

Estimation Par Approche Géospatiale De La Recharge Des Eaux Souterraines A L'aide Du SIG-Modèle Wetspass-M En Milieu Tropical : Cas Du Bassin Versant De La Rivière M'Bé, Dabakala Centre Nord De La Côte D'Ivoire.

YAO Yao Muller¹, DEH Serge Kouakou¹, EBA Balliet Larissa.¹, EGY Asia¹, KOUAME Kan^{1 2}, JOURDA Jean Patrice.^{1 2}

¹ (Unité de Formation et de Recherche (UFR) des Sciences de la terre et des Ressources Minières (STRM), Université Felix Houphouët Boigny, Cocody-Abidjan, 22 BP 582 Abidjan 22)

² (Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection, Université Félix Houphouët Boigny, Cocody, 22 BP 801 Abidjan 22)

RESUME : En Côte d'Ivoire, en dépit d'importants efforts du gouvernement ces dernières années à parvenir à la réalisation d'un nombre important de forages, l'inaccessibilité à l'eau potable dans certaines localités du pays en général, et celle de Dabakala en particulier demeure une réalité. Malgré une économie basée sur l'agriculture tributaire de la pluviométrie, Dabakala, à l'instar de ces localités, dispose de données hydroclimatiques limitées. C'est pourquoi dans l'optique d'élaborer un outil d'aide à la décision pour la planification et la gestion efficace des eaux souterraines du département de Dabakala, une approche géospatiale d'évaluation de la recharge des eaux souterraines a été développée. La méthodologie est portée sur l'intégration dans le SIG modèle WetSpas M, un ensemble de données biophysiques et hydroclimatiques élaborées sous forme de couches ASCII à l'aide du SIG et de la télédétection. En définitif, au pas de temps mensuel sur la chronique 1979 à 2019, septembre, mois le plus pluvieux du bassin, enregistre un fort taux de recharge (99 mm) pendant que janvier, mois le plus sec du bassin, dénombre 1,83 mm de pluie. La zone Est et Sud (la ceinture sud-est) du bassin représente la zone de forte recharge. Au pas de temps annuel sur la chronique 1979 à 2019, la recharge du bassin est estimée à 432 mm, soit 33,94% des précipitations moyennes annuelles. Tous ces résultats confirment que le SIG modèle WetSpas M constitue un puissant outil d'évaluation de la recharge en milieu tropical.

MOTSCLES : WetSpas-M, recharge, M'Bé, Côte d'Ivoire, géospatiale, Dabakala

Date of Submission: 13-06-2022

Date of Acceptance: 27-06-2022

I. INTRODUCTION

Situé en zone de socle complexe, le bassin versant de la rivière M'Bé (département de Dabakala, Centre Nord de la Côte d'Ivoire) est un sous bassin versant du bassin versant du N'Zi Bandama. Dans ce bassin, l'économie est foncièrement basée sur la pratique de l'agriculture (Anacarde, igname etc.), tributaire de la pluviométrie. Cependant, la variabilité climatique marquée par la récession pluviométrique affecte durablement la recharge de la nappe du bassin versant du N'Zi Bandama depuis 1970, et par ricochet celle du bassin versant du M'Bé (département de Dabakala), depuis 1968 [1]. Or dans les pays tropicaux comme la Côte d'Ivoire, la disponibilité limitée de données climatiques conduit à une incompréhension permanente de la recharge des nappes [2]. A l'instar des autres modèles, le SIG modèle WetSpas-M évalue le bilan hydrique en zone de socle à l'échelle d'un bassin versant ([2], [3], [4], [5] et [6]) en tenant compte de l'hétérogénéité de l'occupation de sol au sein de chaque pixel ([7], [8] et [9]) divisée en quatre fractions (sous pixels): zones végétalisées, sols nus, eaux libres et zones imperméables. C'est dans ce contexte que cette étude se fixe pour objectif de développer un modèle du bilan hydrique mensuel, distribué spatialement du bassin versant du M'Bé, à partir du SIG-modèle WetSpas-M sur la chronique 1979 à 2019 (40 ans). Pour y arriver, nous avons appliqué différentes techniques utilisant les SIG et la télédétection pour la préparation des données brutes afin d'obtenir des données géospatiales applicables dans le modèle WetSpas-M.

II. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Le bassin versant de la rivière M'Bé est un sous bassin versant du bassin du N'Zi (Bandama) situé au Centre- Nord de la Côte d'Ivoire. Il est compris entre les latitudes 7,4266 et 8,3897 Nord et longitudes 3,9649 et 4,896 Ouest (**Fig 1**) et couvre une superficie d'environ 3033,18 km², soit 303318 hectares. Ce bassin qui s'étale entre le département de Dabakala au Nord et de M'Bahiakro, au Sud, a une végétation constituée de savane en majorité, de lambeaux de forêts, et qui a un climat à dominance soudanéen. Dans ce bassin, vivent les populations Djimini, Djamala (Sénofo) et les Malinkés qui pratiquent une économie basée sur l'agriculture avec respectivement comme cultures de rente et vivrières principales, l'anacarde et l'igname.

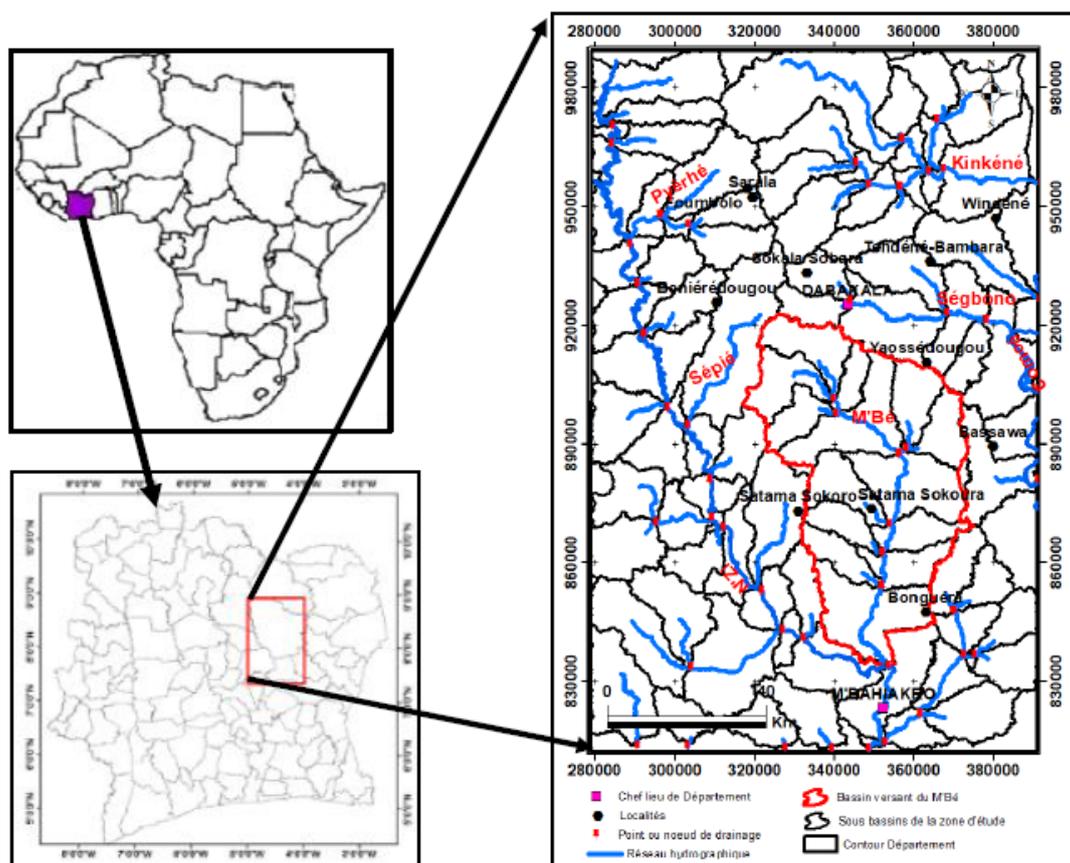


Fig 1: Localisation du bassin versant de la rivière M'Bé, Côte d'Ivoire

III. MATERIEL ET METHODES

3.1 Données et Matériel

La réalisation de cette étude a nécessité l'utilisation de données d'entrée du SIG modèle WetSpas M. Ce sont les données hydroclimatiques et biophysiques. Quant au matériel, il est constitué de logiciels informatiques.

3.1.1 Base de données hydroclimatiques

Les données hydroclimatiques sont les réanalyses issues de CFSR (Climate Forecast System Reanalysis) sur les précipitations (mm), la température (°C), l'insolation, l'humidité relative (%) et la vitesse du vent (m/s), recueillies par le National Centers for Environmental Prediction (NCEP). Elles sont téléchargées via le site <https://globalweather.tamu.edu/>, et ont une résolution horizontale de 0,5°. Ces données couvrent le bassin versant du M'Bé sur environ 9 stations de 1979 à 2014, soit trente-cinq ans (35 ans). Celles-ci ont été prédites à l'aide du modèle WeaGETS (Scale Weather Generator) (les données de précipitations et de températures) et les réseaux de neurones artificiels (l'insolation, l'humidité relative (%) et la vitesse du vent (m/s)) sur six ans (6 ans), portant ces données à une durée de quarante ans (40 ans), soit de 1979 à 2019. Les données réanalyses CFSR ont été préparées sous formes de couches ASCII à l'aide du SIG (Systèmes d'Informations Géographiques), puis rééchantillonnées selon la grille de maille 100 m × 100 m, avec un certain nombre de cellule de grille (579,895). Ces réanalyses CFSR, indiquent du point de vue évolution temporelle sur la chronique 1979 à 2019, une forte tendance à la baisse de la quantité de pluie tombée dans le bassin versant du M'Bé durant cette période, pour une moyenne mensuelle des pluies estimée à **1274 mm** (**Fig 2**). La

distribution spatiale des quantités de pluie se veut hétérogène au pas de temps mensuel sur cette chronique (de 1979 à 2019) (**Fig 3**).

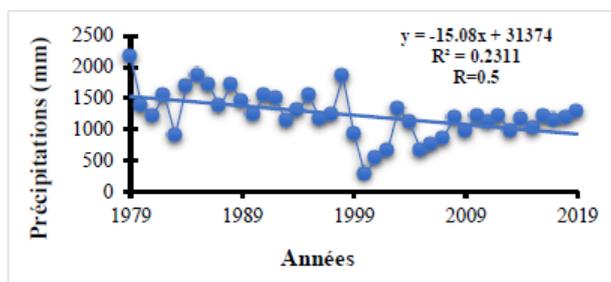


Fig 2 : Evolution temporelle de la précipitation du bassin versant du M'Bé de 1979 à 2019.

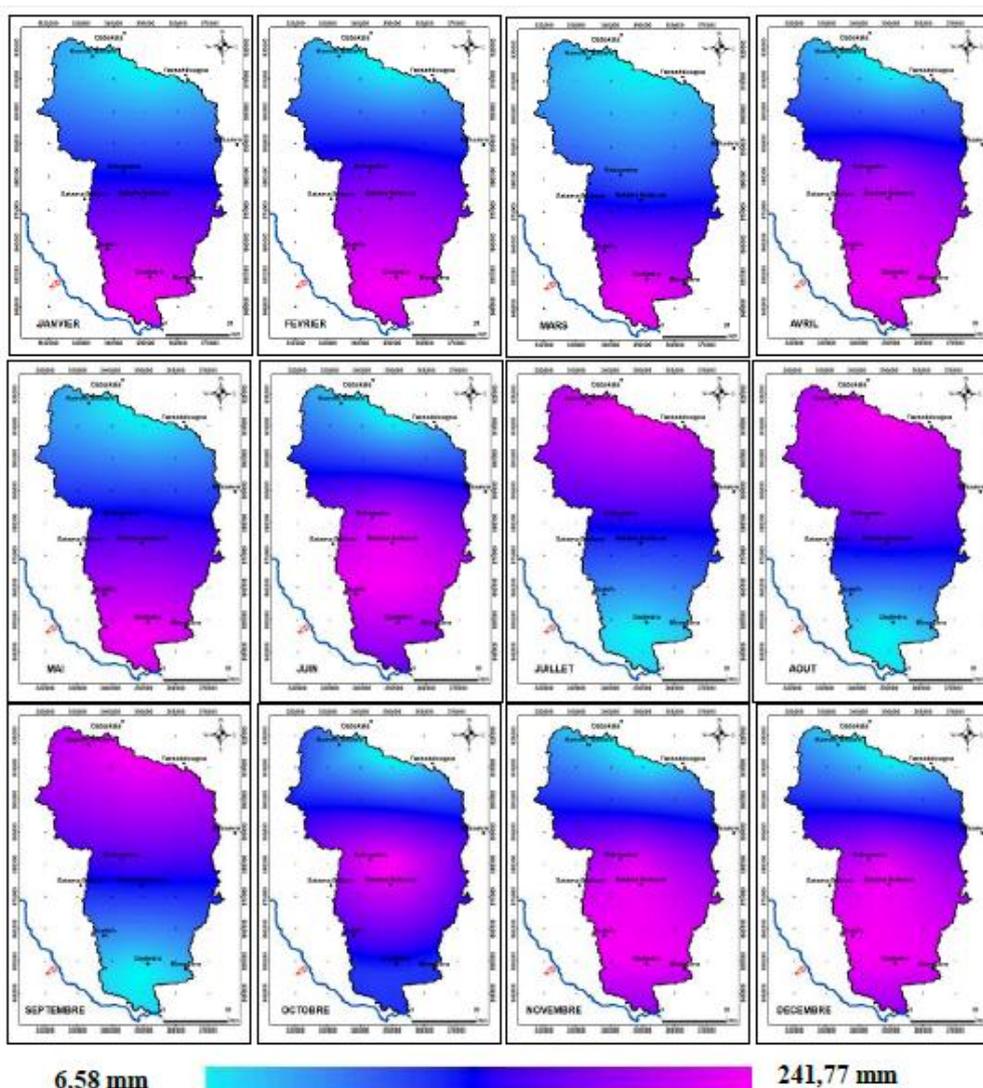


Fig 3 : Distribution spatiale moyenne mensuelle des précipitations du bassin versant du M'Bé sur la chronique 1979-2019

L'estimation des valeurs de l'ETP du bassin versant du M'Bé au pas de temps mensuel s'est effectuée à partir de la technique utilisant l'équation FAO de Penman-Monteith [10] (**Equation 1, 2,3,4**) implémentée dans le logiciel INSTAT+ sur une période de 40 ans, soit 1979 à 2019. Cette équation tient compte de l'albédo, la latitude et l'altitude, mais également, prend en compte les conditions climatiques locales, c'est-à-dire les moyennes mensuelles de température (°C), d'humidité relative (%), de durées d'insolation (minutes) et de vitesse du vent (m/s).

$$ETP = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (1)$$

Avec

$$\Delta = \frac{4098 e_{sat}(T)}{(T+237,3)^2} \quad (\Delta \text{ en kPa. } ^\circ\text{C}^{-1}, T \text{ en } ^\circ\text{C}) \quad (2)$$

$$\gamma = 0,665 \cdot 10^{-3} - P \quad (\gamma \text{ en kPa. } ^\circ\text{C}^{-1}) \quad (3)$$

$$P = 103,3 \cdot \left(\frac{293 - 0,0065 \cdot Z}{293} \right)^{5,26} \quad (P \text{ en kPa, } z \text{ l'altitude en m}) \quad (4)$$

Avec **ETP**, l'évapotranspiration potentielle en mm/j ou mm/h ; **R_n**, le rayonnement global en MJ/m²/j ou MJ/m²/h ; **G**, le flux de chaleur dans le sol par conduction en MJ/m²/j ou MJ/m²/h ; **T**, la température moyenne de l'air quotidienne à 2 m de hauteur (° C) ; **u₂**, la vitesse du vent à 2 mètres du sol en m/s ; **e_s** = **e_{sat}**, le déficit de pression de vapeur saturante (kPa) ; **e_a**, la pression de vapeur actuelle (kPa) ; **γ**, la constante psychrométrique (kPa /° C) ; **Δ** et **γ**, les constantes en kPa/°C ; **Δ**, la pente de la courbe de pression de vapeur (kPa /° C) ; **P**, la pression atmosphérique en kPa.

3.1.2 Base de données biophysiques

Le modèle utilise la carte de l'occupation de sol (**Fig 4c**) issue des images Sentinel 2A datant de 2019. La classification de ces images faites via la méthode de maximum de vraisemblance a permis d'obtenir cinq (5) classes de l'occupation de sol (forêt, savane, culture, eau et sol nu). Ces classes sont redistribuées selon quatre fractions de l'occupation de sol, utilisables par le modèle WetSpass-M afin de mieux paramétrer le ruissellement surface (les surfaces végétalisées, les sols nus, les eaux libres et les surfaces imperméables). L'on distingue les classes cultures, sols nus, forêts, savanes et eaux qui occupent respectivement 36,52%, 33,29%, 11,65%, 17,88% et 0,66% de la superficie du bassin versant du M'Bé. Un modèle numérique d'élévation (MNE) d'une résolution spatiale de 30 m en occurrence les images ASTER Global Digital Elévation Model (ASTER GDEM), ont été utilisées et sont issues du ministère de l'économie, du commerce et de l'industrie (METI) du Japon et la National Aeronautics and Space Administration (NASA) des États-Unis. Les cartes d'altitudes et de pentes sont issues de l'ASTER GDEM après des traitements sous le logiciel ArcGIS (**Fig 4a et 4b**). La carte de pentes a été élaborée en utilisant le module « Slope » dans ArcGIS 10.6. Mais avant, les zones de dépressions ont été comblées grâce à l'outil « Fill ». Ainsi, la pente varie de 0 et 37 degrés avec une moyenne 5,09 degrés et l'altitude moyenne atteint 216,92 m. La carte de texture de sol (**Fig 4d**) émane de l'esquisse pédologique du Nord-Est de la Côte d'Ivoire, réalisée par [11] à l'échelle 1/500 000 et téléchargeable via le site de la cartothèque de l'institut de recherche et de développement (IRD) : <http://sphaera.cartographie.ird.fr/>. Les textures de sol dominantes du bassin d'étude sont constituées des textures sablo-argileuses (52%), argilo-limoneuses (6,28%), limono-sablo-argileuses (26,47%) et argileuses (14,71%). Par ailleurs, le bassin dispose de valeurs de profondeur d'eau oscillant entre des valeurs inférieures à 11m et des valeurs supérieures à 37m.

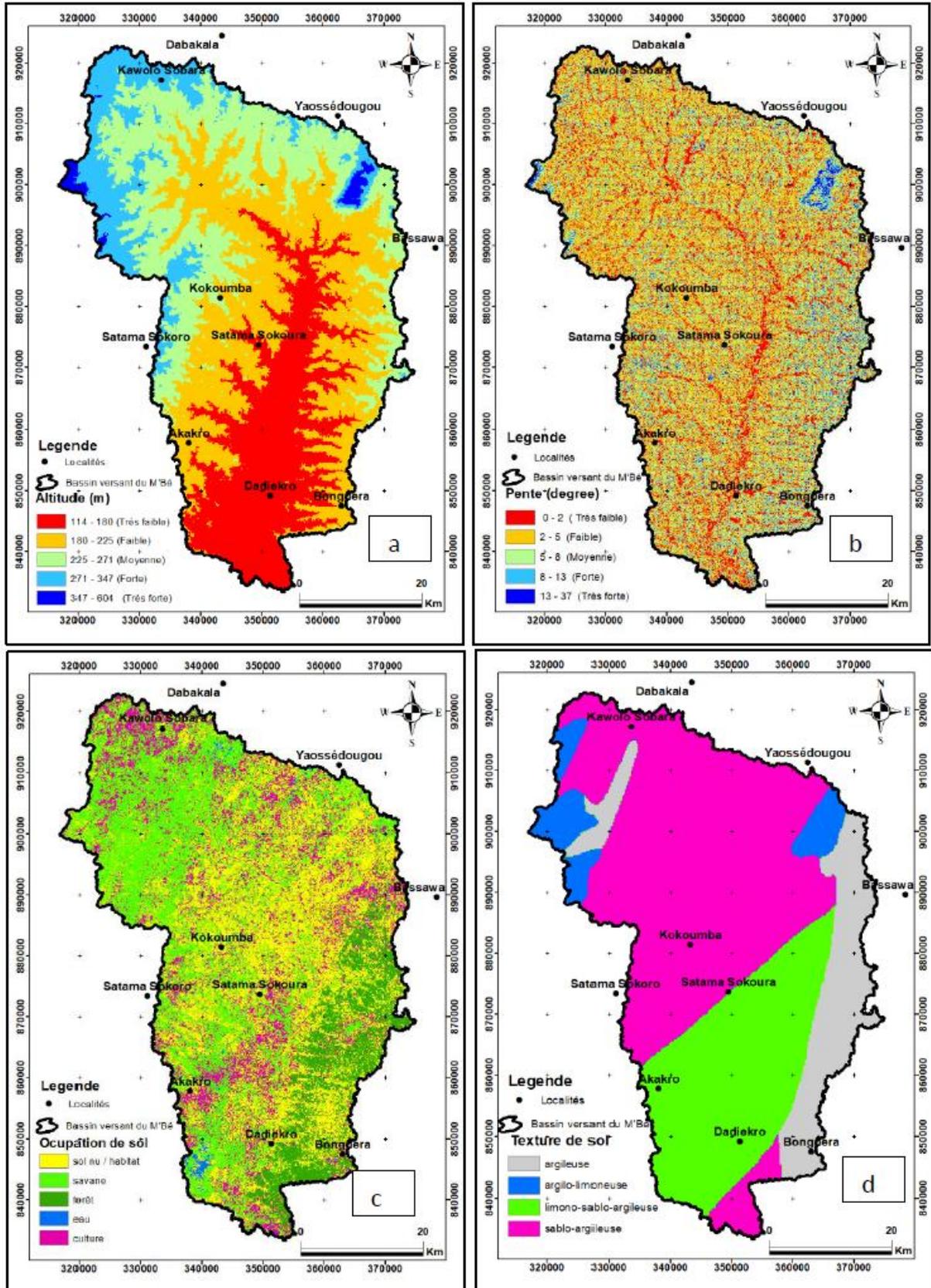


Fig 4 : a) Carte d'altitude ; b) Carte de pente ; c) Carte d'occupation de sol ; d) Carte de texture de sol

3.1.3 Matériel

Dans cette étude, le matériel informatique qui a servi au traitement des données est constitué de logiciels. Il s'agit du logiciel ArcGIS.10.2.2 qui a été exploité pour les analyses et restitutions cartographiques.

Les logiciels IMPACT-Toolbox et ENVI 5.3 pour le prétraitement et le traitement des images satellitaires. Quant au logiciel WetSpaas M, il a été utilisé pour la modélisation des composantes du bilan hydrique du bassin versant du M'Bé.

3.2. Méthode

3.2.1. Interception

L'interception mensuelle est considérée comme une fraction de la précipitation par rapport à l'occupation du sol. Dans le modèle WetSpaas-M, le calcul de l'interception totale est donné par l'équation 5.

$$I_m = P_m I_R \quad (5)$$

I_m : Interception [mm/mois] ; P_m : la précipitation mensuelle [mm/mois]. ; I_R : le rapport de l'interception, calculé à partir de l'équation d'interception introduite par [12].

3.2.2. Ruissellement de surface

Le modèle WetSpaas-M calcule le ruissellement de surface mensuel SR_m (mm/mois) en utilisant sur un pas de temps mensuel, deux coefficients d'écoulements. Le premier (C_{sr}) est un coefficient de ruissellement réel et le second (C_h) est un coefficient représentant les conditions d'humidité du sol (Equation 6).

$$SR_m = C_{sr} C_h (P_m - I_m) \quad (6)$$

SR_m est le ruissellement de surface mensuel (mm/mois) ;

C_{sr} est le coefficient de ruissellement réel ;

C_h est le coefficient d'humidité [13].

3.2.3. Evapotranspiration réelle

L'évapotranspiration mensuelle réelle totale par pixel (mm/mois) est calculée comme suit (Equation 7) :

$$ET_m = \alpha_v ET_v + \alpha_s ET_s + \alpha_o ET_o + \alpha_i ET_i \quad (7)$$

Avec, respectivement, la fraction de surface et l'évapotranspiration pour la zone de végétation $\alpha_v ET_v$; sol nu $\alpha_s ET_s$; eau libre $\alpha_o ET_o$; et la surface imperméable $\alpha_i ET_i$ ([7] ; [8]).

3.2.4. Recharge

WetSpaas-M calcule la recharge mensuelle [R_m (mm/mois)] comme le terme résiduel du bilan hydrique (Equation 8) :

$$R_m = P_m - SR_m - ET_m \quad (8)$$

Avec, R_m , la recharge mensuelle des eaux souterraines ; P_m , la précipitation mensuelle ; SR_m , le ruissellement de surface mensuel ; ET_m , l'évapotranspiration mensuelle [5].

4. RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1. Résultats du modèle WetSpaas-M

4.1.1. Taux d'interception

L'interception moyenne mensuelle dans le bassin versant du M'Bé, oscille entre **0,18 mm** en décembre et **0,36 mm** en septembre, avec une moyenne annuelle estimée à **3 mm**, soit un taux moyen mensuel de **0,23%** sur la chronique 1979 à 2019 (Tableau 1 ; Fig 6). La distribution spatiale de l'interception au cours des douze mois de la chronique 1979 à 2019 est plus marquée au Sud et à l'Est du bassin (la ceinture sud-est du M'Bé abritant les localités de **Bonguera**, **Dadiékro** et **Bassawa**), zone dominée par une présence de végétation. En saison sèche (**novembre à mars**), ce bassin enregistre un taux d'interception élevé (de **0,2 à 0,36 mm/mois**), alors qu'en saison pluvieuse (**avril à octobre**), il indique un taux d'interception faible (de **0,18 à 0,3 mm/mois**).

4.1.2 Ruissellement de surface

Le ruissellement de surface moyenne mensuelle du bassin est compris entre **0 mm** au mois de **janvier** à **104,46 mm** au mois de **septembre**, où les précipitations sont importantes (Tableau 1, Fig 6). En septembre, les fortes valeurs de ruissellement sont observées à l'extrême nord-ouest (zone de montagnes abritant les localités

de **Dabakala, Yaossédougou, Kawolo Sobara et Bassawa**) et à l'extrême est du bassin, dû à un sol à texture argileuse, pendant que le Sud-Ouest, marqué par la présence d'un sol à texture sablo-argileuse, enregistre un ruissellement de surface moins important. Durant la saison sèche (**novembre à mars**), le taux de ruissellement de surface est faible (de **0 à 15,53 mm/mois**) (**Tableau 3**). En revanche, en saison pluvieuse (**avril à octobre**), le bassin enregistre un taux de ruissellement de surface élevé (de **46,45 à 104,46 mm/mois**) (**Tableau 2**). Cependant, en octobre, la capacité d'infiltration des eaux du sol arrivant à saturation, ces mêmes zones ci-dessus citées connaissent d'avantage un très fort ruissellement. Le ruissellement de surface annuelle est estimé à **493 mm**, soit **38,7%** des précipitations annuelles (**Tableau 1**). Sur la chronique 1979 à 2019, la distribution spatiale des fortes valeurs de ruissellement est observée le long des parties est et ouest (zone de montagnes) du bassin. Ces zones sont caractérisées par des valeurs de pentes et d'altitudes élevées, de texture de sol argileux et de sols nus. Par ailleurs, le Sud du bassin est également impacté par ces fortes valeurs de ruissellement qui sont induites par la présence d'un étang d'eau.

4.1.3 Evapotranspiration réelle

L'évapotranspiration moyenne mensuelle dans le bassin versant du M'Bé varie de **4 mm en Janvier à 43 mm en mai** (**Tableau 1**). La distribution spatiale de l'évapotranspiration réelle dans le bassin versant du M'Bé est telle que durant la saison sèche (**novembre à mars**), le taux d'évapotranspiration est faible (de **4 à 39,06 mm/mois**) avec une moyenne estimée à **81,08 mm/mois** (**Tableau 2**). Durant cette saison sèche, le Sud du bassin paraît plus impacté par cette évapotranspiration. Par ailleurs, pendant la saison pluvieuse (**avril à octobre**), ce bassin enregistre un taux d'évapotranspiration élevé (de **29,66 à 43 mm/mois**) avec une moyenne estimée à **265,11 mm/mois** (**Tableau 3**). La zone la plus impactée par cette évapotranspiration est certes le Sud, cependant, au mois de juin, le Sud-Est paraît fortement impacté (**Fig 6**). La valeur de l'évapotranspiration moyenne annuelle est estimée à **346 mm/an**, soit environ **27,16%** des précipitations moyennes annuelles qui ne serviront pas à la recharge des eaux souterraines du bassin versant (**Tableau 1**).

4.1.4 Recharge réelle

La répartition spatiale de la recharge des eaux souterraines du bassin versant du M'Bé est illustrée à la **figure 5**. Ainsi, dans ce bassin, la recharge moyenne mensuelle oscille entre **1,83 mm en janvier et 99 mm en septembre** (**Tableau 1**). La recharge moyenne annuelle du bassin est estimée à **432 mm**, ce qui représente **33,91%** des précipitations moyennes annuelles utiles pour la recharge définitive des eaux souterraines du bassin, durant la chronique **1979-2019** (**Tableau 1**). En saison sèche (**novembre à mars**), les localités du Nord du bassin sont moins rechargées (de **1,83 à 13,31 mm/mois**), avec une moyenne estimée à **28,82 mm/mois** (**Fig. 5, Tableau 3**). Cette situation concerne les localités de **Kokoumba, Sokala Sobara, Dabakala et Yaossédougou**, la partie Est du bassin (localité de **Bonguera à Bassawa**). En revanche, pendant la saison pluvieuse (**avril à septembre**), de fortes valeurs de recharges sont observées (de **31,62 à 99 mm/mois**) avec une moyenne estimée à **403 mm/mois** (**Tableau 2**). Ces fortes valeurs de recharges occupent de manière plus importante la zone Sud et Est du bassin (ceinture sud-est), c'est-à-dire le long des localités **de Bonguera à Bassawa**, mais également de manière moins importante, l'ensemble des zones de plaines (**Fig 5**). Par ailleurs, la forte valeur de recharge observée au mois de **septembre (99 mm)**, serait induite par la présence de forêt, de sol à texture limono-sablo-argileuse, sablo-argileuse, de cultures et d'une forte intensité de pluie. Par contre, les zones de faibles recharges du bassin, seraient occasionnées par des sols à texture argileuse et argilo-limoneuse, des valeurs de pentes et altitudes élevées, et de sols nus.

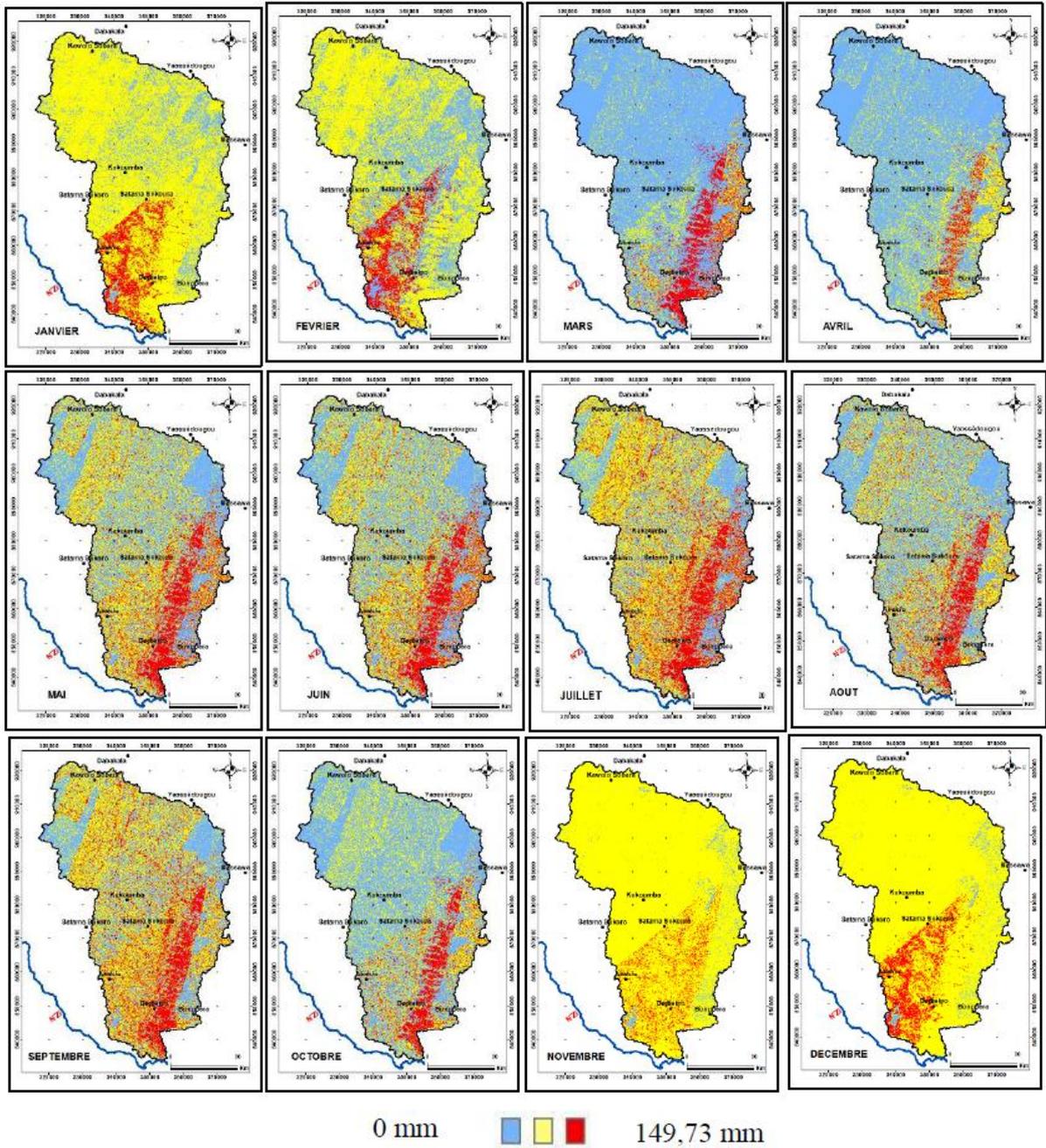


Fig 5: Distribution spatiale de la recharge réelle moyenne mensuelle du bassin versant du M'Bé sur la chronique 1979-2019

Tableau 1 : Bilan hydrique moyenne mensuelle et rapport entre la quantité de précipitation et les composantes du bilan hydrique sur la période 1979-2019

	Pt	Ecart type Pt	Int	Ecart type Int	Rt	Ecart type Rt	ETP réelle	Ecart type ETP	Re	Ecart type Re	Interception /Pt	Ruissellement /Pt	ETP réelle /Pt	Recharge /Pt
Janvier	6,1	0,5	0,1	0,29	0	0,48	4	6,68	2	2,41	1,63934426	0	65,5737705	32,7868852
Février	14,2	1,45	0,2	0,31	1	1,22	9	7,32	4	3,51	1,4084507	7,04225352	63,3802817	28,1690141
Mars	60,3	9,24	0,3	0,34	15	5,45	39	9,49	6	7,89	0,49751244	24,8756219	64,6766169	9,95024876
Avril	128,2	15,87	0,2	0,23	54	9,26	42	9,85	32	11,86	0,15600624	42,1216849	32,7613105	24,9609984
Mai	165,4	19,4	0,4	0,41	64	11,94	43	9,62	58	13,51	0,24183797	38,694075	25,9975816	35,0665054
Juin	146,3	16,99	0,3	0,35	57	10,25	39	8,98	50	11,88	0,2050581	38,961039	26,657553	34,17635
Juillet	136,3	15,34	0,3	0,35	52	9,94	32	7,33	52	9,9	0,22010271	38,1511372	23,4776229	38,1511372
Aout	197,2	17,16	0,2	0,23	92	11,69	29	6,77	76	10,7	0,10141988	46,653144	14,7058824	38,5395538
Septembre	243,4	23,07	0,4	0,41	105	15,95	39	7,97	99	14,35	0,16433854	43,1388661	16,0230074	40,673788
Octobre	126,03	15,55	0,3	0,35	47	9,09	42	8,54	37	10,06	0,23803856	37,2927081	33,3253987	29,3580893
Novembre	40,3	4,43	0,3	0,33	5	3,02	22	7,33	13	4,85	0,74441687	12,4069479	54,5905707	32,2580645
Décembre	10	0,79	0	0,2	1	0,73	6	6,88	3	2,8	0	10	60	30
Moy AN	1274		3		493		346		432		0,23	38,7	27,16	33,91

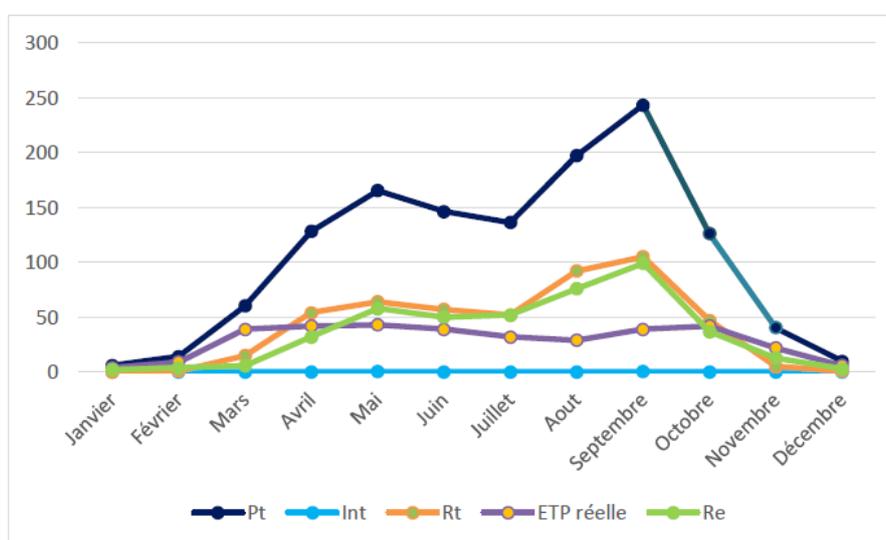


Fig 6 : Bilan hydrique moyenne mensuelle du bassin versant du M'Bé (1979-2019).

Avec **Pt** : Précipitation ; **In** : Interception ; **Rt** : Ruissellement de surface ; **ETP réelle** : Evapotranspiration réelle ; **Re** : Recharge réelle

Tableau 2 : Composantes du bilan hydrique en saison pluvieuse du bassin du M'Bé sur la chronique 1979-2019.

	Précipitation	Interception	Ruissellement	ETP réelle	Recharge
Avril	129,24	0,2	54,68	42,69	31,62
Mai	165,14	0,36	64,03	42,5	58,32
Juin	146,27	0,3	57,24	38,59	50,1
Juillet	136,17	0,3	52,11	31,52	52,1
Aout	198,38	0,2	92,46	29,66	75,81
Septembre	241,7	0,36	104,46	38,36	98,58
Octobre	125,03	0,3	46,45	41,79	36,47
Moy	1141,93	2,02	471,43	265,11	403

Tableau 3 : Composantes du bilan hydrique en saison sèche du bassin du M'Bé sur la chronique 1979-2019.

	Précipitation	Interception	Ruissellement	ETP réelle	Recharge
Janvier	6,58	0,27	0,16	4,16	1,83
Fevrier	16,28	0,28	1,01	9,91	4,98
Mars	58,45	0,3	15,53	39,06	5,58
Novembre	40,34	0,3	5,1	21,58	13,31
Decembre	10,34	0,18	0,44	6,37	3,12
Moy	131,99	1,33	22,24	81,08	28,82

4.2 Discussion

Cette étude a été élaborée afin d'utiliser le SIG modèle WetSpass-M pour évaluer la recharge des eaux souterraines, le ruissellement de surface et l'évapotranspiration du bassin versant de la rivière M'Bé (Centre Nord de la Côte d'Ivoire) sur la chronique 1979 à 2019 (**40 ans**). Le département de Dabakala étant une zone fortement agricole, mais également confrontée à des pénuries en eau potable, il est impérieux de mieux appréhender les zones de recharges potentielles de la nappe du bassin du M'Bé pour une planification et gestion efficace des eaux souterraines. La précipitation moyenne annuelle du bassin versant étant estimée à **1274 mm**, la distribution de cette ressource est telle que **432 mm** de pluie contribuent à la recharge de la nappe (soit **33,91%**), **346 mm** à l'évapotranspiration réelle (soit **27,16%**), **493 mm** au ruissellement de surface (soit **38,7%**) et **3 mm** à l'interception (soit **0,23%**). Dans ce bassin versant, l'essentiel de la recharge de la nappe a lieu durant la saison pluvieuse (**93,51%**) (**avril à octobre**), contre **6,48%** en saison sèche (**novembre à mars**). Par ailleurs, le mois de septembre étant le mois le plus pluvieux du bassin versant (**243,4 mm**), enregistre un fort taux d'interception (**0,4 mm**), de ruissellement (**104,46 mm**) et de recharge (**99 mm**) sur la chronique 1979 à 2019. Aussi faut-il ajouter qu'au mois de septembre, la zone Sud et Est (la ceinture sud-est) du bassin est fortement rechargé. Il ressort également que parmi les composantes du bilan hydrique au pas de temps annuel, le ruissellement de surface représente **38,7%**, soit **493 mm** des précipitations moyennes mensuelles du bassin, car c'est un bassin dominé par une présence de pentes et d'altitudes élevées mais également d'un sol à texture argileuse. Ce bassin présente une valeur élevée de l'évapotranspiration (**346 mm**, soit **27,16%**) en raison du couvert végétal moins important, constitué majoritairement de savanes, de cultures et de lambeaux de forêts. Différentes études antérieures utilisant le SIG modèle WetSpass-M ont permis d'évaluer les composantes du bilan hydriques ([2] et [6]) à l'échelle d'un bassin versant. Il s'agit dans les détails du bassin versant d'Osun au Nigeria [2] ou **27 %** des précipitations contribuent à la recharge de la nappe. Par contre, le reste est perdu par évapotranspiration (**43 %**), ruissellement de surface (**21 %**) et interception (**9 %**). La recharge du bassin d'Osun se produit sur les sols à texture sablo-limoneuse, de forêt, de sols nus et de cultures/arbustes. Dans le bassin de Drava en Hongrie [6], c'est environ **29 %** (soit **17 mm**) de ruissellement de surface, **27 %** (soit **16 mm**) d'évapotranspiration réelle et **44 %** (soit **25 mm**) de recharge des eaux souterraines. Cette recharge du bassin de Drava dépend de la topographie, de la pente, du type de sol, de l'occupation de sol, et des conditions hydroclimatiques. Dans le bassin versant du M'Bé, l'on pourrait affirmer que les fortes valeurs de ruissellement de surface associées à celles de l'évapotranspiration réelle observées, ont conduit à une diminution drastique des valeurs de recharge des eaux souterraines durant ces quarante (40) dernières années (soit **65,86%** des précipitations annuelles). En définitif, dans ce bassin versant du M'Bé, le SIG-modèle WetSpass-M simule bien les composantes du bilan hydrique au même titre que celles issues des différents bassins versant énumérés ci-dessus.

V. Conclusion

Dans le département de Dabakala en général, et en particulier le bassin versant du M'Bé, l'évaluation des zones potentielles de recharge est indéniable pour une planification et gestion des eaux souterraines tant pour l'alimentation en eau potable mais également pour l'agriculture. Ainsi, l'approche géospatiale d'évaluation de la recharge des eaux souterraines a été développée à travers le SIG modèle WetSpass-M en vue d'évaluer le bilan hydrique, notamment la recharge réelle du bassin versant du M'Bé. Ce modèle utilise en entrée, les paramètres hydroclimatiques et biophysiques spatialisés sous forme de couches à l'aide du SIG et les outils de télédétection. Ainsi, il ressort qu'au pas de temps mensuel, le mois de septembre apparaît comme le mois le plus pluvieux (**243,4 mm**) et enregistre un fort taux d'interception (**0,4 mm**), de ruissellement (**104,46 mm**) et de recharge (**99 mm**) sur la chronique 1979 à 2019. Par contre, le mois de mai représente le mois où l'évapotranspiration est plus élevée (**27, 16%**). Aussi, faut-il ajouter que durant le mois de septembre, le Sud et l'Est (la ceinture sud-est) sont fortement rechargées. Par ailleurs, dans ce bassin, l'essentiel de la recharge de la

nappe a lieu durant la saison pluvieuse (**93,51%**) (**avril à octobre**), contre **6,48%** durant la saison sèche (**novembre à mars**).

Le calcul du bilan hydrique au pas de temps annuel dans le département de Dabakala indique que sur **1274 mm** de pluie, environ **33,94%** (**soit 432 mm**) des précipitations contribuent à la recharge de la nappe, tandis que le reste est perdu par évapotranspiration (**27,16%**, soit **346 mm**), ruissellement de surface (**38,17%**, soit **493 mm**) et interception (**0,23%**, soit **3 mm**). L'on pourrait affirmer que ces fortes valeurs de ruissellement de surface associées à celles de l'évapotranspiration réelle, ont conduit à une diminution drastique des valeurs de la recharge des eaux souterraines dans le bassin durant ces quarante (40) dernières années. La distribution spatio-temporelle de la recharge au pas de temps mensuel et annuel offre un important outil d'aide à la décision pour optimiser la pratique des activités agricoles mais également les implantations de forages à gros débits tant dans le département de Dabakala que de M'Bahiakro.

VI. REMERCIEMENTS

A l'issue de ce travail, nous remercions le Docteurs KOUAME Kan Jean, actuel Directeur du CURAT et le Docteur DJE Kouakou de la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM) qui nous ont soutenu et guidé dans ces travaux

REFERENCES

- [1]. **A.M. KOUASSI**, Caractérisation d'une modification éventuelle de la relation pluie-débit et ses impacts sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant du N'Zi (Bandama) en Côte d'Ivoire. Thèse Univ. Cocody, Côte d'Ivoire, 2007, 210 p.
- [2]. **E. D. ASHAOLU, J. F. OLORUNFEMI, I. P. IFABIYI**, Assessing the spatio-temporal pattern of land use and land cover changes in Osun drainage basin, Nigeria. *j. environ. geogr.* 12 (1-2), 2020, 41-50.
- [3]. **M. ZAREI, R. GHAZAVI, A. VALI, K. ABDOLLAHI**, Estimating Groundwater Recharge, Evapotranspiration and Surface Runoff using Land-use data: A Case Study in Northeast Iran. *Biological Forum – An International Journal* 8(2), 2016, 196-202.
- [4]. **S M T. MUSTAFA, K. ABDOLLAHI, B. VERBEIREN, M. HUYSMANS**, Identification of the influencing factors on groundwater drought and depletion in north-western Bangladesh. *Hydrogeol J*, 2017. DOI 10.1007/s10040-017-1547-7.
- [5]. **K. ABDOLLAHI, I. BASHIR, B. VERBEIREN, M.R. HAROUNA, V. GRIENSVEN, M. HUYSMANS, AND O. BATELAAN**, A distributed monthly water balance model: Formulation and application on Black Volta Basin. *Environ. Earth Sci.* 76, 2017, 198. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-017-6512-1>.
- [6]. **A. SALEM, J. DEZS, M E. RAWY**, Assessment of Groundwater Recharge, Evaporation, and Runoff in the Drava Basin in Hungary with the WetSpa Model. *Hydrology*, 6, 23; 2019, Doi :10.3390/hydrology6010023.
- [7]. **O. BATELAAN, F. DE SMEDT**, WetSpa: a flexible, GIS based, distributed recharge methodology for regional groundwater modeling, vol 269. IAHS Publication, 2001, pp 11-18.
- [8]. **O. BATELAAN, AND F. DE SMEDT**, GIS-based recharge estimation by coupling surface-subsurface water balances. *Journal of Hydrology*, 337(3-4), 2017, 337-355, Doi: 10.1016/j.jhydrol.2007.02.001"
- [9]. **E.M. AMPE, I. VANHAMEL, E. SALVADORE, J. DAMS, I. BASHIR, L. DEMARCHI, O. BATELAAN**, Impact of urban land-cover classification on groundwater recharge uncertainty. *IEEE J Sel Top Appl Earth Obs Remote Sens* 99, 2012, 1-9.
- [10]. **R.G. ALLEN, L.S. PEREIRA, DR. AES, M. SMITH**, Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements—FAO irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome https://appgeodb.nancy.inra.fr/biljou/pdf/Allen_FAO_1998.pdf. Accessed February 2017.
- [11]. **A. PERRAUD, P. SOUCHERE**, Carte de l'esquisse pédologique de la Côte d'Ivoire au 1/500.000, 1969.
- [12]. **M.M. DE GROEN, H.H. SAVENIJE**, A monthly interception equation based on the statistical characteristics of daily rainfall. *Water Resour Res* 42(12), 2006, W12417. doi:10.1029/2006WR005013
- [13]. **A. BAHREMAND, F. DE SMEDT, J. CORLUIY, Y.B. LIU, J. POOROVA, L. VELCICKA, E.KUNIKOVA**, WetSpa model application for assessing reforestation impacts on floods in Margecany-Hornad Watershed, Slovakia. *Water Resour. Manag.* 21 (8), 2007, 1373-1391