

Evaluation et spatialisation de la fertilité physico-chimique des sols des parcs agroforestiers de la commune de Tagazar (Niger).

Ibrahim Biga¹, Idrissa Soumana¹, Ali Idrissa², Ali Mahamane³

¹ Chercheurs à l'Institut National de la Recherche Agronomique du Niger, BP 429 Niamey, Niger.

² Ingénieur de recherche à l'Institut National de la Recherche Agronomique du Niger, BP 429 Niamey, Niger.

³ Enseignant Chercheur à l'Université Abdou Moumouni de Niamey, BP : 10896

Auteur correspondant : Ibrahim BIGA. E-mail : ibrahim_biga@yahoo.fr

Mots clés : Parc agroforestier, carte de fertilité, sol, Niger.

Keywords: Agroforestry park, fertility map, soil, Niger.

Submitted 9/11/2024, Published online on 31st December 2024 in the [Journal of Animal and Plant Sciences \(J. Anim. Plant Sci.\) ISSN 2071 – 7024](#)

1 RESUME

Cette étude a pour objectif d'élaborer les cartes de fertilité des sols des parcs agroforestiers de la commune de Tagazar située dans l'Ouest du Niger. Pour atteindre cet objectif, des échantillons composites de sol ont été constitués à partir des prélèvements à une profondeur de 0-20 cm à l'aide de la tarière dans des placettes de 2500m² dans les parcs agroforestiers. La granulométrie, le taux de matière organique, la teneur des éléments majeurs et le pouvoir absorbant du sol ont été déterminés au laboratoire. Pour l'évaluation de la fertilité du sol, des méthodes statistiques, de SIG et des analyses multicritères ont été appliquées pour l'obtention des cartes de fertilité physico-chimique par l'agrégation des différents éléments cartographiés. Les résultats montrent que le sol est sableux avec une moyenne de 93,67±2,9% de sable ; 2,61±1,7% de limon et 3,87±2,1% d'argile. Le statut nutritif et organique du sol montre un état de sols très pauvre à pauvre pour la totalité de ces éléments excepté le calcium. Le pH est acide avec une moyenne de 5,57±0,5. Cette étude a permis la connaissance des propriétés du sol et de leurs distributions spatiales Ces résultats serviront de base pour la formulation des besoins en engrais des sols pour leur utilisation parcimonieuse et respectueuse de l'environnement en vue une amélioration significative et durable des productions agricoles.

Evaluation and spatialization of physico-chemical soil fertility in agroforestry parks in the Tagazar commune (Niger).

ABSTRACT

The aim of this study was to draw up soil fertility maps for agroforestry parks in the Tagazar commune in western Niger. To achieve this objective, composite soil samples were taken at a depth of 0-20 cm using an auger in 2500m² plots in the agroforestry parks. Soil particle size, organic matter content, major element content and absorbency were determined in the laboratory. To assess soil fertility, statistical methods, GIS and multi-criteria analysis were applied to obtain physico-chemical fertility maps by aggregating the various elements mapped. The results show that the soil is sandy, with an average sand content of 93.67±2.9%, silt 2.61±1.7% and clay 3.87±2.1%. The nutrient and organic status of the soil is very poor to poor for all elements except calcium. The pH is acidic with an average of 5.57±0.5. This study

provided knowledge of soil properties and their spatial distribution. These results will serve as a basis for formulating soil fertilizer requirements for their sparing and environmentally-friendly use, with a view to significantly and sustainably improving agricultural production.

2 INTRODUCTION

Les parcs agroforestiers contribuent en plus des valeurs alimentaire et économique à la satisfaction des besoins en produits médicinaux, en bois de service et d'énergie et à la lutte contre les changements climatiques, la protection et la fertilité des sols (Chevallier *et al.*, 2015). Nonobstant leurs importances, les parcs de l'Ouest du Niger se trouvent aujourd'hui menacés par les actions anthropiques. En effet, ces parcs sont plus menacés par l'action de l'homme que du climat avec un taux d'anthropisation de $74,7 \pm 22,1\%$ (Biga *et al.*, 2021c). Et cela à travers les pressions pastorales, les coupes de bois, les prélèvements d'écorces et de racines et le prélèvement d'organes à des fins thérapeutiques (Dan Guimbo *et al.*, 2016, Biga *et al.*, 2021c). En plus de ces coupes et prélèvements, les pratiques agricoles sont considérées comme « minières » en ce sens qu'elles prélèvent du sol, chaque année, plus d'éléments nutritifs qu'elles n'en retournent (Abdoul-Habou *et al.*, 2016). Cette exploitation sans restitution de résidus de récolte couplée à la faible utilisation de fertilisants implique une diminution drastique de la fertilité des sols et des rendements de culture (Amonmidé *et al.*, 2019). Cette baisse de la fertilité des sols constitue la principale contrainte de la faible production agricole et accentue l'insécurité alimentaire dans les pays d'Afrique subsaharienne comme le Niger (N'Guessan *et al.*, 2019).

Ces modes d'exploitation et de gestion agricole des parcs permettent-ils à ces écosystèmes de l'Ouest nigérien de continuer pleinement la fonction de service écosystémiques qui leurs sont dévolus tels que la fertilisation des sols ?

Au Niger, plusieurs études sur les ligneux des parcs agroforestiers faisant cas de l'augmentation des rendements des cultures et de l'amélioration de la fertilité des sols ont été

conduites (Dan Lamso *et al.*, 2015, Boubacar *et al.*, 2019). Très peu d'études ont concerné l'évaluation de la fertilité des sols des parcs agroforestiers en grandeur nature c'est-à-dire sans tenir compte d'une espèce particulière mais l'écosystème parc à travers des prélèvements d'échantillons composites de sols. A cela, s'ajoute le manque crucial de carte distribution sur la fertilité des sols au Niger qui est un outil indispensable pour la planification en vue d'une meilleure prise de décision et d'orientation en matière de gestion durable des sols pour une augmentation des rendements agricoles. Jusqu'à ce jour le Niger ne dispose pas encore d'une carte des fertilités des sols à l'instar des autres régions de la sous-région et d'ailleurs. Cette situation permet-elle au Niger de juguler l'appauvrissement des sols agricoles ?

Compte-tenu du contexte d'appauvrissement général des sols agricoles et de leurs corollaires tels que l'accentuation de la paupérisation des populations rurales et des crises alimentaires récurrentes, il urge de promouvoir l'utilisation parcimonieuse de fertilisants respectueux de l'environnement et l'accentuation de la préservation et de la protection des arbres dans les champs. Arriver à une telle intensification nécessite de solides connaissances scientifiques sur la fertilité des sols à travers leurs caractéristiques physico-chimiques. Pour ce faire la nécessité de disposer des cartes de fertilité s'avère primordiale pour une meilleure connaissance des sols et une définition du niveau de fertilité des zones pour une meilleure orientation et gestion des intrants à appliquer. La présente étude rentre dans ce cadre et a pour objectif d'élaborer les cartes de fertilité des sols des parcs agroforestiers de la commune rurale de Tagazar à travers l'évaluation et la spatialisation des paramètres physico-chimiques du sol.

3 MATERIEL ET METHODES

3.1 Présentation de la zone d'étude :

L'étude a été menée dans la commune de Tagazar de la région de Tillabéry située dans l'extrême ouest du Niger (figure 1). Le climat est de type sahélien avec deux saisons contrastées : une longue saison sèche d'octobre à mai (soit 8 mois) et une courte saison humide correspondant à la saison hivernale de juin à septembre (soit 4 mois). Il est caractérisé par des précipitations moyennes annuelles qui varient entre 200 mm au nord et 500 mm au sud et une température moyenne annuelle relativement élevée de l'ordre de 18° en janvier à 45° en avril (PDC, 2019). Les vents dominants sont l'harmattan (vent chaud et sec) et la mousson

(vent chargé d'humidité et annonciateur des pluies). Du point de vue pédologique, la commune est dominée par les sols à sesquioxides et occupent 80 % de sa superficie (Biga, 2022). Les types de sols rencontrés dans la zone d'étude sont les sols sableux, latéritiques et argileux. Le paysage de la commune de Tagazar est constitué par trois unités géomorphologiques principales à savoir les plateaux, la vallée ou bas-fond et les glacis. Il est aussi marqué par une dynamique hydro-érosive très vive caractérisée par des ravinements et des koris causés par l'eau de pluie localisée un peu partout dans la commune.

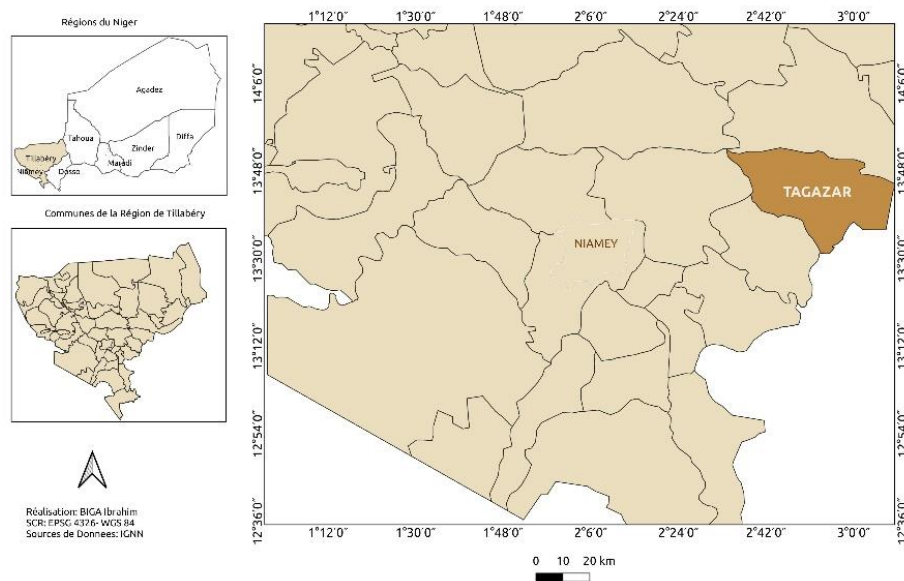


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

3.2 Caractérisation physico-chimique des sols

3.2.1 Échantillonnage des sols : Un basé sur la même procédure que celle effectuée lors de la caractérisation floristique des parcs agroforestiers du troisième chapitre a été adopté pour la collecte des échantillons de sol. Les données ont été collectées selon un échantillonnage de type aléatoire conformément au plan de sondage effectué sur la base de la carte des parcs agroforestiers extraite de la carte d'occupation des sols de la zone d'étude selon un

maillage de 1,5 km de côté. Ces mailles ont été numérotées de 1 à n placettes uniquement dans les parcs agroforestiers. Dans chaque maille, il n'a été placé qu'une seule placette de 2500 m² (50m x 50m). La fonction aléa a été par la suite appliquée pour le choix aléatoire des placettes pour le prélèvement des échantillons de sols. Les coordonnées géographiques de ces placettes ont été enregistrées dans un GPS Garmin Map 64S pour l'identification et la collecte des données sur le terrain. Au niveau de chaque placette de 2500 m², un échantillon composite de sol a été

prélevé à 20 cm de profondeur à l'aide de la tarière. L'opération a consisté à effectuer des prélèvements de sol à cette profondeur aux quatre angles et au centre de chaque placette. Ces cinq prélèvements par placette ont ensuite été mélangés pour l'obtention d'un échantillon composite par placette. Au total, 96 échantillons composites ont été constitués pour les analyses physico-chimiques soit 480 prélèvements. Chaque échantillon composite a été séché à la température ambiante et à l'abri de la lumière solaire avant d'être transporté au laboratoire pour les analyses physico-chimiques.

3.2.2 Analyses physico-chimiques : Les échantillons composites des sols prélevés ont subi des analyses physiques et chimiques suivant les normes de la FAO (1992) au laboratoire Sol-Eau-Végétation et Engrais (LASEVE) de l'Institut National de la Recherche Agronomique du Niger (INRAN). Les analyses ont concerné la granulométrie, le pH-eau, le carbone organique,

les bases échangeables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+), l'azote total, le phosphore assimilable, et la capacité d'échange cationique (CEC). L'analyse granulométrique a été effectuée avec la méthode Bouyoucos. Elle a consisté à formuler une solution de 100 ml d'eau distillée, 10 ml de dispersant (pyrophosphate de sodium d'une concentration de 50 g/L), et de 50 g de sol. Après 24 heures de repos, le mélange est transvasé dans un cylindre et complété à 1000 ml avec de l'eau de distribution. Un hydromètre a été immédiatement plongé dans le mélange remué pour déterminer la concentration en argile et limon de l'échantillon de sol. La solution a été ensuite tamisée avec deux tamis superposés de 0,25 mm et 0,020 mm de mailles pour déterminer les pourcentages massiques de sables grossiers et fin. Les classes de texture ont été déterminées selon les limites des classes granulométriques utilisées dans le système USDA (Figure 2).

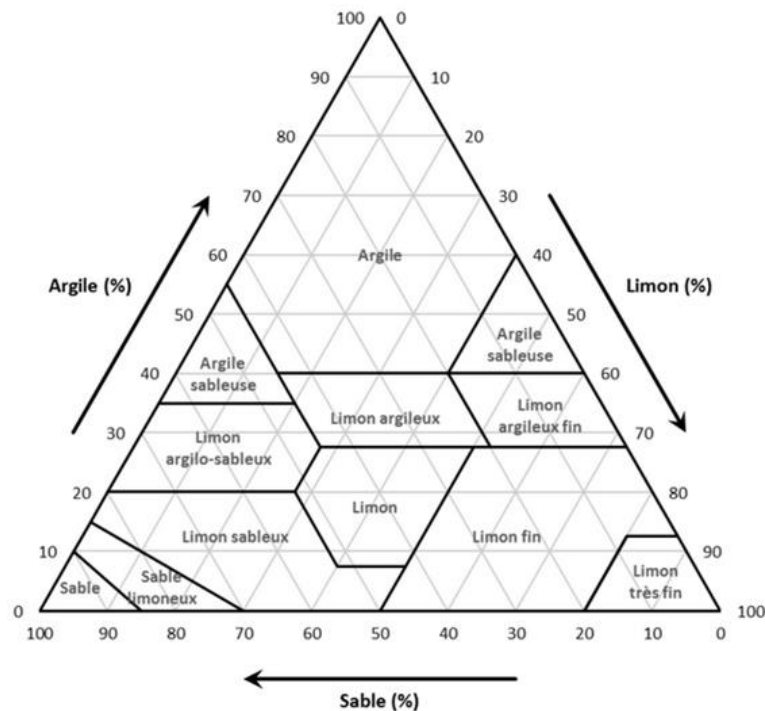


Figure 1: Triangle de texture du département de l'agriculture des États-Unis

Le carbone organique a été déterminé selon la méthode de Walkley et Black en oxydant le carbone et la matière organique du sol. La teneur

en matière organique a été obtenue en multipliant le résultat du carbone total par 1,724. Le pH eau a été déterminé directement à l'aide

d'un pH-mètre électronique à lecture directe à partir d'une suspension aqueuse (1/2,5). Les bases échangeables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) ont été extraites à partir de 10 g d'échantillon de sol saturé pendant une nuit par une solution d'acétate d'ammonium obtenue par saturation au moyen d'acétate d'ammonium molaire (volume =100 ml) à pH 7. Les dosages ont été effectués à l'aide d'un spectrophotomètre à émission de flamme pour le potassium et par un spectromètre à absorption atomique pour le sodium, calcium et magnésium. Le dosage de l'azote total a été fait selon la méthode Kjeldahl par dégradation de la matière organique du sol à

chaud avec l'acide sulfurique. Le phosphore assimilable a été déterminé par la méthode Bray en traitant le sol avec une solution de fluorure d'ammonium et d'acide chlorhydrique. La CEC a été déterminée au pH du sol après extraction avec la cobaltihexammine. La détermination de la concentration en ions cobaltihexammine restée en solution après échange avec l'échantillon permet de calculer la quantité fixée sur ce dernier et d'en déduire la valeur de sa CEC. Le niveau de fertilité des sols a été évalué à l'aide de la clé d'interprétation des paramètres chimiques des sols (tableau 1).

Tableau 1 : Normes d'interprétation des analyses chimiques de sols

	Très pauvre	Pauvre	Moyen	Riche	Très riche
P ass (ppm)	0 à 2	2 à 7	7 à 15	15 à 20	> 20
Azote total %	< 0,5	0,5 à 1	1 à 1,5	1,5 à 2,5	> 2,5
MO (%)	< 0,1	0,1 à 0,2	0,2 à 0,3	0,3 à 0,4	> 0,40
K (cmol/kg)	< 0,1	0,1 à 0,2	0,2 à 0,4	0,4 à 0,8	>0,8
Ca²⁺ (cmol/kg)	< 1	1,0 à 2,3	2,3 à 3,5	3,5 à 7	> 7
Mg²⁺ (cmol/kg)	< 0,4	0,4 à 1	1 à 1,5	1,5 à 3	> 3
Na⁺ (cmol/kg)	< 0,1	0,1 à 0,3	0,3 à 0,7	0,7 à 2	> 2
	Très faible	Faible	Moyenne	forte	Très forte
CEC (cmol/kg)	< 5	5 à 10	10 à 25	25 à 40	>40

pHeau	Extrêmement acide	Très fortement acide	Fortement acide	Moyennement acide	Faiblement acide	Neutre
	< 4,5	4,6 à 5,0	5,1 à 5,5	5,6 à 6	6,1 à 6,5	6,6 à 7,3
	Légèrement alcalin	Modérément alcalin	Fortement alcalin	Très fortement alcalin		
	7,4 à 7,8	7,9 à 8,4	8,5 à 9,0	> 9,1		

Source : Laboratoire d'analyse des sols de l'INRAN

3.3 Analyses statistiques des données : Une analyse en composantes principales (ACP) a été effectuée sur les paramètres physico-chimiques des 96 échantillons composites du sol afin de mettre en évidence les différents éléments physico-chimiques sur le plan factoriel. Une

classification hiérarchique ascendante (CHA) des 96 échantillons, basée sur la distance euclidienne et la méthode de regroupement de Ward, a été réalisée avec le logiciel R 4.2.0 afin d'identifier les groupes de sols homogènes selon leurs caractéristiques physico-chimiques. Ces

groupes de sol sont spatialisés sur le modèle numérique terrain (MNT) pour l'identification de leur distribution spatiale.

Des tests non paramétriques de comparaison de Kruskal-Wallis et du Dunn's Test avec la méthode d'ajustement de Bonferroni ont été effectués avec le logiciel R 4.2.0 pour tester la significativité des différences entre les groupes pour les paramètres physico-chimiques de sol identifiés.

3.4 Analyses spatiales : Pour l'élaboration de la carte de fertilité chimique des sols deux méthodes ont été appliquées à savoir les interpolations spatiales qui ont permis d'avoir les rasters des différents éléments chimiques et l'analyse multicritère qui a permis l'obtention de leur poids en fonction de leur importance.

3.4.1 Interpolation spatiale : L'interpolation spatiale est une méthode qui permet d'estimer les valeurs d'un phénomène spatialement continu en tout lieu d'une zone, à partir des points de mesures existant sur cette même zone (Christina *et al.*, 2019). Cette procédure appliquée aux données relatives aux paramètres physico-chimiques du sol, mesurés sur le terrain a permis de prédire les valeurs à n'importe quel point de la commune de Tagazar qui n'a pas été sondé en se servant d'une part des techniques de distance inverse (IDW) et des splines dites déterministes et d'autre part du krigeage ordinaire (KO) dite stochastique. Le choix de ces techniques et méthodes repose sur le fait qu'elles sont largement utilisées dans plusieurs domaines et l'étude spatiale de la fertilité des sols eu égard à la robustesse des résultats qu'elles produisent (Mohamed, 2011 ; Desavathu *et al.*, 2018; Aboubakar, 2018; Koussa, 2018 ; Douba *et al.*, 2019). L'IDW a été appliquée en faisant varier la valeur du paramètre de puissance à 2 ; 2,5 et 3. Quant au KO quatre algorithmes ont été testés à savoir le gaussien, le sphérique, le linéaire et le logarithmique. Toutes ces interpolations spatiales ont été appliquées aux 12 paramètres physico-chimiques du sol analysés. Sur les 96 points seuls 80 ont été utilisés pour l'interpolation et les 16 restants ont servi à tester les différentes méthodes d'interpolation. En effet, les interpolations engendrent des erreurs et

il est important de les mesurer à travers une validation croisée entre les valeurs des surfaces interpolées et celles mesurées. Pour cela, les erreurs quadratiques moyennes (RMSE) ou résidus ont été calculées pour chaque méthode et comparer les unes avec les autres. Cet indicateur est le plus souvent utilisé pour évaluer la fiabilité des résultats (Weng, 2002). L'estimation est d'autant meilleure lorsque cet indicateur est faible (Ariane, 2010). Et par conséquent, il a servi de base pour le choix de la méthode et du paramètre les plus fiables pour une meilleure interpolation des données. Il a été calculé par la formule ci-dessous :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (X_{obs,i} - X_{model,i})^2}{n}}$$

- Xobs, i est la valeur mesurée à un point de mesure i

- Xmodel, i est la valeur prédite au point i

- n est le nombre de points de mesure

3.4.2 Analyse Multicritère : L'analyse multicritère (AMC) est une méthode basée sur une modélisation mathématique des approches décisionnelles. Elle permet la comparaison de différentes solutions selon plusieurs critères eux-mêmes évalués et hiérarchisés en fonction de leur importance relative dans le processus de décision ou d'analyse (Christina *et al.*, 2019). Dans cette étude, elle a été appliquée sur les données sols à travers les propriétés chimiques (pH, calcium, magnésium, sodium, potassium, azote total, phosphore assimilable, matière organique et la capacité d'échange cationique) du sol, mesurées sur le terrain. Cette AMC a permis d'élaborer les cartes de fertilité chimique du sol sur la base des rasters issus des interpolations. Parmi l'ensemble des méthodes d'analyse multicritère qui existent, il a été utilisé l'analyse hiérarchique des procédés (AHP) basée sur la pondération des facteurs. Cette méthode, développée par Saaty (1980), a été utilisée par nombreux auteurs dans divers domaines qui nécessitent une prise de décision (Sidi *et al.*, 2017 ; Aboubakar, 2018). Cette méthode débute par l'identification des critères qui ont été utilisés. Dans cette étude, il a été utilisé deux types de critères à savoir les contraintes et les

facteurs. Les contraintes correspondent à des critères discriminants et se traduisent par des conditions booléennes exclusives. Elles excluent les zones dont les caractéristiques ne correspondent pas aux critères imposés (Christina *et al.*, 2019). Quant aux facteurs, ils correspondent aux critères caractérisés par un certain degré d'aptitude. Ils sont exprimés par des valeurs et peuvent être hiérarchisés par l'attribution d'une pondération (Christina *et al.*, 2019). Les variables chimiques qui ont permis l'évaluation de la fertilité chimique des sols ont été utilisés comme des facteurs. Quant aux contraintes, elles sont représentées par les bâtis, les formations forestières, les zones dénudées et les terrains rocheux. Ces contraintes, qui sont des variables binaires, limitent spatialement la décision qui est dans cette étude la fertilité des sols agricoles en général et en particulier celles des parcs agroforestiers. Elles ont été extraites de la carte d'occupation des sols de la commune de Tagazar élaborée par Biga *et al.* (2020a). Après cette identification, la seconde étape est l'élaboration de la matrice de comparaison binaire (Tableau 2) pour chaque facteur en précisant leur poids en fonction de leur degré d'importance. Ce degré d'importance s'obtient en comparant chacune des paires de facteurs en leur assignant un coefficient de pondération selon l'échelle de Saaty (Tableau 3). Au niveau de cette matrice où les valeurs vont de 1/9 à 9, les éléments de la diagonale sont égaux et ceux non

égaux indiquent la perception relative de l'importance des facteurs par rapport aux autres. L'attribution des rangs aux facteurs est en général issue des avis des experts du domaine étudié. Après l'attribution des rangs aux facteurs, la matrice de pondération deux à deux a été construite et le poids normalisé pour chaque facteur a été calculé (Tableau 4). Pour l'obtention des cartes de fertilité chimique du sol regroupant l'ensemble des éléments, il a été utile de recoder les cartes rasters des facteurs physico-chimiques obtenues lors de l'interpolation. Les règles de recodification pour la normalisation des facteurs chimiques se présentent en 5 classes de fertilité de très faible à très élevée conformément aux 5 catégories qui ont été définies (tableau 5). Cette codification a été faite via l'algorithme « reclassification par table » du logiciel QGIS. Cet algorithme reclassifie une bande raster en attribuant de nouvelles valeurs de classe en fonction des plages spécifiées dans une table corrigée. Cette reclassification a permis d'aboutir à une série de 9 cartes. A ces cartes élaborées, il a été ajouté 4 autres présentant les zones de contrainte. Les cartes des propriétés chimiques ont été agrégées par combinaison linéaire des valeurs des facteurs pondérés (w_i) par les poids (C_j) et multipliés par le produit des contraintes (C_j) selon la formule ci-dessous via la calculatrice raster de QGIS.

$$S = \sum_i w_i x_i \times \prod_j c_j$$

Tableau 2: Matrice de comparaison par paire des facteurs

	Na	Ca	Mg	N	K	P	pH	CEC	MO
Na	1	1	1	1/5	1/5	1/5	1/3	1/2	1/7
Ca	1	1	1	1/5	1/5	1/5	1/3	1/2	1/7
Mg	1	1	1	1/5	1/5	1/5	1/3	1/2	1/7
N	5	5	5	1	1	1	1/3	1/2	1/7
K	5	5	5	1	1	1	1/3	1/2	1/7
P	5	5	5	1	1	1	1/3	1/2	1/7
pH	3	3	3	3	3	3	1	3	1
CEC	2	2	2	2	2	2	1/3	1	1/3
MO	7	7	7	7	7	7	1	3	1

Tableau 3: Echelle de Saaty (1980)

Degré d'importance	Définition
1	Importance égale des deux éléments
3	Un élément est un peu plus important que l'autre
5	Un élément est plus important que l'autre
7	Un élément est beaucoup plus important que l'autre
9	Un élément est absolument plus important que l'autre
2, 4, 6, 8	Valeurs intermédiaires entre deux jugements utilisés pour affiner le jugement

Tableau 4: Poids des facteurs

Étape 1 : Somme des colonnes

	Na	Ca	Mg	N	K	P	pH	CEC	MO
Na	1	1	1	0,20	0,20	0,20	0,33	0,50	0,14
Ca	1	1	1	0,20	0,20	0,20	0,33	0,50	0,14
Mg	1	1	1	0,20	0,20	0,20	0,33	0,50	0,14
N	5	5	5	1,00	1,00	1,00	0,33	0,50	0,14
K	5	5	5	1,00	1,00	1,00	0,33	0,50	0,14
P	5	5	5	1,00	1,00	1,00	0,33	0,50	0,14
pH	3	3	3	3,00	3,00	3,00	1,00	3,00	1,00
CEC	2	2	2	2,00	2,00	2,00	0,33	1,00	0,33
MO	7	7	7	7,00	7,00	7,00	1,00	3,00	1,00
somme	30	30	30	16	16	16	4	10	3

Étape 2 : Diviser chaque élément par le total de la colonne

	Na	Ca	Mg	N	K	P	pH	CEC	MO
Na	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,08	0,05	0,04
Ca	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,08	0,05	0,04
Mg	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,08	0,05	0,04
N	0,17	0,17	0,17	0,06	0,06	0,06	0,08	0,05	0,04
K	0,17	0,17	0,17	0,06	0,06	0,06	0,08	0,05	0,04
P	0,17	0,17	0,17	0,06	0,06	0,06	0,08	0,05	0,04
pH	0,10	0,10	0,10	0,19	0,19	0,19	0,23	0,30	0,31
CEC	0,07	0,07	0,07	0,13	0,13	0,13	0,08	0,10	0,10
MO	0,23	0,23	0,23	0,45	0,45	0,45	0,23	0,30	0,31
somme	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Étape 3 : Moyenne des lignes

	Na	Ca	Mg	N	K	P	pH	CEC	MO	Poids
Na	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,08	0,05	0,04	0,034
Ca	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,08	0,05	0,04	0,034
Mg	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,08	0,05	0,04	0,034
N	0,17	0,17	0,17	0,06	0,06	0,06	0,08	0,05	0,04	0,096
K	0,17	0,17	0,17	0,06	0,06	0,06	0,08	0,05	0,04	0,096
P	0,17	0,17	0,17	0,06	0,06	0,06	0,08	0,05	0,04	0,096
pH	0,10	0,10	0,10	0,19	0,19	0,19	0,23	0,30	0,31	0,191
CEC	0,07	0,07	0,07	0,13	0,13	0,13	0,08	0,10	0,10	0,096
MO	0,23	0,23	0,23	0,45	0,45	0,45	0,23	0,30	0,31	0,321

Tableau 5: Règle de classification et recodification

	Très faible	Faible	Moyenne	Élevée	Très élevée
pH	4 à 6	6.1 à 6.5	7.9 à 8.4	7.4 à 7.8	6.6 à 7.3
P	0 à 2	2 à 7	7 à 15	15 à 20	>20
N	< 0.5	0.5 à 1	1 à 15	1.5 à 2.5	> 2.5
MO	< 0.1	0.1 à 0.2	0.2 à 0.3	0.3 à 0.4	> 0.4
CEC	< 5	5 à 10	10 à 25	25 à 40	>40
Ca	< 1	1 à 2.3	2.3 à 3.5	3.5 à 7	> 7
Mg	< 0.4	0.4 à 1	1 à 1.5	1.5 à 3	> 3
K	< 0.1	0.1 à 0.2	0. à 0.4	0.4 à 0.8	>0,8
Na	< 0.1	0.1 à 0.3	0.3 à 0.7	0.7 à 2	>2
Catégorie	1	2	3	4	5

4 RESULTATS

4.1 Identification des groupes de sols :

La classification hiérarchique ascendante (CAH) appliquée aux paramètres physico-chimiques des

échantillons du sol a permis de distinguer trois groupes (1, 2, 3) de sols pour les parcs agroforestiers de la zone d'étude (figure 3).

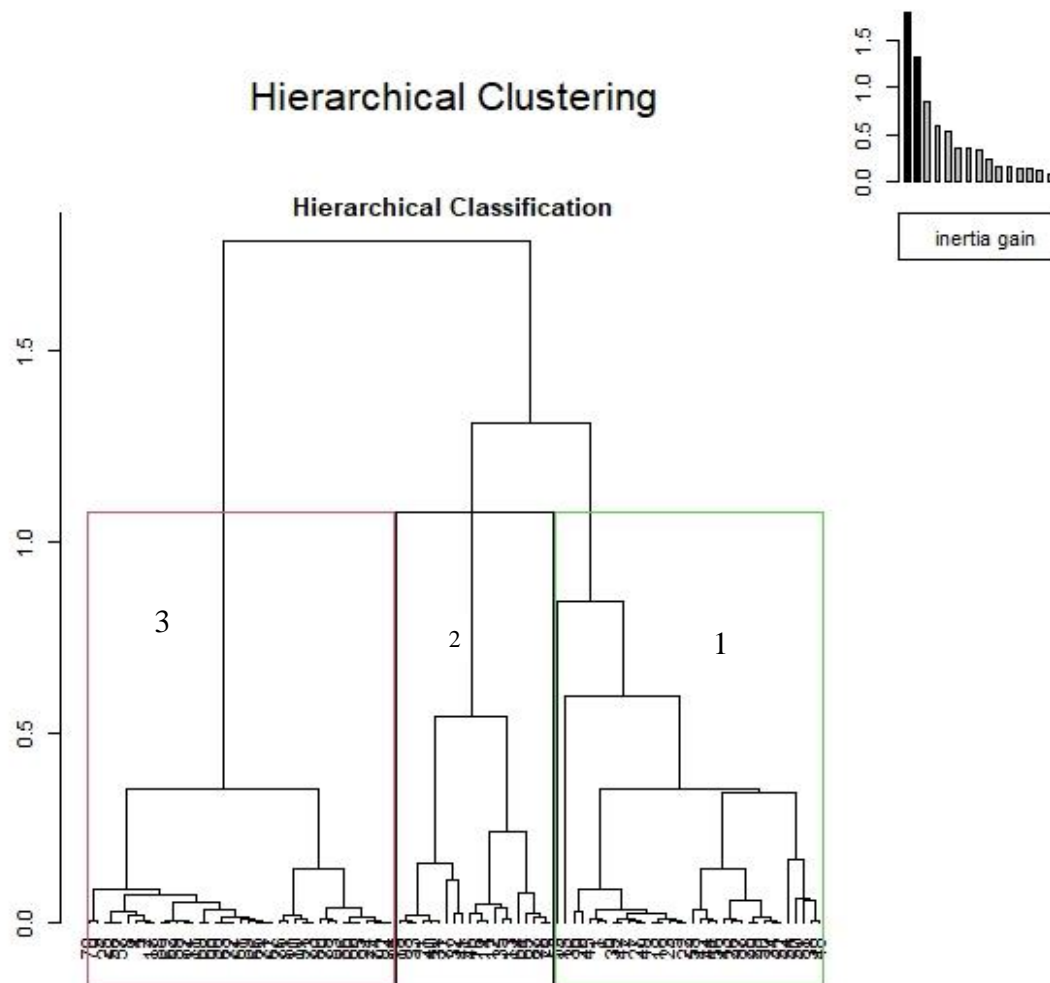


Figure 3: Dendrogramme de la classification hiérarchique des trois groupes de sol (1, 2, 3).

La spatialisation des groupes identifiés sur la base du modèle numérique terrain (MNT) de la zone d'étude montrent une concentration de l'occurrence des deux premiers dans la zone basse contrairement à celui du troisième groupe

qui est concentré sur les plateaux (figure 4). Donc on pourra conclure que les trois groupes de sol mis en exergue par la CHA correspondent aux groupes de sols de vallée constitués par le bas-fond et le glacis et celui de plateau.

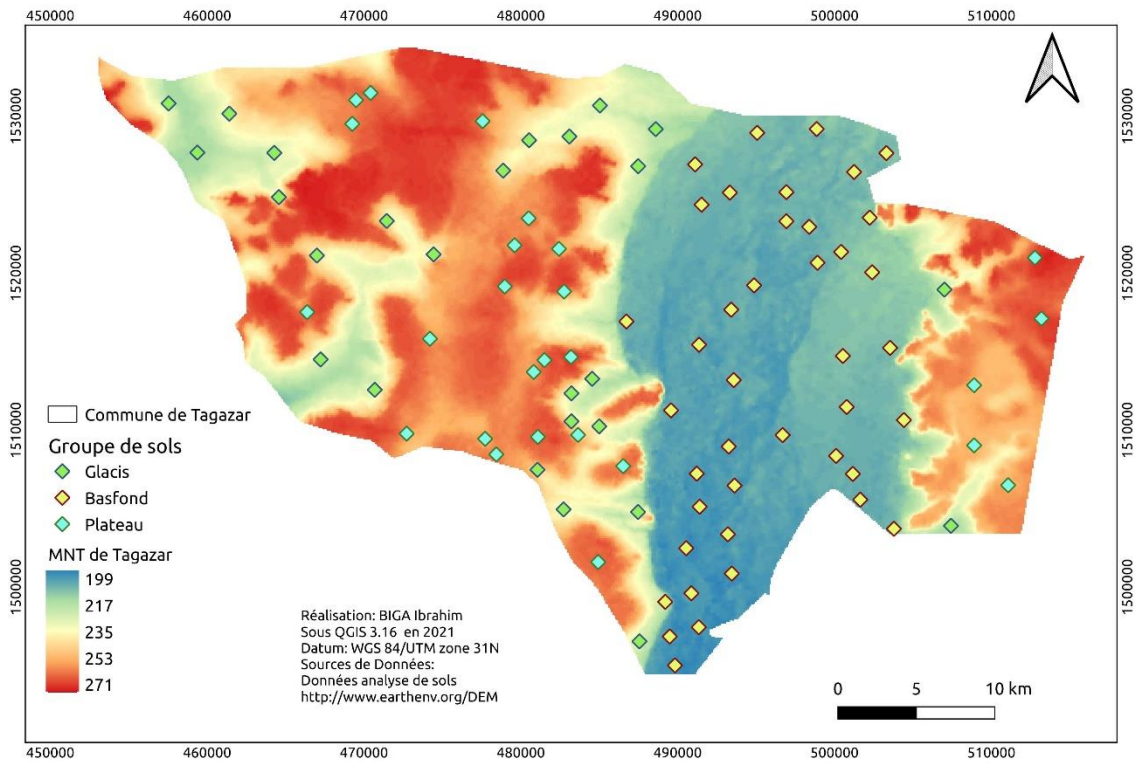


Figure 4: Distribution spatiale sur le modèle numérique terrain des groupes de sols identifiés dans les parcs agroforestiers de la commune Tagazar

4.2 Caractérisation physique des sols :

Les résultats de l'analyse granulométrique effectuée sur les échantillons collectés montrent que les sols sont dominés par le sable à plus de 91%. L'ensemble des échantillons analysés sur la zone d'étude a un taux moyen de sable de $93,67 \pm 2,9\%$. Cela confirme la texture sableuse de la zone mise en exergue par le triangle textural d'où

les faibles teneurs en argile et en limon (tableau 6). Entre les trois groupes, l'analyse de la médiane montre une différence hautement significative pour l'argile et le sable ($p < 0,000$) et significative pour le limon ($p < 0,028$). Le taux d'argile des plateaux est plus élevé que celui du limon que la vallée (bas-fond et glacis) qui a un taux de sable plus élevé (Tableau 6).

Tableau 6 : Comparaison des paramètres physiques des trois groupes de sols des parcs agroforestiers de la commune de Tagazar

Paramètres physiques	Basfond	Glacis	Plateau	Zone d'étude	P-value
	n=41	n=26	n=26	n=93	
Argile	$2,66 \pm 1,4^a$	$4,10 \pm 1,65^{ac}$	$5,55 \pm 2,16^c$	$3,87 \pm 2,1$	0,000
Limon	$2,21 \pm 1,8^a$	$2,82 \pm 1,53^{ac}$	$3,03 \pm 1,55^{bc}$	$2,61 \pm 17$	0,028
Sable	$95,39 \pm 1,72^a$	$93,12 \pm 2,24^{ac}$	$91,53 \pm 3^{bc}$	$93,67 \pm 2,9$	0,000
Texture	Sableuse	Sableuse	Sableuse	Sableuse	

Les valeurs accompagnées par des lettres différentes sur la même ligne sont significativement différentes au seuil de probabilité $\alpha=0,05$.

4.3 Caractérisation chimique des sols :

La comparaison des paramètres chimiques entre les trois groupes de sol montre une différence significative ($p < 0,000$) pour le pH, le calcium, le magnésium, la CEC et la matière organique. Les sols de bas-fond présentent la teneur la plus élevée de ces éléments comparativement à ceux des glaciers et des plateaux (Tableau 7). Les autres

paramètres (sodium, potassium, phosphore et azote) ne présentent aucune différence statistique entre les trois groupes excepté le phosphore. En effet, cet élément présente une différence significative entre le sol de bas-fond et ceux des glaciers et plateau mis en exergue par le test de Dunn's (Tableau 7).

Tableau 7: Comparaison des paramètres chimiques des groupes de sols

Paramètres Chimiques	Bas-fond	Glacis	Plateau	Zone d'étude	P-value
	n=41	n=26	n=26	n=93	
pH eau	5,91 ± 0,61 ^a	5,34 ± 0,3 ^b	5,30 ± 0,32 ^b	5,57 ± 0,56	0,002
Ca ²⁺⁺ (cmol/kg)	6,3 ± 3,81 ^a	3,36 ± 3,4 ^b	4,39 ± 4 ^b	5 ± 4	0.000
Mg ²⁺⁺ (cmol/kg)	0,49 ± 0,38 ^a	0,30 ± 0,3 ^b	0,37 ± 0,3 ^b	0,4 ± 0,3	0.000
Na ⁺ (cmol/kg)	0,07 ± 0,03 ^a	0,15 ± 0,4 ^a	0,05 ± 0,01 ^a	0,08 ± 0,2	0,1834
K ⁺ (cmol/kg)	0,08 ± 0,03 ^a	0,08 ± 0,04 ^a	0,10 ± 0,07 ^a	0,08 ± 0,04	0,8545
CEC (cmol/kg)	6,98 ± 4 ^a	4,13 ± 4 ^b	5 ± 4 ^b	5,62 ± 4,2	0,0013
P (ppm)	4,6 ± 4,6 ^a	2,92 ± 2,1 ^b	5,13 ± 9 ^b	4,27 ± 6	0,518
MO (%)	0,16 ± 0,08 ^a	0,18 ± 0,1 ^{ac}	0,22 ± 0,08 ^{bc}	0,18 ± 0,09	0,02748
N (%)	0,05 ± 0,07 ^a	0,03 ± 0,03 ^a	0,03 ± 0,02 ^a	0,03 ± 0,05	0,2933

4.3 Relation entre les paramètres physico-chimiques et les groupes de sols :

Les relations entre les paramètres physico-chimiques et les groupes de sols ont été réalisées sur la base d'une analyse en composantes principales (Figures 5 et 6). L'ACP associe fortement le groupe de sols de plateau au pH, au phosphore assimilable, et au sable. Le groupe de sol de glacis est associé à l'argile, au limon, au potassium et à la matière organique. Quant au

groupe de sol de bas fond, il est associé fortement au sodium, au magnésium, au calcium et à la CEC. La matrice des corrélations (Figure 7) établie entre les différents paramètres physicochimiques mesurés indique une forte corrélation positive (0,99) entre le calcium et la CEC et fortement négative (-0,84) entre l'argile et le sable. Elle indique également une corrélation négative (-0,53) entre le sable et le limon.

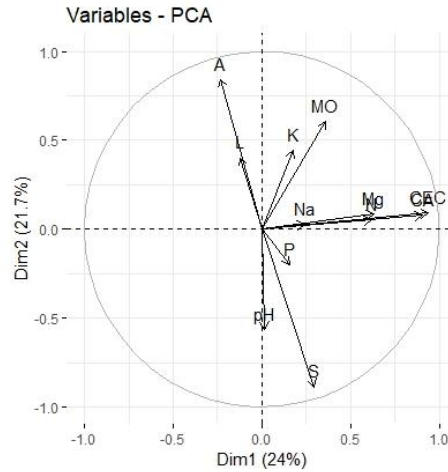


Figure 5: Cercle de corrélation entre les éléments physico-chimiques du sol
 A : Argile ; L : Limon ; K : Potassium ; MO : Matière organique ; Na : Sodium ; Mg : Magnésium ; S : Sable ; P : Phosphore ; Ca : Calcium ; pH : Potentiel d'hydrogène ; CEC : Capacité d'échange cationique

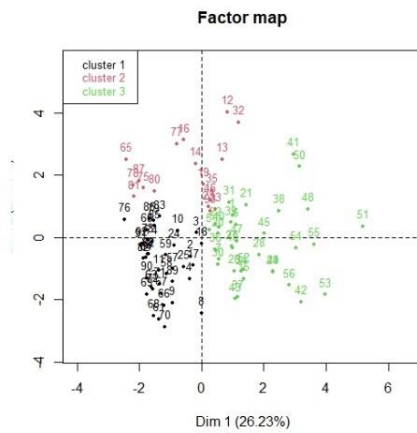


Figure 6 : Plan factoriel de l'Analyse en Composantes Principales des 96 échantillons composite de sol

	pH	CA.	Mg.	Na.	K.	CEC	Passim	M.O	Azote	A	L	sable
pH	1.00	0.05	0.05	0.07	0.10	0.08	0.19	0.10	-0.46	0.51	0.39	
CA.	0.05	1.00	0.40	0.08	0.12	0.99	0.12	0.29	0.47	0.16	0.01	0.13
Mg.	0.05	0.40	1.00	0.07	0.13	0.47	0.04	0.29	0.27	0.04	-0.13	0.16
Na.	0.07	0.08	0.07	1.00	0.00	0.22	0.08	0.11	0.14	0.04	0.00	0.03
K.	0.10	0.12	0.13	0.00	1.00	0.13	0.03	0.36	0.03	0.26	0.00	-0.21
CEC	0.08	0.99	0.47	0.22	0.13	1.00	0.11	0.32	0.49	0.14	0.01	0.14
Passim	0.19	0.12	0.04	0.08	0.03	0.11	1.00	0.07	0.00	0.10	0.17	0.19
M.O	0.10	0.29	0.29	0.11	0.36	0.32	0.07	1.00	0.07	0.33	0.09	-0.33
Azote	0.10	0.47	0.27	0.14	0.03	0.49	0.07	1.00	0.00	0.00	0.11	
A	-0.46	0.16	0.04	0.00	0.26	0.14	0.10	0.33	1.00	0.11	-0.84	
L	0.39	0.01	-0.13	0.00	0.00	0.01	0.17	0.09	0.00	1.00	0.53	
sable	0.39	0.13	0.16	0.00	-0.21	0.14	0.19	-0.33	0.11	-0.84	1.00	

Figure 7 : Matrice de corrélation entre les éléments physico-chimiques du sol

4.4 Estimation par interpolation des éléments physico-chimiques

4.4.1 Méthode d'interpolation : La racine carrée de l'erreur quadratique moyenne utilisée pour la validation croisée en vue du choix de la meilleure méthode d'interpolation qui sied mieux à nos données est résumée dans le tableau

8. En comparant les moyennes des différentes méthodes il ressort que la méthode déterministe IDW puissance 2 a la plus petite moyenne ($2,24 \pm 2,16$) des résidus calculés et est alors la plus adaptée pour l'interpolation des données physico-chimiques de la commune de Tagazar.

Tableau 8: Statistique de la moyenne des erreurs d'estimation et leur écart type

Paramètres	IDW_P ²	IDW_P ^{2,5}	IDW_P ³	Spline	Ko_Gau	Ko_Sph	KO_Lin	KO_Log
Argile	4,07	4,63	4,63	5,02	3,55	3,55	3,60	3,58
Limon	2,64	2,98	2,98	3,25	2,73	8,55	2,84	4,03
sable	5,95	6,12	6,12	6,41	6,61	5,87	5,01	21,21
pH	0,51	0,63	0,63	0,73	0,46	1,46	0,46	0,61
MO	0,19	0,26	0,265	0,326	0,23	0,45	0,55	1,42
N total	0,118	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,12
P ass	5	5,29	5,29	6,29	5,16	5,44	5,04	5,69
Ca	3,34	3,55	3,55	3,56	3,64	3,05	3,67	3,30
Mg	0,51	0,67	3,07	0,78	0,52	4,84	1,34	2,41
Na	0,46	0,47	0,471	0,475	0,47	0,47	0,47	0,47
K	0,124	0,16	0,162	0,194	0,11	0,26	0,14	0,15
CEC	3,94	4,21	4,21	4,23	4,21	3,63	4,25	3,92
Moyenne	2,24 $\pm 2,16$	2,42 $\pm 2,27$	2,62 $\pm 2,20$	2,62 $\pm 2,45$	2,32 $\pm 2,3$	3,14 $\pm 2,7$	2,29 $\pm 1,97$	3,91 $\pm 5,74$

IDW : inverse distance ; P : Puissance ; KO : krigeage ordinaire ; Lin : Linaire ; Gau : gaussienne ; Sph : sphérique ; Log : logarithmique.

4.4.2 Estimation des propriétés physiques du sol : Les estimations par interpolation de l'argile, du limon et du sable sont présentées par

la figure 8. La spatialisation de ces éléments montre la dominance du sable par rapport à l'argile et le limon.

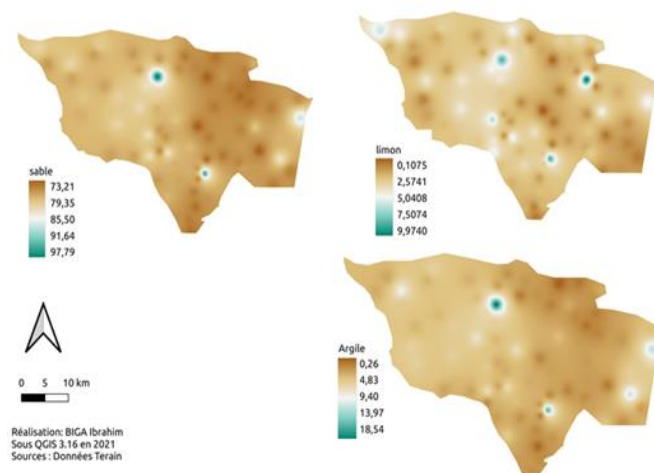


Figure 8: Interpolation des paramètres physique du sol

4.4.3 Estimation des propriétés chimiques du sol : La figure 9 présente la spatialisation par interpolation des différents éléments de la fertilité chimique du sol. Elle met en exergue la pauvreté chimique du sol et cela quel que soit l'élément pris à part le taux calcium qui est bien représenté spatialement. La spatialisation du pH montre le caractère acide de la zone malgré le taux de calcium élevé. La figure 10 présente la recodification ou la normalisation des différents

éléments chimiques en vue de l'établissement de la carte de fertilité des sols de la zone d'étude. Elle montre de façon plus visuelle et plus clair la pauvreté des sols en ce sens que tous les éléments sont dans le même standard d'appréciation. On peut aisément voir et estimer les surfaces occupées par les différentes classes de fertilité qui varient de très faibles à très élevées.

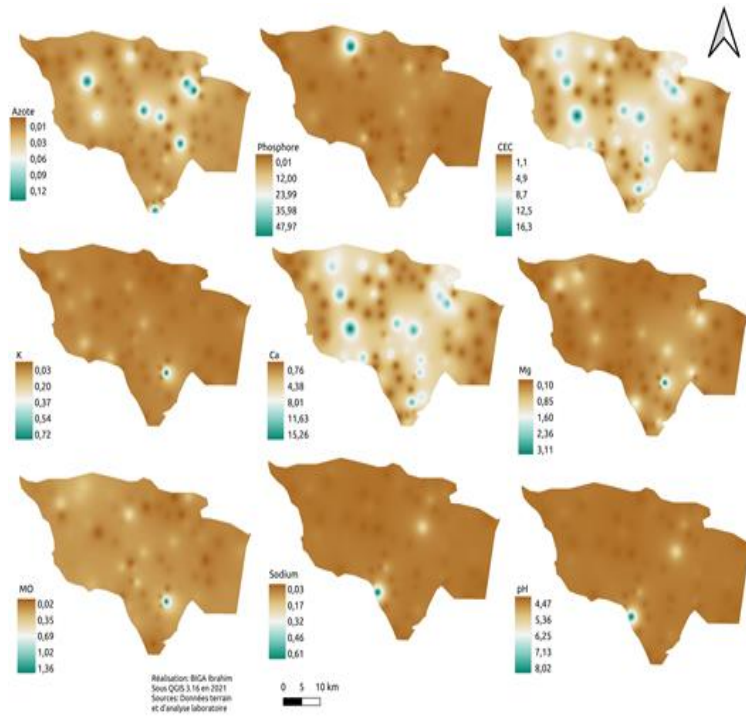


Figure 9: Interpolation des paramètres chimiques des échantillons de sol

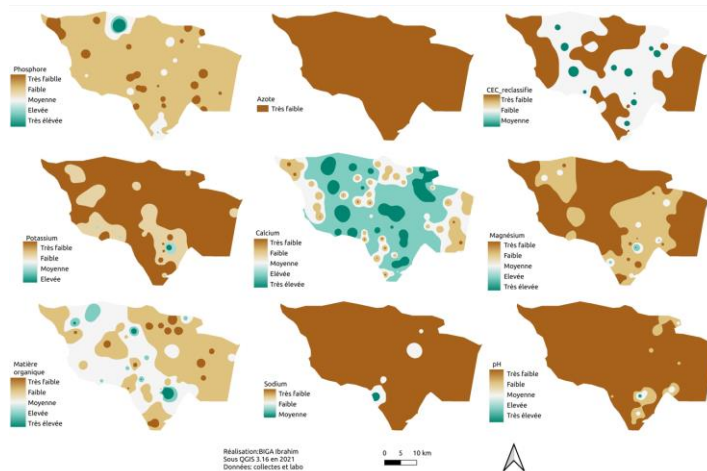


Figure 10 : Recodification des classes de fertilité des sols

4.4.4 Carte des contraintes : Les différentes contraintes considérées dans cette étude sont présentées par la figure 11. Elles regroupent les

formations forestières, les terrains rocheux, les zones dénudées et les zones d'habitation ou bâtis.

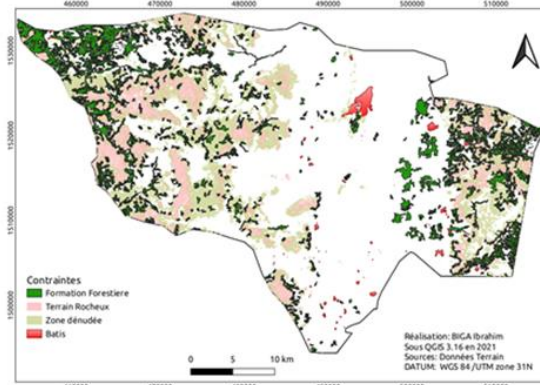


Figure 11: Carte des contraintes

4.5 Cartes de fertilité des sols des parcs agroforestiers : Les figures 12 à 15 présentent les différentes options ou scénarii de l'élaboration de la carte de fertilité chimique des sols de la commune de Tagazar. Elle peut être sans pondération ni contrainte c'est-à-dire que tous les facteurs combinés sont égaux (figure 12). Dans ce cas de figure (sans contrainte), la spatialisation de la fertilité des sols a été faite sans tenir compte d'un écosystème particulier mais sur l'ensemble de la zone d'étude. Elle peut aussi être présentée avec contraintes sans pondération (figure 13) ou bien avec contraintes et

pondération (figure 14). On peut également l'obtenir avec pondération sans contrainte (figure 15). En cas de contrainte comme dans les figures 13 et 14, on exclut toutes les zones qui ne doivent pas figurer sur la carte. Les figures 13 et 14 présentent la fertilité des sols des parcs agroforestiers de la commune de Tagazar. Dans les deux scénarii sans contrainte (avec pondération et sans pondération), on remarque que la zone basse ou vallée est plus fertile que les plateaux. Les scénarii avec contraintes mettent en exergue que la fertilité des zones agricoles.

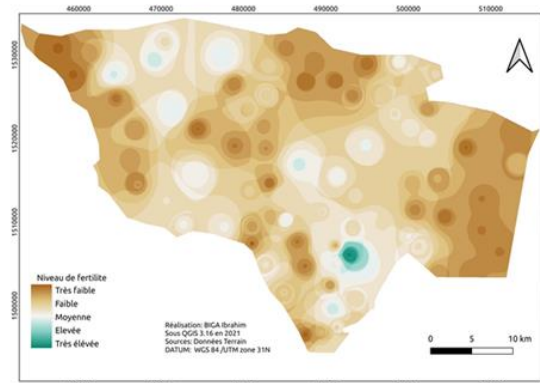


Figure 12: Fertilité des sols sans contrainte ni pondération

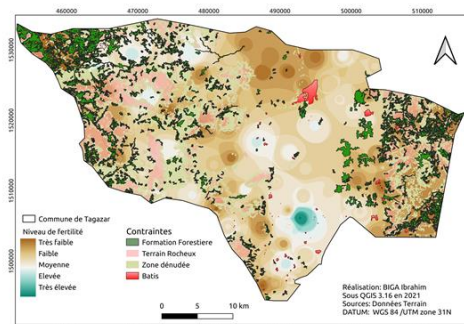


Figure 13 : fertilité des sols des parcs agroforestiers avec contraintes et sans pondération

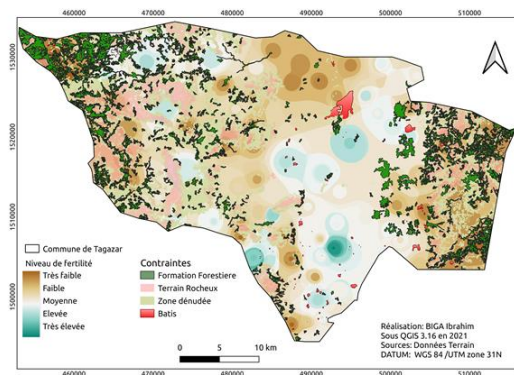


Figure 14 : Fertilité physico-chimique des sols des parcs agroforestiers avec contraintes et pondération

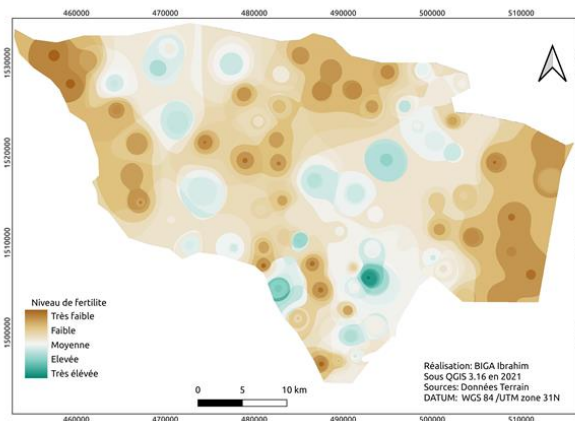


Figure 15 : Fertilité physico-chimique sans contraintes avec pondération

5 DISCUSSION

5.1 Fertilité des sols et conservation : Les résultats statistiques et de la cartographie numérique des différents paramètres physico-chimiques du sol (0 - 20 m) montrent des sols peu fertiles pour la commune de Tagazar en ce sens que tous les éléments essentiels (azote, phosphore, potassium, matière organique) sont déficitaires et le pH moyennement acide. Cette

situation de pauvreté avérée des sols compromet les efforts des producteurs pour les exploitations agricoles qui sont dans leur quasi majorité dans une situation d'extrême pauvreté (Djibo *et al.*, 2016 ; Biga *et al.*, 2021d). Cette pauvreté des sols de la zone d'étude confirme les résultats de Biga *et al.* (2021d). En effet, ces auteurs à travers une enquête socio-économique ont montré que

la quasi-totalité des exploitations agricoles questionnées affirmeront la pauvreté des sols en ces termes « nos sols sont pauvres et produisent moins que dans le passé ». Cette pauvreté des sols agricoles est générale dans la zone semi-aride de l'Afrique de l'Ouest. Cela s'explique par le fait que les éléments nutritifs des sols, exportés par les cultures, ne sont pas remplacés par des apports suffisants en nutriments, conduisant à un appauvrissement de ces derniers (UASAFGRAD, 2013). En plus, il y'a une faible utilisation de la fumure. Pour la fumure minérale, elle est utilisée par 18,5 % des exploitations agricoles de la région de Tillabéry (Tahirou et al., 2020) et 13,59 % par celles de la commune de Tagazar (Biga et al., 2021d).

A côté de cette agriculture minière figure le délaissement et le raccourcissement de la durée de la jachère (2 à 3 ans) qui autrefois se pratiquait sur des longues périodes (au moins 10 ans) pour la reconstitution de la fertilité des sols (Biga et al., 2020a ; RECA Niger, 2013). Ce délaissement de la jachère est une des conséquences de l'indisponibilité des terres due à la forte croissance démographique et leurs corollaires. Pour satisfaire leurs besoins les exploitations agricoles ne font qu'étendre leurs champs au détriment des formations forestières (Kpedenou et al., 2016 ; Mamane et al., 2018 ; Biga et al., 2020a). En effet, d'après Biga et al., (2020a), en 33ans (1984-2017) la jachère a perdu de sa superficie 40,87% (4815,56 ha) et les zones de cultures durant cette même période ont augmenté leur superficie de 65,69% (29396,92 ha) dans la commune rurale de Tagazar. Cette pauvreté des sols s'amplifie par les actions anthropiques néfastes sur la végétation des parcs agroforestiers qui est sensée contribuer à la fertilité des sols pour une production satisfaisante aux exploitations agricoles familiales de la commune de Tagazar. En effet, une forte anthropisation de ces parcs a été constatée avec un taux d'anthropisation de $74,7 \pm 22,1\%$ (Biga et al., 2021c). De tout ce qui précède, il incombe alors aux décideurs communaux en collaboration avec les chercheurs de sensibiliser sur les méfaits de la dégradation des parcs, d'assister et de guider ces

exploitations agricoles à rehausser le niveau de fertilité de leurs sols pour un rendement accru des productions. En effet, les cartes de fertilités permettront aux décideurs communaux de comprendre et de mesurer l'ampleur de la dégradation de la fertilité des sols et ainsi prendre des mesures adéquates pour y remédier à ce problème. Cela permettra de mieux valoriser les sols et limiter l'extension des surfaces cultivées et la destruction corrélative d'écosystèmes précieux pour leur biodiversité, leurs fonctions de protection ou le stock de carbone qu'ils ont accumulé (GIS sols, 2011). Sur la base de ces résultats ils peuvent faire des recommandations sur les modes de gestions de la fertilité des sols pour accroître les productions agricoles. Il ne s'agira plus d'appliquer une fertilisation à l'aveuglette qui ne tient pas compte des besoins réels du sol. Mais elle se fera de façon raisonnée, bien précise, sans gaspillage et sans risque de pollution de l'environnement. La cartographie de la combinaison des éléments physico-chimiques ou carte de fertilité réalisée met également en exergue que la zone basse ou vallée est plus fertile que les plateaux. Cela pourrait s'expliquer en plus de la géomorphologie par le fait que l'essentiel de cette zone est couvert par des parcs agroforestiers mixtes à dominance de *Faidherbia albida* (Delile) A. Chev., *Balanites aegyptiaca* (L.) Delile. *Ziziphus mauritiana* Lam., *Hyphaene thebaica* (L.) Mart. (Biga et al., 2021c). De ces espèces fertilisantes (Idrissa et al., 2015; Dan Lamso et al., 2015a ; Boubacar et al., 2019) les plus fréquentes sont *Faidherbia albida* et *Balanites aegyptiaca* avec respectivement 83% et 53% (Biga et al., 2020b).

5.2 Granulométrie :

L'analyse granulométrique a mis en exergue la nature sableuse de la texture des sols des parcs agroforestiers. En effet, le taux moyen en sable est de $93,67 \pm 2,9\%$ contrairement à l'argile et le limon qui sont faiblement représentés avec respectivement une moyenne de $3,87 \pm 2,1\%$ et $2,61 \pm 17\%$. La zone basse ou vallée renferme plus de sable qui pourrait s'expliquer par le fait que c'est un réseau hydrographique fossile qui a été comblé de sable par les dépôts du continental terminal soumis aux facteurs de lessivage,

d'altération et d'érosion depuis la fin du tertiaire et durant le quaternaire (Gavaud, 1969). La texture sableuse pourrait aussi s'expliquer par les pratiques culturales des exploitations agricoles qui remanient constamment les sols à travers leurs labours entraînant les particules fines vers les horizons de profondeur (Koulibaly, 2014). Cette composition texturale des sols est semblable à celle trouvée par Boubacar *et al.*, (2015) dans les sols des agrosystèmes des communes de Simiri et de Tamou de la région de Tillabéry.

5.3 Capacité d'échange cationique, matière organique et argile : La CEC de l'horizon superficiel des sols (0-20 cm) est très pauvre à pauvre pour 84,37 % des échantillons analysés contre 15,62 % qui sont moyens. Cela s'explique par les faibles taux d'argile et de matière organique des sols observés dans la zone d'étude. En effet, Koul et Halilat (2016) ont démontré que dans les sols sableux la CEC augmente significativement avec l'apport de la matière organique. Pourtant les pratiques culturales de type « minière » des exploitations agricoles de la zone d'étude ne permettent pas un retour au sol de résidus ou coproduits de cultures des débris végétaux tels que les pailles, les feuilles et tiges qui sont systématiquement ramassées et destinées à l'alimentation du bétail. En 2010, la quantité de pailles de céréales pour l'alimentation du bétail a été estimée à près de 80 000 000 tonnes au total pour l'ensemble des pays de l'espace UEMOA. Les pays sahéliens (Niger, Burkina Faso, Mali) disposent de la plus grande part des résidus agricoles et en détiennent 90 pour cent des résidus de céréales de l'espace UEMOA (FAO, 2014). Vu l'importance de la matière organique qui permet en même temps l'alimentation des plantes, le stockage des éléments minéraux et d'empêcher leur lessivage en raison de leur très faible capacité d'adsorption des colloïdes minéraux (Ballot, 2016), il urge de promouvoir des pratiques qui permettent le retour au sol des résidus de cultures et l'adoption de la régénération naturelle assistée (RNA). La valorisation des déchets de culture (glume de mil et balle de riz) par compostage est également à promouvoir (Garba, 2020). L'apport de matière

organique d'origine animale et les composts à base de fiente de poulet sont également à promouvoir (Konate *et al.*, 2020).

5.4 pH : Le potentiel Hydrogène (pH) est une indication de la concentration en ions H^+ présents dans le sol. Les fortes concentrations en ions H^+ indiquent un milieu basique contrairement au milieu acide qui a une faible concentration en ions H^+ comme notre zone d'étude. Le pH est d'une importance capitale pour la fertilité du sol en ce sens qu'il conditionne la disponibilité des éléments nutritifs pour la plante et par conséquent son développement. L'optimum de développement pour la plupart des plantes est compris entre 6 et 7,5 (Guenot, 2007). Dans cette étude le pH moyen est de $5,57 \pm 0,56$ qui est en deçà de l'optimum souhaité pour le développement de la plupart des plantes. En effet, 86,4 % des échantillons analysés ont un pH inférieur à 6 confirmé par la figure 9. Cette figure qui présente la recodification après l'interpolation des éléments chimiques montre que la presque totalité de la zone est moyennement acide. Par conséquent, il urge de sensibiliser les populations rurales sur l'acidité de leur sol et de développer des techniques qui permettent de corriger le pH pour un optimum de développement.

5.5 Méthode d'interpolation : La méthode d'interpolation par inverse distance (IDW) appliquée dans cette étude a donné des résultats satisfaisants contrairement à la méthode spline et au krigeage. En effet, la comparaison faite entre les trois méthodes à partir de la racine carrée de l'erreur moyenne quadratique calculée à partir des points de contrôles et ceux interpolés dans cette étude montre des résidus plus faibles pour la IDW à la puissance 2 que pour les autres. Ce résultat est contraire à plusieurs études dans divers domaines qui présentent le krigeage comme étant la meilleure méthode d'interpolation (Mohammed, 2011 ; Ariane *et al.*, 2010 ; Moussa, 2018). Il pourrait s'expliquer par le fait que les points d'échantillonnage dans cette étude sont plus ou moins denses et spatialement bien distribués.

5.6 Critique de la méthodologie d'interpolation : L'erreur quadratique moyenne

utilisée pour le choix de la méthode d'interpolation est à mon sens suffisant, mais on aurait dû appliquer d'autres méthodes de validation pour raffiner davantage notre choix. Ça aurait été aussi intéressant de tester la significativité des différentes méthodes d'interpolation après le choix de cette dernière. Il se pourrait qu'il n'y ait pas de différence significative entre les différentes méthodes bien que la validation via l'erreur quadratique moyenne priorise l'interpolation IDW. Le nombre de points utilisés (16 points) pour la

validation croisée est très peu. En effet, le nombre de point minimal requis pour bonne validation est de 30 sur le plan statistique. Sur nos 96 points, nous avons privilégié plus de points (80) pour l'interpolation en vue d'un meilleur résultat que la validation. Pour nos prochaines études nous prendrions en compte la dimension validation pour augmenter le nombre d'échantillon à prélever afin d'avoir une bonne représentation spatiale et au moins 30 points pour la validation.

6 CONCLUSION

L'étude de la cartographie physico-chimique révèle que dans la zone d'étude les sols sont essentiellement acides dans l'horizon 0-20 cm. Ils ont une texture sableuse et sont d'une fertilité physico-chimique très faible donc pauvre en éléments nutritifs et organiques sur l'ensemble de la zone d'étude mise à part le calcium. Ce bilan des éléments fertilisants du sol ne saurait

permettre aux parcs agroforestiers à continuer à jouer pleinement leur rôle de fertilisant qui leurs ont été dévolus. Cette étude pourrait servir de base pour les recommandations des formules de fertilisation adéquate à travers leurs utilisations parcimonieuse et respectueuse de l'environnement pour une augmentation durable des productions agricoles.

7 REMERCIEMENTS

Les auteurs adressent leurs remerciements : A FLASSE Charlotte, VERCAUTEREN DRUBBEL Maëlle et au Professeur DROUET DELA THIBAUDERIE Thomas de l'Université libre de Bruxelles (ULB) pour leurs formations et accompagnements lors de mon stage SIG à l'ULB ;Au projet REDSAACC pour

avoir financé la collecte des données et l'analyse des échantillons de sol ; Au Pr Didier Tidjani pour son soutien lors mes analyses de contrôle des échantillons de sol au laboratoire d'analyse de la faculté d'Agronomie de l'Université de Abdou Moumouni de Niamey.

8 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abdoul-Habou Z., Mahamadou K.B., Toudou A. : 2016. Les systèmes de productions agricoles du Niger face au changement climatique : défis et perspectives. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 10(3): 1262-1272. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v10i3.28>.
Aboubakar A. : 2018. SIG et diagnostic du sol pour l'évaluation de la fertilité du sol et la formulation d'engrais des besoins d'engrais dans les plantations du cacao du Mbam-Etinoubou (Cameroun). Rapport de stage SIG ULB.

Amonmide I., Dagbenonbakin G., Agbangba C.E. et Akponikpe P. : 2019. Contribution à l'évaluation du niveau de fertilité des sols dans les systèmes de culture à base du coton au Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 13(3):1846-1860. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v1i3.52>.
Ariane D. & Diane S.L. : 2010. Comparaison des méthodes d'interpolation pour l'élaboration de modèles numériques d'élévation de haute précision dans la représentation micro-topographique des plaines inondables, *Hydrological Sciences Journal –Journal des Sciences*

- Hydrologiques, 55 : 4, 526-539, DOI : 10.1080/02626667.2010.481088.
- Ballot C. S. A., Mawussi G., Atakpama W., Moita-Nassy M., Yangakola T. M., Zinga I., Silla S., Kpérkouma W., Dercon G., Komlan B. et Koffi A. : 2016. Caractérisation physico-chimique des sols en vue de l'amélioration de la productivité du manioc (*Manihot esculenta* Crantz) dans la région de Damara au centre-sud de Centrafrique. *Agronomie Africaine* 28 (1) : 9 – 23.
- Biga I, Rabiou H, Soumana I, Zakari M.M. et Mahamane A. : 2020b. Diversité floristique, état de la régénération et structure de la végétation ligneuse des parcs agroforestiers de l'Ouest du Niger. *Afrique SCIENCE* 17(3), 195 – 210.
- Biga I., Amani A., Soumana I., Bachir M. et Mahamane A. : 2020a. Dynamique spatio-temporelle de l'occupation des sols des communes de Torodi, Gothèye et Tagazar de la région de Tillabéry au Niger. *Int. J. Biol. Chem. Scien.*, 14 (3) 949 – 965.
- Biga I., Boubacar M.M., Oumani A.A. et Mahamane A. : 2021d. Perception et stratégie paysannes de gestion de la fertilité des sols dans la région de Tillabéry de l'Ouest du Niger *Int. J. Adv. Res.* 9 (04), 740-751. DOI:10.21474/IJAR01/12760.
- Biga I., Issiaka I. M., I., Abdou L., Soumana I., et Mahamane A. : 2021c. Impacts des pressions anthropiques et des changements climatiques sur les parcs agroforestiers de l'Ouest du Niger. *International Journal of Innovation and Scientific Research*. Vol. 55 (1) 27-43.
- Biga I. : 2022. Dynamique des peuplements ligneux et spatialisation de la fertilité des sols des parcs agroforestiers de la région de Tillabéry, Niger : Cas des communes de Gothèye, Torodi et Tagazar. Thèse de doctorat unique en écologie et environnement de l'Université de Diffa (Niger).
- Boubacar I., Idrissa S. ; Yacouba B., Karimou A. J.M. : 2019. Effet de *Balanites aegyptiaca* sur le niveau de fertilité chimique d'un sol de terrasse du fleuve Niger. *Journal of Applied Biosciences*, 137 13940 – 13952.
- Boubacar M. M., Abdoulaye D., Salamatou I. A., Nouhou S. J., Ali M., Jørgen A. A. and Jean-Marie K. A. : 2015. Soil Physicochemical Characteristics Under Different Ecosystems in Western Niger. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci* 4 (4) : 375-383.
- Chevallier T., Cardinael R., Béral C., Chenu C. et Bernoux M. : 2015. L'agroforesterie permet-elle de concilier production agricole et atténuation du changement climatique ? *Forêt-entreprise*, 225, 49-54.
- Christinia A. L., Claire C. et Paule-Annick D. : 2019. Les systèmes d'information géographique. Principe, concepts et méthodes. Editeur Armand Colin, 269p.
- Dan Guimbo I., Morou B., Rabiou H. et Larwanou M. : 2016. Facteurs de pression sur les parcs agroforestiers à *Vitellaria paradoxa* et à *Neocarya macrophylla* dans le Sud-ouest du Niger (Afrique de l'Ouest), *Journal of Applied Biosciences*, 107, 10407-10417.
- Dan Lamso N., Guero Y., Dan-Badjo A. T., Lamar R., Bationo B. A., Djamen P., Tidjani A. D., Maman N. A. et Karimou A. J. M. : 2015. Effet des touffes de *Hyphaene thebaica* (Mart) sur la production du mil dans la région de Maradi (Niger). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 9 (5) 2477 – 2487.
- Desavathu R. N., Nadipena A. R. and Peddada J. R. : 2018. Assessment of soil fertility status in Paderu Mandal, Visakhapatnam district of Andhra Pradesh through Geospatial techniques?, *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. doi:10.1016/j.ejrs.2017.01.006.
- Djibo, E.S., Sitou L., Assoumane Y.A., Zoubeirou A.M. et Moussa D. : 2016.

- Association de cultures *Acacia senegal* céréales: outil de résilience aux changements climatiques au Niger, Int. J. Pure App. Biosci. 4 (1): 296-309. DOI: <http://dx.doi.org/10.18782/2320-7051.2132>.
- Douba O., Bouzghaia M., Mokhtari M. : 2019. Comparaison entre les méthodes d'interpolation spatiale : Application aux grilles des modèles ALADIN et AROME.
- FAO : 1992. Guide pour l'interprétation des analyses de sols. 86p.
- FAO : 2014. Résidus agricoles et sous-produits agro-industriels en Afrique de l'ouest Résidus agricoles et sous-produits agro-industriels en Afrique de l'ouest FAO. Etat des lieux et perspectives pour l'élevage. E-ISBN 978-92-5-208114-2 (PDF) 49p.
- Garba A., Amani A., Douma S., Sina A. K. S. et Mahamane A. : 2020. Structure des populations de *Tama-rindus indica* L. dans la zone Sud-Ouest du Niger Int. J. Biol. Chem. Sci., 1(1) 126 – 142.
- Gavaud M. et Boulet R. : 1967. Carte pédologique de reconnaissance de la République du Niger, Niamey au 1/500000, IGN.
- Genot V., Gille C., Vincent B. et Laurent B. : 2007. L'état de fertilité des terres agricoles et forestières en région Wallonne (adapté du chapitre 4-sol 1 de ' « L'Etat de l'environnement wallon 2006-20007 »). Bio-technol .Agron.Soc. Environ. 2009 13(1), 121-138.
- Gis Sol. : 2011. L'état des sols de France. Groupement d'intérêt scientifique sur les sols, 188 p.
- Idrissa A., Boureima S., Saley K. et Boureima C. : 2015. Les espèces végétales indicatrices de la fertilité de sols dans la commune urbaine d'Aguié au Niger. Int. J. Adv. Res. 6(10), 830-837.
- Konaté Z., René K., Sanogo S. and Camara M. : 2020. Effet des durées de compostage de la fiente de pou-let sur la fertilisation physico-chimique des composts produit. International Journal of Innovation and Applied Studies, (29) 4 pp. 1233-1241.
- Koulibaly B, Traoré O, Dakuo D, Lalsaga R, Lompo F, Zombré PN. : 2014. Acidification des sols ferrugineux et ferrallitiques dans les systèmes de production cotonnière au Burkina Faso. Int. J. Biol. Chem. Sci., 8(6) : 2879- 2890. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v8i6.44>.
- Koull N., Halilat M.T. : 2016. Effets de la matière organique sur les propriétés physiques et chimiques des sols sableux de la région d'Ouargla (Algérie). Et. Gest. Sols, 23.
- Koussa M. : 2018. Étude comparative entre les méthodes d'interpolation pour la cartographie des Ni-trates : Cas d'application les eaux souterraines de Djelfa, Algérie. Agric. For. J., 2(1): 18-25. DOI : <https://doi.org/10.5281/zenodo.1313200>.
- Kpedenou K.D., Boukpassi T., Tanzidani T. et Tchamie K. : 2016. Quantification des changements de l'occupation du sol dans la préfecture de Yoto (Sud Est Togo) à l'aide de l'imagerie satellitaire Landsat. Rev. Sc. Env., 13 : 137-156.
- Mamane B., Amadou G., Baragé M., Comby J., Ambouta J.M.K. : 2018. Dynamique spatio-temporelle d'occupation du sol dans la Réserve Totale de Faune de Tamou dans un contexte de la variabilité climatique (Ouest du Niger). Int. J. Biol. Chem. Sci., 12 (4): 1667-1687. DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v12i4.13>.
- Mohammed S. B. : 2011. Étude comparative entre la géostatistique et les méthodes déterministes pour la cartographie des types de sols. Thèse de maîtrise présentée pour la F.E.S.P. comme exigence partielle pour l'obtention du grade de M. Sc. en Géographie. Université d'Ottawa, Canada.

- Moussa M. : 2018. Etude comparative entre les méthodes d'interpolation sur la cartographie des nitrates : Cas d'application les eaux souterraines de Djelfa, Algérie. *Agriculture and Forestry Journal* 2 (1) 18-25.
- N'Guessan K.A., Kouakou K.E., Alui K.A. et Kouame A.Y. : 2019. Stratégies et pratiques paysannes de gestion durable de la fertilité des sols dans le département de Korhogo au Nord de la Côte d'Ivoire. *Afrique SCIENCE* 15 (4): 245–258.
- Saaty T. L. : 1980 : *The Analytical Hierarchy Process* ; Mc GRAW-HILL International Book Company.
- Sidi M.E. A., Mohamed R., Mourad B., Abdelwahed E. I. : 2017. Intégration du SIG et de l'analyse hiérarchique multicritère pour l'aide dans la planification urbaine : Étude de cas de la province de khemisset, Maroc. *Papeles de Geografía*, 63 pp. 71-90. DOI : <http://dx.doi.org/10.6018/geografia/2017/280211>.
- Réseau National des Chambres d'Agriculture du Niger (RECA), 2013. La technique de la petite jachère une technologie essayée au Niger. Note d'information / GDT n°3, 5p.
- Tahirou H., Sitou L. S., Abdou M.M. et Alzouma Mayaki Z. : 2020. Influence des facteurs socioculturels et techniques sur la performance des exploitations agricoles familiales au Niger. *Afrique Science* 17 (4) 93 – 103.
- UA-SAFGRAD : 2013. Changement climatique et intrants agricoles en Afrique avec un accent particulier sur les variétés tolérantes à la sécheresse. Cas de la zone semi-aride de l'Afrique de l'Ouest. 48p.
- Weng Q. : 2002. Quantifying uncertainty of digital elevation models derived from topographic maps. In: *Advances in Spatial Data Handling* (ed. by D. Richardson & P. Van Oosterom), 403–418. New York: Springer-Verlag.