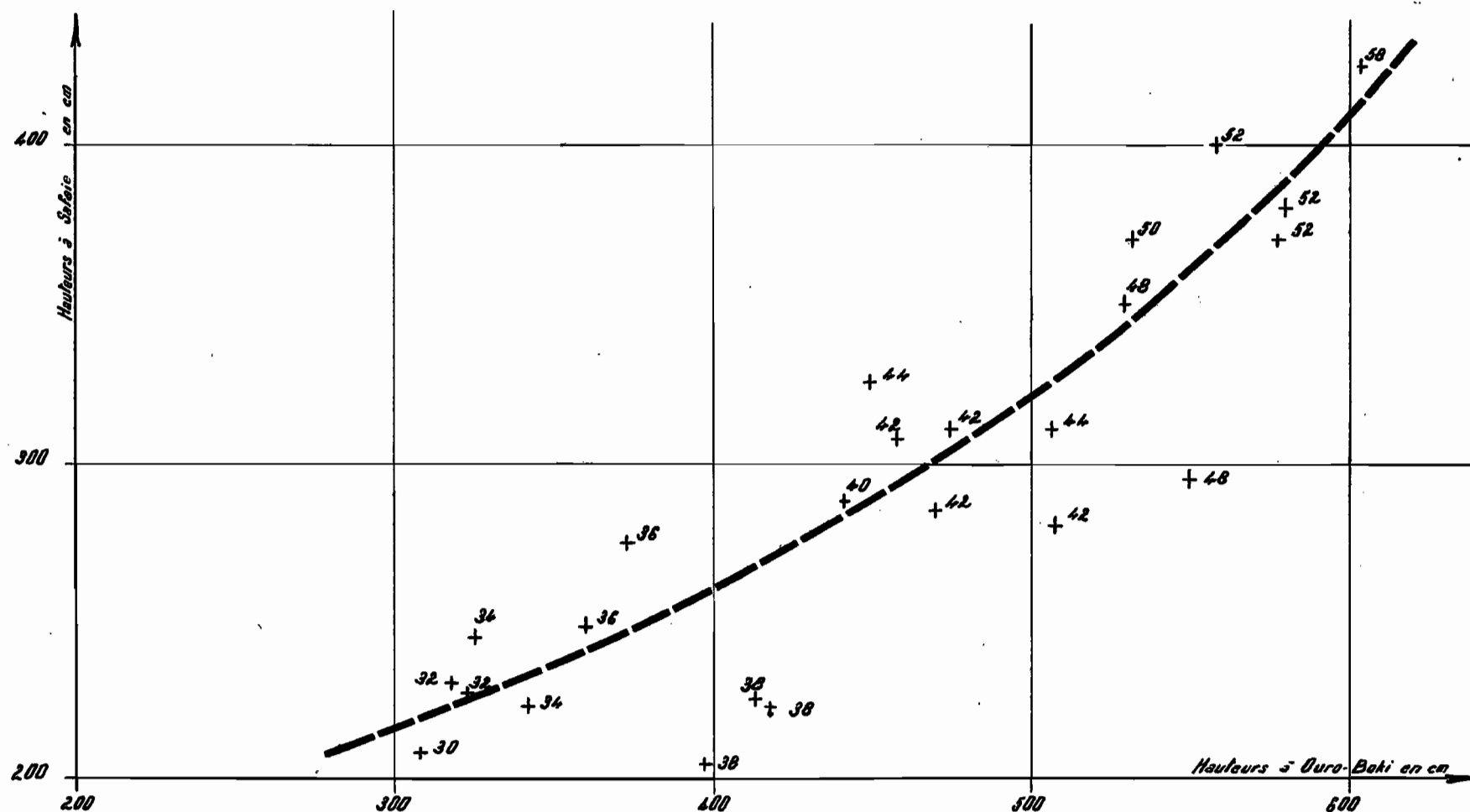
VISA:

TUBE N°:

AO

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

# TEMPS DE PROPAGATION ET CORRELATION DES HAUTEURS MAXIMUM DE CRUE A SAFAIE ET OURO-BOKI



Graphique 11

CAM 8952

ED:

LE: J. P. Haeflich

DES: J. P. Haeflich

VISA:

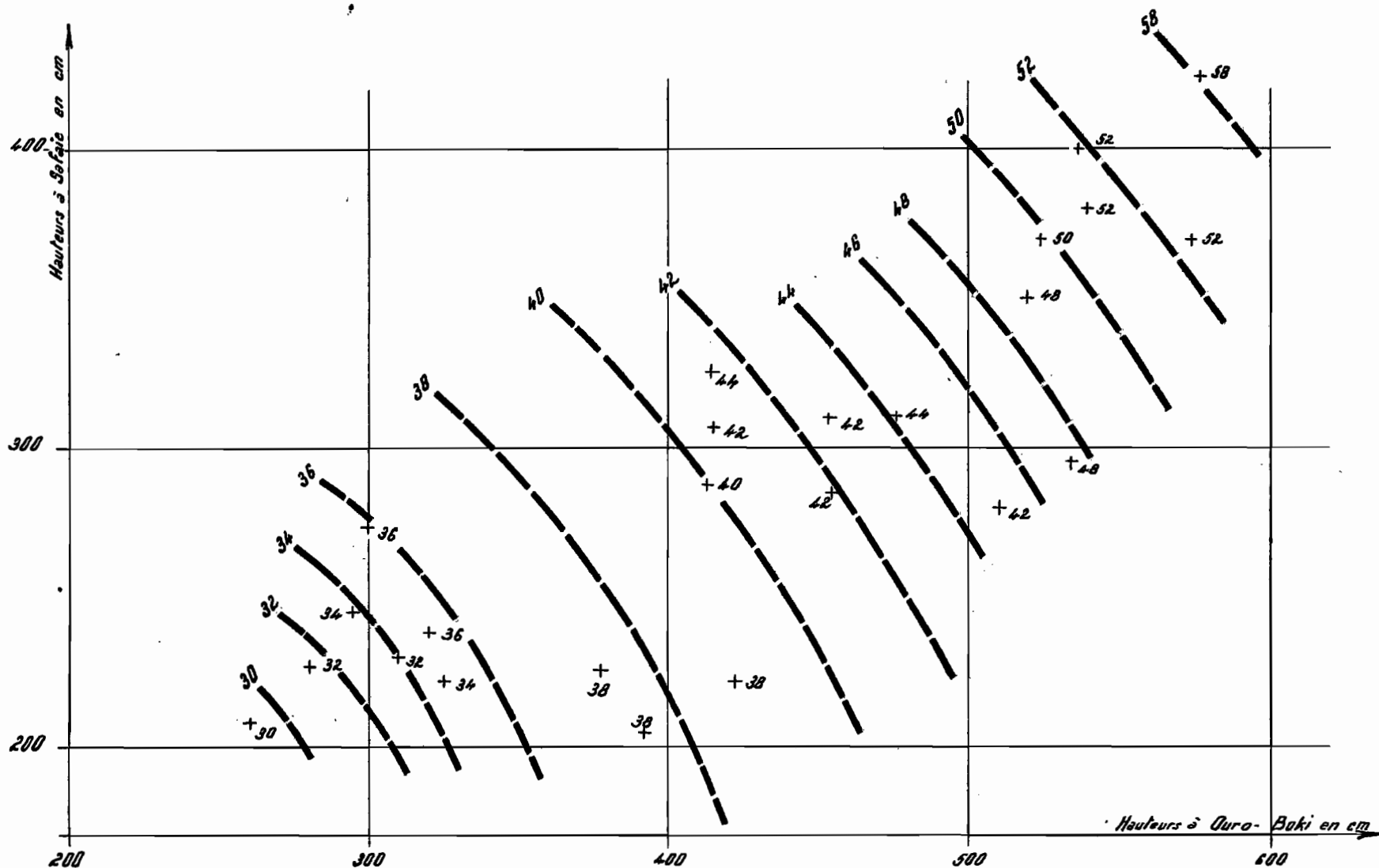
TUBE N°:

AO

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

## DIAGRAMME DONNANT LES TEMPS DE PROPAGATION

ENTRE SAFAIE ET OURO-BOKI EN FONCTION DE LA HAUTEUR MAXIMUM DE LA CRUE  
A SAFAIE ET LA HAUTEUR AU MEME INSTANT A OURO-BOKI



Graphique 12

Etant donné que la hauteur maximum à OURO-BOKI n'est pas encore connue lorsque le maximum se produit à SAFAI., nous avons pensé établir un graphique en portant en ordonnées les hauteurs maximum à SAFAI et en abscisses les hauteurs observées au même instant à OURO-BOKI, chaque point étant ensuite affecté du temps de propagation de l'onde de crue correspondante. La dispersion des points est plus grande, comme il fallait s'y attendre. Le réseau de courbes gradué en temps de propagation ne donne pas plus de précision que la courbe de corrélation du graphique n° 11 qu'on a pu également graduer en temps de propagation.

#### ECHEANCES POSSIBLES des PREVISIONS à GAROUA et OURO-BOKI

Entre le BUFFLE NOIR et GAROUA, les maxima des crues mettent de 38 à 122 heures pour se propager. Cela permettrait, théoriquement, de faire des prévisions ayant des échéances comprises entre 1 jour 1/2 et 5 jours.

Pratiquement, le BUFFLE NOIR ne permet pas d'avoir avec précision les hauteurs à GAROUA. Il ne donne qu'une idée de l'évolution de la crue, en supposant que toutes les rivières situées dans le bassin intermédiaire entre RIAO et le BUFFLE NOIR réagissent comme la HAUTE-BENOUE. Les prévisions faites jusqu'à présent sont faites 24 heures à l'avance, en se basant sur les hauteurs à RIAO et COSSI.

Il en est de même pour les prévisions à OURO-BOKI. La station du Campement CORON donnerait des échéances assez longues (comprises entre 1 jour 1/2 et 3 jours), mais la précision serait médiocre et cette station n'a servi, jusqu'à présent, qu'à donner la tendance comme celle du BUFFLE NOIR.

A OURO-BOKI, les prévisions sont faites également 24 heures à l'avance à l'aide des hauteurs à GAROUA et à SAFAI.

#### RESULTATS OBTENUS

Les prévisions sont portées chaque jour sur le graphique de variations de hauteurs d'eau. La courbe de prévision est ensuite tracée en pointillés.



CAM 8953

ED:

LE: rrr - J. M. H. A. U. S.

DES: J. P. H. A. U. S.

VISA:

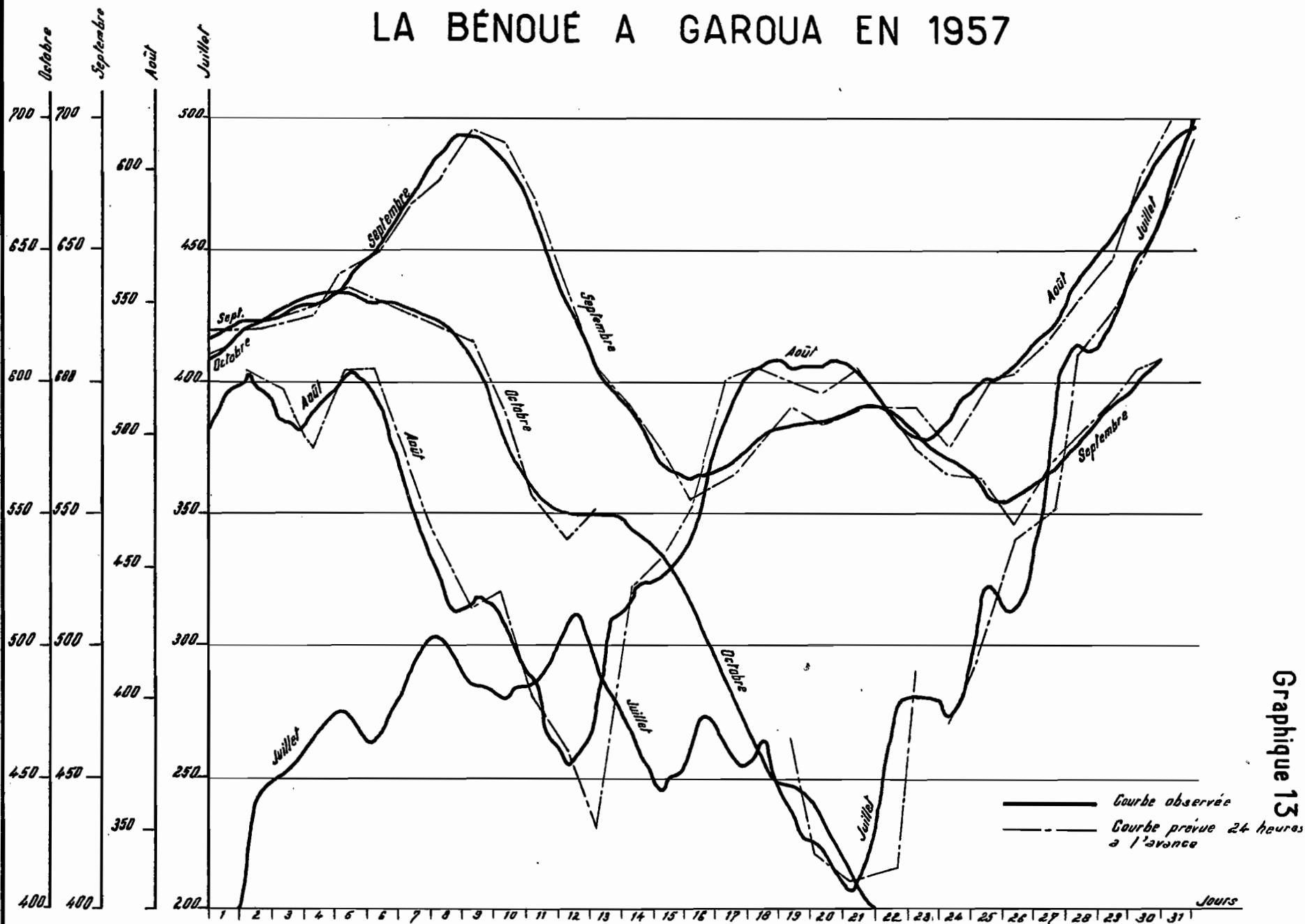
TUBE N°:

AO

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

Hauteurs en cm

## LA BÉNOUÉ A GAROUA EN 1957



Graphique 15

CAM 8954

ED:

LE: III-1-MCM-12

DES: J-P Hefflich

VISA:

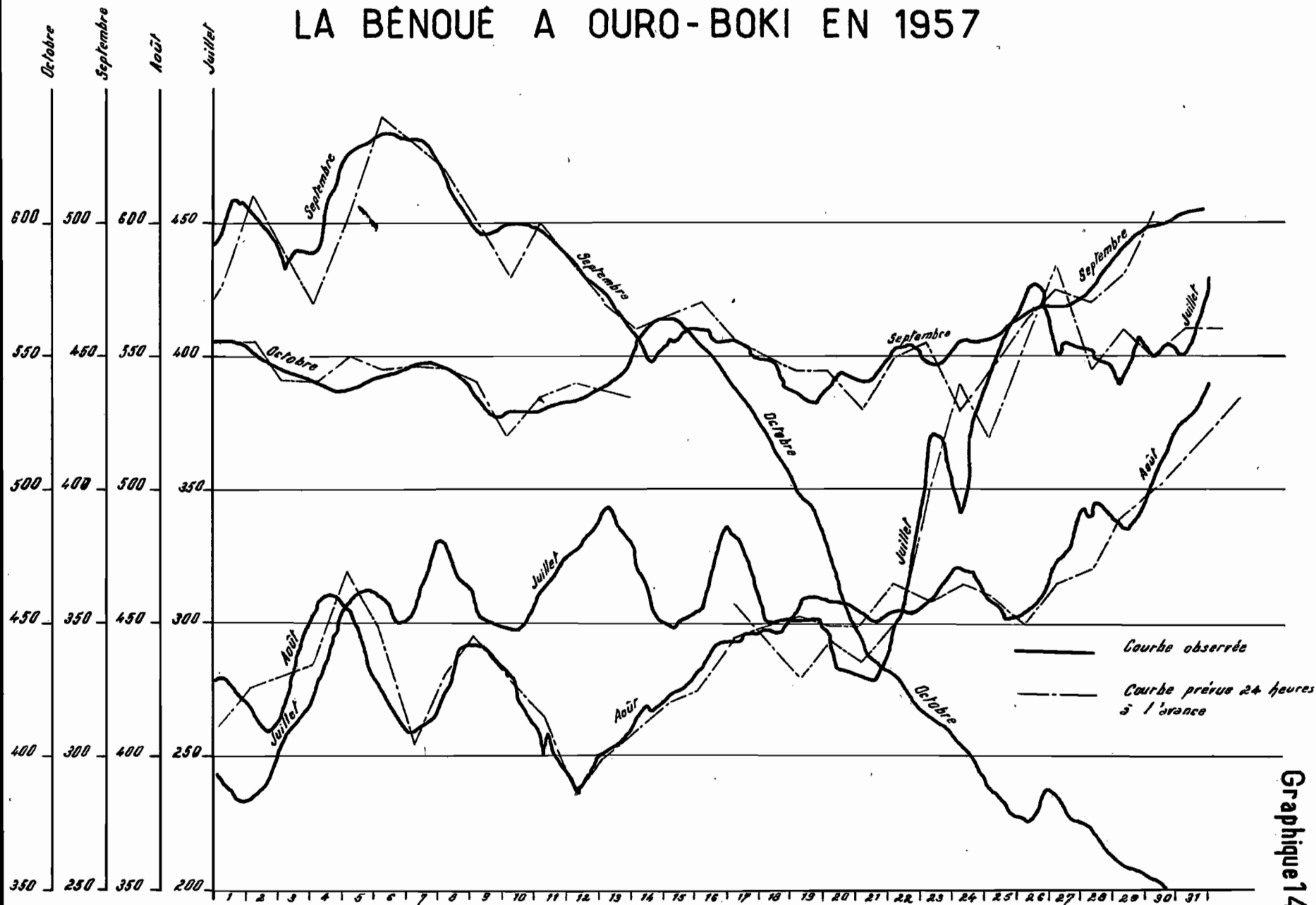
TUBE N°:

AO

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

Hauteurs en cm

## LA BÉNOUÉ A OURO-BOKI EN 1957



Nous donnons en annexe les graphiques n° 13 et 14 des variations de hauteurs d'eau en 1957, ainsi que les prévisions qui ont été faites.

#### DIFFUSION des RENSEIGNEMENTS

Ces renseignements sont transmis tous les jours aux Services de GAROUA intéressés, ainsi qu'aux représentants de Compagnies de navigation. Ils sont aussi transmis par radio tous les matins à l'Indland Waterway Department de LOKODJA (jusqu'en 1957 à NEDECO) qui les utilise pour rédiger un bulletin de navigation diffusé ensuite aux bateaux.

A partir de Juillet 1958, les bulletins sont transmis également à RADIO GAROUA qui les diffuse dans la journée après leurs informations.

#### ETUDES de QUELQUES TYPES de CRUE PARTICULIERS

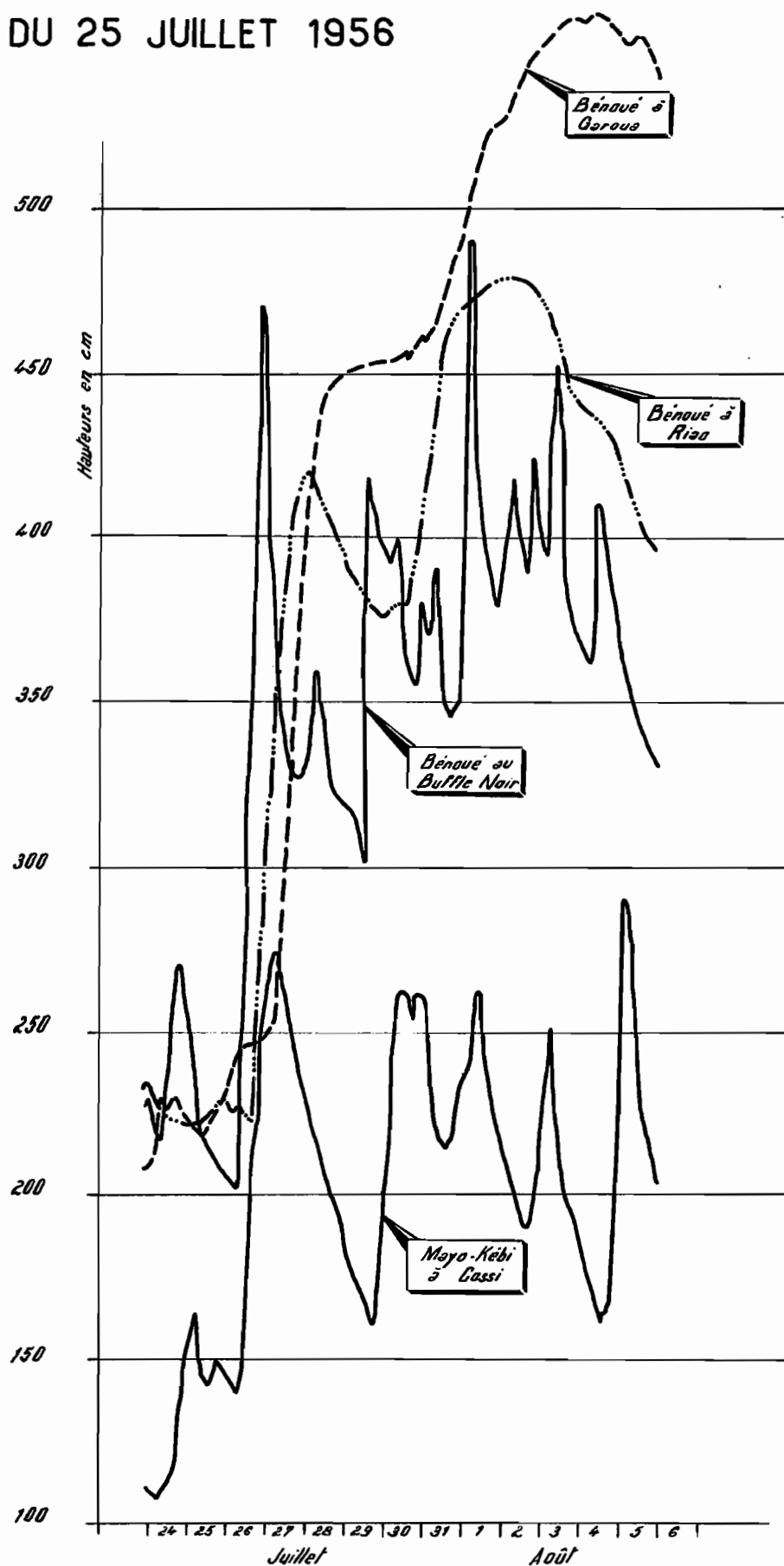
Dans l'ensemble, les prévisions obtenues 24 heures à l'avance sont assez satisfaisantes. Mais il y a parfois des types de crues un peu particuliers qui surprennent par leur rapidité qui a pour résultat de donner des erreurs assez importantes dans les prévisions. Ce sont ces types de crues que nous allons examiner afin que, si des conditions analogues se représentent à l'avenir, les prévisions puissent être faites dans des conditions normales de précision.

Les crues les plus spectaculaires se situent en général fin Juillet, début Août.

Ainsi, le 26 Juillet 1956, nous avons observé une montée rapide des eaux au BUFFLE NOIR (27,1 m en 16 heures, soit une montée moyenne de 16,9 cm à l'heure) entraînant presque immédiatement la montée du plan d'eau à RIAO, montée s'effectuant à la vitesse moyenne de 7,6 cm/heure. Le même jour à COSSI, le MAYO-KEBI montait aussi (1,34 m en 24 heures) et les deux crues se rejoignant à GAROUA donneraient une montée du plan d'eau de 7,2 cm/heure en moyenne. La crue à GAROUA débuta 12 heures après celle de RIAO et elle commença à s'étaler à la cote 4,50 environ 14 heures après le maximum à RIAO. Les graphiques de cette crue sont donnés en annexe (graphique n° 15). Cette crue est de loin la plus rapide que nous ayons observée de 1954 à 1957.

CRUE DU 25 JUILLET 1956

Graphique 15



CAM 8955

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: J. H. MCHLX

DES: J. P. Haeflich

VISA:

TUBE N°:

AO

Les hauteurs de pluies enregistrées à N'GAOUNDERE sont les suivantes :

|         |       |
|---------|-------|
| 7,4 mm  | le 22 |
| 15,7 mm | le 23 |
| 25,7 mm | le 24 |
| 33,1 mm | le 25 |

au BUFFLE-NOIR on enregistrait :

|         |       |
|---------|-------|
| 1,2 mm  | le 22 |
| 7,5 mm  | le 23 |
| 45,4 mm | le 26 |

à RIAO, les pluies sont plus faibles :

|        |       |
|--------|-------|
| 2,3 mm | le 24 |
| 5,8 mm | le 26 |

par contre, à COSSI on a recueilli :

|        |       |
|--------|-------|
| 7,4 mm | le 25 |
| 49 mm  | le 26 |

Les pluies étaient donc relativement bien réparties sur tout le bassin versant pendant la période du 22 au 26 et tous les affluents à l'amont de RIAO ont contribué à la crue.

Au mois d'Août 1954, après une décrue assez importante au cours de la première quinzaine, la BENOUE s'est mise à monter assez rapidement à partir du 19. Cette montée était due à une crue de la BENOUE à RIAO annoncée le 18 dans la soirée et se développant le 19 à raison de 90 cm par 24 heures, soit 3,75 cm à l'heure. Le 18, également, le MAYO KEBI montait rapidement (95 cm en 24 heures) et cette crue se prolongeait jusqu'au 23.

Les variations des plans d'eau à RIAO et COSSI sont moins rapides pour la crue de 54 que pour celle de 56 et on constate que les temps de propagation sont un peu plus longs, environ 19 heures entre RIAO et GAROUA.

Au cours de cette crue d'Août 1954, la BENOUE à GAROUA monta le 20 de 118 cm en 24 heures, soit une montée horaire moyenne de 4,9 cm.

Le 10, la BENOUE à RIAO montait de 77 cm en 24 h., soit 3,2 cm à l'heure. La BENOUE à GAROUA avait son niveau qui s'élevait à la vitesse de 58 cm en 24 heures, soit 2,5 cm à l'heure. Cette crue correspondait avec une période pluvieuse intéressant tout le bassin et qui donnait à N'GAOUNDERE : 78,2 mm le 18 et 10,1 mm le 19 à POLI, 2,8 mm le 18 et 19,1 mm le 20 à GUIDER, 9,6 mm le 18 et 33,4 mm le 19.

En 1955, les pluies sur l'ADAMAOUA assez continues mais peu abondantes du 21 au 31 Juillet ont bien donné une pointe rapide au BUFFLE NOIR le 26 et une autre le 30. Mais le résultat final à RIAO a été une crue assez lente (le 27 - 2 cm à l'heure) coupée le 29 et le 30 de légères décrues. Le 31, après la pointe du 30 au BUFFLE NOIR, la BENOUE à RIAO a monté de 73 cm en 24 heures, ce qui ne représente, en moyenne, que 3 cm à l'heure.

Le MAYO-KEBI montait très rapidement à la suite d'une forte précipitation sur son bassin (59 mm à GUIDER le 28) et le plan d'eau passait de 145 m à 292 m en 10 heures à COSSI le 29 (montée horaire 14,5 cm/heure).

Du fait du décalage des deux crues à RIAO et COSSI et malgré la violence de la crue du MAYO KEBI, la BENOUE à GAROUA ne montait que de 55 cm en 24 heures les 29 et 30 Juillet. Voir graphique n° 16.

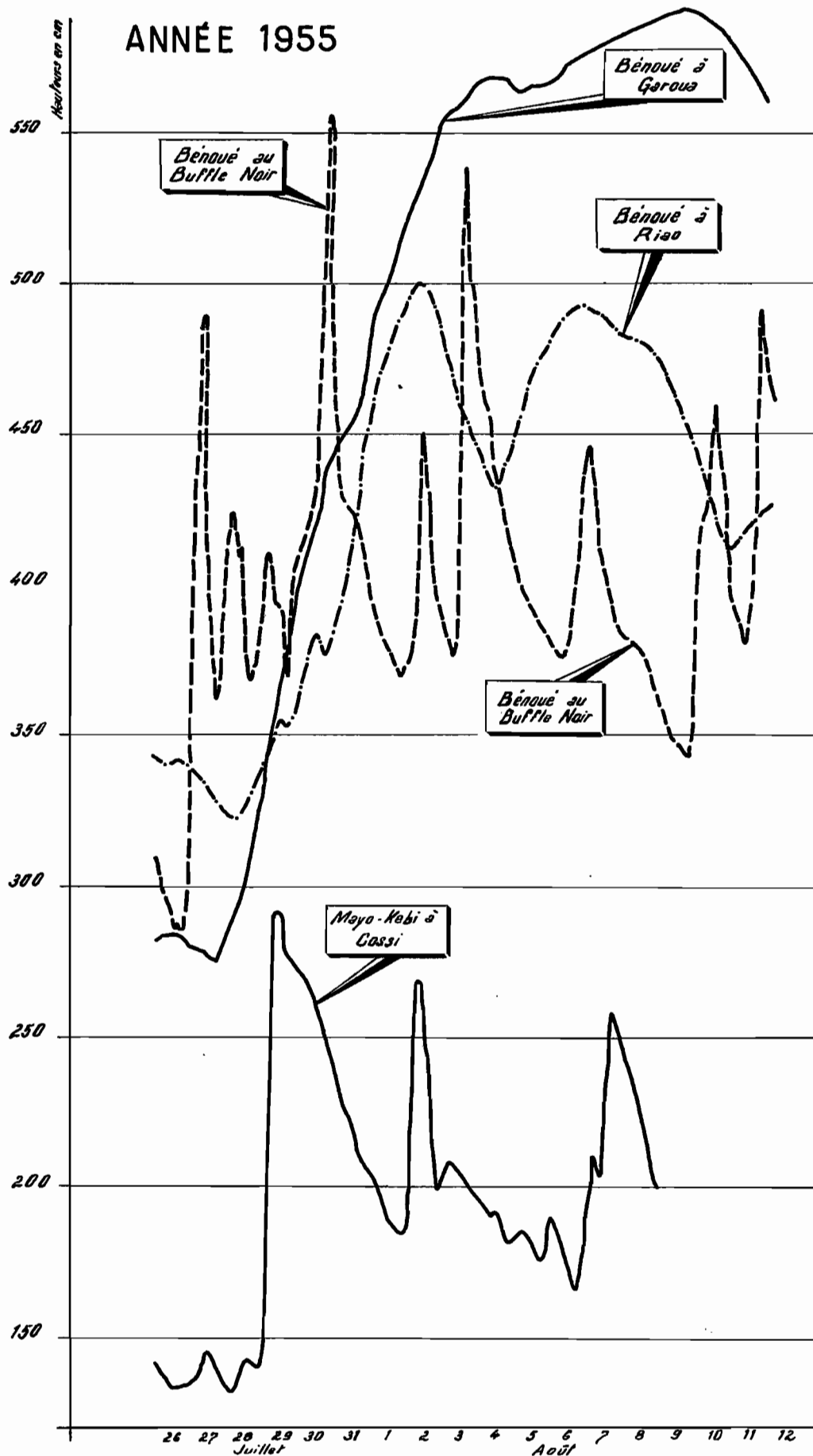
En Juillet 1955, nous avons également observé une crue à RIAO dont l'hydrogramme est rigoureusement semblable à celui observé à RIAO 12 heures après. La variation du plan d'eau à RIAO était de 5 cm à l'heure le 16 Juillet 1955 à GAROUA, il a été de 4,2 cm à l'heure.

Une légère crue du MAYO-KEBI a un peu prolongé la crue à GAROUA dont le maximum n'a eu lieu que 18 heures après le maximum à RIAO.

Nous avons pu observer une crue à peu près analogue le 7 Juillet 1958. La BENOUE au BUFFLE NOIR a été en crue le 5 et cette crue s'est prolongée par une série de points jusqu'au 9 Juillet. A RIAO, le niveau montait dans la nuit du 6 au 7 et le 7 la variation était égale à 4,5 cm/heure.

ANNÉE 1955

Graphique 16



CAM 8956

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: JIU-1-MENLY

DES: J-P. Hédicq

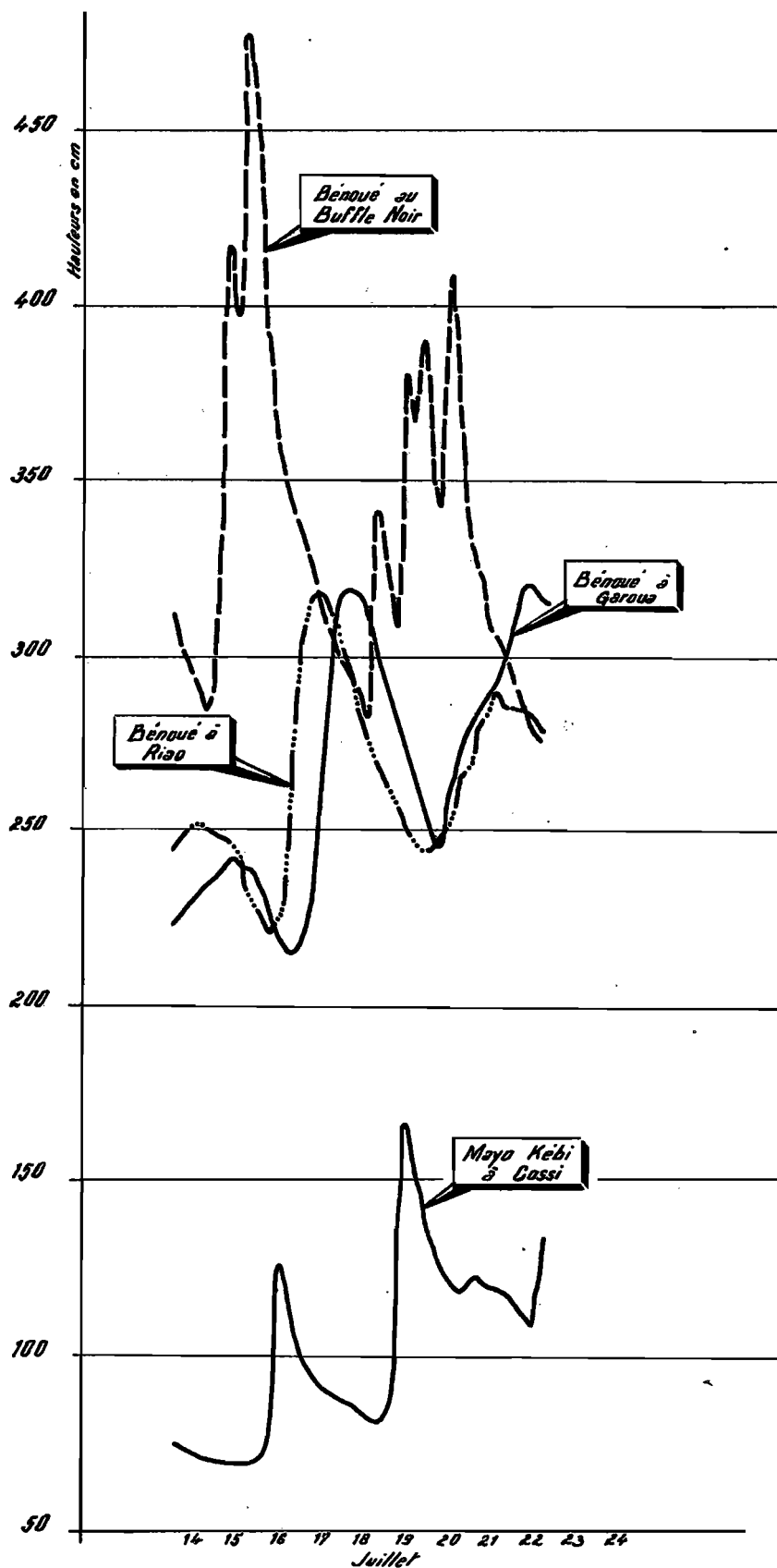
VISA:

TUBE N°:

AO

ANNÉE 1955

Graphique 17



CAM 8957

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: II-IX-MCM LX

DES: J-P Hofflich

VISA:

TUBE N°:

AO



Le 7, le MAYO KEBI est aussi en crue et la cote à l'échelle passe en 16 heures de 0,88 m à 1,98 m. A GAROUA, sous l'effet de la crue de RIAO, la BENOUE monte le 7 de 4 cm à l'heure. En fin de journée, la BENOUE à RIAO baisse, mais à GAROUA la crue se poursuit sous l'action du débit du MAYO-KEBI. Le 8 la montée se fait à GAROUA à raison de 58 cm en 24 heures. La fin de cette crue est plus complexe que celle du 16 Juillet 1955, car les nombreux points au BUFFLE NOIR ont provoqué une nouvelle montée à RIAO.

Nous devons faire maintenant une remarque concernant la prévision des crues à partir du BUFFLE NOIR. Il arrive souvent, lorsque le niveau de la BENOUE à GAROUA est supérieur à 4,50 m, que des pointes très rapides au BUFFLE NOIR ne donnent qu'une faible montée à RIAO et à GAROUA.

Ainsi, le 1er Octobre 1955, la BENOUE au BUFFLE NOIR passa en 16 heures de la cote 3,86 m à la cote 7,30 m, soit une montée de 20 cm à l'heure. Le 3 et le 5 Octobre, on enregistrerait encore deux fortes crues dont l'amplitude était respectivement de 1,90 et 2,00 m. Malgré ces crues, la BENOUE à RIAO passait seulement de la cote 544 à la cote 580.

Fin Août, une série de points d'amplitude analogue, mais dont le maximum se situait plus bas (628 au lieu de 730) faisait passer la cote à RIAO de 370 à 564.

En 1956, le 7 Août, on enregistrerait une montée de 24 cm à l'heure pendant 19 heures, plus rapide que celle du 26 Juillet et cependant, la BENOUE à RIAO n'aurait qu'une faible variation du plan d'eau de 3,30 à 4,20 et à GAROUA la cote passait de 470 à 498 seulement.

De même, la plus forte crue enregistrée au BUFFLE NOIR le 14 Août 1957 (plan d'eau variant de la cote 3,90 à 7,50 en 16 heures, vitesse horaire 22,5 cm/heure) ne donnait à la crue de RIAO qu'une amplitude de 90 cm (cote 350 à 440).

Ces exemples montrent que pour pouvoir utiliser le BUFFLE NOIR avec précision, il faudrait faire tous les jours une analyse précise des précipitations

sur le bassin. Les seules indications des pluviomètres du Service d'Annonce des Crues ne sont pas suffisantes. La grande difficulté est de pouvoir obtenir régulièrement et en temps utile les renseignements du Service Météorologique. Jusqu'à présent, ils ne nous parvenaient que très irrégulièrement et le nombre des stations nous les transmettant a toujours été trop faible pour entreprendre une étude sérieuse.

Des essais de corrélation entre les hauteurs de pluies sur le bassin et les débits ont d'ailleurs été effectués en calculant les volumes d'eau tombés tous les 10 jours et aussi tous les 5 jours. Nous n'avons obtenu aucun résultat valable.

Une dernière remarque au sujet de la régularité des crues. Depuis 1954, nous avons toujours observé une montée plus ou moins rapide fin Juillet début Août amenant le niveau à GAROUA à une cote comprise entre 450 à 550.

Un deuxième maximum compris entre 7,00 et 7,30 se produit dans la première quinzaine de Septembre.

En Octobre, du 4 au 10, il se produit également une pointe de crue qui est en général moins élevée que celle de Septembre pour la BENOUE à GAROUA.

La BENOUE à OURO-BOKI présente les mêmes maxima mais, par suite d'une crue importante du FARO, au cours de la première semaine d'Octobre, la pointe du mois d'Octobre est toujours plus élevée que celle de Septembre.

Au mois d'Août, le niveau peut rester à peu près étale, comme en 1955, ou bien baisser rapidement comme cela a été le cas en 1954. La pluviométrie sur le bassin au cours du mois de Juillet peut donner des indications précieuses. En 1954, la fin du mois de Juillet et le début du mois d'Août n'ont que peu ou pas de précipitations et cela sur l'ensemble du bassin. GAROUA ne reçoit du 16 Juillet du 18 Août que 50,5 mm. A N'GAOUNDERE, au cours de la même période, on observait des précipitations assez abondantes et soutenues du 16 au 23 Juillet, donnant la crue de fin Juillet à GAROUA et ensuite une période plus sèche du 23 Juillet au 17 Août, au cours de laquelle seules deux ou trois précipitations atteignent 20 mm.

En 1955, par contre, les pluies en Juillet et début Août ont été bien réparties et abondantes sur tout le bassin, assurant ainsi à la BENOUE un débit important et très régulier.

La décrue s'annonce au cours de la première quinzaine d'Octobre (dates extrêmes depuis 1954, le 5 Octobre en 1957 et le 16 Octobre en 1955). La décrue la plus rapide a été observée à GAROUA en 1957. Le niveau a baissé de 2 m,50 en 8 jours, soit en moyenne 30 cm par jour, on a enregistré, le 14 Octobre, une baisse de 55 cm.

En 1955, le niveau a baissé à partir du 8 Octobre à la vitesse moyenne de 2 m,40 en 15 Jours, soit 16 cm par jour.

En tenant compte des temps de propagation du maximum de la crue et en les appliquant à la décrue du mois d'Octobre, nous avons essayé d'établir une corrélation entre la décrue à RIAO et la décrue à GAROUA pour les années 1954 à 1957. Nous avons obtenu quatre courbes de corrélation différentes. Le tracé d'une courbe moyenne entraînerait des erreurs de  $\pm$  30 cm dans la prévision des hauteurs à GAROUA à partir de celles de RIAO.

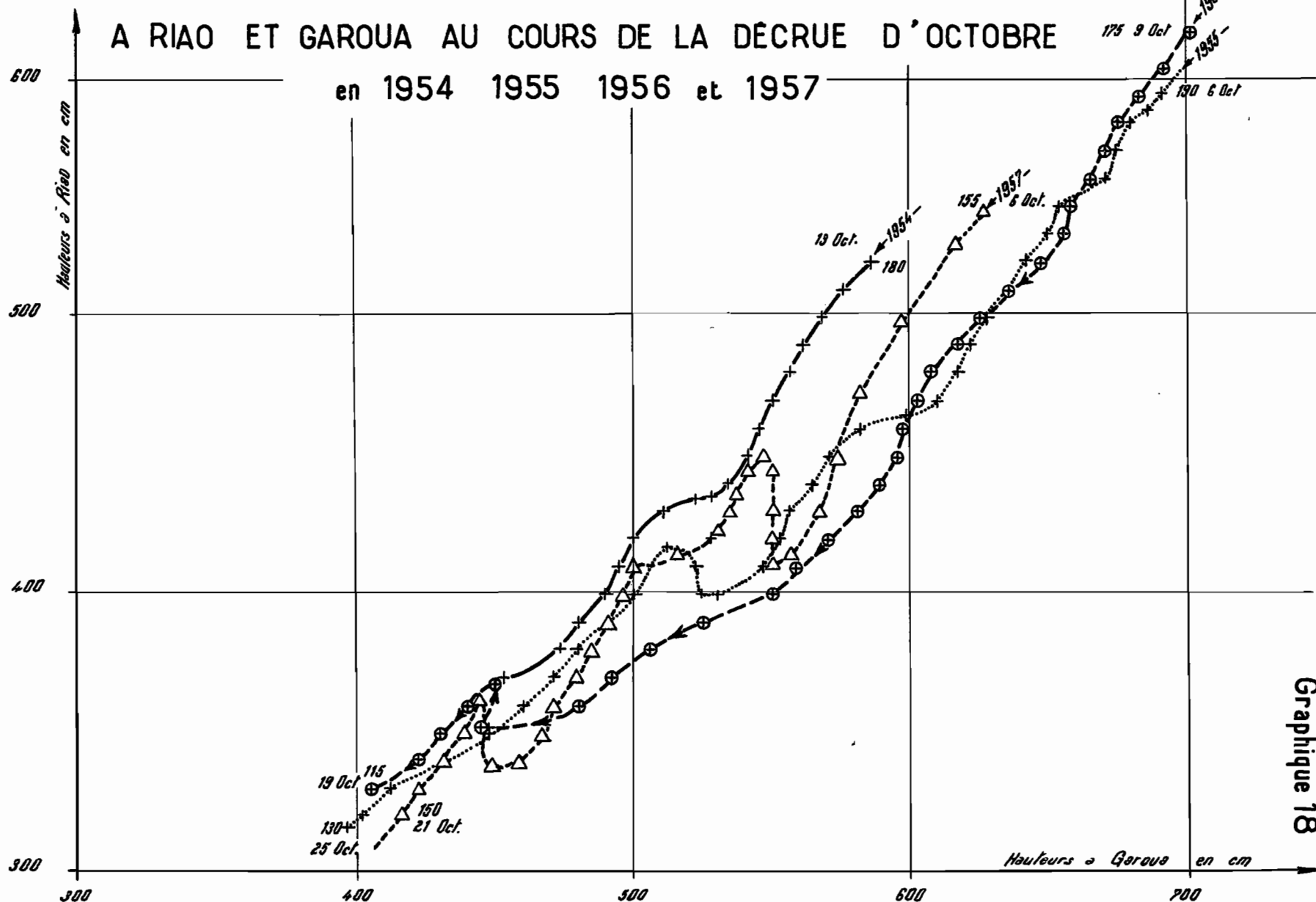
Ces courbes pourront donc donner seulement une idée de la hauteur à GAROUA à partir de celle observée à RIAO, mais pour faire une prévision, il faudra tenir compte de la façon dont se développe la crue et essayer de voir si elle ne peut pas être identifiée à une courbe déjà observée.

Il en est de même pour les hauteurs prévues à OURO-BOKI.

# CORRELATION DES HAUTEURS D'EAU

A RIOU ET GAROUA AU COURS DE LA DÉCRUE D'OCTOBRE

en 1954 1955 1956 et 1957



Graphique 18

CAM 8958

ED:

LE: J. J. M. M. M.

DES: J. J. M. M. M.

VISA:

TUBE N°:

AO

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

CONCLUSIONS -

Le problème de la prévision des crues est très complexe. Pour espérer obtenir une bonne précision, il faudrait pouvoir disposer d'un très grand nombre d'années d'observations, comme c'est le cas dans les pays d'Europe.

N'ayant actuellement que quatre années d'observations complètes, il nous a paru sage de commencer par bien observer les phénomènes et de faire des prévisions au bout de la deuxième année, à partir des hauteurs d'eau. Les résultats ne furent pas brillants et les prévisions étaient données en 1955 12 heures seulement à l'avance. En 1956 et 1957, des essais de prévisions à 24 heures ont été faits et ont donné des résultats acceptables. Nous pensons qu'il faut continuer d'annoncer des niveaux à partir des hauteurs d'eau pendant quelques années encore.

Cependant, l'extrapolation des diagrammes de variation des hauteurs d'eau devra être faite avec souplesse et être guidée par l'expérience et par l'interprétation intelligente des dernières observations pluviométriques et limnimétriques.

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE  
—○—  
Inspection Générale Union Française  
et Etranger

ÉTAT DU CAMEROUN  
—○—  
Service des Ports  
et Voies Navigables

Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer  
—○—

# AMÉLIORATION DE LA NAVIGABILITÉ DE LA BÉNOUÉ

## II. HYDROGRAPHIE

Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer  
—○—

# AMÉLIORATION DE LA NAVIGABILITÉ DE LA BÉNOUÉ

## II. HYDROGRAPHIE

### 1. Travaux topographiques et hydrographiques

1 - TRAVAUX TOPOGRAPHIQUES et  
HYDROGRAPHIQUES

-----



## I - TRAVAUX TOPOGRAPHIQUES ET HYDROGRAPHIQUES

L'objet des travaux topographiques et hydrographiques entrepris par la Mission E.D.F. était de donner une description suffisamment détaillée du lit de la BENOUE, pour permettre d'analyser de façon quantitative les difficultés de navigation (faible mouillage sur les seuils, instabilité du chenal, etc...) et d'étudier en toute connaissance de cause les solutions propres à y remédier. Ils devaient, en particulier, permettre de procéder ultérieurement à des essais sur modèles réduits, si le besoin s'en faisait sentir. L'instabilité du fond sableux de la BENOUE exigeait que ces études portent sur une durée assez longue pour mettre en évidence les modalités des variations du chenal et des déplacements des bancs de sable. En fait, elles ont été poursuivies pendant deux années complètes, de Novembre 1954 à Octobre 1956.

Les travaux topographiques et hydrographiques ont comporté :

1- Une triangulation du lit de la BENOUE entre le confluent du FARO et YOLA, soit une des sections les plus difficiles de la BENOUE. Exécutée au début de 1955, cette triangulation devait servir de canevas de base sur lequel se rattacheraient tous les levés topographiques et hydrographiques ultérieurs.

2- Un levé topographique continu du lit de la BENOUE (échelle : 1/2.000°), entre le confluent du FARO et les environs de RIBADU, exécuté à deux reprises, pendant la saison sèche 1955 puis celle de 1956. La partie du cours levé englobe l'ensemble des passages qui se sont révélés les plus délicats pendant les campagnes de navigation 1954 à 1956. En 1956 a été de plus effectué un levé topographique d'une courte section (5 km environ) située près de GALADIO.

3- Des levés hydrographiques (échelle 1/2.000°), effectués à plusieurs reprises, pendant les saisons des pluies 1955 et 1956, sur cinq zones englobées dans les levés topographiques de saison sèche et choisies comme particulièrement représentatives des obstacles rencontrés par la navigation :

Zone I - située entre les km 72 et 73, au confluent du FARO ; particulièrement importante pour l'étude de l'alluvionnement provoqué par cet affluent.

Zone II - située entre les km 76 et 81 ; a constitué en 1956 un passage critique, en ce sens que de nombreux bateaux qui avaient pu naviguer sans grandes difficultés en amont et en aval ont été obligés, dans le courant du mois d'Août, de s'arrêter devant elle et d'attendre une montée des eaux pour pouvoir continuer leur route.

Zone III - située entre les km 90 et 92 ; correspond comme la précédente à un élargissement notable du lit succédant à un rétrécissement relatif, conditions favorables à la formation d'atterrissements importants sur lesquels le chenal présente une instabilité particulière.

Zone IV - située immédiatement en aval de la précédente entre les km 93 et 96 ; caractérisée également par une assez grande instabilité du chenal.

Zone V - située entre les km 220 et 224, près du village de GALLADIO ; a constitué en 1956, comme la zone II, un passage critique à la fin du mois de Juillet.

4- Un nivellement, ayant pour origine un repère du Service Géographique du CAMEROUN, installé près du confluent du FARO (antenne GAROUA-TEPE du nivellement KRIBI-TCHAD) et longeant la rive droite vers l'aval sur plus d'une centaine de kilomètres jusqu'à NUMAN. En 1956, ce nivellement a été prolongé vers l'amont, d'une part sur la Haute BENOUE jusqu'à MALAPE, et d'autre part sur le FARO jusqu'à KOULAWA.

5- Des relevés de lignes d'eau effectués à différentes reprises pendant les hautes-eaux 1955 et 1956, à partir des repères du nivellement précédent. Le relevé de ces lignes d'eau avait pour but de contrôler la stabilité du profil en long de la BENOUE et de définir les pentes d'écoulement, données indispensables pour le réglage d'un modèle réduit éventuel.

6- Un profil en long du chenal relevé avec un sondeur à ultra-sons, en suivant le dernier bateau ayant quitté GAROUA en Octobre 1956. Ce profil avait pour but de préciser les profondeurs minima sur la ligne de route

réellement suivie par un bateau, dans des conditions de navigation critiques. Les écarts de pilotage constatés par rapport à l'axe théorique du chenal ont bien mis en évidence l'intérêt que présenterait un balisage pour réduire considérablement les risques d'échouage.

On trouvera plus loin les indications détaillées sur l'exécution des travaux topographiques et hydrographiques de la Mission E.D.F.

L'ensemble, assez volumineux, des plans et graphiques qui résultent de ces travaux, a fait l'objet d'un dossier spécial annexé au présent Rapport Général.

Donnons quelques précisions sur la nomenclature des plans topographiques et hydrographiques dont on trouvera la liste ci-dessous. Les levés hydrographiques (H) ont été désignés par la zone levée (en chiffre romain) le numéro d'ordre chronologique (en chiffre arabe) et l'année. Pour les levés topographiques (T), la même désignation a été adoptée ; cependant les zones I à V ont été quelque peu agrandies pour se souder entre elles lorsqu'elles étaient assez rapprochées. Une zone complémentaire A a été créée entre II et III ainsi qu'une zone B à l'aval de IV.

Signalons que, du fait des méthodes d'exécution employées, les cotes portées sur les levés topographiques et sur les levés hydrographiques n'ont pas la même signification. Sur les levés topographiques, elles désignent des altitudes absolues ; sur les levés hydrographiques, des profondeurs rapportées à une ligne d'eau de référence correspondant à une hauteur de 350 à l'échelle d'OURO-BOKI (ligne d'eau de moyennes-eaux, d'allure beaucoup plus continue qu'une ligne d'eau qui correspondrait à un "étiage conventionnel" habituel).

# LISTE DES PLANS ET GRAPHIQUES

(Voir dossier spécial annexé au Rapport Général)

## 1 - TRIANGULATION

Plan de triangulation du FARO à DAIMARE CAM 7.432

## 2 - LEVERS TOPOGRAPHIQUES

|              |                      |                      |
|--------------|----------------------|----------------------|
|              | 1 9 5 5              | 1 9 5 6              |
| Zone         | Référence            | Référence            |
| I            | CAM 5917             | CAM 7386             |
| II<br>II bis | CAM 5705<br>CAM 5704 | { CAM 7389           |
| A<br>A bis   | CAM 6945<br>CAM 7387 | CAM 7391             |
| III          | CAM 6612             | CAM 7303             |
| IV           | CAM 6650             | CAM 7304             |
| B<br>B bis   | CAM 6634<br>CAM 6665 | CAM 7305<br>CAM 7306 |
| V            |                      | CAM 6620             |

### 3 - LEVERS HYDROGRAPHIQUES

| Zone | 1 9 5 5     |           | 1 9 5 6     |           |
|------|-------------|-----------|-------------|-----------|
|      | Lever<br>N° | Référence | Lever<br>N° | Référence |
| I    | 1           | CAM 5920  | 1           | CAM 6653  |
|      | 2           | " 5938    | 2           | " 6654    |
|      | 3           | " 5935    | 3           | " 6676    |
|      |             |           | 4           | " 6675    |
|      |             |           | 5           | " 6674    |
| II   | 1           | CAM 6014  | 1           | CAM 6635  |
|      | 2           | " 5919    | 2           | " 6637    |
|      |             | " 6015    | 3           | " 6636    |
|      |             |           | 4           | " 6638    |
| III  | 1           | CAM 7294  | 1           | CAM 7295  |
|      | 2           | " 6249    | 2           | " 7296    |
|      | 3           | " 5980    | 3           | " 7297    |
| IV   | 1           | CAM 7298  | 1           | CAM 7300  |
|      | 2           | " 7299    | 2           | " 7301    |
|      | 3           | " 7385    | 3           | " 7302    |
|      | 1           | CAM 5918  | 1           | CAM 6666  |
|      | 2           | " 5979    | 2           | " 6667    |
|      | 3           | " 5978    | 3           | " 6668    |
|      |             |           | 4           | " 6669    |

### 4 - NIVELLEMENT

Néant

### 5 - LIGNES D'EAU

Lignes d'eau 1955

CAM 5.976

Lignes d'eau 1956

CAM 6.611

### 6 - PROFIL EN LONG DU CHENAL

Profil en long suivant ligne de route  
wallace - Octobre 1956

CAM 6.599

## 1 - TRIANGULATION -

La triangulation a été conduite en vue d'appuyer sur une base précise toutes les études topographiques et hydrographiques, ceci afin d'éviter l'accumulation des erreurs qui s'avèreraient particulièrement importantes pour d'aussi longs cheminement exécutés par simple polygonale.

Cette opération a couvert par une chaîne de triangles la zone comprise entre le FARO et DAIMARE.

### a) Reconnaissance -

Une reconnaissance préliminaire nous a permis de constater que 70 à 80 balises seraient nécessaires pour signaler les sommets des triangles.

Nous décidions par ailleurs de borner un sommet tous les deux à trois kilomètres sur la rive droite. Ces bornes devaient être nivelées géométriquement par un double cheminement au fur et à mesure de l'avancement du balisage.

### b) Balisage -

Nous avons recherché un modèle simple de balises en bois avec 2 panneaux superposés à 90° pouvant être rapidement installés au moyen de quelques clous sur 3 ou 4 pieds et sous lesquelles on puisse stationner commodément.

Le balisage a été effectué en deux tranches :

1°) Du FARO à AIDALA, soit environ la moitié de la section FARO-DAIMARE, du 26 Novembre au 20 Décembre 1954. Le nivellement géométrique des bornes placées sur la rive droite avait été conduit de front depuis le repère de TEPE, à 2 km en aval du confluent FARO-BENOUE jusqu'en aval d'OURO-BOKI.

Les balises furent entièrement confectionnées sur place, les voliges ayant été amenées de GAROUA sur une pirogue avec le matériel de campement.

Nous avons utilisé un moteur hors-bord et un canot pneumatique pour l'installation des premiers signaux. Dès le 10 Décembre, la baisse rapide des eaux nous contraignait à renoncer au moteur. Nous devions dès lors utiliser une pirogue.

Le 20 Décembre, pour des raisons matérielles, nous abandonnions le balisage pour entreprendre le nivellement entre l'échelle de YOLA et NULAN.

2°) Le 15 Février 1955, après avoir stationné les sommets entre le FARO et AMDALA et amené le nivellement de front, nous reprenions la suite du balisage, cette fois avec un canot en aluminium dirigé à la perche par un piroguier.

Mené de pair avec les observations et le nivellement, le balisage fut effectué par tronçons d'environ 8 signaux afin de minimiser les déplacements. Nous ne déplaçons le campement que tous les cinq jours environ.

Le 4 Mars, nous posons la dernière balise à DAILLARE.

### c) Matérialisation des sommets -

Il n'a pas toujours été possible de matérialiser les sommets de la rive droite par des bornes ; les signaux ont parfois été installés, soit sur des bancs de sable, soit sur des berges inondées pendant les crues ou susceptibles d'être érodées. Dans ces cas, chaque fois que nous l'avons jugé nécessaire, les sommets de la triangulation susceptibles d'être détruits ont été rattachés à des bornes situées sur un terrain stable.

Lorsque nous disposions de rochers, entre AMDALA et DAILLARE, nous avons utilisé quelques gravures qui, repérées à la peinture, durent plus longtemps que les bornes.

Partout ailleurs, sur la rive gauche en particulier, où nous n'avons disposé que quelques bornes, les sommets ont été matérialisés par des piquets.

Les quelques îles plus ou moins boisées qui encombrèrent le lit de la rivière furent de sérieux obstacles à franchir. Les plantations de mil nous causèrent également quelques ennuis entre OURO-BOKI et PARKOUMIO. Les balises signalant le chenal, posées par M. LEBEC, hautes de plus de 4 mètres, se détachant bien sur l'horizon, nous ont beaucoup aidés à surmonter ces difficultés.

d) Main d'oeuvre -

Deux manoeuvres furent recrutés à GAROUA fin novembre. L'équipe fut par la suite complétée sur la BENOUE mais ce n'est pas tant la triangulation que le nivellement qui en conditionna l'effectif. Trois manoeuvres et un piroguier suffisaient en effet au balisage.

L'essentiel de la besogne des manoeuvres consistait à porter les éléments des balises, l'outillage nécessaire à leur installation et à débrousser les emplacements, parfois à couper des arbustes, des roseaux et des herbes pour améliorer le champ visible.

Fin décembre un clerck fut mis à notre disposition pour tenir le carnet lors des observations. Il se rendit utile dans les opérations de balisage pouvant diriger l'installation des signaux une fois leur emplacement choisi.

Nous utilisions les jumelles pour repérer les balises lointaines, invisibles à l'oeil nu.

Nous posions ainsi 4 à 6 signaux par jour, selon les difficultés rencontrées.

Pour les observations, la même main-d'oeuvre suffisait pour porter le matériel et au besoin compléter le débroussaillage.

e) Mesures des bases -

Nous avons chaîné au ruban de 20 mètres, 2 bases situées respectivement sur la rive droite en aval d'OURO-BOKI et sur la rive gauche en aval de NZOBOLYO. La première est au 1/4, la deuxième aux 3/4 de la section FARO-DAMARE.



Pour chacune d'elles des piquets dépassant de 20 cm au-dessus du sol et portant un clou ont été alignés à une distance inférieure à 20 mètres, de manière à favoriser la tension du ruban.

Les mesures ont été répétées 4 fois, les distances partielles étant comparées après chaque opération.

Nous avons nivelé les piquets pour tenir compte des réductions à l'horizontale.

Le sol avait été débarrassé de toutes herbes, arbrisseaux et mottes de terre susceptibles d'être une cause de gêne.

Nous avons opéré au lever du jour, cessant tout chaînage après 7 H.30, afin que le soleil n'ait aucune influence sur le ruban. Nous avons estimé la température moyenne à 25° centigrade, les chainages ayant eu lieu en Février, période pendant laquelle les nuits sont relativement fraîches.

Nous avons ainsi obtenu les résultats suivants :

- Mesures de la base I d'OURO-BOKI

|                                      |       |                   |
|--------------------------------------|-------|-------------------|
| 1er chaînage                         | ..... | 1.558,657 m       |
| 2ème "                               | ..... | 1.558,803 m       |
| 3ème "                               | ..... | 1.558,700 m       |
| 4ème "                               | ..... | 1.558,765 m       |
| Moyenne des chainages                | ..... | 1.558,73 m        |
| Réduction à l'horizontale            | ..... | - 0,05 m          |
| Correction de dilatation de ruban .. |       | + 0,06 m          |
| Distance adoptée                     | ..... | <u>1.558,74 m</u> |

- Mesures de la base II de NZOBOLYO

|                                      |                 |
|--------------------------------------|-----------------|
| 1er chaînage .....                   | 867,890 m       |
| 2ème " .....                         | 867,814 m       |
| 3ème " .....                         | 867,799 m       |
| 4ème " .....                         | 867,875 m       |
| Moyenne des chaînages .....          | 867,84 m        |
| Réduction à l'horizontale .....      | - 0,03 m        |
| Correction de dilatation du ruban .. | + 0,03 m        |
| <u>Distance adoptée .....</u>        | <u>867,84 m</u> |

Lors de la résolution des triangles, nous avons choisi le côté G'H' entre les deux bases pour comparer les résultats :

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| - à partir d'OURO-BOKI ..... | 1.713,91 m |
| - à partir de NZOBOLYO ..... | 1.713,70 m |

Soit un écart de 0,21 m.

Nous avons adopté la moyenne et n'avons compensé que sur les triangles attenants à ce côté.

f) Mesure des angles -

Pour la mesure des angles, nous avons employé le théodolite Wild T<sub>2</sub> n° 39.534, appareil neuf auquel nous avons fait subir les vérifications d'usage.

Nous avons stationné la plupart des sommets composant la chaîne des triangles principaux, effectuant 3 tours d'horizon à chaque station, le second après basculement de la lunette, le troisième après décalage du limbe avec retour de la lunette dans sa position normale.

g) Observations -

Les observations ayant duré du 24 Janvier au 7 Mars, nous avons bénéficié d'une visibilité généralement médiocre due à la brume sèche apportée par l'harmattan

Certains jours nous avons dû cesser toute observation après neuf heures le matin, les visées devenant impossibles au-delà d'un kilomètre.

Les visées à contre-jour ont toujours été délicates dès l'apparition du soleil ; une douzaine de sommets ont ainsi dû être stationnés en 2 fois (matin et soir). Dans quelques triangles, 2 angles furent seulement mesurés pour cette raison.

Pour les visées atteignant trois kilomètres en contre-jour et pour les balises difficilement visibles, dans le mil en particulier, nous avons placé des drapeaux blancs d'un mètre carré derrière les panneaux.

A diverses reprises, notamment en amont de BILACHI, en amont et en aval de PARKOUMO, vers AMDAIA, NZOBOLOYO et TAKANDE, nous avons utilisé comme sommets principaux des balises du commandant LEBEC qui, suffisamment hautes, se détachaient bien sur l'horizon.

Nous opérons le matin du lever du jour à dix heures lorsque la visibilité le permettait et le soir de 15 h.30 à la tombée de la nuit. Nous stationnions ainsi 4 à 5 sommets par jour selon les déplacements à effectuer entre les balises.

Les tours d'horizon comportant parfois plus de 15 visées demandaient environ trois-quarts d'heure par station.

Un clerk tenait le carnet répétant les lectures à voix haute au fur et à mesure qu'il les inscrivait. Avant de quitter la station, nous nous assurons qu'aucune anomalie n'apparaissait entre les tours d'horizon et leur fermeture.

#### h) Rattachement des bornes -

Les bornes ont été rattachées de différentes manières :

1°) par simple rayonnement pour celles qui étaient proches d'un sommet, la distance étant mesurée au ruban ou à la stadia selon la longueur ;

2°) par triangulation pour celles qui étaient loin d'un sommet ;

3°) par cheminement ; ce fut le cas pour la borne T d'OURO MAYO et W bis qui étaient invisibles de leur proche sommet et durent être rattachées par une station intermédiaire.

i) Fermetures angulaires des triangles -

Les fermetures angulaires des triangles calculées au fur et à mesure de l'avancement se sont révélées excellentes malgré la médiocrité de la visibilité ; elles sont de l'ordre de 2 milligrades pour plus de la moitié des triangles et n'atteignent qu'exceptionnellement 8 milligrades.

j) Rattachement au point astronomique de BILACHI

Nous nous sommes rattachés à la borne placée le 24 Janvier 1955 par le Service Géographique du Cameroun sur la rive droite de la BENOUE en amont du MAYO TIEL et définie par les coordonnées :

$$\begin{aligned} L &= 9^{\circ} 22' 09'' 1 \\ M &= 12^{\circ} 51' 15'' 9 \end{aligned}$$

Cependant, recherchant la simplicité et la rapidité dans nos calculs, nous n'avons pas cru nécessaire de transformer ces coordonnées et avons adopté un système de coordonnées rectangulaires locales. L'axe de Y étant orienté selon le nord géographique, nous avons adopté pour cette borne les coordonnées suivantes :

$$\begin{aligned} X &= 199.997,87 \text{ km} \\ Y &= 200.000,56 \text{ km} \end{aligned}$$

k) Stations méridiennes

Aucun autre point astronomique n'existant dans la région, nous avons fait une station méridienne par la méthode des hauteurs égales avec des étoiles à l'une des extrémités de chacune de nos bases, réitérant trois fois nos observations :

1°- Station en S bis OURO-BOKI, observations sur Canopus le 3 Février, entre 19 h et 24 h : écart maximum entre les 3 observations : 1 centigrade ;

2°- Station en X NZOBOLYO, observations sur la Grande Ourse, entre 22 h et 4 h30, les 27 et 28 Février : écart maximum entre les 3 observations : 2 milligrades.

L'écart de fermeture constaté entre l'azimut du Service Géographique relevé à BILLACHI et la méridienne de OURO-BOKI est de 1 centigrade.

L'écart de transmission de l'azimut entre OURO-BOKI et NZOBOLYO a été trouvé égal à 51 milligrades.

Toujours par souci de simplicité, nous avons compensé proportionnellement sur chaque sommet entre OURO-BOKI et NZOBOLYO, sans tenir compte de la correction de convergence. Nous l'avons fait avec d'autant moins de scrupules que le côté de triangle le plus éloigné d'une méridienne est O"P" à DAMIARE, à moins de 16 km de NZOBOLYO.

### 1) Report -

Le calcul et le report de l'ensemble de la triangulation ont été effectués à l'échelle du 1/10.000°. Des signes conventionnels ont été employés pour distinguer bornes, gravures sur rocher, balises Lebec, piquets (voir en annexe graphique CAM 7432).

D'autre part, on trouvera ci-après un tableau donnant la nomenclature des principaux points triangulés (ceux matérialisés par un repère durable) avec des renseignements succincts sur leur situation.

COORDONNEES DES PRINCIPAUX POINTS

TRIANGLES AU FARO A DAIARE

|                | X            | Y            |                                                                                               |
|----------------|--------------|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| A              | : 207.985,30 | : 196.102,62 | Borne rive droite - village MAGAMI                                                            |
| E              | : 207.135,35 | : 197.687,74 | Borne rive droite, face au village<br>TEPE                                                    |
| G              | : 205.346,84 | : 198.490,21 | Borne rive droite                                                                             |
| T <sub>1</sub> | : 203.604,47 | : 198.539,20 | Borne rive droite, face village<br>OURO-MAYO                                                  |
| I bis          | : 204.146,10 | : 197.805,25 | Borne rive gauche - village KOTIEL                                                            |
| K bis          | : 202.877,63 | : 198.743,89 | Borne rive droite sous gros baobab                                                            |
| M              | : 201.112,28 | : 199.436,81 | Borne rive droite                                                                             |
| SG             | : 199.997,87 | : 200.000,56 | Point astronomique Service<br>Géographique A.E.F. Cameroun<br>L = 9°22'09"1<br>M = 12°51'15"9 |
| O              | : 199.637,42 | : 200.165,21 | Borne amont confluent Mayo TIEL<br>rive droite                                                |
| Q              | : 196.350,12 | : 201.652,65 | Borne rive droite (zone d'affouil-<br>lement) appelée à disparaître                           |
| Q bis          | : 196.359,16 | : 201.661,85 | Borne rive droite                                                                             |
| S              | : 193.491,36 | : 201.686,60 | Borne devant campement Jhon Holt<br>à OURO-BOKI rive droite                                   |
| U              | : 191.664,44 | : 200.048,66 | Borne rive droite - Section jau-<br>geage                                                     |
| X              | : 189.501,03 | : 199.401,98 | Borne rive droite                                                                             |
| Y bis          | : 188.251,61 | : 198.715,75 | Borne rive droite                                                                             |

|         | X          | Y          |                                                                   |
|---------|------------|------------|-------------------------------------------------------------------|
| A bis   |            |            | Borne rive droite                                                 |
| C'bis   | 184.557,15 | 196.600,15 | Borne rive droite                                                 |
| E'bis   | 183.011,48 | 194.665,99 | Borne rive droite                                                 |
| TR-15   | 180.590,80 | 192.507,16 | Borne rive droite amont village<br>ADMAIA                         |
| J'bis   | 177.910,90 | 191.691,81 | Borne rive droite                                                 |
| K'bis   | 176.580,69 | 190.704,53 | Gravure sur rocher rive droite<br>face au village LOUGA           |
| L'bis   | 176.631,60 | 189.772,10 | Borne rive gauche                                                 |
| O'      | 174.870,42 | 189.494,08 | Gravure sur rocher - rive droite -<br>repérée à la peinture rouge |
| O'bis   | 174.981,29 | 189.308,35 | Borne rive droite                                                 |
| P'      | 173.989,75 | 187.051,06 | Borne rive gauche                                                 |
| R'bis   | 172.475,69 | 187.531,38 | Borne rive droite                                                 |
| U'      | 169.719,88 | 186.376,04 | Gravure sur rocher rive droite -<br>repérée à la peinture blanche |
| U'bis   | 169.710,26 | 186.316,27 | Gravure sur rocher rive droite -<br>repérée à la peinture blanche |
| W°      | 168.341,43 | 185.923,14 | Gravure sur rocher rive droite -<br>repérée à la peinture blanche |
| W'bis   | 168.265,40 | 185.794,02 | Borne rive droite                                                 |
| N-18bis | 167.234,38 | 184.868,75 | Borne rive gauche                                                 |
| A"      | 165.215,54 | 185.731,68 | Gravure sur rocher rive droite -<br>repérée à la peinture rouge   |
| A"bis   | 165.188,45 | 185.660,89 | Borne rive droite                                                 |
| D"bis   | 163.061,21 | 185.447,65 | Borne rive gauche face village<br>ROUGUEWGUE                      |
| E"      | 162.483,00 | 186.452,67 | Gravure sur rocher - rive droite -<br>repérée à la peinture rouge |

|          | X          | Y          |                                                                                   |
|----------|------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| E"bis    | 162.535,78 | 186.268,31 | Borne rive droite                                                                 |
| R-23bis  | 160.627,40 | 188.161,74 | Borne rive droite                                                                 |
| J"       | 158.757,21 | 187.988,83 | Gravure sur rocher rive gauche -<br>repérée à la peinture rouge                   |
| Borne I  | 158.928,12 | 189.415,92 | Borne rive droite                                                                 |
| L"       | 158.109,72 | 189.076,04 | Gravure sur rocher rive gauche<br>sous belvédère Résidence YOLA<br>peinture rouge |
| Echelle  | 157.818,75 | 189.819,10 | Face station pompage-rive gauche                                                  |
| YOLA     |            |            |                                                                                   |
| EDF      |            |            |                                                                                   |
| U.A.C.   | 157.510,94 | 190.317,70 | Rive gauche angle aval des hangars<br>à toits rouge côté BENOUE                   |
| Magasin  | 157.363,61 | 190.735,39 | Rive gauche - extrémité faîtière<br>côté amont                                    |
| SCOA     |            |            |                                                                                   |
| YOLA     |            |            |                                                                                   |
| Borne II | 157.607,88 | 191.584,36 | Borne rive droite amont débarca-<br>dère du bac                                   |
| 9"       | 156.824,02 | 192.877,70 | Gravure sur rocher près gros<br>baobab - repérée à la peinture                    |
| Magasin  | 155.162,07 | 193.905,88 | Rive droite - extrémité faîtière<br>amont                                         |
| SCOA     |            |            |                                                                                   |
| (DAL-    |            |            |                                                                                   |
| MARE)    |            |            |                                                                                   |
| Borne I  | 154.569,71 | 193.981,04 | Rive droite - section de jaugeage                                                 |
| (DAL-    |            |            |                                                                                   |
| MARE)    |            |            |                                                                                   |



## 2 - LEVERS TOPOGRAPHIQUES -

Un premier levé tachéométrique du lit de la BENOUE a été effectué au début de 1955, entre le confluent du FARO et les environs des villages de RIBADU et DASHIN. Cette même section de la BENOUE a été levée à nouveau l'année suivante. Un levé complémentaire a été également effectué en 1956 près de GALLADIO (Zone V).

Les polygonales de ces levers s'appuient sur les sommets de la triangulation qui servent de base pour les fermetures en planimétrie. Le nivellement de précision vient compléter la triangulation pour les fermetures en altimétrie.

### a) Matériel utilisé -

Appareils : Nous avons utilisé 2 théodolites Wild T2 n° 39.534 et T2 n° 39.561, soigneusement réglés au début des travaux et étroitement surveillés par la suite, en particulier en ce qui concerne le niveau de verticalité et le niveau de collimation. Nous les avons employés avec des trépieds Wild à double branches, du type III b.

Mires : Chaque équipe utilisait un jeu de 3 mires Sanguet pliantes, munies de nivelles sphériques et graduées en centimètres sur une longueur de quatre mètres avec un talon de 5 cm à la base. La plus grande attention était apportée au réglage périodique des nivelles. Comme au cours du nivellement les portemires assuraient la stabilité de ces mires au moyen d'un jalon appuyé sur la poignée horizontale tenue à deux mains.

Les mires souffrirent beaucoup d'être dressées alternativement dans l'eau du chenal et sur les bancs de sable, sous l'action intense du soleil. Les deux mires consacrées à la polygonale devenues insuffisamment précises durent être remplacées dans chaque équipe au cours de la campagne.

Piquets : Mille piquets en bois de brousse préparés à l'avance, longs de 70 cm pour 5 à 6 cm de diamètre, ont servi à l'implantation des stations.

Canot et pirogues : Un canot en aluminium et une grande pirogue indigènes nous ont servi à déplacer le matériel de campement. Le canot fut en outre utilisé dans le chenal pour le nivellement des fonds.

Matériel de campement : Nous avons utilisé une petite tente canadienne de 2 m,50 x 1 m,80 avec double toit pour protéger le matériel des violentes tornades qui sont fréquentes en Mai et Juin. Deux bâches de 4 m x 6 m, utilisées avec des nattes indigènes, nous servaient d'abri contre le soleil et la pluie.

Le campement était toujours installé sur un banc de sable. Nous nous déplaçons une fois par semaine d'environ 5 km.

#### b) Opérations sur le terrain -

Personnel : En 1955 les opérations ont été menées à bien par deux équipes opérant, l'une sur la gauche du lit (M. DENJEAN), l'autre sur la droite (M. RIMBERT), et comprenant chacune :

- 1 opérateur - croquiseur
- 1 secrétaire tenant le carnet
- 3 porte-mire (dont 1 piroguier)
- 1 porte-parasol

En 1956, M. RIMBERT a été partiellement aidé par M. CHAUMEIL.

Horaire de travail : Nous opérons de 6 H.15 à 10 H.30 ou 11 H. et de 15 H. à 18 H.30, bien qu'après 10 H. et avant 16 H. les conditions de visibilité dues à la réfraction n'étaient guère favorables à la mesure des distances.

Implantation des cheminements : Elle était étudiée de concert par les deux opérateurs qui prévoyaient à l'avance l'emplacement des bretelles reliant leurs cheminement. Elle était faite, en général, l'après-midi, ce qui permettait à chaque opérateur d'implanter 50 à 70 piquets soit 3 à 5 jours de levers.

A cette occasion, les opérateurs préparaient leurs croquis avec la position des stations, leur intertriculation et tous les détails de la planimétrie. Il ne leur restait plus qu'à situer les points nivelés avec le tachéomètre, au moment du lever.

Afin d'obtenir des côtés aussi réguliers que possible les distances entre stations étaient évaluées au pas pour être comprises entre 80 et 120 mètres. Cependant, la disposition du chenal nous a contraints parfois à adopter des intervalles plus courts ou plus longs (traversée des chenaux ou des mares). C'est ainsi que quelques côtés dépassent 200 mètres, le plus long atteignant 272 mètres.

La majorité des stations étant dans le lit apparent de la rivière, nous laissons les piquets dépasser de 15 à 30 cm au-dessus du sable pour qu'ils soient facilement retrouvés au moment du lever. Ils étaient surmontés d'un clou qui dépassait leur tête de 2 cm pour augmenter la précision des mesures d'angles horizontaux. Le téton du talon de mire était toujours placé sur le piquet derrière le clou.

Dans les zones où des levers hydrographiques étaient projetés pour la saison des pluies un certain nombre de balises et de marques à la peinture furent placées sur les arbres des rives et relevées à l'occasion du lever.

Conduite des cheminements : Les cheminements, exceptés les bretelles qui les reliaient, étaient toujours tendus entre deux sommets de la triangulation, le premier et le dernier côté étant orienté dans le système des triangles de façon à transmettre, vérifier et compenser les gisements de station en station.

Polygonale : Tous les sommets de la polygonale étaient stationnés. L'appareil étant calé, l'opérateur visait le clou du piquet arrière et amenait le linbe horizontal aux environs de 0 ; il effectuait un premier pointé sur la mire, le fil axial du réticule coïncidant avec une côte ronde (1 n,40 par exemple), lisait les intersections des 3 fils du réticule sur la mire, l'angle horizontal et l'angle vertical après avoir amené les images du niveau de collimation en coïncidence. Le secrétaire inscrivait ces lectures en les répétant au fur et à mesure à haute voix. L'opérateur effectuait alors un second pointé avec le fil axial sur une autre côte ronde (1 n,60 par exemple), il lisait à nouveau les intersections du réticule sur la mire et l'angle vertical en opérant comme précédemment, le secrétaire inscrivait et répétait les lectures.

La lunette était alors retournée bout pour bout par l'opérateur qui faisait subir au cercle alidade une rotation de 200 grades pour pointer à nouveau la mire arrière avec le fil axial sur la même cote ronde que précédemment ( 1 m,60 ) et effectuer une série complète de lectures sur la mire et les limbes.

Les mêmes opérations étaient renouvelées pour la station avant.

Points de détail : Il était ensuite procédé au lever des points de détail pour lesquels, dans la mesure où la planimétrie le permettait, les 3 porte-mires étaient dirigés selon deux lignes de profils perpendiculaires à la polygonale de part et d'autre de la station et à mi-distance entre la station et le piquet avant, ce qui, théoriquement, nous donnait des lignes de points parallèles tous les 50 mètres. La densité de ces points était conditionnée par l'aspect plus ou moins régulier du lit. Ils étaient pris en plus grand nombre dans le chenal où des accidents des fonds risquaient de nous échapper, que sur les bancs de sable.

Dans le chenal et les mares où la profondeur excédait 1 mètre, nous utilisions dans la mesure du possible le canot métallique ou la pirogue où se tenait un porte-mire. Toutefois, dans les trous localisés, pour éviter des pertes de temps, il nous est arrivé de faire dresser des mires par un homme à la nage dans 1 m,50 à 2 m d'eau.

Le canot présentait sur la pirogue le grand avantage de pouvoir être utilisé par un piroguier qui le manoeuvrait seul à la perche, jetait l'ancre et tenait la mire sans qu'il y eût perte de temps puisque l'opérateur dirigeait les deux autres porte-mire pendant ce temps. La pirogue moins stable et moins maniable exigeait un piroguier et un porte-mire. Dans les fosses où la mire était trop profondément immergée pour permettre la lecture d'au moins 2 fils du réticule, une seule lecture était faite sur la mire, à l'intersection du fil axial avec mesure des angles, horizontaux et verticaux. La distance était mesurée sur la mire dressée sur le fond du canot. Lorsque la profondeur dépassait 4 mètres, ce qui était exceptionnel, la profondeur était mesurée avec la perche qui servait à manoeuvrer le bateau, longue de 5 m ; la distance était mesurée comme précédemment avec l'angle horizontal et au point suivant le niveau de l'eau était lu sur la mire ; cette opération était d'ailleurs effec-

tuée périodiquement pour faire les corrections en rapport avec les variations de l'échelle d'OURO-BOKI, au moment du report du chenal.

La planimétrie était assez simple ; outre la délimitation des rives, des îles et du plan d'eau, elle consistait essentiellement au relevé des lignes constituées par les petites falaises (50 cm à 2 ou 3 m) qui coupent les bancs de sable.

Nous avons fait couramment des visées jusqu'à 200 mètres, exceptionnellement nous avons atteint et dépassé 300 mètres, mais ce genre de visée était interdit en fin de matinée et en début d'après-midi.

Chaque opérateur levait 12 à 15 stations par jour, soit 200 à 300 points de détail.

Des croquis des zones levées étaient dressés par le croquiseur qui reportait sur le dessin l'emplacement approximatif du point levé et son numéro d'ordre correspondant au carnet. Ce qui permet, lors de la restitution, une meilleure interprétation des zones accidentées.

Difficultés rencontrées : Elles furent dues principalement à la réfraction qui diminuait notablement la précision des distances en fin de matinée et en début d'après-midi où il nous est arrivé de noter des écarts importants entre les diverses mesures des côtés de la polygonale (20 à 50 cm).

La direction de porte-mires comprenant mal le sens du travail fut également une source permanente de soucis, en particulier à grandes distances et dès que le lever planimétrique exigeait un peu d'initiative.

D'autre part, le vent dominant d'ouest fut assez violent certains jours pour nous interdire l'emploi du parasol et compliquer la tenue du croquis.

La pluie nous occasionna quelques pertes de temps en nous interdisant d'opérer sur le terrain pendant une demi-journée à diverses reprises.

Fin Mai et en Juin la montée des eaux rendait plus difficile les opérations de lever dans le chenal.

Vérifications journalières : Au retour au campement chaque demi-journée, station par station, nous vérifions :

- si la somme des angles verticaux obtenus dans les deux positions de la lunette avec le fil axial sur une même cote de la mire était égale à 400 grades, au défaut de collimation près ;

- nous calculions et comparions les angles azimuthaux ;

- nous extrayions et comparions les nombres générateurs intéressant la polygonale (6 par côté)

Lorsqu'une anomalie était constatée la station en cause était reprise.

Nivellement des stations : Il a été calculé et compensé à partir des bornes et repères du nivellement géométrique de la rive droite. Les calculs ont été portés sur un tableau qui a servi également pour le calcul des coordonnées des stations.

Les compensations ont été faites proportionnellement au nombre des stations ; elles ont rarement dépassé 1 cm par station.

Nivellement des points de détail : Les calculs ont été exécutés à partir de la table de Bous, directement sur les carnets.

Calcul des cheminements polygonaux : Ils ont été calculés, mis en coordonnées et compensés à partir des sommets de la triangulation, sur le même tableau que le nivellement.

Calcul des gisements : Ils ont été transmis de station en station, entre 2 sommets de la triangulation. Les fermetures qui se sont révélées normales, ont été compensées proportionnellement au nombre des stations, en général quelques milligrades par station, exceptionnellement quelques centigrades (2 à 6) sur des portions de cheminement entachées de petites fautes que nous n'avons pu déceler.

Calcul des coordonnées des stations :

Comme les gisements, elles ont été calculées et compensées proportionnellement au nombre des stations par section de cheminement entre 2 sommets de la triangulation, ou entre 2 stations préalablement calculées dans des cheminements différents quand il s'agissait des bretelles. Les fermures étaient moins bonnes que celles concernant les gisements. Cela provient des difficultés rencontrées dans la mesure des côtés de la polygonale aux heures d'intense réfraction déjà signalée et des quelques longs côtés (plus de 200 m) que nous avons dû incorporer dans certains cheminements pour les traversées de chenaux. Toutefois, nous avons rarement fait des corrections de plus de 20 cm par station et plus de la moitié des cheminements ont subi des corrections de moins de 10 cm par station pour chacune des coordonnées.

Report : Nous avons reporté d'abord les sommets de la triangulation et les stations, avec leur immatriculation, sur une minute quadrillée tous les 10 cm.

Les points de détail ont été ensuite reportés avec leur numéro au crayon, au moyen d'un rapporteur tachéométrique. Ils ont été alors cotés ainsi que les stations.

La planimétrie a été alors dessinée à partir des croquis pris sur le terrain ; enfin, il a été procédé au tracé à vue des courbes de niveau tous les mètres ou tous les 50 cm, suivant leur espacement.

### 3 - LEVERS HYDROGRAPHIQUES -

Les levers hydrographiques ont été exécutés durant les périodes de hautes eaux 1955 et 1956 (Juillet à Octobre). Ces levers se différencient des levers topographiques par les méthodes employées et par les références altimétriques utilisées. Dans les levers hydrographiques, on obtient des cotes de profondeur par rapport à un plan d'eau de référence, alors que les levers topographiques fournissent des cotes en altitudes absolues.

#### a) Matériel utilisé -

Les levers hydrographiques ont été exécutés au moyen du matériel suivant :

- Pour les déplacements, nous avions une vedette (La "Mouette") de 8 m de long, 2 m de large et ayant un tirant d'eau de 0,60 m.
- Sur les berges, nous utilisions deux tachéomètres WILD T2 pour les recoupements de chaque point sondé.
- D'autre part, sur le bateau, un cercle hydrographique était employé pour guider le déplacement de la vedette suivant un arc de cercle, lorsque nous utilisions cette méthode.
- Une perche de 5 m de long, graduée de 10 cm en 10 cm, et manoeuvrée à bras devait être remplacée en fin de lever par un sondeur ultra-sons.
- A ce matériel venaient s'ajouter les accessoires nécessaires au balisage (panneaux de bois peints en blanc et drapeaux).

Balisage : Dans les levers hydrographiques, nous retrouvions pour base de nos rattachements la plupart des repères placés lors des levers topographiques. Ce système de balisage devait être, cependant, complété pour permettre de couvrir d'une façon assez serrée les zones à lever. Des repères provisoires constitués par des drapeaux rouges et blancs étaient placés sur les berges à des intervalles d'environ 150 à 200 m. Les repères principaux nous donnaient la possibilité de placer immédiatement les levers hydrographiques dans le même système de coordonnées que les levers topographiques.



b) Opérations sur le terrain -

Personnel : L'équipe chargée des levés était essentiellement composée de :

- 2 opérateurs sur la berge chargés du recouplement au tachéomètre,
- 1 opérateur sur le bateau dirigeant celui-ci, suivant des alignements ou des arcs de cercle,
- 1 secrétaire chargé de la tenue du carnet,
- 1 sondeur à la perche, supprimé lorsqu'on a pu utiliser un appareil de sondage à ultrasons,
- 1 barreur,
- 1 signalisateur, chargé de synchroniser depuis le bateau les mesures de profondeur et les mesures d'angles au tachéomètre,
- 1 manoeuvre,

Méthodes utilisées : Nous avons employé deux méthodes différentes en 1955 et 1956 :

- Méthode des alignements (1955)

Cette méthode utilisée durant les levés de 1955, est basée sur un déplacement en dents de scie allant alternativement d'une rive à l'autre. Nous avons opéré de la manière suivante :

Sur le bateau, un opérateur partait d'une balise donnée et dirigeait la vedette vers une deuxième balise en restant, dans la mesure du possible, sur l'alignement joignant ces deux points.

Un signalisateur, muni d'un chronomètre et d'un drapeau, et placé sur la vedette de façon à être bien visible de loin, était chargé d'orchestrer les mesures qui devaient être faites simultanément sur le bateau et sur les berges. Toutes les vingt secondes, sur un signal de son drapeau, la perche de sonde était plongée dans l'eau et les tachéomètres pointés sur le bateau.

La profondeur d'eau relevée depuis le bateau était transmise au secrétaire qui inscrivait sur son carnet le numéro du point et la profondeur correspondante. Sur les berges, chacun des opérateurs des tachéomètres inscrivait également sur son carnet le numéro du point et l'angle azimutal relevé par rapport à une référence bien connue. On obtenait ainsi trois carnets différents qui se complétaient pour fournir la position et la profondeur du point relevé. Pour assurer la parfaite concordance du numérotage des points sur les 3 carnets, un signal spécial était donné tous les cinq points.

#### - Méthode des arcs capables (1956)

L'opérateur qui, précédemment, était chargé de suivre un alignement à vue, était équipé d'un cercle hydrographique afin de lui permettre de suivre un arc de cercle (arc capable d'un angle donné, par rapport à deux balises fixes). Nous retrouvons sur les berges les deux topographes chargés du recouplement. En fin de campagne, la perche graduée a été remplacée par un sondeur ultra-sons qui facilitait notre tâche.

Les principes de la nouvelle méthode étaient les suivants :

##### - Balises :

Nous avions en place les mêmes repères de base que l'année précédente, mais le nombre nécessaire de repères complémentaires était beaucoup moins important.

##### - Principe :

Le but recherché consistait à recouvrir le lit de la BENOUE par un faisceau d'arcs de cercle basés sur deux balises de référence, situées de part et d'autre du lit de la BENOUE.

Pratiquement, nous opérons de la manière suivante :

Nous dressions, en premier lieu, sur un croquis, le schéma des différents arcs de cercle nécessaires pour obtenir une répartition homogène des sondages. Nous obtenions ainsi, d'après la position des balises, les angles correspondant aux arcs que le bateau devait parcourir.

Sur le bateau, l'opérateur du cercle hydrographique portait sur cet instrument l'angle définissant l'arc qu'il voulait suivre. Il pointait les deux balises et essayait de conserver la coïncidence en indiquant par signe au barreur les corrections à apporter à la direction de marche.

Le reste de l'équipe renouvelait les mêmes opérations que celles suivies dans les relevés par alignements. L'utilisation d'un sondeur à ultra-sons, au lieu d'une perche de sonde, permettait un relevé continu du fond, donc beaucoup plus précis. Sur la bande d'enregistrement, une marque numérotée était inscrite toute les 20 secondes, en synchronisme avec les relèvements des tachéomètres.

### c) Restitution -

Tous les levés hydrographiques ont été restitués à l'échelle 1/2.000<sup>e</sup>.

Pour la restitution, nous devions tout d'abord reporter dans le système de coordonnées les points définissant les alignements ou les arcs de cercles suivis par la vedette et les emplacements des opérateurs chargés du recouplement.

Pour chacun des tachéomètres, nous reportions en partant des références les azimuts de même numéro d'ordre qui, par leur intersection, définissaient les positions successives du bateau ; les points ainsi reportés ne suivaient qu'approximativement la ligne droite ou l'arc de cercle prévu, les déplacements du bateau étant modifiés par les courants ou les hauts-fonds rencontrés. Dans le troisième carnet, nous obtenions, pour le même numéro d'ordre, la profondeur d'eau qui subissait une correction, pour être ramenée à un plan d'eau de référence défini comme nous le verrons plus loin.

Nous noterons que, dans les deux méthodes, le but des déplacements, tant par alignements que par arcs capables, consistait surtout à guider la manoeuvre du bateau pour couvrir convenablement la zone à lever. L'emplacement exact des points de sondage était ensuite obtenu en ne considérant que les recouplements définis par la mesure des angles au théodolite.

Il est à noter que la méthode des arcs capables donne une densité de points plus homogène que celle des alignements. Elle nécessite, d'autre part, un balisage beaucoup plus restreint, car les balises prises deux à deux permettent de balayer une zone plus étendue en décrivant une succession d'arcs compris entre  $180^\circ$  et  $90^\circ$  (généralement décalés de  $15^\circ$ ).

#### PLAN D'EAU DE REFERENCE :

Dans les séries de levés hydrographiques, il nous était nécessaire de définir un plan d'eau de référence unique pour tous les levés, afin de permettre une étude comparative des fonds pour des périodes différentes.

Ainsi qu'il a été convenu avec NEDECO à la Conférence de LAGOS en Mai 1955, nous avons ramené toutes les profondeurs au plan d'eau de référence correspondant à une hauteur d'eau de 3,50 m à l'échelle limnimétrique d'OURO-BOKI. Les différents profils en long de la ligne d'eau de la BENOUE, relevés en 1955 et 1956, nous ont permis de déterminer facilement les corrections à apporter aux profondeurs mesurées dans les zones I à IV. Pour la zone V, située près de GAMADIO, la corrélation entre le niveau du plan d'eau et la hauteur à l'échelle d'OURO-BOKI devient plus lâche. Nous avons ramené les profondeurs à la cote 3' 0" de l'échelle NEDECO de GAMADIO (calage de 1955) car, en moyenne, elle correspond approximativement à une hauteur de 350 à l'échelle d'OURO-BOKI.

#### 4 - NIVELLEMENT -

Un nivellement de précision a été établi entre MALAPE (CAMEROUN) et IIBOUROU, d'une part, et entre KOULAWA et MAGAMI (confluent du FARO), d'autre part.

Nous obtenions ainsi une série de repères de nivellement sur laquelle venaient s'appuyer toutes les études ultérieures de topographie ou relevé des lignes d'eau.

Les repères disposés sur la rive droite, entre MAGAMI et DASHIN, ont servi également d'éléments de base pour le calcul des nivellements tachéométriques effectués à l'occasion des levés au 1/2.000<sup>e</sup> du lit de la BENOUE.

Ces nivellements ont eu pour origine les repères 5 et 5 - I du Service Géographique du CAMEROUN, scellés dans une borne commune à proximité du village de TEPE, rive droite BENOUE, face au confluent du FARO, avec respectivement pour altitude 172 m 174 et 172 m 085 (selon répertoire I.G.N. 1953).

Les opérations sur le terrain conduites selon la méthode du double cheminement (méthode CHOLESKY simplifiée) ont été menées en deux phases :

1<sup>o</sup> - Entre les repères de TEPE et IIBOUROU, en aval de NUMAN (116 km), du 26 Novembre 1954 au 3 Mars 1955. Une triangulation topographique du lit de la BENOUE fut conduite de front avec le nivellement entre le FARO et DAMIARE.

2<sup>o</sup> - Entre la tour du limnigraphe de MALAPE sur la Haute BENOUE et les repères de TEPE (31 km) et entre la borne A à MAGAMI et la tour du limnigraphe de KOULAWA sur le Bas-FARO (18 km) du 20 Février au 8 Mars 1956.

Tant sur la BENOUE que sur le FARO nous avons toujours opéré sur la rive droite, de l'amont vers l'aval pour la BENOUE, de l'aval vers l'amont pour le FARO.

a) Matériel utilisé -

Appareil : Nous avons utilisé le niveau à lunette WILD N2 n° 30.913 que nous avons soumis à diverses reprises aux contrôles et réglage d'usage.

Mires : Nous avons utilisé deux mires SANGUET graduées en centimètres et munies de nivelles sphériques.

Leur stabilité était assurée au moyen d'un jalon appuyé sur la poignée horizontale tenue à deux mains par le porte-mire.

Support de mire : Pour les opérations de 1954/55 entre TEPE et IMBOUROU, nous avons utilisé des piquets en bois de brousse de 40 cm de long pour 5 à 6 cm de diamètre enfoncés à refus dans le sol ; dans le sable nous portions la longueur des piquets à 70 cm pour 8 à 10 cm de diamètre. La tête d'un clou enfoncée au ras du piquet recevait le téton du talon de mire.

Sur la Haute-BENOUE et le Bas-FARO, nous avons employé des piquets en bois de brousse du même type, doublés d'un piquet métallique en fer cornière de 40 à 70 cm de long pour 5 cm de côté, selon les sols. Nous disposions d'un jeu de 4 piquets de chaque dimension.

b) Bornes et repères -

Bornes : A des intervalles variant entre 0 km,800 et 4 km,800, selon les possibilités offertes par la rive droite sur laquelle nous cheminions, nous avons placé des bornes en béton.

Ces bornes ont été implantées :

- Entre MAGAMI et YOLA à l'occasion du balisage nécessité par la triangulation qui précédait de peu le nivellement, les deux opérations étant menées de front pour minimiser les déplacements.

- Au fur et à mesure de l'avancement des cheminements pour les autres sections.

Chaque fois que ce fut possible, nous avons placé les bornes hors des zones inondées en des endroits faciles à repérer (proximité des villages, arbres ou

accidents de terrain remarquables etc...) Nous n'avons pas ménagé les marques à la peinture sur les arbres voisins, en particulier sur la Haute-BENOUE et le FARO où le repérage des bornes sur les photographies aériennes s'est révélé difficile.

Pour assurer la stabilité de ces bornes qui ne reposent sur aucune fondation, nous les avons doublées par des clous enfoncés dans des arbres voisins et rattachés par nivellement aux bornes.

Voici la comparaison des dénivelées entre quelques bornes et clous à 8 mois d'intervalle :

| Désigna-<br>tion des<br>bornes | Dénivelées<br>en Juillet<br>1955 | Dénivelées<br>en Mars<br>1956 | Diff.<br>Σ<br>mm | Désigna-<br>tion des<br>bornes | Dénivelées<br>en Juillet<br>1955 | Dénivelées<br>en Mars<br>1956 | Diff.<br>Σ<br>mm |
|--------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|------------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|------------------|
| E                              | - 0,168                          | - 0,166                       | - 2              | E" bis                         | + 0,863                          | + 0,859                       | - 4              |
| G                              | + 0,642                          | + 0,643                       | + 1              | IX                             | - 0,096                          | - 0,101                       | + 5              |
| Q bis                          | + 1,618                          | + 1,618                       | 0                | XI                             | + 0,447                          | + 0,451                       | + 4              |
| Y bis                          | - 0,107                          | - 0,101                       | - 6              | XIV                            | - 0,019                          | - 0,013                       | - 6              |
| A'bis                          | + 0,354                          | + 0,353                       | - 1              | XV                             | - 0,218                          | - 0,219                       | + 1              |
| Tr-15                          | + 0,310                          | + 0,312                       | + 2              | XVI                            | + 0,039                          | + 0,032                       | - 7              |
| O'bis                          | + 0,445                          | + 0,444                       | - 1              | XVII                           | - 0,228                          | - 0,228                       | 0                |
| W'bis                          | - 0,082                          | - 0,075                       | - 7              | XX                             | - 0,012                          | - 0,012                       | 0                |

Repères : Deux repères du type I.G.N. ont été scellés dans les tours des limnigraphes à MALAPE sur la Haute-BENOUE et à KOULAWA sur le Bas-FARO. D'autre part, un certain nombre de clous, outre ceux qui doublent les bornes, ont été placés sur des arbres plus ou moins remarquables entre les bornes présentant un intervalle supérieur à 2 km.

Repérage des bornes et repères : Un croquis de repérage a été établi individuellement pour chaque borne ou repère qui était reporté au fur et à mesure des implantations sur les photographies aériennes au 1/15.000°, prises sur la BENOUE en Mai 1954 et sur le FARO en Mai 1955, par le "Survey Department" de NIGERIA.

Sur la BENOUE, bornes et repères ont en outre été reportés sur la carte NEDECO restituée au 1/20.000° à partir des photographies. En outre, entre MAGAIII et DAIMARE, ils ont été rattachés à la triangulation quand ils n'en constituent pas des sommets.

### c) Opérations sur le terrain -

Personnel : Les opérations ont été conduites par un opérateur européen secondé par une équipe de 6 à 8 africains, employés comme suit :

- 2 porte-mires
- 2 aides, attachés chacun à un porte-mire pour déplacer les piquets et au besoin ouvrir le layon dans la savane et les galeries forestières.
- 1 porte-parasol
- 1 piroguier pour déplacer et installer le campement au fur et à mesure de l'avance du cheminement.

En Février-Mars 1956, nous avons employé un second piroguier et un clerck-chef d'équipe formé au cours des levers de 1955.

Horaires de travail : Du 26 Novembre 1954 au 1er Janvier 1955 (sur 40 km environs) nous avons opéré de 6 h.30 à 13 h.30, sans interruption, ce qui était défavorable à la précision. Nous avons été amenés à adopter un nouvel horaire évitant les heures les plus chaudes de la journée : 6 h.30 - 10 h.30 et 15 h.30 - 18 h.30.

Méthode : Nous avons nivelé simultanément deux cheminements parallèles. L'opérateur qui portait lui-même l'appareil en déterminait l'emplacement en évaluant au pas la distance qui le séparait de la mire arrière. Le porte-mire-avant comptait, à son tour, à partir de l'appareil, le nombre de pas que lui avait indiqués



l'opérateur pour déterminer l'emplacement des piquets avant. L'égalité des portées se trouvait réalisée à quelques mètres près.

L'opérateur qui tenait lui-même le carnet, ayant calé son appareil, visait la mire arrière placée en premier lieu sur le piquet le plus haut ; il inscrivait la lecture faite au fil axial puis retournait la lunette sur son axe, faisant passer la nivelle tubulaire de droite à gauche. Il ramenait les images de la nivelle en coïncidence et effectuait une seconde lecture. Il ordonnait au porte-mire de se mettre sur le piquet-bas et calculait la moyenne des lectures qu'il venait de faire. Il effectuait les mêmes opérations avec la mire sur le second piquet et vérifiait si la différence des moyennes de ces visées arrière ( $R_b - R_h = r$ ) était égal, à la tolérance près, à la différence des moyennes des visées avant ( $V_b - V_h = v$ ) de la station précédente. Si l'écart entre  $r$  et  $v$  était supérieur à 3 mm, il réitérait ses dernières lectures et si l'écart entre  $r$  et  $v$  restait supérieur à 5 mm il recommençait la station précédente, une série de piquets restant toujours en arrière du porte-mire.

La différence  $v - r$  ayant été admise, le porte-mire arrière attendait les piquets que lui apportait son aide et venait à la hauteur de l'opérateur qui effectuait sur les piquets avant, dans le même ordre, les séries de lectures et de calculs qu'il venait de faire pour la mire-arrière. Ces opérations terminées, l'opérateur se déplaçait, suivi du porte-mire-arrière, comptait ses pas au-delà des piquets-avant et déterminait la nouvelle position de son appareil, indiquant au porte-mire qui le suivait le nombre de pas à compter pour sa position en avant.

Dès que l'appareil était en place, les piquets étaient mis 30 à 50 cm l'un de l'autre avec une dénivellation que nous nous sommes efforcés de maintenir à 5 cm au moins.

Pour les cheminements effectués en Février-Mars 1956 sur la Haute-BENOUE et le FARO, nous avons simplifié ces opérations, accru notre rendement et, sans aucun doute, la précision du travail, en faisant ouvrir à l'avance un layon dans les savanes et les galeries forestières particulièrement denses de cette région. Un cheminement simple a été implanté et chaîné, la position de l'appareil étant matérialisée sur le terrain par une baguette témoin peinte en jaune à son extrémité.

Ce travail a été effectué du 8 Décembre au 11 Janvier 1956 (50 km) par notre chef d'équipe africain et 4 manoeuvres. Lors du nivellement, nous n'avions qu'à doubler les piquets en bois de brousse définitivement implantés, par des piquets en fer cornière que nous déplaçons selon le procédé habituel.

Longueur des portées : En 1954-1955, nous faisons varier les portées de 60 à 30 m selon l'heure de la journée et les difficultés de lecture dues à la réfraction parfois intense après 9 h du matin.

En Février - Mars 1956, nous nous sommes efforcés d'obtenir des portées maximum de 50 m, sans tenir compte des heures de travail puisqu'elles étaient choisies à l'avance. Nous avons eu cependant un certain nombre de visées très courtes (moins de 20 m) dans les galeries forestières denses des environs de MALAPE et KOULAWA.

Ce n'est qu'exceptionnellement que nous avons fait des visées de 100 à 200 mètres et plus pour traverser des bras de rivière (confluent FARO-BENOUE, nivellement des échelles de YOLA et NULAN, du repère T NZOBOLYO sur la rive gauche).

Vérifications journalières : Chaque matinée et chaque soirée au retour au campement, les opérations faites sur le terrain étaient calculées et l'écart entre les deux cheminements était vérifié.

Ceci nous a permis de constater, au début des opérations, alors que, sans expérience du climat, nous travaillions sans parasol de 6 h.30 à 13 h.30, que nos cheminements accusaient une différence systématique de l'ordre de 1 cm au km. Nous avons modifié nos horaires de travail et utilisé par la suite un parasol qui réduisit considérablement les écarts entre les cheminements tout en supprimant l'erreur systématique constatée auparavant.

Cette erreur a d'ailleurs pu être compensée, son caractère systématique ayant été mis en évidence en recommençant les opérations de nivellement sur certains tronçons.

Difficultés rencontrées : Outre celles que nous venons de signaler, elles furent multiples.

Absence de pistes - En Décembre 1954 et Janvier 1955, avant les feux de brousse, les grandes herbes sèches de la savane nous contraignirent à ouvrir un layon qui n'était jamais parfaitement débroussé et nous occasionnait des pertes de temps, prolongeant notamment l'intervalle entre les visées arrière et les visées avant. Les grandes herbes et les roseaux nous gênèrent également dans les zones marécageuses au départ de TEPE et de part et d'autre du village de KANLI. Les épineux nous gênèrent surtout en aval d'AMDALA et vers GEREN. Ces difficultés nous amenèrent, quand nous en eûmes l'occasion, à cheminer sur les bancs de sable découverts dans le lit de la BENOUE, en utilisant des piquets plus longs et plus gros (70 cm de long pour 8 à 10 de diamètre).

Il nous fallut atteindre le village de BORON, 20 km en amont de NULAN, pour découvrir une piste automobile qui devait nous conduire au repère XXI t. Cependant, nous devons signaler quelques sentiers indigènes parfaitement débroussés qui nous facilitèrent la tâche entre le MAYO TIEL et OURO BOKI et entre DIKAJAM et BOUMARA en aval de YOLA. Nous profitâmes également des emplacements de culture et des zones de savanes brûlées, notamment à partir de fin Janvier.

Sur la Haute-BENOUE et le Bas-FARO, comme nous le signalons plus haut, nous fîmes ouvrir un layon à l'avance. L'absence de sentiers indigènes, la densité des galeries forestières et le retard des feux de brousse dans la zone marécageuse du confluent ne permettaient pas d'autres solutions.

Réfraction - La réfraction est souvent sensible à moins de 40 m dès 9 heures du matin. Elle rend délicate les lectures sur les mires. D'autre part, nous avons constaté qu'à distances égales et aux mêmes heures ses effets sont plus mauvais entre les hautes herbes de la savane que sur les bancs de sable.

Vent - Un vent d'ouest quasi-permanent, parfois violent dans la zone du confluent FARO-BENOUE et dans la région de NULAN rendit certains jours les opérations délicates, difficultés pour la tenue des mires, le maintien des images de la nivelle tubulaire de l'appareil en coïncidence et l'emploi du parasol.

d) Dépouillement au bureau -

Vérification des carnets page à page :

1°- Addition des visées arrière et de leurs moyennes. La somme des visées arrière doit être égale au double de la somme de leurs moyennes. Mêmes opérations pour les visées avant.

2°- Vérification de la différence entre la somme des moyennes des visées arrière et la somme des moyennes des visées avant qui doit être égale et de même signe que la somme des dénivelées de chaque cheminement calculées en bas de page, au fur et à mesure des opérations sur le terrain.

Calcul des altitudes :

Les dénivelées entre bornes ou repères sont relevées sur les carnets et portées sur un tableau où l'écart entre les deux cheminements est à nouveau calculé mais cette fois entre bornes ou repères. La moyenne des deux cheminements est adoptée pour déterminer les altitudes.

Croquis de repérage :

Ils ont été soigneusement reportés sur un cahier spécial qu'il n'a pas été jugé utile de reproduire dans ce rapport, mais que nous conserverons en archives.

On trouvera ci-après un répertoire du nivellement donnant la liste des repères et leur altitude, ainsi que des indications sommaires sur leur situation.

REPertoire DE NIVELLEMENT

| Désignation des repères          | Distances partielles | Distances cumulées                | Altitudes des repères | Observations                   |
|----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| <u>FARO</u>                      |                      |                                   |                       |                                |
| Zéro échelle linnigraphe KOULAWA | 0                    | 0                                 | 177,471               |                                |
| Repère tour linnigraphe          | 2.250                | 0                                 | 181,579               | Repère nivellement type I.G.N. |
| XXXV                             | 750                  | 2.250                             | 179,078               | Borne                          |
| e'                               | 2.325                | 3.000                             | 180,190               | Clou                           |
| XXXIV                            | 1.050                | 5.325                             | 177,275               | Borne                          |
| b'                               | 1.500                | 6.375                             | 177,841               | Clou                           |
| XXXIII                           | 600                  | 7.875                             | 176,224               | Borne                          |
| z                                | 2.400                | 8.475                             | 176,600               | Clou                           |
| XXXII                            | 750                  | 10.875                            | 174,606               | Borne                          |
| x                                | 2.250                | 11.625                            | 175,153               | Clou                           |
| Sect. jaug. KOSSEL               | 1.325                | 13.875                            | 173,236               | Borne                          |
| XXXI                             | 1.275                | 15.200                            | 172,096               | Borne                          |
| u                                | 1.725                | 16.475                            | 172,242               | Borne                          |
| a                                |                      | 18.200                            | 171,211               | Borne MAGALI                   |
| <u>BENOUE</u>                    |                      | Distances cumulées origine GAROUA |                       |                                |
| Repère tour linnigraphe MALAPE   | 1.340                | 43.700                            | 173,589               |                                |
| b                                | 650                  | 45.040                            | 176,162               | Clou                           |

| Désignation des repères | Distances partielles | Distances cumulées : orig. GAROU | Altitudes des repères | Observations                 |
|-------------------------|----------------------|----------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| d                       |                      | 45.690                           | 175,465               | Clou                         |
| XXIII                   | 750                  | 46.440                           | 175,083               | Borne                        |
| f                       | 2,200                | 48.640                           | 175,355               | Clou                         |
| XXIV                    | 770                  | 49.410                           | 174,123               |                              |
| g                       | 900                  | 50.310                           | 174,532               |                              |
| XXV                     | 1.800                | 52.110                           | 174,143               |                              |
| XXVI                    | 3.010                | 55.120                           | 173,463               |                              |
| k                       | 1.630                | 56.750                           | 174,481               |                              |
| XXVII                   | 1.300                | 58.050                           | 173,215               |                              |
| n                       | 1.000                | 59.050                           | 174,822               |                              |
| XXVIII                  | 1.810                | 60.860                           | 172,859               |                              |
| p                       | 1.800                | 62.660                           | 172,984               |                              |
| XXIX                    | 1.260                | 63.920                           | 171,933               |                              |
| Echelle KINADA          | 1.580                | 65.500                           | 172,72                | Echelle NEDECO               |
| XXX                     | 1.320                | 66.820                           | 171,908               |                              |
| s                       | 1.420                | 68.240                           | 172,212               |                              |
| t                       | 1.460                | 69.700                           | 173,219               |                              |
| A                       | 2,100                | 71.800                           | 171,211               | Borne MAGAM - Confl. FARO    |
| E                       | 1.650                | 73.450                           | 170,341               | Borne                        |
| G                       | 1.770                | 75.220                           | 171,29                | Clou                         |
| T. OURC-MAYO            | 1.580                | 76.800                           | 171,029               | Borne                        |
| K bis                   | 790                  | 77.590                           | 170,406               | Borne                        |
| M bis                   | 1.900                | 79.490                           | 169,875               | Clou                         |
| SG                      | 1.300                | 80.790                           | 169,162               | Borne Sce Géogr. CAM-BILACHI |
|                         | 410                  |                                  |                       |                              |

| Désignation des repères | Distances partielles | Distances cumulées orig. GAROUA | Altitudes des repères | Observations                |
|-------------------------|----------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| O bis 1                 | 1.530                | 82.950                          | 168,599               | Clou                        |
| Q bis                   | 2.470                | 84.480                          | 167,774               | Borne                       |
| Zéro échelle OURO-BOKI  | 2.410                | 86.950                          | 161,575               |                             |
| U                       | 2.240                | 89.360                          | 167,013               | Borne                       |
| X                       | 1.200                | 91.600                          | 165,550               | Borne                       |
| Y bis                   | 1.650                | 92.800                          | 166,005               | Borne                       |
| A' bis                  | 1.460                | 94.450                          | 165,505               | Borne                       |
| 44                      | 2.890                | 95.910                          | 164,297               | Clou                        |
| E' bis                  | 3.000                | 98.800                          | 163,847               | Borne                       |
| TR-15                   | 2.700                | 101.800                         | 163,740               | Borne - AINDALA             |
| J' bis                  | 1.600                | 104.500                         | 162,959               | Clou                        |
| K ter 1                 | 2.100                | 106.100                         | 163,09                | Gravure rocher LOUGA        |
| O' bis                  | 3.000                | 108.200                         | 161,607               | Borne                       |
| R' bis                  | 2.500                | 111.200                         | 161,71                | Borne                       |
| U' ter                  | 1.500                | 113.700                         | 160,382               | Gravure - face NZOBOLYO     |
| W' bis                  | 3.020                | 115.200                         | 160,438               | Borne                       |
| A" bis                  | 2.790                | 118.220                         | 159,300               | Borne                       |
| E" bis                  | 2.740                | 121.010                         | 158,628               | Borne                       |
| R 23 bis                | 2.850                | 123.750                         | 158,291               | Borne - TAKANDE             |
| Zéro échelle YOLA       | 1.300                | 126.600                         | 150,830               | Echelle EDF(Stat.jaug.YOLA) |
| II                      | 1.550                | 127.900                         | 156,599               | Borne                       |
| O" bis                  | 2.550                | 129.450                         | 157,551               | Gravure                     |
| III - T                 | 3.540                | 132.000                         | 156,740               | Borne                       |

| Désignation des repères | Distances partielles | Distances cumulées : orig. GAROUA | Altitudes des repères | Observations    |
|-------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------|
| IV bis                  | 800                  | 135.540                           | 156,348               | Borne           |
| d                       | 380                  | 136.340                           | 155,73                | Clou            |
| e                       | 2.800                | 136.720                           | 155,614               | Clou            |
| V                       | 3.050                | 139.520                           | 155,028               | Borne - LABONDO |
| VI                      | 3.130                | 142.570                           | 154,920               | Borne - KANLI   |
| VII                     | 3.100                | 145.700                           | 153,907               | Borne           |
| VIII                    | 1.600                | 148.800                           | 153,334               | Borne           |
| f2                      | 1.500                | 150.400                           | 152,785               | Clou - DIKIJAM  |
| IX                      | 2.950                | 151.900                           | 152,781               | Borne - TABONBO |
| X                       | 1.620                | 154.850                           | 152,155               | Borne - GARAN   |
| g                       | 1.630                | 156.470                           | 151,239               | Clou            |
| XI                      | 2.600                | 158.100                           | 151,072               | Borne - MORO    |
| XII                     | 2.930                | 160.700                           | 150,388               | Borne - BOUNARA |
| XIII                    | 3.830                | 163.630                           | 149,485               | Borne           |
| XIV                     | 3.240                | 167.460                           | 148.914               | Borne - BORON   |
| XV                      | 3.080                | 170.700                           | 148,356               | Borne - DILI    |
| XVI                     | 2.820                | 173.780                           | 147,543               | Borne - LINGA   |
| XVII                    | 3.000                | 176.600                           | 147,498               | Borne           |
| XVIII                   | 4.300                | 179.600                           | 146,617               | Borne           |
| Zéro échelle            | 2.400                | 183.900                           | 139,501               |                 |
| NUMAN                   | 2.300                | 186.300                           | 145,837               | Borne - IMBURU  |
| XX                      |                      | 188.600                           | 145,073               | Borne           |
| XXI                     |                      |                                   |                       |                 |



## 5 - RELEVES DE LIGNES D'EAU -

Le relevé d'une "ligne d'eau" de la BENOUE consistait à mesurer la dénivelée entre chaque repère de nivellement et le plan d'eau au droit de celui-ci. Connaissant l'altitude et la situation des repères de nivellement, il était facile d'en déduire le profil en long de la surface libre de la BENOUE.

La principale difficulté consistait à faire la totalité des mesures en un temps assez court pour qu'on puisse considérer la ligne d'eau comme instantanée. Pour réduire au maximum la durée des opérations, les déplacements d'un repère à l'autre étaient généralement effectués au moyen d'un canot en aluminium rapide ("Cadillac") muni d'un moteur hors-bord de 30 CV. Une correction était cependant apportée à chaque mesure, en tenant compte, d'une part, de la date et de l'heure à laquelle elle avait été faite et, d'autre part, des variations de niveau enregistrées à l'échelle limnimétrique la plus proche. Lorsque ces variations étaient trop importantes pendant la durée totale des mesures (environ cinq jours), on a préféré scinder la ligne d'eau en plusieurs tronçons pour ne pas apporter de corrections trop importantes.

Pendant la période des hautes-eaux de 1955, cinq lignes d'eau différentes ont été relevées entre le confluent du FARO et NUMAN.

Pour contrôler la stabilité du profil en long de la BENOUE, quatre lignes d'eau ont été à nouveau levées entre OURO-BOKI et NUMAN, pendant l'étiage et les hautes-eaux 1956.

De plus, pour étudier le comportement des deux branches confluentes à MAGAMI et leur influence réciproque en cas de crues non-synchronisées, six lignes d'eau complémentaires ont été nivelées entre, d'une part, MALAPE sur la Haute-BENOUE et KOULAWA sur le FARO et, d'autre part, MAGAMI ainsi qu'en aval du confluent du FARO jusqu'à OURO-BOKI. Ces dernières lignes d'eau seraient éventuellement très utiles pour le réglage d'un modèle réduit du confluent du FARO.

## 6 - PROFIL EN LONG DU CHENAL -

Entre le 16 et le 24 Octobre 1956, un profil en long du chenal a été relevé depuis le confluent du FARO jusqu'au village de TUNGOALADAN (14 km en aval de GALLADIO) où se trouve le dernier passage difficile avant LAU. Ce profil en long a été exécuté en suivant le "wallace", dernier bateau ayant quitté GAROUA pendant la campagne 1956, avec une vedette équipée d'un sondeur à ultra-sons.

Ce profil en long effectué dans des conditions assez critiques (décrue rapide) tient compte des écarts de pilotage du wallace. De fait, il a été interrompu à deux reprises par deux échouages du wallace, dont le deuxième très grave l'a obligé à abandonner définitivement ses deux barges à 10 km en aval de NUMAN.

On constate que sur la ligne de route suivie par le wallace, les profondeurs d'eau étaient presque partout très supérieures à 2 mètres. Les deux échouages successifs ont eu pour cause une erreur de pilotage qu'un balisage simple aurait permis d'éviter.

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE

—○—  
Inspection Générale Union Française  
et Etranger

ÉTAT DU CAMEROUN

—○—  
Service des Ports  
et Voies Navigables

Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer  
—○—

# AMÉLIORATION DE LA NAVIGABILITÉ DE LA BÉNOUÉ

## II. HYDROGRAPHIE

### 2. Interprétation des travaux hydrographiques

## 2 - INTERPRETATION des TRAVAUX HYDROGRAPHIQUES

-----

## 2 - INTERPRETATION DES TRAVAUX HYDROGRAPHIQUES

Avant de procéder à l'étude particulière du lit dans les zones qui ont été l'objet de levés topographiques et hydrographiques, nous donnerons une rapide description de l'ensemble du cours de la BENOUE, de façon à situer notre étude dans un cadre plus général.

### a) DESCRIPTION GENERALE DU COURS DE LA BENOUE -

La vallée de la BENOUE présente cette particularité d'avoir été, à l'origine, un large et profond fossé tectonique, ancien bras de mer crétacé. A l'inverse de la plupart des fleuves africains, la BENOUE n'a donc pas eu la peine de creuser son lit dans le socle ancien et pour cette raison elle n'est coupée d'aucune chute ni rapide, sauf à l'extrémité supérieure de son cours. Le bassin de la BENOUE camerounaise a, d'autre part, connu quelques vicissitudes dans ses rapports avec le LOGONE, qui tout à tour a été son tributaire ou a repris son indépendance au gré de mouvements tectoniques successifs (plissement synclinal des grès de GAROUA, affaissement de la gouttière tchadienne, exhaussement du massif de l'ADAMAOUA).

Le débit de la BENOUE a vraisemblablement été, à certaines époques, largement supérieur à sa valeur actuelle, du fait des apports complémentaires du LOGONE et sans doute de conditions climatiques différentes. Cette diminution de débit et la surélévation du niveau marin depuis la fin de l'ère glaciaire ont provoqué un remblaiement général du lit de la BENOUE et de ses affluents, sauf dans leurs cours supérieurs qui ont pu, au contraire, être rajeunis assez récemment (cas de la Haute-BENOUE et du Haut-FARO, sous l'effet d'une surélévation de l'ADAMAOUA). Ce remblaiement général rendu manifeste par l'absence quasi totale d'affleurements rocheux dans le lit de la BENOUE en aval de BOUKOUMA (à environ 150 km en amont de GAROUA), est, en outre, attesté par les sondages géologiques effectués à LAGDO, COSSI et RIBADU qui n'ont rencontré que des alluvions sableuses sur des profondeurs respectives de 20, 60 et plus de 30 mètres.

Le complément progressif de la vallée de la BENOUE a permis à celle-ci de former son lit à partir de ses propres alluvions et d'adapter ainsi, en chaque point de son cours, sa pente, son profil en travers et son tracé en plan au débit liquide et au débit solide moyens apportés par le bassin versant. Les relations qui régissent l'équilibre du lit d'une rivière alluvionnaire sont d'ailleurs très complexes et restent mal connues. On classe cependant les cours d'eau alluvionnaires en trois types principaux : "sinueux", "comblant" et "creusant". Le type "sinueux" que l'on rencontre sur la partie inférieure de la BENOUE camerounaise, correspond d'une manière générale aux cours d'eau en équilibre capables de transporter leurs sédiments sans former de dépôts importants. Il se caractérise par un lit apparent relativement étroit et profond présentant des méandres réguliers. Le type "comblant" qui est de beaucoup le plus fréquent sur la BENOUE, a, au contraire, une section large et rectiligne, présentant des hauts-fonds qui subdivisent le courant en plusieurs chenaux instables. Cette tendance du lit à perdre de la profondeur et à offrir des chenaux multiples se trouve renforcée, si les matériaux qui constituent les berges sont facilement affouillables. Il est à noter, par ailleurs, qu'à vitesse moyenne et débit constants, une augmentation de largeur au détriment de la profondeur est toujours accompagnée d'une diminution des transports solides en suspension et d'un accroissement du charriage de fond. Nous n'insisterons pas sur le type "creusant" que l'on ne rencontre pratiquement pas sur la BENOUE.

Après être descendu très rapidement du massif de l'ADAMAOUA et avoir traversé le sud du pays de BOUBANDJIDA, la BENOUE camerounaise atteint le début de son cours alluvionnaire après les rapides de BOUKOUMA. Sa pente est alors d'environ 30 cm/km ; elle décroît ensuite assez régulièrement jusqu'à une valeur moyenne d'environ 10 cm/km entre GAROUA et le confluent du FARO. Au voisinage immédiat du confluent, la pente admet une valeur très variable (de 0,5 à 18 cm/km) car la ligne d'eau de la BENOUE doit nécessairement se raccorder à celle du FARO qui subit des variations de niveau de plus faible amplitude, étant donné la grande largeur de son lit.

Entre GAROUA (km 0) et le confluent du FARO (km 72), le lit apparent de la BENOUE camerounaise admet une largeur d'environ 200 mètres et décrit une série de méandres assez réguliers, au milieu d'un lit majeur de 3 à 4 km de large, qui s'étale encore davantage dans les vingt derniers kilomètres avant le confluent. Le lit apparent est bordé de "levées naturelles" ou "bourrelets de rives", supportant souvent des galeries forestières, au delà desquelles s'étendent des dépressions marécageuses en voie de comblement par décantation des eaux de débordement. La partie basse de ces dépressions est généralement occupée par des mares permanentes.

Les conditions de navigation dans ce secteur de la BENOUE sont dans l'ensemble satisfaisantes, à part quelques difficultés dans les premiers kilomètres en aval de GAROUA ; ces conditions vont d'ailleurs en s'améliorant, à mesure que l'on s'approche du confluent. Le chenal est profond et stable ; son tracé, conforme aux lois de Fargue, s'adapte aux méandres du lit apparent.

Le type "sinueux", auquel appartient le lit de la BENOUE dans ce secteur, indique un équilibre relatif entre les transports solides et la capacité de charriage.

La décroissance progressive de la pente de la BENOUE camerounaise, explicable dans son cours inférieur par les apports solides du FARO qui ont eu tendance à exhausser le confluent, semble provoquer une diminution assez brusque des transports solides, notamment du charriage de fond, dans la région de GAROUA. Cette diminution aurait permis au lit de conserver un état d'équilibre en aval de GAROUA, moyennant un remblaiement progressif en amont.

Le confluent du FARO marque un changement brusque de la morphologie du lit de la BENOUE. Cet affluent, qui coule dans son cours inférieur avec une pente de l'ordre de 50 cm/km, présente les caractéristiques très nettes du type "comblant", aggravées par la faible résistance à l'érosion des berges sablo-argileuses. En aval du confluent, la BENOUE adopte des

caractères morphologiques analogues à ceux du FARO, quoique légèrement atténués : le lit s'étale démesurément, sa largeur moyenne passe de 200 à 800 mètres environ (1) ; le chenal se subdivise fréquemment en plusieurs bras qui enserrant des hauts-fonds ou des îles, ses profondeurs minima sont très sensiblement diminuées ; les méandres réguliers disparaissent et font place à des rives grossièrement rectilignes. Enfin, les plaines d'inondation prennent une ampleur considérable. On peut d'ailleurs généralement distinguer deux lits majeurs emboîtés l'un dans l'autre. Le lit majeur interne (largeur moyenne d'environ 1.500 m entre OURO-BOKI et NUMAN) correspond vraisemblablement à un ancien lit apparent devenu trop large pour le débit actuel de la BENOUE. Son remblaiement partiel s'est effectué de façon désordonnée et a abouti à la formation d'îles et de zones marécageuses, submergées en hautes-eaux, dont les berges basses et peu consistantes peuvent être localement soumises à une forte érosion (recul des berges dépassant parfois une dizaine de mètres par an). Le lit majeur externe est limité par des berges de formation moins récente, plus hautes et mieux stabilisées, sur lesquelles sont construits la plupart des villages riverains.

Après le confluent du FARO, la BENOUE devant écouler un débit solide accru dans une plus forte proportion que son débit liquide, est obligée d'augmenter brusquement sa pente. Entre le confluent (km 72) et le village d'OURO-BOKI (km 87), celle-ci est d'environ 27 cm/km ; elle conserve cette valeur jusque vers PARKOUMO (km 96), puis décroît légèrement ; cette décroissance s'accroît entre N'ZOBOLYO (km 113) et YOLA (JINETA - km 127), où la pente passe de 25 à environ 20 cm/km, valeur qui reste ensuite sensiblement inchangée jusqu'à NUMAN. Cette diminution de pente, qu'aucune modification sensible du débit ou d'autre caractéristique hydrographique ne semble justifier, laisse supposer qu'entre le confluent du FARO et NUMAN, la BENOUE n'a pas encore atteint son profil d'équilibre et se trouve en cours d'évolution lente. On remarque, par ailleurs, que les "flats" d'OURO-BOKI qui constituent les passages les plus difficiles pour la navigation, sont situés dans la région de plus forte pente.

---

(1) D'après la théorie des "chenaux en régime" de LACEY, si les caractères morphologiques restaient inchangées, les apports du FARO qui doublent sensiblement le débit de la BENOUE, devraient multiplier la largeur de son lit par  $\sqrt{2}$ . Celle-ci passerait donc de 200 à près de 300 m, au lieu de 800 m.



En aval de NUMAN, nous ne disposons pas de renseignements précis sur la pente de la BENOUE. Il semble que le confluent de la GONGOLA - affluent assez fortement chargé d'alluvions - soit à l'origine d'un nouvel accroissement de la pente qui se ferait sentir jusque vers GAMADIO et serait responsable de l'aggravation des conditions de navigation dans ce secteur. La largeur du lit apparent augmente assez sensiblement entre NUMAN et GAMADIO, pour prendre une valeur moyenne d'environ 950 mètres. On note également une tendance accrue du lit apparent à se subdiviser en deux ou plusieurs bras séparés par des îles très importantes de plusieurs kilomètres de longueur. Entre GAMADIO et LAU, le lit apparent se rétrécit à nouveau et les conditions de navigation s'améliorent assez sensiblement.

En aval de LAU, notre principale source de renseignements sur les caractères morphologiques de la BENOUE est constituée par des cartes au 1/20.000<sup>e</sup> établies d'après photographies aériennes. Nous donnons ci-dessous les largeurs moyennes du lit apparent que l'on peut en déduire pour différents secteurs de la BENOUE et du Bas-NIGER :

|                                                                     |            |
|---------------------------------------------------------------------|------------|
| - GAROUA - Confluent du FARO                                        | 200 mètres |
| - Confluent du FARO - NUMAN                                         | 800 "      |
| - NUMAN - GAMADIO                                                   | 950 "      |
| - GAMADIO - LAU                                                     | 800 "      |
| - LAU - Confluent de la TARABA                                      | 675 "      |
| - Confl <sup>t</sup> de la TARABA - Confl <sup>t</sup> de la DONGA  | 950 "      |
| - Confl <sup>t</sup> de la DONGA - Confl <sup>t</sup> de la KATSENA | 1.250 "    |
| - Confl <sup>t</sup> de la KATSENA - MAKURDI                        | 1.300 "    |
| - MAKURDI - LOKOJA                                                  | 1.575 "    |
| - LOKOJA - ONITSHA                                                  | 1.700 "    |
| - ONITSHA - ABOH                                                    | 1.525 "    |

On constate qu'en aval de LAU, la largeur du lit apparent reste importante et s'accroît même très sensiblement sur la Basse-BENOUE ; cependant, l'augmentation de débit est encore plus forte, de sorte que les conditions de navigation tendent à

s'améliorer, bien que la BENOUE conserve les caractères morphologiques peu favorables du type "comblant". Des nivellements anciens permettent d'estimer approximativement à 16 cm/km la pente moyenne entre NUMAN et LOKOJA. La pente moyenne du Bas-NIGER entre LOKOJA et l'entrée du delta serait de 8,5 cm/km.

b) ETUDE DETAILLEE DU LIT DE LA BENOUE -

Cette étude s'appuiera plus particulièrement sur les observations qui ont pu être recueillies dans les zones qui ont été l'objet de levés hydrographiques systématiques. Ces zones ayant été choisies comme particulièrement représentatives des difficultés de navigation, nous essayerons d'en tirer quelques conclusions générales sur les caractéristiques du chenal.

Rappelons que nos levés hydrographiques ont porté sur cinq zones principales :

La zone I - est située au confluent du FARO (km 72-73) ; elle englobe le cône alluvionnaire très étalé - ou mieux l'"éventail" de sable limité par un front abrupt -, qui constitue le débouché du FARO dans la BENOUE. Cet éventail subit des remaniements importants suivant le jeu relatif des crues des deux branches confluentes et risquerait d'être à l'origine d'une aggravation des conditions de navigation, dans le cas de la construction du barrage de LAGDO (voir chap. III - C - 2). Les huit levés effectués en 1955 et 1956 montrent que le front de l'éventail qui, sur plus d'un kilomètre, tend à refouler le chenal principal de la BENOUE contre sa rive droite, peut subir des déplacements d'une centaine de mètres perpendiculairement à cette rive. La largeur moyenne du chenal à cet emplacement (chenal défini par des profondeurs supérieures à 2 mètres par rapport à la ligne d'eau de référence) peut, en effet, varier d'après nos observations, entre 100 et 190 mètres. Par ailleurs, le plafond de l'éventail, dont la topographie est dans le détail assez irrégulière, subit des variations moyennes d'altitude de l'ordre de 0,50 m. En règle générale, le front de l'éventail tend à avancer et le plafond à s'abaisser lors des fortes crues du FARO. Les mouvements inverses s'observent lorsque le débit de la BENOUE camerounaise est nettement supérieur à celui du FARO.

La zone II (km 76 à 81), qui a constitué ces dernières années l'un des passages les plus difficiles, sinon le plus difficile de la Moyenne-BENOUE, est située dans la première section élargie que l'on rencontre en aval du confluent du FARO. La largeur du lit apparent passe, en effet, de 400 mètres au droit du village de KOTIEL à près de 1.500 mètres au maximum de l'élargissement. Cette situation est tout à fait propre à provoquer un alluvionnement important des débits solides amenés par le FARO, alluvionnement qui se manifeste par la présence au milieu du lit d'un ensemble d'îles et de bancs de sable très étendus. Deux bras principaux mal stabilisés traversent cette zone d'alluvionnement.

Depuis de nombreuses années, semble-t-il, le chenal de navigation suivait le bras droit qui était le plus profond. Après la crue forte et très prolongée de 1955, il a commencé à emprunter le bras gauche, mais sans qu'il y ait une très nette disparité entre les deux bras, tout au moins jusqu'au milieu de la campagne 1956. Cette indécision du chenal a été à l'origine des graves difficultés rencontrées par la navigation en 1956 dans la zone II. En 1957, d'après les levés hydrographiques du service des Ports et Voies Navigables du CAMEROUN, le bras gauche s'est nettement approfondi au détriment du bras droit et les conditions de navigation se sont très sensiblement améliorées.

Pour mettre en évidence, de façon plus précise, l'évolution des conditions de navigation dans la zone II, nous avons tracé sur chacun des levés un chenal théorique occupant dans chaque cas la situation la plus favorable au point de vue du mouillage, mais n'admettant pas des rayons de courbure inférieurs à 250 mètres. On en a déduit un profil en long du chenal, donnant les plus faibles profondeurs relevées dans des profils en travers successifs (voir plans CAM 5.936, 6.011, 6.012, 7.530, 7.533, 7.535). En admettant une largeur du chenal de 50 mètres, la profondeur minimum du chenal pour chacun des levés est donnée dans le tableau suivant :

| Date                 | Hauteur d'eau :<br>échelle d'OURO - BOKI<br>(cm) | Profondeur :<br>minimum du chenal<br>(cm) | Profondeur minimum :<br>rapportée à la<br>ligne d'eau de référence<br>(cm) |
|----------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 25-27 Mars 1955      | 85                                               | 20                                        | 170                                                                        |
| 10-13 Août           | 445                                              | 235                                       | 135                                                                        |
| 5-7 Octobre          | 575                                              | 310                                       | 85                                                                         |
| 30 Oct.-1er Nov.     | 450                                              | 215                                       | 115                                                                        |
| 9-17 Mai 1956        | 95                                               | 25                                        | 165                                                                        |
| 9-13 Août            | 410                                              | 175                                       | 115                                                                        |
| 10-13 Septembre      | 510                                              | 210                                       | 50                                                                         |
| 2-6 Octobre          | 470                                              | 170                                       | 50                                                                         |
| 30-31 Octobre        | 280                                              | 100                                       | 170                                                                        |
| 29 Juil.-6 Août 1957 | 405                                              | 195                                       | 140                                                                        |
| 27-31 Août           | 500                                              | 300                                       | 150                                                                        |
| 19-22 Septembre      | 495                                              | 355                                       | 210                                                                        |

On constate que la profondeur minimum du chenal, rapportée à la ligne d'eau de référence, correspondant à la cote 350 à l'échelle d'OURO-BOKI, subit des variations considérables d'une année à l'autre et à l'intérieur d'une même année (de 50 à 210 cm). D'une façon générale, elle tend à diminuer pendant la période de hautes-eaux et à augmenter pendant les moyennes et basses-eaux.

La zone III (km 90 à 92) correspond à un élargissement du lit succédant à un rétrécissement, conditions favorables à la formation d'atterrissements importants, sur lesquels le chenal présente une instabilité particulière. Ces atterrissements ont contribué à la création d'une île médiane séparant deux

bras principaux. Le chenal semble hésiter à emprunter un bras plutôt que l'autre et c'est ainsi qu'à la fin de la campagne 1954 il a brusquement abandonné le bras droit pour suivre le bras gauche.

Le tableau suivant donne les profondeurs minima d'un chenal théorique de 50 mètres de largeur tracé sur les différents levés de la zone III :

| Date              | Hauteur d'eau :<br>échelle d'<br>OURO-BOKI<br>(cm) | Profondeur :<br>minimum<br>du chenal<br>(cm) | Profondeur minimum :<br>rapportée à la ligne :<br>d'eau de référence<br>(cm) |
|-------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| 15 - 17 Août 1955 | 470                                                | 320                                          | 200                                                                          |
| 8 - 10 Octobre    | 585                                                | 405                                          | 170                                                                          |
| 2 - 3 Novembre    | 395                                                | 220                                          | 175                                                                          |
| 22 - 24 Août 1956 | 380                                                | 235                                          | 205                                                                          |
| 17 - 20 Septembre | 580                                                | 350                                          | 120                                                                          |
| 17 Octobre        | 470                                                | 250                                          | 130                                                                          |

On observe que la profondeur minimum du chenal, rapportée à la ligne d'eau de référence, qui est d'environ 200 cm en Août, diminue pendant les mois de Septembre-Octobre de 30 cm en 1955 et de 80 cm en 1956.

La zone IV (km 93 à 96) est située presque immédiatement en aval de la précédente et correspond encore à un élargissement assez notable du lit apparent. Cette zone se caractérise également par la présence d'une île médiane dans sa partie aval, que le chenal a toujours laissée sur sa droite de 1954 à 1956. C'est à l'amont de cette île que le tracé du

chenal est le plus indécis. On l'a vu tantôt décrire une grande boucle, tantôt adopter un tracé plus direct court-circuitant la boucle précédente.

Les profondeurs minima du chenal théorique que l'on a pu relever en 1955 et 1956 sont données ci-dessous :

| Date              | Hauteur d'eau :<br>échelle d' :<br>OURO-BOKI :<br>(cm) | Profondeur :<br>minimum :<br>du chenal : | Profondeur minimum :<br>rapportée à la ligne :<br>d'eau de référence :<br>(cm) |
|-------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 19 - 20 Août 1955 | 450                                                    | 270                                      | 170                                                                            |
| 13 - 14 Octobre   | 580                                                    | 375                                      | 145                                                                            |
| 5 - 6 Novembre    | 345                                                    | 135                                      | 140                                                                            |
| 24 - 27 Août 1956 | 370                                                    | 250                                      | 230                                                                            |
| 20 - 22 Septembre | 590                                                    | 400                                      | 160                                                                            |
| 26 - 27 Octobre   | 310                                                    | 200                                      | 240                                                                            |

La profondeur minimum du chenal rapportée à la ligne d'eau de référence a diminué, pendant la période de hautes-eaux, de 30 cm en 1955 et de 70 cm en 1956. Malgré cela, le chenal de 1956 offrait un mouillage légèrement supérieur à celui de 1955, en fin de campagne. On remarque, en outre, qu'à la fin du mois d'Octobre 1956, l'amélioration du chenal qui se produit généralement en moyennes et basses-eaux, était déjà très sensible.

La zone V (km 220 à 224) qui est située près du village de GAMADIO, a été en 1955 et 1956 l'une des plus difficiles de la Moyenne-BENOUE. Dans cette zone, le chenal après avoir longé la rive gauche, se subdivise en deux bras principaux dont l'un continue à suivre la rive gauche et l'autre traverse obliquement le lit apparent pour rejoindre la rive droite. C'est ce dernier bras que la plupart des bateaux empruntaient en 1955 et en 1956, parce qu'il présentait en moyenne des profondeurs supérieures au bras gauche. Cependant, la traversée oblique, plus ou moins contournée et mal stabilisée, constituait un passage critique sur lequel se sont échoués de nombreux bateaux. Les levés hydrographiques de 1956 montrent d'ailleurs que pour cette année là le bras gauche aurait été légèrement plus favorable à la navigation, car il n'offrait en aucun point des mouillages inférieurs à ceux du bras droit et présentait une meilleure stabilité. Il semble bien que le partage du débit entre deux bras sensiblement égaux ait été la cause essentielle des difficultés de navigation dans la zone V.

Le tableau ci-dessous donne les profondeurs minima d'un chenal théorique de 50 mètres de largeur tracés sur les différents levés hydrographiques de cette zone (voir plans CAM 7.531 - 7.532 et 7.534.

| Date                 | Hauteur d'eau :<br>échelle de<br>GAMADIO<br>(cm) | Profondeur :<br>minimum<br>du chenal<br>(cm) | Profondeur minimum :<br>rapportée à la ligne :<br>d'eau de référence :<br>(cm) |
|----------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 23 - 26 Juillet 1955 | 85                                               | 150                                          | 155                                                                            |
| 30 Août - 1er Sept.  | 250                                              | 260                                          | 100                                                                            |
| 19 - 21 Octobre      | 325                                              | 360                                          | 125                                                                            |
| 21 - 28 Mars 1956    | - 220 env.                                       | 20                                           | 330                                                                            |
| 24 - 26 Juillet      | 25                                               | 155                                          | 220                                                                            |
| 3 Septembre          | 310                                              | 360                                          | 140                                                                            |
| 27 - 29 Septembre    | 335                                              | 355                                          | 110                                                                            |
| 22 - 24 Octobre      | 115                                              | 225                                          | 200                                                                            |

Avec des profondeurs minima de l'ordre de 1 mètre par rapport à la ligne d'eau de référence pendant la période de hautes-eaux, la zone V apparaît bien en 1955 et 1956, comme l'une des plus mauvaises de nos cinq zones. On remarque une variation considérable de la profondeur minimum du chenal, qui en 1956 est passée de 330 cm en période d'étiage à 110 en hautes-eaux. Le creusement du chenal à la décrue a, en outre, été très rapide pendant le mois d'octobre.

En dehors de l'examen particulier des conditions de navigation dans les zones qui ont été l'objet de levés systématiques, l'ensemble de nos études hydrographiques permet de dégager quelques conclusions sur les caractères généraux du lit de la Moyenne-BENOUE entre le confluent du FARO et GANIADIO. Ces caractères semblent d'ailleurs se conserver dans leurs grandes lignes sur tout le cours aval de la BENOUE.

La topographie du fond, telle qu'elle apparaît en saison sèche lorsque le lit est en majeure partie découvert ou telle que la révèlent en hautes-eaux les enregistrements d'un sondeur à ultra-sons, est dans le détail extrêmement complexe. Il est exceptionnel que le fond de sable soit lisse sur une étendue notable ; d'une façon systématique, au contraire, le fond est constitué de différents systèmes d'ondulations superposés, de longueur très diverse, de quelques centaines de mètres à quelques centimètres : systèmes d'onde primaire (bancs de sable), secondaires, tertiaires (rides) etc... L'amplitude de ces différents systèmes qui conditionnent la rugosité du lit, varie avec le débit d'une façon complexe ; cependant l'amplitude des ondes primaires qui intéressent le plus directement les conditions de navigation, tend à suivre des variations parallèles avec celles du débit, mais avec un certain décalage dans le temps. Précisons que les ondes primaires sont généralement très dissymétriques et comportent une longue pente douce vers l'amont et un front abrupt vers l'aval. Elles tendent, par ailleurs, à migrer lentement dans le sens du courant.

Même en tenant compte des ondulations du fond dont nous venons de parler et qui atteignent une amplitude maximum de 2 à 3 mètres, les profondeurs d'eau varient considérablement à l'intérieur du lit apparent et peuvent fréquemment présenter des écarts de plus de 5 mètres dans un même profil en travers.



On sait, en effet, que la plus grande partie du débit a tendance à se concentrer dans un chenal plus ou moins net qui occupe seulement une faible partie de la largeur du lit apparent. Le tracé sinueux de ce chenal apparaît désordonné et n'obéit pas à des lois simples, comme ce serait le cas pour un lit plus étroit présentant des méandres réguliers qui commanderaient la position du chenal (Lois de Fargue).

Le profil en long du fond du chenal est également très irrégulier. Les plus grands fonds (mouilles se rencontrent dans les courbes du chenal où la vitesse du courant s'accélère et admet une composante plongeante qui affouille le fond en hautes-eaux. Les plus faibles profondeurs s'observent dans les passages où le chenal traverse le lit d'une rive à l'autre. Dans ces traverses obliques, le courant s'étale en largeur, perd de la vitesse et dépose en hautes-eaux une partie de sa charge solide. On explique ainsi le creusement des mouilles et le remblaiement des seuils que nous avons constatés de façon systématique dans les zones II à V, pendant la période de hautes-eaux. En basses-eaux, le processus inverse s'établit. L'abaissement du plan d'eau provoque, en effet, une réduction de la section mouillée du chenal relativement beaucoup plus importante sur les seuils que sur les mouilles. La diminution du débit provoque donc une réduction considérable de la vitesse d'écoulement dans les mouilles, tandis que le courant reste notable sur les seuils. Il s'ensuit que le chenal tend à se creuser sur les seuils pendant l'étiage, tandis que les matériaux ainsi déblayés viennent se déposer dans la première mouille qu'ils rencontrent en aval et la comblent partiellement.

Le creusement des seuils en basses-eaux et leur exhaussement en hautes-eaux expliquent le fait depuis longtemps reconnu que pour un même débit les conditions de navigation sont plus difficiles à la fin de chaque campagne qu'à son début.

En ce qui concerne la stabilité du chenal, elle apparaît, à priori, assez précaire, du fait que le chenal serpente d'une façon désordonnée au milieu d'un lit apparent trop large, sans que son tracé soit fixé par la configuration des rives, sauf rares exceptions. Pratiquement, on peut distinguer deux modes d'évolution du chenal. Le premier consiste en une migration

systématique des seuils qui se déplacent vers l'aval d'environ 300 à 350 mètres par an. Ce déplacement progressif ne bouleverse pas considérablement le chenal et ne lui fait subir dans l'ensemble qu'une simple translation accompagnée de quelques modifications de détail. Le deuxième mode d'évolution du chenal, plus brutal et imprévisible, consiste en l'abandon d'une partie de son cours et l'adoption d'un nouveau tracé totalement différent. Ce genre de déplacement ("avulsion") ne s'observe que sur certains seuils particulièrement instables, généralement situés dans une section élargie du lit apparent. L'importance des dépôts qui s'y produisent pendant la période des plus hautes-eaux, peut obstruer suffisamment le chenal pour l'obliger, à la décrue, à chercher un nouveau passage. Le changement de cours semble pouvoir s'effectuer, soit de façon assez subite en quelques jours, soit au contraire de façon assez lente (cas de la zone II signalé plus haut) par creusement progressif du nouveau tracé et remblaiement simultané de l'ancien. La période transitoire pendant laquelle les deux chenaux se partagent à peu près également le débit, donne lieu évidemment aux conditions de navigation les plus défavorables.

Nous ne nous étendrons pas davantage sur les caractères hydrographiques du lit de la Moyenne-BENOUE car, en dehors des tendances générales que nous venons de mentionner, le mécanisme exact suivant lequel évolue le chenal et se déplacent les bancs de sable échappent à toute analyse détaillée, tout au moins dans l'état actuel de nos connaissances. Ce problème est, en effet, lié à celui des transports solides qui, ainsi qu'on l'a vu précédemment, reste obscur sur bien des points.

Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer  
—○—

# AMÉLIORATION DE LA NAVIGABILITÉ DE LA BÉNOUÉ

## III - PROPOSITIONS POUR L'AMÉLIORATION DE LA NAVIGABILITÉ

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE

—○—  
Inspection Générale Union Française  
et Etranger

ÉTAT DU CAMEROUN

—○—  
Service des Ports  
et Voies Navigables

Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer  
—○—

# AMÉLIORATION DE LA NAVIGABILITÉ DE LA BÉNOUÉ

## III \_ PROPOSITIONS POUR L'AMÉLIORATION DE LA NAVIGABILITÉ

### A \_ Introduction

### III - PROPOSITION POUR L'AMELIORATION DE LA NAVIGABILITE

-----

#### A - INTRODUCTION

-----

- 1) La BENOUE voie de communication du Nord-CAMEROUN  
et du TCHAD
- 2) Difficultés de navigation - Améliorations  
possibles
- 3) Annexe

1) LA BENOUE, VOIE DE COMMUNICATION  
DU NORD-CAMEROUN ET DU TCHAD

-----

## C H A P I T R E    III

-----

### A MELIORATION DE LA NAVIGABILITE

#### DE LA BENOUE

-----

#### A - INTRODUCTION -

##### 1) LA BENOUE, VOIE DE COMMUNICATION DU NORD-CAMEROUN ET DU TCHAD.

Le problème des transports se pose dans le Nord-CAMEROUN et le TCHAD avec une acuité particulière, en raison des distances considérables (1.500 à 2.000 km) qui séparent les débouchés à la mer des centres de production ou de consommation. La solution du problème est d'autant plus difficile que les importations de ces régions comportent une forte part de matériaux de construction et de carburant et que leurs exportations se composent presque uniquement de coton et d'arachides, matières pondéreuses d'une faible valeur.

Pour résoudre ce problème crucial qui conditionne les possibilités de développement économique du Nord-CAMEROUN et du TCHAD, ainsi d'ailleurs que de l'OUBANGUI-CHARI, on a envisagé l'aménagement ou la création de l'une ou plusieurs des voies suivantes :

- Chemins de fer nigériens LAGOS-KANO ou PORT-HARCOURT-JOS (prolongation sur MAIDUGURI terminée en 1962) et route sur FORT-LAMY.
- Voie fluviale du Bas-NIGER et de la BENOUE (BURUTU ou WARRI-GAROUA).
- Routes DOUALA-TCHAD.
- Chemin de fer DOUALA-TCHAD (en projet)

- Voie fédérale : chemin de fer CONGO-OCEAN, voie fluviale CONGO-OUBANGUI, chemin de fer BANGUI-TCHAD (en projet), voie fluviale du CHARI jusqu'à FORT-LAMY (en projet).
- Voies aériennes.

Il sortirait du cadre de notre étude d'exposer les avantages et inconvénients respectifs de ces différentes solutions. En ce qui concerne plus particulièrement la BENOUE, nous dirons qu'elle constitue une voie d'accès naturelle vers le Nord-CAMEROUN et le TCHAD et qu'elle est susceptible entre GAROUA et la mer d'offrir des prix de transport nettement moins élevés que le rail et la route (GAROUA-BURUTU : 5.000 fr/tonne environ, contre 15.000 fr/tonne environ pour GAROUA-DOUALA par route). De fait, la navigation sur la BENOUE a débuté dès 1906 et le trafic de GAROUA a depuis cette époque été en progression presque constante :

|        |        |         |    |      |
|--------|--------|---------|----|------|
| 6.000  | tonnes | environ | en | 1932 |
| 10.000 | "      | "       | "  | 1936 |
| 16.000 | "      | "       | "  | 1945 |
| 22.000 | "      | "       | "  | 1946 |
| 20.000 | "      | "       | "  | 1947 |
| 24.000 | "      | "       | "  | 1949 |
| 27.000 | "      | "       | "  | 1950 |
| 29.000 | "      | "       | "  | 1951 |
| 30.000 | "      | "       | "  | 1952 |
| 26.400 | "      | "       | "  | 1953 |
| 36.660 | "      | "       | "  | 1954 |
| 39.030 | "      | "       | "  | 1955 |
| 34.540 | "      | "       | "  | 1956 |

En 1956, année où les conditions hydrologiques n'ont pas permis de transporter la totalité du tonnage prévu, la répartition du trafic a été la suivante :

| <u>Importations</u> |              | <u>Exportations</u> |              |
|---------------------|--------------|---------------------|--------------|
| Ciment              | 8.470 tonnes | Coton               | 9.355 tonnes |
| Carburant           | 6.275 "      | Arachides           | 5.240 "      |
| Divers              | 5.050 "      | Divers              | 150 "        |
|                     | -----        |                     | -----        |
|                     | 19.795 "     |                     | 14.745 "     |
|                     | =====        |                     | =====        |



La zone d'attraction de la BENOUE s'étend sur tout le Nord-CAMEROUN et la partie du TCHAD située approximativement à l'ouest du méridien de DOBA. Cependant, depuis quelques années, la limite d'attraction de la BENOUE tend à reculer dans ce territoire au profit de l'OUBANGUI, dont les conditions de navigation ont été sensiblement améliorées ces dernières années.

Bien que les transports fluviaux soient relativement peu coûteux, le développement du trafic de la BENOUE est freiné par quelques inconvénients graves :

a) La période de navigation à GAROUA est très courte ; elle ne dure au maximum que deux mois et demi et certaines années un mois et demi seulement.

La période de navigation est par ailleurs très éloignée à la fois de l'époque de la récolte des produits et de l'époque où les routes sont praticables. Alors que la navigation n'est possible que de la fin Juillet au début Octobre, les arachides sont récoltées en Décembre et le coton égrené est prêt pour l'exportation en Février - Mars. Pour les produits d'importation, le même décalage se retrouve car les routes de brousse ne sont guère praticables que de Décembre à Mai.

L'immobilisation entre le port et le lieu de distribution oscille en année normale autour de 9 mois, au lieu de 3 mois par voie routière. Les frais occasionnés par cette immobilisation supplémentaire de 6 mois (intérêt, agios, stockage) peuvent être estimés à 4% de la valeur des marchandises ; cette sujétion majeure très sensiblement (d'environ 4.000 frs par tonne) le coût réel des transports par la BENOUE.

La brièveté de la période de navigation a pour autre conséquence que le matériel de navigation ne peut être exploité d'une façon rentable que si, en dehors de la campagne de GAROUA, il peut être affecté à un trafic suffisant sur le NIGER. Le développement du trafic de GAROUA est donc lié à celui des régions situées en aval, en territoire nigérien.

b) L'irrégularité du débit d'une année à l'autre rend la BENOUE peu sûre, en tant que voie de communication. En 1953, par exemple, en raison d'une faible hydraulicité, la période de navigation a été plus brève encore qu'en année normale et près de 10.000 tonnes de marchandises sont restées en souffrance en différents

points du fleuve. On imagine facilement que l'acheminement de ces marchandises par des moyens improvisés ou leur stockage jusqu'à la campagne suivante, entraînent des frais supplémentaires très importants.

c) La quasi-totalité du cours de la BENOUE est située en NIGERIA, ce qui place cette voie de communication du Nord-CAMEROUN et du TCHAD sous des influences étrangères à ces territoires. Certes, du point de vue juridique, la BENOUE et le NIGER sont placés sous régime international ; le gouvernement nigérien a, d'ailleurs, récemment réaffirmé son intention d'y assurer une liberté complète de navigation pour toutes les nations.

En fait, cependant, la quasi-totalité du trafic de GAROUA est assurée par deux importantes compagnies privées britanniques "United Africa Company" et "John Holt", dont les intérêts légitimes ne coïncident pas nécessairement avec ceux du Nord-CAMEROUN et du TCHAD. Depuis 1956, une société française, la "Compagnie de Transport et de Commerce" a mis un bateau en service sur la BENOUE et s'apprête à acquérir de nouvelles unités. Mais pour subsister, cette compagnie française est obligée de rechercher du fret nigérien pendant la plus grande partie de l'année et ne peut donc pratiquer une politique de transport très indépendante.

d) Les ports maritimes du delta du NIGER (BURUTU, WARRI et SAPELE), sont la propriété de Compagnies privées et présentent l'inconvénient d'un accès difficile aux bateaux de mer. Pour cette raison, il est arrivé que le coton en provenance de GAROUA reste en souffrance pendant plusieurs mois à BURUTU avant d'être embarqué pour l'Europe. La question se pose également de savoir si les installations portuaires de BURUTU (U.A.C.) et de WARRI (John Holt) sont susceptibles d'extensions suffisantes en cas d'accroissement notable du trafic de la BENOUE.

Il est à noter cependant que le Gouvernement nigérien s'est engagé à aider financièrement les compagnies privées pour moderniser et étendre leurs installations portuaires, qui resteront leur propriété privée pour une durée garantie de 25 ans, à la condition formelle que ces installations portuaires soient mises à la libre disposition de toutes les compagnies de navigation, sans aucune discrimination de nationalité. Par ailleurs, des travaux qui doivent être terminés vers 1960, ont

été entrepris pour approfondir le Bras d'ESCRAVOS et permettent ainsi l'accès des ports du delta aux bateaux de mer calant 6 m.

Malgré les inconvénients de la voie fluviale BENOUE-NIGER que nous venons d'examiner et qui se traduisent par une grande insécurité des transports, il est probable que le trafic de GAROUA est appelé à s'accroître rapidement dans les années à venir, du fait de la mise en service récente ou prochaine de nouveaux bateaux de fort tonnage et rapides :

- U.A.C. 2 bateaux de 2.700 à 3.600 t. prévus pour 1959
- JOHN HOLT "AMCOTTS" de 1.000 t. mis en service en 1957
- C.T.C. "SUSIE" de 1.100 t. " " en 1956
- 1 bateau supplémentaire" " en 1958

Une nouvelle compagnie de navigation norvégienne envisage également de s'établir sur la BENOUE et le NIGER.

Cet accroissement d'environ 8 à 10.000 tonnes du tonnage global des flotilles représentera dans un avenir très rapproché une majoration d'environ 30% par rapport à ce qu'il était en 1955. Si l'on suppose deux rotations par campagne, les nouvelles unités pourraient assurer sur GAROUA un trafic supplémentaire de 30 à 40.000 tonnes. Il n'est donc pas exclu que dans une dizaine d'années le trafic de GAROUA s'approche de 70.000 tonnes, à condition toutefois que le développement économique du Nord-CAMEROUN et du TCHAD suive un rythme suffisant et que les multiples inconvénients de la BENOUE soient fortement atténués pour élargir sa zone d'attraction au TCHAD. Parmi ces inconvénients, nous pensons que l'insécurité des transports est le plus grave ; c'est celui auquel nous chercherons en premier lieu à remédier, tout en étudiant également l'allongement possible de la période de navigation. Par contre, nous n'aborderons pas les aspects économiques ou politiques du problème de la BENOUE, non plus que les questions techniques qui dépendent exclusivement des autorités nigériennes ou de compagnies privées étrangères, telles que l'extension des ports du delta, par exemple.

2) DIFFICULTES DE NAVIGATION

AMELIORATIONS POSSIBLES

-----

## 2) DIFFICULTES DE NAVIGATION - AMELIORATIONS POSSIBLES.

Nous ne nous attarderons pas à décrire en détail les nombreuses difficultés pratiques qui rendent incertaine la navigation sur la BENOUE. Cependant, pour illustrer de façon concrète les divers aléas auxquels nous cherchons à porter remède, nous reproduisons ci-après une note rédigée par un ingénieur d'une Compagnie exploitante (Compagnie de Transport et de Commerce), au cours d'un voyage d'études à bord du "Général LECLERC" en Août-Septembre 1955. Précisons que ce voyage s'est effectué dans des conditions relativement favorables, à une époque où le débit de la BENOUE était abondant.

D'une façon schématique, on peut dire que les difficultés rencontrées par la navigation sur la BENOUE sont de deux ordres :

- les unes sont la conséquence du régime hydrologique de la BENOUE qui appartient au type "tropical" :
  - 1°) brièveté de la période de hautes eaux (Juillet à Octobre)
  - 2°) irrégularité du débit (montée plus ou moins tardive en Juillet, creux fréquent en Août, décrue en Octobre)
- les autres difficultés résultent des caractéristiques hydrographiques qui sont elles-mêmes liées au régime des transports solides :
  - 3°) instabilité et sinuosité du chenal sur un lit de sable très étalé
  - 4°) faible profondeur du chenal sur les seuils qui ont tendance à s'exhausser pendant les hautes-eaux.

Pour remédier à ces différentes causes de difficultés, si l'on écarte les solutions que l'on peut d'emblée estimer économiquement inacceptables (canalisation, normalisation ou régularisation systématique du lit), il reste deux possibilités principales qui ont déjà été l'objet d'échanges de vues entre les représentants et conseillers techniques du CAMEROUN et du NIGERIA aux conférences de PARIS (Avril 1956) et de la HAYE (Mai 1957) :

1°) "Solution Réduite" :

Elle a déjà reçu un commencement d'application et consisterait essentiellement à guider et informer les usagers de la navigation pour leur permettre de s'accommoder au mieux des difficultés naturelles. Elle comporterait trois aspects principaux :

- balisage du chenal
- surveillance des fonds
- annonce des crues

2°) "Régularisation du débit" :

Cette solution, plus efficace, mais aussi beaucoup plus onéreuse que la précédente, tendrait à combattre la cause principale des difficultés de navigation en modifiant le régime hydrologique naturel. Elle consisterait à construire un barrage réservoir sur la BENOUE et, éventuellement, par la suite, sur certains affluents. Electricité de France a retenu le site de LAGDO situé en amont de GAROUA ; N.E.D.E.C.O. a envisagé la construction d'un barrage beaucoup plus important près de YOLA, à RIBADU.

Il est à remarquer que ces deux solutions ne s'excluent pas, mais qu'au contraire la "Solution Réduite" est une première étape logique, indispensable pour assurer la pleine efficacité du ou des barrages régularisateurs.

Par ailleurs, il existe quelques possibilités secondaires d'amélioration de la navigabilité qui ont été en partie envisagées en commun par N.E.D.E.C.O. et Electricité de France. Elles sont principalement du ressort des Compagnies de Navigation, mais à notre avis, elles complèteraient avantageusement la "Solution Réduite". Ce sont :

- a) L'adaptation et la modernisation des bateaux
- b) L'amélioration des méthodes d'exploitation
- c) L'aménagement sommaire du lit sur les seuils difficiles.

Dans les chapitres qui vont suivre, les deux principales solutions retenues pour l'amélioration de la navigabilité de la BENOUE seront examinées en détail ; l'efficacité des mesures secondaires que nous venons de mentionner sera étudiée dans le cadre de la "Solution Réduite".

### 3) ANNEXE

—



DE BURUTU A GAROUA ET DE GAROUA A YOLA

à bord du "GENERAL LECLERC"  
du 15 Août au 20 Septembre 1955

-----

Notes prises par M. KEREBEL  
de la C.T.C.

---

Le s/w "GENERAL LECLERC", sur lequel nous avons pris place, effectuait sa deuxième rotation sur GAROUA. Nous quittons le mouillage à 21 h.45. Le remorqueur pousse trois barges de chacune 350 T. et il porte lui-même 50 T. dans ses cales. Nous continuons la route jusqu'à 1 h. du matin et appareillons le 16 Août à 5 h.45.

Arrivée à 8 h.30 à GBEKEBO JUNCTION; par suite du courant et d'une mauvaise direction prise par le patron, le passage de cette jonction demande plus de deux heures. A 12 h.45, passé GANA-GANA; courant assez violent dans un chenal très profond, ce qui réduit notre vitesse à environ 1 km/heure.

A 19 h., nous arrivons à GBALIGOVO JUNCTION; là encore, manoeuvre pénible qui dure environ une heure. La nuit étant claire, la navigation se poursuivra toute la nuit sans arrêt et le 17 nous passons PATANI à 11 h.

De 14 h. à 15 h., arrêt à ASSAY pour ravitaillement. A 19 h. nous arrivons sur le NIGER proprement dit, au confluent du NUN RIVER; la navigation se poursuit jusqu'à 21 h., heure à laquelle nous mouillons.

Appareillage le 18 à 5 h.45; nous traversons le fleuve, large de 1 km., sous un banc de sable; profondeur de 12 à 15'. A 14 h., passé ABO puis N'DONI; chenal large, bordé de bancs de sable bien visibles sous l'eau. A 20 h., nous devons encore nous arrêter parce que le chenal traverse encore la rivière.

Le 19, appareillage à 5 h.45. Passé OGI à 7 h.15, OSOMARI à 10 h.15.

Passé dans la journée des Flats sinueux qui n'apparaissent plus depuis la montée des eaux. Ces flats

sont ceux qui réduisent le tirant d'eau pour ONITJA à 3'6" en Avril et Mai. Ils se déplacent tous les ans.

Arrivée à ONITJA à 19 h.30; le dernier mile a été parcouru en 1 h.30.

Le 20 Août, appareillage à 9 h.45 seulement en raison de l'approvisionnement; à 13 H., passé les flats ANAM, à 19 h., passé la montagne ILLAM et à 22 h.30 nous sommes arrêtés par les flats "BELOW ILLUSHI".

Le 21, appareillage à 6 h.15. La passe transversale qui nous avait arrêtés hier soir est facile à prendre au jour et nous aurions pu continuer avec un balisage à réflecteurs. A 9 h.15, arrêt à ILLUSHI pour débarquer du gas-oil. Départ de ILLUSHI à 10 h.40. Le chenal devient plus tortueux; le fleuve aussi est plus large et de grandes îles encombrant son cours; néanmoins la navigation ne rencontre aucune difficulté particulière. Mouillage à 21 h. devant de nouvelles difficultés pour traverser le fleuve pendant la nuit.

Le 22 Août, appareillage à 6 h.; à 10 h.30, passé IDA et à 13 h. passé les flats de AGBARE. A 18 h. passé ETOBE, à 19 h. passé BIRD ROCK et nous mouillons à 19 h.30 à AJIKUTA.

Le 23 Août, appareillé de AJIKUTA à 6 h.30; à 9 h.15 trouvé la première bouée rouge à l'amont de MACONOKIC ISLAND; la rivière est encaissée entre les montagnes, elle est plus étroite, le courant plus fort, nous montons à moins de 2 km. à l'heure. Passé la bouée N° 8 (la bouée N° 9 a dérivé et est venue sous la bouée N° 8). Courant de 4,5 noeuds à certains endroits jusqu'à la bouée N° 11.

Arrivée à 16 h.15 au confluent de la BENOUE; le chenal balisé y est très compliqué et à cause des bouées de bifurcation difficiles à comprendre. Nous nous amarons à LOKOJA à 17 h.30.

Le 24 Août, nous appareillons de LOKOJA à 6 h.30 et nous revenons un peu en arrière pour entrer dans la BENOUE. Passé MOZUM à 11 h., BOFU à 14 h.30, UMAISHA à 18 h.45. La BENOUE, plus étroite que le BAS-NIGER, n'offre cependant aucune difficulté avant UMAISHA. Ici le chenal se complique et de nombreuses pointes de courant sont à franchir. Il fait nuit à 19 h.15, mais le clair de lune nous permet de poursuivre.

A 20 h., nous nous échouons brutalement : la barge avant est déjàugée de 6' à l'avant et enfoncée de 1' à l'arrière; elle est montée sur une bande de sable à

fleur d'eau; les défenses en bois ont cassé et les rivets ont sauté au niveau du pont arrière. Cet échouage semble dû à une visibilité dissymétrique : la rive droite de la BENOUE est bordée de grands arbres et la rive gauche de petits arbustes; cette disposition donne l'impression, lorsque l'on se trouve au milieu de la rivière, d'être beaucoup plus près de la rive bordée de grands arbres. Si le remorqueur avait possédé un bon projecteur, l'accident aurait pu être évité.

Les 25, 26 et 27 Août, travaux pour le déséchouage et déchargement partiel des barges échouées. Grâce à une montée de l'eau de 6" et grâce au remorqueur "RATSEY" la barge est enfin déséchouée à la fin de la journée du 27 Août.

Le 28 Août, appareillage à 6 h.15; route normale; passé AMAGEBE à 17 h.45 et mouillage à 20 h.15.

Le chenal depuis UMAISHA est plus sinueux, mais profond. Etant donné le clair de lune, il aurait été possible, avec un bon projecteur et un balisage de franchir les traverses qui nous ont arrêtés.

Le 29 Août, appareillage à 6 h.; courant d'au moins 4 noeuds  $\frac{1}{2}$ . A 12 h., passé LOKO. Le fleuve est rectiligne, mais le chenal est sinueux.

Le ciel étant très clair, nous continuons la route jusqu'à 2 h.15. Nous arrivons à ZUWO où nous nous arrêtons par suite d'impossibilité de traverser à nouveau la rivière.

Le 30 Août, appareillage à 5 h.45. Jusqu'à MAKURDI, que nous atteignons à 13 h.45, pas de difficulté majeure : courant faible, chenal relativement rectiligne, mais bien visible entre les bancs de sable. Nous repartons de MAKURDI à 17 h.45; passé le pont de MAKURDI à 18 h.45. Le temps étant très clair, le LECLERC continue sa route; le chenal est assez rectiligne.

Le 31 Août, en route à 0 h.; à 2 h. nous passons le point mile 493 qui est à la moitié du chemin entre BURUTU et GAROUA. Notre vitesse moyenne jusqu'ici a été de 2,78 landing miles, soit 2,41 noeuds, en ne comptant strictement que les heures de navigation.

A 4 h., passé KATSENA RIVER : de 5 à 6 h. nous sommes arrêtés par un fort courant au passage étroit de BADJIRA et ce n'est qu'à 13 h.15 que nous atteignons le MONT HERBERT. Le courant est d'environ 4 noeuds  $\frac{1}{2}$ .

A 16 h.35, passé la bouée noire N° 3; à 21 h., passé TONGA et à 21 h.30 nous nous arrêtons avant les mauvais passages de SINKAI.

Le 1er Septembre, appareillé à 5 h.30; passé SINKAI à 8 h.15 : le chenal aurait été facile à passer avec un balisage et un bon projecteur. Le fleuve s'élargit, mais le chenal est à suivre plus attentivement.

Arrivée à IBI à 19 h.; nous perdons 7 h. à IBI pour le ravitaillement de l'équipage.

Le 2 Septembre, appareillé de IBI à 2 h.30 du matin; temps clair, lune pleine. Le fleuve est large, mais le chenal passe entre de longues îles et la rive.

Premier incident de virage à 9 h.15; le convoi n'obéissant pas contre le courant assez fort, il faut mouiller l'ancre avant pour arrêter la rotation; le convoi vient alors dans le milieu du courant et on vire l'ancre au guindeau pour appareiller de nouveau; nous perdons ainsi  $\frac{1}{2}$  heure. Par la suite, cet incident se reproduira 59 fois entre DONGA RIVER et GAROUA.

Passé DONGA RIVER à 11 h.30; incident de virage à 19 h.45 et mouillage à 20 h.30.

Le 3 Septembre, appareillage à 5 h.

A 12 h., passé la bouée N° 5 à l'embouchure de TERABA RIVER. De 21 h. à 22 h., passage d'une très forte pointe de courant à KAMBERRI et mouillage à 23 h.

Le 4 Septembre, appareillé à 5 h. A 8 h.15 il faut traverser la BENOUE presque perpendiculairement à la rive; manoeuvre très difficile et très longue.

A 11 h.45, arrivée aux premières maisons de MUTTUMBIO.

A 17 h.30 passé MAINARAIWA.

Nous continuons la route de nuit et nous passons MORO BEACH à 22 h.45 et nous mouillons à 23 h.45.

Le 5 Septembre, appareillage à 5 h.; passé KWATTUM MURI à 10 h. Une tornade s'élève à 10 h.; le vent nous stoppe et nous plaque sur la rive herbeuse. Nous reculons légèrement, puis nous avançons à nouveau. Nous stoppons à nouveau et après une manoeuvre assez difficile, et grâce à une saute de vent, nous pouvons démarrer. A 10 h.40, nous avons gagné 100 m. sur le village de KWATTUM MURI; à 11 h. nous y sommes toujours.

La tornade s'étant calmée, nous reprenons notre route à 14 h., nous passons USUMANU.

A 14 h.30 nous approchons de LAU. Grâce à la première carte NEDECO, nous retrouvons très facilement le paysage et nous pointons le chenal. Il apparaît immédiatement que cette carte est très précise et après deux heures d'observation, il apparaît également que le chenal a peu changé. En tout cas, cette carte constitue un magnifique canevas pour le balisage futur.

A 19 h.15 mouillé à LAU.

Le 6 Septembre, appareillage à 5 h.45 (à partir de maintenant nous nous référerons au kilométrage indiqué sur la carte NEDECO).

Passage difficile au Km. 270 à cause du courant, au Km. 265 tornade. Creeks étroits à partir du Km. 261; courant très fort; le LECLERC avance à peine, il est parfois collé à la rive par le courant et doit stopper pour se dégager.

Au Km. 256, nous sommes stoppés à nouveau.

A 15 h. nous stoppons à DJEN que nous quittons à 16 h.

Au Km. 241 nous sommes encore stoppés par le courant et nous mettons 33 minutes pour parcourir 350 m.

A 18 h.45, il fait nuit et le pilote continue "par coeur" la nuit étant très noire, le projecteur ne nous étant d'aucun secours. Stoppé à 19 h.45 avant la traversée dangereuse du Km. 235.

Nous avons ainsi parcouru 38 km. en 14 h. la navigation n'est pas particulièrement difficile, mais nous avons été stoppés par le courant.

Le 7 Septembre, appareillage à 5 h.50 du Km. 237. Virage manqué au Km. 235. Passé ensuite un creek étroit où le courant est très fort mais régulier; nous mettons 1 h.20 pour faire trois km.

Passé GAMADIO à 9 h.30. Le chenal suivi après GAMADIO est différent de celui suivi par le LECLERC lors de son premier voyage. A 17 h. passé KABAWA au Km. 207.

Nous avons parcouru dans la journée 38 km. en 13 h.

Le 8 Septembre, appareillage à 5 h.15. Chenal facile à trouver et à suivre jusqu'à NUMAN où nous arrivons à 10 h. après avoir trouvé à l'embouchure de la GONGOLA un courant très fort.

A 15 h.20, passé BORO où le chenal est bien visible sur l'eau. Au Km. 160 le pilote signale un changement de chenal comparativement avec le chenal de l'an passé. Je constate d'après la carte NEDECO, qui date de 1954, que le chenal suivi cette année aurait pu également être suivi l'an dernier.

Au Km. 159, nous sommes stoppés par le courant pendant 1/4 d'heure. Mouillé à 19 h.15 au Km. 158,5.

Le 9 Septembre, appareillé à 5 h.40. Le chenal est toujours compliqué, le courant très fort, mais, à l'aide de la carte NEDECO, nous pouvons le suivre facilement en tenant compte du glissement annuel des bancs de sable complètement immergés; en effet ces bancs glissent, tandis que ceux qui sont recouverts d'herbe grasse restent stables.

A 7 h.45 nous arrivons au petit village de BANKIBIU, où nous allons rester jusqu'à 13 h.05 pour franchir 1 km. de courant qui doit être de 5,5 noeuds environ. Pour passer, nous sommes obligés de remorquer les barges une par une.

A 19 h.30 nous nous échouons devant DALMARE, mais nous parvenons à nous dégager en battant simplement en arrière.

A 21 h.35 (3 km. en 1 h.45) nous nous amarrons à YOLA.

Le 10 Septembre, appareillage à 9 h.15. De nombreux signaux apparaissent à la rive, nous essayons de les interpréter. D'après la carte, ils semblent bien placés, mais ils sont généralement trop petits et souvent attachés à des arbustes trop fragiles : du reste certains de ces signaux sont tombés.

A partir de 14 h. à JOBOLI, nous subissons une tornade; nous avançons peu à cause du vent et nous sommes souvent chassés contre la rive, mais comme nous ne pouvons nous amarrer nulle part nous devons rester en route. Le vent diminue et à 19 h.15 nous nous amarrons au Km. 102,5.

Le 11 Septembre, appareillage à 5 h.30. Le chenal peut toujours se déduire facilement du chenal de

l'année précédente. Au Km. 93/94 le pilote insiste pour passer dans un chenal qui, cependant, était à peine marqué en 1954; les eaux sont très hautes et nous passons de justesse au milieu des paquets d'herbes échouées sur des bancs de sable.

Les signaux se multiplient à la rive; faute de connaître leur convention nous ne pouvons pas les comprendre : du reste le pilote n'y prête aucune attention.

Au Km. 89 le pilote spécial de OURO-BOKI rejoint le LECLERC. Le chenal que nous suivons paraît très compliqué, mais il est le résultat des désirs du pilote et des possibilités de gouverne du bateau. Il nous semble ici que le glissement annuel des bancs de sable paraît plus important.

Nous apercevons quelques-unes des bouées éolip-sables du Cdt LE BEC : elles n'apparaissent que par intermittence. Le chenal paraît plus étroit, le courant est très rapide (4 noeuds).

Au Km. 75 nous calons pendant  $\frac{1}{2}$  heure devant le premier bras du FARO et au Km. 72, à l'entrée de la BENOUE, l'avant du convoi, recevant tout à coup le courant de la rivière, est rejeté sous le large, d'où des manoeuvres assez longues pour le remettre au courant. Il faut contourner la pointe du village de plusieurs dizaines de mètres et contrer le courant oblique avant d'y pénétrer.

La BENOUE est pleine jusqu'au bord et c'est un canal relativement étroit (300 m.), profond et de courant régulier.

Le virage du Km. 66 nous arrête pendant 1 h.30, faute de manoeuvres convenables. Nous continuons la route toute la nuit.

Le 12 Septembre, après avoir passé le SHUNT entre 3 h. et 5 h. du matin, nous atteignons la balise au Km. 26 à 9 h.30.

A 14 h.30 nouvelle difficulté de virage et nous arrivons à GAROUA à 16 h.30.

Les 13 et 14 Septembre nous attendons le déchargement de deux autres navires arrivés avant nous. Le 15 Septembre, nous accostons au wharf à 18 h.30; les 1.100 T. de ciment étaient déchargées le 16 Septembre à 22 h. et le chargement des arachides était terminé le 17 Septembre à 16 h.

Le 18 Septembre, appareillage à 6 h. et nous parvenons à 11 h.20 au Km. 70; notre vitesse moyenne à la descente a été ainsi de 6,94 noeuds à l'heure.

A 12 h., au Km. 80, nous manquons échouer et nous manquons encore une fois échouer dans le passage de OURO-BOKI.

A noter qu'aucun pilote n'est venu à bord pour passer les OURO-BOKI.

A 13 h.25 nous arrivons au Km. 93/94 que nous avons déjà passé avec difficulté le 11 Septembre. La première barge s'échoue, suivie de la deuxième, puis de la troisième et enfin le LECLERC s'échoue à son tour. Heureusement que ce sont des échouages légers et, après de longues manoeuvres, nous arrivons à déséchouer.

Le 19 Septembre, les barges déséchouées sont portées une à une à la rive au Km. 90. Nous appareillons à 17 h.30 et nous mouillons à 18 h.30. Nous avons ainsi perdu 28 h. dans cet échouage.

Le 20 Septembre, appareillage à 5 h.30 et arrivée à YOLA à 7 h. d'où le LECLERC est reparti à 9 h. après nous avoir débarqués.

o  
o. o

Nous avons constaté que, en général, le fleuve n'est pas muni d'aménagements tendant à faciliter la navigation. Seules les difficultés permanentes (passe rocheuse de AJIKUTA à LOKOJA et quelques roches isolées de la BENOUE) sont balisées. Tout le reste du fleuve est une masse mouvante de bancs de sable entre lesquels le chenal sinueux est relativement profond. Compte-tenu de l'amplitude de la crue, la navigation est cependant possible pour quiconque suit bien le chenal.

Le courant moyen est de 3 noeuds, ce qui est nettement supérieur au courant moyen par exemple du CONGO ou de l'OUBANGUI.

Les passes ne sont pas balisées, aussi la navigation de jour n'est-elle possible qu'avec l'aide de pilotes expérimentés qui lisent sur l'eau le jour et se basent sur leur mémoire, souvent défaillante, la nuit.



La navigation systématique de nuit n'est pas possible faute de balisages lumineux. D'ailleurs les bateaux n'ont pas de projecteurs suffisants pour déceler un balisage de nuit. Ils s'arrêtent donc généralement le soir, sauf lorsqu'il y a clair de lune et que le ciel dégagé leur permet de poursuivre leur route jusqu'à ce qu'ils trouvent une difficulté quelconque. Ainsi on peut dire que, comme il fait jour pendant  $13\text{ h.}\frac{1}{2}$  et nuit noire pendant  $10\text{ h.}\frac{1}{2}$ , la navigation est arrêtée pendant 43 % de la période de crue. Cependant, si la navigation de nuit est possible à la montée, il ne paraît pas possible de l'utiliser à la descente.

La période de crue est courte mais assez régulière; c'est la difficulté de fixer la date de la décrue annuelle qui pèse le plus sur l'exploitation et interdit d'établir des rotations régulières.

Nous devons maintenant parler des pilotes. De LAGOS à BURUTU, nous avons eu un pilote pour 450 km. De BURUTU à LOKOJA, un second pilote pour 536 km. De LOKOJA à GAROUA un troisième pilote pour 1.050 km. et à OURO-BOKI un quatrième pilote pour 15 km.

Nous n'avons eu lieu d'être satisfaits que du second pilote (de BURUTU à LOKOJA) car il pratique le voyage pendant presque toute l'année. Il faut dire également que les eaux étaient hautes et nous avions peu de chance de nous échouer, même en ne suivant qu'approximativement le chenal.

De LAGOS à BURUTU, le premier pilote nous a échoués brutalement en dehors du chenal. Il avait l'excuse de ne pas apercevoir la bouée N° 8 qui se trouvait à 4,300 km.

De LOKOJA à GAROUA, le troisième pilote nous a échoués trois fois, dont deux fois très gravement. Pour éviter le premier et le second échouage il aurait suffi d'un bon projecteur. Pour éviter le troisième une cartographie élémentaire ou un balisage auraient indiqué au pilote que le chenal avait déjà changé avant la saison précédente. Comme cet incident s'est passé dans la zone dépendant du pilote de OURO-BOKI, il est probable que nous ne l'aurions pas subi si le pilote de OURO-BOKI avait été effectivement à bord. A la décharge du pilote de LOKOJA à GAROUA, il faut dire qu'il n'a l'occasion de parcourir le fleuve que deux fois par an avec les bateaux de l'U.A.C. et une fois en pirogue au mois de Mars de GAROUA à LOKOJA. Il est difficile de lui demander de retenir tous les passages sur une longueur de plus de 1.000 km.

Nous avons été très heureux de nous servir des cartes établies par la NEDECO. Ces cartes sont des restitutions de levés photographiques aériens effectués en Mai 1954, à une saison où le lit profond, c'est-à-dire le chenal, est bien marqué. Malheureusement, les bancs de sable se déplacent tous les ans. Pointant le chenal suivi par le pilote de LAU à GAROUA, nous avons constaté que le chenal de 1955 pouvait se déduire assez facilement du chenal 1954 par une translation qui correspond au glissement annuel des bancs de sable. Mais il faudrait arriver à fixer la loi qui régit le déplacement de ces bancs de sable. En tous cas, on peut constater que le fleuve n'est pas complètement bouleversé tous les ans.

Ces cartes constituent un canevas très précis à partir duquel des cartes nouvelles pourraient être dressées en temps utile tous les ans, soit à l'aide de photos aériennes non restituées prises tous les ans au mois de Mai, soit avec l'aide des brigades fluviales qui corrigeraient chacune un secteur après l'avoir parcouru en pirogue.

Quant au balisage, nous sommes persuadés qu'un balisage lumineux pourrait être établi à peu de frais dans la portion du fleuve qui paraît la plus facile; ce balisage nous permettrait de voyager de nuit et de gagner ainsi presque 50 % du peu de temps qui nous est dévolu pendant les crues.

Les passages difficiles (entre LAU et le FARO) pourraient être très utilement munis, aux endroits délicats, de bouées éclipsables, mais visibles, et d'un certain nombre d'amers également bien visibles.

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE

—○—  
Inspection Générale Union Française  
et Etranger

ÉTAT DU CAMEROUN

—○—  
Service des Ports  
et Voies Navigables

Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer

# AMÉLIORATION DE LA NAVIGABILITÉ DE LA BÉNOUÉ

## III - PROPOSITIONS POUR L'AMÉLIORATION DE LA NAVIGABILITÉ

### B - Solution réduite

## B - SOLUTION REDUITE

----

- 1) Principes et réalisation pratique
- 2) Hauteurs et débits limites de navigation
- 3) Période de navigation
- 4) Tirant d'eau optimum
- 5) Adaptation et modernisation des bateaux
- 6) Amélioration des méthodes d'exploitation
- 7) Aménagement sommaire des seuils difficiles

## 1 - PRINCIPES ET REALISATION PRATIQUE

-----

## B - SOLUTION REDUITE -

### 1) PRINCIPE ET REALISATION PRATIQUE

La "Solution Réduite" dans son principe ne chercherait pas à s'attaquer à la cause même des difficultés rencontrées par la navigation. Elle aurait pour objectif d'en limiter les inconvénients en détectant en temps voulu ces difficultés et en les signalant aux usagers. Pour remplir ce rôle elle comporterait la mise en place de trois services : balisage, surveillance des fonds, annonce des crues.

La "Solution Réduite" a déjà fait l'objet d'une note ("Essai d'application de la Solution Réduite" - Avril 1957), qui a été remise aux représentants et aux techniciens du Gouvernement du NIGERIA, à la conférence de LA HAYE. Nous en reprendrons ici les éléments essentiels avec quelques modifications tenant compte des enseignements de la campagne 1957.

#### a) BALISAGE :

Dans les conditions actuelles, les pilotes essaient de suivre aussi exactement que possible le tracé du chenal en interprétant certaines indications qu'ils repèrent à la surface de l'eau (courant, clapotis, teinte de l'eau, etc...) et en s'aidant de leurs souvenirs du lit d'étiage reconnu en saison sèche. Bien que la faculté de "lire sur l'eau" et la mémoire visuelle soient remarquablement développés chez les pilotes africains, l'expérience montre que ces moyens ne sont pas absolument infaillibles et conduisent parfois à de graves échouages qui immobilisent les bateaux pendant de nombreuses heures, si ce n'est pendant plusieurs jours. Le rôle du balisage serait de signaler aux navigateurs la situation du chenal de façon sûre et précise pour réduire au maximum les risques d'échouages.

Des essais de balisage ont déjà été effectués de 1954 à 1956, dans la région d'OURO-BOKI, par le Service des Ports et Voies Navigables du CAMEROUN. En 1957, avec la collaboration de ce même service et de N.E.D.E.C.O., ces essais ont été repris par l'"Inland Waterways Department" sur les "flats" d'OURO-BOKI et

et de GAMADIO. Il semble maintenant qu'une réalisation à grande échelle pourrait être entreprise avec toutes chances de succès. Il a d'ailleurs été décidé en Décembre 1957 à LAGOS que, pour la campagne 1958, le balisage de la BENOUE serait exécuté par I.W.D. entre le confluent du FARO et LAU. En ce qui concerne le trafic de GAROUA, cette section de la BENOUE est incontestablement la plus critique et celle qui limite le plus étroitement les possibilités de transport. Nous pensons cependant qu'ultérieurement le balisage devrait être étendu à tout le cours de la BENOUE jusqu'à LOKOJA et même sur le Bas-NIGER, de façon à permettre la navigation de nuit. Par contre, sauf peut-être sur les 20 ou 30 premiers kilomètres en aval de GAROUA, le balisage de la BENOUE française entre GAROUA et le confluent du FARO ne nous paraît pas indispensable : le chenal y est profond et stable, son tracé s'adaptant étroitement aux méandres décrits par le lit.

Le balisage permettrait d'augmenter considérablement la sécurité de la navigation et permettrait d'utiliser au maximum la période de hautes eaux très courte. La durée de navigation pourrait être allongée de plusieurs jours au début et en fin de campagne, tandis que l'interruption fréquente du mois d'Août serait sensiblement abrégée. Les grosses pertes de temps dues au tâtonnement des bateaux, aux échouages et aux manoeuvres de remise à flot serait presque totalement supprimées ; enfin, la navigation de nuit pourrait être pratiquée de façon régulière, tout au moins à la montée, ce qui procurerait un gain de temps appréciable. Ajoutons qu'en cas de régularisation, le balisage serait indispensable pour réduire au maximum le débit limite de navigation et tirer le meilleur parti de l'eau mise en réserve derrière le barrage de LAGDO ou celui de RIBADU.

#### Principe de balisage :

Etant donné qu'il existe des passages faciles où le chenal n'a pas sensiblement varié depuis des années et que les pilotes connaissent très bien, on pourrait concevoir un système de balisage limité à quelques signaux de repérage dans les zones où se produisent des échouages fréquents. Il apparaît cependant beaucoup plus recommandable de réaliser un balisage continu, c'est-à-dire tel que lorsqu'un bateau passe devant un signal, il puisse toujours apercevoir le signal suivant. Ce système présenterait l'avantage de

maintenir beaucoup plus facilement l'attention des pilotes, d'éviter des erreurs de pilotage qui se produisent parfois sans grande raison apparente et surtout de permettre la navigation de nuit.

Les observations effectuées pendant les dernières campagnes ont montré que dans l'ensemble le schéma général du chenal ne subissait pas de modifications importantes, si ce n'est un certain glissement des seuils vers l'aval. Par contre, dans quelques secteurs restreints, comme la "zone II" en 1956, le chenal manifeste une grande instabilité et se déplace localement presque de jour en jour, surtout pendant la période de décrue qui succède aux plus fortes pointes de débit. On est ainsi amené à concevoir un double système de balisage. Un système principal comportant la majorité des signaux serait mis en place avant la période de navigation. Il serait, en principe, fixe, mais pourrait cependant être modifié assez rapidement en cas de variation importante du chenal. Un deuxième système, essentiellement mobile, serait réservé aux zones très difficiles et instables. Il serait constitué par des bouées très légères permettant de jalonner toutes les sinuosités du chenal et susceptibles d'être déplacées très fréquemment avec une petite embarcation.

#### Réalisation du balisage :

Le balisage principal comporterait deux catégories de signaux :

- Primo, des balises placées sur les rives ou éventuellement sur des îles, qui permettraient de repérer le chenal lorsqu'il longe les berges.

- Secundo, des bouées mouillées dans le lit, qui serviraient principalement à baliser le chenal sur les seuils, c'est-à-dire généralement dans les passages où le chenal traverse le lit en biais. Le nombre des bouées devrait être réduit au minimum, car leur entretien serait plus difficile et moins sûr que celui des balises à terre.

Les balises et les bouées seraient tout naturellement placées en bordure du chenal, dont la largeur théorique pourrait être fixée à 100 mètres. Il serait suffisant de signaler le chenal d'un seul côté, sauf



lorsque des hauts-fonds réduiraient sa largeur à moins de 100 mètres. Sur les seuils, les bouées seraient, en principe, mouillées du côté aval du chenal car les risques d'échouage sont beaucoup plus faibles du côté amont, où le courant tend de lui-même à dégager les bateaux.

Dans la mesure où l'axe du chenal peut être assimilé à une ligne brisée, tous les points anguleux du chenal seraient marqués par un signal (signal d'angle). Si celui-ci devait être une bouée, elle serait placée à l'intérieur du coude, de sorte que les bateaux auraient toujours à contourner les bouées d'angle. Cependant, dans les traverses difficiles, une courbe de concavité tournée vers l'amont pourrait être signalée par deux bouées d'angle situées de part et d'autre du chenal ; la bouée aval inviterait les bateaux à ne pas se laisser trop dériver pendant leur manoeuvre de virage et les empêcherait de venir s'échouer à l'extérieur de la courbe décrite par le chenal.

Dans le cas de grands parcours rectilignes, des signaux intermédiaires seraient placés entre les signaux d'angle, de façon que soit respecté le principe de la continuité du balisage. Pour que l'attention du pilote reste constamment soutenue et qu'il ait toujours devant lui un signal nettement visible, la distance maximum entre deux signaux ne devrait pas, en effet, excéder 1 km.

En dehors de conditions particulières (pluies, éclairage à contre-jour, nuit tombante, etc...) le seul cas où l'on puisse tolérer que, passant devant un signal, le pilote ne soit pas en mesure d'apercevoir immédiatement le suivant, serait celui où il aurait à longer la rive sur une certaine distance. Les conditions de visibilité entre deux balises situées sur la même rive, sont en effet les plus défavorables. Il serait donc recommandé que les balises indiquent clairement, dans ce cas là, que le chenal qui passe devant elles continue à longer la rive, de façon que le pilote en soit averti avant d'apercevoir la balise suivante.

Il est très important que la signalisation du chenal soit aussi simple et aussi claire que possible, de façon à être comprise sans hésitation par les pilotes africains.

Bien que cela ne soit strictement indispensable que pour les bouées, il semble préférable pour la continuité du balisage, que tous les signaux situés d'un même côté du chenal puissent être distingués de ceux situés du côté opposé. En l'absence de règles universellement adoptées pour les voies d'eau intérieures, la couleur des signaux dériverait de l'accord international intervenu pour les balisages maritimes (SDN 1936) : Bouées rouges du côté gauche, quand on entre dans un port en venant de la mer, et bouées noires du côté droit. Pour éviter toute possibilité de confusion entre balisage maritime et balisage fluvial dans un port d'estuaire, il est nécessaire que sur le fleuve les signaux rouges se trouvent du côté droit en descendant le courant et les signaux noirs du côté gauche. C'est cette convention que nous préconisons pour le balisage de la BENOUE qui pourrait, ultérieurement, être étendu jusqu'aux bouches du NIGER.

Si l'on recherche le maximum de simplification, il est possible de ne pas différencier les signaux d'une façon plus poussée que par leur couleur, la route à suivre par les bateaux étant théoriquement suffisamment définie en naviguant d'un signal à l'autre. Cependant, pour réduire au maximum tout risque d'ambiguïté, en particulier dans le cas de mauvaise visibilité le long de la rive, il semble préférable de diversifier davantage les signaux, de façon à permettre au navigateur passant devant un signal d'avoir une première indication sur la direction du chenal, avant même d'avoir aperçu le signal suivant. On verra plus loin comment cette signalisation peut être réalisée sans complication inutile.

### Balises :

Les balises pourraient être constituées de façon très simple par des panneaux de bois fixés sur un mât ou éventuellement sur un arbre à une hauteur d'au moins 4 mètres au-dessus du sol pour être bien dégagés des hautes herbes qui recouvrent les rives en saison des pluies. Les dimensions de ces panneaux seraient telles qu'ils puissent être vus distinctement à une distance d'au moins 1 km et sous une assez forte obliquité (de l'ordre de 60°). Nous avons prévu une hauteur de 70 cm et une largeur nettement plus importante pour tenir compte de l'obliquité : 120 cm. Pour que ces balises résistent mieux aux violentes rafales de vent qui soufflent pendant les tornades, les panneaux

ont été prévus à claires-voies et les mâts soigneusement haubannés.

Les balises seraient placées sur les rives, à quelques mètres en retrait de la berge, de façon à éviter qu'elles soient rapidement emportées par le courant, par suite de l'érosion souvent très active.

Les balises placées sur la rive droite seraient peintes en rouge et blanc, celles situées sur la rive gauche en noir et blanc, suivant la convention préconisée plus haut. La couleur blanche aurait pour but d'améliorer la visibilité.

Quatre types de balises ont été prévus (voir fig. CAM 6579 et 6580) dont la signification serait facilement interprétée si l'on note que la ligne de séparation entre la partie blanche et la partie colorée (rouge ou noire) des panneaux schématise la direction du chenal.

- Balise d'appel, indiquant aux bateaux qu'ils doivent s'approcher de la rive et la longer ensuite.

- Balise intermédiaire, indiquant aux bateaux qu'ils doivent continuer à longer la rive.

- Balise de renvoi, indiquant aux bateaux qui viennent de longer la rive qu'ils doivent maintenant s'en écarter.

- Balise d'appel et de renvoi, indiquant aux bateaux qu'ils doivent s'approcher de la rive puis s'en écarter immédiatement.

Pour permettre la navigation de nuit, on pourrait s'inspirer de ce qui a été réalisé sur le CONGO : les panneaux des balises seraient munis de petites plaquettes d'aluminium recouvertes de scotchlite (rouge et argentée en rive droite, verte et argentée en rive gauche) facilement visibles à plusieurs kilomètres sous le feu d'un projecteur de 1 kw à faisceau mince.

### Bouées :

L'entretien des bouées pose un problème assez difficile du fait des herbes flottantes qui sont charriées en abondance au moment des crues rapides du FARO.

Le Service des Ports et Voies Navigables du CAMEROUN a essayé différents types de bouées basculantes, dont un proposé par Electricité de France, qui étaient prévus pour laisser passer au fur et à mesure les paquets d'herbes flottantes amenés par le courant. Aucun de ces modèles de bouées n'a donné complète satisfaction.

En définitive, il semble bien que la solution la plus simple soit la meilleure : il suffit d'utiliser des fûts d'essence de 200 litres, très solidement ancrés avec une quinzaine de mètres de chaîne de 10 mm et un corp-mort d'au moins 100 kg. De plus, on doit assurer quotidiennement le nettoyage des bouées pour éviter que la poussée des herbes accumulées ne les fasse dériver ou rompre leur ancrage.

Comme pour les balises, les couleurs rouge et noire permettraient de différencier les bouées situées respectivement à droite et à gauche du chenal. Il apparaît cependant souhaitable d'établir également une distinction entre les "bouées d'angle" et les "bouées intermédiaires" définies précédemment, de façon que par mauvaise visibilité les pilotes sachent immédiatement, en passant devant une bouée, s'ils doivent la contourner ou, au contraire, continuer leur route sans changer de cap. Pour permettre cette distinction, les bouées d'angle pourraient être constituées par des fûts flottants verticalement et les bouées intermédiaires par des fûts flottants horizontalement.

Pour faciliter la navigation de nuit, les bouées pourraient être munies, comme les balises, de plaquettes de scotchlite réfléchissante rouges ou vertes et argentées.

### Mise en place du balisage :

En avril, les balises, les bouées et tout le matériel nécessaire à leur installation seraient acheminées vers différents centres facilement accessibles par la route en saison sèche : OURO-BOKI, YOLA, NUMAN, GAMADIO, LAU, etc...

La mise en place du balisage pourrait commencer début Mai, époque à laquelle commencent à se faire sentir les premières petites crues, mais où le chenal reste encore très apparent. A partir des centres de dépôt, les balises et les bouées seraient réparties le long du lit d'étiage, à l'aide d'embarcations de très faible tirant d'eau (30 à 40 cm) manoeuvrées à la perche ou actionnées par un moteur hors-bord en cas de profondeur suffisante.

En progressant de l'amont vers l'aval, les balises seraient installées sur les rives comme il a été indiqué précédemment, de même que les bouées qui seraient simplement posées sur le sable, en bordure du chenal, avec leurs corps-morts et leur chaîne. Pour éviter que celle-ci ne s'enlise dans le sable au début de la montée des eaux, elle serait supportée provisoirement au moyen de piquets de bois.

Au moment de leur installation, la position des balises et des bouées serait rapidement relevée par rapport à des repères caractéristiques et aussitôt reportée soigneusement sur la carte NEDECO au 1/20.000<sup>e</sup> extraite des photographies aériennes de la BENOUE, prises en 1954.

Toutes les balises et toutes les bouées seraient affectées d'un numéro d'ordre inscrit très lisiblement sur les signaux et reportées sur la carte de façon que le balisage puisse également servir pour les bateaux de système de repérage en attendant la pose de poteaux kilométriques.

La mise en place complète du balisage, qui comprendrait approximativement 125 balises et 50 bouées pour 100 km de fleuve serait terminée vers la fin de Juin. Une carte, portant toutes les indications utiles sur la position du chenal et l'emplacement de tous les signaux de balisage, serait alors publiée et remise aux compagnies de navigation avant le départ de leurs premiers bateaux. Il serait conseillé à celles-ci de munir leurs pilotes de jumelles et d'équiper leurs bateaux de projecteurs puissants pour que le balisage puisse être utilisé efficacement en toutes circonstances.

A la fin de la campagne de navigation, le balisage pourrait être laissé en place jusqu'au mois de Mai suivant, époque à laquelle il serait entièrement révisé suivant les mêmes méthodes que pour sa première

mise en place. Pour éviter les risques de vols, les balises et les bouées seraient placées sous la sauvegarde des chefs de villages riverains.

#### Contrôle et entretien du balisage principal :

Pendant la campagne de navigation, les équipes de balisage auraient, en premier lieu, à patrouiller dans le chenal à intervalles réguliers, avec des bateaux assez rapides (environ 10 noeuds) et munis de sondeurs à ultra-sons, dans le but de vérifier la validité du balisage. Elles s'assureraient que les bouées n'ont pas été déplacées par le courant, contrôleraient leur désherbage régulier et remettraient en état tous les signaux qui auraient été endommagés pour une raison quelconque. En cas de déplacement local du chenal, elles devraient être en mesure de modifier assez rapidement la position d'autant de balises et de bouées qu'il serait nécessaire. Les bateaux qu'elles utiliseraient devraient donc être munis d'un mât-de-charge et des treuils nécessaires pour le mouillage et le relevage des bouées.

#### Balisage léger :

Les zones très difficiles où le chenal offre une faible profondeur et manifeste une grande instabilité, seraient l'objet d'une surveillance encore plus continue de la part des équipes de balisage qui pourraient avantageusement être basées à proximité immédiate des plus mauvais passages (OURO-BOKI et GAMADIO, en particulier).

Ainsi qu'il a déjà été expliqué plus haut, la mobilité du chenal, dans les zones les plus instables, nécessiterait un balisage très léger, susceptible d'être modifié au besoin journellement ou d'être mis en place spécialement quand le passage d'un bateau serait annoncé. Ce balisage léger, qui n'aurait de raison d'être qu'en début et en fin de campagne et serait appliqué seulement sur des distances de quelques centaines de mètres, pourrait être réalisé avec des flotteurs très légers (petites bouées bi-côniques surmontées d'un drapeau par exemple) qui jalonnent toutes les sinuosités du chenal et pourraient être mis en place avec une vedette rapide.

Un essai de balisage de ce genre a déjà été réalisé en Octobre 1956 dans la "zone II", pour le bateau ayant le dernier quitté GAROUA. Il a permis à ce bateau de passer cette zone sans encombre, alors qu'il s'est échoué sérieusement le même jour, dans un passage nettement plus facile situé à une dizaine de kilomètres en aval. Précisons cependant que cet essai avait été facilité par la présence d'une vedette de pilotage qui précédait le bateau et lui évitait toute erreur d'interprétation du balisage. Ce système de pilotage pourrait d'ailleurs être généralisé, s'il s'avérait utile pour réduire au maximum les risques d'échouage.

b) SURVEILLANCE DES FONDS :

Le contrôle du balisage principal aussi bien que le renouvellement fréquent du balisage léger impliqueraient de la part des équipes qui en seraient chargées, de nombreuses patrouilles dans le chenal. La "surveillance des fonds", qui resterait étroitement liée au balisage, consisterait essentiellement à organiser ces patrouilles de façon systématique pour être en mesure de communiquer régulièrement et dans les moindres délais, par radio, tous les renseignements importants sur les modifications du chenal et les profondeurs minima des seuils les plus difficiles.

Dans ce but, pendant les périodes critiques pour la navigation, les vedettes de sondage devraient, à intervalles réguliers de quelques jours, sillonner méthodiquement les zones les plus difficiles. Une méthode expéditive consisterait à suivre, à l'intérieur de ces zones, une route en dents de scie allant d'un bord à l'autre du chenal. Les enregistrements des sondeurs à ultra-sons permettraient de déterminer rapidement les mouillages les plus faibles du chenal que l'on ne chercherait pas à localiser avec précision. A intervalles plus espacés, des levés hydrographiques réguliers pourraient être exécutés dans ces mêmes zones, suivant les procédés mis au point au cours des campagnes 1955 et 1956.

Les renseignements recueillis par les différentes équipes de surveillance des fonds seraient transmis par radio à une station centrale qui serait chargée de leur interprétation et de leur diffusion auprès des intéressés.

c) ANNONCE DES CRUES :

Le rôle du Service d'Annonce des Crues est de fournir régulièrement aux compagnies de navigation des prévisions sur les variations de hauteurs d'eau dans les différents secteurs de la BENOUE. Ces prévisions, élaborées plusieurs jours à l'avance, permettent aux compagnies, dans les périodes critiques du début et de la fin des hautes-eaux ou de la décrue fréquente d'Août, d'improviser de façon plus rationnelle les déplacements de leurs bateaux et d'améliorer ainsi sensiblement le rendement de leur flotille. Par exemple, il peut arriver qu'une baisse rapide des eaux survenant fin Septembre soit interprétée par les responsables des compagnies de navigation comme la fin définitive des hautes eaux et qu'ils s'apprêtent en conséquence à ordonner le repli immédiat de tous leurs bateaux vers l'aval, compromettant ainsi irrémédiablement l'exécution complète du planing de transport. Avertis à temps par le Service d'Annonce des Crues qu'une ultime recrudescence de débit est au même moment enregistrée dans le bassin supérieur de la BENOUE et du FARO, ils peuvent bénéficier d'un répit de plusieurs jours qui leur permettra peut-être d'assurer la totalité du trafic prévu.

C'est sur ces principes qu'un Service d'Annonce des Crues a été créé en 1954 par le Service des Ports et Voies Navigables du CAMEROUN et avec le concours de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer. Un réseau de stations d'observations limnimétriques a été rapidement installé sur la Haute-BENOUE et les principaux affluents :

- OURO-BOKI
- GAROUA
- RIAO
- Le BUFFLE NOIR, sur la BENOUE
  
- SAFAI
- Le Campement CORON, sur le FARO
  
- COSSI, sur le MAYO-KEBI.

Les différentes stations sont reliées par radio à la station centrale de GAROUA et lui communiquent deux fois par jour les hauteurs d'eau observées.



A partir de celles-ci le Chef du Service d'Annonce des Crues élabore ses prévisions pour les jours qui suivent et les communiquent immédiatement aux compagnies de navigation.

On trouvera des détails sur le fonctionnement du Service d'Annonce des Crues dans un article de M. ALDEGHERI paru dans l'Annuaire Hydrologique de la France d'Outre-Mer, année 1954. Les hauteurs d'eau à OURO-BOKI et GAROUA sont prévues avec une précision de quelques centimètres une demi-journée à l'avance et la tendance des variations à la hausse ou à la baisse est donnée pour les trois ou quatre jours suivants.

Les méthodes de prévision du Service d'Annonce des Crues sont encore assez empiriques, étant donné la complexité de la propagation des crues de la BENOUE et de ses affluents. On peut espérer améliorer assez sensiblement ces méthodes dans les années à venir. Cependant, il est, semble-t-il, dans la nature des choses que des prévisions précises pour la station de GAROUA et d'OURO-BOKI ne pourront jamais être obtenues à plus d'un ou deux jours d'échéance, sauf peut-être pendant la décrue finale d'Octobre qui présente une certaine régularité d'une année à l'autre. La tendance des variations, prédite d'après les relevés pluviométriques ou les observations limnimétriques des hauts affluents, ne pourra jamais être que qualitative et ne dépassera pas trois ou quatre jours d'échéance.

Il est évidemment regrettable que les délais de prévision soient si courts et ne puissent atteindre au moins une dizaine de jours, ce qui représenterait à peu près la durée du parcours aller et retour du trajet LAU-GAROUA, qui englobe les passages les plus difficiles. Cependant, l'expérience de ces dernières années a montré que, même à brève échéance, les prévisions du Service d'Annonce des Crues présenteraient un intérêt certain qui a été reconnu par les compagnies de navigation elles-mêmes. Cet intérêt est surtout manifeste en fin de campagne, comme nous avons essayé de le montrer plus haut.

Pour accroître son efficacité, il serait souhaitable que le Service d'Annonce des Crues ne limite pas son activité à la partie camerounaise du bassin de la BENOUE. Une station d'observation supplémentaire pourrait, en premier lieu, être installée sur la GONGOLA car les apports de cet affluent conditionnent en partie la navigation sur les "flats" de GAMADIO. D'autres sta-

tions sur la Moyenne et la Basse-BENOUE ainsi que sur des affluents tels que la TARABA, la DONGA et la KATSENA, permettraient d'étendre les prévisions de hauteurs d'eau à tout le cours de la BENOUE. Ces prévisions gagneraient probablement en précision et pourraient être données à plus longue échéance sur le cours aval.

La BENOUE pourrait être divisée en plusieurs secteurs, ayant chacun une station principale où seraient élaborées les prévisions propres du secteur d'après les observations communiquées par les stations secondaires. Il serait essentiel que les différentes stations principales maintiennent par radio un contact étroit :

- d'une part, entre elles pour échanger les renseignements nécessaires à leurs prévisions,
- d'autre part, avec les équipes de la Surveillance des Fonds dont elles seraient chargées d'interpréter et de diffuser les renseignements,
- et enfin avec les compagnies de navigation qui devraient pouvoir connaître quotidiennement la profondeur minimum du chenal dans tel ou tel secteur et l'évolution prévue pour le ou les jours suivants.

#### d) CONCLUSION :

La mise en pratique de la "Solution Réduite" sous ces trois aspects : balisage, surveillance des fonds, annonce des crues, constituerait une étape importante de l'amélioration de la navigabilité de la BENOUE. Elle ne modifierait pas les conditions naturelles, mais permettrait de s'en accommoder au mieux.

Le balisage permettrait pratiquement d'éliminer tout risque d'échouage. Le gain de temps obtenu serait encore accru par la possibilité de naviguer régulièrement de nuit, tout au moins à la montée.

La Surveillance des Fonds et l'Annonce des Crues fourniraient aux compagnies de navigation des renseignements importants qui, à certaines périodes critiques, leur permettraient d'organiser de façon plus efficace les mouvements et les chargements de leurs bateaux. Elles leur éviteraient de prendre des risques inutiles ou de se laisser influencer par des craintes mal fondées.

Il est assez difficile d'évaluer de façon précise les avantages que l'on peut attendre de la "Solution Réduite". Nous déterminerons plus loin la durée pratique de navigation qu'elle autoriserait en année moyenne, en année humide et en année sèche. Mais la comparaison de cette durée de navigation avec celle qui correspond aux conditions présentes, ne donne qu'une faible idée des avantages de la solution réduite, avantages qui résulteraient surtout d'une bien meilleure utilisation de la brève période impartie à la navigation.

La réalisation pratique de la solution réduite conduirait à des dépenses annuelles modérées qui ne grèveraient pas lourdement les prix de transport et seraient largement compensées par les avantages qu'elle apporterait, comme peut le montrer un calcul rapide. Les prix de transport par la route (GAROUA-DOUALA) et par la BENOUE (GAROUA-BURUTU) sont respectivement voisins de 15.000 frs C.F.A./Tonne et 9.000 frs (y compris frais occasionnés par immobilisation). Une tonne de marchandises transportée par la BENOUE au lieu d'être acheminée par la route représente donc une économie de l'ordre de 6.000 frs C.F.A. Si l'on estime grossièrement à 25 millions de Frs C.F.A. les dépenses annuelles de fonctionnement de la Solution Réduite, on en déduit qu'il suffit d'un trafic fluvial supplémentaire de 4.000 tonnes - soit la venue à GAROUA de deux bateaux supplémentaires - pour justifier la mise sur pied des trois services de Balisage, Surveillance des Fonds et Annonce des Crues. Ce résultat paraît facile à obtenir et même à largement dépasser en année sèche.

2 - HAUTEURS ET DEBITS LIMITES DE  
NAVIGATION

-----

## 2) HAUTEURS D'EAU ET DEBITS LIMITES DE NAVIGATION

### a) GENERALITES :

Pour une station donnée, considérée comme représentative d'une partie du cours de la BENOUE, la hauteur et le débit limites sont par définition la hauteur limnimétrique minimum et le débit correspondant qui sont strictement nécessaires pour que des bateaux d'un tirant d'eau déterminé puissent naviguer sans aléas sérieux dans ce secteur de la BENOUE.

Ces deux notions sont évidemment très importantes pour déterminer la durée de navigation dans le cas de la Solution Réduite ou dans celui de la régularisation du débit par un barrage.

On peut distinguer sur la BENOUE sept secteurs caractérisés par des débits et des conditions hydrographiques sensiblement homogènes :

- |                                      |                                          |
|--------------------------------------|------------------------------------------|
| 1- GAROUA-Confl <sup>t</sup> du FARO | (stations de réf. <u>GAROUA-KINADA</u> ) |
| 2- Confl.FARO-Confl.GONGOLA          | " " <u>OURO-BOKI-YOLA</u>                |
| 3- Confl. GONGOLA-GAMADIO            | " " <u>NUMAN-GAMADIO</u>                 |
| 4- GAMADIO-Confl. TARABA             | " " <u>LAU, AMAR</u>                     |
| 5- Confl.TARABA-Confl.DONGA          | pas de station                           |
| 6- Confl.DONGA-Confl.KATSENA         | " " <u>IBI</u>                           |
| 7- Confl.KATSENA-Confl.BENOUE/"      | " <u>MAKURCI, LOKOJA</u>                 |
| NIGER                                |                                          |

A ces sept secteurs de la BENOUE, nous en ajouterons un huitième qui complète la voie d'eau GAROUA - BURUTU : 8 - Bas-NIGER, de LOKOJA à BURUTU (stat. de réf. : CNITSHA).

Nous essayerons de déterminer pour chacun de ces huit secteurs les hauteurs et débits limites, en fonction du tirant d'eau. Nous insisterons plus particulièrement sur les secteurs les plus difficiles et ceux que nous avons eu l'occasion d'étudier directement (secteurs 2 et 3). Précisons qu'en aval de GAMADIO, les données dont nous ferons état nous ont été obligeamment communiquées par NEDECO ou par les compagnies de navigation.

Il convient de souligner que les hauteurs et débits limites ne se prêtent pas à une détermination très précise. En effet, bien que le tirant d'eau des bateaux soit le paramètre essentiel du problème, hauteurs et débits limites dépendent également dans une assez large mesure d'autres facteurs, tels que :

- caractéristiques des bateaux (longueur et largeur des convois, maniabilité).
- facilités offertes à la navigation (balisage, régularisation du débit).
- conditions hydrographiques (début ou fin de période de hautes-eaux).
- et autres facteurs secondaires tels que : habileté du pilote, visibilité, sens de marche etc...

Pour réduire au strict minimum l'indétermination sur les hauteurs et débits limites, nous donnerons les précisions suivantes :

En ce qui concerne les caractéristiques des bateaux, nous considérerons le cas d'un convoi assez moderne, du type "intégré" et propulsé par hélice, du genre de l'"ADAMA" (longueur totale 125 m, largeur 15 m). Nous ne lui supposerons pas des qualités manoeuvrières exceptionnelles.

Nous admettons que le chenal est balisé de façon continue dans les secteurs difficiles et tout au moins entre le confluent du FARO et LAU, comme cela a d'ailleurs été prévu à partir de 1958. Si l'on n'admettait pas l'hypothèse du balisage des passages difficiles, les notions de hauteurs et débits limites perdraient beaucoup de leur intérêt et deviendraient très difficiles à définir. On serait, en effet, obligé de tenir compte des risques d'erreurs graves de pilotage, qui, dans les conditions actuelles, se produisent avec une fréquence non négligeable.

Dans le cas de la "Solution Réduite" (chenal balisé, débit non régularisé), l'exhaussement général des seuils que l'on constate pendant les hautes-eaux devra se traduire par des hauteurs d'eau limites plus élevées en fin qu'en début de campagne de navigation, d'autant plus qu'une marge de sécurité plus importante est nécessaire à la décrue. L'échouage d'un bateau à cette époque peut, en effet, provoquer son immobilisation jusqu'à l'année suivante.

Dans le cas de la régularisation du débit, le chenal serait certainement plus stable et l'exhaussement des seuils beaucoup moins marqué du fait de l'écroulement de la crue.

On verra cependant plus loin dans l'étude de la régularisation, que nous pourrions être amenés à considérer des débits limites supérieurs à ceux théoriquement suffisants pour la navigation, de façon à tenir compte des conséquences possibles des apports solides des affluents non régularisés.

En principe, la détermination des hauteurs et débits limites s'appuiera, dans toute la mesure du possible :

- d'une part, sur toutes les observations qui ont pu être recueillies sur les conditions de navigation des bateaux (dates et lieux d'échouage ou de remise à flot, etc...)
- d'autre part, sur les profondeurs minima du chenal mesurées dans les zones difficiles qui ont été l'objet de levés hydrographiques.

Il est nécessaire d'interpréter dans une certaine mesure les observations relatives aux conditions de navigation. Certains échouages, par exemple, ont été dus à des fautes de pilotage qu'un balisage même sommaire aurait permis d'éviter. Dans l'hypothèse d'un chenal balisé que nous avons admise, tout au moins pour les secteurs 2 et 3, de tels échouages ne devraient donc pas être retenus. Cependant, pour estimer si un échouage était facilement évitable ou non, nous nous garderons d'être trop optimistes. L'expérience a montré qu'il n'était pas avantageux pour les bateaux d'essayer de naviguer dans des conditions trop critiques. Les risques d'échouages augmentent alors considérablement, de sorte que le gain de temps escompté sur la période de navigation peut être complètement perdu par de longues et pénibles manoeuvres de remise à flot, qui, en outre, éprouvent durement le matériel. Il ne faudrait pas, néanmoins, faire preuve d'une prudence excessive et prendre des marges de sécurité trop importantes qui conduiraient à un gaspillage des possibilités de transport de la BENOUÉ.

b) DETERMINATION DES HAUTEURS D'EAU ET DEBITS LIMITES

1- Secteur GAROUA - confluent du FARO (km 0 - 76)

Ce secteur n'offre pas de difficultés sérieuses à la navigation, si ce n'est quelques passages assez étroits et quelques courbes prononcées comme celle de KINADA, que les bateaux lents ont de la peine à franchir en très hautes eaux. Mais très généralement les bateaux qui ont réussi à passer les "OURO-BOKI flats" naviguent très aisément entre le confluent du FARO et GAROUA.

Cependant, en Août 1954, par suite d'une baisse très sensible sur la Haute-BENOUE, on a pu voir plusieurs bateaux s'échouer dans ce secteur. Les observations suivantes vont nous permettre d'évaluer les hauteurs et débits limites :

| : Bateau      | : Tirant :<br>: d'eau :<br>: m. | : Date :  | : Observations       | : Hauteur :<br>: d'eau à :<br>: GAROUA :<br>: cm. | : Débit :<br>: m <sup>3</sup> /s |
|---------------|---------------------------------|-----------|----------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------|
| : ADAMA       | : 1,30                          | : 2-8-54  | : Pas de difficultés | : 325                                             | : 450                            |
| : CHADDA      | : 1,35                          | : 2-8-54  | : 1 barge échouée    | : 325                                             | : 450                            |
| : ADAMA       | : 1,0                           | : 5-8-54  | : échouage           | : 245                                             | : 275                            |
| : OKORODUDU   | : 1,8                           | : 5-8-54  | : échouage           | : 245                                             | : 275                            |
| : Gal LECLERC | : 1,35                          | : 27-7-55 | : Pas de difficultés | : 335                                             | : 475                            |

Nous pourrions admettre que le voyage du "Général LECLERC" le 27-7-55 s'est effectué dans des conditions limites = hauteur d'eau de 335 cm à l'échelle de GAROUA et débit de 475 m<sup>3</sup>/s, pour un tirant d'eau de 1,35 m. A défaut de données précises dans ce secteur où les échouages sont rares et où aucun lever hydrographique n'a été effectué, nous admettrons en première approximation que les hauteurs limites varient de la même fa-



çon que les tirants d'eau. Nous estimons par ailleurs qu'entre l'époque de la première montée des eaux et celle de la décrue finale, les hauts-fonds se relèvent d'environ 2 pieds, soit 60 cm.

En résumé, nous adopterons les valeurs suivantes pour les hauteurs et débits limites entre GAROUA et le confluent du FARO :

| Tirant d'eau<br>(cm) | Hauteur d'eau<br>limite à GAROUA<br>(cm) |               | Débit limite<br>dans le secteur 1:<br>(m <sup>3</sup> /s) |               |
|----------------------|------------------------------------------|---------------|-----------------------------------------------------------|---------------|
|                      | 1<br>(crue)                              | 2<br>(décrue) | 1<br>(crue)                                               | 2<br>(décrue) |
| 90 (3 pieds)         | 290                                      | 350           | 350                                                       | 500           |
| 120 (4 " )           | 320                                      | 380           | 425                                                       | 600           |
| 150 (5 " )           | 350                                      | 410           | 500                                                       | 700           |
| 185 (6 " )           | 385                                      | 445           | 600                                                       | 800           |
| 215 (7 " )           | 415                                      | 475           | 700                                                       | 900           |

2 - Secteur confluent du FARO - confluent de la  
GONGOLA (km 76 - 184)

La partie la plus difficile de ce secteur est constituée par les "OURO-BOKI flats" et tout particulièrement par un passage désigné "zone II" qui a été l'objet de nombreux levers hydrographiques. En 1955 et surtout en 1956, cette zone II a constitué un seuil critique, de part et d'autre duquel des bateaux qui avaient réussi à naviguer sans trop de difficulté jusque là ont été obligés de s'arrêter et d'attendre que l'eau monte pour continuer leur route.

Les données nous permettant de déterminer les hauteurs d'eau et débits limites ont été consignées dans les deux tableaux ci-contre ; le premier est relatif aux conditions de navigation sur les "OURO-BOKI flats", le deuxième contient les profondeurs minima que l'on a pu relever dans la "zone II" sur un chenal théorique de 50 m de largeur ne présentant pas des rayons de courbure inférieurs à 250 m.

Pour en faciliter la comparaison et l'interprétation, les données fournies par ces tableaux ont été reportées sur deux graphiques ayant tous deux pour échelle des ordonnées les hauteurs d'eau à OURO-BOKI et pour échelle des abscisses respectivement le tirant d'eau des bateaux (CAM 7394) et la profondeur minimum du chenal (CAM 7395).

CONDITIONS DE NAVIGATION SUR LES "OURO-BOKI FLATS"

=====

| Bateau         | Tirant<br>d'eau<br>m. | Observations         | Date    | Hauteur<br>d'eau à<br>OURO-BOKI | Débit<br>m3/s | Année |
|----------------|-----------------------|----------------------|---------|---------------------------------|---------------|-------|
| ADAMA          | 1,5                   | Déséchouage          | 22-8-54 | 350                             | 1.180         | 1954  |
| QUORRA         | 1,5                   | "                    | 22-8-54 | 350                             | 1.180         |       |
| NARAGUTA       | 1,35                  |                      | 22-8-54 | 350                             | 1.180         |       |
| Barges UAC 15t | 0,40                  | Pas de difficulté    | 1-12-54 | 220                             | 315           |       |
| LANDER         | 1,5                   | Léger talonnage      | 27-7-55 | 360                             | 1.260         | 1955  |
| LECLERC        | 1,5                   | Pas de difficulté    | 25-7-55 | 370                             | 1.400         |       |
| OKORODUDU      | 1,5                   | Echouage             | 27-7-55 | 360                             | 1.260         |       |
|                |                       | Déséchouage          | 29-7-55 | 385                             | 1.550         |       |
| ABERDARE       | 1,5                   | Pas de difficulté    | 31-7-55 | 415                             | 1.900         |       |
| ADAMA          | 1,4                   | Léger échouage       | 29-7-55 | 385                             | 1.550         |       |
| TRENCHARD      | 1,95                  | Léger échouage       | 25-8-55 | 455                             | 2.400         |       |
| ADAMA          | 1,3                   | Pas de difficulté    | 2-8-56  | 385                             | 1.550         | 1956  |
|                | 1,4                   | Echouage             | 23-8-56 | 377                             | 1.450         |       |
|                |                       | Déséchouage          | 24-8-56 | 375                             | 1.420         |       |
| LANDER         | 1,5                   | Léger échouage       | 9-8-56  | 412                             | 1.850         |       |
|                |                       | Déséchouage          | 10-8-56 | 408                             | 1.800         |       |
| LANDER )       |                       |                      |         |                                 |               |       |
| CHADDA )       | 1,5                   | Attendent montée eau | 12-8-56 | 385                             | 1.550         |       |
| ABERDARE )     | 1,65                  | Passent sans diff.   | 31-8-56 | 460                             | 2.470         |       |
| LECLERC )      |                       |                      |         |                                 |               |       |
| PINNOCK )      |                       |                      |         |                                 |               |       |

CONDITIONS DE NAVIGATION SUR LES "OURO-BOKI FLATS"

=====

(suite)

| : Bateau    | : Tirant :<br>: d'eau :<br>: m. : | : Observations      | : Date     | : Hauteur : Débit :<br>: d'eau à : m3/s :<br>: OURO-BOKI : | : Année : |
|-------------|-----------------------------------|---------------------|------------|------------------------------------------------------------|-----------|
| : OKORODUDU | : 1,5                             | : Pas de difficulté | : 6-8-56   | : 415                                                      | : 1.900:  |
| :           | : 1,5                             | : Attend montée eau | : 11-8-56  | : 390                                                      | : 1.600:  |
| :           | : 1,7                             | : Passe sans diff.  | : 1-9-56   | : 440                                                      | : 2.200:  |
| : ABERDARE  | : 1,5                             | : Attend montée eau | : 14-8-56  | : 385                                                      | : 1.550:  |
| :           | :                                 | : Passe sans diff.  | : 23-8-56  | : 380                                                      | : 1.480:  |
| : CHADDA    | : 1,5                             | : Attend montée eau | : 12-8-56  | : 385                                                      | : 1.550:  |
| :           | :                                 | : Passe avec diff.  | : 22-8-56  | : 385                                                      | : 1.550:  |
| : PINNOCK   | : 1,5                             | : Passe sans diff.  | : 7-8-56   | : 415                                                      | : 1.900:  |
| : WALLACE   | : 1,50                            | : Echouage          | : 16-10-56 | : 495                                                      | : 2.980:  |
| :           | :                                 | : Déséchouage       | : 18-10-56 | : 450                                                      | : 2.350:  |
| :           | :                                 | :                   | :          | :                                                          | :         |

ZONE II - PROFONDEUR MINIMUM DU CHENAL

(chenal de 50 m de largeur avec rayons de courbure supérieurs à 250 m)

-----

| Date                 | Hauteur d'eau:<br>Echelle d'<br>OURO-BOKI<br>(cm) | Profondeur:<br>minimum<br>du chenal<br>(cm) | Profondeur minimum<br>rapportée à la ligne:<br>d'eau de référence<br>(cm) |
|----------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 25 - 27 Mars 1955    | 85                                                | 20                                          | 170                                                                       |
| 10 - 13 Août         | 445                                               | 235                                         | 135                                                                       |
| 5 - 7 Octobre        | 575                                               | 310                                         | 85                                                                        |
| 30 Oct. - 1er Nov.   | 450                                               | 225                                         | 125                                                                       |
| 9 - 17 Mai 1956      | 95                                                | 25                                          | 165                                                                       |
| 9 - 13 Août          | 410                                               | 175                                         | 115                                                                       |
| 10 - 13 Septembre    | 510                                               | 210                                         | 50                                                                        |
| 2 - 6 Octobre        | 470                                               | 170                                         | 50                                                                        |
| 30 - 31 Octobre      | 280                                               | 100                                         | 170                                                                       |
| 29 Juil.-6 Août 1957 | 405                                               | 195                                         | 140                                                                       |
| 27 - 31 Août         | 500                                               | 300                                         | 150                                                                       |
| 19 - 22 Septembre    | 495                                               | 355                                         | 210                                                                       |

Nota - Les profondeurs minima du chenal ont été déterminées d'après les levés hydrographiques effectués en 1955 et 1956 par la Mission E.D.F. et en 1957 par le Service des Ports et Voies Navigables du CAMEROUN.

Dans un passage particulièrement difficile comme la Zone II, nous avons supposé que le chenal serait constamment surveillé et soigneusement balisé. Etant donné par ailleurs que nous avons considéré un chenal de 50 m de largeur que les bateaux devraient pouvoir suivre sans difficultés, nous avons exceptionnellement admis dans la zone II un pied de pilote négligeable. Dans ces conditions, nous avons pu assimiler la profondeur minimum du chenal au tirant d'eau maximum utilisable. Les deux graphiques mentionnés plus haut devaient donc nous conduire à une même relation entre le tirant d'eau des bateaux et la hauteur d'eau limite d'OURO-BOKI.

La courbe représentative de cette relation doit refléter l'allure des modifications du chenal, en fonction des variations du plan d'eau. Si le fonds était fixe, la courbe représentative serait évidemment une droite. En fait, on sait que le fond du chenal sur les seuils manifeste une tendance à suivre les variations du plan d'eau (exhaussement en période de montée, creusement à la décrue), mais avec un certain décalage dans le temps. Il s'ensuit que pour une période annuelle complète la relation profondeur minimum/hauteur d'eau se dédouble et forme une sorte de "cycle d'hystérésis", la branche inférieure correspondant à la montée des eaux et la branche supérieure à la décrue.

Nous n'avons pas cherché à établir de façon détaillée ce "cycle d'hystérésis" dont la forme exacte est certainement très complexe et varie notablement d'une année à l'autre suivant l'abondance des hautes-eaux. Nous nous sommes seulement attachés à déterminer, pour des tirants d'eau compris entre 3 et 7 pieds (0,90 et 2,15 m), les deux courbes enveloppes des branches ascendantes et descendantes du cycle. Ces deux courbes définiront les hauteurs limites en fonction des tirants d'eau, respectivement pour le début (courbe 1) et la fin (courbe 2) des hautes-eaux.

La courbe (1) a été tracée de manière à laisser au-dessous d'elle :

- sur le premier graphique (7.394) tous les points relatifs à des échouages sérieux qui n'ont pas été dus à des erreurs de pilotage graves.

- sur le second graphique (7.395) tous les points relatifs à des profondeurs minima du chenal relevées en Juillet-Août.

La courbe (2) a été tracée de manière à laisser au-dessous d'elle :

- sur le premier graphique, tous les points relatifs à des échouages, sauf un dû à une erreur grossière de pilotage.

- sur le second graphique, tous les points relatifs aux profondeurs minima du chenal, y compris celles relevées en Septembre-Octobre.

Les courbes (1) et (2) nous conduisent à des hauteurs limites nettement supérieures à celles qui avaient été précédemment admises. Elles tiennent compte, en effet, des observations effectuées en 1956, année où les conditions hydrographiques dans la zone II furent particulièrement défavorables, par suite d'un concours de circonstances assez exceptionnelles semble-t-il (crue de 1956 assez faible, succédant à la crue de 1955 la plus abondante enregistrée en 23 années d'observations - chenal profondément bouleversé et mal stabilisé).

A titre de sécurité, nous adopterons telles quelles les courbes 1 et 2 pour l'étude de la régularisation, étant donné les éléments d'incertitude qui subsistent pour cette solution, comme on le verra plus loin.

Dans l'étude de la "Solution Réduite", pour ne pas adopter des hypothèses trop pessimistes qui correspondraient à des risques très inférieurs à ceux que prennent actuellement les compagnies de navigation, nous avons été amenés à remplacer les courbes (1) et (2) par des courbes (1') et (2') donnant des hauteurs limites diminuées de 30 cm pour des mêmes tirants d'eau. Ces nouvelles courbes rendent mieux compte des conditions de navigation en année moyenne, telles qu'elles résultent des observations directes de 1954, 1955 et 1957, ainsi que des renseignements recueillis pour les années antérieures.

En résumé, les valeurs que nous adopterons pour les hauteurs d'eau et débits limites à OURO-BOKI sont données dans le tableau ci-après. On y a porté également les hauteurs d'eau correspondantes à l'échelle de YOLA.

| Tirant d'eau | Hauteur d'eau : Hauteur d'eau : |     |        |     | Débit-limite    |     |        |     |       |       |       |       |
|--------------|---------------------------------|-----|--------|-----|-----------------|-----|--------|-----|-------|-------|-------|-------|
|              | limite à                        |     |        |     | dans le secteur |     |        |     |       |       |       |       |
|              | OURO-BOKI                       |     |        |     | 2               |     |        |     |       |       |       |       |
|              | (cm)                            |     |        |     | (m3/s)          |     |        |     |       |       |       |       |
|              | crue                            |     | décrue |     | crue            |     | décrue |     |       |       |       |       |
|              | 1                               | 1'  | 2      | 2'  | 1               | 1'  | 2      | 2'  |       |       |       |       |
| 90 (3 pieds) | 305                             | 275 | 365    | 335 | 345             | 300 | 415    | 380 | 300   | 600   | 1.325 | 1.025 |
| 120 (4 "     | 350                             | 320 | 410    | 380 | 400             | 365 | 465    | 435 | 1.175 | 925   | 1.825 | 1.475 |
| 150 (5 "     | 390                             | 360 | 450    | 420 | 445             | 410 | 505    | 475 | 1.600 | 1.275 | 2.350 | 1.950 |
| 185 (6 "     | 425                             | 395 | 485    | 455 | 480             | 450 | 540    | 510 | 2.000 | 1.650 | 2.825 | 2.400 |
| 215 (7 "     | 455                             | 425 | 515    | 485 | 510             | 480 | 575    | 540 | 2.400 | 2.000 | 3.275 | 2.825 |



3 - Secteur confluent de la GONGOLA - GAMADIO  
(km 184 - 223)

Ce secteur, presque aussi malaisé pour la navigation que le précédent, est marqué par plusieurs mauvais passages dont le plus difficile a été constitué, ces dernières années, par les "GAMADIO-flats". Ceux-ci ont été l'objet de plusieurs levés hydrographiques en 1955 et 1956, dans leur partie la plus critique, dite "zone V".

Les données relatives aux conditions de navigation sur les "GAMADIO flats" et aux profondeurs minima du chenal dans la zone V ont été recueillies dans les deux tableaux ci-contre et ont permis d'établir deux graphiques tout à fait analogues à ceux des "OURO-BOKI flats". La détermination des hauteurs limites en fonction des tirants d'eau a été opérée à partir de ces graphiques, exactement de la même façon que pour le secteur précédent :

La courbe 1, valable pour la montée des eaux a été tracée de façon à laisser au-dessous d'elle :

- sur le premier graphique (7.392), tous les points relatifs à des échouages, sauf ceux dus à des erreurs de pilotage qu'un balisage sommaire aurait permis d'éviter.
- sur le second graphique (7.393), tous les points relatifs à des profondeurs minima du chenal relevées pendant les mois de Juillet-Août.

La courbe 2, valable pour la période de décrue, a été tracée de façon à laisser au-dessous d'elle :

- sur le premier graphique, tous les points relatifs à des échouages, y compris celui se rapportant au léger talonnage du "wallace" le 23 Octobre 1956
- sur le second graphique, tous les points relatifs aux profondeurs minima du chenal, y compris celles relevées en Septembre et Octobre.

CONDITIONS DE NAVIGATION SUR LES "GAMADIO FLATS"

-----

| Bateaux   | Tirant<br>d'eau<br>m. | Observations       | Date     | Hauteur<br>à<br>GAMADIO | Débit<br>m <sup>3</sup> /s | Année |
|-----------|-----------------------|--------------------|----------|-------------------------|----------------------------|-------|
| LANDER    | 1,5                   | Echouage           | 21-7-55  | 58                      | 1.280                      | 1955  |
|           |                       | Déséchouage        | 22-7-55  | 64                      | 1.320                      |       |
| LECLERC   | 1,5                   | Pas de difficulté  | 22-7-55  | 65                      | 1.330                      |       |
| NARAGUTA  | 1,35                  | Déséchouage        | 23-7-55  | 76                      | 1.410                      |       |
| OKORODUDU | 1,5                   | Echouage           | 22-7-55  | 65                      | 1.330                      |       |
|           |                       | Déséchouage        | 23-7-55  | 84                      | 1.465                      |       |
| ABERDARE  | 1,5                   | Echouage           | 25-7-55  | 85                      | 1.475                      |       |
|           |                       | Déséchouage        | 26-7-55  | 105                     | 1.630                      |       |
|           |                       | Echouage           | 28-7-55  | 120                     | 1.750                      |       |
| CHADDA    | 1,5                   | Echouage           | 26-7-55  | 105                     | 1.630                      |       |
|           |                       | Déséchouage        | 27-7-55  | 117                     | 1.730                      |       |
| PINNOCK   | 1,5                   | Léger talonnage    | 26-7-55  | 106                     | 1.640                      |       |
| ADAMA     | 1,4                   | Pas de difficulté  | 26-7-55  | 107                     | 1.650                      |       |
| ADAMA     | 1,3                   | Attend montée eau  | 25-7-56  | 25                      | 1.075                      | 1956  |
|           |                       | Pas de difficulté  | 27-7-56  | 55                      | 1.265                      |       |
| NARAGUTA  | 1,35                  | Attend montée eau  | 24-7-56  | 20                      | 1.045                      |       |
|           |                       | Pas de difficultés | 24-7-56  | 55                      | 1.265                      |       |
| WALLACE   | 1,20                  | Léger talonnage    | 23-10-56 | 110                     | 1.673                      |       |

ZONE V - PROFONDEUR MINIMUM DU CHENAL

(chenal de 50 m de largeur avec rayons de courbure supérieurs à 250 m)

-----

| Date                 | Hauteur d'eau:<br>Echelle de<br>GAMADIO<br>(cm) | Profondeur:<br>minimum<br>du chenal<br>(cm) | Profondeur minimum :<br>rapportée à la ligne:<br>d'eau de référence :<br>(cm) |
|----------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 23 - 26 Juillet 1955 | 85                                              | 150                                         | 155                                                                           |
| 30 Août - 1er Sept.  | 250                                             | 260                                         | 100                                                                           |
| 19 - 21 Octobre      | 325                                             | 360                                         | 125                                                                           |
| 21 - 28 Mars 1956    | - 220 env.                                      | 20                                          | 330                                                                           |
| 24 - 26 Juillet      | 25                                              | 155                                         | 220                                                                           |
| 3 Septembre          | 310                                             | 360                                         | 140                                                                           |
| 27-29 Septembre      | 335                                             | 355                                         | 110                                                                           |
| 22-24 Octobre        | 115                                             | 225                                         | 200                                                                           |

Les valeurs des hauteurs et débits limites que l'on peut déduire de ces courbes pour la station de GAMADIO ainsi que pour celle de NUMAN ont été portées dans le tableau ci-après :

| Tirant d'eau<br>(cm) | Hauteur d'eau: |       | Hauteur d'eau: |       | Débit limite : |       |
|----------------------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|
|                      | limite à       |       | limite à       |       | dans le        |       |
|                      | GAMADIO        |       | NUMAN          |       | Secteur 3      |       |
|                      | (cm)           |       | (cm)           |       | (m3/s)         |       |
|                      | 1              | 2     | 1              | 2     | 1              | 2     |
|                      | crue           | décru | crue           | décru | crue           | décru |
| 90 (3 pieds)         | 10             | 70    | 285            | 325   | 1.000          | 1.375 |
| 120 (4 " )           | 60             | 120   | 320            | 365   | 1.300          | 1.750 |
| 150 (5 " )           | 100            | 160   | 355            | 400   | 1.600          | 2.125 |
| 185 (6 " )           | 140            | 200   | 385            | 435   | 1.925          | 2.550 |
| 215 (7 " )           | 170            | 230   | 410            | 460   | 2.225          | 2.900 |

On constate que les débits limites de GAMADIO ne sont pas, dans l'ensemble, très supérieurs à ceux d'OURO-BOKI et leur sont même parfois inférieurs quand on adopte l'hypothèse la plus pessimiste pour OURO-BOKI.

#### 4 - Secteurs 4 à 8, de GAMADIO à BURUTU

Les renseignements dont nous disposons pour les secteurs situés en aval de GAMADIO sont beaucoup plus restreints que pour ceux précédemment étudiés. Le secteur 5, en particulier, qui est compris entre les confluents de la TARABA et de la DONGA, ne possède aucune station d'observation. Cet inconvénient n'est pas très grave, du fait que ce court secteur d'une soixantaine de kilomètres n'offre pas de difficultés très notables. Il semble bien qu'il soit toujours navigable quand les secteurs amont et aval le sont.

Pour l'ensemble des secteurs 4 à 8, nous nous sommes bornés à déterminer la valeur approchée des hauteurs limites correspondant à un tirant d'eau de 1 m,50 en utilisant toutes les données que nous possédions sur les conditions de navigation. Pour des tirants d'eau différents de 1,50 m, on pourra en première approximation admettre une variation linéaire des hauteurs d'eau limites en fonction du tirant d'eau.

Les valeurs des hauteurs et débits limites (ces derniers déterminés d'après les jaugeages de NEDECO, sauf pour le secteur 4) auxquelles nous sommes parvenus, sont données dans le tableau suivant :

| Secteur                           | Station | Hauteur      |       | Débits  |       |
|-----------------------------------|---------|--------------|-------|---------|-------|
|                                   |         | d'eau limite |       | limites |       |
|                                   |         | (pieds)      |       | (m3/s)  |       |
|                                   |         | crue         | décru | crue    | décru |
| 4 - GAMADIO - Confl. TARABA       | LAU     | 19'          | 21'   | 1.450   | 1.900 |
| 5 - Confl. TARABA - Confl. DONGA  | -       | -            | -     | -       | -     |
| 6 - Confl. DONGA - Confl. KATSENA | IBI     | 17'          | 19'   | 2.100   | 3.000 |
| 7 - Confl. KATSENA - LOKOJA       | MAKURDI | 317'         | 319'  | 3.700   | 4.800 |
|                                   | LOKOJA  | 12'          | 14'   | 4.400   | 5.500 |
| 8 - Bas-NIGER (LOKOJA-BURUTU)     | ONITSHA | 15'          | 17'   | 3.400   | 4.400 |

Il est à remarquer que la hauteur d'eau à MAKURDI ne suffit pas à définir les conditions de navigation sur la Basse-BENOUE. Il peut arriver, en effet, comme cela s'est produit au début de la campagne 1956, que le niveau du NIGER à LOKOJA étant trop bas, des bateaux venant de BURUTU ne puissent franchir le seuil qui marque l'entrée de la BENOUE, alors même qu'au delà de ce seuil ils pourraient naviguer sans difficulté dans tout le secteur 7. Il est donc nécessaire de faire intervenir la hauteur d'eau à LOKOJA pour définir les conditions de navigation dans ce secteur.

Entre LOKOJA et BURUTU, il aurait été logique de considérer séparément le cours du NIGER Inférieur proprement dit et le delta. Mais nous n'avons aucun élément d'information pour préciser les conditions limites de navigation dans le delta. Tout ce que nous pouvons dire c'est qu'elles ne sont jamais déterminantes, les principales difficultés étant localisées entre LOKOJA et IDAH, en amont de ONITSHA. Nous avons donc retenu cette seule station pour tout le Bas-NIGER.

### 3 - PERIODE DE NAVIGATION

-----

### 3) PERIODE DE NAVIGATION

Ayant évalué précédemment les hauteurs d'eau limites dans les différents secteurs que l'on peut distinguer sur la BENOUE et le BAS-NIGER, il est possible de déterminer la durée des périodes théoriques de navigation dans chacun de ces secteurs à partir des relevés limnimétriques de leur station de référence respective.

Nous nous attacherons à déterminer les limites de la période de navigation en année médiane, en année humide de fréquence 25% et en année sèche de fréquence 75%. Malheureusement, les relevés de hauteurs d'eau dont nous disposons portent sur un nombre d'années très insuffisant pour plusieurs stations. Nous n'avons pu obtenir des diagrammes de hauteurs d'eau en années médiane, humide, et sèche que pour les stations de : GAROUA, YOLA et LOKOJA et en année médiane seulement pour MAKURDI. (Voir graphiques CAM 7502 et 7503 pour GAROUA et YOLA. Les diagrammes de MAKURDI et LOKOJA ont été empruntés à "Interim report - June 1956" de NEDECO).

On trouvera, ci-après, dans le tableau n° 1, les dates théoriques de début et fin de navigation pour les quatre stations de GAROUA, YOLA, MAKURDI et LOKOJA. L'absence de données suffisantes nous a empêché d'introduire dans ce tableau les stations de NUMAN, LAU, IBI et ONITSHA. Cette lacune est regrettable mais, comme on le verra plus loin, elle n'a pas d'incidences graves sur l'évaluation de la durée de navigation.

Les dates théoriques du début et de la fin de la navigation doivent être rectifiées pour tenir compte des arrêts dans les ports, du temps de parcours d'une escale à la suivante et surtout du fait que la navigation dans les secteurs amont est tributaire des conditions rencontrées en aval. Par exemple, le début pratique de la navigation à GAROUA ne peut avoir lieu, au plus tôt, que deux jours après que les bateaux commencent à pouvoir passer à YOLA, compte tenu de l'arrêt dans ce port et du temps de parcours moyen YOLA-GAROUA. De même, la fin de la navigation à GAROUA doit pratiquement avoir lieu au plus tard deux jours avant la date à laquelle les bateaux ne peuvent plus naviguer dans le secteur de YOLA.



Par ailleurs, si on considère le cas de bateaux effectuant des rotations régulières BURUTU-GAROUA-BURUTU, la période pratique de navigation dans les secteurs aval dépend à son tour des conditions régnant en amont. Pour un bateau affecté à ce parcours, la période pratique de navigation à MAKURDI, par exemple, commence dix jours avant et finit cinq jours après celle de YOLA ; les délais de dix et cinq jours correspondent respectivement aux temps de parcours à la montée et à la descente entre MAKURDI et YOLA.

# T A B L E A U   N°   I

## PERIODE THEORIQUE DE NAVIGATION

|              |       |         | GAROUA |       | YOLA   |       | MAKURDI |       | LOKOJA           |       |
|--------------|-------|---------|--------|-------|--------|-------|---------|-------|------------------|-------|
|              |       |         |        |       |        |       |         |       | BENOUE seulement |       |
|              |       |         | Début  | Fin   | Début  | Fin   | Début   | Fin   | Début            | Fin   |
|              |       |         | navig. |       | navig. |       | navig.  |       | navig.           |       |
| Tirant d'eau | Année | humide  | 17/7   | 27/10 | 1/7    | 3/11  |         |       | 22/6             | 27/11 |
| 3 pieds      | "     | médiane | 24/7   | 23/10 | 10/7   | 27/10 | 3/7     | 11/11 | 6/7              | 18/11 |
| (90 cm)      | "     | sèche   | 29/7   | 16/10 | 20/7   | 21/10 |         |       | 17/7             | 14/11 |
| Tirant d'eau | Année | humide  | 20/7   | 25/10 | 17/7   | 27/10 |         |       | 28/6             | 20/11 |
| 4 pieds      | "     | médiane | 26/7   | 21/10 | 24/7   | 20/10 | 10/7    | 8/11  | 10/7             | 14/11 |
| (120 cm)     | "     | sèche   | 1/8    | 14/10 | 16/8   | 12/10 |         |       | 25/7             | 11/11 |
| Tirant d'eau | Année | humide  | 23/7   | 23/10 | 26/7   | 21/10 |         |       | 3/7              | 17/11 |
| 5 pieds      | "     | médiane | 28/7   | 18/10 | 3/8    | 15/10 | 17/7    | 6/11  | 15/7             | 11/11 |
| (150 cm)     | "     | sèche   | 17/8   | 11/10 | 21/8   | 6/10  |         |       | 1/8              | 7/11  |
| Tirant d'eau | Année | humide  | 26/7   | 20/10 | 5/8    | 16/10 |         |       | 7/7              | 15/11 |
| 6 pieds      | "     | médiane | 1/8    | 15/10 | 19/8   | 10/10 | 25/7    | 4/11  | 20/7             | 8/11  |
| (185 cm)     | "     | sèche   | 20/8   | 6/10  | 24/8   | 3/10  |         |       | 7/8              | 5/11  |
| Tirant d'eau | Année | humide  | 27/7   | 18/10 | 8/8    | 13/10 |         |       | 10/7             | 13/11 |
| 7 pieds      | "     | médiane | 4/8    | 12/10 | 21/8   | 5/10  | 2/8     | 2/11  | 24/7             | 7/11  |
| (215 cm)     | "     | sèche   | 21/8   | 3/10  | 31/8   | 29/9  |         |       | 12/8             | 2/11  |

La tableau n° II fixe le programme de déplacement que l'on peut admettre pour un convoi moyen (type "Général Leclerc") effectuant une rotation complète BURUTU-GAROUA aller et retour. Les temps de parcours et les arrêts dans les ports ont été évalués d'après l'expérience des dernières campagnes de navigation.

Ces données permettent d'établir les dates pratiques du début et de la fin de la période de navigation aux différentes stations de la BENOUE et du BAS-NIGER, pour des bateaux reliant régulièrement BURUTU et GAROUA. On remarquera que les dates "pratiques" soulignées dans le tableau n° III sont identiques aux dates "théoriques" du tableau n° I et correspondent à la "station déterminante" dans chaque hypothèse envisagée pour le tirant d'eau et l'hydraulicité de l'année.

La "station déterminante", qui commande les dates extrêmes de la navigation à toutes les autres stations, est presque toujours YOLA, excepté dans le cas de très faibles tirants d'eau (90 cm) où GAROUA remplace YOLA dans ce rôle. Pour le début de la navigation, LOKOJA se comporte dans quelques cas rares comme une deuxième station déterminante.

Il est probable que ces conclusions auraient été légèrement modifiées si l'on avait pu disposer de renseignements suffisants sur les hauteurs limnimétriques de NUMAN, LAU et IBI. Dans quelques uns des cas envisagés, l'une ou l'autre de ces stations se serait probablement substituée à YOLA comme station déterminante. Cependant, l'examen des relevés que l'on possède pour ces dernières années, permet de penser que les dates du début de la navigation auraient tout au plus été modifiées de deux ou trois jours ; celles de la fin de la navigation n'auraient très probablement pas été changées.

La période pratique de navigation, telle que nous l'avons définie, est valable pour des bateaux assurant une liaison régulière BURUTU-GAROUA, pendant la durée la plus longue possible. Les dates que nous avons établies correspondent au passage dans les différents ports du premier bateau à destination de GAROUA et du dernier bateau quittant GAROUA.

T A B L E A U N° II

| Secteur | Stations principales | Stations secondaires | Distances par étapes<br>km | Distances cumulées<br>km | Temps de parcours cumulés<br>(jour) | Montée    | Descente  |
|---------|----------------------|----------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------------------|-----------|-----------|
| 1       | GAROUA               |                      | 76                         | 1.375                    | 0                                   | 24        | 26        |
|         |                      | Confl. FARO          | 11                         | 1.299                    | 76                                  |           |           |
|         |                      | OURO-BOKI            | 41                         | 1.288                    | 87                                  |           |           |
| 2       | YOLA                 |                      | 57                         | 1.247                    | 128                                 | 21,5-22,5 | 27-28     |
|         | NUMAN                | Confl. GONGOLA       | 38                         | 1.190                    | 185                                 | 20,5-21   | 28,3-28,5 |
| 3       |                      | GAMADIO              | 51                         | 1.152                    | 223                                 |           |           |
| 4       | LAU                  |                      | 133                        | 1.101                    | 274                                 | 19-19,5   | 29-29,5   |
|         |                      | AMAR                 | 15                         | 968                      | 407                                 |           |           |
|         |                      | Confl. TARABA        | 58                         | 953                      | 422                                 |           |           |
| 5       |                      | Confl. DONGA         | 31                         | 895                      | 480                                 |           |           |
| 6       | IBI                  |                      | -                          | 864                      | 511                                 | 15-16     | 31-31,5   |
|         |                      | Confl. KATSENA       | -                          | -                        | -                                   |           |           |
| 7       | MAKURDI              |                      | 220                        | 705                      | 670                                 | 11-13     | 32,5-33,5 |
|         | LOKOJA               | Confl. BENOUE/NIGER  | 86                         | 485                      | 890                                 | 7-8       | 34,5-35   |
|         |                      | IDAH                 | 105                        | 399                      | 976                                 |           |           |
| 8       | ONITSHA              |                      | 91                         | 294                      | 1.081                               | 3,5-4,5   | 36-36,5   |
|         |                      | ABOH                 | 50                         | 203                      | 1.172                               |           |           |
|         |                      | PATANI               | 153                        | 153                      | 1.222                               |           |           |
|         | BURUTU               |                      |                            | 0                        | 1.375                               | 0         | 38-40     |

T A B L E A U    N°    I I I

P E R I O D E   P R A T I Q U E   D E   N A V I G A T I O N

|              |       |         | G A R O U A |       | Y O L A |       | N U M A N |       | L A U  |       |
|--------------|-------|---------|-------------|-------|---------|-------|-----------|-------|--------|-------|
|              |       |         | Début       | Fin   | Début   | Fin   | Début     | Fin   | Début  | Fin   |
|              |       |         | navig.      |       | navig.  |       | navig.    |       | navig. |       |
| Tirant d'eau | Année | humide  | 17/7        | 27/10 | 14/7    | 29/10 | 13/7      | 29/10 | 12/7   | 30/10 |
| 3 pieds      | "     | médiane | 24/7        | 23/10 | 21/7    | 25/10 | 20/7      | 25/10 | 19/7   | 26/10 |
| (90 cm)      | "     | sèche   | 3/8         | 16/10 | 30/7    | 18/10 | 30/7      | 18/10 | 29/7   | 19/10 |
| Tirant d'eau | Année | humide  | 20/7        | 25/10 | 17/7    | 25/10 | 16/7      | 27/10 | 15/7   | 28/10 |
| 4 pieds      | "     | médiane | 27/7        | 18/10 | 24/7    | 20/10 | 23/7      | 20/10 | 22/7   | 21/10 |
| (120 cm)     | "     | sèche   | 19/8        | 10/10 | 16/8    | 12/10 | 15/8      | 12/10 | 14/8   | 13/10 |
| Tirant d'eau | Année | humide  | 29/7        | 19/10 | 26/7    | 21/10 | 25/7      | 21/10 | 24/7   | 22/10 |
| 5 pieds      | "     | médiane | 6/8         | 13/10 | 3/8     | 15/10 | 2/8       | 15/10 | 1/8    | 16/10 |
| (150 cm)     | "     | sèche   | 24/8        | 4/10  | 21/8    | 6/10  | 20/8      | 6/10  | 19/8   | 7/10  |
| Tirant d'eau | Année | humide  | 8/8         | 14/10 | 5/8     | 16/10 | 4/8       | 16/10 | 3/8    | 17/10 |
| 6 pieds      | "     | médiane | 16/8        | 8/10  | 13/8    | 10/10 | 12/8      | 10/10 | 11/8   | 11/10 |
| (185 cm)     | "     | sèche   | 27/8        | 1/10  | 24/8    | 3/10  | 23/8      | 3/10  | 22/8   | 4/10  |
| Tirant d'eau | Année | humide  | 11/8        | 11/10 | 8/8     | 13/10 | 7/8       | 13/10 | 6/8    | 14/10 |
| 7 pieds      | "     | médiane | 24/8        | 3/10  | 21/8    | 5/10  | 20/8      | 5/10  | 19/8   | 6/10  |
| (215 cm)     | "     | sèche   | 3/9         | 27/9  | 31/8    | 29/9  | 30/8      | 29/9  | 29/8   | 30/9  |

# T A B L E A U N° III (suite)

## PERIODE PRATIQUE DE NAVIGATION

|              |       |         | IBI    |       | MAKURDI |        | LOKOJA (Bénoué) |        | ONITSHA |        | BURUTU |  |
|--------------|-------|---------|--------|-------|---------|--------|-----------------|--------|---------|--------|--------|--|
|              |       |         | Début  | Fin   | Début   | Fin    | Début           | Fin    | Début   | Début  |        |  |
|              |       |         | navig. |       | navig.  |        | navig.          |        | navig.  | navig. |        |  |
| Tirant d'eau | Année | humide  | 8/7    | 1/11  | 4/7     | 3/11   | 30/6            | 5/11   | 26/6    | 23/6   |        |  |
| 3 pieds      | "     | médiane | 15/7   | 28/10 | (11/7   | (30/10 | (7/7            | (1/11  | 3/7     | 30/6   |        |  |
| (90 cm)      |       |         |        |       | (10/7   | (11/11 | (6/7            | (13/11 |         |        |        |  |
|              | "     | sèche   | 25/7   | 21/10 | 21/7    | 23/10  | 17/7            | 25/10  | 13/7    | 10/7   |        |  |
| Tirant d'eau | Année | humide  | 11/7   | 30/10 | 7/7     | 1/11   | 3/7             | 3/11   | 29/6    | 26/6   |        |  |
| 4 pieds      | "     | médiane | 18/7   | 23/10 | (14/7   | (25/10 | (10/7           | (27/10 | 6/7     | 3/7    |        |  |
| (120 cm)     |       |         |        |       | (14/7   | (8/11  | (10/7           | (10/11 |         |        |        |  |
|              | "     | sèche   | 10/8   | 15/10 | 6/8     | 17/10  | 2/8             | 19/10  | 29/7    | 26/7   |        |  |
| Tirant d'eau | Année | humide  | 20/7   | 24/10 | 16/7    | 26/10  | 12/7            | 28/10  | 8/7     | 5/7    |        |  |
| 5 pieds      | "     | médiane | 28/7   | 18/10 | (24/7   | (20/10 | (20/7           | (22/10 | 16/7    | 13/7   |        |  |
| (150 cm)     |       |         |        |       | (19/7   | (6/11  | (15/7           | (8/11  |         |        |        |  |
|              | "     | sèche   | 15/8   | 9/10  | 11/8    | 11/10  | 7/8             | 13/10  | 3/8     | 31/7   |        |  |
| Tirant d'eau | Année | humide  | 30/7   | 19/10 | 26/7    | 21/10  | 22/7            | 23/10  | 18/7    | 15/7   |        |  |
| 6 pieds      | "     | médiane | 7/8    | 13/10 | (3/8    | (15/10 | (30/7           | (17/10 | 26/7    | 23/7   |        |  |
| (185 cm)     |       |         |        |       | (25/7   | (4/11  | (21/7           | (6/11  |         |        |        |  |
|              |       | sèche   | 18/8   | 6/10  | 14/8    | 8/10   | 10/8            | 10/10  | 6/8     | 3/8    |        |  |
| Tirant d'eau | Année | humide  | 2/8    | 16/10 | 29/7    | 18/10  | 25/7            | 20/10  | 21/7    | 18/7   |        |  |
| 7 pieds      | "     | médiane | 15/8   | 8/10  | (11/8   | (10/10 | (7/8            | (12/10 | 3/8     | 31/7   |        |  |
| (215 cm)     |       |         |        |       | (2/8    | (2/11  | (29/7           | (4/11  |         |        |        |  |
|              | "     | sèche   | 25/8   | 2/10  | 21/8    | 4/10   | 17/8            | 6/10   | 13/8    | 10/8   |        |  |

Nota : Pour MAKURDI et LOKOJA en année moyenne deux dates sont données pour le début et la fin de la période pratique de navigation. La première correspond à une liaison régulière BURUTU-GAROUA. La deuxième à la durée maximum de navigation.

Cette définition se justifie parce que l'objectif essentiel de nos études est en fin de compte l'accroissement du trafic de GAROUA. Cependant, dans les secteurs situés en aval de la station déterminante, les hauteurs d'eau peuvent être suffisantes pour permettre la navigation pendant un certain nombre de jours avant et après notre période pratique de navigation. Ces journées supplémentaires ne peuvent pas être directement utilisées pour le trafic de GAROUA ; elles peuvent néanmoins être d'un grand intérêt pour assurer le trafic intermédiaire de la Moyenne et de la Basse BENOUE et même pour améliorer l'utilisation des bateaux chargés du trafic de GAROUA.

Nous avons donc également porté sur le tableau N° III les dates extrêmes de la durée maximum de navigation sur la Basse-BENOUE en année médiane (MAKURDI et LOKOJA).

En résumé, on trouvera dans le tableau IV la durée pratique de navigation à GAROUA, en fonction du tirant d'eau des bateaux et de l'hydraulicité de l'année. Cette durée pratique s'entend pour des bateaux effectuant des rotations régulières BURUTU-GAROUA-BURUTU en 40 jours. Pour des convois modernes, navigant de nuit à la montée, grâce au balisage, la durée de rotation pourrait être ramenée entre 25 et 30 jours. Cependant la durée pratique de navigation à GAROUA ne serait pas sensiblement modifiée, étant donné que la station "déterminante" YOLA, est proche de GAROUA.

T A B L E A U N° IV

| Tirant d'eau | Hydraulicité                         | Durée de navigation:<br>à GAROUA |
|--------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| 3 pieds      | Année humide<br>" médiane<br>" sèche | 102 jours<br>91 "<br>74 "        |
| 4 pieds      | Année humide<br>" médiane<br>" sèche | 97 jours<br>83 "<br>52 "         |
| 5 pieds      | Année humide<br>" médiane<br>" sèche | 82 jours<br>68 "<br>41 "         |
| 6 pieds      | Année humide<br>" médiane<br>" sèche | 67 jours<br>53 "<br>35 "         |
| 7 pieds      | Année humide<br>" médiane<br>" sèche | 61 jours<br>40 "<br>24 "         |



4 - TIRANT D'EAU OPTIMUM

-----

#### 4) TIRANT D'EAU OPTIMUM

La détermination du tirant d'eau optimum des bateaux assurant le trafic de GAROUA est assez délicate et fait intervenir certaines considérations économiques qui nous échappent en partie. Elle dépend, dans une certaine mesure, de la politique de transports des compagnies de navigation et du développement futur des régions desservies par la BENOUE. Nous chercherons cependant à interpréter les résultats obtenus au paragraphe précédent et essayerons d'en tirer des conclusions susceptibles de guider les compagnies de navigation dans le choix du tirant d'eau de leurs nouvelles unités.

Le tableau N° I ci-après résume les données essentielles du problème et les résultats auxquels on aboutit en adoptant différentes hypothèses :

Colonne a - Tirant d'eau des bateaux à pleine charge désigné par  $x$ . On considère successivement cinq valeurs de  $x$ , échelonnées entre 0,90 m et 2,15 m, soit de 3 à 7 pieds.

Colonne b - Tirant d'eau des bateaux à lège  $x_0$ . Les valeurs de  $x_0$  ont été estimées approximativement d'après renseignements sur bateaux existants.

Colonne c - Charge utile des bateaux  $m$ . Pour des bateaux de largeur et de longueur identiques et dont la surface de flottaison est supposée constante, les variations de  $m$  avec le tirant d'eau sont connues à un facteur constant près et données par :

$$m = k (x - x_0)$$

Colonne d - Hydraulicité relative de l'année. Pour chaque valeur de  $x$ , trois cas sont considérés :

|                 |                 |
|-----------------|-----------------|
| - année humide  | { fréquence 25% |
| - année médiane | { " 50%         |
| - année sèche   | { " 75%         |

Colonne e - Durée de navigation pratique à GAROUA  $T$ , d'après le tableau N° IV du chapitre précédent.

Colonne f - Trafic maximum  $M_1$  à GAROUA pendant une campagne de navigation complète.  $M_1$  est déterminé à un facteur constant près, par la relation :

$$M_1 = K_1 (x - x_0) T$$

Cette relation suppose les deux hypothèses suivantes :

- 1°) le trafic de GAROUA est assuré par des bateaux identiques en longueur, en largeur et également en nombre, quel que soit le tirant d'eau considéré ;
- 2°) les bateaux naviguent toujours à pleine charge.

Colonne g - Trafic maximum  $M_2$  à GAROUA, en conservant la deuxième hypothèse, mais en supposant par contre un nombre de bateaux variable. La comparaison équitable des différents tirants d'eau envisagés demande, en effet, que l'on considère dans chaque cas le trafic maximum réalisable à GAROUA avec les mêmes dépenses d'exploitation, amortissement compris. Ceci implique que le nombre des bateaux augmente lorsque le tirant d'eau diminue ; dans quelles proportions ? Il est difficile de le dire exactement. On peut admettre approximativement que les frais d'exploitation de bateaux identiques en largeur et en longueur, mais de tirants d'eau différents, comporteraient une part fixe indépendante du tirant d'eau et une part variable proportionnelle à celui-ci. Pour donner un ordre de grandeur, la part fixe correspondant à un tirant d'eau de 1 m peut être estimée au tiers des dépenses totales et la part variable aux deux tiers. D'où, en désignant par P les charges annuelles relatives à un bateau :

$$P = P_0 (1 + 2 x)$$

Le nombre des bateaux en service est inversement proportionnel à P. Donc :

$$M_2 = \frac{K_2 (x - x_0) T}{1 + 2 x}$$

Colonnes h, i, j, k - Trafic maximum à GAROUA, en rejetant la deuxième hypothèse admise en f et g ; on peut, en effet, améliorer sensiblement l'utilisation des bateaux en les faisant naviguer à tirant d'eau réduit, un certain temps supplémentaire avant et après la période de navigation correspondant strictement à leur tirant d'eau maximum.

On a admis que le tirant d'eau pouvait être réduit de :

- 0,30 m (1 pied) dans les colonnes h et i
- 0,60 m (2 pieds) dans les colonnes j et k

D'autre part,

- dans les colonnes h et j, on a supposé un nombre de bateaux constant comme il avait été admis en f,
- dans les colonnes i et k, on a supposé un nombre de bateaux variable correspondant à des dépenses globales d'investissement constantes, comme il avait été admis en g.

On a respectivement pour chacune de ces quatre colonnes :

$$M'_1 = M_1 + K_1 (x - x_0 - 0,30) (T_x - 0,30 - T_x)$$

$$M'_2 = M_2 + \frac{K_2 (x - x_0 - 0,30) (T_x - 0,30 - T_x)}{1 + 2x}$$

$$M''_1 = M'_1 + K_1 (x - x_0 - 0,60) (T_x - 0,60 - T_x - 0,30)$$

$$M''_2 = M'_2 + \frac{K_2 (x - x_0 - 0,60) (T_x - 0,60 - T_x - 0,30)}{1 + 2x}$$

Les résultats du tableau n° I ont été portés sur les graphiques CAM 7485 à 7487 qui permettent les constatations suivantes :

1) En années médianes et humides, la durée de la période de navigation diminue d'abord assez lentement lorsque le tirant d'eau augmente de 0,90 m à 1,20 m, puis de façon assez rapide lorsque le tirant d'eau passe de 1,20 m à 1,85 m. En année sèche, par contre, la diminution de la période de navigation est surtout sensible entre 0,90 m et 1,20 m. Ce dernier fait est, surtout, à retenir car nous devons principalement fixer notre attention sur les possibilités de la BENOUE en année de faible hydraulité, la régularité d'exploitation d'une année à l'autre étant l'un des objectifs majeurs à rechercher dans l'amélioration de la navigabilité.

Il est à noter, par ailleurs, qu'entre l'année médiane et l'année sèche, l'irrégularité du début de la navigation est nettement plus accentuée que celle de la fin.

2) En ce qui concerne le trafic maximum à GAROUA, que l'on a déterminé à un facteur constant près ( $K_1$  pour col. f, h, j -  $K_2$  pour col. g, i, k), il varie en fonction du tirant d'eau d'une façon quelque peu différente suivant les hypothèses envisagées. Si l'on retient celles qui paraissent les plus raisonnables - à savoir : nombre de bateaux déterminé par un montant constant des frais d'exploitation et utilisation temporaire des bateaux avec un tirant d'eau réduit - il apparaît que la réalisation du trafic maximum maximorum à GAROUA en année sèche nécessiterait :

- soit un tirant d'eau de 1,50 m ou de 1,20 m pouvant être réduit à 0,90 m en début et en fin de période de navigation (voir col. k et i),
- soit un tirant d'eau constant de 0,90 m (col. g).

Cependant, l'utilisation, constante ou temporaire, d'un tirant d'eau de 0,90 m semble peu recommandable car elle interdirait l'emploi de remorqueurs puissants et rapides dont le dimensionnement des hélices nécessite une profondeur d'eau suffisante. La diminution de la vitesse des convois ferait perdre le bénéfice de l'allongement de la durée de navigation.

Si, pour cette raison, on rejette les tirants d'eau inférieurs à 1,20 m, le trafic maximum maximorum à GAROUA peut être réalisé de façon sensiblement équivalente avec des tirants d'eau compris entre 1,85 m et 1,20 m (les tirants d'eau de 1,85 m et 1,50 m étant réduits temporairement à 1,20 m). On dispose donc d'une certaine latitude dans le choix du tirant d'eau.

On verra ultérieurement (chap. III - C - 3) qu'en cas de régularisation du débit par un barrage-réservoir, le tirant d'eau de 1,85 m serait formellement à rejeter et que le plus favorable serait celui de 1,20 m.

Si donc on veut réserver l'avenir pour le cas où la régularisation serait réalisée à une échéance relativement proche, il serait recommandé d'adopter pour les nouvelles unités un tirant d'eau voisin de 1,20 m. Si,

T A B L E A U N° I

| Tirant<br>d'eau<br>normal | Tirant:<br>d'eau<br>à<br>lège | Charge:<br>utile | Hydraulicité | Durée :<br>de na-<br>viga-<br>tion à<br>GAROUA: | Trafic maximum de GAROUA |                                       |                                        |          |           |          |
|---------------------------|-------------------------------|------------------|--------------|-------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|----------|-----------|----------|
|                           |                               |                  |              |                                                 | Tirant d'eau<br>constant | Tirant d'eau:<br>variant de<br>1 pied | Tirant d'eau:<br>variant de<br>2 pieds |          |           |          |
| x<br>mètres               | $x_0$<br>mètres               | $K(x-x_0)$       |              | T<br>jours                                      | $M_1$                    | $M_2$                                 | $M'_1$                                 | $M'_2$   | $M''_1$   | $M''_2$  |
| a                         | b                             | c                | d            | e                                               | f                        | g                                     | h                                      | i        | j         | k        |
| 0,90<br>(3 pieds)         | 0,25                          | 0,65 k           | Année humide | 102                                             | 66 $K_1$                 | 24 $K_2$                              |                                        |          |           |          |
|                           |                               |                  | " médiane    | 91                                              | 59 $K_1$                 | 21 $K_2$                              |                                        |          |           |          |
|                           |                               |                  | " sèche      | 74                                              | 48 $K_1$                 | 17 $K_2$                              |                                        |          |           |          |
| 1,20<br>(4 pieds)         | 0,30                          | 0,90 k           | Année humide | 97                                              | 87 $K_1$                 | 26 $K_2$                              | 90 $K_1$                               | 27 $K_2$ |           |          |
|                           |                               |                  | " médiane    | 83                                              | 75 $K_1$                 | 22 $K_2$                              | 80 $K_1$                               | 24 $K_2$ |           |          |
|                           |                               |                  | " sèche      | 52                                              | 47 $K_1$                 | 14 $K_2$                              | 60 $K_1$                               | 18 $K_2$ |           |          |
| 1,50<br>(5 pieds)         | 0,35                          | 1,15 k           | Année humide | 82                                              | 94 $K_1$                 | 24 $K_2$                              | 107 $K_1$                              | 27 $K_2$ | 110 $K_1$ | 28 $K_2$ |
|                           |                               |                  | " médiane    | 68                                              | 78 $K_1$                 | 20 $K_2$                              | 93 $K_1$                               | 23 $K_2$ | 97 $K_1$  | 24 $K_2$ |
|                           |                               |                  | " sèche      | 41                                              | 47 $K_1$                 | 12 $K_2$                              | 56 $K_1$                               | 14 $K_2$ | 68 $K_1$  | 17 $K_2$ |
| 1,85<br>(6 pieds)         | 0,40                          | 1,45 k           | Année humide | 67                                              | 97 $K_1$                 | 21 $K_2$                              | 113 $K_1$                              | 24 $K_2$ | 125 $K_1$ | 27 $K_2$ |
|                           |                               |                  | " médiane    | 53                                              | 77 $K_1$                 | 16 $K_2$                              | 93 $K_1$                               | 20 $K_2$ | 105 $K_1$ | 22 $K_2$ |
|                           |                               |                  | " sèche      | 35                                              | 51 $K_1$                 | 11 $K_2$                              | 58 $K_1$                               | 12 $K_2$ | 67 $K_1$  | 14 $K_2$ |
| 2,15<br>(7 pieds)         | 0,45                          | 1,70 k           | Année humide | 61                                              | 104 $K_1$                | 20 $K_2$                              | 112 $K_1$                              | 21 $K_2$ | 128 $K_1$ | 24 $K_2$ |
|                           |                               |                  | " médiane    | 40                                              | 68 $K_1$                 | 13 $K_2$                              | 86 $K_1$                               | 16 $K_2$ | 102 $K_1$ | 19 $K_2$ |
|                           |                               |                  | " sèche      | 24                                              | 41 $K_1$                 | 8 $K_2$                               | 56 $K_1$                               | 11 $K_2$ | 62 $K_1$  | 12 $K_2$ |

par contre, la régularisation ne devait être réalisée que dans un avenir éloigné, il serait probablement plus judicieux d'adopter un tirant d'eau de 1,50 m. En dehors de la campagne de navigation sur GAROUA, il permettrait probablement une exploitation plus avantageuse que celui de 1,20 m sur la Basse-BENOUE et surtout sur le NIGER où la durée de navigation est nettement plus longue et les mouillages en moyenne supérieurs.

En conclusion, faisant abstraction de certaines considérations techniques ou économiques qui ne sont pas de notre ressort (impératifs de constructions navales, nécessités commerciales, etc...), nous sommes amenés par nos études hydrologiques et hydrographiques à préconiser pour les nouvelles unités qui entreront en service sur la BENOUE, un tirant d'eau compris entre 1,20 m et 1,50 m, la plus faible valeur prenant surtout de l'intérêt avec la régularisation du débit. Dans le cadre de la "Solution Réduite" pure, le tirant d'eau de 1,50 m serait probablement le plus avantageux. Pour prolonger la durée de navigation et tirer le meilleur parti des bateaux, ce dernier tirant d'eau devrait être réduit à 1,20 m pendant un certain temps au début et dans une moindre mesure à la fin de la période de navigation.

5 - ADAPTATION ET MODERNISATION  
DES BATEAUX

-----



## 5) ADAPTATION ET MODERNISATION DES BATEAUX

Dans le précédent chapitre, nous avons cherché à déterminer le tirant d'eau optimum des bateaux navigant sur la BENOUE. Cette caractéristique est essentielle mais ne suffit pas à définir les bateaux les mieux adaptés aux conditions naturelles de navigation. Nous allons donner maintenant quelques indications rapides sur la conception d'une flottille moderne appropriée.

### a) Type de bateau

Le type de bateau incontestablement le mieux adapté est le "convoi intégré", en usage depuis longtemps sur le MISSISSIPPI et qui a d'ailleurs été adopté sur le Bas-NIGER et la BENOUE pour les unités les plus récentes. Il comporte un remorqueur à hélice poussant devant lui un train de 2 à 8 barges. Celles-ci affectent en plan une forme rectangulaire et sont rigidement accouplées, généralement par paires, les unes derrière les autres, pour former une seule masse compacte. Les barges de tête et de queue ont une extrémité profilée pour diminuer la résistance à l'avancement. Les barges intermédiaires ("box") ont une forme très voisine d'un parallélépipède.

Par rapport au système de remorquage en traînée, qui laisse une certaine indépendance de mouvement aux chalands tractés par l'intermédiaire de longues amarres, le convoi intégré présente de multiples avantages :

- 1°) La résistance à l'avancement est diminuée de plus de 50%
- 2°) La navigation devient possible dans un chenal sinueux et étroit
- 3°) L'équipage peut être réduit au minimum, les barges n'ayant pas besoin d'être gouvernées individuellement
- 4°) La vitesse de navigation peut être augmentée
- 5°) Les coûts de construction sont abaissés, les formes des barges étant plus simples que celles de chalands remorqués individuellement.

Par rapport aux auto-moteurs, le convoi intégré est beaucoup moins cher de construction et d'exploitation.

Pour assurer la maniabilité nécessaire au convoi intégré dans un chenal difficile, le remorqueur agissant en poussée doit être puissant et muni de gouvernails très efficaces. Mû par des moteurs Diésel, il comporte généralement deux hélices qui augmentent les possibilités d'évolution et permettent une puissance de propulsion suffisante avec des diamètres d'hélice nécessairement faibles, car limités par le tirant d'eau.

La forme arrière du remorqueur est étudiée de façon à faciliter l'écoulement de l'eau aspirée par les hélices et éviter ainsi le déjaugage du remorqueur sur les hauts-fonds.

Sur les remorqueurs américains, les hélices sont munies d'une tuyère Kort qui améliore leur rendement. La tuyère Kort assure une meilleure alimentation de l'hélice, empêche la cavitation de sa partie haute qui travaille souvent en dépression (hélice sous tunnel) et dirige convenablement le flux de l'hélice vers l'arrière (projection centrifuge évitée à faible vitesse). Un gouvernail pour la marche normale est monté directement à l'arrière de chaque hélice, et deux gouvernails pour la marche arrière sont montés à l'avant de chacune d'elles. Les gouvernails sont disposés par rapport à la tuyère Kort de telle façon que dans la position "à bord toute" ils interceptent tout le flux de l'hélice, ce qui assure une maniabilité maximum. La commande des gouvernails depuis la passerelle s'effectue par l'intermédiaire de servo-moteurs hydrauliques puissants qui permettent le passage des gouvernails de bord à bord en une douzaine de secondes.

La coque des remorqueurs et des barges américains est conçue de façon très robuste (épaisseur des tôles variant de 8 mm pour le pont, à 12,5 mm pour le fond, l'étrave et l'arrière) de façon à encaisser sans dommage les efforts brutaux qui leur sont soumis en cas d'échouage survenant à pleine vitesse.

## b) Dimensionnement

La longueur des convois est limitée par les sinuosités du chenal. On peut admettre que la longueur d'un convoi maniable dirigé par un bon pilote ne doit pas dépasser la moitié des rayons de courbure minima. Ceux-ci sont de l'ordre de 300 m dans les méandres de la BENOUE camerounaise ; ils descendent jusqu'à 250 m sur les plus mauvais passages des "flats" d'OURO-BOKI et de GAMADIO.

Nous pensons donc que la longueur des convois ne devrait pas excéder 125 à 150 mètres sur la Haute et Moyenne BENOUE. Sur la Basse-BENOUE et le NIGER, elle pourrait probablement atteindre 175 à 200 mètres.

La largeur des convois intervient dans la stabilité transversale des barges et dans leur résistance à l'avancement ; elle est donc en partie liée à la longueur et au tirant d'eau, qui a déjà été fixée à 1,50 m dans le chapitre précédent. Une largeur comprise entre 15 et 20 m paraît la plus convenable. Elle permettrait un croisement facile des convois dans un chenal balisé de 100 mètres de large.

## c) Vitesse

La vitesse d'un bateau est un facteur très important, qui intervient au même titre que son tonnage utile pour définir ses possibilités de transport pendant une période donnée, à condition toutefois que les temps d'arrêt (de nuit ou dans les ports) soient petits par rapport à la durée des déplacements.

La vitesse est également un élément important de la sécurité de navigation, car un bateau lent réagit faiblement et avec retard aux commandes de pilotage. En cas de difficulté imprévue, il n'a pas la possibilité à la descente, de se freiner rapidement et de reculer à contre-courant en faisant machine arrière. Dans les virages pris à la montée, des courants obliques peuvent le faire dévier dangereusement de sa route. L'expérience nous a montré que de nombreux échouages sur la BENOUE étaient dûs au manque de gouverne des bateaux qui sont pour la plupart beaucoup trop lents. On admet générale-

ment que pour garder un contrôle satisfaisant des mouvements d'un convoi intégré, sa vitesse minimum doit être de 8 à 10 km/heure par rapport au courant.

Il existe cependant une vitesse critique pour laquelle la résistance à l'avancement augmente considérablement. Elle correspond à la célérité d'une onde de translation :  $V_c = \sqrt{gH}$  (H = profondeur d'eau). En pratique, la vitesse des bateaux fluviaux ne dépasse jamais 60% de la vitesse critique, car au delà l'augmentation de puissance deviendrait prohibitive. Par ailleurs, la navigation à grande vitesse (supérieure à 12 km/h) nécessite une étude soigneuse de la forme des barges, sinon leur comportement peut être défectueux (tendance à plonger de l'avant).

En conclusion, nous pensons que la vitesse optimum des bateaux destinés à la BENOUE serait comprise entre 10 et 12 km/heure ou, autrement dit, qu'elle serait de l'ordre de 6 noeuds.

#### d) Nombre de bateaux

Il est évident qu'un des moyens d'accroître le trafic de GAROUA est d'augmenter le nombre de bateaux en service sur la BENOUE. Cependant, on est limité dans cette voie :

- 1°) Par la nécessité d'assurer le plein emploi des bateaux pendant au moins neuf mois de l'année, sous peine de charges d'exploitation écrasantes ;
- 2°) Par les possibilités de manutention du port de GAROUA que l'on peut estimer actuellement à 1.100 tonnes par jour. (Nous ne tenons pas compte des pointes exceptionnelles qui ont pu ces dernières années dépasser 1.500 tonnes/jour. Une telle cadence ne pourrait être maintenue de façon continue, avec les installations actuelles).

Etant donné les perspectives de développement économiques de la NIGERIA, il semble que la deuxième condition soit la plus restrictive. Ces dernières années le trafic moyen du port de GAROUA a été le suivant (non compris importation essence en vrac par ADAMA, ni tonnage transporté par SUSIE en 1956) :

- 1953 - 24.000 tonnes en 47 jours (1-1/8 et 23/8 - 6/10)  
soit 510 tonnes/jour
- 1954 - 34.000 tonnes en 60 jours (25/7 au 2/8 et 24/8 au  
14/10  
soit 565 tonnes/jour
- 1955 - 35.000 tonnes en 77 jours (27/7 au 12/10)  
soit 455 tonnes/jour
- 1956 - 28.000 tonnes en 55 jours (4 au 13/8 et 31/8 au 16/10)  
soit 510 tonnes/jour

On peut admettre 500 tonnes/jour comme manutention moyenne, dans les conditions actuelles. Dans le cas de la réalisation de la Solution Réduite, ce tonnage journalier serait majoré d'environ 40% et deviendrait voisin de 700 tonnes/jour. Il resterait donc une possibilité supplémentaire de 400 tonnes/jour.

On peut facilement calculer le tonnage global des bateaux supplémentaires qui permettrait d'assurer le plein emploi du port de GAROUA. En admettant pour ces nouvelles unités :

- une durée de rotation de 25 jours (convoi rapide - navigation de nuit à la montée - manutention accélérée dans les ports nigériens)
- un coefficient d'utilisation de 0,85 (navigation à tirant d'eau réduit en début de campagne - imprévus d'exploitation)

On trouve :

$$\frac{400 \times 25}{2 \times 0,85} = \underline{5.900 \text{ tonnes}}$$

Il est à remarquer que ce tonnage est dépassé par celui des unités qui ont été récemment mises en service (SUSIE, AMCOTTS) ou doivent l'être très prochainement par U.A.C. et C.T.C., mais il est peu probable que la totalité de ces nouveaux bateaux doive être affectée au trafic de GAROUA. S'il en était ainsi, un accroissement ultérieur du nombre de bateaux touchant GAROUA devrait être accompagné d'une extension des installations portuaires, après réalisation de la Solution Réduite.

6 - AMELIORATION DES METHODES  
D'EXPLOITATION

==S==

## 6) AMELIORATION DES METHODES D'EXPLOITATION

Depuis de nombreuses années, le mouvement des bateaux des Compagnies U.A.C. et John Holt est organisé suivant un cycle annuel assez régulier :

1°) Campagne BENOUE : Les premiers bateaux quittent BURUTU ou WARRI vers le 20 Juin, avec un tirant d'eau limité à 5 pieds. Ils ont pour consigne de remonter aussi rapidement que possible le Bas-NIGER et la BENOUE, de façon à utiliser au mieux la première montée importante des eaux qui a lieu dans le courant de Juillet. Ils rencontrent fréquemment de grosses difficultés et subissent de multiples échouages si la montée n'est pas précoce. Ceux qui ont pour destination GAROUA y arrivent au plus tôt vers le 25 Juillet et souvent au début d'Août. Ils en repartent généralement chargés à 5' 6" à destination de BURUTU, de WARRI ou d'un port intermédiaire. Le déroulement de la campagne se poursuit par une deuxième et éventuellement une troisième rotation des bateaux à 6 pieds de tirant d'eau. Les derniers bateaux quittent définitivement la Haute-BENOUE généralement dans la première quinzaine d'Octobre et la Basse-BENOUE dans les premiers jours de Novembre.

2°) Campagne NIGER : Elle commence début Novembre, immédiatement après la campagne BENOUE ; elle utilise l'onde de crue très amortie qui provient du haut bassin du NIGER et se fait sentir sur le cours inférieur de Décembre à Avril. La campagne NIGER est en grande partie consacrée au transport des arachides entre BARO et BURUTU ou WARRI.

A partir de mi-Avril et jusque vers le 20 Juin, la majeure partie des bateaux est en chômage ou en révision. Seuls quelques uns naviguent encore entre ONITSHA et les ports du Delta.

Ce cycle annuel, qui assure une bonne utilisation des bateaux pendant dix mois de l'année, résulte, d'une part, des caractéristiques hydrologiques respectives de la BENOUE et du NIGER et, d'autre part, de la répartition du trafic entre ces deux voies d'eau complémentaires. Il ne pourrait être question d'y apporter de gros changements, sauf en cas de développement économique bouleversant la répartition actuelle du trafic ou en cas de modification du régime hydrologique naturel.

de la BENOUE par un barrage régularisateur. Dans le cadre de la Solution Réduite, on peut seulement envisager quelques modifications de détail qui devraient permettre une meilleure utilisation du matériel et assurer une plus grande régularité dans la réalisation des plannings de transports :

a)- Les convois pourraient être mieux adaptés aux caractéristiques hydrographiques. Par exemple, les remorqueurs les plus maniables seraient réservés au trafic sur la Haute et la Moyenne-BENOUE. En aval de MAKURDI où les conditions de navigation s'améliorent, les convois pourraient comporter une ou deux barges supplémentaires. Des expériences dans ce sens ont d'ailleurs déjà été tentées par U.A.C.

b)- Les déplacements des bateaux pourraient être probablement mieux adaptés aux caractéristiques hydrologiques. L'expérience a montré que la navigation sur les "flats" de GAMADIO et surtout d'OURO-BOKI est aléatoire en Juillet-Août, mais qu'elle est assez sûre en Septembre. Il y aurait donc lieu, dans la mesure du possible, de n'aventurer sur la Haute-BENOUE qu'un petit nombre de bateaux en Juillet-Août et au contraire de concentrer le gros de la flottille sur le trafic GAROUA-MAKURDI, par exemple entre le 23 Août et le 6 Octobre (dates extrêmes de la période de navigation en 1953, année très mauvaise). Les mois de Juillet, Août et Octobre seraient plus spécialement réservés au trafic entre MAKURDI et BURUTU.

Les conditions de navigation entre le 23 Août et le 6 Octobre étant généralement bonnes, le déplacement des bateaux pourrait être organisé de façon à les faire arriver à GAROUA à intervalles réguliers. Leur déchargement et rechargement pourrait être effectué rapidement, sans attente pour les bateaux ni temps mort pour le port de GAROUA. Dans ces conditions, l'expérience de ces dernières années a montré que les installations portuaires de GAROUA permettraient de manipuler 1.100 tonnes par jour. Entre le 23 Août et le 6 Octobre (45 jours) un trafic d'environ 50.000 tonnes pourrait donc être assuré.

c)- L'immobilisation des remorqueurs pourrait être réduite au minimum en disposant dans chaque port de quelques barges de réserve, prêtes à être prises en remorque. Sitôt arrivé au terme de son voyage, un remorqueur pourrait ainsi repartir pour une autre destination avec un nouveau train de barges.



d)- La généralisation dans tous les ports de la manutention mécanique des marchandises, telle qu'elle est pratiquée à GAROUA depuis quelques années, permettrait de diminuer la durée de rotation des bateaux.

e)- L'installation de postes-radio émetteurs-récepteurs sur tous les bateaux complèterait avantageusement la chaîne de stations radio établies récemment dans les principaux ports. L'arrivée des bateaux dans les ports pourrait être prévue exactement et des dispositions prises à l'avance pour accélérer les opérations de déchargement et de chargement. En cas de modifications du programme de transports imposées par des conditions hydrologiques particulières ou tout autre raison, des instructions pourraient être transmises rapidement aux bateaux. En cas d'avarie ou d'échouage grave, il pourrait leur être porté secours rapidement.

Il semble que l'ensemble de ces améliorations de détail apportées aux méthodes d'exploitation permettrait un gain de temps d'au moins 10% sur la durée de rotation des bateaux. Disons cependant que l'établissement d'un programme de transport optimum est un problème complexe qui fait intervenir de nombreux facteurs, les uns susceptibles d'être connus de façon assez précise (nombre, tonnage et vitesse des bateaux, trafic à assurer dans les différents ports, frais d'exploitation, etc...) les autres essentiellement aléatoires (conditions hydrologiques, avaries, etc...). La solution d'un tel problème relèverait des techniques récentes de la "recherche opérationnelle".

7 - AMENAGEMENT SOMMAIRE DES  
SEUILS DIFFICILES

-----

## 7) AMENAGEMENT SOMMAIRE DES SEUILS DIFFICILES

Il est hors de question de procéder à une régularisation complète du lit de la BENOUE, suivant les méthodes classiques faisant appel à des ouvrages tels que digues et épis. Les dépenses seraient tout à fait disproportionnées au trafic actuel de la BENOUE et à celui auquel on peut s'attendre pour de nombreuses années encore.

Nous envisagerons ici uniquement l'aménagement de certains seuils particulièrement difficiles, à l'aide d'ouvrages simples, réalisés avec des moyens peu coûteux ou même rudimentaires, suivant les possibilités locales. Nous pensons que de tels ouvrages rendraient de grands services si, par exemple, ils permettraient d'approfondir de quelques décimètres certains seuils critiques, comme celui de la "zone II" qui en 1956 a paralysé la navigation pendant une quinzaine de jours. Un autre avantage très appréciable serait obtenu si la hauteur d'eau limite sur les "flats" d'OURO-BOKI et de GAMADIO pouvait être abaissée de 30 cm. La durée de navigation avec un tirant d'eau réduit de 1,20 m serait, en effet, en année sèche, prolongée de trois semaines et le trafic théorique maximum de GAROUA majoré de 50% environ.

On pourrait parvenir à de tels résultats par des dragages mécaniques, mais à coup sûr moyennant des dépenses plus élevées que par l'application de méthodes simples inspirées de celles en usage sur certaines voies d'eau d'U.R.S.S. ou des Indes, que nous allons exposer rapidement :

### a)- Méthodes appliquées en U.R.S.S.

Ces méthodes sont basées sur la création artificielle d'une circulation transversale, au moyen de systèmes de guidage du courant placés près de la surface ou au voisinage du fond.

Les applications pratiques sont variées : protection d'une prise d'eau en rivière contre les alluvions - protection d'une berge contre les affouillements - approfondissement d'un chenal navigable.

Pour la protection d'une prise d'eau contre les alluvions, le système de guidage agit de façon à dériver dans la prise d'eau les couches superficielles

du courant et à en détourner les couches voisines du fond qui sont les plus chargées en alluvions.

Pour protéger une berge contre les affouillements, le système de guidage est prévu de façon à écarter de la berge les filets liquides superficiels les plus rapides.

Pour approfondir un chenal de navigation sur un seuil, divers systèmes de guidage sont disposés de façon à créer en surface des courants convergents admettant une composante plongeante qui tend à affouiller le fond. D'autres systèmes de guidage placés sur le fond écartent de l'axe du chenal les couches profondes du courant chargées de sédiments.

#### Systèmes de guidage (graph. 7494 à 7496)

Les systèmes de guidage de surface les plus couramment employés sont des pontons flottants, constituant une sorte de persienne, formée par l'assemblage de multiples ailerons identiques régulièrement espacés (au moins huit ou neuf) et disposés verticalement dans l'eau. Les ailerons sont de simples panneaux plans ou mieux ont une section en forme de segment circulaire se rapprochant d'un profil Joukovsky. Le plan médian de chaque aileron (plan vertical passant par les bords d'attaque et de fuite) fait avec la direction du courant un angle  $\alpha$  de l'ordre de 15 à 25°.

- La longueur  $l$  d'un aileron est d'environ 2 à 3 fois la profondeur d'eau  $H$  :  $l = 2 \text{ à } 3 H$

- Le rayon de courbure  $R$  de l'extrados d'un aileron en forme de segment circulaire est donné par :  
 $R \geq 1,5 l$

- La profondeur d'immersion  $h$  d'un aileron est :  $h = 0,3 H \text{ à } 0,5 H$

- La distance  $L$  entre deux ailerons consécutifs est souvent égale à la profondeur, mais peut varier assez largement :  $L = 0,8 H \text{ à } 7 H$

- L'angle  $\beta$  que fait l'axe longitudinal du système de guidage avec le courant, est généralement de sens opposé à l'angle  $\alpha$ . Sa valeur peut varier dans de grandes proportions, de 15 à 90°, mais est le plus souvent de l'ordre de 20°.

- Les systèmes de guidage flottants comportent parfois en plus des ailerons de surface, des ailerons de fond, généralement plans et convenablement orientés qui renforcent les courants secondaires induits par les ailerons de surface.

- Les systèmes de guidage doivent être convenablement amarrés à la berge ou ancrés sur le fond au moyen de câbles. Ils sont soumis à des efforts hydrodynamiques dont la composante est sensiblement perpendiculaire au plan médian des ailerons. Lorsque la somme des angles  $\alpha$  et  $\beta$  (orientés en sens inverse) est égale à  $90^\circ$ , le système de guidage peut n'être amarré qu'à son extrémité amont ; il n'a pas tendance à être dévié transversalement.

- Les systèmes de guidage sont soumis à des efforts secondaires qui tendent à leur donner de la bande dans le sens transversal et à faire immerger plus profondément l'extrémité aval du système que son extrémité amont. On compense ces efforts au moyen de flotteurs. Les systèmes très allongés peuvent être constitués de plusieurs pontons assemblés par des articulations.

- Les figures ci-jointes montrent la disposition de différents systèmes de guidages et donnent quelques exemples d'utilisation (figures extraites de "Méthode de la circulation transversale et son application" - par Potapof et Pychkine - Acad. Sc. Moscou 1947).

- Le principal avantage de ces systèmes flottants est qu'ils peuvent être facilement montés sur place et au besoin déplacés.

Nous allons examiner quelques autres dispositifs simples plus spécialement destinés à l'approfondissement d'un chenal navigable.

#### Ouvrage de LOSSIEVSKY (graph. CAM 7497 et 7498)

L'ouvrage de Lossievsky est un système de guidage de fond pour lequel les angles  $\alpha$  et  $\beta$  sont égaux et orientés dans le même sens par rapport au courant. C'est, en fait, un écran noyé formé de branchages ou de fascines lourdes et disposé sous un angle aigu par rapport au courant ( $15$  à  $25^\circ$ ).

En passant par-dessus l'ouvrage, le courant crée derrière celui-ci un cordon tourbillonnaire qui entraîne les alluvions du fond vers son extrémité aval. Le profil longitudinal de la crête de l'ouvrage affecte généralement la forme d'une parabole ayant pour hauteur maximum 0,67 H.

#### Ouvrage de CHADRINE (graph. 7499)

L'ouvrage de CHADRINE est analogue à l'ouvrage de Lossievsky mais comporte en plus un système de guidage de surface constitué par un panneau de branchage tressé.

#### Chaland dragueur de PROSTOV (graph. 7500)

Le chaland de PROSTOV est muni de quatre systèmes de guidages qui créent une circulation transversale et provoquent ainsi l'affouillement du fond.

Le chaland a généralement une longueur d'environ 15 mètres, une largeur de 5 mètres et un tirant d'eau de 0,3 mètres.

Les deux systèmes de guidage de l'avant ont une longueur de 18,5 mètres et ceux de l'arrière, de 30 mètres. Leur écartement peut être réglé au moyen de câbles ( $\beta = 45^\circ$  environ à l'amont et  $20^\circ$  à l'arrière). Les ailerons de guidage, au nombre de 7 sur les systèmes avant et de 13 sur les systèmes arrière, ont 2 mètres de longueur et 0,6 mètres de hauteur ( $\alpha = 15$  à  $30^\circ$ ).

Le chaland est muni de trois ancres qui permettent des déplacements longitudinaux et transversaux.

Avec un fond sableux et des vitesses superficielles du courant de 1 m/sec, un chenal de 40 cm de profondeur initiale peut être approfondi de 1 mètre avec un rendement de 190 m<sup>3</sup>/heure.

#### b)- Méthodes appliquées aux Indes

##### BANDALLING

Le "Bandalling" est employé sur le GANGE et le BRAHMA-POUTRE, pour resserrer le courant d'étiage dans un chenal unique, de façon à l'approfondir.

Un "bandal" est un cadre constitué de bambous plantés dans le lit à 60 cm les uns des autres, renforcé de longerons horizontaux et d'états placés tous les 1,20 m. A ce cadre de bambous, on attache avec de la corde des "jhamps" sur le longeron horizontal situé au niveau de l'eau. Les "jhamps" sont des nattes de bambous larges de 75 cm à 1 m.

Les "bandals" sont fixés à un angle de 30 à 40° par rapport au courant, de chaque côté du chenal à approfondir.

#### VACHES (graph. 7501)

Les "vaches" sont des dispositifs rudimentaires qui, alignés en une ou plusieurs rangées, constituent des épis perméables temporaires.

Les "vaches" sont réalisées avec des chevalements de bambous garnis de rouleaux de grillages (voir figures ci-jointes, extraites du "Recueil de la défense contre les inondations - N° 4" - Nations Unies - Commission économique pour l'Asie et l'Extrême-Orient).

## CONCLUSION -

En début de saison sèche (Novembre), la mise en pratique de méthodes analogues au "bandalling" ou la construction d'ouvrages du genre de ceux de LOSSIEVSKY (réalisés avec les ressources locales : bois de brousse, nattes indigènes ...) permettraient pour l'année suivante une amélioration sensible des plus mauvais seuils qui auraient été reconnus à la fin de la campagne précédente.

En début de saison des pluies (Mai, Juin, Juillet), l'amélioration du chenal pourrait être parachevée en employant des chalands dragueurs Prostov et des systèmes de guidage de surface (persiennes flottantes) qui se prêtent à un usage très souple.

Les systèmes de guidage de surface dont l'utilisation serait probablement difficile pendant la période des plus hautes-eaux (courant rapide, herbes flottantes), pourraient être à nouveau mis en place à la décrue (fin Septembre ou début Octobre) pour stabiliser le chenal sur les mauvais seuils.

L'efficacité des différents procédés d'amélioration des seuils que nous avons examinés, devrait être étudiée au préalable sur modèles réduits. Leur réalisation pratique et leur entretien pourraient être confiés aux équipes de balisage et de surveillance des fonds, sous la direction d'un ingénieur spécialisé.

Ajoutons que des essais d'application récents sur le NIGER, dans la région de KOULIKORO, ont donné des résultats très satisfaisants et même inespérés (approfondissement d'un seuil d'environ 1 mètre, en fin de crue).



ÉLECTRICITÉ DE FRANCE

—○—  
Inspection Générale Union Française  
et Etranger

ÉTAT DU CAMEROUN

—○—  
Service des Ports  
et Voies Navigables

Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer

# AMÉLIORATION DE LA NAVIGABILITÉ DE LA BÉNOUÉ

## III \_ PROPOSITIONS POUR L'AMÉLIORATION DE LA NAVIGABILITÉ

### C \_ Régularisation du débit

## C - REGULARISATION DU DEBIT.

----

- 1) Possibilités de régularisation
- 2) Conséquences hydrographiques de la régularisation
- 3) Régularisation par le barrage de LAGDO

## 1 - POSSIBILITES DE REGULARISATION

-----

## C - REGULARISATION DU DEBIT -

### 1) POSSIBILITES DE REGULARISATION

La régularisation du débit constituerait la solution la plus radicale au problème de l'amélioration de la navigabilité de la BENOUE. En modifiant le régime hydrologique naturel, elle s'attaquerait aux principales sources de difficultés : brièveté des hautes-eaux et irrégularité des débits.

La régularisation du débit serait obtenue au moyen d'un ou plusieurs barrages qui, pendant la saison des pluies, mettraient en réserve les excédents d'eau non indispensables à la navigation et les restitueraient en basses-eaux, à l'époque jugée la plus favorable.

Le débit moyen annuel de la BENOUE étant de 390 m<sup>3</sup>/s à GAROUA et 750 m<sup>3</sup>/s à YOLA, on conçoit que la régularisation, même partielle, du débit suppose des réservoirs d'un volume considérable, de l'ordre de plusieurs milliards de mètres cubes. La prospection des cuvettes aménageables dans le bassin de la Haute-BENOUE a été effectuée en 1950-1951 par la Commission Scientifique du LOGONE et du TCHAD. Elle a conduit à la découverte du site remarquable de LAGDO près du village de RIAO, à environ 70 km en amont de GAROUA. A cet endroit, la BENOUE, d'une façon inattendue, franchit par un étroit défilé d'environ 200 m de large, une arête granitique qui barre toute sa vallée. En amont de ce rétrécissement, la BENOUE coule avec une faible pente dans une très vaste plaine au relief peu accentué, de sorte qu'avec un barrage de 27 mètres de hauteur seulement, on créerait une réserve de l'ordre de 5 milliards de mètres cubes. Une étude géophysique effectuée en 1951 par l'ORSTOM et une campagne de sondages géologiques entreprise par la Société SASIF en 1952, ont montré que les conditions de fondation du barrage de LAGDO étaient acceptables. Un avant-projet sommaire de l'ensemble des ouvrages a été donné dans le Rapport de Mission (1950-1952) de la Commission Scientifique du LOGONE et du TCHAD. Aucune étude complémentaire n'ayant été effectuée sur le site de LAGDO depuis la publication de ce Rapport, nous n'avons

rien à ajouter à ce sujet, sauf que la hauteur du barrage devrait être surélevée de 1 ou 2 mètres pour que la capacité de la retenue soit un peu supérieure à celle qui avait été envisagée. Pour cette raison et également pour tenir compte de la variation des conditions économiques, le devis estimatif du barrage de LAGDO, chiffré à 1,9 milliards de francs C.F.A. en 1954, doit être en 1958 porté à environ 3 milliards de francs C.F.A.

Pour compléter l'effet régularisateur du barrage de LAGDO, il a été envisagé de construire sur le MAYO-KEBI un barrage secondaire relevant le plan d'eau du Lac de LERE et créant ainsi une retenue de 500 à 600 millions de mètres cubes. Cette retenue aurait pour objet de donner une certaine maîtrise sur les débits du MAYO KEBI, ce qui améliorerait l'utilisation des crues de cet affluent et faciliterait la réalisation du programme théorique de régularisation de LAGDO. Le site de COSSI, qui a été étudié en 1951-1952, n'est cependant pas très favorable ; le prix de revient du barrage serait du même ordre que celui de LAGDO, bien que ses avantages soient beaucoup plus restreints.

Un autre emplacement plus rapproché du Lac de LERE et situé à KAKALA en aval de BIPARE serait peut-être mieux adapté à ce rôle de barrage secondaire. Les conditions de fondation seraient apparemment beaucoup plus favorables qu'à COSSI, car de la rive droite se détache un banc de grès qui se rapproche assez près de la chaîne de l'Hosséré KATTIAU longeant la rive gauche. L'ouvrage serait constitué par une digue d'une dizaine de mètres de hauteur et d'environ 2 km de longueur. Il serait recommandé de dériver dans la retenue de KAKALLA, au moyen d'un ouvrage peu coûteux, les débits de crues du MAYO LOUTI qui se jettent dans le MAYO KEBBI, juste en aval du site de KAKALLA.

La régularisation du FARO serait plus intéressante que celle du MAYO-KEBI, car ses apports liquides et solides interviennent beaucoup plus directement dans les conditions de navigation de la BENOUE. Malheureusement, les prospections effectuées en 1950 sur la partie du FARO située en aval du confluent du DEO, n'ont permis de découvrir aucun site de barrage convenable.

Entre 1955 et 1957, les prospections ont été poursuivies par la Mission E.D.F. sur le Haut-FARO et le DEO. Sur ce dernier affluent, l'examen des photographies aériennes comme la reconnaissance sur le terrain, n'ont laissé entrevoir aucune possibilité de régularisation ; le lit sableux du DEO, en voie de comblement, s'étale sur une largeur de 200 à 300 mètres, sans qu'aucun accident de relief favorable permette d'y implanter un barrage, tout au moins en aval de KONTCHA.

En amont de ce village, les photographies aériennes ne livrent aucun indice favorable, sauf peut-être sur le cours supérieur ; mais alors le relief et la pente du DEO excluent la possibilité d'une retenue importante. Le débit régularisé deviendrait, par ailleurs, dérisoire, étant donné l'exiguité du bassin versant.

Contrairement au DEO, le Haut-FARO présente un lit généralement rocheux et assez étroit, du type "creusant". Sa pente est également un peu supérieure à celle du FARO (1 à 3 m/km). Ces caractéristiques sont assez favorables à l'implantation d'un barrage, mais ne le sont guère à la création d'un vaste réservoir. Nous citerons comme emplacement possible de barrage celui qui se trouve à environ 10 km en amont du campement CORON. Pour une hauteur de 30 mètres, la longueur en crête ne serait que de 150 mètres, mais la capacité de la retenue n'atteindrait pas 100 millions de mètres cubes, d'après les évaluations les plus optimistes. Il est à remarquer que dans la région de OUAK, le cours du FARO se rapproche de celui de la BENOUE et n'en est distant que d'une vingtaine de kilomètres sur un bref parcours. On pourrait donc imaginer d'utiliser le barrage du campement CORON pour dériver une partie des apports du FARO vers la BENOUE, par l'intermédiaire d'une galerie souterraine et améliorer ainsi l'utilisation de la retenue de LAGDO. A l'examen, cette idée n'apparaît cependant pas viable. La retenue du barrage sur le FARO serait trop faible pour régulariser suffisamment les crues brutales de cette rivière et permettre ainsi de dériver vers LAGDO un débit susceptible d'améliorer de façon appréciable les conditions de navigation sur la BENOUE. Par ailleurs, le coût de la dérivation d'un tel débit sur une vingtaine de kilomètres serait hors de proportion avec les avantages obtenus.

En dehors du site voisin du campement CORON, il existe d'autres emplacements possibles de barrages plus en amont, mais la présence de rapides et même de chutes importantes enlève tout espoir de constituer sur le FARO un réservoir de plusieurs centaines de millions de mètres cubes qui puisse améliorer sensiblement la navigabilité de la BENOUE.

En résumé, sur la partie camerounaise du bassin de la BENOUE, la seule mais très intéressante possibilité de régularisation est représentée par le site remarquable de LAGDO, dont l'aménagement a déjà été préconisé par la Commission Scientifique du LOGONE et du TCHAD.

L'absence de possibilités de régularisation sur le FARO est très regrettable. Elle est cependant partiellement compensée par une circonstance favorable : le débit limite de navigation de la BENOUE camerounaise est nettement plus faible que celui de la BENOUE nigérienne en aval du confluent du FARO. Il serait donc possible, dans une certaine mesure, de faire varier le débit restitué à LAGDO en fonction du débit du FARO, de façon à régulariser au mieux leur débit total en aval du confluent. Les débits excédentaires du FARO permettraient ainsi d'économiser l'eau mise en réserve à LAGDO.

Ce procédé d'exploitation présenterait cependant un certain risque d'ensablement progressif du confluent du FARO et nécessiterait probablement de temps à autre des éclusées importantes du barrage de LAGDO pour créer un effet de chasse.

Cette objection a incité NEDECO à rechercher sur la BENOUE nigérienne un emplacement de barrage susceptible de régulariser directement la somme des apports de la BENOUE camerounaise et du FARO. Un site a pu être retenu, à environ 20 km en amont de YOLA, près du village de DASSIN (km 105) et non loin de RIBADU. Il est beaucoup moins favorable que celui de LAGDO, puisque la longueur en crête du barrage atteindrait 1.400 mètres, pour une hauteur de 30 mètres. Les reconnaissances géologiques ont montré que les appuis sur les rives étaient constitués par du grès imperméable mais des sondages dans le lit de la rivière n'ont pas réussi à atteindre le bed-rock à une profondeur de 30 mètres et n'ont rencontré que des sables grossiers très perméables. Par ailleurs, il est probable que le barrage serait contourné entre BEKA et NJOBOLIO par un ancien lit du FARO qui devrait donc être également barré.

Le barrage de RIBADU qui serait doublé d'une écluse pour le passage des bateaux, présenterait l'avantage de créer une très vaste retenue qui noierait en particulier toute la zone difficile des "flats" d'OURO-BOKI. En admettant une hauteur de barrage d'une trentaine de mètres, la retenue (cote 190) remonterait dans la vallée du FARO sur environ 40 kilomètres et dans la vallée de la BENOUE sur environ 150 km en amont du confluent du FARO, donc bien au-delà de GAROUA. La capacité de la retenue serait de l'ordre d'une quinzaine de milliards de mètres cubes ; elle permettrait de régulariser le débit de la Moyenne-BENOUE dans d'excellentes conditions et résoudrait le problème des apports solides du FARO, qui se déposeraient dans la retenue sans aucune gêne pour la navigation (Il faudrait attendre de nombreux siècles pour que le comblement de la retenue prenne des proportions inquiétantes).

Ce projet séduisant comporterait cependant quelques graves inconvénients :

1°) Le port de GAROUA serait noyé sous 10 mètres d'eau environ ; une partie du quartier commercial et de la ville indigène serait également inondée.

2°) De vastes superficies particulièrement fertiles seraient soustraites à l'agriculture indigène, ce qui risquerait de compromettre sérieusement les conditions d'existence des populations locales. Il existe, en effet, dans la vallée de la BENOUE et du FARO d'importantes plantations d'arachides, de maïs et de mil (mil repiqué dans les plaines d'inondation), particulièrement dans les régions de RIBADU, OURO-BOKI, TOUTOUA, GAROUA et RIAO.

3°) Le coût du barrage de RIBADU serait très élevé, de l'ordre de 10 milliards de francs C.F.A., soit plus de trois fois celui du barrage de LAGDO.

Pour ramener ces différents inconvénients dans des limites plus acceptables, NEDECO a proposé une variante qui consisterait à réduire la hauteur du barrage de RIBADU. Ce barrage de 20 mètres de haut, au lieu de 30 mètres, créerait une retenue encore considérable (de l'ordre de 8 milliards de mètres cubes) et conjugué avec le barrage de LAGDO, il permettrait de régulariser le débit de la Moyenne-BENOUE dans des conditions aussi satisfaisantes que le projet primitif. Les avantages seraient les suivants :



1°) Le port de GAROUA ne serait pas submergé

2°) La superficie des terres cultivables inondées serait plus restreinte

3°) L'ancien lit du FARO entre BEKA et NJOBOLIO n'aurait pas besoin d'être barré

4°) Le coût du barrage de RIBADU serait réduit à environ 7 milliards de francs C.F.A. L'ensemble constitué par le barrage de LAGDO et le "petit" barrage de RIBADU ne serait pas plus cher que le "grand" barrage de RIBADU et permettrait une réalisation par étapes, avec échelonnement des dépenses.

Pour améliorer encore la régularisation du débit de la Moyenne et de la Basse-BENOUE, NEDECO a envisagé pour une étape ultérieure la construction de barrages sur certains affluents importants tels que la GONGOLA et la TARABA. Certaines possibilités semblent exister, mais n'ont pas encore fait l'objet d'études détaillées.

Enfin, dans une ultime étape de l'aménagement de la BENOUE, un grand barrage à usages multiples (production d'énergie, irrigations) pourrait être construit sur la BENOUE à MAKURDI. Il créerait une énorme retenue capable d'assurer la permanence de la navigation sur le Bas-NIGER et la BENOUE en aval de IBI. Il permettrait ainsi de concentrer toutes les flottilles sur le parcours GAROUA-IBI pendant la saison des hautes-eaux. La réalisation de ce projet grandiose ne peut cependant pas être raisonnablement envisagée avant plusieurs décades.

Après avoir évoqué certaines difficultés qui pourraient résulter de l'évolution du lit de la BENOUE à la suite de la régularisation de son débit, nous étudierons les effets que l'on peut attendre de la régularisation de la BENOUE par le seul barrage de LAGDO. Nous estimons, en effet, que la construction de ce barrage devrait constituer la première étape d'un aménagement à long terme de la BENOUE. Le "petit" barrage de RIBADU en constituerait la deuxième étape, mais nous n'aborderons pas l'étude détaillée du fonctionnement de ce barrage, car elle est actuellement poursuivie par NEDECO et figurera dans son Rapport Général.

2 - CONSEQUENCES HYDROGRAPHIQUES  
DE LA REGULARISATION

-----

## 2) CONSEQUENCES HYDROGRAPHIQUES DE LA REGULARISATION

Le lit alluvionnaire de la BENOUE peut être pratiquement considéré en état d'équilibre, sinon à l'échelle des temps géologiques, du moins à l'échelle historique. Autrement dit, on peut admettre que tout le long du cours de la BENOUE la pente de son lit, sa largeur, sa profondeur et sa rugosité se sont ajustées pour transporter le débit liquide et le débit solide moyens apportés par son bassin versant. Une question se pose donc : la modification apportée par un barrage régularisateur au régime naturel des débits liquide et solide est-elle de nature à compromettre cet équilibre d'une façon sensible ?

Dans l'état actuel de nos connaissances en morphologie fluviale, il n'est pas possible de donner une réponse précise à cette question. On peut cependant citer de nombreux cas où la construction d'un barrage sur un cours d'eau à fond alluvionnaire a provoqué d'importantes modifications des caractéristiques hydrographiques du lit. Par exemple, la construction du barrage HOOVER sur le COLORADO a été rapidement suivie, dans le bief-aval du barrage, d'un creusement général du lit qui a approché 3 mètres dans certains secteurs. On conçoit, en effet, que les eaux claires restituées à l'aval d'un barrage possèdent un pouvoir de transport excédentaire qui tend à creuser le lit. Si les matériaux du lit sont fins et d'une granulométrie uniforme sur une grande épaisseur, le niveau moyen du lit peut s'abaisser considérablement. Si la granulométrie des matériaux du lit est étendue, les particules les plus fines sont rapidement entraînées mais laissent sur le fond une sorte de pavage qui ralentit le creusement.

En plus de ce creusement, d'autres modifications du lit peuvent d'ailleurs intervenir. Ainsi, dans le secteur de YUMA, situé à environ 550 km en aval du barrage HOOVER, la diminution des transports solides et l'écrêtement des crues ont provoqué une réduction de la largeur du lit (de 155 à 130 m), une augmentation de la profondeur moyenne (de l'ordre de 1 m) et une diminution très sensible de la vitesse d'écoulement. Cette diminution de vitesse n'a pas été causée par une modification de la pente qui est restée pratiquement inchangée, mais par une augmentation importante de la rugosité, elle-même

dûe non pas à une variation très sensible de la granulométrie des matériaux du lit, mais à un bouleversement de la configuration du fond (bancs, dunes, rides, etc...)

Nous ne nous aventurerons pas à essayer d'évaluer l'importance du creusement du lit et des autres modifications hydrographiques qui résulteraient de la construction du barrage de LAGDO ou de celui de RIBADU. Ce serait absolument illusoire. Nous nous contenterons d'attirer l'attention sur ce point et recommanderons lorsque la régularisation de la BENOUE entrera en pratique, que l'évolution de son lit soit l'objet d'observations attentives, car elle risquerait d'avoir des conséquences assez sérieuses, par exemple, l'affouillement des fondations du barrage. Elle pourrait, d'ailleurs, avoir également des conséquences favorables comme l'approfondissement et une meilleure stabilité du chenal.

Le confluent du FARO pose un problème particulier qui a motivé quelques objections de la part de NEDECO contre le projet de LAGDO. Il est certain que l'écrêtement des hautes eaux qui accompagnerait la régularisation, provoquerait une diminution notable de la capacité moyenne de charriage de la BENOUE, alors que les apports solides du FARO resteraient inchangés. Il devrait en résulter un alluvionnement graduel du confluent du FARO qui s'étendrait progressivement vers l'aval et tendrait à instaurer un nouvel état d'équilibre, tel que l'accroissement de pente compense la diminution des débits maxima et rétablisse la capacité de charriage initiale (Nous négligeons la modification apportée aux transports solides de la BENOUE Camerounaise, par la régularisation).

D'après la "théorie des chenaux en régime" (théorie établie aux Indes par G. Lacey à la suite d'études approfondies sur les canaux d'irrigation ne subissant ni affouillement ni envasement), le produit  $i Q^{1/6}$  devrait rester constant, en admettant que le facteur de turbidité de LACEY reste inchangé. La valeur de  $Q$ , "débit d'élaboration du lit" (1) est de 4.100 m<sup>3</sup>/s pour le régime naturel en année moyenne à OURO-BOKI ; elle tomberait à 1.825 m<sup>3</sup>/sec en cas de régularisation

- (1) Nota - Le "débit d'élaboration du lit" est celui qui provoque la plus grosse partie de charriage annuel. Il est déterminé par la valeur maximum du produit  $f T$ ,  $f$  étant la fréquence partielle des débits liquides et  $T$  le débit solide correspondant.

pour un tirant d'eau de 4 pieds, d'après les données du chapitre qui suit ; le calcul montre alors que la pente de la BENOUE devrait s'accroître de 15%. De l'ordre de 27 cm/km entre le confluent du FARO et OURO-BOKI, elle devrait donc augmenter jusqu'à une valeur voisine de 31 cm/km.

Cet alluvionnement progressif du lit de la BENOUE à partir du confluent du FARO se combinerait avec les autres modifications hydrographiques évoquées plus haut, d'une façon très complexe. Aussi est-il pratiquement impossible de prévoir suivant quel processus il se réaliserait, quelle amplitude il atteindrait, à quel rythme il progresserait vers l'aval et quelle gêne il apporterait à la navigation au bout de quelques années ou de quelques décades. Seuls des essais sur modèles réduits effectués par un laboratoire d'hydraulique spécialisé permettraient de débrouiller ce problème difficile.

L'aggravation des conditions de navigation dans la zone précise où le FARO vient confluer avec la BENOUE est cependant moins difficilement prévisible. L'embouchure du FARO (voir levés hydrographiques de la zone I) est actuellement constituée par un cône alluvionnaire - ou plutôt par un "éventail" de sable, limité à l'aval par un front abrupt - que le chenal principal de la BENOUE est obligé de contourner en longeant la rive droite. La forme de l'"éventail" et notamment la position du front de sable varie de façon assez sensible, suivant l'importance relative des débits des deux branches confluentes. Lors des grandes crues de la BENOUE camerounaise, le front de sable recule par érosion tangentielle, tandis que le remous créé dans l'embouchure du FARO provoque une surélévation de l'éventail, en facilitant le dépôt des apports solides de cet affluent. Inversement, lorsque le débit du FARO est supérieur à celui de la BENOUE camerounaise, le plafond de l'éventail s'abaisse et le front de sable avance.

En cas de régularisation par le barrage de LAGDO, on peut présumer que dans une première phase le front de l'éventail tendrait à avancer et à rétrécir le chenal en le refoulant plus étroitement contre la rive droite. Ce rétrécissement, qui n'apporterait vraisemblablement pas une gêne très sérieuse à la navigation

mais provoquerait une augmentation locale de la vitesse, se poursuivrait jusqu'à ce qu'un équilibre soit atteint entre le débit solide du FARO et la capacité de transport du chenal dans cette zone. A ce moment là, des dépôts de sable tendraient à se produire en aval de ce resserrement, dans la première section élargie susceptible de provoquer une diminution suffisante de la capacité de charriage de la BENOUE. C'est dans cette section, nous semble-t-il, que les caractéristiques du chenal pourraient commencer à s'aggraver sérieusement, car l'alluvionnement s'y effectuerait d'une façon beaucoup plus désordonnée que dans la zone même du confluent. Il n'est pas exclu cependant que l'on puisse contrôler les dépôts de sable de proche en proche vers l'aval, au moyen d'ouvrages tels que ceux décrits précédemment pour l'aménagement sommaire des seuils difficiles (cf. Ch. III - B - 7 - systèmes de guidage de surface, ouvrages de Lossievsky, etc...). Les caractéristiques actuelles du chenal pourraient peut-être ainsi être conservées, voire même améliorées ; mais l'utilisation de ces ouvrages devrait être précédée d'études minutieuses sur modèles réduits, pour en assurer la pleine efficacité.

Une autre solution, plus radicale mais certainement plus onéreuse, pour empêcher la détérioration du chenal par les apports solides du FARO, consisterait à n'en laisser entrer dans la BENOUE qu'une faible partie, en rapport avec la capacité de charriage réduite du débit régularisé. Un barrage déversant de faible hauteur (environ 5 mètres) créant sur le FARO une retenue de décantation de quelques dizaines de millions de mètres cubes, pourrait remplir ce rôle. Malheureusement la largeur du lit majeur et des conditions de fondation défavorables conduiraient à un ouvrage d'un prix prohibitif.

Reste la possibilité d'effectuer à l'embouchure du FARO des dragages réguliers qui, par exemple, s'attaqueraient au front de l'"éventail" et le stabiliserait dans une position telle que l'entraînement de sable dans le chenal principal garde des proportions acceptables.

On peut essayer d'évaluer le volume des dragages qu'il serait nécessaire d'effectuer chaque année pour obtenir ce résultat. La courbe de correspondance entre débits solides et débits liquides que nous avons établie précédemment (cf. Transports solides Ch. I - D) nous a permis d'estimer à 450.000 m<sup>3</sup> le volume de maté-

riaux transportés en année moyenne par la BENOUE à OURO-BOKI. Si l'on majore ce résultat de 30% (estimation maximum), pour tenir compte du charriage de fond qui n'a pu être mesuré de façon adéquate, on obtient un volume annuel de 600.000 m<sup>3</sup>. Dans le cas de la régularisation du débit pour un tirant d'eau de 4 pieds, la même méthode de calcul conduit à un volume de 300.000 m<sup>3</sup> de matériaux transportés annuellement à OURO-BOKI.

La capacité de charriage de la BENOUE en aval du confluent du FARO décroîtrait donc de moitié après régularisation du débit par le barrage de LAGDO. Le volume annuel des dragages nécessaires pour compenser cette réduction serait pas conséquent de 300.000 m<sup>3</sup>. En admettant un prix moyen de 70 frs. C.F.A. par mètre cube dragué, le coût de cette opération serait de l'ordre de 20.000.000 frs C.F.A. par an ; il resterait dans des limites acceptables.

Il est à noter que tous les affluents non régularisés charriant des débits solides importants (GONGOLA, TARABA ...) auraient sur le lit de la BENOUE régularisée (par le barrage de LAGDO ou celui de RIBADU) une influence analogue à celle du FARO. Cependant, le problème se poserait sans doute avec une acuité moindre que pour le FARO, car l'importance relative du charriage de ces affluents par rapport à la capacité de transport de la BENOUE est apparemment plus faible.

En conclusion, la régularisation serait susceptible à une échéance plus ou moins lointaine, d'entraîner des modifications importantes du lit de la BENOUE, notamment dans le bief situé à l'aval du confluent du FARO. Il serait d'autant plus imprudent de les sous-estimer qu'il est pratiquement impossible de prévoir à priori leurs effets sur les conditions de navigation. Elles ne semblent pas poser de problèmes insurmontables mais devraient, avant toute réalisation pratique de la régularisation, être l'objet d'études minutieuses sur modèles réduits.

3 - REGULARISATION PAR LE BARRAGE

DE LAGDO

-----



### 3) REGULARISATION PAR LE BARRAGE DE LAGDO

#### a) Généralités

Notre but sera de préciser, dans la mesure du possible, les avantages qui résulteraient pour la navigation de la construction du barrage de LAGDO. Ce problème est complexe et ne peut être résolu que d'une façon approximative pour deux raisons principales :

- d'une part, les données de base sont quelque peu insuffisantes ; les relevés limnimétriques de certaines stations portent sur des périodes d'observation très courtes, les caractéristiques hydrographiques de la Basse-BENOUE ne nous sont pas très bien connues ;

- d'autre part, ainsi qu'on l'a vu plus haut, la régularisation pourrait avoir des conséquences hydrographiques que l'on ne peut pas évaluer quantitativement ; en particulier, l'ensablement éventuel du bief situé à l'aval du confluent du FARO demanderait à être étudié sur modèle réduit.

Pour tenir compte de ces incertitudes, nous avons été amenés à prendre quelques précautions. Les débits limites de navigation dans les différents secteurs de la BENOUE ont été déterminés (voir paragr. III - B - 2) avec une marge de sécurité importante, surtout dans le secteur 2 qui englobe le confluent du FARO et les "flats" d'OURO-BOKI. Bien que l'écrêtement de la crue, en cas de régularisation, doive normalement diminuer l'exhaussement des seuils pendant la saison des pluies, nous avons admis en fin de campagne (Octobre) un débit limite nettement plus élevé qu'en début de campagne (Juillet-Août). Pendant le mois de Septembre, nous avons supposé une augmentation linéaire du débit limite.

Pour ne pas risquer de provoquer un bouleversement important des caractéristiques hydrographiques de la BENOUE, nous avons évité d'adopter un programme d'utilisation du barrage qui modifierait trop considérablement le régime naturel. D'ailleurs, les apports contrôlés par le barrage de LAGDO ne représenteraient qu'une modeste part (15% environ) du volume annuel écoulé par la Basse-BENOUE. Il ne peut donc être question avec le

seul barrage de LAGDO de modifier sensiblement les conditions de navigation entre MAKURDI et LOKOJA. Nous admettrons que les effets régularisateurs de LAGDO s'atténuent fortement après le confluent de la TARABA et se font sentir d'une façon très affaiblie à IBI. Nous ne chercherons donc pas à faire durer la navigation sur la Haute-BENOUE plus longtemps que ne le permettent les conditions naturelles sur la Basse-BENOUE.

Nous essayerons plutôt d'allonger par ses deux extrémités la période de navigation de GAROUA, de façon à la faire sensiblement coïncider avec celle d'IBI et MAKURDI.

#### b) Effets de la régularisation

Nous étudierons les effets de la régularisation pour trois tirants d'eau différents, 4, 5 et 6 pieds (1,20 - 1,50 et 1,85 m) de façon à mettre en évidence le tirant d'eau le plus avantageux. Nous n'avons pas retenu de tirants d'eau inférieurs à 4 pieds, car ils ne permettraient pas l'emploi de remorqueurs rapides et apporteraient une modification trop importante au régime naturel des débits - ni supérieurs à 6 pieds car ils conduiraient à une période de navigation trop courte et exigeraient un ouvrage de restitution trop important à LAGDO.

Nous utiliserons les observations hydrologiques des années 1954 à 1956, les seules que nous possédions qui puissent être considérées comme assez sûres et suffisamment complètes pour l'ensemble des stations de la BENOUE. L'hydraulicité de 1954 et 1955 a, dans l'ensemble, été forte et même très forte pour 1955 (la plus abondante de 23 années d'observations à YOLA). Celle de 1956 a été voisine de la moyenne. D'une façon plus détaillée, on peut dire que :

- En 1954, Juillet a été assez fort, surtout vers la fin  
du mois

Août a été très faible

Septembre et Octobre ont été forts.

- En 1955, Juillet a été moyen et même un peu faible  
dans la 1ère quinzaine  
Août a été fort  
Septembre et Octobre ont été très forts
- En 1956, Juillet et Août ont été faibles  
Septembre et Octobre ont été assez forts.

Pour étudier les effets de la régularisation en année sèche, nous avons été amenés à considérer une année "1956 fictive". Celle-ci comporte exactement les mêmes débits journaliers que 1956, à l'exception de la dernière et forte pointe de crue d'Octobre que l'on a supprimée, en extrapolant la courbe de décroissance amorcée fin Septembre. On obtient ainsi une année fictive correspondant à une hydraulicité nettement déficitaire (Septembre assez voisin de la moyenne, mais Juillet-Août et Octobre faibles).

En définitive, nous considérerons :

1955     comme l'année-type humide

1956     comme l'année-type moyenne

"1956 fictive" comme l'année-type sèche

Par ailleurs, 1954 est une année assez intéressante, bien que nos relevés limnimétriques ne soient pas complets, parce que le creux du mois d'Août y a été particulièrement accentué.

En ce qui concerne le programme de régularisation, nous ne chercherons pas, comme nous l'avons dit plus haut, à faire durer la navigation sur la Haute et Moyenne-BENOUE, plus longtemps que ne le permettent sur la Basse-BENOUE les débits naturels à IBI, MAKURDI et LOKOJA. Les débits limites de la Basse-BENOUE sont, en effet, beaucoup trop élevés pour que le barrage de LAGDO puisse avoir une action très sensible sur les conditions de navigation dans ce secteur. Il ne peut donc être question de faire commencer et finir la période de régularisation chaque année à date fixe. Nous admettons que les lachures de LAGDO sont organisées de telle façon qu'en début de campagne un bateau parvenu à IBI dans des conditions limites de navigation puisse, sans attendre, continuer sa route sur la Moyenne et la Haute-BENOUE. Autrement dit, nous ferons commencer les lachures de LAGDO huit jours avant le début de la période de navigation naturelle à IBI, pour tenir compte

du temps nécessaire à l'établissement d'un régime d'écoulement permanent entre LAGDO et IBI.

En fin de campagne, nous arrêterons les lachures au plus tard le jour où les débits naturels d'IBI et de MAKURDI ne permettent plus de naviguer dans leur secteur respectif. Nous supposerons, par ailleurs, que du fait des lachures de LAGDO, la durée de navigation sur la Basse-BENOUE est prolongée d'environ 4 jours, à la décrue.

Pendant la période de régularisation, nous admettrons que les lachures de LAGDO doivent être réglées uniquement en fonction des débits naturels de GAROUA, OURO-BOKI et NUMAN. Nous manquons, en effet, de données suffisantes pour tenir compte des débits de la BENOUE entre GAMADIO et IBI, ce qui ne constitue pas une grave cause d'erreur, car ces débits ne seraient presque jamais déterminants.

Pour chacune des quatre années d'observations retenues et pour chacun des trois tirants d'eau envisagés, on peut étudier le fonctionnement du barrage de LAGDO en calculant jour par jour le "débit emmagasiné" dans la retenue QE. Nous entendons par "débits emmagasinés", aussi bien les débits effectivement mis en réserve (comptés positivement), que les débits pris sur la retenue (comptés négativement). Si l'on désigne par QR le débit restitué par les vannes du barrage et QN le débit naturel entrant dans la retenue de LAGDO, on a évidemment :

$$Q_R = Q_N - Q_E$$

Le débit "emmagasiné" QE est déterminé par les trois conditions suivantes, qui doivent être satisfaites simultanément :

|                        |   |                |   |                           |
|------------------------|---|----------------|---|---------------------------|
| Débit naturel à GAROUA | - | QE             | ≥ | débit limite dans secteur |
| "                      | " | OURO-BOKI - QE | ≥ | " " " "                   |
| "                      | " | NUMAN - QE     | ≥ | " " " "                   |

Les débits limites ont déjà été déterminés dans l'étude de la "Solution Réduite" ; nous n'y reviendrons donc pas mais rappellerons seulement qu'ils comportent une marge de sécurité confortable qui nous

met à l'abri de mécomptes en cas d'aggravation des conditions hydrographiques. Par exemple, pour un tirant d'eau de 5 pieds dans le secteur d'OURO-BOKI, nous avons adopté comme débits limites 1.600 et 2.350 m<sup>3</sup>/sec, respectivement en début et fin de campagne.

Entre les trois conditions ci-dessus, on constate que c'est presque toujours celle relative à OURO-BOKI qui est déterminante pour la valeur du "débit emmagasiné"  $Q_E$ .

Le diagramme des "débits emmagasinés" permet d'étudier le fonctionnement du barrage de LAGDO suivant l'hydraulicité de l'année et le tirant d'eau des bateaux. A titre d'exemple, on trouvera en annexe le diagramme de l'année 1956, relatif à un tirant d'eau de 5 pieds.

Pour cet exemple, la navigation dans les conditions naturelles commence sur la Basse-BENOUE le 15 Juillet. En supposant que cette date ait pu être prévue suffisamment à l'avance, les vannes du barrage de LAGDO sont ouvertes progressivement à partir du 7 Juillet, de façon que dès le 15 Juillet les premiers bateaux arrivés à IBI puissent monter sur la Moyenne et la Haute-BENOUE. Ils arrivent ainsi à GAROUA vers le 23 Juillet.

Entre le 7 Juillet et le 26 Août, le débit naturel étant inférieur au débit limite pour au moins l'une des trois stations de GAROUA, OURO-BOKI et NUMAN (sauf du 1er au 12 Août), la navigation ne peut être assurée que par des prélèvements sur la retenue de LAGDO. Celle-ci se vide de  $1,52 \times 10^9$  m<sup>3</sup>.

A partir du 27 Août et jusqu'au 16 Octobre, les débits naturels deviennent surabondants : la retenue se remplit de  $4,32 \times 10^9$  m<sup>3</sup>, à moins que la retenue étant complètement pleine, il se produise des déversements par l'évacuateur de crues.

A partir du 17 Octobre, le débit naturel devient insuffisant et l'on opère de nouveaux prélèvements sur la retenue jusqu'au 1er Novembre, date à partir de laquelle on ferme progressivement les vannes de LAGDO, parce que le débit de la Basse-BENOUE ne permet pas de faire durer plus longtemps la période de navigation. Du 17 Octobre au 1er Novembre, la retenue se vide de  $1,68 \times 10^9$  m<sup>3</sup>.

Au dernier jour de la campagne de navigation, le débit restitué par le barrage de LAGDO est voisin de 2.000 m<sup>3</sup>/sec. Il n'est pas recommandable de diminuer trop brusquement ce débit, ne serait-ce que pour laisser s'opérer l'amélioration des seuils qui est de règle en période de décrue. On peut admettre que le volume d'eau ainsi consommé après la campagne de navigation serait compensé par les apports naturels dans la retenue du 1<sup>er</sup> Novembre au 6 Juillet, soit 630 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>.

Notre programme d'utilisation de la retenue de LAGDO pour 1956 paraît jusqu'ici pouvoir être réalisé facilement puisque le volume susceptible d'être emmagasiné (4,32 x 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>) est supérieur au volume total des prélèvements (3,2 x 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>). Cependant il nous reste à tenir compte :

1°- Des pertes dues à une régularisation imparfaite. Les prévisions de débits sur lesquelles on s'appuierait pour le réglage des vannes de LAGDO, ne serait pas, en effet, d'une très grande précision, de sorte que la régularisation ne serait réalisée que d'une façon approximative. On peut estimer que pour cette raison les volumes emmagasinés seraient réduits de 10% et les volumes prélevés majorés d'autant, les éclusées de LAGDO étant en moyenne maintenues plutôt surabondantes par raison de sécurité.

2°- Des pertes par évaporation à la surface de la retenue de LAGDO. Ces pertes peuvent être évaluées d'après des mesures sur "bacs Colorado", effectuées par ORSTOM dans le Nord-CAMEROUN ainsi qu'au TCHAD et au SOUDAN, sous des climats analogues. Nous adopterons comme intensités mensuelles de l'évaporation les valeurs suivantes qui sont probablement un peu surestimées d'après les plus récentes observations :

| J   | F   | M   | A   | M   | J   | J  | A  | S  | O   | N   | D   | Année |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|-----|-----|-----|-------|
| 185 | 195 | 280 | 330 | 250 | 150 | 95 | 75 | 75 | 125 | 150 | 170 | 2.080 |
|     |     |     |     |     |     |    |    |    |     |     |     | mm    |

Pendant la période de navigation, l'évaporation est assez réduite (environ 350 mm). Le volume d'eau soustrait à la retenue est de l'ordre de 200 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>.

Pendant l'inter-saison, de Novembre à Juin, l'évaporation est beaucoup plus intense (1.700 mm). Les pertes varient d'ailleurs très sensiblement avec le volume d'eau mis en réserve à la fin d'une campagne de navigation pour être utilisé au début de la suivante, comme le montre le tableau ci-dessous (volume en 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>) :

|                     |       |       |       |       |       |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| : Remplissage de :  | :     | :     | :     | :     | :     |
| : la retenue :      | 6,2 : | 4,9 : | 3,7 : | 2,6 : | 1,4 : |
| : 1er Novembre :    | :     | :     | :     | :     | :     |
| : Pertes par :      | :     | :     | :     | :     | :     |
| : évaporation :     | 1,2 : | 0,9 : | 0,7 : | 0,6 : | 0,4 : |
| : du 1er Novembre : | :     | :     | :     | :     | :     |
| : au 1er Juillet :  | :     | :     | :     | :     | :     |
| : Remplissage de :  | :     | :     | :     | :     | :     |
| : la retenue :      | 5,0 : | 4,0 : | 3,0 : | 2,0 : | 1,0 : |
| : au 1er Juillet :  | :     | :     | :     | :     | :     |

Compte-tenu de ces pertes, le bilan hydraulique de la retenue de LAGDO, pour l'année 1956 et pour un tirant d'eau de 5 pieds, s'établirait comme suit :

|                                                 | Volume<br>emmagasiné<br>10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> | Volume<br>prélevé<br>10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> | Remplissage<br>10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Culot de retenue inutilisable                   |                                                        |                                                     | 0,8                                           |
| Volume brut emmagasiné du 27/8<br>au 16/10      | 4,32                                                   |                                                     |                                               |
| Pertes pour régularisation<br>imparfaite        |                                                        | 0,43                                                |                                               |
| Pertes par évaporation pendant<br>la campagne   |                                                        | 0,20                                                | 4,49                                          |
| Prélèvement brut du 17/10 au<br>1/11            |                                                        | 1,68                                                |                                               |
| Majoration pour régularisation<br>imparfaite    |                                                        | 0,17                                                | 2,64                                          |
| Pertes par évaporation de<br>Novembre à Juillet |                                                        | 0,60                                                | 2,04                                          |
| Prélèvement du 7/7 au 26/8                      |                                                        | 1,52                                                |                                               |
| Majoration pour régularisation<br>imparfaite    |                                                        | 0,15                                                | 0,37                                          |
|                                                 |                                                        |                                                     | Déficit                                       |
| Total :                                         | 4,32                                                   | 4,75                                                | - 0,43                                        |

On constate que notre bilan n'est pas équilibré et qu'il est donc nécessaire d'abrégier la campagne de navigation pour réduire le volume des lachures d'au moins 430 x 10<sup>6</sup>. En fait, par mesure de prudence, nous devons tenir compte de l'éventualité d'une année très sèche succédant à notre année 1956. Si l'on veut éviter toute interruption de la navigation pendant le creux du mois d'Août, l'année 1954, pour laquelle ce creux a été très



accentué, montre qu'il faut, à la fin de la campagne précédente, conserver une réserve de  $3,8 \times 10^9$  m<sup>3</sup> (compte tenu des pertes par évaporation), au lieu de  $2,64 \times 10^9$  dans notre bilan ci-dessus.

Par conséquent, il est nécessaire de réduire de  $1,16 \times 10^9$  m<sup>3</sup> le volume des lachures et donc de raccourcir la période de navigation. On abrègera moins celle-ci en avançant la date de fin de campagne qu'en retardant celle du début. Nous sommes donc amenés à clôturer la période de navigation le 24 Octobre au lieu du 1er Novembre.

En définitive, avec un tirant d'eau de 5 pieds, la période de navigation normale à GAROUA pour l'année 1956, considérée comme année moyenne s'étend du 21 Juillet au 24 Octobre, soit 95 jours (Durée de navigation réelle de la campagne 1956 : 55 jours).

Pour l'année "1956 fictive" considérée comme année-type sèche, la navigation doit prendre fin à GAROUA le 2 Octobre, lorsque le débit naturel devient inférieur au débit limite à OURO-BOKI. Le volume retenu à LAGDO n'est, en effet, à cette date que de  $3,6 \times 10^9$  m<sup>3</sup> ; il est donc légèrement inférieur au volume de sécurité ( $3,8 \times 10^9$  m<sup>3</sup>) que l'on doit conserver pour la campagne suivante.

La période de navigation à GAROUA pour l'année type sèche et avec un tirant d'eau de 5 pieds s'étend donc du 21 Juillet au 2 Octobre, soit 73 jours.

En ce qui concerne la capacité maximum à admettre pour la retenue - capacité qui conditionne la hauteur du barrage de LAGDO - elle doit être, d'après notre bilan 1956, au moins égale à  $4,5 \times 10^9$  m<sup>3</sup>. En fait, pour limiter les déversements en années de forte hydraulicité et disposer ainsi d'une réserve d'eau supplémentaire facilitant l'exploitation du barrage et permettant de créer des effets de chasse importants, si le besoin s'en faisait sentir au confluent du FARO (1). Nous pensons qu'une capacité de l'ordre de  $6 \times 10^9$  m<sup>3</sup> serait convenable, dans le cas de l'utilisation d'un tirant d'eau de 5 pieds. Une capacité plus importante risquerait d'être mal utilisée car son remplissage intégral ne pourrait être assuré qu'en année exceptionnellement humide.

---

(1) Il est intéressant de noter que ces chasses devraient surtout être faites en année de forte hydraulicité où les crues du FARO seraient particulièrement abondantes.

Nous avons jusqu'ici considéré le cas d'un tirant d'eau de 5 pieds. Le tableau ci-après résume les résultats auxquels nous avons abouti, ainsi que ceux que donnerait la même méthode de calcul pour des tirants d'eau de 4 et 6 pieds.

| Tirant d'eau: | Année                     | Hydrau-licité    | Volume : emmaga- sinable : | Réserve de : sécurité en fin de campagne (Vol. Utile) | Capacité : minimum de la retenue : | Début de : navigation à GAROUA : | Fin de : navigation à GAROUA : | Durée de : navigation à GAROUA : |
|---------------|---------------------------|------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
|               |                           |                  | 109 m3                     | 109 m3                                                | 109 m3                             |                                  |                                | jours                            |
| 4 pieds       | 1956<br>1956<br>(fictive) | moyenne<br>sèche | 5,35<br>4,05               | 1,2<br>1,2                                            | 6,15                               | 19/7<br>19/7                     | 3/11<br>30/10                  | 107<br>103                       |
| 5 pieds       | 1956<br>1956<br>(fictive) | moyenne<br>sèche | 3,70<br>2,80               | 3,0<br>3,0                                            | 4,5                                | 21/7<br>21/7                     | 24/10<br>2/10                  | 95<br>73                         |
| 6 pieds       | 1956<br>1956<br>(fictive) | moyenne<br>sèche | 2,45<br>2,00               | (4,2)<br>(4,2)                                        | 3,25                               | 20/8<br>24/8                     | 15/10<br>28/9                  | 56<br>35                         |

On remarque que pour le tirant d'eau de 6 pieds, la durée de navigation devient très courte en année sèche (35 jours) et que, par ailleurs, le volume emmagasinable pendant la crue est très inférieur à la réserve de sécurité qu'il conviendrait de garder en fin de campagne pour se prémunir contre une interruption de navigation pendant le mois d'Août de l'année suivante ; on est donc obligé de renoncer à faire commencer la période de navigation sur la Haute et la Moyenne-BENOUE dès que les débits naturels le permettraient sur la Basse-BENOUE. En fait, la navigation ne peut commencer d'une façon sûre que dans la dernière décade d'Août, ce qui raccourcit de près d'un mois la période de navigation. Pour cette raison, le tirant d'eau de 6 pieds n'apparaît pas très avantageux.

Par contre, pour le tirant d'eau de 4 pieds, le volume emmagasinable pendant les hautes-eaux est en année moyenne largement suffisant, d'une part, pour permettre la prolongation de la campagne jusqu'au début de Novembre - époque à laquelle la Basse-BENOUE cesse d'être navigable - et, d'autre part, pour constituer une importante réserve de sécurité utilisable l'année suivante. On constate pour cette raison que la période de navigation varie peu entre l'année sèche et l'année moyenne, ce qui constitue un avantage certain pour la sécurité des transports. La capacité de retenue devrait être de l'ordre de  $6 \times 10^9 \text{ m}^3$ , valeur suffisante pour permettre éventuellement des effets de chasse au confluent du FARO.

Pour comparer de façon plus précise les trois tirants d'eau étudiés, nous utiliserons une méthode analogue à celle adoptée pour la détermination du tirant d'eau optimum dans le cadre de la "Solution Réduite" (chap. III - B - 4). Nous conserverons les mêmes notations, à savoir :

$x$  = tirant d'eau des bateaux à pleine charge  
 $x_0$  = " " " " à lège  
 $m = k (x - x_0)$  = charge utile de bateaux de largeur et de longueur constante (déterminée au facteur constant  $k$  près)  
 $T$  = durée de navigation à GAROUA

$$M_2 = \frac{K_2 (x - x_0) T}{1 + 2x}$$

Trafic maximum à GAROUA, en admettant deux hypothèses : 1°- Le nombre de bateaux affecté au trafic de GAROUA varie en fonction de x, de telle façon que le montant global des frais d'amortissement et d'exploitation soit constant ; 2°- Les bateaux naviguent toujours à pleine charge et donc à leur tirant d'eau maximum.

Le tableau ci-dessous permet de comparer les trois tirants d'eau étudiés, en fonction de ces données :

| x    | x <sub>0</sub> | x - x <sub>0</sub> | hydraulicité  | T     | M <sub>2</sub>    |
|------|----------------|--------------------|---------------|-------|-------------------|
| m    | m              | m                  |               | jours |                   |
| 1,20 | 0,30           | 0,90               | année moyenne | 107   | 28 K <sub>2</sub> |
|      |                |                    | année sèche   | 103   | 27 K <sub>2</sub> |
| 1,50 | 0,35           | 1,15               | année moy.    | 95    | 27 K <sub>2</sub> |
|      |                |                    | année sèche   | 73    | 21 K <sub>2</sub> |
| 1,85 | 0,40           | 1,45               | année moy.    | 56    | 17 K <sub>2</sub> |
|      |                |                    | année sèche   | 35    | 11 K <sub>2</sub> |

La supériorité du tirant d'eau de 1,20 m apparaît immédiatement ; c'est celui qui permet d'assurer le trafic le plus important et c'est surtout celui qui assure la plus grande régularité de transport, quelle que soit l'hydraulicité de l'année.

Rappelons que dans le cas de la Solution Réduite, des hypothèses de calcul analogues nous ont conduit à un trafic maximum égal à 14 K<sub>2</sub> en année sèche, au lieu de 27 K<sub>2</sub> dans le tableau ci-dessus. La régularisation pour un tirant d'eau de 1,20 m permettrait donc de doubler sensiblement le trafic de GAROUA. Ces résultats ont été obtenus à partir des conditions hydrographiques défavorables qui ont suivi la crue de 1955. Il est certain que si nous avons utilisé les données hydrographiques du lit de 1952 - 1953, nous serions arrivés à des périodes de navigation plus longues. Cependant il est prudent de nous en tenir aux difficiles conditions de l'année 1956.

### c) Conclusion

La régularisation du débit de la BENOUE par le barrage de LAGDO présenterait comme principal avantage d'assurer la sécurité des transports pendant une durée garantie, quelle que soit l'hydraulicité de l'année. Elle permettrait, en outre, d'allonger sensiblement la période de navigation, spécialement en année sèche.

En adoptant des hypothèses assez pessimistes quant aux conséquences possibles de la régularisation sur l'évolution du lit de la BENOUE et en admettant pour les bateaux un tirant d'eau de 1,20 m (4 pieds) - tirant d'eau qui apparaît le plus favorable (1) - on peut garantir une durée de navigation à GAROUA de 100 jours, s'étendant approximativement du 20 Juillet au 1er Novembre. Par rapport à la Solution Réduite, sans tenir compte de l'aménagement des seuils difficiles, la durée de navigation serait ainsi doublée en année sèche.

Le coût du barrage de LAGDO peut être actuellement estimé à environ 3 milliards de francs C.F.A. En admettant un taux de 6% pour les frais d'exploitation et d'amortissement, les dépenses annuelles demandées par la régularisation seraient de 180 millions de Frs C.F.A., auxquels nous ajouterons 20 millions de Frs C.F.A. nécessités éventuellement par des dragages au confluent du FARO, soit un total de 200 millions de Frs C.F.A./an.

Nous avons déjà eu l'occasion de signaler qu'une tonne de marchandise transportée par la BENOUE, au lieu d'être acheminée par la route DOUALA-GAROUA représenterait une économie de l'ordre de 6.000 frs C.F.A. (compte tenu des frais accessoires occasionnés par les délais d'acheminement).

La construction du barrage de LAGDO deviendrait donc justifiée le jour où le développement économique du Nord-CAMEROUN et du TCHAD laisserait prévoir à brève échéance un accroissement du trafic de GAROUA de l'ordre de 35.000 tonnes par rapport aux possibilités maxima de la "Solution Réduite". Ce calcul, assez simpliste, ne tient pas compte cependant de la diminution des tarifs de transports sur la BENOUE que permettrait le barrage de LAGDO en facilitant considérablement l'exploitation de la navigation.

- (1) Le tirant d'eau optimum passerait de 1,20 m à 1,50 m, si l'aménagement sommaire des seuils difficiles permettrait de réduire de 30 cm les hauteurs limites de navigation, hypothèse qui apparaît assez plausible.

Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer  
—○—

# AMÉLIORATION DE LA NAVIGABILITÉ DE LA BÉNOUÉ

## III. PROPOSITIONS POUR L'AMÉLIORATION DE LA NAVIGABILITÉ

### D. Conclusions générales



D - CONCLUSIONS GENERALES

-----

## D - CONCLUSIONS GENERALES -

Les chapitres qui précèdent ont montré que l'on pouvait envisager pour l'amélioration de la navigabilité de la BENOUE un ensemble de mesures assez diverses qui ont été classées sous deux rubriques principales : Solution Réduite et régularisation du débit.

Bien loin de s'exclure, ces différentes possibilités sont complémentaires et devraient être réalisées progressivement, en fonction du développement économique des régions desservies par la BENOUE. Nous passerons ici brièvement en revue les résultats auxquels permettraient de parvenir les différentes mesures envisagées. La sécurité des transports étant l'un des objectifs majeurs à rechercher dans l'amélioration de la navigabilité, nous retiendrons seulement les résultats susceptibles d'être obtenus en année sèche, définie par une hydraulicité atteinte ou dépassée trois années sur quatre en moyenne. L'année 1953 correspond très sensiblement à cette définition et nous servira de base de comparaison.

D'après les résultats de la campagne 1953, on peut admettre qu'avant la mise en service des bateaux les plus récents (SUSIE en 1956, AMCOTTS en 1957), le trafic minimum qui pouvait être assuré à GAROUA en année sèche était de 26.000 tonnes (soit 530 t/jour, y compris essence en vrac, pendant 47 jours).

La mise en service d'unités nouvelles de type très moderne a permis d'augmenter sensiblement le trafic de GAROUA. Un bateau, tel que la "SUSIE" d'un tonnage utile de 1.100 tonnes, peut en année sèche, dans les conditions de navigation actuelles, effectuer deux rotations par campagne, dont une à tirant d'eau réduit et une à tirant d'eau normal. Le tonnage transporté au total à la montée et à la descente s'élève ainsi à près de 4.000 tonnes.

Cependant, l'augmentation du nombre de bateaux affectés au trafic de GAROUA est limitée par les possibilités de manutention du port. Si l'on suppose que celui-ci travaille à plein temps (1.200 tonnes par jour, y compris importations d'essence en vrac)

pendant toute la période où les bateaux calant 1,50 m sont assurés de rencontrer des profondeurs suffisantes dans le chenal, c'est-à-dire pendant la période s'étendant du 23 Août au 6 Octobre (44 jours en 1953), le tonnage maximum des importations et des exportations peut atteindre 50.000 tonnes en année sèche. Pour parvenir à ce résultat, il faudrait disposer d'une flottille complémentaire d'environ 9 à 10.000 tonnes, par rapport aux bateaux en service en 1953. Cette flottille serait mal utilisée car la durée de rotation étant trop longue et la période de navigation trop courte, une partie des bateaux ne pourrait faire qu'une seule rotation sûre, sous peine d'"embouteillage" du port de GAROUA.

Pour cette raison, l'augmentation du nombre de bateaux devrait être accompagnée par la mise en place de la "Solution Réduite" (balisage, surveillance des fonds, annonce des crues). En rendant possible la navigation de nuit (au moins à la montée), en évitant des échouages sur les mauvais passages, en assurant une meilleure coordination des mouvements des bateaux, la Solution Réduite combinée avec une amélioration des méthodes d'exploitation qui diminuerait les immobilisations dans les ports (généralisation de la manutention mécanique, notamment), permettrait de majorer d'environ 40% le rendement des bateaux. D'autre part, la période sûre pendant laquelle les bateaux calant 1,50 m (navigant éventuellement avec un tirant d'eau réduit à 1,20 m) seraient assurés de pouvoir toucher GAROUA sans difficulté, serait allongée d'une huitaine de jours. Elle s'étendrait du 19 Août au 10 Octobre (52 jours) et moyennant le plein emploi du port de GAROUA permettrait un trafic maximum de 60.000 tonnes en année sèche. Celui-ci pourrait être assuré avec l'aide d'une flottille complémentaire d'un port-en-lourd global de 7.000 tonnes seulement (par rapport à la situation de 1953)

Une augmentation ultérieure du nombre de bateaux affectés au trafic de GAROUA devrait être accompagnée d'une extension des installations portuaires pour accélérer les opérations de manutention. Mais plutôt que de procéder à cette extension, il serait probablement plus avantageux d'aménager les seuils les plus difficiles au moyen d'ouvrages sommaires, inspirés par exemple de ceux en usage sur

certaines voies d'eau d'U.R.S.S. ou des Indes. On pourrait ainsi améliorer encore très sensiblement l'utilisation des bateaux en service. En supposant que l'on parvienne à réduire de 30 cm les hauteurs d'eau limites sur les "flats" d'OURO-BOKI et de GAMADIO, la période de navigation sûre, en année sèche, s'étendrait du 3 Août au 16 Octobre, soit 74 jours. Le trafic maximum de GAROUA en année sèche pourrait ainsi être porté à environ 90.000 tonnes, avec une flottille complémentaire de 8 à 9.000 tonnes (par rapport à la situation de 1953).

Une fois parvenu à ce stade de développement, le trafic de GAROUA pourrait connaître un nouvel essor avec la construction du barrage de LAGDO. En régularisant le débit de la BENOUE, ce barrage permettrait d'étendre la période de navigation en année sèche du 19 Juillet au 30 Octobre (103 jours) pour des bateaux calant 1,20 m (tirant d'eau optimum). Le trafic maximum de GAROUA en année sèche pourrait alors approcher de 125.000 tonnes, sans que soient modifiées les installations portuaires actuelles et en utilisant une flottille complémentaire de 10.000 tonnes environ. En accroissant encore cette flottille et en augmentant la capacité de manutention du port, le trafic annuel de 125.000 tonnes pourrait évidemment être largement dépassé. Ajoutons qu'il serait réalisé dans d'excellentes conditions de sécurité ; la maîtrise des débits que procurerait le barrage de LAGDO permettrait, en effet, d'établir à l'avance un programme d'exploitation rationnel dont la réalisation ne serait plus à la merci d'une hydraulicité déficitaire. L'incertitude sur les conséquences hydrographiques de la régularisation par le barrage de LAGDO (à lever par des études sur modèles réduits) ne nous apparaît pas très inquiétante, bien qu'elle ne doive pas être négligée. En ce qui concerne plus particulièrement l'évolution du chenal au voisinage du confluent du FARO, nous sommes convaincus que, dans l'hypothèse la plus pessimiste, des dragages réguliers d'un prix de revient acceptable permettraient de compenser de façon satisfaisante les effets de la régularisation.

Ultérieurement, le "petit" barrage de RIBADU envisagé par NEDECO (barrage d'environ 20 mètres de haut, au lieu de 30 mètres dans le projet initial) serait susceptible d'améliorer sensiblement la régularisation du débit de la BENOUE, malheureusement au prix de dépenses élevées. Il procurerait la maîtrise complète des apports du FARO qui se jetteraient dans la retenue,

il résoudrait le problème posé par les transports solides de cet affluent et, enfin, en noyant les "flats" d'OURO-BOKI il éliminerait les difficultés de navigation dans le secteur le plus difficile. La période de navigation pourrait ainsi être quelque peu allongée et l'on serait en mesure d'agir de façon plus efficace sur les conditions de navigation de la Basse-BENOUE.

Nous n'insisterons pas sur les ultimes étapes de l'amélioration de la BENOUE : régularisation des affluents tels que la GONGOLA et la TARABA, régularisation de la Basse-BENOUE et du Bas-NIGER par le barrage de MAKURDI. Les possibilités exactes sont assez mal connues et l'éventualité des réalisations pratiques très lointaine.

En résumé, les différentes étapes que l'on peut envisager pour l'amélioration de la navigabilité de la BENOUE et les résultats approximatifs que l'on peut en attendre, sont condensés dans le tableau suivant :

|                                                                                                                                        | :Période de :<br>:navigation :Durée de :<br>:moyenne à :naviga- :<br>:GAROUA en :tion :<br>:année sèche:<br>:(1) | :Trafic maximum:Tonnage de :<br>:de GAROUA :la flottille:<br>:en :complémen- :<br>:année sèche :taire néces- :<br>:(2) :saire :<br>(3) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Amélioration                                                                                                                           |                                                                                                                  |                                                                                                                                        |
| -Campagne 1953 (année sèche servant de base de comparaison)                                                                            | :23/8 -6/10 :44 jours:                                                                                           | 26.000 tonnes: -                                                                                                                       |
| -Augmentation du nombre de bateaux affectés au trafic de GAROUA                                                                        | :23/8 -6/10 :44 "                                                                                                | : 50.000 " :9 à 10.000 t:                                                                                                              |
| -Application de la "Solution Réduite" (balisage-Surveillance des Fonds -Annonce des crues) et amélioration des méthodes d'exploitation | :19/8 -10/10:52 "                                                                                                | : 60.000 " : 7.000 t                                                                                                                   |
| -Aménagement sommaire des seuils difficiles                                                                                            | : 3/8 -16/10:74 "                                                                                                | : 90.000 " :8 à 9.000 t                                                                                                                |
| -Régularisation du débit de la BENOUE par le barrage de LAGDO                                                                          | :19/7 -30/10:103 "                                                                                               | :125.000 " : 10.000 t                                                                                                                  |

- (1) - année sèche de fréquence 75% (dépassement du module)
- (2) - en n'admettant aucune extension des installations portuaires actuelles
- (3) - y compris les bateaux "SUSIE" et "AMCOTTS" mis en service depuis 1956 et non compris le remplacement des bateaux anciens en service avant 1956. Cette flottille complémentaire s'entend par rapport à la situation de 1953.

Soulignons, pour terminer, que l'amélioration de la navigabilité de la BENOUE suppose une entente complète entre les territoires qu'elle traverse - NIGERIA, CAMEROUN - et également le TCHAD dont elle peut desservir certaines régions. Elle nécessite, de plus, l'accord des compagnies de navigation. La réalisation progressive des améliorations que nous avons proposées, la solution des problèmes techniques, économiques et financiers qu'elles poseraient, ne peuvent en effet se concevoir que dans le cadre d'une étroite coopération entre les administrations intéressées des différents territoires et les usagers de la navigation. L'aménagement intégral de la BENOUE est donc en tout premier lieu un problème de coopération internationale.

TABLEAU I - Caractéristiques de ruissellement - Parcelle nue

| Précipitations |                 | N°   | Pluie efficace |                |                | Ruissellement  |                |                 |      | Saturation relative |
|----------------|-----------------|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|------|---------------------|
| Date           | H <sub>mm</sub> |      | P <sub>e</sub> | T <sub>e</sub> | I <sub>e</sub> | P <sub>r</sub> | I <sub>r</sub> | C <sub>am</sub> | Re % | H <sub>a</sub>      |
| 4.8.58         | 43,5            | 1    | 14             | 5'             | 168            | 1,20           | 14,4           | 153,6           | 8,6  | 11,4                |
| 10.8.58        | 28,5            | 2    | 6,5            | 5'             | 78             | 1,00           | 12,0           | 66,0            | 15,4 | 13,2                |
| 18.8.58        | 14,9            | 3    | 7,9            | 8'             | 59,2           | 0,50           | 3,80           | 55,4            | 6,4  | 8,5                 |
| 12.9.58        | 22,0            | 4    | 12,4           | 11'            | 67,7           | 1,74           | 9,50           | 58,2            | 14,0 | 6,8                 |
| 14.9.58        | 27,3            | 5    | 9,6            | 4'             | 148            | 0,84           | 12,6           | 135,4           | 8,7  | 6,0                 |
|                |                 |      | 3,2            | 3'             | 64             | 0,38           | 7,6            | 56,4            | 11,9 | 11,8                |
|                |                 |      | 4,4            | 5'             | 52,8           | 0,48           | 5,8            | 47,0            | 11,0 | 21,1                |
| 19.9.58        | 95,6            | 6.1  | 45,5           | 21'            | 130            | 15,40          | 44,0           | 86,0            | 33,9 | 20,4                |
|                |                 | 6.2  | 10,9           | 11'            | 60,6           | 1,81           | 9,9            | 50,7            | 16,3 | 42,1                |
|                |                 | 6.3  | 2,0            | 3'             | 40,0           | 0,31           | 6,2            | 33,8            | 15,5 | 50,0                |
|                |                 | 6.4  | 2,7            | 3'             | 54,0           | 0,55           | 11,0           | 43,0            | 20,4 | 56,6                |
|                |                 | 6.5  | 10,9           | 8'             | 81,7           | 3,0            | 22,5           | 59,2            | 27,6 | 61,7                |
|                |                 | 6.6  | 4,1            | 11'            | 22,4           | 0,74           | 4,0            | 18,4            | 17,9 | 69,3                |
| 24.9.58        | 20,0            | 7.1  | 9,0            | 7'             | 77,2           | 3,64           | 31,2           | 46,0            | 40,4 | 5,7                 |
|                |                 | 7.2  | 5,5            | 9'             | 36,7           | 0,96           | 6,4            | 30,3            | 17,4 | 10,6                |
| 2.10.58        | 51,4            | 8.1  | 2,6            | 3'             | 52,0           | 0,18           | 3,6            | 48,4            | 6,9  | 2,7                 |
|                |                 | 8.2  | 3,8            | 6'             | 38,0           | 0,45           | 4,5            | 33,5            | 11,8 | 8,7                 |
|                |                 | 8.3  | 2,9            | 5'             | 34,8           | 0,21           | 2,5            | 32,3            | 7,2  | 14,2                |
|                |                 | 8.4  | 1,8            | 2'             | 54,0           | 0,36           | 10,8           | 43,2            | 20,0 | 17,3                |
|                |                 | 8.5  | 2,4            | 3'             | 48,0           | 0,39           | 7,8            | 40,2            | 16,2 | 20,6                |
|                |                 | 8.6  | 6,7            | 8'             | 50,2           | 1,75           | 13,2           | 37,0            | 26,3 | 25,4                |
|                |                 | 8.7  | 4,6            | 6'             | 46,0           | 1,06           | 10,6           | 35,4            | 23,0 | 35,1                |
| 4.10.58        | 14,6            | 9.1  | 5,3            | 6'             | 53,0           | 0,83           | 8,3            | 44,7            | 15,6 | 5,0                 |
|                |                 | 9.2  | 4,3            | 11'            | 23,4           | 0,30           | 1,6            | 21,8            | 6,8  | 9,3                 |
| 5.10.58        | 14,4            | 10   | 4,3            | 3'             | 86,0           | 1,60           | 32,0           | 54,0            | 37,2 | 5,2                 |
| 10.10.58       | 26,5            | 11.1 | 4,0            | 5'             | 48,0           | 0,96           | 11,5           | 36,5            | 24,0 | 3,7                 |
|                |                 | 11.2 | 4,1            | 4'             | 61,0           | 1,40           | 21,0           | 40,0            | 34,4 | 8,4                 |
|                |                 | 11.3 | 1,4            | 3'             | 28,0           | 0,27           | 5,4            | 22,6            | 19,3 | 10,8                |
|                |                 | 11.4 | 9,0            | 6'             | 90,0           | 3,8            | 38,0           | 52,0            | 42,2 | 16,5                |
| 24.10.58       | 12,4            | 12   | 6,8            | 7'             | 58,2           | 2,34           | 20,0           | 38,2            | 34,4 | 5,7                 |
| 26.10.58       | 15,2            | 13   | 3,6            | 10'            | 21,6           | 0,65           | 3,9            | 17,7            | 18,1 | 7,4                 |
| 29.10.58       | 14,1            | 14   | 3,7            | 4'             | 55,5           | 1,48           | 22,2           | 33,3            | 40,0 | 6,6                 |
| 29.10.58       | 13,6            | 15.1 | 9,7            | 4'             | 145,0          | 4,46           | 66,8           | 78,2            | 46,0 | 3,8                 |
|                |                 | 15.2 | 1,6            | 2'             | 48,0           | 0,54           | 16,2           | 31,8            | 33,8 | 6,9                 |
| 29.10.58       | 13,9            | 16.1 | 7,3            | 4'             | 110,0          | 3,2            | 48,0           | 62,0            | 43,6 | 2,0                 |
|                |                 | 16.2 | 3,7            | 5'             | 44,5           | 1,36           | 16,3           | 28,2            | 36,3 | 7,2                 |



CAM - 8642

ED:

LE:

DES:

VISA:

TUBE N°:

AO

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

TABLEAU II - Caractéristiques de ruissellement - Parcelle en friche

| Précipitation |       | Pluie efficace |                |                | Ruissellement  |                |       |                  | saturation relative |
|---------------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|------------------|---------------------|
| Date          | H m/m | P <sub>E</sub> | T <sub>E</sub> | I <sub>E</sub> | P <sub>R</sub> | I <sub>R</sub> | Cam   | R <sub>E</sub> % | Ha                  |
| 4-8-58        | 43,5  | 14,0           | 5'             | 168,0          | 0,92           | 11,0           | 157   | 6,6              | 11,5                |
| 10-8-58       | 28,5  | 6,5            | 5'             | 78,0           | 0,40           | 4,8            | 73,2  | 6,15             | 13,5                |
| 4-9-58        | 18,9  | 5,7            | 3'             | 114,0          | 0,22           | 4,4            | 109,6 | 3,9              | 6,3                 |
| 8-9-58        | 42,5  | 2,8            | 2'             | 84,0           | 0,08           | 2,4            | 81,6  |                  | 6,3                 |
|               |       | 7,0            | 5'             | 84,0           | 0,18           | 2,2            | 81,8  |                  | 15,3                |
|               |       | 6,3            | 3'             | 126,0          | 0,74           | 14,8           | 111,2 | 11,7             | 23,3                |
| 11-9-58       | 23,1  | 11,1           | 4'             | 166,0          | 1,48           | 22,2           | 143,8 | 13,4             | 15,6                |
| 12-9-58       | 22,0  | 5,0            | 3'             | 100,0          | 0,09           | 1,8            | 98,2  |                  | 6,7                 |
| 14-9-58       | 27,3  | 6,1            | 2'             | 183,0          | 0,06           | 1,9            | 181,0 |                  |                     |
| 19-9-58       | 95,6  | 34,1           | 13'            | 157,3          | 4,13           | 19,2           | 138,1 | 12,1             | 24,2                |
|               |       | 5,1            | 3'             | 102,0          | 0,27           | 5,4            | 96,6  | 5,3              | 42,7                |
|               |       | 8,9            | 6'             | 89,0           | 1,62           | 16,2           | 72,8  | 18,2             | 75,5                |
|               |       | 4,0            | 5'             | 48,0           | 0,38           | 4,6            | 43,4  | 9,7              | 81,0                |
| 24-9-58       | 20,0  | 5,9            | 4'             | 88,5           | 0,26           | 3,9            | 84,6  | 4,4              | 5,2                 |
| 10-10-58      | 26,5  | 6,7            | 4'             | 100,5          | 0,22           | 3,4            | 97,1  | 13,3             | 21,6                |
| 29-10-58      | 13,6  | 5,4            | 2'             | 162,0          | 0,086          | 2,6            | 159,4 |                  |                     |

TABLEAU III - ÉROSION - PARCELLE NUE -

| Date            | hauteur<br>24 h | précipitation<br>observée | volume réel<br>ruisselle litres | R    | R <sub>E</sub> | R <sub>E</sub> max | terre érodée<br>kg/ha | concentration<br>g/litres | I <sub>R</sub> |
|-----------------|-----------------|---------------------------|---------------------------------|------|----------------|--------------------|-----------------------|---------------------------|----------------|
| 2-8             | 2,5             |                           | 0                               |      |                |                    |                       |                           |                |
| 3-8             | 1,0             |                           |                                 |      |                |                    |                       |                           |                |
| 4-8             | 43,5            | 43,5                      | 60,0                            | 2,8  | 8,6            |                    | 5 42                  | 45,2                      |                |
| 5-8             | 3,5             |                           | 0                               |      |                |                    |                       |                           |                |
| 6-8             | 11,5            | 21,0                      | 20,0                            | 1,9  |                |                    | 113                   | 28,3                      |                |
| 7-8             | 9,5             |                           |                                 |      |                |                    |                       |                           |                |
| 8-8             | 14,5            |                           |                                 |      |                |                    |                       |                           |                |
| 9-8             | 17,5            | 13,0                      | 3,0                             | 0,45 |                |                    | 5                     | 8,7                       |                |
| 10-8            | 28,5            | 16,5                      | 4,0                             | 0,5  |                |                    |                       |                           |                |
| 10-8            | 28,5            | 28,5                      | 49,0                            | 3,5  | 15,4           |                    | 2166                  | 221,0                     |                |
| 11 au 15-8      | 16,0            |                           | 0                               |      |                |                    |                       |                           |                |
| 16-8            | 14,0            | 19,8                      | 8,0                             | 0,8  |                |                    | 66                    | 41,2                      |                |
| 17-8            | 5,8             |                           |                                 |      |                |                    |                       |                           |                |
| 18-8            | 14,9            |                           |                                 |      |                |                    |                       |                           |                |
| 21-8            | 9,8             | 14,9                      | 25,2                            | 3,4  | 6,4            |                    | 451                   | 89,4                      |                |
| 23-8            | 16,3            | 9,8                       | 3,8                             | 0,8  |                |                    | 1                     | 1,6                       |                |
| 25-8            | 6,3             | 16,3                      | 14,2                            | 1,7  |                |                    | 25                    | 8,9                       |                |
| 26-8            | 11,4            |                           |                                 |      |                |                    |                       |                           |                |
| 26-8            | 11,4            | 11,4                      | 9,0                             | 1,6  |                |                    | 31                    | 17,3                      |                |
| 28-8            | 7,2             |                           | 0                               |      |                |                    |                       |                           |                |
| 29-8            | 14,1            | 9,7                       | 2,8                             | 0,6  |                |                    | 1                     | 1,8                       |                |
| 30-8            | 2,1             |                           | 0                               |      |                |                    |                       |                           |                |
| 31-8            | 2,7             |                           | 0                               |      |                |                    |                       |                           |                |
| Total pour Août | 252,6           |                           | 199,0                           |      |                |                    | 3 401,0               |                           |                |
| 1-9             | 4,4             |                           | 0                               |      |                |                    |                       |                           |                |
| 2-9             | 13,9            | 9,7                       | 8,9                             | 1,8  |                |                    | 15                    | 8,7                       |                |
| 4-9             | 30,2            | 18,9                      | 84,8                            | 9,0  |                |                    | 3 105                 | 183,0                     |                |
| 5-9             | 10,4            | 9,9                       | 4,8                             | 1,0  |                |                    | 18                    | 18,7                      |                |
| 7-9             | 13,9            | 12,7                      | 9,7                             | 1,5  |                |                    | 48                    | 24,8                      |                |
| 8-9             | 42,5            | 42,5                      | 239,0                           | 11,2 |                |                    | 12 543                | 262,5                     |                |
| 11-9            | 26,3            | 23,1                      | 228,0                           | 20,2 |                |                    | 17 984                | 395                       |                |
| 12-9            | 26,4            | 22,0                      | 90,0                            | 8,2  | 14,0           | 15,3               | 2040                  | 113,3                     | 9,5            |
| 14-9            | 29,4            | 27,3                      | 102,0                           | 7,5  | 8,6            | 11,9               | 1171                  | 57,3                      | 6,0            |
| 17-9            | 16,3            | 15,4                      | 7,8                             | 1,0  |                |                    | 4                     | 2,4                       |                |
| 18-9            | 5,0             |                           | 0                               |      |                |                    |                       |                           |                |
| 19-9            | 95,6            | 95,6                      | 1129,0                          | 23,6 | 28,7           | 33,9               | 49 464                | 219,0                     | 23,0           |
| 20 au 23-9      | 21,1            |                           | 0                               |      |                |                    |                       |                           |                |
| 24-9            | 25,5            | 20,0                      | 223                             | 22,3 | 30,7           | 40,4               | 4 724                 | 105,8                     | 17,3           |
| 26 au 28-9      | 5,6             |                           |                                 |      |                |                    |                       |                           |                |
| Total Septem.   | 366,5           |                           | 2127,0                          |      |                |                    | 91 116                |                           |                |
| 1-10            | 2,6             |                           | 0                               |      |                |                    |                       |                           |                |
| 2-10            | 51,4            | 51,4                      | 226,7                           | 8,8  | 17,7           | 26,3               | 1 135                 | 25,0                      | 8,0            |
| 4-10            | 14,8            | 14,8                      | 52,0                            | 7,0  | 11,8           | 15,6               | 267                   | 25,6                      | 4,0            |
| 5-10            | 15,8            | 15,8                      | 85,6                            | 10,8 | 37,2           | 37,2               | 44 32                 | 259,0                     | 32,0           |
| 7-10            | 17,2            | 13,3                      | 5,3                             | 0,8  |                |                    |                       |                           |                |
| 9-10            | 8,1             | 8,1                       | 23,2                            | 5,7  |                |                    | 178                   | 38,4                      |                |
| 10-10           | 26,5            | 26,5                      | 345,8                           | 26,1 | 34,8           | 42,2               | 7 091                 | 102,5                     | 21,4           |
| 11 au 14-10     | 6,3             |                           | 0                               |      |                |                    |                       |                           |                |
| 15-10           | 9,2             | 9,2                       | 73,4                            | 16,0 |                |                    | 726                   | 49,4                      |                |
| 16 au 22-10     | 25,8            |                           | 0                               |      |                |                    |                       |                           |                |
| 24-10           | 18,3            | 12,4                      | 142,3                           | 23,0 | 34,4           | 34,4               | 24 57                 | 86,3                      | 20,0           |
| 26-10           | 22,5            | 15,7                      | 43,7                            | 5,6  | 18,1           | 19,5               | 56                    | 6,5                       | 3,9            |
|                 |                 | 6,8                       | 13,0                            | 3,8  |                |                    | 16                    | 6,1                       |                |
|                 |                 | 14,5                      | 132,8                           | 18,3 | 40,0           | 40,0               | 17 97                 |                           |                |
| 29-10           | 45,7            | 13,6                      | 221,4                           | 32,5 | 39,0           | 46,0               | 94 14                 | 105,2                     | 50,0           |
|                 |                 | 13,9                      | 226,0                           | 32,5 | 41,0           | 43,6               |                       |                           |                |
| Total Octobre   | 264,2           |                           | 1 591,2                         |      |                |                    | 27 569                |                           |                |

# CAM-8644 ED: ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER LE: juillet 57 DES: METAYER VISA: TUBE N°: AO TABLEAU IV - ÉROSION - PARCELLE EN FRICHE

| Date               | hauteur<br>24 h. | Précipitation<br>observée | Volume<br>ruisselé<br>litres | R % | R <sub>E</sub> % | R <sub>E</sub> max. | terre érodée<br>kg / ha | concentration<br>g / litres |
|--------------------|------------------|---------------------------|------------------------------|-----|------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------------|
| 4 - 8              | 43,5             | 43,5                      | 46,0                         | 2,1 | 6,6              | 6,6                 | 11,4                    | 1,24                        |
| 10 - 8             | 28,5             | 28,0                      | 24,0                         | 1,7 | 6,15             | 6,15                | 11,9                    | 2,4 8                       |
| 4 - 9              | 30,2             | 18,9                      | 11,0                         | 1,2 | 3,9              | 3,9                 | 2,2                     | 1,02                        |
| 8 - 9              | 42,5             | 42,5                      | 50,0                         | 2,4 | 6,2              | 11,7                | 26,8                    | 2,68                        |
| 11 - 9             | 26,3             | 23,1                      | 74,5                         | 6,5 | 13,4             | 13,4                | 43,6                    | 2,93                        |
| 12 - 9             | 26,4             | 22,0                      | 5,3                          | 0,5 |                  |                     | 0,3                     | 0,3                         |
| 14 - 9             | 29,4             | 27,3                      | 7,0                          | 0,5 |                  |                     | 0                       | 0                           |
| 19 - 9             | 95,6             | 95,6                      | 336,0                        | 7,0 | 12,9             | 18,2                | 68,8                    | 1,02                        |
| 24 - 9             | 25,5             | 20,0                      | 14,5                         | 1,5 | 4,4              | 4,4                 | 24,8                    | 8,5                         |
| 2-10               | 51,4             | 51,4                      | ~ 0                          | 0   |                  |                     |                         |                             |
| 5-10               | 15,8             | 15,8                      | 3,4                          | 0,4 |                  |                     |                         |                             |
| 10-10              | 26,5             | 26,5                      | 11,2                         | 0,9 | 3,3              | 13,3                | 2,0                     | 0,9                         |
| 29-10              | 45,7             | 13,6                      | 4,3                          | 0,6 |                  |                     |                         |                             |
| TOTAL<br>A - S - O |                  |                           | 587,2                        |     |                  |                     | 195,4                   |                             |

# PARCELLE NUE

## ÉTUDE DE LA CAPACITÉ D'ABSORPTION

