

Identification Et Cartographie Des Zones Potentielles De Recharge Des Eaux Dans La Région De Dosso (Sud-Ouest, Niger) Par Analyse Multicritère

*Dr. Ibrahim Abdou Ali,
Prof. Moussa Konaté,*

Université Abdou Moumouni, Faculté des Sciences et Techniques,
Département de Géologie, Niamey, Niger

Doi:10.19044/esj.2020.v16n18p217 [URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2020.v16n18p217](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2020.v16n18p217)

Résumé

Les eaux souterraines constituent la principale source d'approvisionnement en eau des populations de la région de Dosso, située dans le Sud-Ouest du bassin des Iullemeden. En dépit du climat aride à semi-aride qui caractérise cette région, le renouvellement des eaux des nappes souterraines s'effectue à travers les pluies. Cette recharge des eaux, qui constitue un élément essentiel dans le cycle hydrologique, se fait préférentiellement selon des zones qui peuvent aussi être des zones vulnérables à la pollution des nappes. L'objectif principal de cette étude consiste à identifier puis à cartographier les zones potentielles de recharge des eaux. La démarche méthodologique utilisée dans le cadre de ce travail a nécessité l'utilisation de l'analyse multicritère combinant le Système d'Information Géographique (SIG) et la télédétection. Après le traitement des images Landsat de Dosso, tous les paramètres influençant les processus de recharge des eaux ont été intégrés au SIG. Il s'agit : des types de sol, de l'occupation du sol, des densités des fractures et du drainage, de la lithologie de la zone non saturée et de la pente du terrain. La carte des zones potentielles de recharge des eaux montre que la majorité de la zone étudiée présente un potentiel réel d'infiltration des eaux lié à : la nature sableuse des sols, la présence des zones de cultures pluviales, la présence de fractures et la densité du réseau hydrographique. Cette carte a aussi permis de confirmer que les zones à potentiel élevé de recharge se situent dans les lits des mares et des "dallols" (larges vallées sèches), qui deviennent ainsi des zones plus vulnérables. Ce support cartographique constitue de ce fait un outil d'aide à la décision.

Mots-clés : Zones potentielles de recharge, Bassin des Iullemeden, Analyse multicritère, Densité des fractures, Occupation du sol

Identification and Mapping of Groundwater Potential Recharge Areas in the Dosso Region (Southwestern of Niger) by Using Multicriteria Analysis Method

*Dr. Ibrahim Abdou Ali,
Prof. Moussa Konate,*

Université Abdou Moumouni, Faculté des Sciences et Techniques,
Département de Géologie, Niamey, Niger

Abstract

Groundwater is the main source of water supply in the Dosso region which is located in the southwestern part of the Iullemeden Basin. Despite the arid to semi-arid climate that characterizes this region, groundwater recharge is occurring mainly through rainfall. This recharge of water which is an essential element in the hydrological cycle is preferentially done according to zones which can also be vulnerable to groundwater pollution. The main objective of this study is to identify and mapped the potential recharge areas. A methodology based on a multicriteria analysis integrating GIS and remote sensing was used to map the potential recharge areas. After processing the Landsat satellite images of Dosso region, all the parameters influencing the hydrological recharge processes were obtained and integrated into GIS. These parameters are: soil types, land cover, fracture density, drainage density, lithology and slope. The map of potential recharge areas obtained shows that the majority of the study areas has great recharge potential. According to this study, this great potentiality could be linked to: the sandy nature of the soil, the cultivable areas, the presence of fractures and density of hydrographic network. This map also confirmed that areas with high recharge potential are located in the beds of ponds and "dallols" (wide dry valleys), which thus become more vulnerable areas. This map of potential recharge areas constitutes therefore a tool for decision makers.

Keywords: Potential recharge areas, Iullemeden Basin, Multicriteria analysis, Fractures density, Landcover

Introduction

La région de Dosso est marquée par deux régimes climatiques caractérisés par un gradient pluviométrique moyen nord-sud (Guéro, 2003). Ainsi, on distingue classiquement un climat nord-soudanien au sud de la

latitude 12°30'N et un climat sud-sahélien au nord de la latitude 12°30'N (Guéro, 2003). Cette dualité du climat implique une certaine disparité dans la répartition de la pluviométrie du sud vers le nord, avec un cumul pluviométrique annuel supérieur à 600 mm dans le sud (zone soudanienne). Dans la partie nord (zone sud-sahélien), le cumul pluviométrique annuel est compris entre 300 et 600 mm selon les données de la Direction de la Météorologie Nationale (DMN). Dans la région de Dosso, la recharge des nappes d'eau souterraine, principale source d'approvisionnement en eau potable des populations, se fait pour l'essentiel à partir des eaux de pluies (Favreau *et al.*, 2000 ; Leduc *et al.*, 2001 ; Rueedi *et al.*, 2005). Cette recharge constitue un élément important du cycle hydrologique. Il s'avère donc important d'estimer qualitativement cette recharge en réalisant la carte des zones potentielles de recharge des eaux. Celle-ci passe nécessairement par l'intégration des différents paramètres susceptibles d'influencer les processus hydrologiques.

Dans le processus hydrologique de façon général et particulièrement dans l'infiltration des eaux, les paramètres influençant cette dernière, identifiés dans le cadre de cette étude sont : les réseaux de drainage et de fractures, la lithologie de la zone saturée, les types de sols, l'occupation de sol et enfin, la pente de terrain. Cependant, il faut noter que ces paramètres peuvent être différents selon les études, mais aussi selon les conditions géologiques et hydrogéologiques des zones à étudier.

L'objectif principal de cette étude consiste à identifier puis à cartographier les zones potentielles de recharge des eaux dans la région de Dosso. De façon spécifique, il s'agit de :

- Décrire les paramètres influençant le processus de recharge dans la zone d'étude;
- Cartographier et de croiser ces paramètres à l'aide du logiciel ArcGis 10.3 en utilisant la technique de "Weight overlay".

L'application des techniques de télédétection pour la détermination des états de surface de la région de Dosso, combinée à l'analyse multicritère par utilisation du SIG, a permis de réaliser cette cartographie des zones potentielles de recharge. Les techniques d'analyse multicritère sont des algorithmes numériques qui définissent l'adéquation d'une solution particulière sur la base des critères d'entrée et de pondération avec des moyens mathématiques et/ou logiques pour déterminer les compromis en cas de conflits (Heywood *et al.*, 2003). Il est attribué un poids aux différentes couches pour refléter leur importance relative dans la technique d'analyse multicritère. Ainsi, pour avoir une idée claire sur la situation, les paramètres déterminants doivent être traités et intégrés en donnant un poids spécifique à

un domaine particulier. Cette technique a été utilisée par plusieurs auteurs dans divers domaines d'étude, à savoir : Bradbury et Muldoom (1994), Edet *et al.* (1998), Jourda *et al.* (2006), Shaban *et al.* (2004 et 2006), Dieng (2017) et Emvoutou (2018).

1. Contexte Géologique Et Hydrogéologique

1.1 Contexte géologique du Bassin des Iullemeden

La région de Dosso se situe dans la partie sud-ouest du bassin des Iullemeden (Figure 1 A et B), qui a été décrit pour la première fois par Radier en 1957. Le bassin des Iullemeden est un vaste bassin intracratonique réparti sur plusieurs pays : Algérie, Bénin, Mali, Niger, Nigéria (Alidou, 1987 ; Bellion, 1987 ; Favreau, 2000 ; Guéro, 2003).

Dans la partie sud de ce bassin, où se situe la zone d'étude, affleurent des séries marines datées du Cénomanién supérieur à l'Eocène inférieur et celles du Continental Hamadién d'âge Cénomanién inférieur à Maastrichtien (Alidou, 1987 ; Bellion, 1987 ; Favreau, 2000 ; Guéro, 2003).

Le bassin des Iullemeden contient des sédiments paléozoïques et méso-cénozoïques (Alidou, 1987 ; Bellion, 1987 ; Favreau, 2000 ; Guéro, 2003). Il a subi au cours des temps géologiques, une sédimentation intracratonique ayant entraîné un déplacement du nord-est vers le sud-ouest des aires de dépôts pendant le Paléozoïque et le Méso-Cénozoïque. Les sédiments mésozoïques occupent la plus grande partie du bassin. La série cénozoïque repose directement en discordance majeure sur le socle birimien du Liptako et sur celui du bouclier panafricain Bénino-Nigerian (Alidou, 1987 ; Bellion, 1987). Les formations paléozoïques affleurent dans la partie nord du bassin, ainsi qu'à son extrémité sud occidentale, au Sud Niger et au Nord Bénin (Alidou, 1987 ; Bellion, 1987 ; Konaté, 1996).

L'histoire sédimentaire du bassin des Iullemeden s'étend du Cambrien au Quaternaire (Alidou, 1987 ; Bellion, 1987 ; Favreau, 2000 ; Guéro, 2003). Au début du Paléozoïque se sont mis en place des dépôts peu épais, au sud du Hoggar et de l'Aïr. Du Permien au Crétacé inférieur la sédimentation continentale, détritique silicatée, d'une puissance de plusieurs centaines de mètres, est à l'origine de la mise en place de la série du Continental Intercalaire (Greigert, 1966 ; Alidou, 1987 ; Bellion, 1987 ; Favreau, 2000 ; Guéro, 2003). A partir du Cénomanién et jusqu'au Paléocène supérieur, plusieurs transgressions marines en provenance du nord (T1, T2) puis de l'ouest (T3, T4) se sont succédées (Greigert, 1966 ; Alidou, 1987 ; Bellion, 1987 ; Favreau, 2000 ; Guéro, 2003 ; Laouali Idi et Konaté, 2019).

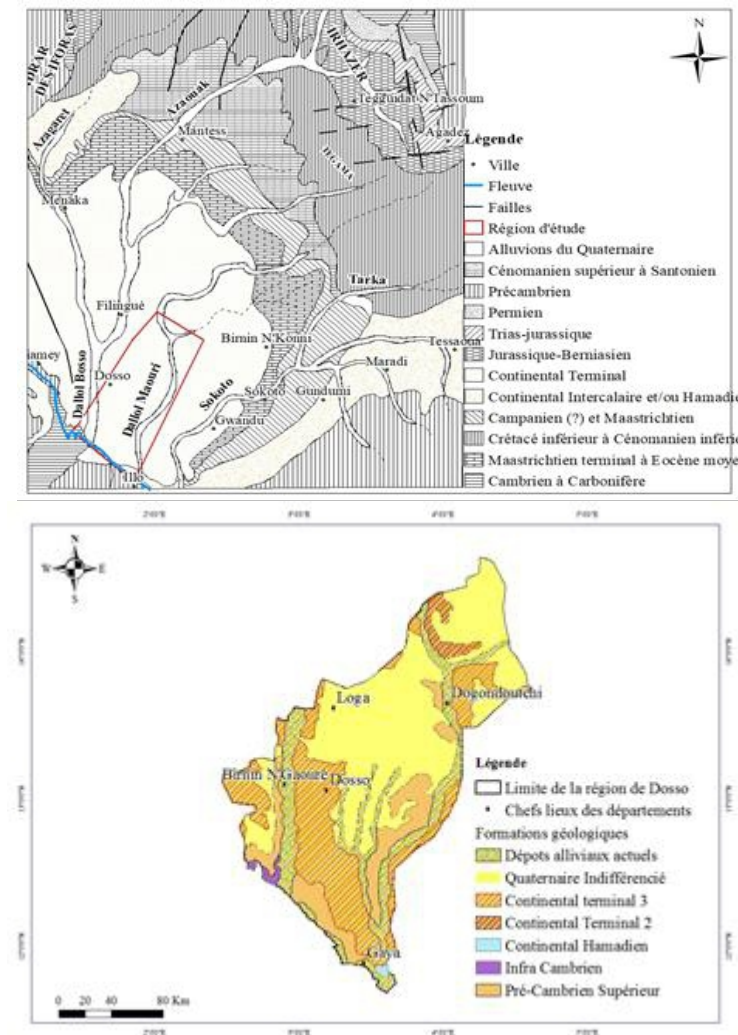


Figure 1 : A - Carte géologique du bassin des Iullemeden (Dubois et Lang, 1981 modifié).
 B - Extrait de la carte géologique de la région de Dosso (Greigert, 1966 modifiée).

1.2 Hydrogéologie de la région de Dosso

Les études hydrogéologiques du Niger en général et de la région de Dosso en particulier ont permis de mettre en évidence quatre aquifères qui sont situés essentiellement dans les formations sédimentaires du Crétacé (Continental Intercalaire/Hamadien), du Tertiaire (Continental Terminal) et du Quaternaire (alluvions des vallées) (Greigert et Bernert, 1978 ; Daddy, 1993 ; Montfort, 1996, 1997 ; Favreau, 2000 ; Favreau et al., 2002 ; Guéro, 2003). Ainsi, on distingue de la base au sommet l'aquifère du Continental Hamadien (CH), l'aquifère du Continental Terminal 1 (CT1), et ceux du Continental Terminal 2 et 3 (CT2, CT3). Les aquifères du Continental Hamadien et du Continental Terminal 1 sont captifs, tandis que ceux du Continental Terminal

2 et 3 sont respectivement semi-captif et libre (Greigert et Bernert, 1978 ; Daddy, 1993 ; Montfort, 1996, 1997 ; Favreau, 2000 ; Favreau et al., 2002 ; Guéro, 2003). La recharge de l'aquifère du CT3 est tributaire pour l'essentiel des eaux de pluie.

2. Methodologie Et Parametres Influençant L'infiltration

2.1 Méthodologie de travail

L'utilisation des techniques de télédétection, pour la détermination des états de surface de la région de Dosso, a été combinée à l'analyse multicritère pour réaliser la cartographie des zones potentielles de recharge des eaux (Shaban et al., 2004 ; Sikdar et al., 2004 ; Gaura et al., 2011 ; Abdalla, 2012). Dans les techniques d'analyse multicritères, un poids a été attribué aux différentes couches pour refléter leur importance relative. Aussi pour avoir une idée claire sur la situation, les paramètres déterminants doivent être traités et intégrés en donnant un poids spécifique à un domaine particulier.

Dans le cadre de cette étude, pour obtenir la carte des zones potentielles de recharge des eaux, des poids, des côtes et des indices déterminés en fonction d'une échelle descriptive (variant de très élevée à très faible), ont été attribués aux différentes cartes thématiques. Ces poids sont fonction de l'influence de chaque paramètre sur l'infiltration. La méthode utilisée dans cette étude est illustrée dans la figure 2 ci-dessous.

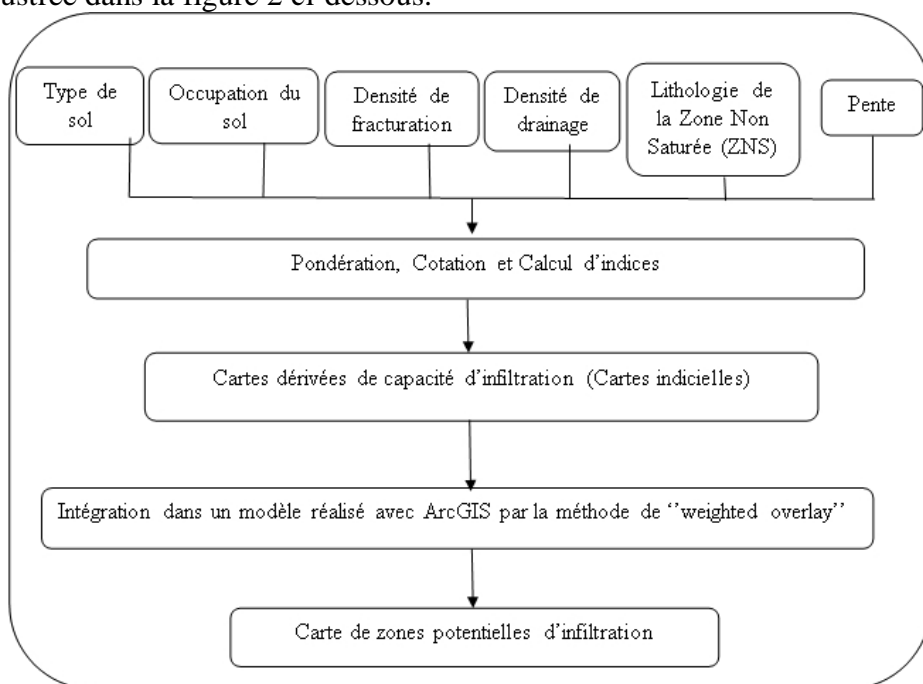


Figure 2 : Illustration de la méthode utilisée pour la cartographie des zones potentielles de recharge des eaux de la région d'étude

2.2 Paramètres influençant l'infiltration

2.2.1. Types de sol

La carte des types de sol (Figure 3) donne l'état de connaissance des différents sols. Elle a été réactualisée à partir des images satellitaires traitées par les techniques de la télédétection, combinées au SIG (Abdou Ali, 2018). Pour les sols, le regroupement a été fait selon leurs types et les proportions relatives des fractions grossières ou fines. Par conséquent, six classes de sols ont été définies et cotées de la plus favorable à l'infiltration à la moins favorable suivant l'augmentation de la proportion d'argiles.

Les aéronosols et les acrisols sont des sols sableux facilement érodables qui sont constitués essentiellement de sables à plus 85% avec une faible proportion d'argiles de type kaoliniques d'environ 15%. Ces sols ont une texture graveleuse, ce qui permet de les classer comme des sols favorisant l'infiltration.

Les plinthosols, les fluvisols et les gleysols sont des sols hydromorphes moyennement argileux. Ces sols occupent les parties qui ont les plus basses altitudes (dallols (vallées sèches) et zone du fleuve, etc). Ils sont considérés comme étant des sols présentant une infiltration moyenne.

Les sols ferrallitiques qui sont de couleur rouge sont associés aux sols ferrugineux peu ou pas lessivés, constitués d'argiles de type kaolinique. Ces sols ferrallitiques sont considérés comme étant les moins favorables à l'infiltration.

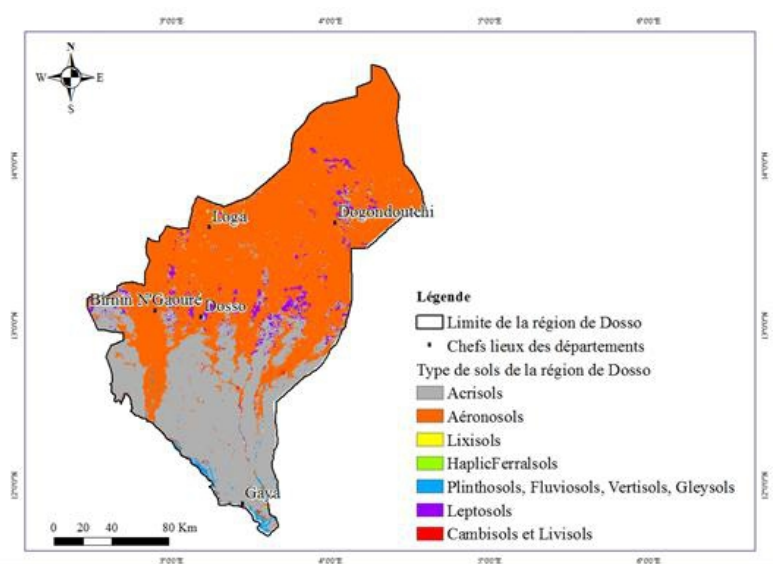


Figure 3 : Carte des types de sol de la région de Dosso (Abdou Ali, 2018).

2.2.2. Occupation du sol

Les traitements d'images avec le logiciel ENVI 5.3, ainsi que la technique de classification supervisée, ont permis de réaliser la carte

thématique (Figure 4) de l'occupation du sol (Abdou Ali, 2018). L'analyse de cette carte, montre les caractéristiques suivantes : la prédominance des zones cultivables ou de cultures pluviales (72,19%), le reste du couvert végétal comprenant des forêts, de la savane arbustive ou herbacée représente 23,08% de la superficie de la région. Le sol nu non cultivable occupe 4.31% de la zone d'étude, le reste de la superficie de la zone d'étude est occupé par les villes, les villages, les hameaux (0,22%) et aussi par les plans d'eau représentés par le fleuve Niger, les chapelets de mares sur les dallols ainsi que les autres cours d'eau (Abdou Ali, 2018).

Les différents éléments d'occupation de sol ont été classés selon leur perméabilité. Cette classification va du plus infiltrant au moins infiltrant. Les terres cultivables et/ou couvert végétal sont considérés comme les plus infiltrants, du fait des sols qui sont constamment remaniés. Selon Shaban et al. (2006), la couverture végétale et/ou les terres cultivables aident à confiner l'eau sous la zone végétale comme dans un système de parapluie, empêchant ainsi à l'eau de s'évaporer directement. Ce qui fait de la couverture végétale un facteur efficace d'amélioration du taux de recharge d'eau. Les zones inondables et les plans d'eau sont considérés comme étant les moins infiltrantes à cause de leur rétention d'eau due à la présence d'argile (Shaban et al. , 2004 et 2006; Dieng, 2017 ; Emvoutou, 2018, Abdou Ali, 2018).

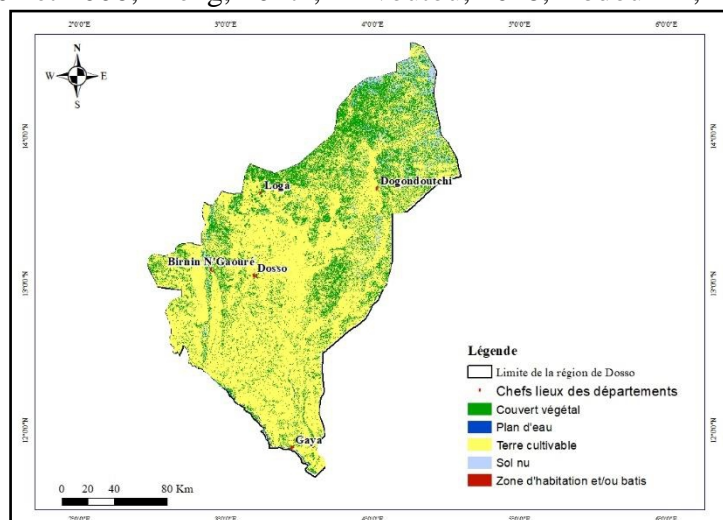


Figure 4 : Carte d'occupation du sol de la région de Dosso (Abdou Ali, 2018).

2.2.3. Densité de fracturation

La cartographie des objets structuraux (linéaments, fractures, failles, limite lithologique...) joue un rôle essentiel dans les différentes phases de prospection des ressources en eau du sous-sol (Karimoune et al., 1990 ; Biémie, 1992; Shaban, 2003 ; Abdou Ali, 2018).

Comme application en hydrogéologie, on peut citer par exemple l’obtention et la détermination à partir des images satellitaires, des informations sur la nature des sols et autres objets structuraux tels que les fractures qui jouent parfois le rôle de drain participant ainsi à la recharge des nappes souterraines. Pour Shaban (2003), les linéaments connectés créent une voie souterraine pour l’écoulement des eaux souterraines. Ceci fait d’eux un paramètre indicatif du transport des eaux souterraines et par conséquent, un critère d’analyse dans la réalisation des cartes de zones potentielles de recharge des eaux (Teeuw, 1994 ; El-Baz et Himida, 1995).

Le terme linéament est utilisé ici pour désigner toutes les structures linéaires d’échelle plurikilométrique, rectiligne ou parfois curviligne, qui se distinguent en imagerie satellitale ou en photographie aérienne (O’Leary et al., 1976 ; Abdou Ali et al., 2018).

Dans le cadre de cette étude, les fractures déterminées et validées par Abdou Ali et al. (2018) ont été utilisées pour calculer la densité des fractures qui correspond à la longueur des fractures par unités de surface. Elle s’exprime selon la formule suivante :

$$D_f = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{A}$$

Où

D_f = densité de fractures [km/km²]

L_i = longueur totale des fractures en km

A = surface occupée par les fractures en km²

Les zones à forte densité de fractures indiquent une forte porosité secondaire et donc, une zone de recharge élevée et vice versa.

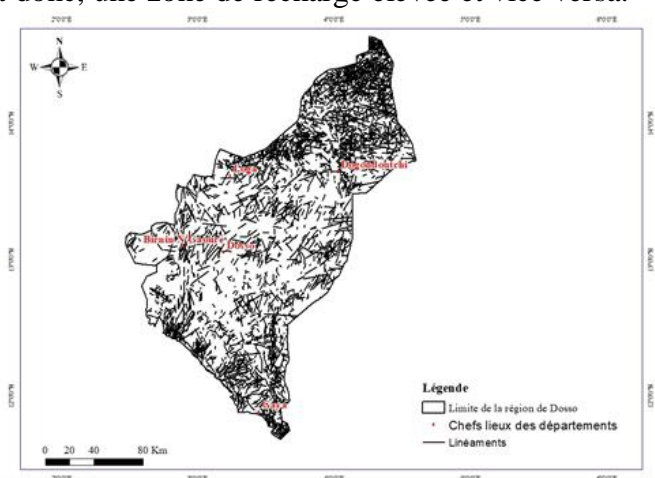


Figure 5 : Carte des linéaments de la région de Dosso (Abdou Ali et al., 2018).

2.2.4. Densité de drainage

L’analyse de la densité du réseau de drainage contribue énormément dans l’évaluation de la recharge des nappes. La densité de drainage dépend

entre autres de la géologie (structure et lithologie), des caractéristiques topographiques du bassin versant. En revanche, il faut noter que les propriétés morphométriques les plus importantes d'un système de drainage sont, entre autres, la densité de drainage, la fréquence des intersections des drains, la longueur des drains principaux, le ratio de bifurcation et de forme des drains. Comme dans le milieu karstique où Shaban (2003, 2006) avait démontré que la fréquence du réseau de drainage influence fortement la recharge, de nombreuses études ont évoquées cette relation dans le milieu sédimentaire au Sénégal et au Cameroun (Madioune, 2012 ; Dieng, 2017 ; Emvoutou, 2018). Ainsi plus le nombre de drain et la densité de drainage sont élevés, plus grande est la vitesse de recharge des eaux (Madioune, 2012 ; Dieng, 2017 ; Emvoutou, 2018).

La densité de drainage, est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant (Shaban, 2003). La carte du réseau hydrographique (Figure 6) réalisée dans le cadre des travaux d'Abdou Ali (2018) a été utilisée pour déterminer la densité de drainage. Elle est exprimée par la relation suivante :

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{A}$$

D_d = densité de drainage [km/km^2]

L_i = longueur totale du réseau hydrographique en km

A = surface considérée en km^2

Il faut noter que la densité de drainage dépend à la fois de la géologie et des caractéristiques topographiques du bassin versant (Shaban, 2003). Dans la zone d'étude, les canaux de drainage et les autres dépressions ont des substrats argilo-sableux, ce qui favoriserait une accumulation d'eau avant son infiltration.

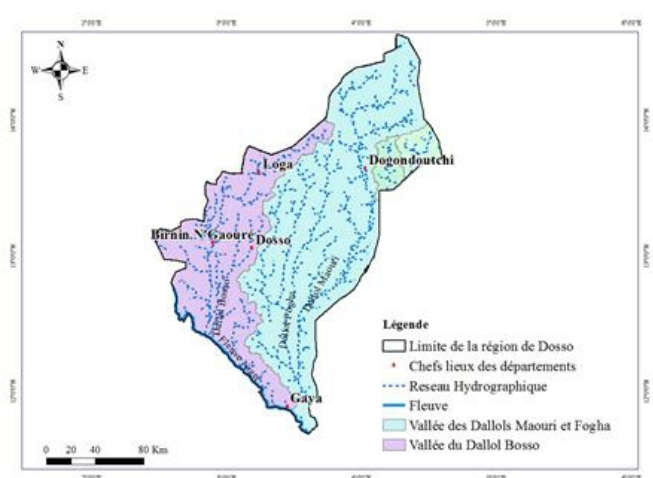


Figure 6 : Carte du réseau hydrographique de la zone d'étude issue du traitement du MNT (Abdou Ali, 2018).

2.2.5. Lithologie de la Zone Non Saturée (ZNS)

Les informations sur la lithologie de la zone d'étude sont obtenues à partir de la carte géologique des formations superficielles qui sont datées du Quaternaire, via des coupes techniques de forages. Elles renseignent sur la perméabilité et influent non seulement sur l'écoulement de l'eau souterraine mais également sur le ruissellement de surface. La lithologie affecte significativement l'infiltration en contrôlant la percolation des flux d'eau (Salman, 1983 ; El-Baz et Himida, 1995).

Le Quaternaire est essentiellement constitué de sables éoliens à faciès sableux, sablo-argileux (Alidou, 1987 ; Bellion, 1987 ; Favreau, 2000 ; Guéro, 2003), qui sont considérés comme des terrains favorables à la recharge des eaux, alors que les sols recouverts par des cuirasses latéritiques ferrugineuses et ceux présentant un faciès argileux sont considérés comme favorisant moins l'infiltration.

2.2.6. Pente du terrain

La pente est considérée comme l'un des paramètres influençant le plus la quantité de percolation et l'infiltration de l'eau (Emna et al., 2014). Selon Emna et al. (2014), une pente brute facilite plus le ruissellement mais ne favorise pas l'infiltration verticale. Par contre, une zone plate avec une pente douce est plus favorable à la mobilisation de l'eau et à son infiltration, augmentant ainsi la recharge des eaux.

La carte des pentes est obtenue à partir du Modèle Numérique de Terrain (MNT), après traitement avec les logiciels ENVI 5.3 et ArcGis 10.3 d'une image SRTM ayant 30 mètres de résolution spatiale. Par la suite, cette carte est traitée avec le logiciel ArcGis 10.3. Les valeurs de pente comprises entre 0° et 43° (Figure 7) ont été obtenues à cet effet. Les zones à pentes élevées favoriseraient le ruissellement au dépend de l'infiltration, tandis que celles à faibles pentes favoriseraient l'infiltration, vu que le ruissellement est quasiment nul. Par conséquent, les régions de fortes pentes correspondent aux zones les moins favorables à l'infiltration tandis que celles de faibles pentes représentent les zones favorables à l'infiltration des eaux.

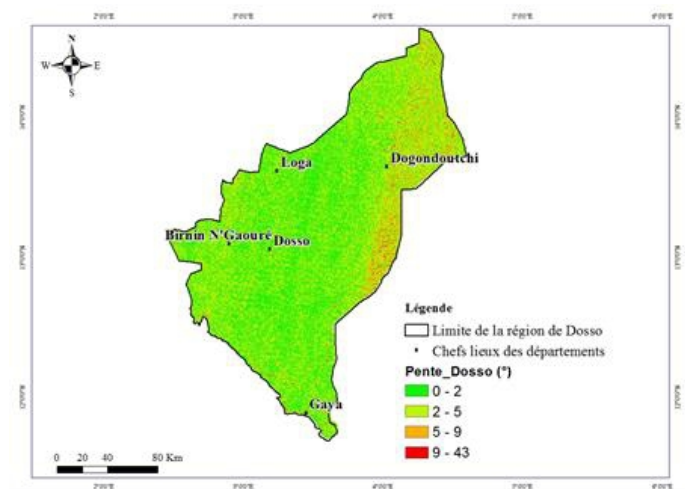


Figure 7 : Carte de la distribution des valeurs de pente de la zone d'étude extraite du MNT (Abdou Ali, 2018).

2.2.7 Pondération des paramètres

Pour marquer l'importance de chaque paramètre et de son interdépendance avec les autres paramètres dans le processus de recharge, il leur a été affecté un poids et une côte (Figure 8 et Tableau 1). Ainsi, 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 équivalent à 0.5 (Figure 8 et Tableau 1). Le poids final de chaque paramètre correspond à la somme des poids déterminés sur la base des interdépendances (Shaban et al., 2006).

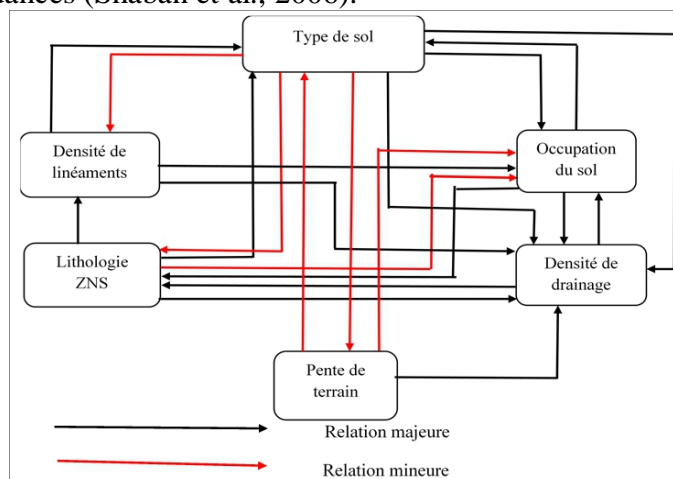


Figure 8 : Schéma synthétique montrant les relations d'interdépendance des paramètres influençant l'infiltration (Shaban et al., 2006, modifié).

Tableau 1 : Calcul du poids affecté à chaque paramètre suivant le processus décrit précédemment.

Facteurs	Calcul	Poids
Occupation de sol	3 majeures + 2 mineures = $(3*1) + (2*0.5) = 4$	4
Type de sol	2 majeures + 3 mineures = $(2*1) + (3*0.5) = 3.5$	3.5
Lithologie ZNS	3 majeures + 1 mineure = $(3*1) + (1*0.5) = 3.5$	3.5
Densité de fracturation	3 majeures + 0 mineure = $(3*1) + (0*0.5) = 3$	3
Densité de drainage	3 majeures + 0 mineure = $(3*1) + (0*0.5) = 3$	3
Pente de terrain	1 majeure + 2 mineures = $(1*1) + (2*0.5) = 2$	2

Pour caractériser les paramètres influençant l'infiltration (Tableau 2), une échelle descriptive a été établie en fonction du poids de chaque paramètre dans le processus d'infiltration de l'eau. Cette échelle varie de très faible à très élevée et correspond à des côtes dont les valeurs varient de 1 à 10 comme suit :

- très faible correspond à 1,
- pour une échelle descriptive faible,
- représente une échelle modérée à faible,
- une échelle modérée est représentée par 5,
- 6.5 correspond à une échelle élevée à modérée,
- une échelle élevée est représentée par 8,
- la valeur 10 correspond à une échelle très élevée.

A partir de cette échelle descriptive et de son poids, on calcule les indices et les pourcentages d'influence de chaque paramètre dans sa part de contribution à la recharge (Tableau 2). Ces indices et ces pourcentages traduisent ainsi le degré d'influence de chacun des paramètres sur l'infiltration.

Tableau 2 : Caractéristiques des paramètres et calcul du pourcentage de leur influence sur l'infiltration.

Paramètres	Caractéristiques	Echelle descriptive	Cote	Poids	Indice	% de l'influence
Type de sol	Aéronosol, Acrisols	Très élevée	10	3.5	35	25%
	Cambisols, Luvisols	Elevée	8		28	
	Ferralsols	Elevée à modérée	6.5		22.75	
	Lixisols	Modérée à faible	3.5		12.25	
	Plinthosols, Fluvisols, Gleysols, Vertisols	Faible	2		7	
				total	122.5	
Occupation de sol	Terres cultivables	Très élevées	10	4	40	24%
	Couvert végétal (arbres, arbuste, savanes,	Elevé	8		32	
	Sol nu	Modéré	5		20	
	Zone d'habitations	Modérée à faible	3.5		14	
	Zone inondable et Plan d'eau	Faible	2		8	
				total	114	
Lithologie de ZNS	Sable	Elevé	8	3.5	28	10%
	Sablo-argileux	Modéré	5		12.25	
	Argileux	Faible	2		7	
				total	47.25	
Densité de fracturation (segments/km ²)	791 - 1552	Très élevée	10	3	30	17%
	426 - 791	Elevée	8		24	
	201 - 426	Elevée à modérée	6.5		19.5	
	0 - 201	Modérée à faible	3.5		10.5	
				total	84	
Densité de drainage (segments/km ²)	384 - 572	Très élevée	10	3	10	15%
	256 - 384	Elevée	8		24	
	128 - 256	Modérée à faible	3.5		10.5	
	0 - 128	Faible	2		6	
				total	70.5	
Pente de terrain	0° à 2°	Elevée	8	2	16	9%
	2° à 5°	Elevée à modérée	6.5		13	
	5° à 9°	Modérée	5		10	
	9° à 43°	Modérée à faible	3.5		7	
				total	46	
				Total des Indice	484.3	100%

L'identification des zones potentielles de recharge des eaux a été faite par la méthode "Weight Overlay" (Saraf et Choudhury, 1997, 1998 ; Saraf et al., 1999 ; Kaba, 2009) qui consiste en une combinaison de cartes multiclasse et une analyse multicritère, par croisement de plusieurs paramètres. Cette combinaison a été faite à partir de l'intégration et le croisement avec le logiciel ArcGis 10.3 de six cartes thématiques codifiées avec leurs poids respectifs (Tableau 2). L'avantage de cette méthode est sa prise en compte du pourcentage d'influence de chaque paramètre, qui est fonction du poids et des côtes (Tableau 2).

3. Resultats Et Discussion

3.1 Cartes Indicielles De Capacité D'infiltration

Les différentes cartes thématiques ont été classifiées et traduites en cartes indicelles d'infiltration. Au sein de chaque critère, plus la valeur de l'indice est élevée, plus la capacité d'infiltration est grande.

3.1.1 Types de sols

La carte indicielle du potentiel infiltrant des types de sols (Figure 9) a été réalisée en combinant les types de sols (Figure 3) qui représentent des caractéristiques de texture, de structure et de la proportion d'argile. Les vingt cinq types de sols (Figure 4) ont été regroupés en cinq catégories :

- les aéronosols et les acrisols sont des sols sableux facilement érodables qui sont majoritairement constitués de sables (plus 85%) avec une faible proportion d'argiles de type kaoliniques (environ 15%). Ces sols sont de texture graveleuse, ce qui permet de les classer comme étant les plus infiltrants ;
- les cambisols et les livisols sont des sols à capacité d'infiltration élevés ;
- les ferralsols sont des sols à potentiel infiltrant élevé à modéré ;
- les lixisols ont une capacité d'infiltration modéré à faible ;
- les plinthosols, les fluvisols, les vertisols et les gleysols sont des sols hydromorphes avec une proportion moyenne d'argiles.

La carte indicielle de capacité d'infiltration de types de sols montre que majoritairement toute la région d'étude présente un potentiel très élevé d'infiltration des eaux (Figure 9).

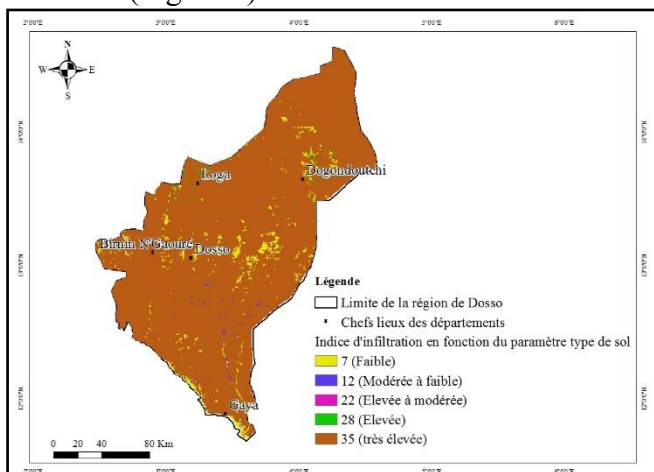


Figure 9 : Carte indicielle de la capacité d'infiltration du paramètre type de sol.

3.1.2 Occupation du sol

La combinaison des différentes classes d'occupation du sol a permis d'obtenir une carte indicielle de capacité d'infiltration qui met en évidence (Figure 10) :

- la présence de terres cultivables ou de cultures pluviales, ainsi que le couvert végétal occupant plus 95% de la superficie de la zone d'étude avec un potentiel d'infiltration très élevé.

- le sol nu (4,31% de la superficie totale) constitué essentiellement de cuirasses latéritiques, présente un potentiel modéré d'infiltration.
- les bâtis et autres plans d'eau (0,22%) présentent une capacité d'infiltration d'eau modérée à faible.

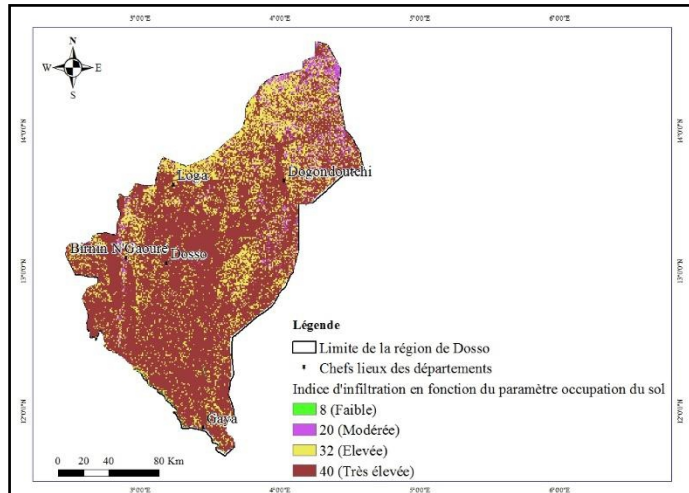


Figure 10 : Carte indicielle de la capacité d'infiltration en fonction du paramètre occupation du sol.

3.1.3 Densité de la fracturation

La carte indicielle de capacité d'infiltration du paramètre fracturation (Figure 11) montre quatre classes avec des potentiels d'infiltration allant de très élevée à faible. La partie nord de la zone d'étude présente la capacité d'infiltration la plus élevée (bleu). Dans cette partie de la zone d'étude, les fractures observées jouent dans la majorité des cas le rôle de drain et influencent la formation des koris (oueds) et des mares. Ces dernières représentent des zones de collecte des eaux de pluie favorisant la recharge de la nappe phréatique. Cette forte densité de fracturation pourrait aussi être favorisée par la présence de la carapace latéritique, qui, combinée aux fortes pentes, entraînent un ruissellement important des eaux de pluie.

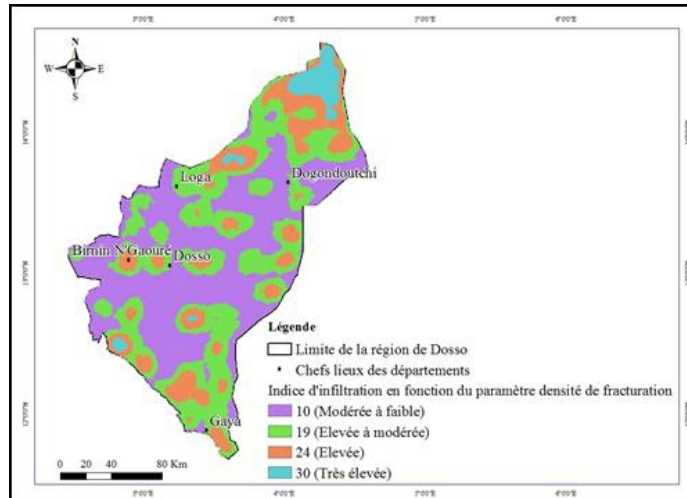


Figure 11 : Carte indicielle de la capacité d'infiltration en fonction du paramètre densité de fracturation.

3.1.4 Densité de drainage

La carte indicielle de la capacité d'infiltration en fonction de la densité de drainage (Figure 12) montre un potentiel très favorable à l'infiltration le long des lits des dallols mais aussi des mares (en marron et en bleu foncé). En effet, la nature sableuse dans ces vallées et la morphologie des terrains pourraient bien justifier cette capacité d'infiltration conduisant à la recharge des nappes.

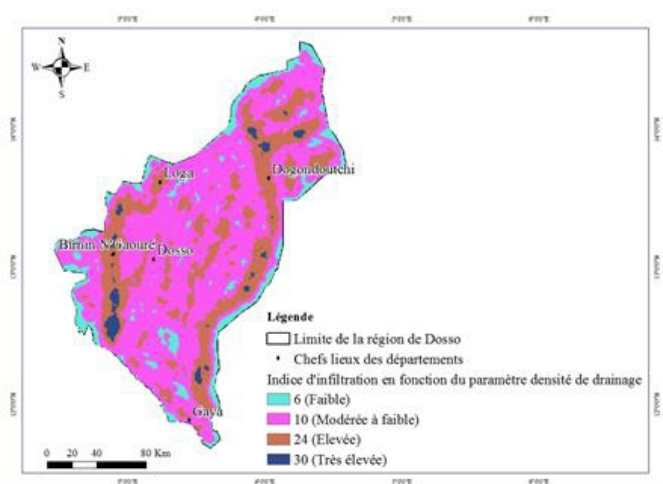


Figure 12 : Carte indicielle de la capacité d'infiltration en fonction du paramètre densité de drainage.

3.1.5 Lithologie de la zone non saturée

La carte indicielle de la capacité d'infiltration en fonction de la lithologie de la zone non saturée met en évidence trois classes de zones

potentielles de recharge des eaux (Figure 13). Les terrains sableux et sablo-argileux (en jaune) occupant la majeure partie de la zone d'étude présente un potentiel élevé d'infiltration. Les cuirasses latéritiques ferrugineuses (en rouge) représentent une zone à potentiel modéré d'infiltration. Enfin les terrains à faciès argileux (en vert) indiquent une zone à faible potentiel d'infiltration due probablement à la capacité de rétention des eaux par les argiles.

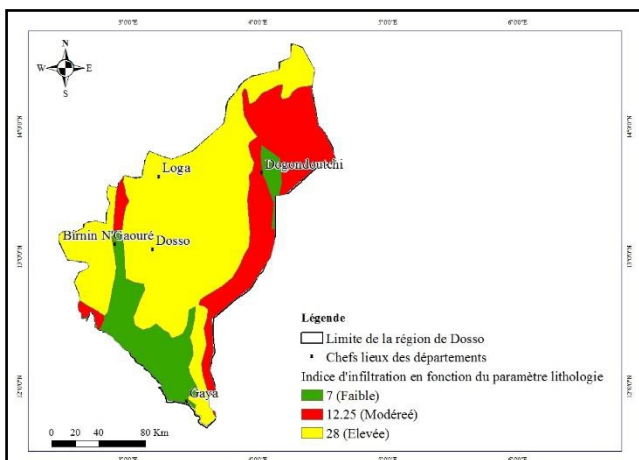


Figure 13 : Carte indicielle de capacité d'infiltration en fonction de la lithologie de la zone non saturée.

3.1.6 Pente de terrain

L'analyse de la carte indicielle de la capacité d'infiltration en fonction des pentes (Figure 14) montre d'une manière générale des zones à potentiel de recharge élevé à faible sur toute la région étudiée. En effet la zone d'étude est caractérisée dans son ensemble par des pentes douces (0° à 9°) notamment le long des lits des cours d'eau, ce qui favorise la mobilisation des eaux puis son infiltration, pouvant ainsi participer à la recharge des nappes.

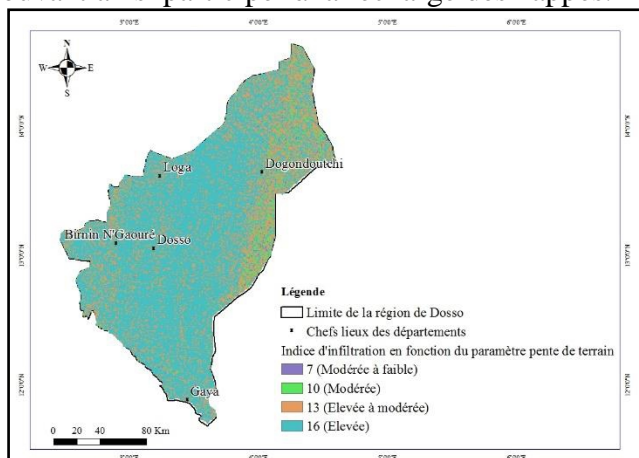


Figure 14 : Carte indicielle de capacité d'infiltration en fonction de la pente du terrain

3.2 Carte des zones potentielles de recharge

La carte des zones potentielles de recharge des eaux de la région de Dosso montre trois (3) zones potentielles où la recharge de la nappe est possible (Figure 15). Ces zones sont classées comme suit :

- zone à potentiel de recharge modéré à faible ;
- zone à potentiel de recharge modéré à élevé ;
- zone à potentiel de recharge élevé à très élevé.

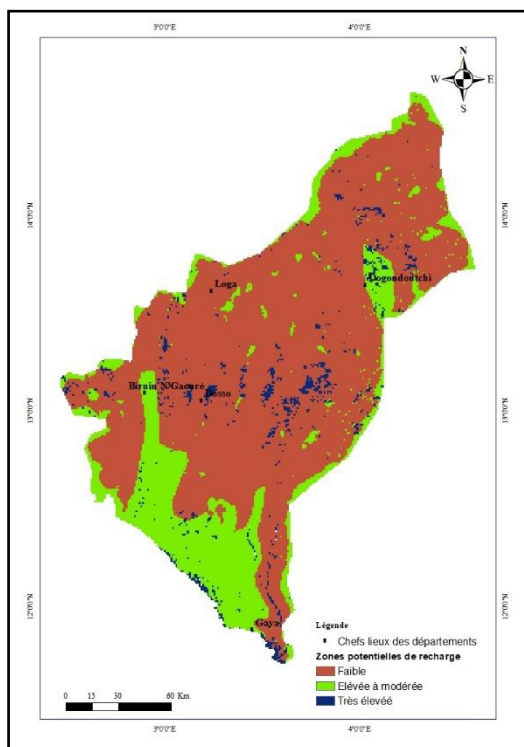


Figure 15 : Carte des zones potentielles de recharge de la nappe phréatique dans la zone d'étude.

Parmi les six paramètres influençant les recharges des eaux, ceux qui influencent le plus l'infiltration à cause de leur poids sont : les types de sols, l'occupation des sols, la densité de fractures et la densité de drainage (Tableau 2). Les zones à potentiel de recharge élevé à très élevé représentent 3,4 % de la superficie totale de la zone d'étude. Elles sont localisées au nord, au centre et au sud de la région de Dosso. Ces zones potentielles de recharge des eaux se trouvent généralement dans les mares et le long des anciens lits des dallols où subsistent encore quelques chapelets de mares (Figure 15). Ces zones à potentiel de recharge élevé à très élevé s'observent à l'intérieur et à proximité des anciens lits des rivières ou des mares et des dallols. Elles indiquent que la réalimentation de la nappe se produit principalement dans les lits des cours

d'eau (Figure 15) où la recharge des nappes se fait à travers l'eau qui s'accumule dans ces dépressions avant de s'infiltrer graduellement. Ce type de recharge corrobore bien les résultats d'autres études qui ont démontré que dans cette partie du bassin des Iullemmeden la recharge des nappes se fait d'une façon indirecte (Leduc et al., 1997 ; Favreau et al., 2002).

La zone à potentiel de recharge élevé à modéré (22% de la superficie totale) se trouve dans le sud de la région d'étude entre Birnin N'Gaouré et Gaya (Figure 15). Dans cette zone, la nature du sol est majoritairement sablo-argileuse. La zone à potentiel de recharge modéré à faible occupe environ 74,6% de la région d'étude. Cette zone est caractérisée par la présence de sols argileux et hydromorphes. Elle est aussi marquée par la présence d'horizons superficiels à carapaces latéritiques très dures réduisant ainsi l'infiltration.

Nos résultats sont en accord avec ceux de Rueedi et al (2005) qui ont démontré sur la base de la méthode des traceurs (3H, CFC) que la recharge des nappes se fait dans cette partie du bassin des Iullemmeden le long des lits des rivières et des limites de dallols. Selon Rueedi et al (2005), d'autres modes de recharge existent dans le bassin des Iullemmeden entre autres l'infiltration préférentielle par des fractures ou des fissures, comme indiqué dans cette étude.

Conclusion

Même si l'approche cartographique présentée ne permet pas d'estimer la recharge spatiale moyenne dans une nappe phréatique, elle donne un aperçu sur les zones préférentielles de recharge en eau à l'échelle de la région étudiée.

L'analyse multicritère basée sur l'utilisation des outils de télédétection et de SIG a permis une estimation qualitative de la recharge des eaux dans la région étudiée. La carte des zones potentielles de recharge des eaux constitue de ce fait un outil d'aide à la décision puisqu'elle a montré que presque toute la zone d'étude présente un potentiel d'infiltration des eaux lié à la nature sableuse des sols, à la présence des zones de cultures pluviales à forte capacité d'infiltration, à la présence de fractures et à la densité du réseau hydrographique. Ainsi, les zones à potentiel de recharge élevé à très élevé représentent 3,4 % de la superficie totale de la zone d'étude. Elles se situent au nord, au centre et au sud de la région de Dosso. La zone à potentiel de recharge élevé à modéré représente 22% de la région de Dosso. Cette zone se trouve dans le sud de la région d'étude entre Birnin N'Gaouré et Gaya. La zone à potentiel de recharge modéré à faible occupe environ 74,6% de la région étudiée.

Par ailleurs, cette étude a aussi permis de confirmer que les zones préférentielles de recharge élevée se situent dans les lits de mares et des dallols. Cependant, il faut retenir que ces zones à potentiel élevé de recharge

constituent aussi des zones où le risque de pollution de la nappe est élevé à cause du transfert facile des polluants par les eaux.

Enfin, il faut retenir que la fiabilité d'une telle carte est donc liée aux paramètres d'entrée qui peuvent aller au-delà de ceux utilisés dans le cadre de cette étude.

References:

1. Abdalla, F. (2012). Mapping of groundwater prospective zones using remote sensing and GIS techniques: A case study from the Central Eastern Desert, Egypt. *J. Afr. Earth Sci.*, 70: 8–17.
2. Abdou Ali, I. Konaté, M. Ousmane, B. (2018). Lineamentary and Structural cartography of Iullemeden Basin in the region of Dosso (South-west of Niger). *International Journal of Scientific Research*. 7-4 : 1-9.
3. Abdou Ali, I. (2018). Caractérisation des réservoirs aquifères multicouches du bassin des Iullemeden dans la région de Dosso (sud-ouest Niger) : Apports de la télédétection, du SIG, de la géophysique et de l'hydrogéochimie. Thèse de Doctorat, Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger. 315p.
4. Alidou, S. (1987). Etude géologique du bassin paléo-mésozoïque de Kandi Nord-Est du Bénin (Afrique de l'Ouest). *Pub. Occas. CIFEG*, Paris, n° 13, 119p.
5. Bellion, Y. J. C. (1987). Histoire géodynamique post-paléozoïque de l'Afrique de l'Ouest d'après l'étude de quelques bassins sédimentaires (Sénégal, Taoudéni, Iullemeden, Tchad). Thèse d'Etat Es Science, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, 296p.
6. Biémie, J. (1992). Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique par télédétection des bassins versants subsahéliens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest : Hydrostructurale, hydrodynamique, hydrochimie et isotopie des aquifères discontinus de sillons et aire granitique de la haute Marahoué (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat Es Sciences Naturelles. Université d'Abidjan, 479p.
7. Bradbury, K. R. & Muldoom, M. A. (1994). Effect of fracture density and anisotropy on delineation of wellhead-projection areas in fractured-rock aquifers. *Hydrogeol. J.*, 2(3):17–23.
8. Daddy Gaoh, A. (1993). Etude des nappes aquifères du continental terminal entre les Dallols Bosso et Maouri (République du Niger). Thèse de Doctorat, Université de Liège, Belgique, 258p.
9. Dieng, N. M. (2017). Etude de la relation Eaux de Surface-Eaux Souterraines dans l'estuaire inverse du Saloum (Sénégal) : Apport des outils géochimiques, isotopiques, de la télédétection, des SIG et de la

- modélisation. Thèse de PhD. Université de Liège et UCAD Dakar. 229 p + annexes.
10. Dubois, D. Lang ; J. (1981). Etude litho stratigraphique et géomorphologique du Continental Terminal et du Cénozoïque inférieur dans le bassin des Iullemmeden (Niger). Bull.I. F. d’Afrique Noire, t.43, sér. A, n° 1-2.
 11. Edet, A. E., Okereke, C. S., Teme, S. C., Esu, E. O. (1998). Application of remote sensing data to groundwater exploration: a case study of the Cross River State, southeastern Nigeria. *Hydrogeol. J.* 6 (3): pp 394-404.
 12. El-Baz, F., Himida, I. (1995). Groundwater potential of the Sinai Peninsula. Egypt, Project Summary, AID, Cairo, 185p.
 13. Emna, B., Salwa, S., Alae-eddine, B., Hafedh, K., Yassin, Z., Salem, B. (2014). Mapping recharge potential zones and natural recharge calculation: study case in Sfax region. *Arabian Journal of Geoscience*. DOI 10.1007/s12517-014-1512-x
 14. Envoutou, H. C. (2018). Fonctionnement hydrodynamique du système aquifère du bassin sédimentaire côtier dans la ville de Douala/Cameroun. Apport des outils géochimiques, géostatistiques et isotopiques. Thèse de Doctorat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar- Université de Douala, 290p.
 15. Favreau G. (2000). Caractérisation et Modélisation d’une nappe phréatique en hausse au Sahel dynamique et géochimie de la dépression piézométrique naturelle du kori de Dantiandou (sud-ouest du Niger). Thèse de doctorat Univ. Paris XI, Orsay, France. 258p.
 16. Favreau, G., Leduc, C., Marlin, C., Guéro, A. (2002). Une dépression piézométrique naturelle en hausse au Sahel (Sud-Ouest du Niger). *Comptes Rendus Géosciences* 334 : 395–401.
 17. Guéro A. (2003). Étude des relations hydrauliques entre les différentes nappes du complexe sédimentaire de la bordure Sud-Ouest du bassin des Iullemmeden (Niger) : Approches géochimiques et hydrodynamiques. Thèse d’État de Docteur-es-sciences, Université de Paris XI, Orsay, France, 238p.
 18. Gaura, S., Chaharb, B. R., Graillet, D. (2011). Combined use of groundwater modeling and potential zone analysis for management of groundwater. *Int J Appl Earth Obs Geoinformation* 13: 127–139.
 19. Greigert J. (1966). Description des formations crétacées et tertiaires du bassin des Iullemmeden (Afrique occidentale). BRGM édition., Paris, France, 229p.
 20. Greigert, J. & Pougnet, R. (1967). Essai de description des formations géologiques de la république du Niger. Direction des Mines et de la Géologie, Niger n°3, 273p.

21. Greigert, J. & Bernet. (1978). Atlas des eaux souterraines de la République du Niger. Etat des connaissances. Rapport BRGM, 79 AGE001. Orléans, France, 435p.
22. Heywood, I., Corneluis, S., Carver, S. (2003). An Introduction to Geographic Information Systems, Pearson Education, 1st Indian Ed., 295p.
23. Jana, Adarsa., Bhattacharya A. K. (2013). Assessment of Coastal Erosion Vulnerability around Midnapur-Balasore Coast, Eastern India using Integrated Remote Sensing and GIS Techniques. Indian Society of Remote Sensing, 12p. DOI 10.1007/s12524-012-0251-2.
24. Jourda, J. P., Saley, M. B., Djagoua, E. V., Kouamé, J. K., Biemi, J., Razack, M. (2006). Utilisation des données ETM+ de Landsat et d'un SIG pour l'évaluation du potentiel en eau souterraine dans le milieu fissuré précambrien de la région de Korhogo (Nord de la Côte d'Ivoire) : approche par analyse multicritère et test de validation. Télédétection, 5 :339-357.
25. Kaba M. (2009). Evaluation de zones potentielles de recharge de la nappe de Thiaroye : Approche cartographiques par télédétection et systèmes d'informations géographiques. Mémoire de DEA. Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, 137p + annexes.
26. Karimoune, S., Ozer, A., Erpicum, M. (1990). Les modèles éoliens de la région de Zinder (Niger méridional), étude de photogéomorphologie, note préliminaire. Ed. AUPELF-UREF, pp 145-161.
27. Konaté, M. (1996). Evolution tectono-sédimentaire du bassin Paléozoïque de Kandi (Nord Bénin-Sud Niger) – un témoin de l'extension post-orogénique de la chaîne panafricaine. Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, vol 1, 301 pages.
28. Laouali Idi K. et Konaté M. (2019). Extraction de réseaux de fractures en milieu sédimentaire par les techniques de la télédétection intégrant une analyse statistique et structurale : cas des formations méso-cénozoïques du bassin des Iullemeden, Niger Central. Afrique SCIENCE 15(5), 39-53.
29. Madioune, D. H. (2012). Étude hydrogéologique du système aquifère du horst de Diass en condition d'exploitation intensive (bassin sédimentaire sénégalais) : apport des techniques 209 de télédétection, modélisation, géochimie et isotopie. Thèse de Doctorat en Sciences Université de Liège - Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 311p.
30. Monfort, M. (1996). Reconstitution géologique des aquifères du Continental Terminal dans la région de Niamey. Mémoire de Maîtrise), Université de Montpellier II, France, 50p.

31. Monfort, M. (1997). Étude des relations entre les aquifères du Continental terminal au nord de Niamey (Niger) : approche géologique, géochimique et hydrodynamique. Mémoire de DEA, Université de Paris-sud / Orsay, France, 121p.
32. O'Leary, D. W., Friedman, J. D., Poh, H. A. (1976). Lineaments, linear, lineations: some standards for old terms. *Geol Soc Am Bull* 87:1463–1469.
33. Phukon, P., Phukan, S., Das, P., Sarma, B. (2004). Multicriteria Evaluation in GIS Environment for Groundwater Resource Mapping in Guwahati City Areas, Assam. *Map India Conference*.
34. Rahman, M. A, Rusteberg, B., Gogu, R. C., Ferreira, J. P.L., Sauter, M. (2012). A new spatial multi-criteria decision support tool for site selection for implementation of managed aquifer recharge. *Journal of Environment Management*, 99 : 61–75.
35. Rueedi, J., Brennwald, M. S., Purtschert, R., Beyerle, U., Hofer, M., Kipfer, R. (2005). Estimating amount and spatial distribution of groundwater recharge in the Iullemeden basin (Niger) based on 3H, 3He and CFC-11 measurements. *Hydrological Processes*, John Wiley & Sons InterScience, 14p. DOI: 10.1002/hyp.5970.
36. Saidi, S., Bouri, S., Ben Dhia, H. (2010). Groundwater vulnerability and risk mapping of the Hajeb-jelma aquifer (Central Tunisia) using a GIS-based DRASTIC model. *Environ Earth Science*. 59:1579–1588.
37. Saley, M. B., Danumah, J. H., Kanohin, F., Epse, O., Sorokoby, V. M., Atcheremi, D., Denean, S. P., Kouamé, F. K., Djagoua, V.E. (2013). Méthodologie pour la cartographie des zones vulnérables à l'inondation par système d'information géographique et analyse multicritère : application au bassin versant de la Davo à Sassandra (sud-ouest de la Côte d'Ivoire). *Africa Geoscience Review*, Vol. 20, No.1,2 21-34, 15 p.
38. Saraf, A. K., Choudhury, P. R. (1997). Integrated application of remote sensing and GIS for groundwater exploration in hard rock terrain In *Proceedings of the Symposium on Emerging Trends in Hydrology*, 25–27 September, Department of Hydrology, Roorkee, India, 435–442.
39. Saraf, A. K., Choudhury, P. R. (1997). Integrated remote sensing and GIS for groundwater exploration and identification of artificial recharge sites. *International Journal of Remote Sensing*, 19:1825–1841.
40. Saraf, A. K., Kundu, P., Sarma, B. (1999). Integrated remote sensing and GIS in groundwater recharge investigation and selection of artificial recharge sites in hard rock terrain. Department of earth technology, Indian Institute of Technology, Roorkee INDIA.

41. Shaban, A. (2003). Studying the hydrogeology of Occidenatl Lebanon: utilization of remote sensing. Etude de l'hydrog'eologie du Liban occidental: Utilisation de la télédétection. These de doctorat, Université Bordeaux 1, 202p.
42. Shaban, A., Boukheir, R., Froidefond, J., Khawlie, M., Girard, M. C. (2004). Characterization of morphometric factors of drainage system interrelated to rock infiltration: the case of the Occidental Lebanon. Caracterisation des facteurs morphométriques des réseaux hydrographiques correspondant aux capacités d'RP's des roches au Liban Occidental. Zeitschrift Fur Geomorphologie 48:1
43. Shaban, A., Khawlie, M., Abdallah, C. (2006). Use of remote sensing and GIS to determine recharge potential zone: the case of Occidental Lebanon. Hydrogeology Journal, 14: 433–443.
44. Sikdar P K, Chakraborty S, Enakshi A, Paul P K. (2004). Land use/land cover changes and groundwater potential zoning in and around Raniganj coal mining area, Bardhaman District, West Bengal- A GIS and remote sensing approach. J Spat Hydrol 4:1–24.
45. Teeuw R M. (1994). Groundwater exploration using remote sensing and a low-cost geographic information system. Hydrogeol J 3(3):21–30.