

UNIVERSITE DE KISANGANI  
FACULTE DES SCIENCES



B.P. 2012  
KISANGANI

Département d'Ecologie et Gestion  
des Ressources Végétales

## **Comparaison de deux méthodes d'inventaire : classique et adaptative en grappe appliquées à quelques espèces rares et agrégatives dans le dispositif de la Yoko.**

*Cas de Ricinodendron heudelotii* (Baill.) Pierre ex Heckel, *Canarium schweinfurthii* Engl., *Piptadeniastrum africanum* (Hook.f.) Brenan et *Milicia excelsa* (Welw.) C.C.Berg

Par

**MBANDANO PAPY**

### **Mémoire**

Présenté et défendu en vue de l'obtention de Diplôme d'Etude Approfondie (D.E.A) en Gestion de la Biodiversité et Aménagement Forestier Durable

Promoteur: **Prof. Hippolyte NSHIMBA** (UNIKIS)

Co-promoteur: **Dr. Nicolas PICARD** (CIRAD)

**Année académique 2008 - 2009**

## **DEDICACE**

A vous mes parents : Corneille Tsongo Muliro et Salomé Masika Musikiti

## REMERCIEMENTS

La réalisation d'un travail scientifique a toujours été la résultante d'une œuvre collective ; où plusieurs personnes agissent en synergie : les uns sur la première ligne du front, les autres dans l'ombre et une partie non négligeable qui se bat sur tous les fronts. Il nous est donc une obligation morale de les remercier. La liste serait longue et peut être trop longue. Ainsi donc, présentons-nous d'avance nos excuses à ceux dont les noms ne seront pas repris sur cette page.

Cette formation a été pour nous une grande opportunité de rencontrer des scientifiques nationaux et internationaux engagés dans la thématique de la gestion durable de la biodiversité. L'habileté du projet de Relance de la Recherche Agricole et Forestière en RD Congo a traduit en acte cette grande conception. Nous pensons d'une façon particulière à la coordination du projet (volet forestier) à qui nous disons merci pour avoir apporté le choix sur nous. Que les professeurs Léopold Ndjele, Jean-Pierre Mate Mweru (respectivement coordonateur et vice-coordonateur du projet REAFOR volet forestier) et Jean Lejoly trouvent ici l'expression de notre gratitude. Merci pour avoir conduit notre formation à bon port.

Nous remercions tout particulièrement le duo professeur Hyppolite Nshimba et Dr Nicolas Picard respectivement promoteur et Co-promoteur de ce travail. Au-delà de leurs occupations personnelles, ils ont accepté à diriger ce travail. La pertinence de vos remarques a conduit les pas d'un apprenti !

Nos sentiments de gratitude s'adressent également à tout le corps enseignant de deux Facultés sœurs (la Faculté des Sciences et la Faculté des Sciences Agronomiques) : les professeurs Upoki, Honorine Ntahobavuka, Juakaly Mbumba, Lokombe Dimandja, Dudu Akaibé, Ulyel, Emile Mulotwa,. Nous pensons tout particulièrement aux chefs des travaux Felly Bola, Pyame Mwarabu et Freddy Okangola pour les conseils tant aimables.

Nous remercions également les professeurs expatriés qui ont donné le meilleur d'eux-mêmes pour appuyer notre formation : les professeur Jean Lejoly, Joan Bogaert, Théodore Treffon, Quintin Ponette, Maraite, Jean-Claude Micha, Eba, Dr Hans, Dr Sonwa.

Nous pensons également aux professeurs Raymond Lumbwenamu, Gaston Kimbwani, Constantin Lubini dont les interventions ont donné un tonus à notre formation.

Nos sentiments de gratitude s'adressent à l'Union européenne pour la bourse mise en notre disposition sans quoi notre formation serait compromise. L'appui scientifique du CIFOR a été une mine inépuisable au cours de notre formation. Ainsi, nous adressons nos sentiments de gratitude au docteur Robert Nasi et Dr Denis Sonwa.

Que madame Verina Ingram, trouve à travers ces quelques mots l'expression de notre reconnaissance. Vos remarques et observations nous ont aidées à cerner notre thème.

Grand merci au club de thésards de la Faculté des Sciences : Christophe Lomba, Prosper Sabongo, Jean-Marie Kahindo, Faustin Boyemba, Franc Bapiamoni, Consolata Kaswera, Danadu, Sylvain Kumba, dont la synergie des soutiens sur le terrain ne cessera jamais à nous marquer. Nous pensons particulièrement au chef des travaux Lomba (mon encadrant) dont le coup de main lors de la délimitation de notre dispositif est resté une marque indélébile.

Nous voulons remercier d'une façon particulière la famille du professeur Mate et son épouse maman Jeanne Tsongo, pour cette marque d'humanisme qui s'étend parfois au-delà de nos caprices. Nous vous disons merci pour cet immense soutien que vous manifestez à notre égard.

A vous chers amis : Fiston Mikwa, Urbain Mopanga, Passy Mate, Vianney Nzanzu, Kambale Muala, Marrion Likele, Kambale Kaniki, Théodard Kambale, Virginie, Denis Lukenzi, etc. ; ses mots ne suffisent pas pour exprimer notre attachement à vous.

Il serait ingrat de notre part de faire omission de ces vaillants garçons qui nous ont facilité le travail du terrain : Eric Bofange, Bilusa et Norbert.

A vous nos frères et sœurs qui nous tiennent à cœur malgré les distances qui nous séparent : Claude Muliro, Clovis Muliro, Fabiolla Masika, Pascal Muliro, Belinda Muliro, Piscas Kasumba.

A vous me cousins et neveux : Paulin Kasumba, Fiston Kibondo, John Mafuko, Jeannine Kasumba, Nadine Musokya, Jeannot Vayirwe.

Aux oncles : Alexis Vayirwe, Tite Kasumba, Elisée Muliro, Thembo Esimo, Kakule Kisuki, Kasero Vayirwe, Syaipuma Kasumba, Elysée Kasumba.

Trouvez ici l'expression d'une fraternité sincère, et nous pensons qu'il est temps que nous mettions en profit ce qui nous unit au lieu de nous lancer vainement sur ce qui nous sépare.

Nous remercions chaleureusement toute l'équipe master pour cette marque d'amitié et de solidarité sans pareilles.

A vous tous, épris de bonne volonté, dont les noms ne figurent pas ici, nous vous demandons de faire preuve d'indulgence ; vos œuvres resteront gravées dans nos mémoires.

## RESUME

Deux méthodes d'inventaire (méthode adaptative et la méthode classique) ont été comparées pour évaluer la densité de populations de 4 espèces déclarées rares et agrégatives dans le dispositif de 400ha de la Yoko (*Canarium schweinfurthii*, *Piptadeniastrum africanum*, *Milicia excelsa* et *Ricinodendron heudelotii*). Une étude sur terrain, sur une surface de 5 ha nous a servi de cadre didactique et pour le prélèvement du temps. Une simulation a été faite sur les 400 ha à partir du jeu de données du pré-inventaire. Un quadrillage sur ordinateur du dispositif en 64 blocs de 250m × 250m chacun et en différentes gammes de placettes (10m × 10m ; 25m × 25m ; 50m × 50m et 125m × 125m) a été réalisé. Deux placettes primaires initiales par bloc ont été prises suivant 50 itérations par taille de placettes. Les paramètres suivants ont été calculés : l'estimateur de Hurwitz-Thompson, le couple écart-type et biais, l'erreur d'échantillonnage, le temps d'inventaire et l'efficacité par taille de placettes. L'espèce *Ricinodendron heudelotii* a donné un estimateur de Hurwitz-Thompson ( $\lambda=0.3949ha^{-1}$ ) ; légèrement élevé par rapport aux trois autres. Sa densité, sa capacité à résister aux forces de la coévolution en seraient une cause probable. Une tendance générale a été remarquée pour toutes les espèces: le couple écart-type & biais et l'erreur d'échantillonnage diminuent avec l'augmentation de la taille de placettes. Le nombre moyen de placettes a été naturellement constant pour l'approche classique, tandis qu'il s'est révélé variable dans l'approche adaptative ; conséquence directe de leurs différences méthodologiques

Malgré l'adoption de l'hypothèse simplificatrice, stipulant de l'égalité du temps perdu entre deux placettes pour les deux techniques ; l'approche adaptative a donné une efficacité presque égale à celle de la démarche classique dans les placettes de 10m × 10m. Les performances de ces deux méthodes ont diminué avec l'augmentation de la taille de placettes. Nous avons pensé que la petitesse du diamètre de leurs agrégats respectifs, leurs stratégies de dissémination de diaspores et surtout l'histoire de leur installation sur le site pourraient justifier cette observation.

Mots clés : espèces rares et agrégatives, méthode classique, méthode adaptative, efficacité, simulation

## ABSTRACT

Two inventory methods (adaptive method and the conventional method) were compared to assess the population density of 4 species declared rare and aggregative in the 400ha device of Yoko (*Canarium schweinfurthii*, *Piptadeniastrum africanum*, *Milicia excelsa* and *Ricinodendron heudelotii*). A study on land, an area of 5 ha was our framework for learning and sampling time. A simulation was made on the 400 acres from the data set of pre-inventory. A grid on the computer device in 64 blocks of 250m x 250m; in different lines of plots (10mx 10m, 25mx 25m, 50mx 50m and 125mx 125m) has been achieved. Two primary initial plots per block were taken after 50 iterations of size plots. The following parameters were calculated: the estimator of Hurwitz-Thompson, the torque deviation and bias, sampling error, the inventory time, and the efficiency for all size of plots. The *Ricinodendron heudelotii* gave an Hurwitz-Thompson estimator ( $\lambda = 0.3949 \text{ ha}^{-1}$ ), slightly higher compared to the other trees. Its density, its ability to withstand to co evolution forces would be a likely cause.

A general trend was noticed for all species, the torque standard deviation & bias and sampling error decreases with increasing size of plots. The average number of plots was of course constant for the conventional approach, while it has proved variable in the adaptive one: a direct consequence of their methodological differences.

Despite the adoption of the simplifying assumption, stipulating equal time lost between two plots for both techniques, the adaptive approach gave efficiency almost equal to that of the conventional one in plots of 10m x10m. The performance of these two methods decreased with increasing the size of plots. We thought that the small diameter of their respective aggregates, their strategies for dissemination of diaspores and especially the installation history on the site could justify this observation.

Keywords: rare and aggregative species, classical and adaptive methods, efficiency, simulation.

## ACRONYMES ET ABREVIATIONS

ACS	: Adaptive Cluster Sampling (échantillonnage adaptatif en grappe)
ATIBT	: Association Technique Internationale des Bois Tropicaux
CEC	: Capacité d'échange cationique
CFT	: Compagnie Forestière et de Transformation
CIFOR	: Center for International Forestry Research
DBH	: Diamètre à la Hauteur de Poitrine
EE	: Erreur d'Echantillonnage
FAO	: Food Agriculture Organization of the United Nations
FRM	: Forest Resources Management
HH	: estimateur d' Hansen Horvitz
HT	: estimateur d'Hurwitz-Thompson
ICCN	: Institut Congolais pour la Conservation de la Nature
MINEF	: Ministère des Eaux et Forêts
OIBT	: Organisation Internationale des Bois Tropicaux
ONG	: Organisation non-gouvernementale
PFNL	: Produits Forestiers Non Ligneux
REAFOR	: Relance de la Recherche Agricole et Forestière en République Démocratique du Congo.
RCA	: République Centre-Africaine
RDC	: République Démocratique du Congo
SRS	: Simple Random Sampling (échantillonnage aléatoire simple ou échantillonnage systématique)
UICN	: Union Mondiale pour la Conservation de la Nature



## INTRODUCTION

### 1. Problématique

La forêt tropicale pour les pays qui la possèdent, constitue une réelle source de richesse, mais qui risque d'être asséchée par une exploitation irraisonnée (KHAN, 1982).

La luxuriance et la diversité de cet écosystème vont cependant de pair avec la rareté de beaucoup d'espèces et font oublier que certaines ressources indispensables à la vie sont quelquefois très rares. Il en résulte une intense compétition qui engendre une foule des stratégies de survie, les unes plus ingénieuses que les autres (Vande weghe, 2004).

La lutte pour la survie est engagée. Les espèces plus aptes parviennent à conquérir de l'espace pendant que les faibles s'en éliminent (ou réduisent leurs effectifs). Selon les stratégies précitées, certaines espèces arrivent à pérenniser leur descendance, tandis que d'autres en limitent leur survie. L'occupation du milieu est la résultante de l'efficacité des diverses stratégies mises en jeu. Toutes les ressources (minérales, lumineuses, etc.) agissent en synergie pour déterminer le succès de l'implantation des espèces. En ce qui concerne la ressource lumière, pendant que les émergents baignent dans la lumière intense, le sous-bois est plongé dans une obscurité constante, égayée tout au plus par des fugaces taches de soleil. Entre les deux extrêmes se développe tout un gradient d'ambiances lumineuses, qui façonne la physionomie et la structure de la végétation (Vande weghe, op.cit). Les forces de la dynamique forestière, elles seules parviennent à renouveler les structures sujettes aux modifications du milieu.

Ainsi donc la diversité a toujours été un compromis entre les forces d'une modification naturelle du milieu (dynamique forestière) et celles issues des actions anthropiques (l'exploitation anarchique ou sélective).

Rechercher une gestion forestière écologiquement durable consiste à toujours mieux comprendre et à mieux utiliser la nature.

La tâche qui attend les scientifiques du XXIème siècle est désormais motivée par des préoccupations d'ordre éthique, et n'est plus seulement guidée par la curiosité scientifique. La recherche d'un équilibre entre le développement des sociétés, l'exploitation des richesses et des ressources naturelles, et le maintien des équilibres planétaires, est en effet devenue un des enjeux majeurs de l'humanité.

Par exemple ; l'Homme est indiscutablement responsable de l'érosion sans précédent que connaît actuellement la diversité biologique (Vitousek *et al.* 1997; Pimm 2002). La distribution naturelle des écosystèmes est fragmentée, due principalement à l'intervention de l'homme. Les distributions écologiques sont rares et aléatoires (Levin, 1992).

La gestion des ressources forestières passe d'abord par une bonne connaissance de leurs principales caractéristiques. Etant donné les superficies importantes qu'elles occupent, il s'avère nécessaire de monter diverses stratégies pour affiner cette appréciation. Tout plan d'aménagement forestier requiert la connaissance préalable de la structure des peuplements en cause (Pierlot, 1966; Lubini, 1982; Reitsma, 1988).

L'un des principaux objectifs des évaluations des ressources forestières est de faciliter la prise de décisions (même si l'on rassemble aussi des données sur les forêts pour bien d'autres raisons). Des informations fiables sur la situation actuelle et les tendances des ressources forestières contribuent à donner aux décideurs, la perspective voulue pour orienter les politiques et les programmes forestiers (Thuresson, 2002).

L'espoir pour les activités forestières réside dans les efforts qu'apporte l'aménagement forestier. Cette compréhension est rendue possible grâce aux éclaircissements que fournissent les inventaires forestiers. L'analyse de la ressource en bois, se fait grâce aux inventaires forestiers (MINEF, 1998). Les inventaires forestiers tirent leurs forces dans les considérations statistiques.

Traditionnellement, les inventaires forestiers avaient comme but ultime de collecter les données relatives à la planification pour la production de bois. L'aménagement forestier devient plus complet quand la production de bois n'est nullement l'unique objectif (Ringvall, 2000). A cela, il faudra ajouter le fait que la préservation de la biodiversité est considérée comme un objectif additionnel majeur dans le contexte actuel de la gestion durable des forêts.

Lorsque la qualification et/ou la quantification des paysages reposent sur des inventaires de terrain, il convient de réfléchir sur la méthode de collecte de l'information qui sera la plus adaptée, à la problématique développée. Il n'y a pas, dans l'absolu, de bonnes ou de mauvaises méthodes pour collecter son échantillon (Godard, 2006).

Les diverses méthodes d'inventaires forestiers dépendent des conditions du milieu et du comportement des espèces mises en jeu. La gestion de ces essences exige de pouvoir prédire à long terme le renouvellement et la qualité du stock exploitable (Batsielili, 2008). En outre, la distribution des diamètres joue également un rôle important pour que le prélèvement s'adapte à la ressource (Whitemore, 1990).

Depuis plusieurs décennies, de nombreux chercheurs se sont penchés et se penchent encore sur la recherche de méthodologies d'inventaire optimisant les possibilités d'analyses et d'interprétations, en fonction des contraintes de coût et de temps sur la collecte des données (WEBB *et al.*, 1967, CONDIT *et al.*, 1998, POTTS *et al.*, 2001, PHILIPS *et al.*, 2003, HIGGINS *et al.*, 2004, ROLLET, 1979, VAN GEMERDEN, 2004, SENTERRE *et al.*, 2005, etc. cité par Senterre, 2006).

La littérature préconise toute une gamme de plans d'échantillonnage. Selon DUPUY (1998), deux types d'inventaire sont utilisés en forêt :

- L'inventaire en plein, que l'on applique surtout lors des inventaires d'exploitation (toute la surface concernée est étudiée et fait l'objet de mesures);
- L'inventaire statistique (probabiliste), qui consiste à étudier une fraction de la surface du massif concerné. Il est utilisé lorsqu'on est en présence d'une grande étendue ou encore lorsque les variables sont très fortement représentées. Les raisons de coûts et de temps ont toujours milité pour cette alternative.

Il y a plusieurs variantes de modèles d'inventaire statistique selon le plan de sondage utilisé.

Nous ne les passerons pas tous en revue dans le cadre de ce travail. Toutefois, pour des raisons méthodologiques, nous allons nous appesantir sur les deux sous-variantes ci-dessous:

- L'inventaire statistique par layon où les placettes sont installées d'une façon continue le long de layons positionnés préalablement sur plan et matérialisés ensuite sur le terrain. Signalons que cette version reste la plus couramment utilisée en forêt tropicale par le fait que son implantation est simple et moins coûteuse. La démarche suivie actuellement par le bureau d'études Forest Ressources and Management (FRM) pour les plans d'aménagement forestier en RDC relève de cette approche.
- L'inventaire statistique systématique où le plan de sondage permet d'installer des placettes de mesure non jointive d'une façon uniforme sur toute la surface étudiée. Cette méthode est fondée sur le principe que les motifs réguliers se rencontrent rarement dans la nature. Par la suite, en parlant de la méthode classique, nous ferons allusion à cette démarche.

Cette sous variante (aléatoire simple) se démarque de sa voisine nommée « méthode d'échantillonnage systématique » par le fait que ses placettes sont installées d'une façon non uniforme (SCHERRER, 2007). L'auteur poursuit en affirmant que la technique d'échantillonnage systématique est plus efficace que la démarche aléatoire simple lorsque la population est auto corrélée positivement.

Quant à WHITE (2001), la démarche systématique a l'avantage de donner des lieux plus faciles à localiser que s'ils avaient été placés au hasard.

D'après DESSARD (2002), on dénomme plans conventionnels, tous les plans d'échantillonnage dont l'inférence est basée sur la distribution de probabilité définie sur l'ensemble des échantillons. Cela exclut donc les plans dits séquentiels où le recueil des données se poursuit tant que les propriétés de l'estimateur n'ont pas satisfait à un certain critère. L'auteur stipule en outre qu'il est donc souhaitable d'avoir une idée de la dispersion et de la densité de la ressource à estimer.

L'échantillonnage conventionnel s'oppose également à l'échantillonnage dit, par « super-population » où les échantillons, potentiellement en nombre infini, sont modélisés suivant une approche théorique ne correspondant pas à la réalité. Le plan d'échantillonnage sera inadapté. Nous ne considérerons plus dans la suite de cette étude, l'approche par super-population. Néanmoins, toutes ces variantes précitées (méthode statistique par layon, méthode aléatoire simple, méthode statistique systématique) constituent des variantes du plan conventionnel et prouvent leur performance dans l'évaluation des espèces communes.

Avec les méthodes d'inventaires forestiers conventionnels, des grandes zones doivent être couvertes pour atteindre la précision acceptable des objectifs de la biodiversité (Green and Young, 1993).

Il est possible d'atteindre les objectifs de la biodiversité avec les différentes méthodes que l'on utilise dans la planification forestière conventionnelle. A titre d'exemple, nous citerons l'échantillonnage par intersection de lignes (« line transect sampling », Warren and Olsen, 1964, Bruckland et *al.*, 1993, 2001) et l'échantillonnage au relascope sur transect (« transect relascope sampling », Stahl et *al.*, 2001) qui sont des méthodes d'échantillonnage par placettes de taille variable.

La complexité des milieux et des biocénoses constitue lui aussi un problème pour cerner les particularités des espèces. Le comportement des espèces (leur biologie, répartition spatiale, mode de dissémination des diaspores) a une influence sur le type d'inventaire pour une estimation plus ou moins précise de leur population. Les espèces agrégatives et rares en sont les plus vulnérables. Une exploitation sélective de ces espèces peut conduire à leur extinction. L'extinction de ces espèces serait l'œuvre conjuguée d'une exploitation sélective, de feux de brousses, de l'introduction de nouvelles espèces ou encore d'épidémie (UNEP, 1992 in ACHARYA, 1997). Plus une espèce est rare et agrégative, plus son degré de vulnérabilité augmente.

La méthode d'échantillonnage systématique (« simple random sampling ») demeure la technique traditionnelle la plus usitée dans l'évaluation des effectifs d'une population. Le bureau d'études Forest Ressources and Management (FRM) utilise la méthode d'échantillonnage statistique par layon pour les plans d'aménagement forestier en RDC qui est une des variantes de la démarche classique. Cependant, cette technique, selon COCHRAN (1977) et SCHLEUDER et *al.* (2000), pose certaines difficultés pour les espèces rares et agrégatives.

ACHARYA (1996), TALVITIE (2007) et THOMPSON (1992) in SALEHI (2002), estiment que la méthode d'échantillonnage classique dite simple random sampling (SRS) est peu efficace pour évaluer les populations des espèces d'arbres rares et agrégatives. Ses performances sont sensiblement réduites dans l'évaluation de populations globalement rares et localement abondantes.

Son manque d'efficacité résulterait de la faible probabilité de rencontrer une zone où les espèces rares sont présentes, lorsque l'on sélectionne une unité d'échantillonnage.

Ce mode de répartition de ces types d'espèces peut être illustré par la figure 1 ci-dessous :

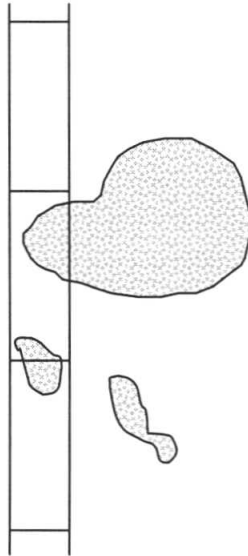


Figure 1 : Illustration de la faible éventualité de rencontrer une espèce rare et agrégative.

Les placettes d'échantillonnage sont illustrées par les rectangles tandis que les zones grisées correspondent aux agrégats de l'espèce recherchée.

Pour palier à la difficulté que présentent ces espèces rares et agrégatives dans leur évaluation, les mêmes auteurs proposent une alternative à la méthode d'inventaire classique qui est l'inventaire « adaptatif » (en anglais: « adaptive cluster sampling » ou ACS). Contrairement à l'échantillonnage systématique où la position et le nombre des placettes à inventorier sont prévus à l'avance avant d'aller faire l'inventaire en forêt, la méthode adaptative s'adapte (comme son nom l'indique) sur le terrain aux rencontres avec l'espèce à inventorier.

Lorsque l'espèce est trouvée dans une placette d'échantillonnage, l'intensité d'échantillonnage va être accrue autour de cette placette. Du fait de la répartition en agrégats de l'espèce, la probabilité de trouver l'espèce dans une placette contiguë à une placette où elle a été trouvée est plus forte que la probabilité dans une placette prise au hasard. Ainsi dans l'échantillonnage adaptatif, le nombre et la position des placettes inventoriées ne sont pas connues à l'avance.

Selon les résultats du pré-inventaire réalisé dans le dispositif de 400 ha de la réserve de la Yoko, les espèces *Canarium schweinfurthii*, *Milicia excelsa*, *Piptadeniastrum africanum* et *Ricinodendron heudelotii* ont été déclarées rares et agrégatives. Les modifications que ce milieu a enregistré au cours du temps, conduisant vers une forêt mature, n'ont fait que renforcer le statut conféré aux quatre espèces, qui sont naturellement de la forêt secondaire.

Elles ont exprimé respectivement les densités suivantes : 0,23 tige/ha ; 0,22 tige/ha ; 0,27 tige/ha et 0,57 tige/ha.

Ces quatre espèces revêtent diverses importances tant sociales et économiques. L'Iroko (*Milicia excelsa*) est une espèce de la première classe (bois d'œuvre), le Dabema (*Piptadeniastrum africanum*) est de la troisième classe et abrite une espèce de chenille consommée localement. L'Essessang (*Ricinodendron heudelotii*) est lui aussi porteur des chenilles. L'Aiéélé (*Canarium schweinfurthii*) donne les fruits ou drupes qui sont directement consommées par la population locale. En outre, il héberge une bonne variété des chenilles. Ces espèces partageant la même répartition spatiale et toutes rares dans les 400 ha présentent aussi le même risque (problème) lié à leur éventuelle évaluation et encourent les mêmes difficultés liées aux aléas naturels (feux de brousse, épidémie, introduction des espèces nouvelles...).

Ce travail vise à comparer deux méthodes d'inventaire (échantillonnage adaptatif ou ACS, et échantillonnage aléatoire simple ou SRS) afin de cerner la meilleure façon d'évaluer leur éventuel effectif.

La première partie de ce stage présente le contexte dans lequel s'inscrit notre travail.

La deuxième expose le matériel ainsi que les méthodes qu'on a utilisé pour recueillir les données et les analyser. La troisième partie fait ressortir les principaux résultats, les discute et une brève conclusion clôture ce modeste travail.

## **2. Objectifs de l'étude**

On peut placer la démarche de cette étude dans le cadre général de l'évaluation du stock forestier d'espèces rares et agrégatives au sein d'un massif voué à un aménagement durable. Cela constitue un outil de taille lors de prise de décision par l'aménagiste et l'exploitant forestier pour les espèces rares et agrégatives.

### **2.1. Objectif général**

L'objectif global de ce travail est de comparer les deux méthodes d'inventaire forestier en rapport avec les 4 espèces déclarées rares et agrégatives dans le dispositif de 400 ha de la réserve de la Yoko.

### **2.2. Objectifs spécifiques de l'étude**

- Statuer sur les tailles de placettes d'échantillonnage pour ces quatre espèces ;
- Proposer quelques mesures de gestion forestière en rapport avec l'évaluation des essences rares et agrégatives.

## **3. Hypothèse**

Pour mener à bien cette étude, nous partirons d'une hypothèse unique suivante:

- La méthode ACS donnerait une efficacité plus élevée que la méthode SRS ;

## **4. Intérêts du travail**

Ce travail présente les intérêts suivants :

- Il constitue un élément de plus dans l'évaluation d'une catégorie d'espèces (rares et agrégatives) en utilisant une autre méthode d'inventaire forestier ;
- Il constitue en outre, un outil d'aide pour l'aménagiste dans l'orientation de sa méthodologie et dans sa prise de décision ;
- L'exploitant forestier trouvera son compte dans l'évaluation du capital forestier relatif aux essences rares et agrégatives



## 5. Quelques travaux antérieurs

Il est à signaler qu'il n'y a presque pas des études déjà menées dans le cadre de comparaison des méthodes d'inventaire forestier. Nous notons que la méthode SRS est pratiquée dans la plupart des travaux. Quant à la méthode ACS, elle demeure non utilisée dans la contrée. L'aspect le plus traité dans la plupart de travaux relève de la dynamique de la forêt et parfois des aspects relèvent de l'écologie forestière sont abordés.

Lebrun, (1935) est l'un des pionniers de la recherche forestière en République Démocratique du Congo. Il a eu le mérite de présenter des résultats sur les essences forestières des régions montagneuses du Congo Oriental. Cet auteur a également étudié la répartition de la forêt équatoriale et des formations limitrophes.

Douze ans plus tard, ce fût le tour de Louis, (1947) de contribuer à l'étude des forêts équatoriales congolaises en faisant mention du groupement à *Gilbertiodendron dewevrei* de Yangambi avec une liste des principaux arbres.

Plusieurs travaux de fin d'études ont été réalisés depuis une dizaine d'année par la faculté des sciences de Kisangani dans la forêt de Yoko. On peut citer entre autre, la contribution de Shutsha Ehata en (1999), à l'étude de la végétation herbacée et du sous-bois du bloc Sud ou encore l'étude des caractéristiques foliaires des arbres et de quelques arbustes de la forêt primaire de Yoko conduite par Elingo en 2004.

Certaines études statuant sur la biodiversité ont été développées dans la partie Nord de la réserve par Lomba et Ndjele (1998), et dans la partie Sud la biodiversité des ligneux a été abordé par Yangungi et *al.* (2003).

En 2006, Boyemba abordant ses études sur la diversité et la régénération des essences forestières exploitées dans les forêts des environs de Kisangani. Cette étude a relevé que la diversité augmentait de la strate supérieure à la strate inférieure. Il s'est attelé à la régénération, le tempérament et le mode de dispersion des essences commerciales exploitables. Il parvient à donner les premières bases sur les difficultés qu'éprouvent les jeunes plants de l'espèce *Pericopsis elata* pour se maintenir dans le sous-bois.

En 2007, Kumba a développé ses études sur l'analyse de la structure spatiale des données ponctuelles par les méthodes des distances appliquées en écologie du paysage, avec. les cas de

*Gilbertiodendron dewevrei*, de *Scorodophloeus zenkeri* et *Uapaca guineensis* dominantes dans la réserve forestière de la Yoko, Kisangani, RD. Congo.

En 2008, Batsielili aborda une thématique sur la phénologie et la régénération des espèces arborées en forêt tropicale humide : cas d'Afromosia (*Pericopsis elata*) et du Tola (*Prioria balsamifera*) en RDC.

Dans la spécificité de ce présent travail, les connaissances antérieures locales sont presque fragmentaires. Cependant, passons en revue les quelques travaux (tous extérieurs) qui nous ont servi de modèle pour cerner notre thème :

- Underwood and Robert (2000) mirent au point un rapport dédié à l'inventaire de *Prunus africana* sur les versants du mont Cameroun. Conscients de la menace qui pèse sur l'exploitation de cette espèce et son mode de distribution, ils appliquèrent les deux techniques d'inventaire (Adaptive Cluster Sampling et Simple Random Sampling) et en évaluèrent les différentes efficacités. Dénombrant les individus ayant un dhp  $\geq 10$  cm, ils démontrèrent que l'ACS apportait significativement plus d'informations en termes de nombre d'arbres échantillonnés. Ils arrivèrent à faire ressortir le nombre de pieds propices à l'exploitation.
- Acharya et al. (1999) utilisèrent l'ACS pour évaluer trois espèces d'arbres rares (*Schima wallichii*, *Michelia kisopa* et *Daphniphyllum himalayense*) dans une région forestière de 40 ha au Népal. Ainsi vérifièrent-ils son applicabilité et son efficacité et comparèrent cette dernière à celle que dégage la méthode aléatoire simple (SRS). En comparant ces deux méthodes, il se dégage que l'efficacité de l'estimation de la densité augmentait de 500% sur l'espèce agrégée *Schima wallichii* et réduit de 40% pour *Daphniphyllum himalayense* qui est non agrégative. Il se révèle que l'efficacité augmente en fonction de la taille de l'agrégat ; un plan prometteur pour les aménagistes de ressources et ceux qui s'intéressent aux affaires liées aux espèces rares et agrégatives dans le contexte de l'aménagement forestier durable et de la biodiversité.
- Talvitie M. et al. (2006), estimèrent que dans plusieurs études l'ACS a paru être un outil puissant dans l'évaluation des populations rares et agrégatives qu'estiment difficilement les moyennes issues des techniques conventionnelles. Ils l'utilisèrent pour évaluer les populations de pins et des épicéas dans les régions arides d'Helsinki et du Finlande après les ravages d'une grande sécheresse couplée aux effets néfastes de pourrissement des

pieds d'arbres survenus dans ce site. L'enjeu était non seulement de comparer ces deux méthodes mais aussi d'évaluer l'impact de cette mortalité des pieds d'arbres sur l'ensemble de la population. Ils obtinrent les variances petites pour l'ACS comparativement à celles que dégagait la SRS. Là encore les mérites de l'ACS ont été prouvés en termes de l'efficience.



## Chapitre premier : DESCRIPTION DU MILIEU D'ETUDE

### I.1. Situation administrative et géographique

#### I.1.1 La réserve forestière de Yoko

Cette étude a été menée à l'intérieur de la réserve forestière de la Yoko, située géographiquement dans le district de la Tshopo, la collectivité de Bakumu-Mangongo, territoire d'Ubundu en Province Orientale à l'Est de la République Démocratique du Congo. Cette réserve est régie par l'ordonnance-loi N°52/104 du 28/02/1959 du Ministère de l'environnement et Tourisme. Elle constitue une propriété privée de l'Institut Congolais pour la Conservation de la Nature (ICCN) conformément à l'ordonnance-loi N°75-023 de juillet 1975 du Ministère de l'environnement portant création d'une entreprise publique de l'Etat pour le but de gérer certaines institutions publiques environnementales telle que modifiée et complétée par l'ordonnance-loi N°78-190 du 05 mai 1988 (KUMBA, 2007).

La réserve se trouve à 32 km de la ville de Kisangani à la rive gauche du fleuve Congo. Sa localisation est illustrée par la figure 2 ci-dessous :

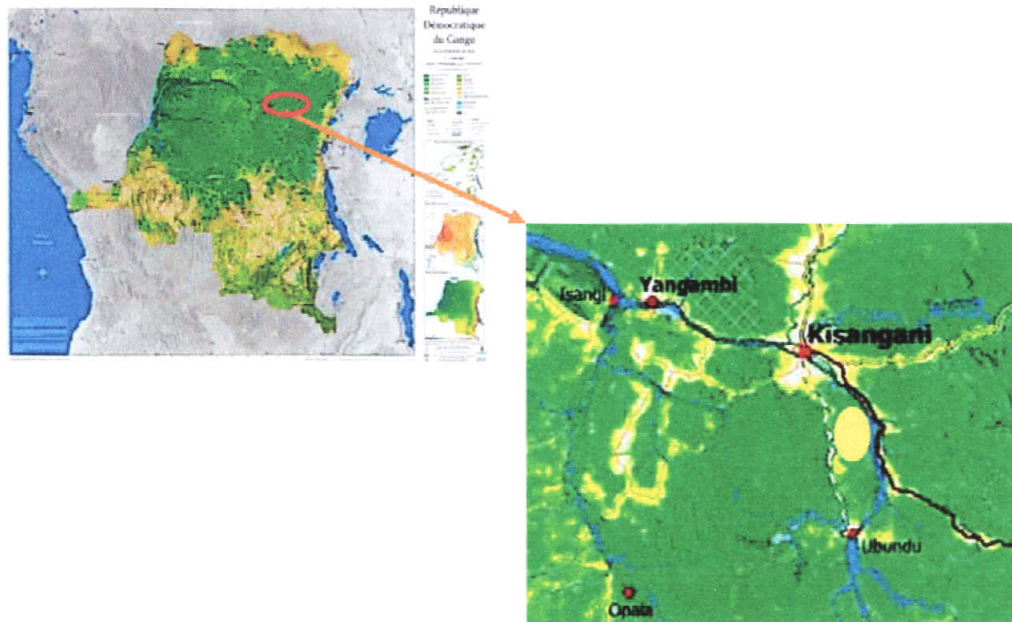
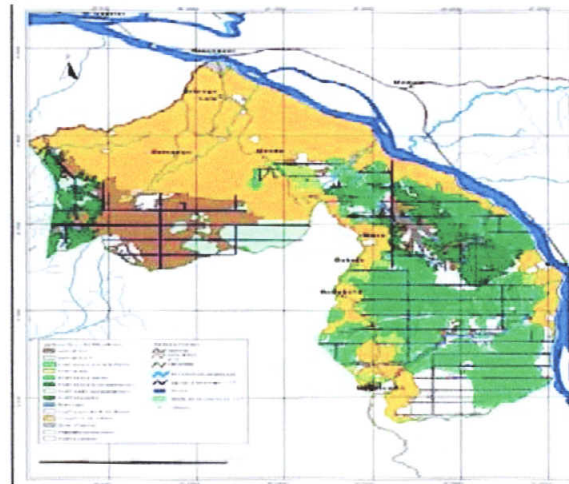


Figure 2. Carte de la RD Congo, Ville de Kisangani et localisation de la Réserve forestière de Yoko (en petit cercle jaune). (Source : Vancustem, 2006 ; Google earth in KUMBA, 2007)).



Source : Kumba, 2007.

Figure 3. Localisation de la Réserve forestière de la Yoko, Ubundu, RD Congo (encadrée en rouge)

La réserve de la Yoko est délimitée au Nord par la ville de Kisangani et le fleuve Congo, au Sud les forêts dégradées, à l'Est par la rivière Biaro qui forme une demi-boucle en suivant cette direction ; à l'Ouest par la voie ferrée et la route sur laquelle elle se prolonge. Elle est située entre les points kilométriques 21 et 45 de la route Kisangani-Ubundu. La rivière Yoko scinde la réserve en deux blocs: le bloc Nord avec une superficie de 3370 ha et le bloc Sud avec 3605 ha soit une superficie globale de 6975 ha (Lomba et Ndjele, 1998).

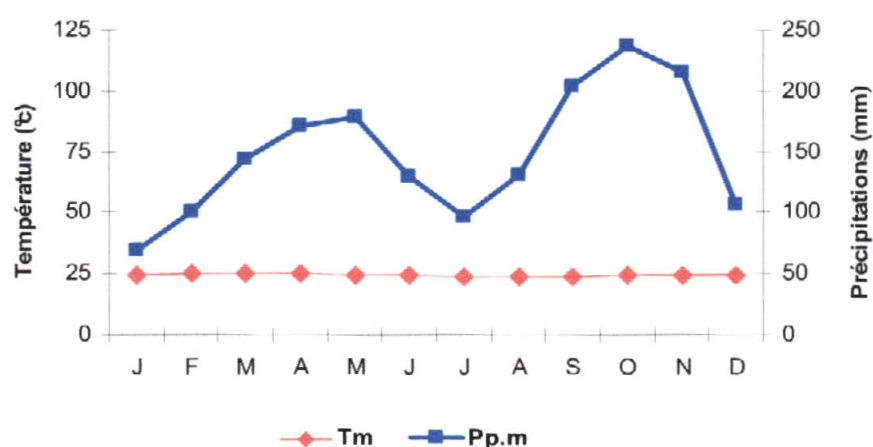
Il est à signaler que c'est dans cette réserve qu'on a installé le dispositif permanent de 400 ha dans la cadre du projet REAFOR que nous allons décrire dans le paragraphe 2.7.

### 1.1.2 Climat

Pour Trochain, (1980), la province orientale dans laquelle se situe notre zone d'étude jouit d'un climat équatorial chaud et humide qui correspond à la forêt ombrophile équatoriale, à pluviosité régulière et abondante (1750mm/an en moyenne). La moyenne de précipitations reste cependant élevée tout au long de l'année, mais de façon non uniforme. Ces précipitations oscillent entre 1417,5 mm et 1915,4 mm bien que souvent interrompues par deux petites saisons sèches (décembre à février, puis juin à août).

La proximité de notre site de la ville de Kisangani nous permet d'assimiler les données de Kisangani à celles de la Yoko partant des données consignées dans le plan d'aménagement de la concession 36/04 de la compagnie forestière et de transformation (CFT) (BATSIELILI, 2007), étant donné que Yoko manque des infrastructures météorologiques.

Les saisons de pluies couvrent le mois de février à mai, puis de septembre à novembre (Kamabu et Lejoly, 1994). Nous nous servons de données climatiques fournies par la division provinciale de la météorologie pour construire une courbe ombrothermique. Ces données sont échelonnées de l'année 1987 à 1996.



Source: (station météorologique de Bangboka, 2007) in Kumba, 2007.

Figure 4. Diagramme ombrothermique de Kisangani de 1987-1996.

### I.1.3 Végétation

La province orientale est une région qui renferme des nombreuses espèces caractéristiques et endémiques, et de part sa situation à cheval de l'équateur, elle a l'avantage d'occuper une position stratégique du point de vue de la biodiversité.

En effet, ses divers habitats, forêts, savanes, lacs et montagnes, îles, cours d'eaux et marécages hébergent une flore et une faune encore mal connues. Néanmoins, les recherches réalisées à la Faculté des Sciences de l'Université de Kisangani révèlent l'existence de 2514 espèces des plantes vasculaires pour le seul district de la Tshopo (Lejoly & al. 1988). Sans tenir compte de quelques variabilités, la proximité de notre site d'étude et de la concession 36/04 de la CFT fait que nous puissions considérer comme identiques ces deux types de végétation.

La végétation de la concession 36/04 est essentiellement constituée de deux ensembles : un ensemble regroupant les forêts à Caesalpinaceae, comprenant des forêts à Limbali (*Gilbertiodendron dewevrei*) en peuplement plus ou moins pur et des forêts à forte abondance de Bomanga (*Brachystegia laurentii*), et un autre ensemble constitué des essences héliophiles ou semi héliophiles probablement issues de l'anthropisation plus ou moins récente de la zone. On y rencontre généralement l'Acajou (*Khaya anthotheca*), le Sapelli (*Entandrophragma cylindricum*) ou encore l'Afromosia (*Pericopsis elata*) (Plan d'Aménagement FRM, CFT 2008-2032 in BATSIELILI, 2007). Cependant les études menées par Lebrun et Gilbert, (1954) stipule que la végétation de la partie Nord de la série de conservation de Yoko fait partie de groupe des forêts mésophiles simpervirentes à *Scorodophloeus zenkeri*.

#### **1.1.4 Sols**

Les sols de la région de Kisangani sont caractéristiques des sols de la cuvette centrale congolaise. Ces sont des sols ferrallitiques (classification française) des forêts tropicales ou encore appelés ferralsols (classification de la FAO) ou encore Oxisols (classification de l'USDA). Ils sont caractérisés par leur épaisseur considérable, une coloration rouge à jaune et un pH acide ( $\text{pH} > 6$ ) (SYS, 1960).

En analysant la carte de sols établit par SYS (1960), les sols de notre zone d'étude sont des sols ferrallitiques des plateaux du type Yangambi. Ils sont caractérisés par la présence ou non d'un horizon B (d'environ 30 cm d'épaisseur), une texture argileuse (environ 20%), des limites diffuses, une faible C.E.C. (moins de 16 méq/100 g d'argile), une composition d'au moins 90% de la Kaolinite, des traces (moins de 1%) de minéraux altérables tels que feldspaths ou micas, moins de 5% de pierres (Calembert, 1995 in Kombele, 2004).

Généralement sablo-argileux et acides, les sols de Kisangani renferment de combinaisons à base de sable, pauvre en humus et en éléments assimilables par les plantes, à cause du lessivage dû aux pluies abondantes. Ils ont une fertilité moyenne et conviennent à la culture des plantes ligneuses et associations légumineuses-graminées (Nyakabwa, 1982).



Lomba & Ndjele, (1998) mentionnent que la série de conservation de Yoko a un sol présentant les mêmes caractéristiques reconnues aux sols de la cuvette centrale congolaise. Ce sol est rouge ocre, avec une faible capacité d'échange cationique de la fraction minérale, une teneur en minéraux primaires faibles, une faible activité de l'argile, une faible teneur en éléments solubles et une assez bonne stabilité des agrégats.

## **I.2. Influence des activités humaines sur la réserve**

La richesse floristique de la réserve forestière de la Yoko se dispute d'un côté entre les facteurs physiques et les facteurs anthropiques de l'autre côté. Les actions anthropiques y jouent un rôle prépondérant. L'économie de cette population riveraine tire sa source sur les ressources naturelles qui l'environnent. Les principales activités sont: l'agriculture itinérante sur brûlis, l'exploitation forestière, coupe et fabrication des charbons de bois, la cueillette, la chasse, la pêche et l'élevage.

### **I.2.1. Agriculture itinérante sur brûlis.**

Les villages avoisinant la réserve sont entourés à leur tour par des champs de paysans. Ce mode d'agriculture est une pratique traditionnelle où le feu demeure encore le moyen le plus facile pour ouvrir des nouveaux espaces forestiers. Des superficies importantes sont abattues par les paysans et abandonnées quelques années plus tard pour reconquérir des nouveaux espaces. Les raisons liées à la fugacité de la fertilité et la prolifération des mauvaises herbes en seraient deux des causes majeures. Cependant les causes liées à l'ignorance et aux us et coutumes ne sont pas à épargner. Selon Nshimba (2008), travailla sur l'île Mbiye, la notion de la sédentarisation des activités agricoles est encore mal digérée. Cette pratique agricole, n'épargne pas les espèces utiles du point de vue alimentaire et médicinal, et contribue à la diminution non négligeable de la biodiversité du site.

Les notions d'une agroforesterie responsable, l'encadrement des paysans par l'Etat, les ONGD, un service cohérent de vulgarisation et une éducation environnementale seraient des solutions palliatives de grande envergure.

### **I.2.2. Exploitation forestière**

Elle revêt à ce jour un caractère artisanal. Les arbres sont prélevés pour divers usages: la construction, la fabrication des pirogues et l'artisanat. Signalons que ce prélèvement, couplé à la démographie de ces villages affligent à cet écosystème un poids considérable, qui risque d'amoinrir les forces de la cicatrisation naturelle. Ainsi, on retrouve des clairières de taille différentes parfois colonisées par une nouvelle catégorie d'espèces adaptées à ces milieux, le prélèvement des pieds bien formés qui induit une prospérité des individus mal- formés.

### **I.2.3. Coupe et fabrication de charbon de bois.**

La principale source énergétique qui alimente ces villages relève de bois de chauffe (combustible). Le charbon de bois est orienté vers les grands centres de consommation (Lubunga et Kisangani ville). Là aussi, Nshimba (op.cit), stipule que la plupart d'arbres coupés ne sont que des espèces de forêts primaires et/ou secondaires ayant une grande valeur économique. Une certaine réglementation par l'Etat (respect de la législation forestière, diversifier les sources énergétiques par un reboisement de ces villages: plantations des arbres à usage multiple) et quelques initiatives locales (construction des foyers améliorés) pourraient atténuer la situation.

### **I.2.4. Cueillette**

La réserve forestière de la Yoko demeure un site hospitalier qui assure à la population riveraine des ressources en abondance. Les produits les plus courants sont: fruits, escargots, feuilles (marantacées et petits rotins), champignons, chenilles, miel, chauve-souris et autres produits forestiers non ligneux. Le problème se pose quand le mode de récolte ne revêt plus le caractère durable.

### **I.2.5. Chasse et pêche**

Ces deux activités sont prospères tant à l'extérieur qu'à l'intérieur de la réserve. Le piégeage des gibiers se prolonge jusqu'au fin fond de la réserve et la pêche se poursuit dans les rivières qui serpentent le site (Biaro, Yoko, Mukonoka, Kabomba, etc.). Il est regrettable que le braconnage demeure encore prospère au sein d'une réserve forestière. Les chasseurs et les pêcheurs affectionnent certaines espèces d'arbres pour répondre aux impératifs de leurs travaux. Cette aptitude fait planer un doute sur la notion même d'une réserve forestière.

Quelques alternatives ciblées dans la domestication (élevage de petits bétails) des certains animaux et une vulgarisation sur la pisciculture pourraient réduire cette tendance. Un accompagnement du paysan par l'Etat (un service vétérinaire permanent et une accessibilité aux produits de traitement), les ONG de développement, etc.; comme dans l'agriculture serait l'un des facteurs déclencheur d'une gestion durable.

### **I.2.6. Elevage**

Les bêtes (porcs, chèvres, poules) restent en divagation autour et à l'intérieur de la réserve. Le sous-bois avec son cortège floristique (zone maternité) est voué au désastre que cause le passage des bêtes (arrachage et broutage) dans un rayon non négligeable. L'élevage en claustration (enclos,) ou en stabilisation assaisonné par une éducation environnementale peuvent remédier à cette situation.

## **I.3. Brève présentation des espèces**

### **I.3.1 Aiélé Nom scientifique: *Canarium schweinfurthii*. Engl (Burseraceae)**

Grand arbre avec souvent quelques contreforts à la base. Ecorce longitudinalement crevassée, épaisse d'un centimètre, environ; tranche de couleur rose saumon puis violacée. Exsudation de résine à odeur de térébenthine. Feuillage en rosettes à l'extrémité de gros rameaux. Feuilles composées imparipennées. Folioles avec 15 à 20 nervures secondaires, saillantes départ et d'autre du limbe qui paraît gaufré. Fruits drupacés longs de 3-4 cm, noyau osseux trigone. Cœur et aubier peu différenciés. Bois parfait blanc rosé, devenant beige en séchant. Bois à structure homogène rappelant l'Okoumé.

Bois tendre et léger (densité = 0,50 à 0,60). Rétractibilités volumétriques et linéaires moyennes ou fortes (rétractibilité tangentielle presque double de la rétractibilité radiale), se déforme au séchage si celui-ci n'est pas conduit très prudemment. Sensible aux champignons et aux insectes, difficile à imprégner. Résistances faibles aux efforts statiques ou dynamiques. Travail facile sauf pour le rabotage à cause du contrefil. Déroulage facile. Vissage et clouage faciles et solides. Finitions aisées, nécessité d'un boucheporage.

Bois de menuiserie légère: utilisé aussi pour la fabrication de contreplaqué (Mémento du forestier, 1998).

**I.3.2. Dabema Nom scientifique: *Piptadeniastrum africanum*. Brenam (Fabaceae)**

Arbre fréquent des forêts secondaires vieilles de la Casamance à l'Ouganda et au bassin du Congo. Très grand arbre ; très puissants contreforts aliformes. Fût cylindrique. Ecorce lisse, tranche mince, jaune pâle avec fine ponctuation rouge. Cime étalée en parasol.



Figure 5. Feuilles et gousses du *Piptadeniastrum africanum*

Feuilles composées' bipennées. 10-12 paires de pennes portant une cinquantaine de paires de très petites folioles. Fruits : grandes gousses plates de 30 x 3 cm, coriaces.

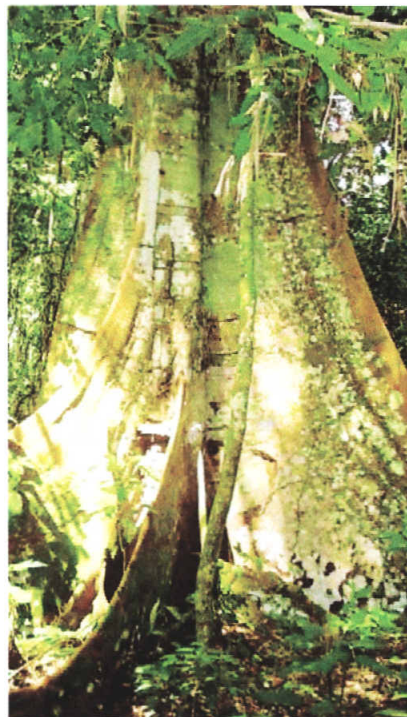


Figure 6. Base du tronc du Dabema (*Piptadeniastrum africanum*)

Peut être confondu en forêt, au Gabon, avec l'Ossimiale, *Newtonia leucocarpa*, mais ce dernier se distingue par la présence d'une glande à l'insertion des rachis secondaires et par le fait que les graines sont rattachées dans les gousses par un filet partant du sommet de la graine (pour le Dabema, il part du milieu).

Aubier différencié. Bois parfait brun dore ou gris, grain grossier. Le bois frais dégage une odeur fétide.

Bois mi-dur, mi-lourd (densité = 0,65 à 0,75).

Retrait moyen. Résistant aux champignons et aux insectes.

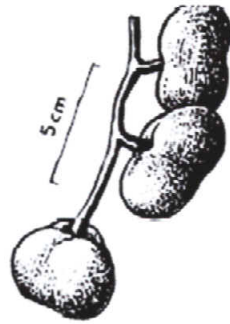
Résistances mécaniques bonnes. Travail facile mais demandant de la puissance. Le rabotage cependant est assez malaisé. En Afrique de l'ouest (Cameroun, Côte d'Ivoire, Ghana, ...) le Dabema fait partie des essences exploitées (vouées à l'exportation). Cette espèce n'est pas encore commercialisée en RDC. Selon l'OIBT, le Cameroun a exporté 7000 m<sup>3</sup> de grumes en 2005 (555US\$/m<sup>3</sup>), 14000m<sup>3</sup> en 2006 (358US\$/m<sup>3</sup>). D'après ATIBT, pour les exportations, le Gabon a atteint 15000m<sup>3</sup> en 2005.

Utilisé pour charpente ordinaire, grosse menuiserie, traverses, platelages.

### **1.3.3. Essessang *Ricinodendron heudelotii*. (Bail) Pierre ex Pax**

Nom scientifique: *Ricinodendron heudelotii*. (Bail)Pierre ex Pax (Euphorbiaceae). C'est une espèce d'Afrique tropicale. Le *Ricinodendron heudelotii* est un grand arbre pouvant atteindre 40 mètres de hauteur et 1,20 mètre de diamètre. Son écorce est gris clair (tend vers la couleur blanche). Sa germination est assez lente et le taux peu élevé (40 pour cent). La croissance des jeunes plants est très rapide en pleine lumière. La première fructification peut avoir lieu 4 ans après la plantation. Au Cameroun, les arbres de *Ricinodendron heudelotii* se trouvent dans les forêts et dans les agro forêts. La floraison commence en mars et les fruits commencent à tomber à partir du mois d'août. Le fruit de *Ricinodendron heudelotii* couramment appelé "njansang" au Cameroun est un fruit qui contient un à trois graines, ces dernières sont utilisées comme ingrédient de sauce. Le fruit du njansang pèse environ 20 g et sa pulpe consommable pèse environ 2 g (Vivien et Faure, 1995).

Les limites de ces cernes sont indistinctes ou absentes. Bois du cœur blanc ou gris ; la couleur de l'aubier identique au bois du cœur. (Richter et al. 2000).



Source : Letouzey, 1982.

Figure 7. Drupes vertes de l'espèce *Ricinodendron heudelotii*.

Son fruit est un oléagineux que l'on retrouve en Côte d'Ivoire. Il a une homogénéité des constituants essentiels : matières sèches, protéines, matières grasses, sucres, amidon et cellulose. Selon Manikarize (2007), si l'on compare le njansang et la tomate du point de vue nutritionnel, on constate que le njansang contient plus d'éléments que la tomate. Malheureusement, une certaine carence en protéine sévit dans nos campagnes entourées des pieds de cette espèce végétale. Les habitudes alimentaires et l'ignorance seraient des vecteurs privilégiés de ce contraste.

#### **I.3.4. Iroko Nom scientifique: *Milicia excelsa* (Moraceae).**

Essence panafricaine des forêts semi-décidues. L'espèce *Milicia excelsa* est retrouvée aussi en forêt sempervirente. Grand arbre avec un houppier étalé, les ultimes rameaux et les feuilles ont un port pendant caractéristique.



Figure 7. Tronc du *Milicia excelsa*

Tronc cylindrique avec contreforts peu élevés, arrondis, se prolongeant au sol sous forme de racines superficielles ; racines et parties récemment exposées de l'écorce couvertes de lenticelles orangées, saillantes, allongées formant des alignements transversaux. Ecorce sombre, écailleuse, tranche épaisse de 1 à 15 cm, jaune orange avec des points blancs, exsudant un latex abondant.

Feuilles alternes, simples, entières ; limbe ovale atteignant 20 x 13 cm denticulé, corde à la base ; nervilles réticulées à la face inférieure qui est recouverte d'une fine pubescence blanche.

Arbre dioïque. Le fruit est une mûre formée de très nombreux éléments contenant chacun une graine.

Aubier présent. Bois parfait brun-jaune fonçant à l'air, grain grossier.

Bois léger à mi-lourd (densité = 0,55 à 0,75), mi-dur. Retrait moyen à faible.

Sèche facilement sans déformations. Bonne durabilité naturelle. A ne traiter qu'en conditions difficiles. Aubier très périssable à éliminer.

Résistance à la compression moyenne, résistance plutôt faible à la flexion statique, cohésion transversale assez bonne.

Sciage sans difficulté mais parfois présence de concrétions qui désaffûtent les lames. Travail aisé sauf si contrefil accusé. Clouage, vissage, collage faciles et solides, se finit très bien. Les peintures à l'huile ne prennent pas, il faut utiliser les peintures vinyliques et les vernis polyuréthanes.

Bois se rapprochant du Teck. Utilisé pour la construction navale, les menuiseries extérieures, l'ameublement en massif ou en placage obtenu à partir de billes figurées, la décoration, le parquet mosaïque, la fabrication des cuves à produits chimiques.

Cette essence a fait l'objet de nombreux essais de plantation. C'est une essence héliophile qui s'installe souvent sur les défrichements et les trouées en forêt et montre dans sa jeunesse une croissance rapide.

Cependant, les plantations n'ont jamais connu un plein succès, car l'espèce est très sévèrement et régulièrement attaquée par un insecte gallicole, le *Phytolima lata*.

#### I.4. Valeurs socio-économiques des espèces

Ces quatre espèces revêtent diverses importances tant sociales qu'économiques. L'Iroko (*Milicia excelsa*) est une espèce de la première classe (bois d'œuvre). Ses écorces, ses feuilles et son latex revêtent des vertus thérapeutiques pour la population locale (toux, l'asthme, les affections cardiaques, les maux d'estomac, l'ascite, etc.). En Afrique de l'Est (Sénégal et Ghana), l'arbre est considéré comme sacré par certaine coutume (Hines et Eckman, 1993). Ces fruits mûrs et les jeunes feuilles bouillies sont comestibles. Le jus de fruit est employé en Inde comme condiment. L'arbre est employé pour la conservation des sols et la production de paillis, et comme arbre d'ornement et d'ombrage. L'arbre attire des chenilles comestibles. L'espèce constitue pour ce fait, un arbre à usage multiple.

L'espèce a été classée dans la liste rouge des espèces menacées de l'UICN (2006), comme espèce « à faible risque mais quasi-menacée, les principales menaces étant la perte et la dégradation de son milieu qui est une conséquence de l'expansion de l'agriculture, de la surexploitation de son bois et des attaques de *Phytolima* (Louppe et al., 2008).

Le Dabema (*Piptadeniastrum africanum*) est de la deuxième classe et abrite une espèce de chenille consommée localement. L'espèce a toujours prouvé certaines vertus thérapeutiques pour la population locale (ces écorces et ses racines sont utilisées localement dans la pharmacopée). D'après les travaux de Quarré et al (1945) et de Wome (1985); le Dabema est une des espèces qui contient souvent des substances actives à faible dose et fait l'objet de recherche pour l'approvisionnement de l'industrie pharmaceutique en nouvelles molécules. Selon Loppe et al. Op.cit, les pygmées du Cameroun et de la République Démocratique du Congo utilisent à la fois l'écorce de la racine et de la tige pour confectionner du poison de flèche.

Elle est aussi douée pour ses performances en agroforesterie, par le fait qu'elle parvient à enrichir le sol en azote partant de la nodulation (ombrage dans les cacaoyers, les caféiers et les bananiers, son nectar attire des abeilles: arbre multi usage.



L'Essessang (*Ricinodendron heudelotii*), est de troisième classe, elle est aussi porteuse des chenilles. L'Aiélé (*Canarium schweinfurthii*) donne les fruits ou drupes qui sont directement consommées par la population locale. La résine sous forme d'acens produit par cette essence est utilisée comme une bougie traditionnelle. En outre, l'espèce est hôte d'une bonne variété des chenilles.

Ces espèces, partageant la même répartition spatiale et toutes rares dans les 400 ha présentent aussi le même risque (problème) lié à leur éventuelle évaluation et encourrent les mêmes difficultés liées aux aléas naturels (feux de brousse, épidémie, introduction des espèces nouvelles,...).

### **I.5. Bref aperçu sur la répartition spatiale des espèces**

On appelle couramment « distribution » des individus, la façon dont ils sont répartis physiquement sur le terrain (Poinsot et Canard, 2004). On distingue trois types de répartition spatiale :

- la répartition régulière (les individus se trouvent à peu près à la même distance les uns des autres. Le nombre d'individus moyen par unité de surface est à peu près constant). Les répartitions uniformes résulteraient d'interactions négatives entre les individus, tels que la compétition pour la nourriture et l'espace (Ludwig et Reynolds cités par Nshimba, 2008).
- la répartition agrégative (mode de répartition caractérisé par une tendance des individus à se grouper), c'est la tendance presque la plus générale chez les animaux et les végétaux;
- la répartition aléatoire : dans une population d'organismes, la répartition aléatoire implique un environnement homogène et des comportements non sélectifs. En revanche, les configurations non aléatoires (agrégées et uniformes) impliquent que des contraintes soient exercées sur la population (Nshimba, op.cit).

Toutes ces répartitions sont l'œuvre des facteurs écologiques, liés à l'espèce elle-même (tempérament, mode de dispersion, etc.).

La démarcation entre ces différents modes de répartition repose sur le ratio  $\delta^2/\mu$  (variance divisée par la moyenne).

On a donc :

- répartition régulière:  $\delta^2/\mu < 1$  ;
- répartition aléatoire:  $\delta^2/\mu = 1$ ;
- répartition agrégative :  $\delta^2/\mu > 1$  (Poinsot et Canard, op.cit.).

Mais ce ratio ne suffit pas pour préciser le mode de répartition des espèces ; faudrait-il encore tester ces différents modes partant des différentes gammes d'indices (test de l'indice I de Moran, indice de Morisita, la méthode du plus proche voisin et la fonction K de Ripley) que nous citons dans ce travail sans les expliquer.

Les données du pré-inventaire ont permis de diagnostiquer toutes ces 4 espèces comme agrégatives et rares en même tant (sur la base de la fonction K de Ripley).

### **I.5.1. De la répartition agrégative à la rareté des espèces**

Les causes possibles de la répartition agrégative sont au moins triples et peuvent agir isolement ou simultanément: (i) l'hétérogénéité de la ressource au sens large (certains micro habitats sont plus favorables que d'autres, qu'il s'agisse du gîte, du couvert ou de deux), (ii) un comportement grégaire (la recherche active de la compagnie des individus de son espèce), (iii) des capacités de dispersion faibles par rapport aux capacités de reproduction. Une conséquence immédiate de la répartition en agrégat, est que le terrain devient essentiellement de vides (l'espace entre les groupes, où les individus seront relativement rares). Ces auteurs affirment que mettre en évidence ce genre de situation par un échantillonnage de terrain demande donc une certaine persévérance.

Chaque espèce rare a une histoire qui lui est propre: sa rareté dépend des interactions entre facteurs extrinsèques (activités humaines, facteurs physico-chimiques, relations interspécifiques) et intrinsèques (tolérances physiologiques, biologie de la reproduction, capacité de dispersion), ainsi que de son contexte phylogénétique et biogéographique. La perception de rareté d'une espèce animale ou végétale revêt une certaine subjectivité dans sa définition; elle dépend largement de l'observateur (LAVERGNE, 2003).

### **I.5.2. Définition**

Ce terme provient du latin « raritas », et désigne la qualité de ce qui est peu commun, peu abondant. L'écologie étant une science jeune (origine du terme « écologie » est attribuée à Haeckel, en 1869), ce n'est pas à cette discipline que l'on doit le développement du concept de rareté, mais plutôt à celui des sciences économiques. L'origine même de la pensée économique se base sur la rareté des biens et des ressources, dans le sens que si aucune ressource n'était limitée, les différents acteurs d'une société n'auraient jamais d'intérêts antagonistes (Phelps, 1990 in Lavergne, 2003). Selon Ricardo cité par Lavergne (2003 op.cit.), pour les ressources dont l'offre ne peut être accrue, la rareté constitue la seule échelle de valeur, mais peut varier dans le temps et dans l'espace.

D'où la définition suivante lui est attribuée en écologie: « La rareté est simplement le statut actuel d'un organisme existant qui, par une combinaison de facteurs biologiques et physiques, est réduit soit en effectif, soit en distribution, à un niveau manifestation plus faible que la majorité d'autres organismes d'entités taxonomiques comparables » (Reveal, cité par Gaston 1997, in Lavergne op.cit). Il apparaît, en fonction de ce qui précède que les deux statuts (l'effet d'être rare et agrégative) conférés aux 4 espèces (*Canarium schweinfurthii*, *Milicia excelsa*, *Piptadeniastrum africanum* et *Ricinodendron heudelotii*) du dispositif permanent constitue une double épreuve. Mais faut-il signifier que cet état est lié à l'espace et au temps, d'autant plus que la forêt reste en perpétuel changement (un milieu dynamique). D'ailleurs, là où l'aspect « forêt secondaire » est encore visible ces espèces peuvent toujours modifier ce statut en comparaison d'une forêt primaire.

Appréhender une méthode d'évaluation de leur effectif demeure donc une tâche importante; car c'est en ayant une idée plus ou moins approximative que nous serons à même d'apprécier l'étendue du danger qui se profile sur elles et y apporter une solution en vue d'une gestion durable de la ressource.

### I.5.3. Mesures de la rareté utilisées en écologie

Selon Lavergne (2003), les études de biologie de la conservation quantifient principalement la rareté des espèces par des mesures de leur abondance et de leur distribution, de leur amplitude écologique, ou leur risque d'extinction. L'abondance d'une espèce est toujours relative à l'abondance des autres espèces coexistantes, ou bien de même groupe taxonomique, et enfin à l'échelle et à la date d'étude.

En écologie, la rareté peut désigner une espèce à faible abondance locale comme une espèce à distribution géographique restreinte. La rareté d'une espèce peut donc être mesurée à l'aide de diverses variables, à diverses échelles spatiales (locale, régionale ou globale) et peut aussi varier selon les échelles (Murray *et al.* 2002a).

L'amplitude écologique d'une espèce est souvent mesurée par le nombre d'habitats dans lequel cette espèce est présente (Médail & Verlaque 1997; Thompson *et al.* 1998 ; Debussche & Thompson, 2003), ou en différenciant les espèces inféodées à un habitat particulier (par ex. tourbière ou affleurement de Serpentine) des espèces plus généralistes (Quintana-Ascencio & Menger 1996; Dupré & Ehrlén 2003 in Lavergne *op.cit.*).

Le risque d'extinction n'est pas obligatoirement lié à la rareté. Pourtant, les deux notions ont été fréquemment mélangées, notamment dans l'élaboration de Listes Rouges d'espèces menacées. Par exemple, la première classification publiée par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (IUCN) comportait les catégories suivantes : espèce éteinte, en danger, vulnérable, *rare*, hors de danger et insuffisamment connue (Palmer *et al.* 1997).

La rareté des espèces peut donc être mesurée avec de nombreuses variables, qui doivent être choisies en fonction des objectifs de l'étude et des données disponibles.

Ainsi, nous tenons à signaler que dans le cadre de ce travail, le concept « rare » fera allusion à l'abondance à une échelle locale que présente les espèces *Milicia excelsa*, *Canarium schweinfurthii*, *Piptadeniastrum africanum* et *Ricinodendron heudelotii*.

Les causes probables qui gouvernent cette rareté des espèces sont d'ordre de paramètres dynamiques : la mortalité, la croissance et le recrutement. La dynamique, au sens physique du terme, concerne l'étude des « forces » qui déterminent les variations d'abondance des populations et des sous-populations (Frontier et Pichod-Viale, 1991 cité par Gourlet-Fleury et *al.* 1998).

Selon les mêmes auteurs, elle repose sur quelques processus fondamentaux: la reproduction (floraison, pollinisation, fructification, dissémination, germination), la croissance et la mort.

## Chapitre deuxième : MATERIELS ET METHODE

De prime à bord il nous paraît impérieux de signaler que nous avons réalisé quelques manipulations dans une superficie de 5 ha (250m x 200m) à l'extérieur de 400 ha ; consistant à estimer le temps que prend le layonnage (l'inventaire) dans une unité d'échantillonnage dictée par la présence d'une espèce rare et agrégative (pour toutes les deux méthodes à la fois). En outre, toute la masse de données formant l'ossature de ce travail est le résultat d'une simulation sur ordinateur de la situation de 5 ha dans les 400 ha. Cela se justifierait par le fait que le nombre réduit de l'échantillon observé sur 5 ha ne pourrait pas éclairer la compréhension de l'étude sur ces espèces rares et agrégatives ; et surtout départager les deux méthodes d'inventaire.

Il est à préciser que dans ce dispositif permanent, tous les arbres sont déjà inventoriés et positionnés suivant la technique de positionnement en X et en Y. D'où, il a fallu que la taille de l'échantillon soit assez représentative pour arriver tant soit peu à clarifier la zone d'ombre couvrant les deux procédures d'inventaire relatives aux espèces rares et agrégatives.

Selon Dessard (2005) ; ce plan d'échantillonnage adaptatif comporte deux étapes. La première consiste à choisir un premier échantillon d'unités selon un plan classique. La seconde étape est équivalente à la deuxième phase d'un sondage en grappes, mais selon une procédure adaptative: la poursuite de l'échantillonnage est fonction de la valeur de la variable mesurée. La population est constituée par l'ensemble des unités issues de la partition du domaine d'étude. On sélectionne tout d'abord un sous-ensemble d'unités par un plan conventionnel pour un taux de sondage donné. Puis, sur chaque unité  $u$ , le caractère  $y$  est mesuré: si  $y$  satisfait une condition préalablement définie, toutes les unités dans le voisinage de  $u$  sont également mesurées. Le processus est poursuivi tant que la variable  $y$  observée sur chaque unité voisine satisfait la condition.

Le même auteur stipule que l'échantillonnage se réalisera dans les 8 placettes voisines adjacentes (avec 4 directement proches et 4 situées en diagonal) à la placette primaire initiale (voisinage de Moore). Dans ce travail, nous nous sommes imprégnés de la démarche d'Acharya (1998) et Talvitie (2006) qui ont limité le nombre de placettes en 4 au lieu de 8 (voisinage de Von Neumann).

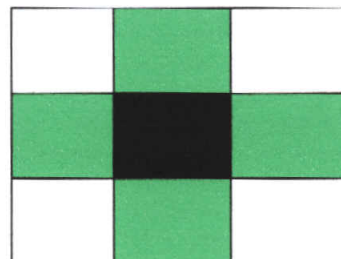
Les raisons liées au temps militeraient pour cette option. La figure 8 ci-dessous essaie d'illustrer cette réalité. Ces deux auteurs, inspirés de Thompson (1992) ; stipule que plus d'une unité sont à sélectionner aléatoirement et que la position de l'échantillon initial dans le premier bloc oriente celle des autres échantillons dans les autres blocs.

Nous avons opté pour deux placettes primaires initiales par bloc de  $250\text{m} \times 250\text{m}$ . Dans les 400 ha cependant ; la simulation sur ordinateur a permis de jouer sur la taille des placettes que nous avons maintenu variable et celle de blocs a été constante. Abondant dans la même direction, Underwood (2005), stipule qu'une fois le critère  $Y \geq c$  satisfait dans une placette, on inventorie les 4 parcelles voisines adjacentes (règle additionnelle). Et le même principe se poursuivra aux voisins de ces premières si et seulement si elles ont répondu positivement au critérium ( $Y \geq c$ ).

Quelquefois le voisinage d'une placette proie au critère peut inclure des placettes déjà échantillonnées ; elles constituent de ce fait ses voisines. Ça ne vaut plus la peine d'échantillonner ces placettes. Ce processus s'arrête jusqu'à ce qu'aucune placette ne satisfasse plus ce critère préétabli.

Ainsi donc, tout un amas (agrégat) de placettes sera échantillonné et limité par des placettes dites « bordures » qui s'écartent du critère. L'agrégat privé des placettes de bordures forme un « réseau » ou « a network ». Ce dernier auteur confirme que la méthode pour l'estimation de l'ACS repose sur ces réseaux. Les auteurs sont unanimes que toute placette ne satisfaisant pas le critérium constitue un réseau de dimension un (1) et celle l'ayant satisfait constitue un réseau de dimension zéro (0).

La disposition des placettes par rapport à la placette noyau des inventaires est représentée dans la figure 9 ci-dessous :



**Légende :** - placette noyau (en noir)  
 - placettes vertes (les 4 adjacentes à la noire : voisinage de Von Neumann)  
 - placettes adjacentes mais de diagonal (en blanc: voisinage de Moore).

Figure 9. Disposition de 8 placettes adjacentes à la placette noyau de la procédure adaptative.

En bref, en noir la placette primaire initiale, noyau de l'échantillonnage, en vert les 4 placettes adjacentes additionnelles à la placette primaire initiale et en blanc (non achiré) les 4 placettes aussi additionnelles en diagonal qui ne sont utilisées dans la méthodologie de la plus part des auteurs.

## II.1. Désignation des placettes

Nous allons suivre la notification de Thompson et Seber (1996), qui a été aussi utilisée par Underwood (2005). Nous appellerons :

- $N$  le nombre des unités d'échantillonnage au sein de la population (unités primaires);
- $Y_i$  réponse (résultat) attendue dans l'unité  $i$ . Par exemple le nombre d'arbres croissant dans l'unité  $i$  ;
- $A_i$  le réseau (groupe) pour l'unité d'échantillonnage  $i$  ;
- $m_i$  ou  $x_k$  le nombre d'unités d'échantillonnage dans  $A_i$  ;
- $C$  conditions à satisfaire « critère » qui fait qu'un nombre s'ajoute à l'échantillon ;
- $a_i$  le nombre total d'unités d'échantillonnage dans le réseau au sein duquel l'unité d'échantillonnage  $i$  est une unité de bordure ; Si l'unité  $i$  satisfait  $C$ , alors  $a_i=0$  ; sinon,  $a_i=1$  ;
- $n_1$  le nombre d'unités primaires initiales.

Nous allons résumer la démarche de ce travail en deux étapes que les paragraphes suivants vont expliciter.

### II.1.1 Applicabilité de la méthode sur le terrain.

Cette phase décisive consiste à s'imprégner de la technique de collecte de données sur le terrain. Pour cette fin, nous étions conviés à délimiter un placeau de 5ha en dehors du grand dispositif de 400ha. Des blocs et des placettes ont été définis et délimités. Les coordonnées géographiques de quatre coins du dit dispositif de 5 ha sont les suivantes :

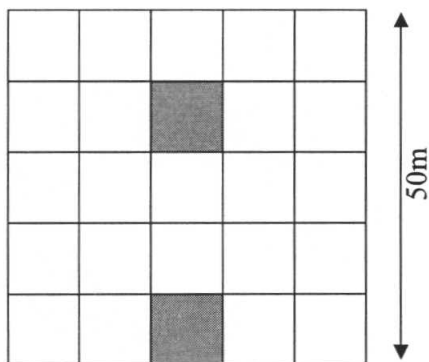
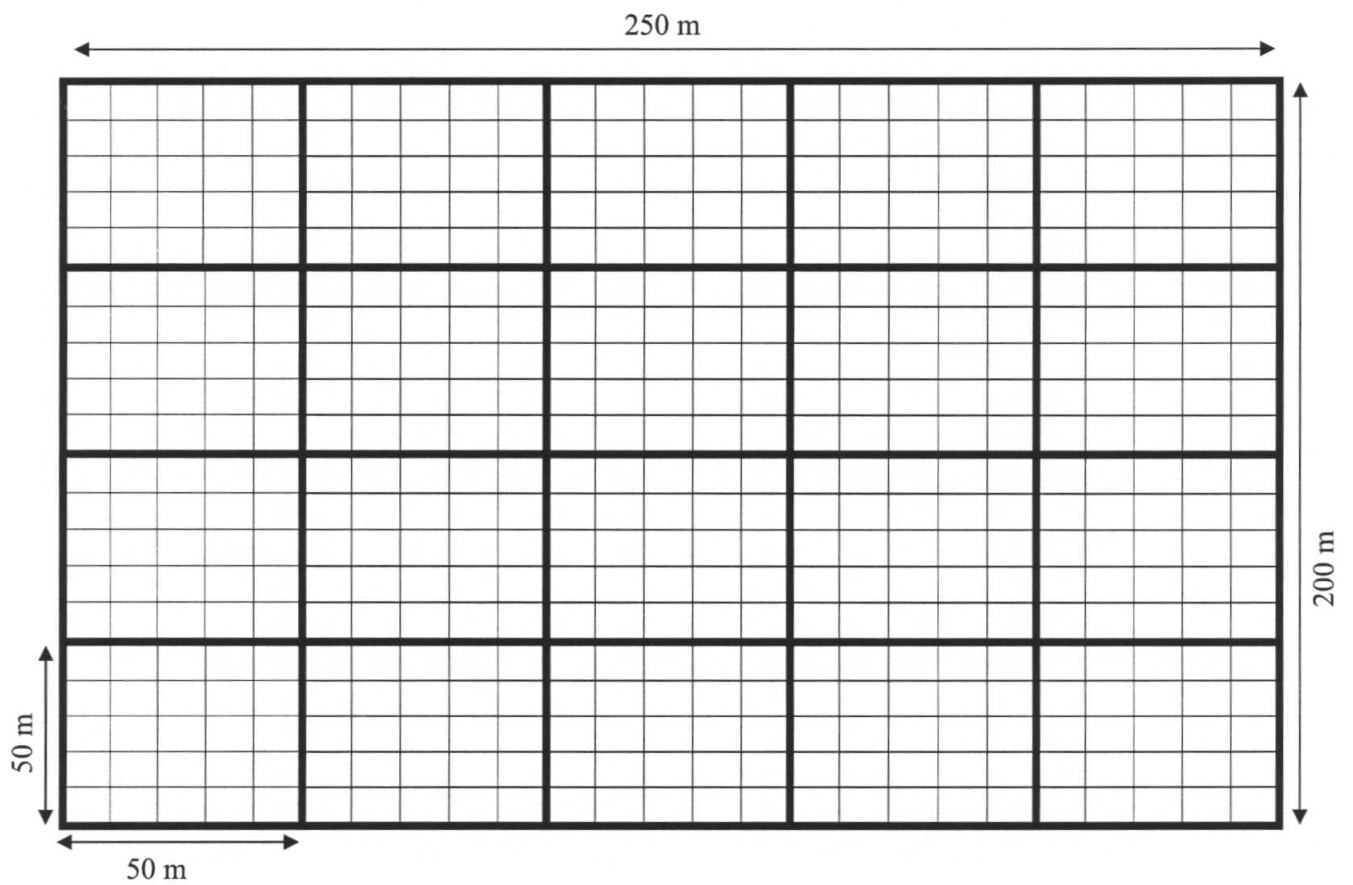
N 00°17' 13,9 '' N00° 17' 13,2''    N 00° 17' 20,2''    N 00° 17' 20,2''    N 00° 17'20,2''

E025°18'16,3    E 025° 18' 24,7''    E 025° 18' 24,9''    E 025° 18' 24,9''    E 025° 18' 16,8''



### II.1.1.1 Dispositif expérimental

Le dispositif ci-dessous essaie de matérialiser le site de 5 ha qui nous a servi comme cadre didactique et pour la prise du temps de l'inventaire.




Légende :  : Les 2 placettes primaires initiales

Figure10. Schéma du dispositif expérimental en rapport avec les 5 ha

Les blocs carrés en pente corrigée de 50mx50m (2500m<sup>2</sup>) ont été délimités (placettes secondaires) renfermant ainsi 25 placettes de 100m<sup>2</sup> chacune par bloc. Ces dernières ont formé des placettes primaires où deux choisies aléatoirement ont constituées des placettes primaires initiales, formant le noyau des placettes adaptivement additionnées, ACHARYA (1999).

Bref, nous avons délimité 20 blocs (unités secondaires) de 25 placettes chacun formant en définitive un quadrillage de 500 placettes équivalentes à 5 ha (50000 m<sup>2</sup>).

Comme déjà dit, rappelons que nous avons utilisé les données relatives aux 400ha soumises (adaptées) à la rigueur méthodologique ou technique de 5 ha. Une tâche rendue possible grâce à une simulation sur ordinateur à partir du logiciel R. Ce dernier, nous a facilité à agir sur la taille des placettes, car la taille des blocs étaient fixée. Pour le point de départ, une boussole, un penta décimètre, un rouleau de fil bougie, un mètre ruban étaient utilisés pour délimiter les placettes sur le terrain.

La vérification des points de rencontre avec des repères existants était fréquemment vérifiée pour éviter les erreurs.

En outre, les coins de toutes les placettes étaient non seulement délimités par les jalons, mais aussi marqués. Les limites des blocs étaient matérialisées par des layons et celles des unités primaires étaient matérialisées par des petites ouvertures (brèches) nous permettant seulement d'intercepter les deux layons précédents pour positionner un troisième suivant les directions perpendiculaires (respect des alignements) dans l'ultime but de réduire les perturbations qui seraient dues à l'implantation d'un réseau assez dense de layons à chaque 10 m. La correction des distances due aux irrégularités du relief (pentes) à chaque 20 m, était réalisée à partir d'un clusimètre Suunto.

Les données de placettes étaient collectionnées seulement pour les espèces concernées à l'occurrence le Dabema, l'Iroko, l'Essessang et l'Aiélé.

Bref, le nombre de pieds des espèces concernées était pris et leur diamètre à la hauteur de la poitrine (exception faite des gros pieds de Dabema sujets aux contreforts aliformes obligeant de remonter à 30 cm du contrefort le plus élevée). Soulignons en fait, que le timing alloué à l'inventaire d'une placette répondant à un critère donné était prélevé au fur et à mesure que les travaux d'inventaire se déroulaient.

Outre ces matériels techniques, nous avons utilisé des machettes, une boîte de peinture, des pinceaux et un carnet de note.

### **II.1.1.2 Cheminement des inventaires**

Sur le terrain, après le quadrillage des placettes contiguës de 10m × 10m chacune, une sélection aléatoire de deux carreaux constituant des placettes primaires initiales d'inventaire en deux phases a été faite.

- la première phase portant la marque d'un échantillonnage aléatoire,
- la seconde dite adaptative qui s'applique seulement dans une placette qui réalise la condition  $Y \geq c$  telle que décrite par Thompson et Seber (1996). (avec Y le nombre d'arbres au sein de la placette). En outre, le pied d'arbre considéré est celui dont le  $d_{hp} \geq 10\text{cm}$ . L'élément à prélever a été la circonférence.

### **II.1.2 Simulation sur ordinateur de la méthode appliquée sur les 5ha vers les 400ha**

D'abord il faut clarifier que tous les pieds d'arbres de 400 ha sont tous positionnés à partir des opérations du pré inventaire. Pour ce fait, partant du logiciel R, la technique appliquée dans les 5 ha a été reproduite ou imitée pour couvrir tous les 400 ha.

Simuler une expérience aléatoire, c'est remplacer cette expérience par une autre expérience aléatoire qui permet de produire les résultats que l'on obtiendrait en réalisant effectivement la première expérience.

On simule une expérience quand l'expérience initiale est difficile à réaliser parce que trop coûteuse, trop longue ou difficilement observable.

Dans le cadre de ce travail, nous épousons les causes liées au coût et au temps, compte tenu de l'étendue mise en jeu.

Ainsi, l'ultime stratégie était d'agir sur deux paramètres: la taille affectée aux blocs qu'on a considéré fixe ( $250\text{m} \times 250\text{m}$ ) et celle à confier aux placettes. Signalons en outre, que nous avons confié aux placettes les tailles de dimensions suivantes :  $10\text{m} \times 10\text{m}$  ;  $25\text{m} \times 25\text{m}$  ;  $50\text{m} \times 50\text{m}$  et  $125\text{m} \times 125\text{m}$ . Toutes les deux méthodes d'inventaire y sont appliquées automatiquement sous le logiciel R. Cette technique permet (ayant déjà les coordonnées X et Y de positionnement des individus cibles) de soumettre cette population à la rigueur de méthodes d'inventaire sans avoir été en contact direct avec elles. La figure n°3 reprend le dispositif de 400 ha.

### II.1.2.1 Dispositif expérimental

Le dispositif de 400 ha a été quadrillé en blocs et placettes primaires tels qu'illustré par la figure 11.ci-dessous :

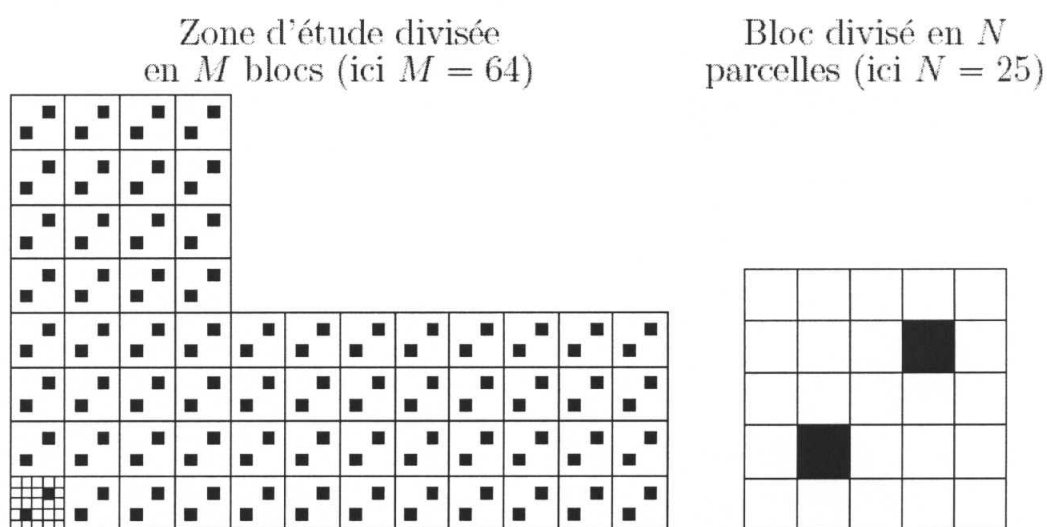


Figure 11. Subdivision du dispositif en blocs et en placettes. En noir on a les placettes primaires initiales (deux placettes initiales par bloc). Ce schéma est conforme pour des placettes de  $50\text{m} \times 50\text{m}$ . Source : Picard, 2009.

### II.1.2.2 Inventaire

Nous reprenons ici les notations d'Acharya et *al.* (2000). La zone d'étude est divisée en M unités secondaires (ou blocs), chacune d'entre elles étant à nouveau divisées en N unités primaires (ou parcelles): Zone d'étude divisée en M blocs (ici  $M = 64$ ), Bloc divisé en N parcelles.

Au départ, dans le premier bloc, on choisit n unités primaires initiales (carrés noirs dans le schéma ci-dessus, où  $n = 2$ ). Celles-ci sont dupliquées dans chaque bloc, de façon à obtenir Mn parcelles initiales sur l'ensemble de la zone d'étude. Ces Mn parcelles initiales servent de point de départ pour l'inventaire adaptatif (pour notre cas au sein du dispositif Mn=128 parcelles). A l'issue de l'inventaire adaptatif, on définit un réseau comme un ensemble de parcelles qui se touchent et telles que chacune d'entre elles contient au moins un arbre.

Soit K le nombre de réseaux détectés par l'inventaire adaptatif. Pour chaque réseau k ( $k = 1, \dots, K$ ), on définit  $x_k$  comme le nombre de parcelles incluses dans le réseau et  $y_k$  comme le nombre total d'arbres présents dans le réseau.

### II.2.3 Choix du site

Rappelons que le dispositif de 5 ha nous a servi seulement pour le prélèvement du temps affecté aux inventaires dans les parcelles d'échantillonnage et de nous familiariser à la méthode d'un tel travail sur le terrain. Les données que ce travail exhibe proviennent du dispositif de 400 ha (pré inventaire). Il nous paraît impérieux de nous saisir du mode d'inventaire qui puisse bien clarifier la représentativité des espèces rares et agrégatives dans ce grand dispositif.

Le mode de quadrillage que nous avons réalisé est inspiré de celui d'Acharya(1999), développé au Népal pour évaluer les populations rares et agrégatives (*Schima wallichii*, *Michelia kisopa*, *Daphniphyllum himalayense*).

### II.3 Paramètres à utiliser pour l'analyse des données

La littérature stipule que trois estimateurs non biaisés de la moyenne de nombre d'arbres et leurs variances ont toujours été utilisés et comparés dans une telle étude. Un estimateur convenable d'usage dans la méthode ACS est dérivé de Hansen-Hurwitz (HH) ; noté ( $\mu_1$ ) qui divise le nombre d'arbres rares observés (la valeur  $Y$ ) par la probabilité de sa sélection et la multiplie par le nombre de temps pendant lequel, la placette a été sélectionnée. C'est un estimateur non biaisé de la moyenne de la population, basé sur les probabilités de sélection partielle (Cochran, 1977 ; Thompson, 1992). En échantillonnant sans remplacement, l'estimateur HH est souvent approprié comme il utilise la probabilité pour qu'une placette soit sélectionnée (Mier and Picquelle, 2008).

Le deuxième estimateur utilise la  $Y_i$ ème valeur (nombre d'arbres observés) dans le groupe. Un estimateur non biaisé de la moyenne de la population ( $\mu$ ) est la moyenne de l'échantillon initial ( $\mu_0$ ), obtenue en ignorant toutes les placettes additionnelles à l'échantillon. Il fournit la base de comparaison entre les stratégies adaptatives et celles qui ne le sont pas.

Le troisième estimateur est celui d'Horvitz-Thompson (HT) ; noté ( $\lambda$ ) utilisant les probabilités d'inclusion partielle des placettes au sein de l'échantillon. Les auteurs Thompson (1998), Acharya (1999), Talvitie (2006) restent unanimes sur le fait que l'estimateur HT de Thompson reste le plus fiable. Nous comptons l'utiliser, dans le cadre de ce travail. Cet estimateur parvient à donner la densité plus ou moins possible d'une espèce partant de la probabilité d'inclusion au sein du groupe. Pour la suite, nous ne ferons pas abstraction aux deux autres.

Le nombre de placettes additionnelles à l'échantillon influence l'efficacité de l'ACS. La taille de l'agrégat est fonction de nombre de placettes qui le constitue.

### II.3.1 L'estimateur d'Hurwitz-Thompson

Cet estimateur, selon plusieurs auteurs (Acharya, 1998 et *al.*; Mier et Picquelle, 2008) est mieux placé pour évaluer les populations des espèces rares et agrégatives que ceux utilisés dans les approches classiques. Il est basé sur la probabilité d'inclusion des placettes dans un groupe.

L'estimateur de la densité de Horvitz-Tompson est alors (Acharya et al., 2000; Dryver, 2003; Salehi, 2003; Turk and Borkowski, 2005; Talvitie et al., 2006) :

$$\hat{\lambda} = \frac{1}{AMN} \sum_{k=1}^K \frac{y_k}{\alpha_k}$$

où  $\lambda$  est le nombre de tiges par unité de surface,  $A$  est la surface de la parcelle unitaire et

$$\alpha_k = 1 - \frac{C_{N-x_k}^n}{C_N^n}$$

où  $C_p^n$  avec  $p \geq n$  est le nombre de façon de choisir  $n$  éléments parmi  $p$  :

$$C_p^n = \frac{p!}{n!(p-n)!} \quad \text{avec } x! = 1 \times 2 \times 3 \times \dots \times (x-1) \times x$$

La quantité  $\alpha_k$  représente la probabilité d'intersection du réseau  $k$ . Pour

Avec :

**n** : nombre des unités primaires initiales

**M** : nombre des unités primaires croisant le groupe contenant la placette  $U_{ij}$ ,

**A** : la surface de la placette primaire initiale en hectare (ha)

**N** : nombre de placettes au sein du bloc ;

**K** : nombre de réseaux

**X<sub>k</sub>** : nombre de placettes incluses dans le réseau

### II.3.2 L'écart-type et le biais.

#### II.3.2.1. L'écart-type

C'est le rapport entre l'écart-type et la moyenne, exprimé en pourcentage ( $cv = 100 \times \frac{\sigma}{\mu}$ ).

Avec:  $cv$  comme coefficient de variation,  $\sigma$  comme l'écart-type et  $\mu$  comme la moyenne.

### II.3.2.2. Le biais

Faire un choix d'un plan d'échantillonnage consiste à agir sur la minimisation du biais et la maximisation de la précision.

C'est la différence entre la moyenne et la vraie densité, exprimée par l'expression :

*Biais* =  $\mu - v_d$  ; avec  $\mu$  comme la moyenne et  $v_d$  étant la vraie densité.

### II.3.3 L'erreur d'échantillonnage

Au-delà de tout le soin apporté à la récolte des données, le caractère fragmentaire de l'inventaire par échantillonnage induit inévitablement que les résultats obtenus soient entachés d'une erreur qualifiée « d'erreur d'échantillonnage ». Son interprétation repose sur une base statistique et est de ce fait calculée en considérant un niveau de confiance, généralement fixé à 95% (Rondeux, 1999).

Selon Dommergues (1952), elle s'exprime par un intervalle de confiance. Si on adopte une probabilité de 0,05 (comme c'est le cas le plus général), on obtient l'erreur d'échantillonnage en multipliant l'écart-type de la moyenne par 1,96. Elle est exprimée souvent en pourcentage de la densité dans des placettes d'échantillonnage. D'où l'expression :  $EE = \theta \times 1,96$

Avec l'expression sous forme d'intervalle:  $\theta - \theta \times EE/100 < t < \theta + \theta \times EE/100$ .

avec  $\theta$  comme la densité et EE étant l'erreur d'échantillonnage..

La précision est bonne quand l'erreur d'échantillonnage est petite. La valeur faible de l'erreur d'échantillonnage est liée au nombre élevé d'unités d'échantillonnage et à une moindre mesure à l'importance de leurs tailles. Une erreur d'échantillonnage inférieure à 10%, est généralement admise en inventaire de gestion.

Nous avons utilisé l'expression ci-dessous pour trouver la précision :

$P = (b_s - b_i) / 1,96 \times \mu$  ; avec  $b_s$  comme la borne supérieure et  $b_i$  la borne inférieure et  $\mu$  comme la moyenne de la densité.



### II.3.4 Nombre moyen de placettes inventoriées, temps affecté aux inventaires et l'efficacité de deux méthodes

#### II.3.4.1. Nombre moyen de placettes inventoriées

Il est à signaler que chaque choix de taille de placettes offre toute une gamme de possibilités pour combiner différemment les différentes placettes. L'élément commun pour tous ces choix est la prise de deux placettes primaires initiales par bloc. En guise d'exemple, pour un choix de placettes de taille 10m × 10m, il y a 625 placettes dans un bloc; avec  $\binom{625}{2}$  (1) façons de les combiner (combinaison de 625 placettes prises deux à deux). Pour la taille de 50m × 50m, on aura  $\binom{25}{2}$  encore 300 façons de combiner 25 placettes prises deux à deux au sein d'un bloc. Donc, chaque choix apporte ces possibilités de combinaison. Pour remédier à cette variabilité de choix, nous avons uniformisé et délimité les possibilités à 50 itérations par classe de taille ; rédues possibles grâce au logiciel R.

Le nombre moyen de placettes inventoriées relève de la moyenne de nombre de placettes issues des 50 itérations par classe de taille de placettes.

#### II.3.4.2 Temps affecté aux inventaires

Signalons que le temps d'inventaire a été déduit de celui du layonnage. Ce temps est affecté par une subjectivité par le fait que son estimation dépend de l'identificateur (ses compétences et même celles de son équipe), de la densité des espèces ciblées, de la variabilité de la topographie du terrain, du cortège floristique du site et de la visibilité sous le couvert. L'expression suivante nous a aidé pour déduire ce temps:  $T_{inv} = 2 \times \text{taille de la placette} \times \frac{\text{temps layonnage}}{\text{unité de longueur}}$  ; avec  $t_{inv}$  comme temps d'inventaire. D'où le temps total pour une série de placettes de même taille sera le produit de nombre de ces placettes par le temps confié à l'inventaire ( $T_{inv}$ ).

Le temps perdu quand on se déplace entre deux placettes ou d'un agrégat à l'autre n'était pas pris en compte sur le terrain. Nous avons opté pour une hypothèse simplificatrice stipulant que ce temps reste identique pour les deux méthodes d'inventaire.

### II.3.4.3 Efficience de deux méthodes

Nous nous sommes servis du paramètre temps décrit ci-haut pour départager les deux méthodes d'inventaires. L'efficience est le rapport entre la précision et le coût affecté aux inventaires (Dessard, 2002). Nous avons substitué le facteur coût par le facteur temps. L'efficience devient donc, un rapport entre la précision et le temps alloué pour les inventaires.

La nature de données recueillies nous a amené à recourir à la statistique descriptive, utilisant le logiciel Excel, qui a recueilli les effectifs et les densités à partir du logiciel R. Le tableau croisé dynamique nous a servi pour regrouper les densités selon les classes de taille de placettes.

Nous signalons que le jeu des données relatif au pré inventaire nous a servi de cadre pour extraire seulement une partie réservée aux 4 espèces.

- **Briefing sur le dispositif permanent**

Par dispositif permanent, on entend tout dispositif forestier où les arbres sont marqués individuellement de façon durable, permettant ainsi de repasser et de remesurer des arbres identifiés (Picard & Gourlet-Fleury, 2008). L'histoire des dispositifs permanents en Afrique centrale semble une histoire récente. Les pays (RCA, Cameroun, Congo) du bassin du Congo ont une certaine avancée en matière de dispositif permanent, exception faite de la RD Congo où les quelques dispositifs existant ont été plongés dans l'oubli. Les soubresauts politiques, les instabilités politiques, le manque d'une politique environnementale clairement définie et le retard dans l'adoption des vieilles lois du code forestier pour répondre aux exigences environnementales nouvelles pourraient en être une des causes majeures.

Il y a eu des dispositifs permanents à Yangambi qui ont été abandonnés à eux-mêmes.

La quasi-totalité des dispositifs permanents se trouve accumulés dans la zone de l'Ituri: Epulu (Picard et *al.* op.cit). Le projet REAFOR dont le CIFOR et la FAO ont été des partenaires est parvenu à installer un dispositif permanent au sein de la réserve forestière de la Yoko. Ce dispositif de 400 ha où une placette permanente de 9 ha a été circonscrite qui servira dans le suivi de la dynamique forestière de manière à disposer de façon régulière de données précises sur la croissance des essences, le taux de reconstitution, la productivité forestière, l'écologie des espèces, la phénologie des arbres, la dynamique de la régénération et

de l'écosystème, l'âge de maturité sexuelle des essences (notamment celles qui sont plus exploitées), les réactions des peuplements aux traitements sylvicoles, etc.

Les données relatives aux quatre espèces (Aiélé, Dabema, Essessang et Iroko) recensées dans ce dispositif permanent au cours du pré inventaire nous ont servi de cadre (matrice de données) pour évaluer les deux modes d'inventaire appliqués aux espèces rares et agrégatives.

Ces données seront soumises aux diverses manipulations imposées par le logiciel R : quadrillage du dispositif en M blocs, N placettes primaires de z dimensions, n placettes primaires initiales en vue d'avoir une idée sur les diverses variabilités de tailles de placettes avec les densités des espèces et l'efficacité de la méthode appliquée. Signalons que nous avons opté pour M=64, N est variable selon les tailles de placettes, n=2 et z variable allant de 10m×10m; 25m×25m ; 50m×50m et 125m× 125m. Ci-dessous la figure12 du dispositif de 400ha où les données ont été recueillies lors du pré inventaire.

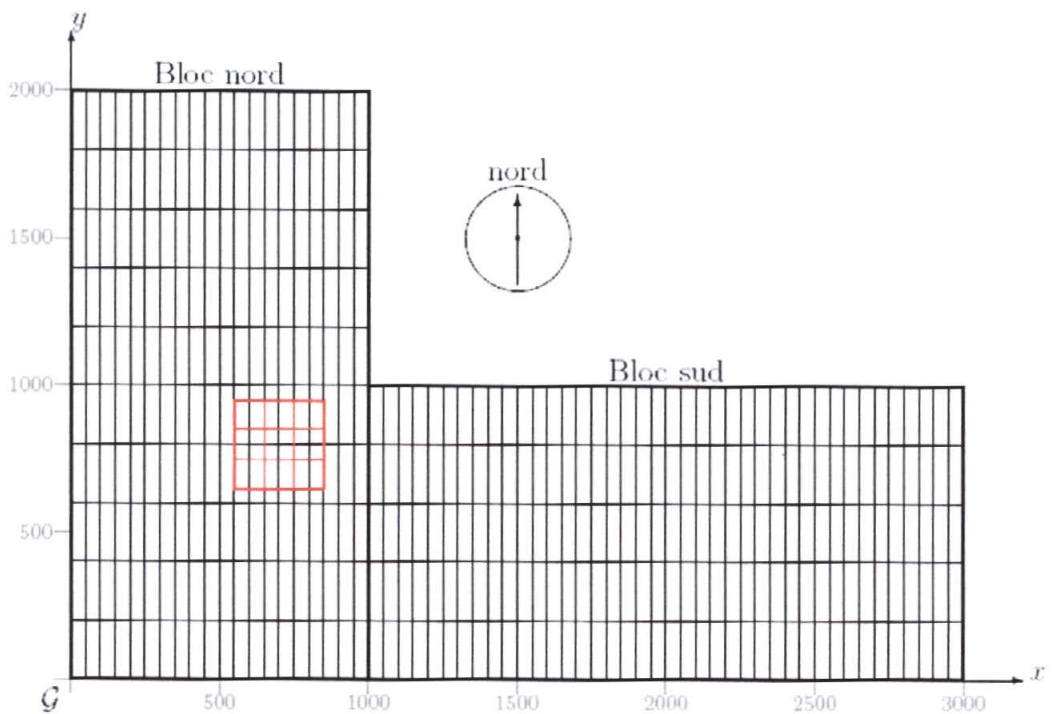


Figure 1: Schéma de la zone d'étude avec les layons existants et la position de la parcelle permanente de 9 ha (en rouge).

Figure 12. Dispositif de 400ha de la réserve de la Yoko. Source: Picard, 2008.

## Chapitre troisième : PRESENTATION DES RESULTATS

Dans cette partie de ce travail, nous exposons les résultats d'une façon succincte sous-forme de tableaux et d'histogramme ou des courbes de tendance. Les données brutes sont localisées dans les annexes (I, II, III et IV) sous-forme des figures ou tableaux.

### III.1. L'estimateur de Horvitz-Thompson

Nous avons calculé l'estimateur de Horvitz-Thompson pour les quatre espèces à partir d'une seule taille de placette (50m×50m). Les figures (Figure 17, 18, 19, 20) se rapportant à ce calcul se retrouvent aux annexes I. Les valeurs sont inscrites dans les tableaux (Tableau 1, 2, 3 et 4 relativement aux espèces Dabema, Essessang, Aielé et Iroko) ci-dessous:

#### III.1.1 *Piptadeniastrum africanum* ( $\lambda=0.3071 \text{ ha}^{-1}$ )

Tableau 1. Effectif de placettes ( $x_k$ ) et d'arbres ( $y_k$ ) et les probabilités d'intersection ( $\alpha_k$ ) de  $k=8$  réseaux représentés sur la figure 1 dans les annexes.

k	$y_k$	$x_k$	$\alpha_k$
1	4	3	0.23
2	1	1	0.08
3	1	1	0.08
4	1	1	0.08
5	1	1	0.08
6	2	1	0.08
7	3	3	0.23
8	4	3	0.23

Il ressort de ce tableau que dans le dispositif de 400 ha (pour cette itération, pour une placette de 50m×50m), l'espèce Dabema réalise 8 agrégats dont deux les plus riches enregistrent 3 placettes et contiennent 4 pieds d'arbres chacun. Plus de la moitié ne sont constitués que d'une seule placette hébergeant un seul pied d'arbre. L'estimateur de Thompson calculé est  $\lambda_k = 0,3071 \text{ ha}^{-1}$ ; traduit un effectif de 123 individus pour les 400 ha.

En moyenne pour le Dabema on a deux placettes par réseau, deux arbres par réseau et un arbre par placette. Ce qui témoigne la présence de réseaux de petite taille.

### III.1.2 *Ricinodendron heudelotii* ( $\lambda=0.3949 \text{ ha}^{-1}$ )

Tableau 2 : Effectif de placettes ( $x_k$ ) et d'arbres ( $y_k$ ) et les probabilités d'intersection ( $\alpha_k$ ) de  $k=16$  réseaux représentés sur la figure 2 dans les annexes.

k	$y_k$	$x_k$	$\alpha_k$
1	3	2	0.99
2	2	2	0.99
3	1	1	0.08
4	1	1	0.08
5	7	6	0.43
6	1	1	0.08
7	2	2	0.99
8	12	8	0.55
9	1	1	0.08
10	2	2	0.99
11	1	1	0.08
12	3	2	0.99
13	3	3	0.23
14	1	1	0.08
15	3	2	0.99
16	5	4	0.3

Il ressort de ce tableau que dans le dispositif de 400 ha (pour cette itération, pour une placette de 50m×50m), l'espèce *Essessang* réalise 16 agrégats dont la plus riche enregistre 8 placettes et contiennent 12 pieds d'arbres chacun. L'estimateur de Thompson calculé est  $\lambda k = 0,3949 \text{ ha}^{-1}$ ; traduit un effectif de 158 individus pour les 400 ha.

En moyenne pour l'*Essessang*, on a deux placettes par réseau, trois arbres par réseau et un arbre par placette

### III.1.3 *Canarium schweinfurthii* ( $\lambda=0.2863ha^{-1}$ )

k	y <sub>k</sub>	x <sub>k</sub>	$\alpha_k$
1	1	1	0.08
2	1	1	0.08
3	1	1	0.08
4	1	1	0.08
5	2	2	0.99
6	1	1	0.08
7	2	1	0.08
8	1	1	0.08
9	1	1	0.08

Tableau 3 : Effectif de placettes (x<sub>k</sub>) et d'arbres (y<sub>k</sub>) et les probabilités d'intersection ( $\alpha_k$ ) de k=9 réseaux représentés sur la fig.3 dans les annexes.

Il ressort de ce tableau que dans le dispositif de 400 ha (pour cette itération, pour une placette de 50m×50m), l'espèce Aielé réalise 9 agrégats dont le plus grand n'enregistre que 2 placettes et contiennent 2 pieds d'arbres. Tous les autres ne sont constitués que d'une seule placette hébergeant un seul pied d'arbre. L'estimateur de Horvitz-Thompson calculé est  $\lambda_k = 0,2863ha^{-1}$ ; traduit un effectif de 115 individus pour les 400 ha.

En moyenne pour l'Aielé on a une placette par réseau, un arbre par réseau et un arbre par placette. Quelque soit le nombre de réseaux, ils sont de faibles tailles. D'où la densité de l'espèce semble faible.

### III.1.4 *Milicia excelsa* ( $\lambda=0.2533ha^{-1}$ )

k	y <sub>k</sub>	x <sub>k</sub>	$\alpha_k$
1	1	1	0.08
2	1	1	0.08
3	4	3	0.23
4	1	1	0.08
5	1	1	0.08
6	3	3	0.23
7	2	2	0.99
8	1	1	0.08
9	2	2	0.99

Tableau.4 : Effectif de placettes (x<sub>k</sub>) et d'arbres (y<sub>k</sub>) et les probabilités d'intersection ( $\alpha_k$ ) de k=9 réseaux représentés sur la fig. 4 dans les annexes.

Il ressort de ce tableau que dans le dispositif de 400 ha (pour cette itération, pour une placette de 50m×50m), l'espèce Iroko réalise 9 agrégats dont deux les plus riches enregistrent 3 placettes et contiennent 4 et 3 pieds d'arbres chacun. Presque la moitié n'est constituée que d'une seule placette hébergeant un seul pied d'arbre. L'estimateur de Thompson calculé est  $\lambda k = 0,2533 \text{ha}^{-1}$  qui traduit un effectif de 123 individus pour les 400 ha. En moyenne pour l'Iroko, on a deux placettes par réseau, deux arbres par réseau et un arbre par placette.

L'Essessang exprime un estimateur d'Horvitz-Thompson élevé ( $\alpha k = 0,3949 \text{ha}^{-1}$ ) par rapport aux trois autres espèces; rivalisant un effectif de 158 pieds pour les 400ha. Nous osons croire que le mode de répartition de cette essence en serait la cause privilégiée.

D'une façon générale toutes les espèces présentent des petites tailles de réseaux. Cependant l'espèce Essessang (au moins deux placettes par réseaux) réalise une petite différence par rapport aux trois autres qui n'ont qu'au plus, deux placettes par réseau.

### III.2 Variation des Ecart-Types en fonction de tailles de placettes

Le tableau 1 situé en annexes (3) donne les tendances de variation des écart-types en fonction de taille des placettes suivant les espèces. Toutefois nous avons représenté cette variation dans la figure 13 ci-dessous.

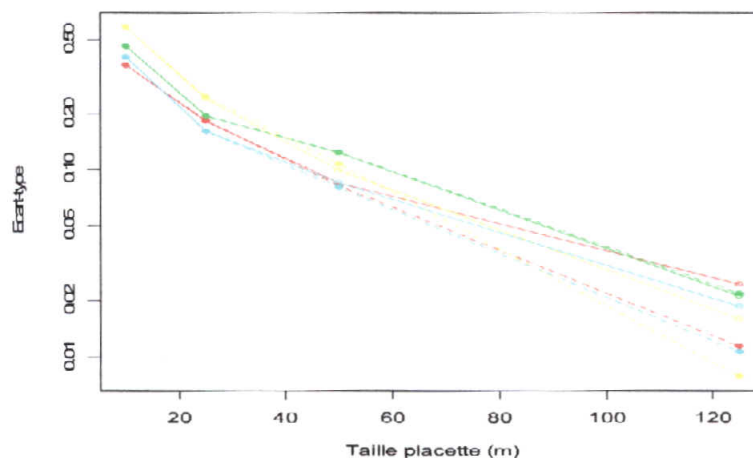


Figure 13. Variation de l'écart-type en fonction des tailles de placettes. En jaune l'espèce *Ricinodendron heudelotii* (Essessang) ; en vert l'espèce *Piptadeniastrum africanum* (Dabema) ; en rouge l'espèce *Canarium schweinfurthii* (Aielé) et en bleu l'espèce

*Milicia excelsa* (Iroko). Le trait plein indique la méthode classique et en pointillé la méthode adaptative.

Le graphique ci-dessus étaye la variabilité de l'écart-type en fonction des dimensions des placettes d'échantillonnage. Il ressort de ce graphique que l'écart-type diminue avec la taille des placettes. Plus la taille de la placette augmente, plus diminue l'écart-type. Cette observation reste presque commune pour toutes les quatre espèces soumises aux deux méthodes d'inventaire. Cependant, il est à remarquer que pour les petites placettes la différence des écart-types n'est pas forte. Elle dégage toutes des valeurs élevées d'écart-type. La valeur la plus élevée est observée chez l'espèce *Essessang*, suivie de *Dabema*, *Iroko* et *Aiélé* au sein de placettes de faible dimension.

Avec des placettes de taille inférieure à 25 m, deux espèces expriment des écart-types presque similaires (*Aiélé* et *Dabema*) sous les deux traitements d'inventaire. L'*Essessang* affiche une valeur un peu plus élevée et l'*Iroko* en présente une valeur un peu moins élevée. On constate que pour les deux méthodes, la tendance est presque la même pour les placettes de dimension inférieure à 50 m.

Pour une taille de placette inférieure à 50 m, il est à remarquer que d'une façon collective, toutes les quatre espèces ne présentent pas une différence du point de vue de la méthode d'inventaire.

Cette tendance s'observe dans les placettes de dimension supérieure à 50 m chez les espèces *Aiélé* et l'*Iroko*. Leurs écart-types diminuent sensiblement en appliquant la méthode adaptative. Il faut signaler que cette diminution reste moindre avec la méthode dite classique. L'*Iroko* suit la même allure face aux deux procédures de dimension supérieure à 50 m. La grande taille de placettes d'échantillonnage réduit l'écart-type. Pour les placettes de taille comprise entre 25 m et 50 m pour l'espèce *Essessang*, la méthode classique enregistre un écart-type inférieur par rapport à la méthode adaptative.

Toutefois, cette tendance se modifie quand les placettes prennent une taille supérieure à 50 m : la procédure adaptative fait diminuer sensiblement l'écart-type par rapport à la méthode classique. Exception faite du *Dabema* qui est insensible vis-à-vis de deux méthodes quelle que soit la dimension confiée aux placettes. Ainsi donc, nous semble-t-il qu'une de deux méthodes pouvant réduire le temps d'exécution sur le terrain pouvait servir pour évaluer sa population au sein d'un massif.



Cette espèce serait la moins agrégative possible par rapport aux trois autres (Essessang, Iroko et l'Aiélé). L'Essessang semble être la plus agrégative possible dans ces conditions, étant donné que plus la taille de la placette d'inventaire augmente chez cette espèce, les écart-types diminuent dans toutes les deux méthodes d'inventaire. Toutefois, les valeurs plus basses sont observées par la méthode adaptative. Les auteurs sont d'avis qu'un estimateur performant fait ressortir une faible variance. A ce stade, la méthode adaptative paraîtrait performante pour les espèces Essessang, Iroko et l'Aiélé.

### III.3 Variation du biais en fonction des tailles de placettes

La variabilité de ce paramètre est illustrée par la figure 14 ci-dessous :

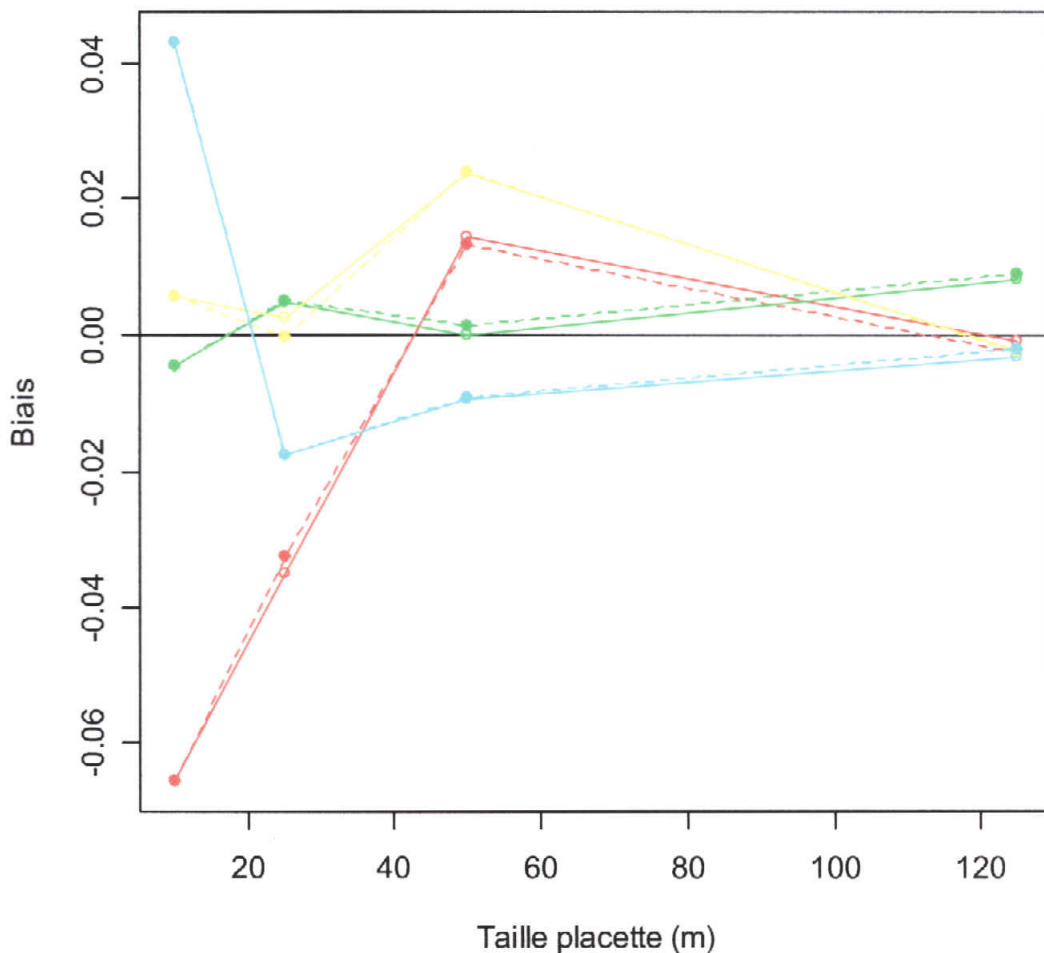


Figure 14. Variation du biais avec la taille des placettes. En jaune l'espèce *Ricinodendron heudelotii* (Essessang) ; en vert l'espèce *Piptadeniastrum africanum* (Dabema) ; en rouge l'espèce *Canarium schweinfurthii* (Aielé) et en bleu l'espèce *Milicia excelsa*

(Iroko). Le trait plein indique la méthode classique et en pointillé la méthode adaptative.

Il ressort de ce graphique que les quatre espèces se comportent différemment une fois soumises aux deux méthodes d'inventaire. Pour les placettes de dimension inférieure à 50 m ou presque, l'Aiélé présente un biais négatif pour toutes les deux méthodes. Dès que la taille devient supérieure à 50 m, le biais s'accroît positivement, remonte un peu et redescend vers la valeur nulle. Cette allure semble commune pour les deux méthodes. Plus la taille de la placette augmente, plus le biais diminue dans cette gamme d'intervalle de classe de taille de placette. La différence n'est pas tellement forte pour les deux méthodes. Pour l'espèce Iroko, dans les placettes de dimension inférieure à 25 m, le biais diminue pour toutes les deux méthodes. De 25 m à 50 m, il augmente, quand bien même qu'il demeure dans la zone négative pour les deux méthodes.

On observe une certaine augmentation pour les deux méthodes de 50 m à 125 m. Quant à l'espèce Essessang, dans les placettes de dimension inférieure à 25 m, le biais diminue partant de toutes les deux méthodes, mais cette diminution est plus marquée quand on applique la méthode adaptative.

Pour les placettes de dimension comprises entre 25 m et 50 m, le biais augmente pour les deux procédures. De 50 m à 125 m, le biais dans sa partie positive (où l'on surestime la densité des espèces) diminue pour les deux méthodes. Dans les placettes de dimension inférieure à 25 m, le biais s'accroît, tandis que dans l'intervalle de classe de taille des placettes comprises entre 25 m et 50 m cette tendance diminue pour les deux méthodes. Les placettes de grosse taille (50 m et 125 m) font augmenter le biais avec de moindres différences pour toutes les deux méthodes. Les augmentations dans la zone positive correspondent à une surestimation des effectifs en rapport avec la méthode et la taille des placettes, tandis que les diminutions dans la zone négative traduisent une sous-estimation des effectifs selon la méthode et les différentes tailles de placettes y affectées.

### **III.4 Erreur d'échantillonnage (précision)**

Les erreurs calculées sont regroupées dans le tableau 9 repris dans les annexes III. Dans cette rubrique nous tâcherons de commenter quelques points surtout relatifs aux tailles qui minimisent cette erreur d'échantillonnage. Toutefois le tableau 5 ci-dessous présente toutes les tendances selon les espèces et les tailles de placettes suivant la méthode appliquée.

Tableau 5. Erreur d'échantillonnage de deux méthodes d'inventaire suivant les espèces et les différentes tailles de placettes.

Erreur d'échantillonnage				
Taille(m)	Aielé	Essessang	Dabema	Iroko
<b>SRS</b>				
1	0,71148	1,14954	0,9077544	0,7953484
2	0,356524	0,474712	0,3834152	0,3160108
3	0,1666588	0,1951964	0,239904	0,1654044
4	0,047824	0,0313208	0,0415128	0,0365148
<b>ACS</b>				
1	0,71148	1,1497164	0,907676	0,7953484
2	0,358876	0,48265	0,383572	0,316344
3	0,1604064	0,2116408	0,244804	0,1572312
4	0,022344	0,0153664	0,042728	0,020972

Légende : 1= unité d'échantillonnage de taille 10m × 10m ; ...  
 SRS (au dessus) = méthode d'échantillonnage systématique  
 ACS (en dessous) = méthode adaptative

### III.4.1 Méthode classique

Il ressort de ce tableau ci-dessus que presque toutes les espèces affichent le même comportement face à la variation des erreurs d'échantillonnages en fonction de la taille des placettes. Plus la taille de la placette est petite, plus grande est l'erreur d'échantillonnage. Cette tendance reste commune pour toutes les 4 espèces; sans tenir compte de quelques petites différences. Cette tendance est plus marquée chez l'espèce Essessang dont l'erreur va de 114,9%/114,97% dans la classe 1 ou 10m× 10m ; 47,47%/48,27% dans la classe 2 ou 25m× 25m ; 19,52%/21,16% dans la classe 3 ou 50m×50m et 3,13%/1,54% dans la classe 4 ou 125m ×125m.

Pour cette espèce, cela veut dire pour le cas 125m\*125m, qu'il y a seulement cinq chance sur cent (admettant une probabilité de 0,05 : cas général) pour qu'une estimation de la densité basée sur cet échantillon s'écarte de la vraie valeur de plus de 3,13% en choisissant des placettes de 125m×125m. En d'autre terme, il ya 95 chances sur cent pour que la valeur réelle de la densité recherchée soit comprise entre 0,55245 et 0,58815/ha (SRS) contre 0,56122 et 0,57874 par hectare (ACS). L'Essessang est suivie par Dabema, l'Iroko et l'Aielé.

D'où les intervalles de classes suivantes pour la taille de 125m×125m:  $0,55245 < t < 0,58815$  pour l'Essessang ;  $0,23664 < t < 0,23676$ ;  $0,2261 < t < 0,2489$  (Aielé);  $0,27814 < t < 0,27826$  (Dabema) et. Toutes les espèces confirment que les petites placettes de 10m× 10m font augmenter l'erreur d'échantillonnage et par conséquent, réduisent la précision. Le cas le plus frappant est observé simultanément chez l'espèce Essessang (Er=114,9%). Signalons que les autres espèces en expriment respectivement, l'Aielé (103,1%) Dabema (Er=90%); Iroko (Er=79,5%).

Ainsi donc, ce modèle préconise un accroissement de la taille de la placette pour atteindre une bonne précision. .

### III.4.2 Méthode adaptative

En comparant les deux tableaux relatifs aux deux procédures d'inventaire, il est à constater ce qui suit :

- ❖ l'espèce Dabema n'exprime pas une grande différence face aux deux méthodes dans toutes les classes de dimension de placettes. Quelques petites différences sont visibles dans les deux dernières classes.
- ❖ l'espèce Aielé affiche presque les mêmes tendances pour les deux procédures. Cependant, il est curieux de constater que la technique adaptative exprime elle aussi les petites valeurs dans la classe 125m × 125m; enregistrant une erreur d'échantillonnage de 2,2% contre 4,8% pour la technique classique.
- ❖ l'espèce Iroko présente presque les mêmes tendances, exception faite aux deux dernières classes où l'erreur d'échantillonnage de l'ACS reste élevée (15,7% et 2,1%) par rapport à celle de la technique adaptative (16,4% et 3,7%).
- ❖ l'Essessang garde une même tendance pour les deux méthodes dans la classe de 10m ×10m. Dans les deux classes médianes, la SRS prend le dessus (19,5%) du point de vue de l'erreur d'échantillonnage par rapport à l'ACS (21,2%). La tendance est aussitôt renversée dans la classe 125m×125m, en faveur de l'ACS qui réalise une erreur d'échantillonnage 10 fois plus petite que celle de la version classique (1,54% contre 15,9%).

Une tendance générale pour toutes les espèces favoriserait l'ACS par rapport à la SRS dès que la taille de la placette d'échantillonnage devient grande. D'où, les intervalles de classe suivants pour la taille de 125m×125m: 0,569112<t<0,57874 (Essessang); 0,2159<t<0,22513 (Iroko); 0,26724<t<0,29108 (Dabema) et 0,229854<t<0,24033(Aielé).

### III.5 Nombre de placettes inventoriées en moyenne et la durée de temps des inventaires.

#### III.5.1 Nombre de placettes inventoriées en moyenne

Les effectifs moyens de ses placettes sont confinés dans le tableau 6 ci-dessous :

Tableau 6: Effectif moyen des placettes inventoriées selon le mode d'estimation, suivant les différentes tailles de placettes par espèce.

estimation	taille placette	Aiele	Dabema	Essessang	Iroko
classique	10	128	128	128	128
classique	25	128	128	128	128
classique	50	128	128	128	128
classique	125	128	128	128	128
adaptative	10	128,62	129,32	130,22	129,2
adaptative	25	134,62	137,32	147,16	135,24
adaptative	50	158,76	160,8	223,7	159,34
adaptative	125	210,18	218,16	236,5	183,98

Il apparaît dans ce tableau que la variabilité de nombre de placettes reste l'apanage de la démarche adaptative pendant qu'elle reste constante pour la technique classique (128 placettes). Il est à remarquer aussi que le nombre de placettes ajoutées adaptativement varie selon les tailles de placettes et les espèces impliquées. Ainsi donc l'espèce Essessang prend la tête (237 placettes), suivie de Dabema (218 placettes), l'Aielé (210 placettes) et 184 placettes pour l'Iroko dans des placettes de 125m× 125m. La tendance est la même pour toutes les classes de taille de placettes. La cause probable serait liée au mode plus agrégatif de l'espèce et aussi à ses capacités à se maintenir dans diverses conditions du milieu.

### III.5.2. La durée du temps des inventaires et l'efficacité de deux méthodes d'inventaire

Le temps de l'inventaire a été déduit à partir de celui du layonnage tel que déjà élucidé aux paragraphes précédents. Les valeurs de temps d'inventaire sont reprises dans le tableau 7

Tableau 7. Le temps de l'inventaire (minutes) d'une placette selon les différentes tailles.

Taille de placettes	Temps (min)
10m ×10m	26
25m ×25m	65
50m ×50m	130
125m ×125m	325

Il ressort de ce tableau une tendance naturelle: le temps de l'inventaire accroît avec la taille de la placette mise en jeu. Pour des placettes de petites dimensions dans la démarche classique, on constate que les deux placettes par bloc sont éloignées l'une de l'autre. Ainsi, sur le temps convié à l'échantillonnage d'une entre-elles, s'ajouterait le temps écoulé (dépassé) durant le déplacement entre les deux entités. Tandis que pour la démarche adaptative, on retrouverait une bonne partie des placettes en amas; permettant de poursuivre l'inventaire sans perte de temps. Le fait que les placettes soient non accolées les unes des autres pour la démarche classique accroîtrait le temps convié à leurs inventaires par le truchement du temps écoulé sur le passage entre elles. Ce temps reste élevé pour la SRS, et par conséquent pour la catégorie des petites placettes (10m ×10m, 25m ×25m, 50m ×50m), l'efficacité diminue pour la SRS.

Quant aux placettes de tailles considérables (surtout 125m ×125m), on constate que même pour la démarche classique les placettes se touchent. Ce caractère réduirait sensiblement le temps que l'on aurait tendance à perdre pour un déplacement intempestif entre les placettes primaires initiales de chaque bloc. De ce fait, la démarche classique paraît plus efficace que l'approche adaptative, car les blocs étant jointifs, auraient déjà fait appel aux placettes jointives qui feraient que la SRS puisse bénéficier de deux privilèges: d'un côté le nombre réduit de placettes et de l'autre côté, le rapprochement de celles-ci. Pendant que la démarche

adaptative sera confrontée à une augmentation de placettes (grand agrégat) de grande taille; qui aboutit à un temps d'inventaire relativement long par rapport à celui de la démarche classique et par conséquent diminue l'efficacité de la méthode.

Le calcul réalisé dans les annexes III fait ressortir les valeurs des efficacités de deux techniques d'inventaire par classe de taille des placettes et selon les espèces, qu'illustre la figure 15 ci-dessous :

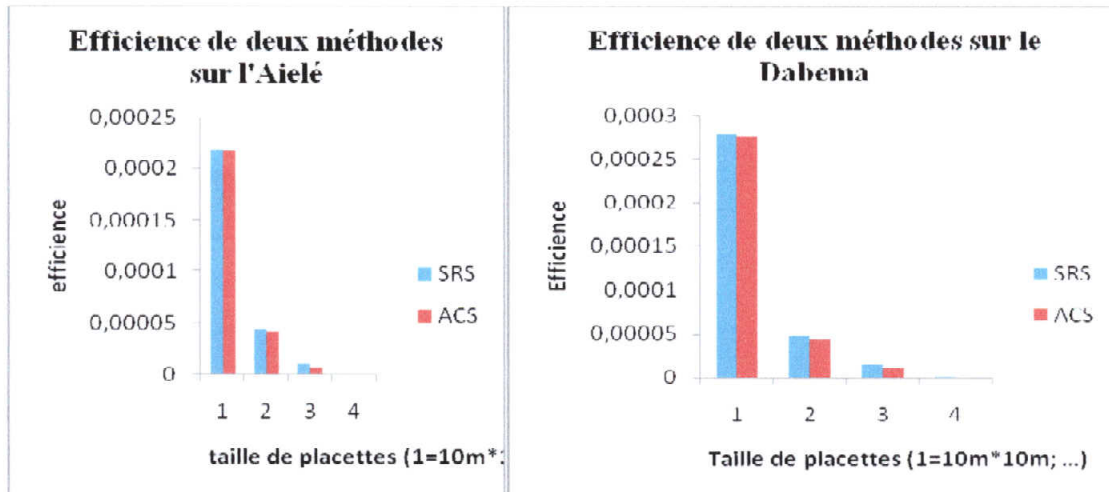


Figure 15. Efficacité de deux méthodes selon les différentes tailles de placettes. A gauche les espèces Aielé et Dabema à droite.

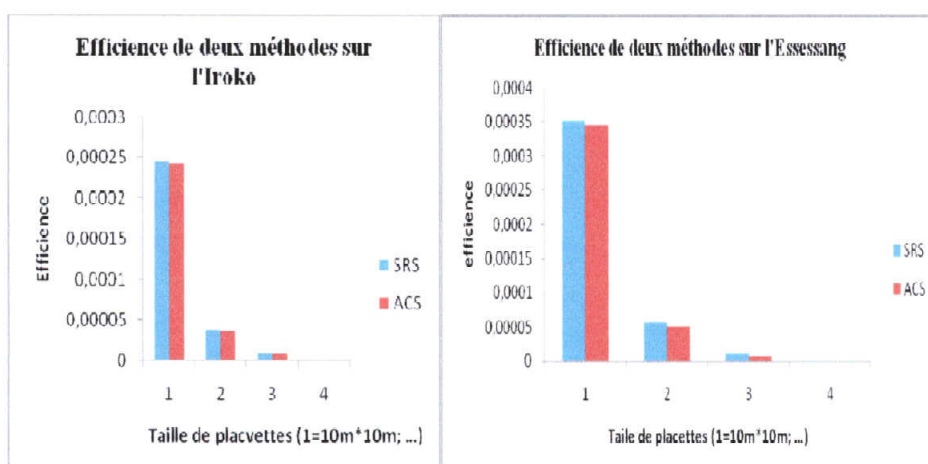


Figure 16. Efficacité de deux méthodes selon les différentes tailles de placettes suivant les espèces. En bleu la méthode classique et en rose la méthode adaptative. Avec (1=10m\*10m,...). A gauche l'espèce Iroko et à droite l'Essessang.

Les espèces affichent de différences dans les valeurs des efficacités. On observe certaines particularités et quelques similitudes selon le type d'inventaire. D'une façon générale, l'ACS a marqué ses performances pour les quatre espèces dans les placettes de 10m\*10m. La SRS réalise des records identiques pour toutes les espèces dans les mêmes placettes de 10m\*10m. Les deux méthodes réduisent simultanément leurs efficacités quand on augmente la taille de placettes. Les valeurs des efficacités s'échelonnent pour les deux méthodes (SRS/ACS) de la manière suivante : le pic s'observe sur l'espèce *Essessang* (0,000353/0,000347), suivie de l'espèce *Dabema* (0,000278/0,000275), l'iroko et l'Aielé viennent avec 0,000244/0,000242 et 0,000218/0,000217. Ces valeurs nous semblent être plus proches les unes des autres.

La distance de dissémination de l'espèce, l'hétérogénéité de microsites, pourraient expliquer ce comportement. Tandis qu'en ACS, la situation change un peu : les deux premières placettes sont presque en ex aequo, qui décline progressivement avec les placettes de grande taille.

Cela serait lié à la petitesse du rayon de l'agrégat formé par ces espèces. Ce diamètre serait autour de 25m. Les placettes qui auraient de tailles supérieures feraient qu'une seule d'entre-elles soient en mesure de quadriller tout un agrégat et par conséquent réduire les autres (placettes de voisinage de Neumann) à des bordures.

Toutes les espèces expriment une diminution de la précision avec l'augmentation de la taille de placettes pour les deux méthodes (SRS et ACS). Signalons que le pic de cette précision en ACS se situe dans les placettes de 10m\*10m. Mais on se demande comment l'espèce parvient-elle à entretenir son agrégat au cours du temps.

Cela relèverait de l'écologie et de la dynamique des agrégats, qui seraient liées aux paramètres écologiques du milieu, le tempérament et de la phénologie. On constate que l'espèce *Dabema* se retrouve représentée par les gros individus et de fois une pullulation des plantules sous le couvert. Les classes intermédiaires ne sont presque pas représentées (com. Personnel). La régénération de l'espèce éprouve une sérieuse difficulté. L'apport des nouveaux individus dans l'édification de l'agrégat reste déficitaire.



## Chapitre quatrième : DISCUSSION DES RESULTATS

Dans cette partie du présent travail, nous comptons confronter nos résultats avec ceux d'autres chercheurs qui ont travaillé dans la même optique et essayer de donner un sens à nos résultats.

### 4.1 Estimateur de Horvitz-Thompson

Toutes les espèces confondues, les tendances relatives à leurs densités expriment des moindres différences. L'espèce Essessang réalise un effectif de 158 pieds pour les 400 ha ; pendant que les trois autres font 123 pieds (Dabema et Iroko) et 115 pieds (Aielé). Le nombre de placettes par réseau reste presque faible pour toutes les 4 espèces. De même, le nombre d'arbres par placette reste aussi faible. Une petite démarcation est observée chez l'espèce Essessang qui présenterait des agrégats de taille presque élevée et dont l'effectif par parcelle dépasse légèrement celui de ces 3 autres.

Ces allégations ont été confirmées par Acharya *et al.* (Op.cit), qui constate que la méthode ACS prouve ses performances lorsque les espèces forment des agrégats de grande taille et que la taille de placettes est de dimension importante. Les causes probables seraient liées à son mode d'occupation du terrain. Les raisons situées en amont de son état actuel pouvaient aussi étayer cette situation (mode de dissémination, régénération, la résistance aux forces de la coévolution avec ses congénères). La taille d'un agrégat est sujette aux modifications du milieu, qui ont à leur tour une influence sur le tempérament des espèces, physiologie et autres phénomènes qui expliquent la survie des espèces.

Il est à constater que les espèces Aielé, Iroko et Dabema élèvent leur densité partant de l'estimateur d'Horvitz-Thompson ; pendant que celle-ci reste légèrement faible pour la méthode en plein (faite lors du pré inventaire). De ce fait, nous pouvons dire que cet estimateur a tendance à surestimer leurs effectifs. Seule l'espèce Essessang reste stable face à cette observation : la densité tirée de l'inventaire en plein (0,57tiges/ha) reste élevée que celle générée par l'estimateur d'Horvitz-Thompson (0,3949tiges/ha).

## 4.2. Variation des Ecart-Types en fonction de tailles des placettes

La procédure adaptative exprimerait plus ses performances pour l'espèce *Essessang* que pour les trois autres chez lesquelles la démarcation n'est pas tellement sensible. Les écart-types diminuent sensiblement avec l'augmentation de la taille des placettes. Leur mode de répartition spatiale en serait impliquée. Quant à l'espèce *Dabema*, sa tendance réfractaire par rapport aux deux traitements, quelles que soit les différentes tailles de placettes d'échantillonnage, serait l'œuvre de son mode d'occupation du terrain.

A ce niveau Dessard (2002) stipule que les variances des estimateurs sont des fonctions décroissantes de la taille de l'échantillon et pour un plan donné, il suffit donc d'accroître la taille de l'échantillon pour augmenter la précision de l'estimateur et par conséquent, le coût de l'inventaire (ainsi que le temps de sa réalisation).

Le coût de l'inventaire pourrait de ce fait compenser le manque de précision. Cela relève d'un choix à opérer.

## 4.3. Variation des biais en fonction de tailles de placettes

La tendance commune pour toutes les espèces reste le fait que le biais diminue quand les tailles de placettes augmentent. Pour les espèces *Dabema* et *Essessang*, pendant que les écart-types diminuent avec l'accroissement de tailles de placettes, les biais se stabilisent autour de leurs valeurs nulles. Leur répartition spatiale en serait impliquée.

## 4.4. Erreur d'échantillonnage

A la lumière des résultats ci-dessus (étayé au point III.4), on constate que les erreurs d'échantillonnage diminuent avec l'augmentation de tailles de placettes. De ce fait, la précision devient élevée en inversant ce parcours. Les placettes de faible dimension (petites), biaisent les résultats tandis que celles de 125 m × 125 m, essayent de réduire la variabilité de la densité des individus. Le degré d'agrégation de ces espèces serait une cause privilégiée de ce comportement. Plus le voisin le plus proche est éloigné, plus loin faudra-il élargir les dimensions de la placette d'échantillonnage. Ceci rejoint les allégations d'Acharya *et al.* (1999), qui trouva que l'efficiencia de la densité de l'espèce fortement agrégative *Schima*

*wallichii* a augmenté de 500%, tandis que celle de *Daphniphyllum himalayense* non agrégative a diminué de 40%. Il nous semble impérieux de statuer d'abord sur le mode de répartition spatiale de ses espèces en vue de déceler le degré de leur dispersion au sein du dispositif.

Au delà de l'aspect degré d'agrégation, la taille de l'agrégat aurait aussi une influence sur ce comportement. Plus la taille de l'agrégat est grande, plus efficace sera la procédure ACS (Acharya, op.cit).

Il nous semble que ces trois espèces bien qu'agrégatives forment de petits groupes éparpillés au sein du dispositif. Il n'est guère question de retrouver une population fortement homogène constituée d'elles. Le site regorge de petits agrégats clairsemés. Cette manifestation est la conséquence directe de l'hétérogénéité spatiale, des ressources minérales, du mode de dissémination des diaspores, etc. La taille de l'agrégat est variable dans le temps. Ainsi, le *Ricinodendron heudelotii*, avec ses diaspores lourds, il est appelé à former un agrégat dans les alentours du pied mère. L'agrégat formé par cette espèce nous paraît être le plus important avec une forte densité quelle que soit les différentes classes de taille des placettes impliquées.

Le tempérament des espèces explique aussi ce genre de comportement. L'espèce *Milicia excelsa* qui selon Doucet (2003 et 2007) est une espèce héliophile stricte et reste trop sensible au manque de lumière lors des fermetures de la canopée. Le même auteur place l'espèce dans le groupe « Forêt-Trouée », dont le stade clé est l'adulte.

Toutefois la remarque de Flores (2005) nous paraît intéressante pour cerner la cause de la petitesse de la taille des agrégats. La dioïcie observée chez l'espèce Iroko limiterait sa dispersion dans l'espace par la séparation des sexes. Seuls les arbres portant des fleurs femelles contribueraient à la pluie des graines (Heilbuth et al. 2001).

Par ailleurs les observations de Collinet (1997) sur une répartition en agrégat qui pourrait être liée à des sites de vie particuliers de l'agent disperseur sont à mettre en profit. L'espèce Iroko pourrait accroître son rayon de dispersion à partir de sa zoochorie: les chauves-souris, les oiseaux et les écureuils consomment ses fruits et par conséquent, en assurent la dissémination. Ainsi, les perchoirs collectifs, les lieux des repos où s'agglutinent les oiseaux ou les mammifères constituent des véritables berceaux d'une certaine agrégation à partir de leurs déjections. Cette répartition sera héritée par les adultes après avoir subi les diverses modifications relatives aux influences intrinsèques et extrinsèques à l'espèce.

L'espèce *Canarium schweinfurthii*, quoique zoochore ne bénéficie pas de ce phénomène naturel car ses disséminateurs (calaos) rejettent la coque dur de ses fruits.

Presque toutes ces essences sont essentiellement des espèces de lumière. D'ailleurs, Gobert, (2002) ; Henrottay, (2000) ; Debroux, (1998), Doucet et al. (2001) ; classent l'Iroko, l'Aiélé et l'Essessang parmi les héliophiles strictes; caractérisées par l'absence de régénération en forêt mature, par une courbe en cloche. L'espèce *Dabema* est classée parmi les héliophiles modérés et partage la même structure de population en cloche que les trois précédentes. Les semis de cette catégorie parviennent à s'installer dans le sous-bois jusqu'à ce que leur croissance soit inhibée par le manque de lumière. Ce mécanisme naturel agit négativement dans la formation d'un agrégat de taille suffisante.

L'installation des individus présents aurait été facilitée par les conditions du milieu à l'état initial. Ainsi donc, toute absence de la lumière influe d'abord négativement sur leur croissance et plus tard sur la taille de l'agrégat. La présence des jeunes pieds constitue une signature d'un ancien chablis qui se résorberait avec le temps. Pendant qu'elles demeurent dominées, une moindre couverture de la canopée réduit sensiblement leur densité et directement la taille de l'agrégat en pâtit. La forêt étant un milieu dynamique, est le théâtre d'une modification perpétuelle. Chaque modification apporte aux espèces végétales un cortège des changements structurels et stratégiques.

L'espèce *Canarium schweinfurthii* bénéficierait de sa zoochorie pour augmenter la distance de dispersion des ses fruits. Toutefois, une large gamme de ces fruits tombe sous le semencier. Seule une petite franche est éloignée du semencier. L'hétérogénéité des microsites ferait que certains endroits soient favorables à leur maintien. Ainsi donc, son inventaire nécessite des placettes de grandes dimensions pouvant tenir compte de cet espacement entre les individus. La franche des individus restée sous le semencier restera confrontée à la rigueur du sous bois (compétition, manque de lumière, etc.). Par ailleurs Goreaud (2006), stipule que la répartition d'une espèce dépend de l'échelle prise en compte.

Pour l'espèce *Piptadeniastrum africanum*, on observe une certaine pullulation des juvéniles sous le couvert qui dans la majorité périssent, suivie d'une franche de petites classes diamétriques quasi-absente (communication personnelle). Sa pluie des graines resterait anéantie (contrebalancée) par l'absence des conditions lumineuses sous le couvert. Presque les vieux individus persistent. Il ya presque une irrégularité des classes intermédiaires.

En outre, l'évolution d'un agrégat repose sur le type forestier qui lui a donné naissance (servi de berceau), de celui dans lequel il est grandi (nourricier) et enfin du type forestier congénère (avec qui il se partage l'espace). Les individus adultes héritent la dispersion des juvéniles, de la dissémination des graines, de l'implantation et l'évolution des semis. Le dynamisme du milieu modifiera cet héritage de distribution selon les événements et l'histoire du milieu et même endogène à l'espèce.

Toutefois, les observations de Traissac (2003) sur l'espèce *Vouacapoua americana* en Paracou, essaie de généraliser les aptitudes affichées par ces 4 espèces simultanément. Partant de deux stratégies pouvant justifier la dynamique d'expansion des plaques de cette essence, l'auteur propose deux hypothèses:

- le blocage de la régénération au centre des plaques, et la dissémination à courte distance de cette espèce limiterait le recrutement des juvéniles aux bordures des plaques suivant un front de colonisation parallèle à la limite de la plaque. Ce freinage de régénération sur une surface relativement restreinte, entraînerait une agrégation des juvéniles qui perdurerait jusqu'au stade adulte et entretiendrait le processus au fil des générations. « C'est la stratégie à courte distance ». Ces allégations trouveraient leurs bases pour l'espèce *Ricinodendron heudelotii* en vertu de type de ses diaspores.
- la mise en place d'arbres isolés à l'extérieur de plaques, résultant d'un recrutement à longues ou moyennes distances, serait à l'origine de la formation d'agrégats de petites tailles (rayon < 50m). Le blocage de la régénération au sein de ses agrégats entraînerait la mise en place de pseudo-cohortes de mêmes tailles. « C'est la stratégie à moyennes et longues distances ».

Nous osons croire que les trois espèces *Milicia excelsa*, *Piptadeniastrum africanum* et *Canarium schweinfurthii* pourraient répondre à cette alternative étant donné qu'elles sont zoochores, exception faite à l'avant dernière (*Piptadeniastrum africanum*) qui est anémochore. Cependant, il nous semble trop tôt pour arriver à des telles affirmations. Une étude sur terrain permettant de localiser, de délimiter et de suivre les agrégats de l'état juvénile jusqu'à l'âge adulte de ses espèces faciliteraient la compréhension de cette dynamique.

Bref, pour bien cerner le problème de degré d'agrégation ou de la taille des agrégats de ces espèces, il nous semble raisonnable de retourner en amont pour statuer sur leur phénologie et leur régénération tout azimut de la germination jusqu'à l'âge adulte.

#### **4.5. Nombre moyen de placettes inventoriées, la durée de temps d'inventaire et l'efficacité de deux méthodes.**

##### **4.5.1. Nombre moyen de placettes inventoriées**

L'approche adaptative exprime un nombre élevé de placettes pour les raisons d'ordre méthodologique et celles liées aux capacités de l'espèce à accroître son rayon de dispersion quoique agrégative. La tâche importante qui reste est de savoir non seulement le nombre de placettes affectées, mais aussi le nombre d'agrégats qui y sont impliqués. La taille de placettes varie avec leur effectif : plus grand est la taille de la placette, plus on a un nombre élevé de placettes contenant les espèces cibles. L'augmentation de la taille de la placette augmenterait aussi la probabilité de croiser une espèce rare. En revanche, la réduction d'un paramètre, affecte directement l'autre. Il ya réduction ou diminution simultanées.

##### **4.5.2. Durée de temps d'inventaire**

Comme nous l'avons souligné au point 3.5.2 ; la taille des placettes conditionne le temps d'inventaire. Cependant, les différentes tailles affectées aux deux démarches présentent une implication directe sur le temps d'inventaire. Les petites placettes par leurs structures espacées régulièrement font consacrer un temps relativement long pour les inventaires en SRS lorsqu'on rejette l'hypothèse simplificatrice. Le temps perdu lors de l'inventaire entre deux placettes issues d'un même bloc serait la cause la plus probable, étant donné qu'il y aura cumul de ce temps perdu. Cette allégation a été observée par Talvitie et *al.* (2006), dans ses travaux sur les effets d'une épidémie et de la sécheresse sur la population de pin et des épicéas au Finlande et à Helsinki. Il suffirait que ce gros lot de placettes issues de l'ACS soit confiné dans un nombre réduit d'agrégats pour confirmer davantage cette allégation, car l'inventaire se poursuivra sans interruption.

Lecompte et Rondeux (2002) abondent dans la même direction, faisant allusion aux pertes de temps consécutives à la dispersion des échantillons ; qui limitent l'utilisation de la méthode classique.

Les placettes accolées de l'ACS (dans la plus part des cas, exception faite aux agrégats formés d'une placette), réduisent sensiblement le temps d'inventaire et par conséquent font accroître l'efficacité de la méthode. Les placettes de grande taille (surtout 125m ×125m) inverse la tendance en faveur de la méthode SRS par le fait que pour toutes les deux méthodes, les placettes arrivent à se toucher; le temps perdu s'annule pour l'approche systématique (SRS), le nombre de placettes demeurant toujours constant, pendant que ce dernier augmente en ACS. L'efficacité de la démarche SRS s'élève et celle de l'ACS diminue.

Par ailleurs, Dupuy (1998) estime que pour atteindre une certaine fiabilité des résultats obtenus, le choix de placettes de taille importante qui diminuent le coefficient de variation des variables mises en jeu est de stricte rigueur. Cet aspect montre que le choix de la taille de placettes doit être un compromis entre l'efficacité voulue, la précision, la ressource concernée elle-même et de sa variabilité sur le site.

Toutefois, reconnaissons comme déjà signalé dans la méthodologie, que l'appréciation du temps (layonnage ou inventaire) est toujours entachée d'une certaine subjectivité qui dépend à la fois de l'identificateur (sa compétence, rapidité ou soit, celle de l'équipe), la densité de la ressource au sein de chaque placette et de la visibilité sous le couvert. En rapport avec les espèces rares et agrégatives, pour les placettes de petite taille l'ACS devient plus efficace que la SRS. La situation s'inverse lorsqu'on adopte les placettes de grande taille: La SRS devient plus efficace que l'ACS. Rappelons une fois encore que la taille d'un agrégat reste la conséquence du mode d'occupation du terrain par l'espèce ; qui est la résultante de facteurs intrinsèques et extrinsèques.

En tenant compte de l'hypothèse simplificatrice qui consiste à considérer d'avance que le temps perdu serait le même pour les deux méthodes ; quelques aspects se font remarquer:

L'ACS maximise son efficacité dans les petites placettes de 10m×10m pour toutes les espèces ;

L'ACS et la SRS se neutralisent mutuellement pour toutes les espèces avec des valeurs d'efficacité proches variant de 0,000347 (0,000353) pour l'Essessang, 0,0002755 (0,000278) pour le Dabema, 0,00242 (0,000244) pour l'Iroko et 0,000217 (0,000218) pour l'Aielé dans la même classe.

Les situations présentent une certaine similitude. Les précisions décroissent progressivement avec la taille affectée aux placettes pour toutes les deux méthodes. Cependant les valeurs faiblement élevées sont observées avec la démarche classique pour les placettes de 10m\*10m. Elle bénéficierait des avantages de l'hypothèse simplificatrice prise au départ.

Quant aux efficiences de deux méthodes les tendances se présentent comme suit :

Quand on met en relief les deux méthodes par espèce, on constate que les valeurs sont presque identiques en classe de 10m \*10m. Une connaissance du diamètre des agrégats par espèce pourrait accroître cette compréhension. Un rayon court de l'agrégat militerait pour l'implantation de petites placettes. La précision est acquise à de faibles tailles de placettes. Cette tendance agrégative serait l'œuvre d'une installation simultanée occasionnée par une ouverture dans la forêt (chablis, écroulement d'un émergent, la mort d'un individu dominant).

Toutefois, la taille de l'agrégat, resterait proportionnelle à celle de l'ouverture, au degré de l'espèce à résister à la rigueur de la compétition au sein du chablis, à la vitesse de cicatrisation du chablis. Cette dernière variante conditionnera le nouveau recrutement.

Partant de cet aspect, le chablis apparaissant comme un phénomène de désolation, constitue un berceau propice pour l'installation des espèces héliophiles (groupe Forêt-trouée). Nous pensons qu'une étude qui pourra tenir compte non seulement de la densité, mais aussi de la taille des individus permettrait d'y apporter de la lumière : associer la taille des agrégats à la taille (âge) des individus. L'édification de l'agrégat serait facilitée par un recrutement autour du pied-mère.

La question qui se dresse et qui n'est pas abordée dans ce travail est de savoir comment ces espèces héliophiles strictes parviennent-elles à se maintenir sous l'adversité et l'oppression des autres espèces et continuer à construire (édifier) les agrégats. Leurs comportements caducifoliés, pourraient influencer pour la pénétration d'une quantité de la lumière non négligeable dans la strate inférieure et de ce fait, déclencherait non seulement la germination de graines mais aussi assurerait le maintien des quelques juvéniles.

En rapport aux espèces étudiées, nous osons croire que l'Essessang répondrait positivement à la méthode ACS, étant donné qu'elle demeure plus agrégative que les trois autres. Sa dissémination de diaspores, son tempérament, sa densité et ses facultés à résister à la



compétition agiraient en synergie pour justifier ce comportement. Ces allégations rejoignent celles d'Acharya (1998) sur l'espèce *Schima wallichii*, plus agrégatif que les deux autres (*Michelia kisopa* et *Daphniphyllum himayense*) au Népal. L'ACS a réalisé une efficacité élevée pour *S. wallichii* (fortement agrégée) et une efficacité faible pour les deux autres.

Les valeurs toujours croissantes d'unités d'échantillonnage de l'ACS et la rigueur de l'hypothèse simplificatrice, constituent un facteur qui résorbe les performances de la démarche adaptative. Cependant au-delà de cette considération, les écarts entre les deux techniques se révèlent faibles dans presque toutes les classes de tailles de placettes. Il semble que si l'on détruit l'hypothèse simplificatrice, l'ACS prendrait avantage sur la SRS.

Ainsi se confirmerait partiellement notre hypothèse de base uniquement pour les placettes de 10m × 10m (toutes les espèces confondues). Les placettes de 25m × 25m ; 50m × 50m et celles de 125m × 125 m en font exception étant donné que les valeurs sont restées proches mais faibles.

Néanmoins, à la lumière de résultat étayé dans différents paragraphes ci-dessus, nous avons une situation où les deux approches se neutralisent mutuellement dans presque toutes les classes de placettes. Les pics des efficacités se retrouvent dans la classe de 10m × 10m.

## CONCLUSION ET SUGGESTIONS

Une gestion forestière rationnelle passe toujours par la bonne connaissance de caractéristiques de la ressource. Une estimation plus ou moins acceptable de l'effectif de la ressource permettra aux uns et aux autres d'atteindre la latitude de concilier le prélèvement au recrutement dans un massif forestier.

L'ACS a toujours paru comme une ultime alternative dans l'évaluation des espèces rares et agrégatives. A l'issue de cette étude, il ressort que toutes les espèces ont exprimé un nombre de placettes par réseau relativement faible en rapport avec l'ACS. Cela serait une conséquence directe des faibles tailles d'agrégats que forment les espèces concernées.

Toutefois, une certaine particularité se dégage avec l'espèce *Ricinodendron heudelotii* dont le degré d'agrégation serait élevé que chez les trois autres. Nous avons relié ce comportement à ses diverses stratégies pour se maintenir dans le massif. Sa densité plus ou moins élevée par rapport aux trois autres lui confère une grande probabilité de se retrouver dans les placettes voisines. De ce fait, l'espèce a donné un estimateur d'Horvitz-Thompson élevé ou  $0,3919 \text{ ha}^{-1}$

par rapport aux trois autres. Pour toutes les espèces, la tendance commune reste une diminution des écart-types et des biais en fonction de tailles de placettes. L'espèce Essessang, réduit encore sensiblement ces deux valeurs comparativement à ces voisines pour les deux méthodes.

En outre, le nombre moyen de placettes inventoriées est proportionnelle à la dimension de placettes d'inventaire, car une taille importante offre une grande probabilité à un pied de s'intégrer dans le réseau. Cela est une particularité de la démarche adaptative, pendant que la méthode classique n'offre qu'un effectif constant. Pratiquement le temps convié à la SRS reste élevé par le truchement du cumul de temps perdu successivement entre les placettes à échantillonner. Nous nous sommes servis d'une hypothèse simplificatrice, considérant égal le temps perdu en se déplaçant entre deux placettes (réseaux) pour les deux méthodes.

Il se révèle qu'au-delà de cette considération, l'ACS a démontré ses performances en efficience dans les placettes de  $10\text{m} \times 10\text{m}$  pour toutes les espèces. Cette efficacité diminue avec l'agrandissement de la taille de placettes. Les deux technique se neutralisent presque pour les quatre espèces dans la classe de  $10\text{m} \times 10\text{m}$ .

Les placettes de grande taille, pour les deux types d'inventaire ont été toutes contiguës. Les effectifs sont restés constants en SRS et beaucoup plus variables en ACS. Cela réduit le nombre d'agrégat en ACS et affecte par conséquent son efficacité.

En somme, la démarche adaptative reste un plan prometteur pour les spécialistes et les aménagistes qui voudront évaluer les espèces rares et agrégatives en vue d'une protection de la biodiversité. Les petites placettes se prêteraient mieux dans l'évaluation des espèces rares et agrégatives que celles de grande taille.

Ainsi pour des études ultérieures, en ce qui concerne notre thématique se rapportant aux espèces *Ricinodendron heudelotii*, *Canarium schweinfurthii*, *Piptadeniastrum africanum* et *Milicia excelsa* nous suggérons ce qui suit :

D'insérer le diamètre de chaque tiges au coté de la densité dans la matrice de jeux de données qui aiderait à concilier taille des agrégats et âge de pieds impliqués ;

Réduire la surface d'étude et essayer l'expérience dans la forêt, pour limiter certaines faiblesses qui seraient héritées de l'équipe du layonnage ou pré-inventaire et;

Cerner la régénération de ces espèces pour appréhender leur taux de recrutement et leur mortalité, deux moteurs de la genèse des agrégats et

Départager les deux méthodes après avoir intégré les coûts financiers et le temps réel relatifs à chacune d'entre elles.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ACHARYA, B., 1994. A geostatistical approach for biodiversity study in Nepal. M.sc. Thesis. Forest science division, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), Enschede, the Netherlands.
- ACHARYA, B., 1996. Pilot survey report of Shivapuri watershed and wildlife Reserve. Forest science division, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), Enschede, the Netherlands unpublished. 348p.
- ACHARYA, B., BHATTARAI .B, DE GIER. A, STEIN. A, 2000. Systematic adaptive cluster sampling for the assessment of rare tree species in Nepal. *Forest Ecology and Management* 137 (2000) 65-73.
- BATSIELILI, A., 2008. Phénologie et régénération des espèces ligneuses arborées en forêt tropicale humide : cas d'Afromosia (*Pericopsis elata*) et du Tola (*Prioria balsamifera*) en République Démocratique du Congo. Mémoire de stage de fin de cycle. 54p.
- BHATTARAI, G., 1997. Systematical adaptive cluster sampling for assessing density and distribution of rare tree species in Shivapuri watershed and wildlife reserve, Nepal. M.sc .thesis. Forest science division, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC). Enschede, the Netherlands.
- COLLINET, F., 1997. Essai de regroupements des principales espèces structurantes d'une forêt dense humide l'analyse de leur répartition spatiale (Forêt de Paracou-Guyane). Thèse de doctorat, Université LYON I: 301p
- COCHRAN, W.G, 1977. *Sampling Technics*. Wiley, New-York. 448p
- CONDIT, 1998. Assessing forest diversity on small plots; calibration using species-individual curves from 50 ha plots in Dalmeier, Comiskey, J. *A Forest Biodiversity Research, Monitoring and modelling Man and the Biosphere series vol.20*. UNESCO & parthenar publishing groupe, 247-268.

- DEBROUX, L., 1998. L'aménagement des forêts tropicales fondé sur la gestion des populations d'arbres: l'exemple du moabi (*Baillonella toxisperma* Pierre) dans la forêt du Dja, Cameroun. Thèse de doctorat, Faculté universitaire des sciences agronomiques de Gembloux, Paris, 326-335.
- DESSARD, H., 1998. Les arbres hors forêts-vers une meilleure prise en compte
- DOUCET, J-L2, 2007. Formation en dynamique des peuplements forestiers. Libreville. Ecole nationale des eaux et forêts. 50p.
- DOUCET, J-L.<sup>1</sup>, 2003. L'alliance délicate de la gestion forestière et de la biodiversité dans les forêts du centre du Gabon. Thèse de doctorat, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques, Gembloux.309p.
- DOUCET, J.-L., BOUBADY, A-G., MOUNGAZI, A.& ISSEMBE Y. , 2001.Suivi de la dynamique des populations des essences commerciales et interventions sylvicoles dans les concessions de la société de la Haute Mondah. Rapport du « projet pilote de recherche appliquée et d'assistance technique aux exploitants forestiers dans le cadre de la gestion durable des forêts d'Afrique centrale » Neda WW113427. IRET, Libreville; WWF, Bruxelles; Unité de sylviculture, Faculté Universitaire des Sciences agronomique de Gembloux. 55p.
- DOMMERGUES, Y. , 1952. La prospection des peuplements forestiers tropicaux par application des méthodes statistiques. 169p.
- DRYVER, A.L., 2003.Performance of adaptive cluster sampling estimators in a multivariate setting. Environment and Ecological statistics 10 (1) 107-113.
- DUPUY, B., 1998. Bases pour une sylviculture en forêt dense tropicale humide africaine. CIRAD-forêt.Campus International de Baillarguet. 34032 Montpellier cedex 1 France. 387p.

- FAVRICHON, V., SYLVIE GOURLET-FREURY, AVNER, B. et HELENE, D., 1998. Parcelles permanentes de recherche en forêt tropicale dense humide. Eléments pour une méthodologie d'analyse de données. CIRAD-Forêts campus International de Baillarguet. 73p.
- FLORES, O., 2005. Détermination de la régénération chez 15 espèces d'arbres tropicaux en forêt Guyanaise, les effets de l'environnement et de la délimitation par dispersion. Thèse de doctorat, Université de Montpellier II, Montpellier, 306p.
- GODARD, V., 2006. Réflexion sur le plan d'échantillonnage appliquée à la quantification des paysages. Exemples d'évaluations des dégâts tempétueux observés dans deux forêts françaises (Conches –Breteuil, Eure, et Fontainebleau, Seine- et – Marne). 20 p.
- GOBERT, A., 2002. Etude de la régénération naturelle de quelques essences commerciales au Gabon. Mémoire de fin d'études, Faculté universitaire des sciences agronomiques de Gembloux, 78p.
- GOREAUD, F., 2005. Initiation à l'analyse spatiale d'ensembles de points. Application aux peuplements forestiers. Notes de cours de Master de développement des territoires ruraux. 82p.
- HEILBUTH, J., ILVES, K. et OTTO, S., 2001. The consequences of dioecy for seed dispersal: modeling the seed-shadow handicap, *Evaluation*, 55(5): 880-888.
- HINES, D. and ECKMAN, K., 1993. Indigenous multipurpose trees of Tanzania: uses and economic benefits for people. Cultural survival and development foundation of Tanzania, 157p.
- HIGGINS, 2004. Rapid tropical forest inventory: a comparison of techniques based on inventory data from western Amazonia *conservation Biology* 18 (3):799-811.

- KAMABU V. & LEJOLY J., 1994. Productivité et minéralomasse dans un système agro forestier à Kisangani (Zaïre). In Collection Recherche et Développement, Université Libre de Bruxelles, 23-24 mai 1990. Annales Faculté des Sciences, pp. 57-60.
- KHAN, F, 1982. La reconstitution de la forêt tropicale humide (Sud-ouest de la Côte d'Ivoire) Mémoire, ORSTOM, 97,150p.
- KYEREH, M, SWAINE, D and THOMPSON, J, 1999. Effect of light on the germination of the forest trees in Ghana. *Journal of ecology*. P87, 772-783.
- KUMBA, S., 2007. Analyse de la structure spatiale des données ponctuelles par les méthodes des distances appliquées en écologie du paysage. Cas de la Réserve Forestière de la Yoko à Kisangani (R.D.Congo). Mémoire de DEA. Fac Sci Université de Kisangani. 57p.
- KOMBELE, F., 2004. Diagnostic de la fertilité des sols dans la cuvette centrale congolaise. Thèse de doctorat, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques, Gembloux, pp12-25.
- LEBRUN, J. et GILBERT, G., 1954. Une classification écologique des forêts du Congo. Publ.INEAC.Série SC.N°63 :89pp.
- LETOUZEY, R., 1982. Manuel de botanique forestière. Afrique tropicale. Tome 1. Botanique générale. Centre technique forestier tropical. 45 bis, Av. de la Belle-Gabrielle, 94 - Nogent s/Marne, 461 p.
- LECOMPTE, H. et RONDEUX, J., 2002. Les inventaires forestiers nationaux en Europe : Tentative de synthèse. Les cahiers forestiers de Gembloux. Unité de Gestion et Economie forestière. Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, B-5030 Gembloux-Belgique.
- LOMBA, B. et NDJELE, M-B., 1998.Utilisation de la méthode de transect en vue de l'étude de la phytodiversité dans la réserve de Yoko (Ubundu, RD. Congo). Annales (11), Fac.Sci.UNIKIS, 35-46.

- LOUPPE, A.A., OTENG, A, et BRINK, M., 2008. Bois d'oeuvre1. Ressources végétales de l'Afrique tropicale 7 (1). Fondation PROTA/Backhys publishers/CTA Wageningen, Pays-Bas.785p.
- LUBINI, A., 1982. Végétation messicole et pos culturale des sous -régions de Kisangani et de la Tshopo (Haut -Zaire). Thèse de doctorat, Université de Kisangani, Kisangani, 489 p.
- MEDAIL, F. et VERLAQUE, R., 1997. Ecological characteristics and rarity of endemic plants from southeast France and Corsica: implications for biodiversity conservation. *Biological Conservation*, 80, 269-281.
- MIER, L. and PICQUELLE, J., 2008. Estimating abundance of spatially aggregated populations: comparing adaptive sampling with other survey designs. 197p.
- MINEF, 1998. Directives nationales pour l'aménagement durable des forêts naturelles du Cameroun. Cameroun, 43p.
- NSHIMBA, S.M., 2008. Etude floristique, écologie et phytosociologique des forêts de l'île Mbiye à Kisangani, RD Congo. Thèse de doctorat, ULB, 389 p.
- NYAKABWA, M., 1982. Phytocenose de l'écosystème urbain de Kisangani. Thèse de doctorat inédit, volI, Fac des Sciences, UNIKIS, 428p.
- PIERLOT, R., 1966. Structure et composition des forêts denses d'Afrique centrale, spécialement celles du Kivu. Bruxelles, Académie Royale des sciences d'outre-mer, classe des Sciences Naturelles et Médicales. 367 p
- PHILIPS, 2003: Efficient plot- based floristic assessment of tropical forests. *Journal of ecology* 19:629-645
- PICARD, N., 2008. Rapport de pré inventaire réalisé dans le dispositif de la Yoko à Kisangani/ RDC.
- QUARRE, P.& MOLLS, A., 1945. Contribution à l'étude des plantes toxiques du Katanga, comité spécial du Katanga, Elisabethville. 72p.



- REITSMA, J. M., 1988. Végétation forestière du Gabon. The Neetherlands, The Tropenbos Founation Ede, 142 p.
- ROLLET, B., 1979. Application de diverses méthodes d'analyse de données à des inventaires forestiers détaillés levés en forêt tropicale. *O Ecol. Plant.*14 (3): 549-562.
- ROESCH, A, 1993. Adaptive cluster sampling for forest inventories. *For. Sci.*39, 655-669.
- RONDEUX J , 1999. La mesure des arbres et des peuplements forestiers. Gembloux, les presses agronomiques de Gembloux, 521p.
- SALEHI, M, 2002. Comparison between Hansen-Hurwitz and Horvitz-Thompson estimators for adaptive cluster sampling. *Environmental and ecological statistics* 10 (1), 115-127.
- SALEHI, M., 2003. Adaptive cluster sampling for estimation of deforestation rates.74p.
- SENTERRE, B., 2005.Recherches méthodologiques pour la typologie de la végétation et la phytogéographie des forêts denses d'Afrique tropicale. Thèse doctorale, ULB. 372p.
- SCHERRER, B., 2007. Biostatistique. Volume1, 2ème edition.France Vandal. 90p.
- SCHREUDER, H., CZAPLEWSKI, R., BAILEY,R., 2000. Combining mapped and statistical data in forest ecological inventory and monitoring supplementing an existing system. *Journal of environmental monitoring and assessment*, in press.
- SHRESTHA, T, JOSHI, R., 1996.Rare, endemic and endangered plants of Nepal.WWF Nepal program, Kathmandu, Nepal.
- TALVITIE, M., LEINO, O., MARKUS, H., 2006. Inventory of Sparse Forest Populations Using Adaptive Cluster Sampling. *Silva Fennica* 40 (1): 101–108.
- THIEBLAUTH, A., 1965. Nomenclature générale de bois tropicaux. Association Technique International des bois tropicaux. Nogent-sur-Marne, 283p.

- THOMPSON, S., 1991. Adaptive cluster sampling: design with primary and secondary units. *Biometrics* 47, 1103-1115.
- THOMPSON, S., 1992. *Sampling*. Wiley, New York.
- THOMPSON, S., SEBER, G., 1996. *Adaptive sampling*, Wiley, New York.
- THURESSON, T., 2002. Valeur de l'échantillonnage de terrain à faible intensité dans les inventaires forestiers nationaux. *Journal Suédois*. 27 p.
- TRAISSAC, M-S., 2003. Dynamique spatiale de *Vouacapoua americana* (Aublet), arbre de la forêt tropicale humide à répartition agrégée. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard-Lyon I, 222 p.
- TROCHAIN, J-J, 1980. *Ecologie végétale de la zone intertropicale non désertique*. Université Paul Sabatier, Toulouse, 468p.
- TURK, P., BORKOWSKI, J.J., 2005. A review of adaptive cluster sampling: 1990-2003. *Environmental and Ecological statistics* 12 (1), 55-94.
- UNEP, 1992. *Combating deforestation. Report of the United Nations Conference on environment and development*, Rio de Janeiro, 3-14.
- VAN GENERDEN, 2004. *Disturbant diversity and distribution in central African rain forest*. These de doctarant, Université de Wegennigen, 167 p.
- VANDEWEGHE J-P., 2004. *Forêts d'Afrique centrale*. Lannoo SA, Tielt-Belgique, 307p.
- VITOUSEK P.M., Mooney H.A., Lubchenco J. & Melilo J.M. (1997) Human domination of earth's Ecosystems. *Science*, 277, 494-499p.
- WEBB T-J & GASTON K.J, 1967. Studies in the numerical analysis of complex rain- forest communities II. The problem of species- sampling. *Journal of Ecology* 55 (2): 525-538.
- WHITEMORE T. C., 1990. *An introduction to tropical rain forests*. Oxford, Uk. Clarendon Press, 226.

WOME, B., 1985. Recherches ethnopharmacognosiques sur les plantes médicinales utilisées en médecine traditionnelle à Kisangani (Haut-Zaïre), thèse doct., Univ.Libre Bruxelles, 561p.

## TABLE DES MATIERES

DEDICACE

REMERCIEMENTS

RÉSUMÉ

ABSTRACT

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
1. Problématique .....	1
2. Objectifs de l'étude .....	8
2.1. Objectif général .....	8
2.2. Objectifs spécifiques de l'étude .....	8
3. Hypothèse .....	8
4. Intérêts du travail .....	8
5. Quelques travaux antérieurs .....	9
<b>Chapitre premier : DESCRIPTION DU MILIEU D'ETUDE.....</b>	<b>13</b>
I.1. Situation administrative et géographique .....	13
I.1.1 La réserve forestière de Yoko .....	13
I.1.2 Climat .....	14
I.1.3 Végétation .....	15
I.1.4 Sols .....	16
I.2. Influence des activités humaines sur la réserve .....	17
I.2.1. Agriculture itinérante sur brûlis .....	17
I.2.2. Exploitation forestière .....	18
I.2.3. Coupe et fabrication de charbon de bois. ....	18
I.2.4. Cueillette .....	18
I.2.5. Chasse et pêche .....	18
I.2.6. Elevage .....	19
I.3. Brève présentation des espèces .....	19
I.3.1 Aiélé Nom scientifique: <i>Canarium schweinfurthii</i> . Engl (Burseraceae) .....	19
I.3.2. Dabema Nom scientifique: <i>Piptadeniastrum africanum</i> . Brenam (Fabaceae) .....	20
I.3.3. Essessang <i>Ricinodendron heudelotii</i> . (Bail) Pierre ex Pax .....	21
I.3.4. Iroko Nom scientifique: <i>Milicia excelsa</i> (Moraceae). ....	22
I.4. Valeurs socio-économiques des espèces .....	24

I.5. Bref aperçu sur la répartition spatiale des espèces .....	25
I.5.1. De la répartition agrégative à la rareté des espèces .....	26
I.5.2. Définition.....	27
I.5.3. Mesures de la rareté utilisées en écologie.....	28
<b>Chapitre deuxième : METHODOLOGIE DU TRAVAIL .....</b>	<b>30</b>
II.1. Désignation des placettes .....	32
II.1.2 Dispositif expérimental .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
II.1.3 Cheminement des inventaires.....	35
II.2.1 Dispositif expérimental .....	36
II.2.2 Inventaire.....	37
II.2.3 Choix du site.....	37
II.3 Paramètres à utiliser pour l'analyse des données.....	38
II.3.1 L'estimateur d'Hurwitz-Thompson.....	39
II.3.2 Le coefficient de variation et le biais. ....	39
II.3.2.1. Le coefficient de variation.....	39
II.3.2.2. Le biais.....	40
II.3.3 L'erreur d'échantillonnage.....	40
II.3.4 Nombre moyen de placettes inventoriées, temps affecté aux inventaires et l'efficacité de deux méthodes.....	41
II.3.4.1. Nombre moyen de placettes inventoriées.....	41
II.3.4.2 Temps affecté aux inventaires .....	41
II.3.4.3 Efficacité de deux méthodes.....	42
<b>Chapitre troisième : PRESENTATION DES RESULTATS .....</b>	<b>44</b>
III.1. L'estimateur de Horvitz-Thompson .....	44
III.1.1 <i>Piptadeniastrum africanum</i> ( $\lambda=0.3071 h\alpha^{-1}$ ) .....	44
III.1.2 <i>Ricinodendron heudelotii</i> ( $\lambda=0.3949h\alpha^{-1}$ ) .....	45
III.1.3 <i>Canarium schweinfurthii</i> ( $\lambda=0.2863h\alpha^{-1}$ ) .....	46
III.1.4 <i>Milicia excelsa</i> ( $\lambda=0.2533h\alpha^{-1}$ ).....	46
III.2 Variation des Ecart-Types en fonction de tailles de placettes .....	47
III.3 Variation du biais en fonction des tailles de placettes.....	49
III.4 Erreur d'échantillonnage (précision) .....	50
III.4.1 Méthode classique.....	51
III.4.2 Méthode adaptative.....	52
III.5 Nombre de placettes inventoriées en moyenne et la durée de temps des inventaires. .	53
III.5.1 Nombre de placettes inventoriées en moyenne.....	53
III.5.2. La durée du temps des inventaires et l'efficacité de deux méthodes d'inventaire	54

---

<b>Chapitre quatrième : DISCUSSION DES RESULTATS.....</b>	<b>57</b>
4.1 Estimateur de Hurvitz-Thompson .....	57
4.1. Variation des Ecart-Types en fonction de tailles des placettes.....	58
4.2. Variation des biais en fonction de tailles de placettes .....	58
4.3. Erreur d'échantillonnage .....	58
4.4. Nombre moyen de placettes inventoriées, la durée de temps d'inventaire et l'efficiencia de deux méthodes. ....	62
4.4.1. Nombre moyen de placettes inventoriées .....	62
4.4.2. Durée de temps d'inventaire .....	62
<b>CONCLUSION ET SUGGESTIONS.....</b>	<b>66</b>
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	68
ANNEXES	

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Effectif de placettes (xk) et d'arbres (yk) et les probabilités d'intersection ( $\alpha_k$ ) de k=8 réseaux représentés sur la figure 1 dans les annexes.....	44
Tableau 2 : Effectif de placettes (xk) et d'arbres (yk) et les probabilités d'intersection ( $\alpha_k$ ) de k=16 réseaux représentés sur la figure 2 dans les annexes.....	45
Tableau.4 : Effectif de placettes (xk) et d'arbres (yk) et les probabilités d'intersection ( $\alpha_k$ ) de k=9 réseaux représentés sur la fig. 4 dans les annexes.....	46
Tableau 5. Erreur d'échantillonnage de deux méthodes d'inventaire suivant les espèces et les différentes tailles de placettes.....	51
Tableau 6: Effectif moyen des placettes inventoriées selon le mode d'estimation, suivant les différentes tailles de placettes par espèce.....	53
Tableau 7. Le temps de l'inventaire (minutes) d'une placette selon les différentes tailles.....	54

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Illustration de la faible éventualité de rencontrer une espèce rare et agrégative. ....	6
Figure 2. Carte de la RD Congo, Ville de Kisangani et localisation de la Réserve forestière de Yoko (en petit cercle jaune). (Source : Vancustem, 2006 ; Google earth in KUMBA, 2007)).....	13
Figure 3. Localisation de la Réserve forestière de la Yoko, Ubundu, RD Congo (encadrée en rouge).....	14
Figure 4. Diagramme ombrothermique de Kisangani de 1987-1996.....	15
Figure 5. Feuilles et gousses du <i>Piptadeniastrum africanum</i> .....	20
Figure 6. Base du tronc du Dabema ( <i>Piptadeniastrum africanum</i> ) .....	20
Figure 7. Drupes vertes de l'espèce <i>Ricinodendron heudelotii</i> .....	22
Figure 7. Tronc du <i>Milicia excelsa</i> .....	22
Figure 9. Disposition de 8 placettes adjacentes à la placette noyau de la procédure adaptative. ....	31
La figure 2. Représente notre dispositif. ....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Légende :                   : Les placettes primaires initiales.....	34
Figure10. Schéma du dispositif expérimental en rapport avec les 5 ha.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 11. Subdivision du dispositif en blocs et en placettes. En noir on a les placettes primaires initiales (deux placettes initiales par bloc). Ce schéma est conforme pour des placettes de 50m ×50m. Source : Picard, 2009.....	36
Figure 12. Dispositif de 400ha de la réserve de la Yoko. Source: Picard, 2008.....	43



Figure 13. Variation de l'écart-type en fonction des tailles de placettes. En jaune l'espèce *Ricinodendron heudelotii* (Essessang) ; en vert l'espèce *Piptadeniastrum africanum* (Dabema) ; en rouge l'espèce *Canarium schweinfurthii* (Aielé) et en bleu l'espèce *Milicia excelsa* (Iroko). Le trait plein indique la méthode classique et en pointillé la méthode adaptative. .... 47

Figure 14. Variation du biais avec la taille des placettes. En jaune l'espèce *Ricinodendron heudelotii* (Essessang) ; en vert l'espèce *Piptadeniastrum africanum* (Dabema) ; en rouge l'espèce *Canarium schweinfurthii* (Aielé) et en bleu l'espèce *Milicia excelsa* (Iroko). Le trait plein indique la méthode classique et en pointillé la méthode adaptative. .... 49

Figure 15. Efficience de deux méthodes selon les différentes tailles de placettes. A gauche les espèces Aielé et Dabema à droite. .... 55

Figure 16. Efficience de deux méthodes selon les différentes tailles de placettes suivant les espèces. En bleu la méthode classique et en rose la méthode adaptative. Avec (1=10m\*10m,...). A gauche l'espèce Iroko et à droite l'Essessang. .... 55

## ANNEXES I.

REPARTITION DES PIEDS DE *QUATRE ESPECES* DANS LES 400ha PARTANT DE LA

TAILLE DE 50m × 50m.

*Piptadeniastrum africanum* ( $\lambda=0.3071 \text{ ha}^{-1}$ )

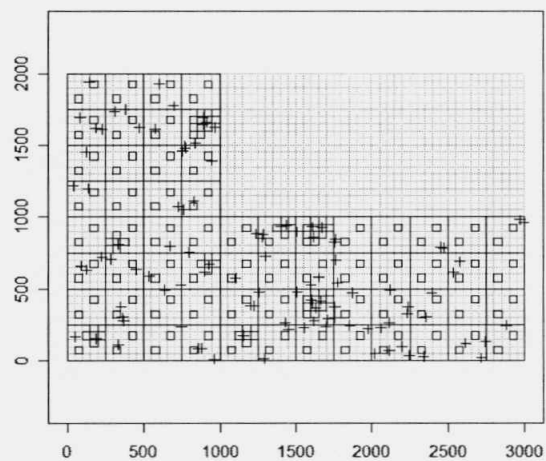


Figure 17. Répartition des agrégats de l'espèce *Piptadeniastrum africanum*

*Ricinodendron heudelotii* ( $\lambda=0.3949 \text{ ha}^{-1}$ )

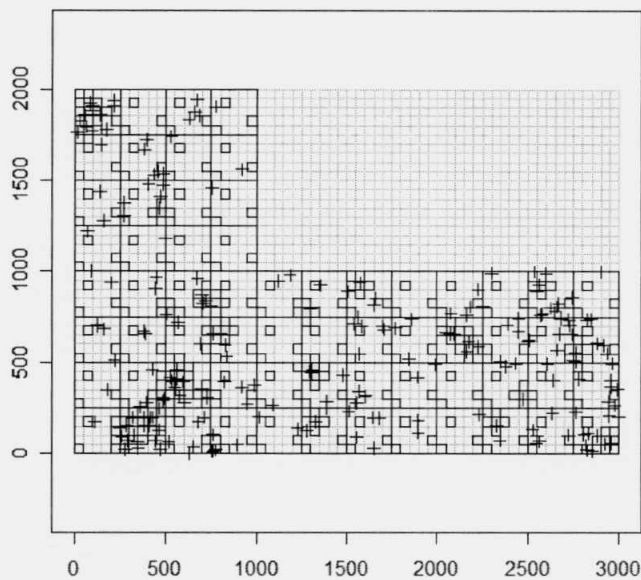


Figure 18. Répartition des agrégats de l'espèce *Ricinodendron heudelotii*

*Canarium schweinfurthii* ( $\lambda=0.2863\text{h}\bar{a}^{-1}$ )

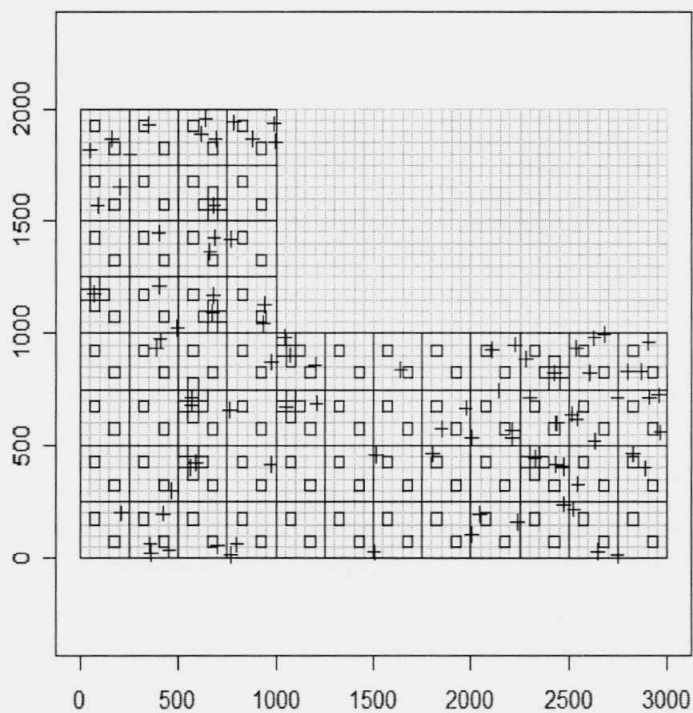


Figure 19. Répartition des agrégats de l'espèce *Canarium schweinfurthii*

*Milicia excelsa* ( $\lambda=0.2533\text{ha}^{-1}$ )

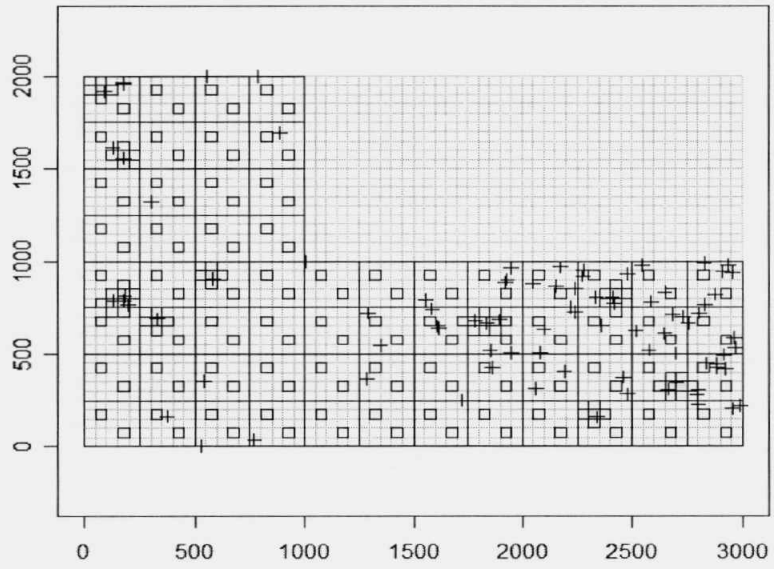


Figure 20. Répartition des agrégats de l'espèce *Milicia excelsa*

## ANNEXES II. QUELQUES FORMULES UTILISEES

L'estimateur de la densité de Horvitz-Thompson est alors (Acharya et al. ,2000 ; Dryves, 2003 ; Saheli,2003 ; Turk and Borkowski, 2005 ; Talvitie et al. ,2006) :

$$\hat{\lambda} = \frac{1}{AMN} \sum_{k=1}^K \frac{y_k}{\alpha_k}$$

Où  $\lambda$  est le nombre de tiges par unité de surface, A est la surface de la parcelle unitaire et

$$\alpha_k = 1 - \frac{C_{N-x_k}^n}{C_N^n}$$

où  $C_p^n$  avec  $p \geq n$  est le nombre de façon de choisir  $n$  éléments parmi  $p$  :

$$C_p^n = \frac{p!}{n!(p-n)!} \quad \text{avec } x! = 1 \times 2 \times 3 \times \dots \times (x-1) \times x$$

Selon DOMMERGUES, 1952

$EE = \delta \times 1,96$  ; pour une probabilité de 0,05.

Avec  $\delta$  comme l'écart - type et EE comme l'erreur d'échantillonnage.

Il préconise l'intervalle suivant :

$$\theta - \theta \times \frac{EE}{100} < t < \theta + \theta \times \frac{EE}{100}$$

Où  $\theta$  est la densité.

**ANNEXES III. ESTIMATION DE LA DENSITE SELON LES DEUX METHODES A PARTIR DES DIFFERENTES CLASSES DE TAILLE.**

Jeu de donnée

Qui reprend les espèces, les tailles variables de placettes en mètre (m), le nombre de placettes contenues dans un bloc de 25m × 250m, le nombre de placettes primaires initiales (n=2), la vraie densité, la densité issue de la méthode classique et celle de la méthode adaptative.

Tableau 8. Estimation de la densité de deux méthodes

Espèces	Taille placette(m)	N	n	Vraie densité	Estimation classique	Estimation adaptative
Essessang	10	625	2	0,5725	0	0
Essessang	10	625	2	0,5725	0,78125	0,78125
Essessang	10	625	2	0,5725	0,78125	0,78125
Essessang	10	625	2	0,5725	0	0
Essessang	10	625	2	0,5725	0,78125	0,78125
Essessang	10	625	2	0,5725	0,78125	0,78125
Essessang	10	625	2	0,5725	0,78125	0,78125
Essessang	10	625	2	0,5725	0	0
Essessang	10	625	2	0,5725	0	0
Essessang	10	625	2	0,5725	1,5625	1,5625
Essessang	10	625	2	0,5725	0	0
Essessang	10	625	2	0,5725	0	0
Essessang	10	625	2	0,5725	0	0
Essessang	10	625	2	0,5725	0,78125	0,78125
Essessang	10	625	2	0,5725	0	0
Essessang	10	625	2	0,5725	2,34375	2,344376504
Essessang	10	625	2	0,5725	0,78125	0,78125
Essessang	10	625	2	0,5725	0	0
Essessang	10	625	2	0,5725	0	0
Essessang	10	625	2	0,5725	0	0
Essessang	10	625	2	0,5725	0	0
Essessang	10	625	2	0,5725	0,78125	0,78125
Essessang	10	625	2	0,5725	0	0
Essessang	10	625	2	0,5725	0,78125	0,78125
Essessang	10	625	2	0,5725	0,78125	0,78125
Essessang	10	625	2	0,5725	1,5625	1,5625
Essessang	10	625	2	0,5725	0	0
Essessang	10	625	2	0,5725	0,78125	0,78125
Essessang	10	625	2	0,5725	0,78125	0,78125
Essessang	10	625	2	0,5725	0,78125	0,78125
Essessang	10	625	2	0,5725	0,78125	0,78125
Essessang	10	625	2	0,5725	0	0
Essessang	10	625	2	0,5725	0,78125	0,78125
Essessang	10	625	2	0,5725	1,5625	1,5625
Essessang	10	625	2	0,5725	0,78125	0,78125
Essessang	10	625	2	0,5725	0	0
Essessang	10	625	2	0,5725	0,78125	0,78125
Essessang	10	625	2	0,5725	1,5625	1,5625
Essessang	10	625	2	0,5725	0,78125	0,78125
Essessang	10	625	2	0,5725	0	0
Essessang	10	625	2	0,5725	0,78125	0,78125
Essessang	10	625	2	0,5725	1,5625	1,5625



Espèces	Taille placette(m)	N	n	Vraie densité	Estimation classique	Estimation adaptative
Essessang	10	625	2	0,5725	0,78125	0,78125
Essessang	10	625	2	0,5725	1,5625	1,5625
Essessang	10	625	2	0,5725	0,78125	0,78125
Essessang	10	625	2	0,5725	0	0
Essessang	10	625	2	0,5725	0	0
Essessang	10	625	2	0,5725	0,78125	0,78125
Essessang	10	625	2	0,5725	0	0
Aielé	10	625	2	0,2375	0	0
Aielé	10	625	2	0,2375	0,78125	0,78125
Aielé	10	625	2	0,2375	0	0
Aielé	10	625	2	0,2375	0	0
Aielé	10	625	2	0,2375	0	0
Aielé	10	625	2	0,2375	0	0
Aielé	10	625	2	0,2375	0	0
Aielé	10	625	2	0,2375	0	0
Aielé	10	625	2	0,2375	0	0
Aielé	10	625	2	0,2375	0	0
Aielé	10	625	2	0,2375	0,78125	0,78125
Aielé	10	625	2	0,2375	0	0
Aielé	10	625	2	0,2375	0	0
Aielé	10	625	2	0,2375	0	0
Aielé	10	625	2	0,2375	0	0
Aielé	10	625	2	0,2375	0	0
Aielé	10	625	2	0,2375	0	0
Aielé	10	625	2	0,2375	0	0
Aielé	10	625	2	0,2375	0	0
Aielé	10	625	2	0,2375	0	0
Aielé	10	625	2	0,2375	0	0
Aielé	10	625	2	0,2375	0,78125	0,78125
Aielé	10	625	2	0,2375	0	0
Aielé	10	625	2	0,2375	0,78125	0,78125
Aielé	10	625	2	0,2375	0	0
Aielé	10	625	2	0,2375	0	0
Aielé	10	625	2	0,2375	0	0
Aielé	10	625	2	0,2375	0	0
Aielé	10	625	2	0,2375	0,78125	0,78125
Aielé	10	625	2	0,2375	0,78125	0,78125
Aielé	10	625	2	0,2375	0	0

Espèces	Taille placette(m)	N	n	Vraie densité	Estimation classique	Estimation adaptative
Aielé	10	625	2	0,2375	0	0
Aielé	10	625	2	0,2375	0,78125	0,78125
Aielé	10	625	2	0,2375	0,78125	0,78125
Aielé	10	625	2	0,2375	0	0
Aielé	10	625	2	0,2375	0	0
Aielé	10	625	2	0,2375	0	0
Aielé	10	625	2	0,2375	0	0
Aielé	10	625	2	0,2375	0	0
Aielé	10	625	2	0,2375	0	0
Aielé	10	625	2	0,2375	1,5625	1,5625
Aielé	10	625	2	0,2375	0	0
Aielé	10	625	2	0,2375	0	0
Aielé	10	625	2	0,2375	0	0
Aielé	10	625	2	0,2375	0	0
Essessang	25	100	2	0,5725	0,25	0,25
Essessang	25	100	2	0,5725	1,125	1,126269036
Essessang	25	100	2	0,5725	0,375	0,375634518
Essessang	25	100	2	0,5725	0,5	0,500634518
Essessang	25	100	2	0,5725	0,625	0,627557595
Essessang	25	100	2	0,5725	0,875	0,876269036
Essessang	25	100	2	0,5725	0,5	0,5
Essessang	25	100	2	0,5725	0,125	0,125
Essessang	25	100	2	0,5725	0,375	0,37627551
Essessang	25	100	2	0,5725	0,625	0,62627551
Essessang	25	100	2	0,5725	0,625	0,625634518
Essessang	25	100	2	0,5725	0,625	0,625634518
Essessang	25	100	2	0,5725	0,875	0,939086294
Essessang	25	100	2	0,5725	0,25	0,250634518
Essessang	25	100	2	0,5725	0,625	0,625634518
Essessang	25	100	2	0,5725	0,5	0,5
Essessang	25	100	2	0,5725	0,25	0,251923077
Essessang	25	100	2	0,5725	0,5	0,50127551
Essessang	25	100	2	0,5725	0,625	0,625634518
Essessang	25	100	2	0,5725	0,75	0,75257732
Essessang	25	100	2	0,5725	0,625	0,50257732
Essessang	25	100	2	0,5725	0,875	0,875634518
Essessang	25	100	2	0,5725	0,25	0,250634518
Essessang	25	100	2	0,5725	0,75	0,751910028
Essessang	25	100	2	0,5725	0,375	0,376923077
Essessang	25	100	2	0,5725	0,375	0,375
Essessang	25	100	2	0,5725	0,5	0,500634518
Essessang	25	100	2	0,5725	0,75	0,879467623
Essessang	25	100	2	0,5725	0,875	0,813451777

Espèces	Taille placette(m)	N	n	Vraie densité	Estimation classique	Estimation adaptative
Essessang	25	100	2	0,5725	0,5	0,439727287
Essessang	25	100	2	0,5725	0,625	0,625634518
Essessang	25	100	2	0,5725	0,625	0,501269036
Essessang	25	100	2	0,5725	0,5	0,500634518
Essessang	25	100	2	0,5725	0,875	0,87757732
Essessang	25	100	2	0,5725	1,125	1,12757732
Essessang	25	100	2	0,5725	0,625	0,62627551
Essessang	25	100	2	0,5725	0,75	0,750634518
Essessang	25	100	2	0,5725	0,375	0,375
Essessang	25	100	2	0,5725	0,625	0,625634518
Essessang	25	100	2	0,5725	0,375	0,37627551
Essessang	25	100	2	0,5725	1	1,000634518
Essessang	25	100	2	0,5725	0,625	0,625
Essessang	25	100	2	0,5725	0,625	0,625634518
Essessang	25	100	2	0,5725	0,25	0,25
Essessang	25	100	2	0,5725	0,75	0,751910028
Essessang	25	100	2	0,5725	0,25	0,250634518
Essessang	25	100	2	0,5725	0,375	0,375
Essessang	25	100	2	0,5725	0,125	0,125634518
Essessang	25	100	2	0,5725	0,5	0,5
Essessang	25	100	2	0,5725	0,875	0,87757732
Essessang	50	25	2	0,5725	0,4375	0,451131108
Essessang	50	25	2	0,5725	0,65625	0,715021311
Essessang	50	25	2	0,5725	0,46875	0,558289504
Essessang	50	25	2	0,5725	0,6875	0,675171617
Essessang	50	25	2	0,5725	0,53125	0,404243756
Essessang	50	25	2	0,5725	0,375	0,379224308
Essessang	50	25	2	0,5725	0,71875	0,752239533
Essessang	50	25	2	0,5725	0,65625	0,68300042
Essessang	50	25	2	0,5725	0,65625	0,694552224
Essessang	50	25	2	0,5725	0,71875	0,711928111
Essessang	50	25	2	0,5725	0,53125	0,606855647
Essessang	50	25	2	0,5725	0,5625	0,523780159
Essessang	50	25	2	0,5725	0,5625	0,592348999
Essessang	50	25	2	0,5725	0,84375	0,880756724
Essessang	50	25	2	0,5725	0,34375	0,325329381
Essessang	50	25	2	0,5725	0,5625	0,476827509
Essessang	50	25	2	0,5725	0,5	0,514552995
Essessang	50	25	2	0,5725	0,65625	0,608996797
Essessang	50	25	2	0,5725	0,5	0,51711939
Essessang	50	25	2	0,5725	0,6875	0,685370911
Essessang	50	25	2	0,5725	0,46875	0,477052322
Essessang	50	25	2	0,5725	0,65625	0,62839963

Espèces	Taille placette(m)	N	n	Vraie densité	Estimation classique	Estimation adaptative
Essessang	50	25	2	0,5725	0,65625	0,618223867
Essessang	50	25	2	0,5725	0,5625	0,595005123
Essessang	50	25	2	0,5725	0,71875	0,67655577
Essessang	50	25	2	0,5725	0,5625	0,535204496
Essessang	50	25	2	0,5725	0,71875	0,711928111
Essessang	50	25	2	0,5725	0,5625	0,562725889
Essessang	50	25	2	0,5725	0,625	0,638371429
Essessang	50	25	2	0,5725	0,5625	0,570958697
Essessang	50	25	2	0,5725	0,65625	0,637711914
Essessang	50	25	2	0,5725	0,59375	0,574018866
Essessang	50	25	2	0,5725	0,5	0,538874032
Essessang	50	25	2	0,5725	0,46875	0,348246047
Essessang	50	25	2	0,5725	0,46875	0,522159588
Essessang	50	25	2	0,5725	0,625	0,638371429
Essessang	50	25	2	0,5725	0,53125	0,522658822
Essessang	50	25	2	0,5725	0,71875	0,684711395
Essessang	50	25	2	0,5725	0,53125	0,545112644
Essessang	50	25	2	0,5725	0,65625	0,637711914
Essessang	50	25	2	0,5725	0,65625	0,618223867
Essessang	50	25	2	0,5725	0,65625	0,62839963
Essessang	50	25	2	0,5725	0,6875	0,699218043
Essessang	50	25	2	0,5725	0,5625	0,598822289
Essessang	50	25	2	0,5725	0,5625	0,592348999
Essessang	50	25	2	0,5725	0,59375	0,610326584
Essessang	50	25	2	0,5725	0,5625	0,535204496
Essessang	50	25	2	0,5725	0,75	0,710557448
Essessang	50	25	2	0,5725	0,65625	0,765204398
Essessang	50	25	2	0,5725	0,625	0,643553248
Essessang	125	4	2	0,5725	0,59	0,568
Essessang	125	4	2	0,5725	0,58	0,549
Essessang	125	4	2	0,5725	0,545	0,563
Essessang	125	4	2	0,5725	0,56	0,569
Essessang	125	4	2	0,5725	0,555	0,582
Essessang	125	4	2	0,5725	0,56	0,569
Essessang	125	4	2	0,5725	0,555	0,582
Essessang	125	4	2	0,5725	0,575	0,574
Essessang	125	4	2	0,5725	0,575	0,574
Essessang	125	4	2	0,5725	0,575	0,574
Essessang	125	4	2	0,5725	0,575	0,574
Essessang	125	4	2	0,5725	0,56	0,569
Essessang	125	4	2	0,5725	0,59	0,568
Essessang	125	4	2	0,5725	0,545	0,563
Essessang	125	4	2	0,5725	0,58	0,549

Espèces	Taille placette(m)	N	n	Vraie densité	Estimation classique	Estimation adaptative
Essessang	125	4	2	0,5725	0,555	0,582
Essessang	125	4	2	0,5725	0,59	0,568
Essessang	125	4	2	0,5725	0,59	0,568
Essessang	125	4	2	0,5725	0,56	0,569
Essessang	125	4	2	0,5725	0,58	0,549
Essessang	125	4	2	0,5725	0,59	0,568
Essessang	125	4	2	0,5725	0,555	0,582
Essessang	125	4	2	0,5725	0,575	0,574
Essessang	125	4	2	0,5725	0,59	0,568
Essessang	125	4	2	0,5725	0,59	0,568
Essessang	125	4	2	0,5725	0,575	0,574
Essessang	125	4	2	0,5725	0,555	0,582
Essessang	125	4	2	0,5725	0,59	0,568
Essessang	125	4	2	0,5725	0,575	0,574
Essessang	125	4	2	0,5725	0,575	0,574
Essessang	125	4	2	0,5725	0,56	0,569
Essessang	125	4	2	0,5725	0,56	0,569
Essessang	125	4	2	0,5725	0,575	0,574
Essessang	125	4	2	0,5725	0,56	0,569
Essessang	125	4	2	0,5725	0,59	0,568
Essessang	125	4	2	0,5725	0,56	0,569
Essessang	125	4	2	0,5725	0,545	0,563
Essessang	125	4	2	0,5725	0,59	0,568
Essessang	125	4	2	0,5725	0,555	0,582
Essessang	125	4	2	0,5725	0,59	0,568
Essessang	125	4	2	0,5725	0,59	0,568
Essessang	125	4	2	0,5725	0,555	0,582
Essessang	125	4	2	0,5725	0,545	0,563
Essessang	125	4	2	0,5725	0,575	0,574
Essessang	125	4	2	0,5725	0,59	0,568
Essessang	125	4	2	0,5725	0,575	0,574
Essessang	125	4	2	0,5725	0,555	0,582
Essessang	125	4	2	0,5725	0,59	0,568
Essessang	125	4	2	0,5725	0,545	0,563
Essessang	125	4	2	0,5725	0,545	0,563
Aielé	25	100	2	0,2375	0	0
Aielé	25	100	2	0,2375	0,625	0,625634518
Aielé	25	100	2	0,2375	0,125	0,125
Aielé	25	100	2	0,2375	0,25	0,25
Aielé	25	100	2	0,2375	0,125	0,125
Aielé	25	100	2	0,2375	0,5	0,5
Aielé	25	100	2	0,2375	0,125	0,125
Aielé	25	100	2	0,2375	0,25	0,25

Espèces	Taille placette(m)	N	n	Vraie densité	Estimation classique	Estimation adaptative
Aielé	25	100	2	0,2375	0,375	0,375
Aielé	25	100	2	0,2375	0	0
Aielé	25	100	2	0,2375	0	0
Aielé	25	100	2	0,2375	0,5	0,5
Aielé	25	100	2	0,2375	0,25	0,313451777
Aielé	25	100	2	0,2375	0	0
Aielé	25	100	2	0,2375	0,25	0,25
Aielé	25	100	2	0,2375	0,125	0,125
Aielé	25	100	2	0,2375	0,125	0,125
Aielé	25	100	2	0,2375	0,125	0,125
Aielé	25	100	2	0,2375	0,375	0,375
Aielé	25	100	2	0,2375	0	0
Aielé	25	100	2	0,2375	0,125	0,125
Aielé	25	100	2	0,2375	0,25	0,25
Aielé	25	100	2	0,2375	0,125	0,125
Aielé	25	100	2	0,2375	0,375	0,375634518
Aielé	25	100	2	0,2375	0	0
Aielé	25	100	2	0,2375	0,5	0,500634518
Aielé	25	100	2	0,2375	0,125	0,125
Aielé	25	100	2	0,2375	0	0
Aielé	25	100	2	0,2375	0,25	0,25
Aielé	25	100	2	0,2375	0	0
Aielé	25	100	2	0,2375	0,625	0,625
Aielé	25	100	2	0,2375	0,125	0,125
Aielé	25	100	2	0,2375	0,25	0,25
Aielé	25	100	2	0,2375	0	0
Aielé	25	100	2	0,2375	0,125	0,125
Aielé	25	100	2	0,2375	0	0
Aielé	25	100	2	0,2375	0,625	0,625
Aielé	25	100	2	0,2375	0,25	0,25
Aielé	25	100	2	0,2375	0,125	0,125
Aielé	25	100	2	0,2375	0,375	0,375
Aielé	25	100	2	0,2375	0	0
Aielé	25	100	2	0,2375	0,25	0,313451777
Aielé	25	100	2	0,2375	0,125	0,125
Aielé	25	100	2	0,2375	0,5	0,5
Aielé	25	100	2	0,2375	0,125	0,125
Aielé	25	100	2	0,2375	0,25	0,25
Aielé	25	100	2	0,2375	0,25	0,25
Aielé	25	100	2	0,2375	0,125	0,125
Aielé	25	100	2	0,2375	0	0
Aielé	25	100	2	0,2375	0,125	0,125
Aielé	50	25	2	0,2375	0,28125	0,282579787

Espèces	Taille placette(m)	N	n	Vraie densité	Estimation classique	Estimation adaptative
Aielé	50	25	2	0,2375	0,25	0,220079787
Aielé	50	25	2	0,2375	0,4375	0,424867021
Aielé	50	25	2	0,2375	0,09375	0,094414894
Aielé	50	25	2	0,2375	0,28125	0,267287234
Aielé	50	25	2	0,2375	0,21875	0,220773589
Aielé	50	25	2	0,2375	0,28125	0,282579787
Aielé	50	25	2	0,2375	0,34375	0,345744681
Aielé	50	25	2	0,2375	0,25	0,251329787
Aielé	50	25	2	0,2375	0,15625	0,157579787
Aielé	50	25	2	0,2375	0,25	0,267952128
Aielé	50	25	2	0,2375	0,15625	0,15625
Aielé	50	25	2	0,2375	0,375	0,36239593
Aielé	50	25	2	0,2375	0,1875	0,190188483
Aielé	50	25	2	0,2375	0,28125	0,283244681
Aielé	50	25	2	0,2375	0,25	0,236037234
Aielé	50	25	2	0,2375	0,3125	0,314523589
Aielé	50	25	2	0,2375	0,25	0,267952128
Aielé	50	25	2	0,2375	0,3125	0,33114593
Aielé	50	25	2	0,2375	0,3125	0,313829787
Aielé	50	25	2	0,2375	0,1875	0,204787234
Aielé	50	25	2	0,2375	0,1875	0,188829787
Aielé	50	25	2	0,2375	0,1875	0,190188483
Aielé	50	25	2	0,2375	0,15625	0,157579787
Aielé	50	25	2	0,2375	0,25	0,252023589
Aielé	50	25	2	0,2375	0,46875	0,455452128
Aielé	50	25	2	0,2375	0,25	0,251329787
Aielé	50	25	2	0,2375	0,15625	0,157579787
Aielé	50	25	2	0,2375	0,3125	0,314494681
Aielé	50	25	2	0,2375	0,15625	0,156914894
Aielé	50	25	2	0,2375	0,34375	0,330452128
Aielé	50	25	2	0,2375	0,34375	0,330452128
Aielé	50	25	2	0,2375	0,3125	0,314494681
Aielé	50	25	2	0,2375	0,3125	0,313829787
Aielé	50	25	2	0,2375	0,34375	0,298537234
Aielé	50	25	2	0,2375	0,09375	0,095773589
Aielé	50	25	2	0,2375	0,21875	0,220773589
Aielé	50	25	2	0,2375	0,28125	0,283244681
Aielé	50	25	2	0,2375	0,125	0,126358696
Aielé	50	25	2	0,2375	0,1875	0,188829787
Aielé	50	25	2	0,2375	0,25	0,251994681
Aielé	50	25	2	0,2375	0,34375	0,330452128
Aielé	50	25	2	0,2375	0,125	0,127023589
Aielé	50	25	2	0,2375	0,25	0,252023589

Espèces	Taille placette(m)	N	n	Vraie densité	Estimation classique	Estimation adaptative
Aielé	50	25	2	0,2375	0,28125	0,282579787
Aielé	50	25	2	0,2375	0,125	0,125664894
Aielé	50	25	2	0,2375	0,375	0,376329787
Aielé	50	25	2	0,2375	0,28125	0,283273589
Aielé	50	25	2	0,2375	0,1875	0,188164894
Aielé	50	25	2	0,2375	0,21875	0,219414894
Aielé	125	4	2	0,2375	0,23	0,2345
Aielé	125	4	2	0,2375	0,21	0,217
Aielé	125	4	2	0,2375	0,27	0,2235
Aielé	125	4	2	0,2375	0,23	0,2345
Aielé	125	4	2	0,2375	0,245	0,2495
Aielé	125	4	2	0,2375	0,205	0,2385
Aielé	125	4	2	0,2375	0,23	0,2345
Aielé	125	4	2	0,2375	0,245	0,2495
Aielé	125	4	2	0,2375	0,23	0,2345
Aielé	125	4	2	0,2375	0,245	0,2495
Aielé	125	4	2	0,2375	0,23	0,2345
Aielé	125	4	2	0,2375	0,245	0,2495
Aielé	125	4	2	0,2375	0,21	0,217
Aielé	125	4	2	0,2375	0,21	0,217
Aielé	125	4	2	0,2375	0,245	0,2495
Aielé	125	4	2	0,2375	0,27	0,2235
Aielé	125	4	2	0,2375	0,21	0,217
Aielé	125	4	2	0,2375	0,27	0,2235
Aielé	125	4	2	0,2375	0,205	0,2385
Aielé	125	4	2	0,2375	0,245	0,2495
Aielé	125	4	2	0,2375	0,265	0,2445
Aielé	125	4	2	0,2375	0,265	0,2445
Aielé	125	4	2	0,2375	0,205	0,2385
Aielé	125	4	2	0,2375	0,21	0,217
Aielé	125	4	2	0,2375	0,21	0,217
Aielé	125	4	2	0,2375	0,205	0,2385
Aielé	125	4	2	0,2375	0,27	0,2235
Aielé	125	4	2	0,2375	0,23	0,2345
Aielé	125	4	2	0,2375	0,23	0,2345
Aielé	125	4	2	0,2375	0,265	0,2445
Aielé	125	4	2	0,2375	0,245	0,2495
Aielé	125	4	2	0,2375	0,23	0,2345
Aielé	125	4	2	0,2375	0,27	0,2235
Aielé	125	4	2	0,2375	0,23	0,2345
Aielé	125	4	2	0,2375	0,265	0,2445
Aielé	125	4	2	0,2375	0,245	0,2495
Aielé	125	4	2	0,2375	0,205	0,2385





Espèces	Taille placette(m)	N	n	Vraie densité	Estimation classique	Estimation adaptative
Iroko	10	625	2	0,2225	0	0
Iroko	10	625	2	0,2225	0,78125	0,78125
Iroko	10	625	2	0,2225	0,78125	0,78125
Iroko	10	625	2	0,2225	0	0
Iroko	10	625	2	0,2225	0	0
Iroko	10	625	2	0,2225	0	0
Iroko	10	625	2	0,2225	0	0
Iroko	10	625	2	0,2225	0,78125	0,78125
Iroko	10	625	2	0,2225	0	0
Iroko	10	625	2	0,2225	0,78125	0,78125
Iroko	10	625	2	0,2225	0,78125	0,78125
Iroko	10	625	2	0,2225	0	0
Iroko	10	625	2	0,2225	0,78125	0,78125
Iroko	10	625	2	0,2225	0	0
Iroko	10	625	2	0,2225	0,78125	0,78125
Iroko	10	625	2	0,2225	0,78125	0,78125
Iroko	10	625	2	0,2225	0	0
Iroko	10	625	2	0,2225	0	0
Iroko	10	625	2	0,2225	0	0
Iroko	10	625	2	0,2225	0	0
Iroko	25	100	2	0,2225	0,25	0,25
Iroko	25	100	2	0,2225	0,375	0,375
Iroko	25	100	2	0,2225	0,375	0,375
Iroko	25	100	2	0,2225	0,125	0,125
Iroko	25	100	2	0,2225	0,375	0,375
Iroko	25	100	2	0,2225	0,25	0,25
Iroko	25	100	2	0,2225	0,625	0,625
Iroko	25	100	2	0,2225	0,125	0,125
Iroko	25	100	2	0,2225	0,125	0,125
Iroko	25	100	2	0,2225	0,125	0,125
Iroko	25	100	2	0,2225	0,25	0,25
Iroko	25	100	2	0,2225	0	0
Iroko	25	100	2	0,2225	0,375	0,37627551
Iroko	25	100	2	0,2225	0	0
Iroko	25	100	2	0,2225	0,25	0,25
Iroko	25	100	2	0,2225	0,25	0,25
Iroko	25	100	2	0,2225	0,375	0,37627551
Iroko	25	100	2	0,2225	0,25	0,25
Iroko	25	100	2	0,2225	0,25	0,25127551
Iroko	25	100	2	0,2225	0	0
Iroko	25	100	2	0,2225	0	0
Iroko	25	100	2	0,2225	0,125	0,125
Iroko	25	100	2	0,2225	0,125	0,125

Espèces	Taille placette(m)	N	n	Vraie densité	Estimation classique	Estimation adaptative
Iroko	25	100	2	0,2225	0,25	0,25
Iroko	25	100	2	0,2225	0,125	0,125
Iroko	25	100	2	0,2225	0,125	0,125
Iroko	25	100	2	0,2225	0,75	0,750634518
Iroko	25	100	2	0,2225	0,25	0,250634518
Iroko	25	100	2	0,2225	0,125	0,125
Iroko	25	100	2	0,2225	0,125	0,125
Iroko	25	100	2	0,2225	0	0
Iroko	25	100	2	0,2225	0,125	0,125
Iroko	25	100	2	0,2225	0,125	0,125
Iroko	25	100	2	0,2225	0	0
Iroko	25	100	2	0,2225	0	0
Iroko	25	100	2	0,2225	0,125	0,125
Iroko	25	100	2	0,2225	0,125	0,125
Iroko	25	100	2	0,2225	0,125	0,125
Iroko	25	100	2	0,2225	0,25	0,25
Iroko	25	100	2	0,2225	0,125	0,125
Iroko	25	100	2	0,2225	0,25	0,25
Iroko	25	100	2	0,2225	0,375	0,37627551
Iroko	25	100	2	0,2225	0	0
Iroko	25	100	2	0,2225	0,25	0,25
Iroko	25	100	2	0,2225	0,375	0,375
Iroko	25	100	2	0,2225	0,5	0,500634518
Iroko	25	100	2	0,2225	0,375	0,375
Iroko	25	100	2	0,2225	0,125	0,125
Iroko	25	100	2	0,2225	0,125	0,125
Iroko	25	100	2	0,2225	0,125	0,125
Iroko	50	25	2	0,2225	0,28125	0,263558048
Iroko	50	25	2	0,2225	0,1875	0,203110546
Iroko	50	25	2	0,2225	0,28125	0,297525439
Iroko	50	25	2	0,2225	0,15625	0,160297179
Iroko	50	25	2	0,2225	0,25	0,25
Iroko	50	25	2	0,2225	0,1875	0,189523589
Iroko	50	25	2	0,2225	0,1875	0,188829787
Iroko	50	25	2	0,2225	0,21875	0,219414894
Iroko	50	25	2	0,2225	0,25	0,250664894
Iroko	50	25	2	0,2225	0,25	0,264222942
Iroko	50	25	2	0,2225	0,03125	0,03125
Iroko	50	25	2	0,2225	0,3125	0,307730111
Iroko	50	25	2	0,2225	0,25	0,25
Iroko	50	25	2	0,2225	0,1875	0,188829787
Iroko	50	25	2	0,2225	0,15625	0,157579787
Iroko	50	25	2	0,2225	0,3125	0,328775439

Espèces	Taille placette(m)	N	n	Vraie densité	Estimation classique	Estimation adaptative
Iroko	50	25	2	0,2225	0,125	0,138558048
Iroko	50	25	2	0,2225	0,1875	0,1875
Iroko	50	25	2	0,2225	0,3125	0,328775439
Iroko	50	25	2	0,2225	0,3125	0,314494681
Iroko	50	25	2	0,2225	0,3125	0,313829787
Iroko	50	25	2	0,2225	0,09375	0,094414894
Iroko	50	25	2	0,2225	0,34375	0,336956522
Iroko	50	25	2	0,2225	0,125	0,125
Iroko	50	25	2	0,2225	0,28125	0,264222942
Iroko	50	25	2	0,2225	0,21875	0,235025439
Iroko	50	25	2	0,2225	0,125	0,126329787
Iroko	50	25	2	0,2225	0,375	0,35051457
Iroko	50	25	2	0,2225	0,1875	0,171166744
Iroko	50	25	2	0,2225	0,28125	0,296137835
Iroko	50	25	2	0,2225	0,28125	0,232308048
Iroko	50	25	2	0,2225	0,40625	0,336956522
Iroko	50	25	2	0,2225	0,21875	0,232308048
Iroko	50	25	2	0,2225	0,15625	0,156914894
Iroko	50	25	2	0,2225	0,0625	0,0625
Iroko	50	25	2	0,2225	0,0625	0,075393154
Iroko	50	25	2	0,2225	0,21875	0,203110546
Iroko	50	25	2	0,2225	0,28125	0,275121415
Iroko	50	25	2	0,2225	0,0625	0,075393154
Iroko	50	25	2	0,2225	0,25	0,264222942
Iroko	50	25	2	0,2225	0,1875	0,189523589
Iroko	50	25	2	0,2225	0,25	0,265610546
Iroko	50	25	2	0,2225	0,1875	0,188164894
Iroko	50	25	2	0,2225	0,25	0,265610546
Iroko	50	25	2	0,2225	0,09375	0,09375
Iroko	50	25	2	0,2225	0,1875	0,201058048
Iroko	50	25	2	0,2225	0,1875	0,188164894
Iroko	50	25	2	0,2225	0,125	0,125
Iroko	50	25	2	0,2225	0,25	0,25
Iroko	50	25	2	0,2225	0,15625	0,156914894
Iroko	125	4	2	0,2225	0,205	0,218
Iroko	125	4	2	0,2225	0,215	0,227
Iroko	125	4	2	0,2225	0,19	0,224
Iroko	125	4	2	0,2225	0,19	0,224
Iroko	125	4	2	0,2225	0,215	0,227
Iroko	125	4	2	0,2225	0,205	0,218
Iroko	125	4	2	0,2225	0,235	0,233
Iroko	125	4	2	0,2225	0,19	0,224
Iroko	125	4	2	0,2225	0,205	0,218

Espèces	Taille placette(m)	N	n	Vraie densité	Estimation classique	Estimation adaptative
Iroko	125	4	2	0,2225	0,205	0,218
Iroko	125	4	2	0,2225	0,205	0,218
Iroko	125	4	2	0,2225	0,19	0,224
Iroko	125	4	2	0,2225	0,25	0,218
Iroko	125	4	2	0,2225	0,205	0,218
Iroko	125	4	2	0,2225	0,225	0,2
Iroko	125	4	2	0,2225	0,215	0,227
Iroko	125	4	2	0,2225	0,225	0,2
Iroko	125	4	2	0,2225	0,205	0,218
Iroko	125	4	2	0,2225	0,19	0,224
Iroko	125	4	2	0,2225	0,205	0,218
Iroko	125	4	2	0,2225	0,235	0,233
Iroko	125	4	2	0,2225	0,225	0,2
Iroko	125	4	2	0,2225	0,215	0,227
Iroko	125	4	2	0,2225	0,225	0,2
Iroko	125	4	2	0,2225	0,215	0,227
Iroko	125	4	2	0,2225	0,235	0,233
Iroko	125	4	2	0,2225	0,25	0,218
Iroko	125	4	2	0,2225	0,205	0,218
Iroko	125	4	2	0,2225	0,25	0,218
Iroko	125	4	2	0,2225	0,235	0,233
Iroko	125	4	2	0,2225	0,25	0,218
Iroko	125	4	2	0,2225	0,235	0,233
Iroko	125	4	2	0,2225	0,205	0,218
Iroko	125	4	2	0,2225	0,225	0,2
Iroko	125	4	2	0,2225	0,235	0,233
Iroko	125	4	2	0,2225	0,225	0,2
Iroko	125	4	2	0,2225	0,25	0,218
Iroko	125	4	2	0,2225	0,235	0,233
Iroko	125	4	2	0,2225	0,225	0,2
Iroko	125	4	2	0,2225	0,235	0,233
Iroko	125	4	2	0,2225	0,19	0,224
Iroko	125	4	2	0,2225	0,225	0,2
Iroko	125	4	2	0,2225	0,235	0,233
Iroko	125	4	2	0,2225	0,19	0,224
Iroko	125	4	2	0,2225	0,235	0,233
Iroko	125	4	2	0,2225	0,215	0,227
Iroko	125	4	2	0,2225	0,205	0,218
Iroko	125	4	2	0,2225	0,25	0,218
Iroko	125	4	2	0,2225	0,235	0,233
Iroko	125	4	2	0,2225	0,215	0,227
Dabema	10	625	2	0,27	0,78125	0,78125
Dabema	10	625	2	0,27	0	0



Espèces	Taille placette(m)	N	n	Vraie densité	Estimation classique	Estimation adaptative
Dabema	10	625	2	0,27	0	0
Dabema	10	625	2	0,27	0	0
Dabema	10	625	2	0,27	0	0
Dabema	10	625	2	0,27	0,78125	0,78125
Dabema	10	625	2	0,27	0,78125	0,78125
Dabema	25	100	2	0,27	0	0
Dabema	25	100	2	0,27	0,25	0,25
Dabema	25	100	2	0,27	0,375	0,375
Dabema	25	100	2	0,27	0,5	0,500634518
Dabema	25	100	2	0,27	0	0
Dabema	25	100	2	0,27	0	0
Dabema	25	100	2	0,27	0,125	0,125634518
Dabema	25	100	2	0,27	0,25	0,25
Dabema	25	100	2	0,27	0,125	0,125
Dabema	25	100	2	0,27	0,125	0,125634518
Dabema	25	100	2	0,27	0,375	0,375
Dabema	25	100	2	0,27	0,25	0,25
Dabema	25	100	2	0,27	0,75	0,75
Dabema	25	100	2	0,27	0,125	0,125
Dabema	25	100	2	0,27	0,25	0,25
Dabema	25	100	2	0,27	0,375	0,375
Dabema	25	100	2	0,27	0,5	0,500634518
Dabema	25	100	2	0,27	0,5	0,501269036
Dabema	25	100	2	0,27	0,625	0,625634518
Dabema	25	100	2	0,27	0,25	0,250634518
Dabema	25	100	2	0,27	0,125	0,125
Dabema	25	100	2	0,27	0,125	0,125634518
Dabema	25	100	2	0,27	0,375	0,375634518
Dabema	25	100	2	0,27	0,25	0,250634518
Dabema	25	100	2	0,27	0,25	0,25
Dabema	25	100	2	0,27	0,375	0,375
Dabema	25	100	2	0,27	0,125	0,125634518
Dabema	25	100	2	0,27	0	0
Dabema	25	100	2	0,27	0,5	0,5
Dabema	25	100	2	0,27	0,375	0,375634518
Dabema	25	100	2	0,27	0,375	0,375634518
Dabema	25	100	2	0,27	0,25	0,25
Dabema	25	100	2	0,27	0,125	0,125
Dabema	25	100	2	0,27	0,125	0,125
Dabema	25	100	2	0,27	0,375	0,375
Dabema	25	100	2	0,27	0	0
Dabema	25	100	2	0,27	0,75	0,750634518
Dabema	25	100	2	0,27	0,375	0,375

Espèces	Taille placette(m)	N	n	Vraie densité	Estimation classique	Estimation adaptative
Dabema	25	100	2	0,27	0,625	0,625
Dabema	25	100	2	0,27	0	0
Dabema	25	100	2	0,27	0,125	0,125
Dabema	25	100	2	0,27	0,125	0,125
Dabema	25	100	2	0,27	0,375	0,375
Dabema	25	100	2	0,27	0,25	0,250634518
Dabema	25	100	2	0,27	0,375	0,375634518
Dabema	25	100	2	0,27	0,375	0,375
Dabema	25	100	2	0,27	0,5	0,5
Dabema	25	100	2	0,27	0,125	0,125
Dabema	25	100	2	0,27	0,25	0,25
Dabema	25	100	2	0,27	0	0
Dabema	50	25	2	0,27	0,34375	0,331810823
Dabema	50	25	2	0,27	0,09375	0,095079787
Dabema	50	25	2	0,27	0,40625	0,408938483
Dabema	50	25	2	0,27	0,25	0,250664894
Dabema	50	25	2	0,27	0,28125	0,282579787
Dabema	50	25	2	0,27	0,25	0,236037234
Dabema	50	25	2	0,27	0,15625	0,157608696
Dabema	50	25	2	0,27	0,34375	0,362367021
Dabema	50	25	2	0,27	0,3125	0,327445652
Dabema	50	25	2	0,27	0,28125	0,265610546
Dabema	50	25	2	0,27	0,28125	0,281914894
Dabema	50	25	2	0,27	0,46875	0,453110546
Dabema	50	25	2	0,27	0,34375	0,358695652
Dabema	50	25	2	0,27	0,5	0,518617021
Dabema	50	25	2	0,27	0,21875	0,21875
Dabema	50	25	2	0,27	0,0625	0,063829787
Dabema	50	25	2	0,27	0,28125	0,281914894
Dabema	50	25	2	0,27	0,25	0,266304348
Dabema	50	25	2	0,27	0,4375	0,438829787
Dabema	50	25	2	0,27	0,28125	0,26864593
Dabema	50	25	2	0,27	0,4375	0,407579787
Dabema	50	25	2	0,27	0,15625	0,142287234
Dabema	50	25	2	0,27	0,125	0,125664894
Dabema	50	25	2	0,27	0,1875	0,188829787
Dabema	50	25	2	0,27	0,28125	0,299202128
Dabema	50	25	2	0,27	0,09375	0,094414894
Dabema	50	25	2	0,27	0,40625	0,391969241
Dabema	50	25	2	0,27	0,1875	0,188829787
Dabema	50	25	2	0,27	0,40625	0,391969241
Dabema	50	25	2	0,27	0,15625	0,156914894
Dabema	50	25	2	0,27	0,40625	0,409603377



Espèces	Taille placette(m)	N	n	Vraie densité	Estimation classique	Estimation adaptative
Dabema	50	25	2	0,27	0,28125	0,299202128
Dabema	50	25	2	0,27	0,09375	0,09375
Dabema	50	25	2	0,27	0,5	0,534256475
Dabema	50	25	2	0,27	0,21875	0,220108696
Dabema	50	25	2	0,27	0,3125	0,327445652
Dabema	50	25	2	0,27	0,15625	0,156914894
Dabema	50	25	2	0,27	0,40625	0,424202128
Dabema	50	25	2	0,27	0,15625	0,142287234
Dabema	50	25	2	0,27	0,15625	0,156914894
Dabema	50	25	2	0,27	0,0625	0,0625
Dabema	50	25	2	0,27	0,25	0,264945652
Dabema	50	25	2	0,27	0,40625	0,423884135
Dabema	50	25	2	0,27	0,09375	0,09375
Dabema	50	25	2	0,27	0,21875	0,220108696
Dabema	50	25	2	0,27	0,3125	0,313164894
Dabema	50	25	2	0,27	0,09375	0,09375
Dabema	50	25	2	0,27	0,4375	0,454469241
Dabema	50	25	2	0,27	0,3125	0,296195652
Dabema	50	25	2	0,27	0,34375	0,328804348
Dabema	125	4	2	0,27	0,295	0,2775
Dabema	125	4	2	0,27	0,265	0,2915
Dabema	125	4	2	0,27	0,275	0,2475
Dabema	125	4	2	0,27	0,3	0,3015
Dabema	125	4	2	0,27	0,275	0,2475
Dabema	125	4	2	0,27	0,265	0,2915
Dabema	125	4	2	0,27	0,265	0,2915
Dabema	125	4	2	0,27	0,265	0,2915
Dabema	125	4	2	0,27	0,295	0,2775
Dabema	125	4	2	0,27	0,295	0,2775
Dabema	125	4	2	0,27	0,275	0,2475
Dabema	125	4	2	0,27	0,245	0,2405
Dabema	125	4	2	0,27	0,3	0,3015
Dabema	125	4	2	0,27	0,295	0,2775
Dabema	125	4	2	0,27	0,24	0,2615
Dabema	125	4	2	0,27	0,24	0,2615
Dabema	125	4	2	0,27	0,245	0,2405
Dabema	125	4	2	0,27	0,295	0,2775
Dabema	125	4	2	0,27	0,3	0,3015
Dabema	125	4	2	0,27	0,24	0,2615
Dabema	125	4	2	0,27	0,275	0,2475
Dabema	125	4	2	0,27	0,275	0,2475
Dabema	125	4	2	0,27	0,295	0,2775
Dabema	125	4	2	0,27	0,265	0,2915

Espèces	Taille placette(m)	N	n	Vraie densité	Estimation classique	Estimation adaptative
Dabema	125	4	2	0,27	0,3	0,3015
Dabema	125	4	2	0,27	0,3	0,3015
Dabema	125	4	2	0,27	0,3	0,3015
Dabema	125	4	2	0,27	0,295	0,2775
Dabema	125	4	2	0,27	0,275	0,2475
Dabema	125	4	2	0,27	0,24	0,2615
Dabema	125	4	2	0,27	0,265	0,2915
Dabema	125	4	2	0,27	0,3	0,3015
Dabema	125	4	2	0,27	0,3	0,3015
Dabema	125	4	2	0,27	0,275	0,2475
Dabema	125	4	2	0,27	0,295	0,2775
Dabema	125	4	2	0,27	0,265	0,2915
Dabema	125	4	2	0,27	0,265	0,2915
Dabema	125	4	2	0,27	0,3	0,3015
Dabema	125	4	2	0,27	0,275	0,2475
Dabema	125	4	2	0,27	0,3	0,3015
Dabema	125	4	2	0,27	0,3	0,3015
Dabema	125	4	2	0,27	0,265	0,2915
Dabema	125	4	2	0,27	0,3	0,3015
Dabema	125	4	2	0,27	0,265	0,2915
Dabema	125	4	2	0,27	0,3	0,3015
Dabema	125	4	2	0,27	0,265	0,2915
Dabema	125	4	2	0,27	0,245	0,2405
Dabema	125	4	2	0,27	0,265	0,2915
Dabema	125	4	2	0,27	0,24	0,2615
Dabema	125	4	2	0,27	0,3	0,3015
Dabema	125	4	2	0,27	0,3	0,3015

## ANNEXE IV

Tableau.9. Présentation des erreurs d'échantillonnage (EE) et de densités moyennes (densité moy) selon les tailles de placettes et les espèces.

SRS							
Aielé		Essessang		Dabema		Iroko	
EE	densité moy	EE	densité moy	EE	densité moy	EE	densité moy
0,71148	0,171875	1,14954	0,578125	0,9077544	0,265625	0,7953484	0,265625
0,356524	0,2025	0,474712	0,575	0,3834152	0,275	0,3160108	0,205
0,1666588	0,251875	0,1951964	0,59625	0,239904	0,27	0,1654044	0,213125
0,047824	0,2367	0,0313208	0,5703	0,0415128	0,2782	0,0365148	0,2195
ACS							
0,71148	0,171875	1,1497164	0,578125	0,907676	0,265625	0,7953484	0,265625
0,358876	0,20507642	0,48265	0,57232899	0,383572	0,27521574	0,316344	0,20514011
0,1604064	0,25079209	0,2116408	0,59645203	0,244804	0,27145352	0,1572312	0,21344531
0,022344	0,23509	0,0153664	0,56998	0,042728	0,27916	0,020972	0,22052

Tableau.10. La précision de deux méthodes suivant les différentes tailles de placettes et les espèces

Précision			
SRS			
Aielé	Essessang	Dabema	Iroko
0,72600001	1,173	0,520625	0,81158
0,3638	0,4844	0,539	0,32246
0,17006	0,19918	0,5292	0,16878
0,0488	0,03196	0,545272	0,03726
ACS			
0,726	1,17318	0,520625	0,81158
0,3662	0,4925	0,53942284	0,3228
0,16368	0,21596	0,53204889	0,16044
0,0228	0,01568	0,5471536	0,0214