

PROPOSITION D'UN MODELE HYDROLOGIQUE DE SIMULATION DE BASSIN AMENAGE EN ZONE SOUDANO-SAHELIENNE : CAS DU MASSILI (BURKINA FASO)

B.T. A. GOULA¹ et G. GIRARD²

¹Université d'Abobo-Adjamé, UFR Sciences et Gestion de l'Environnement,
02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire.

²Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération
(ORSTOM) / Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris (ENSM),
Centre d'Informatique Géologique, Laboratoire d'Hydrogéologie Mathématique,
35, Rue St Honoré, Fontainebleau, France.

RESUME

La variabilité spatio-temporelle des principales composantes du cycle hydrologique sont prises en compte dans le modèle MODBAM (Modèle de Bassin Aménagé) adapté aux conditions hydro-climatiques de la zone soudano-sahélienne. Ce modèle à discrétisation spatiale permet de simuler les écoulements de surface sur un bassin versant comportant des ouvrages hydrauliques et des aménagements hydro-agricoles. Deux schémas conceptuels de calcul du bilan hydrique des sols sont utilisés pour distinguer l'état de l'importance de la couverture végétale quel que soit le type de sol avec une possibilité de reprise à la nappe : l'un privilégie le ruissellement sur un sol nu ou à faible végétation, l'autre, l'infiltration et l'évapotranspiration sur un sol très couvert.

Mots Clés : Hydrologie, Bilan hydrique, Modélisation, Aménagements hydro-agricoles, Zone Soudano-Sahélienne.

ABSTRACT

*PROPOSITION OF AN HYDROLOGICAL MODEL FOR SIMULATING WATERSHED EQUIPPED WITH
HYDRAULIC STRUCTURES IN SUDANO-SAHELIAN ZONE : APPLICATION TO
MASSILI (BURKINA FASO)*

The spatial and temporal variability of the main components of hydrological cycle considered in the distributed model MODBAM adapted for the hydrological conditions of the sudano-sahelian zone. This model can be used for the simulation of surface runoff over watershed equipped with hydraulic structures (water management) such us dams, water storages, effluents. Two conceptual calculation schemes of the water balance are used to stress the importance of the state of vegetal cover, whatever the soil type with the possibility of integrating the loss of water from groundwater. One of these schemes deals with the surface runoff on soil with sparse vegetation and the other considers infiltration into covered soil.

Keywords : Hydrology, Water balance, Modelisation, Hydraulic Structures, Sudano-Sahelian Zone.



INTRODUCTION

La zone soudano-sahélienne vit depuis 1970 une sécheresse dramatique qui provoque une pénurie d'eau dans certaines régions. Les années 1972, 1973, 1983 et 1984 ont été les plus marquées. Cette situation se fait en alternance avec quelques années pluvieuses où sont observées les pluies diluviennes qui engendrent des inondations ; d'où la difficulté de mise à disposition de ressources en eau suffisantes pour le développement socio-économique qui est d'ordre domestique, industriel et surtout agricole. Pour pallier à cette insuffisance en eau, les nombreux travaux de recherche qui ont été menés sur les précipitations et les autres termes du bilan hydrologique, ont permis la réalisation de nombreux ouvrages de captage, de drainage, de stockage, d'adduction d'eau et surtout l'aménagement de vastes domaines hydro-agricoles. Ces réalisations conjuguées avec les progrès d'autres disciplines scientifiques telle que l'agronomie, ont contribué à l'amélioration des rendements agricoles.

Par rapport aux solutions envisagées, les différents projets d'aménagement n'ont pas eu que des effets bénéfiques tant au niveau sanitaire (prolifération de nombreuses maladies liées au stockage d'eau) qu'au niveau de l'équilibre du milieu hydrologique (la modification des régimes des cours d'eau).

Par ailleurs, les difficultés économiques actuelles, la croissance démographique, l'absence d'une planification intégrée dans les projets d'aménagement hydro-agricoles, le manque d'entretien des ouvrages déjà créés, la poursuite de certains objectifs économiques nationaux risquent de conduire à une surexploitation et à une grave détérioration des ressources en eau existantes. A ces facteurs, il faut

également ajouter l'action de l'homme par une dégradation continue des sols et l'effet de l'urbanisation qui modifie considérablement les écoulements superficiels.

Face à cette situation, l'introduction de divers supports dont les modèles hydrologiques, constitue une aide aux planificateurs. Les modèles globaux ne résolvent qu'en partie le problème de gestion intégrée d'un domaine où existent plusieurs types d'aménagement puisqu'ils ne tiennent pas compte de la diversité des caractéristiques des principaux éléments du cycle hydrologique. Avec l'avènement des modèles permettant de tenir compte de la variabilité des phénomènes à l'intérieur des bassins (Girard *et al.*, 1971 et 1972 ; Morin *et al.*, 1975 ; Deschênes *et al.*, 1985a et 1985b), le développement des modèles distribués intégrant les caractéristiques spatio-temporelles des éléments d'un bassin versant devient possible. Aussi, les travaux de Rodier (1975) sur les écoulements en zone soudano-sahélienne ont-ils constitué un important support. Il faut noter que quelques uns des problèmes rencontrés sont liés à la difficulté d'appréhender les processus hydrologiques à une échelle plus globale puisque l'on se heurte à des problèmes physiques spécifiques au climat et aux sols de la zone soudano-sahélienne. Pour tenir compte de cette réalité, une des démarches a consisté à intégrer dans les modèles, la variabilité spatio-temporelle des pluies, la distinction des types de surface pour définir des fonctions de production plus physiques dont les paramètres seraient à estimer à partir des mesures de terrain et des lois de transfert qui sont fonction des types de zones.

Suivant cette voie, les divers travaux engagés tant sur les pluies à travers de nombreux programmes de recherche, que sur les sols commencent à être exploités dans la modélisation

(Le Barbe, 1981 ; Chevalier *et al.*, 1985 ; Casenave et Valentin, 1989).

L'objectif de ce modèle est de simuler les écoulements sur un bassin versant hydrologique comportant un ou plusieurs ouvrages hydrauliques qui peuvent être considérés comme des organes ayant une fonction précise (les barrages, les stations de pompage, les dérivations). Cela permet d'une part de suivre la fluctuation temporelle de volume et de hauteur d'eau des réservoirs (les retenues) et de débits des stations hydrométriques et d'autre part, d'étudier ultérieurement l'influence des divers ouvrages réalisés et ceux qui sont en projet de construction sur l'écoulement naturel des cours d'eau.

Le modèle se compose de différents modules ayant une fonction précise. Cette étude présente le concept du modèle et les résultats d'une application sur le bassin versant du Massili au Burkina Faso. Cette application constitue un test des différents algorithmes du modèle.

METHODES

Le modèle de base MODLAC qui a été développé, est du type déterministe conceptuel. Il repose sur la représentation des différents maillons du cycle terrestre de l'eau qui traduisent la relation pluie-débit sur un certain nombre de cellules de base qualifiées de zones homogènes élémentaires (Girard, 1982). Le modèle MODBAM, résultant de MODLAC, comporte trois principales fonctions : découpage du système, calcul de la pluie moyenne zonale et simulation du système.

DÉCOUPAGE DU SYSTÈME

A l'aide des données topographiques décrivant les caractéristiques altimétriques, et physiographiques, le

domaine de surface est découpé manuellement dans un premier temps en mailles carrées emboîtées de dimensions variables comme l'indique les figures 1a et 1b selon une règle de numérotation prédéfinie (Ledoux, 1980 ; Girard, 1982). Dans une autre phase, sont associés à chacune des mailles, les altitudes et les sens d'écoulement des eaux, les caractéristiques moyennes des états de surface permettant ainsi de connaître les types de couvertures végétales et les propriétés hydrodynamiques des sols pour définir leur mode de fonctionnement lors du calcul du bilan hydrique. Il est réalisé automatiquement la délimitation des sous-bassins versants pour ressortir le réseau de drainage (schéma d'arborescence hydrographique de l'écoulement).

CALCUL DE LA PLUIE MOYENNE JOURNALIÈRE

La variabilité spatio-temporelle des précipitations en zone soudano-sahélienne constitue une des caractéristiques qui est pris en compte dans le modèle. Il s'agit de déterminer sur l'aire d'influence des postes pluviométriques, la pluie moyenne zonale journalière $P_m(j, z_k)$. Pour ce faire, à partir du maillage initialement réalisé, la délimitation des aires d'influence $\mathcal{O}_k$ pour chaque poste pluviométrique z_k , se fait en se basant sur l'approche de Thiessen (1911). En admettant l'hypothèse d'isotropie, la pluie moyenne zonale journalière $P_m(j, z_k)$ s'estime par la combinaison de deux principales expressions.

- La première, est une approche optimale qui estime la pluie moyenne zonale $\hat{P}_m(j, z_k)$ d'un poste donné à l'aide des pluies enregistrées au niveau des stations voisines et à ce même poste. La détermination de ces différentes stations voisines se fait d'une part par voisinage glissant où il est défini un

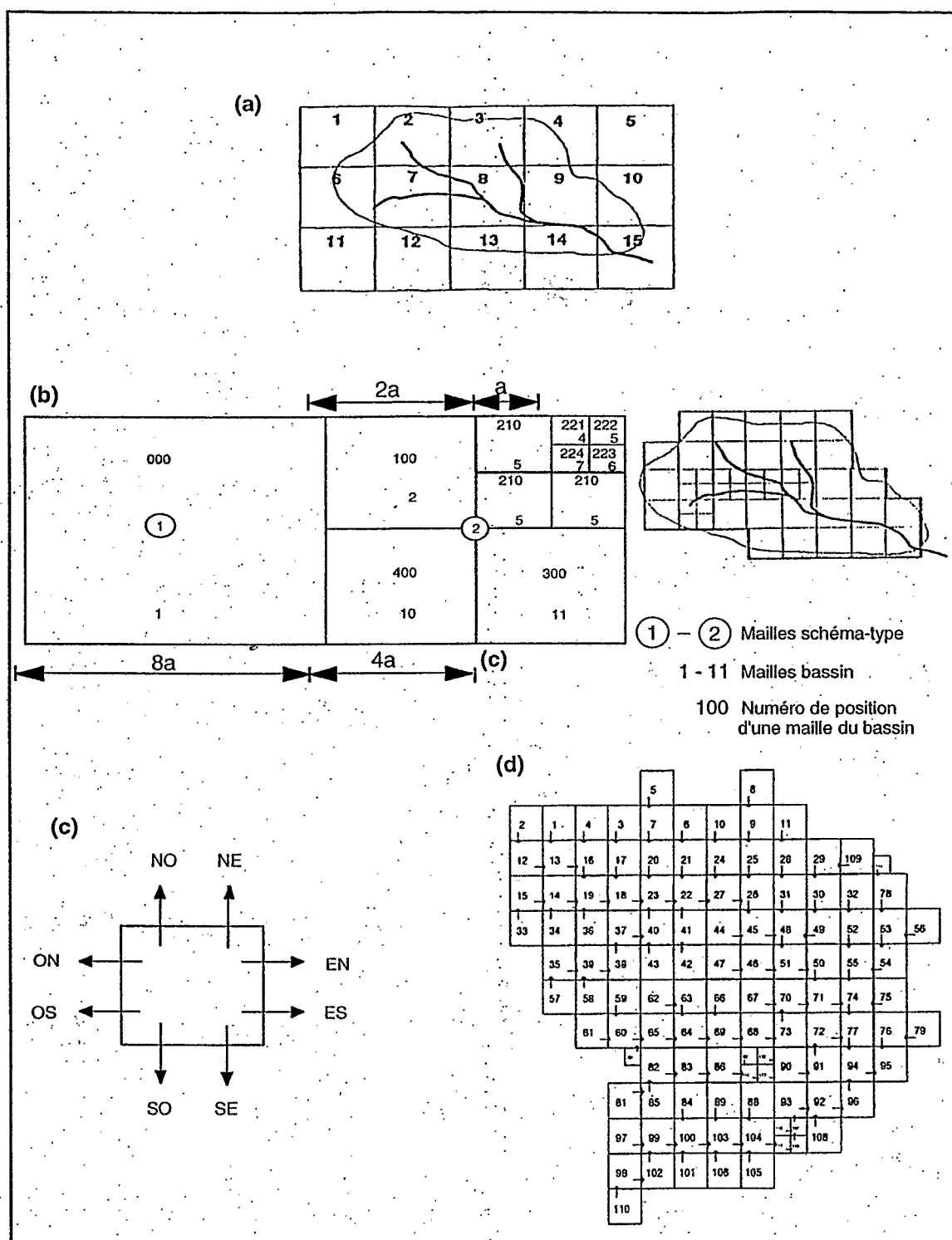


Figure 1 : Méthode de maillage : (a) Schéma type; (b) Méthode de découpage; (c) Sens de drainage à partir d'une maille ; - (d) Exemple de schéma d'arborescence hydrographique de l'écoulement (la maille 95 est l'exutoire du bassin).

Networking method : (a) Plan type; (b) Splitting method, (c) Drainage direction from the link ; (d) Example of runoff hydrographic diagram (square 95 is the down extremity).

rayon de balayage R_a centré sur la station concernée tel que soient sélectionnés N_{kR_a} postes situés à une distance inférieure ou égale au rayon R_a . D'autre part, en fixant le nombre de stations voisines de calcul. Quelle que soit l'approche de sélection des stations voisines de z_k , $\hat{P}_m(j, z_k)$ est déterminée à l'aide de l'expression proposée par Flitcroft et al. (1989) :

$$P_m(j, z_k) = \lambda_{1,k} P(j, z_k) + \lambda_{2,k} \bar{P}_k(j) \quad (1)$$

Où $\lambda_{1,k}$ et $\lambda_{2,k}$ sont des constantes ; $\bar{P}_k(j)$ représente la pluie moyenne journalière sur le domaine représentant l'ensemble des aires d'influence constituées par les N_{kR_a} postes pluviométriques ($N_v + 1$ sur $\bar{\omega}_{KN_v}$). Les valeurs de $\lambda_{1,k}$ et $\lambda_{2,k}$ peuvent être déterminées en utilisant les conditions de non biais ($E[\hat{P}_m(j, z_k) - \hat{P}_m(j, z_k)] = 0 \Rightarrow \lambda_{1,k} + \lambda_{2,k} = 1$) et d'optimisation de l'écart quadratique moyen ($E[(P_m(j, z_k) - \hat{P}_m(j, z_k))^2]$) ;

- La seconde approche consiste à transformer la pluie ponctuelle en pluie moyenne zonale par le biais d'un coefficient réducteur K_a (ou coefficient d'abattement) telle que :

(2)

L'expression de K_a sera celle proposée par Iturbe et José (1974) (U.S. Weather Bureau of Methodology) adaptée aux conditions climatiques tropicales.

$$K_a = 1 - \exp(-1.1t_v^{1/2}) + \exp(-1.1t_v^{1/4} - 0.01S_k) \quad (3)$$

Où t_v correspond à la durée de l'averse en heures (3 h en moyenne pour la zone soudano-sahélienne (Hubert, 1990)), S_k est considérée en miles au carré (1 mile = 1.609 km).

La pluie moyenne zonale $\hat{P}_m(j, z_k)$ s'obtient en combinant les deux approches citées précédemment suivant trois conditions aux limites appelées "critères" qui tiennent compte de la variabilité spatio-temporelle des pré-

cipitations, à savoir : les critères de pluie nulle, de mois sec et de superficie seuil (Goula, 1993).

FONCTIONS DE SIMULATION

Chaque étape du fonctionnement du modèle constitue une fonction caractéristique du cycle terrestre de l'eau. Il faut en distinguer quatre qui sont : les fonctions d'entrée, de production, de transfert et de sortie.

FONCTION D'ENTRÉE

Elle représente les apports et une partie des sorties du système dont les principaux paramètres sont les données pluviométriques et d'évapotranspiration potentielle tout comme les niveaux initiaux et les caractéristiques des retenues (les relations volume - hauteur et surface - hauteur), les prélèvements effectués.

FONCTIONS DE PRODUCTION

La fonction de production ou de rendement permet de passer de la pluie brute à la pluie nette ou efficace représentant la fraction qui aura effectivement ruisselé à court terme après soustraction des lames évapotranspirée et infiltrée. Il existe deux types de fonction : la fonction de production "sol" et la fonction de production "eau".

FONCTION DE PRODUCTION "SOL"

Elle définit les termes du bilan hydrique pour un état de surface donné. Le concept de calcul du bilan hydrique se base d'une part sur les résultats des expériences effectuées dans les pays de la zone soudano-sahélienne qui décrivent les propriétés hydrodynamiques et

hydropédologiques des sols (Ouattara et Wilding, 1991 ; Dembélé et Somé, 1991 ; Maduakor, 1991 ; Azontondé, 1991 ; Diarra, 1991). D'autre part, au niveau global de la région, des études plus synthétiques décrivent le comportement des systèmes sols en présence d'eau dans les bas fonds (Rodier, 1975 ; Albergel et Claude, 1990) et sous pluies simulées (Casenave et Valentin, 1989). A la lumière de ces études et d'autres effectuées dans la zone, il ressort que :

- l'écoulement de base peut être considéré comme étant nul sur la plupart des sols (Hoogmoed *et al.*, 1991) et même dans les bas fonds.

- l'absence de végétation, la texture, la structure, la profondeur et l'importance de la modification des couches superficielles réduisent la perméabilité du sol en augmentant ainsi le ruissellement de surface parallèlement à une diminution de l'infiltration (après une longue absence de pluies).

Ainsi, l'hypothèse de la prépondérance du ruissellement de surface est admise sur la majeure partie des sols sans ignorer celle de l'infiltration et de l'évapotranspiration sur des zones fortement couvertes de divers types de végétations. Ce sont deux formes indépendantes du fonctionnement du système sol (fonction de production sol) qui sont alors retenues : le cas du ruissellement de surface privilégié (Figure 2.a) et celui du ruissellement de surface faible (Figure 2.b).

La transformation des pluies en débits se fait suivant quatre phases pour les deux concepts. Leur différence se situe au niveau de la phase n° 1 où pour le cas du ruissellement faible (Figure 2.b), une partie de l'ETP (ETR1) est déterminée avant d'estimer le

ruissellement de surface Q_{SUR} et la partie résiduelle de l'ETP (ETR 2) se fait dans la phase 2. Pour le second cas, seule la valeur de Q_{SUR} est déterminée dans la phase I. Pour l'estimation des lames d'eau Q_{SUR}, l'expression suivante est utilisée (Casenave et Valentin, 1989) :

$$Q_{SUR} = A.P + B.I_k + C.P.I_k + D \quad (4)$$

Avec P la pluie, I_k l'indice de précipitation antérieur, A , B , et C les coefficients.

Bien que les valeurs des coefficients de l'expression (4) proposées par Casenave et Valentin (1989) pour les différents types de sols servent de référence, une adaptation a été faite en tenant compte des contraintes pouvant affecter le transfert d'échelle des relations pluie - débit pour des bassins de grande taille qui ne réagissent pas de la même façon que les surfaces élémentaires utilisées pour les déterminer (De Boer, 1992).

Quant à l'indice I_k qui traduit l'état d'humectation du sol d'un jour donné, ses valeurs limites de I_k sont tels que ($I_k(0) = 0$ pour un sol sec ; $I_k(IRMAX) = 0$ pour un sol très humecté). Les valeurs intermédiaires de I_k pour un état de saturation du réservoir sol donné, sont déterminés suivant une relation linéaire par rapport à ces deux valeurs extrêmes.

Fonction de production "Eau" : Elle décrit le fonctionnement des plans d'eau libre. Le bilan d'eau sur une superficie variable s'effectue au niveau de deux types de réservoirs : les réservoirs d'ordre 1 qui se situent en tête du réseau hydrographique, sans aucun prélèvement ni une autre forme d'alimentation par un autre ouvrage de stockage et les réservoirs d'ordre 2 qui peuvent se situer en amont ou en aval d'autres retenues.

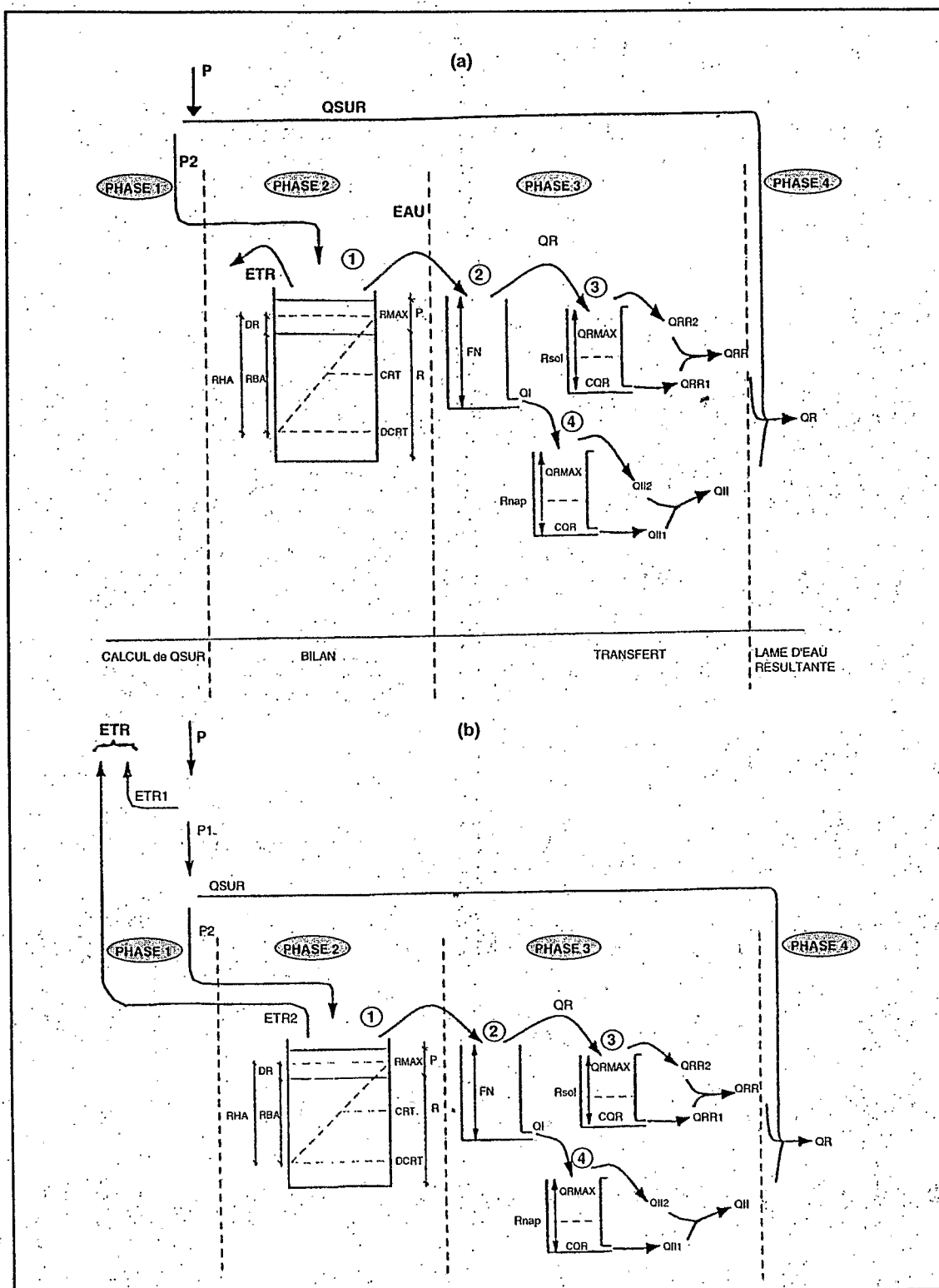


Figure 2 : Schémas conceptuels du modèle :

(a) cas du ruissellement de surface privilégié; (b) cas de ruissellement de surface faible.

Conceptual diagram of the model :

(a) case of privileged surface runoff; - (b) case of slow surface runoff.

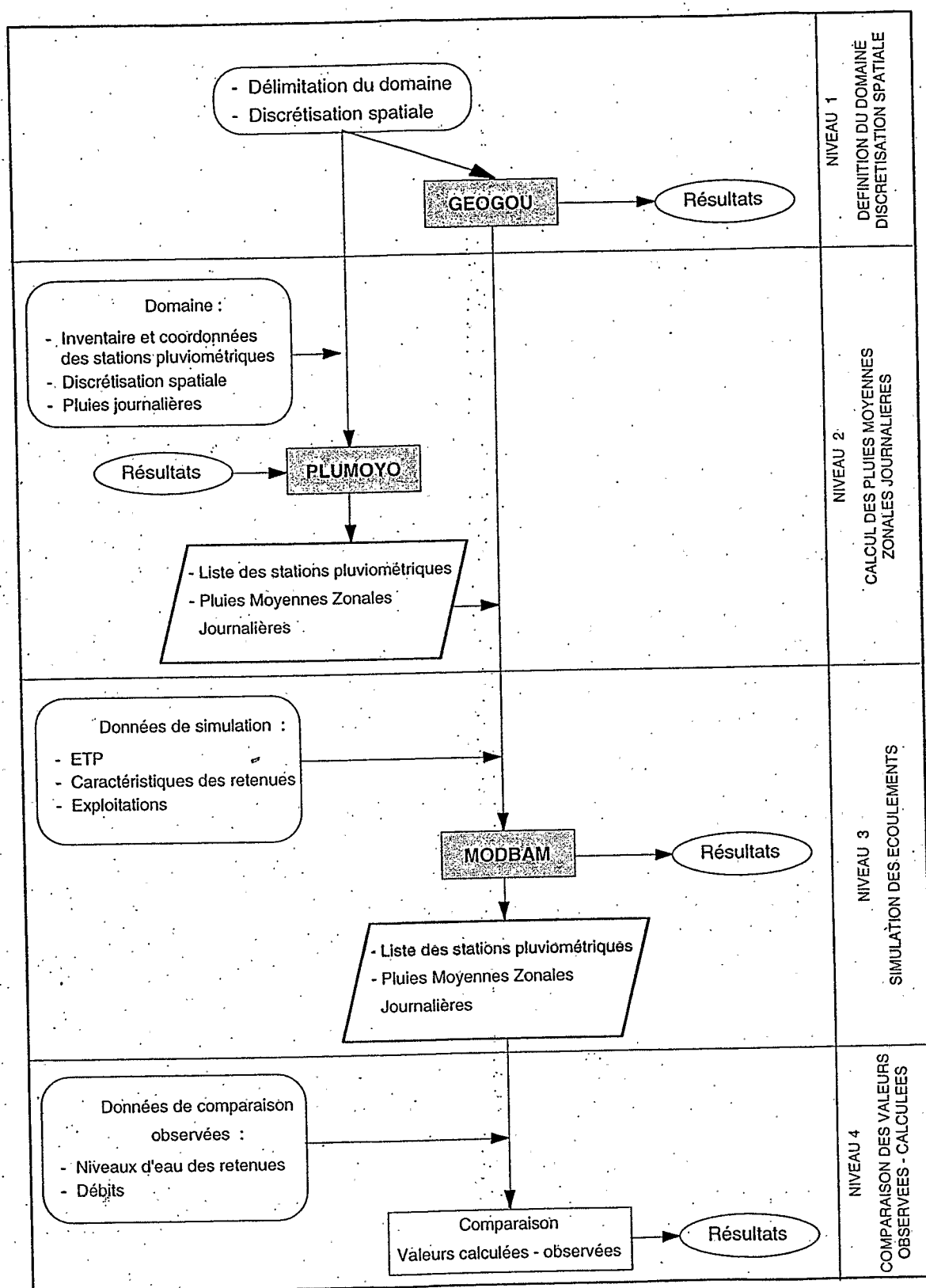


Figure 3 : Organisation générale de MODBAM.

General diagram of MODBAM.

FONCTION DE TRANSFERT

Après le calcul des volumes d'eau et de l'ETR selon l'état de surface avec les fonctions de production pour toutes les mailles, les conditions de passage de l'écoulement d'une maille vers sa voisine d'une part, celles sur les sous-bassins de calcul et sur les mailles rivières sont définies par cette fonction. Parmi les opérations effectuées, il y a entre autres la détermination des zones isochrones par le calcul des temps de transfert entre deux mailles voisines et l'utilisation d'un algorithme de transfert qui prend en compte le fonctionnement des retenues.

FONCTION DE SORTIE

Cette fonction permet d'obtenir les résultats de la simulation que sont les débits des différents points du réseau hydrographiques, les volumes et les hauteurs d'eau au niveau des retenues. Les comparaisons de valeurs calculées et observées s'effectuent à ce niveau.

ORGANISATION GÉNÉRALE DU MODÈLE

MODBAM est un modèle écrit en langage Fortran 77 qui se compose de trois principaux codes de calcul (GEOCOU, PLUMOYO, MODBAM). PLUMOYO sert à estimer les pluies moyennes spatiales journalières sur les aires d'influence des postes pluviométriques tandis que la discrétisation spatiale du bassin et la simulation des écoulements se font à l'aide de GEOCOU et de MODBAM. D'autres programmes annexes et logiciels contribuent à l'exploitation des résultats du modèle. La figure 3 indique son mode d'assemblage et de fonctionnement. Ce schéma comporte quatre niveaux :

- Niveau 1 : Définition du bassin versant et discrétisation spatiale : GEOCOU ;

- Niveau 2 : Définition des données pluviométriques et calcul des pluies moyennes zonales journalières : PLUMOYO ;

- Niveau 3 : Définition des données d'évapotranspiration potentielle, des caractéristiques des retenues, des données d'utilisation des eaux sur les retenues et sur les cours d'eau, des hauteurs d'eau et des débits observés pour la simulation du fonctionnement du bassin versant : MODBAM ;

- Niveau 4 : Exploitation des résultats et comparaison des valeurs observées et calculées des débits ou des hauteurs d'eau dans les retenues.

RESULTATS

La toute première application de ce modèle a été effectuée sur le bassin versant du Massili (Burkina Faso) (Figure 4) limité à la station de Gonsé qui est situé entre les Longitudes $1^{\circ} 15' W$ et $1^{\circ} 55' W$ et les Latitudes $12^{\circ} 17' N$ et $12^{\circ} 50' N$ pour une superficie de 2612 km^2 . Sur les cours d'eau qui drainent ce bassin versant, sont construits de nombreux barrages et autres aménagements hydro-agricoles dont les principaux sont les barrages de Lumbila, Ouaga I, Ouaga II, Donsé, Kamboinsé, etc. A partir d'informations obtenues auprès de divers organismes publics et privés, une liste partielle des barrages a été réalisée avec quelques caractéristiques géométriques (relation hauteur - volume ou hauteur - surface) et utilisations des eaux pour certains d'entre eux. Pour les autres, il a fallu déterminer ces paramètres. Les données pluviométriques journalières sur la période de simulation qui s'étend de 1986 à 1988, proviennent des mesures effectuées lors du projet EPSAT (Estimation des Pluies par Satellite) sur le degré carré de Ouagadougou.

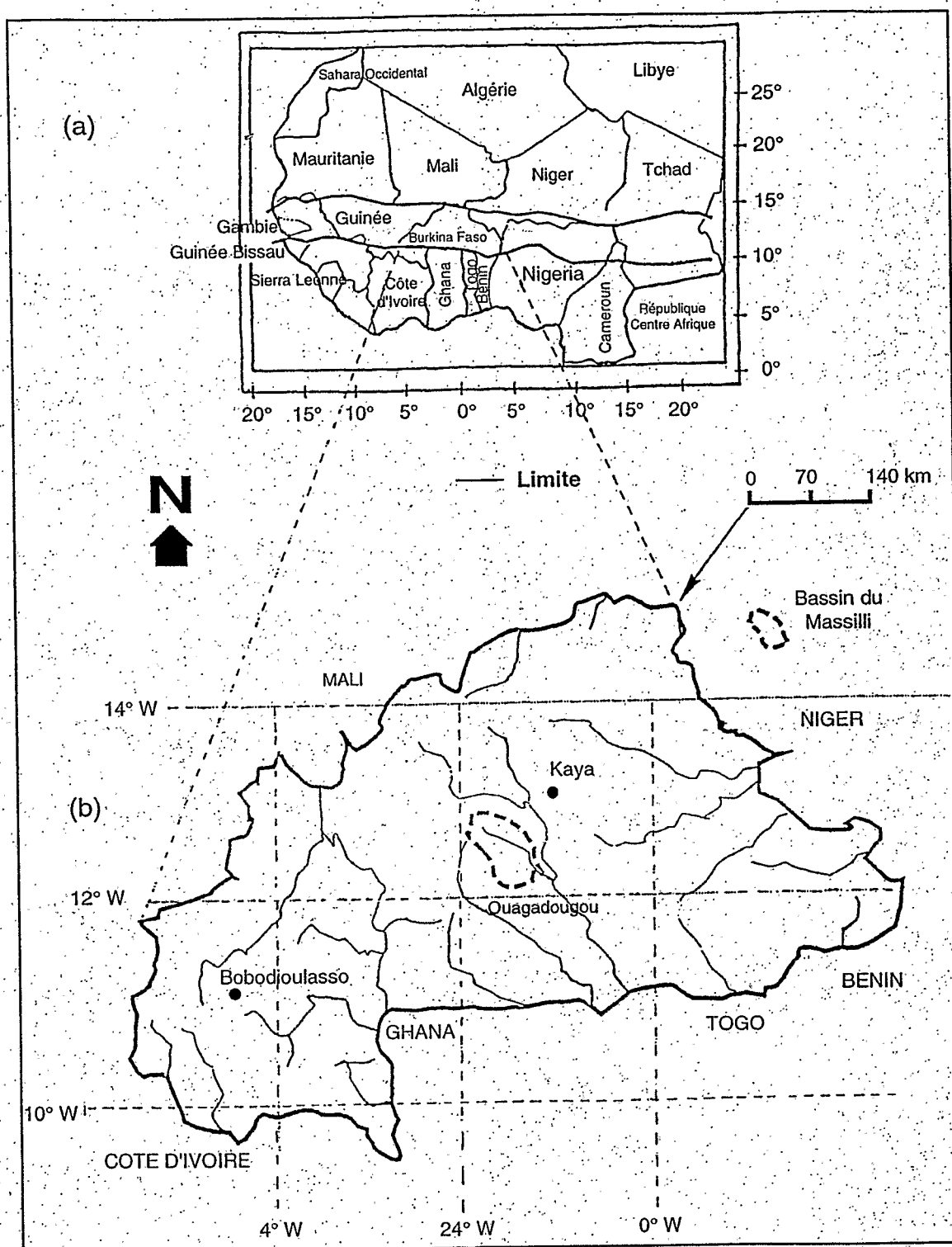


Figure 4 : (a) Limites de la zone – soudano sahélienne (Sivakumar et Wallace, 1991) (La limite est définie par rapport au nombre de jours de pluie annuelle) ; - (b) Situation du bassin versant du Massili.

(a) Sudano – Sahelian Zone limits (Sivakumar and Wallace, 1991) (The number of raining days is the criterion to define the limit); - (b) Localisation of Massili's watershed.

Les données d'ETP mensuelles sont calculées par la formule de Penman à partir des éléments climatologiques fournies par la station de l'aéroport de Ouagadougou. Les débits observés sont ceux de la station de Gonsé et les niveaux d'eau obtenus sont ceux des barrages de Lumbila, Ouaga I et Ouaga II. La distribution spatiale des classes d'occupation du sol a été obtenue à l'aide de cartes topographique et géologique antérieures à la période de simulation.

Le bassin versant discrétisé au niveau spatial, comporte 117 mailles de tailles variables (5 x 5 km et 2.5 x 2.5 km) correspondant à une superficie totale de 2737.5 km² (Figure 1.d).

Les simulations ont pour but essentiellement de tester les nouveaux algorithmes développés et les actions entre eux, identifier quelques inconvénients de l'utilisation de peu d'informations disponibles comme c'est le cas fréquemment dans la zone soudano-sahélienne.

Les résultats montrent dans leur ensemble que les allures des courbes observées et calculées (Figures 5.a, 5.b et 6) sont bien corrélées malgré le peu d'informations disponibles.

Au niveau des barrages, les périodes de déversement sont reproduites comme l'indique la figure 6 concernant le cas du barrage de Lumbila. Néanmoins, il est à noter une importante production d'eau de la part du modèle lié au manque d'informations sur les utilisations des eaux sur le bassin et les retenues en amont. Ce qui a une incidence sur les débits simulés à l'exutoire. Les figures 5.a et 5.b présentent les débits observés et calculés sur les deux premières années de simulation. Le modèle réagit bien au pique de crue mais avec des valeurs plus fortes que celles observées tandis qu'en basses eaux la tendance est suivie.

DISCUSSION

Cette application amène à faire quelques remarques. D'abord, les résultats des simulations des débits et des niveaux d'eau paraissent confirmer les hypothèses faites pour modéliser les écoulements superficiels sur le bassin versant même si les données disponibles ne reflètent pas la réalité des équipements hydrauliques et hydro-agricoles existants. Néanmoins, la synthèse des principaux mécanismes retenus est réalisée et cela ne met pas en cause fondamentalement les concepts adoptés.

Ensuite, l'amélioration des simulations auraient été tentant à réaliser mais les principales raisons qui ont amené à se limiter à ce niveau pour l'instant sont:

- D'une part, les volumes écoulés au cours des trois années (1986 -1988) sont bien représentés. Les écarts entre les valeurs observées et calculées sont parfois importants du fait du peu d'informations disponibles sur les équipements et leur mode d'exploitation qui ont nécessité des corrections et des approximations ;

- D'autre part, il est intégré dans le modèle suivant un schéma conceptuel du phénomène de perte d'eau dans le réseau hydrographique rencontré dans les zones arides et semi-arides (Parissopouolos *et al.*, 1991 ; Ali et Mohamed, 1993) et ce, malgré la méconnaissance de la physique de ce phénomène en zone soudano-sahélienne. Par ailleurs, l'importance du ruissellement dans la région a fait admettre l'idée d'une reprise à la nappe en considérant tout de même l'infiltration non nulle.

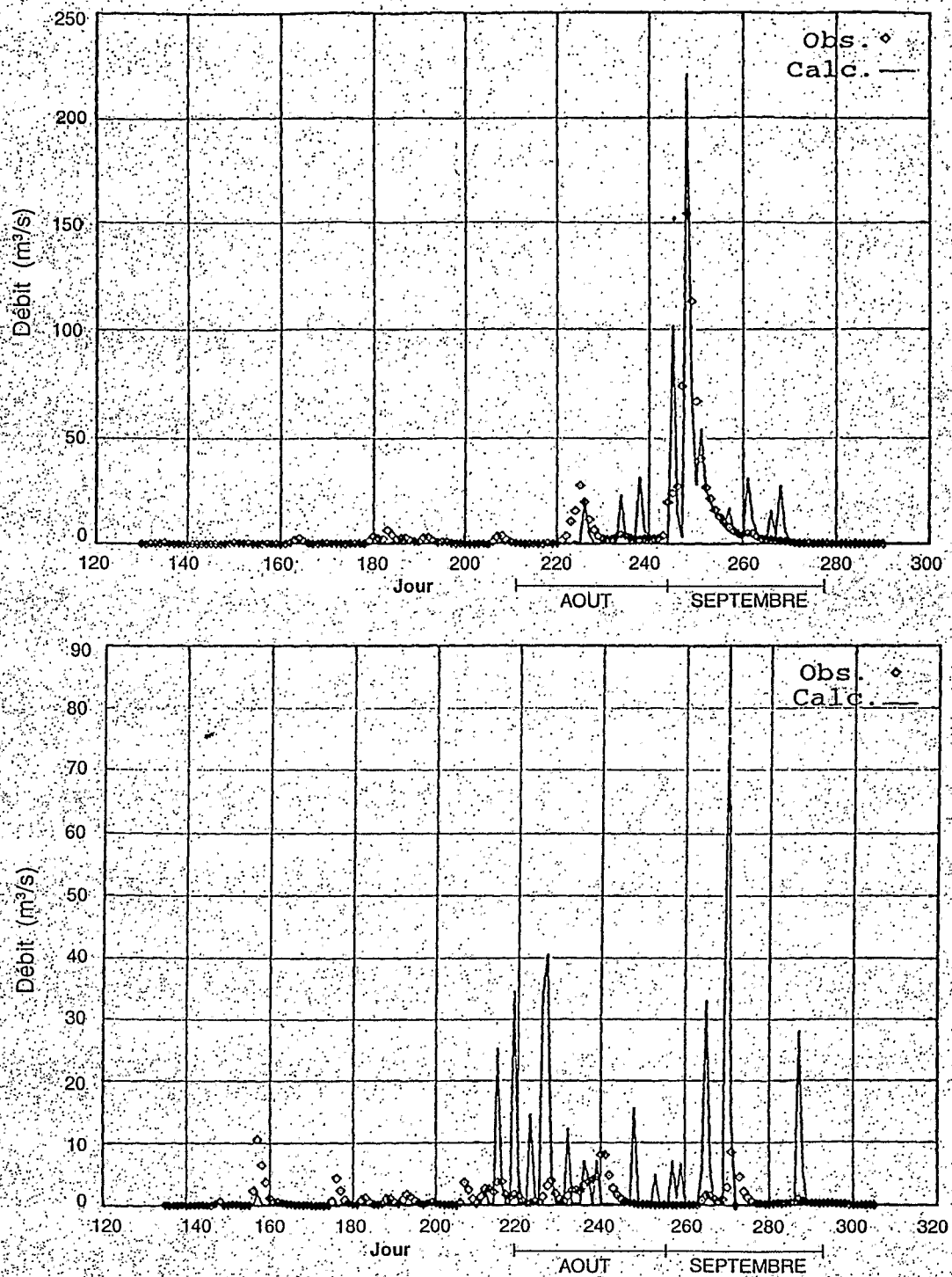


Figure 5 : Débits moyens journaliers observés et calculés à GONSE (Burkina Faso : (a) 1986, (b) 1987.

Daily mean flows observed and calculated in GONSE (Burkina Faso) : (a) 1986, (b) 1987.

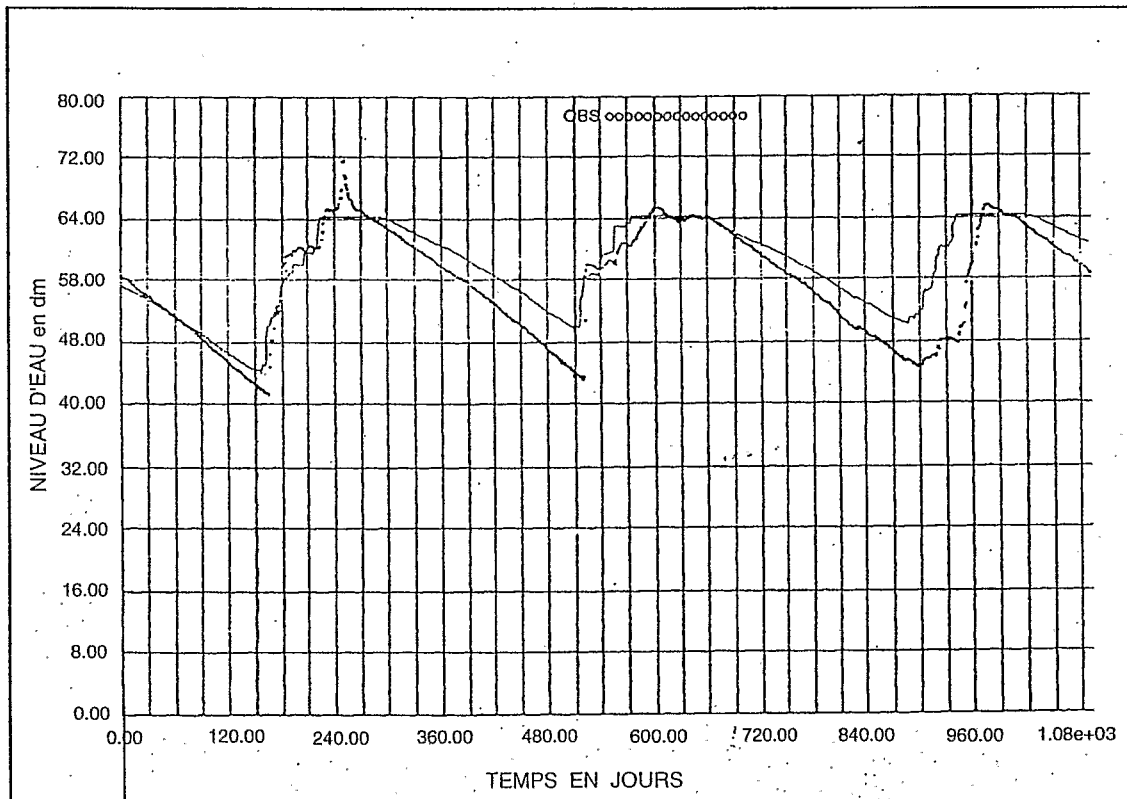


Figure 6 : Hauteurs d'eau moyenne journalières observées et calculées à Lumbila (Burkina Faso) de 1986 à 1988.

Daily mean heads of water observed and calculated in Lumbila (Burkina Faso) from 1986 to 1988.

Enfin, malgré la faiblesse des données disponibles, il a été possible sur un grand bassin versant de mettre en œuvre un outil qui permet de reconstituer les écoulements sur les sols comme d'autres modèles hydrologiques, au niveau des rivières, dans les retenues et les lacs. Et cela, par le fait que le modèle utilise les informations spatialement variées relatives aux états de surface, aux pluies et aux ouvrages hydrauliques et les utilisations des eaux.

Plusieurs perspectives de développement du modèle existent tant au niveau des algorithmes actuels que l'insertion d'autres phénomènes hydrologiques selon les besoins et l'utilisation d'autres types de données provenant des systè-

mes d'informations géographiques par exemple. La poursuite de l'acquisition des informations sur le bassin du Massili et le test sur d'autres bassins permettront d'améliorer les capacités du modèle. Aussi, la réalisation d'une version sur micro-ordinateur plus convivial du modèle ne faciliterait - il pas l'accès au modèle par les structures de gestion des ressources en eau de la région ? Il faut tout de même noter que cela ne peut être possible que par la création dans chaque état de banque de données centralisée sur les ressources en eau et en particulier l'inventaire des retenues d'eau, les exploitations hydro-agricoles et les diverses utilisations des eaux.

Le modèle offre quelques possibilités d'exploitation des ressources en eau dans trois domaines en particulier à savoir:

- L'évaluation: Il s'agit d'évaluer les besoins en données, préciser les lacunes sur l'information de base et confronter les mesures effectuées de toutes natures afin de constituer une base solide indispensable pour obtenir une compétence pour la gestion et l'exploitation.

- La gestion : réellement, il ne s'agit pas de gestion de l'eau au jour le jour, mais de simuler des scénarios en considérant soit des pluies moyennes par exemple dans le but de prendre des mesures sur la gestion des ouvrages en cas de besoin. Il est possible par exemple de tester les influences de la construction d'une retenue importante en amont d'une retenue située en aval et très sollicitée (cas de la retenue de Gaské, construite en amont de la retenue de Lumbila).

- La planification : dans le cadre de la planification d'aménagement d'un bassin versant et au niveau de l'utilisation

des eaux stockées, il est nécessaire de tenir compte de l'impact de l'exploitation d'une retenue située en amont sur les modifications induites pour les retenues situées en aval.

CONCLUSION

Le modèle MODBAM dans sa version actuelle permet de simuler les écoulements de surface d'un bassin versant équipé d'ouvrages hydrauliques en intégrant le fonctionnement des équipements hydro-agricoles et les caractéristiques de variabilité spatiale et temporelle dans certains cas, des données hydro-climatiques. Les résultats de la première application ont permis de montrer que ce modèle est un outil prometteur dans le domaine de la gestion des ressources en eau en zone soudano-sahélienne. Pour cela, les meilleures simulations ne seront obtenues qu'en perfectionnant les concepts du modèle et en maîtrisant dans chaque pays, la gestion des bases de données nécessaires à l'utilisation du modèle.

BIBLIOGRAPHIE

- ALBÉRGEL (J.) et (J.) CLAUDE. 1982. Fonctionnement hydrologique des bas fonds en Afrique de l'Ouest. The state of Art of Hydrology and Hydrogeology in the Arid and semi - arid areas of Africa. Proceeding of the Sahel Forum, february 1989, UNESCO publ.: 331 - 342.
- ALI (U.S.) et (J.A.) MOHAMED. 1993. Infiltration - recharge through Wadi beds in arid region. Journ. des Sciences Hydrologiques 38 (3-6): 173-186.
- AZOTONDE (H.A.), 1991. Propriétés physiques et hydrauliques des sols au Bénin. Soil Water Balance in the Sudano Sahelian Zone. Proceeding of the Niamey Workshop, February 1991, IAHS Publ. 199 : 249 - 260.
- CASENAVE (A.) et (C.) VALENTIN. 1989. Les états de surface de la zone sahélienne, influence sur l'infiltration. Edition ORSTOM, Paris.
- CHEVALIER (P.), (J.) CLAUDE, (B.) POUYAUD et (A.) BERNARD. 1985. Pluies et Crues du Sahel, Hydrologie de la Mare d'Oursi au Burkina Faso (1976 - 1981). Edition ORSTOM, Paris.
- De BOER DIRK (H.). 1992. Constraints on spatial transference of rainfall - runoff relationships in semi arid basins by ephemeral stream. Hyd. Sc. Journ. 37, 5 (10) : 491 - 504.
- DEMBELE (Y.) et (L.) SOME. 1991. Propriétés hydrodynamiques des principaux types de sol du Burkina Faso. Soil Water Balance in the

- Sudano sahelian Zone. Proceeding of the Niamey Workshop, February 1991, IAHS Publ. 199.
- DESCHENES (J.), (J.P.) VILLENEUVE, (E.) LEDOUX and (G.) GIRARD. 1985a. Modelling the Hydrological Cycles. The MC Model, Part 1 - Principles and Description. Nordic Hydrology, 16 (5) : 257 - 272.
- DESCHENES (J.), (J.P.) VILLENEUVE, (E.) LEDOUX and (G.) GIRARD. 1985b. Modelling the Hydrological Cycles. The MC Model, Part 2 - Modelling Application. Nordic Hydrology, 16 (5) : 273 - 290.
- DIARRA (B.). 1991. Suivi hydrique des cultures au Mali. Soil Water Balance in the Sudano sahelian Zone. Proceeding of the Niamey Workshop, February 1991, IAHS Publ. 199 : 127 - 228.
- FLITCROFT (I.D.), (G.) DUGDALE and (J.R.) MILFORD. 1989. Relating point rainfall and area average over the Sahel. WMO/IAHS/ETH (Rapport final International Workshop on Precipitation Measurement, st Moritz, Switzerland, 1989) : 245 - 250.
- GIRARD (G.), (J.P.) FORTIN et (R.) CHARBONNEAU. 1971. Un modèle hydrométéorologique simplifié et quelques applications régionales. Symp. Int. Sur les modèles mathématiques en hydrologie. Pub. IAHS 101 (2) Topic 5. Distributed parameter catchment models and input field, article 5. Varsovie, 26 - 31 Juillet.
- GIRARD (G.), (G.) MOORIN et (R.) CHARBONNEAU. 1972. Modèle de précipitations - débits à discrétisation spatiale. Cahier ORSTOM, Série hyd., 9 (4) : 1 - 20.
- GIRARD (G.), 1982. Modélisation des écoulements de surface sur les bassins hydrologiques équipés de réservoirs : modèle MODLAC. Cahier ORSTOM, Série hyd., 9 (4).
- GIRARD (G.), 1982. Simulation des écoulements sur des bassins aménagés. Notice d'utilisation du modèle MODLAC. Rapport interne ORSTOM.
- GOULA (B.T.A.), 1993. Modélisation hydrologique de bassins versants équipés d'ouvrages hydrauliques en zone soudano - sahélienne. Thèse de Doctorat, Ecole des Mines de Paris (France).
- HOOGMOED (W.B.), (M.C.) KLAIJ and (J.) BROUWER. 1991. Infiltration, runoff, and drainage in the sudano - sahelian zone. Proceeding of the Niamey Workshop, February 1991, IAHS Publ. 199 : 85 - 98.
- HUBERT (P.), 1990. Caractérisation fracyale de l'occurrence de pluie en climat soudano - sahélien. Veille Climatique Satellitaire 30 - 31 : 40 - 42.
- ITURBE (R.I.) and (M.M.) JOSE. 1974. On the transformation of point of rainfall to areal rainfall. Wat. Resour. Res. 10 (4) : 729 - 735.
- LE BARBE (L.). 1981. Etude du ruissellement sur la ville de Ouagadougou. Rapport Général, Tome 1, 2, 3. Edition ORSTOM.
- LEDOUX (E.), 1980. Modélisation intégrée des écoulements de surface et souterrains sur un bassin versant hydrologique. Thèse de Doct, Ecole des Mines de Paris (France).
- MADUAKOR (H.O.). 1991. Physical and hydraulic properties of soils of the sudano - sahelian regions of Nigeria. Water Balance in the Sudano sahelian Zone. Proceeding of the Niamey Workshop, february 1991, IAHS Publ. 199 : 229 - 248.
- MORIN (G.), (J.P.) FORTIN et (R.) CHARBONNEAU. 1975. Utilisation du modèle hydrophysiographique CEQUEAU pour l'exploitation des réservoirs artificiels. Proc. Int. And Workshop on the application of Mathematical Models in Hydrology and Water Ressources Systems, 8 - 13 Septembre 1975, Bratislava, IAHS Publ. 115 : 176 - 184.
- OUATTARA (M.) et (L.P.) WILDING. 1991. L'influence des caractéristiques des sols sur le bilan hydrique : exemple de deux toposéquences développés sur un matériau du continental au Niger. Water Balance in the Sudano Sahelian Zone. Proceeding of the Niamey Workshop, february 1991, IAHS Publ. 199 : 187 - 198.
- PARISSOPUOLOS (G.A.) and (H.S.) WEATHER. 1991. Effects of Wadi flood hydrograph characteristics on infiltration. Journal of Hydrology 126 : 247 - 263.
- RODIER (J.A.). 1975. Evaluation de l'écoulement annuel dans le Sahel tropical africain. ORSTOM Paris, Travaux et Documents 46.
- SIVAKUMAR (M.V.) and (J.S.) WALLACE. 1991. Soil Water Balance in the Sudano sahelian Zone : Need relevance and objectives of workshop. Water Balance in the Sudano Sahelian Zone. Proceeding of the Niamey Workshop, february 1991, IAHS Publ. 199.
- THIESSEN (A.H.), 1911. Precipitation average for large areas. Month. Weather Rev. 39(7).

AGRON. AFR. X (1) : 1 - 57

ISSN n° 1015-2288

AGRONOMIE AFRICAIN



Don au GAP



AVRIL 1998

16 AOUT 1999

REVUE SCIENTIFIQUE DE L'ASSOCIATION
IVOIRIENNE DES SCIENCES AGRONOMIQUES (AISA)
SCIENTIFIC JOURNAL OF THE IVORIAN
ASSOCIATION FOR AGRICULTURAL SCIENCES (AISA)

