

INTRUSION DES EAUX OCEANIQUES DANS LA BASSE VALLEE DU SENEGAL

Dr. GAC, J.Y., Institut Français de Recherche Scientifique pour le
Développement en Coopération (ORSTOM)
ORSTOM, B.P. 1386, Dakar, Sénégal

ABSTRACT

Cette étude reprend en les actualisant les travaux de Rochette (1964, 1974) et de Gac, Carn, Saos (1986a, 1986b) en présentant toutes les informations disponibles sur l'intrusion des eaux océaniques dans le delta et la basse vallée du Sénégal au cours du XX^{ème} siècle. Après un bref rappel de quelques témoignages anciens, fournis par les relations de voyage des explorateurs, les causes et les mécanismes de la remontée saline sont précisés. Les anciens abaques de Rochette servent de base à l'évaluation du rythme de la progression et du retrait du front salé, ceci depuis le début des observations des écoulements du Sénégal en 1903.

Les divergences entre la réalité et le modèle de propagation proposé sont ensuite abordées avec l'appui des mesures de la salinité ou encore de la charge en suspension des eaux du fleuve mesurée de 1980 à 1983, lors de cycles hydrologiques particulièrement déficitaires. Une nouvelle formulation du phénomène annuel de l'invasion marine, avant 1983, est proposée. Elle précise, par un ensemble d'équations logarithmiques, les positions des différentes isohalines en fonction des seuls débits qu' a connu, dans un passé récent, le fleuve Sénégal.

INTRODUCTION

Le 25 novembre 1983 constitue une date mémorable dans les chroniques des intrusions d'eaux de mer dans la basse vallée du Sénégal. Elle correspond en effet à la construction du barrage provisoire de Rheune, édifié à 114 km de l'embouchure du fleuve. Premier lien de terre ferme entre la Mauritanie et le Sénégal (il fût par la suite, en novembre 1985, relayé par l'ouvrage de Diama) il mettait définitivement un terme à la remontée des eaux océaniques dont l'importante variabilité annuelle entre 1903 et 1983 est précisée dans cette étude.

Au cours du XIX siècle la remontée saline dans la basse vallée du Sénégal semble avoir été plus limitée. En 1865, le Docteur Borius écrivait "la marée se fait sentir régulièrement à Dagana (km 192)" en précisant plus loin " l'eau du fleuve y est toujours douce et de qualité". Il s'agissait sans doute de l'oscillation du plan d'eau par l'onde de marée. Quelques années plus tard Lecard signalait " pendant plus de la moitié de l'année le fleuve est salé par le reflux des eaux de la mer et la même influence se fait sentir progressivement jusqu'à Richard-Toll (km 170)".

Les observations au XX ème siècle

A partir de 1890, la situation s'est modifiée. Depuis cette époque l'eau salée a atteint chaque année la ville de Dagana et a pu parvenir au-delà de Podor. Les causes évoquées pour expliquer ce profond bouleversement à la fin du XXI ème siècle restent très controversées : réduction des précipitations, diminution des écoulements et accélération des crues, déboisement intense, usure de seuils rocheux...

Cette pénétration des eaux océaniques, très à l'amont en domaine continental, a été soulignée par Henry (1918) après les séquences sèches de 1913/1914. Trochain (1940) et plus récemment Gac, Monteillet et Faure (1981) et Monteillet (1988) ont avancé l'hypothèse que la présence d'une paléofaune marine à des distances importantes du rivage actuel pouvait aussi bien découler d'un affaiblissement de la crue que de la remontée du niveau marin à la suite d'épisodes transgressifs.

LES CAUSES ET LES MECANISMES DES INVASIONS MARINES

Les causes

Dans les zones côtières, les intrusions marines peuvent résulter de causes locales, régionales ou encore plus générales en liaison avec des changements globaux qui intéressent la planète tels que la fonte des calottes glaciaires, la modification de volume des bassins océaniques ou encore les déformations du géoïde.

Parmi les causes locales majeures, citons la morphologie du lit mineur (Fig. 2) (jusqu'à Bogué, à plus de 400 km de l'embouchure, le fleuve Sénégal présente en effet la particularité de se situer en contrebas de l'océan Atlantique), le régime des écoulements du fleuve (les phases de tarissement et d'épuisement se traduisent certaines années par des débits insignifiants par suite, d'une part de l'épuisement des ressources du bassin versant au moment des étiages et d'autre part de l'importance des prélèvements effectués pour l'irrigation), la puissance de la houlé au large des côtes (la région du delta est assujettie à l'une des plus fortes agitations du monde selon Coleman et Wright 1975), l'amplitude des marées (1,15 m en vives eaux et 0,55 m en mortes eaux), enfin les remontées d'eaux profondes (les phénomènes d' upwelling déterminent des variations décimétriques du niveau de la mer). De manière occasionnelle, certains événements peuvent aussi donner une impulsion momentanée à la remontée du flot salé (glissement de complexes sédimentaires sur le plateau continental, modification de la configuration du littoral, migration de l'embouchure du fleuve, onde de tempête...).

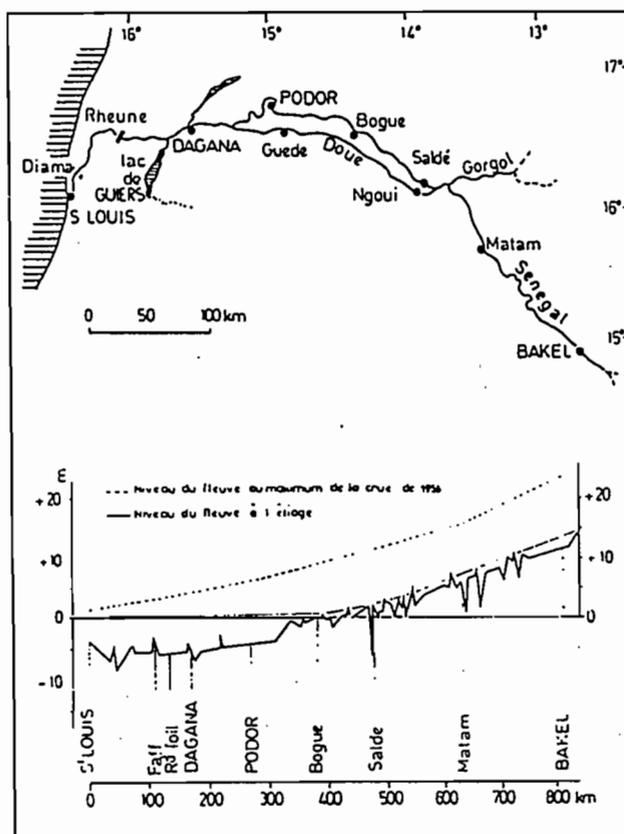


Figure 2. La basse vallée du Sénégal et profil du lit mineur.

Les mécanismes et les principes méthodologiques de Rochette

A la fin de la décrue du fleuve, les eaux marines repoussent les eaux douces. L'onde de marée devient perceptible vers l'amont et précède l'arrivée de la salure. La remontée des eaux saumâtres dénommée "langue salée" a fait l'objet d'études importantes essentiellement justifiées par l'infrastructure agricole mise en place dans la basse vallée du Sénégal. Les travaux qui font autorité dans ce domaine sont ceux de Rochette (1964, 1974) qui a particulièrement attiré l'attention sur les trois aspects qui contrôlent la salure des eaux : l'évolution à l'échelle de la marée, la salinité au cours de la décrue et la phase finale de retrait pendant la crue. En se basant sur des mesures de salinité effectuées en 1962 et 1963 (années supérieures à la normale pour les écoulements du fleuve), cet auteur résume ses observations par trois conclusions essentielles :

- au début de l'intrusion saline, l'influence relative du marnage se traduit par une augmentation de la salinité en période de mortes eaux et par une diminution en vives eaux. Lorsque la pénétration des eaux marines devient importante, la stratification disparaît et les effets du marnage ne se font plus ressentir sur la salinité.
- enfin, point capital pour la compréhension du phénomène, il précise le rôle fondamental joué par le débit fluvial. "Il existe une valeur du débit fluvial ($50 \text{ m}^3/\text{s}$) en dessous de laquelle la propagation de la salinité n'est plus conditionnée par le débit mais dépend essentiellement du temps.

- la remontée saline commence quand le débit du fleuve de la crue n descend en dessous de $600 \text{ m}^3/\text{s}$ et se termine quand le cumul d'eau douce de la crue $n+1$ excède 900 millions de m^3 .

L'invasion marine se déroule en quatre phases. Leurs durées respectives sont variables et liées aux caractéristiques saisonnières de chaque crue, elles-mêmes dépendantes de l'abondance et de la répartition des précipitations sur le bassin versant. La figure 3 illustre, à titre d'exemple, les événements successifs observés de 1978 à 1980.

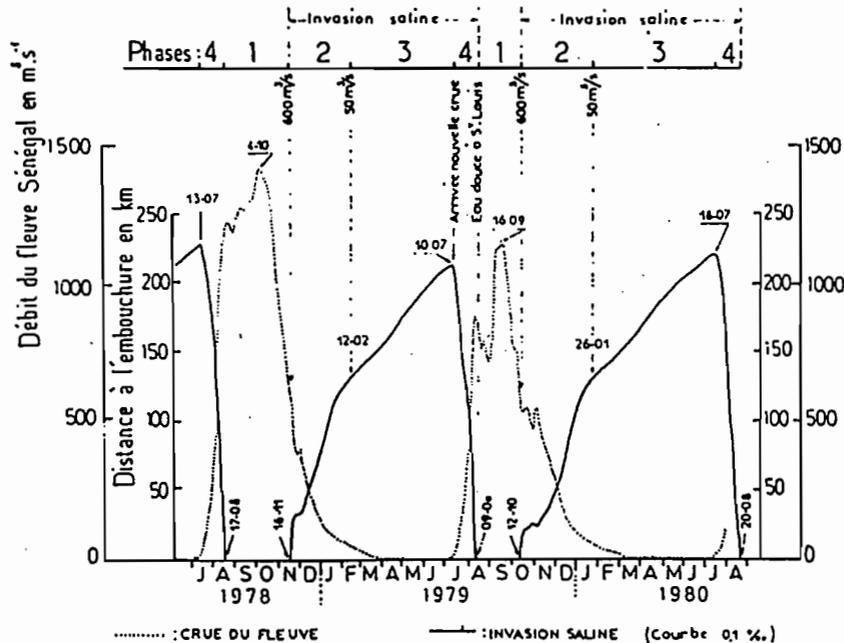


Figure 3. Les différentes phases de l'intrusion marine

La phase 1 correspond à la période des hautes eaux (juillet/octobre) et l'eau du fleuve est douce depuis les sources jusqu'à l'embouchure.

Au cours de la phase 2 qui débute en octobre ou novembre, l'interface eau douce/eau salée entame son déplacement saisonnier vers l'amont. Il s'amorce lorsque les débits journaliers du fleuve descendent en dessous $600 \text{ m}^3/\text{s}$ et se poursuit jusqu'au seuil de $50 \text{ m}^3/\text{s}$.

La phase 3 (de janvier/février à juin/juillet) s'installe tant que le débit reste inférieur à $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Elle est totalement indépendante des écoulements du fleuve qui sont alors très faibles. Sa durée est liée à celle des étiages. Elle s'achève avec des taux de salinité maximum dans tous les sites atteints dans la vallée au moment de l'arrivée de l'onde de crue suivante.

La phase 4 ou phase de retrait progressif des eaux salées s'amorce avec le nouveau cycle hydrologique et son cortège de précipitations. Elle se termine au seuil des 900 millions de m^3 .

CHRONIQUE DE 80 ANNEES (1903/1983) D' INVASION MARINE
SELON LES ABAQUES DE ROCHETTE (1964, 1974)

Deux aspects de la salinité sont particulièrement intéressants à préciser : l'étendue de la zone atteinte c'est à dire l'abscisse maximale et la durée du phénomène. Les différentes phases ont été déterminées en adoptant comme limite inférieure de perception de la salinité l'isohaline de 0,1 g/l (rappelons que la minéralisation des eaux du Sénégal oscille entre 35 et 75 mg/l). Le Tableau 1 récapitule en nombre de jours la durée des différentes phases, le temps de séjour des eaux saumâtres en amont de l'embouchure et l'extension maximale de la langue salée entre 1903 et 1983.

Tableau 1: Durée (en jours) des différentes phases de l'intrusion marine et abscisse maximale atteinte par la salure (en km).

| Cycles hydrologiques | | | | | | Abcisse Max (km) | Cycles hydrologiques | | | | | | Abcisse Max (km) | Cycles hydrologiques | | | | | | Abcisse Max (km) |
|----------------------|-----|-----|-----|----|-----|------------------|----------------------|-----|-----|-----|----|-----|------------------|--|-----|-----|-----|----|-----|------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 1903-04 | 127 | 117 | 112 | 21 | 250 | 194 | 1931-32 | 134 | 120 | 76 | 37 | 233 | 172 | 1959-60 | 128 | 115 | 101 | 26 | 242 | 188 |
| 04-05 | 121 | 119 | 87 | 29 | 235 | 179 | 32-33 | 135 | 106 | 93 | 23 | 222 | 183 | 60-61 | 123 | 115 | 100 | 29 | 244 | 187 |
| 05-06 | 145 | 116 | 63 | 42 | 221 | 163 | 33-34 | 135 | 109 | 121 | 28 | 258 | 199 | 61-62 | 123 | 112 | 99 | 32 | 243 | 187 |
| 06-07 | 133 | 140 | 83 | 23 | 246 | 176 | 34-35 | 113 | 109 | 98 | 28 | 235 | 186 | 62-63 | 130 | 100 | 119 | 29 | 248 | 194 |
| 07-08 | 105 | 141 | 74 | 35 | 250 | 171 | 35-36 | 140 | 111 | 78 | 43 | 232 | 172 | 63-64 | 117 | 101 | 100 | 30 | 231 | 188 |
| 08-09 | 122 | 115 | 86 | 29 | 230 | 179 | 36-37 | 137 | 120 | 90 | 27 | 237 | 181 | 64-65 | 136 | 118 | 95 | 33 | 246 | 184 |
| 09-10 | 140 | 114 | 97 | 22 | 233 | 186 | 37-38 | 113 | 114 | 106 | 28 | 248 | 191 | 65-66 | 125 | 112 | 90 | 45 | 247 | 181 |
| 10-11 | 122 | 113 | 97 | 36 | 246 | 185 | 38-39 | 143 | 105 | 103 | 28 | 236 | 189 | 66-67 | 125 | 117 | 87 | 20 | 224 | 178 |
| 11-12 | 122 | 109 | 110 | 31 | 250 | 199 | 39-40 | 109 | 115 | 112 | 42 | 269 | 195 | 67-68 | 155 | 113 | 87 | 47 | 247 | 178 |
| 12-13 | 109 | 121 | 104 | 30 | 255 | 194 | 40-41 | 103 | 109 | 124 | 25 | 258 | 201 | 68-69 | 70 | 117 | 131 | 33 | 281 | 204 |
| 13-14 | 101 | 89 | 151 | 25 | 265 | 216 | 41-42 | 88 | 104 | 146 | 22 | 272 | 211 | 69-70 | 124 | 100 | 121 | 46 | 267 | 199 |
| 14-15 | 101 | 124 | 98 | 40 | 262 | 186 | 42-43 | 84 | 115 | 129 | 34 | 278 | 203 | 70-71 | 61 | 111 | 139 | 28 | 278 | 207 |
| 15-16 | 109 | 112 | 120 | 24 | 256 | 200 | 43-44 | 112 | 105 | 119 | 41 | 265 | 198 | 71-72 | 86 | 106 | 143 | 40 | 289 | 210 |
| 16-17 | 117 | 113 | 115 | 35 | 263 | 196 | 44-45 | 90 | 112 | 122 | 18 | 252 | 205 | 72-73 | 51 | 96 | 155 | 41 | 292 | 214 |
| 17-18 | 96 | 108 | 104 | 36 | 248 | 190 | 45-46 | 120 | 96 | 125 | 29 | 250 | 201 | 73-74 | 79 | 90 | 180 | 23 | 293 | 225 |
| 18-19 | 138 | 131 | 61 | 40 | 232 | 161 | 46-47 | 117 | 104 | 121 | 25 | 250 | 199 | 74-75 | 97 | 85 | 162 | 23 | 270 | 217 |
| 19-20 | 110 | 119 | 99 | 23 | 241 | 186 | 47-48 | 98 | 113 | 115 | 30 | 258 | 196 | 75-76 | 91 | 92 | 157 | 24 | 273 | 218 |
| 20-21 | 133 | 127 | 92 | 32 | 251 | 182 | 48-49 | 118 | 101 | 125 | 29 | 255 | 196 | 76-77 | 109 | 88 | 155 | 33 | 276 | 203 |
| 21-22 | 98 | 110 | 120 | 36 | 266 | 199 | 49-50 | 91 | 105 | 137 | 23 | 265 | 207 | 77-78 | 56 | 77 | 184 | 35 | 296 | 228 |
| 22-23 | 133 | 112 | 76 | 36 | 224 | 171 | 50-51 | 136 | 96 | 95 | 39 | 230 | 187 | 78-79 | 90 | 88 | 149 | 30 | 267 | 211 |
| 23-24 | 135 | 108 | 93 | 21 | 222 | 182 | 51-52 | 148 | 101 | 85 | 32 | 218 | 179 | 79-80 | 64 | 105 | 175 | 33 | 313 | 223 |
| 24-25 | 150 | 125 | 64 | 32 | 221 | 163 | 52-53 | 131 | 95 | 102 | 28 | 225 | 189 | 80-81 | 57 | 94 | 168 | 34 | 296 | 220 |
| 25-26 | 142 | 119 | 84 | 26 | 229 | 177 | 53-54 | 123 | 117 | 86 | 31 | 234 | 179 | 81-82 | 79 | 89 | 179 | 33 | 291 | 226 |
| 26-27 | 117 | 120 | 102 | 28 | 250 | 189 | 54-55 | 143 | 138 | 58 | 31 | 227 | 159 | 82-83 | 61 | 82 | 178 | 35 | 295 | 221 |
| 27-28 | 141 | 118 | 78 | 29 | 225 | 173 | 55-56 | 145 | 119 | 87 | 24 | 220 | 179 | 83-84 | 51 | 81 | 181 | 32 | 294 | (227) |
| 28-29 | 134 | 93 | 94 | 28 | 215 | 181 | 56-57 | 130 | 116 | 84 | 24 | 224 | 179 | 84-85 | | | | | | (> 225) |
| 29-30 | 146 | 101 | 93 | 34 | 228 | 183 | 57-58 | 150 | 113 | 75 | 28 | 216 | 171 | () estimés : implantation de Rheune en novembre 83 et reconstruction en novembre 84 | | | | | | |
| 30-31 | 134 | 123 | 81 | 26 | 230 | 172 | 58-59 | 145 | 127 | 62 | 32 | 221 | 162 | | | | | | | |

(1) période d'eau douce, (2) phase 2, (3) phase 3, (4) phase de retrait
(5) durée totale (en jours) de l'intrusion

Une analyse de fréquence sur les 81 cycles hydrologiques étudiés fait ressortir que la présence d'eau douce dans l'ensemble de la vallée du Sénégal dure en moyenne 117 jours. Les phases 1 les plus précoces ont été observées en 1929 et 1933 (13 juillet) et la plus tardive en 1970 (11 septembre). Les durées extrêmes de cette phase concernent les années 1972 et 1983 (55 jours) et l'année 1967 (155 jours).

Les eaux marines amorcent leur remontée dans la vallée du fleuve entre novembre et décembre. Les dates extrêmes ont été observées en 1979 (le 13 octobre) et après la grande crue de 1951 (le 28 décembre). Cette phase 2 dure en moyenne 110 jours (maximum 141 jours en 1907/1908 et

minimum 77 jours en 1977/1978). Elle est étroitement dépendante de la forme du tarissement du fleuve et peut se prolonger jusqu'au 23 avril (1955) ou s'achever très tôt après une crue faible (10 janvier 1978).

L'importance de la pénétration saline au cours de la phase 3 ne dépend que de la durée de la période d'étiage et en corollaire de l'arrivée de l'onde de crue suivante, tributaire elle-même de la nouvelle saison des pluies. Lorsqu'elle se termine (en général début juillet), la remontée saline atteint son extension maximale dans la vallée. Cette troisième phase s'étend en moyenne sur 107 jours mais elle peut être réduite à 58 jours comme en 1955 ou au contraire se prolonger pendant 184 jours comme en 1978.

Le retrait des eaux salées est provoqué par la nouvelle onde de crue. Mal connue du fait des nombreuses incertitudes dans l'évaluation des écoulements du fleuve, cette phase 4 est aussi la plus brève la quasi-totalité du sel étant rejetée dans l'océan au bout d'un mois.

En année moyenne, les trois premières phases sont de durée sensiblement égale (110 jours) et correspondent à une pénétration saline de l'ordre de 200 km (minimum 161 km en 1918/1919 et 228 km en 1977/1978). On constate que la présence des eaux océaniques varie d'une façon considérable d'une année sur l'autre : 215 jours en 1928/1929 et 313 jours en 1979/1980. On remarque ensuite que les remontées minimales ne succèdent pas systématiquement aux crues les plus fortes et que les plus longues intrusions ne suivent pas nécessairement les crues les plus faibles.

En d'autres termes, si d'une manière générale une crue faible engendre une remontée rapide du biseau salé et une crue forte un temps de séjour moins long des eaux saumâtres dans la vallée, il est vrai aussi que deux crues d'importance très inégale peuvent s'achever par deux incursions marines de même ampleur, selon le caractère tardif ou précoce des ondes de crues suivantes.

PROPOSITIONS NOUVELLES DE MODELISATION DE L'INTRUSION SALINE

Divergences entre le modèle et la réalité

De septembre 1981 à juillet 1983, les estimations de l'ampleur de la remontée marine, à partir des abaques de Rochette, ont été confrontés aux mesures mensuelles de la salinité réalisées sur les 320 derniers kilomètres du cours inférieur du fleuve.

La Figure 4 illustre les principales divergences entre la réalité et les estimations. Le trait le plus marquant réside dans la position géographique de l'abscisse maximale atteinte par le front salé. Les observations la fixent à la hauteur de Podor (km 300) soit 60 km plus à l'amont que les abaques. La même constatation peut-être faite pour l'isohaline à 35 ‰ figurant l'eau de mer "pure". Par ailleurs le temps de séjour des différents taux de salinité est plus élevé que prévu. On relève par exemple à Richard-Toll la présence de taux supérieurs à 10 ‰ pendant près de 40 jours; à Rheune, la salinité se maintient au-dessus de 25 ‰ durant un mois. Enfin, fait nouveau, des taux de salinité supérieurs à 35 ‰ ont été observés à plus de 50 km

km de l'embouchure témoignant du fonctionnement "inverse" de l'estuaire du Sénégal.

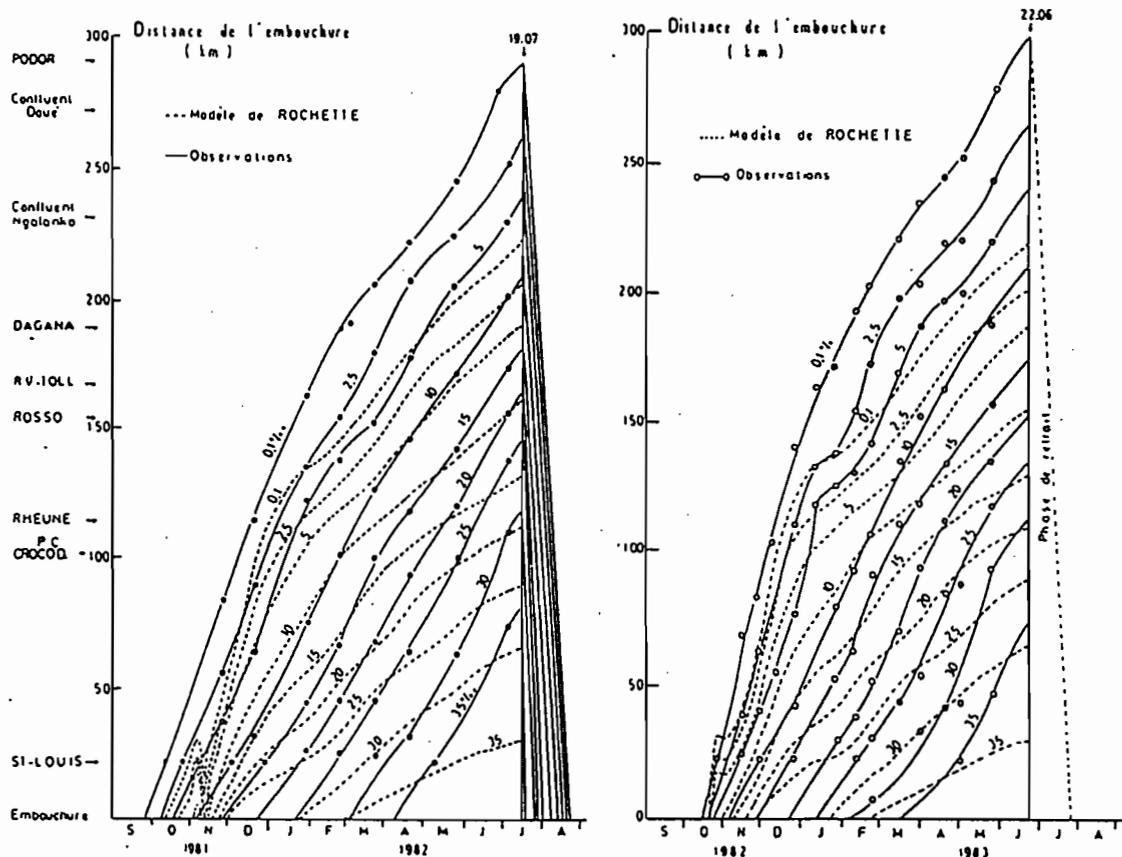


Figure 4. Evolution spatiotemporelle de la salinité de 1981 à 1983 Positions observées et calculées des isohalines.

Les alternatives de modifications des différents seuils du débit

D'après les observations journalières à proximité de l'embouchure, l'intrusion saline débiterait bien avant le franchissement du seuil de $600 \text{ m}^3/\text{s}$ lors de la phase de tarissement du fleuve. Le gain de temps reste cependant très faible (environ une semaine) pour un débit-clef qui serait de l'ordre de $750 \text{ m}^3/\text{s}$.

La substitution des paramètres temps et débit au seuil de $50 \text{ m}^3/\text{s}$ paraît prématurée. Dans toute tentative de compréhension d'un phénomène qui se prolonge, la substitution d'un paramètre explicatif par un autre implique nécessairement la notion de modification profonde dans les caractères du mécanisme qui l'engendre. Dans le cas de l'intrusion saline, une seule hypothèse paraît plausible : un changement de rythme dans la progression du front salé vers l'amont. Il s'observe pour les deux invasions marines de 1981/82 et 1982/83 pour des débits du fleuve proches de $20 \text{ m}^3/\text{s}$. Ce seuil a été adopté pour le début de la phase 3 pendant laquelle la remontée des eaux océaniques n'est dépendante que du temps et donc de la durée du tarissement avant un nouvel épisode hydrologique.

Nouveau modèle de propagation de l'intrusion marine

Les diagrammes présentés sur les Figures 5 et 6 synthétisent les résultats obtenus. Ils permettent de déterminer, à tout moment, la salinité moyenne en un point de la basse vallée du fleuve Sénégal en fonction du débit pour des valeurs comprises entre 750 et 20 m³/s et du temps pour des écoulements inférieurs à 20 m³/s. Ces abaques sont directement exploitables. La formulation du phénomène annuel de l'invasion marine s'exprime par une série d'équations donnant la position des différentes isohalines. En distinguant les deux épisodes (débits supérieurs ou inférieurs à 20 m³/s), on aboutit aux équations ci-dessous dans lesquelles D indique l'éloignement de l'embouchure en km et Q le débit fluvial (en m³/s).

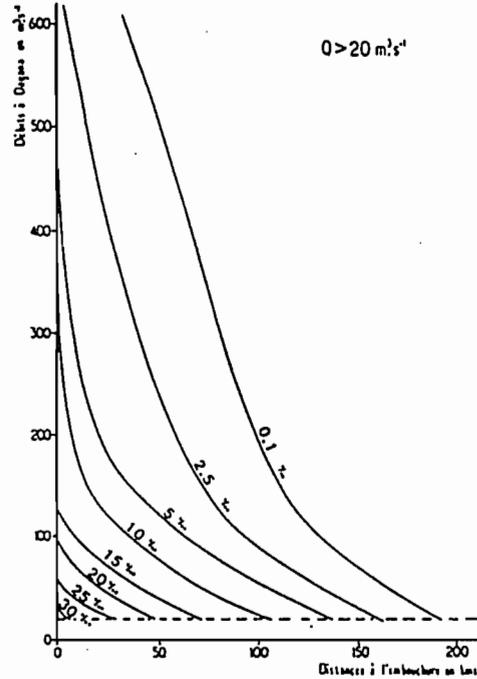


Figure 5. Relation débit/salinité de base (Q > 20 m³/s)

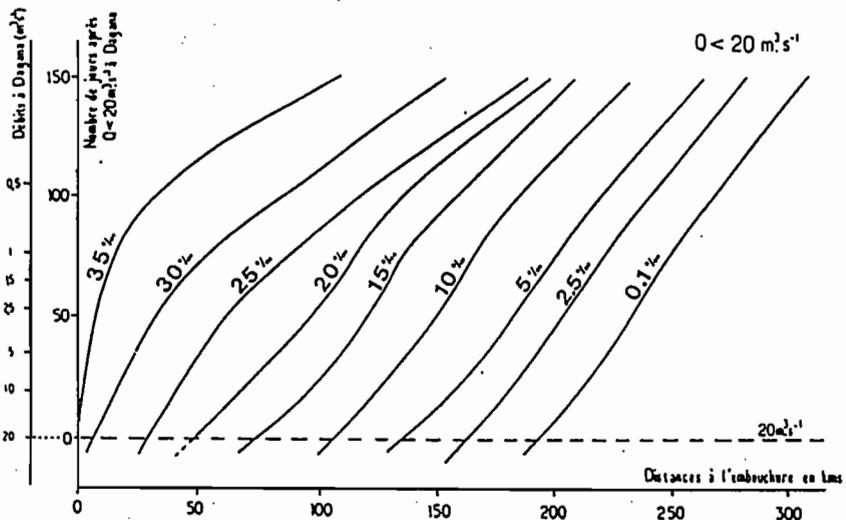


Figure 6. Relation temps/salinité (Q < 20 m³/s)

750 m³/s < Q < 20 m³/s

| | |
|--------|--------------------------|
| 0,1 ‰ | : D = -100,0 log Q + 325 |
| 2,5 ‰ | : D = -104,4 log Q + 301 |
| 5,0 ‰ | : D = -109,0 log Q + 282 |
| 10,0 ‰ | : D = -107,3 log Q + 252 |
| 15,0 ‰ | : D = - 95,9 log Q + 203 |
| 20,0 ‰ | : D = - 77,9 log Q + 153 |
| 25,0 ‰ | : D = - 68,2 log Q + 117 |
| 30,0 ‰ | : |
| 35,0 ‰ | : |

Q < 20 m³/s

| |
|------------------------|
| D = - 46,1 log Q + 255 |
| D = - 46,9 log Q + 226 |
| D = - 49,2 log Q + 204 |
| D = - 43,8 log Q + 169 |
| D = - 48,4 log Q + 141 |
| D = - 52,5 log Q + 120 |
| D = - 43,6 log Q + 85 |
| D = - 41,0 log Q + 53 |
| D = - 14,0 log Q + 15 |

CONCLUSION

Ouvert sur l'océan Atlantique, la basse vallée du fleuve Sénégal a été régulièrement envahie par les eaux marines jusqu'en novembre 1983. Les causes et les mécanismes régulant cette intrusion marine annuelle sont précisés et la chronique des différentes phases de progression et du retrait du flot salé établie pour la période 1903/1983.

Les observations minutieuses de la remontée saline dans la vallée du fleuve Sénégal à la suite des cycles hydrologiques 1981-1982 et 1982-1983 (caractérisés par des écoulements très faibles) et leur confrontation avec les estimations à l'aide des abaques proposés par Rochette (1964, 1974) ont permis de mettre en évidence des divergences importantes dans l'évaluation de l'évolution spatio-temporelle de la salinité.

Les propositions anciennes ont été reconsidérées et une nouvelle formulation du phénomène annuel de l'invasion marine établie. Elle précise à tout instant par une série d'équations et en fonction des seuls débits (Q), les positions respectives des différentes isohalines (D) dans la basse vallée du fleuve. Ces équations de la forme $(D = a \log Q + b)$ peuvent être utilisées pour déterminer l'importance réelle des différentes intrusions salines entre 1903 et 1983.

REFERENCES

- Bancal, P. 1924. Le problème de l'eau au Sénégal. Doc. Inédit, 107 p.
- Brigaud, F. 1961. Connaissance du Sénégal : l'hydrographie. Bull. IFAN, n°9, 102 p.
- Coleman, J.M. and L.D. Wright. 1975. Modern river deltas : variability of processes and sand bodies. Houston Geol. Soc., pp.99-149.
- Dubois, J. 1955. Les sols du delta du Sénégal. Bull de la M.A.S., 77 p.
- Gac, J.Y., J. Monteillet, H. Faure. 1981. Marine shorelines in estuaries as a palaeoprecipitation indicators. Variation in the global water budget, ed P.C. Reidel, pp. 361-370.
- Gac, J.Y., M. Carn, J.L. Saos. 1986a. L'invasion marine dans la basse vallée du fleuve Sénégal. I. période 1903/1980. Rev. d'Hydrobiologie Tropicale, 19, 1, pp. 3-17.
- Gac, J.Y., M. Carn, J.L. Saos 1986b. L'invasion marine dans la basse vallée du Sénégal. II. période 1980/1983. Rev. d'Hydrobiologie Tropicale, 19, 2, pp. 93-108.
- Henry, H. 1918. Irrigations et cultures irriguées en Afrique tropicale. ed. Larose, Paris, 8°, 296 p.
- Hubert, H. 1921. Eaux superficielles et souterraines au Sénégal. Ed. Larose, Paris, 30 p.
- Monteillet, J. 1988. Environnements sédimentaires et paléoécologie du delta du Sénégal au Quaternaire. Thèse, Univ. Perpignan, 267 p.
- Papy, L. 1952. La vallée du Sénégal. Bull. IFAN, 2, pp. 1-48.
- Rochette, C. 1964. Remontée des eaux marines dans le fleuve Sénégal. Rapport multigr., ORSTOM, Dakar, 81 p.
- Rochette, C. 1974. Le bassin du fleuve Sénégal. Monographie hydrologique, ORSTOM, Paris, 1, 391 p.
- Trochain, J. 1940. Contribution à l'étude de la végétation au Sénégal. Ed. Larose, Mem. IFAN, 2, 434 p.

PROJET CEE (EQUESEN) TS 2 0198 F EDB.

VII ème CONGRES MONDIAL DES RESSOURCES EN EAU

" L'eau et le développement dans la perspective du 21 ème siècle"

(13-18 mai 1991, Rabat- MAROC)

Présentation par MM.GAC⁽¹⁾ et COGELS⁽²⁾ de 3 communications :

GAC J.Y. (1991).- Salt water intrusion in the Senegal river lower valley.

COGELS F.X. et GAC J.Y. (1991). A quantitative model for the management of a sahelian lake in the senegal basin : the lake of Guiers.

GAC J.Y. et COGELS F.X. (1991). Geochemistry of the Ferlo valley waters.

mars 1991

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

(2) FUL, Fondation Universitaire Luxembourgeoise, 185 avenue de Longwy, B-6700, Arlon (Belgique).