



**HAL**  
open science

# ÉTUDE DES CARACTÉRISTIQUES ÉCOLOGIQUES D'UN PEUPEMENT LIGNEUX DE LA GRANDE MURAILLE VERTE DANS LE FERLO NORD, SÉNÉGAL

Ibrahima M Kebe, Moustapha Bassimbé Sagna, Mariama Dalanda Diallo, Aly Diallo, Sekhouna Diatta, Daouda Ngom, Jean Luc Peiry, Deborah Goffner, Aliou Guisse

## ► To cite this version:

Ibrahima M Kebe, Moustapha Bassimbé Sagna, Mariama Dalanda Diallo, Aly Diallo, Sekhouna Diatta, et al.. ÉTUDE DES CARACTÉRISTIQUES ÉCOLOGIQUES D'UN PEUPEMENT LIGNEUX DE LA GRANDE MURAILLE VERTE DANS LE FERLO NORD, SÉNÉGAL. *Revue de l'Environnement et de la Biodiversité*, 2020, 5, pp.63-76. <hal-03079497>

**HAL Id: hal-03079497**

**<https://hal.science/hal-03079497v1>**

Submitted on 4 Jan 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

# REB PASRES

Revue de l'Environnement et de la Biodiversité - PASRES

N°  
05



JANVIER-JUIN 2020

ISSN : 2520 - 3037

Email : [rebpasres.prov@gmail.com](mailto:rebpasres.prov@gmail.com)  
[www://rebpasres.org](http://www://rebpasres.org)



PROGRAMME D'APPUI STRATÉGIQUE À LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

# ÉTUDE DES CARACTÉRISTIQUES ÉCOLOGIQUES D'UN PEUPLEMENT LIGNEUX DE LA GRANDE MURAILLE VERTE DANS LE FERLO NORD, SÉNÉGAL

KÉBÉ MI<sup>1\*</sup>, SAGNA MB<sup>1</sup>, DIALLO MD<sup>2,4,5\*</sup>, DIALLO A<sup>3</sup>, DIATTA S<sup>1</sup>, NGOM D<sup>1</sup>, PEIRY JL<sup>4,5</sup>, GOFFNER D<sup>4,5</sup>, GUISSÉ A<sup>1,4,5</sup>

## RÉSUMÉ

L'objectif de cette étude est de faire une caractérisation écologique d'un tronçon de la Grande Muraille Verte (GMV) au Sénégal. Trois sites ont été choisis suivant un transect pluviométrique croissant Nord-Ouest/Sud-Est (Koyli Alpha, Labgar et Ranérou). Le plan d'échantillonnage intègre les parcelles de reboisement dont l'environnement a été caractérisé. Au centre de chaque parcelle, un profil pédologique de 1,5 m<sup>3</sup> a été réalisé et des échantillons de sol ont été prélevés. La végétation ligneuse a été inventoriée le long de trois transects de 5 kilomètres chacun concourants vers la fosse pédologique. Les relevés dendrométriques de la végétation ont été effectués de façon systématique tous les cinq cents mètres (500 m) le long des transects. Les résultats ont montré que les sols sont pauvres en éléments nutritifs et présentent des différences texturales ainsi que sur certains paramètres chimiques comme la conductivité et les bases échangeables. La flore ligneuse du Ferlo abrite 23 espèces et *Balanites aegyptiaca* (L.) Del. domine. La répartition spatiale de la végétation ligneuse est le résultat du gradient de pluviosité associé aux variabilités liés aux sols. La densité, l'anthropisation et la mortalité des ligneux sont plus élevées au Ferlo Sud tandis que la taille des ligneux, le couvert aérien et la régénération sont plus élevés au Ferlo Nord. Les résultats de cette étude pourraient être utiles pour la planification des activités de phyto-restauration des écosystèmes sahéliens.

**Mots clés :** Sol, peuplement ligneux, Ferlo, Grande Muraille Verte

# STUDY OF THE ECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF A WOODY STAND OF THE GREAT GREEN WALL IN THE FERLO NORD, SENEGAL

## ABSTRACT

The objective of this study is to carry out an ecological characterization of a section of the Great Green Wall (GGW) in Senegal. Three sites were selected along a northwest-southeast increasing rainfall transect (Koyli Alpha, Labgar and Ranérou). The sampling plan integrates reforestation plots whose environment has been characterized. In the centre of each plot, a soil profile of 1.5 m<sup>3</sup> was carried out and soil samples were taken. Woody vegetation was inventoried along three transects of 5 kilometers each running towards the soil pit. Vegetation surveys were systematically carried out every five hundred meters (500 m) along the transects. The results showed that the soils are poor in nutrients and have textural differences as well as certain chemical parameters such as conductivity and exchangeable bases. The woody flora of the Ferlo is home to 23 species and *Balanites aegyptiaca* (L.) Del. is dominant. The spatial distribution of the woody vegetation is the result of the rainfall gradient associate with soil-related variability. The density, anthropisation and mortality of woody plants are higher in Ferlo South, while the size of woody plants, air cover and regeneration are higher in Ferlo North. The results of this study could be useful for planning phyto-restoration activities in Sahelian ecosystems.

**Key words :** Soil, Woody stand, Ferlo, Great Green Wall.

<sup>1</sup> Université Cheikh Anta Diop, Département de Biologie Végétale, Faculté des Sciences et Techniques, Dakar, Sénégal,

<sup>2</sup> Université Gaston Berger de Saint Louis, UFR des Sciences Agronomiques, de l'Aquaculture et des Technologies Alimentaires, Sénégal

<sup>3</sup> Université Assane Seck, Ziguinchor-Sénégal, Département d'Agroforesterie, Ziguinchor, Sénégal

<sup>4</sup> Observatoire Homme Milieu de Tessékéré, Sénégal

<sup>5</sup> Unité Mixte Internationale 3189 « Environnement, Santé, Société », UGB, UCAD, CNRS, CNRST, USTTB, Dakar, Sénégal

\*Auteur de correspondance : mariama-dalanda.diallo@ugb.edu.sn

## Introduction

Le Sahel (12°N – 20°N) est une zone de transition à la fois floristique et climatique entre le Sahara au nord et le domaine Soudanien au sud (Cissé *et al.*, 2015). C'est une région sensible à la variabilité climatique (Lebel *et al.*, 2003). Au Sénégal, cette zone écologique se situe au Nord du pays occupant une zone éco-géographique appelée le Ferlo, situé entre les isohyètes 100 et 500 mm (Sagna *et al.*, 2015). La variation des conditions climatiques dans le Ferlo qui a débuté depuis plusieurs décennies a occasionné des modifications de la composition floristique et de la structure de la végétation (Bakhoum, 2013) et a fortement modifié les conditions de vie des populations dont l'économie est basée sur l'élevage extensif et l'exploitation des ressources pastorales (TACC, 2014). C'est pourquoi, plusieurs initiatives ont été menées dans cette partie du pays pour conserver et réhabiliter les ressources naturelles. Cette région a fait l'objet de très nombreuses études écologiques portant particulièrement sur la structure et le fonctionnement des écosystèmes dans le but de mettre en place des stratégies de restauration et de gestion des ressources. Ces travaux décrivent de façon globale la biodiversité du Ferlo (Ndiaye, 2013 ; Niang *et al.*, 2014 ; Fall, 2017), la résilience des écosystèmes et l'évolution de la production végétale face aux aléas climatiques (Lake *et al.*, 2003 ; Bakhoum, 2013). Ces travaux sont encore

d'actualités mais les résultats restent peu exhaustifs pour être appliqués dans le contexte actuel de la Grande Muraille Verte (projet transfrontalier qui vise une reforestation de 15 millions d'hectares, sur une bande de territoire d'une longueur d'environ 7700 km et d'une largeur moyenne de 15 km, entre Dakar et Djibouti). Ces travaux n'apportent pas forcément des réponses aux questions spécifiques à chaque sous zone bio pédoclimatique. Il est en effet important de préciser que le déficit pluviométrique est apparu au Sahel comme une contrainte forte à la réalisation des activités prévues dans la Grande Muraille Verte (GMV) ; c'est ainsi qu'il a été demandé aux experts d'affiner le choix des espèces devant constituer la muraille pour une meilleure réussite des opérations de plantation (Dia et Duponnois, 2010).

Dans cette logique, la prise en compte des informations fournies au niveau local pourrait optimiser la réussite des opérations de phytorestauration des écosystèmes tout au long de la GMV. C'est dans ce contexte que cette étude a été initiée dans le but de décrire les caractéristiques structurales des ligneux en relation avec les caractéristiques édaphiques et climatiques dans trois stations de reforestation situés sur un gradient pluviométrique croissant (Koyli Alpha, Labgar et Ranérou).

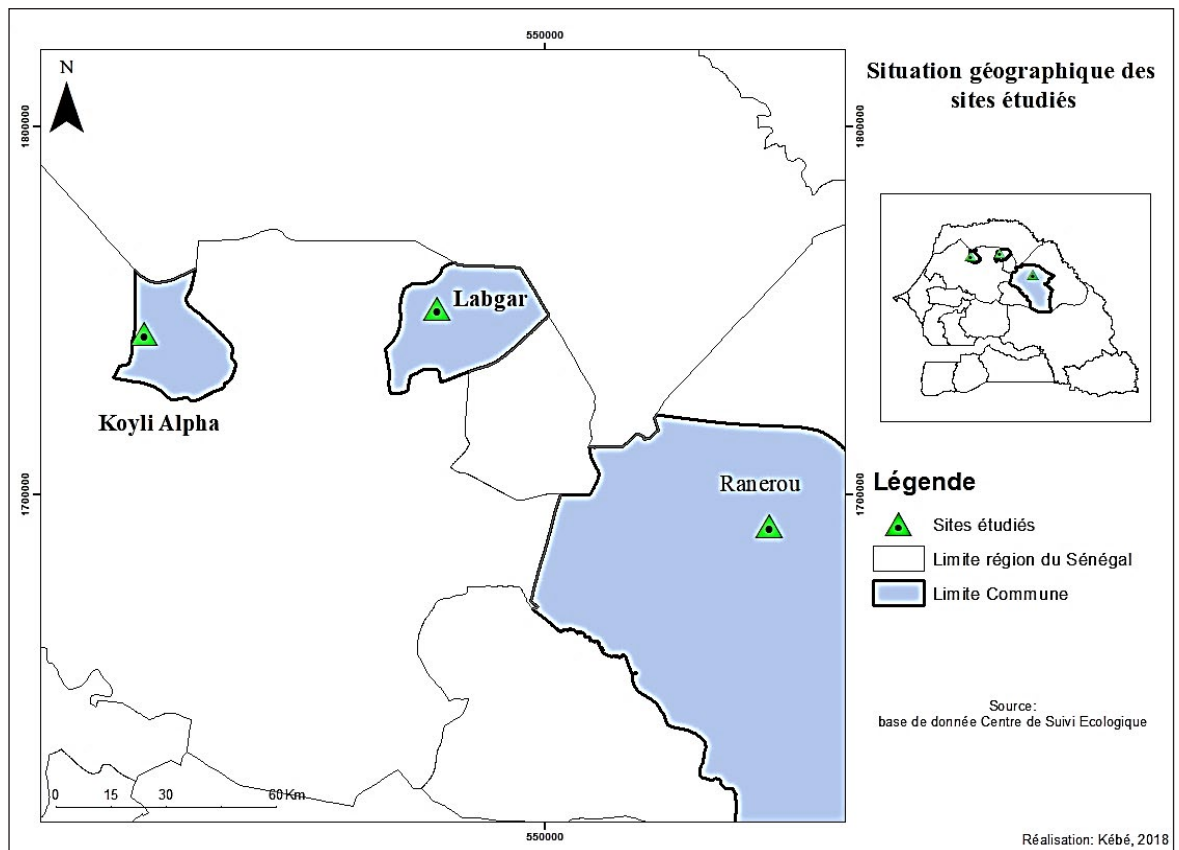
## Matériel et Méthodes

### La zone d'étude

L'étude a été réalisée au Sénégal, dans la partie Nord du pays qui correspond à sa partie sahélienne communément appelée le Ferlo. Trois sites ont été choisis sur le tracé pour réaliser cette étude. Il s'agit de Koyli Alpha (15°44' N et 15°31' W) au Nord, Labgar (15°49' N et 14°52' W) au Centre et Ranérou (15°15' N et 13°55' W) au Sud-Est (Figure 1). Le choix de ces sites est surtout motivé d'une part par la reforestation mais surtout par l'existence d'un gradient pluviométrique croissant Nord-Ouest/ Sud-Est (Koyli Alpha, Labgar et Ranérou). Le Ferlo présente deux saisons bien marquées ; une saison sèche de 9 mois (octobre - juin) et une saison des pluies de 3 mois (Juillet – Septembre), les températures moyennes varient entre environ 20 °C (janvier/février) et 38 °C au cœur de la saison

chaude, avec également de fortes variations selon les années (Sarr, 2009).

Les sols du Ferlo appartiennent au type ferrugineux tropical peu lessivé subdivisé en deux grands ensembles morphopédologiques distincts (Leprun, 1971) : une partie Nord-Ouest (Ferlo sableux) caractérisée par des sols brun-rouges et des sols ferrugineux (tronçon Koyli Alpha – Labgar) ; et une partie Sud-Est latéritique, caractérisant le site de Ranérou. La végétation ligneuse du Ferlo est constituée d'arbres et d'arbustes fréquemment épineux dominés par *Balanites aegyptiaca* (L.) Del, *Boscia senegalensis* (Pers.) Lam. Ex Poir, *Acacia senegal* L., *Acacia tortilis* (Forsk.) Hayne ssp. *raddiana* (Savi) Brenan, et *Calotropis procera* Aiton (Ndiaye *et al.*, 2013 ; Niang *et al.*, 2014).



**Figure 1 :** Localisation géographique des sites d'étude dans le Ferlo (Kébé, 2019)

### Méthode d'étude du sol

L'approche globale utilisée dans cette étude est de caractériser l'environnement d'une parcelle mise en défens par site. Ainsi, pour la collecte des échantillons de sols, une fosse pédologique de 1,5 m<sup>3</sup> a été réalisée au centre de chacune d'elles. Des échantillons de sol ont été prélevés dans les différents horizons. Les sols prélevés ont été séchés à l'air libre pendant 10 à 15 jours et tamisés avec un tamis de 2 mm pour éliminer les particules grossières. Les analyses ont été effectuées au Laboratoire des Moyens Analytiques de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) de Dakar dont les techniques ont été rapportées par Ndiaye *et al.* (2019). Les analyses ont porté sur la granulométrie, le potentiel Hydrogène (pH), la conductivité électrique, le taux de carbone organique (Corg), l'azote total (N total), le phosphore assimilable (Pass), la capacité d'échanges cationiques (CEC) et les bases échangeables (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup>).

La mesure du pH-eau a été faite avec un pH-mètre dans une suspension de sol où 20 g de terre sont mélangés avec 50 millilitres d'eau distillée. Le pH (KCl) a été obtenu avec une solution saline obtenue par addition de 3,75 g de chlorure de potassium. La conductivité électrique a été mesurée par conductimétrie dans un mélange de 20 g de terre et

100 mL d'eau distillée. L'analyse granulométrique a été effectuée sur 20 g de sol dont la matière organique a été détruite au préalable avec de l'eau oxygénée (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). L'échantillon obtenu a été mis en suspension dans une solution aqueuse afin de prélever l'argile et les limons fins à l'aide de la pipette de Robinson. Les fractions d'argiles et de limons fins sont déterminées par gravimétrie. Les limons grossiers, sables fins et sables grossiers sont obtenus par tamisage. Le carbone total a été déterminé selon la méthode Walkley-Black (Walkley et Black, 1934), l'azote total selon la méthode Kjeldahl (Hillebrand *et al.*, 1953), après une minéralisation préalable de l'échantillon et de l'azote par distillation. L'échantillon est d'abord oxydé par le dichromate de potassium en milieu sulfurique, puis l'excès du dichromate a été dosé par le sel de Mohr FeSO<sub>4</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 6 H<sub>2</sub>O en présence d'indicateur coloré (phénolphthaléine). Le phosphore assimilable a été dosé par la méthode de Olsen. Il s'agit d'une extraction du phosphore par une solution mixte de bicarbonate de sodium et de fluorure d'ammonium à pH = 7, suivie de son dosage calorimétrique au spectrophotomètre. Le sodium (Na) et le potassium (K) ont été dosés par photométrie grâce au spectrophotomètre d'absorption atomique, tandis que le calcium (Ca) et le magnésium (Mg), par volumétrie avec un chélatant, l'Éthylène-diamine-tétra-acétique (Ndiaye *et al.*, 2019).

### Méthode d'étude de la végétation

Les ligneux ont été inventoriés suivant trois transects concourants vers la fosse pédologique creusée au centre des parcelles mises en défens. Sur chaque transect long de cinq kilomètres (5 km), les relevés de végétation ont été effectués de façon systématique tous les cinq cents mètres (500 m). Ce dispositif d'échantillonnage a été défini pour caractériser l'environnement des parcelles mises en défens sur un rayon de 5 km. La taille de l'échantillon a été de 90 relevés répartis entre les trois sites soit 30 relevés par site couvrant une surface de 7,5 ha. La méthode des relevés dendrométriques a été appliquée au peuplement ligneux. L'unité d'échantillonnage a été une placette de 2 500 m<sup>2</sup> comme le recommande Boudet (1984) pour les écosystèmes sahéliens. Dans chaque placette d'inventaire, tous les ligneux adultes ont été identifiés puis mesurés. Les individus de diamètre inférieur à 3,5 cm constituent la régénération ; ils sont comptés par espèce. Les noms scientifiques des espèces ont été transcrits à l'aide du manuel Flore du Sénégal (Berhaut, 1979), actualisés d'après l'énumération des Plantes à Fleurs d'Afrique Tropicale (Lebrun et Stork, 1991- 1997).

### Analyse des données

La quantité globale de la matière organique du sol a été évaluée à partir du carbone organique (C) en considérant la formule de Duchaufour (1997) :

$$\% \text{ MO} = \% \text{ C} \times 1,72$$

Les éléments d'appréciation du pH et du degré de salinité du sol, de la capacité d'échange cationique (CEC) et de l'azote total sont fournis par le tableau 1 (Calvet et Villemin, 1986 ; Ndiaye *et al.* 2013).

Le degré de minéralisation a été apprécié à partir du rapport carbone total sur azote total (C/N) (Gagnard *et al.*, 1988). Il est faible lorsqu'il est inférieur à 8, normal lorsqu'il est compris entre 8 et 12 et fort lorsqu'il est supérieur à 12.

La richesse spécifique totale est le nombre total d'espèces que comporte le peuplement considéré dans un écosystème donné (Ramade, 2003). La liste floristique est dressée suivant les différents groupes taxonomiques (genres, familles, espèces).

La densité observée ou densité réelle est obtenue par le rapport de l'effectif total des individus dans l'échantillon Ni par la surface échantillonnée S (Ngom *et al.*, 2013).

$$\text{Dob} = \frac{\text{Ni}}{\text{S}}$$

(Ni = Effectif total des individus dans l'échantillon ; S= Surface échantillonnée en hectare)

La densité théorique (Dth) est obtenue à partir de la distance moyenne (dm) entre les arbres. Elle ne tient pas compte des irrégularités sur la distribution des arbres (Ngom *et al.*, 2013).

$$\text{Dth} = \left( \frac{100}{\text{dm}} \right)^2 \quad (100)^2 = \text{L'équivalent d'un hectare}$$

Le recouvrement (G) est estimé par le modèle circulaire de diamètre moyen des couronnes des arbres. Il est calculé à partir de la formule suivante (Ngom *et al.*, 2013).

$$G = \frac{\sum \pi \left( \frac{d_{mh}}{2} \right)^2}{S_E}$$

(S= Surface échantillonnée en hectare,  $d_{mh}$  = diamètre moyen du houppier en mètre (m) ,  $S_E$  = surface de l'échantillon considérée en ha)

Le taux de régénération (TR) du peuplement est calculé par le rapport en pourcentage entre l'effectif total des jeunes plants (diamètre inférieur à 3,5 cm) et l'effectif total du peuplement (Koulibaly *et al.*, 2010).

$$\text{TR} = \frac{\text{Effectif total des jeunes plants}}{\text{Effectif total du peuplement}} \times 100$$

L'importance spécifique de régénération (ISR) est obtenue à partir du rapport en pourcentage entre l'effectif des jeunes plants d'une espèce et l'effectif total des jeunes plants (Ngom *et al.*, 2013).

$$\text{ISR} = \frac{\text{Effectif total des jeunes plants d'une espèce}}{\text{Effectif total du peuplement}} \times 100$$

Le taux d'anthropisation (TA) est calculé par le rapport en pourcentage entre l'effectif des individus ayant subis des dégâts (coupe, ébranchage) et l'effectif du peuplement.

$$\text{TA} = \frac{\text{Effectif des individus avec dégâts}}{\text{Effectif total du peuplement}} \times 100$$

Le taux de mortalité est donné par le rapport en pourcentage entre l'effectif des individus morts sur pieds ou abattus et l'effectif total du peuplement.

$$\text{TM} = \frac{\text{Effectif total des individus morts}}{\text{Effectif total du peuplement}} \times 100$$

La structure du peuplement ligneux a été établie par la distribution des ligneux en classe de hauteur et en classe de circonférence.

Pour comprendre les déterminismes écologiques de la distribution des ligneux, les données issues

de l'analyse des sols et de relevés de la végétation ont été soumises à une Analyse Factorielle de Correspondance (AFC) par le logiciel XLSTAT version 2020.3.1. Les paramètres physico-chimiques ne présentant pas de différence significative et

les espèces ayant une contribution spécifique inférieure à la moyenne ont été supprimés de la matrice. Le test non paramétrique de Kruskal et Wallis a été utilisé pour tester la signification des différences des paramètres comparés.

**Tableau 1 :** Normes d'appréciation des caractéristiques chimiques du sol.

pH (Ndiaye et al. 2013)		Salinité (Ndiaye et al. 2013)	
Gammes	Appréciations	Gammes	Appréciations
Inférieur à 4,5	Extrêmement acide	250 - 500	Légèrement salin
4,6 - 5,2	Très acide	500 - 1000	Salin
5,3 - 5,5	Acide	1000 - 2000	Très salin
5,6 - 6,0	Modérément acide	> 2000	Extrêmement salin
6,1 - 6,6	Légèrement acide		
6,7 - 7,2	Neutre		
7,3 - 7,9	Légèrement alcalin		
8,0 - 8,5	Alcalin		
> 8,6	Très alcalin		
Capacité d'échange cationique (me/100g)		Azote totale (%)	
(Calvet et Vellemin, 1986)			
Gammes	Appréciations	Gammes	Appréciations
< 5	Très faible	< 0,05	Très pauvre
5 - 10	Faible	0,05- 0,1	Pauvre
10 - 15	Moyenne	0,1- 0,15	Moyen
15 - 20	Élevée	0,15- 0,25	Riche
> 20	Très élevée	> 0,25	Très riche

## Résultats

### Composition physico-chimique des sols

Le tableau 2 résume les caractéristiques des sols dans les trois sites. Les différences entre les sites ont été significatives pour  $P$  value < 0,05. Les résultats obtenus indiquent des différences significatives pour les limons grossiers ( $P$  value = 0,04), les argiles ( $P$  value = 0,04) le  $pH_{eau}$  ( $P$  value = 0,03), la conductivité ( $P$  value = 0,03), et le Calcium ( $P$  value = 0,04).

Le site de Ranérou se caractérise surtout par sa richesse en argile. Les résultats indiquent que les sols de la zone sont non-salins ( $CE < 250 \mu S/cm$ ) cependant, les sols du Nord présentent la plus forte

conductivité électrique ( $80,7 \pm 3,7 \mu S/cm$ ) suivis des sols de Ranérou dans le Sud-Est ( $36,7 \pm 10,1 \mu S/cm$ ) et de Labgar au Centre ( $18,29 \pm 4,6 \mu S/cm$ ). Le pH du sol est alcalin à Labgar et modérément acide à Ranérou et à Koyli Alpha. D'une manière générale, les sols du tronçon sont très pauvres en carbone ( $C < 0,05\%$ ), en azote ( $N < 0,05\%$ ), en matière organique (MO) et en phosphore assimilable ( $P < 3 mg/kg$  de sols) avec un faible taux de minéralisation (rapports C/N élevés).

Les résultats indiquent une forte présence de base échangeable de Ca à Koyli Alpha ( $1,86 \pm 0,1\%$ ) suivi de Labgar ( $1,05 \pm 0,4\%$ ) et de Ranérou ( $0,4 \pm 0,2\%$ ).

**Tableau 2 :** Caractéristiques physico-chimiques des sols des différents sites(Différence significative pour  $P$  value < 0,05)

Sites	Labgar	Ranérou	Koyli Alpha	P value
<b>Granulométrie (%)</b>				
Argiles	4,6 ± 2,1 <sup>a</sup>	14,4 ± 0,4 <sup>b</sup>	6,2 ± 0,9 <sup>a</sup>	0,04
Limons fins	1,4 ± 0,6 <sup>a</sup>	2,7 ± 0,1 <sup>a</sup>	1,3 ± 0,3 <sup>a</sup>	0,07
Limons grossiers	2,4 ± 0,7 <sup>a</sup>	6,6 ± 0,8 <sup>b</sup>	5,3 ± 0,7 <sup>b</sup>	0,04
Sables fins	30,7 ± 0,9 <sup>a</sup>	32 ± 2,6 <sup>a</sup>	28,9 ± 5,1 <sup>a</sup>	0,49
Sables grossiers	61 ± 1 <sup>a</sup>	46,1 ± 5,4 <sup>a</sup>	58,6 ± 10,5 <sup>a</sup>	0,06
<b>Analyse chimique du sol</b>				
pH <sub>eau</sub>	7,33 ± 0,1 <sup>a</sup>	5,76 ± 0,2 <sup>b</sup>	6,72 ± 0,3 <sup>b</sup>	0,03
pH <sub>KCl</sub>	5,39 ± 0,6 <sup>a</sup>	4,26 ± 0,2 <sup>a</sup>	5,48 ± 0,1 <sup>a</sup>	0,06
Conductivité (µS/cm à 25°C)	18,29 ± 4,6 <sup>a</sup>	36,7 ± 10,1 <sup>b</sup>	80,7 ± 3,7 <sup>c</sup>	0,03
Azote total (%)	0,01 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,01 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,02 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,33
Carbone total (%)	0,18 ± 0,1 <sup>a</sup>	0,19 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,25 ± 0,1 <sup>a</sup>	0,39
Matière organique (%)	0,25 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,18 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,19 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,06
Rapport C / N	18 ± 1,7 <sup>a</sup>	14 ± 1 <sup>a</sup>	14 ± 1 <sup>a</sup>	0,11
Phosphore assimilable (mg/kg)	0,7 ± 0,2 <sup>a</sup>	0,24 ± 0,1 <sup>a</sup>	1,22 ± 0,9 <sup>a</sup>	0,06
Ca méq (%)	1,05 ± 0,4 <sup>a</sup>	0,4 ± 0,2 <sup>b</sup>	1,86 ± 0,1 <sup>c</sup>	0,04
Mg méq (%)	0,68 ± 0,2 <sup>a</sup>	0,65 ± 0,3 <sup>a</sup>	1,02 ± 0,4 <sup>a</sup>	0,39
Na méq (%)	0,01 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,02 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,07 ± 0,04 <sup>a</sup>	0,05
K méq (%)	0,04 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,1 ± 0,00 <sup>a</sup>	0,08 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,08

Les chiffres avec des lettres différentes sont statistiquement différents

**Étude de la végétation ligneuse****Analyse de la composition floristique**

La flore ligneuse inventoriée de la zone d'étude est composée de 23 espèces réparties dans 14 familles et 17 genres (tableau 3).

Les familles les mieux représentées sont les *Fabaceae* (7 espèces), les *Combretaceae* (4 espèces) et les *Asclepiadaceae* (3 espèces). Cette richesse floristique est différemment répartie entre les trois sites ; elle contient 20 espèces à Labgar (L), 16 espèces à Ranérou (R) et 9 espèces à Koyli Alpha (K.A).

**Tableau 3 :** Composition floristique et fréquence des espèces ligneuses inventoriées à Koyli Alpha (KA), Labgar (L) et à Ranérou (R)

Familles	Genres	Espèces	Fréquence par site (%)			
			KA	L	R	
<i>Anacardiaceae</i>	<i>Sclerocarya</i>	<i>Sclerocarya birrea</i> (A. Rich)	0,00	0,86	0,51	
<i>Apocynaceae</i>	<i>Adenium</i>	<i>Adenium obesum</i> (Forsk.)	0,00	0,09	0,13	
	<i>Calotropis</i>	<i>Calotropis procera</i> Ait.	0,00	1,45	0,00	
<i>Asclepiadaceae</i>	<i>Leptadenia</i>	<i>Leptadenia hastata</i> (Pers.)	8,53	2,82	5,17	
		<i>Leptadenia pyrotechnica</i> (Forsk.)	1,57	7,87	0,00	
<i>Balanitaceae</i>	<i>Balanites</i>	<i>Balanites aegyptiaca</i> (L.) Del.	45,94	46,54	56,12	
<i>Bombacaceae</i>	<i>Adansonia</i>	<i>Adansonia digitata</i> (L)	0,09	0,43	0,06	
<i>Burseraceae</i>	<i>Commiphora</i>	<i>Commiphora africana</i> (A. Rich.)	0,00	0,17	0,00	
<i>Capparidaceae</i>	<i>Boscia</i>	<i>Boscia senegalensis</i> (Pers.)	0,00	27,63	0,00	
		<i>Combretum glutinosum</i> Perr. ex DC	0,13	0,09	5,48	
		<i>Combretum aculeatum</i> Vent.	0,00	0,09	0,00	
<i>Combretaceae</i>	<i>Combretum</i>	<i>Combretum micranthum</i> G. Don	0,00	0,00	0,06	
		<i>Guiera</i>	<i>Guiera senegalensis</i> J.F.Gmel	0,00	0,34	11,48
		<i>Acacia</i>	<i>Acacia senegal</i> (L.)	7,65	0,60	18,56
			<i>Acacia seyal</i> Del.	0,09	1,63	0,89
<i>Fabaceae</i>	<i>Acacia</i>	<i>Acacia tortilis raddiana</i> (Forst.)	35,84	6,76	1,08	
		<i>Acacia pennata</i> (L.)	0,00	0,00	0,06	
		<i>Dalbergia</i>	<i>Dalbergia melanoxylon</i> G. Perr	0,00	0,26	0,00
	<i>Prosopis</i>	<i>Prosopis glandulosa</i> (L.)	0,13	0,00	0,06	
	<i>Pterocarpus</i>	<i>Pterocarpus lucens</i> Guill. & Perr	0,00	0,51	0,06	
<i>Merispermaceae</i>	<i>Tinospora</i>	<i>Tinospora bakis</i> (A. Rich)	0,00	0,09	0,00	
<i>Rhamnaceae</i>	<i>Zizyphus</i>	<i>Zizyphus mauritiana</i> Lam.	0,00	1,54	0,19	
<i>Tiliaceae</i>	<i>Grewia</i>	<i>Grewia bicolor</i> Juss.	0,00	0,26	0,06	
<b>Total</b>	<b>17 genres</b>	<b>23 espèces</b>	<b>9</b>	<b>20</b>	<b>16</b>	

### Les paramètres structuraux de la végétation

Le tableau 4 présente quelques paramètres structuraux des peuplements ligneux étudiés.

La densité moyenne des ligneux est de  $60,46 \pm 17,6$  ind/ha dans la zone,  $77,1 \pm 19,9$  ind/ha à Ranérou,  $56,9 \pm 19,4$  ind/ha à Labgar et  $47,8 \pm 12,6$  ind/ha à Koyli Alpha. Les espèces présentant les plus fortes densités dans les différents sites sont respectivement : à Koyli alpha, *Balanites aegyptiaca* (37,3 ind/ha), *Acacia raddiana* (8,1 ind/ha) et *Leptadenia hastata* (1,1 ind/ha) ; à Labgar, *Balanites aegyptiaca* (23,17 ind/ha), *Acacia raddiana* (20 ind/ha) et *B. senegalensis* (3,03 ind/ha) ; à **Ranérou**, *Balanites aegyptiaca* (36,7 ind/ha), *Guiera senegalensis* (14,7 ind/ha) et *Combretum glutinosum* (11,8 ind/ha).

Les résultats obtenus indiquent que les densités réelles calculées sont toujours plus faibles que les densités théoriques, indiquant une tendance agrégative des ligneux qui serait plus élevée à Ranérou et à Labgar. Le recouvrement aérien est relativement faible dans la zone (13,65%). Il varie cependant en sens inverse de la densité au niveau des sites : 16,55 % à Koyli, 14,78 % à Labgar et 9,49 % à Ranérou. Ce qui indique la forte présence de grands arbres aux larges houppiers dans le site du Nord (Koyli et Labgar) par rapport à celui du Sud (Ranérou).

Le peuplement ligneux s'est relativement bien régénéré dans la zone d'étude avec  $159 \pm 68$  ind./ha, soit un taux de régénération de 72%. À l'échelle des sites étudiés, la densité et le taux de régénération diminue du Nord-Ouest (Koyli) vers le Sud-Est (Ranérou) ; les résultats obtenus indiquent respectivement  $267 \pm 103$  ind./ha avec un taux de régénération de 85 % et  $112 \pm 44$  ind./ha avec un taux de régénération de 59%. Les jeunes plantes sont constituées majoritairement de *Balanites aegyptiaca* (48,1 %), suivi *Acacia raddiana* (25,22 %), *Leptadenia hastata* (8,57 %) et *A. senegal* (6,76 %). À Koyli Alpha, les jeunes plantes représentent 84,79% du peuplement et les espèces qui régénèrent mieux sont *Acacia raddiana* (42,21 %) et *Balanites aegyptiaca* (37,45%). À Labgar, les jeunes plantes représentent

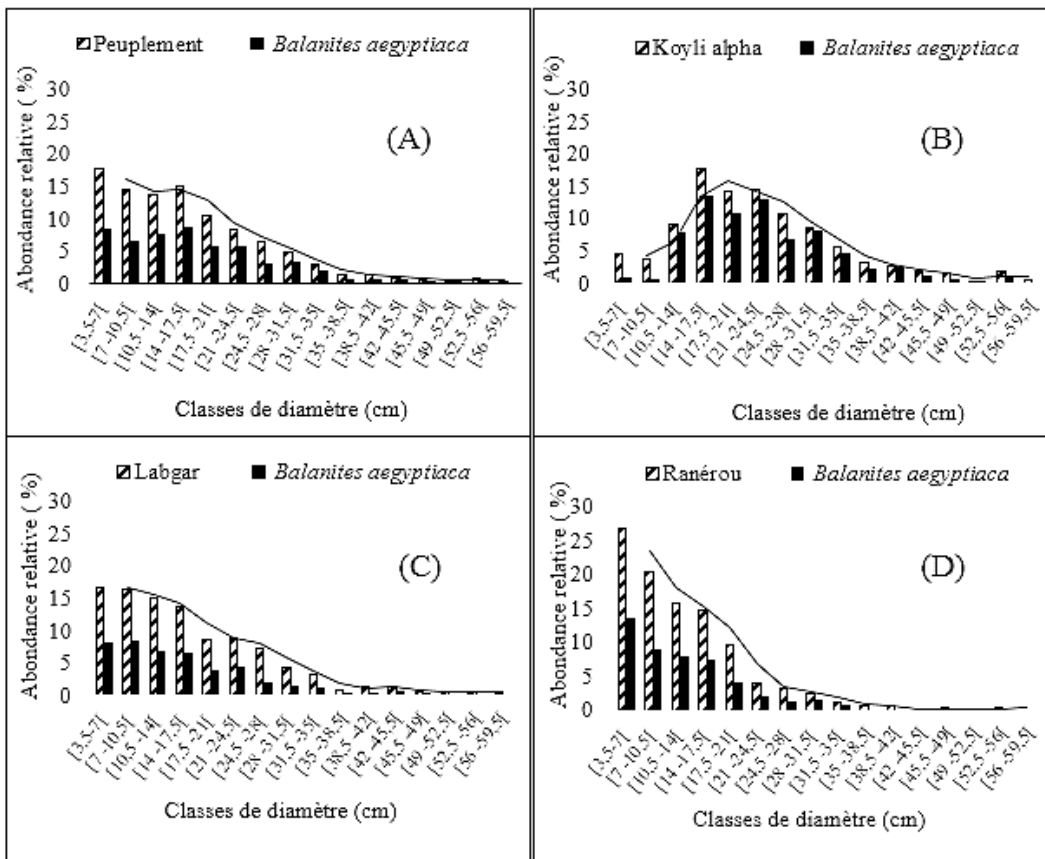
63% du peuplement. *Balanites aegyptiaca* (47,51%) et *Boscia senegalensis* (23,01%) régénèrent mieux. À Ranérou le taux de régénération est de 59,16%, *Balanites aegyptiaca* (74,94 %) et *Leptadenia hastata* (9,21 %) ont le plus grand potentiel.

Inversement à la régénération, le taux d'anthropisation est plus important au Sud (10%) par rapport au Nord (5%). A Ranérou, l'exploitation des ligneux concerne surtout *Guiera senegalensis* et *Combretum glutinosum*. À Labgar, il s'agit de *Leptadenia pyrotechnica*, de *Balanites aegyptiaca* et de *Boscia senegalensis*. À Koyli Alpha où le taux est faible, il s'agit essentiellement de *Balanites aegyptiaca*.

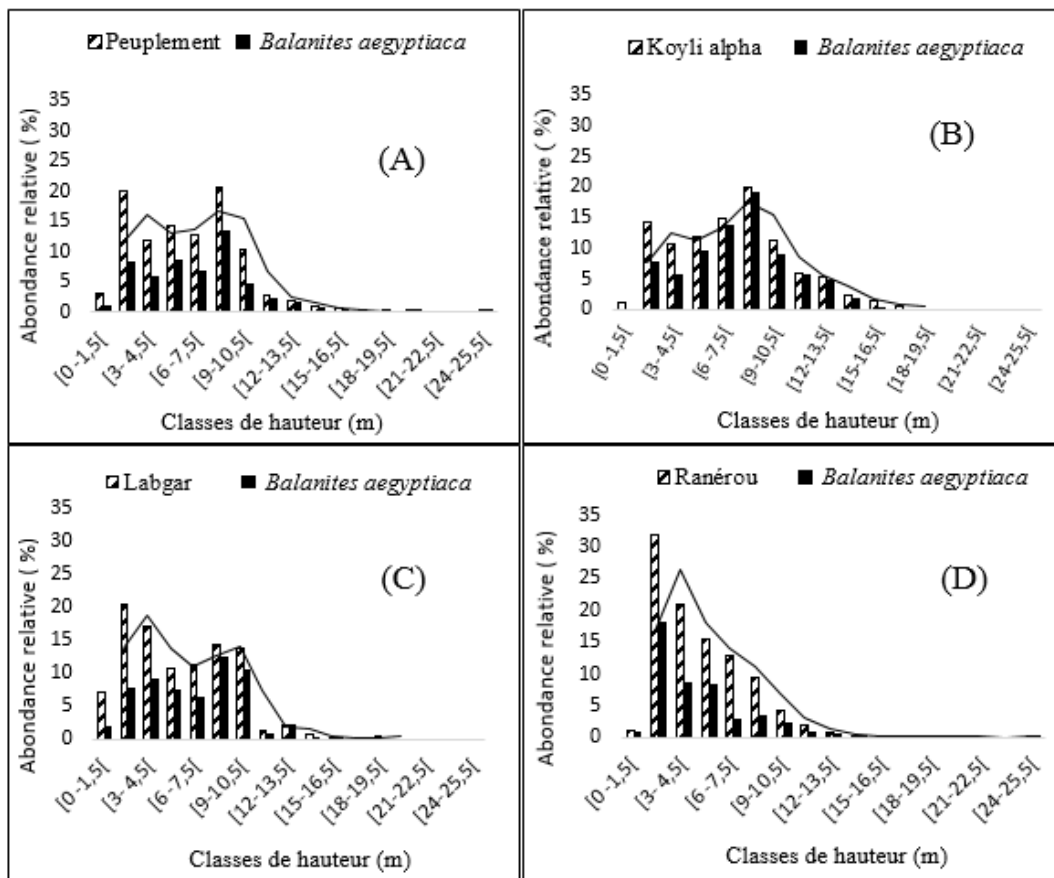
Le traitement des données de diamètres et de hauteur des ligneux a permis d'établir la structure horizontale et verticale des ligneux (figure 2 et 3).

Le peuplement ligneux de la zone d'étude ainsi que la population de *Balanites aegyptiaca* (figure 2A) présentent une distribution exponentielle décroissante indiquant la prédominance d'individus de faibles et moyens diamètres. Ce type de distribution est observé à Labgar (figure 2C) et de Ranérou (figure 2D). À Koyli, on a une distribution en cloche qui suggère une prédominance d'individus à diamètres moyens. *Balanites aegyptiaca* a significativement contribué à l'organisation horizontale du peuplement au sein duquel il imprime sa physionomie.

La structure verticale du peuplement ligneux de la zone d'étude (figure 3A) montre une individualisation de deux strates : une strate arbustive basse qui s'individualise entre 1,5 et 4,5 m et une strate arbustive haute qui s'individualise entre 7,5 et 9 m. Cette même stratification est observée sur des peuplements de Koyli (figure 3B) et de Labgar (figure 3C) à l'exception de Ranérou où s'individualise une seule strate arbustive (figure 3D). *Balanites aegyptiaca* contribue significativement à la stratification du peuplement ligneux ; elle constitue l'essentiel des individus de la strate arbustive haute à Koyli (figure 3B) et à Labgar (figure 3C) et l'essentielle de la strate arbustive basse (figure 3D).



**Figure 2.** Distribution en classes de diamètres des ligneux et des populations de *Balanites aegyptiaca* dans la zone étudiée (A) et dans les différents sites : Koyli Alpha (B), Labgar (C), et Ranérou (C)



**Figure 3.** Distribution en classes de hauteur des ligneux et des populations de *Balanites aegyptiaca* dans la zone étudiée (A) et dans les différents sites : Koyli Alpha (B), Labgar (C), et Ranérou (C)

**Tableau 4 :** Densité, recouvrement, régénération et anthropisation des ligneux de la zone étudiée

	Koyli Alpha	Labgar	Ranérou	Zone d'étude	
Ligneux	Densité réelle (ind/ha)	47,8±12,6	56,9±19,4	77,1±19,9	60,46± 17,6
	Densité théorique (ind/ha)	71,4± 31,4	123,7±28,1	155,4±44,2	103,41± 30,3
	Recouvrement (%)	16,5±6,2	14,8±5,3	9,5±3,7	13,6±5,3
	Densité (ind./ha)	267±103	197±64	112±44	159± 68
Régénération	Taux de régénération (%)	85	63	59	72
	Taux d'anthropisation (%)	5	7	10	8
Importance spécifique de la régénération (ISR)	<i>Balanites aegyptiaca</i>	37,45	47,51	74,94	48,1
	<i>Acacia raddiana</i>	42,21	6,54	1,12	25,22
	<i>Leptadenia hastata</i>	9,78	4,55	9,21	8,57
	<i>Acacia senegal</i>	8,9	1,71	6,01	6,76
	<i>Grewia bicolor</i>	0	0,14	0	0,03
	<i>Leptadenia pyrotechnica</i>	1,66	11,52	0	3,31
	<i>Tinospora bakis</i>	0	0,14	0	0,03
	<i>Zizyphus Mauritiana</i>	0	0,71	0,13	0,18
	<i>Acacia seyal</i>	0	2,13	0,64	0,59
	<i>Calotropis procera</i>	0	1,71	0	0,35
	<i>Guiera senegalensis</i>	0	0,14	8,95	2,08
	<i>Prosopis grandulosa</i>	0	0	0,13	0,03
	<i>Acacia pennata</i>	0	0	0,13	0,03
<i>Boscia senegalensis</i>	0	23,04	0	4,74	

#### **Relation sol et végétation**

L'analyse factorielle de correspondance appliquée aux paramètres physico-chimiques du sols et aux données floristiques a permis d'obtenir la figure 4. Toute l'information est contenue dans les deux premiers plans factoriels (axes F1 et F2) qui apportent 55,45 et 44,55 % respectivement.

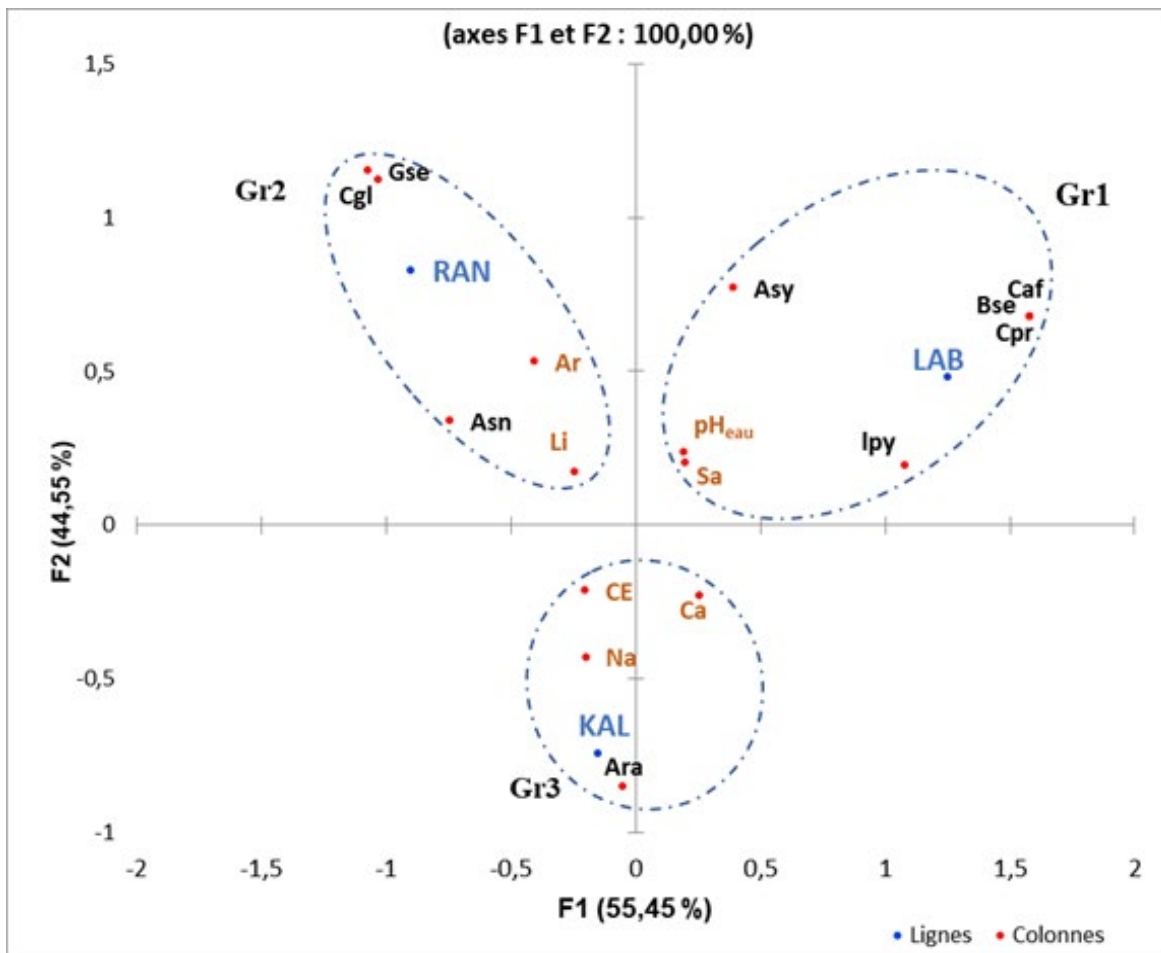
La figure 4 montre une opposition le long de l'axe F1 entre un groupe 1 (Gr1) associé au site de Labgar, situé sur les coordonnées positifs et un groupe 2 (Gr2) associé au site de Ranérou.

Le site de Labgar est caractérisé par des sols avec une proportion plus importante en sable grossier et un  $pH_{eau}$  légèrement supérieur à la neutralité.

Ces sols sont préférés par *Boscia senegalensis*, *Commiphora africana*, *Calotropis procera*, *Acacia seyal* et *Leptadenia pyrotechnica*.

Le site de Ranérou est caractérisé par des sols argileux avec une proportion plus importante en Limon grossier. Ces sols sont surtout colonisés par *Guiera senegalensis*, *Combretum glutinosum* et *Acacia senegal*.

L'axe F2 discrimine sur les coordonnées négatives un groupe 3 (Gr3) associé au site de Koyli Alpha. Ce site est caractérisé par des sols à forte conductivité électrique et une forte présence de base échangeable (Ca et Na). Sur ses sols, sont inféodées l'essentiel des populations de *Acacia raddiana*.



**Figure 4.** Relation sol et végétation de la zone d'étude par AFC

**Sites :** Koyli Alpha (KAL), Labgar (LAB), Ranérou (RAN). **Sol :** Argile (Ar), Calcium (Ca), Conductivité électrique (CE), Limons grossiers (Li), Sodium (Na), Sables grossiers (Sa). **Végétation :** *Acacia raddiana* (Ara), *Acacia senegal* (Asn), *Acacia seyal* (Asy), *Boscia senegalensis* (Bse), *Calotropis procera* (Cpr), *Combretum glutinosum* (Cgl), *Commifora africana* (Caf), *Guiera senegalensis* (Gse), *Leptadenia pyrotechnica* (Lpy).

## Discussion

Les paramètres physico-chimiques des sols du tronçon de la Grande Muraille Verte (GMV) retenus présentent une importante variabilité spatiale. Les résultats montrent deux textures de sols dans la zone d'étude suivant la granulométrie : il s'agit des sols sableux à Koyli Alpha et à Labgar au Nord et des sols argilo-limoneux avec inclusion latéritique à Ranérou au Sud. La présence des taux élevés de sable dans le Nord s'expliquerait par les processus d'alluvionnement de ces sites (Duchaufour, 1997), de leur proximité au désert (Sahara) et de la sévérité des conditions climatiques (la forte érosion éolienne). Dans le Sud-Est, la présence de la texture plus fine (argile et limon) peut s'expliquer par la nature du matériau originel ou roche mère qui est une cuirasse latéritique.

D'une manière générale, les pH proches de la neutralité seraient liés aux faibles proportions de la matière organique et l'absence totale de sels dans les sols. Les sols de la zone sont globalement non salins ( $CE < 250 \mu\text{S}/\text{cm}$ ). Cette absence de salinisation des sols pourrait être liée à l'inexistence d'une intrusion marine et l'absence d'irrigation par des eaux salées (Ndiaye, 2013). Cependant les plus grandes conductivités électriques sont observées au niveau des sites de Koyli Alpha et de Ranérou pourraient être liées à leur plus grande proximité des vallées du Ferlo. Le dattier du désert semble coloniser les sols sur toutes les gammes de pH. Dans le Saloum (Centre du Sénégal), Thiam et *al.*, (2015) ont souligné la présence de l'espèce sur les sols moyennement salins à salins pour des acidités

variant d'acide à faiblement acide. Ces observations sont confirmées par Hall et Walker (1991) qui considèrent le *Balanites* comme une espèce à large amplitude écologique.

La pauvreté des sols en carbone (C), azote (N), matière organique (MO) et en phosphore assimilable (P) s'expliqueraient par la disparition progressive de la végétation (Diallo *et al.* 2011) et par la perméabilité des sols (texture sableuse à sablo-limoneuse) notamment dans la partie Nord. Les rapports Carbone/Azote (C/N) élevés seraient liés à la minéralisation lente de la matière organique due à une faible activité biologique dans les sols du Ferlo, selon Ndiaye (2013). Les faibles proportions de bases échangeables et les faibles capacités d'échanges cationiques observées dans la zone d'étude seraient dues à la dominance de la fraction sableuse qui ne permet pas un stockage de la matière organique (Pieri, 1989). En d'autres termes, la pauvreté des sols en colloïdes minéraux (argiles) ne favorise pas la mise en place d'un complexe argilo-humique actif.

La présente étude révèle que la flore ligneuse est riche de 23 espèces réparties entre 17 genres et 12 familles. Nos résultats rejoignent plusieurs travaux (Ndiaye 2013 ; Ndiaye *et al.*, 2013) qui ont travaillé dans le Nord et le Sud du Ferlo avec 35 espèces sur une zone plus vaste. La partie septentrionale, Labgar en l'occurrence est plus diversifiée (20 espèces) comparée à la partie méridionale (Ranérou) avec 16 espèces. Le nombre d'espèces ligneuses recensées au niveau de la zone d'influence de la parcelle de Ranérou est faible, comparé aux travaux de Ngom *et al.* (2013) qui ont inventorié 35 espèces sur une étendue plus grande.

La baisse de la diversité sur le site Koyli Alpha serait liée au déficit pluviométrique plus sévère dans cette partie et à la prédominance de la fraction sableuse dans cette partie du Ferlo. Cette partie du Ferlo abrite une grande proportion des populations de *Balanites aegyptiaca* et de *Acacia raddiana* qui auraient une capacité à s'adapter aux déficits pluviométriques (Bakhoun, 2013). La diminution de la fréquence de l'espèce *Balanites aegyptiaca* dans le Sud-Est (Ranérou) en faveur des Combrétacées (*Guiera senegalensis* et *Combretum glutinosum*, *Combretum aculeatum*, *Combretum micranthum*), est un phénomène appelé combrétinisation par Ngom (2008). Elle pourrait s'expliquer par la forte humidité enregistrée dans cette partie où les précipitations atteignent 450 à 500 mm/an mais aussi par la variation de la texture des sols qui sont caractérisés par une forte présence des argiles. Plusieurs études

ont déjà mentionné la régression vers le Sud de certaines espèces qui autrefois étaient indicatrices de meilleures conditions climatiques. Cette régression vers le Sud-Est ne concerne pas uniquement les Combrétacées, bien qu'elles aient été touchées (Cornet et Poupon, 1977). Selon Fall (2017), cette famille est indicatrice de la transition bioclimatique dans le Ferlo. Parmi les espèces les plus touchées par la sécheresse figurent *Sclerocarya birrea*, *Commiphora africana*, *Pterocarpus lucens* et *Dalbergia melanoxylon* (Cornet et Poupon, 1977). Ces espèces ont difficilement régénéré dans la zone étudiée. *Balanites aegyptiaca* est abondante sur ce tronçon ; la même observation a été faite par Sagna (2015) dans le Ferlo sur un transect plus long allant de Widou Thiengoly à Déali. D'autres études ont mentionné qu'il s'agit d'une progression de l'espèce vers le Sud, grâce aux défrichements (Kadri Nouhou, 2009) et à l'intensité de l'utilisation pastorale, si bien que sa présence en zone soudanienne est considérée comme une indication de dégradation des sols (Parkan, 1993).

La densité des ligneux augmente suivant le tronçon Nord-Ouest/Sud-Est, elle serait liée au gradient pluviométrique croissant. Le recouvrement aérien est plus élevé dans les sites du Nord, Koyli Alpha (16,55%) et Labgar (14,78%) qu'à celui du Sud Ranérou (9,49%). Ces résultats pourraient s'interpréter par le pâturage et des défrichements qui entraîneraient un effet dépressif sur le développement des ligneux (Akpo *et al.*, 2003). L'étude de la structure horizontale et verticale montre que les ligneux sont plus matures au Nord inversement à la densité et au gradient pluviométrique. La faible grosseur des individus dans le Sud serait liée à la présence de la cuirasse latéritique (carapace dure qui s'oppose aux développements de la biomasse racinaire des plantes et empêche l'infiltration des eaux en profondeur). Ce même phénomène pourrait expliquer le caractère arbustif des populations de *B. aegyptiaca* dans cette partie Sud.

La régénération est inversement proportionnelle au gradient pluviométrique Nord-Ouest/Sud-Est. Cet important taux de régénération au Nord serait corrélé au couvert ligneux qui offre aux semences des conditions favorables à leur levée et à la croissance des jeunes plants (Akpo, 1990). Les rejets sont majoritairement composés par les espèces *B. aegyptiaca* (48,1%) et *Acacia tortilis* subsp. *raddiana* (25,22%). La forte capacité de régénération de *B. aegyptiaca* serait attribuée à ses rameaux photosynthétiquement actifs toute l'année (Diouf *et al.*, 2002).

La plupart des ligneux n'ont pas régénéré. Ce phénomène est plus remarquable à Koyli Alpha par rapport aux autres sites. La faible teneur en matières organiques du sol pourrait expliquer l'absence de leur régénération du fait de son influence directe sur l'infiltration de l'eau et la pénétration des racines des jeunes plantules dans les zones arides et semi-arides (Aronson et al., 1995). Les taux de dégradation et d'abattage ou des dégâts faibles suivent un gradient Nord-Ouest/Sud-Est. Dans les sites Koyli alpha et Labgar, l'abattage est plus élevé

que les morts sur pied alors qu'à Ranérou en plus d'une fréquence élevée d'exploitation, la dégradation est plus accentuée pour *Balanites aegyptiaca*, *Guiera senegalensis* et *Combretum glutinosum*. Ces résultats s'expliqueraient par les usages ethnobotaniques multiples comme l'ont montré les travaux de Niang (2014). Au Nord, il s'agit de l'utilisation de la partie aérienne (feuillage) de la plante comme fourrage pour le bétail en saison sèche (Diouf et al., 2002) ; au Sud, c'est le surpâturage et l'exploitation de bois qui sont en cause.

## Conclusion

Comme la plupart des sols des écosystèmes arides et semi-arides, les sols de la zone étudiée ont montré une pauvreté en éléments nutritifs. Du point de vue textural, les sols du Nord sont sableux et plus fins dans le Sud-Est où ils sont dominés par les argiles et les limons grossiers. Les espèces ligneuses les plus représentées dans la flore du Ferlo sont adaptées au climat sahélien. Elles sont souvent des épineux. La structuration spatiale de la végétation ligneuse est le résultat du gradient de pluviosité combiné au déterminant édaphique. Nous sommes arrivés à la conclusion que les Combrétacées prédominent dans les écosystèmes du Sud-Est (Ranérou) tandis que les épineux occupent la partie Nord (Koyli Alpha). Deux

espèces sont particulièrement représentatives dans la zone étudiée ; il s'agit de *Balanites aegyptiaca* et de *Acacia raddiana*. Ces résultats peuvent donc être utiles pour la planification des activités de phyto-restauration des écosystèmes sahéliens du Sénégal.

Malgré la longue saison sèche qui la caractérise, cette zone présente l'avantage d'avoir un potentiel végétal et écologique pouvant permettre le développement des projets de reconstitutions de la végétation. Cependant, les programmes de reboisement et de régénération assistées devraient tenir compte de la préférence édaphique des espèces pour un meilleur succès.

## Remerciements

Les auteurs remercient l'Agence National de la Recherche (ANR) française pour le financement de ces travaux à travers le projet Future Sahel, l'UMI

3189 «Environnement, Santé, Sociétés» (UCAD, CNRS, CNRST, USTTB, UGB) et l'OHMi de Tessékéré.

## Références Bibliographiques

**Akpo LE.** 1990. Dynamique des systèmes écologiques sahéliens : structure spécifique, productivité et qualité des herbages le forage de Widou thiengoly. DEA en Biologie Végétale, Option Ecologie, FST-UCAD, 65 p.

**Akpo LE, Bada F, Grouzis M.** 2003. Diversité de la végétation herbacée sous arbre : variation selon l'espèce ligneuse en milieu sahélien. *Candollea*, 58 : 515-530.

**Aronson J., Floret C., Le Floc'h E., Ovalle C., Pontanier R.** 1995. Restauration et réhabilitation des écosystèmes dégradés en zones arides et semi-arides : le vocabulaire et les concepts. In : *L'homme peut-il refaire ce qu'il a défait ?* Montrouge : J. Libbey Eurotext, 11-29. Congrès International sur la Restauration des Terres Dégradées, des Zones Arides et Semi-Arides, Tunis (TUN), 1994/11/14-19. ISBN 2-7420-01018.

- Bakhoun A. 2013.** Dynamique des ressources fourragères : indicateur de résilience des parcours communautaires de Téssékéré au Ferlo (Nord-Sénégal). PhD, Biologie, Productions et Pathologies Animales, Option Ecologie pastorale, FST-UCAD. 115 p.
- Berhaut J. 1979.** Flore illustrée du Sénégal. Vol. 6. Dakar : Gouvernement du Sénégal, Ministère du Développement Rural et de l'Hydraulique, Direction des Eaux et Forêts ; Clairafrique Édition, 636 p.
- Boudet G. 1984.** Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères. 4<sup>e</sup> éd, Paris, Ministère de la coopération. *Manuels et Précis d'Élevage*, 4 : 1-254.
- Calvet G, Villemin P. 1986.** Interprétation des analyses de terre. Ed. IPAS, SADEF-SCPA, Aspach le Bas, France, 25 p.
- Cissé A, Eymard L, Ndione JA, Gaye AT. 2015.** Analyse statistique des relations pluie-végétation au Ferlo (Sénégal). *Actes du XXVIII<sup>ème</sup> Colloque de l'Association Internationale de Climatologie* (Liège), pp. 307-312.
- Cornet A, Poupon H. 1977.** Description des facteurs du milieu et de la végétation dans cinq parcelles situées le long d'un gradient climatique en zone sahéenne du Sénégal. *Bulletin IFAN*, 39(2) : 241-302.
- Dia A, Duponnois R. 2010.** Le projet majeur africain de la Grande Muraille Verte : Concepts et mise en œuvre. Marseille, IRD. 442 p.
- Diallo A., Faye MN, Guissé A. 2011.** Structure des peuplements ligneux dans les plantations d'Acacia senegal (L.) Wild dans la zone de Dahra (Ferlo, Sénégal). *Revue de l'Ecologie (Terre et Vie)*, 66(4) 415-428.
- Diouf M, Akpo LE, Rocheteau A, Do F, Goudiaby V, Diagne AL. 2002.** Dynamique du peuplement ligneux d'une végétation sahéenne au Nord-Sénégal (Afrique de l'Ouest). *Journal des Sciences et Technologies*, 2(1) : 1-9.
- Duchaufour P. 1997.** Pédologie : sol, végétation et environnement. Abrégés de Pédologie. Masson 5<sup>e</sup> édition. 291 p.
- Fall A. 2017.** Du Ferlo au Bassin arachidier (Sénégal) : analyse de la composition floristique de la végétation envisagée comme ressource et comme indicatrice des changements socio-environnementaux. *Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement*, volume XI : 65-87.
- Gagnard J, Huguet C, Ryser JP. 1988.** L'analyse du sol et du végétal dans la conduite de la fertilisation, le contrôle de la qualité des fruits. *Edition - Diffusion ACTA*. 87 p.
- Hall JB, Walker DH. 1991.** Le *Balanites aegyptiaca* (L) Del : A monograph. *School of Agricultural and Forest Sciences Publication*, University of Wales, Bangor (United Kingdom) 65 p.
- Hillebrand WF, Lunde GEF, Bright HA, Hoffman JL. 1953.** Applied inorganic analysis, 2nd ed. John Wiled and Sons, Inc., New York, USA. 1034 p.
- Kadri Nouhou O. 2009.** *Balanites aegyptiaca*. IPR/IFRA-Mali. 10 p.
- Kébé I. (2019).** Caractérisation du sol et de la végétation ligneuse sur un tronçon de la grande muraille verte au Ferlo, Nord Sénégal. Mémoire de master, FST, UCAD, 24p.
- Koulibaly A, Kouamé N'F, Traoré D, Polembski S. (2010).** Structure et régénération de la végétation ligneuse, le long de transects forêts-savanes, dans la région de la réserve de Lamto (Côte d'Ivoire). *Annales de Botanique de l'Afrique de l'Ouest*, 06 : 56-72.
- Lake LA, Ndour N, Thiobane M, Ba A. 2003.** Évolution de la production végétale des parcours naturels au Sahel : le nord-ouest sénégalais durant les années 1990. *Sécheresse Revue électronique*, 1(1): 28-39.
- Lebel, T., Diedhiou A., Laurent H. 2003.** Seasonal cycle and interannual variability of the Sahelian rainfall at hydrological scales, *Journal of Geophysical Research*, 108(D8), 8389, doi:10.1029/2001JD001580.
- Leprun JC. 1971.** Nouvelles observations sur les formations dunaires sableuses fixées du Ferlo nord occidental (Sénégal). Ass. Sénégal, Et. Quaternaires ouest africaines, *Bull. Liaison*, Sénégal, 31 : 69-78.
- Lebrun JP, Stork AL. 1991- 1997.** Énumération des plantes à fleurs d'Afrique tropicale. Conservatoire du jardin botanique de Genève. Vol. I, II, III, IV.
- Ndiaye O, Diallo A, Sagna MB, Guissé A. 2013.** Diversité floristique des peuplements ligneux du Ferlo, Sénégal. *Vertigo*, la revue électronique en sciences de l'environnement, 13 : 3-12.
- Ndiaye O. 2013.** Caractéristiques des sols, de la flore et de la végétation du Ferlo, au Sénégal. Thèse de doctorat de 3<sup>ème</sup> cycle FST-UCAD en Biologie, Physiologie & Pathologie Végétales, Spécialité : Écologie & Agroforesterie, 131 p.
- Niang K, Ndiaye O, Diallo A, Guissé A. 2014.** Flore et structure de la végétation ligneuse le long de la grande Muraille Verte au Ferlo, nord Sénégal. *Journal of Applied Biosciences*, 79 : 6938 – 6946.

- Ndiaye O, Sagna MB, Diallo A, Guisse A. 2019.** Caractérisation physicochimique des sols », dans Boëtsch G. Duboz P., Guisse A. et Sarr P., *La Grande muraille Verte*, Paris, CNRS EDITION « Environnement africain ». pp. 47-74.
- Niang K. 2014.** Caractérisation de la végétation ligneuse du Ferlo et son usage par les populations locales. Mémoire de thèse, FST, UCAD (Sénégal). 133 p.
- Ngom D. 2008.** Définition d'indicateurs de gestion durable des ressources sylvo-pastorales au Ferlo (Nord-Sénégal), Thèse de Doctorat en Biologie végétale, Option : Écologie, FST, UCAD. 148 p.
- Ngom D, Fall T, Sarr O, Diatta S, Akpo LE. 2013.** Caractéristiques écologiques du peuplement ligneux de la réserve de biosphère du Ferlo (Nord Sénégal). *Journal of Applied Biosciences*, 65: 5008 – 5023.
- Parkan J. 1993.** Le Balanites. In : *Le Flamboyant*, (27) : 10-11.
- Pieri C. 1989.** Fertilité des terres de savanes. Bilan de 30 ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. CIRAD. 444 p.
- Ramade F. 2003.** Éléments d'Écologie fondamentale. 3ème édition, Dunod, Paris. 690 p.
- Sagna M. 2015.** Ethnobotanique, écologie, suivi phénologique et caractéristiques physico-chimiques et nutritionnelles du dattier du désert (*Balanites aegyptiaca* (L.) Del.) dans le Ferlo au Nord du Sénégal. Mémoire de Thèse, Université Cheikh Anta Diop, Dakar. 53 p.
- Sarr MA. 2009.** *Évolution récente du climat et de la végétation au Sénégal* (cas du Ferlo). Thèse de doctorat de géographie, Université Jean Moulin Lyon 3. 313 p.
- Territorial Approach Climate Change (TACC). 2014.** Rapport d'analyse de la *vulnérabilité* aux changements climatiques de la zone du *Ferlo*. 224 p.
- Thiam A, Samba SAN, Noba K, Ndiaye JP, Diatta M, Wade M. 2015.** Étude de la variation de la végétation en milieux salé et acide au Sénégal. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(1): 155-175.
- Walkley A, Black IA. 1934.** An examination method of the Detjareff and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-38.