

LES GRANDS AXES DE LA RECHERCHE SUR LES RESSOURCES EN EAU A L'UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP (UCAD)

Les recherches sur l'eau, au Sénégal, ont été menées depuis très longtemps à l'université Cheikh Anta DIOP, notamment en collaboration avec l'ORSTOM (actuelle IRD). Les grands départements qui ont été impliqués dans ces recherches sont le Département de Géographie de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines (en ce qui concerne les eaux de surface) et le Département de Géologie, de la Faculté des Sciences et Techniques (en son volet « eaux souterraines ». Récemment le Laboratoire de Physique de l'Atmosphère (LPA) de l'Ecole Supérieure Polytechnique de Dakar (ESP), travaille activement sur les questions de l'eau, notamment en ce qui concerne les impacts du changement climatique sur cette ressource. Il convient d'ajouter à cela le département de chimie de la faculté des Sciences et Techniques qui travaille sur les aspects qualité de l'eau.

De nombreux travaux de recherche, notamment de thèse, de mémoire de DEA et de maîtrise ont été présentés dans ces cadres de recherche. Sans avoir la prétention d'être exhaustif, nous avons évoqué dans ce rapport quelques uns de ces résultats à titre d'illustration afin de mettre en exergue les grandes orientations de cette recherche universitaire. L'université de Saint-Louis est également au centre de ces activités de recherche sur l'eau, particulièrement en ce qui concerne la modélisation des transferts de flux dans la vallée du fleuve Sénégal.

Nous n'insisterons, dans ce rapport, sur les grandes orientations de la recherche aux départements géographie et de géologie tout en mettant l'accent sur l'évolution actuelle des ressources en eau eu égard au changement climatique.

Les grandes orientations de la recherche universitaire :

La recherche universitaire, en ce qui concerne les ressources en eau, porte sur quatre thèmes principaux :

1. La connaissance des systèmes hydrologiques
2. La connaissance des régimes pluviométriques
3. Les réservoirs aquifères et les nappes d'eau souterraines
4. L'impact du climat sur les ressources en eau (de surface et souterraine)

I. La connaissance des systèmes hydrologiques et des régimes pluviométriques

I.1. Les systèmes hydrologiques

La connaissance des systèmes hydrologiques a, tout au long du 20^{ème} siècle, été une préoccupation essentielle pour les chercheurs, notamment des hydrologues de l'ORSTOM qui ont formé leurs homologues sénégalais à cette science. Depuis lors le département de géographie de l'UCAD ayant hérité des infrastructures hydrologiques mis en place, a continué à se pencher sur des volets aussi importants que :

- Le fonctionnement hydrologique des bassins versant

- La modélisation des écoulements de surface
- La variabilité des précipitations et leur étude à différents pas de temps

1.2. Le fonctionnement hydrologique des bassins versant

Cette recherche s'est focalisée sur la connaissance des grands bassins fluviaux tels que ceux des fleuves :

- fleuves Sénégal,
- Gambie,
- Casamance,
- Kayanga,

qui sont assez connus (fig. 1), aussi bien du point de vu de leur structure hydrographique que de leur régime hydrologique. Ils sont équipés et suivi de longue date :

- le Sénégal depuis 1903
- la Gambie : 1970
- la Casamance : 1965
- la Kayanga : 1967

Plusieurs travaux ont été présentés dans le cadre de ces recherches telles les thèses de Kane, Sow, Lo, Dacosta, Coly, ainsi que plusieurs mémoires de DEA et de Maîtrise.

Si les grands bassins sont bien connus, les petites rivières côtières (cours d'eau du Cap-Vert à la frontière nord de la Gambie incluant le Sine et le Saloum), les petits bassins continentaux et les hydrosystèmes urbains constituent de grandes zones d'ombre. Ces hydrosystèmes, qui jouent un rôle très important dans l'hydraulique villageoise et l'aménagement du territoire, sont très inconnus comme le montre la carte ci-dessous indiquant le niveau de suivi du réseau hydrographique.

Au plan de la recherche universitaire, seuls quelques travaux, peuvent être cités tels que ceux portant sur les bassins de:

- la Néma et du Djikoye menés par l'Equipe AMIBAF et ayant conduit aux thèses de 3^{ème} cycle de NGOM F. D. (2000) ; Malou doctorat Es Sciences (2004); Mendy A (doctorat en cours), le mémoire de DEA de Liéno G. (1996).
- de Baïla, Bignona, Djiginoum: DEA Malou, 1989; Malou, doctorat 3^{ème} cycle 1992 ; plusieurs rapport de l'IRD;
- de Thyssé Kaymor: Travaux de l'IRD; (synthèse de Dacosta)

Les hydrosystèmes urbains, tout aussi méconnus ne sont concernés que par quelques travaux récents :

- Bassel M. : bassin versant Fenêtre Mermoz-Fann Résidence (1997)
- Laaroubi H. : bassin versants Rufisque (2007)
- DasyIva S. : bassin Thiaroye-Pikine-Yeumbel

- Diouf R. (en cours): Fonctionnement des bassins versants urbains de la région de Dakar (du Plateau à Pikine)

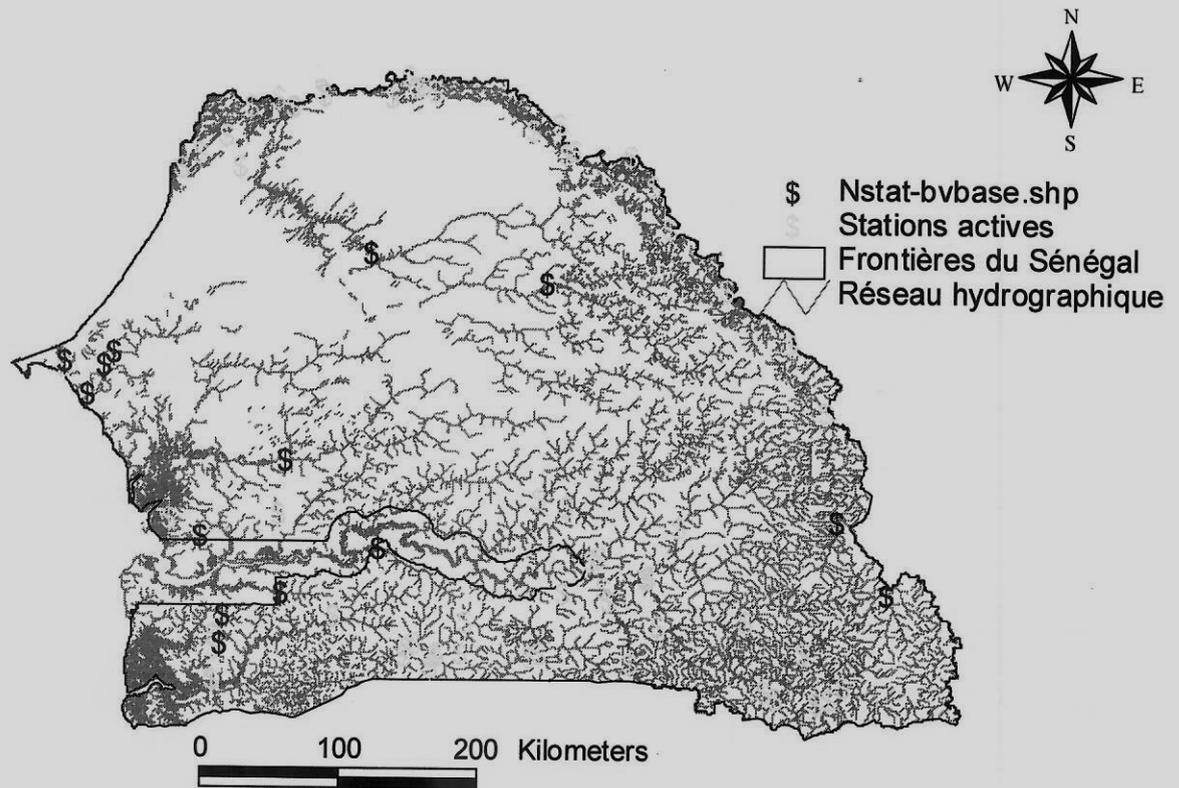


Figure 1 : carte du réseau hydrographique du Sénégal indiquant le niveau la station du réseau national (DGPRE)

1.3. Les régimes pluviométriques

La connaissance des régimes pluviométriques est également un des grands axes de la recherche universitaire, notamment au département de Géographie de l'UCAD. Nombre d'études de la variabilité spatio-temporelle de la pluie sont connues à travers mémoires de maîtrise, de DEA et thèses telle la celle de H. Dacosta (en cours) devant permettre une connaissance détaillée des événements pluvieux au Sénégal depuis un siècle.

Les grands résultats de ces recherches (fig. 2) montrent que la tendance pluviométrique est à la baisse tout au long du 20^{ème}, baisse très accentuée à partir des 1970.

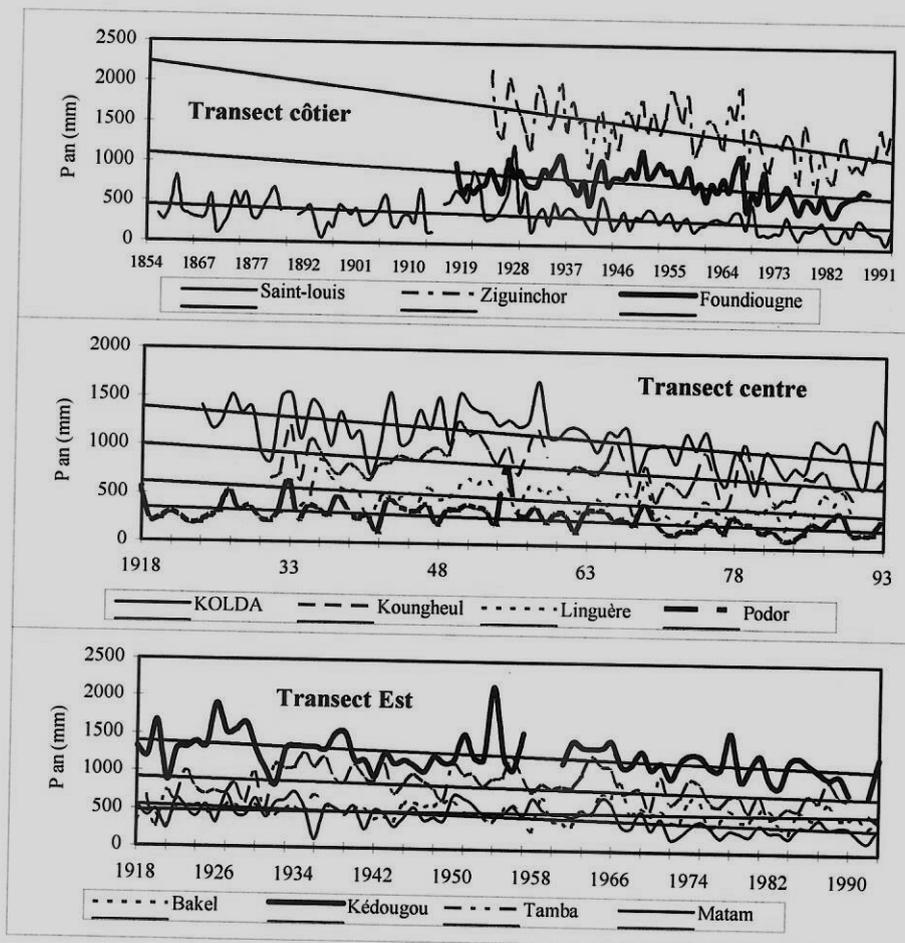


Figure 2 : évolution pluviométrique au cours du 20^{ème} siècle (Dacosta et al, 2002)

Cette sécheresse est marquée par des pics d'années exceptionnellement sèches comme :

- 1967 : début de la grande sécheresse au Sahel
- 1983 : année la plus sèche de la série
- 2002 :

Une autre caractéristique de cette sécheresse est l'apparition d'années exceptionnellement pluvieuse dans la série comme 1989, 2005 et 2008 ayant conduit à des inondations dans la plus part des villes du pays.

Ainsi il est aisé de noter (fig. 3) un glissement d'ensemble des isohyètes vers le sud correspondant à ce qu'il convient d'appeler la «sahélisation» des écosystèmes humides du sud du pays.

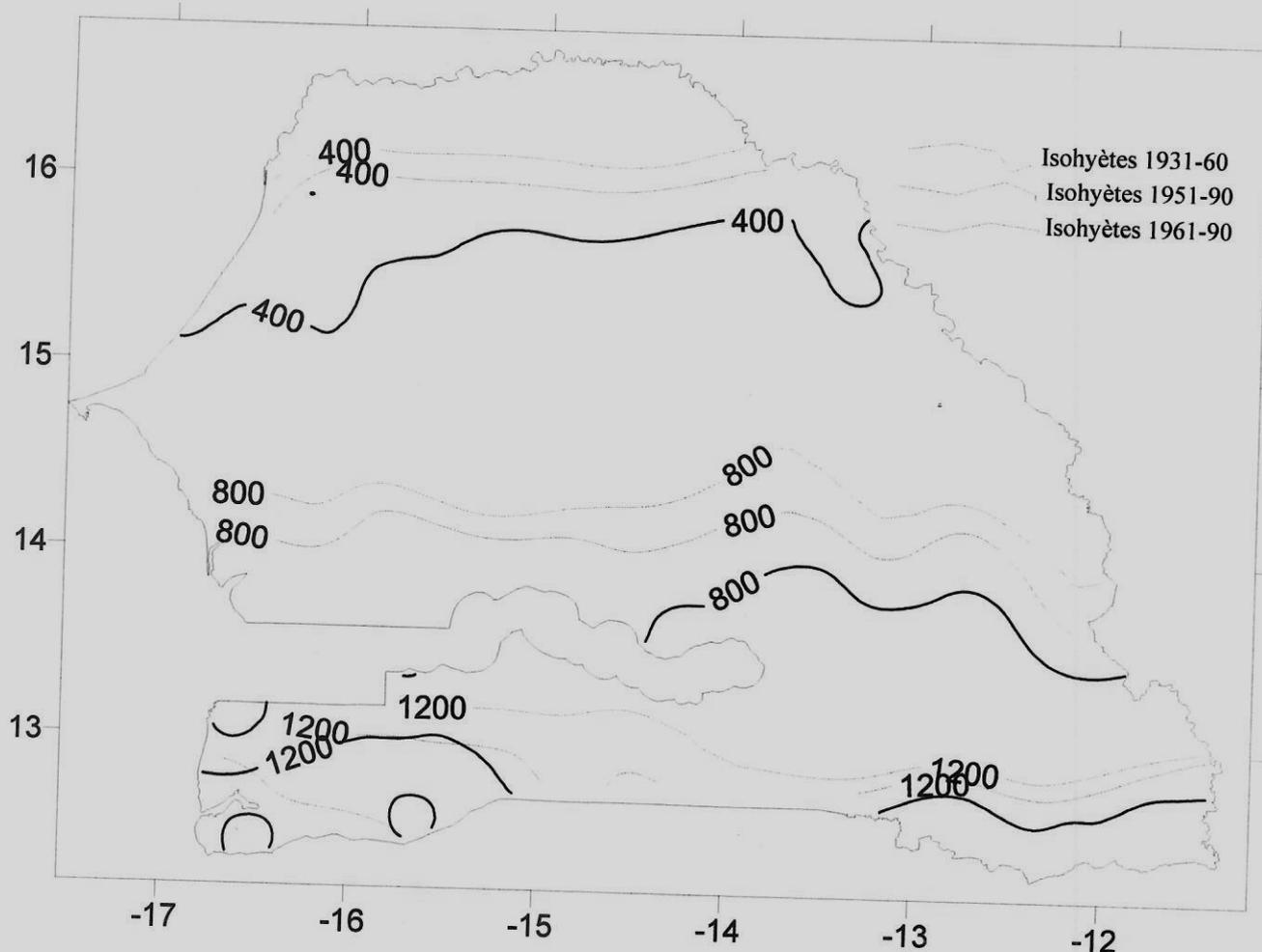


Figure 3 : Glissement d'ensemble des isohyètes vers le sud Dacosta, inédit)

L'étude multi scalaire de la pluie est ainsi abordée aux échelles :

- Pluriannuelle : qui permet l'analyse à long terme de la variabilité spatio temporelle de la pluie,
- Mensuelle : Analyse de l'impact des changements climatiques sur la durée des saisons de pluie (la rétraction de la saison pluvieuse connue au cours de la période de sécheresse), l'impact sur le cycle cultural et le stress hydrique
- Journalière qui est le pas de temps du suivi pluviométrique
- Infra horaire, échelles fines d'étude des intensités d'averse, permet de comprendre les processus de distribution et de stockage de la ressource en eau dans les différents réservoirs terrestres (bas-fonds, mares, bassins de rétention, aquifères). Les problèmes d'engorgement, conduisant aux inondations, notamment en zones urbaines, trouvent là toute leur explication comme le montre la figure ci-dessous. En effet les inondations ne se posent pas en terme de quantité de pluie tombée mais en terme d'intensité dont la connaissance conduit à l'élaboration des courbes Intensité-Durée-fréquence (IDF) permettant le dimensionnement des ouvrages hydrauliques. Les figures 5 et 4 ci-dessous permettent de comprendre la genèse des inondations causées par les pluies du 16 octobre 2000 à Rufisque et du 17 au 22 Août 2005 ayant ennoyé l'autoroute et la cité Bellevue

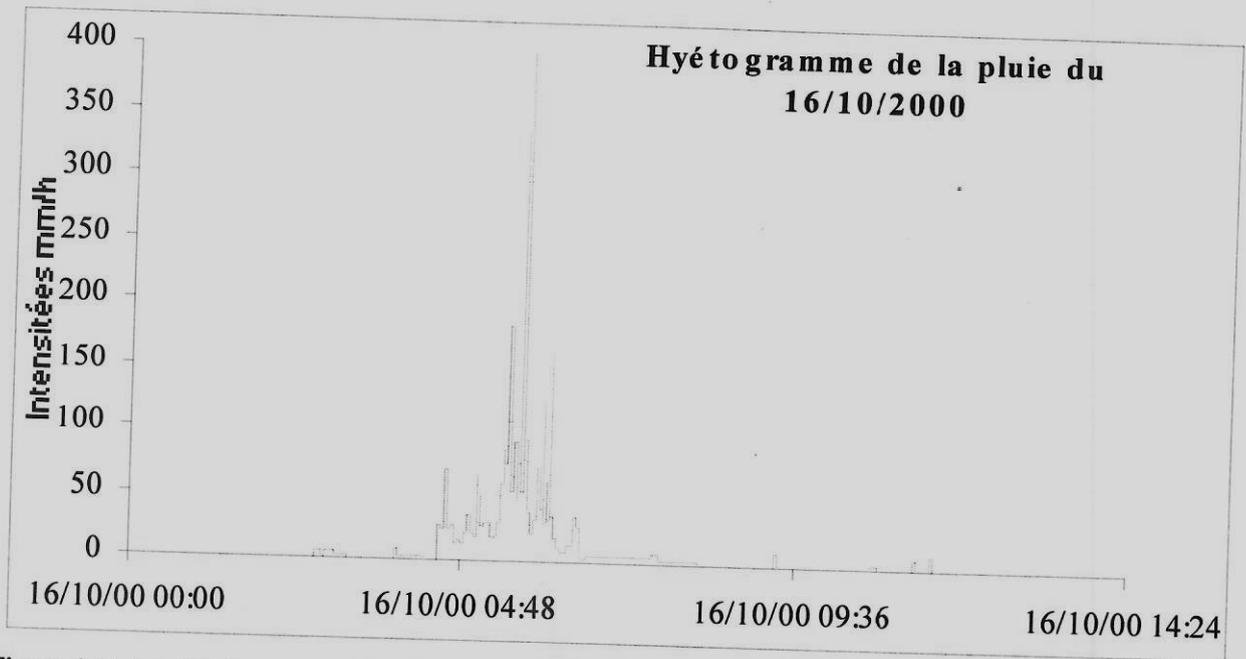


Figure 4 : Intensités des pluies du 16/10/2000 à Rufisque (Dacosta, inédit)

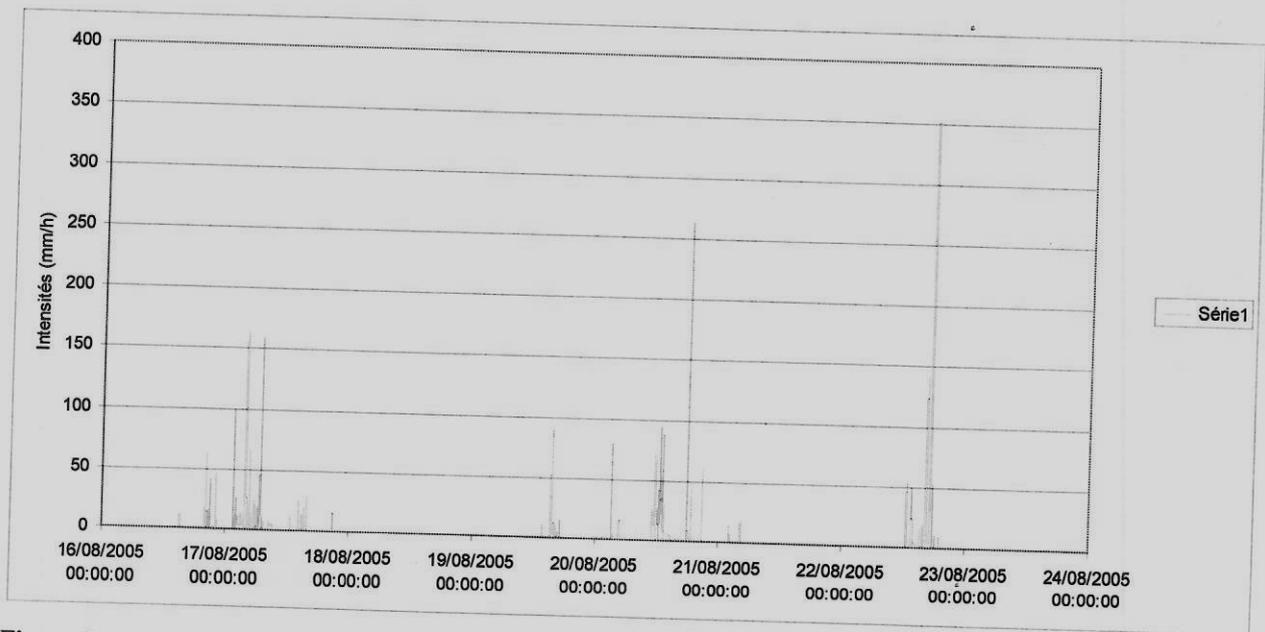


Figure 5 : Intensités des pluies du 17 au 22 Août 2005 à Dakar Dacosta, inédit)

II. Impact de la variabilité pluviométrique sur les ressources en eau

II.1. Les ressources en eau de surface

la baisse de la pluviométrie a, naturellement eu des conséquences drastiques sur les disponibilités en eau, tant de surface que souterraines. Les exemples des fleuves Sénégal et Casamance (fig. 6) sont assez illustratifs de cet impact ayant conduit à l'arrêt totale de l'écoulement de la Casamance qui s'est, de nos jours, transformée en bras de mer.

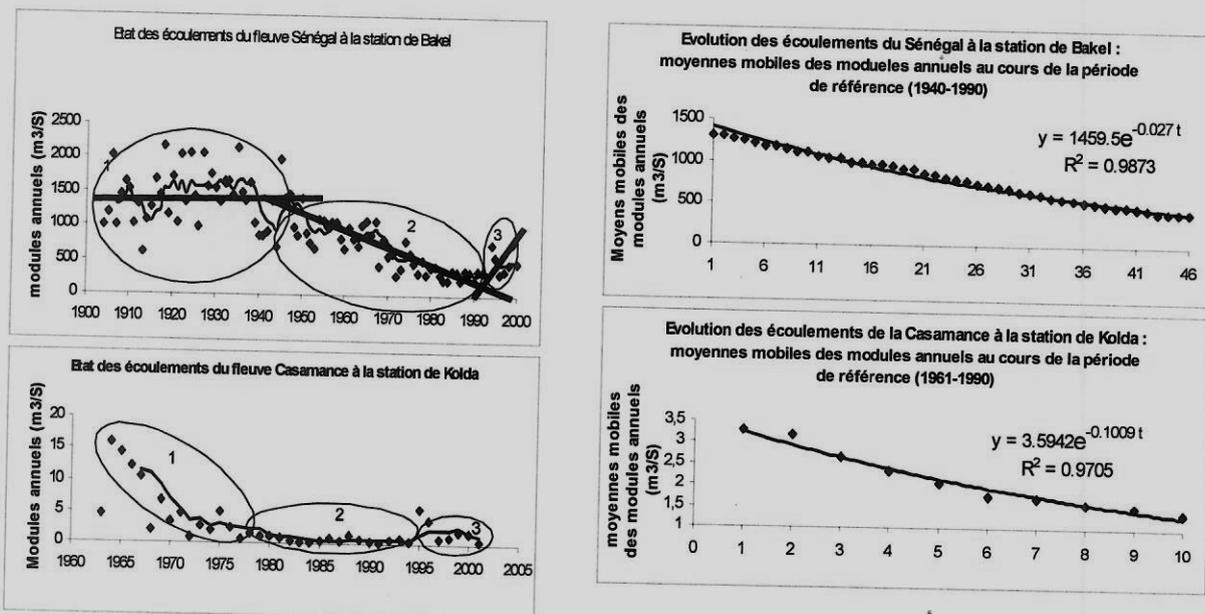


Figure 6 : impact de la variabilité pluviométrique sur les écoulements de surface (expl. Fleuve Sénégal à Bakel et Casamance à Kolda). Malou, et al 2002)

II.2. Les ressources en eau souterraine

Les recherches, qui sont menées essentiellement au département de géologie, montrent que les ressources en eau souterraine sont très sensibles à la variabilité des précipitations, notamment les nappes phréatiques de faible profondeur. Les études menées récemment sur le thème «*impact du climat sur les ressources en eau souterraine*» (Malou 2004, Doctorat Es Sciences) ont montré cette influence avec une forte tendance à l'épuisement des réserves phréatiques. Une modélisation fine de ces processus a, à cet effet, été publiée dans le Journal des Sciences de la Faculté des Sciences et Techniques (Malou, 2008).

Nous livrons ci-dessous les grandes lignes des résultats ainsi obtenus qui, nous l'espérons, pourraient servir, au besoin, d'outil d'aide à la planification de l'exploitation rationnelle de ces ressources en eau qui jouent un rôle incontournable dans l'hydraulique villageoise.

II.2.1. Le fonctionnement hydrologique des nappes phréatiques

Le fonctionnement hydrologique des nappes phréatiques a ainsi été analysé eu égard à la variabilité climatique, notamment des précipitation sur le gradient pluviométrique décroissant du sud au nord du pays. Cette analyse a permis de montrer que la variabilité des précipitations

est bien marquée dans les réserves phréatiques sur l'ensemble de trois grandes régions climatiques du pays :

- En zone sub-guinéenne (fig.7) où le cycle saisonnier est bien marqué et où les remplissages des réserves pendant les saisons pluvieuses compensent les déstockages pendant les saisons sèches et le bilan hydrologique des aquifères est presque

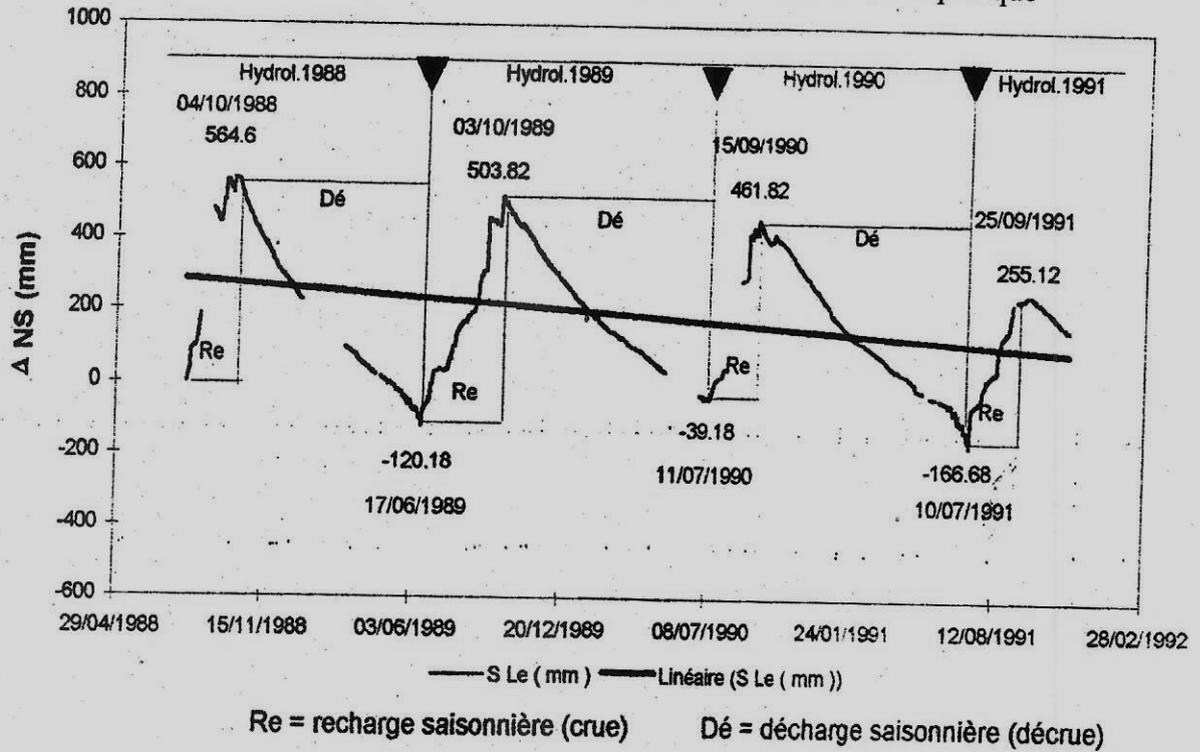


Figure 7 : Fluctuations de nappe en zone subguinéenne (Malou, 1992)

- En zone soudanienne où le processus est quasi identique (fig. 8)

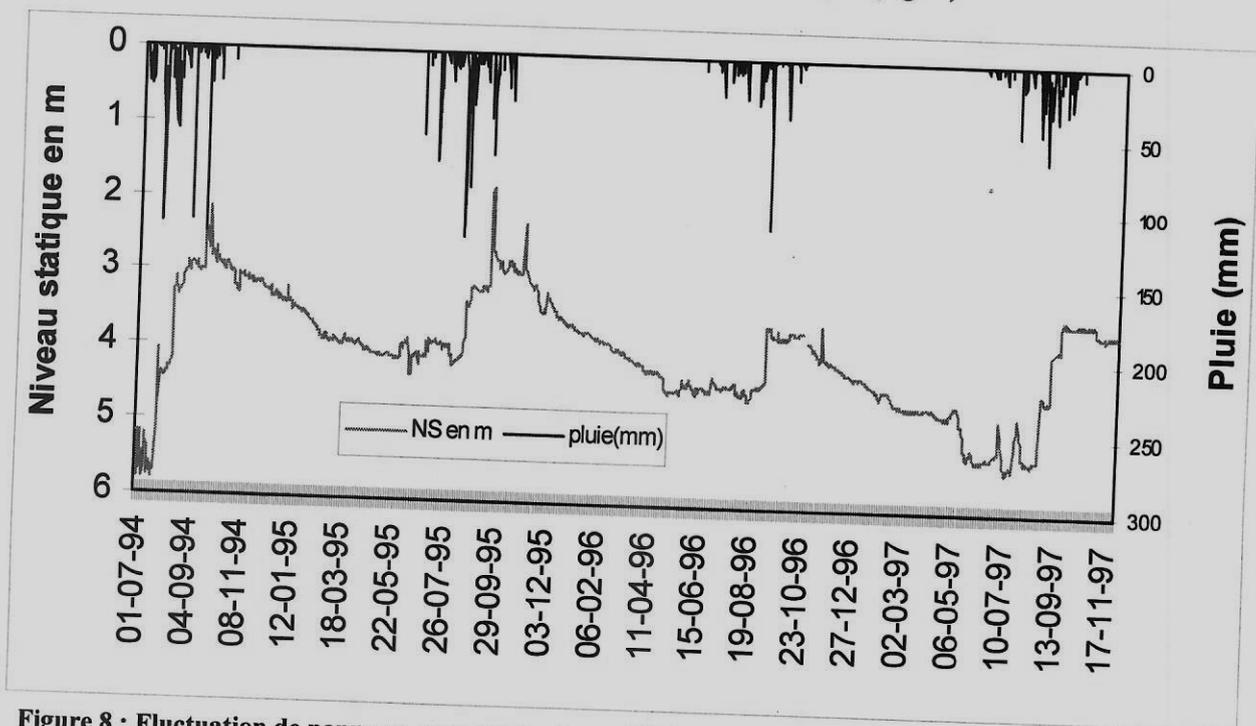


Figure 8 : Fluctuation de nappe en zone soudanienne (Malou, 2004)

- En zone sahélienne où les déstockages l'emportent largement sur la reconstitution des stocks et où le bilan est largement déficitaire et la tendance à l'épuisement des réserves très manifeste (fig. 9).

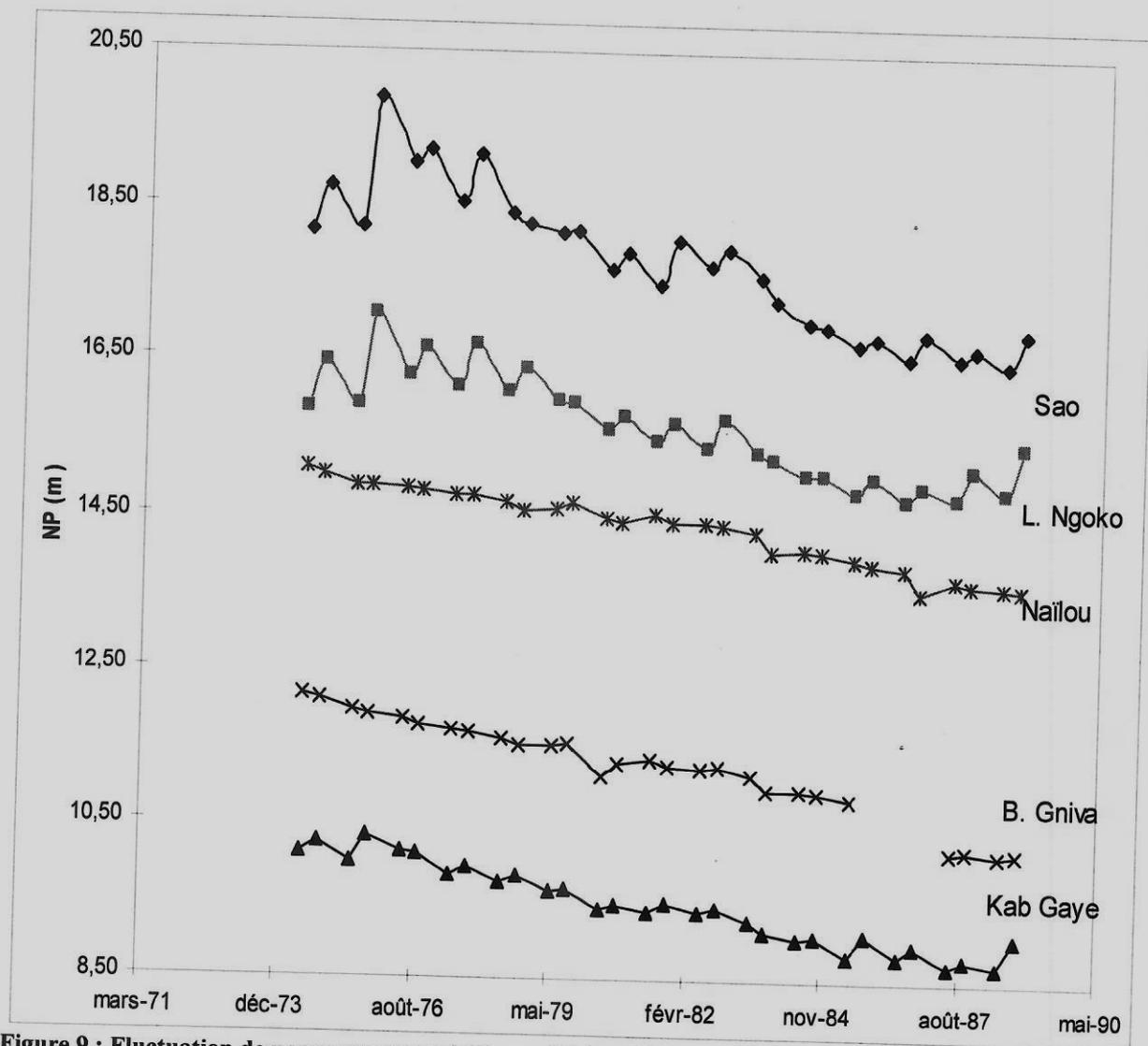


Figure 9 : Fluctuation de nappe en zone sahélienne (Malou, 2004)

II.2.2. Modélisation des transferts hydriques

II.2.2.1. Base conceptuelle du modèle de transfert hydrique

Sur la base de la connaissance des mécanismes de transferts hydrique entre l'atmosphère et les réservoirs d'eau souterrains, un modèle de simulation a été conçu et testé dans les trois régions climatiques

- En zone sub-guinéenne
- En zone soudanienne
- En zone sahélienne

Ce modèle dit du flux Net permet de calculer le bilan net de la nappe à l'échelle journalière. Il est basé sur le concept des transferts hydriques, régissant le niveau des nappes phréatiques est déterminé par la pluie, l'évaporation et la profondeur c'est-à-dire l'épaisseur de la zone non saturée. La compétition entre les flux entrants (dus à la pluie) et sortant (du fait de la demande évaporatoire constitue le moteur de ces fluctuations (fig10)

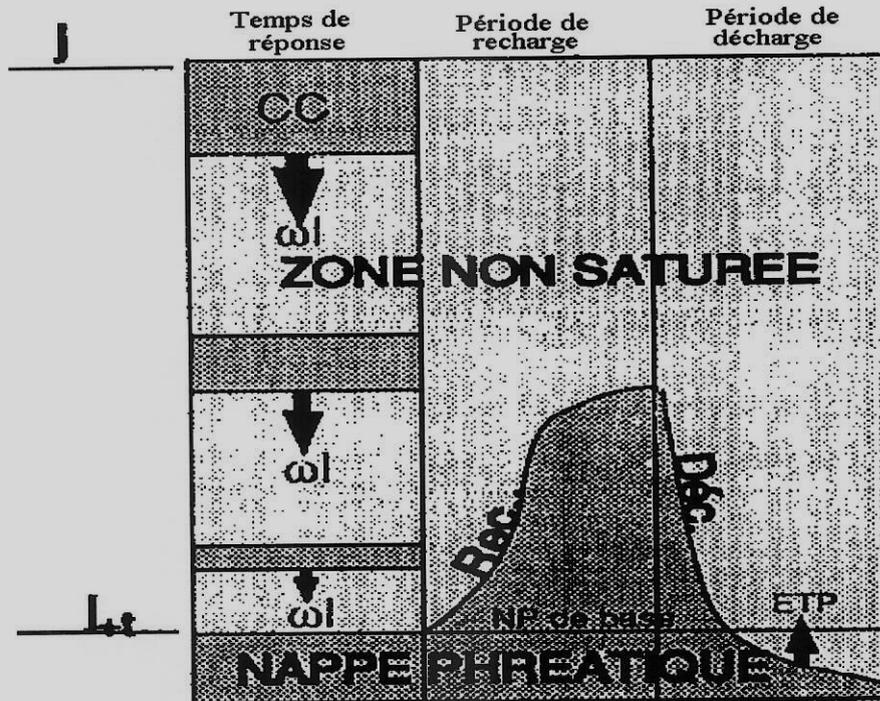


Figure 10 : Modèle conceptuel des transferts hydriques en zone sous contrainte climatique (Malou, 1992)

Il se met donc en place deux fonctions de flux :

Une fonction de stocke $S = f(P,h)$ dépendant de la pluie et de la profondeur :

$$S = (\alpha.P_c + \beta e^{-\gamma.P_c^2}) e^{-\phi h}$$

Une fonction de déstockage $D = f(E,h)$ dépendant de l'évaporation et de la profondeur

$$D = (\delta E) e^{-\phi h}$$

Ceci conduit à la fonction globale de transfert $FN = f(P,E,h)$

$$FN = S + D = (\alpha.P_c + \beta e^{-\gamma.P_c^2} + \delta E) e^{-\phi h}$$

La solution numérique de cette fonction a, ainsi été recherchée dans les trois zones et a donné les résultats suivants :

- En zone sub-guinéenne :

$$\begin{aligned} \alpha &= 0,55 & \beta &= 0,45 \\ \gamma &= 4 & \delta &= -0,78 \\ \phi &= 0.1 \end{aligned}$$

ce qui donne l'application numérique ci-dessous :

$$FN = (0,55P_c + 0,45 e^{-4P_c^2} - 0,78 E_c) e^{-0,1h}$$

- En zone soudanienne les caractéristiques des transferts hydriques sont les suivantes :

$$\begin{aligned} \alpha &= 2, & \beta &= 1 \\ \gamma &= -0.1, & \delta &= -9 \\ \phi &= -0.103 \end{aligned}$$

conduisant à la formule :

$$FN = (2P_c + 1 e^{-0,1 P_c^2} - 9 E_c) e^{-0,103 h}$$

- En zone sahélienne, où les fluctuations saisonnières, sont lissées par la tendance à la baisse interannuelle, la formule du flux net prend la forme d'un trand d'évolution annuel

$$h = b + [FN].t$$

$$h = h_1 + [(\alpha P_c + \beta e^{-\gamma P_c^2} + \delta E_c) e^{-\phi h}]t$$

où

- h est le niveau piézométrique de la nappe à l'instant t ;
- t, la variation du temps en année depuis l'année de référence;
- FN, le Flux net à l'échelle annuelle (déterminant la contrainte climatique)
- et h₁, l'ordonnée à l'origine de la courbe de tendance, correspondante au niveau de référence des nappes (année de référence climatique).

Cette tendance est fonction des scénarios climatiques obtenus à partir des modèles globaux GCM.

II.2.2.2. Simulation des transferts hydriques

Un calage des du modèle aux données de base a été effectuée dans les trois zones climatiques considérées

- En zone sub-guinéenne (fig. 11)

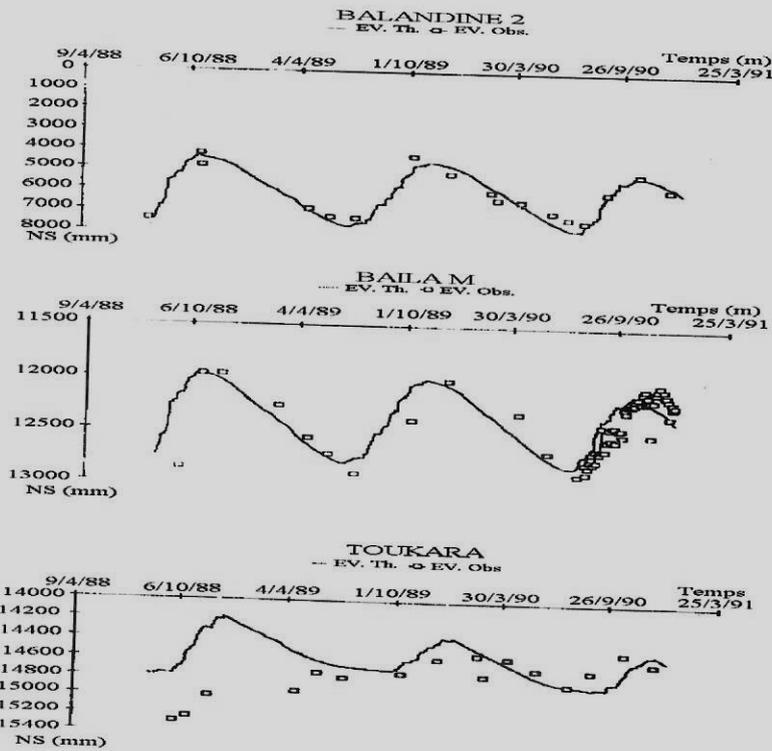


Figure 11 : Simulation et calage du modèle du Flux Net en zone sub-guinéenne (Malou, 1992)

- En zone soudanienne (fig. 12)

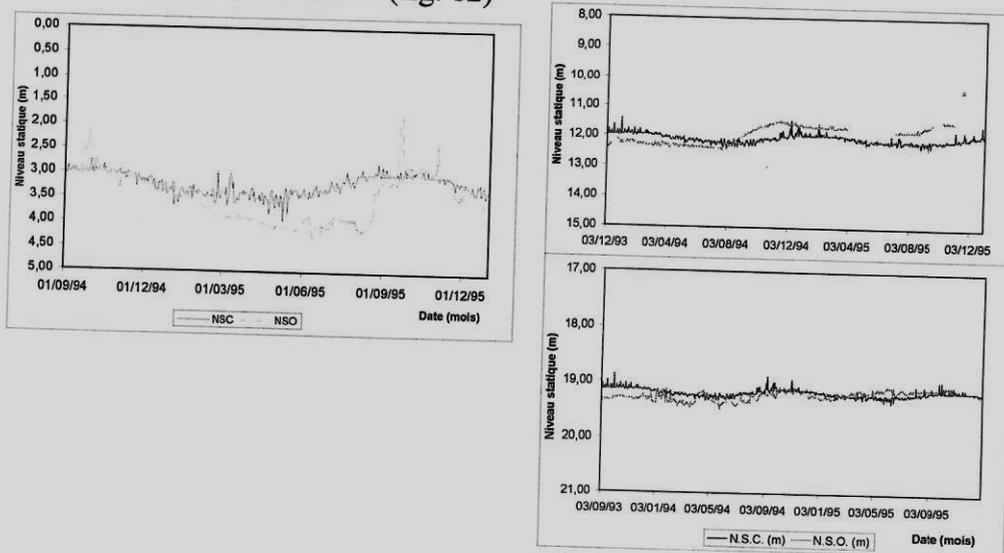


Figure 12 : Simulation et calage du modèle du Flux Net en zone soudanienne (Malou, 1992)

- en zone sahélienne (fig. 13) la simulation a été faite à long terme dans le contexte du changement climatique (horizon 2100) en considérant trois scénarios :
 - ✓ le scénario actuel reflétant la situation de la base des nappes, projeté à l'horizon du changement climatique (courbe en noir),
 - ✓ un scénario pessimiste, considérant un accroissement de la péjoration climatique (courbe en rouge),
 - ✓ un scénario optimiste envisageant une amélioration des conditions climatiques (courbe en bleu).

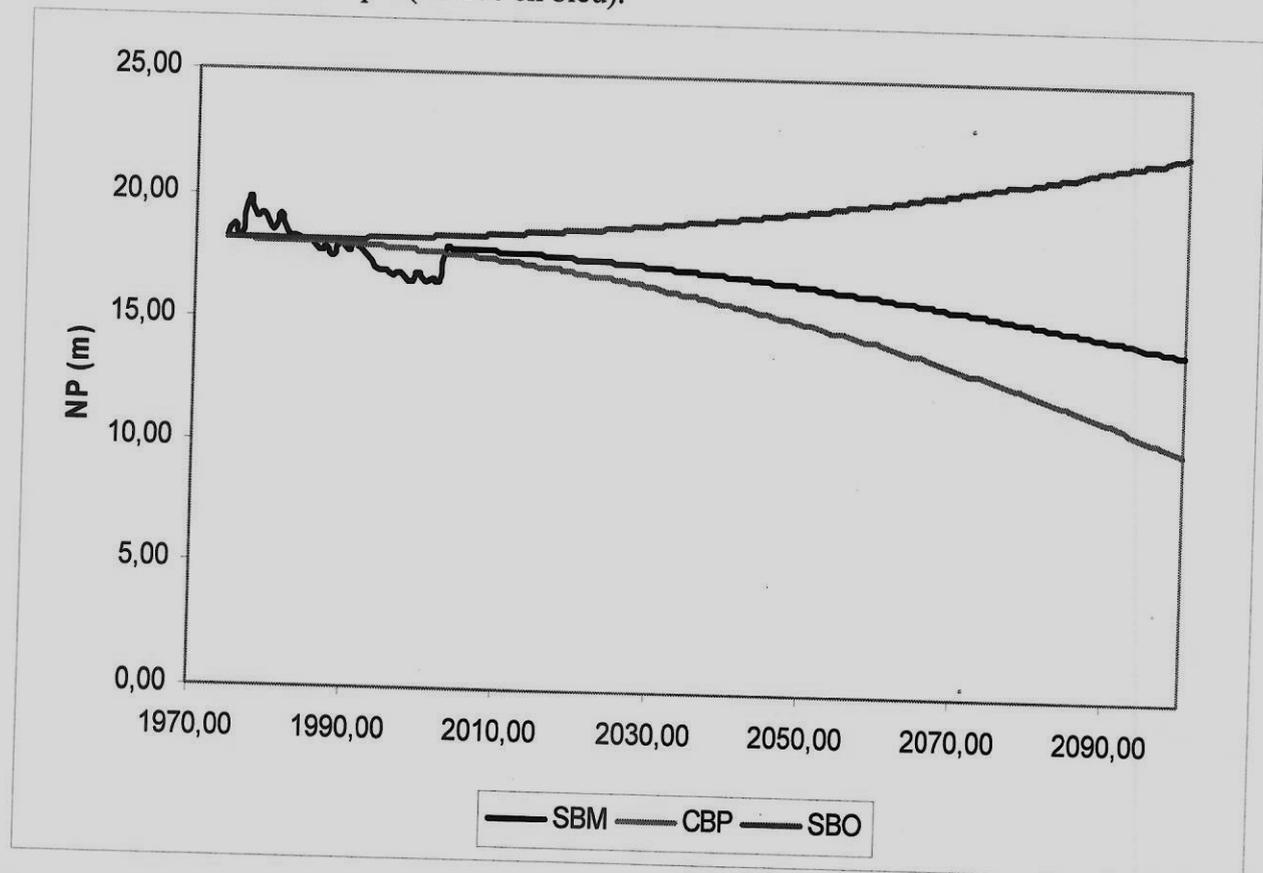


Figure 13 : Simulation du modèle du Flux Net en zone soudanienne (Malou, 2004)

Ainsi il apparaît, selon ces prévisions, qu'en l'an 2100, les niveaux phréatiques connaîtront une forte baisse, pouvant aller jusqu'à une perte de 10 m de niveau (dans le cas d'une péjoration climatique). Le risque alors grand d'atteindre un tarissement de la plus part des nappes phréatique notamment dans les zones où la puissance des aquifère est faible (inférieure à 10 m). Le retour à une pluviométrie meilleure, envisagé par le scénario optimiste, donne l'espoir d'une reconstitution de ces réserves.