

Note présentée aux Quatrièmes Journées Hydrologiques de Montpellier
14 et 15 septembre 1988

PRESENTATION GENERALE DES ETUDES SUR LA
PHYSICO - CHIMIE DES EAUX A L'HYDROLOGIE ORSTOM

M. A. ROCHE

PHICAB/ORSTOM, Casilla 8714, La Paz, Bolivie

1 - REFLEXIONS GENERALES SUR LE PASSE, LE PRESENT et
L'AVENIR

C'est en 1958 que les premières recherches sur la physico-chimie des eaux ont été effectuées par des Hydrologues ORSTOM, avec l'étude de la salinité des eaux du Lac Tchad et son application à une tentative d'amélioration du bilan hydrologique. Les travaux menés depuis lors en ce domaine par les Hydrologues sont généralement caractérisés par leur dimension régionale. Ils concernent des hydrosystèmes unitaires ou associés tels que fleuve, lac, nappe ou estuaire. Ce caractère régional s'oppose souvent par son échelle à des études, parfois concomitantes, des Pédologues qui ont étudié des phénomènes géochimiques liés aux solutions sur séquence de sols. Les Hydrobiologistes ont, dans certains cas, réalisé des travaux d'un type proche de ceux des Hydrologues. Il sera seulement fait cas ici des études réalisées par ces derniers.

Ces recherches se sont déroulées comme cela se doit en grande majorité dans la zone chaude du monde, plus particulièrement en zone intertropicale d'Afrique et d'Amérique du Sud.

Les caractéristiques physico-chimiques prises en considération sont la température, la conductivité, le pH, les ions majeurs, les suspensions et les isotopes du milieu. Les suspensions et les solutions ont été étudiées simultanément, le plus souvent possible dans le but d'établir des relations entre les deux phases, les interactions éventuelles, et de mieux appréhender les phénomènes assurant leurs origines et leurs variations spatio-temporelles éventuellement différentes.

Les travaux ont été facilités par l'existence de structures locales, Centres ORSTOM ou Institutions Nationales associées par accords, disposant de laboratoires où pouvait être faite la plupart des analyses, à proximité de terrains d'études. D'autre part, les prélèvements étaient généralement effectués au moment des missions périodiques sur les réseaux hydrométriques, ou dans le cadre de programmes spécifiques précisément définis, possédant alors les moyens locaux adéquats pour une bonne réalisation. L'échantillonnage en des milieux particulièrement isolés est ressorti ainsi d'une densité et d'une fréquence remarquable, compte tenu des difficultés d'accès souvent impressionnantes.

La question de la conservation de l'échantillonnage induite par les délais obligés entre le moment du prélèvement et celui de l'analyse en laboratoire a fait l'objet de plusieurs études incluses dans les grands thèmes de recherche afin d'évaluer les écarts entre les mesures de terrain et de laboratoire. De même, les grandes études ont cerné la question de la représentativité de l'échantillonnage dans les sites de prélèvements pour estimer l'incidence de données ponctuelles et momentanées sur des résultats obtenus par extrapolation ou intégration dans l'espace et le temps.

Les isotopes du milieu, essentiellement l'oxygène 18 et le deutérium, ont apporté dans quelques cas des précisions ou des réponses complémentaires à l'étude des phénomènes géochimiques ou hydrologiques, notamment pour les nappes souterraines, tout en bénéficiant en retour d'une caractérisation de l'évolution de leur composition dans différents hydrosystèmes.

Les interprétations des données ont permis fréquemment d'identifier les phénomènes géochimiques et biochimiques majeurs qui régissent l'érosion chimique et mécanique, les transports et la sédimentation, sans que soit toutefois vraiment approfondie l'étude des processus eux-mêmes. Les variations spatio-temporelles des éléments pris en considération ont été décrites et éventuellement quantifiées. Ces études ont apporté alors leur contribution à la connaissance de l'écologie des milieux aquatiques, permettant souvent aussi de déterminer la qualité des eaux en vue de l'alimentation urbaine et industrielle ou de l'irrigation.

Les exportations de matières dissoutes et en suspension ont été évaluées à de multiples stations, parfois importantes quant à leur débit hydrique et solide vers les régions aval ou l'océan. Dans le cas du lac Tchad, la sédimentation des éléments dissous amenés par les tributaires, a été quantifiée pour les suspensions mais aussi pour les ions majeurs.

Les interprétations les plus exhaustives ont porté sur l'utilisation des éléments contenus dans l'eau comme traceurs quantitatifs ou qualitatifs, pour suivre la dynamique des eaux au cours de cycles annuels (dans le lac Tchad) ou de cycles de marées (dans les estuaires de Guyane). L'établissement du bilan salin du lac Tchad, complété par la connaissance des compositions isotopiques des différents types d'eau, a permis, outre la détermination des temps de résidence des éléments dissous, de préciser le bilan hydrologique par la séparation des pertes par évapotranspiration et infiltration, apportant ainsi le moyen de mieux estimer l'évapotranspiration réelle d'une très grande nappe d'eau d'inondation située aux limites du Sahara et du Sahel. Le traçage naturel salin et isotopique a mis en évidence les relations complexes et insoupçonnées entre le lac Tchad et la nappe phréatique associée, liées aux problèmes des infiltrations et pertes en sels du lac, à l'infiltration des pluies en milieu dunaire semi-aride, aux origines et âges variés des eaux. Dans les estuaires de Guyane, le risque de pollution par des polluants dissous ou en suspension a été évalué par les observations simultanées et complémentaires de la dynamique des eaux, des sels dissous et des sédiments en suspension.

Actuellement, les études sur la physico-chimie des eaux menées par l'Hydrologie ORSTOM présentent encore ces grands traits, avec des finalités bien affirmées et des analyses nouvelles (Carbone, minéralogie des suspensions). On citera l'étude des phénomènes d'érosion-transport-sédimentation et l'évaluation des exportations dans les bassins andins et de plaine de l'Amazonie bolivienne, avec la caractérisation physico-chimique des différents milieux aquatiques (Programme PHICAB). De même, les recherches en cours sur les retenues collinaires du Nordeste semi-aride du Brésil ont pour but de connaître les phénomènes réglant l'évolution saline des eaux et la qualité de celles-ci pour l'irrigation. Les études menées au Congo (Programme PIRAT) cherchent à évaluer les quantités et qualités des exportations de matière à l'océan par les grands bassins de la cuvette et à appréhender les phénomènes qui en sont responsables.

Pour l'avenir, la prochaine décennie devrait voir doubler la population de la zone tropicale humide, selon les pronostics d'organismes internationaux. De même, la population urbaine de la zone intertropicale va s'accroître considérablement, de pair avec un développement industriel. L'agriculture en développement utilisera des quantités croissantes de pesticides, les surfaces cultivées s'étendant au détriment de la forêt qui sera détruite pour une part inquiétante. Ces pronostics, étayés par l'évolution actuelle constante, laissent présager plusieurs types de pollution, y compris celui engendré par la modification des hydrosystèmes (barrages, aménagement de plaines d'inondation, etc...). Ces questions, à préciser dans leur approche, sont déjà parmi les grands thèmes de la prochaine décennie du Programme Hydrologique International (PHI) de l'UNESCO. Un besoin de connaissances, nécessaires pour faire front à ces problèmes, doit être établi dès maintenant afin que les pays en cause, ainsi que ceux d'autres parties du monde indirectement concernées, s'organisent en conséquence. L'aspect pollution (pesticides, métaux lourds, matière organique, micro-organismes, salinisation, etc...), provoquant notamment des évolutions lentes et en chaîne des hydrosystèmes, sera primordial parmi les études physico-chimiques à mener pour une maîtrise de l'environnement. Les recherches à entreprendre demanderaient une association effective entre Hydrologues et Hydrobiologistes dont les spécialités sont complémentaires. Parallèlement aux études purement physico-chimiques au sens large, les Hydrologues devront s'attacher également, encore plus que par le passé, à l'étude de la dynamique de l'eau dans le paysage, en tant que vecteur des phases dissoutes et en suspension, pour évaluer les paramètres de modèles. Les études antérieurement effectuées montrent que les résultats hydrologiques et physico-chimiques sont complémentaires mais aussi qu'ils s'apportent réciproquement les moyens de prolonger les interprétations. En ce sens, une prospective du fonctionnement physico-chimique des hydrosystèmes modifiés par l'homme (destruction de la forêt, grands barrages, développement de villes et d'industries) devrait constituer un des thèmes généraux de recherches.

Ces travaux devront s'accompagner d'une amélioration des protocoles de prélèvements et de mesures (télétransmission, télédétection) et des précisions d'analyses pour les très faibles teneurs.

2 - PRINCIPAUX TRAVAUX EFFECTUES SUR LA PHYSICO-CHIMIE DES EAUX A L'HYDROLOGIE ORSTOM

Cette liste peut être incomplète et ne mentionne pas les auteurs de travaux faits dans le cadre d'études d'Hydrobiologie ou de Géologie. De même, les Pédologues ont mené des recherches dans tous les pays mentionnés.

COURS D'EAU, INONDATIONS, LACS, RESERVOIRS

France :

- cours d'eau des bassins PACA, Languedoc : OLIVRY.

Afrique :

- fleuves, plaines d'inondation, lac du Tchad : BILLON, BOUCHARDEAU, CARRE, CHOURET, ROCHE.
- fleuves de Côte d'Ivoire : MOLINIER (+ Hydrobiologistes + Géologues).
- fleuves du Sénégal : OLIVRY (+ Hydrobiologistes + Géologues).
- fleuves du Niger : CARRE, BILLON (+ Hydrobiologistes).
- fleuves du Cameroun : CARRE, NAAH, NOUVELOT, OLIVRY.
- fleuves du Togo, Benin : BOURGES, COLOMBANI, MILLET.
- fleuves du Gabon : CARRE, LERIQUE.
- fleuves et mares du Mali, Burkina Faso : CHOURET, CLAUDE, POUYAUD (+ Hydrobiologistes).
- fleuves du Congo et de RCA : BRICQUET, MOLINIER.
- cours d'eau de Tunisie : BOURGES, COLOMBANI, CLAUDE.
- oueds d'Algérie, Sahara : ROCHE.

Amérique :

- fleuves de l'Amazonie Bolivienne et l'Altiplano : GUYOT, ROCHE (+ Géologues + Hydrobiologistes).
- réservoirs du Nordeste : LARAQUE.
- fleuves de Guyane : FRITSCH, LOINTIER, ROCHE.

LACS SALES

Afrique :

- Sebket El Melah, Algérie (Sahara) : ROCHE.

NAPPES SOUTERRAINES

France :

- nappe du Nord de la Montagne Noire : GUYOT.

Afrique :

- nappes de la Haute Saoura (Sahara) : ROCHE.
- nappes associées au Lac Tchad : ROCHE, CHOURET.
- nappes d'Equateur et de Quito : POURRUT, ROCHE.

LAGUNES, ESTUAIRES, MANGROVES

France :

- étang de Thau : MILLET.

Afrique :

- estuaires du Sénégal et de Casamance : BRUNET-MORET, OLIVRY (+ Géologues).
- estuaires de Côte d'Ivoire : MOLINIER.
- lagune Togo : MILLET.

Amérique :

- Rivière Salée et sa mangrove de Guadeloupe : HOEPPFNER.
- estuaires et lagunes de Guyane : DUBREUIL, HOEPPFNER, LOINTIER, ROCHE.

POLLUTION

Afrique (Hydrobiologistes).

Amérique (Estuaires de Guyane) : LOINTIER, ROCHE.

DISCUSSION

J.O. JOB, pédologue à l'ORSTOM, insiste sur la part prise par sa discipline dans les études physico-chimiques menées à l'ORSTOM. Il insiste sur trois points.

- 1) L'un des premiers travaux que le pédologue des sols minéralisés est amené à faire est d'étudier la composition physico-chimique des nappes contenues dans les sols.
- 2) Des travaux sur la physico-chimie des eaux estuariennes et des sols riverains ont été menés, de façon extrêmement complète, par MARIUS dans le cadre de sa thèse d'Etat sur la Basse Casamance (Sénégal), par LOYER sur la basse vallée du Sénégal. Toujours en Casamance, il faut citer les travaux de BOIVIN, de ZANTE, etc. De même en Tunisie, des équipes de pédologues ont étudié les caractéristiques physico-chimiques de l'eau dans le sol.
- 3) Enfin, il y a certainement un domaine à explorer à l'articulation de la pédologie des milieux minéralisés et de l'hydrologie.

M.A. ROCHE remercie J.O. JOB pour ces précisions dans un domaine qu'il connaît mal. Il y a un problème d'échelle d'étude. Les équipes d'hydrologues à l'ORSTOM ont essentiellement étudié les grands systèmes fluviaux ou lacustres. Les pédologues ont travaillé surtout sur les toposéquences. Aujourd'hui, les champs des disciplines se rapprochent ; les pédologues tendent à étudier le paysage et les hydrologues étudient des bassins versants d'un mètre carré grâce à la simulation de pluie.

B. POUYAUD rappelle que l'expérience personnelle de M.A. ROCHE au Tchad lui a fait peut-être privilégier les relations entre les hydrologues et les hydrobiologistes de notre Institut. Toutefois, aujourd'hui, il y a pour les trois disciplines (pédologie, hydrobiologie et hydrologie) une chance à saisir car pour la première fois elles sont rassemblées dans une même structure, celle du Département des Eaux Continentales. B. POUYAUD cite un domaine où notre Institut est absent et cela pour des raisons historiques ; l'étude des eaux souterraines, domaine du BRGM.

J. COLOMBANI développe un thème différent, plus technique. En regardant vers l'avenir, il espère un développement de l'ensemble des mesures, non plus instantanées, mais effectuées en continu. Au niveau des méthodes, il espère beaucoup dans les traçages naturels ou semi-naturels des éléments solides, en suspension et dissous transportés par les eaux. Pour donner un exemple, celui de l'utilisation du Césium 137 dégagé lors des explosions nucléaires.... et qui se retrouve comme marqueur du sol puis de l'eau.

Au niveau technique, M.A. ROCHE évoque le préleveur mis au point par J. SUSINI et J.M. FRITSCH en Guyane autour des années 1980 et 1981. Il s'agissait d'un préleveur automatique dont le dispositif permettait d'avoir la moyenne de l'échantillon et dont le principe avait été présenté au symposium IAHS sur le transport solide à Florence en juin 1981. Historiquement, ce préleveur correspond au début de l'introduction du microprocesseur en hydrologie opérationnelle.

J.C. OLIVRY décrit le prototype du préleveur par pondération automatique des charges associées aux débits qu'il a conçu dans le cadre des études sur les bassins PACA (petits bassins méditerranéens de la région de Sisteron aux crues particulièrement érosives). Il a été réalisé avec le concours de J. HOORELBECK et R. RANDON. L'appareil est asservi à un capteur de pression (type limnigraphe CHLOE de la Société ELSYDE) qui permet de prélever par programmation un débit de pompage proportionnel au débit de la rivière ; un partiteur permet de conserver un échantillon moyen qui intègre l'ensemble de la charge solide sur l'évènement hydrologique étudié.

M. ROCHE s'inquiète d'une éventuelle ségrégation des particules dans l'appareil décrit par J.C. OLIVRY pour des débits de pompage très différents. Le débit minimal de prélèvement est de 1 l/mn et peut être porté à 15 l/mn. Le partiteur échantillonne 1/50^e ou 1/100^e du volume pompé ce qui implique pour des raisons de stockage que les crues soient de courte durée et que le système soit vidangé après chaque crue.

M.A. ROCHE évoque la technique suivie en Guyane avant les années 80.

Il s'agissait d'une technique simple mais très lourde à mettre en oeuvre même en se limitant à un volume de 1 litre pour chaque prélèvement. A chaque hauteur différente lue à une échelle limnimétrique de référence, un prélèvement était effectué tant à la montée qu'à la descente du cours d'eau.

J. COLOMBANI évoque une autre manière de mesurer la turbidité en profitant de la différence de densité entre une eau claire et une eau chargée et mettant en oeuvre deux mesures de pression à deux hauteurs d'eau différentes. Le problème est que les scientifiques ne savent pas, à partir de quelle limite granulométrique, le transport en suspension va induire une différence de pression à deux niveaux différents ?

M.A. ROCHE signale que J.L. GUYOT, dans son intervention à ces 4^{èmes} Journées Hydrologiques, montrera comment il lie turbidité et charge en suspension pour une station donnée du bassin bolivien de l'Amazonie.