

ORSTOM  
Institut Français de Recherche Scientifique  
pour le Développement en Coopération

-----  
Laboratoire d'Hydrologie

Treizième Conseil des Ministres du CIEH  
18 au 26 Février 1986

Journées Techniques

Thème 2 : Utilisation des technologies nouvelles  
dans les études d'aménagements hydrauliques  
en Afrique

Peut-on faciliter et améliorer la gestion des réseaux hydrologiques  
grâce à l'introduction de technologies nouvelles ?

par

Bernard POUYAUD  
Directeur de Recherches  
Chef du Laboratoire d'Hydrologie de l'ORSTOM

1  
08 JUL. 1993

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire  
N° : 41600  
Cpte : B

L'importance d'un réseau hydrologique performant n'est plus à démontrer à un public de responsables de l'hydraulique, tous particulièrement engagés à jeter les bases d'un développement socio-économique harmonieux de leur pays. Cette importance est partout déterminante, quel que soit le niveau de développement, mais le sera d'autant plus qu'il restera plus à faire et que les connaissances hydrologiques seront récentes et sommaires. La collecte systématique de données hydrologiques de base aux stations d'un réseau hydrologique doit permettre l'évaluation de la ressource en eaux superficielles et de son évolution saisonnière et interannuelle. La représentativité des stations du réseau doit être telle qu'elle permette la caractérisation hydrologique de bassins versants appartenant à des régimes climatiques variés, mais aussi dotés de caractéristiques géologiques, morphologiques et pédologiques également variées.

Ainsi doit-on pouvoir déterminer, grâce aux données du réseau, les caractéristiques hydrologiques des principaux cours d'eau, en tous les points d'impact qui se présenteraient, c'est-à-dire évaluer l'abondance saisonnière et interannuelle, les étiages de basses eaux et bien sûr les crues de fréquence rare.

Rappelons brièvement les utilisateurs privilégiés des données collectées par ces réseaux hydrologiques :

Puisqu'un Etat se crée d'abord autour d'un réseau de communications, les premiers utilisateurs potentiels seront les Travaux Publics, constructeurs des infrastructures de transport, qu'il s'agisse de transports fluviaux, routiers ou ferroviaires. La navigabilité n'est assurée qu'à partir de la connaissance historique des hauteurs d'eau. Ponts et ouvrages d'art ne verront leur pérennité assurée que s'ils reposent sur des études statistiques solides, basées sur des chroniques hydrologiques sûres.

La productivité en énergie hydroélectrique s'appuie elle aussi sur des études hydrologiques qui seules peuvent permettre une évaluation correcte des potentialités énergétiques des sites. Selon les possibilités de régularisation des ouvrages et leur mode d'exploitation, ce seront les modules, ou les débits garantis d'étiage, qui seront les paramètres caractéristiques indispensables.

L'Hydraulique agricole, qu'elle concerne l'irrigation de grands périmètres aménagés ou plus modestement la petite hydraulique traditionnelle, ne peut se développer qu'avec des connaissances hydrologiques sérieuses sur les cours d'eau et les principaux points d'eau.

L'homme enfin, est directement concerné dans sa survie par les réseaux hydrologiques, tant pour son alimentation en eau potable, que pour sa santé, puisque les cours d'eau sont les vecteurs ou les sites privilégiés de presque toutes les grandes endémies parasitaires qui sévissent dans la zone tropicale (billarziose, onchocercose, trypanosomiase, amibiase, etc.).

L'utilité des réseaux hydrologiques est évidente; on doit maintenant s'interroger sur l'aptitude des réseaux existants à répondre à ces demandes, et donc d'abord sur les conditions qui présidèrent à l'installation des réseaux hydrologiques que nous connaissons maintenant. Pour cela, un retour historique est nécessaire :

Si l'on excepte quelques stations célèbres (Sénégal à KAYES et BAKEL, Niger à KOULIKORO, Congo à BRAZZAVILLE) qui datent de la fin du siècle dernier, dans la plupart des pays membres du CIEH les premiers réseaux hydrologiques ne virent le jour qu'après la deuxième guerre mondiale. L'ORSTOM fut à l'origine de bien d'entre eux.

Il faut savoir que la logique, qui gouverna le choix des premières stations, fut bien souvent d'abord la facilité d'accès ou la proximité de sites d'aménagement prioritaires. Les considérations scientifiques ne vinrent le plus souvent qu'ensuite ...

Puis, avec les premières évaluations des potentialités agricoles et énergétiques des pays, avec l'ouverture de voies d'accès nouvelles, se multiplièrent les projets d'aménagement qui tous nécessitaient des données hydrologiques. Il devenait alors indispensable de planifier l'évaluation de la ressource, ce qui débouchait sur une nécessaire optimisation des réseaux, afin d'éviter aussi bien les redondances que les lacunes de connaissances, car le premier critère de qualité d'un réseau reste la continuité de mesures de bonne qualité, avant même la densité du réseau. A ce propos, des normes de densité et de gestion sont édictées par l'OMM dans ses notes techniques.

Actuellement, les situations des réseaux hydrologiques et des services qui les gèrent sont extrêmement diversifiées et contrastées dans les Etats membres du CIEH. C'est ainsi que l'on peut aller du réseau unique, centralisateur et structuré (couvrant l'ensemble du territoire national et détenteur de la compétence entière en matière d'Hydrologie ou même d'Hydraulique), à une atomisation de services parallèles, parfois concurrents et souvent redondants, disposant chacun de réseaux hydrologiques partiels mais répondant à leurs besoins spécifiques : production d'énergie, hydroagriculture, hydraulique fluviale, voire recherche scientifique ! Un tel éclatement des compétences n'est en général pas efficace, ni au plan économique, ni au plan scientifique et technique. Il faut dire que les pays développés, dont la FRANCE, ont donné à cet égard le mauvais exemple de l'émiettement des compétences et des responsabilités.

Les équipements technologiques de ces réseaux sont aussi extrêmement hétérogènes :

- Tous les réseaux ont débuté avec des batteries d'échelles limnimétriques classiques lues par des observateurs. Une échelle bien installée, bien entretenue, dotée d'un bon observateur consciencieux, restera toujours le système de mesure le plus fiable.

- Puis les services équipèrent progressivement les stations importantes ou inaccessibles de limnigraphes enregistreurs, limnigraphes à flotteurs d'abord, puis à capteurs de pression pneumatiques, plus ou moins sophistiqués avec enregistrement sur diagrammes journaliers, mensuels, voire plurimensuels ou annuels.

Mais le paramètre hydrologique qui intéresse au premier chef hydrologues et utilisateurs de l'eau est le débit; aussi faut-il transposer les hauteurs d'eau en débit grâce à un tarage de chaque station qui repose sur des jaugeages ponctuels. Les tournées de jaugeages seront la contrainte principale, incontournable, des services hydrologiques de tous les pays, contrainte que ne pourra jamais alléger l'équipement des stations en appareils modernes, aussi performants soient-ils.

Ainsi ces activités multiples et structurées : collecte des données de hauteur d'eau, tournées de maintenance et de jaugeage, dépouillement et mise en forme des données au laboratoire sous forme d'annuaires ou de produits plus élaborés, nécessitent un personnel abondant et qualifié, et des crédits de fonctionnement importants.

Pourtant le fonctionnement de ces services hydrologiques traditionnels se heurte de plus en plus souvent à des problèmes de gestion, qui remettent en cause leur existence :

- difficultés de recrutement et de formation;
- difficulté de renouvellement des équipements en matériel et particulièrement en véhicules;
- crédits de fonctionnement : paye des lecteurs d'échelle et carburant.

Aussi, après cette longue introduction consacrée aux grandeurs et servitudes des Services Hydrologiques, faudrait-il examiner s'il est possible de réaliser des économies, qui permettraient une meilleure adéquation des moyens aux objectifs. En quoi notamment les technologies nouvelles peuvent-elles favoriser ces économies devenues indispensables ?

La première chose à dire est d'affirmer qu'il ne saurait y avoir en la matière des miracles ! mais que l'on est en droit d'escompter des améliorations ponctuelles dont la juxtaposition coordonnée peut seule se révéler positive.

Une première catégorie d'améliorations concerne la conception des réseaux, qui fut bien souvent, nous l'avons vu, à l'origine anarchique et aléatoire. C'est ce que l'on appelle l'optimisation des réseaux hydrologiques. Cette méthode en clair signifie une réduction du nombre des stations afin de supprimer les redondances. On doit ainsi aboutir à un "réseau réduit", constitué de "stations de base" ou "de référence", sur lesquelles porte l'essentiel de l'effort. Les autres stations deviennent des stations secondaires. Abandonner une station est toujours une opération dangereuse et il faut être sûr que les stations de référence restantes seront irréprochables, car il n'y aura

plus de recoupements possibles. De plus, on ne doit jamais abandonner une station avant que tous ses résultats ne soient récupérables; cela suppose l'existence d'un étalonnage correct pour toute la période d'observation de chaque station à récupérer.

Les stations de base doivent être représentatives de la totalité des situations géographiques du pays et permettre l'estimation des caractéristiques hydrologiques partout. Pour ce faire, et avant donc toute réduction ou tout abandon de stations, il est indispensable de réaliser des synthèses hydrologiques exhaustives, permettant l'intercorrélation des stations préexistantes dans leur ensemble et donc l'intégration de toute l'information existante.

Ce n'est qu'une fois cette première étape acquise, que peut s'envisager sans trop de danger la réduction de la taille du réseau. Ce qui implique un choix, sur des critères de qualité hydrologique et de représentativité géographique, de stations de référence qui permettront de suivre d'éventuelles dérives climatiques d'origine naturelle (grandes oscillations climatiques mondiales) ou provoquées (effet de l'entropisation, déboisement). A partir de ces observations de référence, pourront être reconstituées, le cas échéant, les données hydrologiques aux autres stations, grâce aux corrélations préétablies. Cela ne doit pas dispenser les services de tournées sur ces stations secondaires, chaque fois que possible, pour évaluer des phénomènes éventuels extraordinaires (crues et sécheresses exceptionnelles). Il faut en effet bien savoir que la seule justification d'un "réseau réduit" est d'ordre économique et qu'un tel système impose une gestion la plus performante qui soit car aucune lacune ne peut plus être permise, qui correspondrait à une perte devenue irrémédiable.

Une autre réponse économique, qui malgré les apparences n'est pas contradictoire, consiste en la décentralisation des services, afin de rapprocher les équipes de maintenance et de jaugeages des stations placées sous leur contrôle. Ainsi deviennent possibles les jaugeages à certaines côtes où les stations étaient auparavant inaccessibles.

Nous avons vu que la mise en place de réseaux réduits supposait la qualité irréprochable de la maintenance de leur équipement. Ce qui n'est plus permis par le nombre doit être suppléé par la qualité. Cela signifie en pratique la mise en place de nouveaux équipements.

Ces nouveaux équipements sont essentiellement des limnigraphes de nouvelle génération. Ils sont plus fiables, utilisent des capteurs de pression de type piézoélectrique, intégrant directement les variations de pression atmosphériques et les modifications de la pression volumique de l'eau dûes en particulier à la température. Ces capteurs, reliés par câbles souples à l'armoire d'enregistrement, dispensent des coûteuses installations des limnigraphes à flotteur, ou de la maintenance délicate et contraignante des capteurs de pression pneumatiques (bouteilles d'air comprimé). Ces limnigraphes peuvent être alimentés par panneaux solaires si l'accessibilité est difficile ou par batteries classiques en cas contraire. Le stockage des données peut se faire sur des supports habituels, ou mieux sur des supports modernes indestructibles mais réutilisables, tels que les cassettes à mémoire

statique de type EPROM, qu'il est possible de vider directement dans des banques de données implantées sur des micro-ordinateurs sans interfaces humaines.

Ces appareillages existent dès maintenant, ne sont pas plus coûteux que les appareils traditionnels et surtout sont moins gourmands en maintenance. Ils nécessitent par contre d'être intégrés dans une chaîne informatique qui constitue un système nouveau permettant une transformation intégrée de tout le service hydrologique. Ils supposent donc la formation adéquate du personnel. La société ELSYDE, conjointement à l'ORSTOM, développe de tels matériels modernes et performants.

Malgré la fiabilité reconnue de ces nouveaux appareillages, ils peuvent parfois aussi tomber en panne et nous avons vu que l'on doit être capable d'y remédier rapidement. Encore faut-il avoir connaissance de cette panne éventuelle !

Certes, cela pourrait être assuré par un observateur voisin de la station, s'il existait. Mais cela n'est évidemment pas possible partout. D'où l'idée de coupler la télétransmission à ces enregistrements de données hydrologiques. Cela permettra d'abord leur acquisition en temps réel, mais surtout la certitude du bon fonctionnement et un système d'assurance contre les défaillances en temps réel.

Cette télétransmission est possible par les moyens traditionnels des pays développés : téléphone, télex, radio, mais qui restent mal adaptés, pour diverses raisons climatiques ou de maintenance, dans le contexte africain qui est le nôtre.

Le meilleur système reste à nos yeux la télétransmission satellitaire, pour laquelle coexistent actuellement deux systèmes, concurrents mais complémentaires : le système ARGOS et le système METEOSAT. Ces systèmes proposent des services comparables, aux coûts finalement voisins, avec chacun des avantages et des inconvénients que nous pouvons brièvement commenter :

**METEOSAT** : c'est un dispositif européen, composé d'un satellite géostationnaire (36000 km) qui suppose donc de fortes puissances d'émission (5 à 40 watts) et une antenne directionnelle relativement importante. Il peut y avoir acquisition de données en temps réel, grâce à un canal d'alerte, mais l'échange se fait à heure déterminée par un long message, susceptible d'être très dense.

**ARGOS** : il utilise des satellites NOAH à défilement polaire héliosynchrones, beaucoup plus proches (200 km), grâce à un système développé par le CNES. La puissance d'émission est plus faible (1 à 5 watts) et une antenne multidirectionnelle réduite est suffisante. L'acquisition de données en temps réel n'est pas possible puisqu'il peut s'écouler 8 heures entre deux passages de satellite. Les messages sont courts mais suffisants pour transmettre plus d'une dizaine de hauteur d'eau simultanément à chaque passage.

Les deux systèmes permettent une acquisition de la donnée par l'utilisateur par courrier ou télex, mais il existe aussi des stations de réception individuelles qui peuvent être installées chez l'utilisateur et fonctionner en temps réel. La société CEIS-Espace développe à la fois des balises de télétransmission, couplées à des limnigraphes classiques ou de type ELSYDE, et des stations de réception. En Afrique de l'Ouest, un réseau est déjà opérationnel qui utilise ces matériels. Il s'agit du projet HYDRONIGER, développé par l'ABN avec la collaboration de l'OMM, de l'ORSTOM et de SOGREA. Il s'agit dans ce cas de matériel de télétransmission CEIS et de limnigraphes SEBA.

Un autre réseau est actuellement en cours de mise en place en Haute Guinée, après une première expérimentation au Nord Togo. Il s'agit d'un réseau destiné à piloter les injections d'insecticide dans les rivières concernées par le projet ONCHOCERCOSE de l'OMS. Le matériel de télétransmission est de CEIS et le limnigraphe d'ELSYDE.

Ces deux réseaux sont complémentaires et compatibles et utilisent le système ARGOS.

Il nous faut maintenant revenir à l'objectif principal d'un Service Hydrologique qui reste la constitution et la mise à disposition de banques de données hydrologiques. L'informatique est pour cela un outil privilégié qui peut considérablement simplifier la vie des services :

L'ORSTOM débuta dans l'informatique hydrologique dès 1967 avec l'utilisation de gros systèmes, malheureusement intransportables. Depuis, l'avènement de la micro-informatique a permis une démocratisation de l'utilisation de l'outil informatique et le Laboratoire d'Hydrologie de l'ORSTOM termine la mise au point d'un logiciel, appelé HYDROM, qui tourne sur tout micro-ordinateur compatible IBM-PC et qui peut être mis à la disposition des services hydrologiques nationaux afin de faciliter leur gestion. Ce logiciel permet en effet d'assurer de façon automatique la quasi totalité des activités d'un service hydrologique. Il consiste en la gestion par des programmes adéquats d'un certain nombre de fichiers que nous rappelons ici :

- Fichier historique des stations.
- Fichier des hauteurs d'eau, qui gère l'acquisition des données à partir d'observations, de limnigrammes ou de cassettes EPROM.
- Fichiers des jaugeages et des étalonnages.
- Fichiers des débits journaliers.

Enfin, des traitements statistiques sur les principaux paramètres sont permis par le logiciel.

Ce logiciel HYDROM, ou tout logiciel comparable, permet à un service hydrologique une gestion en temps réel de sa banque de données et autorise la sortie automatique des produits traditionnels tels que



l'édition d'annuaires hydrologiques.

Cette informatisation des services nationaux facilite aussi leurs liaisons avec les banques de données hydrologiques internationales traditionnelles pour l'Afrique, que sont celles du CIEH, d'AGRHYMET ou de l'ORSTOM. Cette interconnexion des connaissances est d'un intérêt évident pour tous : il est toujours préférable de multiplier les lieux de stockage des données afin de suppléer aux risques les plus divers, dont le moindre n'est pas l'écrasement de données informatiques ! Mais les banques de données régionales, en elles-mêmes, permettent seules des synthèses générales de grands bassins versants, qui échapperaient à un seul Etat qui n'en appréhende qu'une partie. Seuls des services spécialisés peuvent économiquement développer des techniques ou des logiciels dont le coût de mise en oeuvre serait prohibitif pour un Etat seul. Le projet HYDRONIGER d'ABN ou le projet ONCHOCERCOSE de l'OMS illustrent parfaitement cette idée.

Encore faut-il aussi pour cela énoncer des règles éthiques, qui permettent de protéger le patrimoine des états :

- Une donnée ne doit pas avoir en soi une valeur vénale et on doit s'interdire de "vendre" des données. Seul le support de la donnée (papier ou informatique) peut être commercialisable, et encore au prix coûtant.

- Les données publiées appartiennent au domaine public et peuvent être diffusées sans précautions particulières. D'autres ne sont pas encore publiques ou font l'objet de réserves légitimes des Etats. Elles ne doivent pas être alors communiquées sans leur accord spécifique et circonstancié sur la base d'accords contractuels.

Nous nous sommes ainsi efforcés de définir les technologies nouvelles qui peuvent alléger la tâche des services hydrologiques dans un certain nombre de domaines :

- Collecte et transmission de données.
- Alimentation et gestion de banques de données hydrologiques.
- Publication et échange de données hydrologiques.

L'application de ces méthodologies nouvelles suppose aussi un effet considérable de planification et d'optimisation des réseaux existants, qui repose d'abord sur une valorisation, voire une réhabilitation des observations anciennes et évidemment sur un effort considérable de formation de personnels spécialisés, rodés aux techniques et matériels nouveaux. C'est bien le rôle du CIEH de faciliter la diffusion de telles méthodologies.