

CONFERENCE INTERAFRICAINNE
sur l'HYDROLOGIE

Session Plénière
Point 2
"Fleuves de l'Afrique de l'Ouest "

(NAIROBI, 16-26 Janvier 1961)

HYDROLOGIE en AFRIQUE de l'OUEST

Par Claude AUVRAY

Hydrologue, Directeur de Recherches
à l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer

Décembre 1960

Le problème de l'eau commence à se poser partout, même dans les régions tempérées où les besoins sont devenus énormes. La notion de l'eau, véritable cadeau gratuit aux réserves inépuisables gaspillées à merci, s'efface dans ces pays pour laisser place au concept réfléchi d'une utilisation plus rationnelle.

Il y a longtemps que ces choses sont connues au travers du Continent Africain. L'eau peut y être rare, c'est alors le bien le plus précieux. Si elle est abondante, elle sera suivie bientôt par une dure saison sèche.

Toute l'AFRIQUE ou presque connaît donc le prix de l'eau mais ce prix y varie du Nord au Sud. L'intérêt porté à l'Hydrologie varie de la même façon. Il est grand mais les moyens d'action de l'homme sont dérisoires dans les confins désertiques où la nature n'a pas daigné accorder le premier don, c'est l'inverse vers la bande côtière équatoriale.

L'aspect humain du problème de l'eau admet donc les mêmes critères que ceux qui différencient les régimes hydrologiques des cours d'eau de l'Ouest-Africain.

Lorsqu'on veut classer des régimes hydrologiques différents, on se trouve, en fait, amené à étudier le et les facteurs conditionnels du régime qui interviennent d'une manière prépondérante.

En EUROPE Occidentale, c'est surtout l'altitude (régime de rétention nival ou glaciaire opposé au régime de plaine) et, parfois, les conditions climatiques (régime océanique et régimes d'orages méditerranéens) qui sont les facteurs dominants.

En AFRIQUE Occidentale, c'est toujours la pluviosité qui constitue le facteur conditionnel fondamental du régime. Nous entendons par pluviosité, non seulement les indices quantitatifs (pluviométrie) mais encore la manière dont s'effectuent les précipitations (pluies tropicales violentes ou pluies fines mouillantes de mousson). Après la pluviosité, viennent l'hygrométrie et l'insolation qui conditionnent l'évaporation en nappe libre et l'évapotranspiration, puis, très loin derrière dans l'ordre d'influence sur le régime, la dimension du bassin, la nature du sol et, enfin, le relief.

Notons, cependant, qu'en zone subdésertique où l'endoréisme est latent, la superficie du bassin intervient de façon très importante dans les caractères du régime, contrairement aux régimes plus classiques pour lesquels un grand bassin a le même régime qu'un plus petit, à un coefficient près. Les grands bassins doivent, dans ce cas, être considérés comme une mosaïque de petits pratiquement indépendants, puisque le transfert des eaux d'écoulement, même dans les lits principaux, est toujours réduit à quelques dizaines de kilomètres et s'annule rapidement.

En outre, il est évident que si l'on ne s'intéresse qu'à des bassins de très faibles superficies, l'importance du relief croît très vite ainsi, d'ailleurs, que celle de la couverture végétale.

Il est donc logique que les limites, sur la carte des différents régimes des cours d'eau de l'Ouest Africain, choisis par les hydrologues, se confondent avec des courbes isochyètes. Mais il ne faut donner à ces frontières qu'une valeur indicative du fait que les facteurs secondaires du régime ne sont pas complètement négligeables.

Les hydrologues considèrent les appellations qui vont suivre plutôt comme des locutions définissant des régimes-types connus, en quelque sorte, des régimes parfaits, sans attacher trop d'importance aux limites géographiques.

On distingue du Nord au Sud :

- 1°) Régime subdésertique :

Au Nord, il peut ne pas pleuvoir certaines années; au Sud, les précipitations sont toujours concentrées pendant une courte saison des pluies (2 à 3 mois). Les averses donnant lieu à un ruissellement sont en petit nombre (2 à 4). Suivant la nature du sol et la pente, le coefficient de ruissellement par averse peut être élevé mais l'écoulement dans l'Oued ne dure que quelques heures. L'irrégularité interannuelle des coefficients d'écoulement suffit à décourager toute tentative d'accumulation dont, par surcroît, l'évaporation pendant la pénible saison sèche, absorberait la quasi-totalité.

Les réseaux hydrographiques n'ont, en général, aucune extension, les eaux disparaissent rapidement par infiltration dans les lits ou évaporation dans les cuvettes d'épandage, créées souvent par les bouchures d'affluents secondaires.

Ce régime s'étend jusqu'à une limite pluviométrique supérieure, variable suivant le degré d'envahissement des dépôts sableux : 150 à 200 mm par an représentent des valeurs convenables.

- 2°) Régime sahélien (ou variante sahélienne du régime tropical) :

Les réactions des bassins dépendent étroitement de la pluie. Il y a, chaque année, un écoulement. Le nombre des crues séparées sur des bassins moyens varie de 2 à 10. Pour chacune d'elles, la durée de l'écoulement varie de quelques heures à quelques jours ; l'écoulement n'est jamais permanent et c'est ce qui caractérise ce type de régime. Ce critère se maintient jusqu'à des régions soumises à des pluviométries annuelles voisines de 700 mm. Cette ligne isohyète correspond sensiblement au 14ème parallèle Nord à l'Ouest et au 11ème parallèle Nord à l'Est de la zone sahélienne. La végétation est typique, marquée par l'apparition des épineux.

L'eau y existe, mais pendant très peu de temps, car les saisons sèches sont sévères et le climat dur. Nous verrons, plus avant, que c'est la zone de prédilection des hydrologues et des hydrogéologues, parce que le "problème de l'eau" s'y pose partout d'une façon chronique.

Cette bande sahélienne est traversée par trois des grands bassins fluviaux de l'Afrique de l'Ouest : le SENEGAL, le NIGER et les tributaires du LAC TCHAD. Nous exposerons sommairement leur régime à part.

- 3°) Régime tropical :

Par rapport au régime précédent, les changements sont progressifs. Sa limite géographique inférieure oscille entre le 8ème parallèle Nord (à l'Ouest) et le 5ème parallèle Nord (à l'Est), le long d'une ligne passant par PREETOWN, BOUAKE et BANGUI.

Dans la partie méridionale de cette bande, des facteurs conditionnels du régime, comme le relief (Massif du FOUTA DJALLON, Monts CAMEROUN), la proximité immédiate de la côte ou l'apparition de la forêt, deviennent influents et rendent plus lâche le rattachement du régime au critère pluviométrique fondamental.

La saison des pluies est toujours groupée avec un seul maximum, mais elle dure plus longtemps.

Les cours d'eau sont permanents mais les étiages en fin de tarissement sont encore rigoureux.

La recherche de l'eau n'est plus le souci essentiel de l'homme : il lui faut, au contraire, protéger sa terre contre l'érosion.

- 4°) Régime équatorial :

Il pleut presque toute l'année mais la pluviométrie mensuelle marque un net fléchissement en Juillet-Août. Les hydrogrammes annuels présentent alors deux pointes de crues. Au Nord, la poussée d'Octobre-Novembre reste encore prépondérante, mais cette différence ne tarde pas à disparaître.

A l'état pur, ce régime est peu représenté en Afrique de l'Ouest.

- 5°) Régime du SENEGAL :

Son régime est presque tropical pur à la sortie du Haut Bassin ; petites pointes de crues espacées en Juin-Juillet, rapide montée des eaux en Août, poussée maximale en Septembre, décrue rapide en Octobre avec pointes secondaires, tarissement exponentiel jusqu'à l'étiage absolu toujours très rigoureux (quelques m³/s à BAKEL).

A l'aval de la "vallée", la crue est régularisée par les débordements et les pertes, les pointes s'estompent et disparaissent dans le delta, la durée de la crue s'étale. Entre BAKEL et DAGANA, les amplitudes maximales sont décalées de 30 à 35 jours, le volume annuel atteignant 25 milliards de m³. L'amplitude de la crue à l'embouchure est le 1/10^e de sa valeur à BAKEL.

- 6°) Régime du NIGER :

A l'aval de ses branches supérieures, le régime du NIGER est comparable à celui du SENEGAL dans la même partie de son cours avec, cependant, des débits spécifiques de crues plus

élevés et des étiages plus abondants.

Le franchissement du delta intérieur en zone sahé-
lienne, par effluences et accumulation, transforme la crue tro-
picale en une sinusoïde presque pure à la station de DIRE, mais
les pertes annuelles dans la cuvette lacustre varient de 25 à 55
milliards de m³ suivant l'hydraulicité de l'année. Le décalage
des amplitudes maximales entre KOULIKORO et DIRE atteint 100
jours en année abondante. Le NIGER débite à DIRE 35 milliards
de m³.

A MALANVILLE, la crue du Haut Bassin arrive en Fé-
vrier-Mars mais elle est déjà inférieure à la crue locale de
Septembre. Cette dernière ira en s'amplifiant jusqu'à BARO,
mais la première contribue efficacement à augmenter les débits
d'étiage du cours inférieur.

Le NIGER, en aval de NIAMEY, combine donc harmonieu-
sément les eaux provenant de deux saisons des pluies successives.

- 7°) Régime du CHARI :

Une partie importante des branches mères du CHARI ;
LOGONE, BAHR SARA, présentent un régime comparable à celui des
branches mères du NIGER, mais avec une abondance plus faible,
par suite de l'influence continentale donnant lieu à des pré-
cipitations annuelles moins fortes. A leur entrée dans la cuvette
tchadienne, ces cours d'eau débordent dans de vastes plaines
d'inondations ou même, comme le LOGONE, perdent une partie im-
portante de leur débit par des effluents, comme le NIGER dans la
cuvette lacustre. Il en résulte également une courbe de régime
très régulière avec des étiages soutenus, mais le décalage des
ondes de crues entre l'amont et l'aval est plus faible puisque
le maximum se produit en Novembre à FORT-LAMY. Le volume annuel
apporté par le CHARI au LAC TCHAD est de 38 milliards de m³.

- 8°) Régime de la VOLTA :

Contrairement aux fleuves précédents, la VOLTA se
dirige vers le Sud : ses branches mères naissent en zone tropi-
cale ou même sahélienne et sont parfois à sec pendant six mois
de l'année. Elles reçoivent, en descendant vers le Sud, des
affluents de plus en plus abondants, de sorte qu'au site du
barrage d'AJENA, la VOLTA présente un hydrogramme annuel assez
voisin de celui du NIGER avant son entrée dans la cuvette lacus-
tre, avec des débits d'étiage assez faibles et une pointe de
crue assez aigüe. Le volume annuel est de l'ordre de 36 milliards
de m³.

- 9°) Régime de la SANAGA :

Ce cours d'eau au bassin beaucoup moins étendu que les précédents est fort bien alimenté. Il comporte la totalité de ses affluents dans la zone tropicale de transition. La pente moyenne est forte, les étiages moyens sont élevés : ils approchent 500 m³/s.

La SANAGA apporte à l'Océan Atlantique 70 milliards de m³ par an.

CONSIDERATIONS sur l'EQUIPEMENT HYDROLOGIQUE de l'OUEST AFRIQUE -

Il s'avère impossible de juger de l'équipement hydrologique optimum pour une région en voie de développement, en ne tenant compte exclusivement que de considérations scientifiques pures.

Le rassemblement de données limnimétriques est toujours un pari sur l'avenir et de tels résultats ne sont souvent utilisés que 10 ou 15 ans plus tard. Leur valeur est alors sans commune mesure avec leur prix de revient réel, puisqu'ils peuvent conditionner plus ou moins économiquement des aménagements hydrauliques très importants.

On peut dire que, pour les grands systèmes fluviaux des régions tropicales et tropicales de transition, la poursuite d'observations limnimétriques de qualité est sans conteste l'investissement le plus rentable qui soit.

A l'extrême opposé, dans les régions arides où l'homme ne peut vivre qu'en pasteur nomade pendant quelques mois de l'année afin de profiter des maigres pâturages d'hivernage en dévastant, d'ailleurs, souvent le pays, lorsque les conditions hydrologiques et climatologiques ne se prêtent pas, ou très mal, à la moindre accumulation d'eau, lorsque les sols enfin sont trop pauvres pour supporter sans se délabrer des cultures répétées, il devient alors nécessaire de réviser la notion subconsciente de l'homme occidental et admettre qu'il est dans la nature des terres incapables de "nourrir leur homme". Il est alors inutile d'y entretenir à grands frais un réseau de stations d'une manière continue. Il n'est d'autre méthode que d'explorer pendant peu de temps (une campagne d'hivernage sur le terrain, par exemple) une zone homogène bien déterminée (hydrologie extensive par observations directes des écoulements d'Oueds pendant les pluies

Entre ces deux cas diamétralement opposés, on trouve une zone où l'homme commence à se sédentariser et s'accroche désespérément à sa pauvre terre en cultivant quelques arpents de mil au fond d'une cuvette qu'il a espéré voir se remplir ; là, le problème de l'homme et de l'eau se pose et il entraîne parfois un choix bien délicat.

En régime subdésertique, il est impossible d'exploiter un réseau de limnimètres en raison des difficultés d'accès et de l'impossibilité de recrutement d'observateurs.

D'autre part, les incertitudes interannuelles de l'écoulement interdisent, en général, tout espoir d'aménagement susceptible d'améliorer raisonnablement les conditions de vie des rares pasteurs. A fortiori, il ne peut y être question d'y installer des appareils enregistreurs fonctionnant isolément : leur contrôle et leur entretien seraient trop coûteux.

Néanmoins, ainsi que nous l'avons signalé, il peut être intéressant, pour prévoir une demande impérative de renseignements (alimentation obligatoire en eau de postes isolés, besoins en eau d'exploitations minières en zone désertique), d'effectuer quelques campagnes d'études hydrologiques extensives dans une région bien choisie (études préconisées par M. RODIER dans son rapport UNESCO de Décembre 1959).

En pluviométrie, il serait simple et économique d'installer des pluviographes journaliers dans les quelques postes administratifs situés aux confins sahariens. L'entretien pourrait en être confié aux fonctionnaires responsables. L'installation, dans les mêmes conditions, d'un bac COLORADO à évaporation, enterré, serait également à recommander. Il paraît difficile de faire plus.

En zone de régime sahélien, le problème est différent. L'accumulation des eaux superficielles est susceptible de favoriser les groupements humains, mais le régime de l'écoulement est fort complexe. C'est la zone des études délicates et des cuisantes déceptions. L'Hydrologie interfère avec l'Hydrogéologie. Au Nord d'une certaine isohyète (400 à 500 mm), les hydrogéologues pensent qu'aucune alimentation directe des nappes n'est possible autrement que par infiltration forcée (lit ensablé de cours d'eau, ou barrage d'enrichissement de nappe).

C'est la zone des vives controverses entre spécialistes (évaporation des nappes, utilité contestée de la végétation arbustive, accusée d'aspirer inutilement la nappe sous-jacente, choix entre barrages d'accumulation et mares artificielles). Les possibilités de remplissage des barrages sont juste à la limite de l'évaporation, les retenues ne peuvent être

pérennes que si elles sont judicieusement choisies et étudiées. Il est parfois possible, en calculant bien tous les risques, de construire des barrages à retenue totale en supprimant les déversoirs onéreux.

Enfin, c'est la zone où les digues en terre, malmenées par des crues imprévues, fondent comme neige au soleil, où de petites retenues aménagées sans études préalables suffisantes ne se remplissent qu'une année sur trois.

De plus, la bande tropicale sahélienne, prédilection des hydrologues, intéresse une surface considérable : une grande partie du SENEGAL, de la MAURITANIE, du MALI, du NIGER, du TCHAD et le Nord de la HAUTE-VOLTA.

La densité des pluviomètres y est largement suffisante pour permettre le tracé convenable des isohyètes dans une région où les "accidents" pluviométriques sont inexistantes. On s'aperçoit d'ailleurs de plus en plus que la notion de pluviométrie annuelle n'a que peu d'importance en hydrologie sahélienne où toute étude profitable doit se conduire en partant de l'averse élémentaire et non des précipitations mensuelles ou hebdomadaires. Il se pose alors le problème des appareils enregistreurs journaliers de préférence. On peut compter sur les doigts d'une seule main, ceux qui fonctionnent convenablement dans la bande considérée. C'est très nettement insuffisant.

Nous estimons qu'il faudrait, en ces pays, repenser complètement l'appareil lui-même qui, malgré sa simplicité apparente, ne peut, nous l'avons vérifié maintes fois pendant 10 ans, être confié à une personne non spécialisée. Il exige un contrôle trop assidu et des interventions trop fréquentes et délicates. Voici, à notre avis, quelles devraient être les qualités d'un pluviographe susceptible de rendre de grands services dans ces régions déshéritées :

- Système d'enregistrement sur bande déroulante continue
- Autonomie pratique de 4 mois (durée de l'hivernage)
- Système d'inscription sans encre susceptible de se dessécher
- Mécanisme de remise à l'heure par simple manœuvre d'un bouton accessible facilement au moyen d'une clef
- Système évitant l'obstruction de l'entonnoir pendant les coups de vent précédant la précipitation
- Enfin, étanchéité et robustesse à toute épreuve.

Notre bande sahélienne mesure plus de 3.500 kilomètres de long sur 500 à 600 de large ; il faudrait y installer au moins une vingtaine d'appareils de ce genre confiés, dans chaque poste choisi, au représentant du Gouvernement.

Bien entendu, les appareils proposés pour la zone sub-désertique devraient également être de ce type.

Du point de vue limnimétrique, il n'y a pas, dans la partie Nord de la bande (pluviométrie inférieure à 400 mm) de solution satisfaisante.

Il n'est plus possible de placer un appareil à proximité immédiate et sous le contrôle commode du poste administratif : ils sont trop loin des cours d'eau intéressant dans la presque totalité des cas. Nous sommes donc conduits à éliminer les appareils enregistreurs (limnigraphes) sauf dans le cas d'études poussées prévoyant la présence de techniciens sur le terrain. Des appareils entièrement automatiques (transmission électronique par exemple) ne seraient malheureusement pas en rapport avec les ressources du pays.

Nous devons donc nous rabattre sur des échelles classiques, installées en plus grand nombre sur les Oueds traversés par les pistes principales. Les fonctionnaires locaux, à l'occasion de passages, liraient ces échelles et classeraient les documents. Chaque passage de l'observateur devrait permettre de connaître l'amplitude de la dernière crue. On voit le gros intérêt de mettre au point un produit liquide qui, étalé sur l'échelle, permettrait, après le passage de l'eau, d'apprécier la hauteur maximale (dissolution par l'eau d'un produit, modification chimique du composant au contact de l'eau, réaction commune de deux produits en présence d'eau s'écoulant horizontalement, afin d'éviter les perturbations causées par les pluies, action d'un sel colorant, etc ...)

Jusqu'à maintenant, les essais effectués avec des solutions solubles simples (chaux, argile, etc ...) n'ont pas donné de bons résultats.

De toute manière, il est évident que la carence de bons relevés limnimétriques se fera toujours sentir, plus que celle des données pluviométriques.

Il est donc obligatoire, pour valoriser les données limnimétriques recueillies et chiffrer les débits, d'effectuer sur le terrain quelques campagnes d'études hydrologiques. L'homogénéité relative des conditions de ruissellement et d'écoulement dans une région convenablement délimitée, fait que ce procédé demeurera financièrement acceptable.

D'une façon générale, dans la partie Nord de la bande, il faudra rester très prudent, éviter de se lancer dans des études trop précises, partant trop coûteuses et s'assurer soigneusement, avant d'installer un appareil, qu'il sera rigoureusement entretenu et exploité.

Ainsi que nous l'avons dit, les problèmes posés aux hydrologues sont liés à l'hydrogéologie. La mise en oeuvre de points d'eau permanents ne peut être que rarement obtenue par accumulation d'eau superficielle, il faut y ajouter l'exploitation d'une nappe locale suralimentée.

Il est donc impératif de rechercher, en mettant à profit des campagnes hydrologiques de petits bassins versants expérimentaux, à réaliser des études de bilans complets (écoulements superficiels, évaporation, mouvements de la nappe) en y intéressant les hydrogéologues (expérience de l'étude de la nappe phréatique du Lac d'ALEG en République Islamique de MAURITANIE).

Dans le même ordre d'idées, toutes les recherches quantitatives de l'évaporation sur bac sont à recommander. Les évaluations actuelles sont en net progrès, il resterait à préciser les valeurs applicables pour certains microclimats sahéliens.

Dans la partie Sud de la bande tropicale sahélienne (de 500 à 700 mm), toutes ces difficultés sont déjà atténuées. La pluviométrie annuelle suffit à alimenter les nappes. L'eau vitale existe, il s'agit plutôt en l'exploitant mieux d'améliorer les rendements culturels. Nous rejoignons les conditions de la bande tropicale où les problèmes de rentabilité, pratiques, moins sentimentaux, sont de loin plus commodes à résoudre.

La zone tropicale présente des potentialités de développement plus évidentes (répartition démographique, meilleure fertilité des sols, abandon possible des monocultures).

Des problèmes d'infrastructure se sont d'abord posés et les hydrologues ont dégagé les renseignements indispensables aux calculs de dimensionnement des ouvrages routiers et hydro-agricoles (détermination des crues maximales, de leur durée d'écoulement, des coefficients d'écoulement et de ruissellement par averse, pour des bassins versants réduits de 25 à 100 km²).

De 1954 à 1960, de longues études de ce genre sur des bassins expérimentaux (18 en zones tropicale et sahélienne), commencées sans retard, ont porté leurs fruits. Elles ont là aussi contribué à attirer l'attention des Pouvoirs Publics sur l'insuffisance des moyens météorologiques classiques pour saisir les caractéristiques d'intensité des averses tropicales.

L'installation d'appareils enregistreurs journaliers est donc encore souhaitable, d'autant plus que les postes admi-

nistratifs plus nombreux comportent souvent des représentants des Services Techniques qui pourraient être chargés de leur contrôle. L'opération se réduirait seulement à des frais et des délais d'équipement fort modestes.

Du point de vue limnimétrique, les conditions de circulation plus aisées font que, sur tous les cours d'eau tropicaux ou tropicaux de transition, des réseaux de stations ont été mis en place, dont l'exploitation malheureusement dépend souvent de l'existence ou non d'un Service Hydrologique embryonnaire dans l'Etat considéré.

En outre, l'établissement de puissantes missions d'aménagements fluviaux (Mission d'Aménagement du Sénégal, Mission d'Etude et d'Aménagement du Niger, Commission Scientifique du Logone et du Tchad, Missions d'Etudes de la VOLTA) ont cristallisé les efforts de recherches hydrologiques sur ces grands bassins qui apparaissent souvent, à l'heure actuelle, presque suréquipés en regard des autres cours d'eau plus effacés du territoire.

Ces missions visaient alors à réaliser de grands aménagements coûteux, et dont l'étude était délicate. La tendance actuelle, au contraire, préfère justement des aménagements plus modestes mais réagissant rapidement sur les collectivités rurales. Il s'agit maintenant d'équiper des bassins intermédiaires (de 500 à 1.500 km²) pour lesquels l'hydrologie est encore assez mal connue et où les relevés d'échelles sont inexistant ou trop récents.

Il y a, dans ce domaine, un gros effort à fournir sans retard en persuadant les Pouvoirs Publics de l'importance pour l'avenir de l'activité permanente d'un hydrologue responsable du réseau hydrologique national. L'installation de nouvelles échelles sur ces bassins de dimensions intermédiaires non pourvus et l'exploitation des réseaux existant déjà est une tâche urgente qui ne peut entraîner que des dépenses minimales.

Les études analytiques de crues sur petits bassins versants ont transposé le problème des débits de crues en un problème de pluviométrie statistique : délimitation des intensités de précipitations ponctuelles en fonction de leur durée moyenne et de leur fréquence de récurrence, valeurs des coefficients d'abattement à prévoir pour passer des averses ponctuelles aux hauteurs moyennes tombées sur un bassin donné.

La durée des périodes d'observations sur pluviographes et leur nombre sont trop faibles pour mener à bien une telle étude en ne partant uniquement que des bandes d'enregistrement journalières. Des essais ont été entrepris pour revalo-

riser dans le sens de la détermination d'intensités moyennes les relevés de 24 heures comportant des indications d'horaires de début et de fin d'averse. Grâce à la nature même de la pluviosité tropicale, ces totaux de 24 heures correspondent le plus souvent à une ou deux précipitations isolées dont on peut, a priori, supputer approximativement la loi de répartition des intensités.

Les bouleversements politiques récents ont retardé une telle étude de la pluie portant sur l'ensemble de l'Ouest Africain, prévue dès 1958. Elle est commencée actuellement à une échelle plus réduite (Territoires du SENEGAL et du MALI), mais il serait souhaitable que tous les Etats intéressés en reprennent l'idée et que les résultats soient refondus en une vaste étude de synthèse en Afrique Occidentale Tropicale. Nous donnerons le canevas général de ce travail au chapitre "Etudes générales en cours".

Enfin, dans la zone de régime tropical (sahélien compris), les phénomènes d'érosion demeurent toujours mal connus. Les résultats apportés par des aménagements de pente sont souvent visibles à l'oeil nu et ne font pas souvent l'objet de mesures quantitatives. Les dépôts perméables dans les cuvettes d'accumulation ont l'avantage de protéger une partie de l'eau de l'évaporation : on peut la récupérer facilement au moyen de petits puisards. Le colmatage des cuvettes destinées à l'enrichissement des nappes est nettement plus grave, mais la technique n'en est encore pas très répandue.

Le problème de la mesure des transports solides n'apparaît donc pas comme de première urgence, mais il serait sage de préparer l'avenir en effectuant des mesures dans les cuvettes naturelles ou artificielles existantes.

L'hydrologie des grands bassins fluviaux (SENEGAL, NIGER, LAC TCHAD) a largement profité des dotations financières attribuées aux Missions d'Etudes. Un dispositif limnimétrique aussi dense que celui des grands fleuves européens a rapidement été mis en place de 1950 à 1958, très souvent de manière systématique afin d'avoir rapidement des données nombreuses exploitables au moment venu. Le nombre des stations limnimétriques est passé de 3 à 32 pour le SENEGAL et de 4 à 68 pour le NIGER (non compris le réseau plus ancien du NIGERIA), de 3 à 60 pour l'ensemble CHARI-LOGONE.

Depuis 1958, certaines missions fédérales ont dû se transformer en organismes inter-états dont la mise en place et le fonctionnement sont influencés par les courants politiques. La Commission Logone-Tchad a été remplacée par le Centre de Recherches Tchadiennes. Il va de soi que les budgets de ces nou-

veaux Services ont souffert de cette réorganisation profonde. Cependant, il faut louer les efforts des nouveaux organismes qui ont permis, malgré les difficultés, de maintenir jusqu'à l'heure actuelle les réseaux limnimétriques en état de fonctionnement.

Il convient d'encourager vivement les responsables techniques et les Pouvoirs Publics à poursuivre ces efforts sans découragement, en évitant de les sacrifier à des demandes techniques plus pressantes dans l'immédiat.

Le fonctionnement d'un réseau d'échelles s'appuie beaucoup sur les Services purement administratifs plus largement dispersés dans le pays que les Services d'Etudes qui ont tendance à se grouper dans les grands Centres.

Nous pensons qu'il serait profitable d'éveiller leur attention en propageant des brochures exposant clairement, avec de nombreux exemples à l'appui, l'intérêt flagrant que présente pour l'avenir l'accumulation d'observations de bonne qualité et continues, portant sur les stations de mesures des grands fleuves africains.

Nous admettons qu'il sera parfois possible d'alléger les charges budgétaires, pourtant modestes, entraînées par l'exploitation de ces réseaux, mais il faudra opérer à bon escient et se méfier des décisions hâtives. Il est toujours difficile et même impossible d'affirmer que les relevés d'une station, que l'on envisage de supprimer, ne seront pas dans 10 ou 20 ans, la clef d'un aménagement ou la sauvegarde de milliers de riverains. On pourra supprimer des transmissions radio de cotes de hauteurs d'eau venant de stations secondaires, on pourra abandonner certains relevés limnigraphiques, responsables de sujétions onéreuses, mais il faudra y poursuivre les relevés quotidiens d'échelles.

Nous recommandons une bonne formule qui consiste à séparer nettement, au sein des organismes d'études de grands bassins fluviaux, d'une part la gestion du réseau limnimétrique général avec son personnel et son matériel et, d'autre part, les différentes activités particulières, plus précises, mises au Service des études d'équipements localisés. Ce procédé permet de ne pas céder à la tentation de modifier l'affectation des brigades hydrologiques chargées de l'entretien et des jaugeages courants au profit d'études plus pressantes.

Il faut ajouter, car cela ne facilite pas les choses, que les aménagements ou simplement la prévision des crues sont souvent conditionnés par les observations de stations situées en amont, dans un territoire étranger.

En zone de régime équatorial, les conclusions sont sensiblement du même ordre que pour la zone de régime tropical. Le problème de l'eau y est moins crucial, mais les potentialités de développement, en général plus grandes, des Etats intéressés risquent d'y occasionner des réalisations d'équipements moyens dans des délais plus courts.

Il importe donc d'y développer les observations limnimétriques et hydrométriques sur tous les bassins (fleuves côtiers de COTE d'IVOIRE, du DAHOMEY et du TOGO) en liaison avec des études d'ensemble sur la pluviométrie et l'érosion. Il suffirait d'y étoffer le Service chargé de l'Hydrologie en créant des brigades permanentes d'entretien et de mesures.

Avant d'en terminer avec ce chapitre, indiquons quelques recommandations pratiques susceptibles d'être utiles aux responsables chargés des observations limnimétriques et hydrométriques générales ; elles découlent d'ailleurs de l'expérience et du simple bon sens :

- 1°) Eviter, sans raison technique valable (variations rapides du plan d'eau), l'installation de limnigraphes. Ces appareils sont onéreux à l'achat et à l'installation, et imposent une surveillance continue et compétente. Il est souvent plus difficile de faire changer correctement les feuilles de diagrammes que de faire lire une échelle. Leur sécurité est le plus souvent factice. Mieux vaut cent fois une bonne échelle, bien observée deux fois par jour, qu'un limnigraphe isolé. Bien entendu, le limnigraphe reprend tout son intérêt dès qu'il devient impossible de trouver un observateur valable. Mais il faut alors qu'il soit tel que l'on puisse ne changer les feuilles de diagrammes que tous les mois ou tous les trois mois.

- 2°) Installer des échelles simples et robustes. Eviter les graduations peintes. Les éléments gradués émaillés sont très bon marché et se remplacent très facilement.

- 3°) Apporter un soin tout particulier au rattachement de l'échelle à un repère fixe, indestructible. Contrôler et archiver de même, tout changement dans le calage du zéro : on ne le répètera jamais assez.

- 4°) Préférer les jaugeages complets et soignés aux jaugeages nombreux portant sur une seule campagne de mesures. Rectifier, chaque année, les courbes de tarage. Rien n'est fixe

dans la nature, rarement les belles courbes tracées sur du beau papier.

- 5°) Unifier au mieux les appareils "pluviographes". Donner la préférence aux systèmes à augets basculeurs plutôt qu'aux systèmes donnant en lecture directe l'intensité instantanée.

Enfin, résumons les points essentiels développés plus haut :

- 1/ Augmenter dans de grandes proportions (de 1 à 10) les installations de pluviographes permettant seuls une étude logique du régime des pluies.
- 2/ Dans le Nord (Tropical Sahélien), mettre au point un réseau d'échelles à lectures maximales permettant de faire simplement des observations a posteriori.
- 3/ Augmenter le nombre de stations sur les bassins moyens (de 200 à 2.000 km²) dans les régions tropicales et tropicales de transition.
- 4/ Attacher un grand prix à l'exploitation continue des réseaux limnimétriques des grands bassins fluviaux.
- 5/ Pousser davantage les mesures d'évaporation et unifier les procédés de mesures.
- 6/ Chercher à associer, le plus souvent possible, l'hydrologie de surface et l'hydrogéologie au moyen d'études localisées de bilans complets.
- 7/ Faire participer aux mesures d'hydrologie les Services administratifs de commandement en attirant leur attention sur l'intérêt qu'elles présentent (installations d'appareils pluviographes dans les postes isolés des régions sahéliennes).
- 8/ Enfin, essayer de mettre au point un pluviographe de conception nouvelle, à déroulement continu et assurant une autonomie de 4 mois.

ETAT d'AVANCEMENT des ETUDES GENERALES HYDROLOGIQUES -

- 1°/ Grands bassins fluviaux :

Une monographie du NIGER (des sources à MALANVILLE) est en voie d'achèvement. Elle vise à rassembler les éléments connus et à dégager les aspects du régime aux différentes stations. Elle se restreint évidemment au domaine de l'hydrologie.

Les études effectuées au NIGERIA pour l'amélioration de la navigabilité de la BENOUE et la réalisation du grand barrage du NIGER ont permis de dégager les caractéristiques hydrologiques principales de ces deux cours d'eau et ont fait l'objet ou feront prochainement l'objet de rapports hydrologiques. Mais des compléments seraient fort utiles sur le régime des affluents secondaires du NIGER et des affluents de la BENOUE. Signalons les monographies hydrologiques de la HAUTE-BENOUE, l'amélioration des conditions de navigation et la prévision des crues.

Pour le SENEGAL, il a été décidé, en 1960, d'établir une monographie semblable. Les travaux en cours actuellement ont pour but de réunir les documents et d'en faire une critique sérieuse. Ensuite, les fiches hauteurs-débits seront définitivement arrêtées pour chaque station. Les nombreux changements de calage des zéros des échelles, les incertitudes de certaines courbes d'étalonnage, la carence des mesures d'étiage, rendent délicate cette première tâche. Mais il est indispensable de la terminer avant d'entreprendre la rédaction de la monographie proprement dite. La première partie du travail s'achève actuellement.

Les études effectuées pour le barrage d'AJENA ont bien mis en relief les caractéristiques hydrologiques principales de la VOLTA, mais il y aurait beaucoup à faire sur l'étude des branches mères qui sont suffisamment pourvues en stations d'observations mais ces stations sont trop récentes et les mesures de débits y sont souvent trop peu nombreuses.

On peut reprocher au réseau de la SANAGA de n'avoir aucune station de mesures antérieure à 1943. Aucun secours n'est à attendre de la part du réseau pluviométrique qui n'est pas plus ancien que le réseau limnimétrique.

Le bassin du LOGONE (LOGONE Supérieur et LOGONE Inférieur) a fait l'objet de deux monographies et de 35 compléments annuels qui sont à la base des projets actuels d'aménagements. Mais une synthèse de l'ensemble s'impose.

Dix années d'études continues sur le LAC TCHAD ont

permis d'en préciser l'hydrographie, de reconstituer les niveaux du lac depuis 90 ans et d'effectuer un bilan hydrologique du TCHAD, compte tenu du régime des tributaires.

- 2°/ Etudes de la pluie :

L'Hydrologie des petits bassins exige une connaissance approfondie du régime des averses et c'est à l'occasion des multiples études de bassins expérimentaux poursuivies en Afrique Occidentale depuis 6 ans que le problème du régime des pluies a surtout été abordé.

Il est évident qu'il faudrait maintenant une étude d'ensemble. Elle est commencée pour les Etats du SENEGAL et du SOUDAN et terminée en MAURITANIE.

A titre d'indication, nous donnons, ci-après, le canevas idéal proposé pour ce genre d'études. Il faut reconnaître, cependant, que les données pluviographiques sont un peu réduites pour réussir pleinement :

D'abord :

- a) Reproduction des documents originaux : pluviogrammes et fiches pluviométriques détenus, en un seul exemplaire, par les différents Services intéressés par la pluviométrie.
- b) Collationnement et étude critique des données brutes. Elimination, dans la mesure du possible, des chiffres anormaux résultant d'erreurs de copie, de fautes de virgules, etc ...
- c) Mise au point des tableaux relatifs aux résultats pluviométriques par périodes de 24 heures.
- d) Détermination, à partir des pluviogrammes, des valeurs des intensités maximales horaires, valables pour des périodes de récurrence d'une année, deux années, cinq années et, si possible, dix années, pour les stations équipées de pluviographes.
- e) Etablir des corrélations entre ces intensités maximales horaires et les pluies de 24 heures afin de revaloriser l'ensemble des données pluviométriques.

Ensuite :

- a) Mise au point de cartes donnant un premier tracé des courbes iso-intensités maximales horaires pour les récurrences 1, 2, 5 années, en faisant abstraction des valeurs exceptionnelles très localisées résultant de conditions de relief tout-à-fait particulières.
- b) Déterminer, pour les diverses régions présentant d'après les cartes précédentes un caractère homogène du régime de la pluie, des courbes intensité-durée permettant d'évaluer des valeurs d'intensités maximales en 20 minutes, 40 minutes, une heure et 5 heures dans chaque période de récurrence

- 3°/ Etudes de bassins versants expérimentaux :

Les études de petits bassins versants expérimentaux (20 à 100 km²) sont devenues un procédé de recherches de valeurs quantitatives d'écoulement, couramment utilisé. Elles s'étendent de plus en plus dans la bande Sud du régime tropical et à la limite tropical-équatorial.

La République de COTE d'IVOIRE, poussée par des demandes d'aménagements hydro-agricoles et hydro-électriques vient de faire, ces dernières années, un gros effort. Une étude de synthèse (Zone de savane et Zone forestière), portant sur l'ensemble des résultats d'écoulement et de ruissellement jusqu'en 1960 sur les bassins expérimentaux de la COTE d'IVOIRE, vient d'être publiée avec la collaboration de l'O.R.S.T.O.M.

Bassins versants expérimentaux suivis de 1951 à 1960

- TCHAD	:	8
- MALI	:	5
- NIGER	:	3
- Hte VOLTA	:	3
- COTE d'IVOIRE	:	10
- DAHOMEY	:	3
- TOGO	:	2
- MAURITANIE	:	2
- CAMEROUN	:	5

Les méthodes d'interprétation ont acquis maintenant un caractère théorique qu'il ne faudrait pas dépasser, ce qui

conduirait à restreindre expérimentalement les nombreux paramètres en jeu. Il serait souhaitable de mettre au point des processus de mesures pratiques, concernant la perméabilité et le degré de saturation du sol, ce qui est irréalisable pour des bassins de dimensions moyennes (50 km²).

Les techniciens réalisateurs veulent obtenir, dans les meilleurs délais, des chiffres de débits de crues : la seule réponse possible est de proposer une étude sur le terrain dans des conditions naturelles et d'y faire des mesures systématiques pendant toute la durée d'une campagne d'hivernage. L'ensemble des résultats déjà acquis a permis de réduire de 3 à 1 le nombre de campagnes nécessaires.

Toute recherche d'une conception théorique conduirait rapidement au laboratoire et il faudrait attendre de longues années de recherches, voire même refaire des mesures dans des conditions naturelles, pour en retirer tous les fruits que nous ne nions nullement ... mais certains Etats d'Afrique de l'Ouest n'ont pas le temps d'attendre si longtemps. On préfère faire pleinement confiance à l'hydrologue en lui demandant un tableau de chiffres, rien de plus, et dans l'immédiat. Plus tard, la Science trouvera une explication complète des phénomènes et c'est justement la marque du progrès de la recherche, que l'on change de temps en temps. Certains déploieront une telle attitude mais, sur le continent africain, on doit pouvoir concilier les impératifs de la recherche théorique avec ceux d'un développement rapide.

Grâce aux travaux sur le terrain qui durent depuis 6 ans, il est maintenant possible, dans l'Ouest Africain, de déterminer un débit spécifique de crue sur un petit bassin donné avec une précision relative, par rapport à la réalité, de 100 %; 200 % dans les plus mauvais cas. Il y a cinq ans, cette même proportion était certainement de 100 à 2.500 %.

- 4°/ Etudes générales d'écoulement :

Mises à part les études concernant les grands bassins fluviaux qui constituent maintenant un ensemble solide et complet, où les problèmes de régimes hydrologiques sont bien connus (SENEGAL, VOLTA, NIGER et BENOUE, LAC TCHAD et tributaires bassin du KONKOURE), les travaux de recherches sur les cours d'eau secondaires se poursuivent plus lentement et avec des fortunes diverses, suivant la place réservée à l'hydrologie dans la réorganisation des Services Techniques. Le régime des fleuves côtiers de COTE d'IVOIRE, du DAHOMEY, du TOGO, du GHANA, du

NIGERIA, sont assez bien connus en dépit d'observations souvent très récentes ; par contre, d'autres voies d'eau comme le SALOUM et la CASAMANCE au SENEGAL, celles du LIBERIA, sont encore pratiquement inconnues et ne possèdent parfois pas le moindre équipement limnimétrique.

- 5°/ Evaporation - Transports solides :

Chaque étude de bassin versant expérimental a été mise à profit pour installer et contrôler des cuves COLORADO. L'ensemble de tous les résultats obtenus a déjà permis une étude de synthèse portant sur l'Afrique Occidentale.

D'autres mesures concernant des mares fermées ou des lacs, notamment le LAC TCHAD, après estimation des apports, justifient petit à petit la transposition des résultats des cuves aux conditions naturelles d'évaporation sur nappes libres.

Il est d'ailleurs dans les intentions du Comité Inter-Etats de Coordination des Etudes Générales d'Hydraulique (dans certains Etats de l'Ex-A.O.F.) de poursuivre ces études en collaboration étroite avec des hydrogéologues.

En matière de transports solides, les données sont encore très fragmentaires. Quelques mesures de charriage ont été effectuées sur des bassins expérimentaux (NIGER, TCHAD) mais les extrapolations sont pratiquement impossibles du fait que la pente et la nature du sol y jouent des rôles essentiels fort délicats à pondérer.

Les études des transports en suspension ont été peu développées du fait que les grands fleuves de l'Ouest Africain, les premiers intéressés, sont très peu chargés en limons et ne posent pas de problèmes de décantation dans les cuvettes. Mais il ne faudrait pas généraliser cette tendance car les mises en culture des vallées sont susceptibles d'entraîner des phénomènes nouveaux d'érosion.

COORDINATION des ETUDES -

La décentralisation politique actuelle exige sur le plan technique un effort accru de coordination.

Cela a été déjà dit maintes fois. Les arguments que l'on avance pour justifier cette coordination sont toujours de nature économique. Elle permet, si l'on fait abstraction des conditions de financement, de procéder à l'étude du milieu physique dans les meilleures conditions de sécurité et dans les délais les plus réduits. Il est, en effet, impossible de nier que l'accroissement rapide des connaissances scientifiques particulières à un continent, constitue pour lui un atout majeur de développement.

En conséquence, du fait que, de toute évidence, on estime que les Etats de l'Ouest Africain feront la politique de leur économie optimale, c'est aller dans le sens même de l'histoire que d'essayer d'améliorer les facteurs de coordination technique.

Dans le domaine de l'hydrologie, le vecteur de coordination le plus important est d'ordre géographique. Un grand bassin fluvial constitue un tout dont l'étude intelligente ne peut se concevoir que prise dans son ensemble. Tout aménagement dans le cours moyen d'un grand fleuve dépend du régime de son haut bassin et entraîne des modifications sur le cours inférieur.

C'est dans cette intention louable que les organismes d'études tels que la Mission d'Aménagement du Sénégal, la Mission d'Etude et d'Aménagement du NIGER, avaient été fédéralisées en 1950 et pouvaient ainsi exercer leur activité librement au delà des frontières administratives.

Ce serait faire un grand pas en arrière que de renoncer à ce principe : il est urgent que, pour chacun de ces bassins (SENEGAL, NIGER, TCHAD), les différents Etats intéressés créent un organisme commun coordonnant l'activité des Services d'Etudes Hydrologiques des divers Etats. Les difficultés du contrôle, de l'orientation des travaux, du financement, du choix des techniciens, ne sont certainement pas insurmontables.

Les frontières du langage, particulièrement en ce qui concerne le bassin du NIGER, pourraient utilement s'effacer en permettant une liaison plus souple entre les hydrologues du Haut et Moyen NIGER et ceux du NIGER Inférieur.

Un autre vecteur de coordination est d'ordre méthodique. L'utilisation des résultats d'études, la connaissance de solutions techniques valables dans des régions où les problèmes hydrologiques se rapprochent de ceux qui nous sont posés, sont des procédés rapides et fructueux. Ils se ramènent finalement à l'organisation d'une documentation technique accessible.

La C.C.T.A., par l'intermédiaire du coordinateur interafricain et le réseau de correspondants hydrologues, les conférences interafricaines sur l'Hydrologie, la bibliographie africaine de l'UNESCO ont précisément cette vocation. La doctrine est excellente, il suffit de resserrer les liens entre les correspondants et permettre au coordinateur de diffuser largement, après traduction, les notes et les rapports intéressant l'Hydrologie.

Une liste remise à jour chaque semestre par exemple, permettrait à chaque correspondant de suivre ces publications et de se procurer rapidement celles qui pourraient lui être utiles.

La coopération recherchée a aussi besoin d'apôtres et nous pensons que la création récente d'un Secrétariat Inter-Etats pour la Coordination des Etudes Générales d'Hydraulique groupant une grande partie des Etats de l'Ex-A.O.F., est capable, dans ce domaine, de rendre de bons services. Son but est de poursuivre certaines études (climatologie, pluies, vents, bassins versants expérimentaux, hydrogéologie) et d'intervenir auprès de chaque Etat pour en démontrer le bien-fondé et les faire connaître.

Peut-être cet organisme pourrait-il être utilisé comme point de départ pour une coordination plus large ?