

LA VARIABILITE PLUVIOMETRIQUE ET SES IMPACTS SUR L'ALIMENTATION EN EAU DES MILIEUX RURAUX DU DEPARTEMENT DE DIMBOKRO (CENTRE-EST DE LA COTE D'IVOIRE)

Jérôme Alocó N'guessan

Professeur Titulaire de Géographie, Directeur de recherches (CAMES)
Doyen Honoraire de l'UFR des Sciences de l'homme et de la Société
(Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire)

Yoboue Kouadio Bernard

Doctorant au département de géographie de l'UFR des Sciences de l'homme
et de la Société (Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire)

N'daoule Remi

Docteur en Géographie, Enseignant-chercheur au département de géographie
de l'UFR des Sciences de l'homme et de la Société (Université de Cocody-
Abidjan, Côte d'Ivoire)

Abstract

Rainfall variability in the tropics is a real living reality. In Côte d'Ivoire in general and the Department Dimbokro in particular takes this variability increasingly growing. It is increasingly felt on the forest-savanna contact zone climate and weather conditions are already difficult. This study's main objective is to analyze the rainfall and temperature data over a long period to determine the various trends, breaks in series, then to bring out the consequences for the supply of various rural communities in water department. Clearly it is to characterize the climate event from the analysis of air temperature, relative humidity, changes in rainfall index, the frequency of rainy days and seasons of life rainfall over the period 1955-2000 in order to identify the behavior of seasonal rainfall patterns in the context of climate variability. The analysis of these different climate components including rainfall data, thermal have identified two broad periods separated by a hinge year 1968. Climate variability is manifested by a spatiotemporal dynamics regressive annual rainfall, recession frequency of rainy days in general and especially those of rainfall amounts in excess of 20 mm. Such climatic situation has huge consequences for the availability of hydrology department. The reservoirs in the geological layers will be insufficiently fed,

and thereby show their inability to supply boreholes and wells. Once this water recession creates a situation of water stress in the entire department. And 20.57% of the holes drilled in the department have proven non-operational. It therefore concludes that rainfall variability that knows the department has real impacts on the water supply to rural communities in Dimbokro department.

Keywords: Rainfall variability, water supply, water stress, Dimbokro, Cote d'Ivoire

Résumé

La variabilité pluviométrique dans les pays tropicaux constitue une véritable réalité vécue. En Côte d'Ivoire en général et le département de Dimbokro en particulier, cette variabilité prend de plus en plus de l'ampleur. Elle est de plus en plus ressentie sur cette zone de contact forêt-savane aux conditions climatiques et atmosphériques déjà difficiles. Cette étude a pour objectif principal d'analyser les données pluviométriques et thermiques sur une longue période afin de déterminer les différentes tendances, les ruptures dans les séries, ensuite d'en dégager les conséquences sur l'alimentation des différentes communautés rurales du département en eau. En clair il s'agit de caractériser la manifestation climatique à partir de l'analyse de la température de l'air, l'humidité relative de l'air, la variation des indices pluviométriques, la fréquence des jours pluvieux et la durée des saisons pluvieuses sur la période 1955-2000 afin de dégager le comportement des régimes pluviométriques saisonniers dans le contexte de variabilité climatique. L'analyse de ces différentes composantes climatiques notamment les données pluviométriques, thermiques ont permis de dégager deux grandes périodes séparées par une année charnière, l'année 1968. La variabilité climatique se manifeste par une dynamique temporelle régressive des pluies annuelles, une récession des fréquences de jours pluvieux en général et en particulier celles de hauteurs pluviométriques. Une telle situation climatique a des conséquences énormes sur les disponibilités hydrologiques du département. Les réservoirs dans les couches géologiques sont insuffisamment alimentés, et de ce fait montrent leur incapacité d'alimenter les forages et les puits. Dès lors cette récession hydrique crée une situation de stress hydrique dans l'ensemble du département. Ainsi 20,57% des forages réalisés dans le département se sont avérés non opérationnels. On conclut donc que la variabilité pluviométrique que connaît le département a de réels impacts sur l'alimentation en eau des communautés rurales du département de Dimbokro.

Mots Cles : Variabilité pluviométrique, alimentation en eau, stress hydrique, Dimbokro, Côte d'Ivoire

Introduction

La question des ressources en eau et leurs impacts sur l'environnement dans les pays tropicaux pose de véritables énigmes aux Etats de plus en plus. Les milieux de rencontres forêts-savanes sont les plus sensibles. Le département de Dimbokro, à l'instar des zones rencontre, n'échappe pas à cette triste réalité. Il connaît une situation hydrologique critique depuis quelques décennies plongeant ainsi le département dans un stress hydrique dont les conséquences sur l'environnement sont gravissimes. Cette situation qui s'inscrit dans la problématique générale des changements climatiques que connaît la plupart des pays de la zone intertropicale, fait aujourd'hui du département de Dimbokro un milieu difficile. Les différentes ressources en eau sont foncièrement affectées par ces perturbations climatiques qui ont entraîné le tarissement de points d'eau de surface et de nombreux puits, par conséquent une baisse importante du niveau piézométrique des nappes. Plusieurs travaux de recherches ont été menés par différents chercheurs afin d'évaluer l'impact de la variabilité climatique sur les ressources. Savané (2001), a évalué l'impact de la baisse de la pluviométrie sur les aquifères dans la région d'Odienné ; Goula (2006), a mené une étude comparative de l'action de la sécheresse sur le bassin-versant du N'zi et de celui du N'zo ; Brou T, Servat E, Paturel J.E (1998), se sont également penchés sur la variabilité climatique et les activités humaines.

La présente étude vise à évaluer l'évolution de la pluviométrie à la station de Dimbokro et son influence sur l'écoulement des principaux cours d'eau, les nappes aquifères, les écosystèmes du département. En un mot, évaluer l'impact de cette situation sur l'alimentation des communautés rurales du département. Cette approche concerne à la fois la variabilité interannuelle évaluée en utilisant les indices centrés réduits et le test de détection de Pettitt. Ensuite la quantification de la variabilité climatique sur les eaux souterraines est déterminée par calcul des coefficients de tarissement et des volumes mobilisés par les aquifères.

Localisation et milieu physique de la zone d'étude

Le département de Dimbokro est situé dans le centre-est de la Côte d'Ivoire dans la profonde échancrure du « V Baoulé » (figure 1). Ces limites administratives sont : au Nord, les départements de Bocanda et de Didiévi ; au sud les départements de Toumodi et de M'batto ; à l'Est les départements de Bongouanou et Bocanda ; à l'Ouest le district autonome de Yamoussoukro et le département de Tiébissou. C'est un département peu accidenté. Le relief présente une monotonie d'ensemble. Cependant on y

Données et méthodologie

Données

Cette étude a nécessité l'utilisation de plusieurs types de données notamment :

- **Données hydroclimatiques:**

Ces données comprennent les valeurs les pluviométriques annuelles (1955–2013) de la station de Dimbokro, les températures (1955-2013) de la station de Dimbokro obtenues auprès de la Société de Développement Aéroportuaire et Météorologique (SODEXAM).

Les débits des cours d'eau notamment le N'zi et du Khan (1955-1997) sont issus de la direction de l'hydrologie. Ce sont des ressources en eau de surface qui composent le réseau hydrographique du département.

- **Les données cartographiques**

Ces données sont composées des cartes topographiques et de la carte administrative de Dimbokro (établies au 1/200 000 par le CCT- BNETD et de les cartes de base réalisées par le CCT au 1/50 000 du département de Dimbokro et d'une base cartographique de l'Atlas des grandes villes ivoiriennes notamment celle de Dimbokro.

- **Les données de population de Dimbokro**

Ces données couvrant les années 1975, 1988 et 1998 sont issues de l'institut national de la statistique (INS).

Méthodes

- **Analyse de la température et de l'humidité relative de l'air**

La température de l'air et l'humidité relative de l'air du département ont été analysées à partir de statistique descriptive (valeurs moyennes) et de représentations graphiques. Cette analyse a été effectuée à partir de la station météorologique de Dimbokro. Ceci a permis de comprendre la variation saisonnière et interannuelle de la température et de l'humidité relative de l'air de notre zone d'étude. En effet, ces différents paramètres influencent les précipitations dans la région. Différentes techniques permettent d'identifier les variabilités climatiques. Dans la présente étude, il a été utilisé la méthode des variables centrées réduites de Nicholson, (1988), le filtre passe-bas de hanning d'ordre 2 et le bilan hydrologique pour déterminer la variabilité du climat dans le département.

- **Les Variables Centrées Réduites : Indice de Nicholson**

Dans cette étude, nous avons utilisé des données qui s'étendent sur une période de 52 ans. Ceci est en accord avec les exigences de l'OMS (1980) indiquant qu'il faut un minimum de 30 ans pour une étude valable.

L'impact de la variabilité climatique a été cerné par l'étude de l'évolution de la pluviométrie sur 52 ans. Ainsi, l'indice pluviométrique ou

variable centrée et réduite de la station est calculé à partir de la formule de Nicholson d'expression : $I_p = \frac{X_i - X_m}{\sigma}$

Avec :

- I_p : Indice pluviométrique
- X_i (mm) Hauteur de pluie totale pour une station pendant une année i
- X_m (mm) Moyenne annuelle de la pluie à la station pendant la durée entière de l'enregistrement (période d'étude)
- σ écart-type de la pluviométrie annuelle.

▪ **Le Filtre Passe Bas de Hanning**

La méthode filtre passe-bas de hanning d'ordre 2, appelée aussi moyenne mobile pondérée, permet d'éliminer les variations saisonnières dans une série chronologique. Le calcul des totaux pluviométriques pondérés est effectué au moyen des équations recommandées par Tyson *et al.*, (1975) présenté par Assani (1999) dont la principale est :

$$X(t) = 0,06X(t-2) + 0,25X(t+2) + 0,38X(t) + 0,25X(t+1) + 0,06X(t+2)$$

Pour $3 \leq t \leq (n-2)$ où

- $X(t)$ est le total pluviométrique pondéré du terme t ,
- $X(t-2)$ et $X(t-1)$ sont les totaux pluviométriques observés des deux termes qui précèdent immédiatement le terme t .

Les valeurs pluviométriques pondérées sont ensuite centrées et réduites pour mieux visualiser les périodes d'excédent et de déficit pluviométriques.

▪ **Analyse des jours pluvieux**

L'étude de la variabilité du nombre annuel de jours de pluie constitue un paramètre très important dans la compréhension des variations pluviométriques. Aussi du point de vue climatologique, l'étude des jours pluvieux peut contribuer à améliorer nos connaissances sur les aspects des déficits pluviométriques saisonniers et annuels ainsi que sur les changements susceptibles d'affecter l'évolution des précipitations dans un espace donné.

La typologie des précipitations journalières que nous proposons est liée aux normes internationales de seuil définies par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM, 1990). Les différentes classes sont définies en fonction du nombre de jours de pluie de hauteur comprise entre :

- 1 et 10 mm (P_1) ;
- 10 et 30 mm (P_2) ;
- 30 et 50 mm (P_3) ;
- >50 mm (P_4).

Le nombre de jours de pluie (variable afférente à la pluie) a été étudié à l'échelle interannuelle. La méthode de segmentation de Hubert, très utilisée dans l'étude de la variabilité climatique pour sa performance, a été appliquée pour l'identification des ruptures au sein des séries chronologiques de fréquence de pluie (Paturel *et al.*, 1998 ; Servat *et al.*, 1998 ; Kouassi, 2007).

- Les ruptures ont été détectées grâce au test de Pettitt (1979).

▪ **Le bilan hydrologique**

C'est d'ailleurs la méthode la plus utilisée pour (Dieng et al. 1991) pour la détermination de la lame d'eau infiltrée. L'infiltration ou la recharge des aquifères est évaluée à partir de l'équation suivante : $I = P - (ETR + R)$ avec I la lame d'eau infiltrée (mm); P la pluviométrie (mm); ETR l'évapotranspiration réelle (mm) et R la lame d'eau ruisselée (mm). La pluie étant connue, il faut estimer l'ETR et le ruissellement, afin d'en déduire l'infiltration.

Dans la présente étude, la méthode de Thornthwaite est utilisée en raison de son adaptabilité en zone humide et du manque d'un certain nombre de données climatiques (humidité relative, vitesse du vent, insolation.) sur le bassin de Dimbokro.

▪ Coefficient de Tariesement et Volume d'eau Mobilisé par les Aquifères

▪ Calcul du coefficient de tarissement et de la durée du tarissement

Le tarissement principal, constitue une caractéristique importante du régime hydrologique tropical (Briquet et al., 1995). Le calcul du coefficient de tarissement est basé sur le modèle de Maillet, le coefficient de tarissement permet d'apprécier l'état des «entrées» d'eau qui contribueraient à la modification apparente des relations pluie/débit observées sur les bassins fluviaux. Il permet ainsi de comparer l'évolution de l'eau de surface et le stockage de l'aquifère afin de mieux cerner le comportement du réservoir de vidange. Le coefficient de tarissement (k) dépend des caractéristiques physiques et géométriques de l'aquifère.

L'expression du modèle de Maillet est la suivante (équation 1)

(E₁) $Q_t = Q_0 e^{-kt}$

avec :

- Q_t (m³/s) = débit à l'instant t
- Q_0 (m³/s) = débit au début du tarissement ;
- k = coefficient de tarissement de Maillet ;
- t=temps en jour.

Le coefficient de tarissement de Maillet (k) a été obtenu par résolution de l'équation 2 qui s'exprime comme suit (Savané et al., 2003):

(E₂)
$$\frac{e^{-kt}}{k} + \frac{V}{Q_0} - \frac{1}{k} = 0$$

On peut formuler l'expression de la durée de tarissement T (en jours) comme suit (équation 3)

(Amoussou, 2010) : (E₃)
$$T = 1/k$$

Calcul du volume d'eau mobilisée par les aquifères

Le volume d'eau mobilisé par l'ensemble des aquifères du bassin versant est donné par l'équation 4 qui se présente comme suit : (Savané et al., 2001; Savané et al., 2003):

$$(E_4) \quad V_{\text{mobilisé}} = \int_0^{+\infty} Q_0 e^{-kt} dt = \frac{86400 \times Q_0}{k}$$

Résultats et Discussions

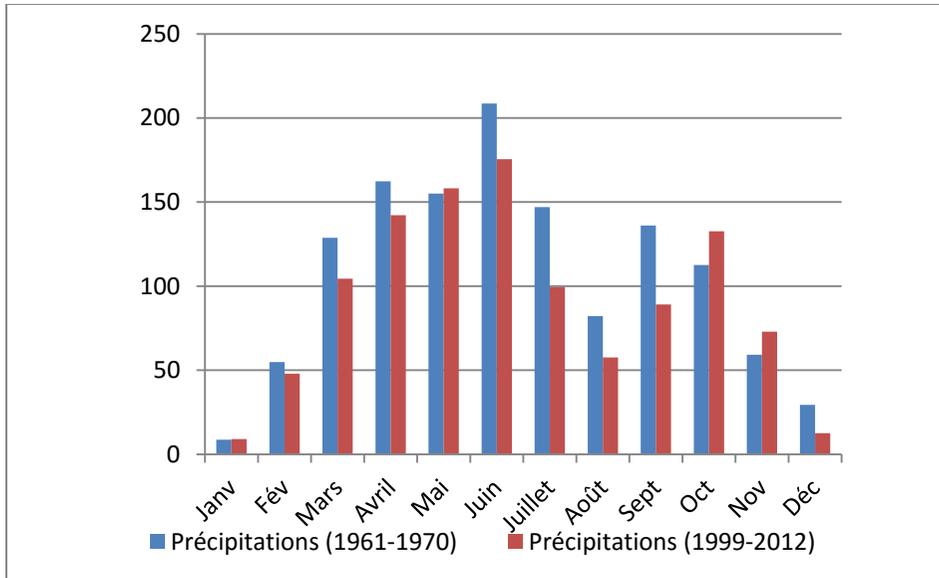
Résultats

Les valeurs pluviométriques actuelles en constance régression

Baisse des hauteurs des pluies

Les précipitations dans leur ensemble ont baissé considérablement dans le département. En se référant au graphique de la (*Figure 2*) présentant les hauteurs pluviométriques des périodes 1961-1970 et 1999-2012, l'on se rend compte que les quantités de pluies tombées au cours de la seconde période c'est-à-dire 1999-2012 sont inférieures à celles de la décennie 1961-1970. Sur l'ensemble des 12 mois de l'année, c'est seulement pendant les mois de janvier, octobre et novembre que les moyennes pluviométriques de la seconde période dépassent celles de la décennie 1961-1970. En effet les maxima pluviométriques de la décennie 1961 et 1970, qui étaient respectivement de 162,3 mm, 155,1 mm, 208 mm et 147 mm de mai à juillet, sont passés à 142,2 mm, 158,2 mm, 175,5 mm et 99 mm de pluie pour les mêmes mois considérés.

En comparant les données de ces deux périodes, l'on se rend compte que la pluviométrie a baissé de façon substantielle dans les quatorze dernières années. Cette chute des quantités pluviométriques est ressentie sur la quasi-totalité des saisons au cours de l'année : la grande saison sèche, la saison des pluies, la petite saison sèche.



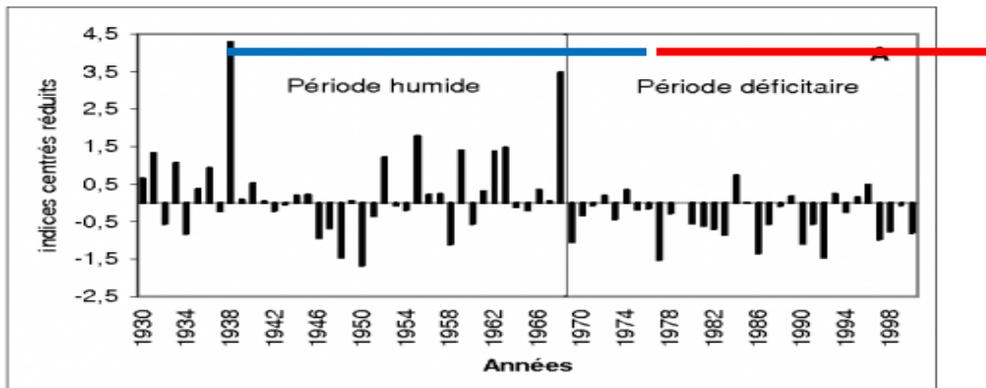
Source : SODEXAM, 2013

Figure 2 : Les précipitations de 1961-1970 et celles de 1999-2012 à Dimbokro

Réduction des jours de pluies

Le département de Dimbokro subit une variation significative au niveau du nombre de jours de pluie. Les données pluviométriques pour la décennie 1961-1970 concernant la moyenne des jours de pluie, indiquent que Dimbokro se localise dans la zone dont la moyenne est comprise entre 100 et 120 jours. Ces valeurs ont été considérablement modifiées depuis les quatorze dernières années d’observation. Le nombre de jours de pluie de 1999 à 2012 a fortement baissé et se retrouve en dessous de 100 jours.

Ainsi la variabilité pluviométrique enregistrée depuis plusieurs décennies sur l’ensemble de la période considérée à la station de Dimbokro permet de dégager deux grandes périodes : une période humide et une période sèche, séparées par le point de rupture qui est l’année 1968. (Fig 3)



Source : Bi Tié Albert, et al, (2006)

Figure 3 : Variation interannuelle des précipitations à la station de Dimbokro
 Cette rupture dans l'évolution de la pluviométrie au cours des différentes années, est perceptible à partir de l'indice pluviométrique de Nicholson.

Variations de l'humidité relative de l'air

Le département de Dimbokro, connaît d'importantes variations au niveau de l'humidité de l'air. Ces variations sont plus perceptibles depuis les dernières décennies. En effet on constate qu'il fait de plus en plus chaud sur l'ensemble du département. Des valeurs supérieures à la moyenne ont été enregistrées à partir de 1973. Cette tendance a été accentuée à partir des années 1980 avec des températures supérieures à 26,8 °C en moyenne. Ces températures ont atteint les plus fortes valeurs au cours de la décennie 1990 et ne semblent pas régresser, (Kouassi et Kouamé 2010). Le diagramme ombrothermique, aux stations de Dimbokro sur la période 1961-2000 permettent d'observer, en général, de faibles valeurs de température pendant les mois de fortes pluviométries et de fortes valeurs pendant les mois de faibles pluviométries.

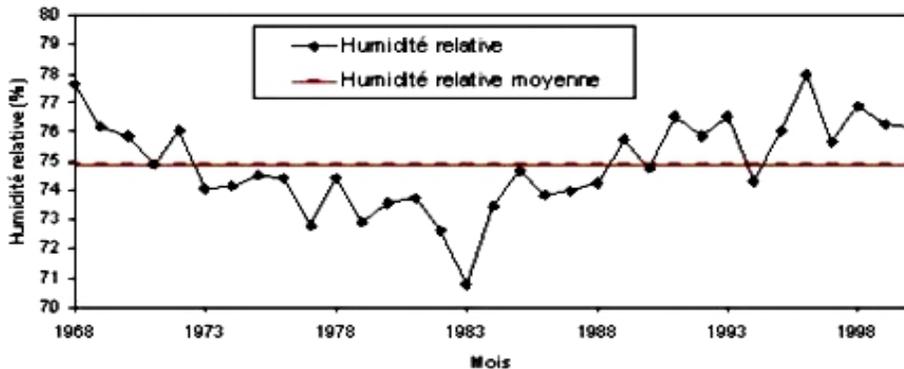


Figure 4: Les variations de l'humidité relative de l'air dans le département 1961-2000

L'humidité relative s'exprime en pourcentage et se définit comme le rapport de la quantité d'eau effectivement contenue dans l'air et la capacité d'absorption à une température donnée. A la station de Dimbokro les humidités relatives moyennes mensuelles (1968-2000) oscillent entre 66,7 % (janvier) et 79,3 % (août) (voir Tableau 2). L'humidité relative est généralement supérieure à 70 % et varie relativement beaucoup au cours de l'année.

Tableau 1 : Humidités relatives mensuelles moyennes (%) à la station de Dimbokro (1968-2000)

Mois	Jan v	Fé v	Mar s	Avr il	Ma i	Jui n	Jul l	Ao ût	Se pt	Oct	No v	Dé c	Mo y
Humidi té	66. 7	66. 9	70. 5	73. 5	76. 2	78. 8	79. 2	79. 3	78. 5	77. 7	76. 3	72. 9	74. 7

Source : Kouassi, 2010

A Dimbokro, l'humidité relative a connu une baisse de 1968 à 1983. Cette période de décroissance succède à une phase excédentaire de 1968 à 1972 (taux supérieur à 74,5 %). Depuis 1984, une tendance à la hausse de l'humidité relative est observée. Cette augmentation de l'humidité de l'air comprend une phase déficitaire (1984-1988) et une phase excédentaire (taux supérieur à 74,5 %) de 1989 à 2000. L'humidité relative a atteint le taux le plus bas en 1983 (72,7 %).

Impacts de la baisse pluviométrique sur l'alimentation des nappes aquifères

La baisse de la pluviométrie observée depuis l'année de rupture en 1968, a des réels impacts sur les disponibilités hydrologiques du département.

Faiblesse de l'infiltration de l'eau de pluie

Les conditions climatiques dégradées, constituent des contraintes majeures dans l'alimentation des nappes aquifères. En effet, la lame d'eau qui s'infiltré dans le sol est devenue de plus en plus faible eu égard à la dégradation du climat de ces dernières décennies. Ainsi pour mieux percevoir la faiblesse de la lame d'eau et comprendre les difficultés de la recharges des aquifères de l'espace départemental, il s'avère nécessaire de dresser le bilan hydrologique du bassin versant du N'zi.

- **Le bilan hydrologique**

Cette approche dans l'étude constitue un pan important dans la mesure où elle permet de mieux cerner certains aspects de la problématique de l'eau en milieu de contact. Dans la majorité des bassins des milieux tropicaux, les pertes par évapotranspiration représentent quantitativement l'élément le plus important de la transformation pluie-débit, de l'ordre de 50 à 90 % de l'apport pluviométrique annuel moyen pour les surfaces continentales). Il s'agit donc d'une variable particulièrement intéressante pour les gestionnaires de la ressource en eau dans la mesure où elle influence directement les quantités d'eau utilisable (Oudin, 2006). Les paramètres du bilan calculés à la station de Dimbokro selon la méthode de Thornthwaite sont consignés dans le tableau 2, Koïta, (2010).

Les valeurs de l'évapotranspiration potentielle (ETP) moyenne mensuelle obtenues durant la période de 1980 à 2002 se répartissent inégalement au cours de l'année. L'ETP croît à partir de décembre pour atteindre une valeur maximale en mars et décroît ensuite d'avril jusqu'à août. Elle croît à nouveau d'août à Novembre.

Ces variations constatées au niveau de l'ETP sont dues à la succession des différentes saisons pluvieuses et sèches qui caractérisent le département. En effet, la grande saison sèche (décembre à mars) correspond

aux valeurs d'ETP les plus élevées en raison des faibles précipitations moyennes mensuelles et des températures élevées durant cette saison, conduisant ainsi à une baisse de l'humidité relative. Les valeurs les plus basses d'ETP correspondent à la fin de la saison des pluies (juin) et à la petite saison sèche (juillet à août), durant laquelle, l'ETP demeure faible malgré la chute des précipitations.

Tableau 2: Les paramètres du bilan hydrologique à la station de DIMBOKRO (1980-2002) selon la méthode de Thornthwaite

Mois	P	ETP	ETR	SPL ¹	RSV ²	dRFU ³	dET ⁴	dPET ⁵
Jan	12	142	12	0	0	0	130	0
Fév	38	167	38	0	0	0	129	0
Mars	100	185	100	0	0	0	85	0
Avr	119	183	119	0	0	0	64	0
Mai	153	168	153	0	0	0	15	0
Juin	186	136	136	0	50	50	0	50
Juillet	86	122	122	0	64	- 36	0	- 36
Août	71	119	119	0	16	- 48	0	- 48
Sept	104	122	120	0	0	-16	2	-16
Oct	134	136	134	0	0	0	2	0
Nov	49	144	49	0	0	0	95	0
Déc	13	129	13	0	0	0	116	0

Source : Koïta, 2010

L'excédent du bilan (dPET) qui représente la quantité d'eau disponible pour l'écoulement de surface et pour la recharge des aquifères n'existe que pendant les saisons de pluies (avril à juin et septembre à octobre), et plus précisément pour les mois durant lesquels les maxima pluviométriques sont enregistrés (juin et/ou septembre et/ou octobre.). Une recharge potentielle existe vraisemblablement durant ces périodes.

Difficulté de la recharge des aquifères

Les résultats du bilan hydrologique obtenus dans le département de Dimbokro sur les périodes de 1980 à 2002 et même des observations au cours de la période 1961-1980, indiquent les difficultés de la recharge des aquifères. En effet dans cette étude les parts respectives du bilan consacrées

¹ SPL : Surplus du bilan disponible pour l'écoulement souterrain et de surface

² RSV : Réserves en eau du sol

³ dRFU : Variations des réserves d'eau facilement utilisables

⁴ dET : Déficit du bilan hydrologique (ETP-ETR)

⁵ dPET : Excédent du bilan hydrologique (Pluie-ETR)

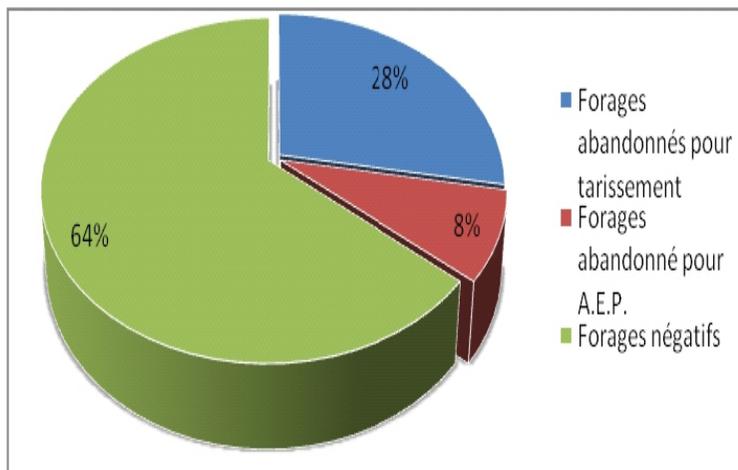
à l'écoulement et à l'infiltration n'ont pas pu être déterminées sur la chronique 1980 à 2002 en raison du manque de données de débit du N'zi à l'entrée à la sortie du bassin de Dimbokro.

La valeur de la recharge dans le bassin de Dimbokro est estimée à 5% de la précipitation totale annuelle à partir des études de modélisation pluie-débit à réservoir réalisées par Kouassi (2007) cité par Koïta en 2010. Compte tenu de la modification du comportement hydrologique du bassin de Dimbokro dans les années 1970 à l'échelle interannuelle, cette modélisation montre une régression du potentiel de recharge des nappes depuis la décennie 1970, accentuée au cours de la grande sécheresse des années 80.

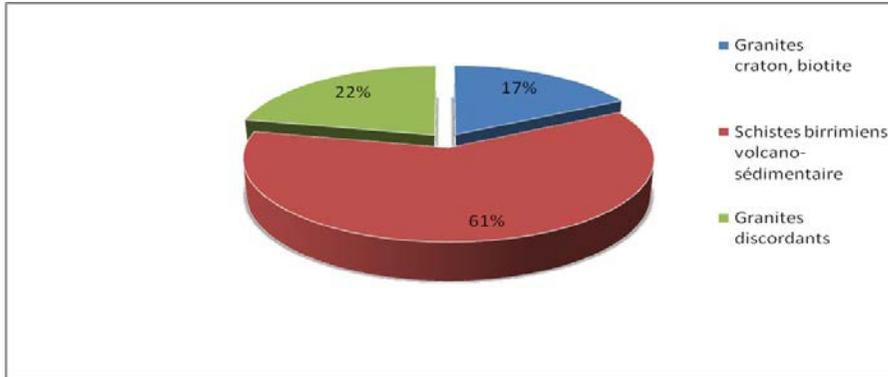
- **Des forages sans fracture de résurgence en eau (forages négatifs)**

Cette étude révèle que **36 ouvrages** sur les **175** réalisés dans le département de Dimbokro ne sont pas opérationnels, c'est-à-dire que ces ouvrages ne sont pas ou plus productifs aujourd'hui pour des raisons variables. Cet ensemble d'ouvrages représente 21% des ouvrages réalisés dans le département. Ceux encore, en bon état représentent un taux de 79%.

Les forages non opérationnels se répartissent en trois catégories. D'une part nous avons les forages qui ont été abandonnés pour tarissement. Cette catégorie de forages représente 28% de l'ensemble des ouvrages non exploités dans le département. D'autre part, il existe une deuxième catégorie, composée des forages abandonnés pour adduction d'eau potable. Elle représente 8% des ouvrages et enfin la troisième catégorie, celle des forages négatifs. Il s'agit pour cette catégorie, des ouvrages qui au cours de leur réalisation n'ont pas donné de bons débits en ce qui concerne les eaux de résurgence. Cette catégorie représente 64% de l'ensemble des ouvrages non opérationnels dans le département (Fig 5).



Source : Direction Régionale de l'Hydrologie de Yamoussoukro, 2009
 Figure 5 : Répartition des forages non fonctionnels selon leur état



Source : Direction Régionale de l'Hydrologie de Yamoussoukro, 2009
 Figure 6: Répartition des forages négatifs selon la structure géologique



Figure 7: Carte de la répartition des forages non opérationnels dans le département
 Direction régionale de l'Hydrologie et nos

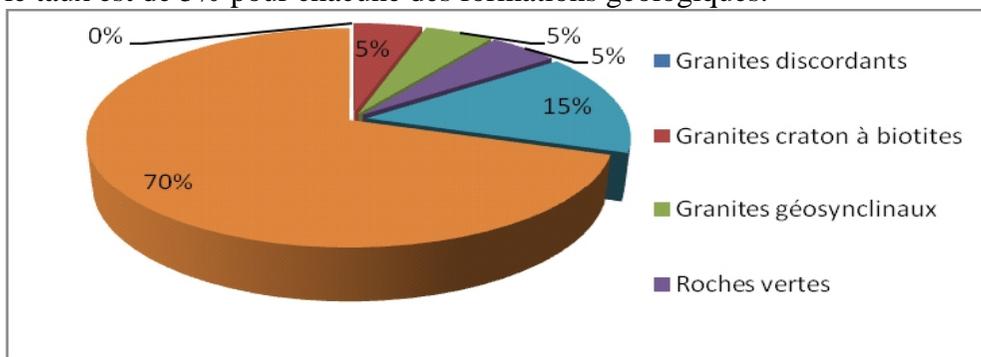
Au niveau des différents ouvrages, le graphique de la figure 7, indique que les différentes catégories de forages non opérationnels ne sont pas réalisées dans des structures géologiques uniformes. Ainsi pour les ouvrages négatifs trois formations géologiques sont dominantes. D'abord

dans les formations schisteuses birrimiennes volcano-sédimentaires le graphique de cette figure (Fig 6) indique que les forages qui y ont été réalisés, représentent un taux de 61%. Les formations granitiques craton à biotite représentent 17% des ouvrages négatifs. Enfin dans les granites discordants la proportion est de 22% de l'ensemble des ouvrages négatifs.

• **Tarissement des puits et forages**

La baisse importante du niveau piézométrique, c'est-à-dire de la surface supérieure des nappes souterraines, est une constante des observations hydrogéologiques des régions tropicales et soudano-sahéliennes. La diminution substantielle du niveau des nappes est donc à l'origine d'une modification profonde du régime des écoulements par un déficit chronique d'apport en eaux souterraines à l'élaboration de la crue annuelle, car le stock d'eaux souterraines étant insuffisamment renouvelé par des pluies systématiquement plus faibles depuis les dernières décennies.

Le corollaire d'une telle situation est la faiblesse hydrique des aquifères. Ainsi dans le département de Dimbokro plusieurs forages ont tari juste quelques années après leur réalisation. Ces ouvrages n'ont pas pu être capables de régénération du point de vue hydrique. Dans la catégorie de ces forages taris, l'on note que ce phénomène ne s'est pas produit au niveau d'une seule formation géologique. C'est en effet dans plusieurs structures géologiques que le tarissement s'est produit, (Fig8). Et les plus grandes proportions des ouvrages taris, sont ceux qui ont été réalisés dans les formations schisteuses birrimiennes volcano-sédimentaires. Ces ouvrages représentent un taux de 70% de l'ensemble des ouvrages taris du département. Dans les formations granitiques discordantes, les forages réalisés représentent un taux de 15%. Dans les autres formations géologiques notamment les granites géosynclinaux, granites à craton et les roches vertes le taux est de 5% pour chacune des formations géologiques.



Source : Direction Régionale de l'Hydrologie de Yamoussoukro, 2009

Figure 8 : Répartition des forages taris selon la structure géologique

Dans le département de Dimbokro comme d'ailleurs la plupart des milieux de contacts forêt-savane, le tarissement des forages et puits est perceptible à partir des données statistiques telles que le coefficient de tarissement et de la durée du tarissement. En effet le tarissement principal, par les volumes qu'il implique et sa représentativité de l'ensemble des aquifères du bassin de Dimbokro, constitue une caractéristique importante du régime hydrologique tropical (Briquet et al. 1995).

Le modèle de Maillet admet qu'en régime non influencé c'est-à-dire en l'absence de toute précipitation, le tarissement correspond à la décroissance exponentielle du débit en fonction du temps. En d'autres termes, c'est la période pendant laquelle la vidange des nappes souterraines constitue la seule contribution à l'écoulement des cours d'eau d'un bassin

Le coefficient de tarissement (k) dépend des caractéristiques physiques et géométriques de l'aquifère. L'analyse des coefficients de tarissement, Kouassi et al. (2012), ont permis de déterminer la vitesse de vidange de l'aquifère sur deux grandes phases : avant et après la rupture de 1968, au cours de la période considérée (1954-1997). Les résultats obtenus ont été synthétisés dans le tableau 3.

Tableau 3 : Coefficients moyens de tarissement (jour-1) avant et après 1968

Stations	Périodes	Coefficients de tarissement (j-1)	Taux d'augmentation (%)
Dimbokro	1956-1968	$2.88.10^{-2}$	+ 34.7
	1969-1997	$3.88.10^{-2}$	

Source : A.M. Kouassi et al. 2012

L'analyse des résultats de cette étude consignés dans le tableau 5 montre que dans le département de Dimbokro le coefficient moyen de tarissement est de $2,88.10^{-2}$ j-1 avant 1968, identifiée comme l'année de rupture au sein des séries hydrométriques. Après 1968, le coefficient de tarissement est passé $3,88.10^{-2}$ j-1. Ces résultats mettent donc en évidence une augmentation du coefficient de tarissement après 1968 pour le département. Le taux d'augmentation du coefficient de tarissement est donc de 34,7%.

Les résultats de calcul de la durée de tarissement sont consignés dans le tableau 5. Ces résultats montrent que la durée de tarissement dans le département connaît une fluctuation en termes de jours. La durée de tarissement avant 1968 est de 3,7 jours. Après 1968, elle est passée à 25,7 jours. Un raccourcissement de la durée de tarissement allant de près de 9 jours (8,9) après 1968 est mis en évidence.

Stations	Périodes	Volume d'eau mobilisé	Taux de réduction (%)
Dimbokro	1956-1968	0.85	- 57.6
	1969-1997	0.36	

Tableau 4 : Volumes d'eau mobilisés (Km3) par les aquifères avant et après la rupture de 1968

Source : A.M. Kouassi et al. 2012

Stations	Périodes	Durée de tarissement (Jours)	Variation de la durée du tarissement
Dimbokro	1956-1968	34.7	- 8.9
	1969-1997	25.8	

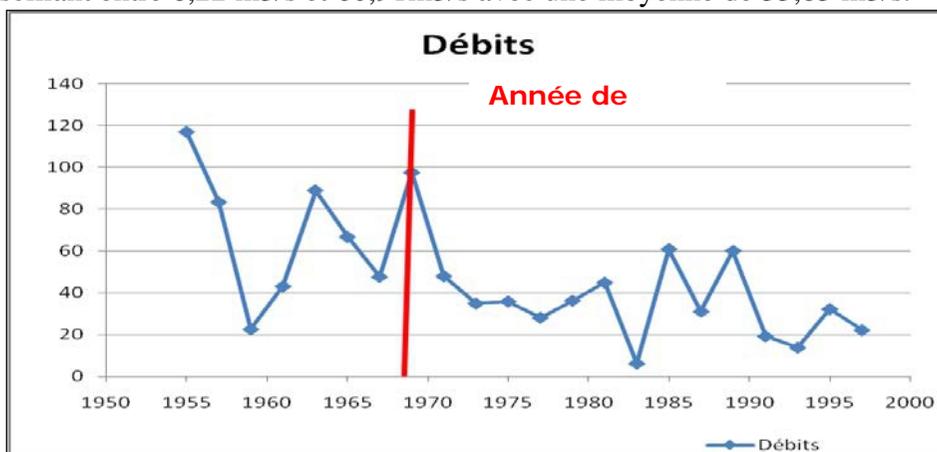
Tableau 5 : Durée du tarissement avant et après la rupture de 1968

Source : A.M. Kouassi et al. 2012

Les résultats du tableau 4 montrent que le volume d'eau mobilisé par les aquifères est de 0,85 Km³ avant 1968, Kouassi et al (2012). Après 1968, le volume d'eau mobilisé par les aquifères est passé à 0,36 Km³. Le taux de réduction des volumes d'eau mobilisés par les aquifères dans le département est donc 57,6%. Ces résultats mettent en évidence une diminution substantielle des volumes d'eau mobilisés par les aquifères après 1968.

L'impact de la baisse pluviométrique sur les eaux de surface

Le fleuve N'zi, principal cours d'eau du département, connaît des perturbations depuis quelques décennies de point de vue du régime. L'observation des données hydrométriques du poste de Dimbokro (Fig 9), indique que les débits du fleuve N'zi ont baissé substantiellement. En effet de 1955 à 1968, les débits du N'zi à Dimbokro fluctuaient entre 22,55 m³/s et 116,83 m³/s avec une moyenne de 70,82 m³/s. Mais à partir de l'année de rupture dans les séries pluviométriques, les débits observés sont faibles, oscillant entre 6,22 m³/s et 60,91m³/s avec une moyenne de 33,83 m³/s.



Source : Direction Générale de l'Hydrologie Abidjan, 2013

Figure 9 : Variations des débits annuels moyens du N'Zi à Dimbokro de 1955-1997

Cette variation du débit est liée à la baisse de la pluviométrie dans le département de Dimbokro, mais également aux baisses des pluies dans la région où il prend sa source (Ferkessédougou). Les affluents du N'zi

composant le bassin hydrographique du département de Dimbokro, connaissent à l'instar du N'zi, les mêmes contraintes hydrométriques.

Les plans d'eau appelés communément barrages connaissent également des contraintes dans le département. Ces difficultés se présentent en termes d'affaiblissement de la digue augmentation de la charge alluviale et de dégradation physico-chimique de la ressource.

Discussion

L'analyse et l'interprétation des données statistiques de la station météorologique et hydrologique de Dimbokro sur plusieurs années, ont permis de mettre en évidence la variabilité pluviométrique dans le département et ses différentes incidences sur les ressources en eau sous toutes leurs formes : eau de surface, eau des nappes aquifères. En effet le département de Dimbokro connaît une importante rupture dans les séries pluviométriques au cours de la décennie 1961-1970 et singulièrement au cours de l'année 1968. Cette baisse pluviométrique substantielle a eu pour corollaire la faiblesse de l'infiltration pour l'alimentation des nappes aquifères ainsi que le faible enrichissement des eaux de surface (fleuve, rivières étangs et barrages). Ce résultat s'inscrit dans la même perspective que ceux mis en évidence avec les résultats des tests statistiques appliqués aux pluies annuelles (Goula *et al.*, 2006 ; Kouassi *et al.*, 2008). Cette variabilité pluviométrique s'est accompagnée d'une baisse significative de l'humidité relative et une hausse des températures de l'air, ce qui a pour conséquence une affection du cycle hydrologique en général. Elle s'est manifestée par la baisse de la hauteur des pluies, la réduction des jours de pluies, le rallongement de la saison sèche et la régression de l'indice pluviométrique. Cette tendance au raccourcissement des saisons des pluies a également été mise en évidence au plan international par Houndenou et Hernandez (1998). Selon Ouédraogo (2001), Adefolalu (1986) il a été constaté un retard de 25 jours au moins dans le début des saisons de pluie dans la zone soudano-sahélienne du Nigeria pendant la sécheresse de 1983. Cette situation est même plus grave encore dans certaines régions du Nigeria le retard atteint même 40 à 50 jours. Dans d'autres travaux Servat *et al.* (1998) a montré qu'en Afrique de l'Ouest et Centrale, les changements que l'on peut observer ne sont pas très nets : la saison des pluies aurait tendance à durer moins longtemps qu'auparavant. Cependant, il est difficile de déterminer clairement si, dorénavant, elle débute plus tard ou si elle se termine plus tôt. Pour les quelques pays riverains du Golfe de Guinée et qui connaissent un régime à deux saisons des pluies, les résultats sont là encore flous. De façon générale une tendance au raccourcissement des saisons des pluies semble quand même se dégager. Le bassin-versant du N'zi connaît une modification de la durée des saisons pluvieuses quelle que soit la zone

climatique. Cependant, les régimes pluviométriques saisonniers définissant les régimes climatiques n'ont pas changé. En effet, la partie nord connaît toujours une seule saison pluvieuse et une seule saison sèche. Les parties centre et sud connaissent à leur niveau deux (2) saisons des pluies et deux (2) saisons sèches.

Dans les milieux de contact forêt-savane des régions tropicales, les climats sont très sensibles du fait de la chaleur. Cette constance thermique associée aux perturbations dans la circulation des masses d'air et d'autres paramètres atmosphériques, provoquent quelquefois des bouleversements de la pluviométrie. La rupture intervenue dans les séries pluviométriques des années 1968/1969 a ainsi considérablement influencé les disponibilités en eau dans le département. Aussi cette variabilité pluviométrique influence-t-elle de même les nappes aquifères du point de vue de leur recharge en eau. En effet depuis la rupture dans les séries des années 1968 les aquifères connaissent de réelles difficultés dans le renouvellement de leur charges hydriques, créant ainsi une situation de stress hydrique dans le département. Cependant l'on observe des variances liées à plusieurs paramètres. D'une part il faut compter le facteur climatique. Le département est certes logé dans un climat tropical humide de faciès *baouléen nord-est*. Cependant il faut noter que des microclimats liés à des facteurs atmosphériques et floristiques existent dans le département et qui font varier le climat de l'ensemble du département. D'autre part, les paramètres pédologiques et géologiques influencent également les disponibilités hydrologiques selon leur transmissivité. En effet la diversité des substrats géologiques dans le département a pour corollaire l'existence d'une variabilité des disponibilités hydrologiques à partir des forages et puits. En Côte d'Ivoire, des cas d'étude ont été déjà réalisés. Les principaux résultats montrent que les valeurs de conductivité hydraulique obtenues dans le N'zi-Comoé sont supérieures à celles obtenues par ces auteurs dans la région du Denguélé (10-10 à 1,7.10-11m/s) et inférieures ou égales à celles déterminées dans la région de la Marahoué (10-6 à 10-4) et dans la région du Poro.

Conclusion

La présente étude a permis de mieux caractériser les principales manifestations de la variabilité climatique dans le département de Dimbokro et ses impacts dans l'alimentation des communautés rurales en eau. Deux classes apparaissent dans les séries de précipitations observées de 1950 à 2000 séparées par la l'année de rupture de 1968. De part et d'autre de cette année charnière, les données pluviométriques et thermiques sont différentes. En effet avant l'année de rupture de 1968 le département avait enregistré d'importantes quantités de pluie avec des valeurs thermiques relativement faibles. Mais à partir de 1968 le département va connaître d'importantes

déficits hydriques avec une diminution substantielle de l'hygrométrie. Une telle situation a plongé le département dans un stress hydrique. Les précipitations ayant diminué d'intensité avec un rallongement de la saison sèche, les cours d'eau et les nappes aquifères vont évidemment être incapables de renouveler leurs ressources. Le corollaire d'une telle situation sur les communautés villageoises, c'est le tarissement des puits et forages, principaux ouvrages d'alimentation de celles-ci en eau potable. Ainsi sur l'ensemble des 175 forages réalisés dans le département 36 ne sont plus opérationnels, soit 20,57%.

On conclut donc que la variabilité pluviométrique que connaît le département a de réels impacts sur l'alimentation en eau des communautés rurales du département de Dimbokro.

References:

ALLA D. 1991, *Dynamisme de l'espace périurbain de Daloa*, étude géographique ; thèse de doctorat 3^{ème} cycle, Abidjan, Université de Cocody, IGT, 453 pages

ARDOIN B.S., 2004, *Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne*, Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II, France.

ARDOIN S. et al., 2003, « Analyse de la persistance de la sécheresse en Afrique de l'Ouest : caractérisation de la situation de la décennie 1990 », *IAHS Publication*, vol. 278, 223-228.

AVENARD J.M., 1967, *Une observation de l'eau dans le sol dans les régions de Man (Côte d'Ivoire) en relation avec l'étude du contact forêt savane*, ORSTOM, Adiopodoumé (CI), 108 pages

BANQUE AFRICAINE DE DEVELOPPEMENT (BAD), 2002, *La gestion intégrée des ressources en eau*, Dunod, Paris 142 pages.

BANQUE MONDIALE, 1987, *Approvisionnement en eau des collectivités, l'option pompe manuelle*, Washington, 204 pages.

BIED-CHARRETON M., PITIT O et al., 2004, « La gouvernance des ressources en eau dans les pays en développement » in *cahier n°03-01, Centre d'Economie et d'Ethique pour l'Environnement*, Université de Versailles St Quentin-en-Yvelines, 43 p.

BIRGIT H, et BRUZON V, 2006, *Profil Environnemental de la Côte d'Ivoire, Rapport Final*, Août 2006, Consortium, pp 32-34.

BI TIE A. GOULA et al, 2006, « Impact de la variabilité climatique sur les ressources hydriques des bassins de N'Zo et N'Zi en Côte d'Ivoire (Afrique tropicale humide) », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 7 Numéro 1 | avril 2006, mis en ligne le 07 avril 2006, consulté le 5 novembre 2013. URL : <http://vertigo.revues.org/2038> ; DOI : 10.4000/vertigo.2038.

COLLIGNON B, TAISNE R. et al, 2000, *Analyse du service de l'eau potable et de l'assainissement pour les populations pauvres dans les villes de Côte d'Ivoire*, 29 pages.

ELDIN (M), 1971, *Le climat*, ORSTOM Adiopodoumé, 1971, pp 77-102.

GIRARD (G), 1974, *Données fragmentaires sur les régimes hydrologiques en Côte d'Ivoire*, Collection de référence, page 37

HUBERT P., SERVAT E., PATUREL J.E., KOUAME B., et al, 1998, « La procédure de segmentation, dix ans après », *IAHS Publication*, vol. 252, 267-273.

KAMBIRE BEBE, 2000 : *La gestion des ressources en eau et alimentation en eau potable à Gagnoa*, Mémoire de Maîtrise, Abidjan, Université de Cocody, IGT, 120 p.

KOITA M., JOURDE H., et al, 2010, « Cartographie des accidents régionaux et identification de leur rôle dans l'hydrodynamique souterraine en zone de socle. Cas de la région de Dimbokro-Bongouanou (Côte d'Ivoire) ». *Hydrological Sciences Journal*, Vol.55 (5), pp.805-820.

KOITA M., 2010, *Caractérisation et modélisation du fonctionnement Hydrodynamique d'un aquifère fracturé en zone de socle. Région de Dimbokro-Bongouanou (Centre Est de la Côte d'Ivoire)* 196 p, pp 8-106. Thèse, Université de Montpellier II, France.

KOUASSI A.M., 2007, *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 de Doctorat, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 210 p.

KOUASSI A.M., KOUAME K.F. et al., 2008, « Influence de la variabilité climatique et de la modification de l'occupation du sol sur la relation pluie-débit à partir d'une modélisation globale du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire » in *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, Vol. 11, pp. 207-229.

KOUASSI A.M., KOUAME K.F., et al., 2010, « Analyse de la variabilité climatique et de ses influences sur les régimes pluviométriques saisonniers en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire, in *Revue Européenne de Géographie (Cybergéo)*, <http://cybergeog.revues.org/index23388.html>.

KOUASSI A.M., KOUAME K.F. et al., 2007. « Identification de tendances dans la relation pluie-débit et recharge des aquifères dans un contexte de variabilité hydroclimatique : cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire », in *European Journal of Scientific Research*, Vol. 16 (3), pp.412-427.

- MUTIN G., 2000, « De l'eau pour tous », in *Documentation photographique, bimestriel* n°8014, avril le dossier, la documentation française, 64 pages.
- OMS, UNICEF, 2001, *Rapport sur l'évolution de la situation mondiale de l'approvisionnement en eau et l'assainissement*, Washington, 225 pages.
- OUEDRAOGO M., 2001, *Contribution à l'étude de l'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest. Analyse des conséquences d'une sécheresse persistante : normes hydrologiques et modélisation régionale*, Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II, France.
- PATUREL J.E., SERVAT E., DELATTRE M.O., 1998, « Analyse de séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'Ouest et centrale non sahélienne dans un contexte de variabilité climatique », *Journal des Sciences Hydrologiques*, vol. 43, No.3, 937-945.
- PELTRE P., 1977, *Le "V" Baoulé (Côte d'Ivoire) Héritages géomorphologique et paléoclimat dans le tracé du contact forêt-savane*, Travaux et documents de l'ORTOM, Paris, PP 22-171.
- SERVAT E., PATUREL J.E., KOUAME B., et al., 1998, « Identification, caractérisation et conséquences d'une variabilité hydrologique en Afrique de l'Ouest et centrale », *IAHS Publication*, vol. 252, 323-337.
- SERVAT E., PATUREL J.E., LUBES-NIEL H., KOUAME B., et al, 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, No.2, 363-387.
- YAO, D., DELOR, C., GADOU, G., KOHOU, P., OKOU, A., KONATE, S. ET DIABY I., 1995, Notice explicative de la carte géologique, feuille de Dimbokro, 21 p
- YOBOUE K., 2005, *Ressources en eau et Alimentation de la ville de Sassandra en Eau Potable*, Mémoire de Maitrise, Abidjan IGT, 96 pages.