

# IMPACT DE LA VARIABILITE DU CLIMAT SUR LA RECHARGE DE LA NAPPE DES AQUIFERES FRACTURES DU DEPARTEMENT DE MAN : (OUEST DE LA COTE D'IVOIRE)

A. TRAORE<sup>1</sup>, B. DIBI<sup>1</sup> ET T. D. SORO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire

\* Auteur correspondant : traor29@gmail.com

## RESUME

L'objet de cette étude est d'évaluer l'impact de la variabilité climatique sur la recharge de la nappe du département de Man. La méthode des polygones de Thiessen et celle de Thornthwaite ont été utilisées pour établir le bilan hydrologique. A partir des principaux paramètres de ce bilan, la recharge au niveau de chaque station (1961-2019) et de chaque sous-bassin (1980-2000) a été déterminée. L'application des indices centrés réduits aux séries pluviométriques (1961-2019) a mis en évidence une variabilité climatique caractérisée par une alternance de phases humides et sèches avec des fortes recharges en période humide et faibles en période sèche. Les résultats de cette étude ont montré également que le coefficient de ruissellement est autour de 14 % pour tous les sous-bassins et que les recharges déterminées par chaque sous-bassin varient de 191 à 457 mm. Comparativement au sous-bassin du N'zo (457 mm), on enregistre respectivement une réduction de la recharge dans les sous-bassins du Kô et du Kô et N'zo de 58,21 % et de 25,38 %. La variabilité climatique a entraîné systématiquement une baisse de l'alimentation des aquifères fracturés dans la zone d'étude. Les résultats acquis concourent à une meilleure compréhension de l'impact de la variabilité climatique sur la recharge de la nappe.

**Mots-clés** : variabilité climatique, recharge, méthodes statistiques, ressource en eau, département de Man, Côte d'Ivoire

## ABSTRACT

### IMPACT OF CLIMATE VARIABILITY ON GROUNDWATER RECHARGE IN FRACTURED AQUIFERS IN THE DEPARTMENT OF MAN: (WEST, COTE D'IVOIRE)

*The purpose of this study is to assess the impact of climate variability on groundwater recharge in the department of Man. The Thiessen polygon and Thornwaite methods were used to establish the water balance. From the main parameters of this balance, the recharge of each station and each sub-basin was determined from the period 1961-2019 and the period 1980-2000 respectively. The application of the centered reduced indices to the rainfall series (1961-2019) revealed a climatic variability characterised by alternating wet and dry phases with high recharges in wet periods and low recharges in dry periods. The results of this study showed that the runoff coefficient is around 14% for all sub-basins and that the recharges determined by each sub-basin vary from 191 to 457 mm. Compared to the N'zo sub-basin (457 mm), a reduction in recharge in the Kô and Kô and N'zo sub-basins of 58.21% and 25.38% respectively is recorded. Climatic variability has systematically led to a decrease in the recharge of fractured aquifers in the study area. The results obtained contribute to a better understanding of the impact of climate variability on groundwater recharge.*

**Keywords**: climate variability, recharge, statistical methods, water resources, department of Man

## INTRODUCTION

Les questions de variabilité climatique sont devenues ces dernières décennies une véritable préoccupation pour la disponibilité des ressources en eau. Cette variabilité a fait l'objet de plusieurs études aussi bien en Afrique de l'Ouest qu'en Côte d'Ivoire (Konin *et al.*, 2021). La région de l'Afrique de l'Ouest frappée de plein fouet par ce phénomène a connu une baisse importante des totaux pluviométriques annuels depuis la fin des années 1960 ou le début des années 1970 (Koné *et al.*, 2019). Malheureusement, cette baisse a eu des répercussions directes sur les ressources en eau de surface et les écoulements souterrains (Agbanou *et al.* 2018). Ainsi, elle s'est traduite par une sécheresse qui a provoqué un tarissement des cours d'eau et une baisse des niveaux piézométriques des nappes en Côte d'Ivoire (Bigot *et al.*, 2005) des puits captant les nappes phréatiques des couches d'altérites très sensibles aux fluctuations des cours d'eau en surface (Adja *et al.*, 2019).

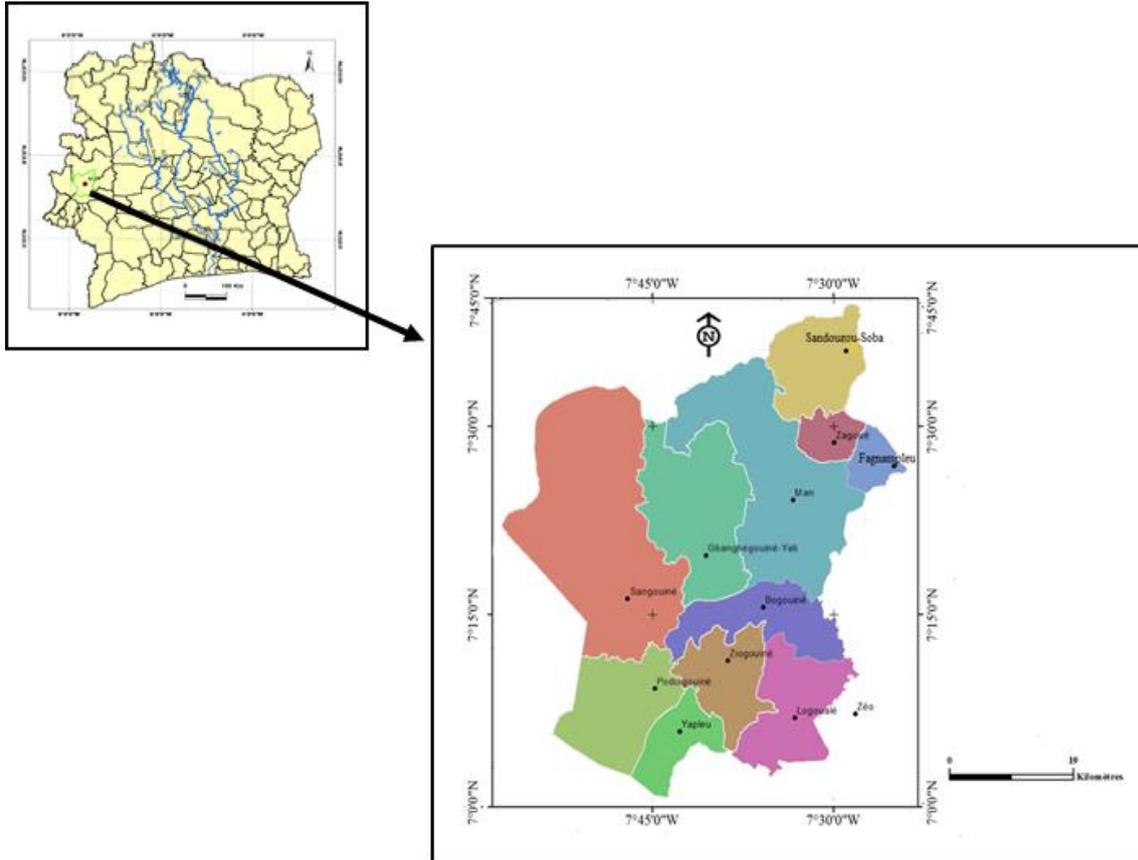
En Côte d'Ivoire, des études menées sur la variabilité climatique ont montré qu'une tendance à la sécheresse s'est manifestée à partir de la fin de la décennie 1960 (Bigot *et al.*, 2005). Le Nord fut affecté par cette variabilité climatique ensuite le Centre et enfin, le littoral. La région Ouest du pays n'est pas à l'abri de cette réalité car les travaux de Kouamé (2011) réalisés dans le bassin de N'zo ont montré l'importance de la variabilité climatique marquée par une tendance à la sécheresse qui s'est manifestée à partir du début de la décennie 1970. De plus, des études menées dans la région montagneuse de Man à laquelle appartient le département de Man ont fait cas de la variation des niveaux piézométriques dans les nappes suite à la rareté des pluies (Saley, 2003). Cette situation pourrait entraîner la diminution de la recharge des réservoirs souterrains (Adja *et al.*, 2019). Dès lors, la bonne connaissance de l'impact de la

variabilité climatique sur la recharge des nappes d'eau souterraine s'avère primordiale. Cette étude vise donc à évaluer l'impact de la variabilité climatique sur la recharge de la nappe des aquifères fracturés du département de Man.

## MATERIEL ET METHODES

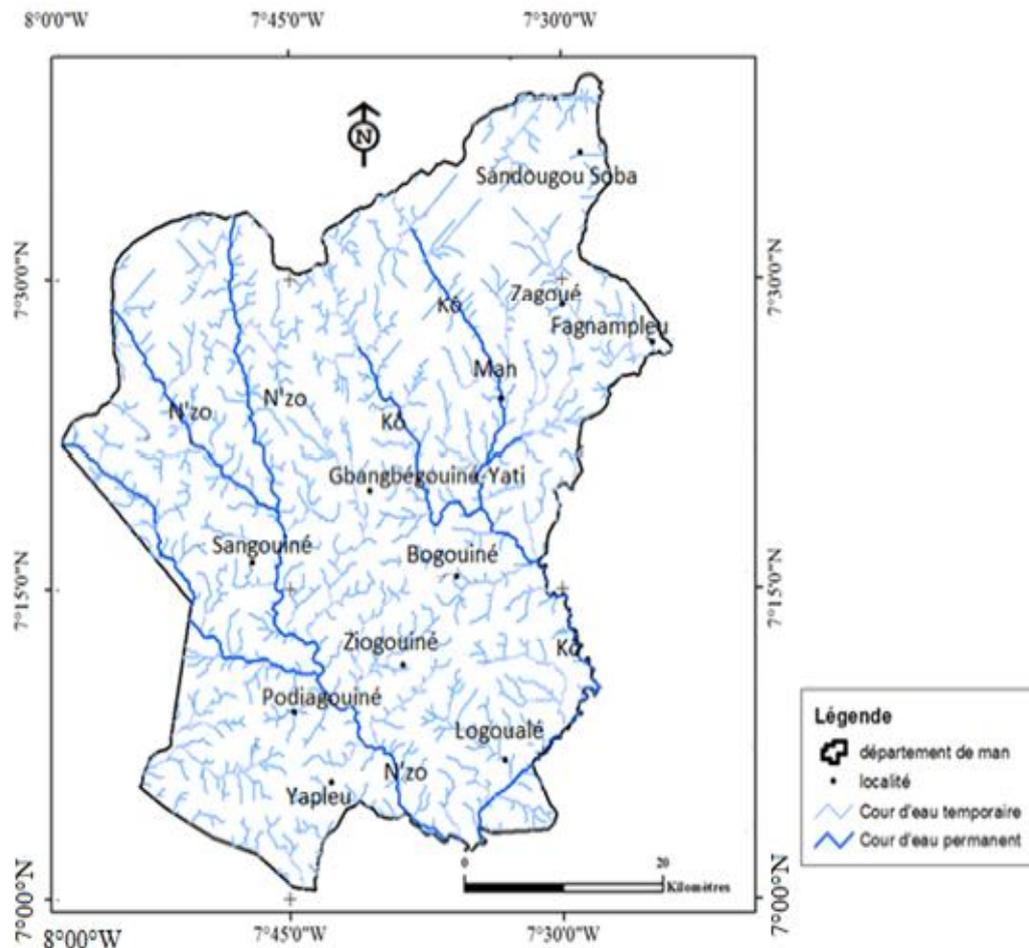
### PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Le département de Man (figure 1) est localisé dans la région Ouest de la Côte d'Ivoire. Il est compris entre 7°00' et 7°40' de latitude Nord et 7°20' et 7°60' de longitude Ouest. Il regroupe 11 sous-préfectures avec une population estimée à 334 166 habitants (INS, 2015) sur une superficie de 2593 km<sup>2</sup>. L'activité principale de cette population est l'agriculture (cultures pérennes de café, de cacao ; cultures vivrières). Le relief du département est très accidenté avec des sommets pouvant atteindre 1200 m d'altitude. Le climat très humide (1600 à 2500 mm/an) est caractérisé par deux saisons : une longue saison pluvieuse (8 mois) et une courte saison sèche (4 mois). La végétation comprend des forêts (forêts denses semi-décidues, forêts claires), des savanes (savanes boisées, aux savanes arborées, arbustives) et des forêts de montagnes herbeuses. Les activités anthropiques réduisent les surfaces végétales naturelles, par l'augmentation des surfaces cultivées ou exploitées (Kouamé, 2011). Le substratum est constitué de roches métamorphiques, surtout des gneiss, qui couvrent à elles seules plus de 90 % de la superficie totale (Djro, 1998). Le contexte hydrogéologique est représenté par les aquifères d'altérites situés au-dessus des aquifères de fissures (Kouamé, 1999). Le réseau hydrographique du département de Man (figure 2) est très dense avec deux principaux cours d'eau permanents qui sont le N'zo (Zoba) et le Kô (Man et Logoualé) et leurs affluents qui sont des cours d'eau temporaires.



**Figure 1** : Présentation de la zone d'étude (Département de Man).

*Presentation of the study area (Department of Man).*



**Figure 2 :** Réseau hydrographique du Département de Man.

*Hydrographic network of the Department of Man.*

## DONNEES ET MATERIEL

Dans cette étude, les données utilisées (pluie, température) au pas de temps mensuel ont été fournies par la Société de Développement et d'Exploitation Aéronautique et Météorologique (SODEXAM). Les données pluviométriques proviennent des stations de Man, Danané, Biankouma et Gbonné (1961-2019) soit 58 ans ainsi que de Facobly, de Kouibly, de Sipilou et de Bangolo (1980-2000) soit 20 ans. Les températures qui couvrent la période 1961-2019 et la période 1980-2000 proviennent de la station synoptique de Man.

Les données de débits (1980-2000) de deux stations hydrométriques (N'zo à Zoba et Kô à Logoualé) ont été fournies par le service de l'hydrologie du Ministère de l'hydraulique. Les logiciels utilisés sont Excel qui a permis de faire les études statistiques et les représentations

graphiques et ArcGIS10.0 pour les tracés de polygones de Thiessen et l'élaboration des cartes.

## METHODES

### ETUDE DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE

L'indice de Nicholson utilisé a été déterminé sur une période de 58 ans allant de 1961 à 2019. Les écarts pluviométriques des différentes stations ont été calculés à partir de la formule de Nicholson exprimée par l'équation 1 (Servat *et al.*, 1998) notée :

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{S} \quad (1)$$

avec :  $I_i$  = indice pluviométrique ;  $x_i$  = hauteur de pluie en mm de l'année  $i$  ;  $\bar{x}$  = hauteur de

pluie moyenne (mm) sur la période d'étude ; S = écart-type de la hauteur de pluie (ou débit) sur la période d'étude.

Ainsi la recharge a été évaluée sur les périodes « humides » et « sèches » à l'aide de la méthode de Thornthwaite afin de connaître l'effet de la variabilité climatique sur la recharge des aquifères fracturés du département de Man. Le coefficient de ruissellement n'a pas été calculé à cause de la disponibilité des données de débits qui se limitent à 20 ans (1980-2000). Ainsi, la valeur obtenue dans la littérature a été utilisée ; elle est de 15 %. selon les travaux de Lasm (2000) A insérer.

## BILAN HYDROLOGIQUE

Le bilan hydrologique a été établi à partir des méthodes combinées des polygones de Thiessen utilisées pour déterminer les pluies moyennes et de celle de Thornthwaite utilisée pour la détermination de l'Evapotranspiration Réelle (ETR). Les trois sous-bassins (Kô, N'zo puis Kô et N'zo) ont été considérés dans cette étude. Les principaux paramètres (la pluie moyenne, l'évapotranspiration réelle et la lame d'eau ruisselée) sont déterminés. L'équation du bilan hydrologique est :

$$P = ETR + I + R \quad (2)$$

Avec : P : Pluie moyenne annuelle sur la période considérée (mm) ; ETR : Evapotranspiration réelle de la période considérée (mm) ; I : Lame d'eau infiltrée (mm) ; R : Lame d'eau ruisselée sur la période considérée (mm).

## DETERMINATION DU COEFFICIENT DE RUISELLEMENT

### Calcul de la pluie moyenne

La pluie moyenne a été déterminée à l'aide de

$$P \text{ moy} = ETR + He + I \iff I = P \text{ moy} - (ETR + He) \quad (6)$$

## RESULTATS

### VARIABILITE TEMPORELLE DES PRECIPITATIONS

L'analyse de l'évolution des indices (figure 3) montre une alternance de période humide et de période sèche. Les caractéristiques de ces périodes sont consignées dans le tableau 1.

la méthode des polygones de Thiessen appliquée au niveau des sous-bassins N'zô (Zoba), Kô (Logoulé) puis Kô et N'zo. La pluie moyenne (P moy) est traduite par l'expression ci-dessous :

$$P \text{ moy} = \frac{\sum P_i \times S_i}{S} \quad (3)$$

Pi : Hauteur de pluie enregistrée à la station. i (mm) ; Si : Surface d'influence de la station i (km<sup>2</sup>) ; S : Surface totale de la zone en question (km<sup>2</sup>).

### Calcul des lames d'eau écoulée

A l'aide des données de débits mensuels annuels des cours d'eau (Kô et N'zo), nous avons déterminé la lame d'eau écoulée de chaque sous-bassin avec l'expression suivante utilisée par Kouadio (2011) :

$$He = \frac{365 \times 86,4 \times Q}{S} \quad (4)$$

Où, He : la lame annuelle écoulée (mm) ; Q : module (m<sup>3</sup>/s) ; S : superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>) et 365 x 86,4 : coefficient relatif au temps en secondes dans l'année.

### Calcul du coefficient de ruissellement

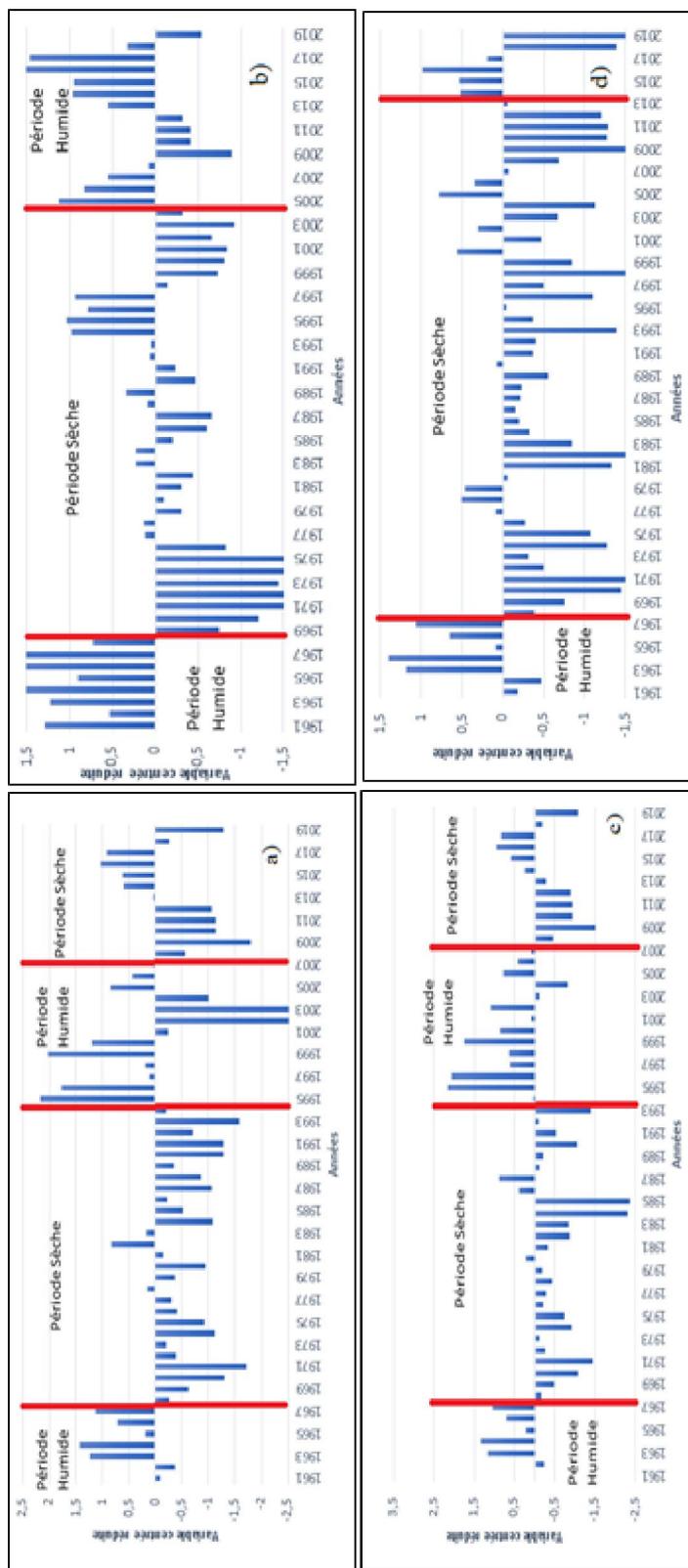
Le coefficient de ruissellement (Kr) s'obtient à l'aide de l'expression de l'équation suivante utilisée par Kouadio (2011) :

$$K_r = \frac{He}{P_{\text{moy}}} \quad (5)$$

### Evaluation de la recharge par sous-bassin

Le bilan hydrologique de la méthode de Thornthwaite a été utilisé pour déterminer la pluie moyenne au niveau de chaque sous-bassin. Puis, la recharge a été évaluée par sous-bassin à l'aide de la formule suivante :

L'ensemble des graphes montre une baisse de la pluviométrie dans le département de Man à partir des années 1968 pour les stations de Man, de Gbonné et de Biankouman avec une reprise à partir de 2008 pour les stations de Man et Gbonné. Pour la station de Danané, elle débute à partir des années 1969. Cette baisse de la pluviométrie réduit les apports d'eau dans le milieu souterrain.



**Figure 3 :** Evolution interannuelle de la pluie des stations de Man (a), Danané (b), Gbonné (c) et Biankouma (d) avec les indices centrés réduits des hauteurs de pluies annuelles.

*Interannual evolution of the rainfall of the stations of Man (a), Danané (b), Gbonné (c) et Biankouma (d) with the reduced centred indices of the annual rainfall amount.*

**Tableau 1** : Caractéristiques des périodes humides et sèches (1961-2019).

*Characteristics of wet and dry periods (1961-2019).*

	Station Man	Station Danané	Station Gbonné	Station Biankouma
Période humide	1961-1967	1961-1968	1961-1967	1961-1967
Moy (mm)	1693,42	2358,25	1478,85	1673,43
Excédent (mm)	97,93	236,81	75,06	94,01
Période sèche	1968-1994	1969-2004	1968-1994	1968-2013
Moy (mm)	1555,51	2030,25	1347,45	1566,19
Déficit (mm)	39,98	91,19	56,34	13,23
Période humide	1995-2007	2005-2019	1995-2007	2014-2019
Moy (mm)	1644,96	2214	1517,86	1576,07
Excédent (mm)	49,47	92,56	114,07	-
Période sèche	2008-2019	-	2008-2019	-
Moy (mm)	1574,68		1363,19	
Déficit (mm)	20,81		40,6	
Moy. An. 1961-2019	1595,4	2121,44	1403,79	1579,42

Les infiltrations efficaces (recharges) déterminées selon les périodes humides et sèches des différentes stations sont consignées dans les tableaux 2 et 3. Ces résultats montrent les variabilités de la recharge en fonction des hauteurs des précipitations. Les recharges des périodes humides sont plus élevées que celles

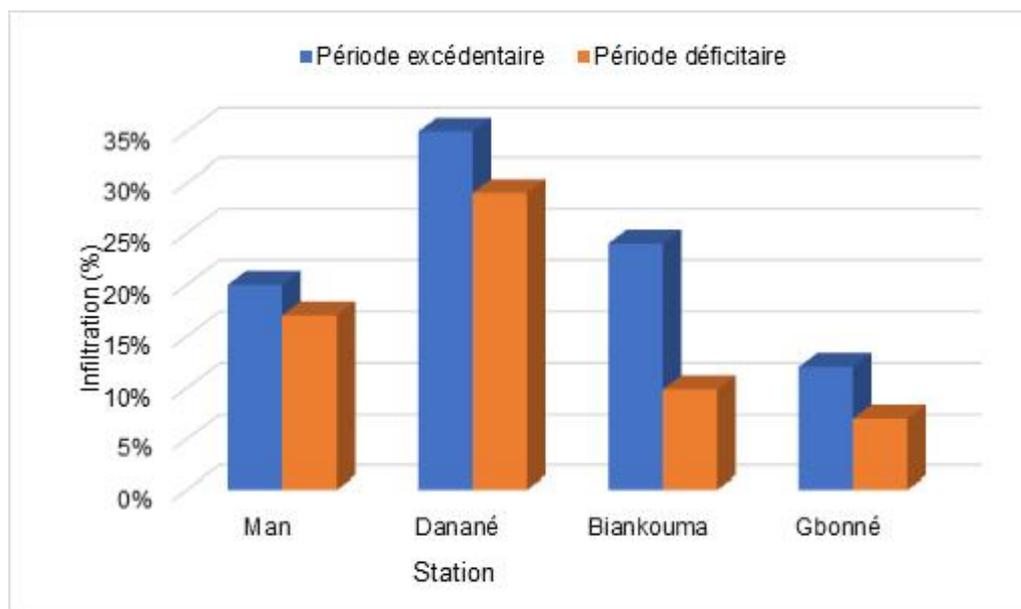
des périodes sèches (figure 4) au niveau des différentes stations. Ce qui révèle l'impact des précipitations sur la recharge de la nappe des aquifères fracturés du département de Man ; d'où l'impact de la variabilité climatique sur la recharge de ladite nappe.

**Tableau 2** : Résultats de la lame d'eau ruisselée, de l'infiltration efficace et du coefficient de ruissellement au niveau des stations de Man et Gbonné (1961-2019).  
*Results of runoff, effective infiltration and runoff coefficient of Man and Gbonné stations (1961-2019).*

Stations	Station de Man				Station de Gbonné				
	Période excédentaire	1995-2007	1968-1994	2008-2019	Période excédentaire	1961-1967	1995-2007	Période déficitaire	2008-2019
Années	1960-1967	1995-2007	1968-1994	2008-2019	1961-1967	1995-2007	1968-1994	2008-2019	
Pluie moyenne (mm)	1693,43	1644,93	1555,47	1574,69	1478,84	1517,83	1347,44	1363,17	
Lame d'eau écoulée (mm)	254,01	246,74	233,32	236,20	221,83	227,67	2020,12	204,48	
Coefficient de ruissellement (Kr)	15 %	15 %	15 %	15 %	15 %	15 %	15 %	15 %	
ETP (mm)	1240,88	1317,98	1280,92	1359,48	1240,88	1317,98	1280,92	1359,48	
ETR (mm)	1007,50	1175,26	1035,00	1092,51	1034,35	1152,40	1061,66	1053,07	
	431,92	222,93	287,15	245,98	222,66	137,76	83,66	105,62	
Infiltration efficace (mm)	327	267	180	95	180	95	95	95	
	20 %	17 %	12 %	7 %	12 %	7 %	7 %	7 %	

**Tableau 3** : Résultats de la lame d'eau ruisselée, de l'infiltration efficace et du coefficient de ruissellement au niveau des stations de Danané et Biankouma (1961-2019).  
*Results of runoff, effective infiltration and runoff coefficient of Danané and Biankouma stations (1961-2019).*

Stations	Station de Danané				Station de Biankouma				
	Période excédentaire	2005-2019	1969-2004	1961-1967	Période excédentaire	2014-2019	1968-2013	Période déficitaire	1968-2013
Années	1961-1968	2005-2019	1969-2004	1961-1967	2014-2019	1968-2013	1968-2013		
Pluie moyenne (mm)	2358,26	2214,00	2030,24	1673,39	2030,25	1576,07	1576,07		
Lame d'eau écoulée (mm)	353,74	332,10	304,54	251,01	304,54	236,41	236,41		
Coefficient de ruissellement (Kr)	15 %	15 %	15 %	15 %	15 %	15 %	15 %		
ETP (mm)	1244,10	1344,56	1293,90	1240,88	1294,09	1396,47	1396,47		
ETR (mm)	1124,34	1180,12	1145,16	1099,48	1145,35	1186,25	1186,25		
	880,18	701,78	580,54	322,9	580,36	153,41	153,41		
Infiltration efficace (mm)	791	581	452	452	452	153	153		
	35 %	29 %	24 %	24 %	24 %	10 %	10 %		



**Figure 4** : Diagramme comparatif des recharges par période des stations (1961-2019).

*Comparative diagram of recharges by period of the stations (1961-2019).*

#### BILAN HYDROLOGIQUE

Le bilan hydrologique a été établi au niveau des sous-bassins de la zone d'étude sur la période de 1980 à 2000 soit sur 20 ans. Il a commencé par la détermination des termes du bilan.

#### Détermination des termes du bilan et de la lame d'eau infiltrée

Le tableau 4 et le tableau 5 présentent respectivement les valeurs de pluie moyenne qui varient de 1564,80 mm à 1758,60 mm avec une moyenne de 1665,93 mm et celles des ETR et

des excédents. Ces excédents au niveau des trois sous-bassins (Kô, N'zo puis Kô et N'zo) sont respectivement de 470,84 mm, 652,8 mm et 573,8 mm soit une moyenne de 565,81 mm. Cette valeur moyenne de l'excédent (P-ETR) constitue 33,96 % des précipitations moyennes annuelles (1665,93 mm). Le tableau 6 montre que les trois sous-bassins précités enregistrent respectivement un coefficient de ruissellement de 17,87 % (279,74 mm), de 11,13 % (165,87 mm) et 13,89 % (232,63 mm) avec une recharge de 191 mm ; 457 mm et 341 mm. La plus forte valeur de recharge concerne le N'zo et la plus petite le Kô.

**Tableau 4** : Valeurs de la pluie moyenne des sous-bassins (1980-2000).

*Average rainfall values of the sub-basins (1980-2000).*

Sous-bassins	Stations	Superficie Si (Km <sup>2</sup> )	Pi.Si	Pmoy (mm)
Kô	Man, Biankouma, Facobly, Bangolo, Kouibly, Gbonné	1529,4	2393163,31	1564,80
N'zo	Man, Danané, Biankouma, Bangolo, Sipilou, Facobly	1952,21	3433156,51	1758,60
Kô et N'zo	Man, Danané, Biankouma, Bangolo, Gbonné, Sipilou, Facobly, Kouibly	3482,77	5831451,32	1674,40
Moyenne				1665,93

**Tableau 5** : Résultats des ETR des trois sous-bassins de N'zo (1980-2000).*Results of the RET of the three N'zo sub-basins (1980-2000).*

Sous-bassins	P moy (mm)	ETR (mm)	P-ETR (mm)
Kô	1564,80	1093,96	470,84
N'zo	1758,60	1105,80	652,8
Kô et N'zo	1674,40	1100,60	573,8
Moyenne	1665,93	1100,12	565,81

**Tableau 6** : Résultats de la lame d'eau ruisselée, de l'infiltration efficace et du coefficient de ruissellement au niveau de chaque sous-bassin (1980-2000).*Results of runoff, effective infiltration and runoff coefficient at each sub-catchment level (1980-2000).*

Sous-Bassins	Kô (logoualé)	N'Zo (zoba)	Kô & N'Zo	Moyenne
Superficie (km <sup>2</sup> )	1529,40	1952,21	3482,77	2321,46
Pluie moyenne (mm)	1564,80	1758,60	1674,40	1665,93
ETR (mm)	1 093,96	1 105,80	1 100,60	1100,12
Lame d'eau écoulée (He)	279,74.	195,87	232,63	236,08
Kr (%)	17,87	11,13	13,89	14,29
Infiltration efficace (mm)	191	457	341	329,67
% réduction de recharge	58,21	-	25,38	

## DISCUSSION

Les représentations graphiques des indices de Nicholson montrent que la baisse de la pluviométrie est observée à partir de l'année 1968 en période sèche aux stations pluviométriques de Man, de Gbonné et de Biankouma sauf celle de Danané qui a débuté en 1969. Cette tendance à la baisse des pluies a été mise en évidence par Gnamba *et al.* (2020) dans la région de Katiola à l'aide des indices de Nicholson et le test d'homogénéité de Pettitt à partir de 1969 (période sèche 1969-2013). Les travaux réalisés dans le Sud, le Nord et l'Ouest de la Côte d'Ivoire par Oga *et al.* (2016), Soro (2014) et Kouamé (2011) ont respectivement abouti à la même conclusion à savoir, un déficit pluviométrique (1968-1982), après les années 1960 et dans la décennie 1961-1970. En Afrique de l'Ouest et en Afrique Centrale, cette tendance à la baisse de la pluviométrie accompagnée du début de la sécheresse est confirmée par certains auteurs (Servat *et al.*, 1999 ; Gnamba *et al.*, 2020) aux alentours de 1969-1970 précisément en Afrique de l'Ouest.

Les faibles et fortes recharges des aquifères fracturés du département de Man obtenues respectivement en période sèche et humide sur la période (1961-2019) sont confirmées par les

travaux de Assémian *et al.*, 2018 sur les aquifères de socle du département de Dimbokro. Ces auteurs ont trouvé les recharges de 202 mm en période humide (1920-1968) et de 141 mm en période sèche (1969-2013) soit une réduction de 30,69 %. Dans l'ensemble, ces recharges sont nettement inférieures à celles trouvées dans cette étude. Cela s'explique par le fait que la zone de l'ouest montagneux a une forte pluviométrie.

La valeur de la recharge dans le sous-bassin de N'zo comparée à celles du sous-bassin de Kô puis et de Kô et N'zo nous indique que ces recharges ont respectivement chuté de 58,21 % et de 25,38 %. La baisse de la pluviométrie influence la recharge des eaux souterraines. C'est le cas du sous-bassin de N'zo où la forte pluviométrie de 1758,60 mm a conduit à l'obtention de la plus forte recharge (457 mm/an). La corrélation entre les pluviométries et les recharges dans les différentes périodes (excédentaire et déficitaire) a été mise en évidence par Assémien *et al.* (2018) au niveau de Dimbokro. Ces derniers ont montré que la recharge en période humide est de 202 mm/an) et en période sèche de 141 mm/an. La valeur de la recharge moyenne au niveau des 3 sous-bassins (N'zo à Zoba, Kô à Logoualé, Kô et N'zo) est estimée à 329,67 mm. Cette valeur est statistiquement identique à celle obtenue par

Kouassi *et al.* (2014) au cours de l'année 2006 au niveau de la nappe d'Abidjan (324 mm/an), par Saley (2003) dans la région de Man (375 mm/an) et par Hung *et al.* (2018) au Vietnam (340 mm/an). Elle est cependant supérieure à celles déterminées par Kouamé (2011) qui sont respectivement 114 mm et 266 mm/an dans le bassin de N'zo et dans le secteur d'Abidjan. Mais, elle est très supérieure à celles obtenues respectivement par Oularé (2015) dans le bassin de N'zo (0 à 80 mm/an), par Gieske *et al.* (1995) dans le Kalahari à Botswana (9 à 22 mm/an) et Leduc *et al.* (1996) à Niamey au Niger. Les différences pourraient être attribuées aux différentes méthodes adoptées pour l'estimation de la recharge (Hung *et al.*, 2018) ainsi qu'à la multiplicité des conditions topographiques, climatiques et biologiques (Gieske *et al.*, 1995 ; Leduc *et al.*, 1996).

## CONCLUSION

Cette étude a permis d'obtenir plusieurs résultats. L'indice de Nicholson a mis en évidence la baisse de la pluviométrie au niveau des quatre (4) stations précitées pendant la saison sèche qui a débuté dans les années 1968. A l'aide de la méthode des polygones de Thiessen, le coefficient de ruissellement déterminé au niveau des trois sous-bassins est estimé à environ 14 %. La recharge au niveau de chaque station pluviométrique (1961-2019) au cours des périodes humides et sèches ainsi que chaque sous-bassin (1980-2000) a été évaluée. Les recharges varient de 191 à 457 mm avec une forte valeur de recharge dans le N'zo et une faible valeur dans le Kô. Une réduction respective de la recharge est observée au niveau du Kô puis de Kô et N'zo de 58,21 % et de 25,38 %.

## REFERENCES

- Adja M. G., Djemin J. E., N'dri F. O., Kouame F. K., Biemi J. 2019. Contribution des modèles hydrologiques et des SIG à l'étude de l'impact de la variabilité climatique et du changement de l'occupation du sol sur les ressources en eau du bassin versant de la Volta en Côte d'Ivoire. *International Journal of Innovation and Applied Studies* ISSN 2028-932 Vol. 26, (No. 2) : pp. 652-667 (C) 2019 Innovative Space of Scientific Research Journals <http://www.ijias.issr-journals.org/>
- Agbanou, T. B., Abdoulaye, D., Sabi Orou Bogo, G. A., Paegelow, M. et Tente, B. 2018. Variabilité pluviométrique et son impact sur le couvert végétal dans le secteur Natitingou-Boukombé au nord-ouest du Bénin. *Afrique Science*, Vol. 14, N° 3, pp. 182-191.
- Ahoussi, K. E. 2008. Evaluation quantitative et qualitative des ressources en eau dans le Sud de la Côte d'Ivoire. Application de l'hydrochimie et des isotopes de l'environnement à l'étude des aquifères continus et discontinus de la région d'Abidjan-Agboville. Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody-Abidjan (Côte d'Ivoire), 270 p.
- Aranyosy J.-F., Gaye C.-B. 1995. La recherche du pic de tritium thermonucléaire en zone non saturée profonde sous climat semi-aride pour la mesure de la recharge des nappes : première application au Sahel, C. R. Acad. Sci. Paris, série II 315 (1992) 637-643.
- Assémian E. A., Kanga M. H. K., Kouassi K., Yao J. J. K., Koffi E. B. 2018. Analyse des variations de la recharge des eaux souterraines du socle de Dimbokro, zone tropicale humide du centre-est de la Côte d'Ivoire, face au changement climatique. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 31 (2018) 84 - 107
- Bigot S., Brou Y. T., Oszwald J., Diedhiou A. 2005. Facteurs de la variabilité pluviométrique en Côte d'Ivoire et relations avec certaines modifications environnementales. *Sécheresse*, Vol.16, N°1, 5-13.
- Djro S. C. 1998. Evolution tectono-métamorphiques des gneiss granulitiques archéens du secteur de Biankouma. Thèse de Doctorat d'Etat, és Sciences Naturelles. Université de Cocody. Abidjan, (Côte d'Ivoire), 171 p.
- Gieske A., Selaolo E.T., Beekman H.E. 1995. Tracer interpretation of moisture transport in a Kalahari sand profile, in : Adar E.M., Leibundgut C. (éds), *Application of tracers in arid zone hydrology*, AISH publ. n° 232, Wallingford, GB, 1995, pp. 373-382.
- Gnamba F. M., Kpan O. J. G., Yapi A. F., Oga Y. M. S. 2020. Variabilité pluviométrique dans la région de Katiola au Nord de La Côte D'Ivoire (Afrique de l'Ouest). *European Scientific Journal*, ESJ ISSN: 1857-7881 (Print) e - ISSN 1857-7431 November 2020 édition Vol.16, (N° 33) : pp. 1-20.
- Hung Vu V. and Broder J.Merkel. 2018. Estimating groundwater recharge for Hanoi, Vietnam. *Science of the Total Environment* 651 (2019) 1047-1057.

- INS (Institut National de la Statistique) 2015. Répertoire des localités/ : Région du Tonkpi, 26 p.
- Koné S., Bamba S. B., Ouattara I., Diallo S., Kamagaté B. 2019. Variabilités et tendances des paramètres hydroclimatiques dans le bassin versant de la Rivière Banco au Sud de la Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal* September 2019 edition Vol.15, No.27 ISSN : 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431
- Konin N. J. C., N'go Y. A., Soro G. E., Ya K. F., et Goula B. T. A. 2021. Influence des facteurs hydro-morphostructuraux sur les inondations du bassin versant du fleuve sanpedro, Côte d'Ivoire. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 37 (2021) 106 - 122. ISSN 1813-3290, <http://www.revist.ci>
- Kouadio Z. A. 2011. Dynamique de l'occupation du sol et comportement hydrologique : cas des bassins versants côtiers de l'Agnéby et du Boubo (Cote d'Ivoire). Thèse de Doctorat en Sciences et Gestion de l'Environnement, Université d'Abobo-Adjamé, Abidjan, (Côte d'Ivoire). 167p.
- Kouamé, K. F. 2011. Influences de la variabilité climatique et de la dégradation environnementale sur le fonctionnement de l'hydrosystème du N'Zo dans la région guinéenne humide et semi montagneuse de la Côte d'Ivoire. Contribution de la télédétection, des Systèmes d'Informations Géographiques et du modèle hydrologique HYDROTEL. Thèse de Doctorat d'État ès Sciences Naturelles. Université de Cocody, Abidjan, (Côte d'Ivoire), 374 p.
- Kouamé K. F. 1999. Hydrogéologie des régions de montagne : apports des données de télédétection et des méthodes statistique et fractale à l'élaboration d'un Système d'Informations Hydrogéologiques à Référence Spatiale des aquifères discontinus du secteur Man-Danané (Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat 3<sup>e</sup> Cycle. Université de Cocody, Abidjan, (Côte d'Ivoire), 210 p.
- Kouassi A. K. ; Kouassi F. W. ; Mangoua J. O. M. ; Savané I. 2014. Modèle conceptuel de l'aquifère du Continental Terminal d'Abidjan. *Hydrology in a Changing World : Environmental and Human Dimensions Proceedings of FRIEND-Water 2014*, Montpellier, France, October 2014 (IAHS Publ. 363, 2014).
- Lasm, T. 2000. Hydrogéologie des réservoirs fracturés de socle : Analyses statistique et géostatistique de la fracturation et des propriétés hydrauliques. Application à la région des montagnes de Côte d'Ivoire (domaine Archéen). Thèse de doctorat unique, Université de Poitier, (France), 274p.
- Leduc C., Taupin J.-D., Le Gal La Salle C. 1996. Estimation de la recharge de la nappe phréatique du Continental terminal (Niamey, Niger) à partir des teneurs en tritium, C. R. Acad. Sci. Paris, série lia 323 (1996) 599–605.
- Oularé S. 2015. Simulation du contrôle de la recharge, de la conductivité hydraulique et de la topographie sur les écoulements souterrains et la surface libre de la nappe dans le bassin versant du N'zo à Kahin (Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat à l'Université Felix Houphouët Boigny, Cocody, Abidjan, (Côte d'Ivoire), 157 p.
- Saley M. B. 2003. Système d'informations à référence spatiale, discontinuités pseudo-images et cartographies thématiques des ressources en eau de la région semi-montagneuse de Man (Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université de Cocody, Abidjan, (Côte d'Ivoire), 209 p.
- Servat E., Paturel J. E., Kouamé B., Travaglio M., Ouedraogo M., Boyer J. F., Lubès-Niel H., Fritsch J. M., Masson J. M. et Marieu B. 1998. Identification, caractérisation et conséquences d une variabilité hydrologique en Afrique de l'Ouest et Centrale. *IAHS Publication*, n°252, pp. 323-337.
- Servat, E., Paturel, J. E., Lubès, N. H., Kouamé, B., Masson, J. M., Travaglio, M. et Marieu, B. 1999. De différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne. *Revue des Sciences de l'Eau*, vol.12, n°2, pp.363-387.
- Soro T. D. 2014. Evolution des ressources en eau du bassin versant du Haut Bandama à Tortiya (Nord de la Côte d'Ivoire) dans un contexte de variabilité et de changement climatiques : impacts hydrologiques, hydrogéologiques et hydrochimiques. Thèse de Doctorat à l'Université Félix Houphouët Boigny Cocody, Abidjan, (Côte d'Ivoire), 243 p.
- Vissin, E. W. 2007. Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger. Thèse de Doctorat de l'Université de Bourgogne, Dijon, (France), 280 p.