

Le RESEAU d'OBSERVATIONS HYDROLOGIQUES
en AFRIQUE NOIRE FRANCAISE
en 1958

par M. J. RODIER
Ingénieur en Chef à Electricité de France

Chef du Service Hydrologique
de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer

Les études hydrologiques en AFRIQUE NOIRE FRANÇAISE ont commencé beaucoup plus tard que sur certains grands bassins africains tels que celui du NIL, par exemple. Aussi, lorsqu'il s'est agit, après la seconde guerre mondiale, de développer l'équipement de ces territoires, et en particulier de réaliser un grand nombre d'ouvrages hydro-électriques ou d'hydraulique agricole, a-t-il été nécessaire de créer un réseau d'observations hydrologiques susceptibles de fournir aux ingénieurs toutes données utiles.

Nous avons pensé qu'il serait intéressant, pour des chercheurs se trouvant devant une situation analogue, de présenter la description, le fonctionnement et les résultats obtenus grâce à l'aménagement de ce réseau.

Les observations hydrologiques sont effectuées suivant trois méthodes dont chacune est caractérisée par l'échelle suivant laquelle le cycle de l'eau est étudié.

I - Les stations de jaugeage de type classique sont utilisées pour l'étude du régime des cours d'eau dont les bassins de réception couvrent, au moins, quelques centaines de km². Le réseau du Service Météorologique fournit toutes données utiles concernant les précipitations et les divers facteurs climatologiques du bassin.

II - Les bassins expérimentaux dépassent rarement 100 km² et couvrent généralement plus de 0,5 km² ; le même organisme, et mieux, le même technicien contrôle l'ensemble des observations hydrologiques et climatologiques.

III - Les parcelles expérimentales sont de superficie généralement inférieure à 1 ha. On peut rattacher à ce dernier type d'installation les cases lysimétriques et les bacs évaporatoires avec ou sans végétation.

A - CARACTERISTIQUES du RESEAU HYDROLOGIQUE -I - STATIONS HYDROMETRIQUES

La mise en place systématique du réseau a commencé en 1950 et 1951. Avant cette époque, seules quelques échelles limnimétriques étaient observées sur les grands fleuves navigables SENEGAL, NIGER, BENOUE, CHARI, OUBANGUI, CONGO, OGOOUE. En outre, le CAMEROUN avait déjà bénéficié en 1946-1947 de l'installation d'un premier réseau de stations dont l'étalonnage était assez peu avancé mais dont les relevés ont pu assez fréquemment être revalorisés après de laborieux rattachements entre les anciennes et les nouvelles échelles.

Assez rapidement, le nombre des stations a été porté de 40 à 220 environ. Il est, actuellement, de 380, se décomposant comme suit. (Nous n'avons compris dans ce décompte que les stations de mesures de débits ayant fait l'objet au moins d'un début de tarage) :

- Bassin du SENEGAL	16 stations
- " " NIGER (1)	55 "
- Sous-bassin de la BENOUE	19 "
- Bassin de la VOLTA	15 "
- Fleuves côtiers de la GUINEE	20 "
- " " " " COTE-d'IVOIRE ...	30 "
- " " du DAHOMEY	32 "
- Bassin de la SANAGA	10 "
- Fleuves côtiers du CAMEROUN	25 "
- Bassin du CONGO	12 "
- Sous-bassin de l'OUBANGUI	25 "
- Sous-bassin de la SANGA	16 "
- Bassin du KOUILOU	23 "
- " de l'OGOUE	10 "
- Fleuves côtiers de l'A.E.F.	4 "
- Bassin du Lac TCHAD (1)	71 "

La répartition de ces points d'observations n'est pas aussi homogène que nous l'aurions souhaitée. Ce fait tient à ce que, en AFRIQUE, les deux premières conditions à remplir par une station sont :

(1) Sont comprises les stations des bassins fermés ayant fait partie, autrefois, du bassin principal.

- 1°) la possibilité d'y accéder en voiture ;
- 2°) la possibilité d'y trouver ou d'y installer un observateur (1).

Les régions les plus défavorisées sont les régions désertiques et subdésertiques (précipitations annuelles inférieures à 300 mm - 12 inches). Les hauteurs d'eau relatives à chaque crue ont été observées en quelques points de la MAURITANIE et du SAHARA Oriental depuis l'été 1957 seulement et l'étalonnage ne fait que commencer. On doit préciser que le nombre d'établissements fixes au voisinage des cours d'eau de cette zone est inférieur à 10 et que les crues, au nombre de deux ou trois par an, sont très brèves.

Un gros effort a été fait pour ce que nous appelons le régime sahélien (entre les isohyètes 750 et 300 mm). Les déplacements presque impossibles dans cette zone en saison des pluies, la densité relativement faible de la population, la rareté des grands cours d'eau étaient de nature à limiter les résultats de cet effort. La densité des stations, suffisante au TCHAD, presque satisfaisante au territoire du NIGER, l'est nettement moins en MAURITANIE et surtout au SOUDAN FRANCAIS. Le coût très élevé des études dans ces régions, assez pauvres en général, limite l'extension du réseau, indépendamment des difficultés signalées plus haut.

Plus au Sud, le régime tropical et les régimes tropicaux de transition comportent des réseaux de stations assez denses : surtout sur les bassins du NIGER, de la BENOUE, du CHARI, du LOGONE, de l'OUBANGUI, de la SANAGA, des fleuves côtiers de GUINEE, du DAHOMEY et de COTE-d'IVOIRE. Les stations installées sur les VOLTA et le HAUT-SENEGAL sont, par contre, en nombre à peine suffisant.

Les régimes équatoriaux de transition, boréal et austral, comportent des stations en assez grand nombre : la richesse économique de certaines parties de cette zone et l'assez forte densité de population dans l'hémisphère boréal, les études nécessitées par certains grands projets dans les vallées du KOUILOU et son affluent le NIARI en sont la cause.

Par contre, le régime équatorial pur est observé en un nombre de points trop faible. Le bassin de l'OGOUE, par exemple, ne comporte que 10 stations, dont une seule est, actuellement, étalonnée.

(1) L'emploi de limnigraphes enregistreurs apporte peu de facilités pour résoudre ce problème : il est plus difficile de trouver un agent susceptible de changer les diagrammes correctement qu'un lecteur d'échelles.

Les limnigraphes sont très rares. En général, les hauteurs sont relevées par lectures directes sur les échelles limnimétriques.

Afin de mettre en place le réseau le plus rapidement possible, de très nombreuses échelles avaient été installées de façon provisoire, parfois même sur des pieux enfoncés dans le sol, ou fixées contre des arbres. Elles ont été peu à peu remplacées par des installations définitives. Chaque station comporte une série d'échelles dont la longueur dépasse rarement 2 mètres (sauf celles installées sur des piles de ponts). Les graduations sont portées sur des plaques de tôle émaillée, fixées sur des profilés eux-mêmes scellés dans des massifs de béton. Les graduations, qui rappelaient celles des mires de topographes, se rapprochent petit à petit des graduations de thermomètres plus faciles à lire pour des observateurs dont l'instruction est souvent limitée.

Certaines échelles ont été graduées en caractères arabes.

Les observateurs sont soumis, deux ou trois fois par an, à des contrôles inopinés de la part de l'hydrologue. En AFRIQUE, il n'est pas possible d'obtenir des relevés complets et sincères sans une vigilance continuelle ; l'installation et l'entretien d'un réseau de stations hydrologiques posent des problèmes beaucoup moins difficiles que son exploitation correcte, c'est pourquoi le contrôle est essentiel. Ce contrôle sur place est complété par les vérifications effectuées au bureau sur les stations les plus importantes, à l'occasion de la mise au point de l'Annuaire Hydrologique ou de toute autre étude. Les deux moyens de vérification les plus efficaces sont : l'examen des courbes de tarissement et la comparaison avec les volumes de précipitations ou les résultats des stations voisines. Malheureusement, ce dernier contrôle est beaucoup trop tardif. Malgré ces précautions, on peut estimer que 10 % de nos relevés comportent de graves erreurs ou, plus fréquemment, des lacunes importantes. Les erreurs sont presque toujours grossières, donc faciles à éliminer.

En général, les conditions hydrauliques des stations de jaugeages sont bonnes. Nous connaissons moins d'une dizaine de stations pour lesquelles l'instabilité du lit interdit la mise au point d'une courbe d'étalonnage précise pour les moyennes et hautes eaux. Ceci tient au fait que les stations sont peu nombreuses dans les régions montagneuses des régimes sahéliens subdésertiques et désertiques où les lits doivent

être, en principe, très instables. Elles sont plus nombreuses, au contraire, en régions tropicales ou équatoriales où les lits sont beaucoup plus stables. Par contre, dans de nombreux cas, le chenal de basses eaux n'est pas fixe, ce qui nécessite deux jaugeages de contrôle de basses eaux pour recalculer, tous les ans, la partie basse de la courbe d'étalonnage.

Les installations utilisées directement pour les mesures de débits sont rudimentaires. Il n'existe qu'une seule station téléphérique. Quelques stations sont équipées avec un câble fixe. Mais, dans le cas le plus général, pour chaque jaugeage, les hydrologues mettent en place leur câble gradué dans la section, en utilisant soit une portière, soit un canot pneumatique avec moteur hors-bord. Sur les cours d'eau les plus importants, nous n'employons plus le câble gradué, les bateaux sont ancrés sur le fond du lit dans une section balisée et les positions sont repérées par l'emploi du cercle hydrographique. Les vitesses sont presque toujours inférieures à 3 m/sec. en hautes eaux, de sorte que l'utilisation de ces méthodes ne rencontre pas d'obstacle insurmontable, sauf dans des cas très rares (FARO au NORD-CAMEROUN). Pour les très petits cours d'eau, les sections sont souvent équipées de passerelles fixes.

L'étalonnage de ces stations, qui a comporté environ 3.000 jaugeages, peut être précisé par le tableau suivant :

- Stations étalonnées définitivement	80
- Stations étalonnées à titre provisoire	100
- Stations dont l'étalonnage est en cours	200

Les stations étalonnées complètement ont fait l'objet, dans presque tous les cas, de mesures de débits en nombre suffisant : une douzaine (1) pour les stations faciles, trente à quarante pour les stations difficiles ou très importantes, pour des débits s'échelonnant de l'étiage moyen annuel au maximum moyen annuel. En général, plusieurs expérimentateurs se sont succédés sur ces stations, avec des moulinets différents, ce qui offre une garantie supplémentaire de sécurité. A la faveur des très fortes crues de 1955, certaines stations ont même pu faire l'objet de mesures pour des débits approchant le maximum décennal.

(1) Sauf pour les stations des plateaux BATEKES où la faible amplitude des variations de débits a permis de réduire le nombre de mesures.

Les vérifications effectuées sur les bassins du NIGER, du KONKOURE, du LOGONE et du CHARI (1) ont montré que, dans le cas de bassins versants dépassant plusieurs milliers de km², les débits résultant de l'utilisation de la courbe de tarage ne devaient pas s'écarter de plus de 2 à 3 % des débits réels. Bien entendu, nos hydrologues n'arrivent pas à une telle précision pour les petits torrents de montagnes ou les cours d'eau à lit instable ou à variations très rapides des débits (cas du FARO, du MOYEN-LOGONE et du SENEGAL MOYEN). Dans ce dernier cas, la précision donnée par la courbe d'étalonnage varie entre 5 et 10 %.

Pour les stations étalonnées provisoirement, il est possible de tracer la courbe d'étalonnage avec un risque d'erreur tolérable : 5 à 10 % pour les hautes eaux, par exemple ; cette imprécision résulte du manque de points de mesure aux extrémités de la courbe de tarage.

Enfin, pour les stations de la troisième catégorie, le nombre de jaugeages est suffisant, dans certains cas, pour permettre de dégager l'ordre de grandeur des débits, mais, pour d'autres stations, l'étalonnage est à peine commencé et aucun essai de traduction des hauteurs en débits n'est possible.

Le point faible de ce réseau serait la brièveté des périodes d'observations, si les régimes tropicaux ou équatoriaux étaient plus irréguliers ; cent soixante stations seulement sont observées depuis plus de 6 ans. Cet inconvénient est compensé par la faible valeur de l'irrégularité interannuelle et la concordance des variations de l'hydraulicité sur de très vastes étendues, ce qui permet de reconstituer les moyennes interannuelles de longues périodes avec un faible nombre de stations observées depuis longtemps, que nous appellerons stations-repères.

(1) Les vérifications les plus sûres consistent dans la comparaison entre les débits des stations amont et des stations aval. Le type de ces études est le bilan des pertes du LOGONE : dans ce dernier cas, une erreur de 5 % sur le débit des stations principales serait immédiatement décelée dans le bilan des apports et des pertes.

Pour les régimes tropicaux et tropicaux de transition, il existe un certain nombre de ces stations : les stations du SENEGAL observées depuis 1906, la station principale de KOULIKORO sur le NIGER observée depuis 1908, la station de FORT-LAMY sur le CHARI observée depuis 1933, la station de GAROUA sur la BENOUE observée depuis 1930, la station de BANGUI sur l'OUBANGUI observée depuis 1910. En outre, les limites d'extension des grandes nappes d'eau des régions sahéliennes : delta central nigérien ou Lac TCHAD, fournissent des renseignements précieux et sûrs concernant l'hydraulicité d'époques plus anciennes. Ce dernier genre de données est complété, de façon intéressante, par les résultats de la station d'ASSOUAN sur le NIL. En effet, les variations du SENEGAL, du NIGER, du CHARI et du NIL présentent de grandes analogies : les grandes séries d'années humides et d'années sèches sont les mêmes. Cet ensemble de données permet de déterminer les variations d'hydraulicité sur tout l'ensemble des régimes tropicaux et une partie des régimes tropicaux de transition, de 1890 à nos jours.

Par contre, ces variations ne sont valables ni pour le DAHOMEY, ni pour le CAMEROUN, ni pour l'OUBANGUI. Dans ce cas, il n'est pas possible de remonter, en général, au-delà de 30 ans.

Le problème est plus délicat pour les régions équatoriales, très dispersées en territoires français. Les régions les plus favorisées sont encore celles voisines du GABON pour lesquelles la station de LAMBARENE sur l'OGOUE sert de repère depuis 1930. Les stations principales du CONGO sont d'un faible secours, ce fleuve est alimenté par des apports d'au moins quatre régimes différents. L'importance de son abondance annuelle ne peut avoir qu'une corrélation très lâche avec le régime des cours d'eau du MOYEN-CONGO.

Il est heureux que la régularisation apportée par la forêt équatoriale entre le 5ème parallèle Nord et le 4ème parallèle Sud ne permette pas des fluctuations de débit de grande amplitude, d'une décade à une autre, ce qui limite l'erreur sur les véritables valeurs du débit moyen annuel.

L'ensemble des données fournies par ce réseau est rassemblé et classé, d'une part, dans les grands centres locaux et, d'autre part, à PARIS, à l'Office de la Recherche Scientifique et Technique.

Leur interprétation aboutit à 3 types de documents :

- a) L'Annuaire Hydrologique de la France d'Outre-Mer : publication annuelle qui, actuellement, fournit les données de l'année en référence et quelques caractéristiques inter-annuelles pour 70 stations typiques de l'AFRIQUE NOIRE.
- b) Le fichier de données de base qui, pour la plupart des stations étalonnées à titre définitif et une partie des stations étalonnées à titre provisoire (110 fiches en tout pour l'AFRIQUE NOIRE) fournit les moyennes mensuelles depuis le début des observations et la plupart des valeurs extrêmes.
- c) Des études particulières, telles que monographies, notes et articles.

Le bilan de ces études sera fait à la fin de la présente communication.

II - BASSINS EXPERIMENTAUX

Les recherches sur bassins expérimentaux apportent des compléments très utiles aux données fournies par le réseau de stations de jaugeage.

L'observation des bassins de superficie inférieure à quelques centaines de km² est malaisée avec les stations hydro-métriques du type classique. Les phénomènes à observer sont fugitifs et, très souvent, le bassin s'écarte plus ou moins, pour une raison quelconque, des conditions générales de la région. On ne peut guère étudier avec fruit ces petits bassins qu'en suivant l'ensemble des phénomènes hydrométéorologiques dont ils sont le siège, c'est-à-dire en les aménageant en bassins expérimentaux.

D'autre part, ce genre d'études conduit à remplacer les hypothèses plus ou moins bien étayées que l'on avance sur l'influence de tel ou tel facteur géographique sur les variations de débit, par la certitude que donne l'expérimentation. Il est beaucoup plus facile de prévoir les réactions d'un bassin à une averse exceptionnelle si on connaît exactement le processus du ruissellement sur plusieurs bassins expérimentaux le constituant.

Le principe de ces études est le suivant : les précipitations et l'écoulement sont observés simultanément sur un bassin de dimensions suffisamment petites pour que l'on puisse le considérer comme homogène. En pratique, chaque fois que c'est possible, il est préférable de suivre non pas un bassin

unique, mais un ensemble de trois bassins de dimensions échelonnées, par exemple : 1 km², 10 km², 100 km². Le bassin de 100 km² comprend les deux autres et les trois stations de mesures doivent être assez rapprochées. Il est ainsi facile de suivre la décroissance des débits spécifiques de crues avec l'augmentation de la superficie du bassin. Un cas particulièrement intéressant est celui de deux petits bassins voisins présentant des caractéristiques de sols différents : il est très facile de comparer leur comportement vis-à-vis d'averses qui sont presque les mêmes avec les mêmes conditions de saturation préalable.

Comme il s'agit d'étudier des débits ne dépassant pas, dans les cas les plus courants, 200 m³/sec. pour le plus grand bassin, l'équipement des stations de jaugeage est assez peu coûteux.

Dans le cas le plus général, ces mesures se font sur une passerelle en tubes métalliques facilement démontable et transportable. Si la largeur du lit dépasse une dizaine de mètres, on peut monter à peu de frais une petite station téléphérique. Pour des bassins plus petits, il est commode de réaliser des venturi. Parfois, la disposition des lieux permet la construction d'un déversoir à peu de frais, mais ces installations sont presque toujours très sommaires, l'étude d'un tel bassin ne dure que quelques années et il ne saurait être question de réaliser un aménagement tel que ceux qui sont construits en EUROPE pour les stations de montagnes. Dans certains cas, nous nous sommes contentés de stabiliser le lit en matérialisant deux profils en travers par deux bandes de béton. Un limnigraphe à une rotation en 24 heures est généralement indispensable pour chaque station.

Les précipitations sont étudiées par une dizaine de pluviomètres, type "Association" et, au moins, deux pluviomètres enregistreurs. Un seul de ces appareils est, en effet, insuffisant pour caractériser le diagramme de l'averse dans le temps. Par contre, il n'y a pas intérêt à installer plus de 3 enregistreurs ; au-delà, l'hydrologue perd toute illusion sur l'homogénéité de la pluie et le dépouillement devient inextricable.

Il est indispensable de veiller tout particulièrement à ce que tous les enregistreurs soient réglés sur la même heure, ce qui présente quelques difficultés en régions sous-développées. Il serait dangereux de croire qu'il est possible d'exploiter un bassin expérimental uniquement avec des batteries d'enregistreurs. Un bon technicien est nécessaire en permanence sur le terrain et il est, également, indispensable qu'un hydrologue supporte un certain nombre d'averses, sinon on risque de graves erreurs au dépouillement.

Cette dernière opération est effectuée à partir de la méthode des hydrogrammes unitaires qui servira de guide avec les réserves qui s'imposent. Pour les études de crues, par exemple, il suffit de mettre au point un hydrogramme type caractérisant les fortes crues et l'allure générale de la courbe de variation du coefficient de ruissellement.

Pour assurer le plein emploi du technicien ou du chercheur responsable du bassin, il y a tout intérêt à doubler ces études d'écoulement, d'études d'évaporation, d'infiltration, de transports solides, etc...

La masse des observations brutes recueillies est mise au net sous forme de documents standard faciles à consulter plusieurs années après la fin des études sur le terrain, au même titre que des relevés limnimétriques.

Chaque bassin doit être parfaitement connu dans ses diverses caractéristiques physiques. La couverture aérienne est indispensable pour établir, à peu de frais, la carte du bassin. La nature géologique du sous-sol doit être étudiée. Mais, c'est surtout le sol qui doit faire l'objet d'une étude poussée de la part d'un pédologue connaissant bien les terrains de la région. Le pédologue sera, en outre, utile pour guider les études d'infiltration. Enfin, la couverture végétale doit également faire l'objet d'un examen. On voit là les avantages des Instituts de Recherches sur d'autres Organismes pour effectuer ce genre d'études. Il est facile de disposer, dans ce cas, de chercheurs de diverses catégories et ces chercheurs ayant des contacts fréquents, les liaisons sont bien établies entre les diverses disciplines.

Les études de bassins expérimentaux sont coûteuses. Une campagne d'études correspond aux dépenses suivantes :

- traitements et charges d'un ingénieur hydrologue pendant 3 mois, d'un technicien pendant 6 mois, de deux observateurs aide-météorologues pendant 6 mois à un an, sans compter les manoeuvres ;
- frais d'aménagement des stations de jaugeages, des pistes d'accès, du cantonnement ;
- frais d'amortissement d'un véhicule et du matériel scientifique.

Aussi, dans les centres de recherches classiques où un ingénieur hydrologue exploite 30 à 50 stations de jaugeages, on ne compte guère qu'un ou deux bassins expérimentaux.

Cependant, à la différence des stations hydrométriques, la durée d'exploitation d'un bassin expérimental est relativement brève : 3 ans en moyenne. On conçoit donc qu'un Service Hydrologique puisse installer successivement dans le territoire qu'il contrôle une série de bassins versants correspondant aux différents types de climat et de sol.

Nos premiers bassins expérimentaux ont été aménagés dans les montagnes du NORD-CAMEROÛN en 1951. Malgré le caractère rudimentaire des installations, ils ont conduit à des résultats si intéressants dans le domaine, alors très peu connu, des petits bassins, que l'O.R.S.T.O.M. s'est efforcé, depuis cette époque, d'en développer le nombre. Etant donné la modicité des crédits d'études et le peu de temps dont disposaient les chercheurs, ces premiers bassins étaient installés au voisinage des centres de recherches. Mais, en 1955, le Service de l'Hydraulique de l'A.O.F. demandait à O.R.S.T.O.M. d'étudier pour son compte 10 bassins élémentaires, avec des moyens enfin suffisants. Les bassins élémentaires ont alors été implantés avec méthode dans les diverses zones climatiques et sur les divers types de sols. Bien entendu, ce nombre de 10 bassins était insuffisant, mais, en observant d'autres bassins élémentaires pour les études de conservation des sols et pour les études de grands aménagements, il était possible d'augmenter ce nombre. C'était d'autant plus facile qu'en fait, sur le plan technique, ces études sont dirigées par la même équipe de chercheurs sur presque toute l'étendue de l'AFRIQUE NOIRE, de sorte que les méthodes sont sensiblement les mêmes et les échanges de matériel et de documentation sont faciles. En 1957, une vingtaine de bassins expérimentaux ont ainsi été exploités en AFRIQUE NOIRE.

L'effort a porté tout d'abord sur la zone sahélienne, à hydrologie complexe et qui pose, sur le plan pratique, de réelles difficultés pour ce genre d'études. Actuellement, les bassins de cette zone sont peu à peu abandonnés au profit des bassins de forêt et des bassins désertiques, les plus difficiles de tous mais ceux pour lesquels ce genre d'étude est le seul à pouvoir donner des résultats susceptibles d'être généralisés. Les bassins guinéens ont été, jusqu'ici, un peu négligés : ce sont les plus faciles puisque, par suite du grand nombre d'averses et du caractère assez simple de l'écoulement, deux années d'études suffisent en général. Le retard est comblé petit à petit dans cette zone climatique.

Nous verrons, plus loin, les premiers résultats des études sur bassins expérimentaux.

III - Les PARCELLES EXPERIMENTALES ont d'abord été aménagées par les pédologues en vue de l'étude de l'érosion. En général, le ruissellement était également observé. Afin d'étendre le nombre de cas étudiés, les hydrologues ont commencé à installer de telles parcelles sur leurs bassins expérimentaux, de même que les pédologues ont quelquefois utilisé les bassins expérimentaux pour effectuer des recherches sur la variation du taux d'humidité dans le sol.

Par leur faible prix d'aménagement et leur facilité d'observation, les parcelles peuvent apporter des précisions très utiles sur l'influence de certains facteurs du ruissellement, surtout la pente et la couverture végétale. Employées sur un ensemble de bassins expérimentaux, elles permettent d'examiner à la fois les phénomènes de l'écoulement sur une parcelle du sol et sur un ensemble complet comportant un réseau hydrographique.

Les parcelles expérimentales sont assez nombreuses en zones guinéenne et équatoriale. Il serait nécessaire de les développer en régions sahélienne et subdésertique où il n'en existe pas encore une seule. Il est vrai que, dans ces régions, (tout au moins en AFRIQUE NOIRE), les cultures n'existant guère que dans les fonds de vallées, les problèmes d'érosion sont d'un intérêt moins immédiat que plus au Sud.

Les cases lysimétriques ont été assez peu employées. Les fortes températures et l'évaporation qui en résulte contribuent à exagérer les effets de parois sauf pour des cases de très grandes dimensions difficiles à réaliser. La reconstitution d'un sol tropical en case lysimétrique est extrêmement difficile. Dans ces conditions, un tel aménagement peut fournir des renseignements utiles pour l'irrigation mais non des données précises sur le bilan hydrologique d'un sol tel qu'il existe dans la nature.

Au début de nos études, les observations sur bacs évaporatoires avaient quelque peu rebuté nos chercheurs. Les grands écarts d'évaporation d'un jour à l'autre, les différences entre les résultats des bacs suivant leur situation et leur nature, ne leur inspiraient guère confiance. Cependant, il n'était pas possible de continuer à projeter de grands réservoirs sans connaître au moins l'évaporation sur nappe d'eau libre.

C'est pourquoi, en 1952, de gros efforts ont été faits dans les vallées du SENEGAL, du NIGER et du CHARI pour obtenir des données valables.

Toutes précautions ont été prises pour réduire les erreurs d'observations. Nous n'avons plus utilisé que des bacs de mêmes dimensions (1) et des mesures de températures et d'humidité relative ont accompagné les mesures d'évaporation. Il a été alors constaté, d'une part, que les fortes variations de hauteurs d'eau évaporées journalièrement correspondaient aux variations des divers facteurs climatologiques et que, d'autre part, dans les zones soudano-sahéliennes, l'implantation des bacs devait faire l'objet des plus grands soins pour éviter les micro-climats soit trop arides, soit trop humides. Moyennant ces précautions, les résultats mensuels ont été alors comparables pour une même région. Des bacs ont été installés dans la plupart des centres de recherches et sur de nombreux bassins expérimentaux. Ils ont presque toujours été observés simultanément avec des évaporomètres Piche. Une communication présentée par M. André BOUCHARDEAU au Congrès de Septembre 1957 de TORONTO et une communication de M. Marcel ROCHE au présent Congrès donnent toutes précisions sur ces études.

Elles ont été complétées, d'une part, au moyen de quelques mesures sur réservoirs naturels dont le bilan hydrologique du Lac TCHAD, d'autre part, avec les déterminations systématiques des déficits d'écoulement.

Des mesures sur bacs avec végétation aquatique avaient été entreprises au NORD-CAMEROUN ; les premiers renseignements obtenus étaient très encourageants, l'importance de nos programmes de recherches ne nous a pas laissé le temps de poursuivre ces mesures.

Les transports solides ont été étudiés par trois moyens différents :

- a) Les parcelles d'érosion suivies par les pédologues en général.
- b) A plus petite échelle, de très petits affluents sont isolés sur les bassins expérimentaux et leurs apports recueillis dans des fosses munies de déversoirs : les matières en suspension sont mesurées pendant les crues et après chacune d'elles, la fosse est vidée des graviers, sables et limons qui y ont été déposés ; on obtient ainsi facilement le poids total de matières transportées.
- c) Sur certains grands cours d'eau, au TCHAD en particulier, des mesures de suspension sont effectuées lors de certains jaugeages à raison de 10 points de mesures par profils en travers. La faible charge de ces cours d'eau et la fine dimension des matières en suspension permettent d'employer

(1) Bacs type "Colorado" de 3 pieds x 3 pieds correspondant à 1,00 m x 1,00 m.

des procédés très simples. Malheureusement, les grandes quantités d'eau à manipuler, 100 à 150 litres par jaugeage, la durée de décantation ne permettent pas de prévoir ces opérations dans le cadre de tournées rapides en voiture, alors qu'elles ne présentent aucune difficulté pour les tournées en bateau. Ce point est de nature à gêner l'extension de ce genre de mesures.

Dans l'ensemble, il y aurait beaucoup à faire dans le domaine des transports solides en AFRIQUE NOIRE FRANCAISE.

B - INTERPRETATION - DIFFUSION des RESULTATS -

Les résultats bruts de ces études sont rassemblés en deux collections, une dans chaque centre, une seconde au Service central à PARIS.

Il ne saurait être question de les diffuser en totalité sous cette forme. Signalons cependant que, pour des bassins importants tels que le NIGER et le SENEGAL, le Service de l'Hydraulique de l'A.O.F. a diffusé, chaque année, les relevés de hauteurs d'eau des diverses stations pour les années 1951-1952-1953-1954. L'O.R.S.T.O.M. à MADAGASCAR avait diffusé un recueil analogue en y joignant la liste totale des jaugeages exécutés pendant l'année en référence. Mais les résultats bruts des petits bassins ou des parcelles expérimentales seraient à peu près inutilisables. Ces documents bruts sont cependant à la disposition de tout organisme que ces questions intéresseraient.

En général, en ce qui concerne les stations hydro-métriques, la courbe de tarage est mise au point dès que l'étalonnage devient définitif et, souvent même, bien avant. Les traductions des hauteurs en débits suivent immédiatement ainsi que les calculs des moyennes. Mais ces résultats ne sont pas diffusés systématiquement.

Le moyen essentiel de diffusion est l'Annuaire Hydrologique de la France d'Outre-Mer. Cet Annuaire publie notamment la liste complète des stations, les hauteurs limnimétriques journalières pour 14 stations situées sur des voies navigables, une étude générale d'hydraulicité de l'année en référence portant à la fois sur les précipitations et les débits et, enfin, tous renseignements utiles pour cette même année en ce qui concerne une centaine de stations dont 70 pour l'AFRIQUE NOIRE, c'est-à-dire : les débits journaliers, les

débits moyens mensuels, le débit moyen annuel, les hauteurs de précipitations moyennes annuelles, les mêmes caractéristiques interannuelles, le déficit d'écoulement, le coefficient d'écoulement et la crue maximum observée ; un graphique permet, pour les stations les plus anciennes, de classer les fréquences de chaque mois de l'année en référence ; une fiche de renseignements et une carte fournissent les données géographiques sur la station et le bassin. Ces 70 stations sont choisies de façon à représenter les divers régimes hydrologiques, chaque régime étant représenté, dans la mesure du possible, par une série de bassins de diverses dimensions. Sont parus les annuaires 1949-1950-1951-1952-1953-1954-1955. L'Annuaire 1956 est à l'impression.

Il serait très utile de diffuser les fiches de données de bases donnant, pour chaque station régulièrement établie, tous les débits moyens mensuels et annuel et les diverses valeurs extrêmes des débits. Un tel fichier a été tenu à jour, mais la publication en a été différée jusqu'ici.

Pour les petits bassins, des rapports sont établis chaque année par bassin, mais la diffusion de ces rapports est très limitée. Nous avons envisagé de condenser les résultats essentiels dans des publications annuelles. Ce projet n'a pas encore vu le jour faute de temps. Une très courte synthèse a été présentée au Congrès de TORONTO par l'auteur de la présente communication. La synthèse des résultats des petits bassins et des stations du réseau général a été faite dans un ouvrage dont la préparation se termine actuellement.

Il n'y a pas de publication systématique des données concernant l'évaporation ou les transports solides.

Il est certain que l'interprétation et la diffusion des résultats sont beaucoup moins avancés qu'elles ne devraient l'être dans nos territoires. Les études sur le terrain absorbent toute l'activité de nos chercheurs. Les publications sont limitées à l'essentiel.

C - ETAT de nos CONNAISSANCES HYDROLOGIQUES en AFRIQUE NOIRE -

Sur les deux cartes en annexe, nous avons cherché à donner un aperçu de nos connaissances en AFRIQUE NOIRE en partageant les divers bassins en quatre catégories :

- 1°) Les bassins dont nous connaissons bien les régimes ; il s'agit surtout de cours d'eau appartenant aux régimes tropicaux et tropicaux de transition : les débits moyens annuels peuvent être déterminés de façon très précise pour une période d'une cinquantaine d'années, comme les débits moyens mensuels. Pour les grands bassins, il est possible de calculer les crues exceptionnelles sans trop de difficultés. Par contre, les étiages de faible fréquence sont souvent mal connus et il reste beaucoup à faire pour les petits bassins.
- 2°) Les bassins pour lesquels nous pouvons déterminer les principales caractéristiques du régime d'une façon assez satisfaisante : les moyennes interannuelles ne sont pas très précises. La détermination des crues exceptionnelles est difficile.
- 3°) Les bassins pour lesquels nous pouvons juste déterminer un ordre de grandeur des principales caractéristiques.
- 4°) Les bassins pour lesquels nous ne disposons que de données fragmentaires.

En ce qui concerne les petits bassins, le tableau ci-après, déjà présenté dans un Rapport antérieur sous une forme moins complète, donne une idée des résultats obtenus en ce qui concerne les crues décennales. L'interprétation peut porter sur bien d'autres points, mais c'est jusqu'ici la seule donnée ayant fait l'objet d'études systématiques. Ce tableau appellerait de nombreux commentaires sur l'influence du climat, du sol, de la végétation sur les crues décennales, mais ils nous sortiraient du cadre de cet exposé. D'autre part, si les indications déjà obtenues sont intéressantes sur le tarissement, la répartition des pluies, la capacité d'absorption, etc... il nous semblerait préférable d'attendre encore deux ou trois ans pour examiner de façon plus approfondie l'influence des divers paramètres de l'écoulement.

La communication de M. Marcel ROCHE fait le point sur les résultats obtenus sur les études d'évaporation.

Pour les transports solides, les données sont très incomplètes, c'est certainement là un des points sur lesquels nous devons faire porter nos efforts dans les années à venir.

CRUES DECENNALES sur QUELQUES BASSINS TYPES d'AFRIQUE NOIRE (Sup. = 25 km²)

N°	Régime hydrologique	Pente	Sous-sol	Sol	Végétation	Précip. an. mm.	Crue déc. l/s x km ²
1	Désertique	Forte	Grès im-perméable	Inexistant	Rare	100	4.000 406000
2	Presque subdésertique	Assez forte	Quartzites	Assez im-perméable	Clairsemée	300	3.500
3	Presque subdésertique	Modérée	Quartzites	Assez im-perméable	Très clairsemée	300	2.000
4	Sahélien	Assez forte	Grès im-perméable	Pratiquement inexistant	Clairsemée	600	8.000 à 10.000
5	Sahélien	Forte	Grès fer-rugineux	Argileux im-perméable	Clairsemée cultures	500	7.000 à 8.000
6	Sahélien	Assez forte	Grès fer-rugineux	même terrain + latérite	Clairsemée	500	4.000
7	Sahélien	Faible	Granitique	Argileux très imperméable	Graminées	450	1.600 à 1.700
8	Sahélien	Assez forte	Granitique	Légèrement perméable	Clairsemée	450	1.500
9	Tropical	Très forte	Andési te	Imperméable	Clairsemée	800	8.000 à 10.000
10	Tropical	Forte	Grès im-perméable	Latérite très perméable	Savane claire	1.000	1.500 à 1.800
11	Tropical de transition	Forte	Grès	Perméabilité moyenne	Savane boisée	2.100	2.000
12	Tropical de transition	Modérée	Gneiss	Latérite perméable	Savane claire	1.350	300 à 400
13	Tropical de transition	Forte	Quartzite	Perméable sablonneux	Savane boisée dense	1.600	400 à 500
14	Equatorial	Assez forte	Schisto-gréseux	Imperméable	Savane (pseu-do steppe)	1.400	8.000 à 9.000
15	Equatorial	Assez forte	Sable	Imperméable	Cité africaine	1.500	4.000 à 6.000
16	Equatorial	Forte	Gneiss	Imperméable	Forêt	1.800	400 à 600
17	Equatorial	Modérée	Granito-gneiss	Assez perméable	Forêt	1.300	400 à 600

18 Equatorial / forte / gneiss / imperméable / Forêt / 1800 / 1500 à 2000

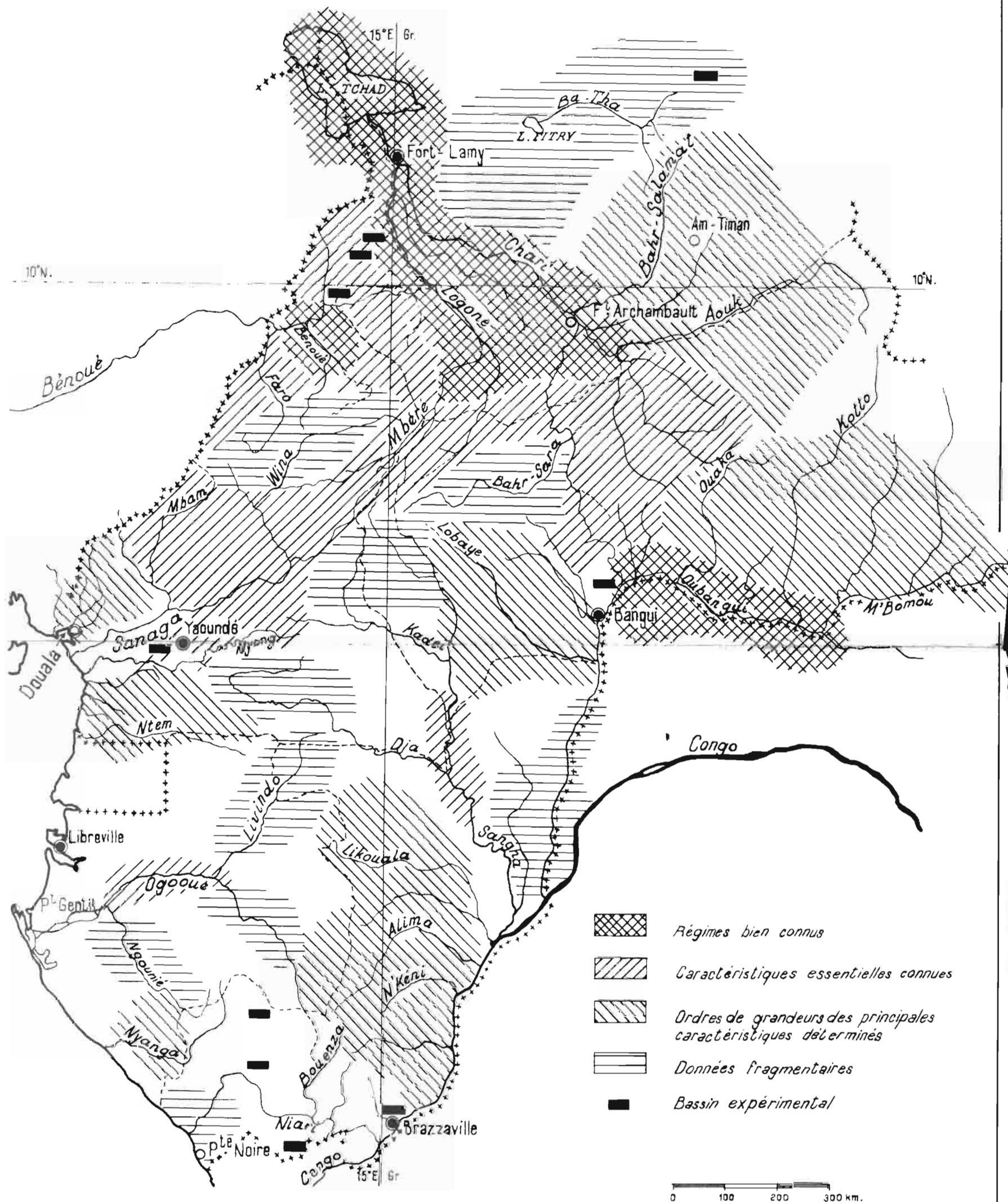
On a vu, au cours de ce trop long exposé, les nombreuses lacunes de cette organisation. Ajoutons que l'exploitation de nos réseaux de stations hydrométriques et des bassins expérimentaux ne présente pas les caractères de stricte régularité que l'on serait tenté de leur attribuer. Aucune campagne de hautes eaux ne se termine sans un certain nombre d'échecs plus ou moins graves :

- des éléments d'échelles sont emportés ; la lutte entre une échelle et un chaland, par exemple, est généralement inégale.
- quelques lecteurs ont abandonné leurs observations sans en rendre compte, bien entendu.
- les plus fortes crues se sont produites sur un bassin expérimental au moment précis où le responsable était absent pour quelques heures.

Ces incidents nous montrent que les études hydrologiques exigent une vigilance continuelle.

Malgré toutes ces imperfections, nous nous contenterons de souhaiter simplement que les circonstances nous permettent de maintenir notre réseau, tel qu'il est actuellement, en service pendant un temps assez long pour que nos stations principales présentent toutes cette collection de cinquante relevés annuels dans laquelle tout hydrologue trouve confiance et réconfort.

AVANCEMENT DES CONNAISSANCES HYDROLOGIQUES EN A.E.F ET AU CAMEROUM



- Régimes bien connus
- Caractéristiques essentielles connues
- Ordres de grandeurs des principales caractéristiques déterminés
- Données fragmentaires
- Bassin expérimental