

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
ET TECHNIQUE OUTRE-MER  
20, rue Monsieur  
PARIS VII<sup>e</sup>

COTE DE CLASSEMENT : N° 5828

HYDROLOGIE

EXAMEN de l'ETAT ACTUEL de NOS  
CONNAISSANCES dans le DOMAINE de l'HYDROLOGIE  
du CONTINENT AFRICAIN

par

J. RODIER

EXAMEN de l'ETAT ACTUEL de NOS  
CONNAISSANCES dans le DOMAINE de l'HYDROLOGIE  
du CONTINENT AFRICAINE

-----

Par J. RODIER

Ingénieur en Chef à Electricité de France

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

Coordinateur du Réseau de Correspondants de  
la Commission de Coopération Technique en Afrique au Sud du Sahara  
pour l'Hydrologie

Décembre 1959

Il n'est pas possible d'apprécier l'état d'avancement des recherches hydrologiques des diverses parties de l'Afrique en les mettant sur le même plan.

Les conditions naturelles sont si diverses, le degré de développement économique est si inégal que les comparaisons sont souvent difficiles. L'organisation d'un réseau hydrométrique, relativement facile dans les zones tempérées, devient presque impossible dans la zone située entre régions désertiques et régions tropicales.

L'étude de certains domaines de l'hydrologie n'a que fort peu d'intérêt dans certains territoires alors qu'elle peut être essentielle dans d'autres. Par exemple, le ruissellement superficiel n'a pas fait l'objet de beaucoup de recherches dans le désert puisqu'il s'agit, dans cette zone climatique, d'un phénomène exceptionnel. Par contre, les études hydrogéologiques, peu développées en Afrique Occidentale où le socle cristallin affleure, sont très avancées dans toutes les régions sédimentaires arides ou semi-arides. La mesure de la salinité des eaux, sans objet sur les bords du Golfe de Guinée où les précipitations sont extrêmement abondantes et les eaux très douces, est tout-à-fait courante en Afrique Orientale où la rareté de l'eau et les nécessités de l'irrigation la rendent indispensable.

Aussi, on a jugé qu'il n'était pas inutile de donner, au début de cet exposé, quelques indications sur les conditions particulières des études hydrologiques dans les diverses zones ; ces conditions se résument à trois : nature du climat, facilités de circulation, possibilités locales en personnel compétent.

En toute première approximation, l'Afrique peut être partagée en bandes qui suivent des parallèles. Ceci est surtout exact au Nord de l'Equateur.

L'Afrique du Nord bénéficie, au voisinage du littoral, d'un climat méditerranéen comportant une période de sécheresse bien marquée en été, et une longue période de Septembre à Mai pendant laquelle se produisent les pluies, de façon assez irrégulière. Le maximum peut survenir aussi bien en Novembre qu'en Mars. Le réseau routier est bon, la population relativement dense et instruite, ce qui est de nature à rendre faciles les études hydrologiques, d'autant plus que l'eau pouvant être utilisée pour de riches cultures, il est logique que les Services Hydrologiques puissent disposer de crédits abondants. Malheureusement, les lits instables, l'irrégularité foncière des débits opposent des difficultés sérieuses à l'interprétation. L'érosion est forte, les eaux souvent salées, les nappes souterraines sont souvent puissantes.

Vers le Sud, le climat devient de plus en plus aride ; les régions méditerranéennes font place au désert du Sahara qui s'étend de l'Atlantique à la Mer Rouge avec une seule interruption : la vallée du Nil qui présente, dans sa partie inférieure, de nombreuses ressemblances avec la zone précédente. Le Sahara est souvent un désert parfait. Les pluies y sont très rares. Elles peuvent se produire à un moment quelconque de l'année, sauf dans la partie la plus méridionale où elles ne se présentent qu'au cours de l'été boréal. Le ruissellement superficiel, très fugace, n'a lieu que dans des zones privilégiées. Par contre, le sol sédimentaire renferme souvent des nappes intéressantes. L'évaporation est extrêmement forte. Les conditions climatiques très dures. La très faible densité de la population et, parfois, de difficiles conditions de circulation présentent de très grands obstacles aux observations de toute nature.

Au Sahara succède, au Sud, une zone que les hydrologues de ces régions appellent "zone sahélienne". Région de contrastes climatiques où, à neuf mois de sécheresse presque absolue : d'Octobre à Juin, succède une saison des pluies qui transforme en marécages la majeure partie de ces territoires où le relief est, en général, très peu accentué. L'écoulement anarchique, souvent endoréique, offre à l'hydrologue de sérieuses énigmes. La circulation en saison des pluies, époque où doivent être faites les observations, est souvent un calvaire pour l'hydrologue qui préfère généralement le désert.

Les régions à régime tropical, limitées au Nord par une ligne oblique qui joint Dakar au Cap Guardafui, présentent un réseau hydrographique classique. Elles sont parcourues par de grands fleuves : Sénégal, Niger, Volta, Sanaga, Chari et les affluents principaux du Nil, dont le régime présente une réelle unité : une saison des pluies de Mai ou Juin à Septembre



Les variations des débits moyens sont encore beaucoup plus accentuées que celles des précipitations annuelles.

En général, les régions équatoriales sont assez mal connues du point de vue de l'hydrologie. Les raisons en sont les suivantes : date tardive de leur exploration, très grande difficulté d'y recruter des observateurs, communications souvent difficiles.

Au Sud du régime équatorial, vers la limite Nord du bassin du Zambèze, la limite Sud du bassin du Congo, le lac Nyassa et le Sud du territoire du Tanganyika, on retrouve le régime tropical qui, dans les régions les plus septentrionales, présente une saison des pluies de Novembre à Avril et une saison sèche de même durée. Vers le Sud, la saison des pluies devient plus courte. De façon générale, la hauteur de précipitations annuelle croît de la côte Ouest, semi-aride ou aride, à l'Est, mais le schéma des isohyètes est beaucoup moins simple que dans l'hémisphère boréal. En particulier, la côte orientale reste assez bien arrosée jusqu'à l'extrémité méridionale de l'Afrique ; même les latitudes comprises entre 20 et 30°, dont il faudrait chercher le symétrique boréal vers le Rio de Oro, reçoivent plus de 1 000 mm par an. Par contre, au centre de l'Afrique Australe, les précipitations décroissent du Nord au Sud, jusqu'à 100 mm dans le désert du Kalahari. On rencontre alors les mêmes régimes intermédiaires que pour le régime tropical boréal : du régime guinéen dans le Katanga au régime désertique, y compris la zone à dégradation hydrographique. Dans ces régions, comme dans la zone précédente, les effets du relief sont très sensibles sur les précipitations.

Le désert du Kalahari présente, pour les études, de très grandes difficultés. Par contre, plus à l'Est, depuis le Sud du Zambèze jusqu'à la Province du Cap, le développement économique de ces territoires est de plus en plus avancé au fur et à mesure que l'on progresse vers le Sud, les liaisons sont de plus en plus faciles et le choix d'un observateur n'est plus un problème insoluble.

Enfin, l'extrémité méridionale de l'Afrique est soumise à un climat méditerranéen : maximum d'hiver au Sud-Ouest, pluies réparties sur toute l'année au Sud. Dans toute la partie orientale de l'Afrique du Sud, on observe la transformation continue du régime pluviométrique, depuis la saison des pluies courte, régulière et bien définie du Nord, jusqu'à une répartition sur toute l'année, irrégulière avec prédominance de pluies d'été vers le Sud. Dans tout le territoire de

l'Afrique du Sud, la nature géologique du sol est assez variée, les terrains sédimentaires y sont fréquents, l'hydrogéologie joue un rôle très important, ce qui rapproche encore ces régions de l'Afrique du Nord.

Les grandes zones climatiques, dont nous venons de donner une très brève esquisse, serviront de cadre à l'étude critique qui suit. De telles divisions ne sont pas toujours très faciles à établir, mais il est pratiquement impossible de se référer aux limites territoriales, souvent très artificielles.

#### I/- REGIONS MEDITERRANEENNES de l'AFRIQUE du NORD -

Il s'agit essentiellement des régions humides et semi-arides qui s'étendent le long de l'Océan Atlantique et de la Méditerranée, sur le Maroc, l'Algérie, la Tunisie et la Lybie. Cette zone, bordée au Sud et à l'Est par le désert, diminue progressivement d'importance de l'Ouest à l'Est.

Le réseau pluviométrique, relativement dense et observé sur une période assez longue, permet de tracer un réseau d'isohyètes qui suffit à l'estimation des précipitations sur les bassins versants de grande et moyenne superficies. Mais dans la plupart des régions très accidentées, la densité est insuffisante pour l'étude de l'écoulement de petits bassins versants.

En outre, des lacunes importantes apparaissent par suite des conditions d'insécurité dont ont souffert certaines régions.

La réalisation de très nombreux barrages a imposé assez rapidement la création de Services Hydrologiques et de réseaux hydrométriques.

Les réseaux hydrométriques présentent les caractéristiques suivantes (seule, la zone à précipitation annuelle supérieure à 200-250 mm a été prise en considération) :

- Maroc :

Une quarantaine de stations ont été aménagées, dont une vingtaine bien étalonnées, ce qui correspond à une station de cette dernière catégorie pour 9 000 km<sup>2</sup>, densité faible pour un pays susceptible d'un tel développement économique et où les problèmes de l'eau sont aussi essentiels.

Les périodes d'observations continues les plus longues remontent à 1924. La majeure partie des stations principales étaient en exploitation régulière dès 1935. Le réseau a été complété en 1948-1949 par le Service Hydrologique.

Il est possible d'obtenir quelques données isolées remontant jusqu'à 1912.

On constate que les périodes d'observations sont trop courtes, difficulté que nous rencontrerons à un degré beaucoup plus grave dans bien d'autres régions d'Afrique.

- Algérie :

Une quarantaine de stations bien étalonnées grâce à des canaux jaugeurs, voient leurs résultats publiés dans l'Annuaire Hydrologique, soit sensiblement une station pour 3 000 km<sup>2</sup>. La densité, plus forte qu'au Maroc, n'est pas encore très grande (1). Mais l'étude complète de bassins versants, tant au point de vue du régime hydrologique qu'au point de vue du climat et des autres facteurs conditionnels, permet d'établir des formules de ruissellement facilitant les interpolations.

Comme pour le Maroc, les périodes d'observations sont trop courtes, eu égard au caractère très irrégulier du régime. Quelques stations sont exploitées régulièrement depuis 1924. Une d'entre elles a même été observée depuis 1911. Mais la majeure partie des stations principales ne sont en service que depuis 1949-1950. Quelques données isolées, antérieures à la période 1923-1925, constituent des compléments précieux.

---

(1) Pratiquement, toutes les stations nécessitent des aménagements notables étant donné la grande variabilité des lits et l'importance des transports solides, ce qui entraîne des frais d'investissements considérables.



- Tunisie :

La zone à précipitation annuelle supérieure à 300 mm est beaucoup plus restreinte qu'en Algérie, la densité des stations de jaugeages principales est la même : une pour 3 000 km<sup>2</sup>. Des efforts considérables ont été faits pour créer des stations de jaugeages stables et pour étalonner ces cours d'eau difficiles. Les périodes d'observations présentent les mêmes caractéristiques que pour les territoires précédents. Des études systématiques d'étiages permettent de compléter les lacunes du réseau de bases.

Les études de bassins expérimentaux sont, malheureusement, peu répandues. Les hydrologues d'Afrique du Nord allaient entreprendre ce genre de recherches lorsque les événements politiques les ont contraints à ralentir momentanément leur activité. On doit préciser, d'ailleurs à ce sujet, que le réseau hydrométrique a beaucoup moins souffert des conditions d'insécurité que le réseau pluviométrique.

- Lybie :

La zone à climat semi-aride est encore plus réduite qu'en Tunisie, ce qui exclut la possibilité de création d'un véritable réseau hydrométrique. Cependant, des mesures de débits et des études d'écoulement ont été effectuées sur quelques ouadis.

Le Maroc, l'Algérie et la Tunisie publient régulièrement les relevés de débits aux stations principales dans des annuaires hydrologiques ou des documents analogues.

Les études d'hydrogéologie ont été très poussées dans ces territoires, surtout en Tunisie, où les besoins en eau dépassent largement les ressources superficielles. La constitution géologique des sols, la cartographie, le nivellement, données fondamentales pour ce genre de recherches, ont fait l'objet d'études systématiques. Les catalogues de points d'eau sont très avancés dans les trois territoires d'Algérie, du Maroc et de la Tunisie. Des campagnes de sondages et de prospection géophysique ont permis de dégager les caractéristiques des nappes principales qui sont généralement assez bien connues :

Nappes des grandes plaines du Maroc, nappes des basses plaines sublittorales de l'Algérie, nappes des hautes

plaines algériennes, nappes captives de bassins des hautes plaines de l'Algérie, nappes des différentes formations des régions plissées de la Tunisie, nappes artésiennes des fosses de subsidence assez fréquentes dans les plaines de la Tunisie septentrionale et centrale, nappe des grès du miocène tunisien.

Enfin, les grandes lignes de la circulation qui alimentent les chotts sont maintenant bien connues grâce, en particulier, aux études sur le chott Ech Chergui.

Les ressources ainsi prospectées sont considérables, les nappes fournissent assez souvent des débits de plusieurs centaines de litres par seconde ; dans certaines plaines littorales, elles fournissent même plusieurs m<sup>3</sup>/s. mais il reste encore un très important travail de recherches à poursuivre dans ces pays peuplés où l'eau, précieuse, peut être utilisée pour des productions à prix de vente relativement élevés au voisinage de débouchés très importants et où, par conséquent, la tendance à exploiter les nappes de façon abusive est tout-à-fait générale : l'étude de l'alimentation des nappes et, par suite du bilan hydrologique, est absolument capitale ; elle est à peine commencée. La reconnaissance des nappes elles-mêmes est loin d'être terminée : en Algérie et au Maroc, certaines nappes profondes n'ont pas encore été prospectées.

Les études de transports solides s'imposaient. De tous temps, en Afrique du Nord, il a fallu lutter contre le remblayage des réservoirs. Il s'agit de mesurer la quantité de matières en suspension et, si possible, le charriage. Dans ces territoires, on a utilisé, soit la méthode globale d'évaluation des transports solides par l'étude de la sédimentation des réservoirs, (c'est ce qui a été utilisé en Algérie notamment), soit la mesure de la turbidité comme cela est fait systématiquement en Tunisie.

Les eaux superficielles ou souterraines contenant souvent des proportions de sels pouvant être nuisibles pour la culture, surtout dans le cas de cultures irriguées, les études de qualité des eaux sont très fréquentes ; dans de nombreux cas, elles sont systématiques.

Les observations d'évaporation sur nappes d'eau libre ont été faites dans plusieurs centres, et même quelques essais d'études d'évaporation de nappes à très faible profondeur. Il y aurait le plus grand intérêt à poursuivre ces recherches.

## II/- SAHARA et REGIONS LIMITROPHES -

Nous limiterons cette zone à l'isohyète 200 mm. Cette limite semblera très large aux vrais sahariens, qui prétendraient être incommodés par des précipitations annuelles aussi abondantes, mais elle est assez commode pour les hydrologues.

La densité des postes pluviométriques est tout-à-fait insuffisante ( par exemple, 1 poste pour 50 000 km<sup>2</sup> dans la région "privilégiée" du Sahara Central), d'autant plus que souvent la situation des rares stations est très particulière de sorte qu'ils sont peu représentatifs. Il est bien évident qu'une plus grande densité serait sans intérêt dans certaines régions. Par contre, en terrain accidenté et peu perméable, précipitations et écoulement jouent un très grand rôle dans l'alimentation des nappes souterraines. Or, le réseau actuel ne peut pas permettre de déterminer la hauteur moyenne de précipitations dans ces massifs.

Il est très difficile d'améliorer cette situation, les difficultés d'accès aux pluviomètres sont réelles mais les risques de vol ou de déprédation sont encore plus redoutables. Cependant, des essais très encourageants ont été effectués. Il semble possible d'exploiter quelques années un réseau de totalisateurs à proximité d'un ou deux postes pluviométriques classiques, ce qui permet, grâce aux corrélations avec le poste de base, d'établir des courbes isohyètes annuelles valables. Il serait nécessaire de multiplier également les études d'intensité pluviométrique qui joue un rôle essentiel dans le ruissellement. Des efforts très importants sont faits actuellement au Sahara Central pour l'étude des précipitations sur les massifs montagneux.

Ce dernier phénomène est, au Sahara, exceptionnel et fugace. Il ne se produit que dans certaines régions mais, dans ce cas, il présente bien le caractère torrentiel que lui attribuent les autochtones. Les lits des cours d'eau très dégradés sont modifiés fréquemment d'une crue à l'autre. Il n'y a pratiquement pas de stations de jaugeages et il serait très difficile d'installer des stations permanentes. Signalons deux types d'études qui ont, cependant, donné de bons résultats :

- a) On a fait établir systématiquement, chaque mois, par tous les fonctionnaires appelés à se déplacer, des fiches météorologiques sur les crues d'oueds, la durée de l'écoulement, le point limite où est parvenu l'écoulement, et on a recherché les renseignements

analogues dans les archives. Ces observations qualitatives ont été faites depuis l'Océan Atlantique jusqu'au Nil. Il a été ainsi possible d'établir la fréquence des crues et même la fréquence des crues d'une certaine importance.

- b) Plus récemment, la méthode suivante a été employée au Sud du Sahara. Elle n'est guère utilisable que dans les zones atteintes par la mousson, soit au Sud du 22ème parallèle : un groupe comportant un ingénieur et un agent technique est installé dans un massif montagneux pour les 3 mois d'été pendant lesquels se produisent les fortes pluies. Ils installent un réseau de pluviomètres totalisateurs relevés tous les mois ou tous les deux mois et de pluviomètres Association relevés tous les jours. L'agent technique reste fixe et suit un bassin expérimental et, si possible, un grand oued à un point bien déterminé où il doit effectuer des mesures dès l'arrivée de la crue. L'ingénieur sillonne le massif, mesure les crues chaque fois qu'il en trouve une, relève les traces de crues, calcule les débits, suit les variations des débits de sources, etc ... À la fin de la saison, on dispose d'une étude complète d'écoulement au bassin expérimental, d'un diagramme complet de la ou des crues sur l'oued principal, et d'une assez bonne connaissance d'ensemble des précipitations et de l'écoulement dans le massif. Cette méthode, utilisée dans le Sahara méridional depuis 1957, a donné de bons résultats. Les relevés d'une des stations ont été publiés dans l'Annuaire Hydrologique de la France d'Outre-mer, édition 1957.

Il semble que des recherches de ce genre soient à intensifier.

Il serait également souhaitable d'aménager 3 ou 4 stations permanentes dans les régions les plus favorables du Sahara, elles permettraient de suivre les variations d'hydraulicité sur de longues périodes.

Un seul fleuve traverse le désert : le Nil (1), sur les bords duquel se concentre toute la vie de l'Egypte. Le Nil occupe une position tout-à-fait particulière dans l'hydrologie

---

(1) Nous ne parlerons pas ici du Niger : il l'effleure à peine.

africaine : son régime hydrologique, tout au moins sur le cours inférieur, est aussi bien connu que celui des grands fleuves européens. On dispose, d'une part, de données continues des nilomètres, portant sur 13 siècles, d'autre part un très gros effort a été effectué, à partir de la fin du 19ème siècle et, surtout, au début du 20ème siècle, pour équiper ce fleuve d'un réseau de stations hydrométriques, de sorte que, à partir de 1869, il existe, à la station principale d'ASSOUAN, une série de relevés précis et sûrs, alors que pour toute l'Afrique Tropicale et Equatoriale, l'installation des réseaux hydrométriques a commencé beaucoup plus tard.

Il convient d'estimer à leur juste valeur les relevés des nilomètres. De nombreux auteurs ont montré que ces relevés étaient assez imprécis pour diverses raisons : variations du lit, modifications probables des nilomètres, impossibilité de se référer aux originaux, habitude particulière de l'observateur, écarts entre le maximum réel et la cote conventionnelle relevée, etc ... Mais ils donnent des indications qualitatives précieuses ; en particulier, ils confirment qu'il ne s'est pas produit, au cours des siècles précédant le 19ème, de crues qui, par leur très grande ou très faible importance, s'écartent des valeurs extrêmes relevées depuis 1869.

Ces relevés nilométriques viennent donc compléter très heureusement la longue série d'observations régulières d'ASSOUAN. Le réseau du Nil échappe donc à ce défaut de presque tous les réseaux hydrométriques africains : la brièveté de la période d'observations. Nous reparlerons plus loin du Nil à propos des zones tropicales et équatoriales.

Les études hydrogéologiques ont évidemment une très grande importance dans les zones désertiques. Elles ont été très poussées dans les régions septentrionales relativement peuplées.

Au Nord, la grande nappe du continental intercalaire, les nappes miopliocènes de l'Oued Rhir, les chotts tunisiens, les nappes de la région côtière de la Grande Syrte, ont été l'objet de recherches qui ont souvent conduit à des résultats spectaculaires, mais un énorme travail reste à faire, non seulement pour déterminer les caractéristiques de ces nappes, les sens d'écoulement, mais encore une esquisse des bilans hydrologiques. Le but des recherches des hydrogéologues doit être double : trouver de nouvelles ressources, déterminer les limites d'exploitation des nappes actuellement utilisées. En



### III/- REGIONS SAHELIENNES TROPICALES -

Les limites assez imprécises de ces régions peuvent être schématisées au Nord par l'isohyète 200 mm, au Sud par l'isohyète 700 mm à l'Ouest du Lac Tchad et l'isohyète 800 mm du Lac Tchad à l'Abyssinie. Cette limite méridionale part du Sud de Dakar, passe non loin de Segou, de Niamey, au Sud du Lac Tchad, rejoint le Nil Blanc dans le delta intérieur et se termine sur la Mer Rouge au Sud de Massacoua ; la limite remonte vers le Nord par suite des modifications apportées au climat par l'existence du massif de l'Abyssinie.

La densité du réseau pluviométrique reste faible, sauf pour le Soudan :

- 1 poste pour 6 000 km<sup>2</sup> dans l'ancienne A.O.F.
- 1 poste pour 10 000 km<sup>2</sup> au Tchad
- 1 poste pour 3 000 km<sup>2</sup> au Soudan

mais elle est beaucoup plus forte que dans le désert ; elle permet de tracer les grandes lignes du réseau d'isohyètes, dans les zones de plaines où les variations de hauteurs de précipitations annuelles sont progressives ; par contre, cette densité est tout-à-fait insuffisante pour les massifs montagneux du Cameroun, du Ouadai, du Massalit et de l'Abyssinie.

Les périodes d'observations sont bien courtes dans de nombreux cas :

Dans l'ancienne A.O.F. : 35 ans au maximum, le plus souvent 25.

Au Tchad : 25 ans au maximum, le plus souvent 10 ou 12 ans.

Au Soudan, par contre, les plus anciennes stations ont 60 ans, de nombreuses stations fonctionnent depuis 40 ans.

De façon générale, le nombre de pluviomètres enregistreurs, susceptibles de fournir les intensités des averses, est tout-à-fait insuffisant.

L'étude de l'écoulement doit s'étendre sur 4 domaines :

- 1°) Les grands fleuves venant du Sud : Sénégal, Niger, Chari, Nil, dont nous parlerons plus loin.





Il est prématuré, en général, de prévoir des études d'aménagements, mais il serait temps d'entreprendre systématiquement dans ces régions des études fondamentales. Il ne serait peut-être pas judicieux de multiplier les stations de mesures, ce qui serait extrêmement coûteux ; il suffirait d'en maintenir en exploitation permanente une trentaine et, pendant des périodes de trois ou quatre ans, d'étudier les divers systèmes hydrographiques en commençant par les régions où des réalisations prochaines paraîtront les plus opportunes.

Dix bassins versants expérimentaux ont été étudiés, à cette date, dans les zones sahéliennes de l'ancienne Afrique Occidentale Française et du Tchad. Ces études ont permis d'obtenir un premier aperçu des caractéristiques de l'écoulement pour les types de sols les plus courants. Les résultats sont applicables à de nombreux bassins du Nigéria et du Soudan. Ces études devraient être complétées par l'examen d'autres types de sols et de pentes, mais surtout elles devraient être suivies par l'observation de bassins de dimensions intermédiaires entre les petits bassins expérimentaux et les bassins des cours d'eau plus importants, cités plus haut.

Les études hydrogéologiques sont moins essentielles que dans le cas précédent, car l'eau superficielle est plus abondante et, en de nombreux points, la présence, à fleur de sol, des formations cristallines, ne laisse pas d'espoir pour la découverte de nappes. Cependant, l'alimentation en eau douce de grandes villes comme Dakar a nécessité des études hydrogéologiques très poussées et certaines zones de pâturages particulièrement intéressantes resteraient inexploitées si l'on n'y créait pas des points d'eau, ce qui a conduit à effectuer des recherches de nappes souterraines en de nombreux points dispersés sur toute l'étendue de cette zone sahélienne. Citons les recherches et les réalisations effectuées dans le désert du Ferlo (Sénégal), en Mauritanie, dans la République du Niger, dans les sédiments récents de la cuvette tchadienne, au Tchad et, surtout, au Nigéria où un très gros effort a été tenté ces dernières années. Des résultats intéressants ont été obtenus mais, dans l'ensemble, les phénomènes d'artésianisme, si courants en Afrique du Nord, sont beaucoup plus rares dans cette zone.

L'érosion est, par endroits, presque aussi forte qu'en Afrique du Nord : elle a été très peu étudiée jusqu'ici. Les recherches dans ce domaine devraient être combinées avec les études de bassins expérimentaux.

L'évaporation a fait l'objet d'observations sur bacs Colorado qui permettent de donner des ordres de grandeur valables pour cette zone. Grâce aux études du Lac Tchad, ces évaporations sur bacs peuvent être transformées en évaporations sur grandes étendues d'eau libre. Mais des études complémentaires seraient bien nécessaires, en particulier sur nappes d'eau encombrées de végétation et sur sol humide, genre d'études qui a été à peine effleuré dans cette zone jusqu'à cette date.

#### IV/- REGIONS TROPICALES de l'HEMISPHERE NORD -

Le régime tropical passant de façon progressive au régime équatorial, il est assez malaisé de donner une limite méridionale précise. On peut admettre que cette limite passerait à Freetown, au centre de la Côte d'Ivoire, légèrement au Nord de la côte du Dahomey, un peu au Nord de Yaoundé, au Sud de Bangui, couperait le Nil au Nord de Mongalla et, laissant au Nord les plateaux d'Abyssinie, rejoindrait la côte de Somalie en un point qu'il n'est pas possible de préciser car, sur la zone littorale orientale particulièrement aride, toute distinction entre régime tropical et équatorial ne saurait être qu'artificielle.

La densité des postes pluviométriques est nettement plus forte que dans la zone précédente :

- 1 poste pour 3 500 km<sup>2</sup> pour l'ancienne A.O.F.
- 1 poste pour 2 000 km<sup>2</sup> pour le Ghana
- 1 poste pour 4 200 km<sup>2</sup> pour le Tchad et le Nord-Cameroun
- 1 poste pour 7 000 km<sup>2</sup> pour le Soudan

sauf pour l'Abyssinie où elle est très faible.

Cette densité est insuffisante pour le Tchad ; elle est tout-à-fait insuffisante pour l'Abyssinie. L'amélioration de la situation dans ces deux territoires pose d'ailleurs de très sérieuses difficultés.

Les postes pluviométriques les plus anciens datent de 1920 pour l'ancienne A.O.F., 1934 pour le Tchad, 1926 pour l'Oubangui, 1900 pour le Ghana, 1900 pour le Soudan, 1898 pour l'Abyssinie. En moyenne, les réseaux ont été installés entre 1922 et 1930 pour l'ancienne A.O.F. et le Ghana, 1940 pour la République du Niger et le Cameroun, 1950 pour le Tchad et l'Oubangui, 1914 pour le Soudan.



1950 pour le Sénégal, 1949 pour le Niger, 1950 pour la Haute-Bénoué, 1947 pour la Sanaga, 1951 pour le Chari, 1952 pour l'Oubangui. Deux circonstances heureuses viennent remédier à cette situation :

1°) Les variations d'hydraulicité sont les mêmes sur de très vastes territoires de sorte que, si sur un bassin versant de 300 000 km<sup>2</sup> par exemple, 30 stations présentaient des relevés portant sur 15 à 20 ans et 1 station principale était observée depuis 50 à 60 ans, cette dernière station pourrait permettre d'effectuer des corrections d'hydraulicité parfaitement valables.

2°) La plupart des cours d'eau tropicaux ont été utilisés pour la navigation et souvent, dès la création des Compagnies exploitantes, une échelle a été installée et lue soigneusement : on dispose donc d'au moins une station repère pour chaque bassin, par exemple : Kayes (1892) sur le Sénégal, Koulikoro (1908) sur le Niger, Makurdi (1922) et Garoua (1930) sur la Bénoué, Fort-Lamy (1933) sur le Chari (1), Bangui (1911) sur l'Oubangui. Outre ces stations les plus importantes, quelques stations, moins anciennes mais présentant au moins une vingtaine d'années d'observations et quelques données isolées, apportent de très utiles compléments.

Enfin, Bénoué et Sanaga étant mises à part, il existe une certaine corrélation entre bassins tropicaux voisins, on se réfère donc de façon assez qualitative aux variations du grand fleuve le plus voisin en conservant en quelque sorte comme toile de fond les variations du Nil à Assouan.

La situation est donc moins grave qu'il ne peut paraître à première vue, mais il importe de veiller avec un soin tout particulier à la continuité et à la qualité des observations du réseau existant. D'autre part, les études de corrélation sur variations d'hydraulicité de fleuves voisins sont à pousser dès que les périodes d'observations atteindront des durées suffisantes.

Les bassins expérimentaux sont assez nombreux : 8 pour l'A.O.F., 5 pour le Cameroun, 2 pour le Tchad et la République Centre Africaine. Comme pour la zone précédente, ils permettent de calculer les différentes caractéristiques de l'écoulement dans

---

(1) complétée par les données du Lac Tchad.

certains cas parmi les plus courants, mais ce réseau de bassins expérimentaux demande à être complété ; les études d'infiltration doivent être plus approfondies sur les bassins existants.

Une lacune importante de nos connaissances dans ce domaine porte sur les bassins de 100 à 3 000 km<sup>2</sup>. Des observations systématiques sur de tels bassins permettraient de raccorder les résultats des bassins expérimentaux valables jusqu'à 100 km<sup>2</sup> à ceux des stations de jaugeages des grands bassins fluviaux.

Les relevés des débits des stations principales des anciens territoires de l'A.O.F., de la République du Tchad et de la République Centre Africaine sont publiés régulièrement dans l'Annuaire hydrologique de la Communauté. Les relevés de débits du bassin du Nil font également l'objet de publications régulières.

Les études hydrogéologiques sont peu développées dans ces régions. L'écoulement superficiel satisfait à une grande partie des besoins et la constitution géologique du sol, cristallin ou fortement métamorphisé, est peu compatible avec l'existence de nappes importantes.

Au centre de cette zone, les grès de la Bénoué ont fait l'objet de quelques recherches suivies de réalisation ; la nappe sédimentaire qui déborde largement sur les régions sahéliennes a été reconnue de façon satisfaisante ; à l'extrémité orientale de cette zone, les formations sédimentaires de la Somalie ont été largement exploitées pour les besoins de l'hydraulique pastorale, cette dernière région manquant presque totalement de ressources superficielles. Des études assez nombreuses ont été effectuées pour des besoins très limités, alimentation en eau d'une petite agglomération par exemple, sur alluvions récentes des lits majeurs des cours d'eau ou sur la couche généralement aquifère, située à la base des formations latéritiques.

L'érosion est faible sur les terrains recouverts de la couverture végétale naturelle (sauf en Somalie, bien entendu) ; elle est beaucoup plus forte sur les sols en culture. La surface cultivée étant très peu importante sur la plupart des grands bassins, la quantité de matières transportées est faible dans les grands fleuves, de sorte que des mesures de matières en suspension suffisent presque pour l'étude des transports solides. Quelques séries d'observations de ce genre ont déjà été effectuées il serait intéressant d'étendre ces recherches à d'autres bassins. De même, les mesures d'érosion sur parcelles devraient



- Pour le Ghana et le Nigéria Méridional, la date correspondante serait 1930 ;
- Mais pour la République Gabonaise et la République du Congo, la plupart des relevés ne sont utilisables qu'à partir de 1949 ;
- Pour le Congo Belge, la situation est un peu plus favorable. 1/5ème environ des stations ont été créées avant 1930. Ce réseau a été bien amélioré en 1940, surtout dans la région du "Graben" où le caractère très hétérogène de la répartition des pluies nécessiterait un réseau très dense ;
- Pour l'Ouganda et le Kénya vers 1935 ;
- Pour le Tanganyika vers 1935.

Pour le bassin de l'Ogooué et le Sud du Cameroun, la période d'observations est si courte que les relevés sont d'un bien piètre secours pour l'étude des débits moyens annuels et surtout de l'irrégularité interannuelle.

Les études de détails concernant la pluie ont été très poussées au Congo Belge et au Kénya, mais il y aurait intérêt, dans ces régions comme dans la zone tropicale, à multiplier le nombre des enregistreurs.

Pour la plupart de ces régions équatoriales, le réseau de stations de jaugeages fournit des données moins complètes que les réseaux des régions tropicales, par suite d'une trop faible densité ou de périodes d'observations très brèves, ou enfin, par suite du trop petit nombre de jaugeages.

La République de Côte d'Ivoire présente un réseau relativement dense : 1 station bien étalonnée pour 10 000 km<sup>2</sup>, mais la plus ancienne ne date que de 1949.

Le réseau équatorial de la République du Cameroun est un peu plus lâche : 1 station pour 11 ou 12 000 km<sup>2</sup>, les observations les plus anciennes datent de 1949.

La République Gabonaise (bassin versant de l'Ogooué) offre de très sérieuses difficultés de circulation, la densité n'est que de 1 station étalonnée pour 28 000 km<sup>2</sup>, ce qui est tout-à-fait insuffisant. Par contre, on trouve dans ce réseau, le seul poste équatorial à l'Ouest du Congo dont les relevés s'étendent sur une période de durée suffisante : celui de Lambaréné sur l'Ogooué avec environ 20 années d'observations.

La République du Congo, qui couvre les bassins versants des affluents rive droite du Congo (Oubangui) et du Kouilou, présente en moyenne 1 station bien étalonnée pour 7 000 km<sup>2</sup> grâce au bassin du Kouilou-Niari où la densité déterminée dans les mêmes conditions est de 1 station pour 3 000 km<sup>2</sup>. Mais la station la plus ancienne date de 1948 seulement.

Le Congo Belge qui correspond à la majeure partie du bassin du Congo bénéficiera d'un très beau réseau hydrométrique lorsque la plupart des stations limnimétriques actuelles seront étalonnées. Environ 270 doivent pouvoir être transformées en stations de jaugeages, ce qui correspond à une densité de 1 station pour 9 000 km<sup>2</sup>, la répartition est assez homogène. Les durées d'observations sont relativement longues :

- 2 stations sont observées depuis 1902,
- 9 stations sont observées depuis plus de 50 ans,
- 29 stations depuis plus de 40 ans.

Le réseau a été complété en 1957 et 1958. Malheureusement, moins de 50 peuvent être considérées comme étalonnées à titre provisoire.

Nous retrouvons les mêmes difficultés au Kenya et au Tanganyika avec une nuance cependant : la hauteur pluviométrique varie dans de très larges proportions. La densité est très irrégulière : on peut admettre, au Tanganyika, une densité moyenne de 1 station de jaugeage pour moins de 4 000 km<sup>2</sup>, alors que certaines zones qui font l'objet d'études spéciales (1) admettent une densité supérieure à 1 station pour 2 000 km<sup>2</sup> ; les zones semi-arides, au contraire, présentent une densité beaucoup plus faible. Les périodes d'observations sont très courtes en général puisque ce territoire avait deux stations de jaugeage en 1947 et que la majeure partie du réseau date de 1954. Un gros effort est fait actuellement pour étalonner les stations.

Au Kenya, la densité moyenne est plus forte et les périodes plus longues. On trouve une station présentant 37 années d'observations sur la Tana. Plusieurs stations dépassent 20 ans ; assez nombreuses sont les stations présentant 10 ans d'observations.

---

(1) Telle que l'étude de la Rufiji exécutée par des experts de la F.A.O.





gique. Le Congo Belge publie un Annuaire de la majeure partie des stations limnimétriques et quelques relevés des débits.

Les études d'hydrologie souterraine sont peu importantes à l'Ouest du Congo : dans de nombreux cas, l'eau superficielle est abondante et, en plus, les formations sédimentaires sont rares : celles du Sud de la Côte d'Ivoire, du Togo et du Dahomey, sont cependant exploitées. De nombreux grands ports dans cette zone sont alimentés exclusivement par des nappes souterraines. Malgré les fortes précipitations annuelles, certains problèmes d'adduction d'eau peuvent être très difficiles à résoudre. Nous connaissons des petites localités en pleine forêt recevant 1 200 mm de pluie par an, presque entièrement absorbés par l'épaisse couche végétale et qui ne trouvent pas des réserves souterraines suffisantes dans la maigre couverture alluviale surmontant le socle granitique. Mais les régions les plus arides du Togo, du Dahomey et certains points du Ghana étant mis à part, il est assez rare que les problèmes d'approvisionnement en eau potable soient aussi aigus.

Il n'en est pas de même à partir du "Graben" où les précipitations annuelles peuvent être occasionnellement beaucoup plus faibles et où, heureusement, les éruptions volcaniques ont apporté des terrains très perméables qui renferment souvent d'excellentes nappes aquifères, d'où un fort développement des études hydrogéologiques au Ruanda Urundi, au Kénya et au Tanganyika.

Au Tanganyika, les terrains perméables du Karroo apportent des ressources considérables. Mais de façon générale, on ne rencontre guère que de très grandes formations aquifères comme celles que l'on trouve au Sud de l'Afrique du Nord. Seule la bande littorale de l'Océan Indien peut offrir quelques possibilités s'en rapprochant ; on y retrouve même des nappes artésiennes.

Malheureusement, la composition de l'eau la rend souvent impropre à la consommation ou même à l'irrigation.

Dans toute cette zone orientale, un très gros travail de recherche est nécessaire, ne serait-ce que pour localiser et pour déterminer les caractéristiques principales des nappes les plus importantes, sauf bien entendu, au voisinage des grandes villes où elles sont bien connues.

L'érosion, très faible dans les zones de forêt, est notable dans les régions ou dans toutes zones où la forêt fait place aux cultures.

Pratiquement, aucune mesure de transports solides n'a été effectuée dans les cours d'eau des régions forestières à l'Ouest du Congo. Il serait bon cependant, et ce serait une opération facile, d'en déterminer le montant dans des cas simples.

Par contre, des mesures sur parcelles expérimentales ont été effectuées en Côte d'Ivoire et dans la République du Congo. Il serait nécessaire de les poursuivre de façon systématique en déterminant avec soin l'influence de la pente, de la couverture végétale et des façons culturales.

Au Kenya et au Tanganyika, où l'érosion est beaucoup plus forte, la mesure des matières en suspension tend à se généraliser et il est souhaitable qu'elle se développe de plus en plus. Signalons quelques exemples de mesures de transport global dans des réservoirs, fort utiles car le Kenya et le Tanganyika n'ont pas trouvé davantage que les autres pays le moyen de mesurer de façon commode le charriage.

L'évaporation en zone équatoriale est malaisée à observer car la pluie apporte de sérieuses difficultés à l'observation des bacs. De plus, dès que les précipitations sont fréquentes, l'évaporation tombe à 2 ou 3 mm par jour, rendant la mesure beaucoup plus délicate que dans les zones sahéliennes ou tropicales.

C'est pourquoi 7 bacs Colorado seulement, à notre connaissance, ont été installés à l'Ouest du Congo (les évaporomètres Piche donnent des indications très difficiles à interpréter pour l'évaporation sur nappes d'eau libre).

Il serait nécessaire, dans ces territoires de tracer la carte de l'évaporation Colorado, de rattacher en quelques points bien connus ces données aux indications des appareils Bellani et, surtout, de calculer des bilans hydrologiques de grands réservoirs, opération délicate car les conditions sont très éloignées de celles du Lac Tchad pour lequel, à quelques facteurs secondaires près, l'évaporation est égale aux apports d'un grand fleuve.

L'étude systématique de l'évapotranspiration potentielle par bac de Thornthwaite et cases lysimétriques serait souhaitable. Il faudrait rattacher ces données aux déficits d'écoulement des grands bassins et, surtout, aux bilans des bassins expérimentaux.

Au Congo Belge, des études théoriques et une expérimentation très importante ont été effectuées concernant la méthode du bilan d'énergie, l'utilisation des appareils Bellani et l'éva-

potranspiration potentielle. Il serait tout-à-fait souhaitable de multiplier le nombre de points de mesures.

Au Kénya, les observations sur bacs sont très développées : 61 bacs ont été utilisés en 1958. Certains ont été observés pendant de longues périodes. Un gros effort de normalisation a été effectué récemment. Ces appareils sont utilisés conjointement avec le Gunn Bellani.

Quelques calculs de bilans des grands lacs ont été effectués ; il est très difficile d'obtenir, pour l'évaporation, des résultats précis pour les raisons que nous avons données plus haut. Signalons des essais sur des marais, effectués en Ouganda. On s'attache plus particulièrement dans ce territoire à l'évaporation sur nappe d'eau encombrée de végétation. Comme pour la partie occidentale de la zone équatoriale, il serait de la plus haute importance d'étudier des sites particulièrement faciles pour le calcul de bilans hydrologiques de nappes d'eau.

## VI/- REGIONS TROPICALES AUSTRALES -

Nous admettrons une limite Sud un peu arbitraire mais commode : les frontières méridionales de l'Angola, de la Rhodésie du Sud et du Mozambique. Les raisons de ce choix sont les suivantes : dans le Sud de l'Angola et de la Rhodésie du Nord, la hauteur de précipitations annuelles diminue du Nord au Sud, il existe, dans la partie Sud de ces territoires, une bande Est-Ouest dont les conditions climatologiques rappellent celles de la zone sahélienne tropicale de l'hémisphère Nord que nous avons examinée plus haut ; mais cette bande ne se prolonge pas jusqu'à la côte de l'Océan Indien, car les précipitations augmentent graduellement depuis l'Est de la Rhodésie du Sud jusqu'à la côte, de sorte que le Sud du Mozambique et de la Rhodésie du Sud présente des régimes hydrologiques de caractère nettement tropical. Sous la même latitude, Bechuanaland et Sud-Ouest Africain sont des déserts. C'est pourquoi nous avons préféré incurver notre limite méridionale pour réunir un ensemble de territoires à tendances nettement tropicales. Nous y ajouterons Madagascar.

La densité des postes pluviométriques est assez faible en Angola, en Rhodésie du Nord, au Mozambique et à Madagascar, les pluviomètres sont, en plus, répartis de façon très irrégulière et c'est pourquoi nous ne donnons pas de valeurs précises

de la densité moyenne. En Rhodésie du Nord, par exemple, on peut tracer des carrés de 10 000 km<sup>2</sup> avec une densité de 1 pluviomètre pour 250 km<sup>2</sup>, alors que l'on peut en tracer d'autres de même superficie sans un seul pluviomètre. On peut même tracer un carré de 40 000 km<sup>2</sup> contenant deux pluviomètres seulement. Ceci rend difficile l'établissement de cartes d'isohyètes sans graves lacunes et la densité devrait être améliorée dans tous ces pays, surtout en dehors des régions peuplées.

En Rhodésie du Sud, la densité est beaucoup plus régulière : généralement, on peut compter sur un pluviomètre pour 200 km<sup>2</sup>, ce qui est suffisant, mais certaines régions, au Nord et surtout à l'Est, présentent des réseaux un peu trop lâches, qu'il serait nécessaire de compléter.

La durée des périodes d'observations est, en général, un peu supérieure à celle des stations de la zone précédente. Les plus anciennes datent de la période 1900-1910. Des postes assez nombreux présentent des observations portant sur une vingtaine d'années. Les réseaux ont été complétés il y a une dizaine d'années.

La densité des enregistreurs d'intensité est assez faible en général. Il s'agit là d'un facteur dont l'étude est importante, surtout en zone de savane.

Le réseau hydrographique de cette région comporte essentiellement le Zambèze, auquel il convient d'ajouter quelques fleuves côtiers : la Kouanza et la Kunene en Angola ; la Rufiji au Tanganyika ; la Rovuma, le Save au Mozambique. Le Limpopo coule à la limite Sud.

De façon générale, le réseau de stations limnimétriques est d'autant plus lâche que le bassin est plus aride et ceci est assez naturel puisque les régions arides, dans cette zone, sont très difficilement accessibles à la saison des pluies et que les crues y sont extrêmement courtes.

Il est nécessaire également de faire une distinction entre le réseau de Rhodésie du Sud et celui des autres territoires.

La Rhodésie du Nord comporte un peu moins de 100 échelles limnimétriques dont on peut estimer qu'une trentaine seulement sont assez bien étalonnées, ce qui correspond à une densité de moins d'une station pour 13 000 km<sup>2</sup>. La densité calculée dans les mêmes conditions est légèrement inférieure pour le Mozambique. Elle est beaucoup plus faible en Angola.

Pour l'avenir des études hydrologiques de ces régions, il est indispensable d'étalonner les stations limnimétriques existantes et d'améliorer la répartition.

Les observations ne s'étendent pas sur de longues périodes. En Rhodésie du Nord, les plus anciennes sont celles de Livingstone qui datent de 1924 et de Senanga qui datent de 1932, on trouve deux stations datant de 1948. Le réseau a commencé à se développer en 1950 et a surtout pris de l'extension en 1957. Au Mozambique et en Angola, la situation n'est pas plus favorable. Le Lac Nyassa qui a fait l'objet d'études approfondies fournit une indication repère intéressante puisque les observations continues remontent à 1916 et que l'on dispose de quelques données remontant jusqu'à 1896, mais ces renseignements sur l'hydraulicité ne sont pas transposables aux branches mères du Zambèze situées plus à l'Est. La durée des périodes d'observations est bien courte pour des études statistiques.

A Madagascar, la densité est à peine supérieure à celle du Mozambique ou de la Rhodésie du Nord puisque l'on compte 1 station bien étalonnée pour 19 000 km<sup>2</sup>, alors que les régimes hydrologiques sont beaucoup plus variés qu'en Rhodésie du Nord. Il serait nécessaire de poursuivre l'étalonnage et d'améliorer la répartition des stations, les durées d'observations sont très courtes, la station la plus ancienne date de 1948, le réseau a été installé entre 1951 et 1954. Etant donné que 20 % des stations pluviométriques seulement étaient installées il y a vingt ans, on voit que l'estimation précise de moyennes portant sur de longues durées est un problème assez difficile.

En Rhodésie du Sud, la situation est meilleure à bien des points de vue, il s'agit d'ailleurs d'une région dont le développement économique est plus avancé et où les études hydrologiques présentent un peu moins de difficultés.

Les stations du réseau ont été réparties autant que possible de façon homogène : on peut compter qu'une soixantaine de stations sont étalonnées sur un total de 120 stations limnimétriques environ, soit une densité de l'ordre de 1 station étalonnée pour 6.000 km<sup>2</sup>, ce qui est une densité très convenable pour l'Afrique tropicale. L'équipement de ces stations par des limnigraphes est très avancé : c'est le premier réseau de ce genre que nous rencontrons au cours de cet exposé depuis l'Afrique du Nord. Malheureusement, les durées d'observations sont courtes : on trouve une station datant de 1924, une de 1925, une de 1927, une de 1928, quelques stations en 1947-1948 et 1949, et il faut attendre 1950 pour voir se multiplier les postes d'observations. Comme en Algérie, on a cherché à suppléer à ce

manque de données par la détermination des relations entre écoulement et précipitations ; on a établi en particulier des courbes correspondant aux différents types de sol et de cartes d'isoplèthes.

Des recherches sur bassins expérimentaux ont été effectuées en quatre points de la Rhodésie du Sud ; elles ont surtout pour objet de déterminer l'influence des modifications de la couverture végétale sur les diverses caractéristiques de l'écoulement. Ces études sont combinées avec l'observation de parcelles.

En Rhodésie du Nord, certains bassins ont fait l'objet d'études hydrométéorologiques poussées pour déterminer le rapport entre écoulement et précipitations.

A Madagascar, un seul bassin expérimental a été exploité, deux autres sont en cours d'aménagement.

Il serait souhaitable que ce genre d'études s'étende à l'ensemble de cette zone climatique.

Pour la République Malgache, les relevés de débits des stations principales sont publiés dans l'Annuaire de la Communauté. La Rhodésie du Sud publie également son Annuaire hydrologique. La Rhodésie du Nord vient de diffuser son premier recueil de débits.

Les études de transports solides sont très développées en Rhodésie du Sud où l'érosion est considérable. Des prélèvements systématiques de matériaux en suspension sont effectués à un grand nombre de stations de jaugeages. Des appareils ont été standardisés. Des études sont effectuées actuellement pour la mise au point de stations d'observations continues des transports par suspension.

A Madagascar, quelques études de débits en suspension ont été effectuées ; il y aurait intérêt à ce qu'elles soient beaucoup plus développées, ainsi que les observations d'érosion sur parcelles.

Nous ne parlerons pas des études d'hydrologie souterraine car, dans les régions semi-arides où elles sont particulièrement développées, elles présentent les mêmes caractéristiques que dans la zone suivante.

Un bon réseau de bacs évaporatoires existe en Rhodésie du Sud où les appareils ont été standardisés. On étudie également les rapports entre différents types de bacs.

L'évapotranspiration fait l'objet d'une étude spéciale sur parcelles et sur lysimètres. On cherche également à déterminer par ce moyen la consommation en eau des diverses couvertures végétales.

En Rhodésie du Sud, au Nyassaland et à Madagascar, les études sur le terrain sont beaucoup moins avancées. Madagascar a cependant entrepris des études lysimétriques qu'il serait nécessaire de poursuivre pour préciser et compléter les cartes d'évapotranspiration potentielle établies jusqu'ici sur des bases théoriques.

#### VII/- ZONE DESERTIQUE AUSTRALE -

Il s'agit essentiellement du Sud-Ouest africain et du Bechuanaland, régions un peu moins arides, dans l'ensemble, que le Sahara.

Nous retrouvons, d'ailleurs, des caractéristiques très analogues à celles des études hydrologiques sahariennes : trop faible densité du réseau pluviométrique, très grande importance des études d'hydrologie souterraine.

Toutefois, la création par le Sud-Ouest Africain de réserves dans les alluvions sablonneuses des cours d'eau, a permis de donner aux études d'hydrologie superficielle un plus grand développement que dans le Sahara ; c'est ainsi que les volumes écoulés dans certains cours d'eau peuvent être calculés parfois sur des périodes de plus de 20 ans.

Cette méthode particulière de mise en réserve des apports des cours d'eau apporte une documentation de tout premier ordre sur le charriage.

Les ressources en eaux souterraines sont très inégales, on ne retrouve plus les possibilités du continental intercalaire saharien. Les zones dolomitiques du Sud-Ouest Africain présentent quelques sources importantes, quelques nappes artésiennes. Les alluvions récentes des cours d'eau temporaires sont également utilisées. L'exploitation de ces nappes est assez poussée car c'est la principale ressource en eau du pays. Les puits et forages ont fait l'objet d'études systématiques, de sorte que la connaissance des nappes souterraines est assez avancée. Comme sur les limites Nord du Sahara, l'exploitation risque souvent d'être





Le réseau hydrographique correspond au bassin versant rive droite du Limpopo, au bassin de l'Orange et de son affluent le Vaal, et de nombreux petits fleuves côtiers.

On compte 320 stations de jaugeages dont 270 peuvent être considérées comme bien étalonnées. La densité moyenne serait de 1 station pour 4 000 km<sup>2</sup> mais, sur la moitié du territoire, le réseau hydrographique est presque inexistant, de sorte que la densité à prendre en considération, pour les régions de l'Est et du Sud est de l'ordre de 1 station pour 2 000 km<sup>2</sup>, densité très acceptable. Les périodes d'observations sont assez longues : 20 stations sont installées depuis 55 ans. Cet ensemble d'observations, qui pourrait satisfaire les hydrologues tropicaux, est juste suffisant pour un territoire où l'irrégularité interannuelle est très grande et où les variations d'abondance sont considérables, d'un bassin à un autre.

De très petits bassins expérimentaux sont étudiés en vue de la recherche du volume annuel disponible pour l'alimentation des nappes. On étudie le type de couverture végétale donnant lieu au meilleur rendement d'infiltration.

L'érosion est importante : les transports solides en suspension sont étudiés systématiquement à 80 stations. Bassins expérimentaux et parcelles d'érosion complètent ce réseau.

On fait largement appel aux ressources souterraines pour l'alimentation des fermes isolées, des agglomérations et pour l'irrigation, mais ces ressources ne sont pas très abondantes. Dans les calcaires dolomitiques, on trouve un certain nombre de sources dont les débits sont parfois élevés. Il y a également d'assez nombreuses sources thermales.

Peu de nappes artésiennes. Les forages utilisent le plus souvent les parties superficielles des roches cristallines plus ou moins altérées ou diaclasées, les terrains dolomitiques recoupés de dykes et les formations dures du Karoo. Les hydrogéologues étudient systématiquement les résultats de plusieurs dizaines de milliers de forages. Les méthodes géophysiques ont été adaptées aux conditions particulières du pays. L'emploi des photographies aériennes est généralisé pour la prospection. On cherche à relier les données de bassins expérimentaux à celles de forages ; un véritable bassin expérimental souterrain a même pu être aménagé, grâce au cloisonnement des dykes dans la masse des dolomites. Les besoins en eau importants et l'exploitation intensive des ressources souterraines imposent absolument une étude précise de leur alimentation.

L'étude de la qualité des eaux est systématique.

Dans le domaine de l'évaporation, un réseau important de bacs évaporatoires a été installé : 150 stations équipées de bacs Symons, remplacés peu à peu par des bacs de classe A du U.S. Weather Bureau, au nombre de 70 actuellement.

Il n'a pas été possible, dans cet exposé, de présenter toutes les études intéressantes exécutées dans les différentes parties de l'Afrique, ni de détailler, pour chaque territoire, les études à entreprendre dans les divers domaines de l'hydrologie. Il aurait été nécessaire pour cela de consulter les principaux climatologues, hydrologues, hydrogéologues et agronomes dans divers territoires et même de parcourir assez longuement certaines régions africaines que nous n'avons jamais visitées. Les courts délais qui nous étaient impartis ne nous l'ont pas permis.

Il y a certainement de nombreux points qui nous auront échappé, peut-être notamment des études récentes dont nous n'aurions pas eu connaissance, ayant consulté pour quelques territoires les documents anciens de quelques années sans avoir pu prendre contact avec les hydrologues de ces pays.

D'autre part, c'est à dessein que, laissant de côté les études théoriques, nous nous sommes attachés plus particulièrement à l'examen, dans les divers pays, de l'ensemble des observations et des mesures. On peut dire que presque toute l'Afrique souffre d'observations trop rares ou portant sur des périodes trop courtes. C'est là où doivent porter les efforts des hydrologues. Le raisonnement le plus subtil ne peut suppléer à une masse d'informations insuffisantes. Combien de fois les hydrologues africains doivent-ils calculer un module, un débit de crue exceptionnelle, une lame d'eau évaporée, à partir de données insuffisantes et combien de fois un statisticien rigoriste devrait se voiler la face devant les audaces auxquelles ils doivent bien se résoudre. Il faut bien fournir une réponse au constructeur de barrage, à l'ingénieur agronome, au constructeur de pont et on ne peut pas lui dire d'attendre dix ans de plus que la série d'observations devienne suffisante !

Il faut donc s'efforcer, d'abord, pour l'hydrologie superficielle, de compléter les réseaux de base lorsqu'ils sont insuffisants, achever de les étalonner et, surtout, veiller à la

continuité des observations et ceci, en Afrique, n'est pas une opération passive. Il faut visiter les lecteurs tous les deux ou trois mois, remettre en place les échelles bousculées par les bateaux, réparer les limnigraphes, faire des tournées de jaugeages de contrôle, jauger les débits extrêmes, ce qui, dans certains cas, constitue de véritables exploits sportifs, et le tout, en faisant abstraction totale des maladies, des départs du personnel, des réductions inopinées de crédits et, s'il y a lieu, des bouleversements politiques.

L'expérience a montré que ceci n'était possible que par la création de Services Hydrologiques locaux dont l'activité soit consacrée exclusivement aux études hydrologiques. Des missions temporaires de spécialistes peuvent apporter un concours très efficace à la création de ces Services, mais leur collaboration est surtout précieuse pour les études spécialisées relatives aux divers projets d'aménagements. Dans ce cas, après le départ de la mission, les données rassemblées peuvent être rattachées à quelques stations du réseau de base, exploité en permanence.

Les études sur bassins expérimentaux sont particulièrement utiles dans les pays d'Afrique ; elles suppléent à la brièveté des périodes d'observations et permettent de comprendre le processus de l'écoulement. Elles doivent être complétées par des études fines des précipitations, nécessaires d'ailleurs pour les études d'érosion.

Les études d'évaporation doivent tendre vers une standardisation des méthodes et des instruments, mais cette standardisation ne peut être trop poussée. Il n'est pas possible de trouver des appareils donnant toute satisfaction entre les isohyètes 20 mm et 4 000 mm. Il sera nécessaire, surtout pour l'évaporation, de disposer d'un certain nombre de stations où seront déterminés, pour les divers types de climats, les coefficients de correction entre les appareils standards et les appareils anciens. On devra s'attacher à rechercher des lacs ou étangs pouvant donner lieu à des calculs aussi précis que possible de l'évaporation pour l'établissement hydrologique. Il y en a fort peu qui puissent donner lieu à des estimations précieuses, car ceci requiert des conditions un peu exceptionnelles. Les observations sur l'évaporation des nappes à faible profondeur et sur l'évapotranspiration doivent être beaucoup plus développées, autant que possible en liaison avec les études de bilans de bassins expérimentaux et avec le calcul des déficits d'écoulement sur grands bassins.

En ce qui concerne les mesures de transports solides, il serait nécessaire de multiplier : les mesures de sédimentation dans les réservoirs, les mesures dans des fosses expérimentales qui, seules, peuvent permettre la mesure du charriage. Il serait également nécessaire de standardiser et de multiplier

les mesures sur parcelles expérimentales, mais là aussi, plusieurs types de parcelles standards s'imposent. L'installation de stations de mesures continues, telles que celles que l'on met au point en Rhodésie du Sud, est à étendre à de nombreuses parties de l'Afrique.

En hydrologie souterraine, le caractère de la permanence des mesures et de la durée des observations est beaucoup moins nécessaire. Mais, par contre, le travail à accomplir dans certains territoires est considérable et demandera beaucoup de temps. On doit s'attacher au travail de base : géologie, cartographie, nivellement, et ne pas négliger les facteurs quantitatifs, en particulier l'alimentation des nappes, si difficile que ce problème puisse paraître.

La coordination des études sur certains grands bassins et surtout l'échange systématique des résultats obtenus et des méthodes de travail entre territoires nous semblent absolument indispensables.

Tout ceci sera très coûteux, d'autant plus que les difficultés naturelles, propres à la majeure partie du continent africain conduisent, pour le même travail, à des dépenses nettement plus fortes qu'en Europe ou aux Etats-Unis. On peut alors être amené à se demander si les frais correspondant à ces études sont bien en rapport avec la faible activité économique et la faible densité de populations de certains territoires. C'est là un point de vue qu'il n'est pas inutile de considérer. Il permet parfois de limiter les études à un niveau plus raisonnable ; c'est par exemple une des raisons pour laquelle nous admettons, pour certains régimes, une densité de 1 station pour 10 000 km<sup>2</sup>. Mais c'est précisément parce que la majeure partie de l'Afrique est pauvre que l'on doit s'attacher à améliorer sa productibilité ce qui rend parfaitement plausible des études d'hydrologie coûteuses, moyennant, bien entendu, certaines conditions. Enfin, on ne doit jamais oublier, sur le plan de la rentabilité qu'un résultat hydrologique peut être utilisé dix ou quinze ans après qu'il ait été recueilli. Ceci suppose donc une politique de recherches à longue échéance et qui ne soit pas restreinte à quelques zones intéressantes dans l'avenir immédiat.