

133

1967

84

Communication destinée à l'exposition  
"L'eau pour la Paix"  
Washington 23/31 Mai 1967.

DOCUMENTATION

7 A

J.A. RODIER

Français  
FRANCE

Conseiller Scientifique  
à ELECTRICITE de FRANCE (IGECO) - Chef du  
Service Hydrologique de l'OFFICE de la RE-  
CHERCHE SCIENTIFIQUE et TECHNIQUE OUTRE-MER

ORGANISATION des ETUDES et RECHERCHES HYDROLOGIQUES  
DANS LES PAYS EN VOIE DE DEVELOPPEMENT

Depuis 1947, le Service Hydrologique de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM) exerce son activité dans les pays en voie de développement, en adaptant étroitement ses programmes aux besoins de leur mise en valeur. Les recherches concernent des Etats ayant fait partie de la Communauté Française ou d'autres Etats des régions tropicales ou méditerranéennes. Les conditions naturelles que l'on rencontre dans ces régions sont extrêmement variées, depuis les zones désertiques du SAHARA jusqu'aux forêts du GABON ou de la GUYANE, des bords de la Méditerranée aux îles du Pacifique. Il nous a semblé intéressant de présenter à cette Conférence les résultats de notre expérience, avec l'espoir de contribuer peut-être ainsi à empêcher certaines erreurs dans l'organisation des études et recherches hydrologiques.

Les problèmes généraux à résoudre étaient les suivants en 1947 :

Si l'on met à part le CAMEROUN qui disposait déjà d'un réseau de stations et les grands fleuves : SENEGAL, CHARI, OUBANGUI et CONGO, sur lesquels les Compagnies de Navigation et les Services des Travaux Publics avaient installé des échelles limnimétriques, il n'y avait aucune organisation pour observer les niveaux des rivières.

En ce qui concerne la connaissance des débits, la situation était beaucoup plus mauvaise. Seule, la station principale du NIGER avait fait l'objet d'un nombre suffisant de mesures de débit pour qu'on puisse en étudier le régime. Le réseau pluviométrique, heureusement, était observé depuis une quinzaine d'années en général et, s'il n'était pas très dense, il pouvait rendre de grands services à condition de pouvoir disposer de quelques données sur les relations entre précipitations et débits, ce qui n'était pas le cas. Les connaissances générales sur les régimes hydrologiques étaient d'ordre qualitatif. Aucune mesure n'avait été faite concernant l'évaporation sur nappe d'eau libre ou les transports solides. Pour les rares hydrologues disponibles, la méthodologie des recherches, et même des mesures en régions tropicales, devait être mise au point.

Dans ces conditions, pour l'étude d'un gros aménagement tel qu'un barrage, on entreprenait des opérations de mesures pendant deux ou trois ans et, après cela, les ingénieurs demandaient de leur fixer avec précision un certain nombre de caractéristiques hydrologiques dont la moyenne des débits pendant 50 ans et la valeur de la crue qui risquait de se produire moins d'une fois sur mille ans. Cette estimation relevait presque de l'astrologie puisqu'en l'absence de réseau de stations de mesures observées depuis une assez longue période et de connaissances générales sur les régimes, les hydrologues n'avaient aucun point de repère pour leurs calculs.

Il se trouve, par hasard, que la plupart des premiers ouvrages importants ont été aménagés sur des cours d'eau de régime assez déboussaie. Le seul aménagement pour lequel cela n'était pas le cas présentait des caractéristiques telles qu'il n'a pas été trop coûteux de modifier les ouvrages de prise lorsque, quelques temps après la construction, on a constaté que les crues avaient été sous-estimées. Mais ce genre d'estimation était fort dangereux et, en ce qui concerne les petits ouvrages réalisés pour les besoins de l'agriculture ou de l'élevage, les dégâts dus au manque de données hydrologiques ont été considérables, surtout en zone semi-aride. Il en a été de même pour les petits ouvrages routiers dans certaines régions à régime tropi-

ORSTOM  
HYDROLOGIE  
DOCUMENTATION

71 209

16 JUL. 1992

ORSTOM Fonds Documentaire  
N° : 33 425  
Cote : B

cal. Par contre, des réservoirs n'ont jamais été remplis par surestimation des volumes d'eau annuels disponibles.

Il convenait donc de remédier à l'insuffisance de données générales par l'organisation d'observations continues sur un réseau de stations hydrométriques et le lancement de recherches hydrologiques, de façon que, dans un bref délai, on arrive à disposer de connaissances suffisantes pour que les campagnes d'études pour un gros ouvrage, par exemple, aient simplement pour objet de préciser les caractéristiques hydrologiques particulières au site de l'ouvrage, les variations de débit de la rivière elle-même étant déjà connues, ce qui se rapproche ainsi des conditions normales.

Les moyens, pour plusieurs millions de km<sup>2</sup>, étaient les suivants : 1 ingénieur hydrologue en 1947, 4 en 1948 et 1949, 7 en 1950. Devant l'urgence, on a été dans l'obligation de confier la responsabilité des mesures pour tout un pays à de simples agents techniques rapidement formés, le programme de leurs activités étant défini en conséquence. Quatre agents techniques ont été ainsi envoyés en Afrique en 1950, en plus des chercheurs mentionnés ci-dessus. Les moyens en matériel et en crédits étaient à la faible mesure des effectifs.

Cette situation exigeait des choix difficiles quant au mode d'action, au programme de recherches ou type de matériel à employer.

A l'origine, les hydrologues de l'ORSTOM étaient simplement mis à disposition d'un Service Technique, Travaux Publics par exemple, ou d'un Organisme d'Etudes tel qu'Electricité de France. Cette pratique était dangereuse car les études, au lieu d'être prévues pour satisfaire la totalité des besoins en données hydrologiques, risquaient d'être orientées vers un objectif trop limité et la recherche fondamentale risquait d'être sacrifiée. En outre, ces experts trop rapidement formés avaient intérêt à conserver un contact étroit avec leur direction pour développer leurs connaissances. A partir de 1950, nos chercheurs ont travaillé dans le cadre de l'ORSTOM et n'ont été mis à disposition d'un Service que si celui-ci les utilisait sur un programme ne portant pas exclusivement sur des objectifs immédiats et limités, de façon que le peu d'hydrologues disponibles rende le maximum de services à tous. C'est ainsi que 3 hydrologues sont restés à la disposition du Service de l'Hydraulique de l'A.S.F. et que le travail ainsi effectué sur le bassin du NIGER a été particulièrement profitable. Ces contacts étroits avec les Services Publics ont renforcé le souci d'orienter la recherche vers des buts pratiques évitant, dans une certaine mesure, l'isolement du "savant dans sa tour d'ivoire". Les autres chercheurs avaient d'ailleurs des accords divers avec les Services Techniques, par exemple à MADAGASCAR et au DAHOMEY : les observateurs du réseau de stations sont payés par l'Administration des Travaux Publics, leur contrôle et les mesures étant effectués par des agents de l'ORSTOM.

Dans un même souci d'éviter tout double emploi, les deux Organismes disposant du plus grand nombre d'hydrologues, ORSTOM et E.D.F., ont conclu un accord en 1950 pour mettre en commun leurs moyens en personnel, ce qui a permis de faire travailler ensemble hydrologues formés aux études pour les projets hydro-électriques et la navigation et hydrologues spécialisés dans les problèmes d'hydraulique agricole.

Il était déjà admis à Electricité de France Outre-Mer que les études hydrologiques étaient confiées uniquement à des spécialistes et qu'on abandonnait le concept ancien de l'ingénieur hydraulicien laissant de côté pour quelques instants ses calculs de stabilité d'ouvrage pour entreprendre une étude hydrologique.

En ce qui concerne les programmes, on pouvait soit concentrer les maigres crédits sur des recherches approfondies, soit les disperser dans des études extensives donnant un premier aperçu sur l'ensemble du pays. C'est la seconde solution qui a été choisie car les ingénieurs d'E.D.F. avaient déjà eu amplement l'occasion de constater, dans des cas concrets, le grave inconvénient de l'absence de données de stations de référence bien réparties sur l'ensemble du pays.

Dans les cas qui se présentent actuellement, dans des conditions comparables à celles de 1950, c'est encore la seconde solution que l'on choisit.

Mais deux précautions sont prises :

- 1°) les études extensives sont réalisées (sauf en zone aride) par la création

d'un réseau permanent de stations de mesures.

- 2°) Le début des recherches intensives ne doit pas être trop décalé par rapport aux études extensives.

Presque toute l'activité des hydrologues de l'ORSTOM a porté, pendant les 4 premières années, sur la création du réseau de base de stations d'observations et c'est grâce à cette orientation que l'on dispose maintenant, dans les Etats ayant appartenu à la Communauté Française, de stations de référence observées depuis une quinzaine d'années. Mais cette décision de principe étant prise, de nombreux choix étaient à faire pour son application. Les deux plus importants sont les suivants :

- 1°) L'installation d'un réseau dans beaucoup de pays tropicaux est une opération beaucoup moins difficile que son exploitation continue pendant de nombreuses années. C'est pourquoi un soin particulier a été apporté au contrôle périodique des stations et à la réalisation de mesures de débits à chaque station, depuis les débits de très basses eaux jusqu'à ceux des grandes crues.

- 2°) Les faibles moyens financiers dont on disposait et la difficulté de trouver sur place des agents susceptibles d'assurer la surveillance et l'entretien d'appareils délicats pour les conditions de la brousse, ont fait ajourner l'emploi des appareils enregistreurs. Ceci était possible en 1950, mais cela ne le serait plus maintenant car on trouve de plus en plus difficilement dans le Monde des agents acceptant de lire des échelles de hauteurs d'eau, c'est pourquoi nous ne pouvons recommander cette politique que dans des cas particuliers.

Cette dernière circonstance, jointe à la faible densité de la population, ne permettait pas d'étudier les petits cours d'eau ; or, il était apparu très vite que, pour l'aménagement de petits barrages, pour les aménagements routiers et même pour certaines petites centrales hydro-électriques, il était nécessaire de le faire. Il n'était pas question de procéder à une étude hydrologique pour chaque aménagement car, dans bien des cas, l'étude aurait coûté au moins aussi cher que l'ouvrage. La solution est apparue sous la forme de bassins représentatifs sur lesquels on dégageait, en deux, trois ou quatre ans, les principes généraux de l'écoulement en fonction des pluies, pour des conditions de sol, de pente et de couverture végétale données ; ceci grâce à des observations et mesures très détaillées de la pluie et des débits.

Le but recherché était l'établissement des relations empiriques permettant de définir, pour un bassin non encore étudié, les caractéristiques hydrologiques essentielles à partir des données de sol, pente et végétation ; le travail sur le terrain se bornait à un travail sur carte et sur photographies aériennes et à une reconnaissance rapide où on chercherait quelques indices fournissant des recoupements aux résultats donnés par les relations empiriques de sorte que, pour chaque projet, l'étude hydrologique serait très courte et peu coûteuse et les résultats plus sûrs que ceux obtenus à partir de l'interrogatoire des riverains, quand il y en a.

Mais ce programme de recherches posait un grave problème de financement. Avec ses propres moyens, l'ORSTOM avait, en 1952, entrepris la réalisation d'un programme de quatre bassins représentatifs. Le Service de l'Hydraulique de l'A.O.F. lui commanda, en 1955, l'étude de dix bassins représentatifs. En outre, et c'est là une pratique à recommander, dans tous les programmes d'études d'hydrologie appliquée : pour la construction d'un grand barrage ou pour la réalisation d'ouvrages d'hydraulique agricole, il a été prévu l'étude d'un ou plusieurs bassins représentatifs, le coût total de l'étude n'en était que légèrement majoré, la compréhension des phénomènes sur le bassin permettait des estimations plus sûres et, enfin, les données du bassin représentatif se prêtant à transposition, pouvaient s'appliquer à bien d'autres projets. Mais ceci n'était valable qu'à condition que tous les bassins soient étudiés de la même façon. C'est ainsi qu'en 1965, une centaine de bassins avaient été observés.

Les données ainsi accumulées ont fait très vite l'objet d'une première exploitation dans des rapports particuliers à chaque bassin. Les tentes premières synthèses ont été faites pour la COTE d'IVOIRE et le DARGHEY en 1960.

Dans l'ouvrage "Régimes hydrologiques de l'Afrique Noire à l'Ouest du Congo", une exploitation plus étendue mais moins systématique en a été faite. Puis les crues décennales (crues souvent prises en considération pour les petits projets) ont fait

J.A. RODIER

l'objet d'une note sommaire de C. AUVRAY et, en 1965, de la publication "Estimation des débits de crues décennales pour les bassins versants de superficie inférieure à 200 km<sup>2</sup> en Afrique Occidentale", répondant aux objectifs définis plus haut, sauf pour la zone forestière, insuffisamment étudiée. Actuellement, toutes les données brutes sont reprises pour une synthèse plus approfondie.

C'est sur ces bassins représentatifs qu'ont été entreprises des recherches sur des éléments particuliers du cycle hydrologique, tels que l'évaporation ou les précipitations, et également sur l'érosion.

Pour l'évaporation, on a suivi une politique semblable à celle du régime des rivières. On a profité des bassins représentatifs pour installer, en 1955 et 1956, un réseau de bacs évaporatoires, l'étude du bilan du Lac TCHAD et les données disponibles dans le Monde permettant de calculer, à partir des résultats de ces bacs, l'évaporation sur les réservoirs. Les grandes stations de recherches sur l'évaporation, coûteuses en experts et en fonds, n'ont été réalisées que beaucoup plus tard, avec la station de FORT-LAMY, la station jumelle du Lac TCHAD et la station d'ADIOPODOUME, près d'ABIDJAN, en 1965. Trois autres stations sont en cours d'aménagement à BANGUI, BRAZZAVILLE et TANANARIVE. Ces stations ont été équipées trop tard. Il n'aurait pas fallu attendre plus de quatre ans après l'installation du premier bac évaporatoire. Mais ceci exige de disposer d'un hydrologue ou d'un bioclimatologue parfaitement au courant de ce type de recherche, surtout en ce qui concerne la partie expérimentale.

Pour les précipitations, il importait de combler, dans les zones arides ou en montagnes, le réseau trop lâche du Service Météorologique. Ceci a été fait au TCHAD et en NOUVELLE CALEDONIE grâce à un réseau de totalisateurs. L'exploitation systématique de toutes les données de précipitations journalières a été faite grâce au soutien du Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques. C'est là une tâche qu'il importe de ne pas négliger, l'exploitation de données vieilles de plus de 25 ans est très difficile car les vérifications sont souvent impossibles. Enfin, l'étude de la répartition spatiale des précipitations et celle des intensités ont pu être faites sur les bassins représentatifs où les conditions d'études sont bien meilleures que sur le réseau normal d'observations, pas assez dense dans beaucoup de pays en voie de développement.

L'étude de l'érosion a été faite en trois parties :

- Erosion sur parcelles : étudiée par les pédologues (appartenant généralement à l'ORSTOM) dans les Instituts de Recherches Agronomiques ou les Centres ORSTOM.
- Erosion sur 5 à 20 hectares sur bassins naturels : étudiée dans les fosses à sédiments par les hydrologues.
- Transports solides sur les fleuves : étudiée par les hydrologues : quelques mesures en 1955 et plusieurs réseaux en 1965.

En ce qui concerne le problème de conservation du sol, ces études ont été entreprises souvent trop tard dans certaines zones. En ce qui concerne le comblement des réservoirs, les transports solides sont peu importants sur les moyens et grands cours d'eau en Afrique Occidentale, de sorte que le retard dans l'aménagement d'un réseau de mesures n'a pas eu de très graves conséquences. La politique aurait été différente s'il s'était agi de pays à sol érodible, à forte densité de population, avec une proportion importante du sol à mettre en valeur. Dans ce cas, les mesures d'érosion et de transports solides doivent commencer en même temps que les premières mesures de débits, ainsi que cela a été fait en TUNISIE par exemple.

En ce qui concerne la qualité des eaux, dans les régions peu peuplées, le premier problème est celui de la salinité. Les eaux étant très douces dans la plupart des pays où travaillait l'ORSTOM, l'organisation de réseaux de mesures n'a commencé qu'en 1965. Mais, dans des régions méditerranéennes par exemple, elles doivent être entreprises très tôt, modes de prélèvements et d'analyses doivent être définis de façon extrêmement rigoureuse. Là aussi, il est bon que des recherches fondamentales sur le cycle des matières dissoutes suivent l'organisation des réseaux.

Les recherches en zones désertiques ont été faites par des missions : deux ou trois missions successives pour chaque région avec une étude extensive, avec réseau de pluviomètres totalisateurs et étude rapide des crues des ouadi et une étude

intensive sur un bassin représentatif. Nous avons constaté que c'est là une pratique courante dans le Monde. Seul, un réseau très lâche de stations météorologiques est observé en permanence.

En ce qui concerne le matériel, on a cherché à éviter l'utilisation de matériel délicat, qui ne se serait pas adapté aux conditions tropicales, ou de matériel lourd qui aurait exigé des moyens de mise en oeuvre puissants. Nous sommes forcés, actuellement, d'utiliser à la fois du matériel délicat et lourd, et nous ne regrettons rien de la politique pratiquée autrefois, car il s'avère maintenant qu'il aurait été impossible de faire autrement il y a quinze ans, dans la plupart des cas.

La réalisation de nos programmes a exigé la formation de nombreux agents autochtones. Cette formation a été faite sur le terrain en fonction des conditions naturelles. Celle des ingénieurs hydrologues autochtones n'a pas pris l'importance qu'elle aurait dû avoir : il se trouve souvent que, dans les pays qui exigent le plus de recherches hydrologiques, le nombre total d'ingénieurs disponibles est très réduit et ils sont d'abord réservés pour les fonctions de responsabilités. Cependant, depuis 1960, des stages de formation sont organisés à PARIS, aussi bien pour les anciens Etats de la Communauté Française que pour des stagiaires d'autres pays. Ces stages sont orientés surtout vers l'hydrologie appliquée pour la réalisation d'aménagements de toutes natures.

L'ensemble des recherches évoquées ci-dessus a pu être effectué dans d'assez bonnes conditions, malgré de faibles moyens, car le fait d'opérer sur de grandes superficies a permis d'assurer aux chercheurs leur plein emploi et d'obtenir le maximum d'efficacité.

Ceci a été possible puisqu'un certain nombre d'Etats voisins recouraient au même Organisme de Recherches. Le cas général est moins simple, mais on peut arriver à des résultats analogues par la coopération internationale. Il n'est pas nécessaire, si elle est correctement réalisée, que chaque Etat dispose, par exemple, d'une grande station de recherches d'évaporation. De même, il n'est pas utile que cet Etat dispose d'un bassin représentatif pour chacune de ses régions naturelles, si les échanges de données avec les Etats voisins sont bien organisés et si les recherches sont conduites de façon à donner des résultats comparables. Il est à espérer que la Décennie Hydrologique Internationale, en développant la coopération dans le domaine de l'hydrologie, permettra, en mettant en commun les recherches des Etats en voie de développement, d'arriver à utiliser au mieux les moyens dont ils disposeront.

133 + m  
Communication destinée à  
l'exposition "L'eau pour la  
Paix" Washington 23/31 mai 1967

DOCUMENTATION

7 A

J. A. RODIER

French  
FRANCE  
Scientific Adviser at Elec-  
tricité de France (IGECO),  
Head of the Hydrological  
Service of the Office de la  
Recherche Scientifique et  
Technique Outre-Mer

### ORGANIZATION OF SURVEYS AND HYDROLOGICAL RESEARCH IN DEVELOPING COUNTRIES

Since 1947, the Hydrological Service of the Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM) has been active in developing countries, adapting its programmes specifically to the needs of their development. Research has been concerned with states belonging to the French Community and other states of tropical or Mediterranean regions. The natural conditions met with in these regions vary widely, from desert zones of the Sahara to forests of Gabon or Guiana, from Mediterranean shores to Pacific islands. We think it useful to present the results of our experience at this conference, in the hope that it may perhaps help to forestall certain mistakes in the organization of hydrological surveys and research.

In 1947 the general problems to be solved were the following:

Leaving aside the Cameroons, which already possessed a network of stations, and the great rivers Senegal, Chari, Oubangui and Congo, on which shipping companies and public works services had installed staff gages, arrangements to observe river levels were non-existent.

As far as knowledge of discharge was concerned, the situation was much worse. Only at the main station of the Niger had enough discharge measurements been made for the regime to be studied. Fortunately, observations had usually been made for about fifteen years over the precipitation-gage network, which, although not very dense, was capable of being very useful on condition that some data were available on relationships between precipitation and discharge (which was not the case). General information on hydrological regimes was of a qualitative kind. No measurements had been made for evaporation from a free water surface or for solid transport. For the few hydrologists available, methods of research, and even of measurement in tropical regions, had to be regularized.

Under these conditions, a preliminary survey for a big project like a dam necessitated the taking of measurements over three or four years, after which the engineers asked to be accurately informed on a certain number of hydrological characteristics including the mean discharge over 50 years and the value of floods which were likely to occur less than once every thousand years. Such an estimate was tantamount to astrology, as the absence of a network of stations where measurements had been made over a fairly long period and of general information on regimes meant that hydrologists had no landmarks for their calculations.

It so happens that most of the important constructions have been on channels of relatively temperate discharge. In the only case where this was not so, it transpired that it was not too costly to modify the intake installations when it was realized, some time after construction, that floods had been underestimated. But this method of estimation was highly dangerous; small installations for agricultural or stock-breeding purposes have suffered considerable damage through lack of hydrological data, especially in semi-arid zones. The same has applied to small

16 JUL 1992

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 33425

Cote : B

ORSTOM  
BIBLIOTHÈQUE  
DOCUMENTATION

71 009

J. A. RODIER

road constructions in certain regions with tropical climate. On the other hand, there are reservoirs which have never been filled, through overestimation of the annual volume of water available.

Thus the lack of general data had to be remedied by the organization of continuing observations over a network of hydrometric stations and by the initiation of hydrological research. The aim was to have enough information in a short time for surveys preceding large constructions to be limited to the identification of a site's particular hydrological characteristics, variations in discharge of the river itself already being known (i. e. bringing the situation nearer to normal conditions).

To cover several million square kilometres we had at our disposal: 1 hydrological engineer in 1947, 4 in 1948 and 1949, 7 in 1950. In view of the urgency, it was necessary to entrust to mere technical agents, rapidly trained, the responsibility of measurements for a whole country; their training programme was drawn up with this in mind. Thus four technical agents were sent to Africa in 1950, in addition to the researchers mentioned above. Equipment and finances were commensurate with the personnel.

In this situation the choice of a means of action, research programme and type of equipment to use was a difficult one.

To start with, ORSTOM hydrologists were simply put at the disposal of a technical service, such as a public works department, or of a survey organization such as Electricité de France. This practice had its dangers, because, instead of satisfying all needs for hydrological data, surveys were liable to have too limited an objective, and basic research to be sacrificed. Besides, after their too rapid training, the experts were well advised to maintain close ties with their head office, with a view to increasing their knowledge. From 1950, our researchers have worked within the framework of ORSTOM and have been put at the disposal of a service only if it was to use them on a programme whose objectives were not exclusively short-term and limited; in this way the few hydrologists available could render the maximum of service to all. Thus it was that 3 hydrologists stayed with the Hydraulic Service of French West Africa and that the work thus carried out on the Niger basin was particularly beneficial. Such close links with public services helped to steer research towards practical aims and avoid, to a certain extent, the 'ivory tower' isolation of the scientist. More researchers had various agreements with technical services; in Madagascar and Dahomey, for example, the observers of the station network are paid by the Public Works Administration while they are controlled and measurements taken by ORSTOM agents.

In a same desire to avoid duplication, the two bodies counting the greatest number of hydrologists - ORSTOM and EDF - made an agreement in 1950 to pool their personnel. This meant the working together of hydrologists trained for hydro-electric projects and shipping and hydrologists specializing in agricultural hydraulic problems.

It was already accepted at Electricité de France Outre-Mer that hydrological surveys were entrusted solely to specialists and that it was time to abandon the old concept of the hydraulic engineer leaving his construction stability calculations for a few moments to carry out a hydrological study.

As to the programmes, the meagre financial resources could either be concentrated on detailed research or distributed over surveys of wider scope giving a first overall picture of the country. The second solution was chosen, for EDF engineers had already met with plenty of concrete examples of the serious inconvenience of not having data from reference stations spread over the whole country.

In cases arising today, in conditions comparable to those of 1950, it is still the second solution which is chosen.

But two precautions must be taken:

- 1) General studies are carried out (except in arid zones) by creating a permanent network of measuring stations.

J. A. RODIER

2) Intensive research should not be started too long after extensive surveys.

During the first four years of their activities, ORSTOM hydrologists concentrated on the creation of a basic network of reference stations. Thanks to this, call can be made, in states once in the French Community, on reference stations where observations go back over about fifteen years. But once this question of principle had been decided, its implementation required further decisions. The two most important matters were the following:

- 1) In many tropical countries it is much simpler to set up a network than to assure its operation over many years. For this reason particular attention was paid to periodical control of stations and to the taking of discharge measurements at each, from very low water to high floods.
- 2) Since financial means available were small and it was difficult to find, on the spot, agents capable of watching and maintaining delicate instruments under bush conditions, the use of registering instruments was deferred. While this was possible in 1950, it would no longer be so, for it is increasingly difficult to find in the world agents willing to read water height gages; thus such a practice is only to be recommended in specific cases.

The latter circumstance, combined with the low density of the population, meant that small streams could not be studied; yet it quickly became apparent that, for the construction of small dams, for road works and even for certain small hydro-electric stations, such studies were necessary. There was no question of carrying out a hydrological survey for each project, for in many cases it would have cost at least as much as the project itself. The solution appeared in the shape of representative basins for which would be found, after two, three or four years, the general principles of flow in terms of precipitation, for conditions of soil, slope and plant cover. This was possible with very detailed observations and measurements of precipitation and discharge.

The aim here was the identification of empirical relationships enabling the essential hydrological characteristics of a basin not yet studied to be established on the basis of soil, slope and vegetation data. Field work would be limited to the study of maps and air photos and a rapid reconnaissance to obtain some indications as a cross-check of the results given by empirical relationships. Thus, for each project, the hydrological survey would be very short and inexpensive and its results more reliable than those obtained from questioning riverside residents, if any.

But such a research programme posed a serious financing problem. At its own expense, ORSTOM had carried out in 1952 a programme of four representative basins. In 1955 the Hydraulic Service of French West Africa requested it to survey ten representative basins. In addition, (and this is a practice to be recommended in all programmes of applied hydrology surveys), for the construction of a large dam or the carrying out of agricultural hydraulic works, the survey of one or more representative basins was included. The total cost of the survey was only slightly higher, knowledge of phenomena on the basin ensured more accurate estimates, and finally the data of the representative basin could be applied to many other projects. However, this was only valid if all basins were surveyed in the same manner. In 1965 about a hundred basins were studied in this way.

Data thus acquired was quickly utilised, first in special reports for each basin. The first syntheses were made in 1960 for Ivory Coast and Dahomey.

In the publication 'Régimes hydrologiques de l'Afrique Noire à l'Ouest du Congo', more extensive but less systematic use was made of these data. Next, decennial floods (often taken into consideration for small projects) were the subject of a brief note by C. Auvray, then in 1965 of the publication 'Estimation des débits de crues décennales pour les bassins versants de superficie inférieure à 200 km<sup>2</sup> en Afrique Occidentale', conforming to the above-mentioned aims, except for the forest zone, which had been insufficiently studied. At present, all the data are being used again for a more detailed synthesis.



J. A. RODIER

It was on these representative basins that research was undertaken on particular elements of the hydrological cycle, such as evaporation or precipitation, and also erosion.

For evaporation, a similar policy was followed to that for river regimes. In 1955 and 1956, a network of evaporation pans was established, taking advantage of representative basins. Following the study of the water balance of Lake Chad and data available over the world, it was possible, from the results of these pans, to calculate evaporation on reservoirs. The big evaporation stations, costly in experts and money, were only set up much later, with the Fort-Lamy station, its twin at Lake Chad and the station at Adiopodoume, near Abidjan, in 1965. Three more stations are being installed at Bangui, Brassaville and Tananarive. These stations have been equipped too late. There should not have been a delay of four years after the installation of the first evaporation pan. But to avoid this it would have needed a hydrologist or bioclimatologist fully conversant with this type of research, especially the experimental side.

For precipitation, it was important to strengthen, in arid zones or in mountains, the too sparse network of the Meteorological Service. This was done in Chad and New Caledonia thanks to a network of storage rain-gages. The systematic exploitation of all data on daily precipitation has been carried out thanks to the support of the Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques. That was a task by no means negligible. The exploitation of data of over 25 years earlier is very difficult, for verification is often impossible. Finally, the spatial distribution and intensity of precipitation were studied for representative basins where study conditions are far better than over the normal observation network, which is not sufficiently dense in many developing countries.

The study of erosion was carried out in three parts:

- Erosion on plots: studied by pedologists (usually belonging to ORSTOM) in institutes of agronomic research or ORSTOM centres.
- Erosion over 5 to 20 hectares on natural basins: studied in sediment traps by hydrologists.
- Solid transport on rivers: studied by hydrologists - a few measurements in 1956 and several networks in 1965.

As far as the problem of soil conservation is concerned, these studies were often undertaken too late in certain zones. As to the filling up of reservoirs, solid transport is unimportant on medium and large channels in West Africa, so that the delay in setting up a measuring network has had no serious consequences. The policy would have been different in a country where soil is subject to erosion, with a high population density and a large proportion of the soil to be exploited. In this case, erosion and solid transport measurements would have started at the same time as the first discharge measurements, as was done, for example, in Tunisia.

As far as water quality is concerned, in thinly populated regions, the first problem is that of salinity. As water is very sweet in most of the countries where ORSTOM has been active, the setting up of measuring networks started only in 1965. But, in Mediterranean regions for one, they should be set up very early and sampling and analysis methods laid down most rigorously. There again it is best for basic research on the cycle of dissolved matter to follow the setting up of networks.

In desert zones research was carried out by missions: two or three successive missions for each region with an extensive survey, with a network of storage rain-gages and a rapid survey of floods in wadis, and an intensive study on a representative basin. It has been seen that this is current practice in the world. Only over a very sparse network of meteorological stations are observations permanently made.

As for equipment, the use of delicate apparatus, unsuitable for tropical conditions, was avoided whenever possible, as was the use of heavy equipment whose installation would have been hard work. We are now forced to use both delicate and heavy equipment, and have no regrets over past policies, for it is now clear that fifteen years ago it would have been impossible to do otherwise in most cases.

J. A. RODIER

To carry out our programmes it has been necessary to train many indigenous agents. This training has been carried out in the field depending on natural conditions. The training of indigenous hydrological engineers has not taken on the importance it should. It is often found that in countries needing most hydrological research the total number of engineers available is very small and they are reserved first for responsible functions. However, starting in 1960 training periods have been organized in Paris, both for states once in the French Community and for trainees of other countries. These training periods concentrate on applied hydrology for the carrying out of all kinds of projects.

It has been possible to carry out the research detailed above in fairly good conditions, in spite of meagre resources, for the fact of operating over large areas has meant that researchers are used to the full and maximum efficacy obtained.

This has been possible because a certain number of neighbouring states have appealed to the same research organization. Usually circumstances are less simple, but similar results can be obtained with international co-operation. For this it is not necessary for each state to possess, for example, a large evaporation research station. Equally, there is no benefit in each state's having a representative basin for each of its natural regions, if data exchange with neighbouring states is well organized and research carried out so as to give comparable results. It is to be hoped that the International Hydrological Decade, by developing co-operation in the field of hydrology, will lead to the pooling of research of developing states, so that the resources they possess will be put to the best use.