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

# Elaboration des tarifs de cubage et plan d' aménagement forestier des boisements de la ferme didactique de la FABI à ZEGE

**Nahimana, Rémy; Sous la direction de : Prof Bernadette Habonimana; Co-directeur : Vénérand Ndorere, Msc**

**2026-03**
UB, FS
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/2467

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**

# ELABORATION DES TARIFS DE CUBAGE ET PLAN D'AMENAGEMENT FORESTIER DES BOISEMENTS DE LA FERME DIDACTIQUE DE LA FABI A ZEGE


Par :

NAHIMANA Rémy


Mémoire présenté et défendu publiquement en vue de l'obtention du

Diplôme de Master en Sciences et Gestion Intégrée de l'Environnement

**Spécialité** : Gestion des Ressources Naturelles

**Sous la direction de** :

Directeur : Professeur Bernadette HABONIMANA

Co-directeur : Vénérand NDORERE, Msc

**Bujumbura, Mars 2026**

**IDENTIFICATION DES MEMBRES DU JURY**

| | |
|---|---|
| Prof Dr Ir Séverin NIJIMBERE | : Président |
| Prof Dr Ir Bernadette HABONIMANA | : Directeur |
| Vénérand NDORERE, Msc. | : Co-directeur |
| Prof Dr Ir Richard HABONAYO | : Secrétaire |

**DEDICACES**

A mon Père ;

A ma regrettée Mère ;

A ma chère Epouse ;

A toutes les personnes qui m'ont témoigné de leur soutien ;

Je dédie ce mémoire.

## REMERCIEMENTS

L'élaboration du présent travail n'a pas été de notre seul apanage. En dépit de nos efforts personnels, cette œuvre a reçu le concours de plusieurs personnes, dont nous sommes obligés de reconnaitre autant d'actions combien bienveillantes. Nous sommes redevables à tous ceux et à toutes celles qui, d'une manière ou d'une autre, ont contribué à sa réalisation.

Nous adressons nos respectueux remerciements à l'Université du Burundi et le Centre de Recherche en sciences des productions Animales, Végétales et Environnementales (CRAVE) pour le soutien matériel et financier qu'il m'a apporté dans la collecte des données à travers le projet intitulé *« Élaboration des tarifs de cubage et plan d'aménagement forestier : outils indispensables à la gestion durable des peuplements forestiers de la ferme didactique de la FABI à Zege »*

Notre admiration est singulière à l'endroit du professeur Bernadette HABONIMANA et Vénérand NDORERE Msc. respectivement promoteur et co-promoteur de ce travail pour avoir accepté de l'encadrer. Leurs conseils et leurs remarques scientifiques ont été d'une grande utilité à la réussite du présent travail. Que le fruit de leurs efforts se fasse sentir dans chaque ligne du présent document.

Nous tenons à exprimer toute notre gratitude aux membres du jury pour leur lecture attentive de ce travail ainsi que pour les remarques qu'ils m'ont adressées afin d'améliorer la qualité de ce travail.

Enfin, un grand merci, à toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

**RESUME**

La gestion des boisements de la ferme didactique de la FABI à Zege faisait face à un manque d'outils techniques adaptés, notamment l'absence de tarifs de cubage fiables et d'un plan d'aménagement forestier structuré. Cette situation limitait l'estimation précise des volumes de bois ainsi que la planification durable des interventions sylvicoles. Afin de répondre à cette problématique, le présent mémoire avait pour objectif principal de développer des tarifs de cubage spécifiques aux peuplements d'eucalyptus et de proposer un plan d'aménagement forestier adapté.

La méthodologie adoptée reposait sur deux types d'inventaires forestiers : un inventaire exhaustif pour les petites parcelles et un inventaire par échantillonnage systématique avec un taux de sondage de 10 % pour l'ensemble des boisements. Les données collectées dans des placettes circulaires de 500 m² concernaient principalement la circonférence à 1,30 m, la circonférence dominante et la hauteur dominante. Pour établir les tarifs de cubage, des arbres d'*Eucalyptus* représentatifs des peuplements ont été abattus et mesurés selon des méthodes dendrométriques rigoureuses. Les volumes individuels ont été calculés à l'aide de la formule de Smalian.

L'étude a permis de développer deux modèles de cubage : un tarif à une entrée basé sur la circonférence à 1,30 m et un tarif à deux entrées intégrant la circonférence et la hauteur totale. Les résultats ont montré une excellente précision des modèles, avec des coefficients de détermination très élevés, confirmant leur fiabilité pour l'estimation des volumes de bois. La validation des modèles a également révélé une forte concordance entre les volumes estimés et les volumes réels calculés.

Parallèlement, un plan d'aménagement forestier d'une durée de huit ans a été élaboré. Celui-ci vise à assurer la production ligneuse, la protection de l'environnement ainsi que la recherche scientifique. L'analyse des peuplements a révélé une superficie totale de 53 ha dominée par l'*Eucalyptus*, comprenant des vieux boisements dégradés nécessitant une conversion et des peuplements encore productifs présentant un volume estimé à plus de 3 564 m³. Le plan proposé prévoit des opérations sylvicoles adaptées, des coupes planifiées, des reboisements ainsi que l'introduction d'essences autochtones dans les zones sensibles.

L'analyse financière a montré que les coûts de reboisement s'élèvent à 94 310 748 BIF, tandis que les recettes attendues sont 232 733 416 BIF, générant un bénéfice net estimé à 149 333 422 BIF. Ces résultats démontrent la rentabilité économique du projet tout en garantissant une gestion durable des boisements.

En conclusion, ce travail fournit des outils scientifiques fiables pour une meilleure estimation des volumes de bois et améliore la gestion technique des boisements de la FABI à Zege. Il contribue également à la gestion durable des ressources forestières, à la protection de l'environnement et au renforcement du rôle de la FABI comme centre de formation, de recherche et d'aide à la décision en gestion forestière.

**Mots-clés :** Tarif de cubage, aménagement forestier, boisements, rendement soutenu, ferme didactique, FABI.

## ABSTRACT

The management of the forest plantations of the FABI teaching farm in Zege was challenged by a lack of appropriate technical tools, particularly the absence of reliable volume tables and a structured forest management plan. This situation limited the accurate estimation of timber volumes as well as the sustainable planning of silvicultural interventions. To address this issue, the main objective of this dissertation was to develop volume tables specifically adapted to Eucalyptus stands and to propose an appropriate forest management plan.

The methodology was based on two types of forest inventories: a complete inventory for small plots and a systematic sampling inventory with a sampling intensity of 10% for the entire plantation area. Data collected from 500 m² circular sample plots mainly included circumference at breast height (1.30 m), dominant circumference, and dominant height. To establish the volume tables, representative Eucalyptus trees were felled and measured using rigorous dendrometric methods. Individual tree volumes were calculated using Smalian's formula.

The study resulted in the development of two volume models: a single-entry volume table based on circumference at breast height and a double-entry volume table integrating both circumference and total tree height. The results showed excellent model accuracy, with very high coefficients of determination, confirming their reliability for timber volume estimation. Model validation also revealed a strong agreement between estimated and observed volumes.

At the same time, an eight-year forest management plan was developed. Its objectives are timber production, environmental protection, and scientific research. The stand analysis revealed a total area of 53 ha dominated by Eucalyptus, including degraded old plantations requiring conversion and still productive stands with an estimated volume of more than 3,564 m³. The proposed management plan includes appropriate silvicultural operations, planned harvesting, reforestation activities, and the introduction of indigenous tree species in environmentally sensitive areas.

The financial analysis showed that reforestation costs amount to BIF 94,310,748, while expected revenues reach BIF 232,733,416, generating an estimated net profit of BIF 149,333,422. These results demonstrate the economic profitability of the project while ensuring sustainable forest management.

In conclusion, this study provides reliable scientific tools for improving timber volume estimation and enhancing the technical management of the FABI plantations in Zege. It also contributes to the sustainable management of forest resources, environmental conservation, and the strengthening of FABI's role as a center for training, research, and decision support in forest management.

**Keywords:** volume table, forest management, forest plantations, sustained yield, teaching farm, FABI.

**TABLE DES MATIERES**

**IDENTIFICATION DES MEMBRES DU JURY ..... i**
**DEDICACES ..... ii**
**REMERCIEMENTS ..... iii**
**RESUME ..... iv**
**ABSTRACT ..... v**
**TABLE DES MATIERES ..... vi**
**LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES ..... viii**
**LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS ..... ix**
**AVANT-PROPOS ..... x**
**0. INTRODUCTION GENERALE ..... 1**
0.1. Contexte et justification de l'étude ..... 1
0.2. Objectif et hypothèses de l'étude ..... 3
0.3. Intérêt du sujet ..... 3
0.4. Articulation du travail ..... 3
**CHAPITRE I. APERÇU GENERAL SUR L'EUCALYPTUS ..... 4**
I.1. Taxonomie ..... 4
I.2. Caractères botaniques ..... 4
I.3. Ecologie ..... 5
I.4. Importance de l'Eucalyptus ..... 6
I.5. Etablissement et conduite des plantations d'Eucalyptus ..... 6
I.6. Régime et traitements ..... 7
**CHAPITRE II. MATERIELS ET METHODES ..... 9**
II.1. Milieu d'étude ..... 9
II.1.1. Situation géographique ..... 9
II.1.2. Relief et hydrographie ..... 9
II.1.3. Sols et végétation ..... 9
II.1.4. Climat ..... 11
II.1.5. Situation sylvicole en commune Gitega ..... 11
II.2. Collecte des données ..... 12
II.2.1. Matériels utilisés ..... 12
II.2.1.1. Elaboration des tarifs de cubage ..... 13

II.2.1.2. Traitement et validation des résultats ..... 17
II.2.2. Elaboration d'un plan d'aménagement forestier ..... 19
II.2.2.1. La phase des analyses ..... 20
II.2.2.2. La phase des synthèses ..... 21
II.2.2.3. Le programme d'actions et le bilan financier prévisionnel ..... 21
**CHAPITRE III. PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS ..... 22**
III.1. Tarifs de cubage ..... 22
III.1.1. Construction des tarifs de cubage ..... 22
III.1.1.1. Tarif de cubage à une entrée ..... 22
III.1.1.2. Tarif de cubage à deux entrées ..... 24
III.2. Plan d'aménagement proposé ..... 29
III.2.1. Les analyses ..... 30
III.2.1.1. Le milieu naturel ..... 30
III.2.1.2. Description des peuplements à aménager ..... 30
III.2.1.3. Structure des peuplements à aménager ..... 31
III.2.1.4. Volume sur pied ..... 32
III.2.1.5. Environnement socio-économique ..... 34
III.2.2. Les synthèses ..... 34
III.2.2.1. Objectifs et durée du plan d'aménagement ..... 34
III.2.2.2. Découpage en séries ..... 35
III.2.2.3. Le programme d'actions et le bilan financier prévisionnel ..... 35
III.2.2.4. Suivi-évaluation du plan d'aménagement ..... 40
**CONCLUSION ET SUGGESTIONS ..... 41**
**RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES ..... 43**
**ANNEXES ..... 46**

## LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

### Tableaux

Tableau 1 : Résultats de la regression et de l'ANOVA montrant la relation entre C et V ..... 23
Tableau 2 : Résultats de l'ANOVA montrant la relation entre V Smalian et V tarif construit ..... 27
Tableau 3 : Résultats de l'ANOVA montrant la relation entre V du tarif local et V du tarif construit ..... 29
Tableau 4 : Résultats du calcul du volume total du peuplement ..... 33
Tableau 5 : Programme de coupes annuelles et volumes attendus par type de produits pour la série de conversion des boisements de la ferme de la FABI à Zege ..... 36
Tableau 6 : Programme de coupes annuelles et volumes attendus par type de produits dans la série de transformation ..... 36
Tableau 7 : Calendrier des travaux de reboisement pour les séries de conversion et de transformation ..... 37
Tableau 8 : Programme de coupes annuelles et volumes attendus par type de produits dans la série de production mixte ..... 37
Tableau 9 : Coûts du reboisement pour les séries de conversion et de transformation..... 38
Tableau 10 : Recettes prévues pour les produits issus des séries de conversion et de transformation ..... 39
Tableau 11 : Recettes prévues pour les produits issus de la série de production mixte ..... 39
Tableau 12 : Bilan financier prévisionnel de l'aménagement ..... 40

### Figures

Figure 1 : Matériels utilisés ..... 12
Figure 2 : Placettes d'inventaire et cvheminement entre leurs centres ..... 15
Figure 3 : Tarif de cubage à une entrée ..... 22
Figure 4 : Tarif de cubage à deux entrées ..... 25
Figure 5 : Relation entre les volumes (Smalian et tarif construit) ..... 26
Figure 6 : Relation entre les volumes (tarif local et tarif construit) ..... 28
Figure 7 : Parcellaire des boisements de la ferme didactique de la FABI à Zege (Ndihokubwayo Soter, mars 2026) ..... 31
Figure 8 : Structure des arbres des boisements à aménager ..... 32
Figure 9 : Repartition du volume du bois sur pied dans les peuplements d'eucalyptus de la ferme de la FABI à ZEGE ..... 33

## LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

| | |
|---|---|
| % | : pour cent |
| Av | : avril |
| CHP | : Circonférence à hauteur de poitrine |
| cm | : centimètre carré |
| Dé | : décembre |
| $dm^2$ | : décimètre carré |
| FABI | : Faculté d'Agronomie et de Bio-Ingénierie |
| FAO | : Food and Agriculture Organization |
| Fé | : février |
| GPS | : Global Positioning System (Système de Positionnement Global) |
| ha | : hectare |
| Ja | : janvier |
| Juil | : juillet |
| $km^2$ | : kilomètre carré |
| m | : mètre |
| $m^2$ | : mètre carré |
| Ma | : mars |
| Nov | : novembre |
| Oct | : octobre |
| PA | : Parcelle |
| PCDC | : Plan Communal de développement Communautaire |
| Se | : septembre |

## AVANT-PROPOS

Les ressources forestières jouent un rôle essentiel dans le développement économique, social et environnemental des pays en développement. Au Burundi, les plantations forestières constituent une source importante de bois d'œuvre, de bois-énergie et de services écosystémiques. Toutefois, leur gestion durable nécessite la disponibilité d'outils techniques fiables permettant d'évaluer avec précision les ressources disponibles et de planifier rationnellement leur exploitation. L'aménagement forestier durable repose sur une connaissance approfondie de l'état des peuplements et sur l'utilisation d'outils d'aide à la décision adaptés aux conditions locales.

C'est dans cette perspective que s'inscrit le présent mémoire intitulé **«** Élaboration des tarifs de cubage et plan d'aménagement forestier des boisements de la ferme didactique de la FABI à Zege ». Ce mémoire a été réalisé dans le cadre de l'obtention du diplôme de Master es Sciences et Gestion Intégrée de l'Environnement, Option : Gestion des ressources Naturelles, afin de contribuer à l'amélioration de la gestion des boisements de la ferme didactique de Zege.

L'élaboration des tarifs de cubage constitue une étape fondamentale de l'aménagement forestier. En effet, les tarifs de cubage permettent d'estimer le volume des arbres à partir de paramètres dendrométriques facilement mesurables, tels que le diamètre à hauteur de poitrine et la hauteur totale. Ces outils facilitent l'inventaire forestier, l'évaluation des stocks de bois et la planification des interventions sylvicoles. Par ailleurs, un plan d'aménagement forestier bien conçu permet de définir les objectifs de gestion, les modalités d'exploitation et les mesures de conservation nécessaires à la pérennité des peuplements.

La ferme didactique de la FABI à Zege représente un important patrimoine forestier servant à la fois de support pédagogique, de terrain de recherche et de source de production forestière.. Par contre, l'absence de tarifs de cubage spécifiques et d'un plan d'aménagement structuré peut limiter l'efficacité de sa gestion. Ce mémoire ambitionne de fournir des outils techniques et des orientations de gestion susceptibles de favoriser une exploitation rationnelle et durable de ces boisements.

# 0. INTRODUCTION GENERALE

## 0.1. Contexte et justification de l'étude

La forêt est depuis longtemps considérée comme une composante des territoires essentielle au développement économique des populations et à la production de multiples biens et services écosystémiques (FAO, 2020). Du niveau local à l'échelle globale, elle contribue, entre autres, à la fourniture de produits forestiers ligneux ou non ligneux, à la régulation du cycle de l'eau, à la protection des sols, à l'atténuation et l'adaptation aux effets du changement climatique, à la conservation de la biodiversité, à la prévention et à la lutte contre la désertification. Pour mieux remplir ses fonctions ; une gestion durable de cette ressource naturelle s'impose à l'échelle de chaque pays (Karsenty, 2019).

Dans le souci de satisfaire les besoins socio-économiques de la population, de protéger les sols contre l'érosion et de réguler le régime hydrique, le gouvernement de la République du Burundi a lancé un vaste programme de reboisement depuis 1978.(Bangirinama et al., 2016)

Au Burundi, les plantations d'*Eucalyptus* occupent une place importante dans la satisfaction des besoins en bois de service, bois-énergie et poteaux, aussi bien en milieu rural qu'institutionnel. Toutefois, la gestion de ces peuplements est souvent marquée par une exploitation non planifiée, une absence de données dendrométriques fiables et des pratiques sylvicoles inadaptées, ce qui compromet leur productivité et leur durabilité. (FAO, 2018).

L'*Eucalyptus* occupe une place stratégique dans le paysage forestier et économique du Burundi. Introduit au pays dès l'époque coloniale pour compenser la perte des forêts naturelles, il s'est largement répandu du fait de sa croissance rapide, de sa capacité à produire du bois commercialisable en peu d'années (charbon dès 5 ans, bois sciable dès 7 ans) et de sa résistance aux attaques d'insectes. Grâce à ces caractéristiques, il peut produire jusqu'à environ 60 m³ de bois par hectare en 5 à 8 ans, ce qui permet de répondre à la demande croissante en bois énergie et en produits ligneux parmi les populations locales (Bizimana, 2025).

L'*Eucalyptus* joue aussi un rôle important dans les efforts de restauration de la couverture forestière du Burundi, représentant une part significative des plants utilisés dans les programmes de reboisement. De plus, son développement générateur de revenus pour les arboriculteurs s'est traduit par l'adoption de plantations sur des parcelles privées, contribuant à l'amélioration des moyens de subsistance rurale.

Cependant, malgré ces avantages socio-économiques, sa croissance rapide et son forte consommation d'eau soulèvent des préoccupations environnementales, notamment en ce qui concerne les ressources hydriques et la biodiversité lorsqu'il est planté près des sources d'eau (Nduwimana et al.).

La ferme didactique de la FABI à Zege dispose de peuplements d'*Eucalyptus* constituant une ressource forestière stratégique pour l'institution et le milieu environnant. Cependant, ces peuplements sont exploités sans un plan d'aménagement forestier formalisé, ce qui entraîne une mauvaise organisation spatiale, des coupes irrégulières, une faible valorisation du potentiel ligneux et des risques de dégradation des sols et de l'environnement (FAO, 2018).

L'absence d'un cadre de gestion durable rend difficile la planification des interventions sylvicoles, l'estimation précise des volumes exploitables, la régénération contrôlée des peuplements et la pérennisation de la production forestière. Dans ce contexte, il devient indispensable de disposer d'un plan d'aménagement basé sur un diagnostic forestier rigoureux et des données dendrométriques fiables (Julian Evans, 1992).

Dès lors, la question centrale qui se pose est la suivante : comment gérer rationnellement et durablement les peuplements d*'Eucalyptus* de la ferme didactique de la FABI à Zege afin d'optimiser la production forestière tout en assurant la conservation des ressources naturelles?

La présente étude se propose donc d'aborder la problématique des plantations de cette région (Gitega) en général, et du peuplement forestier de la ferme didactique en particulier. Elle répondra aux questions suivantes :

- Existe-t-il des outils dendrométriques permettant d'estimer correctement le volume à partir de la mesure de la grosseur et de la hauteur des arbres ?
- Les tarifs de cubage d'*Eucalyptus* utilisés au Burundi permettent- ils d'estimer avec bonne précision le volume des arbres du peuplement de Zege ?

### 0.2. Objectif et hypothèses de l'étude

L'objectif général est d'élaborer des outils indispensables à la gestion durable des peuplements forestiers d'*Eucalyptus* de la ferme didactique de la FABI à Zege.

Les objectifs spécifiques poursuivis sont :

- Décrire et analyser l'état actuel des peuplements d'*Eucalyptus* de la ferme didactique de la FABI à Zege et mettre en place le parcellaire
- Elaborer des tarifs de cubage spécifiques au peuplement forestier d'*Eucalyptus* pour la zone d'étude
- Rédiger un plan d'aménagement de ces peuplements forestiers.

Pour atteindre ces objectifs, les hypothèses de recherche suivantes ont été formulées :

a. Le volume des arbres est fortement corrélé à la grosseur des arbres et à leurs hauteurs. Ainsi, la relation obtenue permet d'estimer avec précision le volume des arbres des peuplements d'eucalyptus de Zege.

b. L'utilisation des tarifs de cubage locaux améliore la précision dans l'estimation des volumes exploitables, ce qui contribue à une gestion durable de cette forêt.

### 0.3. Intérêt du sujet

Ce travail, revêt à la fois un intérêt scientifique et économique.

- **Scientifiquement : par l'inventaire réalisé, il contribuera à la connaissance de l'état actuel du peuplement d'*Eucalyptus* et à la mise en place des outils de gestion forestière, en l'occurrence les tarifs de cubage et un plan d'aménagement forestier ;**
- **Economiquement : ce travail contribuera à la mise en place du plan d'aménagement forestier, un outil indispensable pour optimiser la production forestière.**

### 0.4. Articulation du travail

**Le présent travail est articulé sur trois chapitres en dehors de l'introduction. Le premier a été consacré à la synthèse bibliographique ; le deuxième à la présentation du milieu, matériels et méthodes. Le troisième chapitre concerne la présentation, l'interprétation et la discussion des résultats. Le mémoire se termine par une conclusion et quelques suggestions.**

# CHAPITRE I. APERÇU GENERAL SUR L'EUCALYPTUS

## I.1. Taxonomie

La première découverte de genre *Eucalyptus* fût en Australie. Il est baptisé Gommier, c'est un genre très vaste et diversifié, de l'arbuste aux arbres parmi les plus hauts du monde. La forêt australienne comporte plus de 95% d'espèce d'*Eucalyptus*. Dans cette région, il se comporte à merveille, présente une croissance rapide et la rectitude de fût qui lui vaut d'ailleurs son extension dans plusieurs régions du monde. On le trouve aussi naturellement en Tasmanie, quelques espèces en Mélanésie et Philippines. L'*Eucalyptus* s'adapte presque à tout climat, on enregistre plus de 800 espèces (Eddine B.S., 2018).

(Jeannoda, 2011), donne la classification de l'*Eucalyptus* de la manière suivante :

Règne : Végétal

Embranchement : Angiospermes

Classe : Dicotylédones

Ordre : Myrtales

Famille : Myrtacae

Section : Exertaria

Genre : Eucalyptus

Nom vernaculaire au Burundi : Umukaratusi, Umushirakure.

## I.2. Caractères botaniques

L'eucalyptus, de la famille des Myrtaceae, est un arbre à croissance très rapide (jusqu'à 70-90 m) au feuillage persistant et aromatique. Il se distingue par son écorce exfoliante, ses feuilles juvéniles arrondies puis adultes falciformes (en croissant), et ses fleurs en pompons sans pétales, souvent blanches, produisant des capsules ligneuses.

Les principaux caractères botaniques sont :

- Port et taille : Arbre à croissance rapide, de taille moyenne à très grande (parmi les plus hauts du monde), avec un houppier souvent étalé.

- Écorce : Caractéristique, elle est souvent lisse et se détache en longues bandes ou plaques, révélant des couleurs variées (gris, blanc, crème, rougeâtre).
- Feuillage (Hétérophyllie) :
  - Jeunes feuilles : Souvent opposées, sessiles (sans pétiole), de forme arrondie ou ovale, et généralement de couleur gris-bleu.
  - Feuilles adultes : Souvent alternes, pétiolées, allongées, lancéolées ou en forme de faux (falciformes), coriaces, de couleur vert olive à gris-vert, riches en glandes à huile essentielle (eucalyptol).
  - Orientation : Elles sont souvent pendantes et orientées verticalement pour limiter l'évapotranspiration.
- Fleurs : Inflorescences en ombelles ou en grappes. Les fleurs n'ont pas de pétales ni de sépales visibles. Elles sont formées d'un opercule (couvercle) qui tombe pour libérer une multitude d'étamines, donnant un aspect de pompon (blanc, crème, parfois rouge).
- Fruit : Capsule ligneuse, dure, à paroi épaisse, contenant de très nombreuses petites graines.
- Système racinaire : Puissant et profond, permettant une grande adaptabilité et la recherche d'eau. (Pryor, 1982)

**I.3. Ecologie**

L'*Eucalyptus* se montre comme une espèce très frugale, il résiste sur presque tout sol pauvre jusqu'au riche pourvu qu'il soit profond pour faciliter l'enracinement profond. Il n'est pas exigeant et s'accommode à tous les milieux (sur des terrains relativement secs, ou au contraire excessivement humides) comme l'affirment certains auteurs. L'*Eucalyptus* pousse bien sur un sol profond et perméable (Navarro de Andrade, 1931).

L'*Eucalyptus* est un arbre qui possède de petites graines ne contenant que très peu de substances de réserve mais elles sont produites en grand nombre et ont une capacité de s'implanter sur n'importe quel milieu. L'*Eucalyptus* peut coloniser un milieu difficile et des terrains nus dépourvus d'abri. L'*Eucalyptus* s'adapte à toutes les textures, même très argileuses. Il tolère l'engorgement temporaire, mais préfère les sols drainants, en légère pente,

chargés en cailloux et galets. Ces espèces ont un système racinaire superficiel, sans pivot (Melun & Nguyen, 2012).

### I.4. Importance de l'Eucalyptus

Les *Eucalyptus* occupent une place très importante dans les reboisements à l'échelle mondiale en raison de leur rapidité de croissance, leur plasticité et de la qualité de leur fibre (MELUN, F. & NGUYEN, 2012). Cette essence forestière a été plantée dans de nombreux pays, pour la production de bois ou pour assécher les sols.

Les plantations des *Eucalyptus* procurent des produits divers et surtout de bonne qualité. Nous pouvons citer la production de la pâte à papier pour développer l'industrie du papier, les industries de pulpe au Brésil, le bois utilisé dans les industries de produits de reconstitution du bois, industrie des panneaux de particule et contre plaqués en Australie, sans oublier la production du bois de feu, etc. (Dos Santos, P. E. T., Geraldi, I. O., Garcia, 2004).

Dans les pays ayant des programmes de reboisement plus modestes, mais d'importance non négligeable, la meilleure voie pour accroître la valeur unitaire de la matière première produite par les plantations d'*Eucalyptus* consiste à investir davantage en vue de mieux valoriser les 15% de bois pouvant donner des bois ronds et des sciages de valeur. Il serait par ailleurs d'un grand intérêt que l'on parvienne à construire des usines de pâte et papier rentables de plus petite taille. Certains pays africains comme l'Afrique du Sud et le Kenya utilisent d'ores et déjà leurs bois d'*Eucalyptus* pour un grand nombre d'emplois, accroissant ainsi considérablement la valeur ajoutée (Pryor, 1982).

### I.5. Etablissement et conduite des plantations d'Eucalyptus

La mise en place des peuplements d'*Eucalyptus* est souvent fonction des besoins attendus de ces derniers, des plantations de production ou de protection. Les plantations initiales issues des plants sont souvent homogènes. La grande part des plantations d'*Eucalyptus* est traitée en taillis et exploitée aux intervalles de quatre à dix ans. Sur de bonnes terres, on peut planifier de faire trois à quatre révolutions de taillis avec de bonnes production (Pryor, 1982).

Les plans d'exploitation des peuplements d'*Eucalyptus* qu'on traitera en taillis prévoient souvent l'exploitation de ces derniers à bas âges pour maximiser le taux de régénération sur souche. Beaucoup planifient l'exploitation entre 7-10 ans. La première exploitation d'une

jeune futaie est une phase importante qui doit se faire avec des coupes soigneusement faits pour rester avec des souches propres propices à assurer une bonne régénération. (Pryor, 1982)

**I.6. Régime et traitements**

Le traitement sylvicole caractérise l'organisation dans l'espace et dans le temps des opérations sylvicoles, telles que la régénération ou éclaircie sur une unité de gestion. Le traitement façonne le peuplement et déterminent leur structure (AFOCEL, 1992).

Suivant les objectifs assignés au peuplement et le plan d'aménagement établi à ce dernier, le boisement est abattu à la scie à chaine (d'ailleurs plus recommandée qu'à la hache) pour avoir des bonnes souches et cela permettra d'avoir un taillis homogène et vigoureux bien plus rapidement. Il faut prêter attention au niveau de la découpe d'abattage. En coupant trop haut on diminue les chances de survie de la souche. En coupant rez-terre l'écorce peut se décoller.

La hauteur recommandée est de 10-12 cm et la hauteur de la souche tend également à s'accroitre avec les coupes successives de taillis. Il est plus facile de couper un peu plus haut ; cela n'est jamais nécessaire, et les surveillants doivent veiller à l'empêcher. Les *Eucalyptus* ont suffisamment de bourgeons dormants sur la souche primitive, et ces bourgeons se développeront si l'abattage est fait d'une manière correcte. La section doit être aussi nette que possible, et inclinée de manière à faciliter l'écoulement de l'eau. L'accumulation d'eau sur la souche accroit les risques d'attaques de champignons (Pryor, 1982).

Le mode général de régénération représente le régime. A l'intérieur d'un même régime, on y distingue les traitements. Le traitement est l'ensemble des opérations spéciales que l'homme fait subir à un peuplement, dans le but de satisfaire les besoins de la société d'une manière continue et soutenue (De Ligne A. et Guizol p., 1987).

Le peuplement est soumis à un régime de la futaie lorsqu'il est régénéré par des brins de semences ou des plants issus des graines. Ce régime fournit du bois d'œuvre, constitué de grumes de bonnes qualités technologiques. Il requiert une série de soins culturaux pour assurer une bonne conduite du peuplement dès sa mise en place jusqu'à son exploitation.

La conduite des plantations d'*Eucalyptus* est surtout basée sur la production de qualité et de la quantité du bois. Dans ce dernier cas, le taillis simple est le régime le plus communément adopté (De Ligne A. et Guizol p., 1987). Dans le taillis simple, le peuplement formé de végétaux susceptibles de rejeter de souches ou de racine est exploité à blanc étoc, sans réserve

d'aucune tige sur toute une étendue continue. Il se forme, après exploitation, des rejets sur les souches ou des drageons sur les racines.

Taillis sous futaie : consiste dans l'éducation, au-dessus du taillis simple, d'un certain nombre d'arbres de réserve ou futaie. Il est donc constitué de deux éléments distincts, le taillis et la futaie.

D'après la même source (De Ligne A. et Guizol p., 1987), le taillis sous futaie se conduit ainsi :

- A la première éclaircie : coupe rase avec maintien d'une réserve déterminée à l'avance ;
- A la deuxième éclaircie : coupe rase du taillis et éclaircie dans la réserve si nécessaire ;
- Ainsi de suite jusqu'à l'obtention d'une réserve d'une cinquantaine d'arbres maintenue jusqu'à maturité.

Le taillis sous futaie à densité de réserve faible (100 à 150 tiges/ha) permet d'atteindre des dimensions d'exploitabilité durant la révolution tout en maintenant un accroissement élevé, de plus le taillis facilite l'élagage naturel.

# CHAPITRE II. MATERIELS ET METHODES

## II.1. Milieu d'étude

### II.1.1. Situation géographique

Le milieu d'étude se situe en commune Gitega, zone Rutegama (Région naturelle de Kirimiro).

La commune de Gitega figure parmi les neuf (9) communes qui constituent la province de Gitega. Elle est délimitée au Nord par les communes Shombo et Bugendana de la même province, au Sud-Est par les communes de Gishubi, à l'Est par la commune de Butaganzwa de la province de Buhumuza et enfin à l'Ouest par la commune de Nyabihanga relevant de la province de Gitega.

### II.1.2. Relief et hydrographie

La zone d'étude est située entièrement dans la région naturelle de Kirimiro qui se caractérise par une altitude comprise entre 1600 et 2000 m, occupe les hauts plateaux centraux accidentés du Burundi qui sont composés de collines au relief tourmenté, à pentes moyennement fortes ; certaines collines accusant souvent des pentes supérieures à 50% avec des sommets érodés et affleurements rocheux.

La commune de Gitega a un réseau hydrographique entièrement tributaire du bassin du Nil. La Ruvubu constitue le principal cours d'eau avec comme principal affluent la rivière Ruvyironza (Baranderetse, 2014).

### II.1.3. Sols et végétation

Les sols de la commune de Gitega ont une texture de type Argilo sableuse sur les versants de certaines collines, graveleuse vers le sommet des collines, argileuse sur les replats et dans les bas-fonds.

La végétation est celle de la région naturelle de Kirimiro. Elle est constituée de steppes et de pelouses caractéristiques des sols dégradés de la région de Kirimiro. La région ne connaît pas de forêts naturelles (Baranderetse, 2014).

La ferme didactique de la FABI à Zege, située dans la région naturelle de Kirimiro, se caractérise par la prédominance de sols ferrallitiques, typiques des zones tropicales humides et d'altitude.

Ces sols, issus d'une altération avancée des roches mères, sont généralement profonds, bien drainés et riches en oxydes de fer et d'aluminium, mais présentent une fertilité chimique relativement faible à moyenne, fortement dépendante des apports en matière organique et des pratiques culturales adoptées (FAO, 2015).

Toutefois, malgré leur structure favorable à l'enracinement, ces sols sont particulièrement sensibles à l'érosion hydrique, notamment en raison du relief accidenté des collines et de l'intensité des précipitations caractéristiques des hautes terres du Burundi. Cette érosion entraîne une perte progressive des horizons superficiels riches en nutriments, compromettant ainsi la productivité des terres (MINAGRIE Burundi, 2018).

Par ailleurs, la végétation naturelle originelle de la région, constituée de savane arborée dominée par des espèces locales telles qu'*Acacia spp.* et *Albizia spp.*, a été largement transformée sous l'effet des activités anthropiques, notamment l'agriculture et l'exploitation forestière. Cette dynamique de transformation du couvert végétal est caractéristique des écosystèmes tropicaux soumis à une forte pression démographique (Julian Evans, 1992).

Actuellement, le paysage végétal de la ferme est dominé par des plantations monospécifiques d'*Eucalyptus spp.*, introduites pour répondre aux besoins croissants en bois énergie et en bois d'œuvre. Ces plantations présentent l'avantage d'une croissance rapide et d'une productivité élevée, mais leur gestion inadéquate peut entraîner des impacts négatifs sur les propriétés physiques et chimiques des sols, notamment en termes d'appauvrissement en nutriments et de diminution de la disponibilité en eau (FAO, 2018).

En outre, la substitution de la végétation naturelle par des formations anthropiques simplifiées, associée à l'absence d'un couvert végétal diversifié et permanent, favorise la dégradation des sols, réduit la biodiversité et limite les processus de régénération naturelle. Cette situation met en évidence la nécessité d'intégrer des pratiques d'aménagement forestier durable, telles que la diversification des espèces, l'agroforesterie et la conservation des sols, afin d'assurer la pérennité des systèmes de production et la stabilité des écosystèmes (CIFOR, 2004).

### II.1.4. Climat

La région présente une pluviométrie moyenne annuelle de 1200 mm, une température moyenne annuelle de 20°c, un climat du type tropical et tempéré par l'altitude. Le climat dans le périmètre du projet est de type tropical. Selon la classification climatique de Koppen, on a à faire à un climat AW3 ou AW4, une température moyenne de 19°C et une pluviométrie moyenne de 1200 mm. (Köppen climate classification, 2026).

### II.1.5. Situation sylvicole en commune Gitega

La commune de Gitega, située au centre du Burundi, présente une activité sylvicole dominée par les plantations artificielles, en réponse à la forte pression exercée sur les ressources forestières naturelles. En effet, la réduction progressive du couvert forestier naturel a conduit à la promotion de boisements à croissance rapide, principalement composés d'*Eucalyptus spp.*, de *Pinus spp.* et de *Grevillea robusta*, afin de satisfaire les besoins croissants en bois énergie et en bois d'œuvre (FAO, 2015). Ces plantations, établies dans le cadre des politiques nationales de reboisement et des initiatives locales telles que le programme « Ewe Burundi Urambaye », contribuent significativement à la restauration du couvert végétal et à la lutte contre la dégradation des terres.

Cependant, malgré cette dynamique, la sylviculture dans cette région reste confrontée à plusieurs contraintes, notamment l'insuffisance d'encadrement technique, le manque de planification forestière et la prédominance de plantations monospécifiques, qui limitent la biodiversité et peuvent affecter la fertilité des sols à long terme (CIFOR, 2004). Par ailleurs, l'intégration des pratiques agroforestières demeure une stratégie essentielle pour concilier production forestière et durabilité écologique, en améliorant la conservation des sols et en diversifiant les sources de revenus des populations rurales. Ainsi, une gestion sylvicole durable basée sur la diversification des espèces, l'aménagement forestier et le renforcement des capacités techniques apparaît indispensable pour assurer la pérennité des ressources forestières dans la commune de Gitega.

## II.2. Collecte des données

### II.2.1. Matériels utilisés

La collecte des données nécessaires pour la construction des tarifs de cubage et l'élaboration d'un plan d'aménagement forestier a utilisé du matériel dendrométriques suivants comme le montre la figure 1 :

- Le GPS : pour la géolocalisation des placettes, l'orientation au cours du cheminement entre les placettes échantillons, la mesure des distances et le calcul des superficies des différentes parcelles.
- Le décamètre pour mesurer les distances et prendre des longueurs des différents billons et arbres.
- Le dendromètre Suunto et celui de Blume Leiss ont pour mesurer les hauteurs d'arbres sur pied.
- Le mètre ruban pour mesurer la grosseur (circonférence) des arbres
- La scie à chaîne pour l'abattage et le façonnage des arbres échantillons
- Des fiches de terrain pour l'enregistrement des données de terrain
- Un ordinateur pour le traitement des données.




**Figure 1 : Matériels utilisés**

### II.2.1.1. Elaboration des tarifs de cubage

La collecte des données nécessaires pour la construction des tarifs de cubage et l'élaboration du plan d'aménagement forestier a suivi les principales étapes suivantes :

- L'inventaire des arbres au sein des différentes parcelles pour renseigner sur la structure et le potentiel ligneux disponible ; données indispensables pour la rédaction du plan d'aménagement forestier et la mise en place du parcellaire pour le peuplement forestier.
- Le choix des arbres échantillons pour la construction des tarifs de cubage,
- L'abattage des arbres échantillons et prise des mesures nécessaires pour la construction des tarifs de cubage

➢ **Inventaire forestier**

La collecte des données dendrométriques s'est appuyée sur deux catégories d'inventaire forestier suivantes : (i) Inventaire forestier en plein ou exhaustif, (ii) inventaire par échantillonnage systématique en grille régulière.

✓ ***Inventaire forestier en plein ou exhaustif***

Le principe de l'inventaire en plein est de parcourir la totalité de la forêt en mesurant la grosseur de tous les arbres, répartis par essences, ainsi que des hauteurs dominantes, des hauteurs totales ou des hauteurs « marchandes » qui, pour ces deux dernières, sont le plus souvent à mettre en relation avec des catégories de grosseur.(Rondeux, 2021)

Ce type d'inventaire a été utilisé pour les petites parcelles de moins d'un ha (PA10) où toutes les circonférences des arbres étaient systématiquement mesurées.

✓ ***Inventaire forestier par échantillonnage systématique en grille régulière***

Ce type d'inventaire consiste à inventorier une partie du boisement constituée par un ensemble de placettes choisies selon les règles statistiques pour être représentatives sur l'ensemble du boisement.

Le traitement des données recueillies au niveau des placettes permet d'opérer une estimation de la valeur des paramètres recherchés sur l'ensemble du boisement.

La précision des résultats d'un inventaire forestier augmentera en fonction du taux de sondage et la qualité des opérateurs(Rondeux, 2021).

**L'intensité d'échantillonnage** ou **taux de sondage** est définie comme le nombre de placettes d'échantillonnage devant être réalisées dans un peuplement forestier. Cette fraction sondée correspond au rapport entre la taille de l'échantillon et la taille de la population.

**Taux de sondage :** est le rapport entre la superficie totale des placettes inventoriée, à la surface totale du boisement**.** Il est donné par la formule suivante **:**

$$\mathrm{TS}(\%) = \frac{N * Spl}{\mathrm{SBs}} * 100$$

*TS : taux de sondage en %*

*N : nombre de placettes mesurées*

*Spl : surface de la placette*

*SBs : surface totale du boisement*

En pratique un taux de sondage de 5 à 10% donne de bons résultats. On propose en général de mesurer 5 ares pour chaque hectare de boisement ***(***Pardé et Bouchon, 1988)

Nous avons réalisé un inventaire par échantillonnage systématique avec un taux de sondage de 10% pour l'ensemble des boisements.

L'inventaire a été réalisé à l'aide de *placettes circulaires* d'une surface de *500 m²* (rayon ≈ 12,62 m), Les placettes ont été installées de façon *systématique* le long de transects espacés de [50 m], avec un intervalle régulier entre deux placettes successives. Ce dispositif permet de couvrir de manière représentative l'ensemble des peuplements, en tenant compte de leur âge, densité et état sanitaire (Rondeux, 2021).

La progression à travers le massif suivait les directions préalablement déterminées en fonction du maillage. Les directions ont été déterminées à l'aide de la boussole et la distance mesurée à l'aide du GPS et du décamètre. La figure 2 montre le cheminement pour atteindre les différents centres de placette. Le rayon de chaque placette étant de 12,6 m.

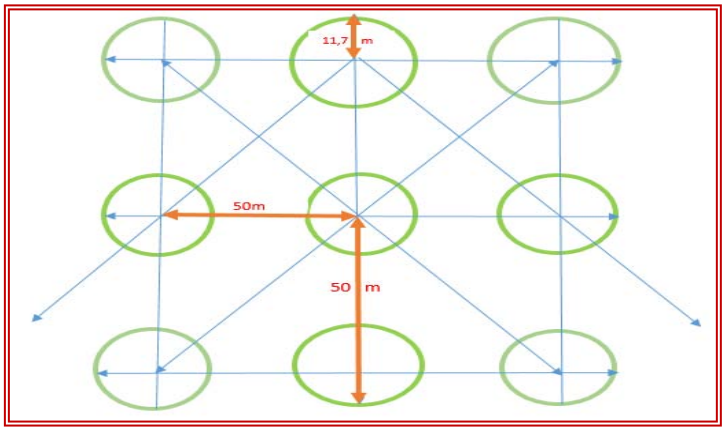



**Figure 2 : Placettes d'inventaire et cvheminement entre leurs centres**

**Quelles sont les mesures prises pour chaque placette ?**

**(i)** La circonférence de tous les arbres de la placette : nous avons réalisé la mesure des circonférences de référence à 1.30m du sol à l'aide du mètre ruban. Ce paramètre est très important pour montrer la structure du peuplement et dans le calcul de la production en volume de chaque placette et parcelle.

***(ii)*** La circonférence dominante : nous avons mesuré la circonférence des 5 plus gros arbres de chaque placette à l'aide du mètre ruban.

***(iii)*** La hauteur dominante : la hauteur des 5 plus gros arbres de la placette a été mesurée. Ce paramètre est un indicateur important de la classe de fertilité des parcelles. La mesure a été effectuée à l'aide des dendromètres de Suunto ou du dendromètre de Blume Leiss.

- **Choix des arbres échantillons**

**Introduction**

Les tarifs de cubage sont des outils d'estimation indirecte de volumes d'arbres.

Un tarif de cubage individuel se présente sous la forme d'un tableau chiffré, parfois aussi appelé table de cubage, ou d'un graphique, ou encore d'une équation qui fournit le volume d'un arbre (ou, plus strictement, le volume moyen par arbre d'un ensemble d'arbres comparables) en fonction d'une ou de plusieurs caractéristiques dendrométriques directement mesurables relatives à celui-ci.

Le présent travail a pour objet de construire des tarifs de cubage individuels à une entrée et à deux entrées pour le peuplement forestier d'eucalyptus. Le volume calculé est le volume bois fort et les entrées (paramètres utilisés) sont respectivement la circonférence de référence (C1,30 m) et la hauteur totale des arbres.

Ces tarifs de cubage seront utilisés dans la gestion forestière, la commercialisation des produits ligneux et la recherche forestière.

Notre échantillon a respecté le principe de représentativité permettant d'assurer que les relations établies entre la circonférence, la hauteur et le volume soient valides pour l'ensemble du peuplement (Van Laar & Akça, 2007**).**

Les arbres ont été sélectionnés en tenant compte de la répartition des caractéristiques dendrométriques et écologiques de la population forestière concernée parce qu'elle a tenu compte de la structure du peuplement et la répartition spatiale des arbres a été observée comme le recommande Philip (1994).

Le nombre d'arbres échantillon abattus a été fixé en suivant les recommandations tirées de (Rondeux, 2021) qui fixe un effectif de 30 à 100 arbres échantillons pour un peuplement forestier.

Si le tarif concerne une aire limitée où les conditions de croissance sont relativement homogènes, on peut admettre un échantillon variant de 30 à 100 arbres (Schmitt et Schneider, 1959).

Ainsi, un échantillon de 120 arbres a été retenu pour la construction des tarifs de cubage dont 30% de ces arbres a servi pour tester la fiabilité des tarifs (Rondeux, 2021).

La répartition des 120 arbres a été réalisée en respectant la règle suivante :

- Nous avons retenu un minimum de 3 arbres pour chacune des classes de circonférences
- Le nombre d'arbres restants a été reparti en fonction de leur représentativité au sein de la structure du peuplement (Rondeux, 2021).

**Abattage et mesure des arbres échantillons**

✓ **Abattage des arbres échantillons**

L'abattage des 150 arbres échantillons dont 120 ont servi pour la construction des tarifs de cubage s'est réalisé à l'aide d'une scie à chaîne. Les arbres ont été abattus au ras du sol en respectant les techniques d'abattage directionnel.

✓ **Mesures réalisées sur les arbres échantillons**

La collecte des données nécessaires à la construction des tarifs de cubage a été réalisée en notant pour chaque arbre les dimensions suivantes : circonférence à la base ($C_0$), la circonférence de référence $C_{1.30m}$, la hauteur de l'arbre (Ht), la circonférence à la grande base et à la petite base pour chacun des billons successifs d'1m de long ; la hauteur de l'arbre jusqu' à la découpe 22 cm de circonférence.

Ces données ont permis le calcul des volumes individuels des tiges par cubage des billons successifs d'1m avec la formule de Smalian suivante :

$$V = (L/8\pi) * (C_0^2 + C_n^2)$$

Où v=volume de l'arbre, L= longueur du billon, $C_0$= circonférence au gros bout du billon, $C_n$=circonférence au petit bout du billon.

**II.2.1.2. Traitement et validation des résultats**

➢ **Cubage des arbres échantillons**

Le cubage des arbres échantillons a été réalisé par le calcul des volumes des billons successifs à l'aide de la formule Smalian. Cette formule de cubage des arbres abattus utilise les circonférences extrêmes à la grande et à la petite base ainsi que la longueur de l'objet à mesurer.

Pour mieux minimiser les erreurs, nous avons réalisé le billonnage d'un mètre de longueur jusqu'à 22 cm de circonférence c'est-à-dire la longueur bois fort.

La formule de Smalian part de l'hypothèse que l'arbre à cuber s'assimile à un tronc de paraboloïde.

- **Construction des tarifs de cubage**

La construction des tarifs de cubage s'est réalisée en établissant une relation mathématique entre le volume de l'arbre et les paramètres facilement mesurables appelés entrées du tarif. Ces paramètres sont respectivement la circonférence de référence pour l'arbre pour les tarifs de cubage à une entrée et la circonférence de référence ainsi que la hauteur totale de l'arbre pour les tarifs de cubage à deux entrées.

Les tarifs de cubage construits donnent le volume bois fort des arbres individuels et se présentent sous formes de formules, graphiques et tableaux.

Le choix du modelé mathématique a tenu compte d'abord des entrées choisies pour le tarif et la formule mathématique adéquate choisie.

Le choix de tel ou tel type d'équation est souvent conditionné par la prise en compte d'éléments tels que le nombre de variables à récolter, les moyens humains, financiers et techniques disponibles, la précision requise, la variabilité des essences forestières, etc. (Rondeux, 2021)

Notre choix a porté sur une équation exprimant le volume en fonction de la circonférence de référence pour le tarif à une entrée.

$\mathbf{V= a_0 C^{a1}}$

*Où V est le volume bois fort*

*$a_0$ et $a_1$ sont des constantes*

*C étant la C1.30m*

Le choix de l'équation pour le tarif de cubage à deux entrées a gardé comme variables dépendantes la circonférence de référence (C1.30m) et la hauteur totale (H) de la tige

$V= a_0 C^2H^{a1}$

Où V est le volume bois fort

$a_0$ et $a_1$ sont des constantes

C étant la Circonférence à 1.30m

H : hauteur totale de la tige

- **Validation des tarifs de cubage**

La méthode 70 % / 30 % consiste à diviser les données en deux sous-échantillons : l'un destiné à l'ajustement du modèle et l'autre à sa validation indépendante. Cette approche permet d'évaluer la capacité prédictive du modèle et de limiter le phénomène de sur-ajustement (overfitting), qui correspond à une adaptation excessive du modèle aux données d'apprentissage (Burkhart & Tomé, 2012).

Ainsi les 120 arbres ont été subdivisés en deux lots :

- le premier lot de 84 arbres représentant 70% des effectifs a servi directement pour la construction des tarifs de cubage,
- Le second lot constitue de 36 arbres représentant 30% des arbres échantillons a servi pour tester la précision des tarifs de cubage élaborés.

Le coefficient de détermination $R^2$ mesure la proportion de la variabilité totale de la variable dépendante expliquée par le modèle (Montgomery, Peck & Vining, 2012) **:**

a) $\mathbf{R^2 < 0,5}$ : modèle faible

b) $\mathbf{0,5 \leq R^2 < 0,7}$ : modèle moyen

c) $\mathbf{R^2 \geq 0,7}$ **: bon à très bon modèle**

**Comparaison de tarif de cubage existant avec le tarif de cubage élaboré**

La comparaison des tarifs de cubage repose sur l'analyse des indicateurs statistiques tels que le biais moyen, l'erreur quadratique moyenne (RMSE) et le coefficient de détermination ($R^2$). Le RMSE est largement utilisé pour mesurer la précision des estimations volumétriques (Philip, 1994). De plus, l'analyse des résidus permet de vérifier l'absence de biais systématique dans le modèle (Draper & Smith, 1998). Selon Avery et Burkhart (2002), un bon tarif de cubage doit présenter un biais proche de zéro et une variance minimale. La validation croisée est également recommandée pour limiter le sur-ajustement (Montgomery et al., 2012).

### II.2.2. Elaboration d'un plan d'aménagement forestier

La présente étude s'inscrit dans un projet de recherche visant à gérer durablement les boisements de l'Université du Burundi situés dans le domaine de la ferme de la Faculté d'Agronomie et de Bio-ingénierie à Zege en province Gitega.

A cet effet, un plan d'aménagement forestier est indispensable pour planifier les opérations sylvicoles nécessaires à une production soutenue dans le respect de l'équilibre écologique et la rentabilité économique.

L'élaboration de ce plan a suivi trois phases (Dubourdieu, 1997) : les analyses, (ii) les synthèses, (iii) le programme d'actions et le bilan financier prévisionnel

### II.2.2.1. La phase des analyses

Les analyses portent sur la description du milieu naturel et socio-économique dans lequel se trouvent les boisements étudiés.

Au niveau du milieu naturel, il s'agit principalement de caractériser les facteurs physiques (relief, hydrographie, climat, nature des sols), milieu agricole environnant et d'autres éléments remarquables de la biodiversité comme les zones humides.

L'analyse des peuplements forestiers nécessite des observations afin de caractériser l'état de la ressource (dégradation, état sanitaire), sa composition en essences, sa structure, le régime, etc. Un inventaire des boisements est indispensable afin d'acquérir des données dendrométriques permettant de calculer le volume sur pied et la possibilité (volume annuel exploitable).

Dans le cadre de cette étude, un inventaire (en plein et statistique) a été réalisé.

L'analyse des peuplements permet aussi d'établir le parcellaire pour faciliter la planification dans l'espace de la gestion sylvicole à proposer dans le plan d'aménagement. Chaque parcelle constitue une unité de gestion la plus homogène possible.

Lors de l'analyse des peuplements, il est aussi utile de donner un aperçu sur la gestion passée afin d'identifier les contraintes et les possibilités d'amélioration à prendre en compte dans l'élaboration du plan.

La description du milieu socio-économique porte sur la population environnant les boisements à étudier et leurs principales activités, en mettant en exergue leur relation avec le massif boisé et les impacts potentiels à prendre en compte dans le plan d'aménagement.

### II.2.2.2. La phase des synthèses

Sur base des informations collectées lors des analyses, il est possible de formuler les objectifs de l'aménagement. Les unités de gestion sont alors classées en séries (parcelles recevant les mêmes soins sylvicoles) suivant les principaux objectifs (production, protection, etc.).

Après le choix des objectifs, d'autres choix s'imposent, notamment : le régime et les traitements sylvicoles (taillis/futaie, traitement de conversion ou de transformation), la rotation/l'âge d'exploitabilité, la surface à régénérer, etc.

### II.2.2.3. Le programme d'actions et le bilan financier prévisionnel

En fonction des objectifs de l'aménagement, on planifie les coupes (assiette annuelle des coupes) et les travaux sur les différentes séries pendant la durée du plan. Les coupes concernent aussi bien les éclaircies que les coupes définitives.

La planification des coupes et des travaux s'accompagne de la prévision des dépenses et des recettes y relatives.

Le calcul du bilan financier a utilisé la formule qui donne la Valeur Actuelle Nette (VAN). Ce dernier est un indicateur qui permet d'évaluer la rentabilité d'un investissement en ramenant tous les flux financiers (recettes et dépenses) à la valeur d'aujourd'hui. Dans cette étude, un taux d'actualisation de 16 % a été utilisé ; c'est le taux d'intérêt en vigueur dans les banques locales. La formule suivante donne la VAN.

$$\text{VAN} = \sum_{t=0}^{R} \frac{Rn-Cn}{(1+i)n}$$

Où VAN est la valeur actuelle nette qui correspond à la différence entre la somme des recettes et celle des coûts pour toute la durée du plan d'aménagement considérée (n).

*Rn : revenu à l'âge n*

*Cn : coût à l'âge n*

*i : taux d'intérêt, ici nous avons gardé 16% (taux d'intérêt utilisé par les banques locales).*

*n : âge n ;  R : âge de rotation*

# CHAPITRE III. PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS

## III.1. Tarifs de cubage

### III.1.1. Construction des tarifs de cubage

Après l'inventaire, ayant la circonférence de chaque billon d'1m et la hauteur de chaque arbre jusqu'à 22 cm de circonférence et en utilisant la formule de Smalian, nous avons trouvé le volume de chaque arbre permettant de construire le tarif de cubage (annexe 8).

Ces résultats ont été traités pour trouver le tarif de cubage à une entrée (à partir de la circonférence à 1,30 m) et le tarif de cubage à deux entrées (circonférence à 1,30 m et la hauteur totale des arbres).

#### III.1.1.1. Tarif de cubage à une entrée

Le tarif de cubage à une entrée construit se présente sous forme d'équation $\mathbf{V= 0,007C^{2,5664}}$ représentée par la figure 3.

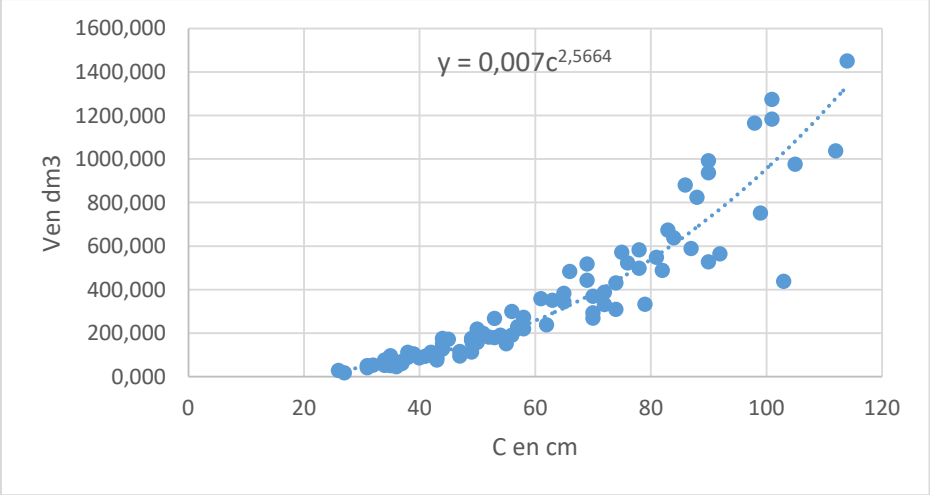



**Figure 3 : Tarif de cubage à une entrée**

Le tarif de cubage à une entrée : $V = 0,07C^{2,5664}$

Où V=volume en $dm^3$, C=circonférence à 1,30m en cm

Essence utilisée = *Eucalyptus*, volume utilisé = Volume bois fort, zone de validité : Commune Gitega, Circonférence de référence variant entre 25 et 120 cm. Le graphique présente la relation entre la circonférence à hauteur de poitrine (**C**, en cm) et le volume (**V**, en $dm^3$) des arbres mesurés sur le terrain.

L'équation de régression obtenue, $V=0,007\ C^{2,5664}$ indique que le volume des arbres augmente de façon non linéaire avec la circonférence, ce qui est conforme aux modèles allométriques classiques utilisés pour estimer les volumes ligneux en foresterie.

La valeur de l'exposant 2,5664 suggère que le volume croît plus rapidement que le carré de la circonférence, ce qui reflète la croissance volumique plus importante des arbres de gros diamètre.

La régression semble bien s'ajuster aux données, car les points suivent globalement la tendance de la courbe, bien que certaines observations, notamment pour les arbres de la circonférence supérieure à 90 cm, s'écartent légèrement de la tendance. Ces écarts peuvent être dus à la variation individuelle des formes d'arbres ou à des erreurs de mesure.

L'utilisation d'un modèle de type puissance est justifiée, car il capture mieux la relation entre la circonférence et le volume que les modèles linéaires simples, surtout pour des arbres de grandes circonférences.

La validité du modèle de ce tarif a été testée à l'aide d'une ANOVA (Tableau 1).

**Tableau 1 : Résultats de la regression et de l'ANOVA montrant la relation entre C et V**

| | The regression equation | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Predictor | Coef | Stdev | t-ratio | P (1) | |
| Constant | -18,146 | 20,251 | -1,976 | 0,130 | |
| C | 40951,56 | 9,127 | 36,151 | 0,000 | |
| s = 403,662 | R – sq = 99,4 % | | R – sq (adj)= 99,4 % | | |
| | Analysis of variance | | | | |
| SOURCE | DF | SS | MS | F | P |
| Regression | 1 | 323,573 | 323,573 | 3,837 | 0,000 |
| Error | 82 | 6914,33 | 84,321 | | |
| Total | 83 | 7237,903 | | | |

où Stdev = écart-type ; P = niveaux de probabilité correspondants ; S= écart-type résiduel ; R – sq = coefficient de détermination; DF = degrés de liberté correspondants ; Error = variation résiduelle; MS = carrés moyens ; SS=Sommes des carrés des écarts.

Les résultats de la régression indiquent que le modèle est hautement significatif. Le coefficient associé à la variable *C* est positif (40951,56) et très significatif (p = 0,000), avec un t-ratio élevé (36,151), ce qui montre une forte relation linéaire entre la variable explicative et la variable dépendante. En revanche, la constante n'est pas statistiquement significative (p = 0,130), suggérant qu'elle n'apporte pas d'information déterminante au modèle.

Le coefficient de détermination est très élevé ($R^2$ = 99,4 %), ce qui signifie que 99,4 % de la variabilité de la variable dépendante est expliquée par le modèle. Cette forte valeur traduit un excellent ajustement, conformément aux observations de Thomas Eugene Avery et Harold E. Burkhart (2002), qui soulignent que les modèles dendrométriques bien calibrés présentent généralement des $R^2$ supérieurs à 95 %. De plus, la significativité globale du modèle confirmée par l'ANOVA (p = 0,000) indique que la régression explique une part significative de la variance totale.

Ces résultats sont cohérents avec les travaux de Marian Prodan (1968), qui ont montré que les relations volume–circonférence ou volume–diamètre produisent souvent des coefficients de détermination très élevés dans les peuplements équiennes. Toutefois, comme le rappellent Montgomery et al. (2012), un $R^2$ élevé ne garantit pas à lui seul la validité prédictive du modèle ; l'analyse des résidus et une validation indépendante restent nécessaires pour éviter le sur-ajustement.

### III.1.1.2. Tarif de cubage à deux entrées

Le tarif de cubage à deux entrées se présente sous forme de l'équation : $V = 0{,}006\ (C^2H)^{0{,}9532}$

Où V=volume en $dm^3$, C=circonférence à 1.30 m en cm et H=hauteur du tronc en mètre(m) ; Essence utilisée = *Eucalyptus*, volume utilisé = Volume bois fort, zone de validité : Commune Gitega, Circonférence de référence variant entre 25 et 120 cm.

Le tarif construit est représenté sur la figure 4.

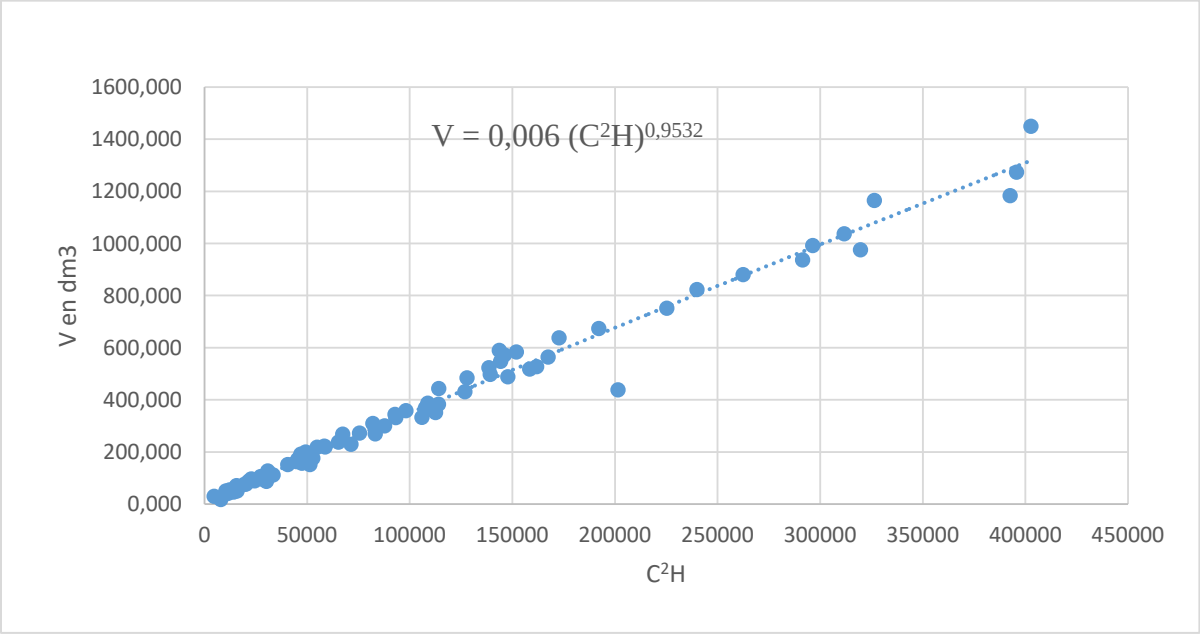



**Figure 4 : Tarif de cubage à deux entrées**

Le graphique montre une forte relation entre le volume des arbres et la variable combinée $C^2H$, confirmée par le modèle $V=0,006(C^2H)^{0,9532}$. L'exposant proche de 1 indique une relation quasi linéaire et un bon ajustement du modèle aux données. La faible dispersion des points traduit une bonne précision des estimations. Quelques écarts apparaissent pour les grands arbres, dus à des facteurs comme la forme, les conditions écologiques ou les erreurs de mesure. Globalement, le modèle intégrant la hauteur est plus performant que celui basé uniquement sur la circonférence.

**Comparaison des volumes avec la formule de Smalian et le tarif construit ($V=0,007\ C^{2,5664}$)**

En utilisant les 30% des arbres destinés à tester le modèle tout en calculant le volume par la formule de Smalian et par le tarif de cubage construit ; par comparaison, on trouve les résultats de la figure 5.

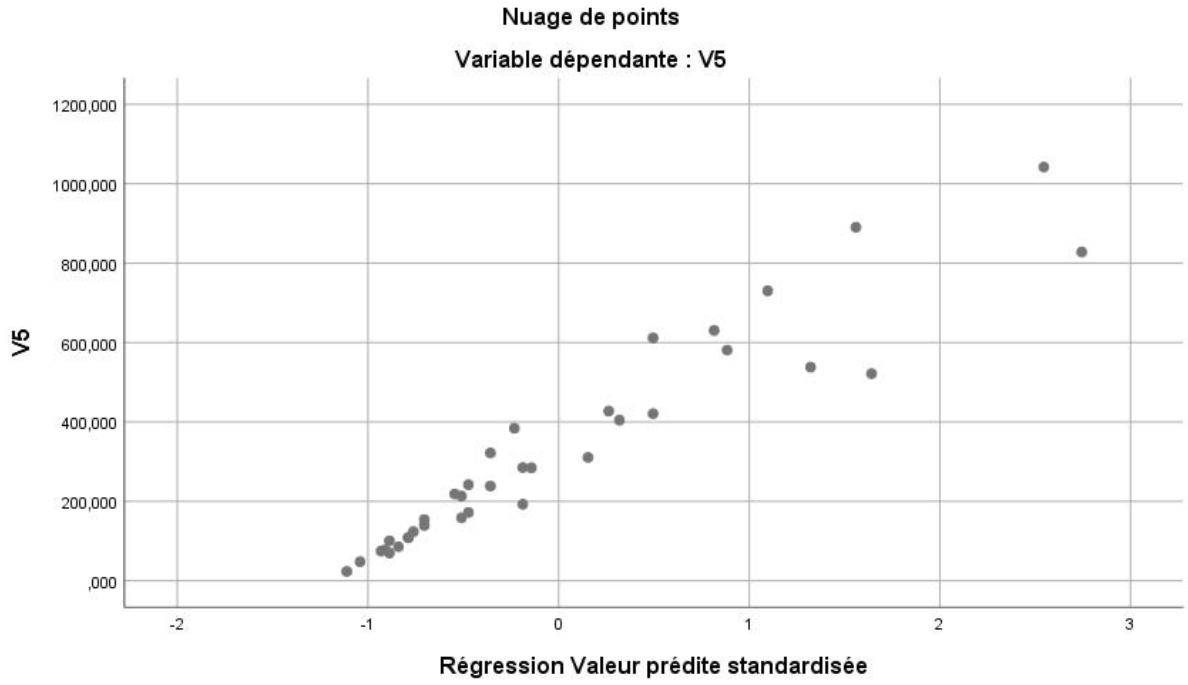



**Figure 5 : Relation entre les volumes (Smalian et tarif construit)**

La figure 5 présente la relation entre les volumes issus des deux méthodes. Le nuage de points met en évidence une corrélation positive marquée entre les valeurs observées (Smalian) et les valeurs prédites par le modèle. Cette tendance croissante indique que le tarif de cubage reproduit globalement de manière satisfaisante les variations du volume réel des arbres.

Cependant, on observe une dispersion des points autour de la tendance générale, particulièrement pour les valeurs élevées de volume. Cette dispersion traduit l'existence d'écarts entre les volumes estimés et les volumes réels.

Malgré ces écarts, la majorité des points suit une distribution relativement homogène, ce qui témoigne d'une bonne capacité prédictive du modèle. L'absence de structure particulière dans la dispersion (pas de biais systématique visible) suggère que le modèle ne surestime ni ne sous-estime de manière significative les volumes sur l'ensemble de l'échantillon.

Ainsi, la comparaison entre les volumes calculés par la formule de Smalian et ceux issus du tarif de cubage construit montre que ce dernier constitue un outil fiable pour l'estimation du volume des arbre**s** dans le peuplement étudié. Il peut donc être utilisé dans les opérations d'inventaire forestier et dans l'élaboration des plans d'aménagement.

La validité du modèle a été testée par une analyse de la variance dont les résultats se trouvent dans le tableau 2.

**Tableau 2 : Résultats de l'ANOVA montrant la relation entre V Smalian et V tarif construit**

| | The regression equation | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Predictor | Coef | Stdev | t-ratio | P | |
| Constant | -23,378 | 80,751 | -2,586 | 0,342 | |
| c | 2377739,58 | 18,39 | 21,869 | 0,000 | |
| s = 320,22 | R – sq = 90,4 % | | R – sq (adj)= 90,4 % | | |
| | Analysis of variance | | | | |
| SOURCE | DF | SS | MS | F | P |
| Regression | 1 | 2149510,68 | 2149510,68 | 320,220 | 0,000 |
| Error | 34 | 228228,898 | 6712,615 | | |
| Total | 35 | 2377739,58 | | | |

Les résultats montrent que le modèle de régression est **globalement très significatif** (F = 320,220 ; p = 0,000), indiquant que la variable explicative *c* contribue fortement à l'explication de la variable dépendante. Le coefficient de *c* est positif (2 377 739,58) et hautement significatif (p = 0,000 ; t = 21,869), ce qui confirme l'existence d'une relation linéaire forte entre les variables. En revanche, la constante n'est pas statistiquement significative (p = 0,342), ce qui suggère qu'elle ne joue pas un rôle déterminant dans le modèle.

Le coefficient de détermination ($R^2$ = 90,4 %) indique que plus de 90 % de la variabilité totale est expliquée par le modèle, ce qui traduit un bon ajustement.

**Comparaison des volumes du tarif local ($V=0,0268C^{2,27}$) et du tarif construit ($V=0,007C^{2,5664}$)**

En calculant le volume par le tarif de cubage local et par le tarif de cubage construit, par comparaison, on trouve les résultats représentés sur la figure 6 et détaillés en annexe 9.

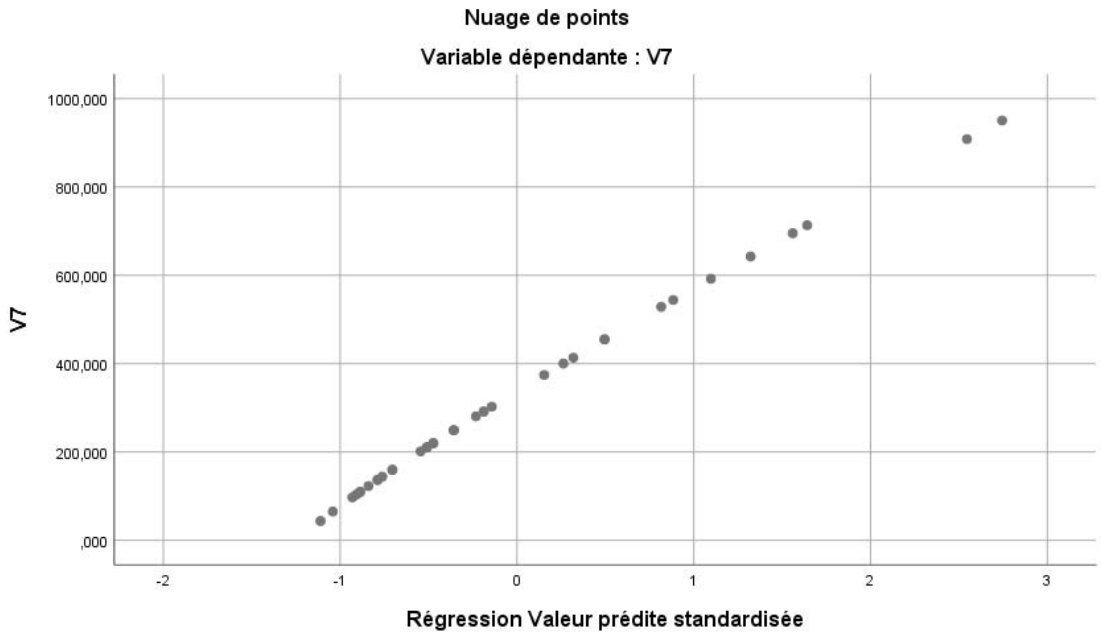



**Figure 6 : Relation entre les volumes (tarif local et tarif construit)**

L'analyse montre une forte relation croissante et quasi linéaire entre les volumes estimés par les deux tarifs, traduisant une bonne cohérence globale. Toutefois, des écarts apparaissent, surtout pour les grandes circonférences. Le tarif construit, avec un exposant plus élevé, tend à estimer des volumes plus importants que le tarif local. Les deux modèles donnent des résultats proches pour les faibles et moyennes circonférences, mais divergent pour les grandes valeurs. Globalement, le tarif construit apparaît mieux adapté aux conditions locales, tandis que le tarif local reste plus général.

La validité du modèle a été testée par une analyse de la variance dont les résultats figurent dans le tableau 3.

**Tableau 3 : Résultats de l'ANOVA montrant la relation entre V du tarif local et V du tarif construit**

| | The regression equation | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Predictor | Coef | Stdev | t-ratio | P | |
| Constant | -24,169 | 98,614 | -3,141 | 0,000 | |
| c | 1949980,33 | 11,022 | 13,787 | 0,000 | |
| s = 235,834 | R – sq = 98,6 % | | R – sq (adj)= 98,6 % | | |
| | Analysis of variance | | | | |
| SOURCE | DF | SS | MS | F | P |
| Regression | 1 | 1946627,44 | 1946627,44 | 19739,869 | 0,000 |
| Error | 34 | 3352,89 | 98,614 | | |
| Total | 35 | 1949980,33 | | | |

Les résultats indiquent que le modèle de régression est **hautement significatif** (F = 19 739,869 ; p = 0,000), ce qui confirme que la variable *c* explique de manière significative la variation de la variable dépendante. Le coefficient de *c* est positif (1 949 980,33) et très significatif (p = 0,000 ; t = 13,787), traduisant une forte relation linéaire entre les deux variables. Contrairement aux modèles précédents, la constante est ici statistiquement significative (p = 0,000), ce qui indique qu'elle contribue effectivement à l'ajustement du modèle.

Le coefficient de détermination est très élevé ($R^2$ = 98,6 %), signifiant que près de 99 % de la variabilité totale est expliquée par la régression.

### III.2. Plan d'aménagement proposé

Avant de proposer les actions à mener pour l'aménagement des boisements de la ferme de la FABI à Zege, il est important de donner les résultats des phases d'analyses du milieu et les différents choix (objectifs, traitements, structure) qui ont conduit à la programmation de ces actions.

### III.2.1. Les analyses

#### III.2.1.1. Le milieu naturel

Il a été caractérisé au point II.1.1 (Milieu d'étude)

#### III.2.1.2. Description des peuplements à aménager

- **Catégorisation selon l'état des boisements**

Les peuplements forestiers de la ferme didactique de la FABI ont été installés de façon échelonnée de 1981 vers 2000. Ils occupent une superficie totale d'environ 53 ha. Ils sont essentiellement composés *d'Eucalyptus* et est subdivisés en 14 parcelles (figure 7). Ces boisements sont répartis en deux catégories :

La première est composée par de vieux boisements *d'Eucalyptus* avec beaucoup de coupes illicites perpétrées par la communauté riveraine des Batwa. Ces parcelles se trouvent en amont des salles de cours et sont bordées au Sud-Est par un terrain de football, au sud par le site des Batwa. Ils totalisent une superficie d'environ 25 ha avec un volume exploitable sur pied de 6754,32 $m^3$ de bois d'énergie et 28 $m^3$ de bois d'œuvre (sciable). Ces boisements ont vieilli sur souche, ils n'ont plus la capacité de se régénérer correctement et méritent d'être exploités par coupe rase et d'assurer une conversion en réalisant une nouvelle plantation.

La deuxième catégorie qui couvre une superficie de 27,3424 ha est composée de 6 parcelles d'*Eucalyptus* (PA5, PA6, PA9, PA10, PA12, PA13 ) dont certaines d'entre elles présentent une bonne production tandis que d'autres méritent un effort particulier de gestion pour améliorer la production.

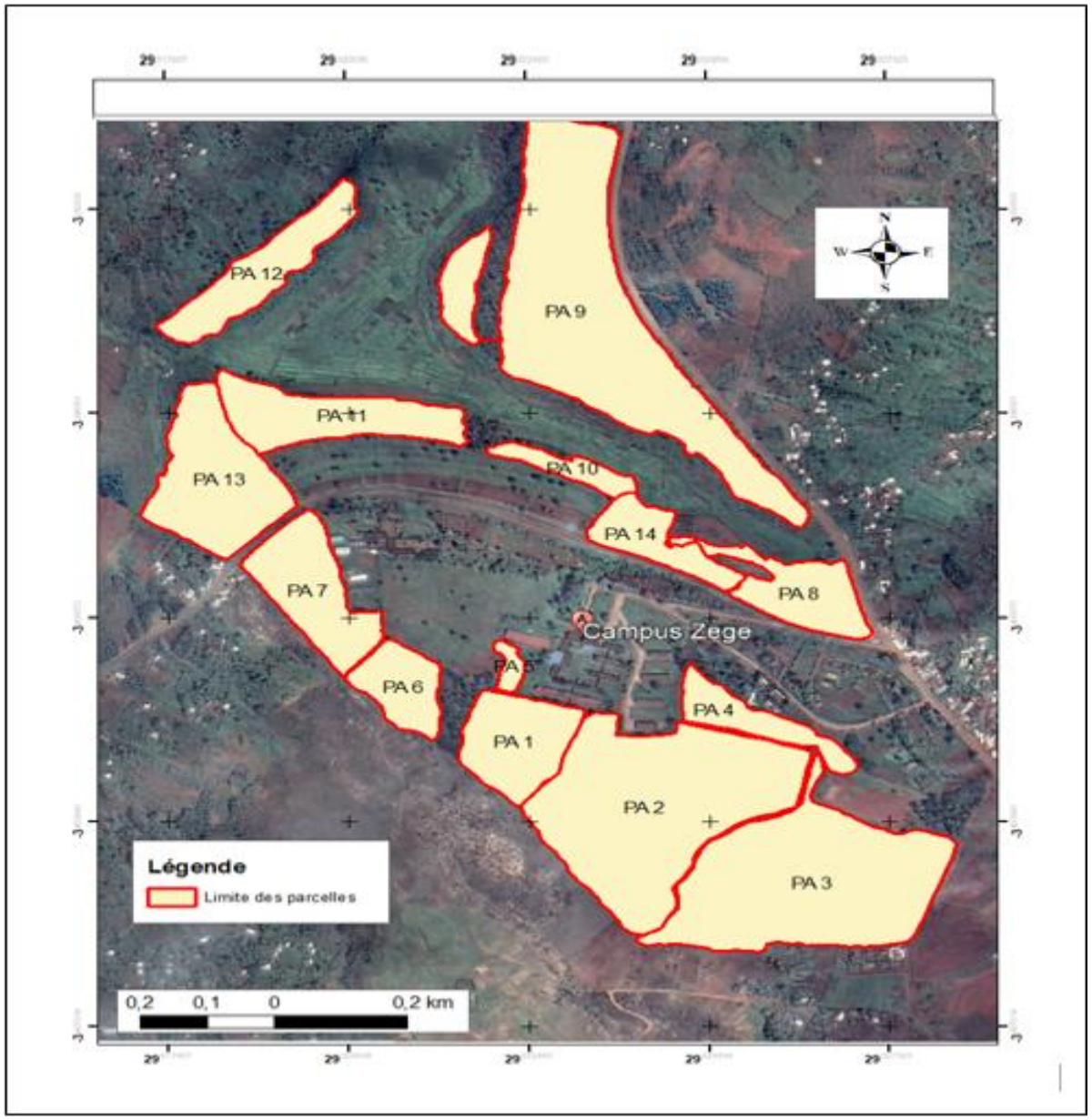



**Figure 7 : Parcellaire des boisements de la ferme didactique de la FABI à Zege (Ndihokubwayo Soter, mars 2026)**

### III.2.1.3. Structure des peuplements à aménager

La structure d'un peuplement désigne l'organisation des arbres dans l'espace et leur répartition selon l'âge, la taille et la densité. Elle permet d'évaluer l'état du peuplement et d'orienter les décisions d'aménagement forestier.

Un inventaire des peuplements à aménager a été réalisé dans la deuxième catégorie (II.2.1.).

La figure 8 donne la répartition des arbres en classes de circonférence selon la parcelle.

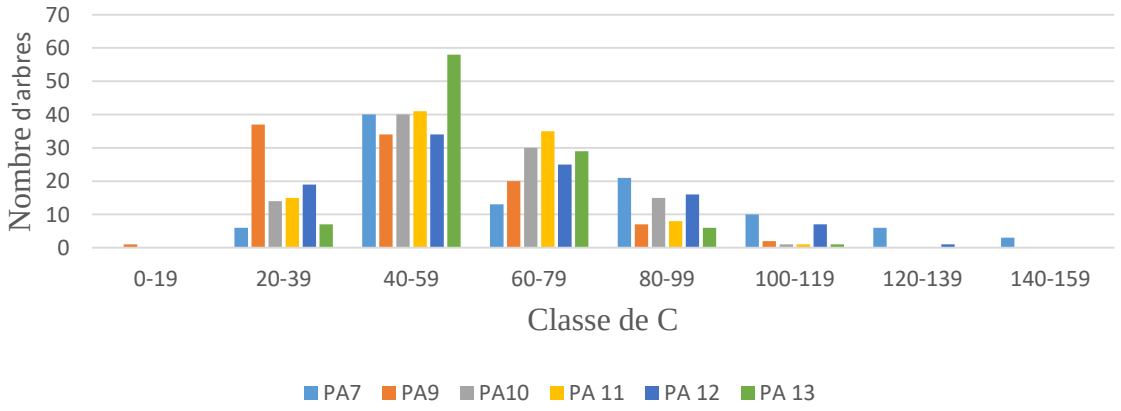



**Figure 8 : Structure des arbres des boisements à aménager**

Sur la figure 8, On observe que la majorité des arbres se concentre dans les classes intermédiaires, notamment : 40–59 cm et 60–79 cm.

La classe 40–59 cm apparaît comme la plus représentée dans presque toutes les parcelles, particulièrement en PA13 où l'effectif est le plus élevé. Cela indique que le peuplement est dominé par des arbres de diamètre moyen, suggérant une structure relativement homogène.

Une faible représentation des jeunes et des très grosses circonférences suggère un peuplement équienne en phase productive, adapté à un système d'aménagement basé sur une rotation définie et une coupe planifiée.

### III.2.1.4. Volume sur pied

Le tarif de cubage suivant a permis de déterminer le volume du bois sur pied :

**$V = 0{,}007 * C^{2{,}5664}$** ($V$ en $dm^3$ et $C$ en cm)

Les volumes calculés pour les parcelles de la deuxième catégorie sont donnés par le tableau 4 et représentés sur la figure 9.

**Tableau 4 : Résultats du calcul du volume total du peuplement**

| N° Parcelle | Superf.(ha) | N/ha | $H_{dom\ (m)}$ | $C_{dom\ (cm)}$ | $C_{moy}$ | G ($m^2$/ha) | V/ha ($m^3$) | Vtotal ($m^3$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PA7 | 3,14 | | 37 | 90 | 80,65 | 12,92 | 157,23 | 493,66 |
| PA9 | 13,08 | 256,67 | 31 | 50 | 54,71 | 12,56 | 108,12 | 1 413,732 |
| PA10 | 0,84 | 541,54 | 24 | 50 | 63,51 | 9,18 | 86,96 | 73,00 |
| PA11 | 3,23 | 285,87 | 52 | 50 | 60,24 | 16,21 | 150,97 | 487,52 |
| PA12 | 2,68 | 556,67 | 36 | 50 | 66,03 | 32,09 | 261,78 | 701,13 |
| PA13 | 4,38 | 920,00 | 32 | 50 | 58,32 | 9,78 | 90,20 | 395,06 |
| | **27,34** | 355,56 | | | | | | **3 564,106** |

N : Nombre de tiges ; Hdom : hauteur dominante ; Cdom : circonférence dominante ; Cmoy : circonférence moyenne, G= surface terrière, V : volume

Comme le montre le tableau 4, le peuplement de Zege installé au cours des campagnes sylvicoles 1981-2000 a un volume d'arbres sur pied qui s'élève à 3 564,106 $m^3$ pour un peuplement de 27,34 ha et âgé de 25 à 45 ans. C'est un boisement de protection implanté sur des sols rocailleux avec une surface terrière très faible.

Cette faiblesse de production s'explique non seulement par l'absence des travaux d'entretiens dès le jeune âge mais aussi l'absence des travaux de regarnissage ainsi que les coupes illicites intenses. Ces coupes expliquent la très faible densité des arbres : 486 arbres/ha.

On constate que les parcelles PA7 et PA12 ont la meilleure production : 157,23 $m^3$ /ha et 261,78 $m^3$ /ha.

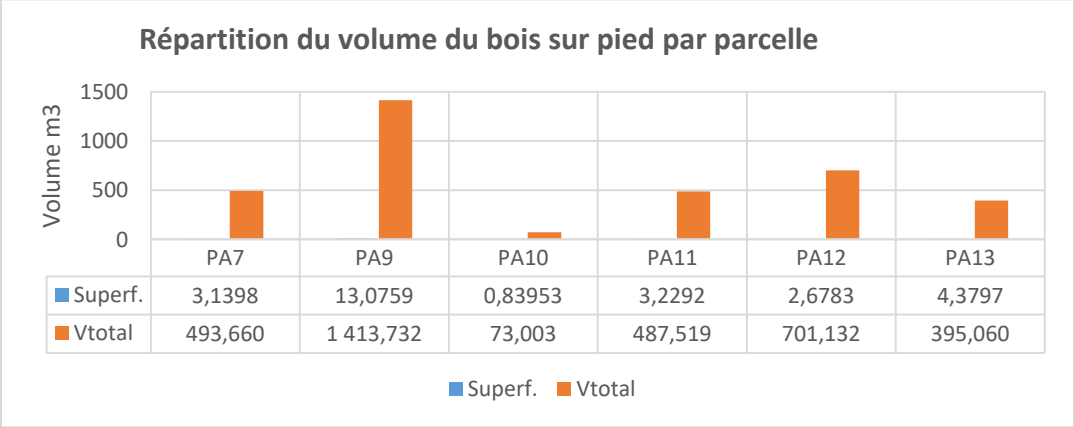



**Figure 9 : Repartition du volume du bois sur pied dans les peuplements d'eucalyptus de la ferme de la FABI à ZEGE**

#### III.2.1.5. Environnement socio-économique

Les boisements à aménager font partie du patrimoine foncier de la ferme de la FABI à Zege. Ils sont disposés autour des bâtiments servant de blocs administratifs, des homes et des salles de cours du campus Zege de la FABI. Ils sont aussi entourés de champs de cultures vivrières et d'un grand marais (le marais de Kambu) appartenant à la même ferme.

On note aussi des habitations appartenant aux populations batwa dans la partie sud du campus ainsi que d'autres occupants aux alentours des boisements. Ces populations sont souvent auteurs de coupes illicites dans ces boisements.

Les boisements de Zege ont beaucoup servi comme bois de service et d'énergie pour la ferme et les homes universitaires de ce campus. La demande du bois est en général élevée dans la localité comme ailleurs au Burundi, étant donné la prédominance du bois comme source d'énergie.

### III.2.2. Les synthèses

#### III.2.2.1. Objectifs et durée du plan d'aménagement

- **Objectifs**

L'aménagement des boisements de la ferme de la FABI à Zege poursuit trois objectifs : (i) la production ligneuse mixte (bois d'œuvre, de service et de bois énergie), (ii) la protection du milieu, (iii) la recherche scientifique couplée à un rôle didactique.

- **Durée de l'aménagement**

La durée d'aménagement proposée est de 8 ans à partir de 2026 jusqu'en 2034 et coïncide avec celle de la révolution du régime de traitement en taillis d'eucalyptus. Le choix de la durée de la révolution de 8 ans est basé sur l'accroissement diamétral moyen de l'eucalyptus estimé à 2 cm/an. L'on estime qu'après 8 ans de croissance et des interventions sylvicoles selon les règles, on peut obtenir du bois d'eucalyptus convenable à la production du charbon de bois avec un diamètre supérieur à 15 cm.

### III.2.2.2. Découpage en séries

Les boisements à aménager sont subdivisés en 14 parcelles réparties en trois séries suivantes tenant compte des objectifs du propriétaire et de l'état actuel des boisements.

Série 1 : **Série de conversion** : Concerne les vieux boisements actuellement très peu productifs qu'il faut exploiter et convertir (replantation de la même espèce). Il s'agit des parcelles : PA1, PA2, PA3, PA4, PA5.

Série 2 : **Série de transformation** : les parcelles PA8, PA10 et P14 contiguës au marais et présentant beaucoup de vides méritent une transformation par la plantation d'essences autochtones conformément à la politique du pays. La parcelle PA14 est déjà occupée par une petite forêt naturelle issue d'une recolonisation spontanée et d'un enrichissement en essences autochtones réalisé dans le cadre d'un projet. Il faut juste suivre l'évolution et faire l'entretien en cas de besoin. Un régime de futaie est proposé pour les séries 1 et 2.

Série 3 **: Série de production mixte** : constitué de peuplements plus ou moins homogènes, bien conformés et encore productifs malgré un faible nombre de tiges à l'hectare. Mais seules les parcelles ayant ont au moins 500 tiges/ha ont été affectées à cette série : PA6, PA9, PA11, PA12.

### III.2.2.3. Le programme d'actions et le bilan financier prévisionnel

- **Programme d'actions**
- **Actions pour la série de conversion**

Cette série de 7 parcelles (PA1, PA2, PA3, PA4 et PA5, PA7 et PA13) est constituée de boisements qui ont vieilli sur souches et n'ont plus la capacité de se régénérer correctement. Ils totalisent une superficie d'environ 25 ha avec un volume sur pied de 6754,32 $m^3$ réparti en bois de feu, de service et de bois d'œuvre (sciable).

Le traitement adéquat pour ce type de peuplements est une conversion : exploitation par coupe rase et nouvelle plantation d*'Eucalyptus*.

Les produits à tirer sont essentiellement constituées de petit bois (Bois de service et d'énergie) sauf la PA5 où 90% sont des tiges convenables au sciage.

L'assiette annuelle des coupes est représentée sur le tableau 5.

**Tableau 5 : Programme de coupes annuelles et volumes attendus par type de produits pour la série de conversion des boisements de la ferme de la FABI à Zege**

| N° Parcelle | Année | Superficie (ha) | N/ha | Cmoy. (cm) | Volume sur pied (m3) | Volume enlevé (BO) (m3) | Volume enlevé (BS) ($m^3$) | Volume enlevé (BF) ($m^3$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PA1 | 2026 | 2,76 | | | 1404,51 | 140,45 | 421,35 | 842,71 |
| PA2 | 2026 | 10,64 | | | 3573,57 | 357,36 | 1072,07 | 2144,14 |
| PA3 | 2027 | 9,36 | | | 1587,71 | 158,77 | 476,31 | 952,63 |
| PA4 | 2027 | 1,77 | | | 160,53 | 16,05 | 48,16 | 96,32 |
| PA5 | 2027 | 0,31 | | | 28,00 | 25,20 | 0,00 | 2,80 |
| PA7 | 2027 | 3,13 | 256 | 80 | 493,66 | 123,42 | 148,10 | 222,15 |
| PA13 | 2028 | 4,38 | 355 | 72 | 526,46 | 131,62 | 157,94 | 236,91 |
| **Total** | | **24,84** | | | **6754,32** | **697,83** | **2017,90** | **4038,59** |

- **Actions pour la série de transformation et assiette annuelle des coupes**

Les parcelles PA8, PA10 ne sont plus productifs et présentent beaucoup de vides. De plus, ces parcelles bordent le marais de Kambu. Un traitement de transformation est proposé. Le taillis d*'Eucalyptus* sera remplacé par une futaie d'essences autochtones adaptées à la zone. Ce traitement est conforme à l'ordonnance n°710/292 du 04 février 2019 portant interdiction de plantation d'essences forestières absorbant beaucoup d'eau dans les périmètres de protection des sources d'eau, dans les bas-fond et les marais. Pour éviter les conséquences d'une coupe rase à proximité des marais, l'exploitation des boisements existants se fera par bandes et de façon échelonnée pendant la durée du plan. L'assiette des coupes figure dans le tableau 6.

**Tableau 6 : Programme de coupes annuelles et volumes attendus par type de produits dans la série de transformation**

| N° Parcelle | Année | Superficie (ha) | N/ha | Cmoy. (cm) | Volume sur pied (m3) | Volume enlevé (BO) ($m^3$) | Volume enlevé (BS) ($m^3$) | Volume enlevé (BF) ($m^3$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PA8 | 2027 | 0,478 | | | 107,55 | 0 | 53,78 | **53,78** |
| PA10 | 2028 | 0,84 | 286 | 63,5 | 73 | | 36,5 | **36,5** |

Un calendrier des travaux est proposé dans le tableau 7 pour les 2 séries nécessitant remplacement de vieux boisements.

**Tableau 7 : Calendrier des travaux de reboisement pour les séries de conversion et de transformation**

| **Opérations sylvicoles** | Jan | Fé | Ma | Av | Mai | Juin | Juil | Août | Se | Oct | Nov | Dé |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. Production des plants | | | | | | | | | | | | |
| 2. Préparation du terrain | | | | | | | | | | | | |
| 2.1. Défrichement-dessouchage | | | | | | | | | | | | |
| 2.2 Piquetage | | | | | | | | | | | | |
| 2.3 Trouaison | | | | | | | | | | | | |
| 2.4 Mise en place des plants | | | | | | | | | | | | |
| 3. Entretiens | | | | | | | | | | | | |
| 3.1 Jeunes plantations | | | | | | | | | | | | |
| 3.2 Pare-feux | | | | | | | | | | | | |
| 3.4 Pistes forestières | | | | | | | | | | | | |
| 4. Dépressage | | | | | | | | | | | | |

- **Actions pour la série de production mixte et assiette annuelle des coupes**

L'exploitation délivrera des produits mixtes, avec une prédominance du bois énergie (45%). Le bois de service et d'œuvre est estimés 30% et à 25% respectivement. L'assiette annuelle des coupes de cette série suivant ces proportions est donnée par le tableau 8.

**Tableau 8 : Programme de coupes annuelles et volumes attendus par type de produits dans la série de production mixte**

| **N° Parcelle** | **Année** | **Superficie (ha)** | **N/ha** | **Cmoy (cm)** | **Volume sur pied ($m^3$)** | **Volume enlevé (BO) ($m^3$)** | **Volume enlevé (BS) ($m^3$)** | **Volume enlevé (BF) ($m^3$)** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PA6 | 2026 | 1,26 | | | 569,59 | 142,40 | 170,88 | 256,31 |
| PA9 | 2027 | 13,7 | 540 | 54,7 | 706,00 | 176,50 | 211,80 | 317,70 |
| PA12 | 2028 | 2,68 | 920 | 66 | 701,73 | 87,72 | 105,26 | 157,89 |
| PA12 | 2029 | | | | | 87,72 | 105,26 | 157,89 |
| PA11 | 2030 | 3,23 | 556 | 70 | 487,52 | 60,94 | 73,13 | 109,69 |
| PA11 | 2031 | | | | | 60,94 | 73,13 | 109,69 |
| PA9 | 2032 | | | 68,7 | 1388,50 | 347,13 | 416,55 | 624,83 |

❖ **Bilan financier prévisionnel**

Il s'agit ici du bilan entre les dépenses relatives aux travaux de reboisement pour les séries de conversion et de transformation et les recettes résultant de la récolte du bois au niveau de toutes les séries.

➢ **Coûts du reboisement**

Le tableau 9 reprend les coûts de la production des plants, de leur installation et de l'entretien des jeunes boisements. Un montant total de 94 310 749 francs burundais est à prévoir. Après la vente du bois sur pied dans ces séries, les travaux à mettre en œuvre sont le défrichement du terrain, le dessouchage, le piquetage, la trouaison, le rebouchage, le transport des plants et la plantation. Le montant prévoit aussi le regarnissage à raison de 20%, le dégagement des adventices lors des premières années ainsi que l'entretien des pistes et des pare-feux. Ces derniers existent mais sont en mauvais état après plusieurs années sans entretien.

Les coûts des différentes opérations sylvicoles sont actualisés à partir de l'étude de Ndacasaba (2012).

**Tableau 9 : Coûts du reboisement pour les séries de conversion et de transformation**

| | **Année** | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Désignation** | **2026** | **2027** | **2028** | **CT (Fbu)** |
| Coûts de production des plants | 15 436 800 | 13 729 536 | 9 619 200 | 38 785 536 |
| Coût d'installation | 11 384 640 | 10 125 532,8 | 9 147 440 | 30 657 612,8 |
| Entretien | 9 862 400 | 8 859 600 | 6 145 600 | 24 867 600 |
| **Total général** | | | | **94 310 748,8** |

➢ **Recettes**

La coupe du bois générera des recettes (Tableaux 10 et 11). Elles ont été calculées sur base des volumes indiqués dans les programmes de coupes annuelles (tableaux 5,6 et 8) et des prix fixés par les services forestiers publics dans l'ordonnance conjointe n° 710/540/1268 du 02 avril 2025. Selon cette dernière, ces prix sont libellés comme suit :

- Bois d'œuvre : 40 303 FBu/$m^3$
- Bois de service : 23600 FBu/$m^3$
- Bois de feu : 18 880 FBu/$m^3$

**Tableau 10 : Recettes prévues pour les produits issus des séries de conversion et de transformation**

| | Année | | |
|---|---|---|---|
| Type de produit | 2026 | 2027 | 2028 |
| Bois de feu | 56 391 656 | 208 72 210 | 9 356 060 |
| Bois de service | 35 244 785 | 13 646 636,28 | 8 083 849,6 |
| Bois d'œuvre | 20 063 144 | 8 061 571,302 | 10 278 474,09 |
| Total | **111 699 585** | **42 580 418** | **27 718 383** |

**Tableau 11 : Recettes prévues pour les produits issus de la série de production mixte**

| | Année | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Type de produit** | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 |
| Bois de feu | 4 839 211 | 5 998 176 | 2 980 958 | 2 980 958 | 2 070 981 | 2 070 980,71 | 11 796 696 |
| Bois de service | 4 032 676 | 4 998 480 | 2 484 131 | 2 484 131 | 1 725 817 | 1 725 817 | 9 830 580 |
| Bois d'œuvre | 5739016 | 7 113 480 | 3 535 238 | 3 535 238 | 2 456 060 | 2 456 060 | 13 990 179 |
| Total | **14 610 903** | **18 110 136** | **9 000 327** | **9 000 327** | **6 252 858** | **6 252 858** | **35 617 455** |

❖ **Bilan financier prévisionnel**

Le bilan financier (Tableau 12) résulte de la différence entre les recettes totale et les coûts actualisés. La valeur actuelle nette (VAN) est calculée sur base du taux d'actualisation de 16 % selon la formule ci-dessous. Elle correspond à la différence entre la somme des revenus et la somme des couts pour toute la durée de l'aménagement considérée (2026 à 2032). Le bénéfice net est évalué à **149 333 422 francs burundais.**

$$\text{VAN} = \sum_{t=0}^{R} \frac{Rn-Cn}{(1+i)n}$$

*Rn : revenu à l'âge n*

*Cn : cout à l'âge n*

*I : taux d'intérêt, ici nous avons gardé 16%*

*n : âge n R : âge de rotation*

**Tableau 12 : Bilan financier prévisionnel de l'aménagement**

| | Année | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Désignation | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | Total |
| Coûts totaux | 36 683 840 | 32 714 668,8 | 24 912 240 | | | | | 83 399 993 |
| Recettes totales | 126 310 488 | 60 690 553 | 36 718 710 | 9 000 327 | 6 252 858 | 6 252 858 | 35617455 | 232 733 416 |
| Bénéfice net | | | | | | | | 149 333 422 |

### III.2.2.4. Suivi-évaluation du plan d'aménagement

Le suivi permet de s'assurer que le plan d'aménagement est mis en œuvre conformément aux prévisions, de veiller sur l'évolution de la ressource forestière et l'atteinte des objectifs fixés. Une équipe chargée de la mise en œuvre et du suivi du plan d'aménagement devrait être mise en place.

Il est aussi important de penser à la révision du plan au moins une année avant la fin du plan d'aménagement proposé, soit au plus tard en 2031.

# CONCLUSION ET SUGGESTIONS

## Conclusion

Le présent mémoire avait pour objectif principal de d'élaborer des outils indispensables (tarifs de cubage et plan d'aménagement) à la gestion durable des peuplements forestiers d'*Eucalyptus* de la ferme didactique de la FABI à Zege, dans un contexte marqué par une forte pression sur les ressources forestières et une demande croissante en bois énergie et en bois d'œuvre. L'étude a permis d'analyser l'état des peuplements existants, leurs caractéristiques dendrométriques ainsi que les pratiques actuelles de gestion, afin de formuler des orientations d'aménagement adaptées aux conditions locales.

Les résultats de l'inventaire forestier ont permis de construire des tarifs de cubage à une entrée et à deux entrées. Ces derniers ont été ensuite validés à l'aide des tests d'Analyse de la variance en comparant d'une part les volumes estimés par le tarif de cubage à une entrée et les circonférences de référence. D'autre part, les volumes issus du tarif à deux entrées ont été comparés à ceux calculés par des formules de cubage reconnues telle celle de Smalian appliquée sur des billons successifs d'1m de longueur. Des coefficients de détermination($R^2$) de 99,4 % et 90,4 % respectivement pour le tarif à une entrée et le tarif à deux entrées démontrent la validité des tarifs construits.

Sur base des tarifs construits, un plan d'aménagement a été élaboré sur une durée de huit ans. Ce dernier précise un programme d'actions sylvicoles. Le calcul des dépenses et des recettes aboutit sur un bilan financier qui se révèle positif (bénéfice estimé à 149 333 422 francs burundais).

La proposition du plan d'aménagement formulée dans ce travail vise à concilier les objectifs de production, de durabilité écologique et de viabilité socio-économique. L'application de ce plan permettrait d'améliorer la productivité des peuplements, d'assurer une exploitation continue et durable, et de renforcer le rôle de la ferme de la FABI comme site de démonstration et de formation en gestion forestière.

Cependant, la réussite de ce plan d'aménagement dépendra fortement de sa mise en œuvre effective, du suivi régulier des peuplements et de l'implication des acteurs concernés.

En définitive, ce travail constitue une base technique et scientifique pour une gestion durable des peuplements d'eucalyptus de la ferme de la FABI à Zege. Il offre des outils d'aide à la décision susceptible de contribuer à une exploitation forestière plus rationnelle, respectueuse de l'environnement et économiquement rentable.

**Suggestions**

Au terme de cette étude, les suggestions suivantes sont formulées :

1. **Suggestions techniques et sylvicoles**

Il est suggéré de mettre en œuvre le plan d'aménagement proposé en respectant rigoureusement le découpage en séries, la rotation définie et le calendrier des opérations sylvicoles.

Une forte collaboration avec les populations riveraines s'avère indispensables pour réduire les coupes illicites observées actuellement.

**2. Suggestions environnementales**

Les boisements de la ferme de la FABI sont pour le moment monospécifiques. Une diversification intégrant des essences autochtones s'impose afin de réduire les risques écologiques et d'améliorer la résilience au changement climatique.

**3. Suggestions institutionnelles et de gestion**

La ferme de la FABI est encouragée à mettre en place un système de suivi et d'évaluation du plan d'aménagement, incluant des inventaires périodiques et une mise à jour régulière des données forestières. Le renforcement des capacités techniques du personnel à travers des formations en aménagement forestier et en sylviculture de l'eucalyptus est également recommandé.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. AFOCEL (1992). Culture de biomasse ligneuse: Taillis à courtes rotations d'Eucalyptus : estimation des volumes de bois sur pied, barèmes de productivités et de coûts pour les opérations de récolte. Ed. AFOCEL, 35p.
2. Bangirinama, F., Nduwarugira, D., Niyonzima, G., & Ndayishimiye, J. (2016). Utilisation du charbon de bois comme principale source d'énergie de la population urbaine : un sérieux problème pour la conservation du couvert forestier au burundi. Bois & forets des tropiques, 328, 45-53p.
3. Baranderetse, J. (2014). Analyse des déterminants de l'offre du café dans la région naturelle de Kirimiro (1990-2012), 89p.
4. Bizimana, *A.* (2025). L'eucalyptus au Burundi : Entre défis environnementaux et opportunités économiques.
5. CIFOR. (2004). Forest management and sustainable development. Bogor: CIFOR. 36p.
6. Cotta H. (1817). Hilfstafeln für Forstwirte und Forsttaxatoren. Dresde, 82 p.
7. De Ligne A. et Guizol P. (1987). Synthèse des recherches forestières effectuées au Burundi. Bruxelles, Place du champs de mars, Belgique, 60p.
8. Dubourdieu, J. (1997). Manuel d'aménagement forestier. Office National des Forêts, Technique & Documentation - Lavoisier, Paris, France, 244p.
9. Dos Santos, P. E. T., Geraldi, I. O., Garcia, J. N. (2004). Estimates of genetic parameters of wood traits for sawn timber production in *Eucalyptus grandis.*Genet Mol Biol,.27p
10. Dupuy, B. (1997). Aménagement forestier et estimation des volumes. Paris: CIRAD-Forêt, 109p.
11. Dupuy, B. (1997). Principes et pratiques de l'aménagement forestier tropical. Montpellier : CIRAD-Forêt, 108p.
12. Eddine B.S. (2018). Etude de l'effet de l'hybridation interspécifique sur la teneur et la position chimique des limites essentielles d'Eucalyptus cultivé au Maroc, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, 38p.
13. FAO (1998). Manuel d'inventaire forestier. Rome : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, 200p.

14. FAO. (2000). Défis et recommandations pour la gestion participative des forêts (Rapport IUCN/WWF). Union internationale pour la conservation de la nature, 198p.
15. FAO. (2010). Manuel pratique de reboisement et de gestion des plantations forestières. Rome : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, 188p.
16. FAO. (2015). Global forest resources assessment 2015: How are the world's forests changing? Rome: FAO, 12 p.
17. FAO. (2018). Aménagement forestier durable : principes et pratiques. Rome : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. 56p.
18. FAO. (2018). La situation des forêts du monde : Les forêts au service du développement durable. The State of the World's Forests (SOFO). Rome, Italy, 158 p
19. FAO, (2020). Global Forest Resources Assessment: Main report. Rome.
20. Jeannoda, V. (2011). Plantation d'Eucalyptus et Changement climatique mondial organisé par CIRAD, Rio bresil. 91p.
21. Julian Evans. (1992). Plantation forestry in the tropics. Oxford University Press. 403p
22. Karsenty, A. (2019). Certification of tropical forests : A private instrument of public interest? A focus on the Congo Basin. Forest policy and economics, 106p.
23. Köppen climate classification. (2026). Encyclopædia Britannica.
24. Melun, F. & Nguyen, N. (2012). L'Eucalyptus en France : une espèce remarquable pour la production de biomasse. Revue Forestière Française, 26p.
25. MINAGRIE Burundi. (2018). Rapport sur l'état des sols et de l'agriculture au Burundi. Bujumbura, 120 p.
26. Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2012). Introduction to linear regression analysis (5th ed., 672p.). John Wiley & Sons,
27. Nahayo, F., Ndayambaje, J. D., & Kayijamahe, E. (2012). Comparative study on charcoal yield produced by traditional and improved kilns: A case study of Nyaruguru and Nyamagabe districts in Southern Province of Rwanda. Energy and Environment Research, 3(1), 40–51p.

28. Navarro d'Andrade, E. (1931). Les Eucalyptus comme arbre de reboisement pour les pays tropicaux ou subtropicaux (Suite et fin). Revue de botanique appliquée et d'agriculture coloniale, 845p.

29. Ndacasaba, I. (2012). Etude du marché et de la rentabilité de l'exploitation de boisements forestiers dans la zone du projet Sew au Burundi. Projet SEW/IFDC. Rapport d'étude, 45p.

*30.* Nduwimana, A., Habonayo, R., Habonimana, B., Ndorere, V., Kaboneka, S., & Bogaert, J. (2023). Regard critique sur les impacts socio-économiques et écologiques des peuplements d'eucalyptus au Burundi. *Bois & Forêts des Tropiques,* 85-96p.

31. Pardé, J., & Bouchon, J. (1988). Dendrométrie (2e éd.). ENGREF, Nancy 140p.

32. Pryor, L. D. (1982). Les Eucalyptus dans les reboisements (Etudes des forêts et des produits forestiers, N° 11). Rome FAO. 783p.

33. Rondeux, J. (2021). La mesure des arbres et des peuplements forestiers. Presses Agronomiques de Gembloux. 738 p.

# ANNEXES

## Annexe 1 : Fiche d'inventaire des peuplements

### PA7

| *N° des placettes* | 0-19 | 20-39 | 40-59 | 60-79 | 80-99 | 100-119 | 120-139 | 140-159 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | 2 | 1 | 1 | 4 | 1 |
| 2 | | | 10 | 1 | 1 | 2 | | |
| 3 | | | 9 | 2 | | 2 | | |
| 4 | | | 1 | 2 | 5 | 1 | | |
| 5 | | 3 | 5 | 2 | 5 | 1 | | |
| 6 | | 2 | 6 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 |

### PA9

| *N° des placettes* | 0-19 | 20-39 | 40-59 | 60-79 | 80-99 | 100-119 | 120-139 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 2 | 2 | 5 | 1 | 1 | |
| 2 | | 1 | 8 | 5 | 1 | 1 | |
| 3 | | 4 | 5 | 6 | | 1 | |
| 4 | 1 | 24 | 17 | 3 | | | |
| 5 | 2 | 12 | 6 | 11 | 2 | 1 | |
| 6 | | 11 | 13 | 10 | | | |
| 7 | 1 | 17 | 18 | 4 | 1 | 2 | |
| 8 | | 9 | 11 | 4 | 9 | 1 | |
| 9 | | 10 | 8 | 6 | 3 | | |
| 10 | | 10 | 5 | 1 | 2 | | |
| 11 | | 14 | 5 | 1 | | | |
| 12 | | 8 | 14 | 7 | 2 | | |
| 13 | | 7 | 8 | 6 | 2 | | |

### PA11

| *N° des placettes* | 0-19 | 20-39 | 40-59 | 60-79 | 80-99 | 100-119 | 120-139 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 4 | 8 | 6 | 1 | | |
| 2 | | 6 | 9 | 9 | 3 | | |
| 3 | | 3 | 12 | 10 | 2 | | |
| 4 | | 7 | 14 | 9 | 3 | | |
| 5 | | 1 | 12 | 13 | 2 | 1 | |
| 6 | | 4 | 13 | 12 | 2 | 1 | |

**PA12**

| ***N0 des placettes*** | 0-19 | 20-39 | 40-59 | 60-79 | 80-99 | 100-119 | 120-139 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 7 | 14 | 9 | 3 | 1 | |
| 2 | | 16 | 21 | 14 | 10 | 4 | |
| 3 | | 11 | 14 | 14 | 8 | 3 | |
| 4 | | 13 | 17 | 7 | 11 | 3 | 1 |
| 5 | | 8 | 14 | 15 | 6 | 6 | 4 |
| 6 | | 4 | 15 | 11 | 7 | 3 | |
| 7 | | 1 | 14 | 10 | 5 | 1 | |

**PA13**

| **N0 des placettes** | **0-19** | **20-39** | **40-59** | **60-79** | **80-99** | **100-119** | **120-139** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | 8 | 7 | 1 | | |
| 2 | | 3 | 6 | 3 | 1 | | |
| 3 | | 1 | 9 | 2 | 1 | | |
| 4 | | 2 | 8 | 3 | | | |
| 5 | | 1 | 12 | 7 | 1 | 1 | |
| 6 | | 1 | 21 | 3 | 1 | | |
| 7 | | | 8 | 13 | 1 | | |
| 8 | | 2 | 11 | 3 | 1 | | |
| 9 | | 1 | 10 | 5 | 2 | | |

**PA10**

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Essences | 0-19 | 20-39 | 40-59 | 60-79 | 80-99 | 100-119 | 120-139 |
| Euc | | 33 | 95 | 71 | 37 | 3 | 1 |

**Annexe 2. Fiche synthèse pour les mesures de circonférences dans les parcelles inventoriées statistiquement**

| | 0-19 | 20-39 | 40-59 | 60-79 | 80-99 | 100-119 | 120-139 | 140-149 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PA7 | | 5 | 31 | 10 | 16 | 8 | 5 | 2 |
| PA9 | 4 | 129 | 120 | 69 | 23 | 7 | | |
| PA11 | | 25 | 68 | 59 | 13 | 2 | | |
| PA12 | | 60 | 109 | 80 | 50 | 21 | 5 | |
| PA13 | | 11 | 93 | 46 | 9 | 1 | | |

## Annexe 3. Fiche descriptive des boisements de la ferme de la FABI à Zege

| Parcelle | Périmètre P en m | Superficie S en ha | Localisation | Description de la parcelle |
|---|---|---|---|---|
| PA1 | 641 | 2,76 | En amont des auditoires et du boisement anti-mouche | Peuplement vieux, nombreuses coupes illicites (Parcelle témoin) |
| PA2 | 1400 | 10,1764 | En amont du labo, le terrain de football et basket à l'Est, en aval des sites des Batwa | Peuplement vieux, nombreuses coupes illicites (2/3 du témoin) |
| PA3 | 1500 | 9,3625 | En amont du terrain de football et basket, le chantier OBUHA a l'Est, en aval du site des démobilisés | Peuplement vieux, nombreuses coupes illicites, très dégradée (1/5 boisée) |
| PA4 | 765 | 1,5773 | En amont des gites Butore, en aval du PA2 | Peuplement vieux, tellement dégradé (2/5) |
| PA5 | 256 | 0,30703 | En face des auditoires, en amont du building non utilise | *Cupressus lusitanica* en abondance, peu d'Eucalyptus, *Callitris* |
| PA6 | 534 | 1,6954 | En amont des parcelles d'expérimentation PAGRIS et champ du mais | Peuplement vieux, nombreuses coupes illicites (2/3 du témoin) |
| PA7 | 828 | 3,1398 | A côté de la ferme FABI et en amont de la route goudronnée | Coupe illicite, peuplement jeune par rapport à PA1-6 |
| PA8 | 978 | 2,3862 | A côté de la RN16, en aval des gites FABI, coin jonction de la RN16 et la route goudronnée passant par la ferme | Araucaria, Cupressus, cedrela (1/5 sur 2ha) |
| PA9 | 2700 | 13,0759 | En aval de la RN16 et en amont du marais de Kambu | Eucalyptus, 1/5 non occupée car passage des HT(REGIDESO) |
| PA10 | 542 | 0,83953 | En aval de la route goudronnée traversant la ferme, en en amont du marais de Kambu | Eucalyptus mélangé avec les tripsacum |
| PA11 | 962 | 3,2292 | En aval de la route goudronnée traversant la FABI et de la ferme, en en amont du marais de Kambu | Eucalyptus mélangé avec les tripsacum |
| PA12 | 924 | 2,6783 | En amont et Ouest du marais de Kambu, au nord des étangs piscicoles | Eucalyptus (4/5) avec peu de coupes illicites |
| PA13 | 907 | 4,3797 | Contigu à PA11 et située vers le sud, en amont de la pépinière inclus dans la zone de la pépinière et en bas de la route goudronnée passant par la ferme | Eucalyptus, nombreuses coupes illicites surtout vers la pépinière et étangs piscicoles et coupe rase autour de la pépinière (4/5 peuplée) |
| PA14 | 695 | 1,7170 | En aval de la route goudronnée | Forêt naturelle |

**Annexe 4 : Distribution des arbres en classes de circonférence pour les parcelles de la série de production**

| | *0-19* | *20-39* | *40-59* | *60-79* | *80-99* | *100-119* | *120-139* | *140-159* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PA7 | | 6 | 40 | 13 | 21 | 10 | 6 | 3 |
| PA9 | 1 | 37 | 34 | 20 | 7 | 2 | 0 | 0 |
| PA10 | | 14 | 40 | 30 | 15 | 1 | 0 | 0 |
| PA 11 | | 15 | 41 | 35 | 8 | 1 | 0 | 0 |
| PA 12 | | 19 | 34 | 25 | 16 | 7 | 1 | 0 |
| PA 13 | | 7 | 58 | 29 | 6 | 1 | 0 | 0 |

**Annexe 5 : Nombre d'arbres échantillons par classe de circonférence**

| | *20-39* | *40-59* | *60-79* | *80-99* | *100-119* |
|---|---|---|---|---|---|
| PA 10 | 2 | 6 | 4 | 2 | 0 |
| PA 11 | 4 | 11 | 10 | 2 | 1 |
| PA 12 | 9 | 16 | 11 | 7 | 3 |
| PA 13 | 2 | 10 | 5 | 1 | 1 |
| PA 9 | 10 | 9 | 5 | 3 | 1 |
| PA 7 | 3 | 6 | 2 | 3 | 1 |
| Total | 29 | 58 | 38 | 18 | 8 |

**Annexe 6: Répartition en classe de circonférences de 120 arbres avec écart de 10**

| | 25-34 | 35-44 | 45-54 | 55-64 | 65-74 | 75-84 | 85-94 | 95-104 | 105-114 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PA7 | 0 | 2 | 3 | 1 | 2 | 0 | 3 | 1 | 0 |
| PA9 | 5 | 4 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 2 | 0 |
| PA10 | 0 | 3 | 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| PA11 | 1 | 4 | 4 | 3 | 4 | 6 | 0 | 0 | 1 |
| PA12 | 3 | 9 | 3 | 6 | 5 | 0 | 5 | 4 | 1 |
| PA13 | 0 | 3 | 5 | 2 | 2 | 3 | 0 | 0 | 1 |

**Annexe 7: Répartition d'arbres échantillon (70%) utilisés pour le modèle de construction du tarif de cubage**

| | 25-34 | 35-44 | 45-54 | 55-64 | 65-74 | 75-84 | 85-94 | 95-104 | 105-114 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PA7 | 0 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| PA9 | 4 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| PA10 | 0 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| PA11 | 1 | 3 | 3 | 2 | 3 | 4 | 0 | 0 | 1 |
| PA12 | 2 | 6 | 2 | 4 | 3 | 0 | 4 | 3 | 1 |
| PA13 | 0 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 1 |

## Annexe 8 : Données de base pour la construction des tarif de cubage ( à une entrée et à deux entrées)

| Arbre | C1,30(cm) | Haut tot H(m) | Volume ($cm^3$) | V en $dm^3$ | $C^2$ | $C^2H$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 37 | 11,5 | 70976,9108 | 70,9769108 | 1369 | 15743,5 |
| 2 | 54 | 17,2 | 190791,003 | 190,791003 | 2916 | 50155,2 |
| 3 | 55 | 17 | 151277,866 | 151,277866 | 3025 | 51425 |
| 4 | 52 | 18 | 182062,102 | 182,062102 | 2704 | 48672 |
| 5 | 70 | 17 | 268917,197 | 268,917197 | 4900 | 83300 |
| 6 | 90 | 20 | 526986,465 | 526,986465 | 8100 | 162000 |
| 7 | 92 | 19,8 | 563825,637 | 563,825637 | 8464 | 167587,2 |
| 8 | 103 | 19 | 438089,968 | 438,089968 | 10609 | 201571 |
| 9 | 34 | 13 | 51532,6433 | 51,5326433 | 1156 | 15028 |
| 10 | 32 | 12 | 53793,7898 | 53,7937898 | 1024 | 12288 |
| 11 | 37 | 11 | 60955,414 | 60,955414 | 1369 | 15059 |
| 12 | 26 | 7 | 29303,3439 | 29,3033439 | 676 | 4732 |
| 13 | 31 | 11 | 50191,0828 | 50,1910828 | 961 | 10571 |
| 14 | 53 | 18 | 179589,968 | 179,589968 | 2809 | 50562 |
| 15 | 50 | 18 | 162750,796 | 162,750796 | 2500 | 45000 |
| 16 | 57 | 18 | 222595,541 | 222,595541 | 3249 | 58482 |
| 17 | 40 | 13,5 | 86664,0127 | 86,6640127 | 1600 | 21600 |
| 18 | 41 | 14 | 93785,828 | 93,785828 | 1681 | 23534 |
| 19 | 70 | 17 | 293351,911 | 293,351911 | 4900 | 83300 |
| 20 | 62 | 17 | 237850,318 | 237,850318 | 3844 | 65348 |
| 21 | 82 | 22 | 488288,217 | 488,288217 | 6724 | 147928 |
| 22 | 87 | 19 | 589227,707 | 589,227707 | 7569 | 143811 |
| 23 | 99 | 23 | 751015,127 | 751,015127 | 9801 | 225423 |
| 24 | 35 | 13 | 50342,3567 | 50,3423567 | 1225 | 15925 |
| 25 | 43 | 11 | 77018,3121 | 77,0183121 | 1849 | 20339 |
| 26 | 49 | 13 | 113308,121 | 113,308121 | 2401 | 31213 |
| 27 | 47 | 13 | 94570,0637 | 94,5700637 | 2209 | 28717 |
| 28 | 70 | 22 | 368845,541 | 368,845541 | 4900 | 107800 |
| 29 | 74 | 15 | 309363,057 | 309,363057 | 5476 | 82140 |
| 30 | 78 | 25 | 582882,166 | 582,882166 | 6084 | 152100 |
| 31 | 81 | 22 | 547707,006 | 547,707006 | 6561 | 144342 |
| 32 | 36 | 11 | 45939,4904 | 45,9394904 | 1296 | 14256 |
| 33 | 31 | 12 | 41333,5987 | 41,3335987 | 961 | 11532 |
| 34 | 38 | 17 | 89183,9172 | 89,1839172 | 1444 | 24548 |
| 35 | 50 | 19 | 156886,943 | 156,886943 | 2500 | 47500 |
| 36 | 49 | 22 | 176122,611 | 176,122611 | 2401 | 52822 |
| 37 | 58 | 17,5 | 219442,675 | 219,442675 | 3364 | 58870 |
| 38 | 51 | 19 | 199470,541 | 199,470541 | 2601 | 49419 |
| 39 | 44 | 16 | 127014,331 | 127,014331 | 1936 | 30976 |
| 40 | 56 | 15 | 190919,586 | 190,919586 | 3136 | 47040 |
| 41 | 76 | 24 | 522846,338 | 522,846338 | 5776 | 138624 |
| 42 | 79 | 17 | 332818,471 | 332,818471 | 6241 | 106097 |
| 43 | 72 | 21 | 387165,605 | 387,165605 | 5184 | 108864 |
| 44 | 69 | 24 | 443240,446 | 443,240446 | 4761 | 114264 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 45 | 75 | 26 | 571990,446 | 571,990446 | 5625 | 146250 |
| 46 | 65 | 22 | 343773,885 | 343,773885 | 4225 | 92950 |
| 47 | 84 | 24,5 | 637149,682 | 637,149682 | 7056 | 172872 |
| 48 | 114 | 31 | 1449761,15 | 1449,76115 | 12996 | 402876 |
| 49 | 38 | 22,7 | 112141,72 | 112,14172 | 1444 | 32778,8 |
| 50 | 39 | 18 | 105139,331 | 105,139331 | 1521 | 27378 |
| 51 | 27 | 11 | 17866,242 | 17,866242 | 729 | 8019 |
| 52 | 34 | 17 | 76162,4204 | 76,1624204 | 1156 | 19652 |
| 53 | 44 | 26 | 175911,624 | 175,911624 | 1936 | 50336 |
| 54 | 56 | 28 | 299434,713 | 299,434713 | 3136 | 87808 |
| 55 | 57 | 22 | 229558,121 | 229,558121 | 3249 | 71478 |
| 56 | 42 | 19 | 111652,07 | 111,65207 | 1764 | 33516 |
| 57 | 53 | 24 | 267882,166 | 267,882166 | 2809 | 67416 |
| 58 | 44 | 21 | 151011,146 | 151,011146 | 1936 | 40656 |
| 59 | 47 | 14 | 115545,382 | 115,545382 | 2209 | 30926 |
| 60 | 42 | 16 | 98335,9873 | 98,3359873 | 1764 | 28224 |
| 61 | 66 | 29,4 | 483769,904 | 483,769904 | 4356 | 128066,4 |
| 62 | 63 | 28,4 | 351401,274 | 351,401274 | 3969 | 112719,6 |
| 63 | 69 | 33,3 | 517671,178 | 517,671178 | 4761 | 158541,3 |
| 64 | 61 | 26,4 | 358537,022 | 358,537022 | 3721 | 98234,4 |
| 65 | 72 | 18 | 331954,618 | 331,954618 | 5184 | 93312 |
| 66 | 65 | 27 | 382507,962 | 382,507962 | 4225 | 114075 |
| 67 | 86 | 35,5 | 880376,194 | 880,376194 | 7396 | 262558 |
| 68 | 90 | 36,6 | 992093,949 | 992,093949 | 8100 | 296460 |
| 69 | 88 | 31 | 823351,911 | 823,351911 | 7744 | 240064 |
| 70 | 90 | 36 | 936488,854 | 936,488854 | 8100 | 291600 |
| 71 | 98 | 34 | 1165003,98 | 1165,00398 | 9604 | 326536 |
| 72 | 101 | 38,5 | 1182830,41 | 1182,83041 | 10201 | 392738,5 |
| 73 | 101 | 38,8 | 1273714,17 | 1273,71417 | 10201 | 395798,8 |
| 74 | 105 | 29 | 975421,975 | 975,421975 | 11025 | 319725 |
| 75 | 35 | 18,7 | 96417,9936 | 96,4179936 | 1225 | 22907,5 |
| 76 | 43 | 16,4 | 87322,8503 | 87,3228503 | 1849 | 30323,6 |
| 77 | 58 | 22,5 | 272285,032 | 272,285032 | 3364 | 75690 |
| 78 | 49 | 19,6 | 167173,567 | 167,173567 | 2401 | 47059,6 |
| 79 | 50 | 22 | 218432,325 | 218,432325 | 2500 | 55000 |
| 80 | 45 | 22,5 | 171782,882 | 171,782882 | 2025 | 45562,5 |
| 81 | 78 | 22,9 | 497409,236 | 497,409236 | 6084 | 139323,6 |
| 82 | 74 | 23,2 | 431201,433 | 431,201433 | 5476 | 127043,2 |
| 83 | 83 | 27,9 | 673367,834 | 673,367834 | 6889 | 192203,1 |
| 84 | 112 | 24,86 | 1037169,59 | 1037,16959 | 12544 | 311843,84 |

**Annexe 9 : Données de base pour la comparaison des volumes selon les formules de Smalian et du tarif de cubage construit**

| | Arbre | C1,30 (cm) | Hauteur tot H(m) | V en $dm^3$ (smalian) | v en $dm^3$ modèle |
|---|---|---|---|---|---|
| PA7 | 1 | 39 | 14,85 | 100,663 | 84,802 |
| | 2 | 53 | 19,8 | 172,019 | 186,329 |
| | 3 | 67 | 19,6 | 310,669 | 340,045 |
| | 4 | 89 | 21 | 521,692 | 704,713 |
| PA9 | 1 | 26 | 8 | 23,447 | 29,956 |
| | 2 | 46 | 16 | 139,371 | 129,539 |
| | 3 | 43 | 14 | 108,416 | 108,951 |
| | 4 | 73 | 21 | 420,878 | 423,770 |
| | 5 | 60 | 15 | 192,635 | 256,180 |
| | 6 | 101 | 26 | 828,002 | 974,964 |
| PA10 | 1 | 39 | 14 | 69,896 | 84,802 |
| | 2 | 52 | 18 | 158,658 | 177,439 |
| | 3 | 60 | 21 | 285,135 | 256,180 |
| | 4 | 85 | 21 | 538,133 | 626,266 |
| PA11 | 1 | 53 | 24 | 241,975 | 186,329 |
| | 2 | 41 | 15 | 85,717 | 96,415 |
| | 3 | 59 | 26 | 384,068 | 245,365 |
| | 4 | 70 | 24 | 404,614 | 380,503 |
| | 5 | 78 | 29,5 | 630,396 | 502,307 |
| | 6 | 82 | 26 | 730,370 | 571,097 |
| PA12 | 1 | 31 | 16,7 | 47,941 | 47,047 |
| | 2 | 37 | 18 | 74,836 | 74,085 |
| | 3 | 44 | 19 | 123,603 | 115,573 |
| | 4 | 43 | 17 | 108,563 | 108,951 |
| | 5 | 56 | 29 | 321,815 | 214,609 |
| | 6 | 51 | 24 | 218,551 | 168,813 |
| | 7 | 61 | 24 | 284,566 | 267,281 |
| | 8 | 73 | 35,7 | 611,525 | 423,770 |
| | 9 | 88 | 37,4 | 890,478 | 684,571 |
| | 10 | 99 | 33 | 1041,986 | 926,182 |
| PA13 | 1 | 38 | 14 | 77,588 | 79,333 |
| | 2 | 52 | 21,5 | 213,248 | 177,439 |
| | 3 | 46 | 20,5 | 154,283 | 129,539 |
| | 4 | 56 | 20 | 238,646 | 214,609 |
| | 5 | 79 | 27,37 | 580,769 | 519,001 |
| | 6 | 69 | 25,5 | 427,428 | 366,708 |

**Annexe 10 : Fiche de collecte des données des circonférences**

| **Responsable de l'équipe :** | | | | **Date :** | | | | **Observations :** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Identification du boisement :** | | | ***Province :*** | | ***Commune :*** | | | |
| ***Colline :*** | | ***Sous colline :*** | | ***Essence :*** | | | | ***Age :*** |
| **Coordonnées géo référencées :** | | | | ***Surface du boisement (ha) :*** | | | | **Appartenance :** |
| **Mesure des circonférences des arbres de différentes classes (en cm)** | | | | | | | | |
| **Classe** | **Arbre** | **C1.30** | **Haut tot** | **L bois fort** | **Circonférences extrêmes pour chaque arbre: c0, c1, c2, c3, c4, c5…** | | | |
| | | | | | **C0** | **C1** | **C2** | **C3** | **C4** | **C5** | **C6** |
| 25-34 | | | | | | | | | | | |
| 35-44 | | | | | | | | | | | |
| 45-54 | | | | | | | | | | | |
| 55-64 | | | | | | | | | | | |
| 65-74 | | | | | | | | | | | |
| 75-84 | | | | | | | | | | | |
| 85-94 | | | | | | | | | | | |
| 95-104 | | | | | | | | | | | |
| 105-114 | | | | | | | | | | | |