

Évolution des recherches hydrologiques en partenariat en Afrique sub-saharienne : l'exemple des pays francophones

Developing hydrology research in partnership in Sub-Saharan Africa: the example of the French-speaking countries

J. C. Olivry et J. Sircoulon

Volume 11, numéro hors-série, 1998

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/705330ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/705330ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Université du Québec - INRS-Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE)

ISSN

0992-7158 (imprimé)

1718-8598 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Olivry, J. C. & Sircoulon, J. (1998). Évolution des recherches hydrologiques en partenariat en Afrique sub-saharienne : l'exemple des pays francophones. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 11, 61–75.
<https://doi.org/10.7202/705330ar>

Résumé de l'article

L'étude des activités hydrologiques menées au cours des cinquante dernières années dans les pays francophones de l'Afrique sub-saharienne apporte un précieux éclairage sur les difficultés rencontrées, les modes de collaboration adoptés et l'ampleur des défis à relever dans le domaine de l'eau à l'aube du troisième millénaire.

Ceci est l'occasion de tracer les étapes marquantes de l'acquisition de la " connaissance hydrologique " depuis l'ère pionnière des années 50 jusqu'aux programmes scientifiques les plus récents faisant appel à des technologies avancées. Cette rétrospective permet également d'apprécier l'évolution des modes de partenariat entre acteurs scientifiques, techniques et économiques du Nord et du Sud.

Ces travaux et recherches ainsi entrepris et développés montrent à la fois l'importance du savoir acquis et la nécessité de poursuivre les études en cours. Ils dressent aussi un constat encourageant quant à l'avenir des projets régionaux africains en hydrologie grâce au renforcement des relations scientifiques entre pays de la région.

Évolution des recherches hydrologiques en partenariat en Afrique sub-saharienne : l'exemple des pays francophones

Developing hydrology research in partnership in Sub-Saharan Africa: the example of the French-speaking countries

J.C. OLIVRY¹ et J. SIRCOULON¹

SUMMARY

This article describes a study of hydrological research carried out in the French-speaking countries of sub-Saharan Africa over the past fifty years, by all the parties concerned.

The work sheds useful light on the difficulties encountered, the types of co-operation adopted, and the scale of the challenge now facing the region in the matter of water resources, on the eve of the third millennium.

The first stage in the acquisition of hydrological knowledge in the region was the pioneer period of the 1950s, when many different kinds of water demand were emerging very fast but hydrological information was almost nil. Hydrometric networks incorporating 1,500 instrument stations had to be rapidly set up for an overall survey of water resources. 200 representative or experimental catchments were equipped. The data obtained from the stations provided practical answers, meeting the operational needs of development, though in many cases the data acquired were used again, later on, for pure research purposes. The data gathering was a huge task, carried out on a range of different geographical scales. To achieve it, hydrologists had to develop appropriate methodologies for the region's tough climate and difficult field conditions; they also had to train highly motivated, seasoned hydrologists.

During the sixties, the first hydrological monographs on the major river basins were completed, research was conducted on regimes and ten-year flood peaks, and findings on the small catchments were collated. All this provided a first sketch of the region's main hydrological features.

Two major upheavals marked the end of the 1960s: a long, disastrous drought and the information technology revolution.

The scale of the hydropluviometric deficits recorded over several decades, amounting in some catchments to 30%-40%, led scientists to wonder how stable water resources really are and whether the notion of "normal" in hydrology or

1 Orstom, 213, rue La Fayette, 75480 Paris cedex 10, France.

rainfall has any validity. The question was especially relevant because the design of all major African water engineering schemes completed around 1960-65 was necessarily influenced by the flow rates recorded in the previous, wet period. Changes in ground surface states and the environment in general, under the impact of climate change and increasing human activity respectively, made a more multidisciplinary approach to the hydrological cycle indispensable.

Information technology also had a major impact, as the many numerical data gathered could at last be properly analysed and exploited. User-accessible reference databases were developed and processing software packages like Hydrom and Pluviom were widely distributed. It was now possible to model the relations between rainfall and discharges at a detailed scale; modelling improved steadily, first with the introduction of fine-mesh models, then of coupled surface water-groundwater models.

As regards water engineering work, flood routing models were significantly improved for the Niger and Senegal rivers, and dam operation simulation models made spectacular strides. Of course, data processing greatly facilitated the use of statistical laws for everything to do with engineering hydrology.

For several decades, metrology made little progress; but the instruments in use were robust and easy to use, and so well suited to local conditions. Not until the early 1980s was there significant technological progress in sensor technology; meanwhile civilian satellites made their debut and were used from the outset to facilitate hydrological data gathering, verification and transmission. Two applications illustrate this use locally. One is the Hydroniger project, involving eight countries bordering on the Niger and designed to produce an operational, real-time hydrological forecasting system on the river basin; the other is the Onchocerciasis Control Program, with WHO. In this program, discharge data in only slightly delayed time has made it possible to calculate the right dose of insecticide to add to infected rivers.

Over the past ten or fifteen years, hydrological research has considerably extended its scope, to include spatialised hydrological parameters, soil/water/plant/atmosphere relations, soil erosion and conservation, geochemistry, hydrochemistry, etc. Meanwhile, sub-Saharan Africa has not been left out of the international organisations' programs involving operational or pure research hydrology, and it is making its contribution to the great challenges that face us with regard to water resources and management. Examples are the WMO WHYCOS project to establish permanent monitoring systems; the AOC-FRIEND program, a regional research project, which has been growing in strength; and the Hapex-Sahel experiment, designed to provide more information on the thermal and moisture characteristics of soil and vegetation, for integration into general atmospheric circulation models.

Forms of collaboration among the partners involved in hydrology in this part of Africa have naturally changed over the course of fifty years. In the beginning, demand from local technical services set up a particular form of partnership with hydrology experts from the North. After independence, scientific and technical co-operation developed along with a policy for training management-level staff to build up national hydrology services. In many countries, however, the national services only gradually took full charge of their hydro-metric networks, with technical assistance continuing for a long time. During the seventies and eighties, most countries acquired scientific or technical infrastructures that played host to hydrologists from the North for joint research programs and studies, with gradually increasing involvement by African water research scientists.

After long years of work gathering, interpreting and applying data, the hydrological characteristics of this part of Africa have been established and the groundwork for a sound scientific partnership between Northern and

Southern partners has been laid. Many of the region's water problems are linked to the difficulty of meeting constantly rising demand from fluctuating water resources; unrelenting effort is needed to resolve these problems.

In this regard, there are promising signs for the new millennium: the growing community of African hydrologists is increasingly active in major international programs; links have been forged among those involved in Africa's various regional programs; and there are now thriving scientific associations like the Association of African Hydrologists.

Key-words: french-speaking sub-Saharan Africa, North-South co-operation, hydrology, international programs, research, water resources.

RÉSUMÉ

L'étude des activités hydrologiques menées au cours des cinquante dernières années dans les pays francophones de l'Afrique sub-saharienne apporte un précieux éclairage sur les difficultés rencontrées, les modes de collaboration adoptés et l'ampleur des défis à relever dans le domaine de l'eau à l'aube du troisième millénaire.

Ceci est l'occasion de tracer les étapes marquantes de l'acquisition de la « connaissance hydrologique » depuis l'ère pionnière des années 50 jusqu'aux programmes scientifiques les plus récents faisant appel à des technologies avancées. Cette rétrospective permet également d'apprécier l'évolution des modes de partenariat entre acteurs scientifiques, techniques et économiques du Nord et du Sud.

Ces travaux et recherches ainsi entrepris et développés montrent à la fois l'importance du savoir acquis et la nécessité de poursuivre les études en cours. Ils dressent aussi un constat encourageant quant à l'avenir des projets régionaux africains en hydrologie grâce au renforcement des relations scientifiques entre pays de la région.

Mots clés : Afrique sub-saharienne francophone, coopération Nord-Sud, hydrologie, programmes internationaux, recherche scientifique, ressources en eau.

1 – INTRODUCTION

L'Afrique est un continent fortement contrasté en matière de ressources en eau : 60 % de sa surface sont arides et ne contribuent que pour 5 % à la ressource globale en eau.

Les régimes pluviométriques et donc hydrologiques y sont très diversifiés, l'Afrique de la façade atlantique présente ainsi sur un court axe nord-sud toute une gamme de climats depuis le régime le plus désertique jusqu'au régime équatorial humide.

L'Afrique est aussi un continent de paradoxes illustrés par deux exemples, seuls 5 % de sa ressource en eau totale annuelle (soit 140 milliards de m³) sont utilisés et le Burkina-Faso, pays souffrant pourtant de sécheresses répétées, dispose théoriquement par habitant d'autant d'eau que la France (3 500 m³/an).

Mais l'Afrique est principalement un continent de défis et d'incertitudes, car les chiffres précédents masquent des faits beaucoup plus dramatiques et tristement connus : difficulté de l'accès à l'eau, caractère souvent intermittent de l'écoulement, excès momentanés d'eau (crues) à caractère parfois destructeur ; d'où en réalité un déséquilibre croissant entre une demande en hausse continue (démographie vigoureuse) et une ressource en eau renouvelable fluctuante et en baisse sur d'immenses régions (entre les normales pluviométriques 1961-1990 et 1931-1960 le déficit est parfois de 30 % au Sahel).

Ce sont ces défis que doivent relever les responsables des pays africains et la contribution de leurs ingénieurs et de leurs chercheurs est fondamentale dans le domaine hydrologique.

À l'aube d'un troisième millénaire où les « conflits d'eau à partager » prendront une part prépondérante, la connaissance des caractéristiques hydrologiques de ce continent doit encore être précisée, actualisée, afin d'améliorer la gestion des ressources en eau et relever les défis majeurs du développement durable. Les pays francophones au sud du Sahara, sévèrement touchés par une sécheresse sur plusieurs décennies et connaissant une forte croissance démographique font partie des régions les plus sensibles aux problèmes de l'eau. À travers les études effectuées au cours de ces cinquante dernières années dans ces vastes régions, il est possible de retracer les étapes marquantes de l'acquisition de cette « connaissance hydrologique » et d'apprécier l'évolution du partenariat entre acteurs scientifiques, techniques et économiques, que l'on appellera « coopération Nord-Sud » dans les décennies les plus récentes.

2 – HYDROLOGIE ET DEMANDE SOCIALE AVANT LES INDÉPENDANCES

2.1 La situation dans les années 1945-1950

Après la seconde guerre mondiale, une politique de développement des infrastructures et des ressources économiques est mise en œuvre ; les besoins sont alors immenses : constructions de ponts routiers et ferroviaires, énergie hydroélectrique, hydraulique agricole et fluviale, alimentation en eau et assainissement urbain, mais l'information hydrologique nécessaire est rare, souvent peu accessible ou non exploitée et de plus très hétérogène.

En 1945, s'il existait déjà plusieurs centaines de stations pluviométriques en service sur l'ensemble de la zone grâce à la création en 1921-1922 des services météorologiques d'Afrique occidentale et équatoriale ou du Congo belge, dont plusieurs dizaines d'entre elles fonctionnaient déjà au début du siècle, la situation était beaucoup moins brillante pour l'information hydrologique ; certes 40 stations existent alors, en particulier sur les bassins des fleuves Sénégal et Niger, et à peu près autant sur le bassin du fleuve Congo, mais ce chiffre fait illusion car, installées généralement pour les besoins de la navigation fluviale, elles ne fournissent souvent que de simples niveaux d'eau. Autrement dit, à part leur comportement saisonnier global, on connaît peu de choses à l'époque (exception faite du fleuve Congo avec les travaux de E. DEVROEY) sur les véritables caractéristiques hydrologiques des grands fleuves tropicaux, leur régime, l'importance de l'écoulement,

les débits en période de crue ou de basses eaux. Les conditions d'écoulement et l'importance des crues des cours d'eaux sahéliens étaient, quant à elles, totalement inconnues.

2.2 La demande sociale et le développement des études hydrologiques en Afrique, l'époque des pionniers : installation, acquisition et inventaire

Cette demande traduite par les services techniques instaure un partenariat particulier avec les spécialistes de l'hydrologie. D'abord envisagée comme science de l'Ingénieur, la collaboration en hydrologie se développe sur de grands projets des services coloniaux des Travaux publics, de l'Agriculture, de la Production électrique, des Voies Navigables. Il apparaît bien vite que la connaissance doit précéder le projet et une des forces de ce partenariat a été de favoriser l'inventaire systématique des ressources en eau et la connaissance hydrologique de base.

Une des premières composantes de cette action a été le développement des *réseaux hydrologiques*. Mais parfois installer un réseau et effectuer des mesures représentait un véritable défi car certaines structures en place à l'époque, comme la MAS (Mission d'Aménagement du fleuve Sénégal) ou la MEAN (Mission d'Étude et d'Aménagement du fleuve Niger), travaillaient dans une optique strictement limitée aux voies navigables.

La constitution d'une base de données hydrologiques suit un schéma classique : établissement d'un réseau hydrométrique, acquisition de l'information brute, traitement des données puis constitution des fichiers et annuaires. Il a donc fallu créer de véritables réseaux hydrologiques : installer des stations, faire des observations et étalonner les cours d'eau. Compte tenu de la grande diversité des zones géographiques à couvrir, cela impliquait la mise au point d'une méthodologie de mesures spéciale à chaque régime, trouver des techniques et des appareillages adaptés aux contraintes climatiques et d'environnement. Il fallait naturellement trouver des observateurs et les former et surtout constituer un corps d'hydrologues aguerris, capables de surmonter toutes les difficultés du terrain et sachant gérer des tournées de réseaux où parfois le simple fait d'accéder à une station était déjà un exploit. Les premiers techniciens hydrologues africains seront formés peu avant les indépendances.

Un homme doit être cité en tant que père de l'hydrologie tropicale africaine, il s'agit de Jean Rodier (1914-1994). Un colloque tenu en mai 1995 à Paris a montré son rôle d'initiateur, de promoteur et de maître d'œuvre de l'hydrologie dans cette région du monde en tant que chef du service hydrologique de l'Orstom de 1949 à 1977. Cet Office a joué un rôle essentiel dans le développement des réseaux hydrologiques sub-sahariens en ayant des modes d'intervention très variés suivant les pays. En 1950 commence l'installation des réseaux, en collaboration avec EDF et les structures locales qui se mettent en place ; 1500 stations seront ainsi implantées en zone intertropicale !

La nécessité de mieux cerner les processus hydrologiques sur le continent africain est aussi apparue très tôt et la mise en œuvre d'études sur *bassins versants représentatifs et expérimentaux (BVRE)* devait ouvrir la voie plus tard à de larges développements scientifiques. Dès la saison des pluies 1949 en Guinée se pose l'évaluation de l'écoulement sur de petits bassins forestiers. L'année suivante, au Sahel cette fois, la destruction de franchissements routiers par de petits cours d'eau en crue renforce la conviction des premiers hydrologues que les réseaux qui s'installent ne pourront jamais répondre à tous les besoins de la con-

naissance hydrologique (alors uniquement opérationnelle). Ceci concerne particulièrement l'évaluation fine des relations pluies-débits sur des surfaces de quelques km² par exemple. Les premiers bassins représentatifs en Afrique humide seront installés en 1951 et une campagne de 10 bassins est montée en zone sahélienne en 1954 pour étudier le mécanisme de formation des crues. Ce type d'études se développera considérablement dans les décennies suivantes (24 ensembles de bassins étudiés simultanément en 1964). De finalité appliquée au départ (pour fournir les normes hydrologiques nécessaires aux aménageurs), certains seront exploités dans une optique de recherche fondamentale.

3 – LA PREMIÈRE DÉCENNIE DES INDÉPENDANCES : LES ANNÉES SOIXANTE

3.1 Une période de transition

Avec l'accession à l'indépendance des pays d'Afrique sub-saharienne, la France développe une coopération scientifique et technique qui va voir renforcer les actions de recherche pour le développement. C'est une période de forte augmentation des effectifs des hydrologues. Ceux-ci, au sein de services hydrologiques de l'Orstom ou de structures nationales, poursuivent, en collaboration avec les services techniques des États, des travaux pour l'essentiel axés sur les composantes hydrologiques de projets de développement (en particulier, les grands aménagements hydroélectriques avec Électricité de France), la gestion des réseaux hydrométriques et les études sur petits bassins représentatifs. La recherche finalisée et l'hydrologie opérationnelle sont encore largement dominantes dans les travaux effectués.

C'est aussi la période où s'amorce au niveau du partenariat une politique de formation des cadres, généralement dans des écoles d'ingénieurs (hydraulique), plus rarement à l'Université, avec une formation complémentaire donnée en hydrologie (diplôme de l'Orstom), dont une intégration sur le terrain. La plupart de ces cadres accéderont rapidement à des responsabilités administratives de haut niveau généralement éloignées de leur formation initiale. La coopération belge développera au Zaïre une assistance technique (Voies Navigables) et universitaire (Université de Lovanium à Kinshasa). Certains pays africains auront aussi la possibilité de former leurs ingénieurs en Union soviétique et dans les pays d'Europe de l'Est.

On doit souligner le rôle important d'impulsion joué par le CIEH (Comité Inter-africain d'Études Hydrauliques) fondé en 1960 à Ouagadougou (et disparu en 1994) dans le développement des études hydrologiques grâce à son rôle d'interface entre les institutions de recherche préoccupées par la connaissance et la compréhension du milieu physique et les États d'Afrique francophone désireux de se doter des équipements hydrauliques nécessaires.

3.2 Une première valorisation des connaissances

Les premiers annuaires qui font leur apparition en 1949 étaient bien modestes, mais très vite ils vont s'étoffer chaque année de stations nouvelles ; les rap-

ports de campagne sur petits bassins ou de mission itinérante de jaugeages et de contrôle (qui durent parfois trois mois) tressent également une précieuse trame d'information et les premiers fichiers de données de base se constituent rapidement, permettant la mise en chantier progressive des *monographies hydrologiques* des principaux fleuves et grands bassins (certaines seront remises à jour plusieurs fois, comme celle du bassin du lac Tchad dont la première version date de 1959 et la dernière est sortie en 1996).

Au cours des années 60 les grands traits de l'hydrologie de cette région de l'Afrique étaient dessinés. On peut citer à ce sujet trois publications marquantes de l'époque :

- Régimes hydrologiques de l'Afrique Noire à l'Ouest du Congo par J. RODIER en 1964,
- Estimation des crues décennales pour les bassins de moins de 200 km² (J. RODIER et C. AUVRAY en 1965),
- Synthèse des observations réalisées de 51 à 69 sur BVRE (P. DUBREUIL *et al.*, 1972).

Signalons aussi la valorisation de travaux par la publication d'articles scientifiques dans les Cahiers Orstom-Série Hydrologie à partir de 1964, revue qui assurera un lien dans la communauté des hydrologues de l'Afrique jusqu'en 1985 (relayée par la revue Hydrologie Continentale pilotée par le Cemagref et l'Orstom de 1986 à 1994).

4 – LES ANNÉES SOIXANTE-DIX ET QUATRE-VINGT : L'IMPACT DE BOULEVERSEMENTS MAJEURS EN HYDROLOGIE

La fin des années 60 allait être marquée par deux bouleversements majeurs : catastrophe climatique durable (sécheresse) et révolution informatique qui vont avoir des impacts considérables sur la façon d'appréhender l'hydrologie africaine. Le début des années 80 voit une rapide évolution technologique des équipements d'acquisition des données. Enfin, on relève au cours de ces deux décennies la réelle émergence d'une communauté scientifique d'hydrologues africains et d'une coopération renouvelée entre le Nord et le Sud.

4.1 L'impact de la sécheresse

De nombreuses études, souvent réactualisées, ont fourni des données chiffrées sur la diminution durable des précipitations et donc des débits, en premier lieu sur la région sahélienne, puis par la suite également sur les régions tropicales humides et équatoriales.

On sait en effet que la sécheresse apparaît au Sahel vers 1968, culmine au cours de deux paroxysmes en 72-73 et 83-84 et n'a en fait jamais véritablement cessé depuis. Mais les déficits hydropluviométriques gagnent également de façon durable l'Afrique humide au cours des années 80. Ainsi pour cette décennie-là, les débits présentent globalement un déficit d'écoulement de 27 % en zone sahélienne et de 16 % pour l'Afrique humide (bassin du fleuve Congo compris), (MAHÉ, 1993).

Cette situation catastrophique a provoqué l'émergence d'une active solidarité internationale et d'une collaboration des pays riverains des grands bassins fluviaux avec la mise en place de nouvelles structures comme celles du CILSS (Comité inter-États de lutte contre la sécheresse au Sahel) en 1972-1973, avec l'Institut du Sahel à Bamako, ou de l'AGRHYMET à Niamey en 1975 (Programme agro-hydro-météorologique). Ce programme privilégie la formation de spécialistes de terrain et la diffusion d'une information utile aux agriculteurs.

Mais l'Afrique a aussi joué un rôle précurseur dans les grandes interrogations sur la variabilité climatique et les effets anthropiques possibles. La communauté scientifique a ainsi pris conscience, devant la persistance du phénomène, et en concourant ainsi à la montée en puissance du concept de Global Change, de la non stationnarité des ressources en eaux et de la fragilité de la notion de normale trentenaire, si chère aux climatologues, ou des normes hydrologiques en vigueur. À ce sujet, on doit constater que les grands aménagements africains réalisés dans les années 60, comme Akosombo sur la Volta (1965) ou Assouan sur le Nil (1966), ont été dimensionnés en s'appuyant à l'époque sur des normes hydrologiques surévaluées, la période humide 1950-1965 conduisant à un optimisme trompeur. Une telle situation a montré la nécessité de mieux comprendre l'évolution du milieu et de son environnement sous les effets conjugués des actions climatiques et anthropiques d'où l'obligation de renforcer la connaissance du « terrain » dans toutes ses composantes disciplinaires et avec des techniques d'acquisition améliorées.

Dans cet ordre d'idées, l'étroite collaboration sur le terrain des pédologues et des hydrologues qui s'instaure au milieu des années 70, afin de déterminer les états de surface des sols des BVRE et leur comportement hydrodynamique à l'aide du simulateur de pluie, a grandement amélioré la compréhension des conditions de ruissellement (ou d'infiltration) et l'ampleur des modifications apportées au comportement hydrologique des bassins étudiés (CASENAVE et VALENTIN, 1990).

4.2 L'impact de l'informatique

L'emploi progressif de l'informatique à partir de 1966-1967 allait valoriser de nombreux domaines, comme l'accès à des données hydrologiques élaborées grâce à la mise sur fichiers des abondantes données numériques recueillies et l'écriture de programmes de traitement, la modélisation des relations pluies-débits enfin rendue praticable et une meilleure utilisation des indispensables lois statistiques.

4.2.1 Cas des banques de données

L'exemple de la banque de données pluviométriques journalières de tous les pays africains francophones (sauf la Guinée) de l'origine des stations jusqu'en 1980 illustre bien le travail effectué dans ce domaine. Cette banque a été réalisée par l'Orstom, à la demande du CIEH, et avec l'appui de l'Association pour la Sécurité de la Navigation Aérienne pour les données 1965-1980. Cette pluviométrie contrôlée et critiquée a été rassemblée à partir des documents originaux (en procédant dans chaque pays à un microfilmage systématique des archives, ce qui rejoignait l'opération de sauvetage des données météorologiques du programme DARE de l'OMM, financé par la Belgique).

En 1995, cet effort ne s'était pas démenti et la Banque « Pluie » contiendra 57 000 années de précipitations journalières correspondant à 2 800 postes de mesure tandis que la Banque « Hydro » contiendra, pour sa part, 21 300 années de hauteurs d'eau provenant de 1 624 stations. Sous l'appellation « BADOIE », un ensemble de logiciels et de données a été remis en juin 96 à Abidjan aux partenaires du projet Friend-AOC (cf. plus loin).

Les logiciels de traitement de ces 2 banques, à savoir Hydrom et Pluviom, composantes de base du programme Shofm de l'OMM, sont diffusés gracieusement et largement utilisés dans une vingtaine de pays, l'Institut organisant des stages de formation pour les utilisateurs.

4.2.2 Cas de la modélisation

Pendant de nombreuses années l'approche de la relation pluie-débit sur petit bassin-versant se faisait de façon globale, à l'aide de la théorie de l'hydrogramme unitaire, car la méthode des hydrogrammes synthétiques, introduisant un découpage du bassin en lignes isochrones de propagation de l'écoulement, était très difficile à exploiter à la main.

Les années 1966-1967 marquent un tournant avec la mise au point des premiers modèles informatisés, mais il faudra encore attendre 5 ans pour voir la création décisive du modèle à discrétisation spatiale qui découpe les bassins en carreaux élémentaires sur chacun desquels les paramètres du cycle de l'eau sont calculés, et qui ouvre aussi la voie à d'autres approches dans la modélisation pluie-débit. Au début des années 70 se développent les modèles de simulation du fonctionnement des aménagements permettant, par exemple, d'optimiser les caractéristiques des barrages en construction (comme au Cameroun ou en Côte-d'Ivoire). Le début des années 80 coïncide avec l'avènement des modèles couplés associant les comportements des eaux de surfaces et des eaux souterraines ; c'est également l'essor des modèles de propagation de crues largement employés pour calculer l'évolution de la crue du fleuve Niger ou de la crue artificielle du fleuve Sénégal (à partir des lâchures de la retenue de Manantali).

Les années 90 verront enfin le développement de modèles simulant les impacts climatiques et/ou anthropiques sur le milieu naturel et la ressource en eau

4.3 Évolution technologique du début des années 80

Les difficultés liées à la collecte des données, leur dépouillement et leur mise sur support informatique ont favorisé la mise au point de capteurs modernes avec enregistrement sur mémoire statique qui allaient préfigurer les plates-formes d'acquisition en usage aujourd'hui dans les projets internationaux. Toutefois, il faut reconnaître que les matériels anciens, robustes, peu coûteux et simples d'emploi se rencontrent encore très fréquemment et fournissent toujours une information très précieuse.

Les satellites civils lancés à partir de 1977-1978 allaient fournir une autre facilité, spectaculaire, dans la collecte et le contrôle des données. Une des premières utilisations du système Argos, testée par l'Orstom au Sénégal, concerne en effet la télétransmission des hauteurs d'eau par satellite. Les applications seront vite nombreuses et nous citerons deux exemples ; le premier lancé en 1980 est celui du projet Hydroniger (coordination OMM/Autorité du Bassin du Niger) doté de

65 stations couvrant 8 pays pour rendre opérationnel un système de prévision hydrologique en temps réel relatif à l'ensemble du bassin du Niger. Le second est le Programme de Lutte contre l'Onchocercose (coopération Organisation Mondiale de la Santé/Orstom) ; mis en place dès 1974, il permet, grâce à la connaissance en temps peu différé des débits, de combattre efficacement les larves de simules par un dosage approprié d'insecticide dans les cours d'eau. Prévu au départ uniquement sur le bassin de la Volta, il s'étend aujourd'hui, de par son succès, sur plus d'un million de km².

4.4 Évolution de la recherche en coopération, valorisation et formation des hydrologues africains

Les années soixante-dix et quatre-vingt vont voir dans la plupart des pays le développement d'infrastructures scientifiques ou techniques nationales qui accueilleront les hydrologues du Nord, dans une programmation commune des recherches et des travaux dans le domaine de l'eau. Ces établissements, dépendant suivant le cas de ministères techniques (mines et énergie, transports, etc.) ou d'un ministère de l'enseignement supérieur ou de la recherche, n'ont pas tous la même vocation ; lorsque la vocation scientifique n'y est pas suffisamment affirmée, le maintien de structures de recherche de l'Orstom et le développement des départements concernés dans les universités permettent l'accueil de chercheurs nationaux.

L'exploitation des réseaux hydrométriques a été prise en charge progressivement par des services nationaux, avec souvent le maintien d'une collaboration étroite et fructueuse avec les hydrologues de l'Orstom (depuis la gestion directe sur budget propre, jusqu'à un simple rôle de conseil de gestion et de conseil technique), ou avec une assistance technique plus diversifiée dans des projets soutenus par l'OMM avec financement de la Coopération française ou du Programme des Nations Unies pour le Développement. Ce sont des projets de réhabilitation des réseaux qui ne prennent malheureusement pas en compte, sur la durée, les besoins financiers de leur fonctionnement.

Le champ des recherches hydrologiques s'est aussi considérablement élargi pendant cette période : spatialisation des paramètres hydrologiques, relations sol-eau-plante-atmosphère, érosion et conservation des sols, transferts fluviaux de matières en suspension et dissoutes, géochimie et biohydrogéodynamique des grands hydrosystèmes, etc. Ces projets et sujets de recherche, issus d'une programmation commune entre équipes du Sud et du Nord, vont aussi ouvrir la voie à une pluridisciplinarité enrichissante.

L'abondance des données de base acquises et leur diffusion permettent une vaste valorisation de l'hydrologie africaine à travers différentes publications et synthèses, qu'il s'agisse de monographies hydrologiques, d'études sur petits bassins représentatifs (250 auront été étudiés depuis l'origine des travaux), et autres sujets évoqués plus haut. Mais dans le même temps où l'hydrologie de ces régions commençait à être assez bien connue, l'importance de certaines composantes du cycle et des régimes hydrologiques apparaît, notamment à travers l'impact des grands déficits hydropluviométriques, montrant bien que la connaissance n'est jamais une chose acquise définitivement.

C'est aussi l'époque de l'implication de plus en plus forte de chercheurs africains en sciences de l'eau dans une formation à la recherche et une recherche académique, de tradition plus ancienne dans les pays africains anglophones, se

développant dans le même temps que les départements de géographie et de sciences de la terre des universités.

L'Orstom, dont la mission d'institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération a été clairement affichée, a assuré la direction scientifique d'une vingtaine de thèses de doctorat en hydrologie (voir la bibliographie partielle), conjointement avec des universités françaises ou africaines. Des universités françaises de plus en plus nombreuses s'impliqueront aussi dans cette formation en accueillant des doctorants et en développant avec les institutions africaines des projets communs (projets Campus). Des universités européennes et canadiennes, ainsi que des établissements d'enseignement supérieur, développent également cette coopération scientifique, en particulier la Belgique et la Fondation Universitaire Luxembourgeoise, la Suisse (Neuchâtel et Lausanne) et le Québec, pour ne parler que de la francophonie. On doit citer aussi le soutien, encore mesuré, de l'AUPELF-UREF à des projets de recherche individuels d'hydrologues africains et la coopération d'ONG telle l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature sur des projets Zones Humides.

5 – L'ÉTAT DES LIEUX DANS LA PÉRIODE ACTUELLE

5.1 Années quatre-vingt-dix et grands projets ou programmes internationaux

Au cours de cette décennie, se développent de grandes opérations qui concernent aussi bien l'hydrologie opérationnelle que l'hydrologie scientifique et qui correspondent à des préoccupations majeures :

L'acquisition des données demeure un problème crucial et malheureusement permanent, il faut de longues séries pour apprécier l'évolution des ressources en eau, il faut des stations de référence stables pour établir les normes et les caractéristiques des régimes. Or les services nationaux (et ceci n'est pas l'apanage de l'Afrique) ont de plus en plus de mal à assurer une gestion satisfaisante des réseaux par manque de moyens matériels et de personnel. La situation en Hydrologie comme en Météorologie des services et réseaux nationaux a été expertisée par le « Programme d'évaluation des Ressources en eau en Afrique Sub-Saharienne » financé par la Banque Mondiale pour le compte de l'OMM. Ce projet s'est déroulé de 1990 à 1992 et le rapport régional « Afrique de l'Ouest » qui en est issu souligne les difficultés rencontrées par tous les services gestionnaires et l'insuffisance numérique des réseaux. Une réponse à ce dilemme est apportée par le programme WHYCOS de l'OMM (World Hydrological Cycle Observing System) qui vise à couvrir la planète d'un système de collecte et de dissémination d'informations hydrologiques portant sur les principaux fleuves. Parmi les programmes régionaux concernant ce continent, AOC-HYCOS basé à Ouagadougou se présente comme un Observatoire hydrologique régional qui depuis début 1995 collecte les données acquises par d'autres institutions, les contrôle et les transfère dans une base de données accessible par un serveur Internet.

Une autre initiative majeure est la constitution, effective en 1994, du projet FRIEND-AOC (Flow Regimes from International Experimental and Network Data

– Afrique de l'Ouest et Centrale). Le concept de base, sous l'égide de l'Unesco, est de promouvoir une recherche scientifique régionale s'appuyant sur la mise en commun des compétences hydrologiques nationales et bien sûr des données de base. Le premier projet a commencé pour l'Europe du Nord-Ouest il y a dix ans, et un projet en Afrique Australe a vu le jour en 1992. FRIEND-AOC basé à Abidjan se veut un réseau de recherche en partenariat orienté vers les besoins du développement.

Au titre des grandes expériences internationales issues du Programme Mondial de Recherche sur le Climat (OMM) et du Programme International Géosphère-Biosphère, l'expérience Hapex-Sahel qui s'est déroulée en 1992 sur une surface d'un degré carré près de Niamey (Niger) sur la thématique « Interactions surface continentale-atmosphère » a revêtu une signification particulière. C'était la première fois, en effet, qu'une opération scientifique internationale de cette envergure était entreprise en zone sahélienne. L'objectif principal de cette expérience était de mieux prendre en compte dans les modèles de circulation générale de l'atmosphère, comme dans les modèles d'hydrologie continentale, les caractéristiques hydriques et thermiques du sol et de la végétation.

5.2 Situation actuelle et perspectives

Par un long travail d'acquisition et d'interprétation des données, les grands traits de l'hydrologie de l'Afrique de l'Ouest et Centrale ont été progressivement établis et la connaissance des caractéristiques propres à chaque zone climatique s'est affinée à travers une documentation considérable (Monographies régionales réactualisées régulièrement, études sur BVRE conduisant à des études spécifiques de synthèse, banque de données élaborées, etc.).

Toutefois, un tel constat n'est pas aussi idyllique que cela pour des raisons évidentes, à savoir :

- subsistance évidente de régions à l'hydrologie non ou mal connue ;
- contraintes classiques et permanentes en hydrologie, telles que impossibilité à entretenir de façon satisfaisante des réseaux ou manque de personnel spécialisé, qui prennent ici un caractère d'autant plus aigu que le manque de moyens financiers est chronique ;
- remise en question des normes hydrologiques usuelles du fait d'un déficit hydropluviométriques persistant et des impacts anthropiques sur l'environnement ;
- isolement fréquent des scientifiques africains, trop souvent à l'écart des grandes manifestations internationales de leur discipline et ayant du mal à accéder aux indispensables données de base.

Face à une exigence de connaissance hydrologique sans cesse renouvelée pour faire face aux défis de l'eau du troisième millénaire tout proche, plusieurs remarques, parfois en forme d'interrogations, se posent :

- L'étude du milieu est indissociable du concept d'observatoire permanent ou de longue durée ; le projet WHYCOS au travers de ces applications régionales africaines semble apporter une réponse adaptée (observer moins mais mieux, aider les pays et diffuser l'information). Mais cette réponse minimale ne devrait pas dispenser les pays de garder leurs propres structures.

- Comment mieux caractériser la ressource en eau et sa variabilité dans l'espace et dans le temps, comment mieux maîtriser les risques hydrologiques (inondations ou pénuries) ? La montée en puissance du projet AOC-FRIEND

avec une mise en commun des données et des savoirs est un élément de réponse, mais elle implique une collaboration étroite de tous les partenaires.

– La connaissance du fonctionnement et des interactions Sol-Eau ou Sol-Eau-Atmosphère est essentielle à la compréhension des mécanismes hydrologiques et donc à une modélisation. Des expériences du type Hapex-Sahel apportent des éléments de réponse pour les régions sèches mais devraient être poursuivies en zone humide (Bénin).

– Quels sont les effets de l'anthropisation sur les systèmes hydrologiques et connaît-on bien les usages de l'eau et la façon de l'économiser ? Le défi est crucial car il faut adapter une demande croissante à une ressource fixe ou en diminution. Afin d'apporter des réponses au moins partielles, de nombreux programmes pluridisciplinaires de recherche sont en cours sur la mise en valeur et la gestion des ressources en eau, sur leur qualité avec les problèmes de pollution et d'assainissement (études portant sur des systèmes irrigués performants, les possibilités d'aménagement visant à parfaire les conditions d'exploitation agricole, l'exploitation des bas-fonds et celle des retenues collinaires, le milieu urbain, etc.).

– Dans le même ordre d'idées, la gestion durable des ressources en eau et de l'environnement (Agenda 21 – CNUED-Rio 1992) concerne un champ important de recherches. L'étude intégrée des dynamiques physiques, biologiques et sociales et des usages de la ressource en eau des hydrosystèmes continentaux s'ouvre sur des concepts nouveaux comme l'écohydrologie.

D'ores et déjà, la recherche hydrologique en Afrique s'est résolument engagée sur ces grandes orientations.

6 – CONCLUSIONS

Pour conclure sur ce rapide panorama des recherches entreprises en partenariat au cours d'un demi-siècle en Afrique sub-saharienne francophone, un constat essentiel et très encourageant peut-être fait à partir de l'évolution observée au cours de ces dernières années. Il tient en quelques points :

– Passage d'un partenariat exclusivement technique entre hydrologues et développeurs à un partenariat préférentiel entre organismes de recherche et entre équipes d'hydrologues des pays du Nord et équipes d'ingénieurs et de chercheurs africains. L'investissement scientifique des pays développés s'est largement diversifié et l'apparition de nouveaux partenaires constitue un atout de premier ordre pour une recherche élargie sur des thèmes novateurs des sciences de l'eau.

– Passage d'un partenariat exclusivement Nord-Sud à un partenariat partagé entre une coopération internationale et des relations Sud-Sud entre pays de la région, qui marque la sortie des pays d'Afrique francophone de leur isolement et de leur cloisonnement. Cela se concrétise par des collaborations et coopérations effectives rendues possibles par l'adhésion de chacun au projet FRIEND-AOC. À travers ce projet, l'Afrique francophone est aujourd'hui en charge d'un capital important de bases de données dont une part reste à valoriser, capital qui devrait servir à l'élaboration prospective de futurs projets de recherche.

– Passage à une concertation plus étroite avec les autres pays d'Afrique arabophone, anglophone et lusophone. Des liens prometteurs se tressent, au niveau

du continent, avec les autres projets régionaux : exemple des relations qui se nouent entre les différents projets FRIEND africains (avec ceux de l'Afrique Australe et du Nil ou Afrique de l'Est prévu à brève échéance) ou exemple du WHY-COS. La récente création de l'AAH (Association Africaine d'Hydrologie) ayant son siège à Cotonou est aussi très significative de cette volonté de regroupement des scientifiques.

L'Assemblée scientifique de l'AISH à Rabat en 1997 a montré l'émergence d'une solide communauté scientifique en Afrique francophone ; cela est, pour une part, à mettre au crédit du partenariat scientifique évoqué ici et dont les maîtres mots tiennent en deux termes : acquisition de la connaissance et formation à la recherche. La Conférence internationale sur la variabilité des ressources en eau au XX^e siècle, à Abidjan en 1998, sera une occasion privilégiée pour confirmer cette évolution.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AFOUDA A., 1985. Contribution à la représentation mathématique du fonctionnement hydrodynamique des bassins versants. *Thèse d'État*, INP Toulouse, n° 98.
- AISH, 1996. L'hydrologie tropicale : géoscience et outil pour le développement. « Mélanges à la mémoire de Jean Rodier ». P. CHEVALLIER et B. POUYAUD (ed.). *IAHS Publication n° 238*, 435 p.
- CASENAVE A., VALENTIN Ch., 1990. Les états de surface de la zone sahélienne – Influence sur l'infiltration. *Coll. Didactiques*, Orstom (ed.), 196 pl. coul., 229 p.
- CHEVALLIER P. *et al.*, 1985. Pluies et crues au Sahel. Hydrologie de la Mare d'Ourdi (Burkina Faso 1976-1981). *Travaux et Documents n° 190*, Orstom (ed.), 251 p.
- DACOSTA H., 1989. Précipitations et écoulements sur le bassin de la Casamance. *Th. Doctorat Uni. Cheick Anta Diop, Dakar*. Orstom (ed.) Paris, 277 p.
- DEVROEY E., 1939. Le Kasaï et son bassin hydrographique. *Annales des Travaux Publics de Belgique*, Goemare Ed., Bruxelles, 333 p.
- DEVROEY E., 1941. Le bassin hydrographique congolais. *Mémoires de l'Institut Royal Colonial Belge, Tome III, fasc. 3*, Librairie G. van Campenhout, Bruxelles, 172 p.
- DIONE O., 1996. Évolution climatique récente et dynamique fluviale dans les hauts bassins des fleuves Sénégal et Gambie. *Th. Doctorat Uni. Lyon III*, 428 p.
- DUBRÉUIL P. *et al.*, 1972. Recueil des données de base des bassins représentatifs et expérimentaux de l'Orstom (1951-1969). Orstom (ed.), 916 p.
- IWRA, UNESCO, 1989. The Sahel Forum on the state-of-the-art of hydrology and hydrogeology in the arid and semi-arid areas of Africa. *IWRA* (ed.), Ouagadougou nov. 88, 709 p.
- MAHÉ G., 1993. Les écoulements fluviaux sur la façade atlantique de l'Afrique. Étude des éléments du bilan hydrique et variabilité interannuelle. Analyse de situations hydroclimatiques moyennes et extrêmes. *Coll. Études et Thèses Orstom, Paris*, 438 p.
- MALOU R., 1992. Étude des aquifères superficiels en Basse Casamance : un modèle de bilan hydrique. *Th. Doctorat Uni. Cheick Anta Diop, Dakar*. 108 p.
- MOTT MAC DONALD, BCEOM, SOGREA, ORSTOM. (1992). Évaluation hydrologique des pays de l'Afrique subsaharienne. Pays de l'Afrique de l'Ouest. Rapport régional. *Banque Mondiale, PNUD, BAD, Mincoop*. 144 p. + annexes.
- MOUKOLO N., BRICQUET J.P., BIYIDI B., 1990. Bilans et variations des exportations de matières sur le Congo de janvier 1987 à décembre 1988. *Hydrol. Cont.*, 5(1), 41-52.
- NAAH E., 1990. Hydrologie du Grand Yaéré du Nord Cameroun. *Thèse d'État, Uni. de Yaoundé*, 325 p.

- OLIVRY J.C. *et al.*, 1996. Hydrologie du lac Tchad. *Coll. Monographies Hydrologiques de l'Orstom*, 12, 266 p.
- OMM, 1989. Statistics on regional networks of climatological stations, WMO Region I - Africa. *WCDF-7, WMO-TD-n° 305*, 32 p.
- ORSTOM, 1994. Sciences au Sud. Dictionnaire de 50 années de recherche pour le développement. Orstom (ed.), 167 p.
- ORSTOM, 1996. Interactions surface continentale/atmosphère. L'expérience Hapex-Sahel. X^e Journées hydrologiques, sept. 94. HOEPPFNER M. *et al.* (ed.), Orstom, 758 p.
- OSS/UNESCO, 1995. Les ressources en eau des pays de l'OSS : évaluation, utilisation et gestion, 80 p.
- PEDRO G., DUBREUIL P., 1987. Sols et eaux. Actes du séminaire tenu à la Banque Mondiale les 15 et 16 mai 1996. Orstom (ed.), 183 p.
- ROCHE M., 1983. L'apport de l'Orstom dans l'hydrologie de l'Afrique de l'Ouest. *Cah. Orstom, sér. Hydrol.*, vol. XX, n° 3-4 : 205-211.
- RODIER J., 1964. Régimes hydrologiques de l'Afrique noire à l'ouest du Congo. *Mém. Orstom*, n° 6, 137 p.
- RODIER J., AUVRAY C., 1965. Estimation des débits de crues décennales pour les bassins de moins de 200 km² en Afrique occidentale. *CIEH/Orstom*, 13 gr, 30 p.
- RODIER J., 1975. Évaluation de l'écoulement annuel dans le Sahel tropical africain, Paris, Orstom, Trav. et Doc. n° 46, 122p.
- SAMBOU S., THIRRIOT C., 1996. Indices de coordination et relation pluie-débit : application au haut bassin du fleuve Sénégal. In: *Publ IAHS n° 238, L'hydrologie tropicale : Géoscience et outil pour le développement, Colloque à la mémoire de Jean Rodier, 2-3 mai 1995 : 281-294, Paris.*
- SIGHA-NKAMDJOU L., 1993. Caractérisation et fonctionnement hydrochimique d'un bassin versant en milieu forestier équatorial humide : l'exemple de la Ngoko. *Th. Doctorat, Uni. Paris XI*, 380 p.
- SIRCOULON J., 1990. Impact possible des changements climatiques à venir sur les ressources en eau des régions arides et semi-arides. *WCAP-12, WMO/TD-n° 380*, 87 p.