

10

Recharge de l'aquifère superficiel de la vallée de Baïla (Basse Casamance, Sénégal)

R. MALOU⁽¹⁾, J. MUDRY⁽¹⁾, J.-L. SAOS⁽²⁾

⁽¹⁾ *Département de Géologie, Université Cheikh Anta Diop, Dakar-Fann, Sénégal*

⁽²⁾ *ORSTOM, BP 1386, Dakar-Fann, Sénégal*

Le marigot de Baïla est un cours d'eau situé en basse Casamance, dans le département de Bignona, il est partiellement affecté par la marée. L'aquifère qui lui est associé est une nappe libre qui imprègne les formations superficielles du Continental Terminal et du Quaternaire.

Des mesures piézométriques et conductimétriques permettent d'apprécier la pluie efficace sur le bassin. A l'hivernage (juin à octobre) la remontée piézométrique est difficile sous les plateaux latéritisés, elle est rapide et fonction de la hauteur des précipitations sous les terrasses bordant la vallée (+ 0,49 m en 1987 avec 1 006,7 mm de pluie, + 3,23 m en 1988 avec 1 355,8 mm). Dès la fin des épisodes pluvieux, la nappe subit une ponction évaporatoire perceptible même entre les pluies de l'hivernage. Ce phénomène, combiné au déficit pluviométrique observé depuis plusieurs années est responsable de l'important abaissement piézométrique observé depuis 1965.

Les mesures de conductivités effectuées pendant l'hivernage montrent un lessivage des sels stockés dans la zone non-saturée pendant la phase évaporatoire de la saison sèche, les zones de forte variation étant à la fois la zone maritime à langue salée et les zones de plateaux à lessivage important. En revanche, les zones de terrasses, avec une infiltration facile, subissent de faibles variations.

Un calcul de bilan à l'échelle journalière a été tenté en déduisant (par corrélation) les valeurs d'ETP des mesures de Piche. L'évapotranspiration réelle a été calculée en tenant compte de la réserve en eau du sol ainsi que du tarissement de cette réserve et de la nappe, compte tenu de la porosité efficace.

Ainsi donc, le bilan 1987 fait apparaître un déficit de 30 mm et le bilan 1988 un excédent de 333 mm.

Si la tendance actuelle à un excédent pluviométrique se confirme, l'espoir de voir une remontée piézométrique suffisante pour ramener les nappes à leur cote d'avant la sécheresse demeure.

Présentation

Ce travail a été réalisé au laboratoire d'hydrogéologie de l'ORSTOM (Malou [2]).

Géographie

La Casamance occupe le Sud de la République du Sénégal. Elle est limitée au nord par la Gambie, au sud par la Guinée Bissau, à l'ouest par l'Océan atlantique et à l'est par la rivière de Gouloumbou, affluent du fleuve Gambie (figure 1).

Le marigot de Baïla est un affluent du Diouloulou lui même affluent de la Casamance. Son bassin versant qui constitue la zone d'étude s'étend sur 1 634 km² au nord de la ville de Bignona et empiète légèrement sur le territoire gambien.

Climat

Située en zone tropicale sèche, la Casamance connaît deux saisons bien marquées : une saison sèche de novembre à avril, et une saison des pluies ou hivernage de mai à octobre.

Pendant la saison sèche la région est parcourue par l'Alizé maritime, vent humide non générateur de pluie, issu de l'anticyclone des Açores. Ce vent devient de plus en plus sec en pénétrant dans le continent où il rencontre l'Alizé continental ou Harmattan en provenance de l'anticyclone maghrébin.

Pendant la saison des pluies c'est la Mousson qui domine sur toute la zone par suite de l'affaissement de la cellule des Açores. Il s'agit d'un vent chaud et humide générateur de précipitations.

D'est en ouest, c'est-à-dire d'amont en aval du fleuve Casamance deux grandes régions climatiques se distinguent :

- La région du Fouladou en amont où l'effet de continentalité se fait sentir par de grandes amplitudes thermiques et une faible pluviométrie moyenne annuelle (1 000 à 1 300 mm).
- La région de la Basse-Casamance en aval sous influence océanique, où les fluctuations thermiques sont moins accentuées et la pluviométrie moyenne annuelle plus abondante (1 300 à 1 700 mm).

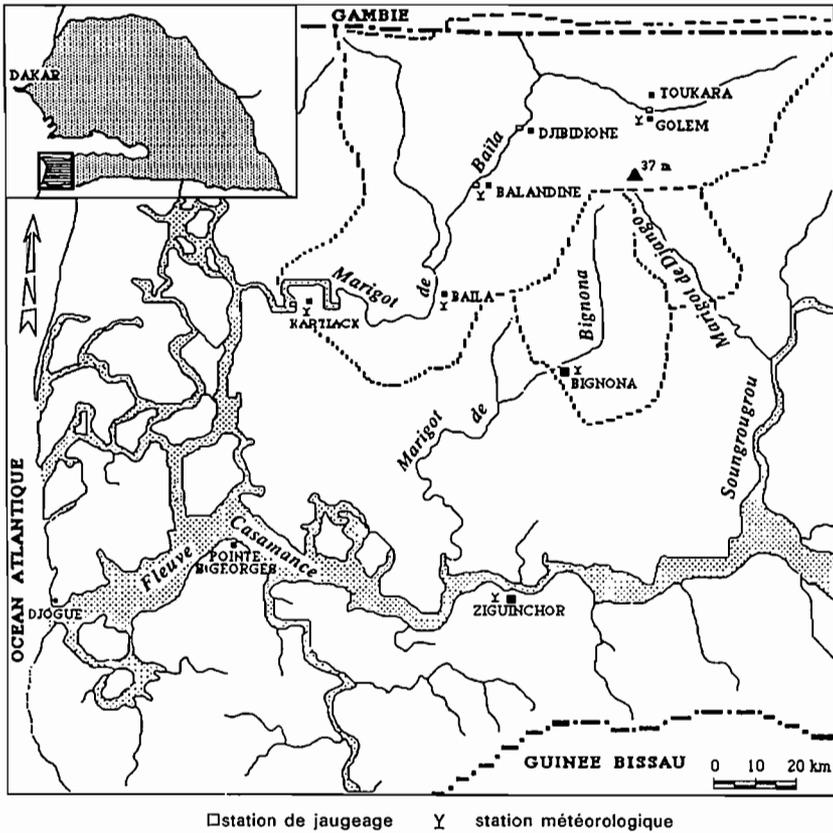


Figure 1. Localisation géographique du bassin versant du Marigot de Baïla.

Géologie

La Basse Casamance fait partie du bassin Sénégal-Mauritanien, elle a subi une longue histoire sédimentaire du Jurassique au Miocène. Sur les dépôts miocènes, atteints seulement par des forages d'eau, des grès bariolés interstratifiés de couches d'argile constituent la série détritique du Continental Terminal qui fut modelée en glacis au cours de la période aride qui a suivi. Le Quaternaire est caractérisé par une suite d'oscillations du niveau marin (minimum - 120 m vers 18 000 BP et maximum + 1,5 m vers 5 500 BP, période pendant laquelle s'est effectué le creusement des vallées).

Le golfe marin de Basse Casamance se comble très récemment, des cordons littoraux le ferment vers 1 500 BP.

La morphologie actuelle est peu accusée, le point culminant ne dépassant pas 36 m. Elle est constituée de bas-fonds, de versants et de plateaux.

Les bas-fonds sont subdivisés en deux zones : une zone aval (influencée par la marée) remplie de vases récentes où se développent la mangrove et les tannes, et une zone amont non maritime de sédiments limono-sableux occupée par les rizières.

Les versants sont constitués de terrasses marines : la plus basse (2 m) est occupée par les colluvions, elle est cultivée en rizières. La terrasse de 2-5 m, plus ancienne est sableuse, elle est peuplée de palmiers à huile et de kapokiers. La terrasse de 10 m est également sableuse, on y cultive le riz pluvial, le mil et l'arachide.

Les plateaux sont formés de buttes circulaires ou sinueuses de Continental Terminal, ils supportent des sols sableux rouges plus ou moins indurés. Il existe donc un contraste important dans la nature des formations de surface entre les plateaux et les autres zones.

Rôle de l'hivernage dans la recharge

Pluviométrie

La Casamance, comme toute la zone inter-tropicale, subit depuis l'année 1968 un déficit pluviométrique important. De 1980 à 1986, ce déficit a atteint 30 % de la moyenne inter-annuelle (Saos *et al.* [6]). Cependant, la Casamance est la région la plus favorisée du Sénégal, les hauteurs de pluie dépassant 1 000 mm.

En 1987, le bassin versant du marigot de Baïla a reçu des hauteurs totales de pluie comprises entre 850 mm (frontière gambienne) et 1 350 mm (Baïla); en 1988, les hauteurs vont de 950 mm (frontière gambienne) à 1 500 mm (Bignona). La répartition spatiale est bien sûr influencée par la latitude (gradient N-S), mais les courbes s'infléchissent au niveau des vallées (il tombe plus sur le marigot que sur les plateaux qui le bordent), et les vallées les plus arrosées changent avec les années.

Variations piézométriques

La plupart des points d'eau n'ayant pas été nivelés, il n'a pas été possible d'établir de carte piézométrique. En revanche, des cartes d'isovariations telles que celle de la figure 2, qui représente la remontée piézométrique entre juillet et octobre 1988, mettent en relief la différence de comportement des zones géomorphologiques :

- dans les basses terrasses, la nappe remonte de 4 à 5 m;
- dans les terrasses moyennes, de 3 à 4 m;
- dans la haute terrasse, de 1 à 3 m;
- sous le plateau, de moins d'un mètre.

Cette difficulté de recharge sous les plateaux est responsable de l'important abaissement piézométrique qu'a subi la zone haute au cours de la sécheresse sahélienne (– 7 m de 1967 à 1987. Saos et Dacosta [5]).

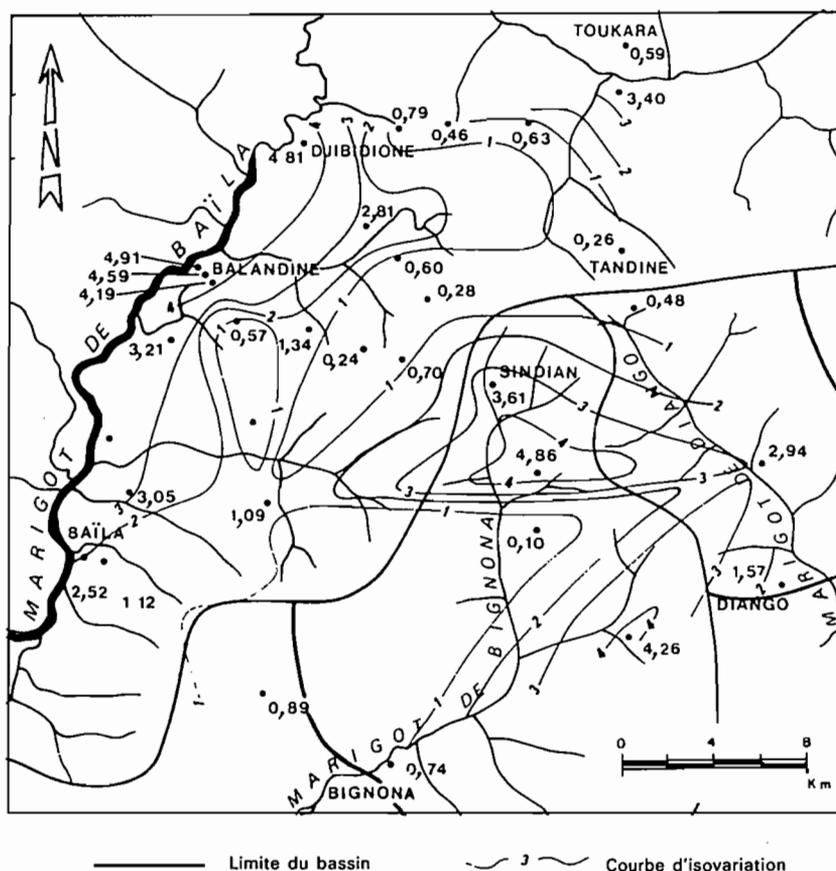


Figure 2. Carte d'isovariations piézométriques entre juillet et octobre 1988.

Variations chimiques

La conductivité de l'eau des différents puits a été mesurée à chaque campagne piézométrique. On distingue deux zones de forte conductivité, une de faible, et une de conductivité moyenne.

- Les fortes conductivités ($> 100 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$) sont observées sur les zones à influence maritime (bas-fonds et basses terrasses aval), mais aussi sous les plateaux : la reprise évaporatoire presque total des dernières précipitations, facilitée par la faible infiltration, est suivie par un lessivage aux pluies suivantes. Ce phénomène est responsable de ces fortes minéralisations.
- Les faibles conductivités ($20 \text{ à } 50 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$) s'observent sur la moyenne terrasse, les conductivités moyennes ($50 \text{ à } 100 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$) sous la haute terrasse.

Hormis la zone basse maritime, il existe donc une relation inverse entre la pluie efficace responsable de la remontée piézométrique à l'hivernage, et la concentration des eaux, ce qui atteste du rôle de l'évapotranspiration dans ce phénomène.

Les variations saisonnières de la conductivité confirment ce schéma (figure 3) : les fortes variations saisonnières (800 à 1 000 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$) sont observées dans la zone maritime et sous les plateaux, les faibles sur les terrasses.

L'explication de ce zonage peut être ainsi envisagée :

- En zone maritime, la langue salée progresse vers le continent en période sèche. A la première crue, l'aquifère est rechargé avec ces eaux salées. Plus tard, au cours de l'hivernage, les eaux douces devenues abondantes repoussent les eaux minéralisées vers le marigot et les diluent.
- Sous les plateaux, il existe également un grand contraste de conductivité entre les eaux de début d'hivernage, chargées en sels lessivés dans le sol (ces sels ont été accumulés pendant la reprise évaporatoire de la saison sèche précédente), et les eaux de la fin de l'hivernage qui n'ont plus de stock à lessiver dans le sol.
- Sous les terrasses plus perméables en revanche, les eaux s'infiltrent plus facilement en abandonnant moins de leur charge saline lors de la reprise évaporatoire. Cette meilleure infiltration a une composition plus homogène au cours du temps.

Les mesures de conductivité confirment donc en tous points les résultats de l'étude piézométrique.

Bilan hydrique à la station de Toukara (puits de Golem)

Evaluation de l'évapotranspiration

L'évapotranspiration potentielle est calculée par la méthode de Turc et la fiabilité des résultats vérifiée par une corrélation avec les valeurs d'évaporation « Piche » recueillies à la station de Ziguinchor. La corrélation est médiocre. Cependant, un rapport \mathcal{L} de l'ETP Turc mensuelle à l'évaporation « Piche » mensuelle a permis de reconstituer une série journalière de l'ETP Turc à partir des valeurs de « Piche » :

$$\text{ETP Turc journalière} = \mathcal{L} * \text{EP journalière}$$

$$\mathcal{L} = \frac{\text{EPT Turc mensuelle}}{\text{EP mensuelle}}$$

Méthode du bilan

Un modèle original basé sur le principe de Thornthwaite a été utilisé. Ce principe tient compte des ponctions évapotranspiratoires que subit la nappe d'eau souterraine lorsque toutes les réserves du sol sont épuisées pendant la saison sèche. Il est également tenu compte d'un autre paramètre homologue à la réserve facilement utilisable du sol, mais qui en diffère par son caractère dynamique — du fait de

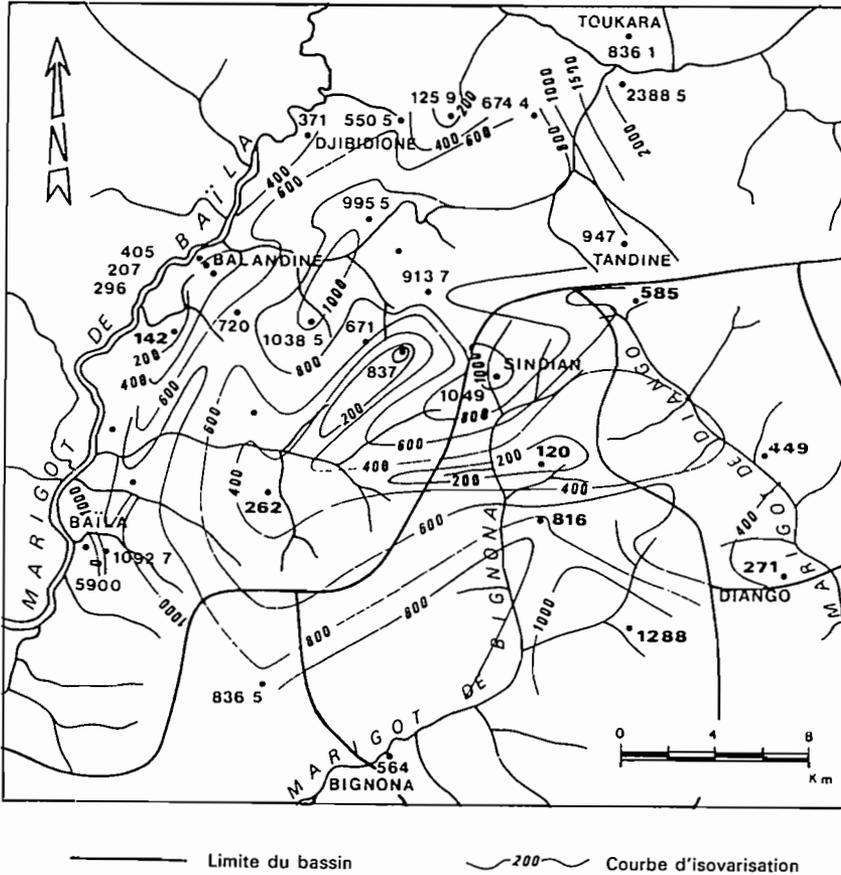


Figure 3. Carte d'isovariations conductimétriques entre juin et octobre 1988.

la pesanteur —, et appelé ici percolation. Cette quantité d'eau en transit dans le sol parvient à la nappe en même temps qu'elle fait l'objet d'une reprise évapotranspiratoire lors des fréquents déficits pluviométriques observés au cours de l'hivernage.

Les principaux paramètres utilisés dans le calcul de ce bilan sont ainsi définis.

Les réserves du sol

- La réserve de survie des végétaux (Rs)

Elle détermine un seuil d'humidité du sol en-dessous duquel une restriction évapotranspiratoire s'opère du fait des phénomènes biologiques (fermeture des stomates) et physiques (forces de capillarité). C'est une limite estimée à 60 mm d'eau dans la zone non saturée. A ce stade d'humidité du sol l'évapotranspiration

réelle est inférieure à la valeur potentielle et la quantité d'eau prélevable dans la réserve du sol est réglée par un coefficient K dont la formule est la suivante :

$$H = \frac{Hd}{Rs}$$

H = eau disponible; Rs = réserve de survie des végétaux.

- La réserve facilement utilisable (RFU)

Elle définit, toujours dans la zone saturée, le volume d'eau compris entre le seuil de survie des végétaux (Rs) et celui de la saturation du sol (RU).

- La réserve utile du sol (RU)

Elle représente le seuil de saturation du sol au-delà duquel tout excédent de pluie est disponible pour l'écoulement et la percolation. Ce seuil de saturation du sol est estimé à 100 mm d'eau.

La pluviométrie

- La pluviométrie annuelle (Pc)

Elle est obtenue en cumulant les valeurs mensuelles.

- La pluie efficace (Pe)

Elle est définie ici comme étant la part de la pluie disponible à l'infiltration.

La percolation (p)

C'est la pluie efficace non encore parvenue à la nappe aquifère.

La recharge (re)

Elle représente l'infiltration efficace évaluée par des mesures piézométriques.

Le calcul du bilan hydrique dans ce bassin versant comprend trois phases ainsi articulées :

$$1^{\text{re}} \text{ phase : } R = RU$$

Toutes les réserves du sol sont satisfaites, le surplus de pluie alimente la percolation :

$$\begin{aligned} ETR &= ETP \\ Hd &= (P - E) + RU + p \\ Pec &= (Pc^* - Ec) - ETR \\ pc &= Pec - rec \end{aligned}$$

la recharge est une valeur positive correspondant à la période de l'hivernage.

$$2^{\text{e}} \text{ phase : } Rs \leq R < RU$$

* La lettre C indique la valeur cumulée du paramètre concerné.

Vallée de Baïla : recharge de l'aquifère

Dans ce cas il y a un déficit pluviométrique mais les réserves du sol demeurent encore facilement utilisables; il n'y a pas encore de déficit évapotranspiratoire :

$$\begin{aligned} \text{ETR} &= \text{ETP} \\ \text{Hd} &= \text{P} + \text{R} + \text{p} \\ \text{Pec} &= (\text{Pc} - \text{Ec}) - \text{ETR} \\ \text{pc} &= \text{Pec} - \text{rec} \\ \text{E} &= 0 \\ \text{Pe} &= 0 \end{aligned}$$

Cette période correspond à la fin de l'hivernage.

$$3^{\text{e}} \text{ phase : } 0 \leq \text{R} < \text{Rs}$$

$$\begin{aligned} \text{ETR} < \text{ETP} &= \text{K} * \text{ETP} - \Delta \text{re} \\ \text{pc} &= 0 \end{aligned}$$

Cette période correspond à la saison sèche pendant laquelle la nappe est sollicitée par l'évapotranspiration et varie négativement.

Résultats obtenus

Dans le cas de la vallée de Baïla une campagne de suivi pluviométrique, hydrologique et piézométrique a permis d'établir un bilan journalier sur deux cycles annuels (1987-88, 1988-89).

Les résultats présentés sur le Tableau I et sur la figure 4 indiquent le caractère saisonnier du cycle de l'eau dans cette vallée : un remplissage des réserves hydriques du sol pendant l'hivernage, suivi d'une vidange pendant la saison sèche. Cette reprise évapotranspiratoire se fait ainsi (par ordre de priorité) :

- Dès la fin des pluies de la mi-octobre, l'ETR est alimentée à partir de la percolation (pc) qui maintient égale à la RU la réserve (R) du sol.
- Vers la fin du mois de décembre, la percolation s'annule.
- A la mi-janvier la RFU est entièrement reprise. A compter de cette période la nappe est affectée jusqu'au prochain hivernage.

Tableau I. Comparaison des bilans 1987-1988 et 1988-1989.

	P	ETP	ETR	R	E	PE	p	rc	T
Juin 1987 - Mai 1988	1 014	1 598	1 027	0	0	0	0	0	13
Juin 1988 - Mai 1989	1 340	1 587	1 013	0	9,5	334	0	334	17

Ainsi, en 1987, la ponction évapotranspiratoire dans la nappe est supérieure à l'apport total de l'hivernage, ce qui a occasionné un bilan négatif de - 30 mm (en lame d'eau), pour une porosité efficace de 15 %.

En 1989, où la pluviométrie est meilleure qu'en 1987 (1 014 mm en 1987; 1 339 mm en 1988), le bilan s'est avéré positif, + 330 mm d'eau.

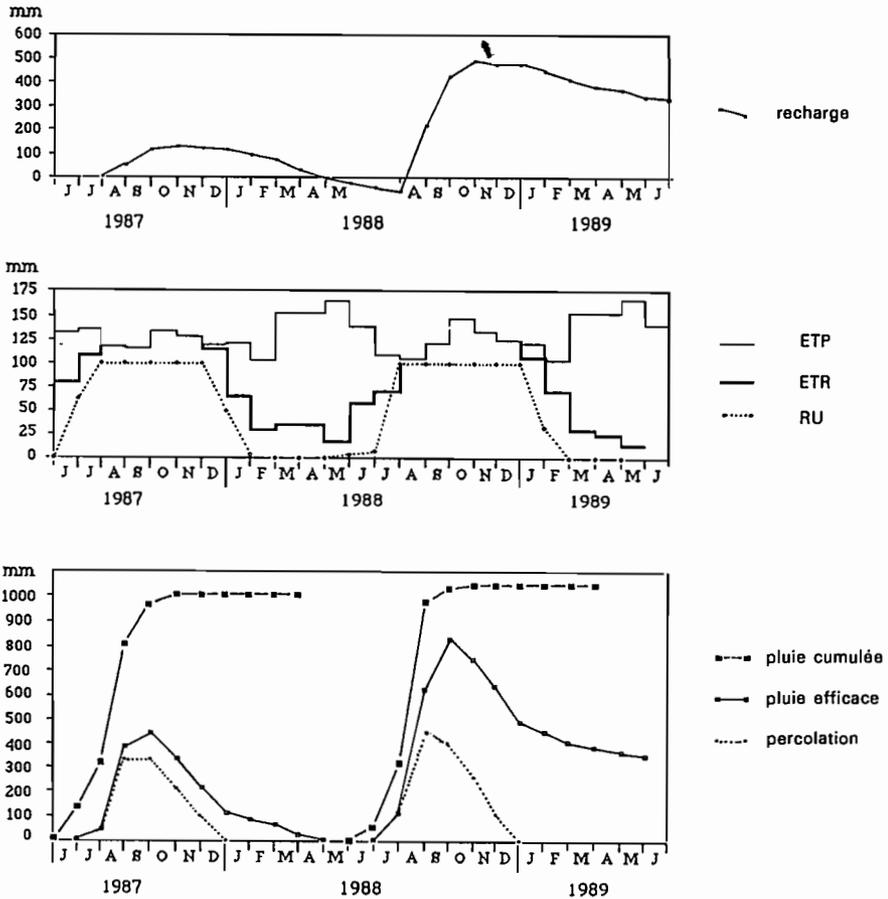


Figure 4. Bilan hydrique à la station de Golem.

Conclusion

L'analyse de la figure 5 rappelle deux observations majeures faites dans cette zone de Baïla pendant ces deux cycles annuels d'étude :

- d'une part, l'abondance pluviométrique de l'hivernage 1988 par rapport à 1987 (courbes des pluies cumulées);
- d'autre part, le zonage de la recharge qui a une importance croissante des zones de plateaux vers les bas-fonds (courbes de remontée du niveau statique des puits de Toukara et de Golem).

Vallée de Baïla : recharge de l'aquifère

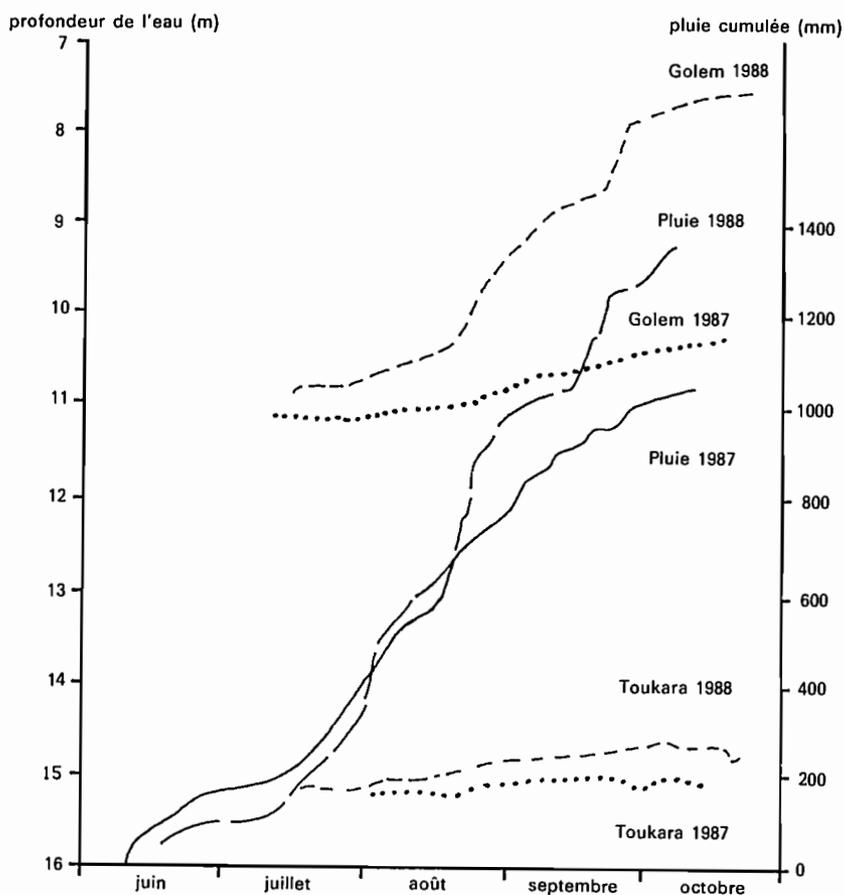


Figure 5. Comparaison des recharges 1987 et 1988 sur les puits de Golem et de Toukara (pluies cumulées et niveaux piézométriques).

La pluviométrie des années 1987, 1988

La pluie cumulée de 1987 dépasse à peine 1 000 mm, alors que celle de 1988 avoisine les 1 400 mm, ce qui a donné un bilan déficitaire de 30 mm en 1987 (toutefois proche de l'équilibre) et un excédent de 330 mm en 1988.

La remontée piézométrique qui s'en est suivie corrobore nettement ces observations au niveau des puits de Toukara et de Golem. A Golem la remontée piézométrique n'a pas dépassé un mètre en 1987 alors qu'en 1988 elle était proche de quatre mètres.

Le zonage de la recharge

Les mesures piézométriques et conductimétriques signalent que la recharge se fait préférentiellement au niveau des terrasses. Ainsi le puits de Toukara, sur plateau est moins affecté par la recharge que celui de Golem, sur terrasse, surtout en 1988 : l'excédent pluviométrique profite surtout aux terrasses.

Depuis 1968, la région soudano-sahélienne a accumulé des hauteurs de pluies en dessous de la normale, ce qui a considérablement abaissé les niveaux piézométriques (parfois de 10 mètres). Depuis 1987, des hauteurs de pluies proches de la moyenne (1987) ou au-dessus (1988), se sont succédées. La seule année 1988 a permis une remontée de 4 mètres à Golem ce qui donne un espoir de restauration des niveaux piézométriques dans les aquifères qui ne sont pas surexploités.

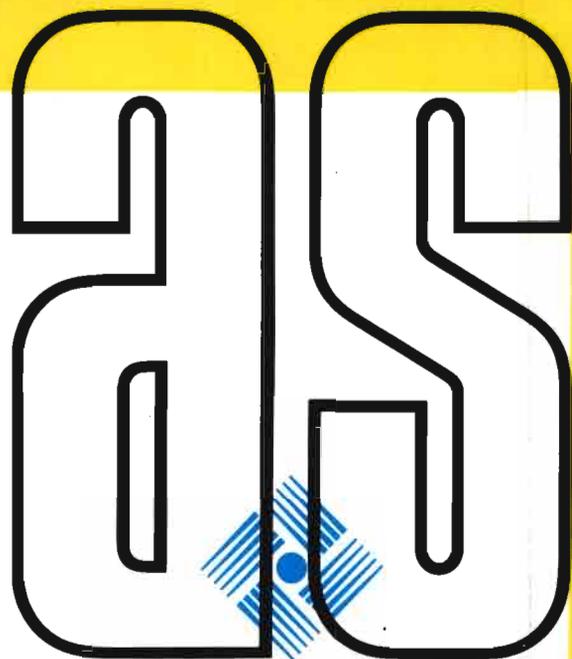
Références

1. Galaire R. (1980). Etude hydrogéologique du marigot de Baïla, ORSTOM, Dakar, 104 p.
2. Malou R. (1989). Etude hydrologique de l'aquifère superficiel de la vallée de Baïla (Basse Casamance). Bilan hydrique 1987-1988. Rapport DEA Geol. Appl. Univ. Cheikh Anta Diop (Dakar), 60 p., 25 fig., 15 tabl.
3. Michel P. (1960). Recherches géomorphologiques en Casamance et en Gambie méridionale. Dakar : BRGM, 64 p.
4. Olivry J.-C., Chouret A. (1981). Etude hydrogéologique du marigot de Bignona : Quelques aspects intéressants des mesures réalisées en 1970/1971, ORSTOM, Dakar, 93 p.
5. Saos J.-L., Dacosta H. (1987). Evolution hydrogéologique d'un bassin margino-littoral : Le marigot de Baïla en Basse Casamance. *In* Etude des estuaires et lagunes du Sénégal. Rapp. EPEC-UNESCO. Déc. 1987, Dakar, pp. 59-75.
6. Saos J.-L., Dacosta H., Le Troquer Y., Olivry J.-C. (1987). Le marigot de Baïla en Basse Casamance : Pluviométrie et écoulement (résultats des campagnes 1983/1984, 1984/1985, 1985/1986), ORSTOM, Dakar, 55 p.

André Kergreis
Jacques Claude

**UTILISATION
RATIONNELLE**
de L'EAU
des
**PETITS
BASSINS
VERSANTS**
en **ZONE
ARIDE**

AUPELF



actualité scientifique

British Library Cataloguing in Publication Data

Kergreis, André

Utilisation rationnelle de l'eau des petits
bassins versants en zone aride.

1. Hydrology

I. Title

551.49

ISBN 0-86196-315-6

Editions John Libbey Eurotext

6, rue Blanche, 92120 Montrouge,
France

Tél : (1) 47 35 85 52

John Libbey and Company Ltd

13 Smith Yard, Summerley Street,
London SW18 4HR, England

Tél : (81) 947 27 77

John Libbey CIC

Via Spallanzani 11,
00161, Rome, Italy

Tél : (06) 862.289

© 1991, Paris

Il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement le présent ouvrage — loi du 11 mars 1957 — sans autorisation de l'éditeur ou du Centre Français du Copyright, 6 bis, rue Gabriel-Laumain, 75010 Paris, France.

UTILISATION RATIONNELLE DE L'EAU DES PETITS BASSINS VERSANTS EN ZONE ARIDE

Journées scientifiques du Réseau
« Génie Para-Sécheresse » de l'UREF
organisées avec la collaboration
du Réseau Recherche Résistance à la Sécheresse (R3S)
et de l'Ecole Inter Etats d'Ingénieurs de l'Equipement
Rural (EIER)
EIER, Ouagadougou, 12-15 mars 1990

COORDINATION

André Kergreis

Jacques Claude

