

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

*Rainwater recharge of the surface aquifer  
in the Baïla valley (Basse Casamance, Sénégal)*

Raymond MALOU \*, Jacques MUDRY \*\*, Jean-Luc SAOS \*\*\*

Mots-clés : Recharge nappe, Nappe alluvions, Nappe libre, Surface piézométrique, Bilan eau sol  
Sénégal (Casamance)

## Résumé

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 lente et faible 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, déjà même perceptible entre les séquences pluvieuses de l'hivernage. Ce phénomène, combiné au déficit pluviositaire observé depuis plusieurs années, est responsable de l'important abaissement piézométrique observé depuis les années 1965.

Les mesures de conductivité 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 l'évaporimètre 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 équilibre (- 2 mm) et le bilan 1988 un excédent (+ 334 mm).

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

## Abstract

The «marigot de Baïla» is a river which is situated in lower Casamance, in the Bignona county; it is partly reached by the tide. The associated aquifer is in unconfined ground water that is saturating the surfacial formations of the «Continental Terminal» and Quaternary.

Water table and conductivity measurements allow to compute the effective rainfall on the intake area. During the rainy period (from June to October), the piezometrical raising is weak and slow beneath the lateritized plateaus, when it is quick and depends on the rainfall beneath the terraces that run along the valleys (+ 0.49 m in 1987, with a 1006.7 mm rainfall; + 3.23 m in 1988 with 1355.8 mm).

As soon as the rain episodes, the groundwater is affected by evapo-transpiration, that can even be pointed out between the rainfall episodes of the rain period. This phenomenon, combined with the important drought that was affecting the region for several years, is responsible for the important drawdown that has been observed since 1965.

The conductivity measurements that have been executed during the rainy period, show an elutriation of the salts that have been stored within the unsaturated zone during the evapo-transpiration phase of the previous dry season. The high variations zones are both the maritime area with a salted estuary, and the well leached table-lands. On the other hand, the terrace areas, with an easy seepage, show low variations.

A daily moisture balance has been computed from the calculation of the potential evapo-transpiration by the means of a correlation with daily measurements of «Piche» evaporation. Real evapo-transpiration has been calculated, taking into account the soil reserve and the drying-up of that reserve and of the groundwater, considering the effective porosity.

The 1987 water budget is nearly balanced (- 2 mm) and the 1988 is excedentary (+ 334 mm).

If the present trend (rain excess) can be confirmed, it stays a shope of a piezometrical raising, that would be sufficient for restoring the water levels that were observed before the drought.

\* Département de géologie, Université Cheikh Anta Diop, Dakar-Fann (Sénégal)

\*\* Laboratoire d'hydrogéologie, Faculté des sciences, 33, rue L.-Pasteur, 84000 Avignon (France)

\*\*\* ORSTOM, BP 1386, Dakar-Hann (Sénégal)

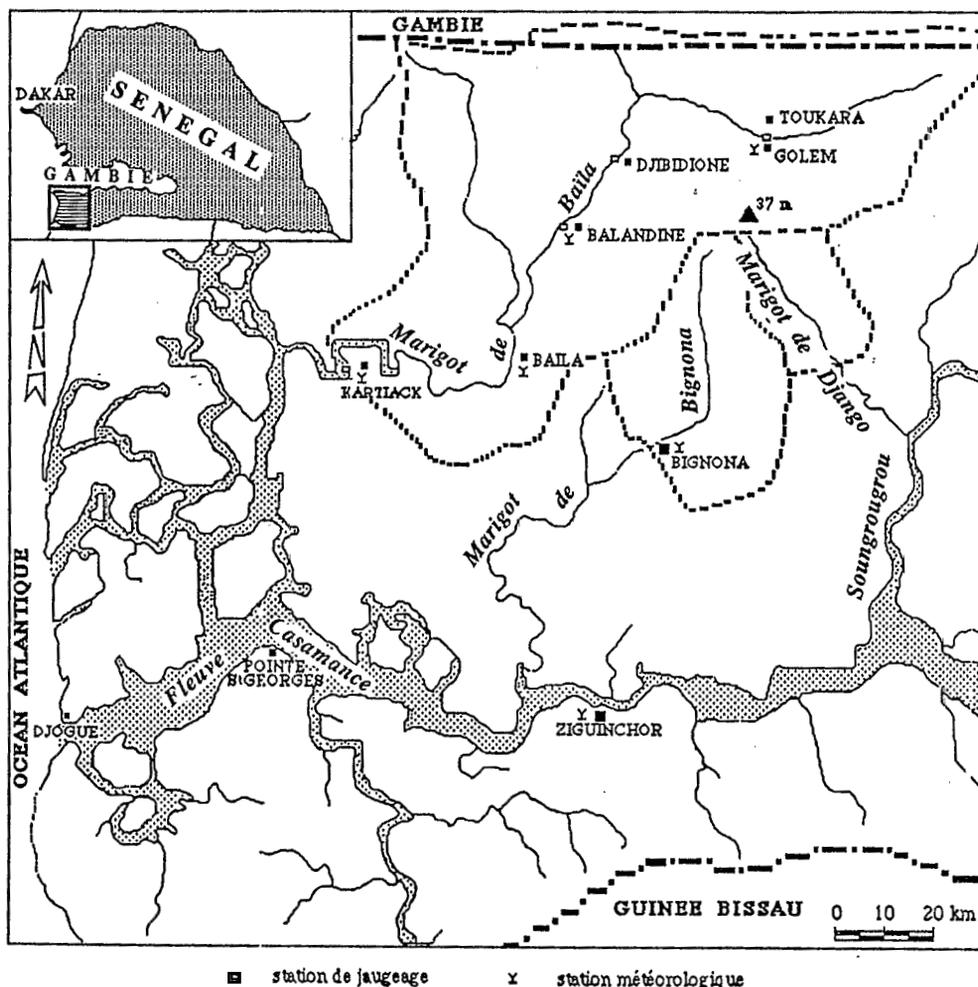


Fig. 1. - Localisation géographique du bassin versant du marigot de Baïla  
(Geographical location of the Marigot de Baïla intake area)

## I - Présentation

Cette note résume les principaux résultats d'un DEA préparé au laboratoire d'hydrogéologie de l'ORSTOM [Malou, 1989]. Elle a fait l'objet d'une communication au colloque « Génie parasécheresse » (UREF-AUPELF, Ouagadougou, Burkina-Faso, mars 1990).

### I.1 - Géographique

La Casamance occupe le sud de la République du Sénégal (fig. 1). 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 Gouloubou, affluent du fleuve Gambie.

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 km<sup>2</sup> au nord de la ville de Bignona et empiète légèrement sur le territoire gambien.

### I.2 - Climatique

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

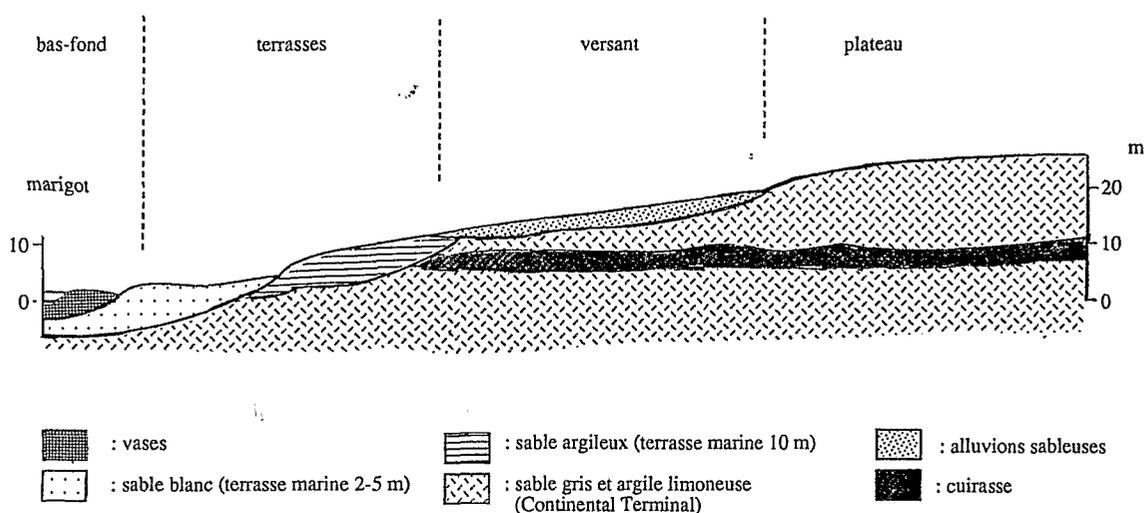


Fig. 2. - Coupe géomorphologique synthétique  
(Geomorphological synthetical cross-section)

continentalité se fait sentir par de grandes amplitudes thermiques et une faible pluviosité (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 pluviosité, plus abondante (variant de 1 300 mm à la frontière gambienne jusqu'à 1 700 mm à la frontière Bissau-guinéenne).

### I.3 - Géologique

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 (fig. 2), 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 (sols salés plats et nus) et une zone amont non maritime de sédiments limono-sableux occupés 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.

## II - Rôle de l'hivernage dans la recharge

### II.1 - Précipitations

La Casamance, comme toute la zone intertropicale, 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.*, 1987]. Cependant, la Casamance est dans ce domaine 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 de pluie sur le marigot que sur les plateaux qui le bordent), et les vallées les plus arrosées changent avec les années.

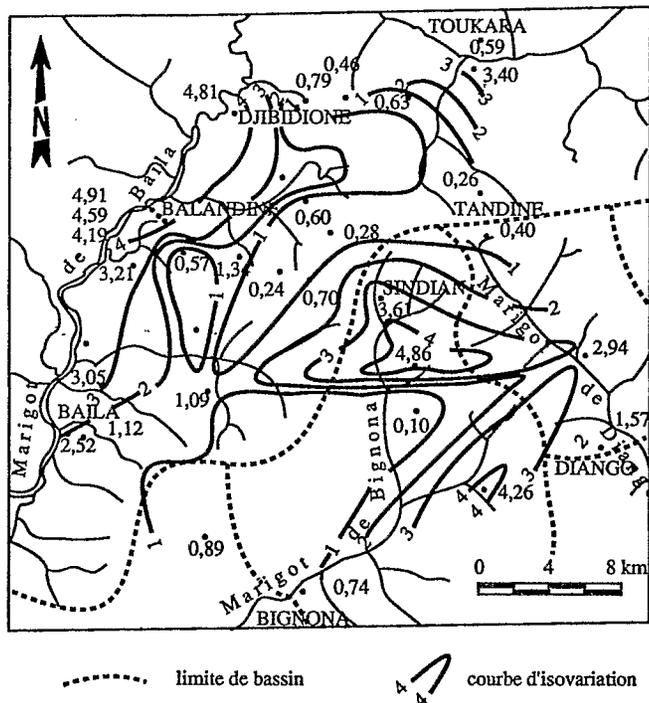


Fig. 3. - Carte d'isovariations piézométriques entre juillet et octobre 1988  
(Map of piezometrical fluctuations (July to October, 1988))

## II.2 - Variations piézométriques

La plupart des points d'eau n'ayant pas été raccordés au nivellement général du Sénégal, il n'a pas été possible d'établir de carte piézométrique. En revanche, des cartes d'iso-variations telles que celle de la figure 3, 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 de 1 m.

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, Dacosta, 1987]. En effet, les plateaux, dont les sols sont indurés et qui comportent une cuirasse (fig. 2), subissent une reprise évaporatoire plus sévère que les versants et terrasses plus sableux (eau séjournant plus longtemps à faible profondeur, remontées capillaires...), d'autant plus que l'apport des précipitations est faible.

## II.3 - Variations chimiques

La conductivité de l'eau des différents puits a été mesurée à chaque campagne piézométrique. On

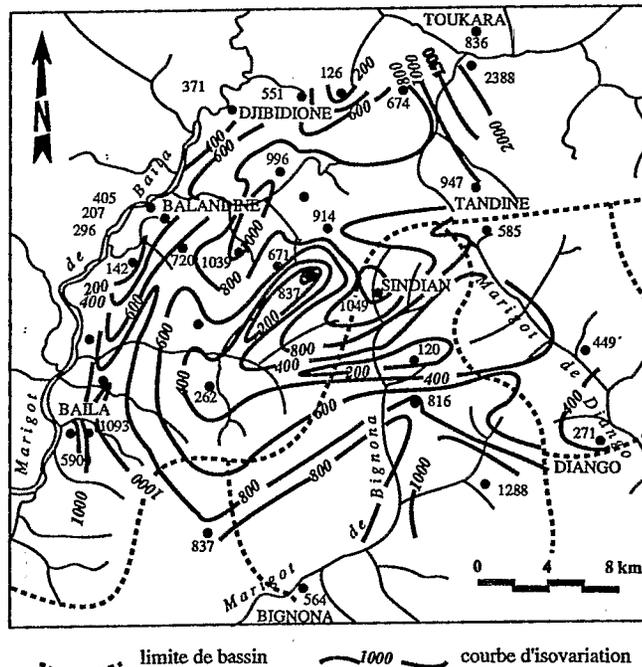


Fig. 4. - Carte d'isovariations conductimétriques entre juin et octobre 1988  
(Map of conductivity fluctuations (June to October, 1988))

distingue deux zones de forte conductivité, une de faible conductivité et une de conductivité moyenne.

- Les fortes conductivités ( $> 100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , et pouvant localement atteindre  $6\,000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) sont observées sur les zones à influence maritime (bas-fonds et basses terrasses aval), mais aussi sous les plateaux : la reprise évaporatoire presque totale 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 (fig. 4) : les fortes variations saisonnières ( $800 \text{ à } 1\,000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) 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. À 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.

### III - Bilan hydrique à la station de Toukara

(puits de Golem, fig. 5)

#### III.1 - Évaluation 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  $\xi$  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 journalières des mesures de **Piche**, que l'on a comparée aux valeurs calculées :

$$\xi = \frac{\text{ETP Turc mensuelle}}{\text{EP mensuelle}}$$

#### III.2 - 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 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 pluviositaires observés au cours de l'hivernage.

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

##### III.2.1 - Les entrées et sorties

- les précipitations  $P$  sont mesurées à l'aide d'un pluviomètre,
- l'écoulement  $E$  est déduit des hydrogrammes (obtenus par dépouillement de limnigrammes du marigot)

$$E = \frac{Q * t}{S}, \text{ compte tenu de la surface } S \text{ du bassin versant}$$

##### III.2.2 - Les réserves du sol

La réserve utile (RU) comprend deux réservoirs : l'un, totalement accessible à l'évapotranspiration, la réserve facilement utilisable (RFU), l'autre, la réserve de survie des végétaux ( $R_s$ ) dans laquelle 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 pour l'ensemble sol-végétation de cette région. A ce stade d'humidité du sol, l'évapotranspiration réelle est inférieure à sa 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 :

$$K = \frac{H_d}{R_s} \quad \begin{array}{l} (H_d = \text{eau disponible}) \\ (R_s = \text{réserve de survie des végétaux}) \end{array}$$

Si l'eau disponible  $H_d$  dépasse la réserve de survie ( $K \geq 1$ ),  $K$  est alors fixé à 1 et  $ETR = ETP$ .

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

##### III.2.3 - La pluie efficace ( $P_e$ )

Elle est définie ici comme étant la part de la pluie disponible à l'infiltration. Elle comprend la recharge ( $R_e$ ) et le percolat ( $p$ ).

###### \* La recharge ( $R_e$ )

C'est la fraction de la pluie efficace qui fait remonter la piézométrie de la nappe. Elle est évaluée par des mesures de niveau. L'écoulement latéral de la nappe étant très faible, on fait l'approximation qu'à l'échelle journalière, les variations piézométriques

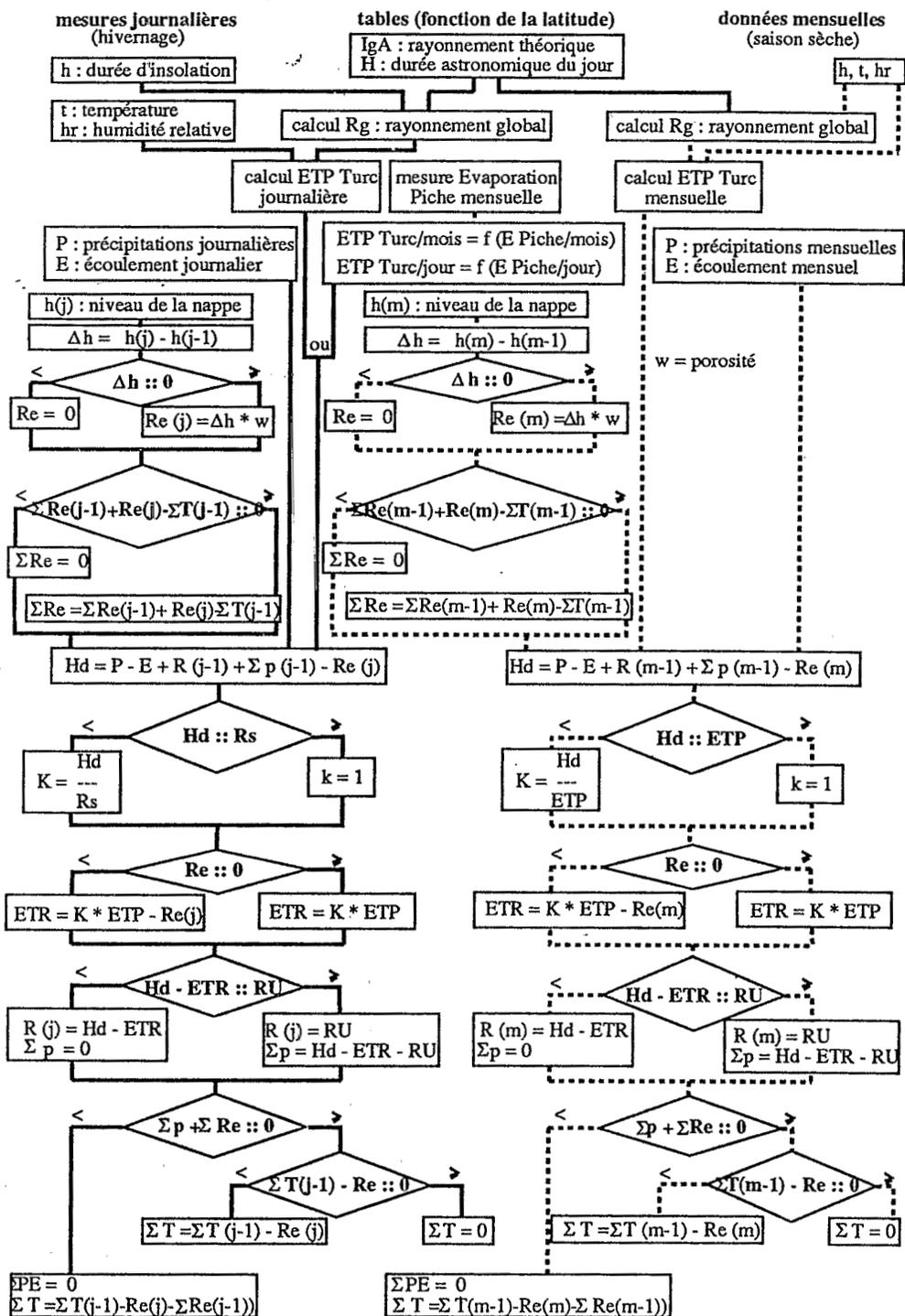


Fig. 5. - Organigramme du bilan hydrique (Organigram of the moisture balance)

ques ne reflètent que les apports d'eau ainsi que les reprises évaporatoires.

$$Re = (h_j - h_{j-1}) * w = \Delta h * w$$

$(h_j - h_{j-1})$  : différence de cote

$w$  : coefficient d'emmagasinement.

La recharge cesse lorsque le niveau de la nappe se stabilise ( $\Delta h = 0$ ).

\* Le percolat ( $p$ )

C'est l'excédent de la pluie efficace (par rapport à la RFU) non encore parvenu à la nappe aquifère. La percolation débute lorsque l'eau disponible moins l'ETR excède la RFU. Elle s'annule lorsque la nappe cesse de monter, compte tenu de l'approximation précédente.

### III.2.4 - L'assèchement des réserves

Quand la recharge de la nappe cesse et avant que la réserve utile soit entamée, la ponction évapotranspiratoire s'opère au détriment du percolat. L'ETR s'attaque ensuite aux réserves du sol et en dernier lieu à la nappe.

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

— 1<sup>re</sup> phase :  $R = RU$  :

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

$$\begin{aligned} ETR &= ETP \\ Hd &= (P-E) + RU + p \\ \Sigma PE &= (\Sigma P - \Sigma E) - ETR \\ \Sigma p &= \Sigma PE - \Sigma Re \end{aligned}$$

\* La recharge a une valeur positive correspondant à la période de l'hivernage.

— 2<sup>e</sup> phase :  $R_s \leq R < RU$  :

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 :

$$\begin{aligned} ETR &= ETP \\ Hd &= P + R + p \\ \Sigma Pe &= (\Sigma P - \Sigma E) - ETR \\ \Sigma p &= \Sigma PE - \Sigma Re \\ E &= 0 \\ Pe &= 0 \end{aligned}$$

Cette période correspond à la fin de l'hivernage.

— 3<sup>e</sup> phase :  $0 \leq R < R_s$  :

$$\begin{aligned} ETR < ETP &= K * ETP - \Delta Re \\ \Sigma p &= 0 \end{aligned}$$

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

Ce schéma séquentiel est simplificateur. En effet, les différentes phases ne sont pas synchrones sur la totalité du bassin versant et il faudrait pouvoir disposer de plusieurs points de contrôle piézométrique pour établir le bilan sur chacune des zones géomorphologiques.

## III.3 - Résultats obtenus

Dans le cas de la vallée de Baïla une campagne de suivi des hauteurs de pluie, hydrologique et piézométrique a permis d'établir un bilan journalier sur deux cycles annuels (1987-1988, 1988-1989).

Les résultats (tabl. I et fig. 6) indiquent le caractère saisonnier du cycle de l'eau dans cette vallée : un remplissage des réserves hydriques du

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

|                    | P     | ETP   | ETR   | R | $\Sigma E$ | $\Sigma PE$ | $\Sigma p$ | $\Sigma Re$ | $\Sigma T$ |
|--------------------|-------|-------|-------|---|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| juin 1987-mai 1988 | 1 014 | 1 598 | 1 027 | 0 | 0          | 0           | 0          | 0           | 2          |
| juin 1988-mai 1989 | 1 340 | 1 587 | 1 013 | 0 | 9,5        | 334         | 0          | 334         | 17         |

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 ( $\Sigma p$ ) 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 RU est entièrement reprise. A compter de cette période la nappe est affectée jusqu'au prochain hivernage (tarissement  $\Sigma T$ ).

Ainsi en 1987, la ponction évapotranspiratoire dans la nappe est voisine de l'apport total de l'hivernage, ce qui a occasionné un bilan équilibré, pour une porosité efficace de 15 %.

En 1988, où les précipitations sont supérieures à celles de 1987, le bilan s'est avéré positif : + 334 mm d'eau.

La sensibilité de la méthode a été testée en faisant varier les principaux paramètres du calcul : porosité, réserve utile, réserve de survie des végétaux.

Le test des porosités 10 et 20 % (au lieu de 15 %) a une incidence directe dans les mêmes proportions ( $\pm 33$  %) sur la recharge. Sur la percolation, l'incidence est négligeable en 1988, année humide ; elle est de 10 % en 1987, année moyenne. Cette faible incidence provient du fait que les précipitations sont groupées dans le temps, la percolation étant continue pendant l'ensemble de la période humide, grâce à d'importantes premières pluies quiaturent la RU. Les essais avec ces paramètres montrent des dates cohérentes pour le démarrage de la percolation et de la recharge (0 à 5 j de décalage), mais avec des impossibilités physiques pour l'arrêt de ces phénomènes : avec une porosité de 10 %, la percolation cesse 15 à 49 j après la recharge ; avec une porosité de 20 %, elle cesse 10 j en 1987 à 33 j en 1988 avant la recharge. Seule l'hypothèse 15 % amène la cessation simultanée des deux paramètres.

Le test d'autres conditions de RU et de  $R_s$  (par exemple 50 et 25 mm) n'amène pas d'écart sur la recharge (calculée à partir de la piézométrie) et une différence de 10 % (1987) et de 6 % (1988) sur la percolation, correspondant à la différence de remplissage initial de la RU, les précipitations étant groupées.

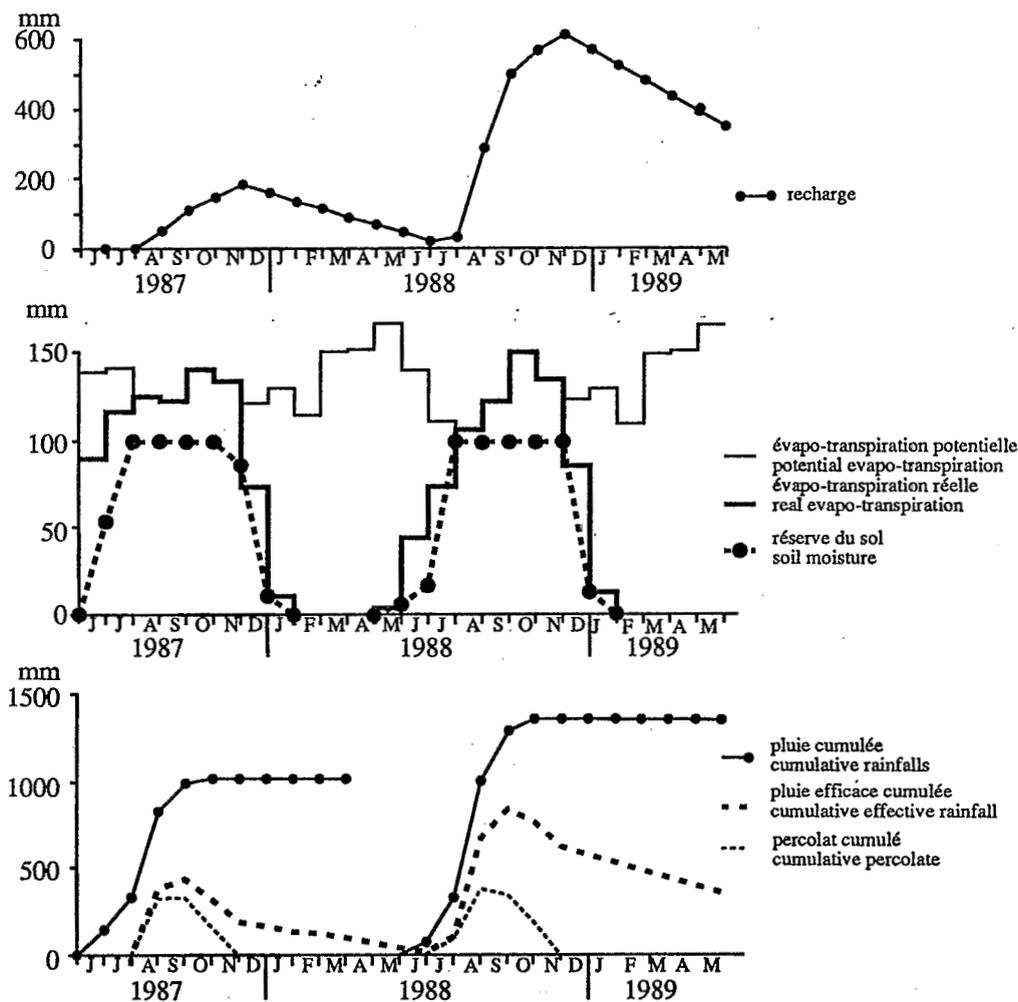


Fig. 6. - Bilan hydrique à la station de Golem (Moisture balance at Golem wheather center)

Dès les premières pluies de 1987 (le 8 juin), la RU se remplit. Lorsqu'elle atteint la saturation (le 27 juillet), le percolat représente la totalité de la pluie efficace, la nappe réagissant le 1<sup>er</sup> août. La percolation cesse (et donc, la RU se désature) le 27 novembre. Elle est totalement vide le 10 mars et la pluie efficace est totalement reprise aux premières pluies de 1988 (déficit : 2 mm). La RU commence à se remplir le 27 mai 1988 ; elle n'est re-saturée que le 22 juillet et la nappe remonte alors. La percolation cesse et la RU se désature le 1<sup>er</sup> décembre ; elle est totalement reprise le 5 mars mais la pluie efficace n'est pas totalement reprise : il existe au début des pluies de 1989 un excédent de 334 mm.

Ce bilan, qui ne fait pas intervenir l'écoulement de la nappe, sous-estime donc la recharge au début de la saison des pluies, et il surestime la reprise évapo-transpiratoire après les pluies. Il est donc pessimiste sur la gestion de la nappe.

### III.4 - Remarques sur la notion de « pluie efficace »

#### III.4.1 - La « pluie efficace »

Travailler sur la zone semi-aride introduit une difficulté de définir la pluie efficace

— pour l'agro-météorologue, c'est la fraction de la pluie préservée par l'évapotranspiration au pas de temps du calcul. Ainsi, si le pas est journalier, tout excès d'eau disponible par rapport à l'évapotranspiration est comptabilisé comme pluie efficace, après saturation de la réserve superficielle (RU, RFU, RDU) ;

— pour l'hydrogéologue, c'est la fraction de la pluie qui alimente le ruissellement et recharge la nappe. L'existence de cette pluie efficace n'est patente que lorsque la piézométrie remonte, c'est-à-dire lorsque les apports d'eau à la nappe excèdent l'abaissement piézométrique dû à son écoulement naturel ou provoqué par une exploitation.

Dans le cas des nappes de Casamance, le montant des exploitations et l'écoulement naturel de la nappe — faible dans des formations peu perméables —, ont été négligés. On a donc considéré que le début de la phase où la pluie efficace atteint la nappe coïncide avec sa remontée piézométrique : notre bilan est donc pessimiste.

La difficulté est que cette pluie efficace, considérée comme gagnée à l'écoulement de la nappe sous climat tempéré, peut, sous climat semi-aride, être directement reprise dans la nappe par l'ETR lors des saisons sèches (décharge évaporatoire). Ce phénomène peut, comme par exemple en Casamance, largement prédominer sur l'écoulement de la nappe qui se comporte alors comme un « réservoir » qui se remplit à l'hivernage et que vidange l'ETR à la saison sèche. On ne peut dès lors plus se contenter d'un bilan au pas journalier, mais il devient nécessaire de faire le bilan journalier à l'échelle inter-annuelle, qui seul permet de quantifier, en fin de saison sèche, l'excédent — ou le déficit — de pluie efficace par rapport au cycle précédent. Dans le cas où « il reste » une fraction de la pluie efficace (cas de 1989), la cote de la nappe est plus élevée que l'année précédente ; dans le cas où l'ETR prélève plus que l'apport de pluie efficace (cas des années de la sécheresse sahélienne), on observe un tarissement inter-annuel de la nappe.

### III.4.2 - Le « percolat »

La notion de « percolat », introduite ici entre le réservoir superficiel (RU) et la nappe, n'apporte pas, à l'échelle du bilan d'eau annuel, une différence considérable par rapport à un bilan calculé avec un seul réservoir situé dans la zone non-saturée.

Cette notion a été introduite pour tenir compte du fait :

- que la nappe ne remonte pas aux premiers jours où il existe un excédent d'eau disponible en surface,
- que la ponction évapotranspiratoire ne s'effectue pas sur la nappe immédiatement après la consommation de la réserve utile (au sens des agro-météorologues) : le reste de la zone non saturée (au sens des hydrogéologues) renferme une eau qui doit s'évaporer, — au moins en partie —, avant la reprise directe sur la nappe.

## Conclusion

L'analyse de la figure 7 rappelle deux observations majeures faites dans cette zone de Baïla pendant ces deux cycles annuels d'étude :

- d'une part l'abondance des précipitations 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).

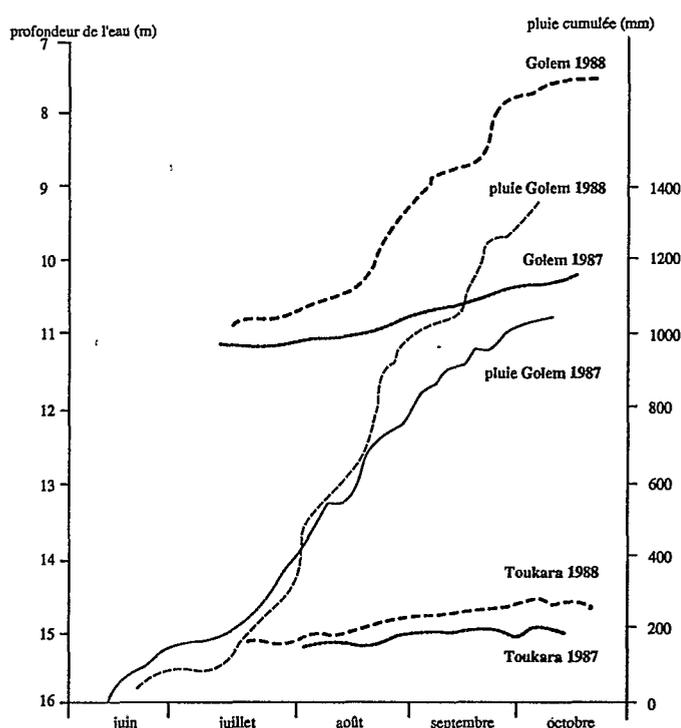


Fig. 7. - Comparaison des recharges 1987 et 1988 sur les puits de Golem et de Toukara (pluies cumulées et niveaux piézométriques)  
(Comparison of the 1987 and 1988 recharges on Golem and Toukara wells. (Cumulative rainfalls and piezometrical water levels))

#### \* La hauteur de pluie 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 proche de l'équilibre (- 2 mm) en 1987 et un excédent de 334 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 1 m en 1987 alors qu'en 1988 elle était proche de 4 m.

#### \* 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 pluviositaire profite surtout aux terrasses (fig. 8).

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 m). Depuis 1987, des hauteurs de pluies proches de la moyenne (1987) ou au-dessus (1988), se sont succédés. La seule année 1988 a permis une remontée de 4 m à Golem ce qui donne un espoir de restauration des niveaux

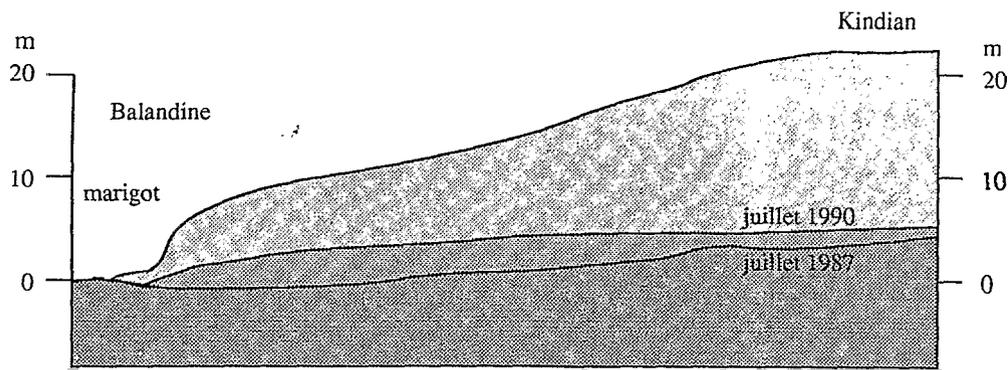


Fig. 8. - Piézométrie dans le secteur de Balandine (juillet 1987 et juillet 1990)  
(Piezometric cross-section in the Balandine area (July, 1987 and July, 1990))

piézométriques dans les aquifères qui ne sont pas surexploités.

La méthode mise en œuvre, simple et utilisable sur ordinateur personnel permet de bien visualiser le fonctionnement des réserves du sol (percolation, réserve facilement utilisable, reste de la réserve utile), ainsi que la recharge à l'hivernage et la décharge évapotranspiratoire de la nappe en saison sèche.

## Références bibliographiques

- GALAIRE R. (1980). - Étude hydrogéologique du marigot de Baïla. - ORSTOM, Dakar, 104 p.
- MALOU R. (1989). - Étude hydrologique de l'aquifère superficiel de la vallée de Baïla (Basse Casamance). - Bilan hydrique 1987-1988. - Rapport DEA Géol. Appl. Univ. Cheikh Anta Diop (Dakar), 60 p., 25 fig., 15 tabl.
- MICHEL P. (1960). - Recherches géomorphologiques en Casamance et en Gambie méridionale. - Dakar, BRGM, 64 p.
- OLIVRY J.C., CHOURET A. (1981). - Étude hydrogéologique du marigot de Bignona : quelques aspects intéressants des mesures réalisées en 1970/1971. - ORSTOM, Dakar, 93 p.
- SAOS J.L., DACOSTA H. (1987). - Évolution hydrogéologique d'un bassin margino-littoral : le marigot de Baïla en Basse Casamance. *II* : Étude des estuaires et lagunes du Sénégal. - Rapp. EPEC-UNESCO - décembre 1987, Dakar, pp. 59-75
- 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.