



INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
LOME (TOGO)

ETUDES TOGOLAISES

Revue Togolaise
des
Sciences

Vol 14, n°1 - Janvier - Juin 2020 - ISSN 0531 - 2051

Publication Semestrielle

ETUDES TOGOLAISES

Revue Togolaise des Sciences

Vol 14, n°1 – Janvier – Juin 2020 - ISSN 0531 - 2051



Publication semestrielle

Institut National de la Recherche Scientifique (INRS)

BP 2240 LOME – TOGO

Tél (228) 22 21 01 39 / (228) 22 21 39 94

Email: inrstogo@yahoo.fr

ETUDES TOGOLAISES

Revue publiée sous le haut patronage du Ministre de
l'Enseignement Supérieur et de la Recherche

Directeur de Publication : Prof. Kouami KOKOU

Rédacteur en chef : Dr. Sénamé Dodzi KOSSI

Responsables Administratifs et Financiers : M. Frédéric Adjagnon
NADOR / M. Wakilou BONFOH

Comité scientifique de lecture

- Pr. Messanvi GBEASSOR, Lomé – Togo
- Pr. Kouami KOKOU, Lomé – Togo
- Pr. Fidèle Messan NUBUKPO, Lomé – Togo
- Pr. Mireille PRINCE-DAVID, Lomé – Togo
- Pr. Kossi KOUMAGLO, Lomé – Togo
- Pr. Moustapha KASSE, Dakar – Sénégal
- Pr. Adolé GLITHO, Lomé –Togo
- Pr. Serge GLITHO, Lomé - Togo
- Pr. Kossi NAPO, Lomé – Togo
- Pr. Comla de SOUZA, Lomé – Togo
- Pr. Akuetey SANTOS, Lomé – Togo
- Pr. Nandedjo BIGOU-LARE, Lomé – Togo
- Pr. Taladidia THIOMBIANO, Ouagadougou – Burkina Faso
- Pr. Koffisa BEDJA, Lomé - Togo
- Pr. Mawuena GUMEDZOE, Lomé – Togo
- Pr. Koffi NDAKENA, Lomé – Togo
- Pr. Koffi AKPAGANA, Lomé – Togo
- Pr. Komla SANDA, Lomé – Togo
- Pr. Komi TCHAKPELE, Lomé – Togo
- Pr. Maurille AGBOBLI, Lomé –Togo
- Pr. Aimé GOGUE, Lomé –Togo
- Pr. Egnonto M. KOFFI-TESSIO, Lomé – Togo
- Pr. Gauthier BIAOU, Cotonou – Bénin
- Pr. Koffi AHADZI-NONOU, Lomé – Togo
- Pr. Badjow TCHAM, Lomé – Togo
- Pr. Edinam KOLA, Lomé – Togo
- Pr. Kokou Folly Lolowou HETCHELI, Lomé – Togo
- Pr. Pépévi KPAKPO (MC), Lomé – Togo
- Pr. Adzo Dzifa KOKOUTSÈ, Lomé – Togo
- Pr Adou YAO, Abidjan – Côte d'Ivoire
- Pr.Gbati NAPO (MC), Lomé– Togo
- Prix du numéro : 2 500 Fcfa
- Abonnement : 4 500 Fcfa / An

Toute correspondance concernant la revue doit être adressée à :
Etudes Togolaise « Revue Togolaise des Sciences »,BP 2240 LOME –
TOGO ; Tél. (228) 22 21 01 39 / (228) 22 21 39 94
Email: inrstogo@yahoo.fr

SOMMAIRE

Impact sanitaire des ambiances bioclimatiques dans la région maritime au Togo, Nana Gamba DARE , Université de Lomé (Togo), K. Thiou TCHAMIE , Université de Lomé (Togo), Euloge OGOUWALE , Université d'Abomey-Calavi (Bénin).....	6
Mécanismes de séquestration et de réduction des émissions de carbone du système agricole des peuples Mahi des collines au Bénin, Makpondéou MAKPONSE , Université d'Abomey-Calavi, (Bénin)	19
Oscillations latitudinales de l'équateur météorologique et pluviosité sur une période quinquennale au Bénin (2014-2018), A.P. Magloire SALAKO , Université d'Abomey-Calavi (Bénin), Martin KASSIN , Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar (ASECNA-Bénin), Ibouraïma YABI , Université d'Abomey-Calavi (Bénin), T.K.Thiou TCHAMIE , Université de Lomé (Togo).....	42
Analyse prospective des risques d'inondations dans la basse vallée du mono à partir de modèle avancée hot — winter, Fernando Joseph G. GBYETIN , Université d'Abomey-Calavi (Bénin), Iix Servais AFOUDA , Université de Parakou (Bénin), Hervé KOUMASSI , Université d'Abomey-Calavi (Bénin), Ibouraïma YABI , Université d'Abomey-Calavi (Bénin), Fulgence AFOUDA , Université d'Abomey-Calavi (Bénin).....	59
Variabilité climatique et risque d'infection palustre dans la région des savanes au Nord-Togo, Yéhale DJAME , Université de Lomé (Togo), Faya LEMOU , Université de Lomé (Togo), Tinguedame LAMBONI , Université de Lomé (Togo), Yendoukoa Lalle LARE , Université de Lomé (Togo).....	69
Perceptions paysannes de la variabilité climatique et stratégies adaptatives dans le terroir de Garin Yari Idi (commune urbaine de Tibiri – Maradi au Niger), Ibrahim MAMADOU , Université de Zinder (Niger), Mahaman Saminou CHITOU DAN MAZA , Université de Zinder (Niger).....	86
Perceptions des agro-pasteurs des effets des changements climatiques dans la commune de Tchaourou au Nord du Bénin, Offin Lié Rufin AKIYO , Université de Parakou (Bénin).....	101
Facteurs de vulnérabilité des maraichers aux changements climatiques dans la zone agro-écologique 8 au Bénin, G. Fortuné DEGUENON , Université d'Abomey-Calavi (Bénin), Waidi SEYDOU , Université d'Abomey-Calavi (Bénin), HOUNKANRIN Barnabé , Université d'Abomey-Calavi (Bénin) OGOUWALE Euloge Université d'Abomey-Calavi (Bénin).....	115

Changement climatique et agroforesterie à base de palmier à huile dans la commune de Covè, **Cossi Guy WOKOU**, Université d'Abomey-Calavi (Bénin).....128

Stratégies de gestion post-récolte des produits horticoles dans l'arrondissement de Hevie au Bénin dans le contexte actuel du changement climatique, **Ayédeguê Biaou Philippe CHABI**, Université Nationale d'Agriculture (Bénin), **Cyr Gervais ETENE**, Université d'Abomey-Calavi (Bénin), **Nounagnon Emile HOUNGBO**, Université Nationale d'Agriculture (Bénin), **Ibouraïma, YABI**, Université d'Abomey-Calavi (Bénin), **Pascal SAGNA**, Université Cheikh Anta Diop (Sénégal), **Fulgence AFOUDA**, Université d'Abomey-Calavi (Bénin).....145

Tendances pluviométriques récentes et leurs impacts hydrologiques dans le bassin versant du Lac Togo, **Kuasi Apéléte ESIAKU**, Université de Lomé (Togo), **Komi Selom KLASSOU**, Université de Lomé (Togo), **Somiyabalo PILABINA**, Université de Lomé (Togo).....163

Mouvements migratoires et gestion de la transhumance dans la commune de Tanguieta, **Sylvestre Bio DAKOU**, Université d'Abomey Calavy (Bénin), **Aboudou Ramanou ABOUDOU YACOUBOU MAMA**, Université de Parakou (Bénin), **Azizou SABI YO BONI**, Université d'Abomey Calavy (Bénin), **Janvier GUEDENON**, Université d'Abomey Calavy (Bénin), **Abdoul-Madjid TONDRO MAMAM**, Université d'Abomey Calavy (Bénin), **Moussa GIBIGAYE**, Université d'Abomey Calavy (Bénin).....176

Perceptions des agriculteurs familiaux de la commune de Glazoue sur les perturbations climatiques, **Appolinaire ALINENOU**, Université d'Abomey-Calavi (Bénin), **Ibouraïma YABI**, Université d'Abomey-Calavi (Bénin), **Koudzo SOKEMAWU**, Université de Lomé (Bénin), **Euloge OGOUWALE**, Université d'Abomey-Calavi (Bénin).....188

Causes de la baisse du rendement du coton à Kouande, Kerou et Pehunco au Nord-Ouest du Bénin, **Awali ABDOULAYE**, Université d'Abomey Calavy (Bénin), **Aboudou Ramanou YACOUBOU MAMA ABOUDOU**, Laboratoire de Géographie Rurale et d'Expertise Agricole (LaGREA), Cotonou (Bénin), **Sabi SIO TASSIGUI**, Laboratoire de Géographie Rurale et d'Expertise Agricole (LaGREA), Cotonou (Bénin).....199

Abdou-Madjidou MAMAM TONDRO, Laboratoire de Géographie Rurale et d'Expertise Agricole (LaGREA), Cotonou (Bénin), **Janvier Dèhou GUEDENON**, Laboratoire de Géographie Rurale et d'Expertise Agricole (LaGREA), Cotonou (Bénin), **Moussa ADAM**

GIBIGAYE, Laboratoire de Géographie Rurale et d'Expertise Agricole (LaGREA), Cotonou (Bénin).....219

Évaluation des zones potentielles de recharge des eaux souterraines du paléocène supérieur dans le bassin du Mono-Couffo, **K. Hervé KOUDJEGA**, Université d'Abomey-Calavi (Bénin), **D. Japhet KODJA**, Université d'Abomey-Calavi (Bénin), **W. Expédit VISSIN**, Université d'Abomey-Calavi (Bénin).....234

Apport de l'occupation du sol et des techniques statistiques à la caractérisation des risques hydroclimatiques dans le bassin versant Béninois du Mono, Yvon AMOUSSOU, Université d'Abomey Calavi (Bénin), **Mama DJAUGA**, Université d'Abomey Calavi (Bénin), **Fernand AVAHOUNLIN**, Université Nationale des Sciences et Techniques de l'Ingénierie et des Mathématiques, Cotonou (Bénin), **Ismaila TOKO IMOROU**, Université d'Abomey Calavi (Bénin), **W. Expedit VISSIN**, Université d'Abomey Calavi (Bénin), **Omer THOMAS**, Université d'Abomey Calavi (Bénin).....250

Dynamique hydro-climatique et exploitation des héritages géomorphologiques du secteur de Togblekope-kegue dans la basse vallée du Zio au Togo, **Massama-Esso KABISSA**, Université de Lomé (Togo), **Tak Youssif GNONGBO**, Université de Lomé (Togo), **Somiyabalo PILABINA**, Université de Lomé (Togo).....259

Dividende démographique et entrepreneuriat des jeunes au Togo, **Latévi Senam LAWSON-HELLU**, Université de Lomé (Togo), **Gbati NAPO**, Université de Lomé (Togo).....275

ÉVALUATION DES ZONES POTENTIELLES DE RECHARGE DES EAUX SOUTERRAINES DU PALÉOCÈNE SUPERIEUR DANS LE BASSIN DU MONO-COUFFO

K. Hervé KOUDJEGA, Université d'Abomey-Calavi (Bénin)

koudjegaherve@gmail.com

D. Japhet KODJA, Université d'Abomey-Calavi (Bénin)

W. Expédit VISSIN, Université d'Abomey-Calavi (Bénin)

Résumé:

L'estimation de la recharge est essentielle pour la bonne gestion et la protection des ressources en eaux souterraines.

Cette étude porte sur la vulnérabilité de aquifères du paléocène du bassin du Mono-Couffo, situé dans le département du Mono- Couffo. Une cartographie des zones potentielles de recharge a été effectuée en utilisant les techniques de SIG et de la Télédétection. Les zones potentielles de recharge très faibles sont au NE, SE et NW de la zone et représentent 30,60% de la superficie de la zone d'étude observé dans les régions de Houéyogbé, Agbodji et Tohou. Les zones potentielles de recharge élevées et très élevées par contre représentent 26,45% de la superficie totale de la zone d'étude. Les zones à potentiel modéré quant à eux occupent 39,25% de la superficie totale et marquent la transition entre les zones très faible à faible potentiel et celles élevées à très élevées.

Mots clés : Cartographie, Zone potentielle de recharge, aquifère, Paléocène Supérieure, Mono-Couffo

Abstract :

Estimating recharge is essential for the proper management and protection of groundwater resources.

This study deals with the vulnerability of Paleocene aquifers in the Mono-Couffo basin, located in the Mono-Couffo department. A mapping of potential recharge areas was carried out using GIS and Remote Sensing techniques. The very weak potential recharge zones are to the NE, SE and NW of the zone and represent 30.60% of the area of the study zone observed in the regions of Houéyogbé, Agbodji and Tohou. On the other hand, the high and very high potential recharge areas represent 26.45% of the total area of the study area. The zones with moderate potential, meanwhile, occupy 39.25% of the total area and mark the transition between the zones very low to low potential and those high to very high.

Keywords : Cartography, Refill post area, aquifer, Upper Paleocene, Mono-Couffo.

Introduction

L'évolution du climat a des implications considérables sur la disponibilité quantitative et la qualité des ressources en eau. En Afrique la rareté et l'irrégularité de la pluviométrie et l'augmentation de la demande pour satisfaire les besoins croissants pour l'alimentation en eau potable, l'agriculture et l'industrie accentueront les contraintes sur cette ressource (V.S.H. Totin, 2012, p. 15).

Au Bénin les systèmes aquifères ont subi une baisse considérable du niveau piézométrique depuis les décennies 1970 au cours desquelles les précipitations ont considérablement diminué avec de déficit de recharge, s'ajoute l'exploitation et la demande croissante en eau compromettant l'alimentation en eau potable des populations (A. Alassane, 2004, p. 81; M. Boukari, 1998, p. 162). La recharge de la nappe varie de manière spatio-temporelle selon les conditions climatiques, le type et l'utilisation du sol, la topographie du terrain et la profondeur de la nappe phréatique (M. Sophocleous, 1985, p. 352). Les modèles hydrologiques ponctuels (MHP) permettent une simulation détaillée des processus d'écoulement vertical dans la zone non saturée du sol, et peuvent être appliqués à plusieurs endroits sur une large zone permettant une meilleure évaluation de la recharge (E. W. Vissin, 2007, p. 69). La recharge est un processus qui fait partie du cycle de l'eau et est équivalente de ce fait à la partie ou quantité des précipitations qui s'infiltrent et devient de l'eau souterraine (M. Boukari, 1998, p. 143). Les modalités de recharge sont en principe fonction des zones climatiques et des types d'aquifères. Les aquifères semi-captifs et captifs connaissent soit une recharge verticale par des phénomènes de drainance, soit une recharge latérale à travers les zones d'alimentation depuis les zones préférentielles de recharge (A. Alassane, 2004, p.31).

La pénurie des ressources hydriques en surface dans le Bassin sédimentaire cotière a entraîné, pendant les dernières décennies, une exploitation intense des nappes souterraines qui se traduit, en fait, par un abaissement du niveau piézométrique de la nappe phréatique (M. Boukari, 1998, p. 124). Le développement rapide des concentrations urbaines et leurs activités industrielles et du secteur agricole dans cette région ont aussi été des facteurs aggravant de la situation hydrogéologique dans le bassin. Les indicateurs hydroclimatiques jusqu'à présent élaborés ne permettent pas encore d'appréhender, dans toutes ses dimensions, l'impact réel de l'évolution du climat sur la disponibilité (quantité et qualité) des ressources en eaux souterraines du bassin sédimentaire côtier du Bénin (V.S.H. Totin, 2012, p. 17). La problématique d'Approvisionnement en Eau Potable (AEP) des populations se posant encore avec acuité, la quantification des flux entrants et sortants dans ces différents aquifères est à la base de la gestion durable de la ressource à toutes les échelles. Actuellement, on assiste de plus en plus à l'implantation des forages d'exploitation dans les aquifères profonds en particulier l'aquifère du Paléocène qui constitue

une ressource importante dans cette localité. Avec l'accroissement de la sollicitation de l'aquifère du paléocène, il est important de mieux évaluer la recharge.

L'estimation de la recharge faite à travers les méthodes empiriques de Penman, Thornthwaite, Turc et le modèle WTF a donné des valeurs qui attestent d'une infiltration verticale et même sub-latérale telle que confirmée par les coupes géologiques et hydrogéologiques ; ainsi que des possibles relations d'échanges entre les systèmes aquifères. L'objectif de l'estimation qualitative à savoir la spatialisation des zones potentielles de recharge, qui est une méthode basée sur le croisement des indices pondérés, permet de confirmer que les zones potentielles de recharge sont aussi bien dans les parties hautes, constituant les zones préférentielles de recharge ; que dans les zones de basse altitude. L'identification et l'évaluation de ces zones dans le cadre de cette étude, concernant l'aquifère du Paléocène supérieure situé dans le bassin du Mono-Couffo a été réalisée à l'aide de la paramétrisation des états de surface dans une plate-forme SIG et des outils de télédétection. Ceci a permis une distribution spatiale des valeurs de la recharge tout en prenant en compte les paramètres qui influencent plus l'infiltration.

Le secteur d'étude qui est la zone d'Affleurement du Paléocène Supérieure, se situe dans la dépression de Tchi. Il est une partie du secteur occidental de la grande dépression médiane qui traverse le bassin sédimentaire du Sud-Bénin d'Est en Ouest, dite dépression de la Lama. Couvrant les départements du Mono et du Couffo, la dépression de Tchi est située entre le plateau Adja au Nord, celui de Comè au Sud et les terres exondées d'Agamè à l'Ouest. La zone d'étude est limitée à l'Ouest par le fleuve Mono qui matérialise la frontière avec le Togo. Elle est comprise entre 6°52' et 6°37' latitude Nord puis 1°58' et 1°50' longitude Est. (Figure 1 et 2). La zone se décompose en une dépression principale à l'Ouest, le long du cours inférieur du fleuve Couffo et en un certain nombre de petites dépressions lacustres. Cet ensemble représente environ 15% de la superficie des départements du Mono et du Couffo. Les communes de Bopa , de Houéyogbé, de Lokossa, de Dogbo et de Lalo dans les Départements du Mono et du Couffo s'inscrivent pour une bonne partie dans cette dépression. Elle couvre une superficie d'environ 477 km.

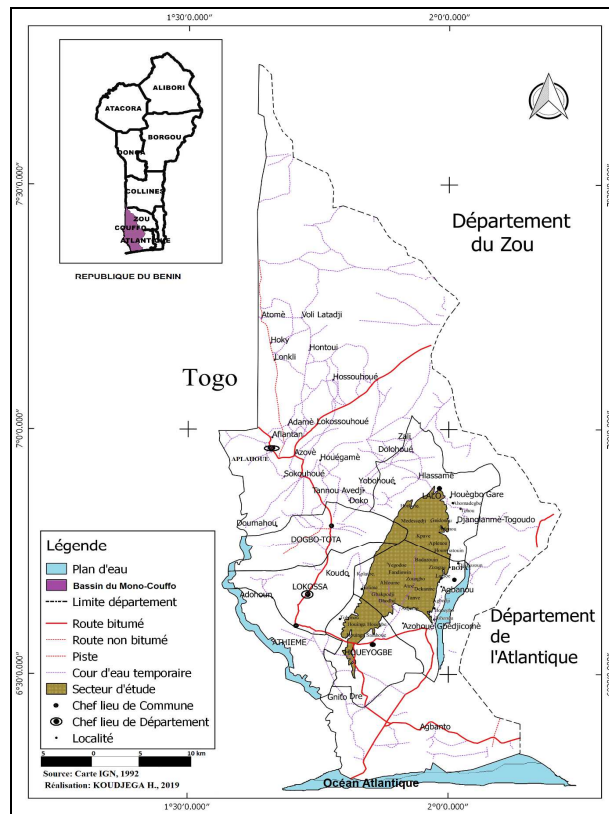


Figure 1 : Carte montrant la zone d’Affleurement du Paléocène supérieur dans le bassin du Mono-Couffo.

Les travaux de recherche de (M. Boukari, 2002, p. 122) et portant sur la réactualisation des connaissances hydrogéologiques relatives au bassin sédimentaire couffien du Bénin, montre que ce Bassin comporte deux aquifères principaux : le Continental terminal et le Crétacé auxquels s’ajoutent l’aquifère quaternaire et celui du Paléocène (Figure 2).

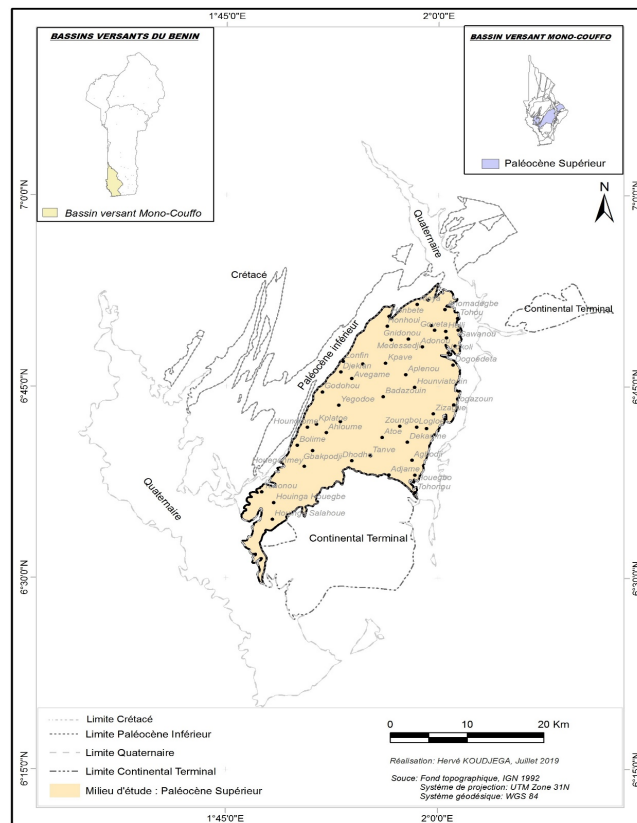


Figure 2 : Carte hydrogéologique montrant le paléocène supérieur

L'aquifère des calcaires Eo-paléocène est à nappe captive sous les argilites et marnes de paléocène supérieur et de l'Eocène inférieur et moyen. Il est parfois affleurant ou sub-affleurant à l'intérieur de la dépression de la Lama, puis s'approfondit très rapidement vers le Sud (Figure 3). Le captage de l'aquifère du Paléocène pourrait s'avérer économiquement intéressant pour l'alimentation en eau potable dans les zones basses où sa cote piézométrique s'établit au-dessus de la cote du sol, favorisant ainsi le caractère jaillissant des forages (BURGEAP-BRGM, 1994, p. 65). Il s'agit des zones lacustres de l'Atlantique et de l'Ouémé, du lac Ahémé, de la basse vallée du Mono et de l'Ouémé. Ailleurs, les calcaires et sables paléocènes sont, soit trop profonds (plus de 400 m, cas des plateaux), soit dénoyés (cas de la dépression de Lama) M. Boukari, (1998, p. 46).

Ces aquifères sont séparés l'un de l'autre par des couches argileuses ou marneuses comme l'illustre la figure 3.

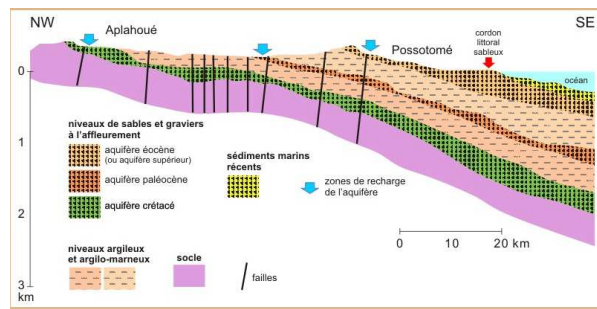


Figure 3 : Coupe hydrogéologique du bassin sédimentaire côtier du Bénin selon les directions nord-ouest et sud-est (Aplahoué-Ouidah)

Source : Dray et al., 1988p. 12

La coupe hydrogéologique du bassin met en évidence la zone de recharge des aquifères du crétacé et du paléocène. La constitution des faciès montre la présence du calcaire dans la zone d'affleurement du Paléocène. Cette facette hydrogéologique régit les processus d'infiltration. Ainsi, le recouvrement superficiel, à grande échelle des couches lithologiques calcaires et marneuses, accélère sous l'effet de la pente, le ruissellement et l'infiltration des eaux pluviales. Ils présentent des caractéristiques et propriétés hydrodynamiques variées, très détaillées dans les travaux

hydrogéologiques faits sur le bassin (M. Boukari, 2002, p. 34).

1. Données et méthodes

1.1. Données

Les données auxiliaires utilisées sont géologiques, lithologiques et topographiques dans la mesure où elles conditionnent la fonction de transfert hydrique atmosphère-sol-aquifère et celle de stockage des réservoirs souterrains. Elles sont extraites des résultats des travaux de M. Slansky (1967, p 69), A. R. Maliki (1993, p14), M. Boukari (1998, p 66), Alassane (2007, p 122) et E. Amoussou (2010, p 172) sur la dynamique des aquifères dans la région d'étude. Les données sur la profondeur de la nappe ont été obtenues en analysant les niveaux statiques qui ont été mesurés dans les puits et les forages en Janvier 2018 et en Juillet 2019. Les bases de données des fonds de carte sont fournies par le LHA, la SONEB, l'IGN et la DG-Eau.

Les collectes de données ont été menées sur des sites d'infiltration ou d'exfiltration des nappes souterraines et autour des points d'eau. Elles ont porté à la fois sur la variabilité saisonnière des modes de gestion des ressources en eau. Elles ont été faites tant en saison pluvieuse qu'en saison sèche par approche participative impliquant surtout les personnes ressources locales (notables, chefs religieux, utilisateurs d'eau et les spécialistes des phénomènes étudiés).

1.2. Méthodes

1.2.1. Principe de la méthode

La méthodologie utilisée est l'analyse multicritère qui considère que la recharge est fonction d'un certain nombre de facteurs (ou critères) interactifs qui interviennent et influencent à des degrés différents. L'organigramme (Figure 4) résume la démarche méthodologique utilisée. La particularité de cette méthode repose sur le croisement des informations spatiales en relation plus ou moins étroite avec l'infiltration. Les paramètres concernés dont la liste est exhaustive, dépendent de la nature du terrain, des zones climatiques, des données disponibles et des objectifs de l'étude. Ils ont ainsi une importance qui varie selon les régions et sont de ce fait interdépendants entre eux. Ceux qui ont été utilisés dans le cadre de cette étude concernent le type de sol, l'occupation de sol, les pentes, la densité de drainage, la lithologie de la ZNS (zone non saturé) et l'épaisseur de la ZNS ; à qui des côtes, un poids et des indices ont été attribués en fonction d'une échelle descriptive variant de très faible à très élevée.

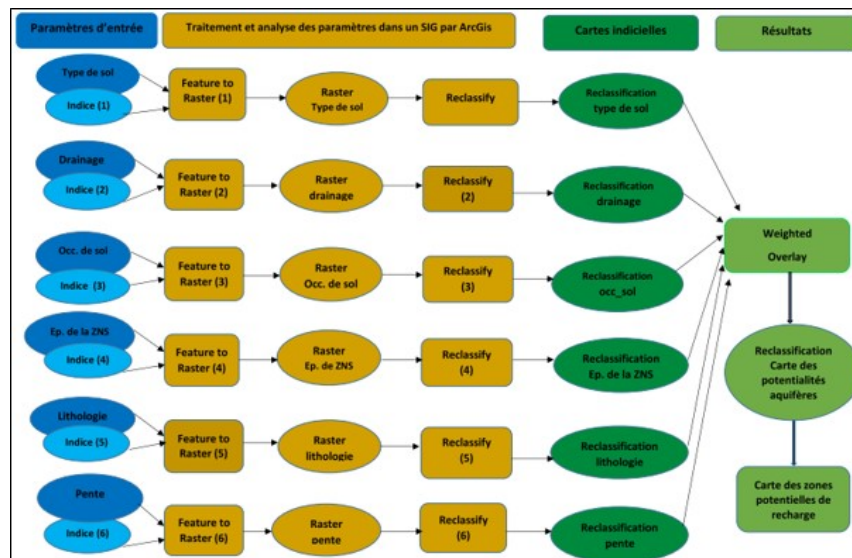


Figure 4 : Démarche issue de la méthodologie de spatialisation des zones potentielles de recharge

Les différentes cartes des paramètres d'entrée ci-dessous citées ont été converties en carte de capacité d'infiltration selon une cotation et une pondération variable.

- Occupation de sol

La carte d'occupation de sol du secteur d'étude (Source : Landsat 8 ETM+) a été utilisée. La cotation des différents éléments d'occupation de sol à savoir les zones urbaines, le couvert végétal (arbres, arbustes et prairies), les terres cultivées, la végétation aquatique et les plans d'eau ont été classés du plus infiltrant au moins infiltrant, compte tenu que la

zone d'étude soit urbanisée. La zone d'habitat a été de ce fait affectée de la cotation la plus élevée. Les terres cultivées très souvent remaniées, sont plus infiltrantes que le couvert végétal, caractérisé par une faible capacité d'infiltration. La végétation aquatique constituée de mangroves et dont de limons d'argiles et de vases, couplée aux plans d'eau rendent l'infiltration très difficile.

- **Types de sols**

La carte du type de sol est issue de la feuille Pédologique de l'IGN. D'une part, les études d'analyses granulométriques effectuées ont établi ces sols en proportions relatives des pourcentages de fractions grossières (sables et graviers) et des particules fines (silts, argiles et limons). D'autre part, les pédologues parlent de sol dans un profil pour toute épaisseur de ce dernier inférieur à 150 cm. C'est ce qui a permis d'effectuer une carte de capacité d'infiltration en tenant compte du fait que les fractions grossières sont les plus infiltrantes.

- **Lithologie de la ZNS**

Les informations issues de la carte géologiques au 1/500 000 indiquant les formations géologiques du Paléocène, couplées aux résultats des analyses granulométriques, montrent que la nature du sol de la ZNS est de texture sableuse (sables grossiers, sables moyens, sables fins), argilo-sableuse à sablo-argileuse et argileuse. La ZNS de nature calcaire-marne est plus infiltrante, contrairement aux horizons sablo-argileux ou argilo-sableux, plus infiltrants à leur tour que les horizons argileux.

- **Pentes**

La carte des pentes de la zone d'étude extraite du MNT n des valeurs oscillant entre 0 et 90°. Les zones les élevées au Nord, Centre et Sud-Ouest ont un taux de ruissellement très élevé par rapport aux zones à pente moyenne. Les zones à très faibles pentes par contre sont plus propices à l'infiltration.

- **Densité de drainage**

La densité de drainage se définit comme étant la longueur totale des drains d'un réseau hydrographique donné par unité de surface dans un bassin. Elle est considérée comme un indicateur révélateur des propriétés des formations géologiques. Elle est ainsi fonction de la lithologie et la structure des formations géologiques et aux caractéristiques topographiques.

- **Epaisseur de la ZNS**

Les niveaux statiques de la campagne de Janvier 2018, représentant les valeurs de la profondeur de la nappe phréatique des puits de la saison sèche, ont été retenus. Ces valeurs de NS varient de 2,5 à 13. Les NS les plus profonds se trouvent dans les zones de basses altitudes où la nappe est affleurante à sub-affleurante. Les zones à hautes altitudes ont les valeurs de NS les plus élevées.

Ces paramètres multicritères ont été superposés selon leur côte et poids pour donner la carte des potentielle de recharge.

1.2.2. Pondération, cotation et calcul des indices des paramètres extraits

La détermination des facteurs de pondération repose sur l'analyse des relations entre paramètres (figure 5). Le poids de 1 est attribué à un paramètre lorsqu'il présente une interdépendance majeure avec un autre paramètre tandis que pour une interdépendance mineure le poids de 0.5 lui est assigné. Ainsi, le poids final de chaque paramètre correspond à la somme des poids déterminés sur la base des interdépendances (Shaban et al., 2006 ; Yeh. et al., 2008 p. 133) (tableau I).

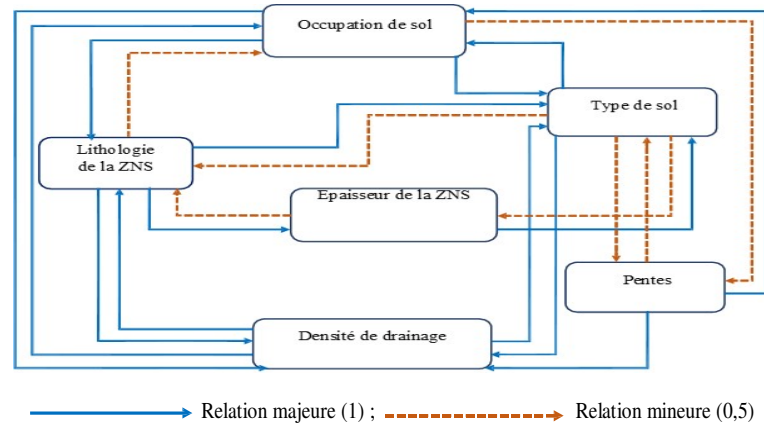


Figure 5 : Relation d'interdépendance entre les différents paramètres influençant l'infiltration (modifié de Shaban et al., 2006 p 133)

Tableau II : Processus de calcul de la pondération des paramètres influençant l'infiltration

Paramètres	Principe de calcul	Poids
Type de sol	$(1 * 1) + (0,5 * 4)$	3
Occupation de sol	$(3 * 1) + (0,5 * 1)$	3,5
Densité de drainage	$(3 * 1) + (0,5 * 0)$	3
Lithologie de la ZNS	$(2 * 1) + (0,5 * 2)$	3
Pentés	$(2 * 1) + (0,5 * 1)$	2,5
Epaisseur de la ZNS	$(1 * 1) + (0,5 * 1)$	1,5

Source : travaux de terrain, UCAD 2019

De plus, sur base de ses caractéristiques intrinsèques, chaque paramètre est subdivisé en classe et affecté d'une cotation, variant du degré très faible (1) au degré très élevé (10).

L'importance de chaque classe varie en fonction de son influence sur l'infiltration des eaux.. Les valeurs d'indice calculées (tableau 15) sont également reclassifiées en une échelle de valeur (1 à 7) correspondant à des potentiels graduels d'infiltration allant de très faible à très élevé.

Tableau III : Caractéristiques (cotation et indice) des paramètres influençant l'infiltration

Paramètre	Caractéristiques	Echelle descriptive	Cote	Poids	Indice	% Influence
Type de Sol	Sols peu évolués sur matériau alluvio-colluvial	Très faible	1	3	3	27,98
	Sols peu évolués sur matériau alluvial argileux	Faible	2		6	
	Vertisols sur argile sédimentaire et sur calcaire	Modérée à Faible	3,5		11	
	Sols ferrallitiques	Elevée modérée	5		15	
	Sols hydromorphes, moyennement organiques	Modérée	4		20	
	Sols hydromorphes, minéraux	Elevée	8		24	
	Sols ferrugineux tropicaux	Très élevée	10		30	
					109	
Occupation du Sol	Marécage	Très faible	1	3,5	3,5	17,47
	Agglomération	Modérée	2		7	
	Mosaïque de Culture	Elevée	6,5		23	
	Plantation	Très élevée	10		35	
					68,5	
Densité de Drainage (seg./km ²)	8,0 – 10,0	Très faible	4	3	12	20,79
	5,0 – 8,0	Modérée	5		15	
	3,5 – 5,00	Elevée	8		24	
	< 3,5	Très élevée	10		30	
					81	
Pente	58° - 80°	Modérée	8,5	2,5	3	11,56
	0° – 58°	Elevée	12,5		17	
	0°	Très élevée	20		25	
					45	
Epaisseur de la Zone non Saturé	≤ 2,5	Très faible	3,5	1,5	5	12,59
	2,5 – 5	Faible	4,5		7	
	5 – 7,5	Modérée	6,5		10	
	7,5 – 10,5	Elevée	8		12	
	10,5 - 23	Très élevée	10		15	
					49	
Lithologie de la ZNS	Silts/limons/argiles		1	3	3	9,50
	Calcaire marneuse		2,5		7	
	Sables grossiers, moyens, fins		9		27	
					37	
Total - indices					389,5	100

Source : travaux de terrain, Juillet 2019

L'intégration des cinq cartes indicielles a été réalisée dans le logiciel ArcGIS en utilisant la méthode «Weighted overlay». Cette méthode permet d'effectuer une analyse intégrée par croisement de paramètres multiples où le pourcentage d'influence de chaque paramètre est pris en compte.

2. Résultats

L'évaluation des zones potentielles de recharge s'est faite à partir de la méthode multicritère mettant en relation six à fin de cartographier la recharge. Il ressort de cette étude que l'occupation du sol, la densité de drainage, la lithologie, la pente du terrain, l'épaisseur de la zone non

saturé et la lithologie de la zone non saturé constituent les facteurs les plus déterminants dans le processus de recharge des aquifères du bassin de Mono-Coffo. En effet, ces facteurs sont souvent considérés comme étant les plus importants dans le processus de recharge surtout en contexte sédimentaire (V.S.H. Totin, 2002, p. 65).

2.1. Impacts du densité du réseau de drainage sur la recharge

Le réseau de drainage est obtenu à partir du modèle numérique de terrain (MNT). La carte obtenue a permis de calculer la densité de drainage qui correspond à la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface. L'indice de drainage est un paramètre théorique qui est fonction :du poids du facteur ou densité de drainage réparti en cinq classes (très élevée, élevée, modérée, faible très faible) et ;de la cote, importance relative de chaque classe (figure 6.1). Par rapport à la carte indiciaire, les zones à indice de drainage faible (valeur 12) moyen (valeur 15 et 24) et fort (valeur 30) correspondent inversement à des densités de drainage forte, moyenne et faible. Il existe en fait, une étroite relation entre le réseau hydrographique et la lithologie (A. Alassane, 2008, p 29) et (M. Boukari, 1998, p. 112). En effet, les densités de drainage élevées correspondent aux zones moins perméables (argilites), alors que les densités de drainage faibles sont liées aux zones plus perméables, à capacités d'infiltration importantes (grès, marne et calcaire) (M. Boukari,1993, p 110). Le réseau hydrographique est l'un des indicateurs importants des caractéristiques hydrogéologiques. Plus il est dense, moins l'infiltration est importante. La relation infiltration-ruissellement est contrôlée par la perméabilité qui dépend elle-même de la lithologie (V.S.H. Totin, 2010, p. 54), (A.R. Malikki, 1993, p. 76) et (A. Alassane, 2000, p. 141).

2.2 Impacts de la Lithologie de la Zone non saturé (ZNS) sur la recharge

La lithologie de la zone d'étude est tirée de la carte géologique au 1/500 000 (Roger et al. 2009) des formations superficielles qui constituent la nappe du Paléocène supérieure (figure 6.2).

Sur la carte indiciaire de la Lithologie de la ZNS, les zones à indice de fracturation faible (valeur 3), moyen (valeur 7) et fort (valeur 27) correspondent respectivement à des zones à capacité d'infiltration faible, moyenne et forte. Ces dernières sont essentiellement sablo-argileux parfois latéritiques, à l'exception des vases et de sables marins récents rencontrés aux alentours du fleuve couffo et au niveau du littoral. La lithologie influe significativement l'infiltration en contrôlant la percolation des flux d'eau (M. Boukari, 1998, p. 43) . Ainsi les zones sablo-argileux latéritiques sont considérées comme plus infiltrantes.

2.3 Impacts de l'occupation du sol sur la recharge

La carte d'occupation du sol a été aussi traduite en carte de capacité d'infiltration en classant les différents types d'occupation du sol (cultures pluviales, végétation naturelle, habitations, mangroves, etc...) du plus infiltrant au moins infiltrant (figure 6.3).

La zone d'étude étant essentiellement une zone fortement rurale avec un habitat épars, la végétation a été classée à partir du NDVI ou «Normalised Difference Vegetation Index» des images Landsat . Les plus forts indices de capacité d'infiltration (valeur 35) ont été observés dans les zones urbaines de Houéyogbé de Lobogo et en grande partie dans la ville de Lalo où se mène beaucoup d'activités humaines. La présence d'ouvrages (carrières, gros trous, bassins d'effluents, etc.) expliquerait cette capacité d'infiltration importante. Les villes de Doutou, de Yégodoé, de Athiémé et de Ahodjinako sont situées dans des zones à infiltration relativement faible (valeur 4 à 23). Ainsi, contrairement à la pollution industrielle observée dans des zones vulnérables, la pollution urbaine impacterait moins sur la qualité des eaux souterraines. L'occupation du sol est un facteur important susceptible d'affecter le processus de la recharge et par conséquent la qualité des eaux souterraines (V.S.H. Totin, 2010, p 166). Les zones à NDVI élevée correspondent aux zones à fortes densité de végétation donc à évapotranspiration élevée et à infiltration faible.

2.4 Impacts du Types de sol sur la recharge

La carte des types de sol présentée a été traduite en carte de capacité d'infiltration sur base des proportions relatives en pourcentage de fractions grossières (sable, gravier), fines (argiles) contenus dans chaque sol. Les analyses granulométriques ont permis de regrouper les types de sol en fonction de leurs caractéristiques (figure 6.4).

Le sol a un impact considérable sur la quantité et la qualité d'eau qui pourra s'infiltrer pour atteindre la nappe et par voie de conséquence sur la migration verticale des polluants à travers la zone non saturée (O. Gaou, 2012, p. 98). En se basant sur la classification pédologique, quatre classes ont été extraites, celle de sable fin et grossier (valeur 11 et 24) qui couvre la région de Houéyogbé et de Badazoui, celle de limon organique (valeur 15) qui couvre 90% de la zone d'étude qui est de texture noire rencontré dans les zones de Agbodji, Badazoui, Yégodoé, Ahodjinako, Tohou, Adoukandji et Ahomadégbé, celle du calcaire (valeur 30) couvre 5% du sud-est; celle argilo-sableux avec (valeur 6) couvre la région de Lobogo et de Agbodji.

2.5 Impacts de la Pente de terrain sur la recharge

La pente est obtenue à partir du Modèle Numérique de Terrain avec des valeurs comprises entre 0° et 6°. Les zones à pentes élevées, essentiellement, localisées au Sud-Ouest de la zone favorise le

ruissellement au dépend de l'infiltration, tandis que celle à faible pente favorise l'infiltration (figure 6.5).

Par conséquent, les fortes pentes correspondent aux zones les moins infiltrantes et les faibles pentes aux zones les plus infiltrantes (A. Alassane, 2004, p. 121).

2.6 Impacts de l'épaisseur de la ZNS sur la recharge

Les niveaux statiques de la campagne de Janvier 2018, représentant les valeurs de la profondeur de la nappe phréatique des puits de la saison sèche, ont été retenus. Ces valeurs de NS varient de 2,5 à 13 (Figure 6.6).

Les NS les plus profonds se trouvent dans les zones de basses altitudes où la nappe est affleurante à sub-affleurante. Les zones à hautes altitudes ont les valeurs de NS les plus élevées.

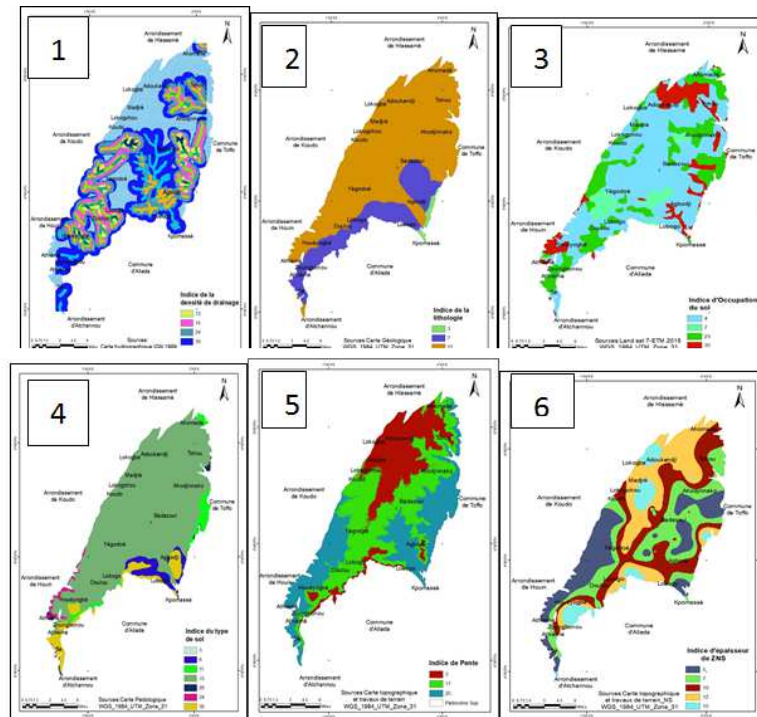


Figure 6 : Cartes indiciaires de la capacité d'infiltration des six paramètres d'identification

2.7 Elaboration de la carte de recharge potentielle

Les cartes indiciaires (Figure 6) ont été combinées en prenant en compte le pourcentage d'influence de chaque critère sur la recharge pour établir la carte de zones potentielles de recharge (Figure 7). Cette technique d'identification et d'évaluation des zones potentielles de recharge a fait l'objet de plusieurs applications dans différents contextes géologiques. Le croisement des données issues des six paramètres des

cartes indicelles indique cinq classes des zones potentielles de recharge allant de très faible, faible, modérée, élevée et très élevée. Le type de sol, la densité de drainage et l'occupation de sol sont les paramètres qui influencent plus l'infiltration dans la zone d'étude à cause de leurs poids très élevés.

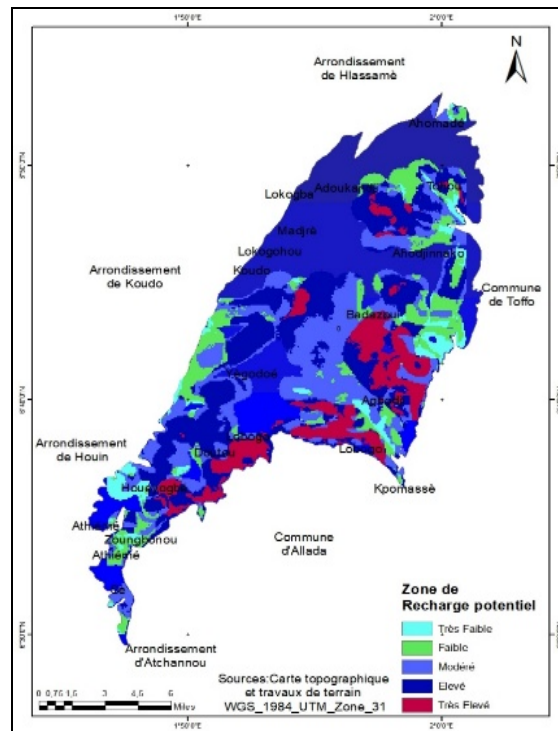


Figure 7: Indice de zone Potentielle de recharge

3. Discussion

Les zones potentielles de recharge très faibles, au NE, SE et NW de la zone représentent 30,60% de la superficie de la zone d'étude observé dans les régions de Houéyogbé, Agbodji et Tohou constituées d'argile à la ZNS très épaisse en majorité, elles sont composées de pentes élevées avec une infiltration bien réduite. Elles sont similaires aux zones à faible potentiel qui représentent 15,67%, rencontrées à Tohou, Badazouin, Houéyogbé. Les zones potentielles de recharge élevées et très élevées par contre représentent 26,45% de la superficie totale de la zone d'étude. Elles sont préférentiellement localisées au niveau des zones basses où l'épaisseur de la ZNS est très faible, la nappe sub-affleurante et les sols plus sableux. Elles sont rencontrées à Ahomadégbé, Agbodji, Lobogo, Doutou et Madrè. Les zones à potentiel modéré quant à eux occupent 39,25% de la superficie totale et marquent la transition entre les zones très faible à faible potentiel et celles élevées à très élevées. Elles sont rencontrées à Ahodjinakou, Zoungbonnou et Yègodoé et le long de

fleuves couffo. Une partie de la zone Ouest et Est présentent un potentiel de recharge élevé à modéré lié aux sols de nature sablo-argileux et la présence en profondeur latéritique. Les zones présentant un potentiel de recharge modéré sont observées dans la partie Centre-Ouest en amont de la dépression liées à la présence du substrat argileux et des sols hydromorphes qui réduisent l'infiltration. Ceci semble concordé à quelque différence près avec la recharge moyenne observé avec l'estimation de recharge par la méthode de fluctuation piézométrique et méthode de bilan de masse qui stipule que la recharge est fonction des effets combinés du climat, des paramètres hydrogéologiques, de l'humidité des sols, de la topographie, des états de surface et des extractions d'eau qu'à leur simple influence (M. Boukari, 2002, p. 241) et (A. Alassane, 2004, p. 93). L'infiltration vers les nappes dépend de la structure lithologique car au contact des formations argileuses l'écoulement de surface ou hypodermique entraînerait une diffusion de l'eau pluviale ou son transfert rapide sous l'effet de la pente vers les réservoirs superficiels (V.S.H.Totin, 2010, p. 132).

Conclusion

L'élaboration des cartes des zones potentielles de recharge a montré la sensibilité des aquifères du Paléocène situé dans le Bassin du Mono-Couffo. Pour atteindre les objectifs fixés par cette étude, nous avons utilisé les SIG moyennant la méthode multicritère. En effet, Le SIG a fourni un environnement efficace pour les analyses et une forte capacité de manipulation de grandes quantités de données spatiales.

Les six paramètres du modèle ont été construits, classés et codés en utilisant l'outil SIG et ses fonctionnalités. L'indice de recharge, qui est défini comme étant une combinaison linéaire des facteurs, a été facilement calculée. Le SIG a fourni également des possibilités d'analyse de sensibilité de la carte des zones potentielles de recharge ainsi élaborée. La répartition spatiale des zones potentielles de recharge est globalement de faible à très élevé. Les indices les plus élevés sont localisés essentiellement dans les régions de Ahomadégbé, Agbodji, Lobogo, Doutou et Madrè. Ceci est expliqué par la faible profondeur du plan d'eau, la nature des formations lithologiques perméables relatives dans cette zone et les pentes faibles.

References bibliographiques

- ALASSANE Abdoukarim, 2004, Etude hydrogéologique du Continental terminal et des formations de la plaine littorale dans la région de Porto-Novo (Sud du Bénin) : Identification des aquifères et vulnérabilité de la nappe superficielle. Thèse de Doctorat du 3ème cycle. Université Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal, 145 p. + annexes.
- AMOUSSOU Ernest., 2010, Variabilité pluviométrique et dynamique hydro-sédimentaire du bassin-versant du complexe fluvio-

- lagunaire Mono-Ahémé-Couffo. Thèse de doctorat, Université de Bourgogne, Dijon, France, 315 p.
- BOUKARI Moussa, 1998, Fonctionnement du système aquifère exploité pour l’approvisionnement en eau de la ville de Cotonou sur le littoral béninois. Impact du développement urbain sur la qualité des ressources. Thèse Doctorat ès-Science. Université Cheick Anta Diop de Dakar, Sénégal, 278 p. + annexes.
- BOUKARI Moussa, 2002, Réactualisation des connaissances hydrogéologiques relatives au bassin sédimentaire côtier du Bénin. Direction de l’Hydraulique, Cotonou, 134 p. + annexes.
- Burgeap-BRGM, 1994, Projet d’alimentation en eau potable des zones lacustres des Départements de l’Atlantique et de l’Ouémé. Rapport final, Direction de l’Hydraulique, Cotonou, Bénin, 64 p.
- Calder I.R., 1993. Hydrologic effects of land-use change, in: Handbook of hydrology, edited by: Maidment D.R., McGraw-Hill, New York, USA, 13.1–13.50.
- GAOU Oscar., 2014 , Vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines : cartographie des risques de contamination de l’aquifère superficiel de la zone côtière à l’ouest du chenal de Cotonou (Bénin). Thèse de Doctorat de l’Université d’Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin, 224 p.
- KORKMAZ Namun., 1988, The estimation of groundwater recharge from water level and precipitation data. Journal of Islamic Academy of Sciences 1(2), 87–93.
- MALIKI Aboudou.Raoufou., 1993, Etude hydrogéologique du littoral béninois dans la région de Cotonou et ses environs. Thèse de Doctorat de 3ème cycle. Université Cheick Anta Diop, Dakar, Sénégal, 116 p. + annexes.
- SOPHOCLEOUS .Mario., 1991, Combining the soilwater balance and water-level fluctuation methods to estimate natural groundwater recharge: practical aspects. Journal of Hydrology, 124(1991), 229–241.
- SHABAN Almouahed ..,2015 Use of remote sensing and GIS to determine recharge potential zone: the case of Occidental Lebanon. Hydrogeology Journal, 14: 433–443.
- SLANSKY Maurice, 1962, Contribution à l’étude Géologique du Bassin Sédimentaire Cotière du Dahomey et du Togo, édition techni p 268
- VODOUNON TOTIN Henri Sourou ., 2010. Sensibilité des eaux souterraines du bassin sédimentaire côtier du Bénin à l’évolution du climat et aux modes d’exploitation : stratégies de gestion durable. Thèse de Doctorat de l’Université d’Abomey-Calavi. Bénin, 283 p.
- VISSIN Expédit.Wilfred., 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.



Institut National de la Recherche Scientifique. INRS
BP: 2240 LOME - TOGO
Tél. (228) 22 21 01 39 / (228) 22 21 39 94
E-mail : inrstogo@yahoo.fr