



Journées de réflexions sur l'exploitation et la  
gestion des ressources en eau du Sénégal

(Les programmes d'hydrogéochimie de l'ORSTOM)  
LES EAUX DE SURFACE DU SENEGAL-BILAN DE L'EAU ET DE LA MATIERE

Jean-Yves GAC (1)

Depuis 1980, l'ORSTOM a entrepris un vaste programme de recherches multidisciplinaires sur les fleuves Sénégal et Gambie dont les objectifs principaux consistent à chiffrer tout le long de ces deux axes hydrographiques les mouvements et la migration de l'eau et de matière dissoute ou particulaire. Ils nécessitent d'aborder simultanément les facteurs externes variables chaque année et les composantes propres à chaque bassin versant figés à notre échelle de temps mais qui résultent d'une lente évolution.

Les facteurs externes sont d'origine atmosphérique ou troposphérique et sont subordonnés à des événements climatiques qui se situent au niveau du continent voir de la planète et de ce fait sont extrêmement variables et imprévisibles d'une année sur l'autre. Il s'agit de toutes les précipitations sous forme humide (pluie et rosée) ou sèche (aérosol désertique en majeure partie d'origine saharienne). L'abondance de l'eau est évidemment primordiale mais l'étude des phénomènes de brumes sèches méritaient également d'être abordée par leur développement sans précédent ces dernières années et leur fréquence tout à fait inhabituelle aux basses latitudes tropicales.

Les composantes internes sont liés à la physionomie, à la configuration, à la situation géographique du bassin versant et aux agencements actuels des paysages façonnés par le temps. Elles imposent d'être à la fois attentifs aux phénomènes d'altération chimique et d'érosion mécanique compétitifs à l'amont dans la formation et le développement des sols, à la migration de l'eau et de la matière dans les basses vallées alluviales, à leur devenir dans les différents sites de dépôt du domaine de l'aval (plaines inondables, dépendances lacustres) à l'évolution des solutions concentrées par évaporation ou encore au rythme saisonnier des incursions salines dans les estuaires des fleuves.

Ces travaux ont donné lieu à de nombreux rapports et à la soutenance de doctorats ou de mémoires qui tous concourent à mieux appréhender le comportement des grands bassins versants de la frange sahélienne sous les sollicitations du climat. Tous ne présentent pas un lien étroit avec l'exploitation et la gestion des ressources en eau du Sénégal mais ils y contribuent souvent de manière indirecte par une meilleure connaissance de tous les aspects qui doivent être pris en compte avant toute politique d'aménagement d'un environnement. Il est par exemple tout à fait irréaliste de vouloir saisir la réalité des événements chimiques dans

---

(1) Institut Français de Recherche pour le Développement en Coopération (ORSTOM), Hann, B.P. 1386, Dakar (Sénégal)



Fonds Documentaire ORSTOM

Cote: Bx-15817 Ex: 4

les eaux de surface du lac de Guiers en oubliant le maillon essentiel que constitue ,pour la compréhension des mécanismes, le support sédimentaire; ou encore d'établir le bilan hydrologique du fleuve sans se soucier de l'invasion saline."

MARQUEURS BIOGEOCHIMIQUES D'ARIDITE EN MILIEU OUVERT ET FERME: ESTUAIRE DU FLEUVE SENEGAL ET DEPRESSIONS INTERDUNAIRES DU BASSIN DU LAC TCHAD

(1982,Bull.Assoc. Géogr.Française)

Dans le Manga nigérien,les dépressions interdunaires gardent la trace des variations sensibles de la nappe phréatique liées au climat avec la succession des évènements suivants: mise en place des diatomites, concrétionnement silicaté sodique, évacuation du sodium des silicates. Dans la vallée du fleuve Sénégal,les faunes saumâtres de mollusques sont à rapporter à des périodes suffisamment arides pour que la remontée saline annuelle ait atteint une ampleur, une durée dans l'année et une répétition d'une année sur l'autre suffisantes, ainsi que le montre l'analyse hydrologique et climatique des 80 dernières années.

LE LAC DE GUIERS:BILANS HYDROLOGIQUES,EVAPORATION D'UNE NAPPE D'EAU LIBRE EN ZONE SAHELIENNE (SENEGAL)

(1982,Cah. ORSTOM,série Géol.XII,1,pp.41-60)

L'étude du cadre physique du lac de Guiers,la compréhension de son fonctionnement hydrologique actuel et l'analyse de quelques-unes des situations qu'il a connues dans un passé récent amènent à faire ressortir les points suivants:

- A son maximum d'extension,il occupe une superficie de 300 km<sup>2</sup>.
- Les 800 millions de m<sup>3</sup> d'eau qu'il peut contenir se partagent de façon inégale dans trois grandes régions naturelles nettement différentes par leurs caractères morphologiques. L'établissement d'abaques définit de manière très précise les relations entre la surface, le volume, la profondeur moyenne du lac et la cote du plan d'eau.
- Chaque année,le déséquilibre entre la période d'alimentation par le fleuve (2 à 3 mois) et la longue période d'isolement du lac (9 à 10 mois) se traduit par une évolution très rapide du paysage lacustre. Les différentes phases de retrait entre la configuration d'un "grand" lac et les contours d'un "petit" lac soulignent la diversité et l'inégalité de la sédimentation chimique et détritique dans chaque région. L'infrastructure actuelle sur le chenal de la Taoué favorise le remplissage du lac et permet de l'épargner sur une plus longue période. Le bénéfice pour le lac est substantiel mais la situation du fleuve devient critique avec l'intrusion précoce de la langue salée dans son lit mineur. La connaissance des termes du bilan hydrique lors de l'isolement du lac fixe à l'échelle mensuelle la relation liant l'évaporation d'une nappe d'eau libre et celle mesurée en bac classe A. Au cours des trois dernières années,les pertes moyennes du lac de Guiers par évaporation ont pu être chiffrées à 6.11 mm/jour.

3

- Dans les conditions actuelles de fonctionnement, les apports fluviaux sont sensiblement identiques à la variation de volume du lac lors de son remplissage. L'évaporation et les apports fluviaux sont les moteurs de la "respiration hydrologique" du lac de Guiers. Les pertes sont tributaires à 82 % de l'évaporation, à 16 % des pompages de la CSS et à 2 % de la SONEES. Les apports proviennent de la crue du fleuve (77 %), des précipitations (11 %) et des rejets (12 %) des zones irriguées.

#### ETUDE PRELIMINAIRE DE DEUX SONDAGES DANS LES SEDIMENTS HOLOCENES DU LAC DE GUIERS

(Cah. ORSTOM, série Géol., XII, 1, pp. 61-71)

Cette étude présente les premiers résultats sur les cycles de sédimentation lacustre décelés dans deux sondages du lac de Guiers. Les déterminations granulométriques et minéralogiques, la reconnaissance de la flore pollinique et diatomitique, l'étude paléomagnétique permettent de situer la dernière grande transgression marine dans le Ferlo à 1800 ans B.P., tout au début donc de l'ère chrétienne et à 0.5 mm./an la valeur moyenne de l'afflux détritique dans le lac de Guiers.

#### MIGRATIONS DE L'EMBOUCHURE DU FLEUVE SENEGAL DEPUIS 1850.

(Cah. ORSTOM, série Géol., XII, 1, pp. 73-75)

Les phases d'extension et de rupture de la Langue de Barbarie ont enregistré et mémorisé les conditions climatiques du bassin du fleuve Sénégal depuis près de 200 ans. Bien qu'incomplètes, de nombreuses données ont été rassemblées sur les déplacements de l'embouchure du Sénégal. Les ruptures du cordon sableux littoral se produiraient tous les 14 ans.

#### AMENAGEMENTS-EVOLUTION HYDROGEOCHIMIQUE DU LAC DE GUIERS DEPUIS 1916.

(Coll. de l'AUPELF, Thiès, avril 1983)

Cette étude présente les phases successives de l'aménagement du lac de Guiers depuis 1916 où dans son état naturel les flux et le reflux des eaux douces, saumâtres et salées dans la Taoué au gré de la crue engendraient des équilibres successifs entre les plans d'eau fluvio-lacustres et contrôlaient la minéralisation des solutions. L'impact des aménagements de plus en plus élaborés sur l'environnement est à la fois présenté sous ses aspects positifs et négatifs d'un point de vue quantitatif et qualitatif. Les eaux du lac de Guiers se caractérisent par une très grande variation spatio-temporelle de leur minéralisation; elle s'explique par le jeu de l'intense évaporation et vraisemblablement par des échanges nappes/lac dans lesquels interviennent des reliques fossiles des récentes intrusions salines. La salinisation est paradoxalement freinée par auto-épuration lors du pompage de ces propres rejets par la CSS mais elle risque de s'accroître lorsque le fleuve subviendra seul aux besoins des zones irriguées. Enfin, les seuils de pompages limites sont fixés pour chaque position du plan d'eau afin d'éviter les importantes migrations des masses d'eaux et

des sels qu'elles véhiculent (en fin de saison sèche) vers la zone centrale du lac soumise aux prélèvements pour les besoins en eau potable. Les premières tentatives de modélisation de ces éventuels transferts de sels fixent dans les conditions les plus favorables les seuils limites d'exploitation.

#### CIRCULATION ET SALINITE DES EAUX DU LAC DE GUIERS. PROBLEMES DE DEVELOPPEMENT ET MODELES DE GESTION.

(Actes du Colloque de l'ISE, Dakar, mai 1983, pp.25-40)

Douces pendant toute l'année dans la région nord, les eaux du lac de Guiers sont beaucoup plus minéralisées au Sud avec des phases successives de diminution et d'augmentation des concentrations sous l'effet des apports fluviaux et de l'évaporation. La crue du fleuve et les différents pompages déterminent d'importants mouvements des masses d'eaux et le sens des circulations privilégiées est assujéti toute l'année aux proportions relatives des prélèvements conjugués de la SONEES et de la CSS. Cette étude propose un modèle de gestion du lac basé sur la connaissance de l'évolution saisonnière de la salinité et du sens de migration des grandes masses d'eaux dans la dépression au cours du cycle hydrologique. Les risques de salinisation progressive du lac sont certains avec le maintien des rejets, l'utilisation optimale des eaux douces du fleuve pour les besoins de l'irrigation et les projets optimistes d'accroître de façon trop importante la production d'eau potable pour les zones urbaines.

#### LA CHLORINITE DES EAUX DU LAC DE GUIERS. BILAN QUANTITATIF, QUALITATIF ET PERSPECTIVES

(Actes du Colloque de l'ISE, Dakar, mai 1985, pp.41-58)

Les bilans quantitatifs et qualitatifs des chlorures dans les eaux du lac de Guiers ont été établis sur quatre années (1979-82). L'évolution spatiotemporelle des concentrations dépend avant tout de l'importance de l'évaporation, des pompages et des rejets des eaux de drainage de la CSS. La relation entre la concentration moyenne en chlore des eaux du lac et les teneurs enregistrées à la station de Ngith met en évidence une salinisation progressive des eaux lacustres. Les effets négatifs de l'implantation de la CSS résident dans l'importance des rejets déversés dans la zone Nord du lac et l'augmentation annuelle du stock de chlore risque à court terme de le transformer en une réserve inexploitable d'eau saumâtre.

#### ETUDE QUANTITATIVE ET QUALITATIVE DES POUSSIERES ATMOSPHERIQUES EN PROVENANCE DU SAHARA ENTRE DAKAR ET NOUAKCHOTT

(Actes de la X RAST, Bordeaux, avril 1984, p.237)

Les poussières atmosphériques suscitent un intérêt croissant par leur interdépendance avec les facteurs climatiques et leur rôle sur la dégradation ou la fertilisation des sols du pourtour du Sahara. Les premières estimations donnent  $3.66 \text{ g/m}^2/\text{jour}$  à la station de Nouakchott et  $0.7 \text{ g/m}^2/\text{jour}$  à Dakar. Au niveau du lac de Guiers, les apports éoliens par le simple phénomène des brumes sèches seraient du même ordre de grandeur que l'apport annuel de sédiment par la crue du fleuve.

5

LE PHENOMENE DES BRUMES SECHES AU SENEGAL EN 1984 ET EN 1985  
(Bull. Veille Climatique Satellitaire, Lannion, 7, 1985)

Sur l'ensemble de la période d'observation les mois ou les manifestations de brumes sèches sont les plus importantes sont ceux de février et de mai avec des moyennes de l'ordre de 1.58 et 1.36 g/m<sup>2</sup>/jour. Les dépôts sont essentiellement siliceux avec la prédominance de quartz, de feldspaths et de faibles quantités de minéraux phylliteux (kaolinite et micas).

IMPORTANCE DES AEROSOLS TROPOSPHERIQUES SUR LA PRESQU'ILE DU CAP VERT DU SENEGAL (à paraître)

Description de nouveaux protocoles de mesures. Faiblesse relative des enregistrements consécutifs au dernier hivernage 85. Mise en évidence des contributions chimiques respectives des retombées humides (rosée et pluie) et sèches (aérosol) dans la fertilisation des sols.

PERSISTANCE DE LA SECHERESSE AU SAHEL: INVASION MARINE EXCEPTIONNELLE DANS LA VALLEE DU SENEGAL..

(X RAST, Bordeaux, 1984, p. 499)

La remontée saline actuelle est par son extension dans le temps et dans l'espace bien plus considérable que celle connue au cours des précédentes séquences climatiques sèches de 1911-1918 et de 1940-1947: elle s'est fait ressentir aux portes de Podor et des eaux à des taux de salinité de plus de 20 ‰ ont été décelables à la hauteur du lac de Guiers. Les nappes en bordure des rives du Sénégal peu rechargées à cause de la sécheresse se sont rapidement épuisées et n'ont plus freinées la progression du front salé. Cet effet se traduit très visiblement par une accélération de la croissance de la salinité et l'inversion de pente dans les isohalines. Le suivi, en période de faibles écoulements, de l'intrusion de la mer dans la vallée du Sénégal a permis d'affiner son modèle de propagation, de tester le comportement et le degré d'adaptation à des taux élevés de salinité de la faune actuelle et à partir de la localisation de faunes fossiles de reconstituer l'histoire paléoclimatique d'un grand bassin sahélien.

EVOLUTION HYDROGEOCHIMIQUE DU LAC DE GUIERS (SENEGAL) AU COURS DE LA SECHERESSE ACTUELLE AU SAHEL

(X RAST, Bordeaux, 1984, p. 141)

La sécheresse actuelle en engendrant des crues déficitaires, donc un remplissage médiocre du lac de Guiers met en péril l'existence de la cuvette. La faible réserve d'eau douce constituée, le déséquilibre entre périodes d'alimentation et d'isolement, l'exploitation intensive dont elle est l'objet, accentuent le retrait précoce de l'eau et des sels vers le centre de la dépression, amplifient les processus de minéralisation des solutions. L'assèchement de surfaces de plus en plus étendues à la suite du fort déficit (supérieur à 50%) dans les écoulements du fleuve, menace de plus en plus tout l'environnement du lac de Guiers. L'évolution dans le temps de

6

la physico-chimie des eaux, facteur déterminant pour leur exploitation, suit les variations du plan d'eau. Concentrées par évaporation, les solutions diluées initiales carbonatées calciques se minéralisent progressivement et deviennent chlorurées sodiques dans les saumures terminales. L'aiguillage des solutions mères, montre que le sodium, le chlore ainsi que les sulfates ont des comportements parallèles : ces éléments ne participent à aucune précipitation chimique; la néoformation de la calcite, de calcite faiblement magnésienne et probablement d'un silicate touche les carbonates, le calcium et partiellement la silice et le magnésium dans les phases ultimes de concentration. L'activité biologique maintient la silice en solution à des teneurs relativement constantes.

#### L'INVASION MARINE DANS LA BASSE VALLEE DU SENEGAL.

(Revue d'Hydrobiologie Tropicale, 1985)

Inventaire complet depuis 1903 des différents aspects de l'intrusion de la langue salée dans la basse vallée du fleuve Sénégal. Chronologie des événements, amplitude du phénomène et son impact sur l'environnement depuis 80 ans. Proposition de nouveaux abaques fixant à tous instants dans l'année la position du front marin à l'amont du fleuve.

#### LE FLEUVE SENEGAL: BILAN HYDROLOGIQUE ET FLUX CONTINENTAUX DE MATIERES PARTICULAIRES A SON EMBOUCHURE.

(Sciences Géologiques, 39, 1, 32p., 1985)

Cette étude fournit à l'échelle mensuelle et annuelle, l'ensemble des informations disponibles sur l'écoulement du fleuve Sénégal de 1903 à 1985. Le bilan hydrologique est établi aux deux stations clefs de Bakel (exutoire de l'amont) et de Dagana (assimilée à l'embouchure du fleuve). Les modules interannuels y sont respectivement de 715 et 641 m<sup>3</sup>/s. Le caractère exceptionnel de la récente sécheresse est présenté au niveau des réseaux de surface et subsurface. Les flux de matières particulaires à l'embouchure du fleuve ont été évalués au cours des cycles déficitaires 1981-82 (module : 374 m<sup>3</sup>/s) et 1982-83 (module : 254 m<sup>3</sup>/s) à 2.800.000 tonnes et 1.200.000 tonnes. Les turbidités moyennes ont été de 252 mg/l et de 196 mg/l. Les minéraux argileux (kaolinite et les smectites) prédominent. L'expulsion continentale annuelle de matière organique est faible et ne représente que 1.7 % des transferts solides vers l'océan. En dernier lieu de nouvelles hypothèses sont formulées pour mieux cerner les mécanismes d'acquisition de leur charge solide par les fleuves de la zone tropicale.

#### LE FLEUVE SENEGAL : FLUX CONTINENTAUX DE MATIERES DISSOUTES A SON EMBOUCHURE.

(Sciences Géologiques, 39, 2, 21p., 1985)

Les événements majeurs à l'embouchure du Sénégal sont liés aux phénomènes de la remontée cyclique des eaux marines dans la vallée du fleuve. La première partie de cette étude précise les variations saisonnières de salinité et l'évolution de la composition chimique des eaux dans le milieu estuarien. Les flux dissous d'origine

2

continentale mesurés de 1981 à 1983 s'élèvent en moyenne à 420.000 tonnes par an; ils correspondent à une charge en solution de 2,42 mg/l et à un taux d'érosion chimique de l'ordre de 1.85 t/km<sup>2</sup>/an. A partir du bilan de l'érosion mécanique et de l'altération chimique, de nouvelles propositions sont formulées pour appréhender l'acquisition des charges particulaires et dissoutes par les fleuves sahéliens et pour présenter dans les hydrogrammes de crue les contributions respectives des eaux de ruissellement et des eaux souterraines.

#### ETUDES PRELIMINAIRES DE LA PHYSICOCHEMIE DES EAUX INTERSTITIELLES DES SEDIMENTS DU LAC DE GUIERS.

(Rapport ORSTOM, Dakar, 1985)

L'étude présente les premières informations obtenues sur la physicochimie des eaux sous lacustres rendues accessibles en juin 1983 lors de l'exondation des sédiments dans les régions méridionales et centrales du lac de Guiers (cote -1.15 m IGN). Elle a permis de mettre en évidence l'extrême vulnérabilité du lac de Guiers dont la physionomie et les contours évoluent sans cesse sous l'effet de pulsations climatiques de grandes amplitudes. Les gradients de concentration nord-sud et est-ouest peuvent être associés à l'influence de l'évaporation qui agit sur des eaux déjà différenciées. Les eaux du secteur nord sont très proches des eaux libres résiduelles alors que l'on observe une très large hétérogénéité au centre et au sud de la dépression avec des eaux à faciès chlorurées sodiques ou sulfatées sodiques.

#### AUTRES DOCUMENTS A CONSULTER

Pluie et écoulement dans la bassin du fleuve Sénégal. Thèse de 3<sup>e</sup> cycle, Univ. de Nancy II, 442 p. (SOW A.A., 1984).

Le bassin de la Gambie en amont de Goulombou: contribution à l'hydrologie et à la dynamique fluviale en domaine tropical humide africain ( République de Guinée et du Sénégal ). Thèse de 3<sup>e</sup> cycle , Univ. de Nancy II, 396 p. (LO H.M., 1984).

Etude limnologique d'un lac sahélien: le lac de Guiers. Doctorat d'état, Université d'Arlon (Belgique), 385 p. (COGELS, 1984).

Le fleuve Sénégal à son embouchure: flux dissous et particulaires et invasion marine dans la vallée. Thèse de 3 cycle, Univ. Nancy II, 195 p. (KANE A., 1985)

Première approche de la physicochimie des eaux interstitielles des sédiments du lac de Guiers. Mémoire de D.E.A., Dpt de Géologie Univ. de Dakar, 48p. (BAMBA B.S., 1985).

Etude expérimentale de l'évolution chimique des eaux du lac de Guiers concentrées par évaporation. Mémoire de D.E.A., Dpt de Géologie, Univ. de Dakar, 75p. (CARN M., 1985).