EVALUATION DE LA DISPONIBILITE EN EAU SOUTERRAINE DU BASSIN VERSANT DU ZOU A L'AIDE DE LA TELEDETECTION

ADETONA Luc [1,2]
OROU KPERA Bio [1,2],
AGOÏNON Norbert [1]
HOUNTON Charles [1]
VODOUNOU Jean Bosco Kpatindé [1]
1-Département de Géographie et Aménagement du Territoire, Université de Parakou, BP 123, Parakou, Bénin, adetonaluc5@gmail.com
2- Ecole Doctorale des Sciences Agronomiques et de l'Eau (EDSAE) de l'Université de Parakou, BP 123, Parakou, Bénin

Résumé

Cet article présente la problématique de la disponibilité des ressources en eaux du bassin-versant du Zou. Il s'agit d'un bassin versant important du point de vue disponibilité de ressource en eau. Les pressions exercées sur les ressources hydrauliques du bassin s'accentuent fortement à travers l'augmentation des besoins agricoles (agriculture et élevage). Par ailleurs, l'intensification des activités agropastorales, et l'impact des changements climatiques rendent cette ressource plus rare et plus onéreuse à l'extraction. Cette étude vise à utiliser la télédétection comme outil d'évaluation de la disponibilité en eau souterraine du bassin versant du Zou. L'approche méthodologique adoptée repose sur l'utilisation des données de la télédétection et la méthode AHP (Analytic Hierachy Process). Les données sur la géologie, la densité de linéament, la densité de drainage, la pente, distance des cours d'eau, l'occupation du sol et de la pluviométrie ont été combinées pour réaliser la carte des zones potentielles en eaux souterraines. De la combinaison de ces données, le bassin-versant du Zou est caractérisé par quatre (04) grandes zones dont seulement 1,67 % de la surface du bassin a une potentialité élevée en eau, 42,81 % de la surface une potentialité modérée, plus de 50 % une potentialité faible et moins de 1 % une potentialité très faible.

Mots-clés : *Disponibilité, ressources en eau, télédétection, bassin versant, Zou.*

Abstract

This article presents the issue of the availability of water resources in the Zou watershed. It is an important catchment area from the point of view of the availability of water resources. The pressures retained on the hydraulic resources of the basin are strongly accentuated through the increase in agricultural needs (agriculture and livestock). Moreover, the intensification of agro-pastoral activities and the impact of climate change are producing this resource which is rarer and more expensive to extract. This study aims to use remote sensing as a tool for assessing groundwater availability in the Zou watershed. The

methodological approach adopted is based on the use of remote sensing data and the AHP (Analytic Hierachy Process) method. Data on geology, lineament density, drainage density, slope, distance to streams, land cover, and rainfall were combined to produce the map of potential areas in underground waters. From the combination of these data, the Zou watershed is characterized by four (04) large areas of which only 1.67% of the surface of the basin has a high-water potential, 42.81% of the surface a moderate potential, more than 50% a weak potentiality and less than 1% a very weak potentiality.

Keywords: *Availability, water resources, remote sensing, watershed, Zou.*

Introduction

L'eau est une ressource indispensable pour tout développement durable. C'est pour cela que les 193 pays membres de l'ONU en 2015 ont défini comme 6ème objectif de développement durable de garantir l'accès de tous à l'eau (UNICEF, 2015 : 03). Les ressources en eau notamment celle souterraine est l'un des réservoirs les plus importants en eau douce dont a besoin les hommes pour satisfaire leurs différents besoins (Doke *et al.* 2021 : 01). En effet, en 2010, les besoins mondiaux en ressource en eau pour usage dans le secteur socio-économique étaient de 4 600 km^3. Cette demande augmentera d'au moins 20 % d'ici 2050 (Pale, 2020 : 23). Aujourd'hui, le constat est que la ressource en eau devient de plus en plus rare dans de nombreuses régions du monde. Les facteurs anthropiques et environnementaux et surtout les changements climatiques, contribuent à l'amplification du phénomène (Qadem, 2015 : 130). Selon Fabien (2008 : 03) la surexploitation des eaux a réduit considérablement la quantité d'eau disponible pour les usages socio-économique et le milieu naturel. Dans le bassin de Souss-Massa au Maroc, la disponibilité des ressources en eau devient de plus en plus rare, rareté qui s'augmentera dans les années à venir à cause : du faible apport dans le renouvellement des eaux de surface et souterraine, entraînée par les changements climatiques et l'augmentation de la demande, accentuée par une démographie galopante et les exigences du développement à travers la croissance économique (Elame et Doukkali, 2017 : 124). Suite aux répercussions de la disponibilité des ressources en eau sur le développement socio-économique, les scientifiques et les décideurs en font une préoccupation en Côte d'Ivoire (Kouassi *et al.* 2008 : 208).
Au Bénin, le potentiel en ressource en eau des cours d'eau est estimé en moyenne à 13 milliards de mètres cubes par an et celui des ressources en eau souterraine disponible dans les aquifères discontinus et continus est

estimé à une recharge annuelle moyenne de 1,9 milliard de m^3 (PANGIRE, 2011 : 15). Ces ressources sont essentiellement utilisées pour l'alimentation en eau potable ; les activités agricoles notamment l'abreuvement du bétail et l'irrigation des cultures (Bureau d'Evaluation des Politiques Publiques, 2012 : 16).
Le bassin versant du Zou est un sous-bassin versant du fleuve Ouémé. Il constitue selon le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux du Bassin de l'Ouémé (2013 : 29) l'un des greniers du Bénin car, il fournit environ 30 % à 70 % de la production nationale. Cette potentialité fait du bassin du zou une région fortement anthropique avec de grands enjeux agricole. Les ressources en eau souterraine sont donc soumises à une forte exploitation. Afin de pérenniser son exploitation, il apparaît nécessaire d'évaluer la quantité d'eau souterraine disponible dans le bassin. Le comportement hydrologique des bassins n'étant pas un phénomène directement observable, son analyse nécessite la modélisation (Kouassi *et al.* 2008 : 209). Alors cette étude a pour objectif d'évaluer la disponibilité des ressources en eau souterraine du bassin versant du Zou à l'aide de la télédétection et la Modélisation.

1. Zone d'étude

Le bassin versant du Zou (Bénin) couvre une superficie de 8 495 km^2 et est situé entre 1° 37'23" et 2° 27'30" de longitude est puis entre 6°54'48" et 8° 34' 23" de latitude nord. Il est un sous-bassin versant du bassin versant de l'Ouémé, le plus grand fleuve du Bénin (figure 1). Le bassin versant du Zou est limité au nord par la Haute vallée de l'Ouémé au sud par la basse et Moyenne vallée de l'Ouémé, à l'est par la Haute vallée de l'Ouémé et la basse et Moyenne vallée de l'Ouémé et au nord-ouest par le bassin versant du mono, au sud-est par les sous bassins versants du Couffo et de Hlan. Il est généralement caractérisé par un relief de type pénéplaine d'une altitude variante entre 20 et 320 m avec une orientation globale nord-sud (figure 2). Le bassin versant repose sur les roches très anciennes datant du précambrien (les roches du socle et les roches sédimentaires). Du point de vue lithologique, les roches sédimentaires anciennement déposées, suite aux activités magmatiques ont été reprises par le magma pour donner des roches ignifiées, très métamorphosée et déformée pendant plusieurs phases orogéniques.

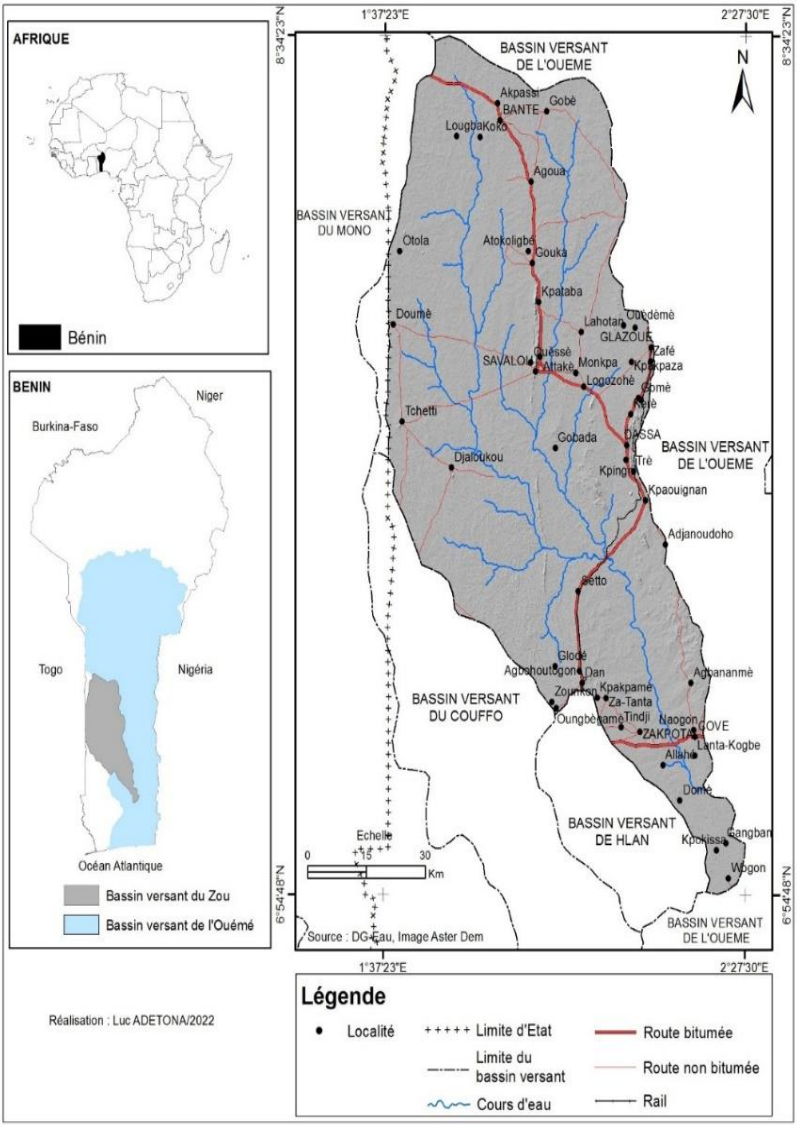

Figure 1 : *Situation géographique du bassin versant du Zou*

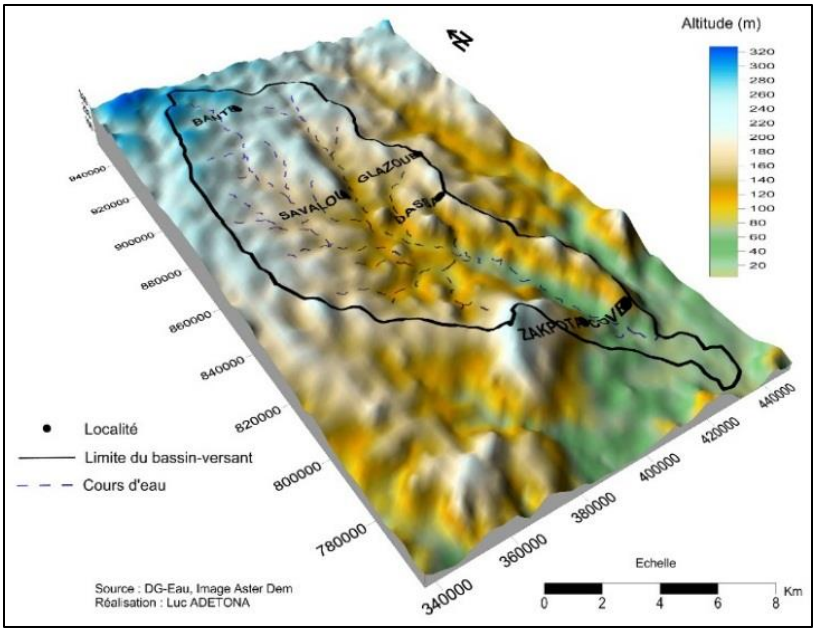

Figure 2 : *MNT du bassin versant du Zou*

Le bassin versant du Zou est caractérisé par un climat intermédiaire entre le climat soudano sahélien et le climat sub-équatorial. Il se situe dans la zone du climat guinéen, très humide et influencé par les vents de mousson soufflant depuis le Golfe de Guinée (JICA, 2018 : 3-2 et Oussou, 2019 : 406). La pluviométrie moyenne annuelle sur 40 ans (1981-2021) est de 1 135,41. Le mois le plus humide est septembre (191,33 mm) tandis que le mois le plus sèche est janvier (8,62 mm). La température moyenne maximale est observée durant le mois de mars (29,46 °C) et celle minimale durant le mois d'août (25,43 °C).

2. Approche méthodologique

L'approche méthodologique adoptée repose essentiellement sur la collecte des données et le traitement.

2.1. Données collectées

Les données exploitées dans le cadre de cette étude sont de trois ordres : les données vectorielles, les images satellitaires et les données climatiques (précipitation). Les données vectorielles sont composées de fond de carte et de couche géologique. Les données géologiques sont obtenues dans les archives en ligne de la Direction Générale de l'Eau du Bénin. Les données satellitaires utilisées sont de deux types : l'image landsat 9 et l'image Aster Global Dem (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer). L'image OLI de landsat-9 (2022) a été obtenue du site http://earthexplore.usgs.gov/. La résolution de l'image est de 30 m et très pertinente pour la cartographie d'occupation du sol et l'extraction des linéaments. Pour ce qui concerne l'image Aster elle est aussi obtenue sur le site http://earthexplore.usgs.gov/ avec une résolution de 30 m.

Les données climatologiques notamment les précipitations utilisées sont obtenues par téléchargement sur le site de la NASA : https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/ sur une période de 1981 à 2021. Pour couvrir le bassin versant et avoir une bonne spatialisation des précipitations, les données de 13 stations ont été téléchargées (Bantè, Tchetti, Savalou, Savè, Bohicon, Pobe, Abomey, Agouna, Dassa, Zagnanado, Gouka, Pira et Aklankpa).

2.2. Traitement des données

La carte géologique du milieu d'étude a été réalisée par la numérisation et la projection dans le système géodésique du Bénin, suivi d'une mise en page avec le logiciel ArcGIS 10.2. L'image MNT de la plateforme ASTER a servi à réaliser les cartes de pentes, de la densité des linéaments et de drainage du sous bassin versant et à extraire le sous bassin versant. Les outils d'Analyse Spatial de ArcGIS « *Slop, line density* » ont permis de faire les différents traitements cartographiques. Afin d'avoir une précision dans la détermination des linéaments du bassin par l'image DEM, l'image landsat-9 filtrée a été aussi utilisée pour identifier les linéaments et l'image Google Earth pour la vérification et l'éliminations des biais. D'après Ezzinc *et al.,* (2018 : 08) les variations brusques d'intensité montrent les hautes fréquences spatiales et permettent d'augmenter les discontinuités dans les images et par conséquent de ressortir les linéaments. Deux méthodes sont possibles pour l'extraction des linéaments : la méthode manuelle et celle automatique. Dans le cadre

de cette étude, c'est la méthode automatique qui est utilisée. Elle peut parfois être affectée par des biais liés aux différentes techniques précédemment utilisées. L'extraction des linéaments du bassin est faite par l'utilisation de l'extension « *Line* » du PCI Geomatica et les outils d'analyse spatiale ArcGIS. Les linéaments obtenus ont été superposés aux linéaments obtenus avec l'image DEM puis l'ensemble a été validé avec une image à très haute résolution Google Earth pour vérification et nettoyage des biais (route, limites boisées). La carte de l'occupation du sol a été réalisée à partir de la classification supervisée de l'image landsat 9 sous Envi 5.1. Les résultats obtenus ont été classifiée en cinq (5) grandes unités d'occupation : formation végétale naturelle, formation végétale anthropique, zone de culture, plan d'eau et Agglomération. La carte de répartition des précipitations est obtenue par l'interpolation par krigeage des données pluviométriques moyennes de 1981 à 2021 obtenues au niveau des différentes stations.

La feuille de calcul automatique des poids et normalisation des facteurs d'Analyse Multicritère de Saaty (1997) influençant la recharge des eaux souterraines proposée par Goepel (2018) est utilisée après la reclassification de chaque carte thématique réalisée.

Les poids normalisés ont été obtenus après comparaison par paires des facteurs influençant la disponibilité des ressources en eau dans le bassin. Au total, 7 facteurs ont été retenus (pluviométrie, géologie, pente, densité de linéament, densité de drainage, distance avec les cours d'eau et l'occupation du sol). Les valeurs utilisées pour la pondération sont comprises entre 1 et 9. Après pondération des facteurs, le rapport de cohérence CR est de 0,04 ; ce rapport présente un niveau raisonnable de cohérence car pour un rapport de plus de 4×4 de facteur d'influence le rapport de cohérence accepté est 0.1 (10 %) ; par conséquent, celui obtenu pour cette étude est acceptable.

Les poids attribués aux facteurs d'influences des eaux souterraines ont été faits en fonction de leur caractéristique et leur relation dans la contribution des eaux souterraines (tableau I).

***Tableau I** : Poids des caractéristiques thématiques et scores des critères*

Facteurs	Classification	Poids	Influence (%)	Rang	Superficie	
					km²	%
Pluvio métrie	[1263,69 - 1303,33[	0,37	37	4	323,73	3,81
	[1303,33 - 1342,97[			4	5064,93	59,62
	[1342,97 - 1382,61[			3	2194,36	25,83
	[1382,61 - 1422,25[			3	578,19	6,81
	[1422,25 - 1461,88]			3	333,79	3,93
Géologie	Migmatites de Pira-Kandi/Gneiss et Amphibolites (Sillon Ouémé)/ Paragneiss de haut défré et les métabasites/ Migmatite d'Agram	0,19	19	4	7345,13	86,46
	Complexes éruptif alcalain de la Pako			3	170,94	2,01
	Complexes vol			2	313,68	3,69
	Bassin sédimentaire côtière			1	665,24	7,83
Densité de linéament	Très faible	0,16	16	1	621,87	7,32
	Faible			1	2411,33	28,39
	Moyen			2	3709,44	43,67
	Forte			3	1632,99	19,22
	Très forte			4	119,37	1,41

Pente (%)	Très faible	0,14	14	4	2865,87	33,74
	Faible			3	3642,31	42,88
	Moyen			2	1384,76	16,30
	Forte			1	494,61	5,82
	Très forte			1	107,45	1,26
Densité de drainage	Très faible	0,07	7	4	261,33	3,08
	Faible			3	1209,54	14,24
	Moyen			2	4117,00	48,46
	Forte			1	2651,08	31,21
	Très forte			1	256,05	3,01
Distance avec les cours d'eau	< 500	0,04	4	5	5380,72	63,34
	[500 - 1000[			4	2761,70	32,51
	[1000 - 1500[			3	336,73	3,96
	[1500 - 2000[			2	14,99	0,18
	[2000 - 2500]			1	0,86	0,01
Unité d'occupation	Formation végétale naturelle	0,03	3	4	970,25	11,42
	Formation végétale anthropique			3	4727,79	55,65
	Zone de culture			2	2697,47	31,75
	Plan d'eau			5	3,43	0,04
	Agglomération			1	96,06	1,13

Un poids très faible a été attribué aux zones de forte densité de drainage, par contre les zones de faibles pentes, forte densité de linéament, sont caractérisées comme zone à forte recharge en eau souterraine (Rahmati *et al.,* 2015 ; Rajaveni *et al.,* 2017). Les zones à faible pente ont été considérées comme favorables aux recharges des eaux souterraines, car au niveau de ces endroits les eaux de pluies ont le temps de s'infiltrer dans le sol pour aller recharger la nappe. Par contre, au niveau des zones de fortes pentes, les eaux de pluie ruissellent très rapidement et n'ont pas

le temps de s'infiltrer. Ces zones sont alors classées parmi celles à faible potentialité en eau souterraine.

L'outil d'analyse Spatial « Weighted Overlay » a été utilisé pour superposer les cartes thématiques. La somme des sept facteurs (carte thématique) considérée réclassifiée (Xi) par les poids respectifs (Pi) ont permis d'avoir la carte synthétique des zones potentielles en eaux souterraines. L'équation appliquée est :

$$PES = \sum_{i=1}^{n} (P_i \times X_i)$$

Où *PES* est le score du potentiel en eau souterraine, P_i est le poids normalisé affecté à une carte X_i et X_i les cartes représentant les facteurs considérés.

$$PES = \sum_{i=1}^{n} (P, G, Dl, Pe, Dd, Dce, Uo)$$

P : Pluviométrie, G : Géologie, Dl : Densité de linéament, Pe : Pente, Dd : Densité de drainage, Uo : Unité d'occupation du sol

3. Résultats

3.1. Caractérisation des facteurs de la disponibilité en eau souterraine

- ***Pluviométrie et densité de drainage***

Le bassin versant du Zou bénéficie d'une pluviométrie moyenne annuelle de l'ordre de 1300 ± mm entre 1981 et 2021. Les isohyètes montrent que cette pluviométrie est plus élevée dans la partie est et sud du bassin (plus de 1300 ± mm) tandis qu'elle est moins importante dans la partie nord et ouest (1200 mm ±) (figure 5). Plus de la moitié (59,62 %) du bassin versant présente une pluviométrie moyenne annuelle élevée qui varie entre 1303 ± mm et 1461 ± mm. La répartition spatio-temporelle des précipitations influence le régime hydrologique du bassin versant du Zou, par conséquent la densité de drainage. La spatialisation de la densité de drainage du bassin versant du Zou présente que 48,46 % de la superficie du bassin est marqué par une moyenne densité de drainage

alors que 31,21 %, 14,24 %, 3,08 % et 3,01 % de la superficie présente respectivement une densité forte, faible, très faible et très forte (figure 6).

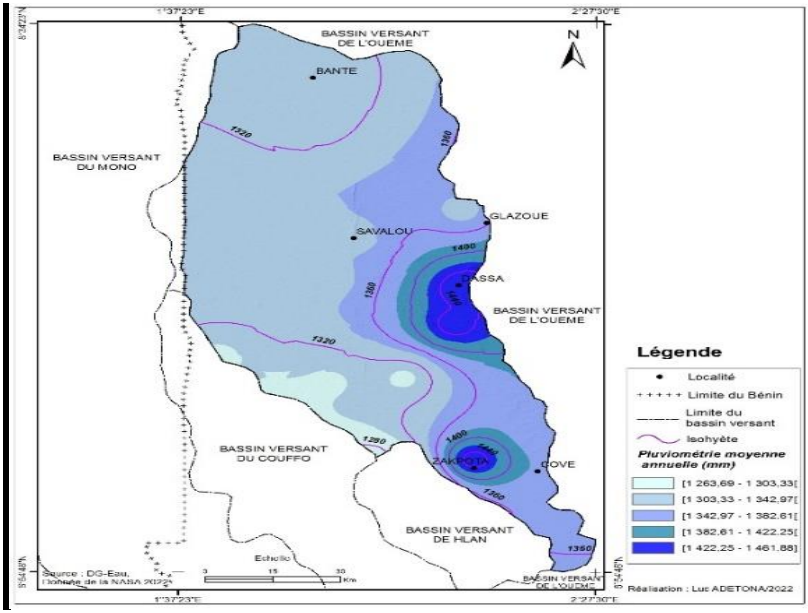

Figure 5 : *Pluviométrie moyenne annuelle du bassin versant*

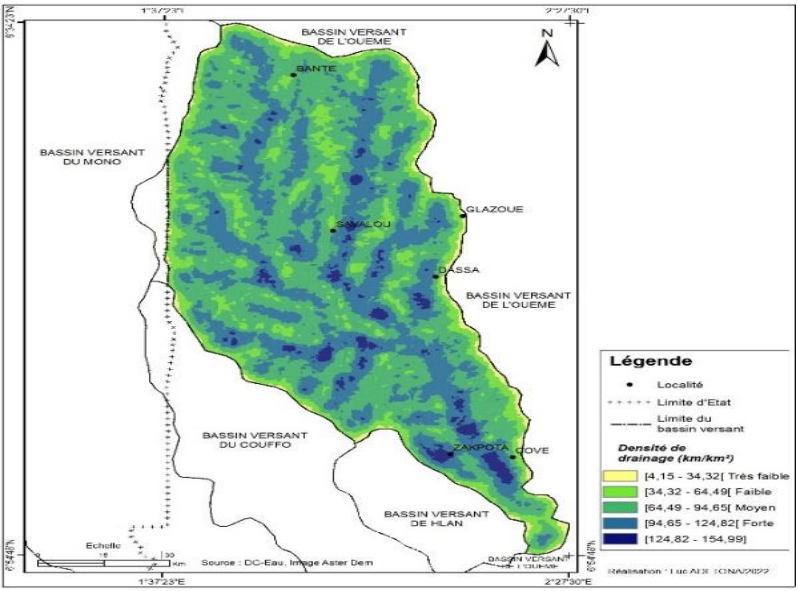

Figure 6 : *Densité de drainage du bassin versant*

➢ *Densité de linéament et la géologie du bassin versant*

La densité de linéament du bassin versant du Zou réalisée avec l'image landsat et Dem montre que seul 1,41 % (119,37 km²) de la superficie du bassin présente une très forte densité de linéament qui varie entre 1,17 et 1,46 km/km². La plus grande superficie (3 709,44 km² soit 43,67 %) du bassin présente une densité moyenne de linéament qui varie entre 0,58 et 0,87 km/km². Elle est suivie de densité faible (0,29-0,58 km/km²), forte (0,87-1,17 km/km²), et très faible (0-0,29 km/km²) occupant respectivement 28,39 %, 19,22 % et 7,32 % de la superficie du bassin versant du Zou (figure 7). Quant à la géologie du bassin, la grande partie (7 345,13 km² soit 86,46 % de la superficie totale du bassin) est occupée par l'unité de la plaine du Bénin (Gneiss et Amphibolites, migmatite d'agramarou et Pira-kandi et les Paragneiss de haut défré et les métabasites). Le reste de l'espace est occupé par le bassin sédimentaire côtier (7,083 %), le complexe volcano-sédimentaire de la Barou, Pako,

Alibori, Daho-Maho et Lanta (3,69 %) et le complexe éruptif alcalain de la Pako (2,01 %) (figure 8).

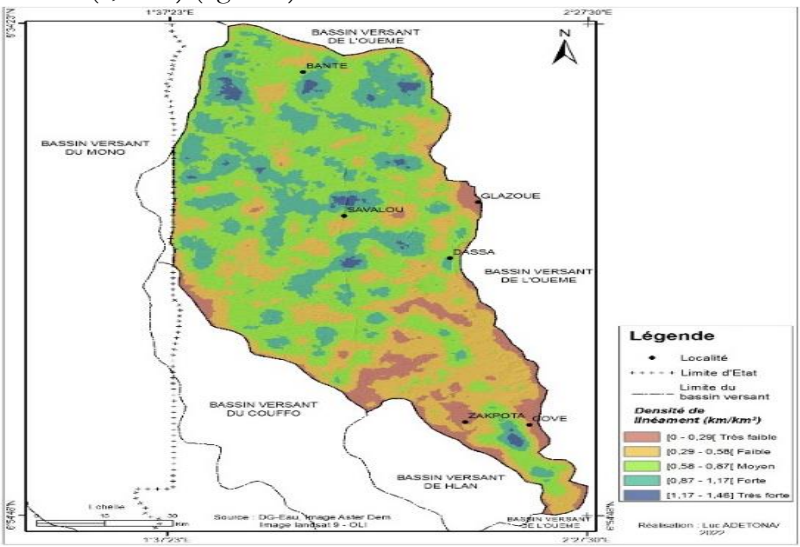

Figure 7 : *Densité de linéament du bassin versant*

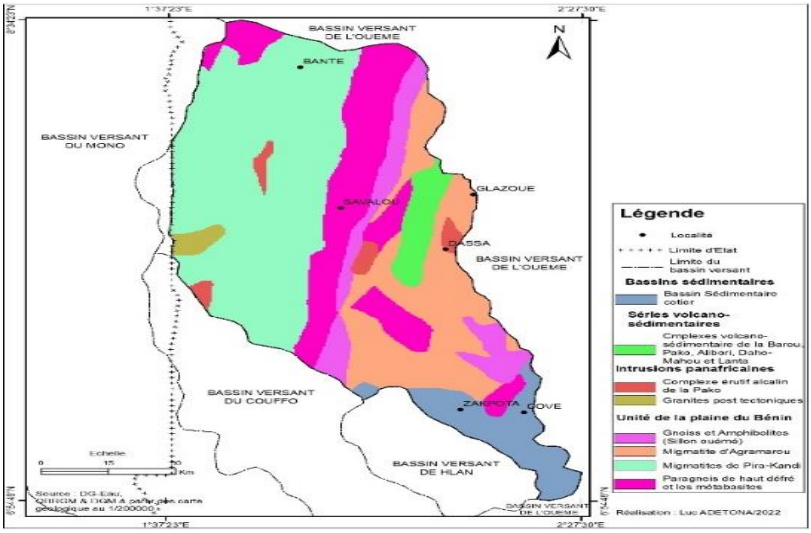

Figure 8 : *Géologie du bassin versant*

- **Occupation du sol et pente**

L'interprétation de l'image landsat OLI-2022 a permis de réaliser la carte d'occupation du sol du bassin versant. Au total, cinq (05) classes sont retenu : formation végétale naturelle et anthropique, zone de culture, plan d'eau et l'agglomération (figure 9). Il faut noter que plus de la moitié du bassin (4 727,79 km² soit 55,65 % de la superficie totale du bassin) est occupé par les formations anthropiques, elles sont suivies des zones de cultures (31,75 %), formation végétale naturelle (11,42 %), agglomération (1,13 %) et les plans d'eau (0,04 %). L'absence de végétation et la présence de forte pente augmentent le ruissellement des eaux et ne donnent pas un temps d'infiltration des eaux pluviales. Les pentes très faibles (<2 %) sont observées sur 33,74 % (2 865,87 km²) de la superficie totale du bassin versant. Par contre, celle très forte sont observées sur 1,26 % (107,45 km²) de la superficie du bassin (figure 10). Les zones de dépression concentrée au niveau des cours d'eau principale sont caractérisées par des pentes faibles.

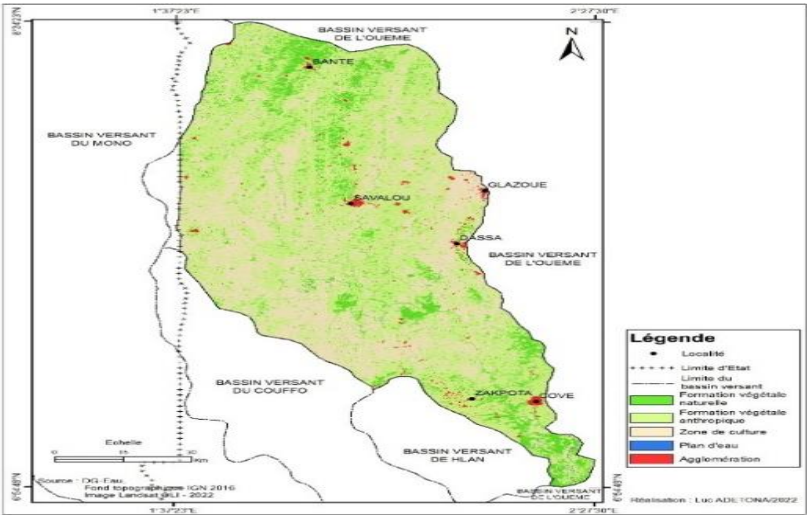

Figure 9 : *Occupation du sol dans le bassin versant*

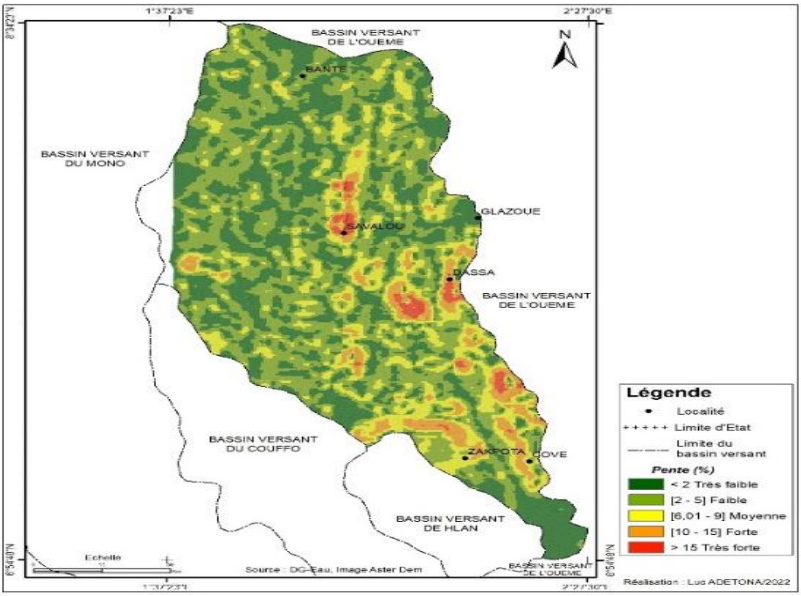

Figure 10 : *Pentes du bassin versant*

3.2. Zones de potentiel en eau souterraine

La superposition des sept (07) facteurs influençant les ressources en eau souterraine révèle que seulement 1,67 % de la superficie du bassin versant à un potentiel élevé en eau souterraine (tableau II). Par contre, plus de la moitié du bassin (4 685,33 km² soit 55,15 % de la superficie total du bassin) présente un potentiel pauvre en ressource souterraine. Les zones de potentiel modérée suivent, occupant 42,81 % de la superficie du bassin. Enfin, les zones de potentialité très pauvre en eau souterraine viennent en dernière position occupant seulement 0,36 % de la superficie du bassin.

Tableau II : *Potentialité en eau souterraine du bassin*

Potentiel en eau souterraine	Superficie (Km²)	
	(km²	%
Très pauvre	30,66	0,36
Pauvre	4685,33	55,15
Modéré	3636,91	42,81
Elevé	142,09	1,67

La figure 12 présente la répartition spatiale des zones de potentiel en eau souterraine du bassin versant du Zou.

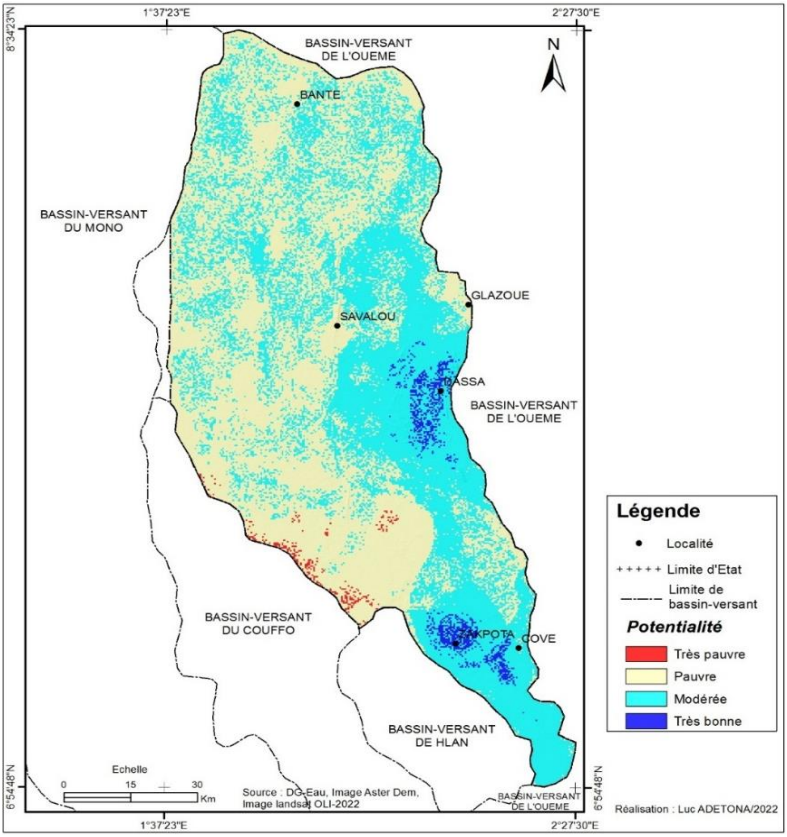

Figure 12 : *Zones de potentiel en eau souterraine du bassin versant*

Les localités de Covè, Za-Kpota, Dassa et Bantè situés dans la partie sud-est et au nord du bassin présente un potentiel modéré en eau souterraine (figure 12). De plus, les parties en aval et Est du bassin (Dassa, Za-Kpota et Covè) présente un potentiel plus élevé que les parties en amont. Cela s'explique par les faibles pentes observées à ces endroits. Le terrain étant plat dans les zones à faibles pentes, les eaux de pluies ont le temps de s'infiltrer pour aller recharger les nappes. Les potentiels modérés observés dans la partie amont du bassin s'expliquent par la présence des plaines inondables, de la faible densité de linéament, de forte pente et de faible hauteur pluviométrique.

3.3. Discussion

A l'issue des traitements et analyses des différentes cartes superposées pour la caractérisation des zones de potentiel en eau souterraine avec le modèle d'analyse multicritère de Saaty, il ressort que 7 facteurs (pluviométrie, géologie, pente, densité de linéament, densité de drainage, distance avec les cours d'eau, unité d'occupation du sol) influençant la disponibilité en eau souterraine ont été retenus pour l'évaluation. Selon Doke *et al.* (2021 : 03), les facteurs d'évaluation de la potentialité varient selon les zones (entre 4 et 9) et la méthode d'analyse multicritère hiérarchique (AHP) utilisé pour la pondération des facteurs est celui de Saaty. Elle compte parmi les méthodes AHP les plus simples et fiables dans les résultats (Piton *et al.* 2018 : 55). Cette méthode est validée avec un ratio cohérence des sept (07) facteurs (couches) qui est égale à 0,4 (4 %) et inférieur au rapport de cohérence accepter qui est égal à 0.1 (10 %). Les résultats révèlent un potentiel très pauvre de 0,36 % et pauvre de 55,15 % en eau souterraine plus vers le côté Ouest et au Sud-Ouest du bassin versant, Modérée (42,81 %) et Bon (1,67 %) vers le coté Est du bassin plus précisément dans les environs de Dassa, ZA-Kpota, Covè et aussi tout autour de Savalou et Bantè. Ces résultats corroborent ceux de Oussou *et al.* (2019 : 416) qui ont trouvé avec les mêmes méthodes AHP, mais avec 6 facteurs considérés pour l'évaluation du potentiel du bassin versant du Zou que les zones ayant un potentiel en eau souterraine bon et très bon son dans les environs de Dassa, Savalou, Bantè et couvre près de 48,2 % de la superficie totale du bassin versant. Les travaux hydrogéologiques effectués par la direction générale des eaux montrent que la zone du bassin est pauvre en eau souterraine ce qui fait que les puits tarissent et sont assez profonds. Ces résultats corroborent ceux

obtenus dans cette étude dans la mesure où plus de la moitié (50%) de l'espace du bassin présente un potentiel très pauvre et pauvre.

Conclusion

L'analyse du potentiel en eau souterraine fait appel à plusieurs facteurs influençant la disponibilité de cette ressource. Dans le cadre de cette étude, 7 facteurs ont été retenus pour cette évaluation. La méthode d'analyse multicritère de décision utilisé est celui de Saaty. La crédibilité des résultats est contrôlée avec un ratio de cohérence qui est inférieur au seuil accepté (10 %). Le bassin versant du Zou est caractérisé par un potentiel en eau souterraine très pauvre de 0,36 %, pauvre (55,15 %), modéré (42,81 %) et bon (1,67 %). De ces résultats, il est très important de mener les analyses plus détaillées avant toute installation d'ouvrage hydraulique, car ces ouvrages sont alimentés par les eaux souterraines. Avec la descente des transhumants quittant le nord Bénin, et même du centre bénin vers la zone sud devient un enjeu capital dans la mesure où l'enjeu lié à la ressource eux devient crucial. Il est donc capital de mener une recherche sur la capacité d'accueil des eaux de surfaces du bassin versant du Zou.

Références bibliographiques

Doke Arjun, Zolekar Rajendra, Patel Hemlata et Das Sumit (2021), *Geospatial mapping of groundwater potential zones using multi-criteria decision-making AHP approach in a hard rock basaltic terrain in India. Ecological Indicators 127 (2021) 107685,* www.elsevier.com/locate/ecolind

Elame Fouad et Doukkali Rachid Mohammed (2017), « Modélisation économique des ressources en eau dans le bassin de Souss-Massa », Revue de littérature, pp. 124-131

Fabien Christin (2008), *Etude de la modélisation hydrodynamique de surface et hydraulique souterraine et de leur couplage dans un but d'aider à la gestion des hydrosystèmes aménagés, Sciences de l'environnement*, Doctorat en Sciences de l'Eau, AgroPAriTech-ENGREF Montpellier, 409 p.

Goepel Klaus (2018), « Implementation of an Online Software Tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS) ». *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, *10*(3). https://doi.org/10.13033/ijahp.v10i3.590

Kouassi Amani Michel, Kouamé Koffi Fernand, Goula Bi Tié Albert, LASM Théophile, PATUREL Jean Emmanuel et Biémi Jean (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 COTE D'IVOIRE », Rev. Ivoir. Sci. Technol., pp. 207-229

Oussou Francis Enagnon, Oloukoi Joseph, Yalo Nicaise, Boukari Moussa (2019), « Analyse Spatiale du Potentiel en eau Souterraine dans le Bassin du Zou au Sud du Benin (Afrique de L'ouest) », *European Scientific Journal*, edition Vol.15, No.27 ISSN : 1857 – 7881, Doi :10.19044/esj. 2019.v15n27p402

PANGIRE (2011), *Plan d'Action National de Gestion Intégrée des Ressources en Eau du Bénin*, 74 p.

Pale Sié (2020), *Vers une meilleure gestion de l'eau agricole à partir des plateformes libres de télédétection et de communication au Burkina Faso*, Thèse de Docteur en Sciences, 162 p.

Piton Guillaume, Philippe Félix, Tacnet Jean-Marc et Gourhand Antoine (2018), « AIDE À LA DÉCISION PAR L'APPLICATION DE LA MÉTHODE AHP (ANALYTIC HIERARCHY PROCESS) À L'ANALYSE MULTICRITÈRE DES STRATÉGIES D'AMÉNAGEMENT DU GRAND BÜECH À LA FAURIE » Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE), « Sciences Eaux & Territoires », Numéro 26, pp. 54-57. ISSN 2109-3016, DOI 10.3917/set.026.0054

Qadem Abdelghani (2015), *quantification, modélisation et gestion de la ressource en eau dans le bassin versant du HAUT SEBOU (MAROC),* Thèse de Doctorat de l'Université Sidi Mohamed Ben Abdelah et l'Université de Lorraine, 361 p.

Rahmati Omid, Nazari Samani Aliakbar, Mahdavi Mohamad, Pourghasemi Hamid Reza et Zeinivand Hossein (2015), « Groundwater potential mapping at Kurdistan region of Iran using analytic hierarchy process and GIS ». Arab. J. Geosci, 8 (9), pp. 7059–7071, doi:10.1007/s12517-014-1668-4.

Rajaveni Sundara Pandian, Brindha Karthikeyan et Elango Lakshmanan (2017), « Geological and geomorphological controls on groundwater occurrence in a hard rock region ». Appl. Water Sci., 7 (3), pp. 1377–1389.

Saaty Thomas (1997), « A scaling method for priorities in hierarchical structures ». J. Math. Psychol. 15, pp. 234–281. https://doi.org/10.1016/0022-2496 (77)90033-5.
SDAGE (2013), *Elaboration du Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux du Bassin de l'Ouémé*, volume 1 : Rapport général, Version finale, 193 p.
UNICEF (2015), *Les Objectifs de Développement Durable (ODD)*, my unicef France, 08 p. www.myUNICEF.fr