

ETUDES et RECHERCHES HYDROLOGIQUES en AFRIQUE NOIRE
à l'OUEST du CONGO

par M. J. R o d i e r , Paris

L'effort considérable d'équipement accompli en Afrique par la France entre 1947 et 1959 a nécessité, on le conçoit, des études hydrologiques importantes et nombreuses.

Ces études ont présenté non seulement un caractère pratique puisque leurs résultats devaient être immédiatement utilisés pour la réalisation de ponts, de barrages ou de centrales hydroélectriques, mais encore un caractère de recherche fondamentale puisque les données de base manquaient presque totalement.

Il pouvait être intéressant, pour les spécialistes qui se préoccupent de l'équipement des pays en voie de développement, de connaître les méthodes et les moyens que nous avons employés. C'est la raison pour laquelle la Deutsche Afrika Gesellschaft m'a très aimablement demandé de vous présenter un exposé à ce sujet, ce que je vais essayer de faire le plus brièvement possible.

Nous examinerons tout d'abord les principes généraux qui ont guidé nos études, puis nous présenterons un aperçu sommaire des techniques opératoires qui ont été utilisées; enfin, nous terminerons par une vue d'ensemble sur les perspectives d'avenir.

La situation en 1948 était la suivante : sur une superficie de 6 000 000 de km², les hauteurs d'eau étaient ou avaient été relevées à 40 stations. La courbe de transformation des hauteurs en débits avait été établie pour 3 ou 4. Après une ou deux campagnes de mesures, on pouvait revaloriser les données d'une vingtaine des 40 stations. En fait, il n'y avait pas de réseau hydrométrique. Par contre, il existait un réseau pluviométrique depuis 1922 en Afrique Occidentale ; celui d'Afrique Equatoriale était beaucoup plus récent.

Une erreur était à éviter. Il ne fallait pas effectuer les études hydrologiques dans le but limité de fournir les renseignements indispensables à la réalisation des projets les plus urgents. Opérer ainsi c'était s'exposer, pour chaque nouveau problème qui se poserait 4 ou 5 ans après, à se retrouver, au début des études, devant des rivières sans aucune station de mesures, donc devant des périodes d'observations ridiculement insuffisantes au moment de la mise au point des projets. Il s'agissait donc de créer le réseau de stations de jaugeages en conservant précieusement les rares stations existantes et en englobant dans ce réseau les stations nécessitées par les aménagements à l'étude. Après quelques hésitations dues surtout au fait qu'hydrologues et hydrauliciens étaient débordés par la diversité des tâches, c'est la politique qui a été suivie. L'Electricité de France et l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer ont mis en com-

29 NOV. 1958

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

n°/2589

mun leurs moyens : soit 4 Ingénieurs et 3 agents techniques au début de 1950. A l'origine, les moyens financiers mis à notre disposition pour la création du réseau étaient aussi faibles que l'étaient nos effectifs, mais, peu à peu, notre Service s'est développé et, dès 1951, nous étions en mesure de terminer l'aménagement du réseau général entrepris dès 1948.

Un exemple : celui du réseau du TCHAD illustrera ce qui précède. En 1947, il s'agissait d'une étude particulière, celle de la capture du LOGONE par la BENOUE. L'intérêt pratique de ces recherches était indéniable. Si ce phénomène de capture s'aggravait, les premiers travaux à effectuer, avant tout aménagement d'hydraulique agricole sur le LOGONE, devaient avoir pour but de limiter ou d'arrêter ce phénomène de capture. A cette époque, quatre échelles limimétriques avaient été jusqu'ici suivies de façon plus ou moins intermittentes : celles de MOUNDOU, de FORT-ARCHAMBAULT, de FORT-LAMY et du Lac TCHAD à BOL. Aucune mesure de débit n'avait été effectuée. Au début de nos études, aucun effort particulier n'a été fait pour créer le réseau, cependant, autour de la zone de capture, on avait aménagé des stations permanentes sur le Moyen-LOGONE et on en avait entrepris l'étalonnage.

Les études de 1948, 1949, 1950 ayant montré que le phénomène de capture ne risquait pas de s'aggraver, on a entrepris l'étude d'aménagements d'hydraulique agricole et, à cette occasion, le réseau du LOGONE a été aménagé en 1951. Peu de temps après, les hydrologues pourvus de moyens suffisants équipaient, à leurs moments perdus, le CHARI Supérieur et le Moyen-CHARI. Il en résulta que, en 1958, lorsque fut posé le problème de l'amélioration de la navigabilité du CHARI, les hydrologues disposaient déjà de quelques années d'observations. Par la suite, on a créé le réseau des cours d'eau sahéliens plus au Nord, et on a entrepris l'étude des zones subdésertiques et désertiques du TCHAD, mais ceci est une autre histoire.

Actuellement, au TCHAD, la situation est la suivante : le réseau comporte 60 stations dont 35 sont étalonnées, en particulier les stations principales. Des études statistiques ont permis, pour les stations de FORT-LAMY, FORT-ARCHAMBAULT et MOUNDOU, de rattacher les zéros et de revaloriser les relevés anciens en les transformant en relevés de débits. On dispose de 28 années d'observations à la plus ancienne de ces stations. De laborieuses études ont permis de connaître tant bien que mal les variations du niveau du Lac TCHAD, de 1870 à nos jours. Enfin, une étude comparative a donné un coefficient de corrélation égal à 0,72 entre les relevés du NIL à ASSOUAN et ceux de FORT-LAMY, ce qui permet de reconstituer l'hydraulicité du TCHAD sur une assez longue période.

Grâce à ces points de repère, on connaît donc maintenant assez bien les régimes hydrologiques des stations contrôlant plus de 500 000 km² dans les bassins du CHARI et du LOGONE.

Mais ceci n'a été possible que :

- 1°) parce que l'impossible a été fait pour conserver les stations anciennes et revaloriser leurs relevés ;
- 2°) parce que le réseau général a été mis en place rapidement, compte tenu des moyens mis à notre disposition.

C'est à peu près de cette façon qu'a été mis en place le réseau général dans les autres territoires. On compte au total, en 1961, un peu plus de 500 stations dont 250 environ sont étalonnées, ce qui a nécessité 5000 mesures de débits de 0,2 litre par seconde à 15 000 m³/s. Ce réseau comporte des stations principales, des stations secondaires et des stations de troisième ordre, conformément aux tendances actuelles de l'exploitation des réseaux.

Tout ceci concerne l'aménagement des réseaux de stations de jaugeage. La bonne exploitation de ces réseaux est essentielle pour les études des divers projets, mais, en général, ce qui est demandé à un expert hydrologue arrivant dans un Etat en voie de développement, c'est une étude hydrologique particulière en vue de la réalisation d'un projet bien déterminé ; par exemple, un barrage qui serait construit à l'aval d'un grand bassin versant de 60 000 km². A la lumière de l'expérience acquise, nous concevons ainsi l'étude hydrologique d'un tel bassin.

Avant qu'il ne soit question de construire cet ouvrage, nous supposons que le bassin comporte une station principale, suivie depuis 8 ou 10 ans, une ou deux stations secondaires, deux ou trois stations de troisième ordre. Il existe une station principale, dite de référence, suivie depuis 25 ou 30 ans, correspondant au même régime que celui du fleuve étudié. Il vaut mieux la supposer en dehors du bassin, ce serait une chance exceptionnelle qu'elle s'y trouve.

On serait tenté de n'installer qu'une station à l'emplacement du barrage. Cela nous semble tout à fait insuffisant avec des réseaux généraux aussi récents. Le schéma d'installation que nous préconisons est le suivant :

Une station bien équipée est aménagée à proximité du site de barrage. Le nombre de stations secondaires est complété de telle façon que chaque région naturelle soit pourvue d'une station secondaire. Il est très recommandé d'aménager, dans chaque région naturelle, un bassin expérimental où seront effectuées des études fines des précipitations et de l'évaporation. La station de référence est surveillée de très près de façon à pouvoir garantir la continuité et la qualité des observations depuis l'origine de l'étude. Enfin, un certain nombre de stations de troisième ordre sont aménagées en fonction des bassins.

L'étalonnage des stations secondaires, de la station de référence et de la station du barrage est activement poussé en cherchant à obtenir des points de mesure le plus haut possible et le plus bas possible.

Des enquêtes sont effectuées à la station du barrage et aux diverses stations pour retrouver les cotes des plus fortes crues connues.

Tout ceci peut sembler fort coûteux, mais n'oublions pas qu'on nous demandera de fournir entre autres:

- le débit moyen annuel avec une précision assez grande,
- la valeur la plus faible à laquelle puisse descendre la moyenne annuelle,
- le débit maximum de crue à envisager ou crue improbable.

En Europe, on disposerait d'une station suivie depuis 10 ans, à proximité immédiate du site, un peu plus loin d'une station de référence dont les cotes maximales sont connues sur 2 ou 3 siècles et de relevés pluviométriques sur au moins 50 ans. Ici, la station de référence, souvent située à 500 km ou plus, n'est suivie que depuis 20 ou 30 ans en général. Il importe donc de connaître à fond le bassin.

Au bout de 3 ou 4 ans d'observations, des corrélations entre les données des stations du réseau général situées dans le bassin et la station du barrage, fourniront des données presque directes sur une période d'une dizaine d'années. La station de référence, par corrélation, fournira des indications précieuses sur l'hydraulicité de la période étudiée et sur la crue exceptionnelle. Enfin, stations secondaires et bassins expérimentaux procureront des données à caractère un peu qualitatif peut-être, mais irremplaçables sur ce qu'on peut appeler le potentiel de crues des diverses parties du bassin, d'où l'on pourra déduire une valeur de la crue improbable.

Pour les petits cours d'eau, le réseau de stations de jaugeages n'apporte que très peu de données, seulement le débit moyen annuel spécifique en $l/s.km^2$, et encore. En outre, les aménagements sur ces ruisseaux sont peu importants et une étude hydrologique sérieuse pour un aménagement donné coûterait plus cher que la construction de l'ouvrage lui-même. Nous avons donc été conduits à des études générales permettant de définir les conditions d'écoulement pour les divers types de sol, de couverture végétale et de climat. Après exécution de ces études générales, il suffit pour construire un barrage sur un petit bassin donné, d'une étude sur carte, d'une reconnaissance sur le terrain et de l'examen des données des pluviomètres les plus proches ou de classer le bassin parmi les bassins types qui ont été étudiés, pour en déduire les caractéristiques hydrologiques et, en particulier, la plus difficile à atteindre : la valeur de la crue exceptionnelle. Si cela est possible, on améliorera beaucoup la précision des données par une courte étude hydrologique sur le terrain, mais cette étude est beaucoup plus courte et moins coûteuse que celle qui serait nécessaire en l'absence de l'étude générale de l'écoulement sur les petits bassins. Cette étude générale utilise ce que nous appelons des bassins expérimentaux, bassins dans lesquels, sauf exception, on ne modifie pas la couverture végétale, mais où précipitations, évaporation et écoulement font l'objet d'observations très soignées, de façon à suivre sur l'ensemble de la surface tous les détails du processus de l'écoulement. On arrive ainsi, pour un petit bassin, à pouvoir déterminer les caractéristiques d'une crue pour une averse donnée, d'où l'on déduit les caractéristiques hydrologiques. On utilise pour le dépouillement la méthode des hydrogrammes uni-

taires, s'il y a ruissellement de surface, et des procédés beaucoup plus sommaires s'il n'y a pas ruissellement de surface.

On nous objectera qu'un grand nombre de bassins expérimentaux a dû être nécessaire. Pour la zone d'Afrique qui nous intéresse, on en compte actuellement près de 60. Sur ce total, près de 20 ont été réalisés dans le but de cette étude générale, soit à la demande des Services officiels, soit par l'Office de la Recherche Scientifique dans le cadre de son programme de recherches. Les autres ont été installées dans le cadre de recherches appliquées, faites pour un aménagement d'hydraulique agricole d'une vallée par exemple. On peut d'ailleurs classer les bassins expérimentaux en deux catégories :

- les bassins échantillons, dont la superficie varie entre 10 et 50 km², sur lesquels on étudie les détails du processus de l'écoulement sans aucune modification de la couverture végétale,
- et les bassins expérimentaux proprement dits, beaucoup plus petits, sur lesquels on étudie l'influence de la modification de la couverture végétale sur les différentes caractéristiques de l'écoulement.

Nous avons constaté que le bassin expérimental tel que nous le concevons, est un excellent outil d'études pour l'ingénieur. Mais il ne faut pas que son prix soit prohibitif, ce qui entraîne des installations de stations de jaugeages très sommaires. Bien entendu, tous ces bassins ont été équipés en vue des mêmes résultats et l'interprétation a été centralisée de façon à ce que les données de la totalité des bassins puissent être utilisées pour l'étude systématique des crues exceptionnelles.

Un exemple des résultats auxquels nous sommes parvenus est présenté ci-après. Pour les zones arides : nous avons mis au point la méthode qui consiste à installer deux spécialistes pendant la saison où peuvent se produire les pluies,

- un hydrologue chevronné (correspondant, par exemple, à un senior hydrologist aux U.S.A), parcourt le massif montagneux à étudier, qu'il a pourvu de pluviomètres totalisateurs. Il détermine la carte sommaire des précipitations pour la période d'étude, observe ou reconstitue tant bien que mal les crues dans une étude extensive ;
- un simple agent technique effectue une étude intensive sur un bassin versant expérimental bien représentatif de la région. Il surveille en même temps une station climatologique. Après deux campagnes, et compte tenu des données d'une seule station pluviométrique sur une assez longue période, on peut obtenir une vue d'ensemble acceptable du régime hydrologique du massif désertique étudié.

C'est à dessein que nous donnons une plus grande importance aux questions de mesures qu'aux problèmes d'interprétation. Dans les régions tropicales où les données d'observations sont rarement satisfaisantes, il faut s'efforcer d'améliorer dans le plus bref délai la matière première qui servira à nos études plutôt que de faire tourner à vide un mécanisme déductif, si savant soit-il.

Bien entendu, nous utilisons à fond les données pluviométriques dont les périodes d'observations de 30 à 40 ans permettent des études statistiques : étude de la distribution des hauteurs annuelles de précipitations, laquelle est généralement gaussienne, étude de la distribution des averses individuelles et des intensités. Les averses tropicales types ou tornades présentent des caractères de régularité qui permettent de pousser très loin l'analyse.

Pour les débits, lorsque nous avons la grande chance de disposer d'observations sur 30 à 40 ans, nous pouvons faire un peu de statistique classique. Signalons, en particulier, que pour les crues de fréquence rare, les formules de *Goodrich*, la loi de *Pearson III* donnent de très bons résultats sur les grands fleuves tropicaux. Mais, de façon générale, nous nous méfions des formules que nous n'appliquons que dans des régions bien déterminées. Ayant eu à étudier des régimes très variés, nous avons vu que bien des formules réputées d'application générale étaient inutilisables en certains points. Pour des périodes plus courtes, nous employons des corrélations, mais, de façon générale, nous évitons les régressions multiples car nous estimons n'avoir jamais d'échantillons suffisants pour aboutir à une estimation correcte et sûre des coefficients de régression.

Pour les crues exceptionnelles, dans les cas les plus désespérés, nous employons les courbes enveloppes. Enfin, les données des bassins expérimentaux sont pour nous d'un puissant secours, même pour les grands bassins. Nous rappelons que sur les petits bassins, on détermine l'averse de fréquence rare avec toutes ses caractéristiques y compris l'état de saturation du sol et on en déduit la crue correspondante.

Nous n'utilisons pas la méthode des hydrogrammes unitaires dès que la superficie du bassin dépasse 100 ou 200 km². Ceci est en liaison avec la faible extension des orages africains.

Enfin, l'étude de l'extension des sécheresses ou des périodes de grande crue en région tropicale nous est très utile pour classer la moyenne d'une période d'observations d'une station donnée par rapport à ce que serait la moyenne pendant la dernière période de 50 et 100 ans.

Le personnel que nous utilisons paraîtra peut-être d'une qualification trop élevée. On a longtemps compté un ingénieur au sens français du mot (*senior hydrologist*) pour deux agents techniques. Il semblera peut-être à certains qu'il y a là un véritable gaspillage d'experts, mais, dans des pays mal connus, où il a fallu mettre au point, même les méthodes de travail, une telle qualification était nécessaire. Aux stations difficiles, les premières mesures de débit et celles correspondant aux plus forts débits sont faites par des ingénieurs. Sur les bassins expérimentaux, les ingénieurs passent toujours une certaine partie de la saison des pluies.

En opérant ainsi, ils connaissent parfaitement le terrain et les phénomènes d'écoulement, ce qui est essentiel pour l'interprétation. En plus, on est sûr que les mesures sur le terrain sont bonnes et exactement adaptées à la situation.

Actuellement, il est possible de réduire la proportion d'ingénieurs, ce qui a été fait depuis deux ans.

L'exploitation du réseau présente des sujétions particulières. L'hydrologue est souvent responsable d'un territoire de plus de 500 000 km², dans lequel les routes goudronnées constituent l'exception. Il n'est pas rare que sur une bonne partie des pistes la circulation soit presque impossible en saison des pluies. On conçoit que le déplacement de l'hydrologue d'une station de mesure à une autre représente une partie très importante de son travail. Il y a intérêt à exécuter, avec le plus grand soin, un jaugeage ou une série de jaugeages à une station qu'on aura atteint si péniblement. C'est pourquoi nous n'employons pas les méthodes de mesures simplifiées, telles que les jaugeages à trois points de mesure par exemple, sauf lorsque l'opération est dangereuse.

Le matériel de déplacement : véhicule ou bateau, et les moyens de l'entretenir et de le réparer, viennent en tout premier lieu. Nous utilisons beaucoup les canots pneumatiques. Ils s'usent assez rapidement, mais après démontage, ils sont très faciles à transporter d'un point à un autre, contrairement aux canots métalliques encombrants, gênants sur les mauvaises pistes. Ils sont équipés avec des moteurs hors-bord et peuvent être utilisés dans des déplacements allant jusqu'à 200 ou 300 km, sur les grands cours d'eau, à condition de réduire au strict minimum le personnel et le matériel de campement.

Les mesures de débits sont assez variées, en fonction des problèmes particuliers à résoudre. Les jaugeages chimiques ne sont pas utilisés, nous avons très peu de torrents de montagne. Les grandes stations téléphériques ne sont pas utiles non plus, il est rare que même en période de grande crue, on ne puisse pas se tenir en bateau sur les fleuves ; les vitesses atteignent rarement 4 m/s.

Les jaugeages sont effectués généralement au moulinet hydrométrique avec saumon et treuil, à partir d'un bateau, celui-ci est maintenu en position grâce à un câble en travers de la rivière, câble mis en place généralement à chaque mesure. Quand la profondeur le permet, on opère au wading. Si la largeur du cours d'eau à mesurer dépasse 300 ou 400 m, on n'utilise plus de câble, le bateau est ancré pour chaque verticale, sur une ligne de balises et sa position est repérée au moyen du cercle hydrographique. On a utilisé les flotteurs de façon systématique au début de l'aménagement du réseau. Ils ne sont plus guère utilisés en Afrique que pour les jaugeages de très basses eaux, lorsque le moulinet s'avère inutilisable. Pour les débits plus faibles encore, on utilise la capacité graduée.

Pour les échelles limnimétriques, il importe d'aller très vite au début de l'installation d'un réseau, c'est pourquoi on installe d'abord des échelles provisoires sur supports bois et on les remplace peu à peu par des échelles définitives sur profilés acier scellés dans le béton.

Les bassins expérimentaux sont équipés d'installations légères sinon leur prix devient vite prohibitif. Le lit est stabilisé si cela est nécessaire par des procédés

peu coûteux tels que l'emploi de gabions, les passerelles de jaugeages sont faites en tubes métalliques démontables ; on ne construit, en principe, des déversoirs de mesures ou des venturis que pour de très faibles débits : quelques m³/s au maximum. Ils sont souvent réalisés en bois. Très peu de béton ou de maçonnerie. Le temps nous manque pour parler du matériel climatologique. Mais, de façon générale, tout le matériel employé doit être robuste, bien adapté, facile à réparer. Tout appareil fragile ou d'emploi délicat est à proscrire. Le matériel doit résister à des conditions de transport extrêmement dures et à des mains parfois malhabiles.

On pourrait peut-être penser que le changement de structure politique des pays d'Afrique a apporté de grandes perturbations dans les études hydrologiques. En fait, sur le terrain, il n'en est guère résulté de difficultés supplémentaires. La seule sérieuse est la suivante : pour certains observateurs, la lecture d'une échelle présente un peu le caractère d'une vieille coutume colonialiste. Ce qui nous conduit à multiplier les limnigraphes ; or, les frais d'installation de ces appareils en Afrique sont élevés et il est beaucoup plus difficile de trouver un employé capable de changer correctement les feuilles de diagrammes qu'un bon lecteur d'échelle.

Par contre, les nouveaux Gouvernements ont fort bien compris la nécessité d'un réseau hydrométrique et d'études hydrologiques approfondies avant toute réalisation. Or, ces études s'appuient maintenant sur des relevés de stations voisines datant de 8 à 10 ans en général. L'ensemble de bassins expérimentaux est presque suffisant. Les études théoriques s'orientent maintenant vers l'étude systématique de bassins de 500 à 1 000 km², intermédiaires entre bassins expérimentaux et bassins des stations du réseau dont la superficie descend rarement en dessous de 3 à 4 000 km². Quant aux études d'hydrologie appliquée, elles sont très nombreuses, surtout pour l'hydraulique agricole. En outre, les études d'approvisionnement en eau et d'hydraulique urbaine exigent de plus en plus des observations hydrologiques approfondies.

Les hydrologues africains sont beaucoup mieux armés qu'autrefois, mais ils ont à faire face à des tâches de plus en plus nombreuses et de plus en plus délicates.

Hydr.

Sonderdruck aus

Wasserwirtschaft
in Afrika . 1963

ETUDES et RECHERCHES HYDROLOGIQUES en AFRIQUE NOIRE
à l'OUEST du CONGO

par M. J. Rodier, Paris

B 12 589

Verlag Deutscher Wirtschaftsdienst, G.H.B.H., Köln