

Université Assane Seck de Ziguinchor



L'excellence, ma référence

UFR Sciences et Technologies

Département d'Agroforesterie

Mémoire de Master

Spécialité : Aménagement et Gestion Durable des Ecosystèmes Forestiers et Agroforestiers

Amélioration des plantations d'espèces forestières en zone sylvopastorale du Sénégal par l'utilisation de gel hydro-rétenteur

Présenté par Mme **Fatoumata LY**

Sous la Direction de **Dr Tamsir MBAYE**, Maitre Chercheur (CNRF/ ISRA)

Encadrants : **Dr Aly DIALLO**, Enseignant-Chercheur (UASZ)

Dr Marième Fall BA, Chercheure (CNRF/ ISRA)

Dr Mamadou CISS chercheur (ISRA/LNERV)

Soutenu publiquement le 18/05/2024 devant le jury composé de :

Président de jury : Pr Mohamed Mahamoud CHARAHABIL : Maitre de conférence UASZ

Membres :	Dr Aly DIALLO :	Maitre-assistant	UASZ
	Dr Marième Fall BA :	Chargée de Recherche	CNRF/ISRA
	Dr Mamadou CISS :	Chargé de Recherche	ISRA/LNERV
	Dr Antoine SAMBOU :	Maitre-assistant	UASZ
	Dr Boubacar CAMARA :	Maitre-assistant	UASZ

Année Universitaire : 2022- 2023

DEDICACES

Je dédie du plus fond de mon cœur ce manuscrit à :

-mon cher Tonton Alassane LY qui m'a toujours soutenu et conseillé dans la vie.

-mes chers parents qui ont toujours été là pour moi, je les remercie pour leurs encouragements et soutien.

Et a toute ma Famille.

REMERCIEMENTS

Je remercie tout d'abord ALLAH L le tout Puissant de m'avoir donné la santé, la patience, la puissance et la volonté pour réaliser ce mémoire.

Ce travail ne pouvait être réalisé sans l'appui de personnes ou institutions ayant apporté leurs contributions sous différentes formes. Je tiens à remercier sincèrement :

-mon encadrant Dr Aly DIALLO, Enseignant-Chercheur au département d'Agroforesterie de l'UASZ pour avoir accepté de diriger et de guider ce travail. Je le remercie également pour ces conseils, sa compréhension et surtout pour sa disponibilité ;

-merci au corps professoral et vacataire du département d'Agroforesterie de l'Université Assane Seck de Ziguinchor (UASZ) : Dr Djibril SARR, chef de département d'Agroforesterie, Pr Ngor NDOUR, Pr Mohamed Mahamoud CHARAHABIL, Pr Siré DIEDHIOU, Pr Ismaïla COLY, Dr Antoine SAMBOU, Dr Joseph Saturnin DIEME, Dr Boubacar CAMARA, Dr Saboury NDIAYE, Dr Abdoulaye SOUMARE, Dr Oulimata DIATTA, Dr Mamadou Abdel Ader DIEDHIOU et Dr Seydou NDIAYE;

-le directeur du CNRF/ISRA, Dr Tamsir MBAYE et son service administratif : pour m'avoir accueillie dans leur structure ;

-Dr Marième FALL BA chercheur au CNRF/ISRA et responsable scientifique du projet « Dundi Ferlo » ;

-Dr Mamadou CISS chercheur à l'ISRA/LNERV pour son aide lors des analyses de données ;

-Dr Ababacar NDIAYE pour son appui sur le terrain, sur la rédaction de ce mémoire et pour ces conseils ;

-l'institut AVSF de Linguère et son personnel pour son appui au bon fonctionnement de nos travaux de recherche et pour leur hospitalité ;

-Moussa NDIAYE et Mame Arona THIAW, ITEF (Ingénieur des Travaux des Eaux et Forêts) de l'ISRA/CNRF et à Lémou NDIAYE, Khady CISSE et Fallou SECK, Doctorants stagiaires de ISRA/CNRF pour leurs contributions à ce travail et leurs disponibilités ;

-Penda DIOP et Aminata BEYE pour leurs contributions à ce travail et leurs disponibilités ;

-Tous les stagiaires de l'ISRA/CNRF particulièrement à Yamar NIANG et Maimouna MANE avec qui j'effectuais les collectes de données ;

-Mamadou NIANG vétérinaire de Younouféré et Matar DIOP de Vélingara Ferlo pour leur hospitalité durant nos séjours sur les sites d'études.

J'adresse ma profonde gratitude et tout mon amour à mes parents, mes frères et ma sœur Marième LY, qui ont su me faire confiance et me soutenir en toutes circonstances.

Mes remerciements vont également à l'endroit de mon cher mari Aly THIAM; merci pour ton amour, ton soutien et surtout pour la confiance.

Je remercie également la famille de Feu Thierno Diatara NDIATH de Grand Yoff et la famille de Abdoulaye DIALLO de Parcelle (unité 25) pour leur hospitalité durant mon stage à Dakar.

Mes remerciements vont également de mes amies Sophie SEYE, Ramata NDIONGUE, Grégoria BADIANE et Ndéye Fatou BITEYE ; vous êtes la plus belle rencontre que j'ai fait à Ziguinchor.

Et merci à la dixième promotion d'Agroforesterie pour les moments vécus ensemble et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Table des matières

DEDICACES	I
REMERCIEMENTS	II
LISTE DES FIGURES	VII
LISTES DES TABLEAUX	VII
RESUME.....	VIII
ABSTRACT	IX
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE	3
I.1. Généralités sur les hydro-rétenteurs.....	3
I.1.1. Définition et composition des hydro rétenteurs	3
I.1.2. Propriétés des hydro-rétenteurs.....	4
I.2. Domaines d'applications des gels hydro-rétenteurs.....	4
I.3. Effet des hydro-rétenteurs sur les végétaux	5
I.3.1. Croissance et développement	5
I.3.2. Point de flétrissement.....	5
I.3.3. La rétention d'eau	6
I.3.4. Le sol.....	6
I.5. Généralités sur les espèces ligneuses	7
I.5.1. <i>Adansonia digitata</i> L.....	7
I.5.1.1. Description botanique de l'espèce.....	7
I.5.1.2. Ecologie et distribution de l'espèce	8
I.5.1.3. Importance de l'espèce.....	8
I.5.2. <i>Balanites aegyptiaca</i> (L.).....	9
I.5.2.1. Description botanique de l'espèce	9
I.5.2.2. Ecologie et distribution de l'espèce	10
I.5.2.3. Importance de l'espèce.....	10
I.5.3. <i>Ziziphus mauritiana</i> Lam.....	10
I.5.3.1. Description botanique de l'espèce	10
I.5.3.2. Ecologie et distribution de l'espèce	11
I.5.3.3. Importance de l'espèce.....	11
I.5.4. <i>Acacia senegal</i> (L.) Willd	12
I.5.4.1. Description botanique de l'espèce.....	12
I.5.4.2. Ecologie et distribution de l'espèce.....	12
I.5.4.3. Importance de l'espèce	13
I.5.5. <i>Moringa oleifera</i> (Lam)	13
I.5.5.1. Systématique et description botanique de l'espèce	13

I.5.5.2. Ecologie et distribution de l'espèce.....	14
I.5.5.3. Importance de l'espèce.....	14
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES	15
II.1. Présentation de la zone et des sites d'étude	15
II.2. Matériel végétal	18
II.3. Production de plants en pépinière.....	18
II.4. Gel hydro rétenteur (Water-Hope).....	18
II.5. Dispositif expérimental et traitement.....	19
II.6. Conduite de l'essai.....	20
II.7. Collecte de données	21
II.8. Traitement et analyse de données	22
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION	23
III.1. Résultats	23
III.1.1. Taux de reprise	23
III.1.2 Variation des paramètres de croissance.....	24
III.2. Discussion	30
III.2.1. Effet du gel sur la reprise des plants.....	30
III.2.2. Effet du gel sur la croissance des plants	30
CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES	32
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	33
ANNEXE 1	40
ANNEXE 2	41

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

ANACIM : Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie

ANAT : Agence Nationale pour l'Aménagement du Territoire

ANOVA: Analyse of variance

AVSF : Agronomes et Vétérinaires Sans Frontière

CIRAD : Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

CNRF : Centre de National de Recherches Forestières

CRZ : Centre de Recherche Zootechnique de Dahra

GMV : Grande muraille Verte

ISRA : Institut Sénégalaise de Recherche Agricole

LNERV : Laboratoire National de l'Elevage et de Recherches Vétérinaires

pH : Potentiel Hydrogène

PPZS : Pole Pastoralisme et Zones Sèches

PSA : Polymer Sub-absorbant

UE : Unité expérimentale

UP : Unité Pastorale

UV : Ultra-violet

LISTE DES FIGURES

Figure 1: pied <i>Adansonia Digitata</i> (A); Fleur (B) et Fruit (C) de <i>Adansonia digitata</i>	8
Figure 2: pied de <i>Balanites aegyptiaca</i> (A); Ecorce (B), fleur (C),et fruits (D) de <i>Balanites aegyptiaca</i>	9
Figure 3: feuilles (A) et Fruits (B) de <i>Ziziphus mauritiana</i>	11
Figure 4: arbre sur pied l (A) et fleur (B) d' <i>Acacia senegal</i>	12
Figure 5: feuilles (A) , fleurs (B) et graines (C) de <i>Moringa oleifera</i>	14
Figure 6: localisation de la zone sylvo-Pastorale du Ferlo.....	15
Figure 7: écarts annuels à la moyenne de la pluviométrie (de 1978 à 2012) au Ferlo	16
Figure 8: localisation des sites d'étude	17
Figure 9: variation de la pluviométrie des sites d'études au cours de ces quatre derniers années	17
Figure 10: water hope dans son contenant de sac de 50 Kg (A), Sec (B), Hydraté (C).....	19
Figure 11: dispositif en split-split plot de la plantation avec du gel hydro rétenteur	20
Figure 12: trouaison avec auderdrill.....	21
Figure 13: variation du taux de reprise des espèces en fonction des sites.....	23
Figure 14: variation du taux de reprise des espèces en fonction des sites.....	24
Figure 15: variation du diamètre au collet en fonction des sites	24
Figure 16: effet combiné gel-eau sur le diamètre au collet	25
Figure 17: effet de l'interaction site-eau (A) et site-gel sur la croissance en hauteur (B)	25
Figure 18: variation du diamètre au collet en fonction des espèces	26
Figure 19: variation de la hauteur en fonction des sites	27
Figure 20: effet combiné gel-eau sur la hauteur	27
Figure 21: Effet combiné gel-site (A) et site-eau (B) sur la hauteur	28
Figure 22: variation de hauteur des espèces en fonction des sites	28

LISTES DES TABLEAUX

Tableau 2: Caractéristiques du gel étudié	19
Tableau 3: Effet des traitements sur la croissance en diamètre des espèces	40
Tableau 4: Effet des traitements sur croissance en hauteur des espèces	41

RESUME

L'échec de nombreux programmes de plantation en zones arides et subdésertiques dégradées incite les chercheurs à développer de nouvelles méthodes plus adaptées. Dans cette optique, un essai testant l'effet du gel hydro-rétenteur et de l'apport en eau sur la croissance (hauteur et diamètre) de cinq espèces forestières a été mis en place en août 2022 dans les unités pastorales de Younouféré et de Vélingara Ferlo (zone sylvopastorale du Ferlo). Ainsi, un dispositif expérimental en split-split plot a été installé avec les facteurs i) dose de gel hydro-rétenteur (0, 3 et 6g), ii) apport d'eau (0, 10 et 20 litres) et iii) espèces forestières (*Adansonia digitata*, *Balanites aegyptiaca*, *Ziziphus mauritiana*, *Moringa oleifera* et *Acacia senegal*), soit un total de 45 traitements. Le taux de reprise des plants a été déterminé à la fin de l'hivernage et leur croissance en diamètre et en hauteur a été évalué six mois après plantation. Les données ont été saisies sur Excel et analysées avec le logiciel RStudio. Les analyses de variance ont révélé qu'il existe une différence significative entre les deux sites pour tous les paramètres mesurés (taux de reprise, diamètres et hauteur). Le gel n'a pas influencé ($p= 0,36$) le taux de reprise des plants dans les sites. Par contre le gel n'influence ($p= 0,44$) pas sur la croissance des espèces. Cependant les meilleurs diamètres et hauteurs sont obtenus avec la dose de 3g de gel. L'eau n'a pas eu d'effet significatif sur la croissance des espèces. Entre les espèces, les analyses ont montré une différence significative sur le diamètre ($p= 2e^{-16}$) et la hauteur ($p= 2e^{-16}$). En effet, les meilleurs diamètres et hauteurs ont été obtenus avec *Adansonia digitata*, *Moringa oleifera* et *Acacia senegal* soient respectivement 1,88 cm /81,12 cm, 1,44 cm /58,61 cm et 0,95 cm /55,45 cm.

Mots clés : hydro-rétenteur, plantation, espèces sahéliennes, Ferlo

ABSTRACT

The failure of many planting programs in degraded arid and sub-desert zones is prompting researchers to develop new, more suitable methods. With this in mind, a trial testing the effect of hydro-retaining frost and water supply on the growth (height and diameter) of five forest species was set up in August 2022 in the pastoral units of Younouféré and Vélingara Ferlo (Ferlo sylvopastoral zone). A split-split plot experimental set-up was set up with the factors i) hydro-retaining gel dose (0, 3 and 6g), ii) water supply (0, 10 and 20 liters) and iii) forest species (*Adansonia digitata*, *Balanites aegyptiaca*, *Ziziphus mauritiana*, *Moringa oleifera* and *Acacia senegal*), for a total of 45 treatments. Plant recovery was determined at the end of wintering, and growth in diameter and height was assessed six months after planting. Data were entered into Excel and analyzed using RStudio software. Analyses of variance revealed a significant difference between the two sites for all parameters measured (recovery rate, diameters and height). Frost had no influence ($p= 0.36$) on the recovery rate of plants at the two sites. On the other hand, gel had no influence ($p= 0.44$) on species growth. However, the best diameters and heights were obtained with the 3g dose of gel. Water had no significant effect on species growth. Between species, analyses showed a significant difference in diameter ($p= 2e-16$) and height ($p= 2e-16$). Indeed, the best diameters and heights were obtained with *Adansonia digitata*, *Moringa oleifera* and *Acacia senegal*: 1.88 cm /81.12 cm, 1.44 cm /58.61 cm and 0.95 cm /55.45 cm respectively.

Key words: hydro-retainer, plantation, Sahelian species, Ferlo

INTRODUCTION

Les forêts couvrent plus de 30% des terres de la planète et abritent plus de 75% de la biodiversité terrestre mondiale (FAO, 2016). En effet, elles contribuent à l'atténuation du changement climatique et à la protection des sols et de l'eau. Elles fournissent également de nombreux produits et services qui contribuent au développement socioéconomique de nombreux pays africains (Ndiaye, 2020).

Dans les écosystèmes sylvopastoraux du Ferlo, les ressources végétales jouent un rôle essentiel dans l'économie rurale (Ngom et *al.*, 2013) ; elles contribuent à l'apport de protéines, de minéraux et de vitamines indispensables à l'équilibre alimentaire des hommes et des animaux, à fournir divers autres services (énergie domestique, bois de service, plantes médicinales). Elles contribuent aussi, à l'accroissement de la productivité des terres et au maintien de l'équilibre des écosystèmes. Cependant, ces milieux subissent depuis plusieurs décennies de fortes perturbations liées d'une part aux conditions naturelles d'aridité, longue saison sèche, forte évaporation, forte variabilité spatio-temporelle des faibles précipitations et d'autre part à une surexploitation des ressources forestières, qui accentuent la péjoration des conditions climatiques (Ngom et *al.*, 2013). De ce fait, beaucoup de travaux ont été menés dans cette partie du pays pour conserver et réhabiliter les ressources naturelles notamment ceux qui 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 (Bakhom, 2013). En outre, l'Initiative de la Grande Muraille Verte (GMV), créée en 2007, 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, a effectué des pas considérables avec un objectif de reverdissement de la zone sahélienne. Cependant, il est important de préciser que le déficit pluviométrique est le facteur limitant à la réussite des activités de reboisement prévues dans les programmes de la GMV (Kebe et *al.*, 2020).

Pour contribuer à améliorer les taux de réussite des campagnes de reboisement en zone sylvopastorale, des études sont menées à travers un projet de reforestation à grande échelle sur un horizon de 10 ans autour du tracé de la GMV. Il est mis en œuvre par le Consortium *Dundi Ferlo* constitué du Pôle Pastoralisme et Zone Sèches (PPZS), à travers le CIRAD et l'ISRA, et les organisations non gouvernementales (ONG) WeForest et AVSF. Ainsi, des innovations en termes de plantations d'espèces forestières à intérêt communautaire ont été mises en place

suivant un gradient pluviométrique Nord–Sud dans les Unités Pastorales (UP) de Younouféré et de Vélingara Ferlo afin d’améliorer les méthodes classiques de reboisement.

Cette étude a pour objectif général de contribuer à la restauration des terres en zone pastorale afin d’améliorer l’état des écosystèmes forestiers sahéliens à travers le reboisement.

Spécifiquement, il s’agit d’évaluer l’effet des apports de gel hydro-rétenteur sur le taux de reprise et l’effet des traitements sur la croissance de *Adansonia digitata*, *Acacia senegal*, *Balanites aegyptiaca*, *Moringa oleifera* et *Ziziphus mauritiana*.

Ce travail de recherche comporte un premier chapitre qui est consacré à la synthèse bibliographique relative à la présentation des espèces et à une généralité sur les hydro rétenteurs. Ensuite, un deuxième chapitre va faire le point sur le matériel et les méthodes utilisées, suivi enfin par un troisième chapitre qui présente les résultats obtenus et la discussion.

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Généralités sur les hydro-rétenteurs

I.1.1. Définition et composition des hydro-rétenteurs

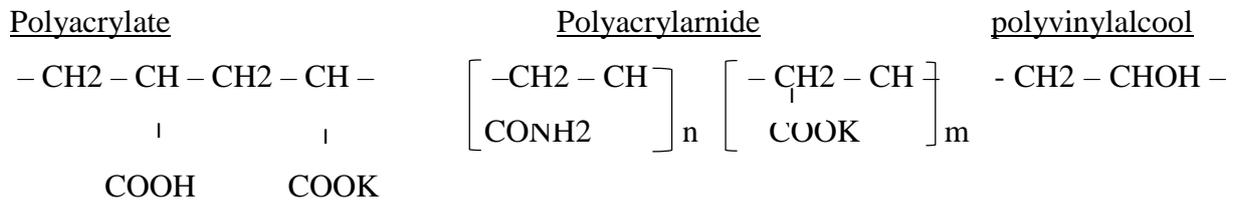
Les hydro-rétenteurs sont des polymères hydrophiles ayant la propriété d'absorber de 20 à 500 fois leur poids sec en eau, selon le type de molécule chimique utilisé (Jobin, 2000). Ce caractère fortement hydrophile, permet aux hydro-rétenteurs d'améliorer les propriétés hydriques des substrats de culture (Jobin, 2000). Les hydro-rétenteurs sont des polymères super absorbants qui, mis en contact avec l'eau, forme un gel, physique ou chimique, appelé hydrogel. Selon Hoffman (2002), les hydrogels forment un réseau tridimensionnel maintenu par des liaisons pouvant être d'origine physique (par exemple : liaison hydrogène) ou chimique (liaison covalent). Selon les manufacturiers, les hydro-rétenteurs permettraient de réduire de 50% la quantité d'eau utilisé lors de l'irrigation, de retarder l'atteinte du point de flétrissement, d'augmenter l'aération du sol et de réduire de 20% la quantité de fertilisants solubles nécessaires (Jobin, 2000).

Les hydro-rétenteurs se présentent sous forme de petits granules dont la taille peut varier entre 3 mm et 1 cm de diamètre et sont vendus sous forme de pots ou de sacs de différentes contenances qui, incorporés à la terre gonflent avec la pluie ou l'eau d'arrosage et retiennent l'eau (Wiki water, 2012). Une fois chargés d'eau, ils peuvent la restituer à la demande pour les plants. Donc c'est un réservoir d'eau supplémentaire pour le système sol-plante qui contribue à la diminution du stress hydrique par l'augmentation de l'eau mise à la disponibilité de la plante dans le sol (Agaba et al., 2010). Cette réserve peut être facilement transférée à l'arbre (Defaa et al., 2015) mitigant ainsi les effets de sécheresse.

Ainsi, l'utilisation des gels hydro-rétenteurs dans les plantations forestières peut être considérée comme une méthode pour réduire le stress du matériel végétal transplanté avant la formation de nouvelles racines ou jusqu'à ce que la pluie fournisse l'humidité nécessaire aux plantules (Defaa et al., 2015).

Les hydro-rétenteurs sont constitués de millions de monomères liés entre eux par des liaisons covalents, formant de longues chaînes linéaires ramifiées (Molyneux, 1983). Selon James et Richards (1986), cités par Jobin (2000), on distingue trois classes d'agents hydro-rétenteurs : les polymères naturels habituellement à base d'amidon, les polymères synthétiques dérivants, soit de l'acide acrylique (polyacrylate, polyacrylamide), soit du polyvinylalcool. De nombreuses

molécules intermédiaires, sous forme de copolymères, s'ajoutent aux trois groupes mentionnés (copolymère d'acrylate et d'acrylamide; amidon greffé d'acrylate, etc.). Voici, à titre d'exemple, la composition chimique de trois molécules hydrophiles synthétiques utilisées en horticulture :



I.1.2. Propriétés des hydro-rétenteurs

Les hydro-rétenteurs sont utilisés afin de mettre au profit de l'horticulture et de l'agriculture en général leur grande capacité de rétention en eau. Cette caractéristique s'explique par le fait que les molécules d'hydro-rétenteurs portent sur leur longue chaîne carbonée une grande quantité de groupements polaires (Mikkelsen, 1994 cités par Jobin, 2000). Ces groupements sont habituellement des carboxyles (COO-) ou des hydroxyles (OH-). Les molécules d'eau étant des dipôles (deux charges positives et une charge négative), les parties positives de l'eau (H+) forment des liens électrostatiques avec les groupements négatifs des hydro-rétenteurs. De plus, suite à la liaison d'une molécule d'eau à un site polaire, une force de répulsion se crée entre la charge négative de la molécule d'eau et le groupement polaire négatif voisin. Cela provoque l'expansion du polymère lors de l'hydratation, augmentant ainsi l'espace disponible aux molécules d'eau. Ces deux phénomènes expliquent les propriétés hydrophiles des polymères hydro-rétenteurs (Jobin, 2000).

Des études ont confirmé que les gels sont sensibles à l'action des rayons UV et se dégradent en oligomères. Le polyacrylate devient beaucoup plus sensible à la dégradation microbologique aérobie et anaérobie et peut se dégrader à des taux de 10-15% par an en eau. Les molécules du gel sont trop volumineuses pour être absorbées par les végétaux, ils ont un potentiel de bioaccumulation nul (Ekebafé et al., 2001).

I.2. Domaines d'applications des gels hydro-rétenteurs

Les hydrogels sont utilisés en médecine, en cosmétique et surtout dans le domaine de l'agriculture.

L'existence d'eau dans le sol est vitale pour les végétaux. L'hydrogel a fourni des solutions face aux pénuries d'eau douce pour l'agriculture. Il permet d'augmenter la productivité des cultures

sans altérer le sol ni détruire l'environnement et les ressources naturels. L'hydrogel de polymères influence effectivement la perméabilité du sol, la densité, la structure, la texture et le taux d'évaporation et d'infiltration de l'eau à travers les sols (Ekebafé et *al.*, 2011).

L'hydrogel libère de l'eau et des nutriments aux plantes lorsque le sol autour de la zone racinaire des plantes commence à se sécher (Huttermann et *al.*, 1999). L'application d'hydrogel polymère au sol améliore la disponibilité de l'eau dans le substrat, augmente la teneur en eau et en chlorophylle des feuilles des plantes dans les conditions de région aride (Khadem et *al.*, 2010). L'hydrogel favorise également le développement des racines, la croissance des plantes, minimise les pertes de nutriments par lessivage et contribue à l'amélioration de la perméabilité du sol ; il diminue également les effets néfastes du stress hydrique après la transplantation (El-Asmar et *al.*, 2017).

I.3. Effet des hydro-rétenteurs sur les végétaux

I.3.1. Croissance et développement

Les résultats de l'étude réalisée par Defaa et *al.* (2015), sur l'effet de l'hydrogel en parcelle de régénération sous climat aride sur la survie et la croissance des plantules d'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels), ont des effets significatifs de l'amendement du sol en polymère subabsorbant (PSA) sur le diamètre au collet et sur la croissance en hauteur des plants après la plantation. L'utilisation des polyter (hydro-rétenteur) sur la production de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) et d'aubergine (*Solanum melongena* L.) a permis d'optimiser la croissance et le développement de ces deux espèces végétales testées en condition de stress hydrique au Burkina Faso (Konfée et *al.*, 2019). Toujours, d'après l'étude de Konfée et *al.* (2019) sur *Solanum lycopersicum* L. et *Solanum melongena* L., les traitements avec du polyter ont donné un nombre de fleurs plus élevé mais aussi ont produit les biomasses aérienne et racinaire les plus importantes par rapport aux traitements sans polyter.

I.3.2. Point de flétrissement

Le point de flétrissement est le seuil au-delà duquel l'humidité du sol ne permet plus à une plante de prélever l'eau dont elle a besoin. Les hydro-rétenteurs permettraient de prolonger le délai avant l'atteinte du point de flétrissement des végétaux (Jobin, 2000). Wang (1989) a noté, suite à l'ajout d'hydro-rétenteur à un substrat à base de tourbe, une augmentation de trois jours du délai avant l'atteinte du point de flétrissement pour *Codiaeum variegatum*. Selon Gehring et Lewis (1980), le temps avant le flétrissement des *Zinnia elegans* et des *Tagetes erecta* a été

prolongé de 37% et 45% respectivement lors de l'utilisation de vinera (hydro rétenteur). Toutefois, Lamont et O'connell (1987) cités par Jobin (2000) n'ont pas noté d'effet sur le temps avant l'atteinte du point de flétrissement du *Petunia x hybrida*.

I.3.3. La rétention d'eau

En raison de la crise des ressources en eau, une agriculture économique en eau est essentielle pour le développement durable. Le pouvoir de rétention en eau est une propriété qui peut être modifiée suite à l'incorporation d'hydro-rétenteurs aux substrats. L'amplitude de ces modifications varierait selon la dose de produit utilisée, le type de substrat et par l'utilisation d'agents mouillants. De plus, la simple incorporation des polymères dans les substrats apporte des changements aux propriétés de rétention des hydro-rétenteurs (Jobbin, 2010). Les hydro-rétenteurs augmentent la réserve d'eau à proximité du système racinaire, aussi ils élèvent la capacité du champ des différents sols qui également augmente l'eau disponible pour les plantes et la période de disponibilité (Montesano et *al.*, 2015). En outre, des études antérieures indiquent une bonne capacité du polymère hydro-rétenteur à augmenter la rétention d'eau, l'absorption d'eau et l'efficacité d'utilisation de l'eau, à réduire le stress hydrique des plantes et à mettre en œuvre la performance des plantes entraînant une croissance accrue (Belen-Hinojosa et *al.*, 2004). L'utilisation d'hydrogel est particulièrement utile dans les régions arides et semi-arides où l'eau d'irrigation est limitée (Bakass et *al.*, 2002).

I.3.4. Le sol

Le sol plus humide est considéré comme un facteur limitant pour la production agricole dans les régions arides et semi-arides (Hayat et Ali, 2004). Les hydro rétenteurs agricoles peuvent modifier les différentes propriétés du sol par divers mécanismes tels que:

- Mettre en œuvre la capacité de rétention d'eau du sol (Hayat et Ali, 2004) ;
- Améliorer la rétention d'eau sur différents types de sol (Han et *al.*, 2010) ;
- Augmenter l'efficacité d'utilisation de l'eau (Koupai et *al.*, 2008).

I.5. Généralités sur les espèces ligneuses

I.5.1. *Adansonia digitata* L.

I.5.1.1. Description botanique de l'espèce

Le baobab africain (*Adansonia digitata*), un arbre massif de 18 à 25 m de hauteur et dont le tronc lisse, quelquefois irrégulièrement tuberculé en forme de bouteille ventrue peut dépasser de 12 m pour son diamètre. L'écorce est lisse et grise. Les feuilles, caduques en saison sèche, sont alternes, longuement pétiolées (8-16 cm), à limbe entier ou denticulé (Kébenzikato et *al.*, 2015).

La cime de *A. digitata* est arrondie et souvent assez régulière (Diop et *al.*, 2005), les fleurs sont de couleur blanche parfois verdâtre ou brunâtre (Figure 1). Elles mesurent 8 à 20 cm de diamètre et sont suspendues à un pédoncule de 15 cm à 1 m de long. *A. digitata* est ainsi la seule espèce qui présente des fleurs pendulaires (Diop et *al.*, 2005). La floraison se fait pendant la saison des pluies et la pollinisation est principalement assurée par des chauves-souris (Kébenzikato et *al.*, 2015).

Le fruit du baobab est composé d'une enveloppe extérieure (épicarpe). L'épicarpe ou la gousse ligneuse contient la pulpe interne du fruit (endocarpe) qui est divisée en petites lamelles farineuses, déshydratées et poudreuses renfermant de multiples graines et filaments (Gbénou, 2018). La forme des fruits varie de subsphérique à globuleux ou ovoïde de 7,5 à 54 cm de long. Cette dernière de 0,5 à 1 cm d'épaisseur est ligneuse, dure, vert-brunâtre ou jaunâtre-gris et remplie d'une pulpe de couleur blanchâtre à rose-pâle. Ses graines sont parfois rondes, ovales ou de formes irrégulières et de couleur variable, noire à rougeâtre (Kébenzikato et *al.*, 2015).

L'arbre développe un système racinaire latéral assez important. Les radicelles peuvent s'étendre jusqu'à 50 m du tronc et 10 m de profondeur. Ce volume d'exploitation souterraine permet aux baobabs de trouver l'eau nécessaire à leur végétation (Diop et *al.*, 2005). Au Sénégal, la floraison commence en juin avec le début de la saison des pluies. Les feuilles apparaissent en même temps que les fleurs et persistent jusqu'au mois d'octobre. Entre août et octobre, le fruit se forme et croît pour atteindre sa taille finale. La récolte se déroule entre janvier et février principalement, mais elle a aussi lieu tout au long de l'année car le fruit se conserve pendant de long mois sur l'arbre (Diop et *al.*, 2005).



Figure 1: pied *Adansonia Digitata* (A); Fleur (B) et Fruit (C) de *Adansonia digitata*

I.5.1.2. Ecologie et distribution de l'espèce

Adansonia digitata L. pousse typiquement entre les isohyètes 600 à 900 mm de pluie par année, mais peut supporter de 200 à 1400 mm de précipitations. Il résiste donc bien à la sécheresse (Savard, 2003). Il est largement répandu sur le continent africain. Ceci est lié au fait qu'il est peu exigeant à la qualité du sol, mais a néanmoins une préférence pour les sols calcaires (Diop et *al.*, 2005).

L'espèce est indigène des steppes sahéliennes et des savanes soudano-sahéliennes. Cette espèce est présente dans la plupart des régions semi-arides et subhumides du sud du Sahara. *Adansonia digitata* est souvent localisée à proximité des habitations (Diop et *al.*, 2005). Elle

I.5.1.3. Importance de l'espèce

Différentes parties de *A. digitata* L. sont exploitées à des fins diverses. Il s'agit d'une usage alimentaire, thérapeutique, agropastoral, domestique, psycho-magique (qui agit sur la psychologie de l'individu pour donner un résultat positif ou négatif de manière mystique), cosmétique et divertissement (Kébenzikato et *al.*, 2015). Les feuilles sont récoltées dans les formations naturelles et consommées fraîches ou séchées au soleil. Une fois déshydratées, elles peuvent être réduites en poudre et tamisées ou stockées entières pour la vente ou la consommation en saison sèche. Ces feuilles rendent la sauce plus épaisse, gluante (caractère recherché) et savoureuse (Savard, 2003). Selon Diop et *al.* (2005), la pulpe de baobab est utilisée directement comme ingrédient dans diverses préparations pour ses propriétés liante, épaississante et acidifiante. Elle entre ainsi dans la composition de nombreuses préparations céréaliers telles les bouillies ou couscous (par exemple le « ngalakh » au Sénégal), de sauces ou de crèmes d'accompagnement (par exemple, crème sucrée à base d'arachides grillées et pilées au Sénégal). Additionnée d'eau ou de lait, la pulpe du fruit du baobab peut être utilisée pour obtenir des boissons sucrées riches en vitamine C. Les graines servent à préparer les sauces

ou la moutarde intervenant dans le traitement de certains maux, particulièrement la peste aviaire ou du bétail (Kébenzikato et *al.*, 2015). En plus des utilisations alimentaires, certaines parties de la plante sont traditionnellement valorisées pour la fabrication : de cordages ou vanneries avec les fibres de l'écorce interne ou les racines, de récipients avec les coques des fruits, de colle avec le pollen des fleurs, de teintures avec les racines ; utilisation des coques comme combustible, de décoctions d'écorce pour tanner les peaux, etc. (Diop et *al.*, 2005). Selon Owen (1970, cité par Savard, 2003), les différentes parties du baobab ont pour de nombreux africains une signification nutritionnelle et médicinale. Les utilisations médicinales du baobab sont si nombreuses qu'on peut appeler cet arbre : la pharmacie des gens de la savane (Gustad, 2001, cités par Savard, 2003).

I.5.2. *Balanites aegyptiaca* (L.)

I.5.2.1. Description botanique de l'espèce

Appelée dattier du désert en Français, *Balanites aegyptiaca* est un arbre ou arbuste à cime sphérique, aplatie ou irrégulière, atteignant 8 à 9 m de haut. Le port est remarquable avec des branches retombantes souples, armées de longues épines droites, alternes ou disposées plus ou moins en spirale, insérées au-dessus de l'aisselle des feuilles. Son écorce grise et lisse au stade jeune devient fissurée et crevassée chez les sujets âgés (Arnaud, 2009). Les feuilles, courtement pétiolées, sont composées, bifoliolées, atteignant 1 à 7 cm de long, insérées sous la base des épines (Arbonnier, 2002) (Figure 2). Les inflorescences sont des petits racèmes disposés à l'aisselle des feuilles, composées de fascicules, jusqu'à 3 cm de large. La fleur jaune verdâtre composée de 5 pétales et 5 sépales est sur un pédicelle de 1 cm de long environ. Les fruits en forme d'olive, de 2 à 3 cm de longueur sont des drupes, d'abord verts puis jaunes à maturité. La pulpe du fruit comestible entoure un noyau dur, ovoïde et pointu (Arnaud, 2009).



Figure 2: pied de *Balanites aegyptiaca* (A); Ecorce (B), fleur (C), et fruits (D) de *Balanites aegyptiaca*

I.5.2.2. Ecologie et distribution de l'espèce

Balanites aegyptiaca est une espèce des zones sahéliennes et soudano-sahéliennes. L'arbre pousse avec succès dans différents types de sol, allant du sol alluvial au sol sablonneux (Fadl, 2013). On le rencontre en Afrique tropicale sèche, du Sénégal au Soudan, en Afrique orientale, de l'Egypte à la Zambie, en Arabie et en Inde (Arbonnier, 2002).

I.5.2.3. Importance de l'espèce

Balanites aegyptiaca est une espèce à usages multiples : alimentaires, médicinales, fourragères et socioculturelles. En effet, toutes les parties de la plante sont utilisées et jouent un rôle important dans la satisfaction des besoins quotidiens des populations dans son aire de distribution naturelle (Arbonnier, 2002). D'après une étude réalisée par Brahim et al. (2017), les usages alimentaires de *Balanites aegyptiaca* concernent d'abord le fruit (100%) dont les parties les plus importantes sont la pulpe et le noyau. La pulpe de *Balanites aegyptiaca* entre dans la préparation de jus, de bouillie et de la sauce. Les caractéristiques biochimiques de la pulpe du fruit de *B. aegyptiaca* montrent une qualité nutritionnelle acceptable avec une valeur énergétique élevée à cause de la présence des sucres. Le fruit écrasé de l'arbre est utilisé comme source de bio diesel aux Etats-Unis (Fadl, 2013). Les jeunes feuilles et les pousses tendres sont utilisées comme légume, qui est bouilli, pilé, puis frit ou additionné de graisse pour le préparer. Les feuilles de *Balanites aegyptiaca* sont très riches en protéines et très appréciées par le bétail (Fadl, 2013). Le bois se travaille facilement et permet de fabriquer des cuillères, des pilons, des mortiers, des poignées, des tabourets et des peignes en bois (Fadl, 2013). De l'huile, riche en protéines, extraite de l'amande est aussi utilisée dans la préparation de la sauce (Brahim, 2017). Dans le domaine médical, les feuilles de *B. aegyptiaca* sont utilisées contre *Salmonella typha* qui cause la fièvre typhoïde (Fadl, 2013).

I.5.3. *Ziziphus mauritiana* Lam

I.5.3.1. Description botanique de l'espèce

Le jujubier est un arbuste épineux ou un buisson dont la hauteur peut aller de 3-4 m jusqu'à 10-16 m ou plus. Son tronc mesure environ 30 cm, il atteint rarement 20 m de hauteur (Koné et al., 2009). Les rameaux, fins, blancs, pubescents, tomenteux, sont garnis d'épines aiguës brunes, disposées à l'aisselle des feuilles par paire (Kabore, 2002). Les feuilles sont petites simples alternes, pétiolées caractérisées par un limbe de forme variable (elliptique, ovale) à bord finement crénelé, à sommet arrondi, long de 1,3 à 7 cm et large de 1 à 4 cm (Arbonnier, 2000).

Le fruit du jujubier est une drupe glabre, globuleuse ou ovale, dont le diamètre (1,2-1,5 cm) varie énormément (Figure 3). Certaines variétés ovales cultivées atteignent jusqu'à 3 à 5 cm de diamètre. Les fruits contiennent un gros noyau enveloppé dans une pulpe blanchâtre plus ou moins farineuse. La peau est verte, virant au jaune-vert puis au rouge-brun au cours de la maturation (Azam-Ali et al., 2006). *Ziziphus mauritiana* possède un système racinaire pivotant et puissant lui permettant de se développer sur une variété de sols. Ses racines arrivent à s'ancrer entre les rochers et pénètrent profondément le sol (Kabore, 2002).



Figure 3: feuilles (A) et Fruits (B) de *Ziziphus mauritiana*

I.5.3.2. Ecologie et distribution de l'espèce

Cette plante s'adapte très bien aux conditions environnementales chaudes et sèches. Elle pousse dans les régions tropicales et subtropicales les plus sèches du monde (Lucien, 2012). L'espèce se développerait bien sur les sols sableux, limono-sableux profonds à pH neutre ou faiblement alcalins tout en évitant les sols argileux (Kabore, 2002).

Elle est très répandue dans les zones arides et semi arides de l'Afrique (Burkina Faso, Cameroun, Gambie, Guinée, Mali, Niger, Sénégal...) et de l'Asie du sud (Inde, Pakistan, Bangladesh, Sri Lanka) (Lucien, 2012). En raison de son adaptation aux conditions climatiques difficiles, le jujubier joue un rôle important dans la sécurité alimentaire des populations locales (Lucien, 2012). Selon Von Maydell (1983, cités par Kabore, 2002), les précipitations annuelles tolérables par l'espèce varient entre 150 et 500mm. Le caractère pivotant et puissant du système racinaire de l'espèce lui permet de se développer sur une large variété de sols.

I.5.3.3. Importance de l'espèce

L'utilisation qui est faite des différentes parties du jujubier est multiple. En effet, les feuilles sont utilisées comme fourrage pour les bovins, les caprins et ovins. Les feuilles, les racines et l'écorce sont utilisées à des fins médicinales. Cependant, le fruit constitue l'intérêt principal du jujubier (Koné et al., 2009). Pouvant se consommer frais ou sec, il constitue un fruit très

agréable fournissant en période de disette un apport alimentaire non négligeable. Sèche, la pulpe peut être réduite en pâte ou en farine servant à diverses utilisations (Gallettes, gâteaux, pains ou condiments). Fraîche, elle sert à la fabrication de confiture délicieuse riche en vitamine C et de jus très apprécié. Le bois de jujubier, brun-rouge, dur et dense, résistant aux termites et facile à travailler est utilisé pour la fabrication de manches d'outils, d'ustensiles de cuisine, de jougs de bœufs, de lits et de jouets (Kabore, 2002).

I.5.4. *Acacia senegal* (L.) Willd

I.5.4.1. Description botanique de l'espèce

Acacia senegal est un arbre ou arbuste épineux, de 2 à 6 m (rarement 8 m) avec une couronne en forme de parasol appartenant à la famille des *Fabaceae*. Les branches sont très ramifiées et les rameaux supérieurs sont divergents et ascendants. L'écorce est gris clair à brun clair et lisse sur les jeunes rameaux. Les épines sont par trois : les deux latéraux sont courbés vers le haut et la médiane vers le bas. Les feuilles, petites vert gris sont bipennées (Samb, 2010). Les fleurs, blanches et pédonculées, sont situées sur des épis de 3 à 8 cm (Figure 4). Les gousses, longues de 7 à 10 cm et large de 2 cm, sont aplaties finement pubescentes, grisâtres, et contiennent 3 à 6 graines aplaties, rondes, brun clair. La période de floraison se situe avant les premières pluies, mais parfois aussi en fin de saison de pluies (Samb, 2010).



Figure 4: arbre sur pied (A) et fleur (B) d' *Acacia senegal*

I.5.4.2. Ecologie et distribution de l'espèce

Résistant à la sécheresse, *A. senegal* est l'espèce caractéristique dans les parties les plus sèches du Soudan anglo-égyptien et du Sahara septentrional et se retrouve dans toute la vaste région allant du Sénégal à la mer Rouge jusqu'à l'Est de l'Inde (Boukhezna et Gherbi, 2018). C'est une espèce très résistante à la sécheresse, poussant sous 100 à 800 mm des pluies, de préférence avec 300 à 400 mm et une période de sécheresse de 8 à 11 mois. *A. senegal* préfère les sols

sableux et les dunes rouges. Il prospère aussi sur les sols limoneux légers, les sols bruns argileux (Samb, 2010). L'espèce ne pousse qu'exceptionnellement sur des sols argileux lourds avec 800 mm de pluie par an. Les peuplements économiquement intéressants se situent en Mauritanie, au Mali, au Niger au Tchad et au Soudan (Samb, 2010).

I.5.4.3. Importance de l'espèce

A. senegal convient particulièrement dans les projets de végétalisation et pour la fixation des dunes (agroforesterie), pour l'amélioration des sols par l'apport de litière organique et par la fixation de l'azote (Samb, 2010). L'*Acacia senegal* exsude une gomme dite « dure » qui de par ses multiples propriétés présente le plus d'intérêt sur le plan économique en comparaison de gommes dites « friables » produites par d'autres acacias (*Acacia seyal* essentiellement) qui font également l'objet de récolte (Kissi, 2010). La gomme arabique reste un produit difficilement substituable dans l'industrie alimentaire, pharmaceutique, chimique et cosmétique (Djarsia, 2008). La population locale consomme des quantités importantes pour la préparation des plats spéciaux et pour la médecine humaine ou vétérinaire, ainsi que pour des cosmétiques et des œuvres d'art. Selon Samb (2010), la gomme arabique est dans le domaine du textile ; elle est aussi utilisée comme émulsifiant pour les huiles d'agrumes, dans l'industrie du papier (collage des étiquettes, enveloppes). Parmi les arbres fourragers sahéliens, les feuilles d'*Acacia senegal* sont de très bonne valeur alimentaire, avec une teneur élevée en azote digestible et une faible teneur en tannins, ce qui en fait un fourrage de toute première qualité (Ickowicz et al., 2005)

I.5.5. *Moringa oleifera* (Lam)

I.5.5.1. Systématique et description botanique de l'espèce

Moringa oleifera appelée simplement Moringa, est un arbre atteignant 10 à 12m de hauteur et dont le diamètre du tronc varie entre 20 et 40cm (Mailis et Lydia, 2021). Ses branches poussent de manière désorganisée, son écorce est de couleur grise foncée violacée ou blanchâtre et son feuillage est persistant (Yusuf, 2016). Les feuilles de *Moringa* sont alternes, pétiolées (Figure 5) (Bosch, 2004). Selon Maevaland (2006), ses fleurs mesurent 2,5 cm de large, se présentent sous forme de panicules axillaires tombantes de 10 à 25 cm. Elles sont généralement abondantes et dégagent une odeur agréable. Elles sont blanches ou couleur crème, avec des points jaunes à la base. Les fleurs de *Moringa* sont bisexuées et zygomorphes (Bosch, 2004). Les fruits forment des gousses à trois lobes, mesurant 20 à 60 cm de long, qui pendent des branches. Lorsqu'ils sont secs, ils s'ouvrent en trois parties. Chaque gousse contient entre 12 et 35 graines (Maevaland, 2006). Les graines sont de forme arrondie, ailées, avec une coque marron semi

perméable. Le poids moyen d'une graine est de 0,3g dont 25% sont représentés par la coque. La production annuelle de l'arbre est de 15 000 à 25 000 graines (Makkar et Becker, 1996).



Figure 5: feuilles (A) , fleurs (B) et graines (C) de *Moringa oleifera*

(Source : Mailis et Lydia, 2021)

I.5.5.2. Ecologie et distribution de l'espèce

Moringa oleifera est arbuste très résistant à la sécheresse, se retrouve au niveau des zones très arides comme le Sahara ; mais il préfère les climats semi-tropicaux humides. Son introduction en Afrique de l'Est a eu lieu au début du 20^{ème} siècle par le biais du commerce et des échanges maritimes durant cette période (Foidl et *al.*, 2001).

Moringa oleifera est une plante originaire d'Inde, où elle est déjà largement connue. Elle pousse dans les zones tropicales et subtropicales. *M. oleifera*, arbre tropical, courant en Afrique, est passé, en une décennie, du statut de plante inconnue à celui de nouvelle ressource alimentaire et économique pour les pays du Sud (Atakpama et *al.*, 2014).

I.5.5.3. Importance de l'espèce

M. oleifera se distingue par une grande utilité de toutes ses parties dans plusieurs domaines. Elle est d'usage courant en médecine populaire et en alimentation humaine et animale dans les sociétés africaines et asiatiques (Aberra et *al.*, 2011).

La valeur nutritive des feuilles de *Moringa* est d'une richesse rarement observée. En effet, les feuilles contiennent une très grande concentration de vitamines, de protéines, de certains minéraux et, phénomène assez rare pour une plante, elle possède les 10 acides aminés et les acides gras essentiels. Les feuilles peuvent se consommer fraîches ou en poudre et même associées aux épices comme le piment (Broin, 2005). Elles peuvent également être préparées en soupe ou en salade. Les jeunes gousses vertes peuvent être consommées bouillies comme des haricots (Foidl et *al.*, 2001). Les graines de *Moringa* contiennent 42% d'huile. L'huile de *Moringa* est équivalente sous tous ses aspects à une huile de qualité supérieure telle que l'huile d'olive et présente les mêmes avantages que celle-ci pour la santé (Creighton, 2001).

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

II.1. Présentation de la zone et des sites d'étude

L'étude a été réalisée au Sénégal, dans la partie Nord du pays appelée le Ferlo (Figure 6). C'est la zone sylvopastorale du Sénégal située au cœur de la zone sahélienne ouest africaine (Diallo *et al.*, 2012). Le Ferlo est une entité bioclimatique définie par son climat tropical aride à semi-aride, contrôlé par la mousson du Golfe de Guinée et les alizés maritimes et continentaux (Fall, 2014).

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). La température moyenne annuelle maximale de la zone est de 37,3°C ; Il existe deux grandes périodes de régimes thermiques dans la région du Ferlo (Ba, 2018). Une période de basse température qui couvre les mois de Juillet à Janvier avec une moyenne de 22°C notée en Décembre. Une période de forte température allant de Février à Juin dans laquelle on retrouve des valeurs atteignant jusqu'à 48°C.

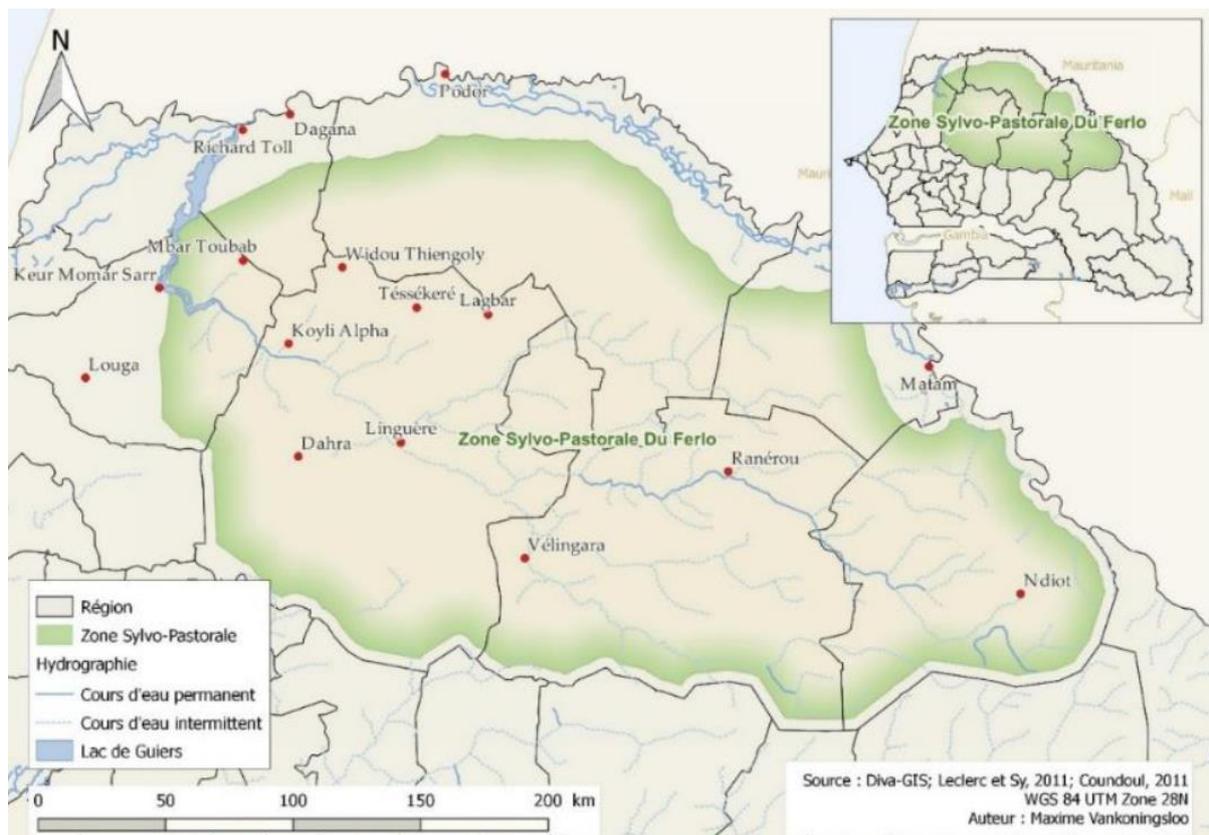


Figure 6: localisation de la zone sylvo-Pastorale du Ferlo

Pour les deux stations les plus proches (Louga et Linguère), la pluviométrie enregistrée est habituellement comprise entre 100 et 500 mm (ANAMS, 2013) avec une répartition irrégulière des précipitations. Les moyennes pluviométriques de 1978 à 2012 enregistrées dans ces stations

sont respectivement 295,3 et 405,5 mm/an (Ndong et *al.*,2015). Cela traduit un gradient pluviométrique décroissant d'est en ouest. Entre 1934 et 2012 la variation interannuelle pluviométrique de la zone montre l'alternance de deux périodes (figure 7) : de 1934 à 1969 une période excédentaire par rapport à la moyenne 1978-2012 puis de 1970 à 2008 une période déficitaire (Ndong et *al.*,2015).

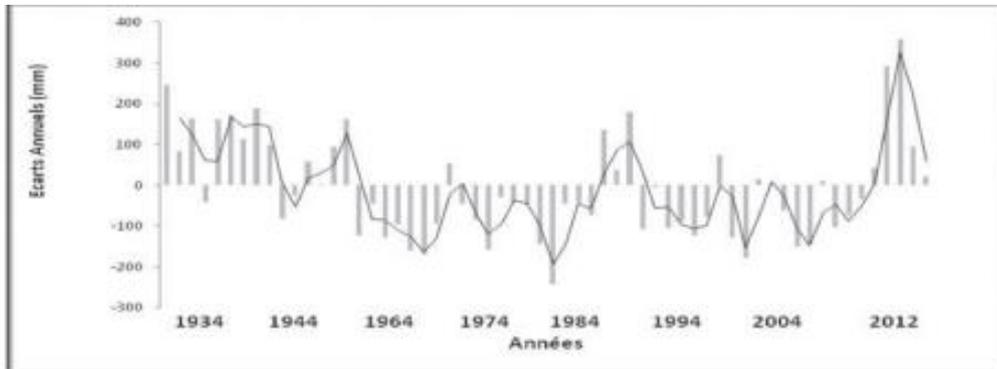


Figure 7: écarts annuels à la moyenne de la pluviométrie (de 1978 à 2012) au Ferlo

Sur le plan morpho pédologique, la zone appartient aux formations sédimentaires du Continental terminal. Les sols sont sableux, sablo-argileux et argilo-sableux et supportent une végétation composée de ligneux à dominance arbustive, avec un tapis herbacé en majorité composé de graminées annuelles, plus ou moins continu, pouvant atteindre 0,5 à 1 m de hauteur (Akpo, 1992) à la fin de la saison des pluies.

Dans le cadre de cette étude, un essai multi site a été mis en place et les expérimentations ont été menées dans deux (2) sites distincts par leur position suivant le gradient pluviométrique Nord – Sud (200 à 500-600mm). Ces essais ont été réalisés dans des unités pastorales (UP) de Younoufé et Vélingara Ferlo situées dans la zone d'emprise de la Grande Muraille Verte (GMV) (Figure 8).

L'**unité pastorale** de **Younoufé** est située dans la Commune d'Oudalaye, de l'arrondissement de Vélingara-Ferlo, département de Ranérou-Ferlo et de la région de Matam. Elle s'étend sur la réserve sylvo pastorale de Younoufé (16 194 ha) et la forêt classée de Louguéré Thioly. En 2022, la pluviométrie de cette zone était estimée à 468,8 mm (Anacim,2023) (figure 9).

L'**unité pastorale** de **Vélingara** se situe dans le département de Ranérou-Ferlo et arrondissement de Vélingara-Ferlo (Figure 6). L'UP est également couverte par les réserves sylvopastorales de Sab Sabré avec 11 294 ha, Mbem-Mbem avec 13 759 ha et de Vélingara qui fait 18 275 ha. Les précipitations annuelles de Vélingara Ferlo indiquent un cumul de 631 mm

(Figure 9) au cours de l'année 2022 (Anacim, 2023) contre 898 mm en moyenne sur les trente dernières années. Ce qui traduit une baisse considérable des précipitations.

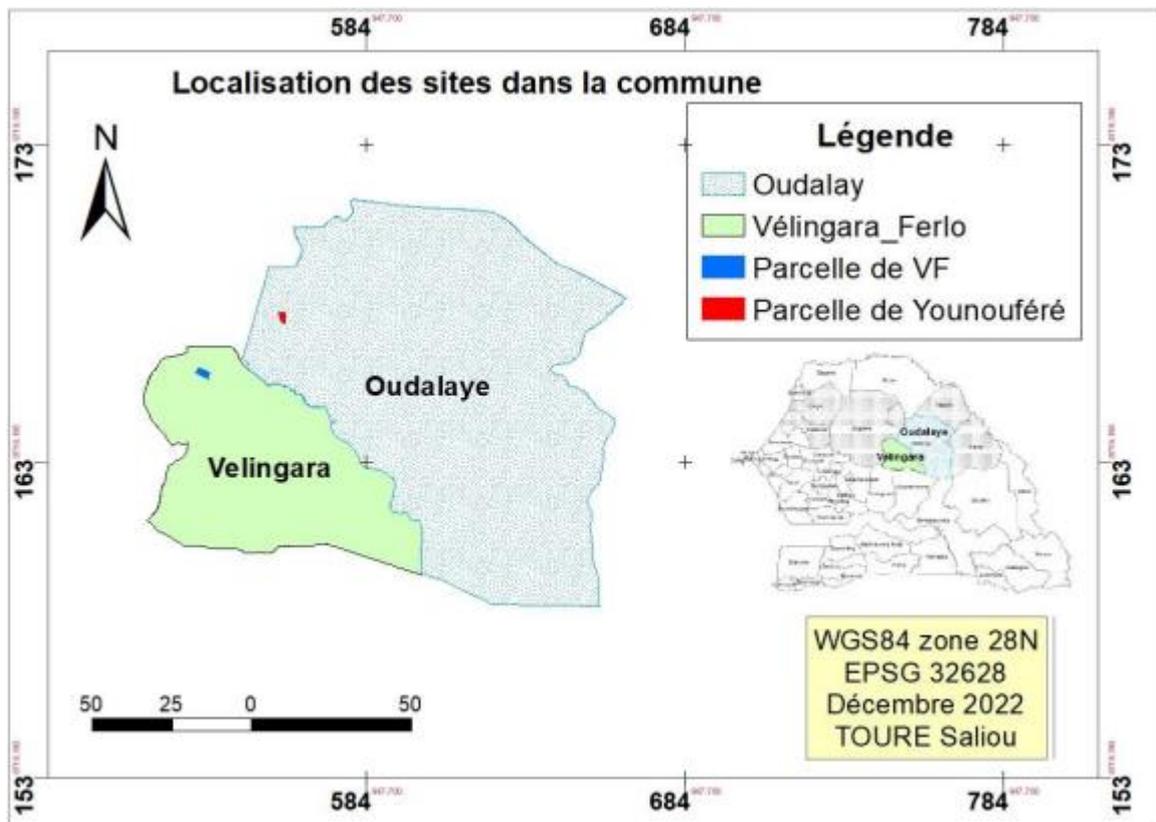


Figure 8: localisation des sites d'étude

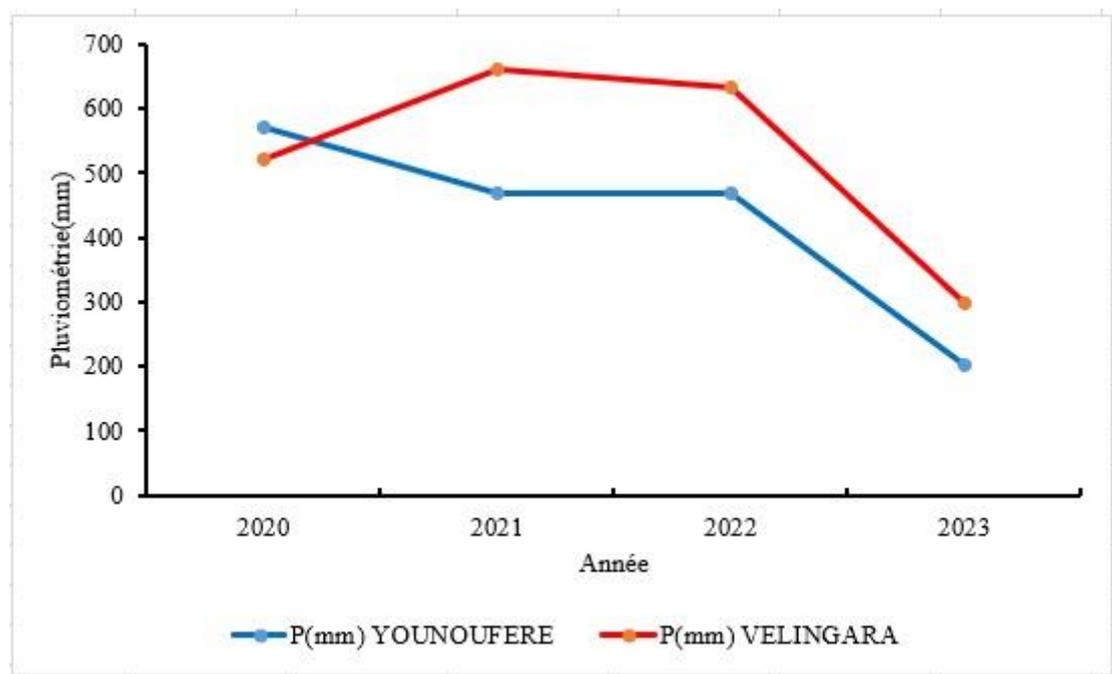


Figure 9: variation de la pluviométrie des sites d'études au cours de ces quatre dernières années

II.2. Matériel végétal

Pour cette étude, le choix du matériel végétal a été porté sur cinq espèces ligneuses. Il s'agit d'*Adansonia digitata*, *Acacia senegal*, *Balanites aegyptiaca*, *Moringa oleifera* et *Ziziphus mauritiana*. Le choix porté sur ces espèces se justifie par l'intérêt que leur accorde les populations de la zone. En effet, lors d'ateliers de cartographie participatifs tenus dans les différentes UP, les communautés pastorales locales ont énuméré puis priorisé les cinq (5) principales espèces ligneuses d'intérêt pour eux. Ces différentes espèces ont soit disparues ou devenues de plus en plus rares dans leur zone, ou sont tout simplement sources de revenus à travers les produits forestiers non ligneux (PFNL) qu'elles pourraient en tirer ultérieurement. Les semences utilisées proviennent du Laboratoire de semences du Centre National de Recherches Forestières (CNRF/ISRA). Afin de levé leur dormance tégumentaire, les semences forestières utilisées ont été prétraitées. Celles d'*Acacia senegal* et *Adansonia digitata* ont été trempées respectivement pendant 5 minutes et 4 heures dans de l'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré (96%) puis rincées abondamment avec de l'eau pendant 20 minutes. Les semences de *Balanites aegyptiaca* et *Ziziphus mauritiana* ont été scarifiées à l'aide un petit marteau tandis que celles de *Moringa oleifera* ont été juste trempées dans de l'eau pendant 20 min.

II.3. Production de plants en pépinière

Pour la production de plants, une pépinière forestière a été mise en place en avril 2022 au Centre de Recherches Zootechniques de Dahra (CRZ Dahra) de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA). Des gaines de grande taille (L : 30 cm et l : 20cm) ont été utilisées, afin d'avoir une croissance racinaire maximale avant transplantation, et repotées avec un substrat de croissance constitué d'un mélange de terreau (1/3) et de sable (2/3). Ce terreau a été collecté au niveau du sol de la bouverie du CRZ de Dahra. Après le semis sur les gaines, l'arrosage s'est fait un jour sur deux jours jusqu'à germination puis tous les jours pour assurer une bonne croissance des plantules.

II.4. Gel hydro rétenteur (Water-Hope)

Le gel hydro rétenteur ou pluie solide est un polymère réticulé présenté sous forme de granulés. Celui utilisé au cours de notre expérimentation est un homopolymère à structure réticulée composé d'acide polyacrylique partiellement neutralisé au sel de potassium (sans acrylamide) et conditionné dans un sac de 50 Kg.



Figure 10: water hope dans son contenant de sac de 50 Kg (A), Sec (B), Hydraté (C)

Tableau 1: Caractéristiques du gel étudié

Water-Hope	
Granulométrie	1- 2,5 mm
Ph	6 - 8,5
Densité	500 à 700 g/l
Matière sèche	85% - 90%
Teneur en éléments essentiels	N 5,5% ; P 8% et K 7%
Temps de saturation en eau	Environ 1h 30mn
Capacité de rétention en eau	182

Source : étiquette du sac de water hope

II.5. Dispositif expérimental et traitement

Un dispositif expérimental en split-split plot avec trois répétitions et trois facteurs a été mis en place en début d'hivernage sur les parcelles expérimentales des sites de Younouféré et Vélingara Ferlo (Figure 10). Les facteurs étudiés sont :

- ⇒ Espèce avec cinq modalités (*A. digitata*, *A. senegal*, *B. aegyptiaca*, *M. oleifera* et *Z. mauritiana*);
- ⇒ Quantité d'eau d'arrosage avec trois niveaux (0 L, 10 L et 20 L) ;
- ⇒ Dose de gel hydro rétenteur avec trois niveaux (0 g, 3 g, et 9 g).

Ainsi, il y a 45 traitements issus de la combinaison des niveaux des différents facteurs soit un total de 27 unités expérimentales (UE) ou unités d'observation.

Sur le dispositif, les blocs sont distants de 20 m, les sous-blocs et sous sous-blocs de 7 m. Dans chaque sous sous-blocs, les lignes de plantation, distantes de 7 m, ont été matérialisées grâce à des sillons de 70 m de long creusés à l'aide du sillonneur d'une charrue *Delfino*. Sur les lignes de plantation, les plants sont mis en terre suivant une équidistance de 7 m soit dix (10) plants par sillon.

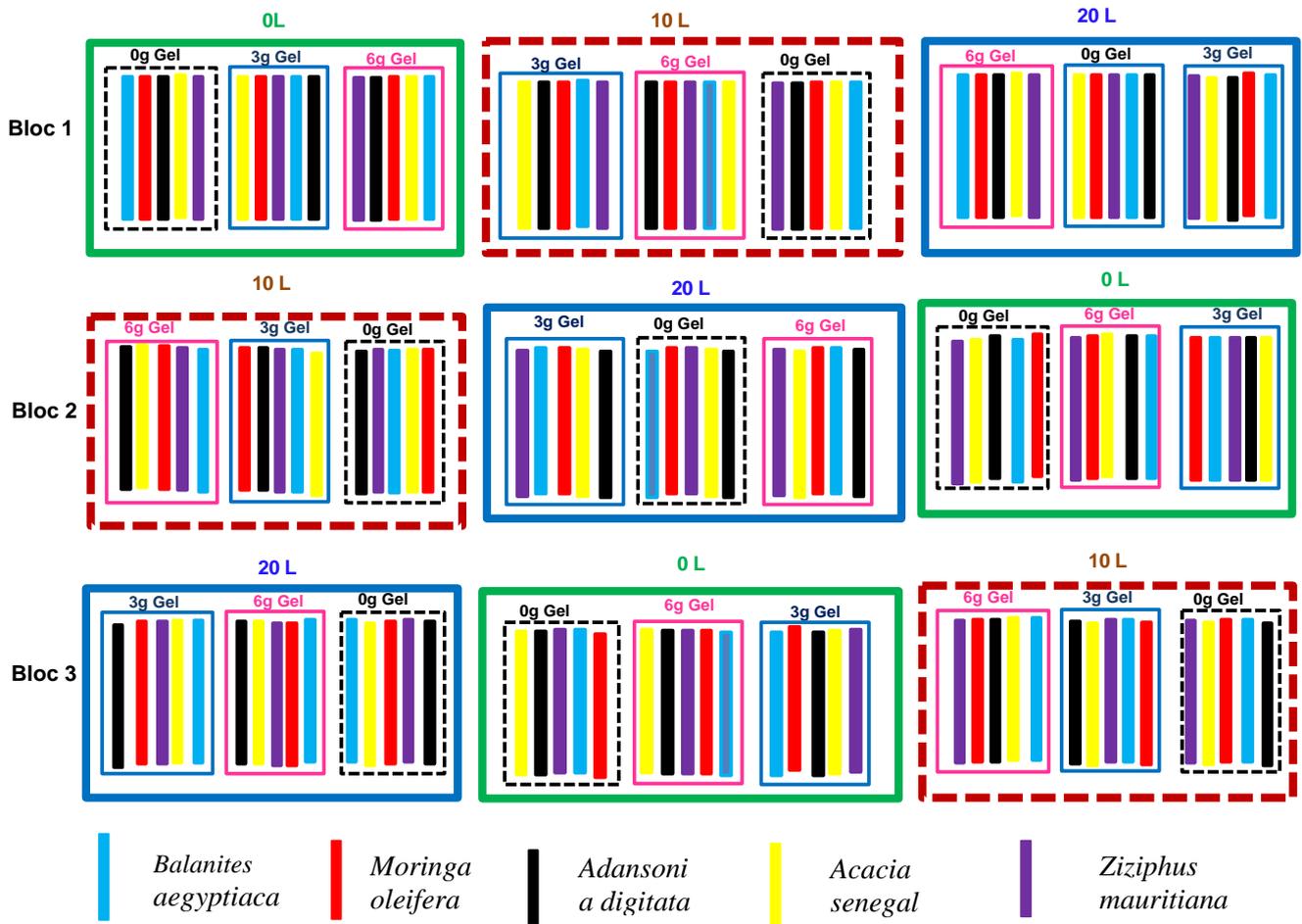


Figure 11: dispositif en split-split plot de la plantation avec du gel hydro rétenteur

II.6. Conduite de l'essai

Dans chaque unité pastorale, le dispositif expérimental se trouve dans une parcelle de 25 ha clôturée par un grillage afin de lutter contre la divagation des animaux. Pour la mise en terre des plants, des trous, d'une profondeur de 50 cm et d'un diamètre de 30 cm, ont été creusés avec des Auderdrill (Figure:11)



Figure 12:trouaison avec auderdrill

A l'aide du plan de masse du dispositif expérimental, les plants ont été disposés sur chaque sillon en fonction de l'espèce correspondante puis les unités expérimentales devant recevoir du gel hydro rétenteur ont été identifiées de même que la dose assignée. Ensuite, 1/3 du gel a été déposé au fond du trou de plantation et les 2/3 restants ont été disposés au tour de la motte de terre des racines de chaque plant avant de reboucher le trou et de bien tasser la motte de terre afin d'éviter d'éventuelles poches d'air. Après la plantation, tous les plants ont été arrosés.

En termes de suivi des plantations, un travail d'entretien a été fait à travers le désherbage, pour éviter la compétition avec les adventices, et la formation de cuvettes, afin de faciliter la rétention d'eau, autour des plants. Ces derniers ont été tuteurés, au besoin, afin de leur assurer un port droit.

Après l'hivernage, un système d'irrigation a été mis en place afin d'assurer un apport en eau (10 et 20 litres) mensuel aux plants devant en recevoir suivant de protocole établi. Ainsi, des bouteilles de 10 litres ont été percées sur le 1/3 inférieur avec une aiguille puis enterrées à une profondeur de 20 cm à côté des plants concernés.

II.7. Collecte de données

Un mois après la fin effective de l'hivernage (novembre 2022), le taux de reprise des plants a été évalué en calculant, pour chaque espèce, le ratio nombre de plants survivants sur le nombre de plants plantés.

Les paramètres croissances de chaque plant notamment le diamètre au collet et la hauteur totale ont été mesurées respectivement à l'aide d'un pied à coulisse et d'une règle graduée (un mètre) après mise en terre des plants (sept. 2022) et six (6) mois après plantation (mars 2023).

II.8. Traitement et analyse de données

Les données collectées ont été saisies sur un tableur Excel. Elles ont été soumises à une analyse descriptive sur Excel à l'aide des tableaux dynamiques croisés en calculant la moyenne, l'écart-type et l'erreur standard des variables. Ensuite elles ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA) avec le logiciel R version 2018 via son interface RStudio. Les moyennes des variables mesurées au seuil de probabilité de 5% ($P \leq 0,05$) ont été comparées en utilisant le test de Turkey.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

III.1. Résultats

III.1.1. Taux de reprise

L'analyse de variance montre qu'il existe une différence significative ($p= 0,0003$) du taux de reprise des espèces entre les sites (Figure 12). En effet, les espèces reboisées à Younouférou ont donné les grands taux de reprise (92%) par rapport aux espèces plantées à Vélingara Ferlo.

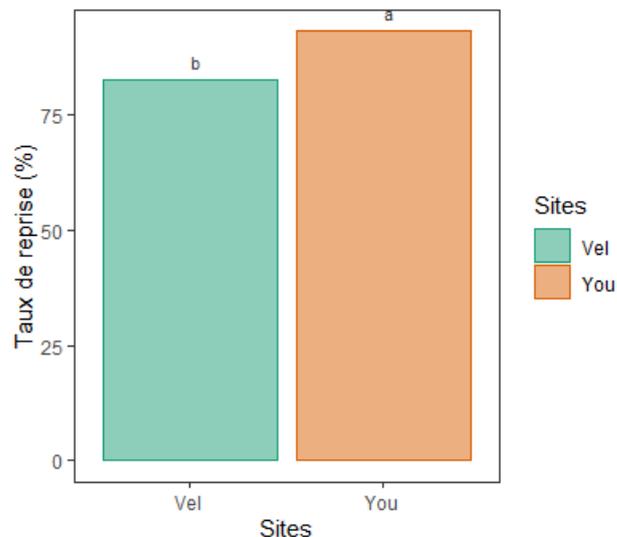


Figure 13: variation du taux de reprise des espèces en fonction des sites

L'ANOVA montre également que le gel n'influence pas les taux de reprise des cinq (5) espèces (Figure 13). Les meilleurs taux de reprise ont été obtenus respectivement à Vélingara et à Younouférou avec les espèces *Adansonia digitata* (98% ; 97%), pas le taux de reprise ($p= 0,36$); mais une différence significative ($p= 2e^{-16}$) est notée entre les *Balanites aegyptiaca*, (95% ; 94%), *Moringa oleifera* (80% ; 83%) et *Acacia senegal* (71% ; 63%)

L'analyse de variance montre aussi que la combinaison site-espèce a un effet significatif ($p= 0,0001$) sur le taux de reprise (Figure 13). En effet, *Ziziphus mauritiana* a un taux de reprise plus important à Younouférou.

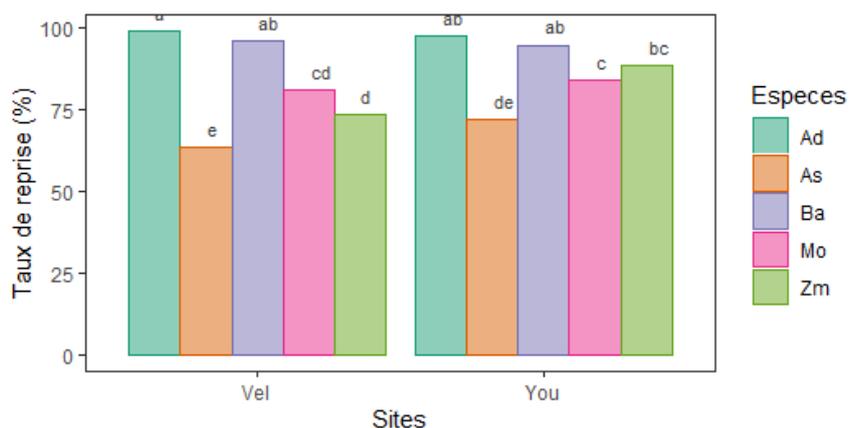


Figure 14: variation du taux de reprise des espèces en fonction des sites

III.1.2 Variation des paramètres de croissance

III.1.2.1. Diamètre

L'ANOVA montre que le site a un effet significatif ($p= 2e^{-16}$) sur la croissance en diamètre des espèces mais le diamètre moyen le plus gros ($1,08 \pm 0,02$ cm) est obtenu à Younouféré (Figure 14).

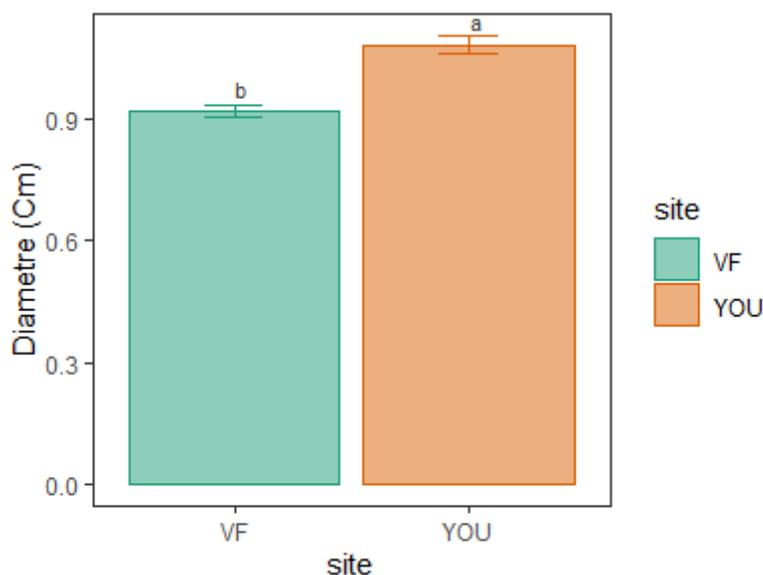


Figure 15: variation du diamètre au collet en fonction des sites

L'analyse de variance a également montré une différence significative ($p= 2e^{-16}$) entre les espèces. Le diamètre moyen le plus gros est noté chez *Adansonia digitata* ($1,45 \pm 0,03$ cm), *Acacia senegal* ($0,97 \pm 0,02$ cm) et *Morinaga oleifera* ($0,95 \pm 0,02$ cm).

Quant au combinaison, l'ANOVA a montré que l'interaction gel-eau a un effet significatif ($p=0,047$) sur la croissance en diamètre des espèces. Le diamètre le plus gros ($1,1\pm 0,04$ cm) est obtenu par la combinaison 0g10L (Figure 15).

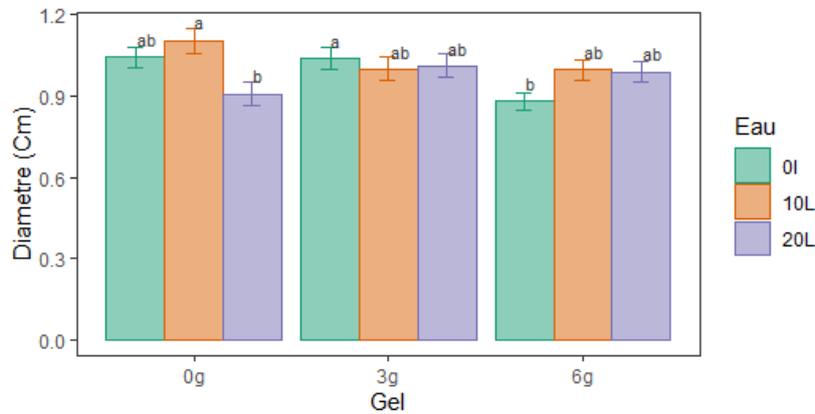


Figure 16: effet combiné gel-eau sur le diamètre au collet

L'analyse de variance montre qu'il existe une différence significative ($p=3,91e^{-05}$) de la combinaison site-eau sur la croissance en diamètre des espèces (Figure 16 A). Cette différence est notée à Vélingara où l'apport de 10 L d'eau donne le diamètre moyen le plus gros. Par contre à Younouféré, il n'existe pas de différence significative entre les différents apports d'eau mais le diamètre moyen le plus gros (1,13 cm) est obtenu avec un apport de 20L.

L'ANOVA montre aussi une différence significative ($p=0,01$) de l'effet combiné site-gel sur la croissance en diamètre des espèces (Figure 16 B). Cette différence est notée à Vélingara où la dose de 0g donne le diamètre moyen le plus gros donc le gel n'a pas influencé sur croissance des espèces. Par contre à Younouféré, il n'existe pas de différence significative entre les différentes doses de gel. Mais, en termes de valeur absolue, le diamètre moyen le plus gros ($1,11\pm 0,03$ cm) est obtenu avec la dose de 3g à Younouféré.

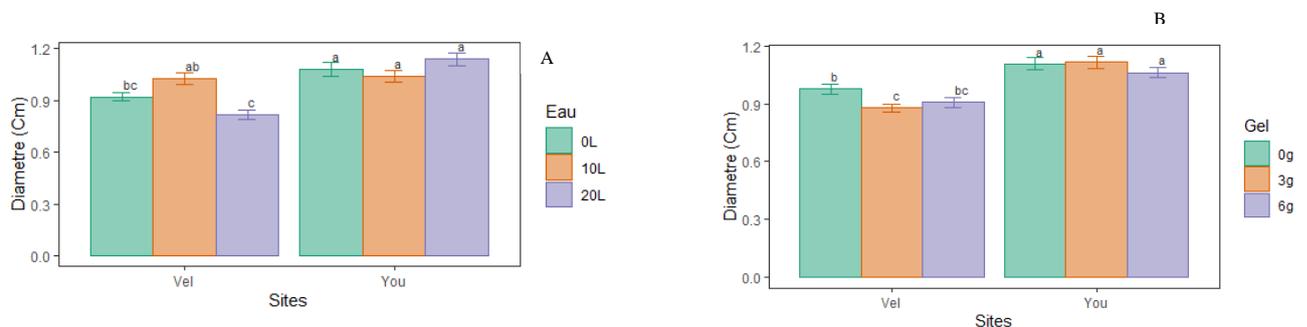


Figure 17: effet de l'interaction site-eau (A) et site-gel sur la croissance en hauteur (B)

L'ANOVA montre aussi un effet significatif ($p=4,16e^{-09}$) de la combinaison site-espèce sur la croissance en diamètre des espèces. Dans tous les deux sites il existe une différence significative

de la croissance en diamètre des espèces. A Younouféré, les diamètres les plus gros sont obtenus respectivement avec *Adansonia digitata* ($1,88 \pm 0,05$ cm), *Moringa oleifera* ($1,14 \pm 0,03$ cm) et *Acacia senegal* ($0,95 \pm 0,01$ cm) et à Vélingara Ferlo, les diamètres les plus gros sont obtenus respectivement avec *Adansonia digitata* ($1,01 \pm 0,03$ cm), *Moringa oleifera* ($0,89 \pm 0,03$ cm) et *Acacia senegal* ($0,99 \pm 0,03$ cm). (Figure 17).

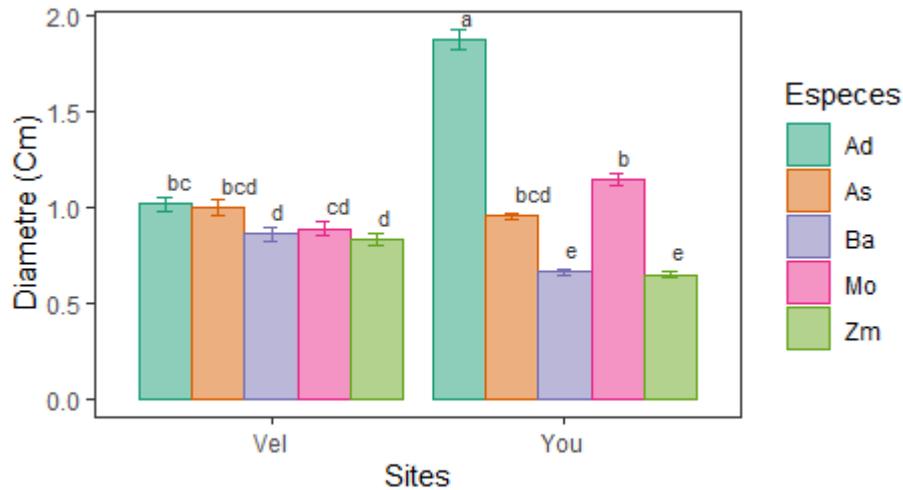


Figure 18: variation du diamètre au collet en fonction des espèces

L'ANOVA montre aussi que les traitements (combinaison gel-eau-espèce) ont un effet significatif ($p= 0,004$) sur la croissance en diamètre des espèces (Annexe 1). Le diamètre le plus gros (2,23 cm) est obtenu avec le traitement Ad3g0L à Younouféré et à Vélingara Ferlo (1,62 cm) avec le traitement As0g10L.

III.1.2.2. Hauteur

Pour la croissance en hauteur des espèces, l'analyse de variance montre un effet significatif ($p= 2e^{-16}$) du site sur la croissance en hauteur. La hauteur moyenne la plus élevée ($56,6 \pm 0,92$ cm) est obtenue à Younouféré (Figure 18).

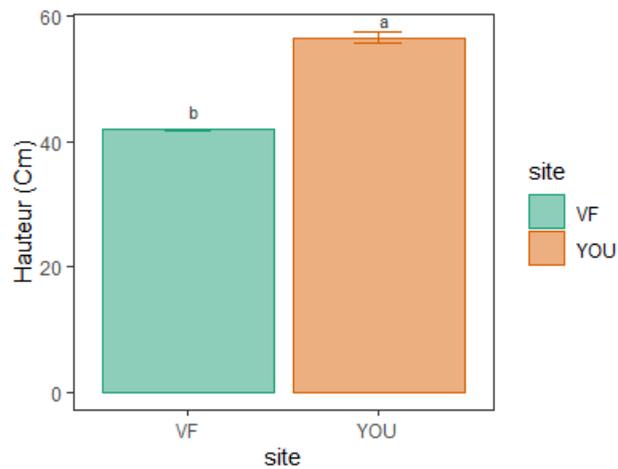


Figure 19: variation de la hauteur en fonction des sites

L'ANOVA montre aussi une différence significative ($p= 2e^{-16}$) entre les espèces. Les hauteurs moyennes les plus élevées sont obtenues avec *Adansonia digitata* (62,95 cm), *Acacia senegal* (50,94 cm) et *Morinaga oleifera* (46,16 cm)

Concernant les interactions, l'analyse a montré que la combinaison gel-eau n'a pas influencé ($p= 0,51$) la croissance en hauteur des espèces (Figure 19). Mais en termes de valeur absolue la hauteur la plus importante est obtenue ($52,76 \pm 1,89$ cm) avec la combinaison 3g*10L.

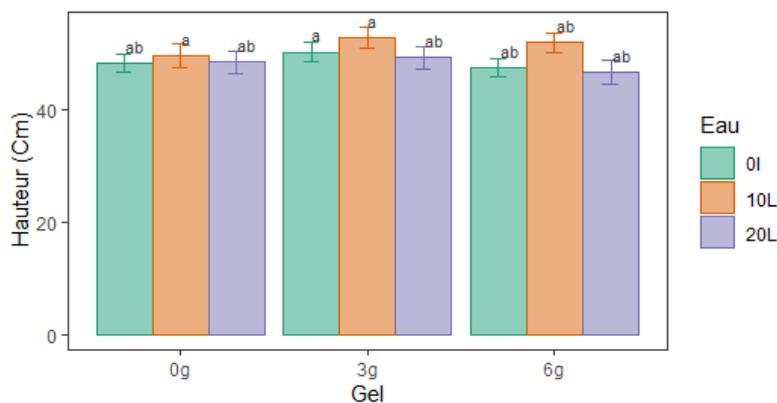


Figure 20: effet combiné gel-eau sur la hauteur

L'ANOVA montre également qu'il existe un effet significatif ($p=0.03$) du gel entre les deux sites sur la croissance en hauteur des espèces (Figure 20 A). A Younoufé les différentes doses de gel n'ont pas influencé la croissance en hauteur des espèces et la plus importante ($58,29 \pm 1,27$ cm) est obtenu par la dose de 3g. A Vélingara Ferlo par contre la hauteur la plus élevée s'observe avec un apport 0g.

L'analyse de variance a montré une différence significative ($p= 0,04$) de l'eau entre les deux sites sur la croissance en hauteur des espèces (Figure 20 B). A Vélingara comme à Younoufé

il n'y pas de différence significative entre les différents apport d'eau. La hauteur la plus importante est obtenue par un apport de 20L et 10L d'eau respectivement à Younouféré (59,15 cm) et à Vélingara ferlo (46,74 cm).

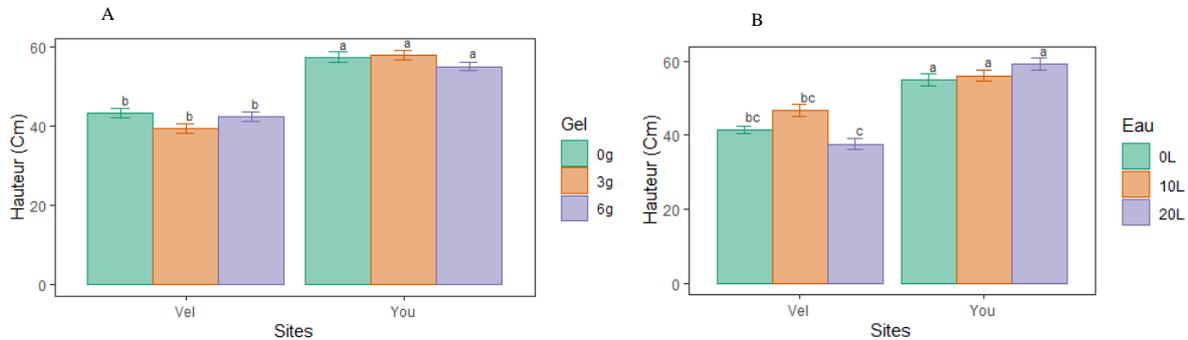


Figure 21: Effet combiné gel-site (A) et site-eau (B) sur la hauteur

L'ANOVA montre aussi que la croissance en hauteur des espèces est significativement différente ($p= 4,16e^{-09}$) entre les sites. A Vélingara il n'existe pas de différence significative de la croissance en hauteur entre les espèces. Les hauteurs les plus élevées sont obtenues respectivement avec *Adansonia digitata* (43,51±1,53 cm), *Acacia senegal* (46,85±1,67 cm) et *Moringa oleifera* (41,70±1,81 cm). A Younouféré, par contre, la croissance en hauteur est significative entre les espèces. Les hauteurs les plus élevées sont obtenues respectivement avec *Adansonia digitata* (81,12±2,35 cm), *Acacia senegal* (55,45±1,22 cm) et *Moringa oleifera* (58,61±2,45 cm).

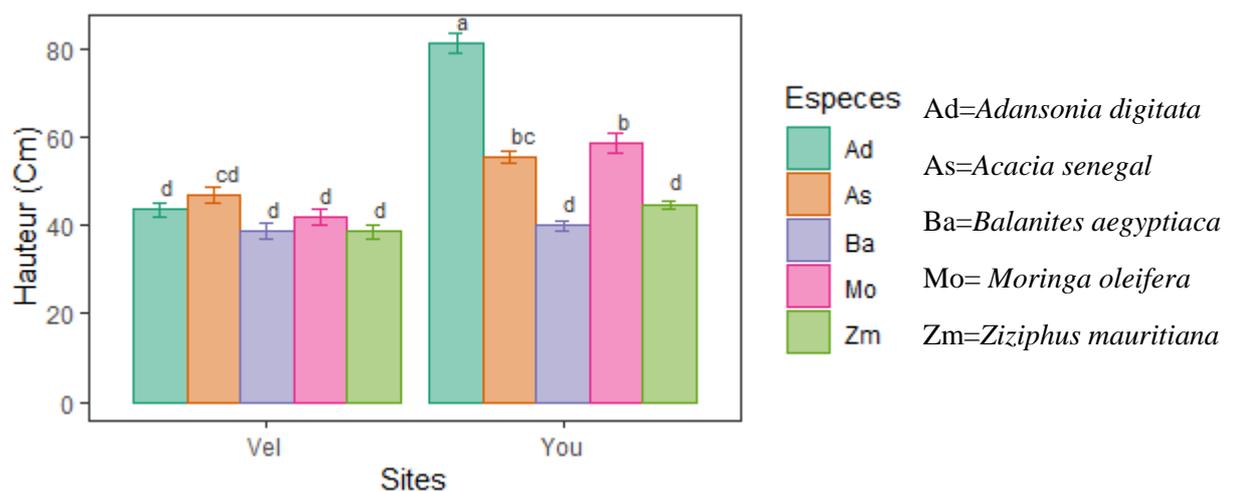


Figure 22: variation de hauteur des espèces en fonction des sites

L'ANOVA montre aussi que la combinaison gel-eau-espèce n'a pas influencé ($p= 0,44$) la croissance en hauteur des espèces (Annexe 2). Mais la hauteur la plus élevée (76,7 cm) est obtenue avec le traitement Mo3g10L à Vélingara Ferlo et à Younoufé (93,17 cm) avec le traitement Ad3g0L.

III.2. Discussion

Les analyses statistiques ont révélé qu'il y a une différence significative entre les deux sites pour tous les paramètres mesurés. Ces résultats peuvent s'expliquer par la composition chimique des sols. En fait selon Touré (2023) les sols de Younouféré sont moins acides que ceux de Vélingara Ferlo.

III.2.1. Effet du gel sur la reprise des plants

A l'issue de ces analyses aussi, le gel n'a pas eu effet significatif sur la reprise des plants. Cela peut être dû au fait que la durée d'efficacité du gel n'a pas été atteinte. En effet, selon les travaux menés par Flannery et Busscher (1982), la durée d'efficacité des hydro-rétenteurs est de 6 mois.

Il ressort également des analyses une différence significative du taux de reprise des espèces. Les taux de reprise sont compris entre 63% et 98 %. Ces résultats peuvent être dus, d'une part, au travail du sol effectué avant plantation, à la bonne gestion des plants au niveau des deux sites et d'autre part, une bonne répartition des pluies durant l'hivernage 2022 notées après plantation jusqu'à la fin de l'hivernage.

III.2.2. Effet du gel sur la croissance des plants

Les résultats montrent que 6 mois après la plantation le gel hydro-rétenteur n'a pas eu d'influence significative sur la croissance des espèces. Ces résultats sont en déphasage avec ceux de Dafaï et *al.* (2015). Les résultats de ce dernier ont montré des effets très hautement significatifs de l'amendement du sol en polymère subabsorbant Stockosorb sur la croissance en hauteur et en diamètre au collet des plants d'arganiers (*Argania spinosa* (L.)). Ceci peut être expliqué par le mécanisme d'action de l'hydrogel qui peut varier selon les espèces, la dose, le climat et le statut du sol (texture, structure, propriétés chimiques, etc.) (Sivapalan 2006 ; Lawrence et al. 2009). En fait les analyses de sol réalisées par Touré (2023) à Vélingara Ferlo montrent que les bases échangeables sont majoritairement dominées par le calcium suivi par le magnésium, le sodium et le potassium. Or les cations ont un effet néfaste sur la capacité de rétention en eau des hydro-rétenteurs mais les bivalent sont ceux ayant le plus d'impact selon Jobin (2000). Ce qui peut expliquer les résultats obtenus à Vélingara Ferlo. Cette différence peut être due aussi à la qualité de l'eau d'irrigation car selon Wang (1989), la capacité de rétention d'eau d'un hydrogel dépend de la concentration et de la variété des ions dans l'eau à laquelle l'hydrogel est exposé. Cette discordance de résultat peut être due aussi à l'effet de la

température car selon Bahaja et *al.* (2009), au-delà de 40°C, la capacité d'absorption d'un polymère diminue au fur et à mesure que la température de la solution absorbée croît et ce, quel que soit le pH de cette solution. Ceci peut être expliqué par la position du gel dans le trou. En fait, lorsque le polymère est placé au-dessous ou mélangé avec le sol, on assiste d'un côté à une gêne de la diffusion de l'eau dans l'espace inter granulaire entravant par voie de conséquence le transport de l'eau jusqu'au polymère. D'un autre côté l'intensité des répulsions de natures électrostatiques entre les chaînes macromoléculaires, responsable du gonflement, est insuffisante pour repousser les grains du sol sableux et permettre au gel de se gonfler librement (Bahaja et *al.*, 2009). Enfin Specht et Harvey-Jones (2000) ont constaté que les arbres moins tolérants à la sécheresse ont une réponse beaucoup plus favorable à l'application d'hydrogels.

Après 3 mois d'irrigation également, les différents apports d'eau n'ont pas eu d'effet sur la croissance en diamètre et en hauteur des espèces. Ceci peut s'expliquer par le fait qu'il y'avait des dépôts de particules qui au niveau des bouteilles du système d'irrigation ce qui empêcher l'eau de s'égoutter.

CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

La présente étude s'est particulièrement intéressée à l'effet du gel hydro-rétenteur et de l'apport d'eau sur la croissance en hauteur et en diamètre d'*Acacia senegal*, *Adansonia digitata*, *Balanites aegyptiaca*, *Ziziphus mauritiana* et *Moringa oleifera* dans le cadre de la restauration de terres pastorales dégradées. En somme, il n'y a pas de différence significative entre les différents apports de gel et d'eau sur la croissance des espèces. Toutefois l'effet du gel est plus marqué avec la dose de 3 g. Quant à l'eau, les apports de 10L ont donné les diamètres et les hauteurs les plus importants. Mais entre les espèces il existe une différence significative et *Adansonia digitata*, *Acacia senegal* et *Moringa oleifera* ont une croissance plus importante.

Face à l'incertitude des précipitations et l'augmentation de la température dans les régions arides, il est important d'encourager les recherches sur cette technologie qui conserve l'eau dans le sol et réduit le stress hydrique chez les plantes en essayant par exemple d'autres doses, d'autres plantes et d'autres types de polymères et d'en faire des comparaisons. De ce fait, nous recommandons de :

- continuer l'expérimentation avec 3 espèces à savoir : *Adansonia digitata*, *Moringa oléifera* et l'*Acacia senegal*
- utiliser la dose de 3g de gel
- faire analyser l'eau des deux sites afin de pouvoir statuer sur l'effet de la qualité de l'eau d'arrosage sur la croissance des plants;
- expérimenter un système d'irrigation mettant les bouteilles d'eau en suspend au lieu de les enterrer;
- étudier la rentabilité économique de l'utilisation de ce produit pour les communautés.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **Aberra M., Workinesh T. and Tegene N.** 2011. Effects of feeding *Moringa* leaf meal on nutrient intake and growth performance of Rhode Island Red chicks under tropical climate. *Trop. Subtrop. Agroecosystem*. Pages 485- 492.
2. **Agaba H, Baguma Orikiriza LJ, Esegu O, Francis J, Obua J, Kabasa JD, Hüttermann A.** 2010. Effects of hydrogel amendment to different soils on plant available water and survival of trees under drought conditions. Pages 328-335.
3. **Akpo, L.E.,** 1992 - Influence du couvert ligneux sur la structure et le fonctionnement de la strate herbacée en milieu sahélien. Les déterminants écologiques. Thèse de Doctorat de 3e cycle, Département de biologie végétale, Université Cheikh Anta Diop de Dakar-Faculté des Sciences et techniques (UCAD-FST). 142 pages.
4. **ANACIM :** Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie. 2023
5. **Arbonnier M.,** 2002. Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest. 2è édition. 573 pages.
6. **Arbonnier M.,** 2000. Arbres, Arbustes et Lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest. CIRAD, Centre de Coopération Internationale en Recherche agronomique pour le Développement. 542 pages.
7. **Arnaud ZIDA W.** 2009. Etude de la régénération de *Balanites aegyptiaca* (L.) Del., *Sclerocarya birreas* (A. Rich.) Hochst. et de *Diospyros mespilliformis* Hochst. Ex A. Rich dans la zone nord soudanienne du Burkina Faso. MEMOIRE DE FIN DE CYCLE. 101 pages.
8. **Atakpama W., Kponor E.G.E., Kanda M., Dourma M., Nare M., Batawila K. and Akpagana K.** 2014. *Moringa oleifera* Lamarck (*Moringaceae*) : une ressource phytogénétique à usage multiple. *Rev. Cames SVT-A* 15 pages
9. **Azam-Ali S, Bonkougou E, Bowe C, deKock C, Godara A and Williams J T.** 2006. Ber and other jujubes. 303 pages.
10. **Ba, D. D. (2018).** Sécheresse climatique, dynamique actuelle et perspectives des activités agropastorales dans le Ferlo et la moyenne vallée du Fleuve Sénégal (Région de Matam). 218 pages.
11. **Bahaja H., R. Benaddia, M. Bakassa, C. Bayanea & J.P. Bellatb.** 2009. Comportement du Gonflement d'un Polymère Super absorbant vis-à-vis de l'Eau dans un Sol Sableux. Owned by the authors, published by *EDP Sciences*. 5 pages

12. **Bakass M, Mokhlisse A, and Lallemand M.** 2002. Absorption and desorption of liquid water by a superabsorbent polymer: effect of polymer in the drying of the soil and the quality of certain plants. *Journal of Applied Polymer Science*. Pages 234-243.
13. **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 pages.
14. **Belen-Hinojosa M, Carreira JA, Garcia-Ruiz R, et al.** 2004. Soil moisture pretreatment effects on enzyme activities as indicators of heavy metal contaminated and reclaimed soils. *Soil Biology and Biochemistry*. Vol 36. Pages 1559-1568.
15. **Bosch C.H. Grubben, G.J.H. & Denton, O.A.** 2004. *Moringa oleifera* Lam. Éd. PROTAS 2: Végétales/Légumes. [CD-Rom]. PROTAS, Wageningen, Pays Bas. 34 pages.
16. **Boukhezna Z. et GHERBI N. E.** 2018. Etude de l'influence des gommages végétaux de trois espèces (*Acacia senegal L, prunus armeniaca L, Ferula assa-foetida*) sur la pyrale de datte chez le variété Deglet Nour. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en Sciences Biologiques. 101 pages.
17. **Brahim A., Brahim A. B., Mapongmetsem P. M.** 2017. Utilités socioéconomiques et culturelles du *Balanites aegyptiaca* (L.) Del. (Famille Zygophyllaceae) chez les populations locales de la Région du Ouaddaï au Tchad. *Journal of Applied Biosciences* Pages 10854-108661
18. **Broin, M.** 2005. Composition nutritionnelle des feuilles de *Moringa oleifera*. Moringa. 5 pages.
19. **Creighton W.** 2001. Production de graines de *Moringa oleifera* en Tanzanie. *Optima of Africa Limited*. 5 pages
20. **Defaa C., A. Achour, A. E. Mousadik, F.M. Sanda.** 2015. Effets de l'hydrogel sur la survie et la croissance des plantules d'arganier sur une parcelle de régénération en climat aride. *Journal of Applied Biosciences*. Pages: 8586 – 8594.
21. **Diallo A., Agbangba E. C., Thiaw A., Guissé A.** 2012. Structure des populations d'*Acacia senegal* (L.) Willd dans la zone de Téssékéré (Ferlo nord), Sénégal. *Journal of Applied Biosciences*, Hal-01722558. Pages 4297– 4306.
22. **Diop A. G., M. Sakho, M. Dornier, M. Cisse, M. Reynes.** 2005. Le baobab africain (*Adansonia digitata L.*): principales caractéristiques et utilisations. Pages 55-69.
23. **Djarsia V. M.** 2008. Contribution à l'inventaire des gommes artificielles dans les provinces du Nord et l'extrême Nord-Cameroun : Perspectives de gestion. Mémoire

- pour Diplôme d'Études Spécialisées (DESS) en sciences forestières, option agroforesterie. Université de Yaoundé I, Yaoundé (Cameroun). 80 pages.
24. **Ekebafé, L. O., Ogbeifun, D. E. and Okieimen, F. E.** 2011. Polymer applications in agriculture. *Biokemistri*. Vol. 23, No. 2, June 30, 2011, pages 81 – 89.
 25. **El-Asmar J, Jaafar H, Bashour I.** 2017. Hydrogel banding improves plant growth, survival, and water use efficiency in two calcareous soils. *CLEAN Soil Air Water*. 10 pages.
 26. **Fadl K. E. M.** 2013. *Balanites aegyptiaca (L.) Del.*: A multipurpose Fruit Tree on the Savanna Zone of Western Sudan. 8 pages
 27. **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*. 25 pages.
 28. **Fall, A.** 2014. Le Ferlo sénégalais: Approche géographique de la vulnérabilité des anthroposystèmes sahéliens. Thèse de doctorat de géographie, Université Paris 13 - Sorbonne Paris. 380 pages
 29. **FAO.** 2016. Rapport sur la situation des forêts du monde, 137p.
 30. **Flannery RL et Busscher WJ.** 1982. Use of a synthetic polymer in potting soils to improve water holding capacity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 13 (2). Page 103 -111
 31. **Foidl N., Makkar H.P.S. and Becker K.** 2001. Potentiel de *Moringa oleifera* en agriculture et dans l'industrie. Potentiel de développement des produits du Moringa Tanzanie. 20 pages.
 32. **Gbénou G. X., Soulé A. H., Y. Akpo, A. J. Djènantin, A. Assani Seidou, I. Yaya, Y. Toukourou et G. A. Mensah.** 2018. Synthèse des connaissances sur l'utilisation des organes du baobab (*Adansonia digitata L.*) dans l'alimentation des ruminants en Afrique tropicale et au Bénin en particulier. Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB). 28 pages.
 33. **Gehring, J.M. et A.J. Lewis.** 1980. Effect of hydrogel on wilting and moisture stress of bedding plants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* Pages 511- 513.
 34. **Han Y.G., Yang P.L., Luo YP.** 2010. Porosity change model for watered super absorbent polymer-treated soil. *Environmental Earth Sciences*. Pages 1197–1205.
 35. **Hayat R, Ali S.** 2004 Water Absorption by synthetic polymer (Aquasorb) and its effect on soil properties and tomato yield. *Int. J. Agri. Biol.* Pages 998-1002.

36. **Hedji C., Gangbazo D.N.S.K., Houinato M.R. and Fiogbé E.D.** 2014. Valorisation de *Azolla* spp., *Moringa oleifera*, sonderiz et de coproduits de volaille et de poisson en alimentation animale. *J. Appl. Biosciences*. Pages 7277 – 7289
37. **Hoffman, A. S.** 2002. Hydrogels for biomedical applications. *Advanced Drug Delivery Reviews*. Pages 18-23.
38. **Huttermann A, Zommorodi M, Reise K.** 1999. Addition of hydrogels to soil for prolonging the survival of *Pinus halepensis* seedlings subjected to drought. *Soil and Tillage Research*. Vol 50, No. 3-4. Pages 295-304
39. **Ickowicz A., D. Friot, Hubert Guérin.** 2005. *Acacia senegal*, arbre fourrager sahélien. *Bois et Forêts des Tropiques*, Montpellier: CIRAD. Pages 59-69.
40. **ICUC: International Centre for Underutilized Crops.** 2001. Fruits for the Future Ber. Non précis.
41. **James, E.A. et D. Richard.** 1986. The influence of iron source on the water-holding properties of potting media with water absorbing polymers. *Scient. Hort.* Vol 28. 8 pages : 201-208.
42. **Jobin P.** 2000. Impact de l'incorporation de deux polymères hydrophiles sur les propriétés physiques de trois substrats horticoles et sur la croissance du *Petunla x hybrida* 'rose foncé (surfinia). Mémoire grade de maîtres sciences (M. Sc.), Université Laval, Département de phytologie faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation. 109 pages.
43. **Kabore K. AGNES.** 2002. Performances comparées de trois cultivars améliorés de *Zizyphus mauritiana Lam.* (Jujubier) sous différent régime d'irrigation et de fertilisation au Burkina Faso. Mémoire. 110 pages.
44. **Kebe I. M, M. B. Sagna, M. D. Diallo, A. Diallo, S. Diatta.** 2020. Etude des caractéristiques écologiques d'un peuplement ligneux de la grande muraille verte dans le Ferlo nord, Sénégal. *Revue de l'Environnement et de la Biodiversité*. Pages 63-76.
45. **Kébenzikato A. B., Kperkouma Wala, Wouyo Atakpama, Kangbéni Dimobé, Agblésséssi Y. Woégan, Marra Dourma, Komlan Batawila, Koffi Akpagana.** 2015. Connaissances ethnobotaniques du baobab (*Adansonia digitata L.*) au Togo. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* Pages 247-261.
46. **Khadem SA, Galavi M, Ramrodi M.** 2010. Effect of animal manure and super absorbent polymer on corn leaf relative water content, cell membrane. *J of Crop Sci.* Pages 642-647.

47. **Kissi O. D'Andous.**2010. Remise en culture des jachères enrichies à *Acacia senegal* au Nord Cameroun : Productions forestière et agricole, et perceptions paysannes. Mémoire Master. 121 pages.
48. **Koné B, Kalinganire A and Doumbia M.** 2009. La culture du jujubier : un manuel pour l'horticulteur sahélien. World Agroforestry Centre (ICRAF), Nairobi, 39 pages.
49. **Konfe Z., Bienvenu ZONOU et Edmond HIEN.** 2019. Influence d'intrants innovants sur les propriétés du sol et la production de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) et d'aubergine (*Solanum melongena* L.) sur un sol ferrugineux tropical en zone soudano-sahélienne au Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* Pages 2129-2146.
50. **Koupai AJ, Eslamian SS, Asadkazemi J.** 2008. Enhancing the available water content in unsaturated soil zone using hydrogel, to improve plant growth indices. *Eco hydrology and Hydrobiology.* Pages 67-75.
51. **Larnont, G.P. et M.A. O'Conell.** 1987. Shelf-life of bedding plants as influenced by potting media and hydrogels. *Scientia. Hort.* Vol 31. Pages 141-149
52. **Lawrence O.B., Agaba H., Tweheyo M., Gerald E., Kabasa J.D. & Hüttermann A.,** 2009. Amending soils with hydrogels increases the biomass of nine tree species under non-water stress conditions. *Clean Soil, Air, Water* 37: Page 615-620.
53. **Lucien J. M.** 2012. Etude de la transformation du fruit du jujubier (*Ziziphus mauritiana* Lam.) en galettes : Impact de la cuisson sur la qualité nutritionnelle. Stage réalisé au sein de : Centre de coopération Internationale de Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), Montpellier. 35 pages
54. **Maevalandy A. R.** 2006. *Moringa oleifera* Antanarivo (Madagascar). 16 pages.
55. **Mailis B. et Lydia Cherifi.** 2021. Etude phytochimique et cyto histochimique des pétioles et feuilles de *Moringa oleifera* Lam. (Arbre de vie) et *Vitex agnus castus* L. (gattilier) de la région d'Adrar. Mémoire De fin d'études. 91 pages.
56. **Makkar, H.A., &Becker, K.** 1996. Nutritional value and anti-nutritional components of whole and ethanol extracted *Moringa Oleifera* leaves. *Animal feed science and technology.* Vol 63. Pages 211-228.
57. **Mikkelsen, R.L.** 1994. Using hydrophilic polymers to control nutrient release. *Fertilizer Research.* Pages 53-59.
58. **Molyneux, Philip.** 1983. Water-soluble synthetic polymers: properties and behavior. Volume 1. CRC Press, Boca Raton.77 pages.

59. **Montesano FF, Parente A, Santamaria P.** 2015. Biodegradable superabsorbent hydrogel increases water retention properties of growing media and plant growth. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. Pages 451 – 458
60. **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. 12 pages.
61. **Ndiaye L.** 2020. Perception communautaire sur la diversité floristique et les biens et services écosystémiques fournis par la végétation ligneuse dans la commune de Coumbacara (Kolda, Sénégal). Mémoire de master, UASZ, 75 p
62. **Ndong A. T., Ndiaye O., Faye M. N., Galop D. et Guissé A.** 2015. Espèces ligneuses du Ferlo-Nord, Sénégal : état actuel et usage. *Les Cahiers d'Outre-Mer Revue de géographie de Bordeaux*. Pages 401-422.
63. **Ngom D., T. FALL, O. SARR, S. Diatta et L.E. akpo.** 2013. Caractéristiques écologiques du peuplement ligneux de la réserve de biosphère du Ferlo (Nord Sénégal). *Journal of Applied Biosciences*. Pages 5008-5023.
64. **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*. Pages 6938 – 6946.
65. **Samb, N.** 2010. Influence d'*acacia senegal* (L.) Willd sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols. Mémoire présenté et soutenu publiquement le 10 juillet 2010 au Département de Biologie végétale de l'UCAD. 69 pages.
66. **Savard V.** 2003. Évaluation du potentiel d'adoption des parcelles maraîchères de baobab (*Adansonia digitata*) dans la région de Ségou, au mali. 139 pages.
67. **Sivapalan S.,** 2006. Some benefits of treating a sandy soil with a cross-linked type polyacrylamide. *Aust. J. Exp. Agric.* 46: Pages 579-584
68. **Specht A. et Harvey-Jones J.,** 2000. Improving water delivery to the roots of recently transplanted seedling trees: The use of hydrogels to reduce leaf loss and hasten root establishment. *Forest Research* 1: Pages 117-123
69. **Touré S.** 2023. Contribution à la caractérisation physique et chimique des sols en zone pastorale: Cas des parcelles expérimentale de Younouféré et de Vélingara Ferlo. Mémoire de Master. 37 pages
70. **Wang Yin-Tung.** 1989. Medium and Hydrogel Affect Production and Wilting of Tropical Ornamental Plants. Texas A&M University Agricultural Research and

Extension Center, 2415 East Highway 83, Weslaco, TX 78596. *Hort Science* 24(6): Pages 941-944.

71. **Wiki water**. 2012. L'irrigation par hydro rétenteurs d'eau en cristaux polymères gonflants biologiques.6 pages.
72. **Yusuf, M.A., Nahar, S., Faisal, F.M., Iqbal, J., Rahman, M.M.** 2016. Anti-obesity activity of *Moringa Oleifera* leaves against high fat diet-induced obesity in rats. *Int J Basic ClinPharmacol*. Pages 1263-1268.

ANNEXE 1

Tableau 2: Effet des traitements sur la croissance en diamètre des espèces

N°	Traitements	Diamètre moyen	Écartype	Erreur Standard	N°	Traitements	Diamètre moyen	Écartype	Erreur Standard
1	Ad3g0L	1,62	0,86	0,12	24	Ba0g0L	0,90	0,44	0,06
2	Ad3g20L	1,56	0,78	0,12	25	As0g0L	0,88	0,29	0,04
3	Ad0g0L	1,56	0,61	0,09	26	Ba3g20L	0,86	0,45	0,07
4	Ad6g20L	1,51	0,68	0,11	27	As6g0L	0,83	0,26	0,04
5	Mo3g10L	1,50	0,53	0,08	28	As0g20L	0,82	0,28	0,04
6	Ad0g10L	1,45	0,75	0,12	29	Ba3g0L	0,81	0,36	0,05
7	Ad3g10L	1,43	0,69	0,11	30	Ba0g10L	0,78	0,39	0,06
8	Ad0g20L	1,42	0,84	0,13	31	Mo3g20L	0,75	0,34	0,05
9	As0g10L	1,35	0,56	0,09	32	Zm6g10L	0,73	0,26	0,04
10	Ad6g0L	1,29	0,72	0,10	33	As3g10L	0,72	0,27	0,04
11	Ad6g10L	1,25	0,66	0,10	34	Mo6g0L	0,69	0,29	0,04
12	Mo3g0L	1,17	0,52	0,07	35	Zm3g20L	0,68	0,21	0,03
13	As3g20L	1,14	0,58	0,09	36	Zm6g20L	0,67	0,16	0,02
14	As6g20L	1,11	0,40	0,06	37	Zm3g0L	0,65	0,20	0,03
15	Mo6g10L	1,07	0,47	0,07	38	Ba6g20L	0,65	0,29	0,05
16	Zm0g10L	1,06	0,63	0,10	39	Zm0g0L	0,64	0,25	0,04
17	Ba6g10L	0,95	0,59	0,09	40	Ba0g20L	0,61	0,23	0,04
18	Zm6g0L	0,95	0,47	0,07	41	Ba6g0L	0,60	0,16	0,02
19	Mo6g20L	0,95	0,51	0,08	42	Ba3g10L	0,60	0,19	0,03
20	As3g0L	0,95	0,45	0,06	43	Zm0g20L	0,60	0,18	0,03
21	Mo0g0L	0,92	0,51	0,07	44	Zm3g10L	0,59	0,18	0,03
22	Mo0g20L	0,91	0,18	0,03	45	Mo0g10L	0,55	0,22	0,04
23	As6g10L	0,90	0,40	0,06					
p-value = 0,004									

ANNEXE 2

Tableau 3: Effet des traitements sur croissance en hauteur des espèces

N°	Traitements	Hauteur moyenne	Écartype	Erreur Standard	N°	Traitements	Hauteur moyenne	Écartype	Erreur Standard
1	Mo3g10L	74,25	23,50	3,72	24	Zm6g20L	45,55	17,05	2,70
2	Ad3g0L	68,79	35,35	5,00	25	Zm6g10L	44,48	18,26	2,89
3	Ad0g20L	66,76	36,91	5,84	26	As6g0L	44,41	25,67	3,63
4	Ad0g10L	65,37	32,80	5,19	27	Ba0g0L	44,21	19,80	2,80
5	Ad6g20L	64,53	31,69	5,01	28	Zm6g0L	44,17	19,31	2,73
6	Ad3g20L	63,66	41,06	6,49	29	Mo3g0L	44,15	31,83	4,50
7	Ad0g0L	63,36	27,61	3,91	30	As0g20L	43,67	19,01	3,01
8	Ad3g10L	61,30	34,34	5,43	31	Zm3g20L	43,19	21,70	3,43
9	Ad6g10L	59,27	30,34	4,80	32	Ba3g0L	41,51	17,14	2,42
10	As0g10L	59,00	18,66	2,95	33	Zm3g0L	41,45	16,22	2,29
11	As3g0L	54,75	17,95	2,54	34	Ba3g20L	40,91	21,03	3,33
12	Ba6g10L	54,24	21,30	3,37	35	Zm3g10L	40,43	12,94	2,05
13	Ad6g0L	54,05	31,73	4,49	36	Mo6g20L	39,74	36,66	5,80
14	As3g20L	53,37	26,08	4,12	37	Zm0g20L	38,35	13,89	2,20
15	Mo0g20L	53,00	20,66	3,27	38	Ba3g10L	36,44	16,01	2,53
16	As6g20L	52,17	22,33	3,53	39	Ba6g0L	35,38	15,65	2,21
17	Mo6g10L	52,13	27,81	4,40	40	Ba0g20L	35,24	16,56	2,62
18	As3g10L	49,07	18,12	2,86	41	Ba0g10L	34,39	33,04	5,22
19	As0g0L	48,81	18,76	2,65	42	Mo6g0L	33,00	18,14	2,57
20	Zm0g10L	48,37	25,34	4,01	43	Zm0g0L	29,81	16,19	2,29
21	Mo0g0L	46,20	33,69	4,76	44	Ba6g20L	28,43	25,36	4,01
22	Mo3g20L	45,92	20,39	3,22	45	Mo0g10L	25,60	9,98	1,58
23	As6g10L	45,63	23,55	3,72					
p-value = 0,44									

