UNIVERSITÉ DU BURUNDI
GRENIER DU SAVOIR DU BURUNDI
Dépôt institutionnel officiel
https://repository.ub.edu.bi

Suivi de la croissance de quelques espèces utilisées pour le génie végétal

Uwimana, Lameck; Sous la direction de : Prof. Dr. Ir. Séverin Nijimbere

2024
UB, Faculté des Sciences
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/1513

Document téléchargé depuis le **Grenier du Savoir du Burundi** — https://repository.ub.edu.bi

UNIVERSITE DU BURUNDI

FACULTE DES SCIENCES

MASTER EN SCIENCES ET GESTION INTEGREE DE L'ENVIRONNEMENT

SUIVI DE LA CROISSANCE DE QUELQUES ESPECES UTILISEES POUR LE GENIE VEGETAL

Par :

Lameck UWIMANA

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du

DIPLOME DE MASTER EN SCIENCES ET GESTION INTEGREE DE L'ENVIRONNEMENT

OPTION : GENIE DE L'ENVIRONNEMENT

Sous la direction de :

Prof. Dr. Ir. Séverin NIJIMBERE

Bujumbura, Octobre 2024

MEMBRES DU JURY

Président : Prof. Richard HABONAYO

Secrétaire : Prof. André NDUWIMANA

Directeur : Prof. Dr. Ir. Séverin NIJIMBERE

DEDICACES

- A mes chers parents ;
- A mes frères et sœurs et leurs familles ;
- A mes camarades de classe ;
- A tous ceux qui m'ont encouragé ;
- A tous, chez qui l'échange scientifique est un plaisir,

Je dédie ce Mémoire.

REMERCIEMENT

La rédaction d'un travail de fin du deuxième cycle universitaire est un travail très important dans l'accomplissement d'un cycle de Master. Ce travail demande beaucoup d'efforts et des interventions pour atteindre les objectifs fixés. C'est pour cette raison que cette page est réservée à ceux et celles qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

Mes sincères remerciements s'adressent particulièrement à mon Directeur Prof. Dr. Ir. Séverin NIJIMBERE, Doyen de la Faculté d'Agronomie et de Bio-ingénierie de l'Université du Burundi pour avoir accepté la direction de ce travail. Merci pour sa patience, sa disponibilité sans failles et pour ses conseils scientifiques. Durant la réalisation de ce travail, il avait toujours su me ramener au cœur de mon travail. Ses encouragements dans cette épreuve se sont ajoutés à ceux de mon environnement de travail et m'ont permis de finaliser ce travail avec fierté.

Je remercie également du font cœur à Ir. Mathias HITIMANA, Msc, qui a consacré son temps précieux pour m'accompagner du début à la fin pour la réalisation de ce travail.

Ma gratitude s'adresse aux membres du jury à l'occurrence Prof. André NDUWIMANA et Prof. Richard HABONAYO pour le temps qu'ils ont consacré à la lecture de ce document et pour l'intérêt qu'ils ont porté pour améliorer la qualité de ce travail.

Mes remerciements vont également à mes camarades de classe qui m'ont appuyé dans l'élaboration de ce mémoire.

Enfin, que toute personne qui, d'une manière ou d'une autre, a contribué à la réalisation de ce travail trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

Lameck UWIMANA

RESUME

Les terres burundaises sont fréquemment soumises aux glissements de terrain. Leur stabilisation exige la combinaison des techniques dont le génie végétal qui permet, à l'aide des végétaux, de renforcer le sol et améliorer la résistance des berges des rivières et des talus des routes et de prévenir les glissements de terrain.

L'objectif de cette étude est de suivre les paramètres de croissance de quelques espèces végétales en vue d'en identifier celles qui sont propices à la technique du génie végétal. Elle a été menée par la comparaison du taux de survie et des paramètres de croissance (hauteur et diamètre) des espèces végétales plantées sur les différents dispositifs du chantier école d'Isare et par l'évaluation du potentiel de bouturage de ces espèces végétales en vases de végétation au campus Mutanga de l'Université du Burundi.

Les observations faites au chantier du génie végétal d'Isare à six mois après la plantation des boutures montrent que deux espèces graminéennes, le gazon (*Agrostis capillaris*) et le roseau *Bana grass*, et une espèce *arbustive (Leucaena leucocephala)* croissent bien sur le site. Par contre, quatre autres espèces *d'arbres (Crassocephalum mannii, Euphorbia tirucalli, Synadenium grantii, Ficus ingens*) manifestent un mauvais taux de reprise sur ledit site. Parmi les arbres testés en pots au campus Mutanga, les *tiges* les plus hautes et les racines les plus longues ont été enregistrées chez le *Tetradenia riparia* et l'*Erythrina abyssinica*. Par contre, les tiges les moins hautes ont été enregistrées chez le *Jathropha curcas* et le *Ficus ingens*, tandis que les racines les moins longues ont été enregistrées chez le *Ficus ingens* et le *Morus nigra*. Dans cet essai en pots, les boutures du *Commiphora africana* n'ont pas pu bourgeonner.

En conclusion, le gazon, le *Bana grass* et le *Leucaena* sont des plantes aptes au génie végétal ; tandis que *Tetradenia riparia* et *Erythrina abyssinica* montrent des bonnes performances pour le génie végétal dans les conditions de l'Ouest du Burundi.

Mots clés : génie végétal, croissance, espèce végétale, bouture, pot

ABSTRACT

Burundian lands are frequently subject to landslides. Their stabilization requires the combination of techniques including plant engineering that allows plant assistance, strengthen the soil, and improve the resistance of river banks and roads talus and prevent landslides.

The Objective of this study is to follow the growth parameters of a few plant species with a view to identify those that are conducive to the plant engineering technique. She was led by comparison of the survival rate and growth parameters (height and diameter) of plant species planted on the various devices in the construction site Scholar and through the assessment of the cutback potential of these plant species into vegetation vases at the Mutanga campus of the Burundi University.

The observations made at the vegetative genius yard of Isare at six months after the planting of cuttings show that two graminean species, the turf (Agrostis capillary) and the Bana grass reed, and an arbutive species (*Leucaena leucocephala*) well on the site. On the other hand, four other trees species (*Crassocephalum mannii, Euphorbia tirucalli, Synadenium grantii, Ficus ingens*) manifest a bad recovery rate on the said site. Among the trees tested in pots at the Mutanga campus, the highest rods and the longest roots were recorded at the *Tetradenia riparia* and the *Erythrina abyssinica.* On the other hand, the least high stems were recorded in the *Jathropha curcas* and the *Ficus ingens*, while the least long roots were recorded in the *Ficus ingens* and the *Morus nigra*. In this essay in pots, the cuttings of the *Africana Commiphora* were not able to bud.

In conclusion, *grass, Bana grass* and *Leucaena* are plant apts to plant engineering; while *Tetradenia riparia* and *Erythrina abyssinica* show good performance for plant genius in the West Conditions of Burundi.

Keywords: plant engineering, growth, plant species, cutting, pot

TABLE DES MATIERES

MEMBRES DU JURY i

DEDICACES ii

REMERCIEMENT iii

RESUME iv

ABSTRACT v

TABLE DES MATIERES vi

SIGLES ET ABREVIATIONS ix

LISTE DES FIGURES x

LISTE DES TABLEAUX xi

AVANT PROPOS xii

0. INTRODUCTION GENERALE 1

0.1. Contexte et justification 1

0.2. Problématique 3

0.3. Objectifs de l'étude 4

0.3.1. Objectif global 4

0.3.2. Objectifs spécifiques 4

0.4. Intérêt du sujet 4

0.5. Justification du choix de la zone d'étude 4

0.6. Articulation du travail 5

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE GENIE VEGETAL 6

I.1. Définition des concepts 6

I.1.1. Génie biologique 6

I.1.2. Le génie végétal 6

I.1.3. Combinaison du génie végétal et le génie civil 7

I.1.4. Berges 7

I.1.5. Caissons 7

I.1.6. Palissades 7

I.1.7. Treillage bois 8

I.2. Quelques techniques du génie végétal 8

I.2.1. Cordons avec seuil en bois 8

I.2.2. Le bouturage 8

I.2.3. Ensemencement 9

I.2.4. Fascinage 10

I.2.5. Plantation dans les enrochements 10

I.3. Inconvénient de la technique de génie végétal 11

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES 12

II.1. Description du milieu d'étude 12

II.1.1. Présentation de la zone d'étude 12

II.1.2. Description du chantier végétal d'Isare 12

II.2. Matériel utilisé 14

II.3. Méthodologie utilisée 14

II.3.1. Méthodologie utilisée sur le chantier-école du génie végétal à Isare 14

II.3.2. Méthodologie utilisée pour évaluer le potentiel des arbustes pour le génie végétal 16

II.4. Traitement et analyse des données 16

CHAPITRE III : PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS 18

III.1. Présentation des résultats 18

III.1. 1. Paramètres de croissance des espèces végétales plantées sur le site du chantier-école du génie végétal d'Isare 18

III.1.2. Facteurs influençant la croissance des espèces au niveau du chantier-école de génie végétal 23

III.1.3. Croissance des plants dans les champs expérimentaux installés au campus Mutanga...23

III.2. Discussion des résultats.....27

III.2. 1. Techniques végétales utilisées et état des espèces végétales à Isare.....27

III.2.2. Champs expérimental réalisé au campus Mutanga.....28

CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....30

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE.....32

ANNEXE 35

SIGLES ET ABREVIATIONS

C.M : Campus Mutanga

Dmin : Diamètre minimal

GV : Génie Végétal

Hmin : Hauteur minimale

% : Pourcentage

L. Rac : Longueur des racines

PRRPB : Projet de Restauration et de Résilience des Paysages au Burundi

Prov. Buja : Province Bujumbura

PVC : Polychlorure de Vinyle

UNIFI : Université de Florence

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Les cordons avec garnissage sur seuil en bois.....8
Figure 2: Objets et thématiques de recherche étudiés par la communauté scientifique sur les interactions entre végétation, érosion et sédimentation grâce à la technique du génie végétal (Rey, 2018).....9
Figure 3: Représentation schématique de la technique d'ensemencement 10
Figure 4: Représentation schématique de la technique fascine.....10
Figure 5: Enrochements avec des piquets vivants enfoncés dans les joints ou les ouvertures entre les rochers.....11
Figure 6: Localisation des sites d'expérimentation.....12
Figure 7: Hauteur des arbustes plantés en pots pour le suivi de la croissance 24
Figure 8: Nombre de tiges croissant sur les boutures des arbustes plantés en pots 25
Figure 9: Nombre de racines des arbustes plantés en pots pour le suivi de la croissance.....26
Figure 10: Longueur des racines des arbustes plantés en pots pour le suivi de la croissance.....27

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Liste des plantes utilisées pour la stabilisation du chantier du génie végétal d'Isare ..15
Tableau 2: Taux de reprise, hauteur (cm) et diamètre (cm) des arbustes et herbacées plantés sur le caisson triangulaire.....18
Tableau 3: Pourcentage et dimensions des espèces végétales survivant sur le caisson de drainage 19
Tableau 4: Pourcentage et dimensions des espèces végétales survivant sur le caisson double 19
Tableau 5: Pourcentage et dimensions des espèces végétales survivant sur le treillage-bois avec de la terre argileuse (treillage 1) 20
Tableau 6: Pourcentage et dimensions des espèces végétales survivant sur le treillage-bois (treillage 2).....21
Tableau 7: Pourcentage et dimensions des espèces végétales survivant sur la palissade au-dessus du caisson double 21
Tableau 8: Pourcentage et dimensions des espèces végétales survivant sur Palissade à droite du caisson double 22
Tableau 9: Pourcentage et dimensions des espèces végétales survivant sur la Palissade à droite du treillage-bois 2.....22

AVANT PROPOS

Le présent mémoire intitulé « SUIVI DE LA CROISSANCE DE QUELQUES ESPECES UTILISEES POUR LE GENIE VEGETAL » a été réalisé avec des essais expérimentaux qui ont été conduits à Isare et au campus Mutanga de l'Université du Burundi dans le cadre du travail de fin des études du cycle de Master en Sciences et Gestion Intégrée de l'Environnement, option : Génie de l'Environnement.

L'idée de ce mémoire de recherche est venue du fait que le génie végétal constitue la mise en œuvre de techniques utilisant des végétaux vivant et leurs propriétés mécaniques et/ou biologiques afin de contrôler, stabiliser et gérer des berges glissées ou érodées.

L'objectif du présent travail était d'identifier quelques espèces végétales qui se prêtent mieux pour le génie végétal dans les conditions écologiques de l'Ouest du Burundi. Les résultats trouvés peuvent permettre d'identifier les plantes qui poussent bien sur le chantier du génie végétal et celles qui possèdent un bon potentiel d'utilisation sur les chantiers du genre à l'Ouest du Burundi.

Hormis l'introduction, la conclusion, les perspectives, les références bibliographiques et les annexes, ce mémoire est articulé sur trois chapitres. Le premier chapitre porte sur les généralités du génie végétal, le deuxième chapitre décrit les matériels et les méthodes auxquels nous avons fait recours pour réaliser cette recherche. Le troisième chapitre présente les résultats obtenus et leur discussion avant de terminer avec conclusions et perspectives.

Les résultats de ce mémoire peuvent aider à la sélection des espèces végétales plus performant pour la technique du génie végétal selon leur adaptabilité.

0. INTRODUCTION GENERALE

0.1. Contexte et justification

Le monde actuel est beaucoup confronté à un problème du changement climatique (Gueldry, 2013). Ce dernier est causé principalement par les facteurs anthropiques comme les mauvaises pratiques culturales, l'urbanisation et la construction des voies terrestres comme les routes goudronnées. Toutes ces activités sont à l'origine de la création de l'instabilité du sol, qui est le socle du développement en général (Fall *et al.*, 2011).

Les pratiques agricoles et la mise en place des infrastructures publiques et privées créent des situations défavorables du milieu qui contribuent à la dégradation du milieu physique, et conduisent à la perte de la biodiversité et du sol (Burylo & Rey, 2009).

Le génie civil, utilisant les matériaux non vivants, est l'une des méthodes beaucoup plus utilisées depuis des centaines d'années, et aujourd'hui, pour faire face à l'érosion occasionnée par ces pratiques. Cependant, l'usage du génie civil pour la gestion des dégâts de l'érosion ne peut en aucun cas promouvoir la restauration écologique de la biodiversité initiale. Or la restauration écologique vise le génie écologique qui désigne la mise en œuvre des techniques utilisant le vivant, végétal ou animal, pour la qualité environnementale des milieux que l'on cherche à restaurer, créer, préserver ou gérer (Rey *et al.*, 2015a). C'est ainsi que pour le moment on fait recours au géni végétal, qui est l'utilisation de plantes vivantes, ou de parties de celles-ci et de semences afin de résoudre les problèmes de l'ingénieur dans les domaines mécaniques de la protection contre l'érosion, de la stabilisation et de la régénération des sols (Freddy *et al.*, 2015; Janssen *et al.*, 2019).

Le génie végétal est un sous-ensemble du génie écologique, il constitue la mise en œuvre de techniques utilisant des végétaux et leurs propriétés mécaniques et/ou biologiques pour le cas de notre étude : contrôler, stabiliser et gérer des berges glissées ou érodées (Burylo et Rey, 2009; Janssen *et al.*, 2019).

Le génie végétal tire parti des aptitudes biologiques des plantes. Il offre ainsi des solutions techniques de lutte contre l'érosion qui sont durables et intégrées (Lavaine *et al.*, 2011).

Les techniques du génie végétal reposent sur le principe que la végétation mise en place augmente la stabilité de la berge (Thorne, 1982). Cette stabilité s'appuie sur le développement du système racinaire des éléments végétaux (Peeters *et al.*, 2018a) et de leur appareil caulinaire qui favorisent

un faible taux d'humidité grâce à l'interception par le couvert végétal et à l'évapotranspiration (Simon et Collison, 2002).

Les techniques de génie végétal employées pour la protection des berges font largement appel à des ligneux capables de se reproduire à partir de sections de tiges (boutures, baguettes...).

Le génie végétal des sols consiste à imiter les processus naturels comme l'ancrage des racines, en intégrant du matériel végétal dans la conception de projets d'ingénierie, afin de protéger différentes structures de l'érosion(Gray et Sotir, 1996). Pour ces mêmes auteurs, le génie végétal des sols utilise des plantes vivantes et des parties de plantes par la mise en place de boutures et des tiges vivantes dans le sol, ou dans des structures en terre, permettant ainsi de fournir un support mécanique supplémentaire au sol, et agissant comme des drains hydrauliques, des barrières aux mouvements de la terre. Ces techniques sont donc des alternatives au génie civil

Le génie végétal combiné ou pas avec le génie civil pourrait apporter des solutions plus ou moins durables. Le terme génie végétal a été depuis longtemps utilisé comme méthode adéquate dans la réduction de l'érosion du sol, dans la stabilisation des berges des rivières, des voies ferroviaires ou routières et dans la régénération des sols (Evette *et al.*, 2009a; Freddy *et al*., 2015; Janssen *et al*., 2019). Comparativement au génie civil, le génie végétal a un avantage important d'avoir la capacité d'augmenter la résistance au cours du temps (Evette *et al*., 2009a).

Les matériaux vivants utilisés par le génie végétal doivent, en grande partie inclure des matériaux locaux (c.à.d. des espèces indigènes). Sinon des espèces exotiques peuvent être servies à cette fin à condition que leur présence ne résulte aucun effet néfaste en combinaison avec les espèces indigènes (Campbell *et al*., 2008). Ils doivent aussi inclure des espèces des plantes herbacées et des espèces ligneuses (c.à.d. arbres ou arbustes). Pour assurer le rôle de réparation, de protection et de la mise en valeur des zones glissées ou érodées, ces espèces sont tenues d'avoir certaines caractéristiques comme *(*Campbell *et al., 2008;* Florineth *et al*., 2015) :

- intercepter les gouttes de pluies réduisant ainsi l'impact direct des gouttes et des éclaboussures ;
- lier et retenir les particules du sol ;
- réduire le degré de saturation du sol près de sa surface,
- retarder les vitesses du ruissellement du sol ;
- réduire les quantités de matériaux du sol érodés et déplacés ;

- fournir un support mécanique à la surface du sol à travers l'action des racines ; fournir un support supplémentaire à la pente à travers les contreforts et des tiges encastrées, et fournir immédiatement un contrôle d'érosion après plantation.

A côté de ces caractéristiques, ces espèces doivent aussi être susceptibles de se reproduire végétativement ou par bouture, avec une croissance rapide et fournissant une biomasse foliaire et racinaire abondante, et avoir une longévité, résistance à certaines crues (Burylo et Rey, 2009). Pour les espèces à reproduction asexuée, elles doivent montrer leur capacité de croissance rapide.

0.2. Problématique

Le Burundi, un pays de l'Afrique de l'Est, et un pays membre de la Communauté de l'Est Africaine (EAC), est souvent appelé « pays de mille et une collines » dû à ses divers types de reliefs. Il connaît ainsi les plaines, les plateaux et les montagnes. Au moment où ce pays se livre dans le développement durable par la construction des infrastructures (routes, voie ferrée et bâtiments divers), l'urbanisation et l'amélioration des pratiques agricoles et élevage, son système de lutte contre les glissements de terrain dans ces différents domaines est en grande partie le génie civil. Comme dans d'autres pays, le génie végétal y reste moins développé surtout sur les talus des routes ou les berges des rivières.

Ainsi, la région de Mumirwa constitue la zone écologique la plus menacée car les terres sont très exploitées au maximum avec de mauvaises pratiques culturales sur des pentes assez fortes. Les experts estiment qu'environ 150 tonnes de terres à l'hectare sont perdues chaque année (Cyrille et Astère, 2016).

Comme le Burundi est plus moins riche et diversifié en termes de biodiversité végétale, certaines de ces espèces végétales pourraient être retenues en génie végétal, et ainsi exploitées pour sauvegarder la biodiversité et maintenir la stabilité du sol.

C'est dans cette optique qu'a été conçue et menée cette étude intitulée « Suivi de la croissance de quelques espèces utilisées pour le génie végétal » afin de prévenir, restaurer et gérer les dégradations des sols sur les talus des routes ou berges des rivières.

0.3. Objectifs de l'étude

0.3.1. Objectif global

Ainsi, la présente étude a pour l'objectif global d'identifier quelques espèces végétales qui se prêtent mieux pour le génie végétal dans les conditions écologiques de l'Ouest du Burundi.

0.3.2. Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques de cette étude sont :

- Comparer les paramètres de croissance des espèces végétales plantées sur différents dispositifs du chantier école d'Isare ;
- Evaluer le potentiel de bouturage de certaines espèces pour le génie végétal en vue de leur usage pour la stabilisation des berges des rivières et des talus des routes et pour la lutte contre l'érosion des sols.

0.4. Intérêt du sujet

La présente étude contribue fortement au renforcement des connaissances acquises en classe et portera un atout aux futurs chercheurs en prévention des dégâts liées à l'érosion et aux glissements de terrain. Les espèces végétales qui seront identifiées comme potentiellement aptes aux techniques de génie végétal pourront être utilisées dans la stabilisation des berges des rivières, des talus des routes et des ravins.

0.5. Justification du choix de la zone d'étude

Dans le cadre du programme de restauration des paysages du Burundi, la Banque mondiale fournit un appui financier au gouvernement pour la mise en œuvre du Projet de Restauration et de Résilience du Paysage du Burundi (PRRPB). Le PRRPB pilote la restauration du paysage dans la province de Bujumbura (commune d'Isare) et dans la province de Muyinga (commune de Buhinyuza). Pour atténuer les dégradations des sols comme les glissements de terrain, le Département des Sciences et Technologies de l'Agriculture, de l'Environnement et des Forêts (DAGRI) de l'Université de Florence a été recruté pour appliquer un champ expérimental appelé « un chantier école de génie végétal » à Isare en colline Benga. Le second essai expérimental a été réalisé dans un milieu où on peut garder régulièrement la croissance des jeunes pousses dans un pot. D'où on a choisi campus Mutanga de la commune Mukaza en Zone Rohero comme milieu

favorable de notre essaie. L'objectif de ces essais était de suivre la croissance de quelques espèces végétales choisies pour le génie végétal.

0.6. Articulation du travail

A côté de l'introduction, la conclusion et quelques suggestions, ce travail comprend trois chapitres. Le premier chapitre porte sur les généralités du génie végétal, le deuxième chapitre décrit les matériels et les méthodes auxquels nous avons fait recours pour réaliser cette recherche. Le troisième chapitre présente les résultats obtenus et leur discussion avant de terminer avec conclusions et perspectives.

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE GENIE VEGETAL

Depuis une trentaine d'années, les techniques de génie végétal ont connu un regain d'intérêt et grâce aux nouvelles technologies apparues, leur mise en œuvre a été beaucoup plus facile (Evette *et al*., 2009b).

Les principaux domaines d'utilisation du génie végétal sont : la lutte contre l'érosion du sol ou l'instabilité des talus ; la renaturation d'un site (écologique, paysagère, etc.) ; la lutte contre les espèces exotiques envahissantes et la protection contre les risques naturels (Peeters *et al*., 2018b).

Le choix de la technique végétal la plus appropriée va ensuite dépendre de nombreux facteurs relatifs au contexte environnemental (climat, exposition, nature et structure de la berge, etc.) et aux caractéristiques du cours d'eau (variables hydrologiques, forme du tracé de la rivière, concentration des sédiments en suspension, etc.). La connaissance de ces données environnementales est donc primordiale pour sélectionner une technique à mettre en œuvre (Peeters *et al*., 2020).

I.1. Définition des concepts

I.1.1. Génie biologique

Le génie biologique désigne la mise en œuvre des techniques utilisant les végétaux (végétalisation) et leurs propriétés mécaniques et/ou biologiques, pour : le contrôle, la stabilisation et la gestion des sols érodés ; la restauration, la réhabilitation ou la renaturation de milieux dégradés, incluant une intégration paysagère des aménagements ; la Phyto-réhabilitation ou phyto-remédiation, correspondant à l'épuration ou la dépollution des sols et des eaux (Rey *et al*., 2015b).

I.1.2. Le génie végétal

Le génie végétal, ou plus précisément l'ingénierie végétale (phase de conception des ouvrages de génie végétal), est un élément reconnu de l'ingénierie écologique, laquelle se définit comme « la conception de systèmes durables, en adéquation avec les principes de l'écologie, dont le but est d'intégrer les sociétés humaines dans leur environnement naturel pour un bénéfice commun » (Rey, 2018)**.** Le génie végétal est utilisé pour la restauration écologique des milieux dégradés, mais aussi pour limiter les risques naturels.

Le génie végétal est une technique qui se base sur l'utilisation de végétaux vivants et de leurs propriétés mécaniques ou biologiques pour assurer ses fonctionnalités. En ville, il peut être utilisé

comme une alternative au génie civil pour la stabilisation des berges, la protection contre les inondations et le contrôle de l'érosion (Leblois *et al*., 2016).

I.1.3. Combinaison du génie végétal et le génie civil

Le génie biologique peut aussi venir en complément du génie civil, comme dans cette technique mixte en pierre et végétation : les « perrés », « perrés à plat », ou « placages ». Ils correspondent à un mince revêtement de pierres posées à plat et fixées à la rive par de la végétation. Il peut également s'agir de mœllons de forme arrondie appelés « têtes de chiens » (Meuse). Les pierres sont posées côte à côte et des boutures sont plantées entre leurs joints pour, en se développant, relier les pierres entre elles et les fixer au sol. Il est indispensable d'entretenir ensuite ces plantations pour les maintenir à l'état de buisson et éviter le développement d'une tige maîtresse (gêne du halage et risque d'arrachement) (Labonne *et al*., 2007).

I.1.4. Berges

Entre terre et eau, les berges sont des milieux d'une grande richesse floristique et faunistique qui jouent un rôle majeur de corridors biologiques au bord des routes ou rivières. La protection des berges par des ouvrages de génie végétal est une solution écologique et économique mais qui répond généralement à un savoir d'experts construit sur une approche empirique (Leblois *et al*., 2016).

I.1.5. Caissons

Destiné à stabiliser l'ensemble de la berge, le « caisson » est une structure en rondins de bois, composée de deux rangées longitudinales et parallèles de rondins (longrines) sur lesquels sont cloués, perpendiculairement aux premiers, d'autres rondins (moises). Le caisson est rempli de matériaux terreux, au moins dans la partie frontale. Ils peuvent être installés sur des pentes de berge élevées et ils possèdent une très bonne résistance à l'érosion (Peeters et al., 2018b). De par sa structure en bois, il offre une armature de soutien au talus et, de ce fait, une stabilisation immédiate.

I.1.6. Palissades

Les « palissades » sont composées de pieux et de travers disposés à intervalles réguliers formant une série de paliers derrière lesquels sont implantées d'autres techniques(Québec,2005).

I.1.7. Treillage bois

Un treillage bois est une structure architecturale, généralement constituée d'un treillis de morceaux de bois entrecroisés, qui est normalement conçu pour soutenir et exposer des plantes grimpantes, en particulier des arbustes (lorem ,2015).

I.2. Quelques techniques du génie végétal

I.2.1. Cordons avec seuil en bois

Les cordons avec garnissage sur seuil en bois (figure1) sont constitués de boutures pour les cordons et les garnissages, de 50 cm de longueur et de 2 à 3 cm de diamètre, qui dépassent la surface du sol de 20 cm. Les cordons comportent 20 boutures sur 1,20 m de large et les garnissages 40, les boutures de ces dernières étant réparties sur environ 2 m^2 (Rey *et al*., 2015a).

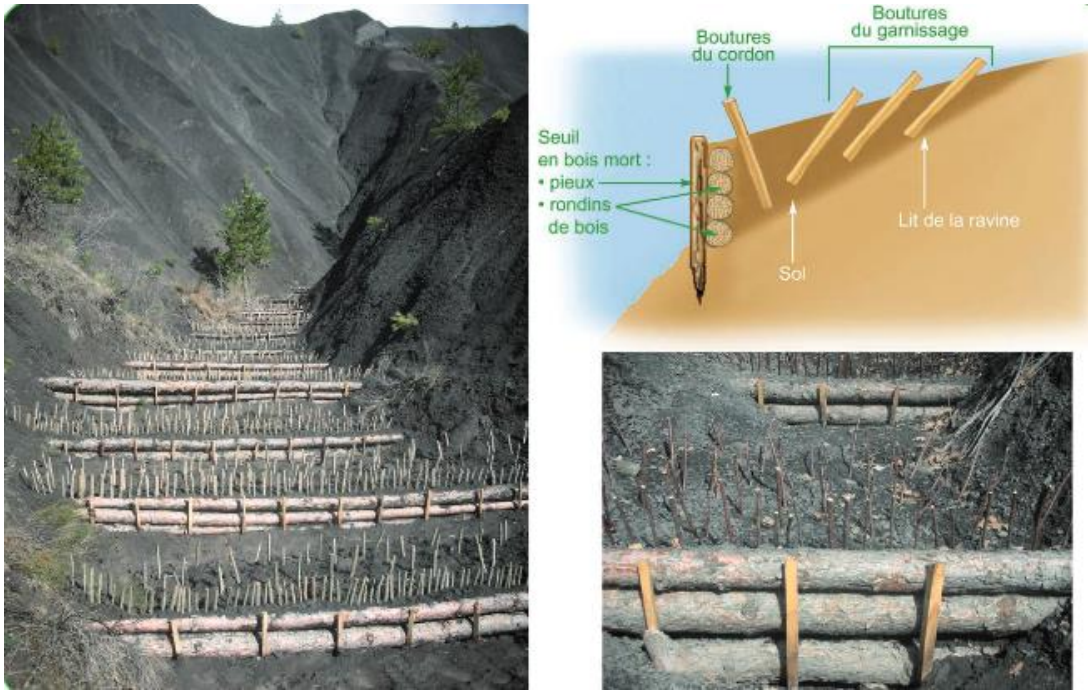


Figure 1: Les cordons avec garnissage sur seuil en bois

I.2.2. Le bouturage

La bouture c'est un segment de branche d'une espèce présentant une forte capacité de rejets. La branche de diamètre variable (quelques centimètres) et de longueur allant de 40 à 100 centimètres permet le développement d'un nouvel arbre ou arbuste. Les espèces les plus communément utilisés sont celles qui permettent une végétalisation rapide (Grellier et Ginestet, 2021).

Le schéma ci-dessous illustre bien l'importance d'utilisation des boutures dans la technique du génie végétal.

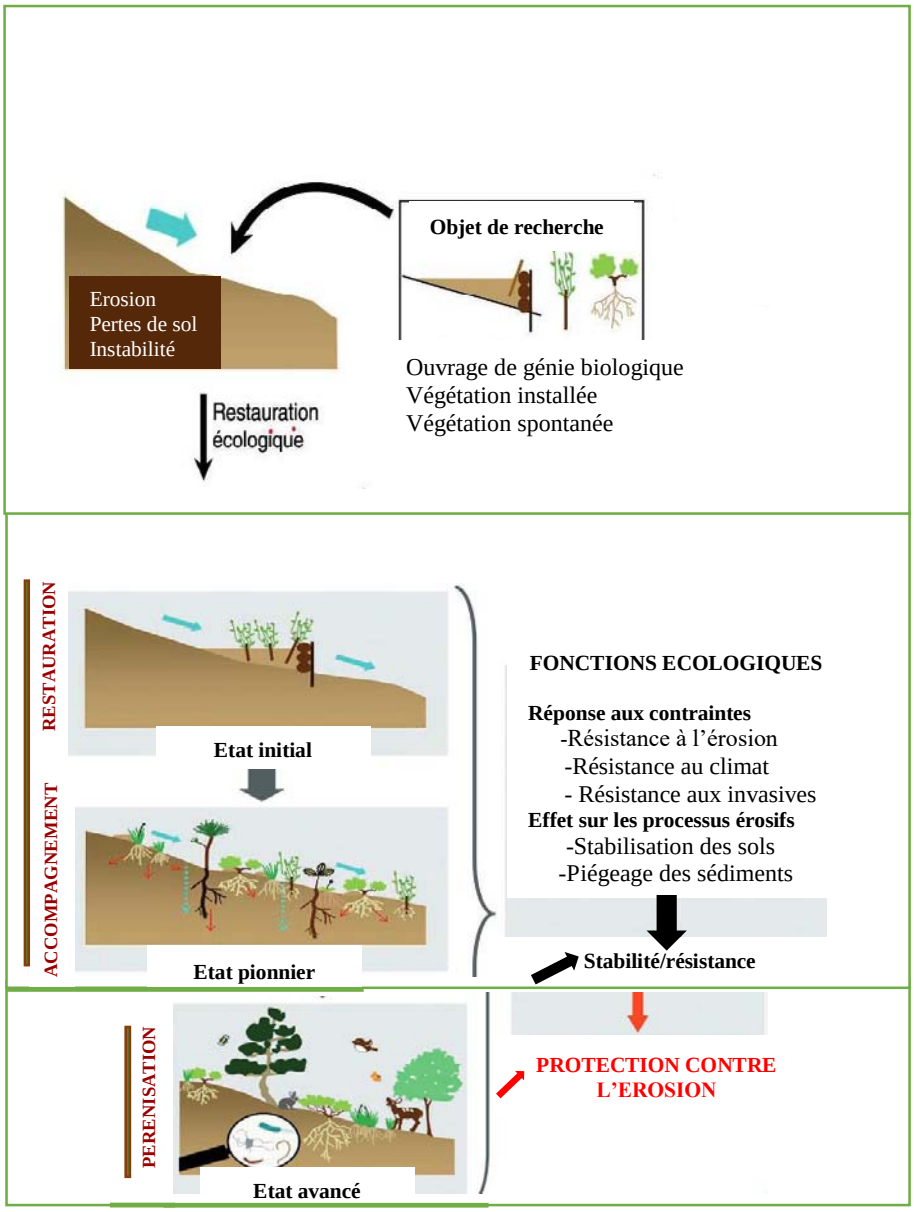


Figure 2: Objets et thématiques de recherche étudiés par la communauté scientifique sur les interactions entre végétation, érosion et sédimentation grâce à la technique du génie végétal (Rey, 2018).

I.2.3. Ensemencement

L'ensemencement se réalise pour assurer une stabilisation sur une surface partiellement ou totalement nue, dépourvue de végétation, ou sur une berge érodée. Il offre une colonisation végétale à haute densité, très régulière et permet de végétaliser de grandes surfaces en peu de temps (LACHAT, 1994). Cette technique utilise le plus souvent le géotextile, une natte filtrante fait de

matériaux synthétiques ou naturels (jute, coton) qui se comporte comme une couverture de control de l'érosion.

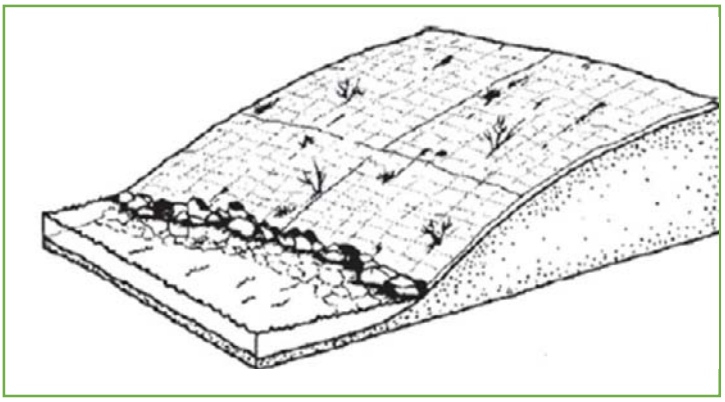


Figure 3: Représentation schématique de la technique d'ensemencement

I.2.4. Fascinage

La « fascine » est une protection du pied de berge réalisée avec des branches d'espèces végétales, assemblées en fagots et fixées par une rangée de pieux (fascine simple) ou disposées par couches successives entre deux rangées de pieux (fascine double). La fascine est régulièrement accompagnée d'autres techniques de protection (boutures, lit de plants et plançons, couches de branches, etc.) car elle ne constitue pas une technique appropriée pour la protection du talus en entier. C'est une technique efficace qui apporte une protection mécanique immédiate, capable de résister à de fortes contraintes hydrauliques (Peeters *et al*., 2018c).

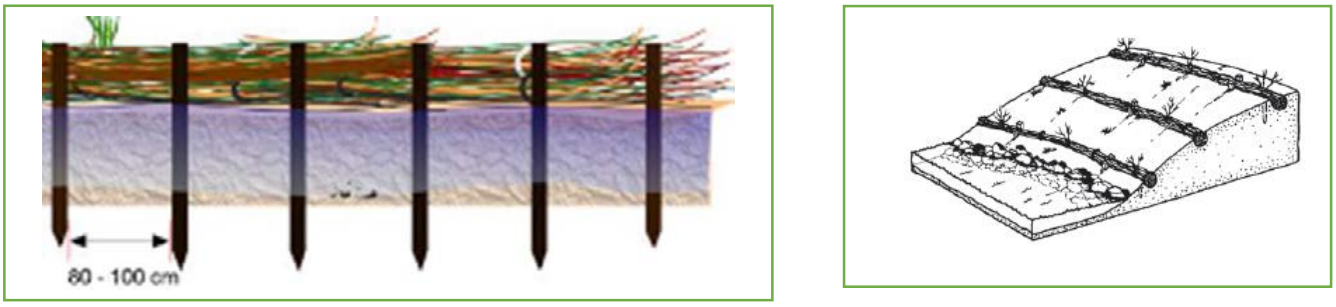


Figure 4: Représentation schématique de la technique fascine

I.2.5. Plantation dans les enrochements

Les plantations dans les enrochements sont une technique recommandée sur les cours d'eau à forte énergie. Elle peut être appliquée aussi sur le cours d'eau à forte mobilité, à fort transport solide, ainsi que lorsque le fond est rocheux.(Peeters *et al*., 2020).



Figure 5: Enrochements avec des piquets vivants enfoncés dans les joints ou les ouvertures entre les rochers.

I.3. Inconvénient de la technique de génie végétal

Le choix de la technique du génie végétale à utilise implique de tenir compte des inconvénients comme :

- ✓ Technique qui utilise beaucoup des moyens ;
- ✓ Technique qui demande une disponibilité des boutures selon le cas ;
- ✓ Stabilisation limitée selon la profondeur des racines ;
- ✓ Entretien régulier et prolongé des ouvrages de génie végétal ;
- ✓ Disponibilité des pépinières ;
- ✓ Temps plus long pour la fonctionnalité des ouvrages ;
- ✓ Limite technique : sur les berges des rivières, on ne peut pas réaliser les travaux avec un grand courant d'eau.

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

II.1. Description du milieu d'étude

II.1.1. Présentation de la zone d'étude

Notre étude a été effectuée sur les deux sites. Le premier site se trouve sur la colline Benga de la commune Isare et est localisé à une latitude de -3.3110688 et une longitude de 29.4417247. Le second site se trouve au campus Mutanga de l'Université du Burundi. Ce site se localise dans la commune Mukaza en zone Rohero à une latitude et longitude de -3.37791 et 29.3843673 respectivement.

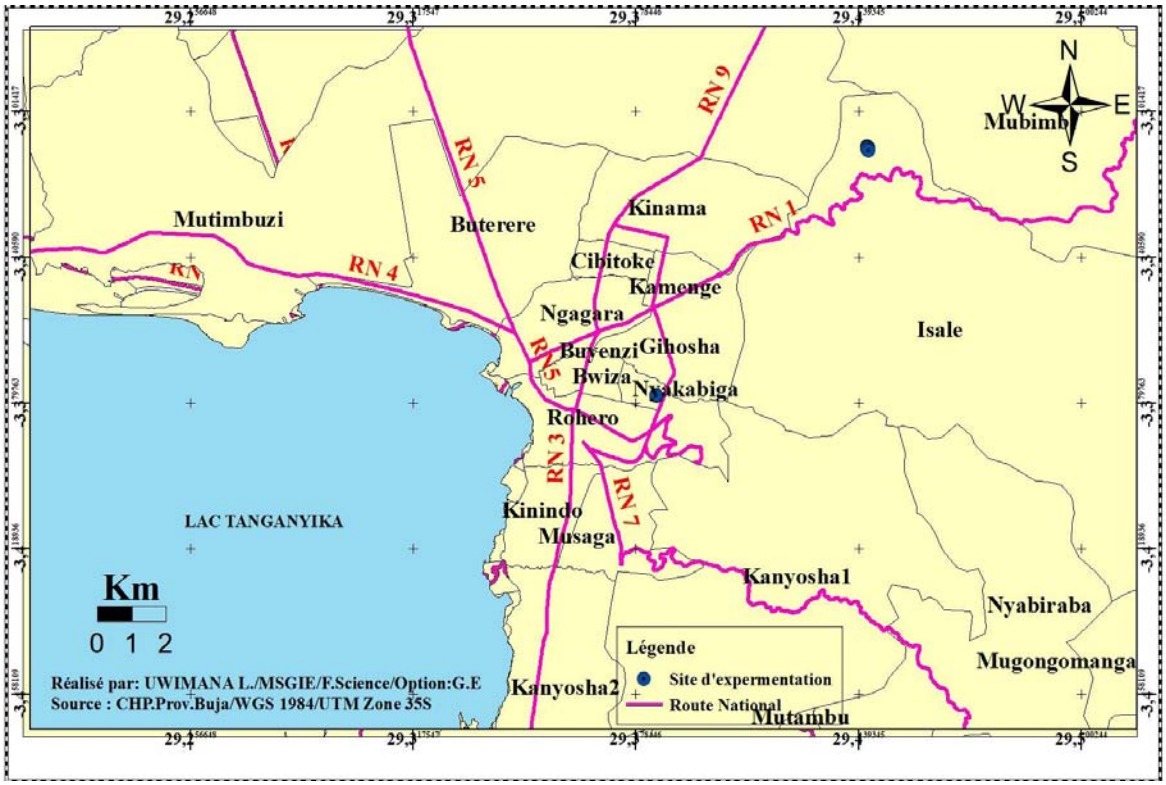


Figure 6: Localisation des sites d'expérimentation

II.1.2. Description du chantier végétal d'Isare

Le chantier – école du génie végétal d'Isare a été installé pendant trois semaines (entre le 13-02-2023 et le 06-03-2023) par les experts du DAGRI/UNIFI. On l'a appelé chantier-école parce qu'il est destiné à servir de modèles aux partenaires impliqués dans les aménagements des bassins versants afin qu'ils s'approprient de cette technologie.

Cinq types d'ouvrages (photos illustratives en annexe) ont été installés sur ledit chantier à savoir :

- le caisson triangulaire;
- le caisson de drainage;
- le caisson double;
- le treillage bois;
- la palissade.

Le caisson triangulaire a été réalisé à l'aide des rondins d'*Eucalyptus* disposés sous forme triangulaire et soutenus par un morceau de fer à béton d'environ 2 m et quelques pierres en son sommet du côté du talus. Chaque étage a été remblayé par la terre végétale plus la plantation des boutures des espèces dans les étages inférieurs avec des racines profondes dont l'*Euphorbia tirucalli* (umunyari), *Synadenium grantii* (Umukoni) et *Ficus ingens* (Umuvumuvumu). Pour les étages supérieurs, des boutures de *Bana grass* (urubingo) avec des racines superficielles ont été utilisées.

Le caisson de drainage a été réalisé pour drainer l'eau à cause de la roche dure qui ne permettait pas à l'eau de s'infiltrer et causer le suintement dans le talus. Par après, les glissements étaient intenses. Il est constitué par des rondins sous forme de triangle. Cependant, on y ajoute aussi un tuyau PVC 110 pour drainer l'eau saturée et a été couvert par une couche de gravier et de moellons. Vers les étages supérieurs, une terre végétale a été ajouté et des plantations des *Bana grass, Crassocephalum mannii* (umutagari), *Ficus ingens* et *tirucalli, Synadenium grantii.* Une autre espèce arborée, le *Leucaena leucocephala*, a été plantée sous forme de graines.

Le caisson double est situé à droite du caisson de drainage avec 4 morceaux de rondins associés sous forme d'un parallélogramme ou rectangle. Les plus longs sont des longrines et les autres sont des traverses. Ils ont été superposés en quelques étages tout en respectant une pente frontale de 60°. A chaque étage, il y a eu l'ajout de la terre végétale plus la plantation des boutures des espèces végétales vivantes.

Sur le caisson double, deux (2) treillages bois ont été construits à savoir :

-Treillage au-dessus du caisson double (treillage-bois 1);

- Treillage à droite du caisson double (treillage-bois 2).

La cinquième technique de génie végétal appliquée à Isare sur le chantier-école est la palissade. Celle-ci a été facilitée par les pieux (bois de soutènement) de 1 à 1, 5 m et des rondins horizontales de 2 à 2,5 m tous d'eucalyptus plus un fil à ligaturer pour les lier. Trois palissades ont été construites sur le tronçon du talus de la route où l'ouvrage du chantier-école a été implanté.

Ces trois palissades sont :

- La palissade au-dessus du caisson double;
- La palissade à droite du caisson double;
- La palissade à droite du treillage 2.

Pour chaque palissade, il y a eu le reprofilage du talus argileux pour le remplissage de deux (2) ou trois (3) rondins afin d'y planter quelques boutures des espèces végétales.

II.2. Matériel utilisé

Pour atteindre les objectifs de notre étude, plusieurs matériels ont été utilisés. Il s'agit de :

- Boutures des espèces végétales : utilisées dans les champs expérimentaux ;
- Graines de *Leucaena leucocephala ;*
- Pots contenant du sol : support des boutures des espèces végétales ;
- Machette : pour fragmenter les rejets de bouture ;
- Latte : pour mesurer la longueur/hauteur et le diamètre des tiges et des racines ;
- Il y a eu aussi l'utilisation du téléphone androïde lors de la prise des photos sur terrain. De plus, des carnets ainsi que le stylo ont été utilisés sur terrain afin de noter les données observées.

II.3. Méthodologie utilisée

L'étude a pris deux phases : la recherche documentaire et les essais expérimentaux.

La recherche documentaire a été réalisée par la lecture d'articles scientifiques relatifs à la technique du génie végétal pour proposer les espèces autochtones du Burundi qui pourraient contribuer à cette technique dans d'autres pays. Ainsi, les espèces rencontrées dans ces ouvrages et qui existent dans la flore nationale, combinées avec celles rencontrées sur terrain ont été rassemblées, et constituent ainsi la base de notre étude.

Les essais expérimentaux ont été conduits à Isare et au campus Mutanga de l'Université du Burundi.

II.3.1. Méthodologie utilisée sur le chantier-école du génie végétal à Isare

Les ouvrages ci-haut décrits ont été consolidés par remblayage avec de la terre et par plantation des herbes et arbustes pour la stabilisation durable du talus. Les noms scientifiques et vernaculaires en kirundi des plantes utilisées sont montrés dans le Tableau 1.

Lors de la plantation des espèces végétales sur chantier, il a été question de collecter des informations auprès de la population locale d'Isare et aux experts botanistes burundais notamment

Mathias HITIMANA, Prof. Joël NDAYISHIMIYE afin d'établir la liste des espèces qui se multiplient par bouture. Ainsi, cette étape est semblable à celle procédée en Amérique du Sud en Équateur par(Preti et Petrone, 2013).

Tableau 1: Liste des plantes utilisées pour la stabilisation du chantier du génie végétal d'Isare

Nom vernaculaire (kirundi) de l'espèce	**Nom scientifique**	**Famille de l'espèce**
Umutagari	*Crassocephalum mannii*	Asteraceae
Umunyari	*Euphorbia tirucalli*	Euphorbiaceae
Umukoni	*Synadenium grantii*	Euphorbiaceae
Ikibingo	*Pennisetum purpureum x Pennisetum americanum*	Poaceae
Lesena	*Leucaena leucocephala*	Fabaceae
Umuvumuvumu	*Ficus ingens*	Moraceae
Gazo	*Agrostis capillaris*	Poaceae
Gutwikumwe	*Centalla asiatica*	Asteraceae
Akarura	*Ageratum Conyzoides L.*	Asteraceae

Ces derniers auteurs ont aussi considéré d'autres critères de choix des espèces tels que leur large tolérance à la variabilité des sols et leur taille modérée à maturité. Ainsi le PRRPB a préféré l'utilisation des espèces à multi-usages concernant la diminution de la dégradation des sols et l'alimentation du bétail de la population environnante.

Concernant le nombre de boutures plantées, chaque technique de génie végétal a reçu son effectif propre. Or, en Amérique du Sud plus précisément en Équateur, Preti et Petrone ont utilisé 100 boutures pour chaque palissade.

Sur ce site, pour évaluer l'état des espèces végétales employées sur le chantier du génie végétal, des descentes ont été effectuées en dates du 15 au 18 juin 2023. Les paramètres dendrométriques collectés sur le chantier de génie végétal à Isare sont : le pourcentage des espèces survivantes, la longueur totale ou la hauteur de la plantule et le diamètre à la base (Preti et Petrone 2013). Pour chaque type d'espèce végétale, on déterminait la hauteur au collet jusqu'au sommet de la bouture en croissance, le diamètre au collet. Ces paramètres étaient pris sur un échantillon de dix plants pour les espèces dont le nombre dépassait dix et sur toutes les tiges si leur effectif était inférieur à dix. Ensuite, il a été question de calcul des hauteurs et diamètre moyen avec les données ainsi

collectées. Notons que les espèces non plantées autour du dispositif du génie végétal ont été identifiées pour montrer que le dispositif du chantier-école d'Isare a bien fonctionné.

Signalons à toutes fins utiles que le gazon (*Agrostis capillaris*) a été planté à large échelle sur toute les surfaces des différents ouvrages du chantier et a repris avec satisfaction; raison pour laquelle sa reprise n'a pas été évaluée.

II.3.2. Méthodologie utilisée pour évaluer le potentiel des arbustes pour le génie végétal

Parmi la liste des arbustes proposés par les experts botanistes burundais (ci-haut cités) pour le génie végétal à Isare (Tableau en annexe), nous avons choisi 9 espèces à mettre en essai en vases de végétation pour tester leur capacité de bouturage. Ces espèces sont *Tetradenia riparia*, *Erythrina abyssinica*, *Crassocephalum mannii*, *Alchornea cordifolia*, *Euphorbia turucalii*, *Morus nigra*, *Jatropha curcas Ficus ingens* et *Commiphora africana*.

L'essai a été installé le 29 novembre 2023 et a pris fin le 21 mars 2024. Chaque espèce comportait 9 boutures reparties en 3 pots en raison de trois boutures de 50 cm de longueur par pot. On laissait 20 cm à l'air libre. Les pots ont été troués au-dessous de 7 trous. Cette méthodologie est semblable à celui de (Mira *et al*., 2021). Ces auteurs ont pris les boutures de 60 cm de longueur tout en introduisant 2/3 dans un substrat de sol.

Les données collectées (1fois à chaque deux semaines à partir de 09/12/2023 et à la fin de l'essai) étaient le nombre et la hauteur des rejets. En fin d'expérience, les boutures ont été excavées pour prendre des mesures telles que le nombre et la longueur des racines des espèces végétales testées.

II.4. Traitement et analyse des données

Après les mesures et autres activités de terrain, les données récoltées ont été analysées et traitées par le logiciel SPSS 16. L'analyse de la variance a été effectuée quand il le faut en considérant un seuil de significativité de 5% à l'aide du test Post hoc de Tukey. La carte de la zone d'étude a été élaborée en recourant au logiciel ARCGIS.

Le tableur Microsoft Excel 2013 a été utilisé pour la saisie et la représentation des données sur les graphiques. Pour les figures, les barres verticales représentent l'erreur standard, les lettres indiquent les différences significatives.

Le pourcentage des espèces vivantes ayant des boutures a été calculé par espèce à l'aide de la formule suivante :

$$TR = \frac{Nv\ X\ 100}{Np}$$

Où TR = Taux de reprise, Nv = Nombre des boutures végétatives bourgeonnées, Np= Nombre total des boutures plantés

CHAPITRE III : PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS

III.1. Présentation des résultats

III.1. 1. Paramètres de croissance des espèces végétales plantées sur le site du chantier-école du génie végétal d'Isare

III.1.1.1. Croissance des plantes sur le caisson triangulaire

Le taux de reprise des boutures, la hauteur et le diamètre des végétaux plantés au niveau du caisson triangulaire du chantier sont montrés au tableau2. L'espèce qui a montré un taux de reprise le plus élevé est le *Leucaena laucocephala* (100%) tandis que la dernière est l'*Euphorbia tirucalli* (33%). Les tiges les plus hautes sont celles du Bana grass (moyenne de 285 cm) tandis que les moins hautes sont celles d'*Euphorbia tirucalli* (13,9 cm). Quant au diamètre au collet, il est plus grand pour le Bana grass (1,97 cm) et le plus faible chez les tiges de *Leucaena leucocephala* (0,24 cm).

Tableau 2: Taux de reprise, hauteur (cm) et diamètre (cm) des arbustes et herbacées plantés sur le caisson triangulaire

Nom scientifique	Effectif de boutures plantées	Effectif survivants	% des boutures bourgeonnées	Hmin	Hmoy	Hmax	Dmin	Dmoy	Dmax
Crassocephalum mannii	4	2	50,00	17,6	27,34	36,5	0,57	0,78	0,89
Euphorbia tirucalli	33	11	33,33	7,3	13,9	24	0,54	0,62	0,70
Synadenium grantii	26	25	96,15	44	49,68	61,1	1,02	1,32	1,88
*Pennisetum purpureum x P. americanum (*Bana grass)	81	78	96,30	258	285	308	1,85	1,97	2,17
Leucaena leucocephala	5	5	100,00	40	42,8	45	0,20	0,24	0,30
Ficus ingens	10	7	70,00	24,9	61,38	79	0,76	0,90	1,11

Les quatre (4) espèces végétales non plantées ont été constatées sur le caisson triangulaire. Il s'agit de plusieurs pieds d'*Ageratum Conyzoides L.* (Akarura) et de *Centalla asiatica* (Gutwikumwe) et des espèces suivantes apparues en un seul pied par espèce : Colocase, Manioc, *Brachiaria ruzisiensis*, *Mucuna pruriens*.

III.1.1.2. Caisson de drainage

Le pourcentage et dimensions des espèces végétales survivant sur le caisson de drainage sont montrés dans le tableau3. Quatre espèces ont été plantées sur le caisson de drainage remblayé avec de la terre. Il s'agit de *Crassocephalum mannii*, *Synadenium grantii*, *Pennisetum purpureum x P. americanum* et *Ficus ingens*. Parmi ces espèces, le *bana grass* a eu un grand taux de reprise (85%) tandis que le *Ficus ingens* a connu un faible taux de reprise 40%.

Le Bana grass est le plus haut de tous les végétaux plantés (hauteur moyenne de 284 cm) tandis que le *Crassocephalum mannii* est le plus court (hauteur moyenne de 27 cm).

Le même schéma s'observe pour la grosseur des tiges où le diamètre le plus grand a été obtenu chez le *Bana grass* (1,9 cm) et la plus petit chez *Crassocephalum mannii* est (0,8 cm).

Tableau 3: Pourcentage et dimensions des espèces végétales survivant sur le caisson de drainage

Nom scientifique	Effectif de boutures plantées	Effectif survivants	% de boutures bourgeonnées	Hmin (Cm)	Hmoy (Cm)	Hmax (Cm)	Dmin (Cm)	Dmoy (Cm)	Dmax (Cm)
Crassocephalum mannii	4	3	75,00	19,1	26,81	36,2	0,60	0,76	0,80
Synadenium grantii	4	3	75,00	44,6	50,02	59,8	1,07	1,34	1,85
*Pennisetum purpureum x P. americanum (*Bana grass)	20	17	85,00	259,2	284	307,5	1,85	1,89	2,15
Ficus ingens	5	2	40,00	25	60,39	78,3	0,78	0,88	1,10

Deux espèces végétales non plantées y sont visibles à savoir : un pied de manioc et un pied de *Brachiaria ruzisiensis*.

III.1.1.3. Caisson double

Le pourcentage et dimensions des espèces végétales survivant sur le caisson double sont montrés dans le tableau 4. Les boutures vivantes plantées étaient *Synadenium grantii*, de Bana grass, du *Leucaena leucocephala*, et du *Ficus ingens.*

Tableau 4: Pourcentage et dimensions des espèces végétales survivant sur le caisson double

Nom scientifique	Effectif de boutures plantées	Effectif survivants	% des boutures bourgeonnées	Hmin (Cm)	Hmoy (Cm)	Hmax (Cm)	Dmin (Cm)	Dmoy (Cm)	Dmax (Cm)
Synadenium grantii	25	23	92,00	44,2	50,03	60,4	1,01	1,30	1,87
Pennisetum purpureum x P. americanum	108	107	99,07	258,30	286	307,65	1,84	1,98	2,16
Leucaena leucocephala	3	3	100,00	40,6	35,2	44,8	0,21	0,23	0,29
Ficus ingens	9	5	55,56	25	62,22	78,8	0,77	0,88	1,10

Quant aux espèces rencontrées sur terrain non plantées sur ce caisson double, il y a seulement 1 seul pied de colocase.

III.1.1.4. Treillage-bois

III.1.1.4.1. Treillage-bois au-dessus du caisson double (treillage-bois 1)

Le pourcentage et dimensions des espèces végétales survivant sur le treillage-bois (treillage 1) avec de la terre argileuse sont montrés dans le tableau 5. Les espèces végétales plantées sur cette partie du chantier du génie végétal et encore vivantes sont au nombre de trois : *Crassocephalum mannii* (Umutagari), *Synadenium grantii* (Umukoni) et *Ficus ingens* (Umuvumuvumu) mais *Euphorbia tirucalli* (Umunyari) n'a pas repris. La terre de remblayage n'était que de l'argile.

Les espèces végétales non plantées qui sont apparues sur cette zone sont au nombre de trois, représentées par plusieurs individus de *Digitaria abyssinica (*A. Rich.*)* (urwiri), trois plants de *Cyperus distans* (urutaretare) et deux plants de *Brachiaria ruzisiensis*.

Tableau 5: Pourcentage et dimensions des espèces végétales survivant sur le treillage-bois avec de la terre argileuse (treillage 1)

Nom scientifique	Effectif de boutures plantées	Effectif survivants	% des boutures bourgeonnées	Hmin	Hmoy	Hmax	Dmin	Dmoy	Dmax
Crassocephalum mannii	7	2	28,57	6	8,45	10,9	0,20	0,35	0,50
Euphorbia tirucalli	5	0	0,00	Pas de reprise					
Synadenium grantii	5	4	80,00	5,1	16,27	19,8	0,30	0,62	0,70
Ficus ingens	10	7	70,00	5,4	14,24	20	0,30	0,41	0,50

III.1.1.4.2. Treillage-bois à droite du caisson double (treillage-bois 2)

Le pourcentage et dimensions des espèces végétales survivant sur le treillage-bois (treillage 2) sont montrés dans le tableau 6. Cette partie du chantier aménagé par le treillage-bois a été remblayée par la terre argileuse issue des couches profondes de la terre. Les boutures plantées étaient celles de *Synadenium grantii*, le *Bana grass*, *Ficus ingens* et l'*Euphorbia tirucalli*. Les trois premières espèces étaient encore représentées par des plants encore vivants alors que l'*Euphorbia tirucalli* n'a pas repris.

Les végétaux non plantés qui sont apparus dans la zone sont plusieurs pieds du chiendent (*Digitaria abyssinica (*A. Rich*.).*

Tableau 6: Pourcentage et dimensions des espèces végétales survivant sur le treillage-bois (treillage 2)

Nom scientifique	Effectif de boutures plantées	Effectif survivants	% des boutures bourgeonnées	Hmin	Hmoy	Hmax	Dmin	Dmoy	Dmax
Euphorbia tirucalli	6	0	0,00	0	0	0	0	0	0
Synadenium grantii	5	3	60,00	5,3	13,28	18,6	0,40	0,52	0,69
*Pennisetum purpureum x P. americanum (*Bana grass)	13	6	46,15	5,3	72,3	82,9	0,8	1,7	2,17
Ficus ingens	10	9	90,00	5,4	16,81	19,3	0,76	0,85	1,11

III.1.1.5. Palissade

a) Palissade au-dessus du caisson double

Le Pourcentage et dimensions des espèces végétales survivant sur la palissade au-dessus du caisson double sont montrés dans le tableau 7. Cette palissade a connu une plantation comprenait des boutures de *Synadenium grantii* et de *Pennisetum purpureum x P. americanum* (*Bana grass*). Ces espèces étaient encore représentées au moment de l'évaluation des performances de croissance. Sur cette zone, il n'y a pas eu d'espèce végétale envahissante.

Tableau 7: Pourcentage et dimensions des espèces végétales survivant sur la palissade au-dessus du caisson double

Nom scientifique	Effectif de boutures plantées	Effectif survivants	% des boutures bourgeonnées	Hmin (cm)	Hmoy (cm)	Hmax (cm)	Dmin (cm)	Dmoy (cm)	Dmax (cm)
Synadenium grantii	5	3	60,00	5,2	11,12	20	0,51	0,67	0,70
Pennisetum purpureum x P. Americanum	22	16	72,73	56	73,92	82,6	1,10	1,12	1,20

b) Palissade à droite du caisson double

Le pourcentage et dimensions des espèces végétales survivant sur la palissade à droite du caisson double sont montrés dans le tableau 8. Cette palissade a été végétalisée par cinq types d'espèces végétales dont quatre (4) espèces ont repris et une autre disparue. Les quatre sont *Crassocephalum mannii*, le *Bana grass*, le *Sporobolis* et *Ficus ingens*. L'espèce disparue est l'*Euphorbia tirucalli* (umunyari).

Tableau 8: Pourcentage et dimensions des espèces végétales survivant sur Palissade à droite du caisson double

Nom scientifique	Effectif de boutures plantées	Effectif survivants	% des boutures bourgeonnées	Hmin (cm)	Hmoy (cm)	Hmax (cm)	Dmin (cm)	Dmoy (cm)	Dmax (cm)
Crassocephalum mannii	16	7	43,75	6,3	7,05	10,8	0,31	4,52	0,50
Euphorbia tirucalli	3	0	0,00	0	0	0	0	0	0
Pennisetum purpureum x P. americanum	31	25	80,65	11	69,08	83	0,17	1,12	1,30
Ficus ingens	13	10	76,92	5,4	6,8	8	0,30	0,32	0,37

c) Palissade à droite du treillage-bois 2

Le pourcentage et dimensions des espèces végétales survivant sur la Palissade à droite du treillage-bois 2 sont montrés dans le tableau 9. Cette troisième palissade a été végétalisée avec des boutures d'une seule espèce végétale, le *Bana grass*. Le remplissage de la structure a été réalisé avec la terre argileuse provenant des horizons profonds du sol.

Tableau 9: Pourcentage et dimensions des espèces végétales survivant sur la Palissade à droite du treillage-bois 2

Nom scientifique	Effectif de boutures plantées	Effectif survivants	% des boutures bourgeonnées	Hmin (cm)	Hmoy (cm)	Hmax (cm)	Dmin (cm)	Dmoy (cm)	Dmax (cm)
Pennisetum purpureum x P. americanum	10	4	40,00	5	58,23	65	0,80	99,03	1,25

III.1.2. Facteurs influençant la croissance des espèces au niveau du chantier-école de génie végétal

Deux facteurs écologiques de croissance des espèces végétales ont été retenus comme influençant la croissance des arbustes plantés sur le chantier école du génie végétal d'Isare : le type du sol du remblai et la lumière solaire.

a) Type de sol du remblai

Le type de sol apporté pour remplir les creux créés par la structure en bois du génie végétal (le remblai) a influencé le bourgeonnement des boutures et leur croissance.

En effet, les techniques de génie végétal remblayés avec de le sol organique (sol issu de l'horizon superficiel contenant de l'humus) présentent des boutures vivantes de grands diamètres et de grandes hauteurs contrairement aux boutures mises dans la terre argileuse issue des horizons de profondeur. Parmi ces dernières celles qui sont encore vivantes possèdent de petits diamètres et de petites hauteurs.

b) Lumière

La lumière influence la croissance des paramètres dendrométriques mesurés des plantes encore vivantes sur place. Il y en a qui présente une grande longueur mais avec un petit diamètre. Celles-là ont connu le phénomène d'étiolement. Ces dernières ne recevaient pas assez de lumière car elles étaient héliophiles. Or, pour le génie végétal, les espèces végétales avec de petites hauteurs à maturité sont favorables. Il faut dire clairement que sur terrain, toutes les espèces étaient héliophiles du fait que sous l'ombre des tiges de *Bana grass*, les boutures de grande taille n'avaient pas de gros diamètres que celles qui recevaient de la lumière en suffisance.

III.1.3. Croissance des plants dans les champs expérimentaux installés au campus Mutanga

III.1.3.1. Hauteur des plantes

La hauteur des plantes suivies en pots est montrée à la Figure 4. Les résultats du test de Tukey ont montré que les hauteurs moyennes des tiges des neuf espèces d'arbustes testées sont significativement différentes au seuil de 5%. Les tiges les plus hautes ont été enregistrées chez *Tetradenia riparia* (35,22 cm) mais cet arbuste n'est pas significativement plus haut que

l'*Erythrina abyssinica* et le *Crassocephalum mannii*. Il est toutefois significativement plus haut que l'*Alchornea cordifolia*, l'*Euphorbia tirucalli*, le *Morus nigra*, le *Jatropha curcas* et le *Ficus ingens*. On note que *Commiphora africana* n'a pas pu bourgeonner.

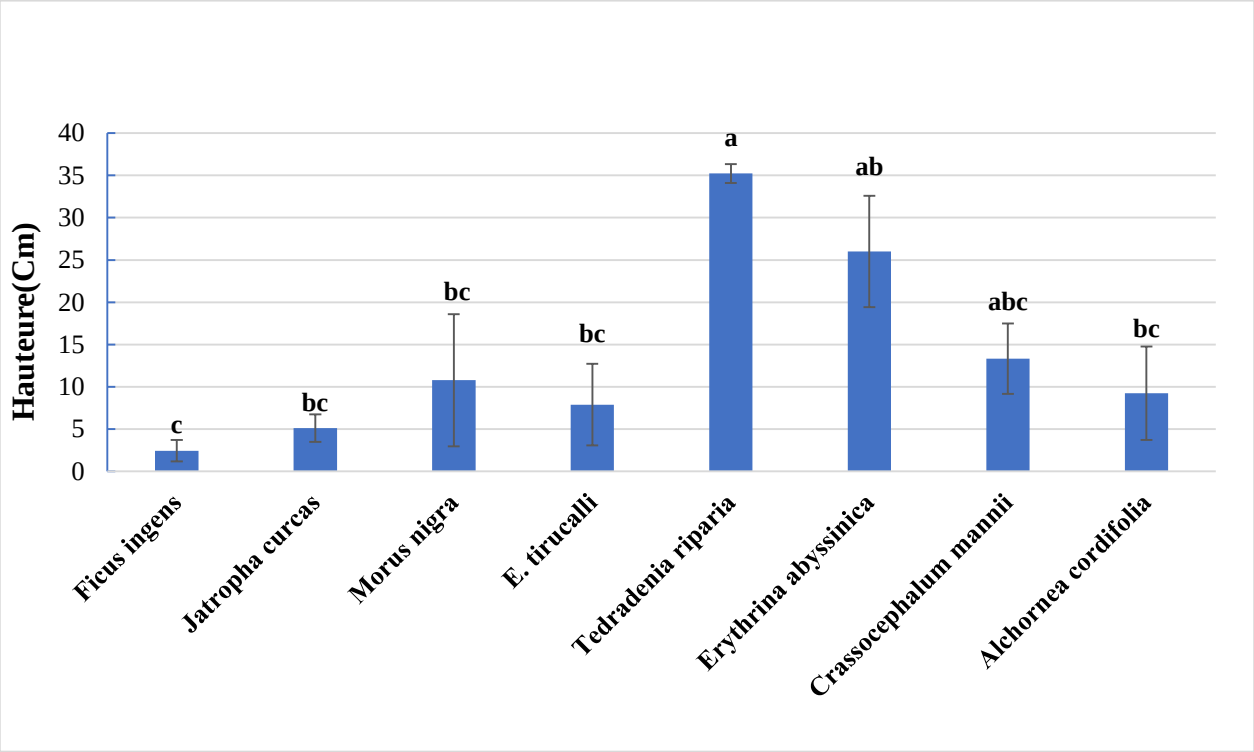


Figure 7: Hauteur des arbustes plantés en pots pour le suivi de la croissance

III.1.3.2. Nombre de tiges

Pour le nombre moyen de tiges par bouture, deux espèces à savoir *Tedradenia riparia* et *Crassocephalum mannii* dominent les autres en termes du nombre de tiges (Figure 5). Après ces deux espèces, les autres espèces se suivent dans l'ordre décroissant suivant selon le nombre de tiges : *Euphorbia tirucalli, Alchornea cordifolia, Erythrina absynica, Jatropha curcas, Ficus ingens* et *Morus nigra*. On note que les deux espèces les plus dotées de tiges sont significativement différentes des arbustes *Morus nigra* pour le nombre de tiges.

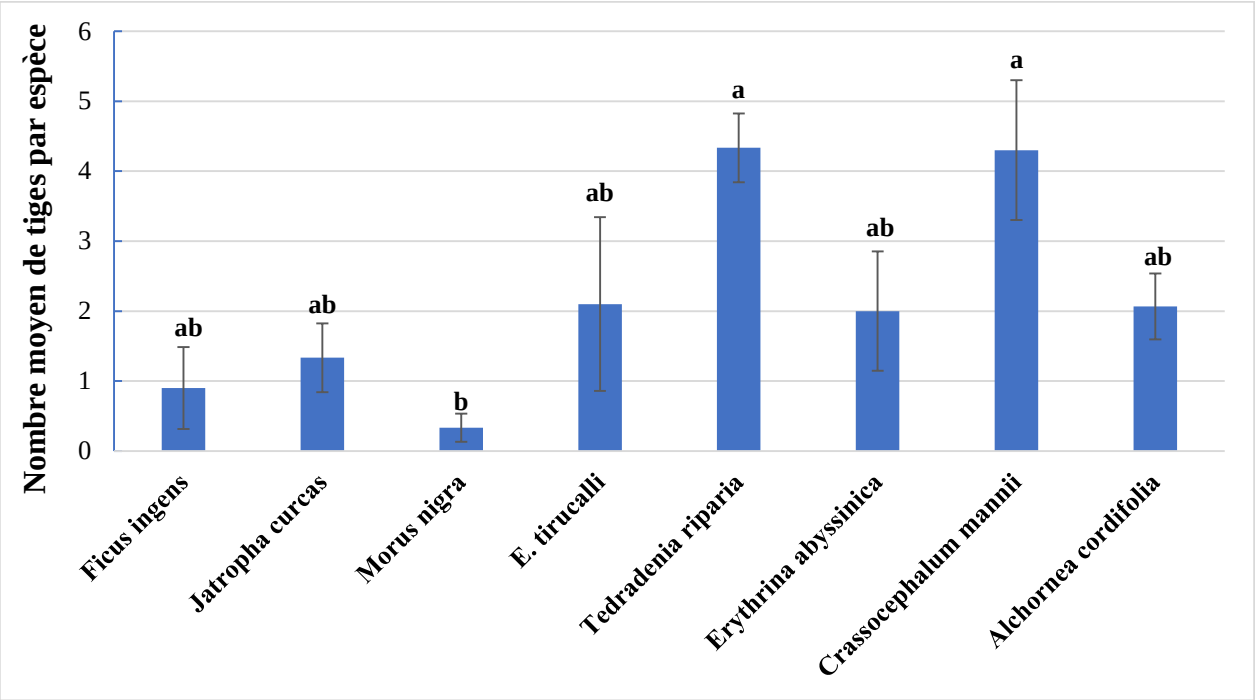


Figure 8: Nombre de tiges croissant sur les boutures des arbustes plantés en pots

III.1.3.3. Nombre de racines

Les nombres moyens de racines des 8 espèces testées qui ont émis des bourgeons et des tiges ne sont pas significativement différents au seuil de 5% (Figure 9). Suivant ces nombres, ces espèces se classent dans l'ordre décroissant suivant : *Crassocephalum manni*, *Alchornea cordifolia*, *Tedradenia riparia*, *Jatropha curcas*, *Erythrina absynica*, *Morus nigra*, *Euphorbia tirucalli*, et *Ficus ingens*.

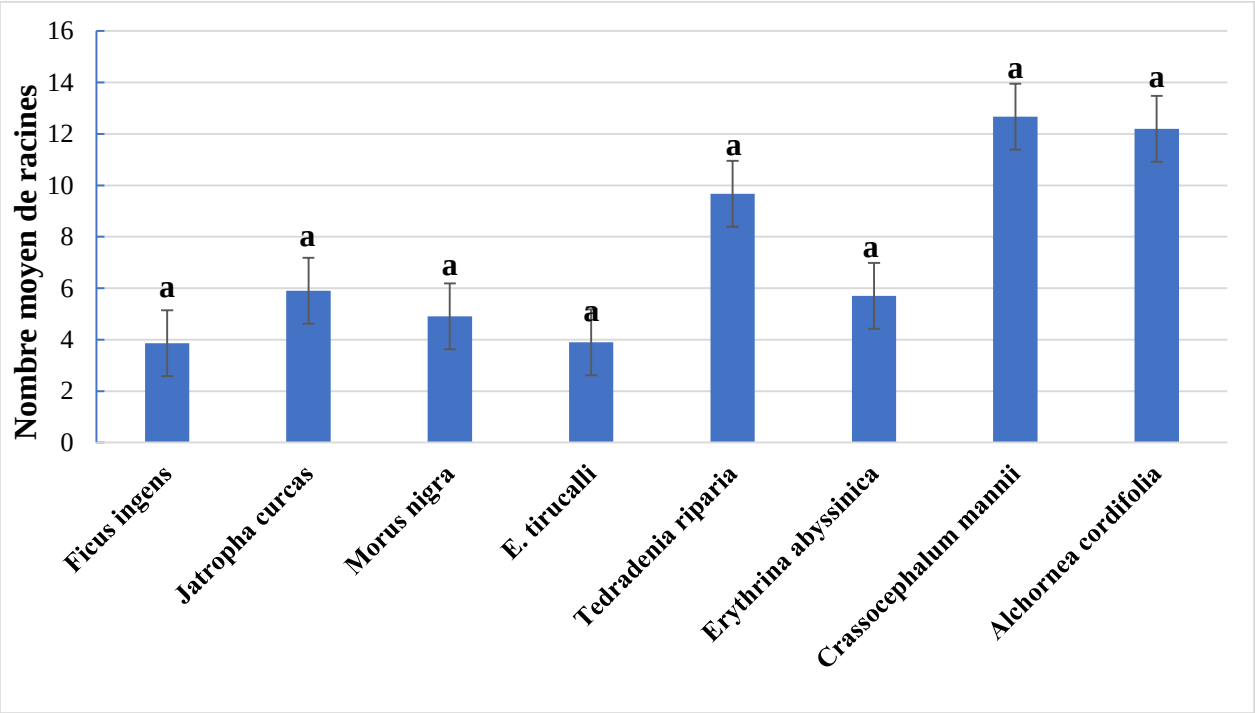


Figure 9: Nombre de racines des arbustes plantés en pots pour le suivi de la croissance

III.1.3.4. Longueur des racines

En ce qui concerne la longueur des racines, l'*Erythrina abyssinica* domine les autres (Figure 7). Un cas très particulier se trouve chez l'espèce *Ficus ingens* dont la longueur moyenne des racines les plus longues est significativement plus petite que celle d'*Erythrina abyssinica*. Les autres espèces sont dans un même groupe de moyenne homogène que cette dernière.

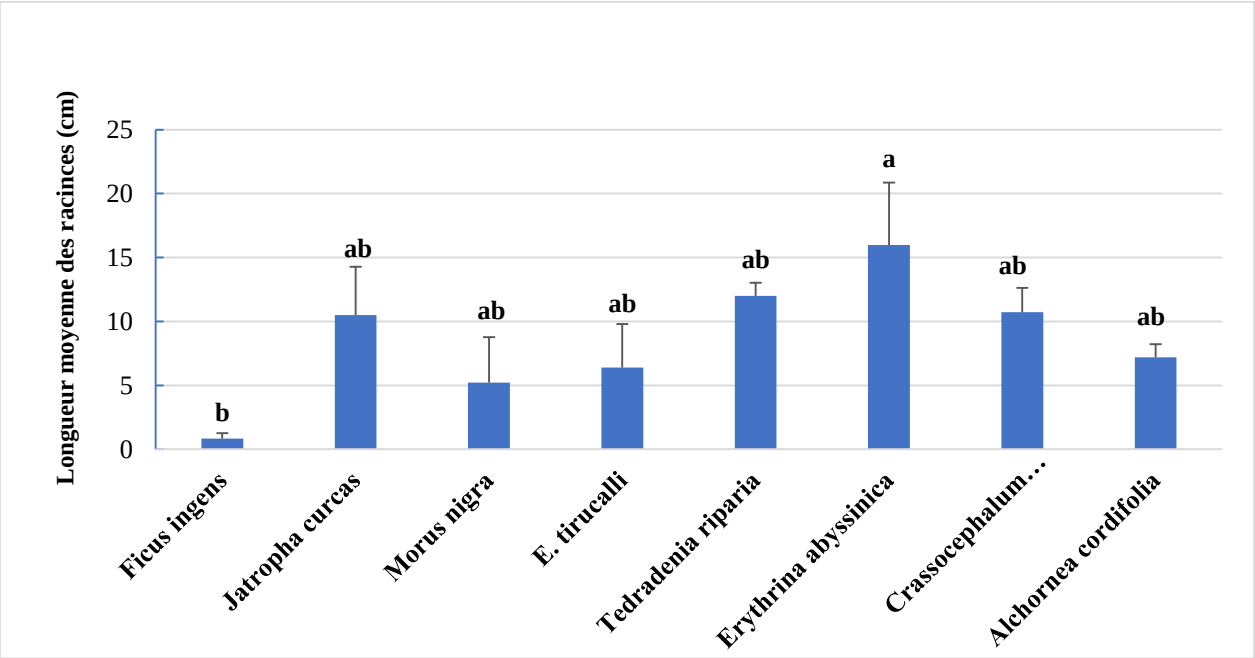


Figure 10: Longueur des racines des arbustes plantés en pots pour le suivi de la croissance

III.2. Discussion des résultats

III.2. 1. Techniques végétales utilisées et état des espèces végétales à Isare

Lors de l'inventaire et la prise des mesures sur terrain, quatre paramètres dendrométriques des espèces végétales utilisées dans le génie végétal d'Isare ont été mesurés. Il a été constaté que l'effectif des boutures des espèces végétales survivantes et leur taille diffèrent en fonction du type de la technique végétale utilisée.

Pour les conditions de croissance des espèces végétales, la bonne terre végétale utilisée pour remblai dans la zone au caisson triangulaire et au caisson double a permis une bonne croissance des boutures; ce qui n'a pas été le cas pour les mêmes espèces végétales utilisées sur les 2 treillages bois et les 3 palissades qui ont été remblayés par de la terre purement argileuse provenant des horizons de profondeur. Ainsi, sur l'argile, les quelques espèces végétales survivantes n'ont pas une vigueur aussi bonne que celles des végétaux plantés sur une terre végétale.

Une autre condition nécessaire est l'effet de la lumière qui a été observée à Isare pour les espèces végétales plantées dans ce chantier car elles étaient toutes héliophiles. Il y a eu de l'étiolement suite à l'insuffisance de la lumière causée par la taille imposante du *Bana grass* qui les a dominées. Ces résultants sont en accord avec Mapongmetsem *et al*. (2012) disant que la qualité du sol est un

paramètre très important pour le succès du processus d'enracinement des boutures et les exigences des espèces par rapport aux différents substrats dépendent de leur caractère hydromorphe ou xéromorphe. Les mêmes auteurs acceptent que le sol poreux et légers a une bonne capacité de rétention d'eau et facilite en même temps une bonne circulation de l'eau et de l'oxygène à la base des boutures.

III.2.2. Champs expérimental réalisé au campus Mutanga

- **Taux de repousse**

Les premiers résultats indiquent que la quasi-totalité des espèces locales du Burundi, qui ont été mises en expérimentation en pot, ont émis des bourgeons. Ces résultats sont en accord avec Mira *et al*. (2021) qui expriment la possibilité d'utiliser les espèces végétales indigènes dans des projets de génie végétal pour la protection des berges des routes ou des cours d'eau.

- **Paramètres de croissance des espèces végétales**

La variation de la vitesse de croissance en hauteur d'une espèce végétale dépend fortement de la qualité de la station sur laquelle il se trouve. Selon (Hebert *et al*., 2003), la hauteur d'une espèce végétale permet de contrôler la stabilité du peuplement par le facteur h/d, c'est-à-dire la hauteur de l'arbre divisée par son diamètre (facteur d'élancement).

Dans notre cas, les espèces comme *Tedradenia riparia* suivi d'*Erythrina abyssinica* croissent rapidement en termes de hauteur et pourraient être considérées comme des espèces à croissance rapide. Ces espèces contribuent très fortement dans la technique du génie végétal surtout dans la prévention ou dans les premiers délais de l'apparition d'un cas de catastrophe. Cette confirmation a été suggérée par Campbell et al. (2008 et Florineth et al.(2015) qui ont conclu que les espèces à croissance rapide permettent d'intercepter les gouttes de pluies réduisant ainsi l'impact direct des gouttes et des éclaboussures, de réduire le degré de saturation du sol près de sa surface, de diminuer les vitesses du ruissellement du sol, de réduire la quantités de matériaux du sol érodés et déplacés, de fournir un support mécanique à la surface du sol à travers l'action des racines, et de fournir immédiatement un contrôle d'érosion après plantation

En ce qui concerne le nombre des racines, à part une espèce *Commiphora africana* qui n'a pu émettre des bourgeons, toutes les espèces ne sont pas significativement différentes pour cette

variable. Selon Reubens *et al*. (2007), le système racinaire influence grandement son efficacité à stabiliser le sol. Malheureusement, selon ces derniers auteurs, peu de travaux architecturaux ont été réalisés dans le contexte de la stabilisation des pentes et du contrôle de l'érosion, et on ne sait donc pas exactement quelles caractéristiques sont importantes.

La longueur des racines est un autre paramètre important pour déterminer la profondeur d'enracinement. Dans notre cas, l'espèce *Erythrina abyssinica* comporte un système racinaire plus profond comparativement aux autres espèces ce qui lui confère une performance de la stabilisation et de la conservation du sol. Ces derniers sont confirmés par Preti *et al*. (2022) qui témoignent que ces espèces telles que *Gliricidia sepium, Calliandra calothyrsus, Leucaena leucocephala, Erythrina abyssinica* ont déjà montré des effets significatifs dans la restauration et la conservation du sol.

Cependant, dans tous les cas, les résultats du test statistique de Tukey ont montré que l'espèce *Alchornea cordifolia* présente des résultats appréciables en termes de hauteur d'une plantule, le nombre de tiges, le nombre et la longueur des racines). Dans les écosystèmes burundais, elle se rencontre dans les forêts secondaires et ripisylves, plus particulièrement dans les zones marécageux, souvent près des berges de rivières, et dans des endroits secs de haute altitude jusqu'à 2500 m. Ailleurs, cette espèce est considérée comme antiérosive importante (Pillot *et al*., 2002) et source naturelle de divers médicaments (Christine *et al.*, 2021).

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Conclusion

La présente étude a évalué la performance des espèces végétales pouvant être utilisées dans le génie végétal pour la stabilisation des talus des routes et rivières ainsi que des sols érodés par l'érosion.

Au terme de ce travail, nous avons pu identifier les plantes qui poussent bien sur le chantier du génie végétal et celles qui possèdent un bon potentiel d'utilisation sur les chantiers du genre à l'Ouest du Burundi.

Ainsi, nos résultats ont montré que, sur le chantier du génie végétal d'Isare, le gazon (*Agrostis capillaris*), la Bana grass (*Pennisetum purpureum x P. americanum*) et le *Leucaena leucocephala* possèdent de bonnes performances de croissance. Par contre, quatre autres espèces d'arbres *(Crassocephalum mannii, Euphorbia tirucalli, Synadenium grantii, Ficus ingens)* qui ont été testées sur ledit chantier d'Isare ont manifesté de mauvaises performances de croissance.

Quant aux résultats de l'essai expérimental conduit au campus Mutanga, les boutures de huit espèces d'arbres ont pu bourgeonner. Seule l'espèce *Commiphora africana* n'a pas émis des bourgeons. Quant aux paramètres de croissance, les tiges des espèces *Tetradenia riparia*, *Erythrina abyssinica* et *Crassocephalum mannii* sont les plus hautes de ces espèces.

Perspectives

Nous constatons l'évidence que notre recherche n'a pas épuisé toutes les données nécessaires pour évaluer la croissance et la performance agronomique des espèces végétales et proposer les espèces efficaces pour la technique du génie végétal qu'il faut adopter. C'est pour cette raison que nous aimerions émettre des suggestions aux futurs chercheurs pour améliorer cette étude dans le but d'enlever les lacunes qu'elle présente :

- Le plus souvent, les espèces végétales nécessitent des essais de confirmation pour être utilisées en technique du génie végétal. C'est ainsi des études ultérieures sont nécessaires pour la vérification. Ces études pourraient aussi inclure les essais multi-locaux en analysant aussi les propriétés physico-chimiques du sol afin de faciliter les bonnes adaptations de ces espèces. Cela va permettre de reconnaitre les espèces à privilégier à chaque type du sol considéré pour la restauration écologique.

- L’analyse des effets des différentes espèces végétales, prises individuellement ou en association, sur la stabilité du sol, la biodiversité ou les propriétés physico-chimiques du sol est aussi d’une grande importance.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

Burylo M. & Rey F., (2009). Connaître la réponse des plantes aux contraintes érosives : Intérêt pour la restauration écologique des terrains érodés. 111-120.

Campbell S. D. G., Survey B. G. & Sewell R. J., (2008). Guidelines for applications on natural terrain table of contents table of contents. 227(j).

Christine E. A., Benjamin K., Casimir K. A., Kouakou K., Moïse L., Séraphin K., Jean U., Guédé L., Agroforesterie U. F. R., Agro L. & Daloa B. P., (2021). Différents usages d ' *Alchornea cordifolia* (*Euphorbiaceae*) dans la localité de Daloa (Côte d'Ivoire). *160*, 16507-16520.

Cyrille & Astère. (2016). Directives et bonnes pratiques de gestion durable des terres au Burundi. https://scholar.google.com/scholar?hl

Evette A., Labonne S., Rey F., Liebault F., Jancke O. & Girel J., (2009a). History of bioengineering techniques for erosion control in rivers in western europe. 43(6), 972-984. https://doi.org/10.1007/s00267-009-9275-y

Evette A., Labonne S., Rey F., Liebault F., Jancke O. & Girel, J., (2009b). History of Bioengineering Techniques for Erosion Control in Rivers in Western Europe. *43*(6), 972-984. https://doi.org/10.1007/s00267-009-9275-y

Fall B., Correa J. P. & Sarr S., (2011). Guide Méthodologique pour L'évaluation de la vulnerabilite au changement climatique au civeau communautaire (Zones Cotieres), consultant report by Environnement-Développement du Tiers Monde (ENDA). http://www.crc.uri.edu/download/ENDA_VandA_Guide_Methodologique_Nov2011.pdf

Florineth F., Peter Rauch H. & Staffler H., (2015). Stabilization of landslides with bio-engineering measures in South Tyrol / Italy and Thankot / Nepal stabilization of landslides with bio-engineering measures in south tyrol / Italy and thankot / nepal.

Freddy R., Yves C., François C. & Matos M., (2015). Génie végétal, génie biologique et génie écologique : Concepts d'hier et d'aujourd'hui. *16*. https://doi.org/10.3917/set.016.0004

Gray D. H. & Sotir, R. B., (1996). Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization : A practical guide for erosion control. https://books.google.com/books?hl

Grellier S., & Ginestet, C., (2021). État de l'art des techniques de génie végétal appliquées aux berges de cours d'eau.

Gueldry M., (2013). Changement climatique et sécurité agroalimentaire dans le monde arabe., *03*, 161-174.

Hebert J., Herman M. & Jourez B., (2003). Sylviculture et qualité du bois de l'épicéa en Région wallonne. *62*. https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/98205/1/fw62ct_10-13%5Bepiceahebert%5D.pdf

Janssen P., Cavaillé P., Vivier A. & Evette A., (2019). Le génie végétal favorise une plus grande diversité de micro-habitats aquatiques et de macro-invertébrés benthiques Soil bioengineering promote a larger diversity of aquatic micro-habitats and benthic macroinvertebrates. *9*(114), 55-64.

Labonne S., Rey F., Girel J. & Evette A., (2007). Historique des techniques de génie biologique appliquées aux cours d'eau. *52*, 37-48.

Lachat B., (1994). Conditions de réussite des techniques de génie végétal en cours d'eau. 25.

Lavaine C., Evette A., Piégay H., Lachat B. & Brahic P., (2011). Les Tamaricaceae en génie végétal. 9-p.

Leblois S., Evette A., Recking A. & Favier G. (2016). Amélioration des méthodes de dimensionnement des ouvrages de génie végétal en berges de cours d'eau par une approche empirique. 1-7.

Lorem I. D., (2015). Treillis techniques. Consulté 23 juillet 2024, à l'adresse https://www.google.com/search?q

Mapongmetsem P., Constantine D., Myriam Y., Guidawa F., David D., Jean B. N. T., Avana-Tientcheu M. L. & Ronald B., (2012). Domestication de Vitex doniana Sweet. (Verbenaceae) : Influence du type de substrat, de la stimulation hormonale, de la surface foliaire et de la position du nœud sur l'enracinement des boutures uninodales. *106*. https://doi.org/10.12895/jaeid.20121.50

Mira E., Evette A., Labbouz L., Robert M., Rousteau A., & Tournebize R., (2021). Quelles espèces utiliser pour le génie végétal aux Antilles? 75. https://hal.science/hal-03412925/

Peeters A., Houbrechts G., Hallot E., Campenhout J. V., Verniers G. & Petit F., (2018a). Efficacité et résistance de techniques de protection de berges en génie végétal. 24(2). https://journals.openedition.org/geomorphologie/11927

Peeters A., Houbrechts G., Hallot E., Campenhout J. V., Verniers G. & Petit F., (2018b). Efficacité et résistance de techniques de protection de berges en génie végétal. 24(2). https://doi.org/10.4000/geomorphologie.11927

Peeters A., Houbrechts G., Hallot E., Campenhout J. V., Verniers G. & Petit F., (2018c). Efficacité et résistance de techniques de protection de berges en génie végétal. 24(2).

Peeters A., Verniers G., Houbrechts G., Hallot E. & Petit F., (2020). Protections de berges en génie végétal : Conception, application, suivi et recommandations.

Pillot D., Lauga-Sallenave C., & Gautier D., (2002). Haies et bocages en milieu tropical d ' altitude.

Preti F., Petrone A., (2013). Soil bioengineering for watershed management and disaster mitigation in Ecuador : A short-term species suitability test. iForest 6 : 95-99 [online 2013-02-07] URL: http://www.sisef.it/iforest/contents/ ? Id Consulté 14 octobre 2024.

Preti F., Petrone A., Ferrari R., Crocetti C., Dell S. & Sperimentazioni A. E., (2022). Ingegneria naturalistica in America Latina : Stato dell ' arte e sperimentazioni. 31, 1-15.

Québec, (2005). Technique de stabilisation des rives. Consulté 23 juillet 2024, à l'adresse https://www.google.com/search?q

Reubens B., Poesen J., Danjon F., Geudens G. & Muys B., (2007). The role of fine and coarse roots in shallow slope stability and soil erosion control with a focus on root system architecture : A review. 21(4), 385-402.

Rey F., (2018). Restaurer les milieux et prévenir les inondations grâce au génie végétal.

Rey F., Crosaz Y., Cassotti F. & Matos M., (2015a). Génie végétal, génie biologique et génie écologique : Concepts d'hier et d'aujourd'hui. 1, 4-9.

Rey F., Crosaz Y., Cassotti F. & Matos M., (2015b). Génie végétal, génie biologique et génie écologique : Concepts d'hier et d'aujourd'hui. 1, 4-9.

Simon A., & Collison A. J. C., (2002). Quantifying the mechanical and hydrologic effects of riparian vegetation on streambank stability. 27(5), 527-546. https://doi.org/10.1002/esp.325

Thorne C. R., (1982). Processes and mechanisms of river bank erosion. 227-271.

ANNEXE

Tableau10 : Liste des herbes et arbustes proposé les experts botanistes à Isare

N°	Nom Scientifique	Nom Vernaculaire	Type biologique
1	*Dracaena steudneri*	Igitongati	Herbe
2	*Allamanda cathartica*		Arbuste
3	*Thevetia neriifolia*		Arbuste
4	*Vernonia amygdalina*	Umubirizi	Arbuste
5	*Crassocephalum mannii*	Umutagari	Arbuste
6	*Commiphora africana*	umudahwera	Arbre
7	*Jatropha curcas*	Ikivurahinda	Arbuste
8	*Euphorbia Candelabrum*	Igihahe	Arbuste
9	*E. tirucalli*	Umunyari	Arbuste
10	*Alchornea cordifolia*	Umutwenzi	Arbuste
11	*Gliricidia sepium*		Arbuste
12	Erythrina absynica	Umurinzi	Arbuste
13	*Pithecelobium dulce*		Arbuste
14	*Tedradenia riparia*	Umuravumba	Arbuste
15	*Ficus ingens*	Ikivumuvumu	Arbuste
16	*Morus nigra*	Inkere	Arbuste
17	*Bougainvillea spectabilis*		Arbuste
18	*Bambusa aureostriata*	Umusuna	Herbe
19	*Schefflera goetzenii*		Arbuste
20	*Lantana camara*	Mavyiyakuku	Arbuste

Tableau 11 : Effectifs d'arbres et arbustes plantés au chantier-école d'Isare

Type d'ouvrage	Nom scientifique	Famille	Nom vernaculaire (Kirundi)	Effectif total de boutures (ou graines) plantées	Effectif de pieds survivants en juin 2023
Caisson triangulaire	*Crassocephalum mannii*	Asteraceae	Umutagari	4	2
Caisson triangulaire	*Euphorbia tirucalli*	Euphorbiaceae	Umunyari	33	11
Caisson triangulaire	*Synadenium grantii*	Euphorbiaceae	umukoni	26	25
Caisson triangulaire	*Pennisetum purpureum x P. americanum*	Poaceae	Bana grass	81	78
Caisson triangulaire	*Leucaena leucocephala*	Fabaceae	Leucaena	5	5
Caisson triangulaire	*Ficus ingens*	Moraceae	Umuvumuvumu	10	7
caisson drainage	*Crassocephalum mannii*	Asteraceae	Umutagari	4	3
caisson drainage	*Synadenium grantii*	Euphorbiaceae	umukoni	4	3
caisson drainage	*Pennisetum purpureum x P. americanum*	Poaceae	Bana grass	20	17
caisson drainage	*Ficus ingens*	Moraceae	Umuvumuvumu	5	2
caisson drainage	*Sporobolus robustus*	Poaceae	Sporobolus	1	1
caisson double	*Synadenium grantii*	Euphorbiaceae	umukoni	25	23
caisson double	*Pennisetum purpureum x P. americanum*	Poaceae	Bana grass	108	107
caisson double	*Leucaena leucocephala*	Fabaceae	Leucaena	3	3
caisson double	*Ficus ingens*	Moraceae	Umuvumuvumu	9	5
caisson double	*Sporobolus robustus*	Poaceae	Sporobolus	4	4
treillage-bois 1 - avec de la terre argileuse	*Crassocephalum mannii*	Asteraceae	Umutagari	7	2
treillage-bois 1 - avec de la terre argileuse	*Euphorbia tirucalli*	Euphorbiaceae	Umunyari	5	0
treillage-bois 1 - avec de la terre argileuse	*Synadenium grantii*	Euphorbiaceae	umukoni	5	4
treillage-bois 1 - avec de la terre argileuse	*Ficus ingens*	Moraceae	Umuvumuvumu	10	7
Treillage bois2	*Euphorbia tirucalli*	Euphorbiaceae	Umunyari	6	0
Treillage bois2	*Synadenium grantii*	Euphorbiaceae	umukoni	5	3
Treillage bois2	*Pennisetum purpureum x P. americanum*	Poaceae	Bana grass	13	6
Treillage bois2	*Ficus ingens*	Moraceae	Umuvumuvumu	10	9
Palissade1 au-dessus du caisson double	*Synadenium grantii*	Euphorbiaceae	umukoni	5	3
Palissade1 au-dessus du caisson double	*Pennisetum purpureum x P. americanum*	Poaceae	Bana grass	22	16
Palissade2 à droite du caisson double	*Crassocephalum mannii*	Asteraceae	Umutagari	16	7

Suivi de la croissance de quelques espèces utilisées pour le génie végétal

Type d'ouvrage	**Nom scientifique**	**Famille**	**Nom vernaculaire (Kirundi)**	**Effectif total de boutures (ou graines) plantées**	**Effectif de pieds survivants en juin 2023**
Palissade2 à droite du caisson double	*Euphorbia tirucalli*	Euphorbiaceae	Umunyari	3	0
Palissade2 à droite du caisson double	*Pennisetum purpureum x P. americanum*	Poaceae	Bana grass	31	25
Palissade2 à droite du caisson double	*Ficus ingens*	Moraceae	Umuvumuvumu	13	10
Palissade2 à droite du caisson double	*Sporobolus robustus*	Poaceae	Sporobolus	2	2
Palissade3 à droite du treillage-bois 2	*Pennisetum purpureum x P. americanum*	Poaceae	Bana grass	10	4

Tableau 12. Mesures du diamètre et de la hauteur au caisson triangulaire

Nom scientifique	Famille	Nom vernaculaire (Kirundi)	Hauteur (cm)	Diamètre (cm)
Crassocephalum mannii	Asteraceae	Umutagari	36.5	0.89
Crassocephalum mannii	Asteraceae	Umutagari	17.6	0.57
Euphorbia tirucalli	Euphorbiaceae	Umunyari	22	0.6
Euphorbia tirucalli	Euphorbiaceae	Umunyari	19	0.6
Euphorbia tirucalli	Euphorbiaceae	Umunyari	24	0.7
Euphorbia tirucalli	Euphorbiaceae	Umunyari	18	0.7
Euphorbia tirucalli	Euphorbiaceae	Umunyari	7.3	0.54
Euphorbia tirucalli	Euphorbiaceae	Umunyari	10.6	0.6
Euphorbia tirucalli	Euphorbiaceae	Umunyari	6.4	0.55
Euphorbia tirucalli	Euphorbiaceae	Umunyari	13	0
Euphorbia tirucalli	Euphorbiaceae	Umunyari	21.5	0.66
Euphorbia tirucalli	Euphorbiaceae	Umunyari	8.5	0.59
Synadenium grantii	Euphorbiaceae	umukoni	61.1	1.88
Synadenium grantii	Euphorbiaceae	umukoni	46.3	1.72
Synadenium grantii	Euphorbiaceae	umukoni	44	1.02
Synadenium grantii	Euphorbiaceae	umukoni	56.4	1.25
Synadenium grantii	Euphorbiaceae	umukoni	47.2	1.09
Synadenium grantii	Euphorbiaceae	umukoni	49.6	1.09
Synadenium grantii	Euphorbiaceae	umukoni	60.3	1.65
Synadenium grantii	Euphorbiaceae	umukoni	58.4	1.76
Synadenium grantii	Euphorbiaceae	umukoni	50.9	1.07
Synadenium grantii	Euphorbiaceae	umukoni	45.1	1.04
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	Bana grass	299	2.06
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	Bana grass	262	1.91
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	Bana grass	288	1.96
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	Bana grass	303	2.05
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	Bana grass	258	1.85
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	Bana grass	279	2.01
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	Bana grass	308	2.17
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	Bana grass	264	1.92
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	Bana grass	272	1.94
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	Bana grass	263	1.88
Leucaena leucocephala	Fabaceae	Leucaena	42	0.2
Leucaena leucocephala	Fabaceae	Leucaena	40	0.2
Leucaena leucocephala	Fabaceae	Leucaena	45	0.3
Leucaena leucocephala	Fabaceae	Leucaena	42	0.2
Leucaena leucocephala	Fabaceae	Leucaena	43	0.2
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	55.7	0.2

Nom scientifique	Famille	Nom vernaculaire (Kirundi)	Hauteur (cm)	Diamètre (cm)
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	24.9	0.76
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	35.8	0.81
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	27.6	0.77
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	44.2	0.8
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	43.6	0.82
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	79	1.11

Tableau 13. Mesures du diamètre et de la hauteur au caisson de drainage

Nom scientifique	Famille	Nom vernaculaire (Kirundi)	Hauteur (cm)	Diamètre (cm)
Crassocephalum mannii	Asteraceae	Umutagari	19.1	0.6
Crassocephalum mannii	Asteraceae	Umutagari	22.6	0.7
Crassocephalum mannii	Asteraceae	Umutagari	36.2	0.8
Synadenium grantii	Euphorbiaceae	umukoni	44.6	1.07
Synadenium grantii	Euphorbiaceae	umukoni	59.8	1.85
Synadenium grantii	Euphorbiaceae	umukoni	50.7	1.45
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	ikibingo	303.5	2.08
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	ikibingo	259.2	1.85
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	ikibingo	296.1	1.94
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	ikibingo	277	1.93
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	ikibingo	289	1.96
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	ikibingo	307.5	2.15
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	ikibingo	266.3	1.91
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	ikibingo	287.6	2.05
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	ikibingo	278.4	1.96
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	ikibingo	267.6	1.89
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	25	0.78
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	78.3	1.1
Sporobolus robustus	Poaceae	Sporobolus	nd	nd

Tableau 14. Mesures du diamètre et de la hauteur au caisson double

Nom scientifique	Famille	Nom vernaculaire (Kirundi)	Hauteur (cm)	Diamètre (cm)
Synadenium grantii	Euphorbiaceae	umukoni	58.2	1.72
Synadenium grantii	Euphorbiaceae	umukoni	46.7	1.2
Synadenium grantii	Euphorbiaceae	umukoni	54.6	1.65
Synadenium grantii	Euphorbiaceae	umukoni	44.2	1.01

Nom scientifique	Famille	Nom vernaculaire (Kirundi)	Hauteur (cm)	Diamètre (cm)
Synadenium grantii	Euphorbiaceae	umukoni	55.2	1.3
Synadenium grantii	Euphorbiaceae	umukoni	49.1	1.2
Synadenium grantii	Euphorbiaceae	umukoni	56.3	1.86
Synadenium grantii	Euphorbiaceae	umukoni	53.9	1.7
Synadenium grantii	Euphorbiaceae	umukoni	49.6	1.3
Synadenium grantii	Euphorbiaceae	umukoni	60.4	1.87
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	Bana grass	263.9	2.02
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	Bana grass	290	2.01
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	Bana grass	307.65	2.16
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	Bana grass	258.3	1.84
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	Bana grass	279.3	1.92
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	Bana grass	303.4	1.91
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	Bana grass	268.3	1.93
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	Bana grass	259.9	1.96
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	Bana grass	267.5	1.99
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	Bana grass	261.8	1.92
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	78.8	1.1
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	29.6	0.91
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	26.5	0.93
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	25	0.77
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	62.3	0.9

Tableau 15. Mesures du diamètre et de la hauteur des plants au taillage - bois1

Nom scientifique	Famille	Nom vernaculaire (Kirundi)	Hauteur (cm)	Diamètre (cm)
Crassocephalum mannii	Asteraceae	Umutagari	6	0.2
Crassocephalum mannii	Asteraceae	Umutagari	10.9	0.5
Synadenium grantii	Euphorbiaceae	umukoni	12.6	0.4
Synadenium grantii	Euphorbiaceae	umukoni	5.1	0.3
Synadenium grantii	Euphorbiaceae	umukoni	19.8	0.7
Synadenium grantii	Euphorbiaceae	umukoni	13.2	0.4
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	14.3	0.4
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	5.4	0.3
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	20	0.5
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	8.6	0.3
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	19.2	0.5
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	9.6	0.3
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	10.6	0.3

Tableau 16. Mesures du diamètre et de la hauteur au treillage bois 2

Nom scientifique	Famille	Nom vernaculaire (Kirundi)	Hauteur (cm)	Diamètre (cm)
Synadenium grantii	Euphorbiaceae	umukoni	6.5	0.4
Synadenium grantii	Euphorbiaceae	umukoni	5.3	0.4
Synadenium grantii	Euphorbiaceae	umukoni	18.6	0.69
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	ikibingo	5.3	0.8
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	ikibingo	59.3	2.09
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	ikibingo	62.8	2.33
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	ikibingo	82.9	2.17
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	ikibingo	26.3	0.9
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	ikibingo	33.6	1.6
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	15.3	10.4
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	14.6	1.06
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	9.3	0.94
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	19.3	1.11
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	8.5	0.89
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	7.95	0.96
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	9.6	0.91
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	5.4	0.76
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	18.1	1.06

Tableau 17. Mesures du diamètre et de la hauteur à la palissade 1

Nom scientifique	Famille	Nom vernaculaire (Kirundi)	Hauteur (cm)	Diamètre (cm)
Synadenium grantii	Euphorbiaceae	umukoni	5.2	0.51
Synadenium grantii	Euphorbiaceae	umukoni	9.3	0.62
Synadenium grantii	Euphorbiaceae	umukoni	20	0.7
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	Bana grass	82.6	1.2
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	Bana grass	76.3	1.1
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	Bana grass	55.9	1.1
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	Bana grass	56	1.1
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	Bana grass	62.5	1.1
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	Bana grass	63.9	1.1
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	Bana grass	78.9	1.2
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	Bana grass	70.2	1.1
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	Bana grass	61	1.1
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	Bana grass	78.9	1.2

Tableau 18. Mesures du diamètre et de la hauteur à la palissade 2

Nom scientifique	Famille	Nom vernaculaire (Kirundi)	Hauteur (cm)	Diamètre (cm)
Crassocephalum mannii	Asteraceae	Umutagari	10.6	0.49
Crassocephalum mannii	Asteraceae	Umutagari	6.3	0.31
Crassocephalum mannii	Asteraceae	Umutagari	7.5	0.38
Crassocephalum mannii	Asteraceae	Umutagari	9.4	0.46
Crassocephalum mannii	Asteraceae	Umutagari	10.8	0.5
Crassocephalum mannii	Asteraceae	Umutagari	6.8	0.46
Crassocephalum mannii	Asteraceae	Umutagari	8.9	0.49
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	ikibingo	82.6	
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	ikibingo	11	0.17
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	ikibingo	49.6	0.59
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	ikibingo	37.2	0.26
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	ikibingo	70.8	0.96
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	ikibingo	73.7	1.3
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	ikibingo	29.8	0.56
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	ikibingo	62.5	0.92
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	ikibingo	83	1.3
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	ikibingo	24.3	0.31
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	6.3	0.3
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	7.6	0.3
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	6.5	0.3
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	5.4	0.3
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	7.8	0.3
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	5.6	0.3
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	7.2	0.3
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	8	0.3
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	6.5	0.3
Ficus ingens	Moraceae	Umuvumuvumu	5.8	0.3
Sporobolus robustus	Poaceae	Sporobolus	nd	nd
Sporobolus robustus	Poaceae	Sporobolus	nd	nd

Tableau 19. Mesures de diamètre et de hauteur à la palissade 3

Nom scientifique	Famille	Nom vernaculaire (Kirundi)	Hauteur (cm)	Diamètre (cm)
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	Ikibingo	5	0.8
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	Ikibingo	19	0.85
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	Ikibingo	65	1.25
Pennisetum purpureum x P. americanum	Poaceae	Ikibingo	28	0.93

Tableau 20 : Résultat de l'essai en vases de végétation au campus Mutanga

Espèce	Pot	Nombre de plants	Nombre de tiges par plant	Hauteur de la tige la plus longue (cm)	Nombres de racines	Longueur de racine la plus longue (cm)
Umuravumba	1è Pot	1è Plant	2	38	7	15
		2è Plant	5	37	13	16
		3è Plant	4	35	5	9
	2è Pot	1è Plant	4	48	4	6
		2è Plant	10	28	13	8
		3è Plant	2	23	16	16
	3è Pot	1è Plant	4	42	10	7
		2è Plant	2	38	3	9
		3è Plant	6	28	16	22
Umutwenzi	1è Pot	1è Plant	1	2	8	5
		2è Plant	0	0	4	3
		3è Plant	4	0	13	10
	2è Pot	1è Plant	5	11	24	13
		2è Plant	4	10	22	6
		3è Plant	0	0	0	0
	3è Pot	1è Plant	1	16	6	2
		2è Plant	2	43	33	22
		3è Plant	2	4	5	1
Ikivurahinda	1è Pot	1è Plant	0	0	0	0
		2è Plant	4	7	10	30
		3è Plant	3	17	12	20
	2è Pot	1è Plant	0	0	0	0
		2è Plant	0	0	0	0
		3è Plant	3	7	8	11
	3è Pot	1è Plant	0	0	0	0
		2è Plant	0	0	8	4
		3è Plant	2	15	15	29,5
Umunyari	1è Pot	1è Plant	1	20	4	13
		2è Plant	3	12	5	18,5
		3è Plant	9	18	14	8
	2è Pot	1è Plant	6	21	8	10
		2è Plant	0	0	0	0
		3è Plant	0	0	0	0

Suivi de la croissance de quelques espèces utilisées pour le génie végétal

Espèce	Pot	Nombre de plants	Nombre de tiges par plant	Hauteur de la tige la plus longue (cm)	Nombres de racines	Longueur de racine la plus longue (cm)
	3è Pot	1è Plant	0	0	0	0
		2è Plant	0	0	0	0
		3è Plant	0	0	4	8
Umutagari	1è Pot	1è Plant	1	30	20	16
		2è Plant	2	22	5	4
		3è Plant	4	13	25	20
	2è Pot	1è Plant	3	10	4	5
		2è Plant	5	11	11	7
		3è Plant	8	6	18	9
	3è Pot	1è Plant	0	0	0	0
		2è Plant	5	19	10	6
		3è Plant	11	9	21	29,5
Ikivumuvumu	1è Pot	1è Plant	0	0	0	0
		2è Plant	0	0	0	0
		3è Plant	0	0	0	0
	2è Pot	1è Plant	6	9	10	4
		2è Plant	0	0	0	0
		3è Plant	0	0	0	0
	3è Pot	1è Plant	0	0	0	0
		2è Plant	0	0	0	0
		3è Plant	2	13	25	3,5
Umurinzi	1è Pot	1è Plant	5	17	8	23
		2è Plant	2	51	6	15
		3è Plant	2	46	12	39
	2è Pot	1è Plant	1	46	8	36
		2è Plant	0	0	0	0
		3è Plant	0	0	0	0
	3è Pot	1è Plant	4	22	8	16
		2è Plant	2	22	6	10
		3è Plant	2	30	3	5
Inkere	1è Pot	1è Plant	0	0	0	0
		2è Plant	0	0	0	0
		3è Plant	0	0	0	0
	2è Pot	1è Plant	0	0	0	0

Espèce	Pot	Nombre de plants	Nombre de tiges par plant	Hauteur de la tige la plus longue (cm)	Nombres de racines	Longueur de racine la plus longue (cm)
		2è Plant	1	48	7	10
		3è Plant	1	30	31	26
	3è Pot	1è Plant	0	0	0	0
		2è Plant	0	0	0	0
		3è Plant	1	19	6	11
Umudahwera	1è Pot	1è Plant	0	0	0	0
		2è Plant	0	0	0	0
		3è Plant	0	0	0	0
	2è Pot	1è Plant	0	0	0	0
		2è Plant	0	0	0	0
		3è Plant	0	0	0	0
	3è Pot	1è Plant	0	0	0	0
		2è Plant	0	0	0	0
		3è Plant	0	0	0	0

Illustration des techniques de génie végétal au chantier – école d'Isare.



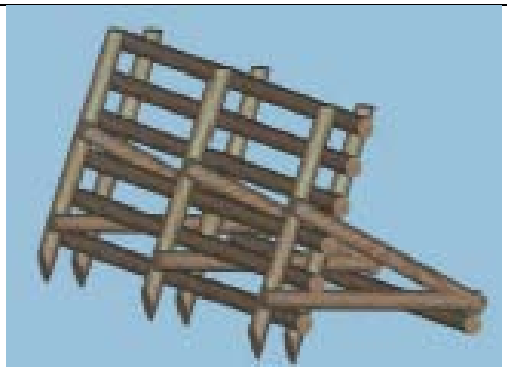


Figure11 : Illustration du caisson triangulaire (Photo prise)



Figure 12 : Illustration du caisson de drainage (Photo prise à Isare en mars 2023)



Figure 13 : Illustration du caisson double (Peeters *et al.*, 2018b)



Figure 14 : Illustration du caisson simple (Peeters *et al*., 2018b)



Figure15 : Illustration de la palissade (Québec, 2005)



Figure 16 : Illustration du treillage bois (Lorm , 2015)



Figure 17 : Illustration de la dominance du Bana grass au chantier - école d'Isare (photo prise en mars 2024).

Expérimentation en pots des espèces végétales testées



Figure 18 : Illustration de l'essai en pots au campus Mutanga (photo prise en janvier 2024)



Figure 19 : Illustration de l'état de croissance des espèces végétales testées en pots (photo prise en décembre 2023).



Figure 20 : Illustration du comptage des racines des espèces végétales testées



Figure 21 : Illustration du mesurage de la longueur des racines