

**TROPICAL CLIMATOLOGY,
METEOROLOGY AND HYDROLOGY
*IN MEMORIAM FRANZ BULTOT (1924-1995)***

Brussels, 22-24 May, 1996

OVERDRUK - EXTRAIT - OFFPRINT



Royal Meteorological Institute
of Belgium



Royal Academy
of Overseas Sciences

Guest Editors : G. Demarée, J. Alexandre, M. De Dapper

1998

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

International Conference
"Tropical Climatology, Meteorology and Hydrology"
(Brussels, 22-24 May 1996)
Proceedings edited by
G. Demarée, J. Alexandre and M. De Dapper
pp. 457-469 (1998)

Cinquante ans d'études hydrologiques en Afrique de l'Ouest

par

Jacques SIRCOULON *

MOTS-CLES. — Recherche ; Hydrologie ; Afrique de l'Ouest.

RESUME. — L'auteur ébauche les étapes les plus importantes au cours de cinquante ans d'études hydrologiques en Afrique de l'Ouest. Il traite successivement la période des années quarante avec ses grands travaux d'infrastructure, l'avènement des nouvelles techniques de mesure dans les années septante et la décennie de grands projets et programmes internationaux en coopération dans les années quatre-vingt-dix.

TREFWOORDEN. — Onderzoek ; Hydrologie ; West-Afrika.

SAMENVATTING. — *Vijftig jaar hydrologische studies in West-Afrika.* — De auteur schetst de opvallendste stappen in het verloop van vijftig jaar hydrologische studies in West-Afrika. Hij behandelt achtereenvolgens de periode van de jaren veertig met de grote infrastructuurwerken, de opkomst van de nieuwe meettechnieken in de jaren zeventig en de internationale samenwerkingscampagnes in de jaren negentig.

KEYWORDS. — Research ; Hydrology ; West Africa.

SUMMARY. — *Fifty Years of Hydrologic Studies in West Africa.* — The author shows the most important steps in the development of fifty years of hydrologic research in West Africa. He successively deals with the period of the forties with large infrastructure works, the period of the seventies with the advent of new measuring technology and the period of the nineties characterized by international cooperation.

* Comité National Français des Sciences Hydrologiques, Orstom, 213 rue Lafayette, F-75480 Paris Cedex 10 (France).

Fonds Documentaire ORSTOM



010016560

Fonds Documentaire ORSTOM

Cote : Bx 16560 Ex : 1

*
* *

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 l'Ouest 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 61-90 et 31-60 le déficit est parfois de 30 % au Sahel).

A l'aube d'un 3^e millénaire où les « conflits d'eau à partager » prendront une part prépondérante, la connaissance actuelle des caractéristiques hydrologiques de ce continent est-elle suffisante pour améliorer une gestion appropriée des ressources en eau et relever ces défis majeurs ?

L'exemple de l'Afrique de l'Ouest, à travers les études effectuées au cours de ces cinquante dernières années dans les pays francophones, permet de retracer les étapes marquantes de l'acquisition de cette « connaissance hydrologique » et d'apprécier les difficultés et les limites d'une telle entreprise.

1. La situation dans les années 45-50

Les besoins étaient alors immenses : constructions de ponts routiers et ferroviaires, énergie hydroélectrique, hydraulique agricole et fluviale, alimentation en eau et assainissement urbain, ... et l'information

existante rare, souvent peu accessible ou non exploitée et, de plus, très hétérogène.

1.1. INFORMATION PLUVIOMETRIQUE

En 1945, il existait déjà plusieurs centaines de stations en activité sur l'ensemble de la zone grâce à la création en 1921/22 d'un service météorologique en Afrique occidentale, qui avait permis le lancement de véritables réseaux de base. Plusieurs dizaines d'entre elles fonctionnaient depuis le début du siècle, voire même avant au Sénégal. Toutefois, il n'existait pas pour l'utilisateur de fichiers cohérents et critiqués de ces données et leur consultation en était laborieuse.

1.2. INFORMATION HYDROLOGIQUE

La situation était beaucoup moins brillante : certes quarante stations existent alors sur les bassins des fleuves Sénégal et Niger (contre trois pour l'ensemble du Togo-Bénin), mais ce chiffre fait illusion, car installées pour les seuls besoins de la navigation fluviale, elles ne fournissent que de simples niveaux d'eau et sont de plus très rarement lues pendant la longue saison de basses eaux.

Autrement dit, à part leur comportement saisonnier global, on ne connaît rien à l'époque sur les véritables caractéristiques hydrologiques des grands fleuves tropicaux, c.-à.-d. 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. L'époque des pionniers : installation, acquisition et inventaire

2.1. LES RESEAUX HYDROLOGIQUES

La constitution des données hydrologiques de base suit un schéma classique : établissement d'un réseau hydrométrique, acquisition de l'information brute, traitement des données puis constitution des fichiers et annuaires.

Mais ici installer un réseau et effectuer des mesures représentait un véritable défi car les structures en place à l'époque, comme la MAS (Mission d'Aménagement du fleuve Sénégal) ou la MEAN (Mission d'Aménagement du fleuve Niger), travaillaient dans une optique strictement de voies navigables.

Il fallait donc créer de véritables réseaux hydrologiques, c.-à.-d. 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.

Un homme doit être cité en tant que père de l'hydrologie tropicale africaine ; il s'agit du Dr Jean Rodier décédé en mai 1994 et qui entretenait d'étroites relations, tant scientifiques qu'amicales, avec le professeur Bultot. 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 Institut de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération a joué un rôle essentiel dans le développement des réseaux hydrologiques sub-sahariens en ayant des modes d'intervention très variés suivant les pays, depuis la gestion directe sur budget propre jusqu'à un simple rôle de conseil de gestion et de conseil technique. En 1950 commence l'installation des réseaux, en collaboration avec EDF et les structures locales qui se mettent en place ; quinze cents stations seront ainsi implantées en zone intertropicale !

Bien entendu, à l'Indépendance, l'exploitation de ces réseaux sera prise en charge progressivement par des services nationaux, mais avec souvent le maintien d'une collaboration étroite et fructueuse.

2.2. LES BASSINS VERSANTS REPRESENTATIFS ET EXPERIMENTAUX (BVRE)

En 1949 en Guinée, dès la saison des pluies, 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 connaissance hydrologique (alors uniquement opérationnelle). Ceci concerne particulièrement l'évaluation fine des relations pluies-débits sur des surfaces de quelques kilomètres carrés par exemple.

Les premiers bassins représentatifs seront installés en Afrique humide en 1951 et une campagne de dix bassins est montée en zone sahélienne en 1954 pour étudier le mécanisme de formation des crues. Dix ans plus tard, c'est l'apogée de l'exploitation des BVRE avec vingt-cinq bassins en activité à la fois, c.-à.-d. autant de bassins munis pendant 2 à 3 ans d'une forte densité d'appareils de mesure et d'une équipe, sur place au cours de la saison des pluies, intervenant dès le début des averses.

Deux cent cinquante ensembles de bassins en tout seront ainsi étudiés ; ils couvrent une gamme étendue de variation des facteurs conditionnels de l'écoulement et permettent une transposition géographique, en général satisfaisante, à des bassins non jaugés. De finalité appliquée au départ (pour fournir les normes hydrologiques nécessaires aux aménagistes), certains prendront une vocation de recherche, comme les bassins de Korhogo ou de Booro Borotou en Côte-d'Ivoire ou de la Mare d'Oursi au Burkina Faso.

3. Première valorisation

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 rapports de campagne sur petits bassins ou de mission itinérante de jaugeages et de contrôle (qui durent parfois trois mois) tissent 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» (RODIER 1964) ;
- «Estimation des crues décennales pour les bassins de moins de 200 km² (RODIER & AUVRAY 1965) ;
- «Synthèse des observations réalisées de 51 à 69 sur BVRE» (DUBREUIL *et al.* 1972).

On doit souligner le rôle important d'impulsion joué par le CIEH (Comité Interafricain d'Etudes 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 Etats d'Afrique francophone désireux de se doter des équipements hydrauliques nécessaires.

4. Le tournant de la fin des années 60

La fin des années 60 allait être marquée par deux bouleversements majeurs : révolution informatique et catastrophe climatique durable (sécheresse) qui vont avoir des impacts considérables sur la façon d'appréhender l'hydrologie africaine.

4.1. L'IMPACT DE L'INFORMATIQUE

L'emploi progressif de l'informatique à partir de 1966-67 allait valoriser de nombreux domaines, comme l'accès à des données hydrologiques élaborées grâce à la mise sur fichiers des copieuses 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.

4.1.1. Cas des banques de données

A la demande du CIEH, et avec l'appui de l'ASECNA (Association pour la Sécurité de la Navigation Aérienne) pour les données recueillies après 1965, l'Orstom allait constituer la banque de données pluviométriques journalières de tous les pays africains francophones (sauf la Guinée) de l'origine des stations jusqu'en 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, la Banque «Pluie» de l'Orstom contenait 57 000 années de précipitations journalières correspondant à 2 800 postes de mesure. La Banque «Hydro» contenait 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 1996 à Abidjan au projet Friend-AOC (cf. plus loin).

Les logiciels de traitement de ces deux 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.

4.1.2. 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 1966-67 marquent un tournant avec la mise au point des premiers modèles informatisés, mais il faudra encore attendre cinq 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. 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 surface 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 voient enfin le développement de modèles simulant les impacts climatiques et/ou anthropiques sur le milieu naturel et la ressource en eau

4.2. L'IMPACT DE LA SECHERESSE

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, atteint deux paroxysmes en 1972-73 et 1983-84 et n'a en fait jamais véritablement cessé depuis. Mais ces déficits 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).

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 à Bamako (Comité inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse au Sahel) en 1972-73 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. A ce sujet, constatation a été faite 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 1950-65 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 ce cadre d'idée, 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 impacts subis par les bassins étudiés.

5. Evolution 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 plateformes 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 1977-78 allaient fournir une autre facilité, spectaculaire, dans la collecte et le contrôle des données. Une des premières utilisations du système Argos, testé 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/Agence de Bassin du Niger) doté de soixante-cinq stations couvrant huit 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 simuliés 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, vu son succès, sur plus d'un million de kilomètres carrés.

6. Années 90 et grands projets ou programmes internationaux

Le début de cette décennie voit le développement de grandes opérations qui concernent aussi bien l'hydrologie opérationnelle que l'hydrologie scientifique et qui correspondent à des préoccupations majeures :

1. 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 95, collecte les données acquises par d'autres institutions, les contrôle et les transfère dans une base de données accessible par un serveur Internet.

2. 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.

3. 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.

7. 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 régulière-

ment, 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 :

- Il subsistera toujours des régions à l'hydrologie non ou mal connue ;
- Contraintes classiques et permanentes en hydrologie, telles que l'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 hydropluviométrique 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 et aux défis du troisième millénaire tout proche, plusieurs remarques, parfois en forme d'interrogations, se posent (formulation non exhaustive, ni classée par ordre d'importance) :

1. 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 ceci ne dispensera pas les pays de garder leurs propres structures.

2. 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 du savoir est un élément de réponse, mais elle implique une collaboration étroite de tous les partenaires.

3. 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. Une expérience du type Hapex-Sahel apporte des éléments de réponse pour les régions sèches mais elle a été très lourde et tous les résultats ne sont pas encore exploités. Une autre opération de ce genre, mais plus souple, est en préparation en zone humide (Bénin).

4. 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 (citons des 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, etc.).

Pour terminer ce rapide panorama des études entreprises au cours d'un demi-siècle dans cette région, une constatation essentielle et très encourageante peut être faite à partir de l'évolution constatée au cours de ces dernières années : la sortie de l'Afrique de l'Ouest de son isolement et de son cloisonnement. Au niveau des pays qui la composent, cela se concrétise par des collaborations et coopérations effectives rendues possibles par l'adhésion de chacun au projet FRIEND-AOC. Au niveau du continent, des liens prometteurs se tissent avec les autres projets régionaux : par exemple, des relations se nouent entre les différents projets FRIEND africains (avec ceux de l'Afrique australe et du Nil) ou prévus à brève échéance (par exemple l'Afrique de l'Est ou l'Afrique australe — HYCOS).

La récente création de l'AHA (Association des Hydrologues Africains), 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 et la Conférence internationale sur la variabilité des ressources en eau au 20^e siècle à Abidjan en 1998 seront des occasions privilégiées pour confirmer cette évolution.

BIBLIOGRAPHIE

- AISH 1996. L'hydrologie tropicale : géoscience et outil pour le développement.
— *In* : CHEVALLIER, P. & RODIER, J. (éds), Mélanges à la mémoire de Jean Rodier, IAHS Publication n 238, 435 pp.
- CASENAVE, A. & VALENTIN, Ch. 1990. Les états de surface de la zone sahélienne — Influence sur l'infiltration. — Orstom, Coll. Didactiques, 196 pl. coul., 229 pp.
- CHEVALLIER, P. *et al.* 1985. Pluies et crues au Sahel. Hydrologie de la Mare d'Oursi (Burkina Faso 1976-1981). — Orstom, Trav. et Doc., 251 pp.

- DUBREUIL, P. *et al.* 1972. Recueil des données de base des bassins représentatifs et expérimentaux de l'Orstom (1951-1969). — Orstom, 916 pp.
- 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. — *In* : IWRA (ed.), Ouagadougou, nov. 88, 709 pp.
- MOTT MACDONALD, BCEOM, SOGREAH, ORSTOM 1992. Evaluation hydrologique des pays de l'Afrique subsaharienne. Pays de l'Afrique de l'Ouest. Rapport régional. — Banque Mondiale, PNUD, BAD, Minecoop, 144 pp. + annexes.
- OLIVRY, J-C. *et al.* 1996. Hydrologie du lac Tchad. — Orstom, Coll. Monographies Hydrologiques, n° 12, 266 pp.
- OMM 1989. Statistics on regional networks of climatological stations, WMO Region. I- Africa. — WCDP-7, WMO-TD-n 305, 32 pp.
- ORSTOM 1994. Sciences au Sud. Dictionnaire de 50 années de recherche pour le développement. — Orstom, 167 pp.
- ORSTOM 1996. Interactions surface continentale/atmosphère. L'expérience Hapex-Sahel. — *In* : HOEPFFNER, M. *et al.* (éds), X^e Journées hydrologiques, sept. 94, Orstom, 758 pp.
- OSS/UNESCO 1995. Les ressources en eau des pays de l'OSS : évaluation, utilisation et gestion. — 80 pp.
- PEDRO, G. & DUBREUIL, P. 1987. Sols et eaux. — Orstom, Actes du séminaire tenu à la Banque Mondiale les 15 et 16 mai 1986, 183 pp.
- ROCHE, M. 1983. L'apport de l'Orstom dans l'hydrologie de l'Afrique de l'Ouest. — *Cah. Orstom, sér. Hydrol.*, **20** (3-4) : 205-211.
- RODIER, J. 1964. Régimes hydrologiques de l'Afrique noire à l'ouest du Congo. — Orstom, *Mém.*, n° 6, 137 pp.
- RODIER, J. & AUVRAY, C. 1965. Estimation des débits de crues décennales pour les bassins de moins de 200 km² en Afrique occidentale — C.I.E.H./Orstom, 13 graph., 30 pp.
- 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 pp.

