

L'Hydrologie de Surface à l'Orstom-IRD : une science de l'ingénieur devenue science de l'environnement

Contribution au projet ENGOV par Jacques CLAUDE¹

« En cinquante ans, l'Hydrologie qui était principalement une science de l'ingénieur nécessaire à la maîtrise de l'eau est devenue la « Science de l'Eau » qui se décline en de multiples sous-disciplines absolument fondamentales pour la compréhension des écosystèmes terrestres et littoraux. »
C'est ce que nous essaierons de montrer ici à travers les expériences que de nombreux hydrologues de l'Orstom-IRD ont vécues et des changements qu'ils ont opérés dans leurs pratiques de travail.

La maîtrise de l'eau vue comme une science de l'ingénieur

L'hydrologie, en tant que somme des connaissances nécessaires à la maîtrise de l'eau est aussi ancienne que les civilisations qui maîtrisèrent cette ressource : le nilomètre d'Assouan, qui est la première échelle limnimétrique connue, est vieux de quarante siècles et le premier pluviomètre a été inventé en Corée par le roi Sejong Le Grand en 1441 AD et a permis d'enregistrer 500 ans de hauteur de pluies. En France, on attribue volontiers la paternité de l'hydrologie scientifique à Pierre PERRAULT et Edme MARIOTTE qui, à la suite des travaux de Blaise PASCAL, furent les premiers à décrire et quantifier le cycle de l'eau sur deux bassins versants. Mais notre propos ne remontera pas aussi loin dans le temps et nous situerons notre point de départ à la création de la Section Hydrologique de l'Orstom en 1949, dont le patron fut pendant trente ans Jean RODIER, ingénieur centralien, qui était en même temps le chef de la section Prospection et Hydrologie d'EDF-DAFECO, la branche « outre-mer » d'EDF.

A l'époque, la science hydrologique n'est pas enseignée à l'Université comme discipline individualisée et la Section Hydrologique de l'Orstom recrute essentiellement dans les écoles d'ingénieurs hydrauliciens (Grenoble, Toulouse...) ou de géologues ou de Travaux publics et plus rarement en licence, par exemple en « géologie dynamique » vocable sous lequel s'enseignent à la Sorbonne les bases hétéroclites de l'hydrogéologie, de l'hydrochimie et de l'hydrobiologie (hors halieutique). Des professeurs de renom enseignent dans ces écoles d'ingénieurs, dont le plus célèbre est certainement le Pr. Maurice PARDE, qui enseigna la potamologie à l'ENSHEIT de Grenoble pendant de nombreuses années et restera le « référent » de Jean RODIER jusqu'à sa disparition.

Ce sont donc majoritairement des ingénieurs qui vont devenir élèves-chercheurs de la Section Hydrologie et suivre les deux années de formation Orstom, dont une obligatoirement sur le terrain

¹ Jacques CLAUDE : Ancien Directeur de Recherche de l'IRD, Hydrologue, Ingénieur ECP.
jacques.claude@ird.fr

dans une affectation outre-mer, et c'est une «science de l'ingénieur» que vont pratiquer pendant vingt à trente ans ces chercheurs, ingénieurs et techniciens hydrologues, en Afrique Noire et Afrique du Nord et dans les DOM-TOM puis au Brésil, en Amérique du Sud et Centrale avant de passer à l'Asie dans les années 70.

Cette science a pour finalités principales de :

- réaliser les inventaires des ressources en eau de vastes régions et sous continents (qui sont publiés sous forme de Monographies Hydrologiques ou de recueils de données et annuaires hydrologiques et pluviométriques). Il faut pour cela installer et entretenir des réseaux de stations de mesures, soit nationaux dans le cadre de la coopération bilatérale avec les états nouvellement indépendants, soit à l'échelle régionale pour le compte de grands offices régionaux. Ces réseaux sont en grande partie hérités des services coloniaux.
- caractériser les régimes hydrologiques et pluviométriques selon les grandes zones climatiques et quantifier les paramètres conditionnant les écoulements. Une quantité impressionnante de travaux sera consacrée à la caractérisation des averses et des crues de fréquence rare, de fréquence décennale à centennale, et à la formation des écoulements sur nombre de petits bassins versants représentatifs et expérimentaux (BVRE). Sur ces bases, Jean RODIER proposait une formule simplifiée de l'hydrogramme unitaire permettant de calculer la crue décennale de petits bassins versants en prenant en compte 5 paramètres, tandis que Pierre DUBREUIL publiait en 1972 le recueil des données collectées sur environ 170 BVRE, puis Jean RODIER et Jean FRANCOU proposaient une estimation des crues maximales à l'aide d'abaques,
- réaliser des études ponctuelles ou régionales permettant de planifier les aménagements hydrauliques de tous ordres (barrages hydroélectriques ou réservoirs, protection contre les crues, passages de routes ou chemins de fer, navigabilité des cours d'eau, satisfaction des besoins en eau pour l'agriculture ou les villes...). Presque tous les grands projets de barrages et d'aménagements hydrauliques en Afrique subsaharienne font l'objet d'études hydrologiques préalables confiées à l'Orstom et EDF-DAFECO. Ces études répondent à des demandes bien précises de la part d'aménageurs mais elles ne se réduisent pas à de simples rapports de bureaux d'études ; en effet les bases théoriques sur lesquelles elles s'appuient forment un corpus scientifique développé au sein de la Section Hydrologique et publié dans des ouvrages de référence (dont le prototype est le manuel « Hydrologie de surface » de Marcel ROCHE, 1963) et dans les Cahiers ORSTOM, série Hydrologie. En retour les données collectées et les conclusions des études de terrain alimentent de nouvelles réflexions et avancées théoriques, comme le calcul de l'abattement des pluies.

Cette science nécessite :

- La collecte de nombreuses données mesurées sur le terrain à l'aide d'un arsenal métrologique dédié et sans cesse perfectionné par les pratiquants. Cet aspect de la métrologie en hydrologie est capital car il a permis une évolution accélérée des collectes de données à but pluridisciplinaire.
- L'analyse de ces données, organisées en longues séries chronologiques, à l'aide d'outils statistiques non spécifiques de la discipline mais adaptés avec beaucoup de finesse. Ceci explique évidemment l'attention très précoce des hydrologues au traitement informatisé des données (dès 1965).

Cette science de l'ingénieur est aussi caractérisée par une pratique du terrain qu'elle partage avec d'autres disciplines (pédologie, botanique, entomologie, hydrobiologie..) mais qui comporte des aspects bien spécifiques :

- c'est une science qui se développe sur le terrain et donc nécessite de longs et répétitifs séjours et tournées en brousse où chercheurs, ingénieurs et techniciens partagent le même métier et connaissent les mêmes satisfactions et les mêmes galères ce qui contribue fortement à l'émergence d'un esprit de corps des hydrologues de l'Orstom qui leur sera souvent reproché mais qui leur conférera aussi une efficacité souvent utilisée par les DG de l'Orstom ;
- c'est une science d'observation des phénomènes naturels qui suppose une certaine curiosité et une immersion, volontaire ou non, dans les milieux naturels environnants (Jean RODIER conseillait volontiers, avant d'exécuter un jaugeage de grand fleuve en bateau et au câble, de s'arrêter pour « écouter couler le fleuve »). Contrairement aux expériences de laboratoire, un phénomène hydrologique naturel ne se produit qu'une seule fois et l'hydrologue se doit d'être présent pour le mesurer, d'où l'exigence d'une veille permanente et d'un appareillage et d'une logistique prêts à fonctionner en toute circonstance.

Néanmoins, si les hydrologues sont en général proches de la nature, la science hydrologique fait assez peu de cas des facteurs environnementaux et de l'évolution des milieux ; par exemple, dans les Monographies de grands fleuves la description des composantes des milieux naturels qui conditionnent le cycle de l'eau est généralement succincte et se limite souvent aux facteurs abiotiques (géologie, géomorphologie, pédologie, plus rarement le couvert végétal...) ; les hommes et leurs sociétés sont, la plupart du temps, passés sous silence.

L'émergence de la pluridisciplinarité

Dès le début des années 70, ce portrait simplifié de l'hydrologue va changer et l'hydrologie va s'ouvrir à la pluridisciplinarité, en commençant par une bi-disciplinarité poussée avec la pédologie.

La création d'un groupe de travail sur l'hydrodynamique des sols par le Comité technique de pédologie et l'association de pédologues aux études de ruissellement-infiltration sur les BVRE sont la concrétisation d'une collaboration qui existait de fait et qui va s'élargir à l'occasion de grosses opérations de recherche comme les campagnes du simulateur de pluies en Afrique de l'Ouest ou les études « structurales » de très petits bassins versants comme ECEREX en Guyane. Également, sous l'impulsion de P. DUBREUIL, l'hydrologie « façon Rodier » s'ouvre à la géochimie superficielle et souterraine permettant de mieux cerner les circulations d'eau non visibles (Lac Tchad) et de maîtriser la question de la qualité des eaux (Afrique du Nord).

Dans le même temps certains projets de recherche sont conçus comme des études pluridisciplinaires holistiques associant sciences de la vie et sciences humaines au dipôle hydro-pédologique : c'est le cas du projet de la Mare d'Oursi et d'autres projets LAT (lutte contre l'aridité tropicale) ainsi que des recherches sur la sécheresse au Nordeste brésilien et l'exploitation des açudes.

Ce parti pris de la pluridisciplinarité pour explorer et exploiter les potentialités des écosystèmes terrestres sera institutionnalisé dans les années 80, avec la première réforme de l'ORSTOM en 1983 et la création de Départements pluridisciplinaires dont le principe sera maintenu jusqu'aujourd'hui même si 4 ou 5 réformes successives en ont modifié les contours et les modes de fonctionnement.

Les hydrologues sont présents dans au moins quatre des sept départements initiaux où ils ouvrent de nouvelles voies de recherche ; ceci conduit à un certain éclatement de l'hydrologie « façon Rodier » mais aussi à une diversification remarquable de cette science de base. En 1987, la création du Département Eaux Continentales (DEC) favorise un regroupement de la plupart des hydrologues et l'intégration de l'hydrobiologie des eaux douces et saumâtres, étendant ainsi le domaine continental jusqu'aux milieux halins. Le DEC qui constitue alors le plus important groupe de chercheurs en sciences de l'eau en France, permet de réaliser de remarquables progrès et de monter des partenariats très productifs aussi bien avec les Universités qu'avec les autres Instituts de recherche français et surtout avec les partenaires (universitaires ou opérateurs du développement) dans les pays où il intervient.

Parmi beaucoup d'autres nous pouvons évoquer les progrès accomplis :

- dans le domaine de la télédétection, qui est un outil précieux et non une science ou une discipline, mais qui sera une plateforme très efficace pour intégrer les approches pluridisciplinaires ; rappelons que c'est l'hydrologue Jacques CRUETTE qui, par l'élégance de ses algorithmes de traitement d'images, rendra cette technologie accessible à tous les chercheurs,
- en climatologie avec les études sur la sécheresse et la mousson africaine (HAPEX-Sahel, AMMA), le suivi des phénomènes El Niño- La Niña et plus récemment l'étude des glaciers tropicaux,
- dans l'élaboration de nombreux modèles de simulation (remplaçant les formules et abaques) qui prennent en compte les échanges aux interfaces et les circulations souterraines, estompant ainsi les barrières traditionnelles entre hydrologie et hydrogéologie,
- dans l'analyse du cycle de l'eau sur des petites surfaces et à court pas de temps : multiplication des mesures avec le mini-simulateur de pluies et utilisation en agronomie et physiologie végétale, ainsi que pour les études d'érosion,
- dans l'analyse des usages agricoles de l'eau et de l'influence des pratiques et techniques agricoles sur l'efficacité de l'eau : projets européens de coopération scientifique (INCO) dans plusieurs pays d'Afrique de l'Ouest et du Nord,
- dans des approches communes avec les sciences médicales et les sciences sociales et humaines : durant tout le projet ONCHO (Onchocerciasis Control Programme 1974-2004) entomologistes, hydrologues, hydrobiologistes et géographes ont lutté ensemble contre cette « cécité des rivières », cette coopération s'étendra à la plupart des maladies dites hydriques,
- les recherches sur la gestion sociale de l'eau ou sur les dimensions historiques de la maîtrise de l'eau sont aussi des domaines communs aux hydrologues et aux SHS.

De multiples autres exemples mériteraient d'être cités qui tous montrent l'importance des phénomènes hydrologiques dans l'évolution des milieux naturels ou artificialisés et dans la compréhension globale de l'environnement. L'eau est omniprésente dans les milieux continentaux, elle assure la majeure partie des transferts de masse et d'énergie entre les composantes des écosystèmes et c'est le principal facteur de production de la biomasse, mais l'eau est aussi un facteur de risque et peut provoquer des cataclysmes ou des dégâts considérables sur les installations humaines ; il semble donc tout à fait logique que « les chemins de l'eau » soient étudiés sous tous leurs angles dans les recherches environnementales et donc que la science de l'eau irrigue ces approches scientifiques.

En même temps que l'hydrologie s'ouvre à la pluridisciplinarité les enseignements de Science de l'Eau se multiplient et se diversifient dans les Universités et les modes de recrutement des jeunes chercheurs de l'Orstom changent radicalement : plus de pré-recrutements et de formation d'élèves Orstom, mais ouverture de concours de recrutement dans tous les EPST au niveau Bac+6, ou avec une thèse en poche. La thèse universitaire (nouvelle formule) devient vite obligatoire pour accéder au grade de Directeur de Recherche ; aussi nombre d'hydrologues, plus que quadragénaires, reprennent le chemin de l'Université pour préparer une thèse puis, les choses s'enchaînant, pour y donner des cours. Les recrutements d'ingénieurs au niveau bac+5 se tarissent dans les années 90, ce qui ne va pas manquer de modifier l'exercice du métier de chercheur en hydrologie.

En effet, un autre facteur déterminant de l'évolution de l'hydrologie à l'Orstom-IRD aura été l'adoption d'un statut commun à tous les EPST et le rapprochement avec l'Université, ce qui a eu le double impact de légitimer la recherche pour le développement (longtemps contestée au sein même de nos tutelles) et d'aligner les pratiques de l'Institut sur les critères internationaux d'évaluation et de gestion de la recherche. Ceci s'est concrétisé notamment :

- par l'augmentation spectaculaire du nombre de publications internationales de rang A, indicateur mesurable de la productivité scientifique et de la reconnaissance par les pairs (les impitoyables reviewers anglophones) de la qualité des résultats présentés. Mais la course à la publication de rang A, devenue le critère principal de l'évaluation individuelle, entraînera quelques dommages collatéraux que nous ne développerons pas ici,
- par la mise en compétition systématique de tous les projets de recherche au travers des appels à propositions nationaux, européens et internationaux où l'Institut a su avec un certain succès (un succès certain!) élaborer des programmes de recherche d'envergure internationale, richement dotés et associant de grandes équipes de recherche du Nord à des partenaires du Sud. Le revers de cette médaille étant la difficulté d'assurer la pérennité de ces programmes et une dépendance financière accrue vis à vis des bailleurs de fonds qui de plus, par le fait de choisir les thématiques de leurs appels d'offres, influent sur une partie importante de la politique scientifique de l'Institut,
- enfin par la création d'Unités mixtes de recherche et de Laboratoires communs avec les universités et Instituts de recherche français mais aussi avec des partenaires du Sud et des partenaires privés. Avec là aussi les deux côtés de la médaille : intégration pleine et entière dans le monde académique et reconnaissance définitive des trois missions essentielles de l'IRD d'une part, et perte d'identité et d'autonomie de l'Institut d'autre part.

Il est certain que les évolutions des autres disciplines de l'Orstom-IRD peuvent être analysées de la même façon avec leurs aspects positifs et leurs difficultés. Mais le cas de l'hydrologie, que nous connaissons le mieux, nous a semblé exemplaire des changements intervenus dans la pratique de la recherche depuis plus de 30 ans, construisant dans le même temps l'histoire de l'Orstom-IRD.

Les progrès technologiques ont accéléré les changements dans les pratiques de recherche

L'évolution de la science hydrologique a été grandement facilitée, voire générée, par les progrès technologiques spectaculaires des 50 dernières années, issus pour beaucoup de la conquête spatiale.

- Les moyens informatiques ont connu de façon continue une démultiplication de la puissance de calcul et des capacités de stockage, une miniaturisation des composants et des machines et une

baisse des prix et des coûts de fonctionnement ; les anciens hydrologues se rappellent avec nostalgie qu'il fallait un triporteur pour apporter au centre de calcul les 20 à 30000 cartes perforées IBM, comprenant le logiciel et les données, permettant de faire tourner un modèle pluie-débit ; le moindre des ordinateurs individuels d'aujourd'hui peut opérer un modèle plus complexe en un temps cent fois plus court. Le fait pour un chercheur de pouvoir disposer quasiment n'importe où et n'importe quand d'une grosse capacité de stockage et de calcul, d'un accès aux bases de données et aux bases documentaires internationales et de pouvoir communiquer en temps réel avec tous ses collègues de par le monde a décuplé la « productivité » des recherches et des acquisitions de connaissances.

- Les observations satellitaires ont suivi une évolution parallèle et tout aussi rapide et ont rendu possibles des investigations holistiques à toutes les échelles. Depuis le premier satellite LANDSAT (1972) dont les images ont été rendues accessibles à la recherche civile, toutes les disciplines de l'environnement utilisent la télédétection, soit à l'échelle continentale ou régionale soit à très grande échelle grâce aux capteurs délivrant des pixels métriques. La miniaturisation et la baisse des coûts des capteurs ont également permis la mise au point d'appareils de télédétection aéroportée manipulables sur le terrain, tel le drone PIXY®. Les grands programmes internationaux ne pourraient obtenir les résultats que l'on connaît sans l'outil télédétection (suivi des phénomènes cycloniques, étude de la circulation atmosphérique d'altitude, suivi de l'évolution de la couche d'ozone aux pôles ou des températures de surface des océans, etc.). Les hydrologues sont évidemment grands utilisateurs de télédétection qui permet de « pister » l'eau sous forme solide, liquide ou gazeuse.

- Une autre application satellitaire a été initiée et développée par les hydrologues de l'Orstom-IRD, c'est la télétransmission de données en temps réel. A partir de dispositifs comprenant un capteur, un système de digitalisation et un émetteur, des réseaux d'observations hydrologiques ont pu être développés et permettre des prévisions et une gestion des ressources quasi instantanées (par exemple pour le dosage des larvicides du programme Onchocercose). L'intérêt de ces réseaux n'a pas échappé à l'Organisation Météorologique Mondiale (WMO) qui a promu sur les grands bassins fluviaux l'installation de réseaux WHYCOS (World Hydrological Cycle Observing Systems) gérés par les Organisations régionales de Bassins Fluviaux. Les hydrologues de l'Institut participent à la plupart de ces réseaux WHYCOS où leur savoir faire est indispensable. Cette réussite d'une stratégie et d'une technologie est très liée au point suivant.

- Un changement capital pour l'hydrologie a été l'apparition d'outils d'acquisition de données digitalisées grâce à des appareillages électroniques autonomes. Auparavant, les hydrologues consacraient un temps considérable au dépouillement manuel d'enregistrements graphiques analogiques (limnigrammes, pluviogrammes...) et devaient procéder à de nombreuses mesures de contrôle de la qualité de ces enregistrements (recalage des hauteurs et du temps). La différence fondamentale est que les nouveaux appareils utilisent tous des technologies de traitement de signaux et incorporent des étalonnages qui restent fiables dans des conditions de terrain assez rudes et qui permettent de stocker instantanément des valeurs mesurées ou transformées au format des bases de données. Ces appareils peuvent être alimentés par des panneaux solaires ce qui leur donne une longue autonomie et peuvent télétransmettre les données enregistrées ce qui les rend indispensables pour les systèmes de surveillance et d'alerte (crues, tsunamis...) ou pour acquérir en continu des données dans des milieux difficiles (volcans, glaciers, grandes profondeurs...).

Les hydrologues, particulièrement les techniciens expérimentés, ont largement contribué à l'amélioration des outils technologiques dans le domaine de la métrologie si importante pour une science basée sur les longues séries de données. C'est là une évolution remarquable dans la pratique de ces hommes (et femmes... plus récemment) de terrain qui ne parcourent plus guère la brousse pour mesurer des grandeurs physiques mais installent, entretiennent et contrôlent les appareils qu'ils ont conçus ou contribué à mettre au point.

Il ne faut pas se cacher que cette belle réussite dans les progrès technologiques a un revers : les doigts posés sur son clavier, les yeux fixés sur l'écran, le chercheur moderne accède à toutes les ressources disponibles et passe de moins en moins de temps sur le terrain au risque de perdre le sens de l'observation directe. Il reste toujours un risque de défaillance ou de perte de fiabilité des appareils mais on se préoccupe moins d'une critique sérieuse de la qualité des données ce qui peut entacher les résultats d'erreurs systématiques. Mais fort heureusement, de nombreux jeunes chercheurs ne se contentent pas de maîtriser parfaitement ces technologies et s'adonnent avec enthousiasme à la découverte des milieux tropicaux et méditerranéens et au plaisir « d'écouter couler le fleuve ».

Baillargues, janvier-février 2012