



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université des Frères Mentouri Constantine  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة الاخوة منتوري قسنطينة  
كلية علوم الطبيعة و الحياة

**Département : Biologie et Ecologie Végétale**

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master**

**Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie**

**Filière : Sciences Biologiques**

**Spécialité : *Gestion durable des écosystèmes et protection de l'environnement***

Intitulé :

## **Inventaire forestier des feuillus de l'arboretum de Draa Naga (Constantine)**

Présenté et soutenu par :

**BELHIOUANI Hadjer**

**Le : 23/06/2015**

**Jury d'évaluation :**

**Président du jury :** BAZRI K.E.D.

MCB- UFM Constantine

**Rapporteur :** KANOUNI-RACHED M.

MCA- UFM Constantine

**Examineurs :** ARFA M.T.A.

MAA- UFM Constantine

*Année universitaire  
2014 - 2015*

# Dédicaces

*« La réussite ne se trouve pas dans la meilleure des places, la plus haute ou la plus payante mais dans le maximum qu'on peut tirer de soi-même »*

*RENAUD TREMBLAY*

*Je dédie ce travail*

*A mes **parents**, mon exemple éternel, mon soutien moral, ma source de vie et de bonheur, qui se sont toujours sacrifiés pour me voir réussir.*

*A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, mes **grands-parents** que j'adore.*

*Je prie le bon Dieu de les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fiers de moi.*

*A ma sœur aînée **ASMA** et mon frère cadet **FETHI**, mes biens aimés !*

*A mes **tantes, oncles, cousins et cousines***

*A mes **amis et camarades de promotion***

*A tous ceux qui me sont chers et que j'ai omis de citer*

**BELHIOUANI Hadjer**

## *Remerciements*

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à Mr. BAZRI K.E.D, MCB à l'Université des Frères Mentouri Constantine pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de présider le jury. Veuillez trouver ici le témoignage de mon respect le plus profond.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance et toutes mes pensées de gratitude à Mme RACHED-KANOUNI M., MCA à l'université des Frères Mentouri qui m'a accompagné de près durant tout ce travail, pour sa disponibilité, pour la confiance qu'elle a su m'accorder et les conseils précieux qu'elle m'a prodigué tout au long de la réalisation de ce projet.

Mes remerciements vont aussi à Mr. ARFA MTA, MAA à l'université des frères Mentouri Constantine pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant d'examiner mon travail, pour le temps consacré à sa lecture et pour les remarques judicieuses qu'il indiquera. Je tiens à l'assurer de ma profonde gratitude.

Mes remerciements vont aussi au Professeur ALATOU Djamel, dont je loue ici la disponibilité, la compétence professionnelle et surtout le souci constant d'octroyer aux étudiants une formation de qualité.

Je remercie aussi Mr. HADEF A. MAA à l'université des frères Mentouri Constantine pour ses précieux conseils et sans qui, nos sorties sur terrain n'auraient pas été possible.

Je profite de l'occasion pour remercier aussi tous mes enseignants et toutes les personnes qui m'ont soutenus jusqu'au bout, et qui n'ont pas cessé de me donner des conseils très importants : vos qualités d'éducateurs et votre amour du métier font de vous de précieux guides. Recevez ici l'expression de mon entière gratitude.

A tout le personnel de la conservation des forêts de la wilaya de Constantine.

## Sommaire

<b>Introduction</b> .....	1
<b>Synthèse bibliographique</b>	3
I. Arboretum .....	3
1. Types d'arboretums .....	3
1.1. Arboretums de collection .....	3
1.2. Arboretums forestiers (ou Sylvetums) .....	3
1.2.1. Arboretums d'élimination (ou écologiques) .....	3
1.2.2. Arboretums forestiers proprement dits .....	3
2. Rôles des arboretums .....	4
II. Les feuillus .....	4
III. Inventaire forestier .....	5
1. Les principaux types d'inventaires .....	5
1.1. Inventaire pied à pied (ou en plein) .....	5
1.2. Inventaire statistique .....	6
1.3. Inventaire typologique .....	7
IV. Analyse structurale .....	7
1. Structure floristique .....	7
1.1. Composition floristique .....	7
1.2. Diversité floristique .....	8
1.2.1. Coefficient de mélange (CM) .....	8
1.2.2. Indice de diversité de Shannon-Weiner ( $H'$ ) .....	8
1.2.3. Indice de diversité de Simpson ( $D_s$ ) .....	8
1.2.4. Indice d'équitabilité de Pielou .....	8
2. Structure spatiale .....	8
2.1. Analyse horizontale .....	9
2.1.1. Abondance relative et absolue .....	9
2.1.2. Dominance relative et absolue .....	9
2.1.3. Contenance .....	9
2.2. Analyse verticale .....	9
2.2.1. Structure des hauteurs .....	9
2.2.2. Profil structural .....	9
3. Structure totale .....	10
V. Analyse des principales essences .....	10
<b>Matériel et Méthodes</b>	11
I. Présentation de la zone d'étude .....	11
1. Historique sur la zone d'étude .....	11
2. Situation géographique et milieu physique de la zone d'étude .....	11
II. Récolte de données .....	12
III. Traitement et analyses de données .....	15
1. Analyse structurale .....	15
1.1. Structure floristique .....	15
1.1.1. Composition floristique .....	15
1.1.2. Diversité floristique .....	15
1.1.2.1. Le coefficient de mélange (CM).....	15
1.1.2.2. Indices de diversité .....	16
A. Indice de diversité de Shannon-Weiner ( $H'$ ) .....	16

B. Indice de diversité de Simpson (Ds) .....	16
C. Indice d'équitabilité de Piélou .....	17
1.2. Structure spatiale .....	17
1.2.1. Analyse horizontale .....	17
1.2.1.1. Abondances absolue et relative .....	17
1.2.1.2. Dominances absolue et relative .....	18
1.2.1.3. Contenance absolue et relative .....	18
1.2.2. Analyse verticale .....	19
1.2.2.1. Structure des hauteurs .....	19
1.2.2.2. Profil structural .....	19
1.3. La structure totale .....	19
2. Analyse des principales essences .....	19
3. Ecologie numérique .....	20
3.1. Statistique descriptive .....	20
3.2. Régression linéaire .....	20
3.3. Analyse en composantes principales (ACP) .....	21
3.4. Classification ascendante hiérarchique (CAH) .....	21
<b>Résultats et discussions</b> .....	<b>23</b>
1. Analyse structurale .....	23
1.1. Structure floristique .....	23
1.1.1. Composition floristique .....	23
1.1.2. Diversité floristique .....	25
1.2. Structure spatiale .....	26
1.2.1. Analyse horizontale .....	26
1.2.2. Analyse verticale .....	27
1.2.2.1. Structure des hauteurs .....	28
1.2.2.2. Profil structural .....	28
1.2.2.3. Structure total : Tempérament de l'essence .....	29
2. Analyse des principales essences.....	30
3. Ecologie numérique.....	31
3.1. Statistique descriptive .....	31
3.2. Régression linéaire .....	31
3.3. Analyse en composantes principales (ACP) .....	33
3.4. Classification ascendante hiérarchique (CAH).....	36
<b>Conclusion</b> .....	<b>37</b>
<b>Références bibliographiques</b> .....	<b>38</b>
<b>Annexes</b>	
<b>Résumés</b>	

Liste des cartes :

<b>Carte 1.</b>	Situation géographique de l'arboretum de Draa Naga .....	11
<b>Carte 2.</b>	Localisation des 7 parcelles de feuillues étudiées .....	13

Liste des figures :

<b>Figure 1.</b>	Types des feuillus .....	4
<b>Figure 2.</b>	Exemple d'un profil structural d'espèces feuillues .....	10
<b>Figure 3.</b>	Capture d'écran (élaboration d'une carte de feuillus de l'arboretum) .....	12
<b>Figure 4.</b>	Schéma représentant les mesures dendrométriques effectués sur terrain .....	14
<b>Figure 5.</b>	Synthèse de la méthodologie .....	22
<b>Figure 6.</b>	Distribution du nombre des tiges par parcelle en fonction des classes de diamètre .....	25
<b>Figure 7.</b>	Volume de bois dans chaque parcelle .....	27
<b>Figure 8.</b>	Distribution du nombre de tiges à l'hectare par classe de hauteur .....	28
<b>Figure 9.</b>	Profil structurale de la parcelle P01 : <i>Quercus petraea</i> .....	29
<b>Figure 10.</b>	Structure totale .....	30
<b>Figure 11.</b>	Histogramme des valeurs propres en fonction des rangs des axes principaux pour l'ensemble des parcelles .....	33
<b>Figure 12.</b>	Représentation graphique des 12 variables à l'intérieur cercle de corrélations du plan factoriel 1-2 .....	35
<b>Figure 13.</b>	Représentation graphique des points individus (parcelles) dans le plan Factoriel 1-2 .....	35
<b>Figure 14.</b>	Dendrogramme du regroupement des 7 parcelles obtenu, à l'aide de la méthode du lien simple et la distance carrée de Pearson .....	36

Liste des Tableaux :

<b>Tableau 1 :</b>	Caractéristiques du milieu physique du site d'étude .....	12
<b>Tableau 2 :</b>	La composition floristique de 7 parcelles étudiées .....	24
<b>Tableau 3 :</b>	Répartition des tiges des 7 feuillus par classes de diamètre .....	24
<b>Tableau 4 :</b>	Indices de diversité floristique des 7 parcelles des feuillus étudiés .....	26
<b>Tableau 5 :</b>	Analyse horizontale des feuillus .....	27
<b>Tableau 6 :</b>	Répartition du nombre de tiges par hectare par classes de diamètre .....	29
<b>Tableau 7 :</b>	Analyse des principales essences et calcul de l'IVI (%) .....	30
<b>Tableau 8 :</b>	Les moyennes minimales et maximales de chacune variables étudiées .....	31
<b>Tableau 9 :</b>	Corrélations entre les paramètres dendrométriques mesurés de 7 parcelles d'étude .....	32
<b>Tableau 10 :</b>	Résultats de l'ACP des six axes à partir des 12 caractéristiques mesurées sur les 7 parcelles des feuillus .....	33
<b>Tableau 11 :</b>	Valeurs des corrélations et corrélations carrées des variables initiales avec les 2 premières composantes principales .....	34
<b>Tableau 12 :</b>	Groupes de parcelles homogènes obtenus par l'analyse hiérarchique .....	36

Liste des abréviations :

<b>ACP :</b>	Analyse en composantes principales
<b>BM :</b>	Bois moyens
<b>CAH :</b>	Classification ascendante hiérarchique
<b>CM :</b>	Coefficient de mélange
<b>DHP :</b>	Diamètre à hauteur de poitrine
<b>DS :</b>	Indice de diversité de Simpson
<b>E :</b>	Equitabilité de Piélou
<b>GB :</b>	Gros bois
<b>H' :</b>	Indice de diversité de Shannon
<b>IVI :</b>	Indice de valeur d'importance
<b>PB :</b>	Petits bois
<b>PE :</b>	Perches
<b>PP :</b>	Petites perches
<b>TGB :</b>	Très gros bois

# Introduction

### Introduction

Les forêts, qu'elles soient naturelles ou artificielles, sont essentielles pour le bien-être de l'humanité. Gérées durablement, elles ont de nombreuses fonctions socioéconomiques et environnementales particulièrement importantes à l'échelle mondiale, nationale et locale; elles jouent également un rôle crucial dans le développement durable.

De nos jours, les forêts subissent une forte pression due à l'accroissement de la population humaine, qui conduit fréquemment à leur conversion ou à leur dégradation au profit de modes d'utilisation des terres non durables, elles perdent donc leur fonction de régularisation de l'environnement, ce qui accroît les risques d'inondations et d'érosion, appauvrit les sols et contribue à la disparition de la vie animale et végétale.

De plus en plus, et suite à une meilleure prise de conscience du caractère *non forcément* renouvelable des ressources forestières, la connaissance et la gestion suivie de celles-ci constitue un préalable à l'utilisation rationnelle des produits de la forêt et à l'établissement de politiques forestières plus cohérentes. Dans cette optique, la réalisation d'inventaires forestiers s'avère alors indispensable.

Les couverts forestiers sont des systèmes complexes et leur structure dépend des éléments architecturaux et fonctionnels qui les composent (Fournier *et al.*, 2003). La connaissance de la structure du couvert est nécessaire pour obtenir les caractéristiques biophysiques pertinentes aux inventaires forestiers, aux études écologiques et à la gestion des forêts (Franklin, 2001).

L'élément important au sein du couvert forestier dans la dimension verticale comprend la hauteur des arbres et des peuplements. Tandis que la composition en espèces, la fermeture du couvert, et la répartition spatiale des arbres et des peuplements sont des éléments importants dans la dimension horizontale (Fournier *et al.*, 2003).

Les mesures et les relevées pratiquées dans les parcelles sont principalement : la composition en essences, la hauteur du couvert forestier et la fermeture de ce dernier, alors que les attributs des arbres individuels qui sont mesurés sont la hauteur des arbres, le diamètre du fût à hauteur de poitrine (DHP), la hauteur totale, le diamètre ainsi que le recouvrement total du houppier.

Notre étude a été menée dans l'arboretum de Draa Naga (Djbel El Ouahch). Cette zone a fait l'objet d'une étude antérieure qui a démontré que l'arboretum était en état de dégradation avancée, ceci contribue à la diminution de ses ressources forestières, et pourrait entraîner la rupture de ses équilibres. Les facteurs dégradants qui sont plutôt d'ordre écologique et technique,

représentés essentiellement par les incendies, la sécheresse, les gelées, ainsi que le surpâturage continuent à faire leur action dévastatrice (Kanouni-Rached et *al.*, 2014).

Une connaissance précise des ressources forestières existantes ainsi que de leur évolution devrait porter essentiellement sur la composition floristique, sur la structure et sur la régénération des essences de valeur, d'où la nécessité de réaliser un inventaire forestier qui fait l'objet du présent mémoire.

Ce dernier, intitulé « Inventaire forestier des feuillus de l'arboretum de Draa-Naga » a pour objectif d'obtenir des informations sur les caractéristiques des ressources ligneuses (hauteur, diamètre, surface terrière, volume...) et sur les rapports quantitatifs entre toutes ces caractéristiques. Ceci aidera à prendre soin de cette formation artificielle en considérant tous les écosystèmes qui lui sont reliés et en étudiant diverses alternatives de développement et de conservation de toutes les essences forestières qui se trouvent dans cette zone ce qui contribuerait à la protection de l'arboretum.

Ce travail sera traité en 4 parties :

- Une étude bibliographique qui synthétise les principales composantes du sujet traité ;
- La méthodologie adoptée pour la réalisation de ce travail ;
- Les résultats obtenus ainsi que leurs interprétations ;
- Conclusion et perspectives.

# Synthèse bibliographique

## **I. Arboretum**

C'est à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle qu'apparut le terme "arboretum (du latin arbor, arbre) et ainsi alors défini; "jardin spécial consacré à la culture de certains arbres dans un but expérimental". Ce vocable indique donc clairement qu'il s'agit d'un lieu où sont rassemblés des végétaux pour y être étudiés à des fins diverses; s'il s'agit d'une collection d'arbustes, elle est appelée "Fruticetum". Un jardin botanique peut avoir une partie de sa surface complantée d'essences arborescentes et posséder ainsi un arboretum (Kroenlein, 1993).

### **1. Types d'arboretums**

Deux types principaux d'arboretums peuvent être distingués, ceux de collection et les forestiers, mais il est évident qu'en raison des buts recherchés et, mis à part qu'un arboretum forestier puisse également être de collection (arboretum mixte), les catégories ci-après sont à retenir (Pourtet et Betolaud, 1993 in Kroenlein, 1993).

#### **1.1. Arboretums de collection**

Ces "Musées" forestiers ou "Herbiers vivants" permettent d'étudier sur un ou plusieurs sujets leurs qualités (adaptation au sol et au climat, esthétique, résistance aux parasites, autrement dit leur plasticité).

Ces collections dendrologiques, en dehors de leur intérêt scientifique, ont également un rôle pédagogique; parallèlement aux objectifs principaux (espèces du département, de la région,...) des collections thématiques sont constituées (Pourtet et Betolaud, 1993 in Kroenlein, 1993).

#### **1.2. Arboretums forestiers (ou Sylvetums)**

Ils permettent l'étude d'essences destinées au reboisement et leurs rôles sont ainsi définis:

##### **1.2.1. Arboretums d'élimination (ou écologiques)**

Quelques individus de chaque espèce sont "essayés" dans des stations aux conditions différentes (climatiques, édaphiques, etc.) où s'effectuera ainsi une première sélection.

##### **1.2.2. Arboretums forestiers proprement dits**

Le nombre d'espèces ou de races est ici plus réduit, mais les sujets de chacune d'entre elles sont, par contre, plus nombreux. Des individus d'une même espèce, mais d'origines différentes sont ainsi comparés afin de noter leurs aptitudes en vue d'opérations de reboisement dans la zone où se situe l'arboretum (Pourtet et Betolaud, 1993 in Kroenlein, 1993).

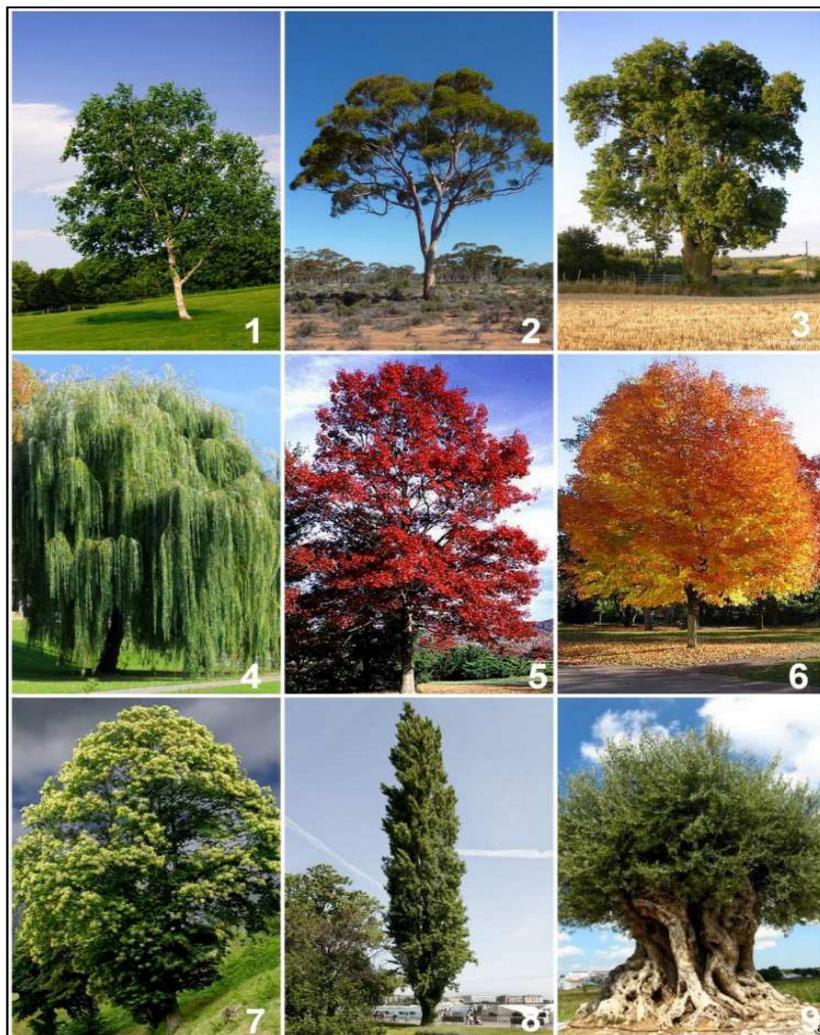
## 2. Rôles des arboretums

Les arboretums, en plus de contribuer grandement à la conservation de la biodiversité, sont des lieux d'inspiration pour les paysagistes, pépiniéristes, responsables de jardins, étudiants ou personnes à la recherche d'un végétal décoratif, leur vocation éducative n'est plus à démontrer. Grâce à eux l'homme, agissant avec prudence et raison, pourra " imiter la Nature et hâter son œuvre " (Kroenlein, 1993).

## II. Les feuillus

Les arbres sont couramment regroupés en deux grands ensembles : les feuillus d'un côté et les conifères ou résineux de l'autre. En botanique, cette distinction relève de deux groupes distincts au sein des Phanérogames.

Les feuillus appartiennent aux angiospermes dicotylédones. Leurs feuilles sont généralement larges et ont un limbe très développé et aplati, soutenu par des nervures, elles sont rarement sous forme d'aiguilles ou d'écailles (Actu-environnement) (Figure 1).



**Figure 1.** Types des feuillus : Bouleau (1), Eucalyptus (2), Frêne (3), Saule (4), Chêne rouge (5), Erable (6), Châtaignier (7), Peuplier (8), Olivier (9).

La plupart des feuillus, qu'ils aient un feuillage caduc ou persistant, ont des feuilles simples d'aspect très variable : étroites ou larges, dentées, unies ou épineuses, arrondies ou cordiformes, profondément ou, au contraire faiblement lobées, comme chez le Chêne rouge d'Amérique (Coombes, 2004).

Les essences feuillues revêtent un intérêt particulier tant écologique pour la grande biodiversité associée aux écosystèmes composés d'arbres matures, qu'économique pour la valeur marchande des bois de qualité (Colin, 2007). Elles constituent aussi, une alternative très intéressante, aux plans économique et environnemental, pour la mise en valeur de nombreux terrains abandonnés par l'agriculture (Coello *et al.*, 2013).

### **III. Inventaire forestier**

Inventorier un peuplement forestier permet de le quantifier et de définir un état initial du capital sur pied. Le suivre dans le temps permet par la suite de mieux connaître son évolution. Ce suivi peut être effectué dans deux optiques :

- Dans une optique d'aménagement, permettant de donner des directives de gestion et planifier les récoltes ;
- Dans une optique sylvicole, permettant de raisonner une sylviculture dans le temps (savoir par exemple comment intervenir dans un peuplement en fonction des coupes réalisées, optimiser les intensités de prélèvement...) (Tomasini, 2002).

Pour contrôler la gestion passée et savoir où l'on va, des instruments de contrôle sont souvent très utiles, notamment dans le cas du traitement des peuplements feuillus en futaie irrégulière. Un contrôle de la gestion a posteriori peut se justifier pour plusieurs raisons :

- Il permet de suivre l'évolution du capital sur pied, que ce soit à l'échelle du peuplement ou celle de l'arbre et cela, non seulement d'un point de vue quantitatif mais également qualitatif ;
- Il permet au gestionnaire de contrôler sa gestion d'une manière assez fine, pour qu'il puisse le cas échéant réorienter ses actions vers les objectifs qu'il s'est fixé ;
- Il permet d'optimiser la production par le suivi de certaines variables dendrométriques clés, mais également de suivre certains indicateurs biologiques ;
- Il permet aux gestionnaires de rendre des comptes aux propriétaires (publics et privés).

#### **1. Les principaux types d'inventaires**

##### **1.1. Inventaire pied à pied (ou en plein)**

Ce type d'inventaire consiste en un dénombrement exhaustif des tiges par essence et par classe de diamètre à partir d'un seuil de précomptage (le plus souvent fixé à 10cm). C'est le type d'inventaire le plus classique. Il ne demande pas une grande technicité. Il est considéré comme suffisamment précis pour les principales variables dendrométriques. Ce type d'inventaire se

prête bien aux comparaisons d'inventaires. On peut ainsi avoir accès aux variables dynamiques (Tomasini, 2002).

L'inventaire en plein donne des résultats au niveau de la parcelle. Il peut être réalisé sur une forêt, mais dès lors qu'elle dépasse une certaine taille, il est préférable d'avoir recours à un inventaire statistique pour des questions de coût. On attend d'un inventaire en plein qu'il fournisse les résultats avec une précision de l'ordre de 5% à 10% sur le volume et la surface terrière.

## **1.2. Inventaire statistique**

On a recours aux inventaires statistiques lorsque le massif forestier à inventorier devient trop vaste pour se permettre de passer sur toute la surface en inventaire pied à pied, pour des raisons de coûts. Les mesures sont effectuées sur des placettes et les résultats obtenus sur la totalité des placettes sont extrapolés à l'ensemble de la forêt.

Pour réaliser un inventaire statistique, il est nécessaire d'établir un plan d'échantillonnage. Il en existe un certain nombre. Les deux plus souvent utilisés sont :

- l'échantillonnage aléatoire simple : les placettes du dispositif sont disposées de manière aléatoire ;
- l'échantillonnage systématique : les unités d'échantillonnage sont distribuées de manière uniforme sur la population (selon un maillage régulier). Ce type d'échantillonnage est plus simple à mettre en place que l'échantillonnage aléatoire, La localisation des placettes est plus rapide donc moins coûteuse.

Il faut également définir un taux d'échantillonnage, c'est à dire le nombre de placettes que l'on veut installer par hectare. Ce taux est généralement choisi de telle sorte qu'il soit toujours inférieur ou égal à 10 %. Les placettes permanentes se distinguent des placettes temporaires car elles sont matérialisées sur le terrain en leur centre (en général par un piquet métallique). Un réseau de placettes localisé de façon durable permet de comparer des inventaires statistiques successifs. Par rapport à un inventaire en plein, les placettes permanentes permettent de suivre en plus:

- l'accroissement individuel des arbres (sans sondage direct sur les arbres) ;
- la qualité individuelle des arbres ;
- la qualité potentielle des jeunes tiges ;
- la gestion passée (de manière assez fine) ;
- certaines variables plus précises comme des mesures de surfaces de houppier.

### **1.3. Inventaire typologique**

Il s'agit d'une méthode proche de l'inventaire statistique et efficace pour le suivi de l'évolution d'une forêt. En fonction des valeurs mesurées en chaque point du maillage, le gestionnaire déterminera le type de peuplement. Les types de peuplement sont déterminés pour chaque région en fonction des statistiques validées.

Cette méthode semble nettement plus rapide (et donc moins coûteuse) que les autres types d'inventaires (en plein et statistique) et ce probablement jusqu'à des tailles de forêt de 100 à 150 ha. Cette rapidité dépend bien sûr du taux de sondage choisi. On considère que le nombre de points minimal pour une précision suffisante des données est de 15 à 20 (Tomasini, 2002). Un autre avantage de cette technique d'inventaire réside dans l'obtention de données cartographiées.

La fiabilité d'un tel inventaire dépend de plusieurs facteurs :

- la qualité de la typologie utilisée ;
- la densité des relevés ;
- la maîtrise de l'outil par les utilisateurs.

L'incertitude varie entre 10 à 15 % dans le meilleur des cas, ce qui est jugé suffisant pour obtenir un inventaire des peuplements caractérisés par leur type de structure et de composition.

## **IV. Analyse structurale**

L'analyse structurale a pour but d'étudier la structure floristique qui renseigne sur les caractéristiques des essences le composant (composition et diversité floristiques), la structure spatiale notamment les structure horizontale et verticale du peuplement, afin d'obtenir des indications sur ses caractéristiques sylvicoles ainsi que la structure totale (Rajoelison, 2005).

### **1. Structure floristique**

La structure floristique mentionne la composition floristique donnant la répartition des essences par genres et par familles, la diversité floristique exprimée par le coefficient de mélange ainsi que différents indices de diversité (Rajaonera *et al.*, 2008)

#### **1.1. Composition floristique**

L'analyse de la composition floristique vise à identifier les groupements ou associations végétales qui s'agencent horizontalement ou verticalement à l'échelle locale, régionale ou paysagère. Elle éclaire sur la stabilité et la dynamique de la forêt et peut servir d'indicateur de l'intensité des perturbations passées de l'écosystème (Favrichon *et al.*, 1998).

## **1.2. Diversité floristique**

C'est la manière dont les espèces se répartissent entre les individus présents, elle est exprimée par le coefficient de mélange et par les indices de diversité. Ces indices permettent d'étudier la structure des peuplements en faisant référence ou non à un cadre spatio-temporel concret. Ils permettent d'avoir rapidement, en un seul chiffre, une évaluation de la biodiversité des communautés (Grall et Hily, 2003). Les 4 indices de diversité utilisés sont :

### **1.2.1. Coefficient de mélange**

Le coefficient de mélange (CM) qui est le rapport entre le nombre d'espèces rencontrés et le nombre total de tiges (Andrianantenaina, 2005).

### **1.2.2. Indice de diversité de Shannon-Weiner (H')**

L'indice de Shannon aussi appelé indice de Shannon-Weaver ou Shannon-Wiener (1949), ou simplement entropie est dérivé de la théorie de l'information. Il a été repris par Grall et Hily 2003, il indique la richesse en espèces au sein d'un écosystème local. Lorsque  $h' = 0$ , tous les individus du peuplement appartiennent à une même espèce (MangambuMokoso, 2014)

### **1.2.3. Indice de diversité de Simpson (Ds)**

Cet indice donne une valeur cumulative de la densité relative de toutes les espèces présentes dans la parcelle d'étude. Si  $D_s$  est très bas (0.25 par exemple), on peut dire que la population est définie par quelques espèces abondantes. Le peuplement est alors peu diversifié ou assez homogène (Rajoelison, 2005)

### **1.2.4. Indice d'équitabilité de Pielou**

C'est un autre moyen de mesurer la biodiversité, elle désigne la distribution plus ou moins égale des individus au sein des espèces. L'équitabilité varie entre 0 et 1. Elle tend vers 0 quand la quasi-totalité des effectifs correspond à une seule espèce du peuplement et tend vers 1 lorsque chacune des espèces est représentée par un nombre semblable d'individus (Ramade, 2009)

## **2. Structure spatiale**

Les paramètres structuraux permettent d'apprécier le stade de développement d'une formation forestière. Ils peuvent être analysés à deux niveaux : au niveau horizontal et au niveau vertical (KemadjouMbakemi, 2011).

## **2.1. Analyse horizontale**

C'est la répartition des végétaux suivant un plan horizontal, elle correspond aux différents types de distribution des arbres en fonction de leur répartition par unité de surface (Gounot, 1969). Elle permet d'évaluer les paramètres suivants :

### **2.1.1. Abondance relative et absolue**

L'abondance constitue un paramètre important pour la description de la structure d'un peuplement (Ramade, 2009). L'abondance absolue est le nombre d'individus à l'hectare alors que l'abondance relative donne le nombre d'individus d'une espèce par rapport au nombre totale de pieds inventoriés.

### **2.1.2. Dominance relative et absolue**

La dominance absolue permet d'avoir une idée sur le degré de remplissage de la forêt, elle évalue la surface terrière G du peuplement. Quant à la dominance relative d'une espèce, c'est le rapport de la surface terrière de cette espèce à la surface terrière totale, multipliée par 100 (Nshimba, 2005).

### **2.1.3. Contenance**

L'analyse de la contenance permet de déterminer les potentialités de la forêt soit le volume de la biomasse totale. Dépendante de la surface terrière et de la hauteur des individus, elle est différente pour chaque type de formation (Lantovololona, 2010)

## **2.2. Analyse verticale**

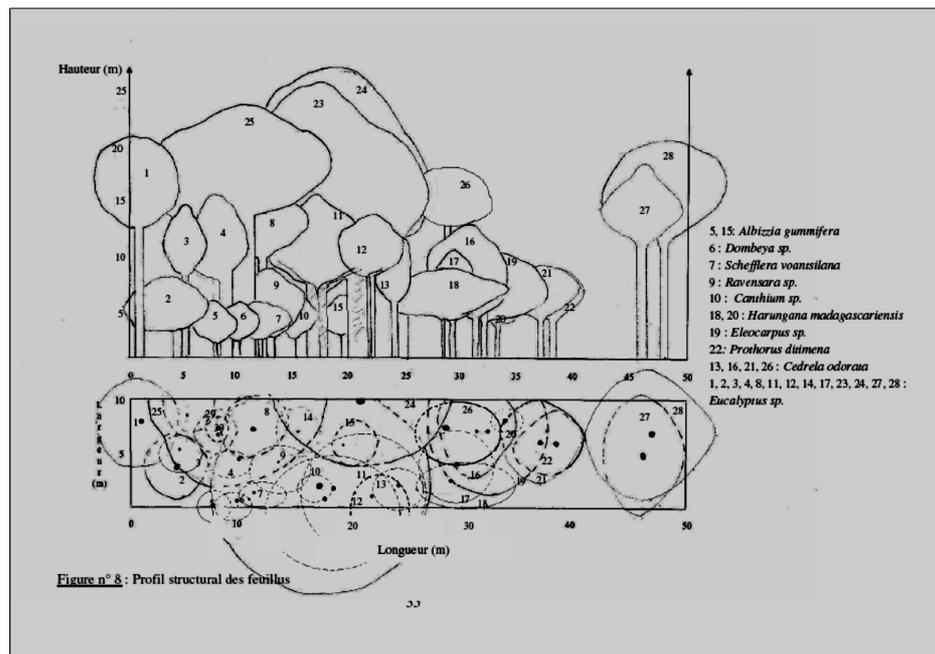
La structure verticale permet de visualiser les différentes strates du peuplement (KemadjouMbakemi, 2011). Elle fait ressortir la structure des hauteurs ainsi que les profils structuraux.

### **2.2.1. Structure des hauteurs**

Répartissant les espèces en nombre de tiges par classe de hauteurs (Robisoa, 2010)

### **2.2.2. Profil structural**

Ils permettent de visualiser l'architecture des strates et dénotent les états de développement, ainsi que la dynamique de succession perçue à travers la représentation schématique d'une chaîne de végétation (figure 2) (Robisoa, 2010).



**Figure 2.** Exemple d'un profil structural d'espèces feuillues.

### 3. Structure totale

D'après Rollet en 1989, la structure totale désigne la distribution du nombre d'arbres suivant des classes diamétriques, toutes les espèces réunies. En fait, la structure totale donne une idée sur la structure en général du peuplement (Andrianantenaina, 2005).

### V. Analyse des principales essences

Cette analyse permet de ressortir le tempérament des essences/espèces pour chaque phase de la succession végétale. L'indice de valeur d'importance (IVI) est calculé pour déterminer les essences les plus dominantes. Les espèces ayant les IVI les plus élevés ( $IVI \geq 50\%$ ) sont considérées comme « principales essences ». Pour le calcul de l'IVI, la fréquence relative est nécessaire, tout comme l'abondance relative et la dominance relative (Robisoa, 2010). La fréquence relative ( $F\%$ ) est le nombre de fois où chaque espèce est rencontrée, elle est exprimée en pourcentage.

# Matériel et méthodes

## I. Présentation de la zone d'étude

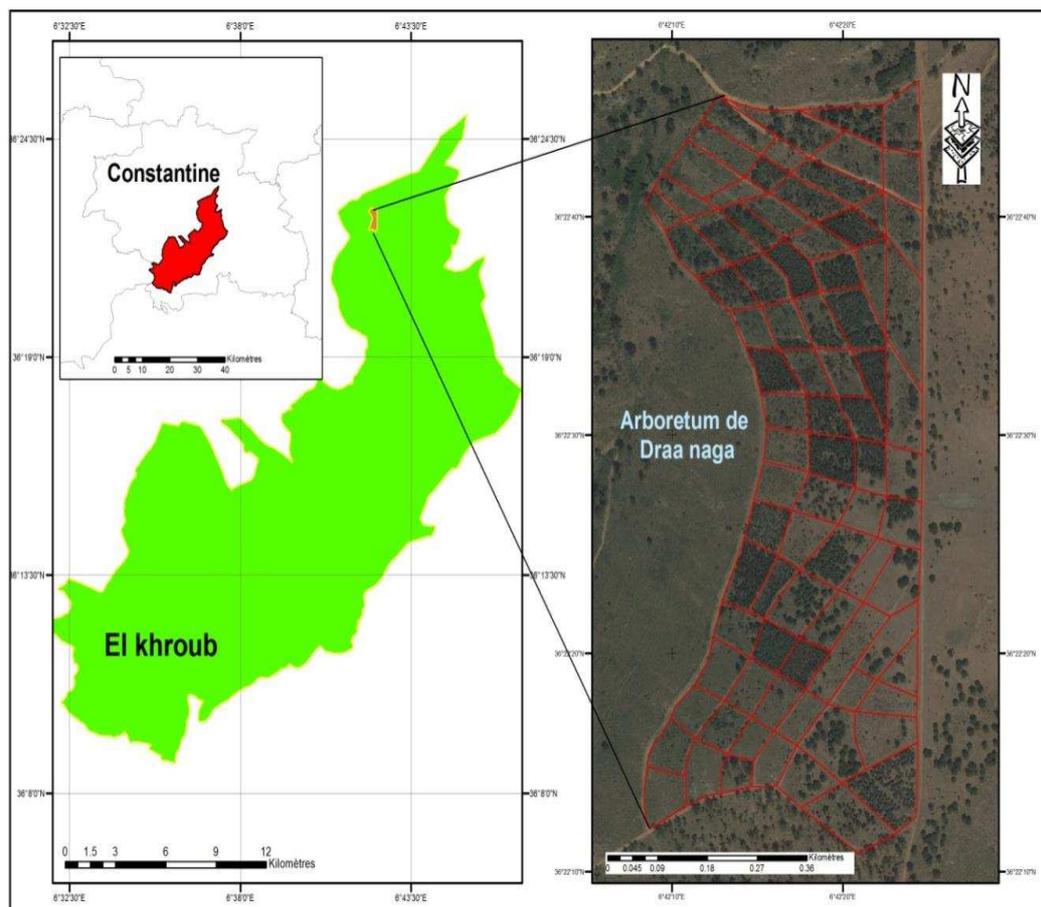
### 1. Historique sur la zone d'étude

Gérée par la Conservation des Forêts de Constantine, la station forestière « Draa Naga » est formée d'un arboretum (qui a été implanté entre 1954 et 1967) de 77 parcelles, où sont plantées plusieurs espèces sylvicoles (feuillus et résineux) de provenances diverses, introduites dans le but de connaître leurs potentialités, adaptations, productivités et de mettre à disposition des forestiers une gamme d'espèces leur permettant d'orienter la reconstitution de la forêt (Carte 1)

### 2. Situation géographique et milieu physique de la zone d'étude

L'arboretum de Draa Naga (Forêt de Djebel El Ouahch) appartient administrativement à la wilaya de Constantine (15 km à l'Est de Constantine). Il est situé entre la longitude ( $X_1 : 6^{\circ}42'5''$ ,  $X_2 : 6^{\circ}42'30''$ ) et la latitude ( $Y_1 : 36^{\circ}20'45''$ ,  $Y_2 : 36^{\circ}22'15''$ ) à 950 mètres d'altitude. Il occupe une superficie totale de 30 ha, sur le territoire de la commune d'El-Khroub (carte 1) (Kanouni et *al.*, 2014)

Les caractéristiques du milieu physique sont indiquées dans le tableau 1.



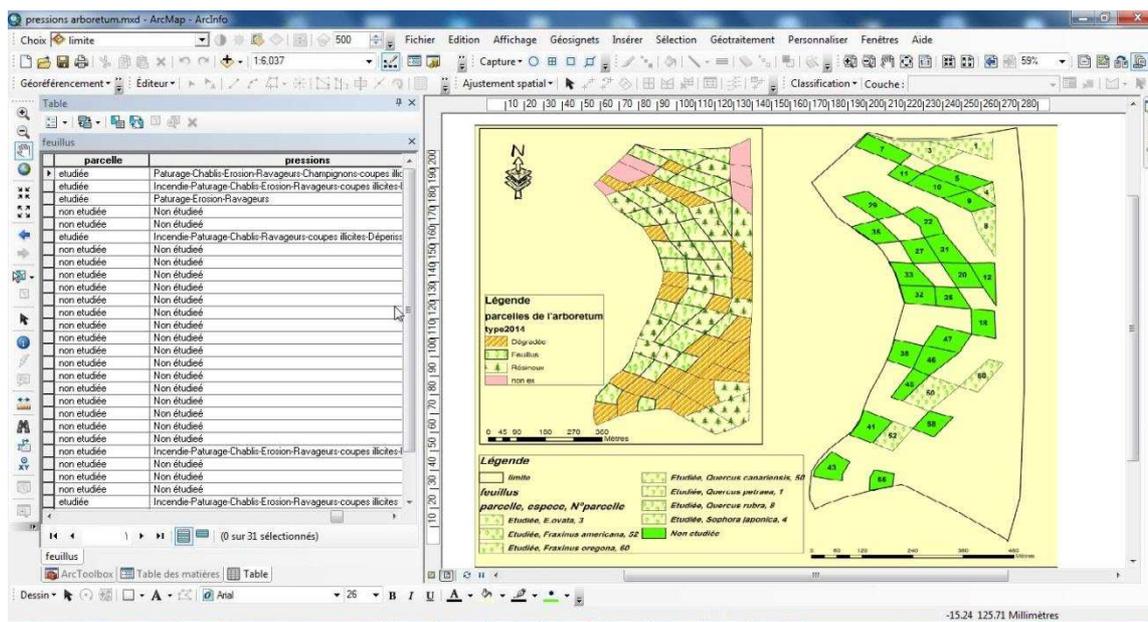
Carte 1. Situation géographique de l'arboretum de Draa Naga

**Tableau 1.** Caractéristiques du milieu physique du site d'étude

Climat	Hydrographie	Relief	Sol
L'arboretum de Draa Naga, se trouve sur les étages bioclimatiques semi-aride et subhumide. Le climat se caractérise par un été chaud et sec et un hiver froid et humide avec une pluviométrie annuelle de 700 mm.	Le réseau hydrographique est constitué par quelques ravins encaissés et à régime d'écoulement temporaire.	Le relief se caractérise par une pente faible (3 à 12%).	Le type de sol de la station forestière de Draa Naga est silico-argileux.

## II. Récolte de données

On a tout d'abord procédé à l'élaboration d'une carte de l'arboretum selon le type des essences (Feuillus, Résineux). Cette étape a été réalisée grâce au logiciel ArcGIS 10.1. La figure 3 montre l'élaboration d'une carte thématique de l'arboretum.

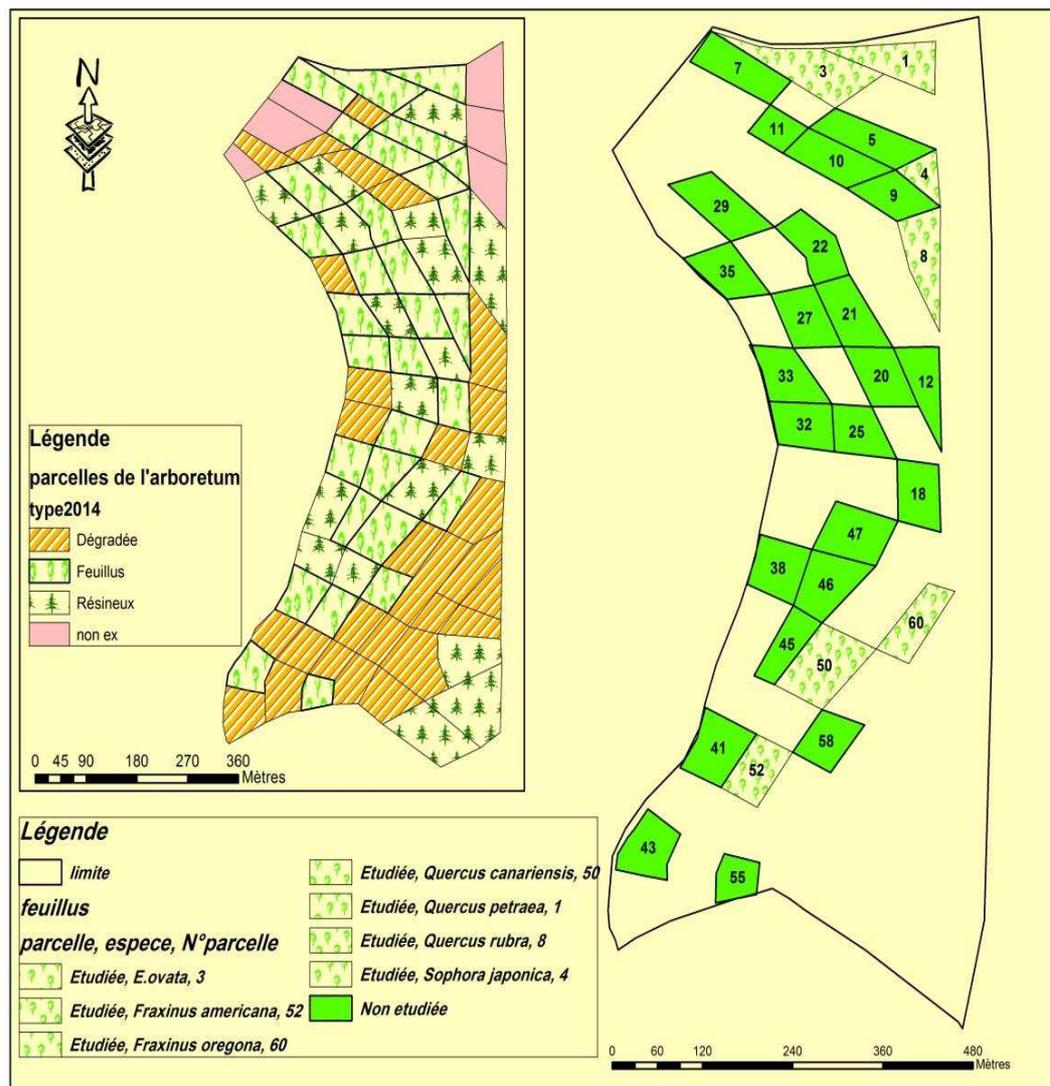
**Figure 3.** Capture d'écran (élaboration d'une carte de feuillus de l'arboretum).

D'après Razafindranilana (2003), l'inventaire forestier est l'ensemble d'activités permettant d'obtenir, pour une population forestière donnée, avec une certaine précision, une ou plusieurs informations qualitatives ou quantitatives concernant une ou plusieurs fonctions de la forêt. Cet ensemble d'activités comprend la collecte, le stockage, le traitement et la diffusion des informations.

Le type d'inventaire adopté dans cette étude est l'inventaire en plein (ou pied à pied). Il consiste en un dénombrement exhaustif des tiges par essence et par classe de diamètres.

Ce type d'inventaire est le plus classique. Il ne demande pas une grande technicité et il est considéré comme suffisamment précis pour les principales variables dendrométriques (Tomasini, 2002).

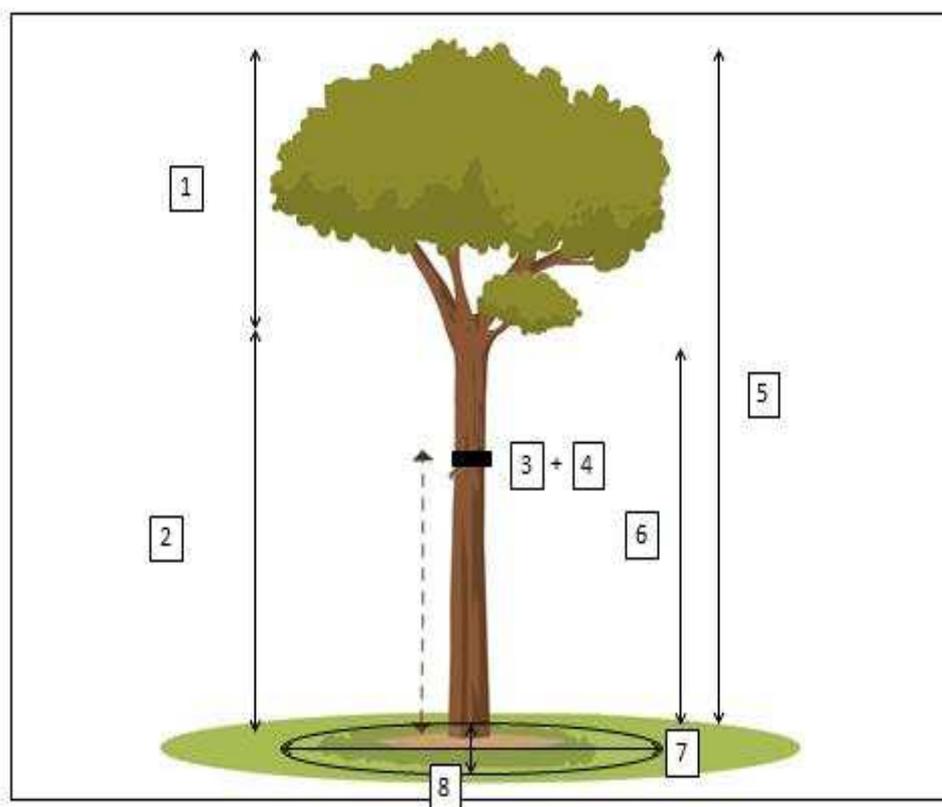
Pour la réalisation d'un inventaire forestier, plusieurs sorties sur terrains ont été nécessaires. L'inventaire s'est déroulé dans 7 parcelles des feuillus (Carte 2) sur les 31 existantes.



**Carte 2.** Localisation des 7 parcelles de feuillus étudiées.

Pour chaque arbre, les informations suivantes ont été récoltées (Cf. annexe I) :

- Les noms vernaculaires des essences donnés par les guides locaux ;
  - Le diamètre à 1.30m du sol ( $D_{1.30}$ ) mesuré par un compas forestier et la circonférence donnée par un ruban mètre ;
  - La hauteur totale (Ht) définie par la longueur de la ligne droite joignant le pied de l'arbre (niveau du sol) à l'extrémité du bourgeon terminal de la tige ; cette dernière est mesurée à l'aide d'un Smartphone (Application androïde : Measure Hight) ;
  - Les coordonnées de chaque arbre ont été prises à l'aide d'un GPS. Chaque arbre inventorié a été marqué avec de la peinture d'un numéro correspondant à l'ordre de recensement inscrit dans le cahier de terrain ;
  - La hauteur du fût (Hf) qui est la longueur de la ligne droite joignant le pied de l'arbre à la première grosse branche ;
  - Le diamètre du houppier ainsi que le recouvrement total de l'arbre (X et Y) (figure 3).
- Le matériel utilisé est indiqué en annexes (Cf. annexe II)



**Figure 4.** Schéma représentant les mesures dendrométriques effectués sur terrain. Houppier (1), Fut (2), Circonférence et diamètre à 1.30m (3, 4), Hauteur (5), Hauteur du fût (6), Projection X du houppier (7), Projection Y du houppier (8)

Un inventaire faunistique a également été fait en parallèle de/à celui de l'inventaire floristique, ça consistait à noter les coordonnées de chaque animal observé : traces d'oiseaux piqueurs, nids, empreintes, niches/bauges de sangliers, etc. (Cf. annexe III)

### **III. Traitement et analyses de données**

Le but du traitement des données est d'abord de stocker les données, ensuite de les compiler pour en avoir une vision plus globale facile à interpréter. L'analyse a comme objectif l'explication des variations des observations et la connaissance des relations qui lient les variables. Les données brutes et quantifiables de l'inventaire forestier réalisé ont été traitées avec le tableur Microsoft Excel (2010) afin de ressortir des graphes, des figures et des tableaux.

Avant de procéder aux analyses des données, ces dernières sont d'abord stockées dans des tableaux, puis groupées par classes de diamètres et de hauteur, par parcelle.

#### **1. Analyse structurale**

Cette analyse a pour but d'étudier la structure floristique qui renseigne sur les caractéristiques des essences qui composent le couvert forestier : composition et diversité floristiques et la structure spatiale (la structure horizontale et verticale du peuplement), afin d'obtenir des indications sur ses caractéristiques sylvicoles (Rajoelison, 2005).

##### **1.1. Structure floristique**

C'est la manière dont les individus d'une phytocénose sont répartis et agencés les uns par rapport aux autres. Elle est établie pour toutes les parcelles inventoriées et concerne la composition ainsi que la diversité floristique (Rajoelison, 2005)

###### **1.1.1. Composition floristique**

Elle est représentée par la liste floristique de toutes les espèces rencontrées à l'intérieur des parcelles inventoriées (Fournier et Sasson, 1983).

###### **1.1.2. Diversité floristique**

C'est la manière dont les espèces se répartissent entre les individus présents (Robisoa, 2010) elle est exprimée par le coefficient de mélange et par les indices de diversité :

###### **1.1.2.1. Le coefficient de mélange (CM)**

C'est le rapport du nombre total des tiges inventoriées au nombre d'espèces. Ce rapport nécessite une précision de la surface inventoriée ainsi que la taille inférieure des tiges pour être valable.

Il est calculé par la formule suivante (Rajoelison, 1997) :

$$CM = \frac{\text{Nombre d'espèces}}{\text{Nombre total des tiges inventoriées}}$$

### 1.1.2.2. Indices de diversité

Les différents indices de diversité actuellement utilisés permettent d'étudier la structure des peuplements en faisant référence ou non à un cadre spatio-temporel concret. Ils permettent d'avoir rapidement, en un seul chiffre, une évaluation de la biodiversité du peuplement (Nshimba, 2005).

Il existe une multitude d'indices pour mesurer la biodiversité. Pour cette étude, on en a utilisé trois, qui sont:

#### A. Indice de diversité de Shannon-Weiner (H')

Cet indice est une mesure logarithmique de la diversité des espèces pondérée par l'abondance relative de chacune (Ricklefset Miller, 2005). L'indice de diversité de Shannon (1949) repris par Grall et Hily (2003) indique la richesse en espèces au sein d'un écosystème local. Lorsque  $H'=0$ , tous les individus du peuplement appartiennent à une même espèce (Nshimba, 2005).

$$H' = - \sum (ni/N) \text{Log}_2 (ni/N)$$

N = effectif total (= nombre total des troncs)

ni = effectif de l'espèce i dans l'échantillon

#### B. Indice de diversité de Simpson (Ds)

Cet indice donne une valeur cumulative de la densité relative de toutes les espèces présentes dans la parcelle d'étude. Si Ds est très bas (0.25 par exemple), on peut dire que la population est définie par quelques espèces abondantes. Le peuplement est alors peu diversifié ou assez homogène (Rajoelison, 2005). Il mesure la probabilité que deux individus sélectionnés au hasard appartiennent à la même espèce (Nshimba, 2005)

$$Ds = 1 - S (ni / N)^2$$

S : nombre d'espèces

ni : nombre d'individus de l'espèce donnée

N : nombre total de tiges

### **C. Indice d'équitabilité de Piélou (E)**

Le terme équitabilité est une traduction du terme anglais *evenness*, introduit en écologie numérique par Piélou. C'est un autre moyen de mesurer la biodiversité, elle désigne la distribution plus ou moins égale des individus au sein des espèces. L'équitabilité varie entre 0 et 1.

Elle tend vers 0 quand la quasi-totalité des effectifs correspond à une seule espèce du peuplement et tend vers 1 lorsque chacune des espèces est représentée par un nombre semblable d'individus (Ramade, 2009).

Selon Frontier *et al.* (1993), cet indice est défini par la formule :

$$R = \frac{H}{H_{max}}$$

**R** = équitabilité

**H** = indice de Shannon-Weaver (diversité spécifique observée)

**H<sub>max</sub>** =  $\text{Log}_2 S$  ; **S** = nombre total d'espèces

#### **1.2. Structure spatiale**

Cette analyse se porte essentiellement sur l'analyse de la structure horizontale et la structure verticale de la végétation.

##### **1.2.1. Analyse horizontale**

C'est la répartition des végétaux suivant le plan horizontale. Elle donne une description des caractéristiques sylvicoles de la forêt et apporte des indications sur le potentiel de production forestière notamment en espèces ligneuses. Ce potentiel est reflété par l'abondance, la dominance et la contenance (le volume des peuplements) (Rajoelison, 2005). Elle permet donc d'évaluer les paramètres quantitatifs suivants :

##### **1.2.1.1. Abondances absolue et relative**

L'abondance constitue un paramètre important pour la description de la structure d'un peuplement (Ramade, 2009). L'abondance absolue permet d'avoir une estimation de la densité du peuplement (nombre d'individus à l'hectare) (Lantovololona, 2010).

L'abondance relative, quant à elle, donne le nombre d'individus d'une espèce par rapport au nombre totale de pieds inventoriés, elle est calculée par la formule suivante (Rajoelison, 1997 in (Lantovololona, 2010) :

$$Ai (\%) = \frac{Ni}{N} * 100$$

**Ni** : Nombre des tiges de l'espèce

**N** : Nombre total des tiges inventoriées

### 1.2.1.2. Dominances absolue et relative

La dominance absolue permet d'avoir une idée sur le degré de remplissage de la forêt. Elle évalue la surface terrière  $G$  du peuplement qui est la superficie occupée par le tronc, elle s'exprime en  $m^2/ha$ . Elle se calcule à partir de la formule suivante (Brunig, 1983):

$$G = \sum gi = \sum (N/4) \times d^2_{1.30}$$

**G** : Surface terrière de l'individu ( $m^2/ha$ )

**d<sup>2</sup>** : Diamètre à hauteur de poitrine (m)

Quant à la dominance relative d'une espèce, c'est le rapport de la surface terrière de cette espèce à la surface terrière totale, multipliée par 100 (Rajoelison, 1997).

$$G (\%) = \left( \frac{Gi}{G} \right) * 100$$

**Gi** : Surface terrière de l'individu ( $m^2/ha$ )

**G** : Dominance absolue

### 1.2.1.3. Contenance absolue et relative

L'analyse de la contenance permet de déterminer les potentialités de la forêt soit le volume de la biomasse totale. Dépendante de la surface terrière et de la hauteur des individus, elle est différente pour chaque type de formation (Lantovololona, 2010). Son calcul est basé sur la formule de Dawkins (1959).

$$V = \sum vi = \sum (gi * hi) * 0.53$$

**V** : Volume en bois ( $m^3/ha$ )

**gi** : Surface terrière de l'individu ( $m^2/ha$ )

**hi** : Hauteur total de l'individu (m)

**0.53** : coefficient de forme si  $DHP > 35cm$ , et **0.51** si  $DHP < 35cm$

La contenance relative a été calculée avec la formule suivante :

$$V (\%) = \left( \frac{Vi}{V} \right) * 100$$

**Vi** : Contenance de l'individu (m<sup>3</sup>/ha)

**V** : Contenance absolue

### 1.2.2. Analyse verticale

La structure verticale permet de visualiser les différentes strates du peuplement (Kemadjoumbakemi, 2011). Elle induit l'étude du profil structural, permettant ainsi de visualiser l'architecture (Nombre de strates, états de développement), la structure des hauteurs et le degré de couverture (surface totale des projections des houppiers des arbres exprimée en pourcent). (Robiosa, 2008).

#### 1.2.2.1. Structure des hauteurs

C'est la répartition des arbres en nombre de tiges par classe de hauteurs. Elle est représentée par des diagrammes. (Robiosa, 2008).

#### 1.2.2.2. Profil structural

Le profil structural permet de visualiser l'architecture des strates. Il dénote les états de développement, et surtout la dynamique de succession perçue à travers la représentation schématique d'une chaîne de végétation. Dans les parcelles des profils structuraux, en sus de ces paramètres sont relevés :

- La position Xi et Yi du pied selon les axes d'abscisse Ox et d'ordonnée Oy.
- Le recouvrement de chaque individu (Lantovololona, 2009).

L'estimation du recouvrement, via le relevé de la largeur et la longueur du houppier, a aussi été faite.

### 1.3. La structure totale

La structure totale désigne la distribution du nombre de tiges par hectare suivant les classes de diamètre. Elle est représentée par une courbe. Cette dernière permet de voir l'état d'évolution du peuplement et l'exploitation dans la forêt, elle renseigne aussi sur la variabilité du nombre de tiges d'une classe de diamètre à l'autre. (Rasatatsihoarana, 2009)

## 2. Analyse des principales essences

Cette analyse permet de ressortir le tempérament des essences/espèces pour chaque phase de la succession végétale. Pour ce faire, la fréquence est établie dans un tableau floristique pour chaque

parcelle. La fréquence relative (F%) qui est le nombre de fois où chaque espèce est rencontrée et exprimée en pourcentage. Il en est de même pour l'abondance relative et la dominance relative (qui ont été calculées auparavant. Selon Curtis & McIntosh (1950), la fréquence d'une espèce est égale au nombre d'apparition de cette espèce sur la surface d'inventaire.

La fréquence relative d'une espèce est égale au quotient de la fréquence par la somme des fréquences de toutes les espèces et multipliée par 100 (Nshimba, 2005) :

$$Fr = \frac{\text{Fréquence d'une espèce}}{\sum \text{des fréquences de toutes les espèces}} * 100$$

A partir de ces données, l'indice de valeur d'importance (IVI) est calculé pour déterminer les essences les plus dominantes. Les espèces ayant les IVI les plus élevés ( $IVI \geq 50\%$ ) sont considérées comme « principales essences » (Robisoa, 2010)

La formule permettant de calculer cet indice est :

$$IVI\% = N\% + G\% + F\%$$

N% : Abondance relative

G% : Dominance relative

F% : Fréquence relative

### **3. Ecologie numérique**

#### **3.1. Statistique descriptive**

Pour mieux décrire les différentes variables dendrométriques qui caractérisent chacune des parcelles étudiées, nous avons calculé certains paramètres statistiques de base tels que la moyenne arithmétique ( $\bar{x}_{min}$ ), qui est un paramètre de position et de tendance centrale et l'écart-type (s) qui mesure la dispersion des données autour de la moyenne. Ces paramètres ont été calculés à l'aide du logiciel d'analyse et de traitement statistique des données XLStat (2014) pour chacune des caractéristiques par site.

#### **3.2. Régression linéaire**

Pour pouvoir traiter les différentes mesures, nous avons effectué des corrélations et des équations de régression par paire de paramètres mesurés. Nous avons corrélé tous les paramètres retenus : Hauteur / Diamètre, Hauteur / Surface terrière et Diamètre / Surface terrière. L'équation de régression «  $y=ax+b$  »

» a été utilisée pour représenter toutes les corrélations possibles. Le coefficient de corrélation indique dans quelle mesure la relation, si elle existe, peut être représentée par une droite (Demelon, 1968).

### **3.3. Analyse en composantes principale (ACP)**

Elle a pour objet la description des données contenues dans un tableau individus-caractères numériques. Il est considéré comme la méthode de base de l'analyse des données. La méthode est factorielle car la réduction du nombre de caractères ne se fait pas par une sélection de certains d'entre eux, mais par la construction de nouveaux caractères synthétiques obtenus en combinant les caractères initiaux au moyen des facteurs ; elle est également linéaire car il s'agit des combinaisons linéaires (Bouroche et Saporta, 1989). L'intérêt de cette technique est de dégager les grandes tendances de la variabilité de l'échantillon pour l'ensemble des descripteurs. La solution multidimensionnelle consiste à représenter la dispersion des objets dans un graphique multivariable, comportant autant d'axes qu'il y a de descripteurs dans l'étude. Mais au-delà de deux ou trois dimensions, il faut chercher des projections de ce diagramme multidimensionnel de dispersion dans des plans (espace réduit) les plus intéressants possibles (projection optimale).

### **3.4. La classification ascendante hiérarchique (CAH)**

C'est une méthode de classification automatique utilisée en analyse des données ; à partir d'un ensemble  $\Omega$  de  $n$  individus, son but est de répartir ces individus dans un certain nombre de classes. La méthode suppose qu'on dispose d'une mesure de dissimilarité entre les individus; dans le cas de points situés dans un espace euclidien, on peut utiliser la distance comme mesure de dissimilarité. La classification ascendante hiérarchique est dite ascendante car elle part d'une situation où tous les individus sont seuls dans une classe, puis sont rassemblés en classes de plus en plus grandes.

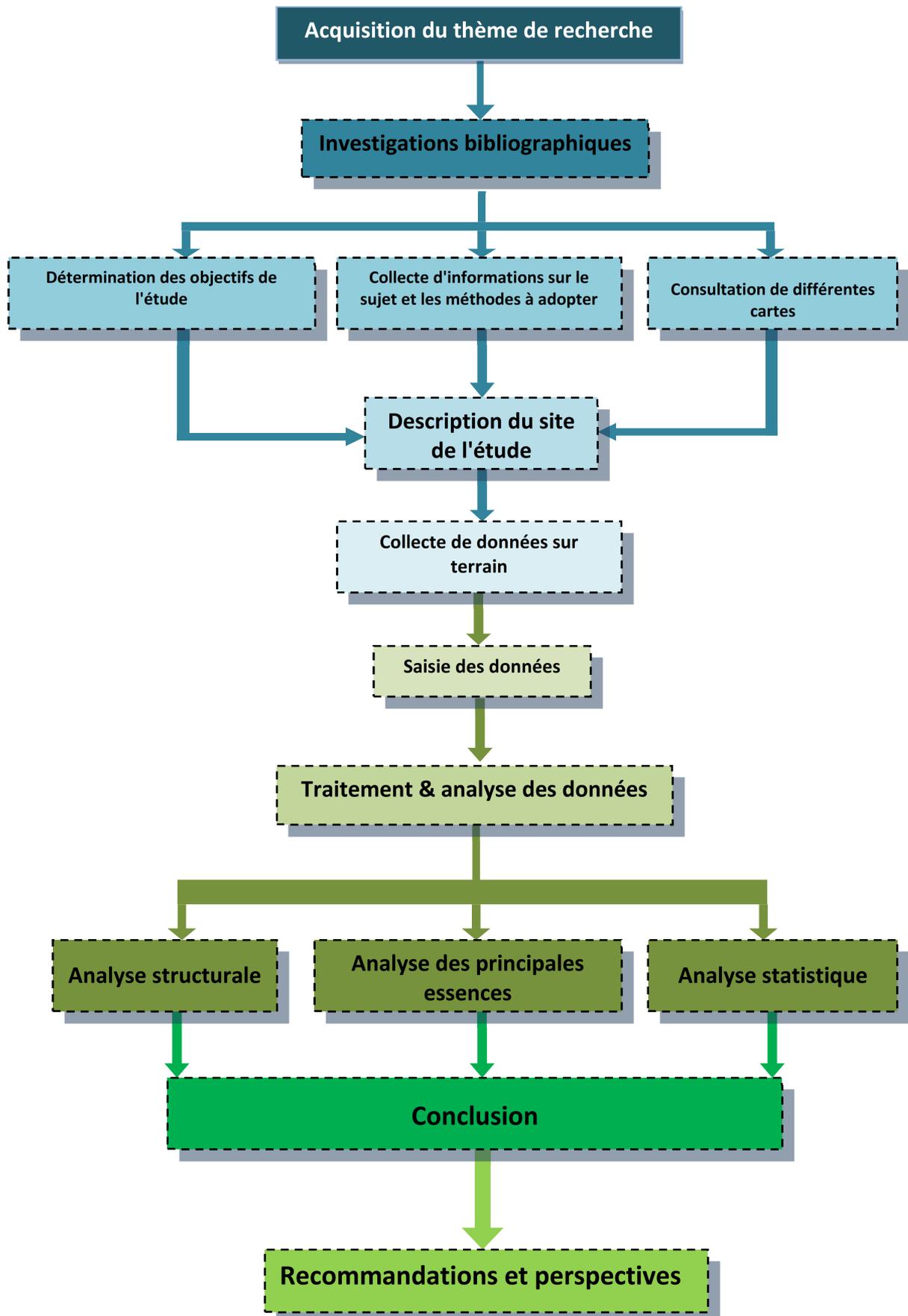


Figure 5. Synthèse de la méthodologie

# Résultats et discussion

## **Résultats et discussion**

Cette partie a pour objectif de déterminer la structure floristique et l'organisation dans l'espace des espèces, afin d'obtenir des indications sur les caractéristiques de l'arboretum. En effet, l'étude permet de suivre l'évolution de la qualité dans le temps et dans l'espace de ce dernier (potentialité en produits ligneux, état, structure...).

Les résultats avancés s'agissent d'une description d'un état zéro ou de référence de l'arboretum de Draa Naga ; il est déterminé au sens quantifiable à travers les paramètres sylvicoles pour la flore et la présence ou l'absence de la faune. Trois types d'analyses sont effectués : une analyse structurale, une analyse des principales essences et une analyse statistique.

### **1. Analyse structurale**

Elle comporte trois types de structures : La structure floristique, spatiale et l'analyse totale.

#### **1.1. Structure floristique**

L'arboretum dégradé de Draa Naga a subi diverses pressions. Ces dernières ont fini par modifier son état actuel qui sera décrit à travers une analyse sylvicole. Cette dernière a pour objectif l'étude d'un peuplement donné pour juger ses potentialités en vue d'une décision d'aménagement (Rajoelison, 1997).

##### **1.1.1. Composition floristique**

L'inventaire réalisé dans l'arboretum de Draa-Naga au niveau des 7 parcelles des feuillus sur l'ensemble des 31 existantes a permis de recenser, au total, 148 pieds, soit : 438 pied /ha sur une surface total de 3.59 ha, ces pieds sont représentés par 7 espèces forestières groupées dans 4 familles dont, qui sont: Myrtaceae, Fagaceae, Fabaceae et Oleaceae. L'année de plantation de chaque parcelle se situe entre 1954 et 1960, ces formations artificielles sont donc âgées de plus de soixante ans.

A l'exception de la parcelle 50 où le peuplement de *Quercus canariensis* s'est installé après la disparition du peuplement de *Quercus afares*, les autres parcelles sont restées inchangées depuis leur création du point de vue espèce. La densité de la parcelle 1 (*Quercus petraea*) est la plus importante avec 72 tiges, suivie de deux parcelles 50 et 60 : *Quercus canariensis* et *Fraxinus oregona* avec 26 pieds pour chacune.

Le tableau 2 synthétise les différentes caractéristiques des 7 parcelles des feuillus étudiées (les espèces, les familles, les effectifs, les plantations originelles et les années de plantation).

**Tableau 2.** La composition floristique de 7 parcelles étudiées.

Parcelle	Famille	Espèce	Année de plantation	Espèce d'origine	Nombre initial	Effectif actuel	N/ha	Observation (morts)
<b>P1</b>	Fagaceae	<i>Q. petraea</i>	1954	<i>Q. petraea</i>	-	72	151	16
<b>P3</b>	Myrtaceae	<i>E. ovata</i>	1954	<i>E. ovata</i>	1250	45	34	27
<b>P4</b>	Fabaceae	<i>S. japonica</i>	1955	<i>S. japonica</i>	350	16	102	1
<b>P8</b>	Fagaceae	<i>Q. rubra</i>	1955	<i>Q. rubra</i>	950	06	05	4
<b>P50</b>	Fagaceae	<i>Q. canariensis</i>	1960	<i>Q. afares</i>	267	30	48	4
<b>P52</b>	Oleaceae	<i>F. americana</i>	1960	<i>F. americana</i>	615	09	16	4
<b>P60</b>	Oleaceae	<i>F. oregona</i>	1960	<i>F. oregona</i>	-	28	82	2

Les résultats dendrométriques montrent l'existence de toutes les classes de diamètre (tableau 3). Les tiges des parcelles 4 (*S. japonica*), 52 (*F. americana*) et 60 (*F. oregona*) sont au stade des perches (leurs diamètres ne dépassent pas les 17.5cm). Cela signifie que les espèces introduites n'ont pas encore eu le temps d'atteindre de gros diamètre.

Les parcelles 1, 8, 50 ont des diamètres variant entre 7.5cm et 47.5cm ; trois catégories de diamètre sont représentées (les perches, petits bois et bois moyens). Dans la parcelle 3 (*Eucalyptus ovata*), toutes les catégories de diamètre sont pratiquement présentes avec 6 pieds dépassant les 47 cm et appartenant donc à la strate émergente (diamètre exploitable) (Andriamahazo, 2003). C'est du gros et très gros bois, en effet, l'eucalyptus est une essence à croissance rapide.

**Tableau 3.** Répartition des tiges des 7 feuillus par classes de diamètre.

Parcelle	Espèce	Classes de diamètre (DHP)					
		PP	PE	PB	BM	GB	TGB
		D ≤ .5	7.5 < d ≤ 7.5	17.5 < d ≤ 27.5	27.5 < d ≤ 47.5	47.5 < d ≤ 67.5	D > 67.5
<b>1</b>	<i>Q. petraea</i>	-	04	35	17	-	-
<b>3</b>	<i>E. ovata</i>	-	01	04	07	05	01
<b>4</b>	<i>S. japonica</i>	06	09	-	-	-	-
<b>8</b>	<i>Q. rubra</i>	-	-	01	01	-	-
<b>50</b>	<i>Q. canariensis</i>	-	03	12	05	-	-
<b>52</b>	<i>F. americana</i>	01	01	-	-	-	-
<b>60</b>	<i>F. oregona</i>	07	05	-	-	-	-

La figure 6 synthétise tout ce qui a été dit précédemment en montrant le taux actuel des espèces initialement plantées (espèces originelles) pour 6 catégories de diamètre (incluant la classe des régénérations naturelles).

Pour la première classe de diamètre (diamètre < 5cm), la régénération existe dans les parcelles 4, 52 et 60 pour les espèces initialement plantées; il faut noter que les espèces de cette classe sont introduites.

Par contre, pour les espèces ayant atteint plus de 47.5cm de diamètre, il reste qu'une seule espèce qui est *E. ovata* (P3) avec 6 pieds.

Pour la parcelle 1 (la classe de diamètre 17.5cm à 27.5cm) a un taux élevé de tiges, ceci est dû au fait que c'est une parcelle occupée par : *Q. petraea*, cette espèce est dynamique et se régénère d'une manière assez bonne. Aussi, plusieurs individus de cette espèce ne sont qu'à un stade de vie de jeunesse et/ou d'adolescence (Ranjevasoa, 2009). Par contre, les tiges de gros diamètre sont inexistantes.

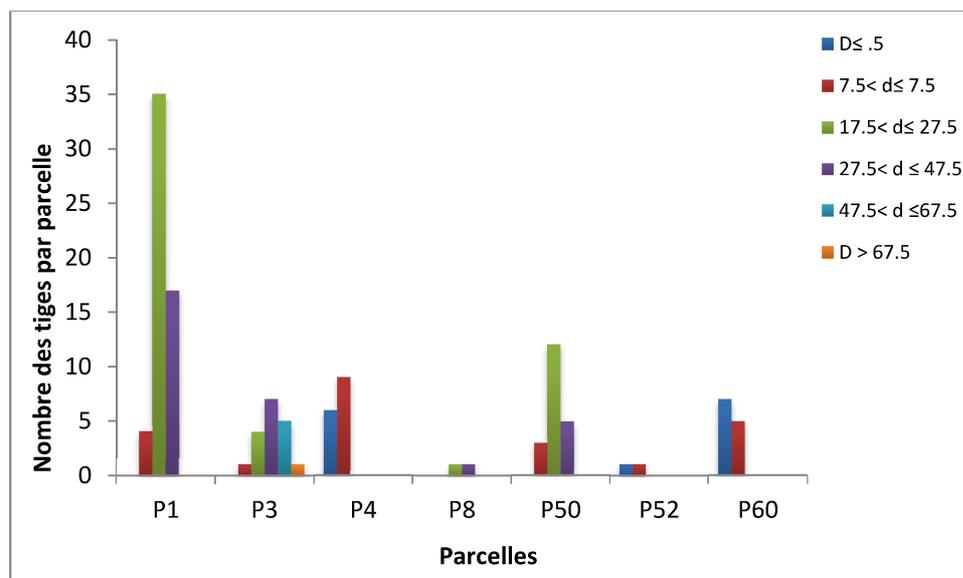


Figure 6. Distribution du nombre des tiges par parcelle en fonction des classes de diamètre.

### 1.1.2. Diversité floristique

La diversité floristique exprime la répartition des espèces entre les individus présents. Elle est évaluée pour les 7 parcelles à l'aide de 4 paramètres : le coefficient du mélange (CM), l'indice de diversité de Simpson(Ds), l'indice de diversité de Shannon-Wiener (H') et l'indice d'équitabilité de Piélou (E) (tableau 4).

On remarque que les coefficients de mélange varient de 1/151 à 1/5 pour les 7 parcelles de feuillus étudiées, ces coefficients traduisent une tendance à l'homogénéité des différents

peuplements. L'indice de Simpson est quant à lui égale à 0 dans toutes les parcelles, ceci signifie que les parcelles sont peu ou pas du tout diversifiées. L'indice de Shannon-Wiener varie de 0.05 à 0.36 : ce sont des valeurs très peu significatives et qui indiquent une faible diversité floristique ; l'équitabilité varie entre 0.03 à 0.21, elle se rapproche donc du zéro, ceci signifie qu'il n'y pas d'équitabilité dans la distribution des espèces ; ces taux assez bas des indices de la biodiversité s'expliquent par le fait que les parcelles soient composées de formations artificielles et mono spécifiques.

**Tableau 4.** Indices de diversité floristique des 7 parcelles des feuillus étudiés.

Parcelles	CM	Ds	H'	E
P1	1/151	0	0.367137	0.217241
P3	1/34	0	0.1984	0.117396
P4	1/102	0	0.339359	0.200804
P8	1/5	0	0.051059	0.030212
P50	1/48	0	0.242303	0.143375
P52	1/16	0	0.1209	0.143375
P60	1/82	0	0.313678	0.185608

## 1.2. Structure spatiale

### 1.2.1. Analyse horizontale

Cette analyse concerne les caractéristiques quantitatives suivantes : l'abondance, la dominance et la contenance au sein de chaque parcelle (tableau 5).

Pour l'abondance absolue, plus de 76% des arbres appartiennent aux parcelles 1, 4 et 60. Celles-ci sont respectivement occupées par *Q. petraea* (151 pieds/ha), *S. japonica* (102 pieds/ha) et *F. oregona* (82 pieds/ha). L'abondance décroît pour les autres parcelles et la plus faible densité est affectée à P8 (*Q. rubra*) avec 5pieds/ha. L'abondance relative suit la même tendance que l'abondance absolue.

Une densité élevée de tiges dans les parcelles 1, 4 et 50 combinée avec un diamètre réduit (PP, PE et PB) permet à l'arboretum de résister au vent. Par ailleurs, un diamètre assez élevé est nécessaire pour stabiliser le peuplement face à une croissance en hauteur intense résultant d'une compétition pour la lumière (Razanatsimba, 2005).

La dominance (G) de la totalité de l'arboretum est de 16.53m<sup>2</sup>/ha. Selon la formule antérieurement citée, G varie en fonction du diamètre et de la densité du peuplement. C'est ainsi que *Q. petraea* possédant la valeur maximale en abondance (8m<sup>2</sup>/ha) dans la parcelle 1. G est très faible dans P52 (*F. americana*). Les parcelles 4, 8 et 60 présentent quasiment les mêmes valeurs. La valeur de G dans P3 est presque la moitié de celle dans P1. La dominance relative est

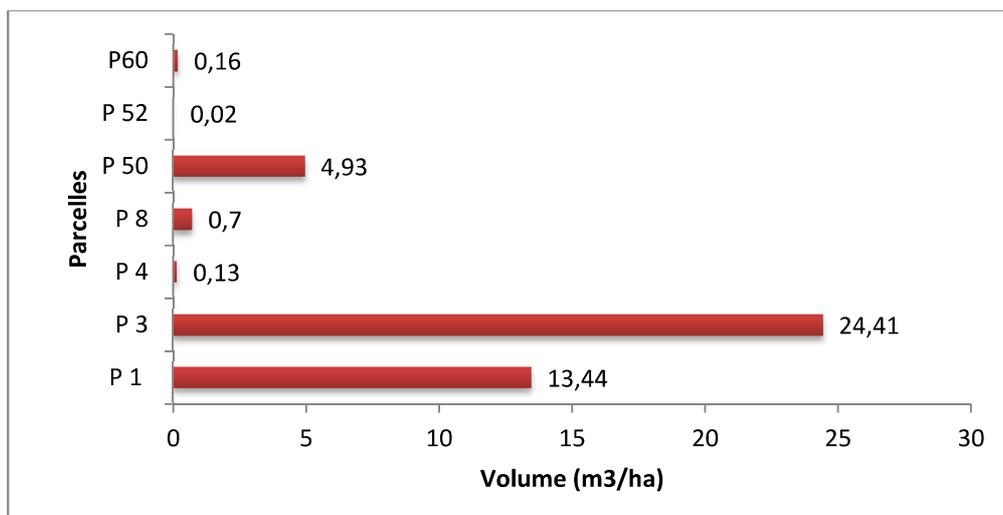
inversement corrélée avec l'abondance absolue ; elle varie de 0.67% (P1 : 151 pieds/ha) à 19.85% (P8 : 5 pieds/ha).

Un hectare de l'ensemble des parcelles étudiées fournit en moyenne 6.26 m<sup>3</sup>/ha de bois.

**Tableau 5.** Analyse horizontale des feuillus.

Parcelle	Espèce	Abondance (N / ha)	Abondance relative (%)	Dominance (m <sup>2</sup> / ha)	Dominance relative (%)	Contenance (m <sup>3</sup> / ha)
P1	<i>Q. petraea</i>	151	34.50	8	0.67	13.44
P3	<i>E. ovata</i>	34	7.74	4.93	2.94	24.41
P4	<i>S. japonica</i>	102	23.34	0.57	0.98	0.13
P8	<i>Q. rubra</i>	05	1.23	0.30	19.85	0.70
P50	<i>Q. canariensis</i>	48	11.07	2.21	2.08	4.93
P52	<i>F. americana</i>	16	3.56	0.07	6.25	0.02
P60	<i>F. oregona</i>	82	18.72	0.45	1.22	0.16

Le graphe de la figure 7 évoque la productivité de chaque parcelle en bois. La parcelle 3 est la plus riche avec un volume de 24.41m<sup>3</sup>/ha. Ainsi l'allure de la figure ci-après est différente des résultats des analyses de l'abondance et de la dominance.



**Figure 7.** Volume de bois dans chaque parcelle

### 1.2.2. Analyse verticale

Elle consiste à établir un profil structural. Ce dernier présente la stratification verticale de la formation forestière et renseigne sur la hauteur du peuplement, son degré de fermeture, la densité, l'étalement des houppiers et l'étagement de la végétation (Rajoelison, 1997). Il s'avère intéressant de connaître le degré de recouvrement ou de fermeture qui est en étroite relation avec la pénétration de lumière dans les sous-bois car c'est l'un des facteurs qui déterminent l'installation de la régénération naturelle. Dans l'analyse verticale, on étudie également la structure des hauteurs.

### 1.2.2.1. Structure des hauteurs

Elle est donnée par la distribution du nombre de tiges de toutes les parcelles ramené à l'hectare pour chaque classe de hauteur, elle nous renseigne sur la stratification verticale du peuplement.

Une grande proportion d'arbres possède une hauteur comprise entre 2 et 4m avec 121 tiges (stade fourré à gaulis), et 4 à 8m (gaulis) avec 177 individus, la classe comprise entre 10 et 14m (bas perchis) possède 58 tiges et enfin la classe comprise entre 14 et 26m (bas/haut perchis à futaie-jeune ou futaie) renferme 20 individus.

La classe comprise entre 2 et 4 m détient le nombre d'individus le plus important à cause de la régénération qui reste assez moyenne (figure 8).

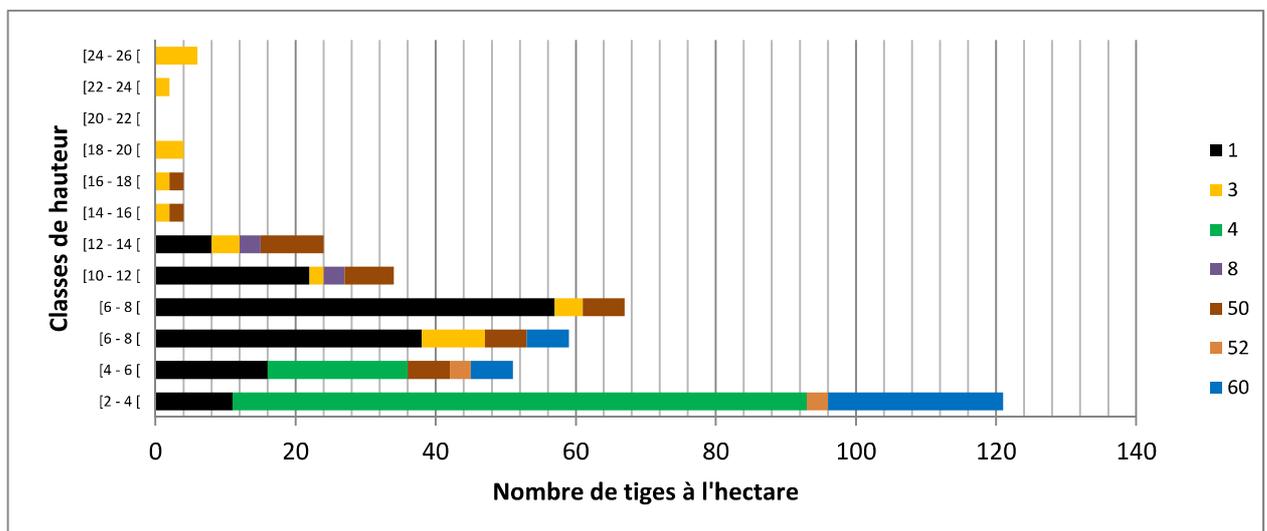
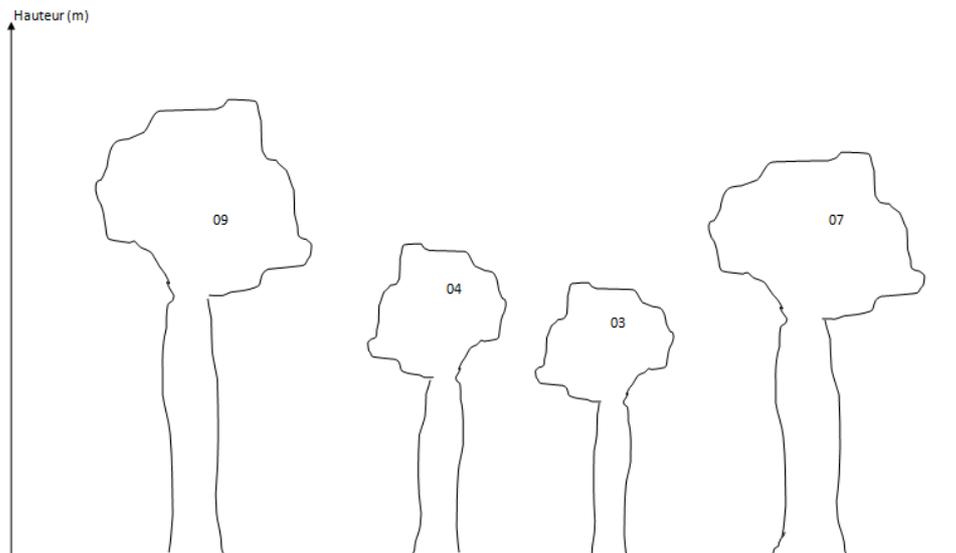


Figure 8. Distribution du nombre de tiges à l'hectare par classe de hauteur.

### 1.2.2.2. Profil structural

Le profil structural, permet de visualiser l'architecture et le nombre de strates, ainsi que les états de développement. Il a été établi pour la parcelle la plus dense c'est-à-dire P01 *Quercus petraea*. Une zone de 25m x 5m a été délimitée, après la conversion des valeurs en hectares et l'application d'une règle de trois on a pu avoir le nombre de tiges qui seront représentées, elles sont au nombre de 4. On les a choisis parmi les classes de hauteurs les plus hautes. En ayant calculé l'espacement moyen des arbres auparavant, on a pu représenter ces 4 tiges suivant un axe XY.

Cette représentation bidimensionnelle est approximative, car on manquait de données comme la géolocalisation des tiges : (Figure 9)



**Figure 9.** Profil structurale de la parcelle P01 : *Quercus petraea*

### 1.2.2.3. Structure total : Tempérament de l'essence

La structure totale désigne la distribution du nombre de tiges suivant les classes de diamètre, toutes les espèces réunies (Rollet, 1969 in Rajoelison 1997), avec tous les types biologiques représentés. La structure totale renseigne sur la variabilité du nombre de tiges d'une classe de diamètre à l'autre (Rasatatsihoarana et Randriananjatsoa, 2009).

Notre relevé montre que l'amplitude est très élevée (l'amplitude désigne la différence entre le diamètre minimum et le diamètre maximum observés) et le nombre de tiges diminue au fur et à mesure que le diamètre augmente (tableau 6). La structure totale permet de constater l'état des espèces étudiées (figure 10). D'après cette figure, les arbres de petites dimensions sont moins abondants que ceux de grandes dimensions. L'allure de la courbe indique les régénérations naturelles dans l'arboretum sont faibles et que les espèces étudiées ont un tempérament héliophile. Cet état de fait est attribué surtout à l'existence d'une sélection naturelle (due à la concurrence des individus vis à vis des facteurs de croissance comme la lumière et le sol) et au tempérament même de chaque espèce composant le peuplement (Ramalanjaona, 2013).

**Tableau 6.** Répartition du nombre de tiges par hectare par classes de diamètre.

Classe	$1 < d \leq 7.5$	$7.5 < d \leq 17.5$	$17.5 < d \leq 27.5$	$27.5 < d \leq 47.5$	$47.5 < d \leq 67.5$	$d > 67.5$
N/ha	86	79	127	67	9	2

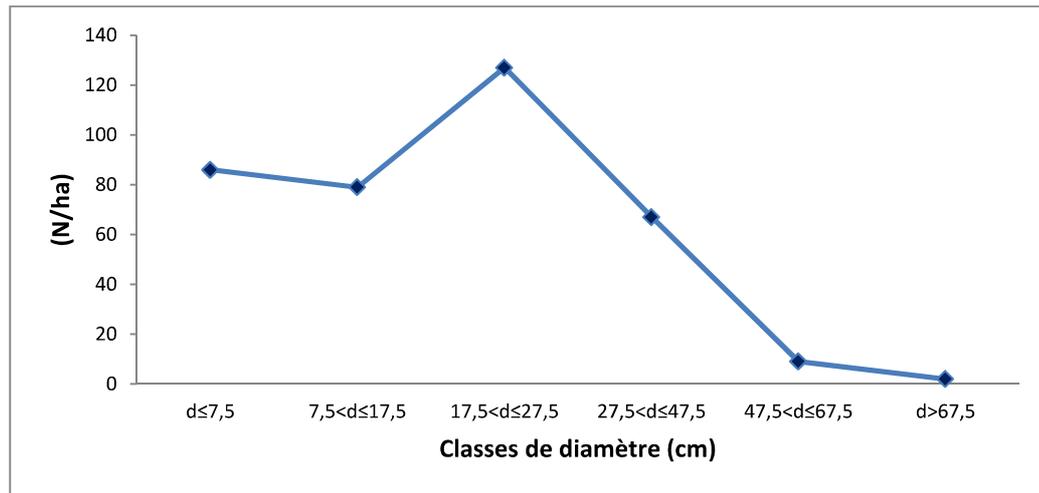


Figure 10. Structure totale

### 1.3. Analyse des principales essences

Cette analyse permet de ressortir le tempérament des essences pour chaque phase de la succession végétale et de déterminer les essences principales. Elle se fait grâce au calcul de l'indice de valeur d'importance (IVI), les résultats sont illustrés et notés dans le (tableau 7).

À partir de la fréquence relative; la dominance relative et l'abondance relative, l'indice de valeur d'importance (IVI) est calculé pour déterminer les essences les plus dominantes.

En se référant sur l'abondance de chaque espèce dans les parcelles étudiées, on peut en déduire que l'essence principale est constituée de *Q. petraea* dans la parcelle 1 avec un IVI proche de 50 ; Pour les autres espèces; elles peuvent être considérées comme des essences principales car leurs IVI est < à 50% (il varie entre 24.09 et 38.6%).

Tableau 7. Analyse des principales essences et calcul de l'IVI (%).

Parcelle	Abondance relative %	Dominance relative %	Fréquence relative %	IVI
<b>P1</b>	34.50	0.67	14.28	<b>49.45</b>
<b>P3</b>	7.74	2.94	14.28	<b>24.96</b>
<b>P4</b>	23.34	0.98	14.28	<b>38.6</b>
<b>P8</b>	1.23	19.85	14.28	<b>35.36</b>
<b>P50</b>	11.07	2.08	14.28	<b>27.43</b>
<b>P52</b>	3.56	6.25	14.28	<b>24.09</b>
<b>P60</b>	18.72	1.22	14.28	<b>34.22</b>

### 3. Ecologie numérique

#### 3.1. Statistique descriptive

Le tableau 8 présente la moyenne plus ou moins l'écart-type calculés pour chacune des 12 variables mesurées sur les 7 parcelles des feuillus de l'arboretum de Draa Naga. Ces résultats permettent d'observer la variation de la moyenne de chacune de ces variables pour les différentes espèces étudiées. Le tableau ci-dessous synthétise les résultats de la description en présentant uniquement les moyennes minimale ( $\bar{x}_{\min}$ ) et maximale ( $\bar{x}_{\max}$ ), ces deux valeurs extrêmes donnent une idée sur l'étendue des moyennes par variable étudiée sur les 7 feuillus.

**Tableau 8.** Les moyennes minimales et maximales de chacun variables étudiées

Variable	Observations	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
AA	7	5.00	151.00	62.57	52.06
AR %	7	1.23	34.50	14.31	11.89
DA	7	0.07	8.00	2.36	3.02
DR %	7	0,67	19,85	4,85	6,87
C	7	0.02	24.41	6.26	9.38
CR %	7	0.05	55.74	14.29	21.41
IVI %	7	24,09	49,45	33,44	8,96
DM	7	7.25	60.00	24.56	19.68
HM	7	2.43	14.01	7.62	4.47
CM	7	0.01	0.20	0.05	0.07
H	7	0.05	0.37	0.23	0.12
E	7	0.03	0.22	0.15	0.06

#### 3.2. Régression linéaire

D'après les résultats analytiques dendrométriques obtenus des 7 espèces feuillus (Tableau 9 et annexe IV) nous remarquons que les corrélations entre diamètre/surface terrière sont très hautement significantes ( $r = 0.97$  à  $1$ ) pour les 7 des espèces. Ces forts coefficients de corrélation, peuvent s'expliquer par une stabilisation considérable de la morphologie pour chaque espèce dans le site d'étude.

A l'exception de deux parcelles (P4 : *Sophora japonica* et P50 : *Quercus canariensis*) où les coefficients de corrélation sont insignifiants pour les paramètres hauteur/surface terrière ( $r = 0.04$  et  $0.34$ ) et hauteur/diamètre ( $r = 0.07$  et  $0.36$ ) ; pour les parcelles restantes ces deux paramètres varient entre hautement et hautement significatifs (tableau 9).

**Tableau 9.** Corrélations entre les paramètres dendrométriques mesurés de 7 parcelles d'étude.

Parcelle 1 : <i>Quercus petraea</i>			
Paramètres	Equation de régression	R <sup>2</sup>	Coefficient de corrélation « r »
Diamètre / Surface terrière	$y = 0.3998x - 0.0477$	R <sup>2</sup> = 0.9654	r=0.98
Hauteur / Surface terrière	$y = 45.347x + 5.6283$	R <sup>2</sup> = 0.2588	r=0.50
Hauteur / Diamètre	$y = 20.505x + 2.8589$	R <sup>2</sup> = 0.3196	r=0.56
Parcelle 3 : <i>Eucalyptus ovata</i>			
Paramètres	Equation de régression	R <sup>2</sup>	Coefficient de corrélation « r »
Diamètre / Surface terrière	$y = 0.6696x - 0.1188$	R <sup>2</sup> = 0.9491	r=0.97
Hauteur / Surface terrière	$y = 38.659x + 8.4015$	R <sup>2</sup> = 0.4954	r=0.70
Hauteur / Diamètre	$y = 27.229x + 3.2804$	R <sup>2</sup> = 0.5203	r=0.72
Parcelle 4 : <i>Sophora japonica</i>			
Paramètres	Equation de régression	R <sup>2</sup>	Coefficient de corrélation « r »
Diamètre/Surface terrière	$y = 0.1261x - 0.0047$	R <sup>2</sup> = 0.9775	r=0.98
Hauteur / Surface terrière	$y = 19.686x + 2.8106$	R <sup>2</sup> = 0.0023	r=0.04
Hauteur / Diamètre	$y = 3.8145x + 2.6098$	R <sup>2</sup> = 0.0054	r=0.07
Parcelle 8 : <i>Quercus rubra</i>			
Paramètres	Equation de régression	R <sup>2</sup>	Coefficient de corrélation « r »
Diamètre/Surface terrière	$y = 1.0824x + 0.0086$	R <sup>2</sup> = 1	r=1
Hauteur / Surface terrière	$y = 1.2037x + 0.0021$	R <sup>2</sup> = 1	r=1
Hauteur / Diamètre	$y = 1.2062x - 0.0236$	R <sup>2</sup> = 1	r=1
Parcelle 50 : <i>Quercus canariensis</i>			
Paramètres	Equation de régression	R <sup>2</sup>	Coefficient de corrélation « r »
Diamètre/Surface terrière	$y = 0.3740x - 0.0429$	R <sup>2</sup> = 0.9906	r=0.99
Hauteur / Surface terrière	$y = 68.878x + 6.9117$	R <sup>2</sup> = 0.1219	r=0.34
Hauteur / Diamètre	$y = 26.690x + 3.7345$	R <sup>2</sup> = 0.1296	r=0.36
Parcelle 52 : <i>Fraxinus americana</i>			
Paramètres	Equation de régression	R <sup>2</sup>	Coefficient de corrélation « r »
Diamètre/Surface terrière	$y = 1.2155x + 0.0010$	R <sup>2</sup> = 1	r=1
Hauteur / Surface terrière	$y = 1.2819x + 0.0008$	R <sup>2</sup> = 1	r=1
Hauteur / Diamètre	$y = 1.2829x - 0.0034$	R <sup>2</sup> = 1	r=1
Parcelle 60 : <i>Fraxinus oregona</i>			
Paramètres	Equation de régression	R <sup>2</sup>	Coefficient de corrélation « r »
Diamètre/Surface terrière	$y = 0.1472x - 0.00620$	R <sup>2</sup> = 0.9832	r=0.99
Hauteur / Surface terrière	$y = 209.76x + 3.0528$	R <sup>2</sup> = 0.4252	r=0.65
Hauteur / Diamètre	$y = 32.354x + 1.6387$	R <sup>2</sup> = 0.4589	r=0.74

### 3.3. Analyse en composantes principales (ACP)

L'analyse en composantes principales (ACP) a été appliquée à la matrice des corrélations obtenues à partir des 12 variables centrées réduites, mesurées sur les 7 parcelles des feuillus de l'arboretum, prises deux à deux. Les calculs réalisés donnent, chaque fois, les caractéristiques des dix axes principaux, dont seuls les premiers axes principaux ayant chacun une valeur propre égale ou supérieure à l'unité, soit à la contribution moyenne des différentes variables, c'est-à-dire à la moyenne arithmétique de toutes les valeurs propres, ont été retenus.

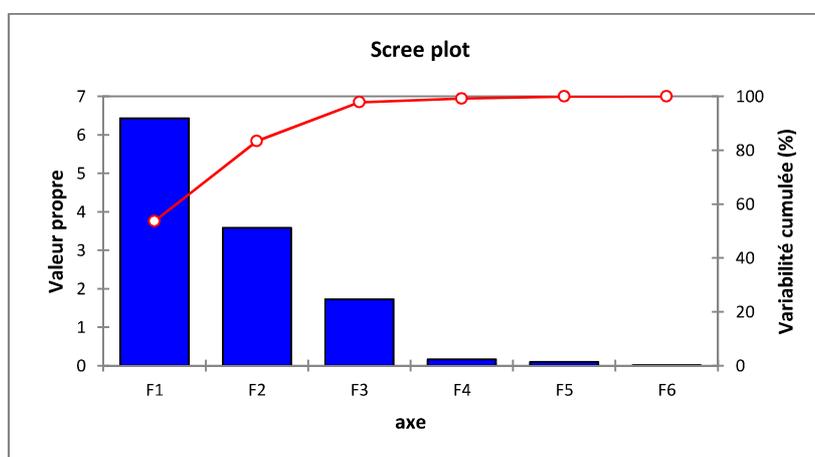
Dans le cas des 7 parcelles de l'arboretum donnent les valeurs propres, les pourcentages de variation expliqués par chacun des six axes retenus, ainsi que les pourcentages cumulés. On voit bien que le premier axe explique à lui seul 53,56 % de la variation totale des variables initiales, et le deuxième axe : 29,85%, le troisième axe explique quant à lui 14,38%, ainsi, les trois premiers axes expliquent ensemble 97,80%. Donc ces trois axes ou indices synthétiques résument au mieux l'information apportée par les 12 variables initiales (tableau 10).

**Tableau 10.** Résultats de l'ACP des six axes à partir des 12 caractéristiques mesurées sur les 7 parcelles des feuillus.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
<b>Valeur propre</b>	6,4283	3,5822	1,7266	0,1612	0,0964	0,0052
<b>Variabilité (%)</b>	53,5689	29,8520	14,3887	1,3436	0,8032	0,0436
<b>% cumulé</b>	53,5689	83,4208	97,8096	99,1531	99,9564	100,0000

N.B. CP1: 1<sup>er</sup> axe principal; CP2: 2<sup>ème</sup> axe principal ; CP3: 3<sup>ème</sup> axe principal ; CP4: 4<sup>ème</sup> axe principal ; CP5 : 5<sup>ème</sup> axe principal; CP6: 6<sup>ème</sup> axe principal

Le logiciel XLStat (2014) fournit, également, en figure 11 le graphique des valeurs propres en fonction des rangs de toutes les composantes principales. Ce graphique montre bien l'importance décroissante des différentes composantes principales.



**Figure 11.** Histogramme des valeurs propres en fonction des rangs des axes principaux pour l'ensemble des parcelles.

Cependant, l'interprétation de ces composantes nécessite le calcul des corrélations entre chacune des composantes principales retenues avec chacune des 12 variables initiales. Ces corrélations sont utiles pour préciser la part de la variance, d'une variable initiale donnée, prise en compte par une composante principale particulière, et seront utilisées pour les représentations graphiques des variables initiales dans les cercles de corrélations. En effet, la détermination de la part de l'information contenue dans une composante quelconque et relative à une variable initiale quelconque, est donnée par le carré du coefficient de corrélation calculé entre les deux variables en question. Si, d'autre part, on prend en considération les deux premières composantes, l'information prise en compte, pour une variable initiale donnée, est égale à la somme de l'information prise en compte par chacune des deux composantes.

En ce qui concerne les 7 parcelles étudiées, les corrélations entre les variables initiales et les deux premières composantes retenues, ainsi que les corrélations carrées correspondantes sont reprises dans le tableau 11.

Si on examine les résultats du tableau 10 on constate que le premier axe qui contient à lui seul 53,56 % de l'information apportée par l'ensemble des variables initiales, est constitué essentiellement par les variables: Aa, Ar, Dr, Dm, CM, H et E puisque la proportion de la variance prise en considération par l'axe 1 pour chacune de ces 7 variables initiales est d'une façon générale supérieure à 50%. L'axe 2 qui contient 29,85% de l'information est formé par les variables Da, C, Cr et Hm et enfin, l'axe 3 qui ne contient que 14,38 de l'information est formé par la variable IVI.

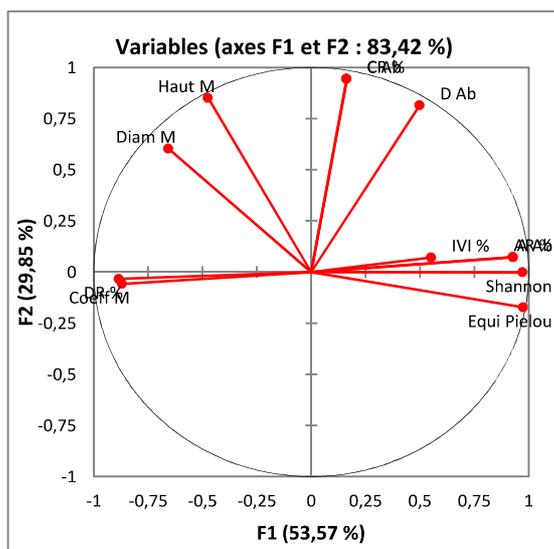
**Tableau 11.** Valeurs des corrélations et corrélations carrées des variables initiales avec les 2 premières composantes principales.

Variable	F1	F2	F3	F4	F5	F6
AA	<b>0,8650</b>	0,0053	0,1293	0,0004	0,0000	0,0001
AR %	<b>0,8628</b>	0,0053	0,1312	0,0006	0,0000	0,0001
DA	0,2489	<b>0,6629</b>	0,0270	0,0317	0,0281	0,0014
DR %	<b>0,7836</b>	0,0011	0,2059	0,0071	0,0022	0,0000
C	0,0268	<b>0,8919</b>	0,0607	0,0035	0,0171	0,0000
CR %	0,0268	<b>0,8919</b>	0,0607	0,0035	0,0171	0,0000
IVI %	0,3058	0,0050	<b>0,6861</b>	0,0011	0,0017	0,0002
DM	<b>0,4320</b>	0,3632	0,1776	0,0259	0,0009	0,0005
HM	0,2249	<b>0,7224</b>	0,0001	0,0259	0,0251	0,0015
CM	<b>0,7554</b>	0,0034	0,2342	0,0063	0,0006	0,0000
H	<b>0,9457</b>	0,0000	0,0040	0,0473	0,0024	0,0006
E	<b>0,9506</b>	0,0299	0,0099	0,0079	0,0010	0,0007

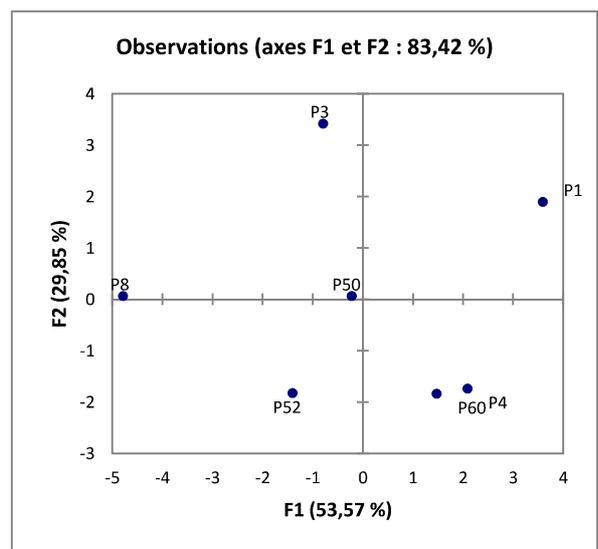
Les cercles de corrélations sont des graphiques visant à représenter géométriquement les variables initiales dans le nouveau système de coordonnées. Ainsi, la représentation des dix variables initiales dans le plan formé par les axes 1, 2 et 3 et appelé premier plan factoriel est utile, compte tenu de l'importance de ces trois axes dans la reconstitution des variables initiales (soit 97,80% de la variation totale) (figure 12).

Ces cercles de corrélations permettent parfois de donner une interprétation physique à certaines composantes principales. Ainsi, l'examen de la figure 9 permet de constater que les différentes variables sont proches du cercle de corrélation et sont par conséquent mieux représentées. Ce qui est normale car leurs corrélations carrées varient de 18,49% à 90,36%. D'autre part, les variables DM et HM présentent deux longs vecteurs voisins l'un de l'autre indiquant une forte corrélation entre ces deux variables (Cf. annexe V et figure 12).

Sachant que le premier plan factoriel 1-2 explique à lui seul un fort pourcentage de 83.42% de l'inertie totale, on va donc tout naturellement représenter graphiquement les parcelles dans ce plan (figure 13). Les coordonnées de chaque point varié sont les valeurs de l'axe 1 et de l'axe 2.



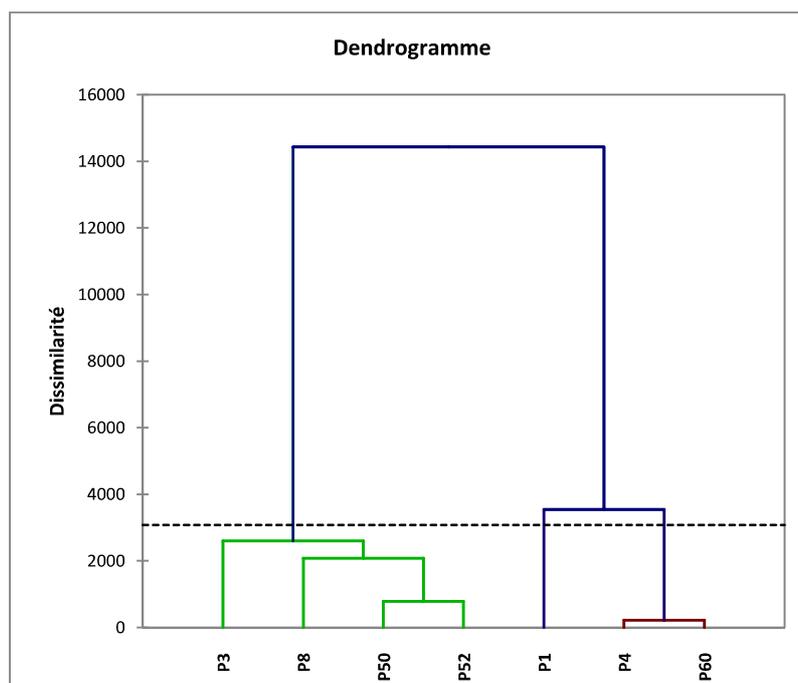
**Figure 12.** Représentation graphique des 12 variables à l'intérieur cercle de corrélations du plan factoriel 1-2.



**Figure 13.** Représentation graphique des points individus (parcelles) dans le plan Factoriel 1-2.

### 2.3. Analyse hiérarchique: résultats statistiques

La recherche des groupes homogènes de parcelles étudiées pour l'arboretum de Draa Naga, en utilisant le lien simple, la distance carrée de Pearson et un niveau de similarité de 80% a permis d'observer 3 groupes de parcelles. Ces groupes ont été déterminés à partir des moyennes des données sur douze caractéristiques dendrométriques. Les différents groupes obtenus sont donnés par la figure 14 et le tableau 12.



**Figure 14.** Dendrogramme du regroupement des 7 parcelles obtenu, à l'aide de la méthode du lien simple et la distance carrée de Pearson.

**Tableau 12.** Groupes de parcelles homogènes obtenus par l'analyse hiérarchique.

Parcelle	Groupes homogènes
P1	1
P3	2
P8	2
P50	2
P52	2
P4	3
P60	3

# Conclusion

## Conclusion

L'arboretum de Draa-Naga (Djebel El Ouahch) a subi une dégradation importante ces dernières années et pourtant aucune étude de sa reconstitution n'a jamais été entreprise. Or la durabilité de l'arboretum repose sur la garantie du maintien de son intégrité. Cette finalité ne sera atteinte que si on approfondit les recherches sur le passé sylvicole de l'arboretum (les années de sécheresse, les feux, les maladies...) et qu'on examine son état actuel (état actuel des peuplements forestiers après exploitation).

La présente étude a suivi le dynamisme de reconstitution de l'arboretum à travers la description de sa composition et sa richesse floristiques ainsi que l'analyse des principales essences. Tout cela au moyen des inventaires en plein. Pour ce faire, 7 parcelles des feuillus ont été comparées (P1 : *Quercus petraea*, P3 : *Eucalyptus ovata*, P4 : *Sophora japonica*, P8 : *Quercus rubra*, P50 : *Quercus canariensis*, P52 : *Fraxinus americana* et P60 : *Fraxinus oregona*).

Les résultats ont montré que la dégradation appauvrit l'arboretum en essences principales c'est-à-dire celles ayant le diamètre minimal d'exploitabilité. Au niveau de la composition floristique, 206 individus appartenant à 7 espèces et 4 familles ont été recensés. C'est la parcelle P1 (*Quercus petraea*) qui possède les taux les plus élevés d'abondance absolue et relative, et de surface terrière (dominance absolue) avec respectivement 151 tiges/ha, 34.50% et 8m<sup>2</sup>/ha. Quant à la contenance, la valeur la plus élevée est de 24.41m<sup>3</sup>/ha, elle se trouve dans la parcelle 3 (*Eucalyptus ovata*). Ainsi, les taux assez bas des indices de diversité s'expliquent par le fait que ces parcelles sont mono-spécifiques.

Au cours des analyses statistiques, 12 paramètres sylvicoles ont été étudiés pour les 7 parcelles en question, l'analyse en composante principale (ACP) et la classification ascendante hiérarchique (CAH) a fait ressortir trois groupes homogènes où le groupe 1 est présenté par la parcelle P1 (*Quercus petraea*), suivi par le groupe 2 qui contient les parcelles 3, 8, 50 et 52 qui présentent respectivement les espèces : *Eucalyptus ovata*, *Quercus rubra*, *Quercus canariensis* et *Fraxinus americana* et vient en dernier groupe les parcelles 4 et 60 avec *Sophora japonica* et *Fraxinus oregona*.

D'un côté, les résultats de ces travaux ont mené à la proposition de quelques recommandations pour contribuer à l'amélioration de la viabilité de l'arboretum. D'un autre, ces résultats doivent servir d'outil d'aide à la décision pour une amélioration de la gestion.

Cette étude reste une des interfaces à considérer de l'arboretum. Les études qu'on pourrait y mener sont à l'évidence multiple, si on ne parle que de phytosociologie, de phytopathologie, ou de phénologie, d'adaptation des espèces exotiques, etc.

## **Perspectives et recommandations**

Les interventions d'aménagement sylvicole peuvent être :

- Améliorer l'accès à l'arboretum ;
- Construire des plaques d'identification des arbres et des parcelles ;
- Faire des opérations de dégagement régulières dans le but d'éliminer la végétation indésirable ;
- Elimination du bois mort et des chablis;
- Elagage de certains arbres ;
- Faire des éclaircies sanitaires pour enlever les arbres malades ;
- Il faudrait aussi achever l'inventaire pour définir un état de référence (état zéro) de l'arboretum ;
- Désigner les essences de valeur (les principales essences);
- Faire une étude pédologique de l'arboretum pour connaître éventuellement l'adaptation des espèces exotiques dans cet arboretum.

# Références bibliographiques

## Références bibliographiques

- Actu-environnement (2015).** Dictionnaire de l'environnement, <http://www.actu-environnement>.
- Andrianantenaina H.N. (2005).** Contribution à l'étude de la potentialité d'invasion d'*Opuntia monacantha* dans la réserve spéciale de Beza Mahafaly. Mémoire de fin d'études. Université d'Antananarivo, 66p.
- Bouroche J.M., Saporta G. (1989).** L'Analyse des données. Presses Universitaires de France, 3e éd. - PUF, 127p.
- Brunig, E. F. (1983).** Vegetation structure and growth. In: Tropical rainforest ecosystems, edited by F. B. Golley, Amsterdam: Elsevier, 49-75.
- Coello J., Becquey J., Gonin P., Ortisset J.P., Desombre V., Baiges T., Piqué M. (2013).** Les feuillus précieux pour la production de bois de qualité: écologie et sylviculture des essences adaptées aux Pyrénées et aux régions limitrophes. Gouvernement de la Catalogne, Centre de la Propriété Forestière, 60p.
- Colin A. (2007).** Les forêts françaises capitalisent dans les Gros Bois. L'inventaire forestier, n°15, 8p.
- Coombes A.J. (2005).** Arbres : Reconnaître plus de 310 espèces en France et en Europe. Larousse, nature en poche, France, 224p.
- Dawkins H. C. (1958).** The measurement of basal area increment in tropical high-forest. Paper, Inter-African Forestry Conference, Pointe Noire.
- Demelon J. (1968).** Croissance des végétaux cultivés (Principes d'Agronomie). Tome II, Dunod, Ed. pp : 545-548.
- Favrichon V. Gourlet-Fleury S. Bar-Hen A., Dessard, H. (1998).** Parcelles permanentes de recherche en forêt dense tropicale humide. Eléments pour une méthodologie d'analyse des données. CIRAD-Forêt, 67 p.
- Fournier F., Sasson A. (1983).** Ecosystèmes Forestiers Tropicaux d'Afrique. ORSTOM/ UNESCO. Paris. France, 473p.
- Fournier R.A., Luther J.E., Guidon L., Lambert M.C., Piercey D., Hall R.J., Wulder M.A. (2003).** Mapping above-ground tree biomass at stand level from inventory information test cases in Newfoundland and Québec. Canadian Journal of Forest Research, 33, 1846-1863.
- Franklin, J., Simons, D.K., Beardsley, D., Rogan, J.M., and Gordon, H. (2001).** Evaluating errors in a digital vegetation map with forest inventory data and accuracy assessment using fuzzy sets. Trans. Geogr. Inf. Syst. 5(4): 285-304.
- Gounot M. (1969).** Méthodes d'étude quantitative de la végétation Bertrand Michel-Jean Annales de Géographie, Année 1971, V : 80(441), 591- 592.
- Grall J., Hily C. (2003).** Traitement des données stationnelles (faune). FT-10-2003-01.doc 1610

**Kemadjoumbakemi D. (2011).** Dynamique forestière post-exploitation industrielle: Cas de la forêt dense semi- décidue de Mbalmayo au sud Cameroun. Mémoire de fin d'étude master IIgéographie 2011, Université de Yaoundé I. 266p.

**Kroenlein M. (1993).** Définir les arboretums. Forêt méditerranéenne. T. XIV, n°1, 1993, 3-4

**Lantovololona F. (2010).** Inventaire floristique et caractérisation des usages des ressources végétales dans la zone d'extension de la réserve spéciale de Beza Mahafaly. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention de Diplôme d'ingénieur en sciences agronomiques, option eau et forêts, Université d'Antananarivo, école supérieure des sciences agronomiques, département des eaux et forêts, 93p.

**Marcon E. (2015).** Mesures de la biodiversité. Cirad, Agro Paris Tec, 50p.

**Nshimba S.M. (2005).** Étude floristique, écologique et phytosociologique des forêts inondées de l'île Mbiye à Kisangani, (R.D.Congo), DEA, ULB, 101 p.

**Nshimba S.M. WaMalale H., NtahobavukaHabimana H. (2014).** Structure, dispersion spatiale et abondance de la population à *Guarea thompsonii Sprague et Hutch.* (Meliaceae) dans la forêt à *Scorodophloeus zenkeri* Harms (Fabaceae) dans la Réserve Forestière de la Yoko en R.D.Congo. Journal of Animal & Plant Sciences, 23, 3569- 3587.

**ONF, 2009,** Evolution couverture forestière mondiale, [www.onf.fr](http://www.onf.fr)

**Rached-Kanouni M., Hadeif A., Matallah I., Amine Khoja A.E.M., Saighi K., Alatou D. (2014).** Diagnostic of Draa Naga arboretum on the forest of Djebel El Ouahch (north-eastern Algeria). International Journal of Management Sciences and Business Research, 3(9), 35-41.

**Rajaonera G.L., Rabenilalana F.M., Rakoto ratsimba H. (2008).** Mise en place d'un état de référence et d'un plan de suivi écologique permanent des vestiges de la forêt primaire de la station forestière de Mandraka. Université d'Antananarivo, 84p.

**Rajoelison L. G. (1997).** Etude de la forêt tropicale humide Malagasy : Exemples de la forêt littorale exploitée de Tampolo (*Fenoarivo antsinanana*). Série du Département des Eaux et Forêts n°4 , Université d'Antananarivo, Thèse de Doctorat, 138p.

**Rajoelison L.G. (2005).** Les forêts littorales de la région orientale de Madagascar : vestiges à conserver et à valoriser. Thèse de doctorat en sciences physiques, filière génie industrielle, école supérieure polytechnique d'Antananarivo, université d'Antananarivo, 268p.

**Ramade F. (2009).** *Eléments d'écologie : Ecologie Fondamentale. 4<sup>ème</sup> édition. Dunod, Paris,* 689p.

**Rasatatsihoarana H.T. F., Randriananjatsoa T.T. (2009).** Reconnaissance écologique des aires forestières dans le Menabe Sud en vue d'une délimitation de nouvelles aires protégées.

**Razafindranilana N. (2003).** Inventaire forestier. Foresterie, Développement, Environnement. ESSA-Forêts. 80pages

**Robisoa N. M. (2010).** Etude de la succession végétale d'Ambatovy en vue de mettre en place un plan de restauration forestière, Mémoire de fin d'étude, ESSA-Forêts, Université

d'Antananarivo, 79 p. **Shannon, C. E. (1948)**. A Mathematical Theory of Communication. The Bell System Technical Journal **27**: 379–423, 623–656.

**Tomasini J. (2002)**. Introduction aux différentes techniques d'inventaires forestiers, 4p.

## Résumé

Géré par la conservation des forêts de Constantine, l'arboretum de Draa naga qui est principalement à vocation forestière s'étend sur une superficie de 30ha et est constitué de 77 parcelles dont 31 sont des parcelles des feuillus. L'état écologique actuel de l'arboretum est mal connu. Après une décision prise par la conservation des forêts pour la protection et la restauration de cet arboretum, la connaissance précise des ressources forestières existantes ainsi que de leur évolution est devenue indispensable.

L'objectif de notre étude est de collecter des données concernant l'état écologique actuel du site et les ressources ligneuses afin d'établir un état de référence (état zéro) de l'arboretum, pour cela, nous avons procédé à un inventaire en plein permettant la connaissance de données quantitatives relatives à ces ressources à partir des paramètres dendrométriques récoltés sur 7 parcelles des feuillus : P1, P3, P4, P8, P50, P52 et P60.

Trois types d'analyses sont réalisés : l'analyse structurale, l'analyse des principales essences et l'analyse statistique. Au total, 206 individus appartenant à 7 espèces et 4 familles ont été recensés. La parcelle la plus dense est P1 (*Quercus petraea*), le plus grand volume de bois sur pied a été enregistré dans la parcelle P3 (*Eucalyptus ovata*). La structure des hauteurs montre que les arbres dans les classes de hauteur comprises entre 2 et 4m ont une densité très élevée, preuve d'une régénération naturelle. La structure totale indique que les arbres de petites dimensions sont plus abondants que ceux de grandes dimensions ( $17.5 < d \leq 27.5$ cm). En effet, ce travail constitue une base de données pour l'arboretum mais il ne représente qu'une des facettes à prendre en considération en vue de le protéger et de le restaurer.

**Mots clés :** Arboretum, feuillus, Inventaire forestier, état zéro

## Summary

Managed by the Conservation of Forests (Constantine), the arboretum of Draa Naga which is primarily for forestry covers an area of 30 hectares. This area consists of 77 plots where 31 are plots of hardwoods. The current ecological status of the arboretum is poorly understood. After a decision by Conservation of Forests for the protection and restoration of the arboretum, the precise knowledge of existing forest resources and their evolution has become indispensable.

The objective of our study is to collect data on the current environmental status of the site and timber resources in order to establish a reference state (zero state) of the arboretum. An inventory allowing full knowledge of quantitative data on these resources from dendrometric parameters collected from 7 plots of hardwood: P1, P3, P4, P8, P50, P52 and P60.

Three types of analysis are carried out: structural analysis, analysis of the principal species and statistical analysis. A total of 206 individuals belonging to 7 species and 4 families were identified. The densest plot is P1 (*Quercus petraea*), the largest volume of standing trees was recorded in the plot P3 (*Eucalyptus ovata*). The structure heights shows that trees in the height classes between 2 and 4m have a very high density, evidence of natural regeneration. The total structure indicates that small trees are more abundant than large ( $17.5 < d \leq 27.5\text{cm}$ ). Indeed, this work is a database for the arboretum but it represents only one aspect to consider protecting and restoring it.

**Keywords:** Arboretum, hardwood forest inventory, zero state

## ملخص

يدار الحقل التجريبي ذراع الناقة الواقع بغابة جبل الوحش من قبل محافظة الغابات لولاية قسنطينة ، يغطي مساحة قدرها 30 هكتار ويتكون من 77 قطعة منها 31 خاصة بالأشجار دائمة الأوراق. الوضع البيئي الحالي له غير معروف. وبعد صدور قرار من محافظة الغابات لحماية واستعادة هذا الحقل، أصبح لا غنى عن المعرفة الدقيقة للموارد الغابية الموجودة فيه وتطورها.

الهدف من دراستنا هو جمع بيانات عن الوضع البيئي الحالي للموقع والموارد الخشبية من أجل إنشاء مرجع (الحالة صفر) للحقل التجريبي، لذلك، أجرينا جردا كاملا لمعرفة البيانات الكمية النسبية من خلال المتغيرات المقاسة على طول وعرض الأشجار في 7 قطع P1-P3-P4-P8-P50-P52-P60.

من خلال ثلاثة أنواع من التحاليل: التحليل البنيوي، تحليل الأنواع الرئيسية والتحليل الإحصائي قد تم تحديد مجموعه 206 أفراد ينتمون إلى 7 أنواع و 4 عائلات. القطعة الأكثر كثافة هي القطعة 1 وأكبر حجم الخشب هي القطعة 3. تركيبة ارتفاع الأشجار تبين أن طبقات الارتفاع بين 2 و 4 م لديها كثافة عالية جدا، وهذا دليل على التجدد الطبيعي. التركيب الإجمالي يبين أن الأشجار الصغيرة هي أكثر وفرة من الكبيرة. في الواقع، هذا العمل هو قاعدة بيانات للحقل التجريبي ولكنه يمثل جانبا واحدا فقط لحماية واستعادته.

**الكلمات المفتاحية:** الحقل التجريبي، جرد الغابات، الأشجار دائمة الأوراق، الحالة صفر

<b>Nom : BELHIOUANI</b> <b>Prénom : Hadjer</b>	<b>Date de soutenance : 23/06/2015</b>						
<b>Inventaire forestier des feuillus de l'arboretum de Draa Naga (Constantine)</b>							
<p><b>Résumé</b></p> <p>Géré par la conservation des forêts de Constantine, l'arboretum de Draa naga qui est principalement à vocation forestière s'étend sur une superficie de 30ha et est constitué de 77 parcelles dont 31 sont des parcelles des feuillus. L'état écologique actuel de l'arboretum est mal connu. Après une décision prise par la conservation des forêts pour la protection et la restauration de cet arboretum, la connaissance précise des ressources forestières existantes ainsi que de leur évolution est devenue indispensable.</p> <p>L'objectif de notre étude est de collecter des données concernant l'état écologique actuel du site et les ressources ligneuses afin d'établir un état de référence (état zéro) de l'arboretum, pour cela, nous avons procédé à un inventaire en plein permettant la connaissance de données quantitatives relatives à ces ressources à partir des paramètres dendrométriques récoltés sur 7 parcelles des feuillus : P1, P3, P4, P8, P50, P52 et P60.</p> <p>Trois types d'analyses sont réalisés : l'analyse structurale, l'analyse des principales essences et l'analyse statistique. Au total, 206 individus appartenant à 7 espèces et 4 familles ont été recensés. La parcelle la plus dense est P1 (<i>Quercus petraea</i>), le plus grand volume de bois sur pied a été enregistré dans la parcelle P3 (<i>Eucalyprus ovata</i>). La structure des hauteurs montre que les arbres dans les classes de hauteur comprises entre 2 et 4m ont une densité très élevée, preuve d'une régénération naturelle. La structure totale indique que les arbres de petites dimensions sont plus abondants que ceux de grandes dimensions (<math>17.5 &lt; d \leq 27.5</math>cm). En effet, ce travail constitue une base de données pour l'arboretum mais il ne représente qu'une des facettes à prendre en considération en vue de le protéger et de le restaurer.</p>							
<b>Mots-clés :</b> Arboretum, feuillus, Inventaire forestier, état zéro.							
Laboratoire de Développement et Valorisations des Ressources Phylogénétiques. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. Département de biologie et d'Ecologie végétale. Université des frères Mentouri Constantine							
<b>Membres de jurys :</b>  <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;"><b>Président du jury :</b> BAZRI K.E.D.</td> <td style="width: 50%;">MCB- UFM Constantine</td> </tr> <tr> <td><b>Rapporteur :</b> KANOUNI-RACHED M.</td> <td>MCA- UFM Constantine</td> </tr> <tr> <td><b>Examineurs :</b> ARFA M.T.A.</td> <td>MAA- UFM Constantine</td> </tr> </table>		<b>Président du jury :</b> BAZRI K.E.D.	MCB- UFM Constantine	<b>Rapporteur :</b> KANOUNI-RACHED M.	MCA- UFM Constantine	<b>Examineurs :</b> ARFA M.T.A.	MAA- UFM Constantine
<b>Président du jury :</b> BAZRI K.E.D.	MCB- UFM Constantine						
<b>Rapporteur :</b> KANOUNI-RACHED M.	MCA- UFM Constantine						
<b>Examineurs :</b> ARFA M.T.A.	MAA- UFM Constantine						