



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 **قسم : بيولوجيا و علم البيئة النباتية**

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

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Ecologie et Environnement

Option : Gestion Durable des Ecosystèmes et Protection de l'Environnement

Intitulé :

Viabilité des feuillus de l'arboretum de Draa Naga (Constantine)

Présenté et soutenu par : ALATOU Hana

Le : 23/06/2015

Jury d'évaluation :

Président du jury : BAZRI K.ED.

MCB- UFM Constantine

Rapporteur : RACHED-KANOUNI M.

MCA- UFM Constantine

Examineur : HADEF A.

MAA- UFM Constantine

*Année universitaire
2014 – 2015*

Remerciements

Avant toute chose, je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir éclairé et guidé mes traces sur le chemin de la science et du savoir, me donnant la force, la pertinence et la volonté dans mon travail.

Je tiens à remercier Mr BAZRI. K.E.D (M.C.B), enseignant à l'Université des Frères Mentouri de Constantine d'avoir accepté de bien vouloir honorer de sa présence afin de présider mon jury et d'évaluer mon travail.

J'exprime mes vifs remerciements à mon encadreur M^{me} RACHED-KANOUNI. M (M.C.A), enseignante à l'Université des Frères Mentouri, pour son savoir, ses orientations et ses précieux conseils tout au long de ce travail. Je remercie son professionnalisme.

Je remercie mon examinateur Mr HADEF A.(M.A.A), enseignant à l'Université des Frères Mentouri d'avoir accepté d'examiner mon travail., veuillez trouver monsieur l'expression de ma reconnaissance et mes remerciements.

J'adresse mes remerciements au directeur et au personnel de la conservation des forêts de Constantine pour leur assistance et disponibilité me permettant d'accéder au terrain et qui m'ont amplement aidé à réaliser ce travail et à obtenir des résultats concrets et satisfaisants.

Je ne remercierai jamais assez mon père. Mr ALATOU D. Professeur à Université des Frères Mentouri-Constantine, pour ses conseils omniprésents, ses connaissances, son amour du métier et sa rigueur dans le travail, me poussant ainsi toujours vers le droit chemin et aller chercher le meilleur de moi-même.

J'exprime ma profonde gratitude au laboratoire de recherche « Développement et valorisation des Ressources Phytogénétiques », Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université des Frères Mentouri, Constantine, de m'avoir accueillie et fourni tout le matériel nécessaire ainsi que la riche documentation qui m'ont permis d'aboutir à ce travail.

Dédicace

Je dédie ce travail à mes très chers parents qui m'ont toujours soutenu, encouragé et contribué à ma réussite. Ma douce Maman qui ne cesse de prier pour moi, Mon papa chéri qui m'oriente et me guide sans cesse.

À mes adorables sœurs : Nour el Kouda, Radia et Souheila ; mes sœurs aînées sur qui je peux compter et à qui je peux me confier.

À mes nièces et neveux à qui je souhaite la réussite et le triomphe : Darine, Mayssa, Mohamed Amine et le petit qui vient.

À mes grands-parents décédés (puissent-ils reposer en paix)

À mes tantes et oncles paternels et maternels

À mes cousins et cousines

Aux familles ALATOU & AMIROUCHE

À mon encadreur M^{me} RACHED-KANOUNI Malika qui m'a toujours orienté et conseillé

À mes chers amis qui m'ont toujours encouragé et soutenu, je leur exprime ma profonde gratitude : Chahrazed, Racha, Mina et Chouaib.

À tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin, à tous ceux qui me souhaitent la réussite, à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail et à tous ceux qui se consacrent à la science, à la recherche et au savoir.

Sommaire

Introduction	01
Synthèse bibliographique	
I. Arboretum.....	03
1. Les objectifs des arboretums.....	03
2. Différents types d'arboretums.....	03
II. Les feuillus.....	05
III. Notion de viabilité.....	05
1. Les critères de viabilité.....	06
1.1. Stabilité.....	06
1.2. Index PHF.....	07
1.2.1. Position du houppier.....	07
1.2.2. Forme du houppier.....	08
1.2.3. Forme du fût.....	09
1.3. Potentiel exploitable.....	9
1.4. Vigueur des peuplements.....	10
1.4.1. Taille.....	11
1.4.1.1. Abondance.....	11
1.4.1.2. Dominance.....	11
1.4.2. Les conditions.....	11
1.4.2.1. Régénération.....	11
1.4.2.2. Mortalité.....	12
1.4.3. Le contexte spatial.....	12
1.4.3.1. Degré de couverture.....	12
1.4.3.2. Espacement moyen des arbres.....	12
1.4.4. Les pressions.....	13
Matériel et méthodes	
I. Présentation de la zone d'étude.....	14
1. Caractéristiques écologiques de la zone d'étude.....	15
II. Mesures dendrométriques.....	18
III. Traitement et analyses des données.....	19
1. Stabilité.....	19
2. Potentiel exploitable.....	19
3. Vigueur des peuplements.....	20
4. Analyse de la viabilité.....	20
4.1. La taille.....	21
4.2. Les conditions.....	21
4.2.1. Régénération.....	21
4.2.2. Mortalité.....	21
4.3. Le contexte spatial.....	22
4.3.1. Degré de couverture.....	22
4.3.2. Espacement moyen des arbres.....	22
4.4. Inventaire des pressions.....	23
IV. Ecologie numérique.....	24
V. Synthèse de la démarche méthodologique.....	25
Résultats et discussion	
1. Qualité des peuplements.....	26
1.1. Abondance et dominance.....	26
1.2. Coefficient d'élancement.....	34
1.3. Index PHF.....	37
1.3.1. Position du houppier (Index P).....	37
1.3.2. Forme du houppier (Index H).....	38

1.3.3. Forme du fût (Index F).....	39
1.4. Potentiel exploitable.....	41
2. Les conditions.....	43
2.1. Régénération.....	43
2.2. Mortalité.....	44
3. Contexte spatiale.....	45
3.1. Degré de couverture.....	45
3.2. Facteur d'espacement.....	46
4. Les pressions.....	47
5. Ecologie numérique.....	51
5.1. Analyse en composantes principales (ACP).....	51
5.2. Classification ascendante hiérarchique (CAH).....	54
6. Viabilité des peuplements feuillus de l'arboretum.....	55
7. Recommandations.....	56
7.1. Proposition d'un plan d'aménagement simplifié pour l'arboretum (PAS).....	56
7.1.1. Objectifs d'aménagement.....	56
7.1.2. Stratégie d'aménagement.....	57
7.1.3. Résultats attendus.....	57
7.2. Plan de suivi écologique permanent de l'arboretum.....	57
7.2.1. Critères de choix des indicateurs.....	57
7.2.2. Résultat attendu.....	58
7.2.3. Périodicité.....	58
7.2.4. Résultats attendus.....	58
8. Perspectives.....	59
Conclusion.....	60
Références bibliographiques.....	
Annexes	

Liste des figures

- Figure 1. Types d'arboretums.....	4
- Figure 2. Les différentes formes de feuillus.....	5
- Figure 3. Position du houppier.....	8
- Figure 4. Les différentes formes du houppier.....	8
- Figure 5. Les différentes formes de fût.....	9
- Figure 6. Mesures dendrométriques sur terrain.....	18
- Figure 7. Démarche méthodologique adoptée.....	25
- Figure 8. Distribution des arbres par catégorie de diamètre moyen.....	28
- Figure 9. Densité par classe de diamètre.....	29
- Figure 10. Surface terrière par classe de diamètre.....	30
- Figure 11. Corrélations linéaires de la surface terrière en fonction de la hauteur, diamètre et circonférence des parcelles (P1, P3 et P4).....	31
- Figure 12. Corrélations linéaires de la surface terrière en fonction de la hauteur, diamètre et circonférence des parcelles (P50, P8, P52 et P60).....	32
- Figure 13. Différence entre surface terrière moyenne et surface terrière de l'arbre moyen.....	34
- Figure 14. Coefficient d'élanement par parcelle.....	35
- Figure 15. Coefficient d'élanement en fonction du diamètre moyen des peuplements.....	36
- Figure 16. Hauteur totale moyenne en fonction du diamètre à 1.3 m des peuplements étudiés.....	36
- Figure 17. Proportion du nombre de tiges selon l'Index P.....	38
- Figure 18. Proportion du nombre de tiges selon l'Index H.....	39
- Figure 19. Proportion du nombre de tiges selon l'Index F.....	40
- Figure 20. Contenance des 7 peuplements étudiés.....	42
- Figure 21. Histogramme des valeurs propres en fonction des rangs des axes principaux pour l'ensemble des parcelles.....	52
- Figure 22. Représentation graphique des 15 variables à l'intérieur du cercle de corrélations sur le plan factoriel 1-2.....	54

- Figure 23.** Dendrogramme du regroupement des 7 parcelles étudiées, à l'aide de la méthode du lien simple et la distance carrée de Pearson..... **55**
- Figure 24.** La digitalisation des parcelles à partir de l'image satellitaire.
- Figure 25.** Saisie des données de terrain et élaboration de la table attributaire.
- Figure 26.** Elaboration des cartes thématiques par la fonction symbologie (ARCGIS10).
- Figure 27.** Elaboration de la carte des pressions des 7 parcelles étudiées (ARCGIS10).

Liste des tableaux

- Tableau 1. Caractéristiques écologiques de l'arboretum de Draa Naga.....	15
- Tableau 2. Caractéristiques des parcelles étudiées.....	17
- Tableau 3. Analyse de la viabilité.....	23
- Tableau 4. Caractéristiques quantitatives des peuplements.....	26
- Tableau 5. Densité et surface terrière totales en ordre croissant d'état de développement de peuplement.....	27
- Tableau 6. Qualité des peuplements selon l'index PHF.....	41
- Tableau 7. Catégories de diamètre.....	42
- Tableau 8. Qualité et utilisations du bois des 7 essences étudiées.....	43
- Tableau 9. Taux de régénération 7 peuplements étudiés.....	44
- Tableau 10. Taux de mortalité des 7 peuplements étudiés.....	45
- Tableau 11. Degré de couverture des 7 parcelles.....	46
- Tableau 12. Facteurs d'espacement des peuplements étudiés.....	47
- Tableau 13. Résultats de l'ACP des trois axes à partir des 15 caractéristiques mesurées sur les 7 parcelles de l'arboretum.....	51
- Tableau 14. Valeurs des corrélations et corrélations carrées des variables initiales avec les trois premières composantes principales.....	52
- Tableau 15. Evaluation du niveau de viabilité des feuillus.....	56
- Tableau 16. Fiche descriptive des peuplements étudiés de chaque parcelle.	
- Tableau 17. Méthode de récolte des données sylvicoles.	
- Tableau 18. Matrice des corrélations (Pearson (n)).	

Liste des cartes

- **Carte 1.** Situation géographique de l'arboretum de Draa Naga..... **14**
- **Carte 2.** Localisation de parcelles feuillues étudiées de l'arboretum de Draa Naga..... **16**
- **Carte 3.** Inventaire des pressions des 7 parcelles étudiées..... **48**

Introduction

La forêt algérienne avec une surface primitive qui s'élève à 7 318 000 ha contre 2 910 000 ha actuellement. Le taux de boisement est donc passé de 27.17% à 11%, malgré son exploitation elle ne s'est jamais prétendue être une forêt de haute production sylvicole.

En considérant les critères bioclimatiques, l'Algérie présente tous les bioclimats méditerranéens allant de l'humide au saharien. Les zones semi-arides présentent des aspects bien particuliers tant par les espèces qui la constitue, conifères essentiellement, présents également en dehors de ces zones, mais aussi par la structure des formations végétales qu'elles déterminent et qui sont en fait presque toujours des formations arborées, souvent claires, à sous-bois de type matorral répondant plutôt à des structures pré-forestières, voire prés-steppiques (Djallil, 1994).

La richesse forestière de la région constantinoise est constituée d'un patrimoine qui se compose de 5173 hectares de pin d'Alep, 2258 ha de chêne vert, 1249 ha d'eucalyptus, 1226 ha de pins pignon, 785 ha de cyprès et de 427 ha d'autres arbres de différentes essences (Djouadi *et al.*, 2000).

Dans un souci de la viabilité, notre étude porte sur l'arboretum de Draa Naga de la réserve biologique de Djebel El Ouahch, située au Nord-Est de Constantine qui s'étend sur une superficie de 4554 ha renfermant de nombreuses essences forestières, où la majorité est introduite. Il est géré par la Conservation des Forêts de Constantine dont la superficie est d'environ 30 ha, formé de 77 parcelles, où sont plantées plusieurs espèces sylvicoles (feuillus et résineux) venant de plusieurs pays. Cette station forestière est un site écotouristique et pédagogique, elle possède ainsi une fonction scientifique, éducative, culturelle et récréative, et ses valeurs génétiques et esthétiques ne sont pas à omettre.

Depuis sa création en 1954, aucun système n'a été mis en place pour suivre de façon permanente l'état de viabilité de l'arboretum. Or, les activités de suivi sont incontestablement importantes pour un peuplement forestier (Rached-Kanouni *et al.*, 2014).

Les résultats de suivi permettent aux forestiers de cadrer les interventions sylvicoles nécessaires. Ils permettent une analyse essentielle pour connaître les contextes et les facteurs conduisant au succès ou à l'échec. Le suivi de la viabilité est capital pour rendre crédible, valider et valoriser les options mises en œuvre, et mérite d'être pris en compte très tôt, lors des réflexions préliminaires. Pour y parvenir, des indicateurs fiables sont à mettre au point. Aussi, il faudra définir un état de référence (état zéro) pour pouvoir constituer ces indicateurs.

L'objectif de ce travail de mémoire intitulé « Viabilité des feuillus de l'arboretum de Draa Naga » est de constituer une base de données de référence afin d'évaluer systématiquement la viabilité de l'arboretum. Cette finalité implique cinq objectifs spécifiques :

- Collecter des données pour définir l'état écologique actuel (état zéro) de l'arboretum : cet état constituera une référence aux prochains résultats de suivi ;
- Identifier des indicateurs de suivi écologique pour mesurer l'état de viabilité de l'arboretum ;
- Identifier et ordonner par ordre de menaces les pressions présentes qui empêchent le développement et la continuité des espèces à croître dans l'arboretum ;
- Elaborer un plan de suivi écologique permanent. Cette étape consiste à identifier des indicateurs clés de suivi écologique, une planification spatio-temporelle des activités de chaque indicateur clé.
- Proposer un plan d'aménagement simplifié en fonction de l'état écologique actuel et la tendance future de l'écosystème.

Les résultats attendus sont une série de données de référence constituant l'état écologique actuel de l'arboretum à un temps t_0 , le niveau de viabilité actuel de l'arboretum, un plan de suivi permanent permettant un suivi continu aux instants t_1, t_2, \dots, t_n , et enfin une proposition d'aménagement.

Pour ce travail, deux hypothèses sont émises :

- L'arboretum a une faible viabilité. Etre de faible viabilité signifie qu'il y a un important risque de disparition des cibles de conservation, et c'est un niveau de viabilité où les interventions à réaliser doivent être connues. Pour pouvoir vérifier cette hypothèse, la connaissance intégrale de tous les paramètres sylvicoles permettant d'effectuer des analyses (sylvicole et de viabilité) est impérative.

- Malgré les pressions, l'arboretum se reconstitue.

Trois parties seront développées dans ce mémoire :

- La méthodologie adoptée ;
- La présentation, l'interprétation et la discussion des résultats ;
- Les recommandations et perspectives.

I. Arboretum

Le terme « arboretum » signifie « collection d'arbres » (du latin arbor = arbre et tum = groupe, groupement) (Chauvet et Delmas, 1991).

Un arboretum est un parc consacré à la culture expérimentale en pleine terre d'arbres ou d'arbustes appartenant à des espèces différentes, rares, menacées et généralement exotiques en vue d'étudier leur comportement. Il constitue un répertoire dans lequel les individus sont étiquetés avec leurs noms commun et scientifique, ainsi que leur continent d'origine (Verain, 2010).

1. Les objectifs des arboretums

L'existence et l'établissement d'un arboretum a de multiples intérêts:

- **Rôle écologique** : Constitution d'un patrimoine forestier par le reboisement et la sauvegarde des essences menacées de disparition dans leur pays d'origine (Grieu, 2004).

- **Rôle scientifique** : Etude du comportement vis- à -vis du milieu, des potentialités de croissance et étude botanique.

- **Rôle de conservation de la biodiversité végétale** : Connaissance et conservation des espèces végétales en voie de disparition ou rares (Bringer, 1998).

- **Rôle pédagogique** : La reconnaissance et les usages possibles des végétaux. Lieu d'observation et d'expérimentation (Lacaze, 1991).

- **Rôle ornemental** : Collections d'arbres et création de parcs de grande valeur paysagiste, ornementale et décor intéressant (Bringer, 1998).

- **Rôle social** : La réinsertion de chômeurs, sur les métiers de la nature, une lutte contre les discriminations ethniques et les inégalités de façon préventive auprès des jeunes.

2. Différents types d'arboretums

Il existe plusieurs types d'arboretums (Figure 1) qui diffèrent par la présentation et les objectifs (Grieu, 2004), on y distingue des arboretums de collection (Figure 1a), arboretums à vocation pédagogique (Figure 1b), parcs paysagers (Figure 1c), arboretums d'élimination (Figure 1d), arboretums forestiers (Figure 1e), fruticetum (Figure 1f) et arboretums mixtes (Figure 1g).

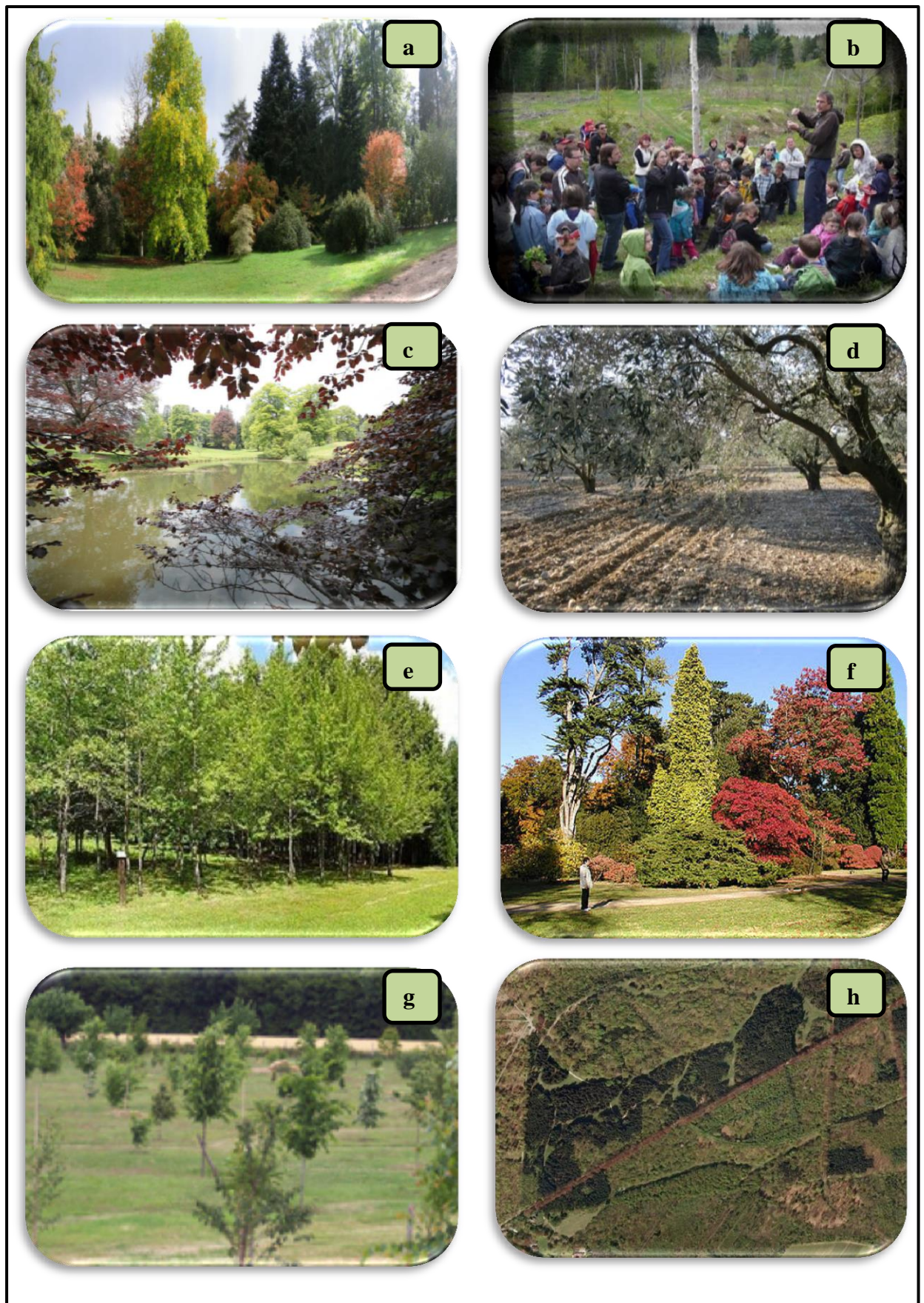


Figure 1. Types d'arboretums.

II. Les feuillus

Les feuillus sont des plantes à fleurs (des Angiospermes) du groupe des dicotylédones (ONF, 2008). Ce sont des arbres produisant des feuilles bien développées caduques ou décidus (Figure 2), c'est-à-dire qui perdent leurs feuilles en automne et sont sensibles au gel ou au dessèchement et se dispensent ainsi de les protéger (Lanier et *al.*, 1994).

La principale caractéristique des feuilles des arbres feuillus est la présence d'un limbe, qui permet de capter un maximum de rayons solaires grâce aux feuilles larges et plates par opposition aux conifères (résineux) dont la forme des feuilles est réduite à des aiguilles (Anonyme, 2015).

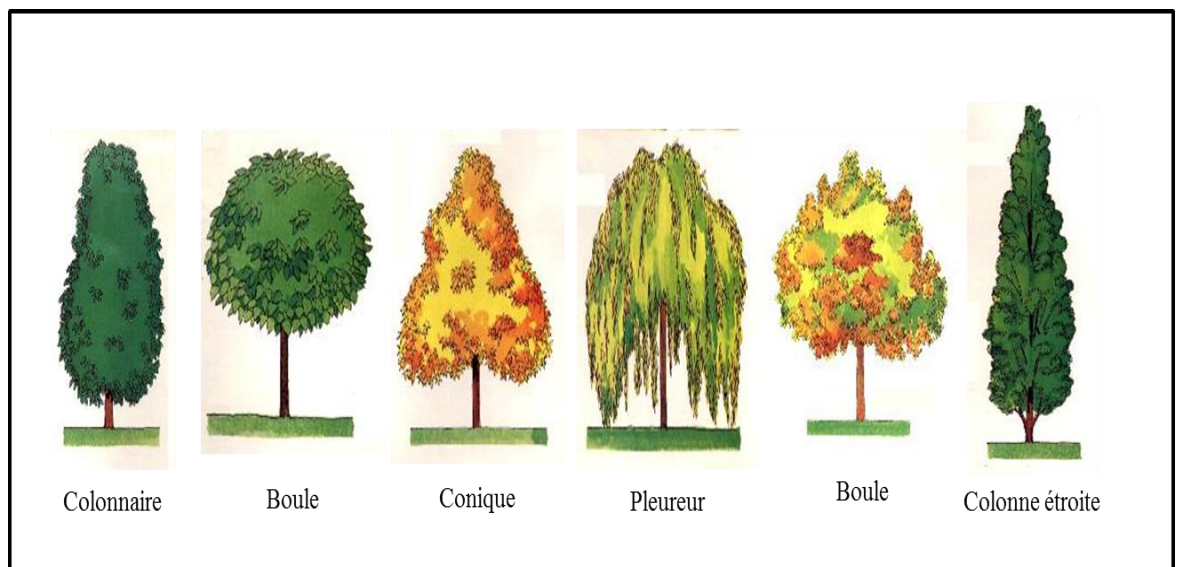


Figure 2. Les différentes formes de feuillus (Dupuy et Amsallem, 1991).

III. Notion de viabilité

Le concept de viabilité d'un écosystème forestier met l'accent sur la nécessité de maintenir à long terme les capitaux écologiques, biologiques et économiques de l'écosystème tout en veillant à la reproduction des ressources naturelles (Atibt, 2014).

La gestion viable des forêts doit répondre à plusieurs défis: garantir le fonctionnement des grands cycles écologiques, produire des ressources, fournir des emplois, et surtout participer au développement local, national ou régional (Dupuy et Amsallem, 1999).

La notion de viabilité forestière est le plus souvent associée à la notion de durabilité qui veille au maintien des forêts, de leur équilibre pour une bonne gestion au profit des générations à venir. Par la fourniture d'une source illimitée de combustible et de matériaux de construction.

Elles peuvent également représenter une source inépuisable de revenus pour les communautés locales. Mais nous ne pouvons pas ravager les forêts au profit de gains à court terme et au détriment d'une viabilité à long terme.

Les forêts, partout dans le monde, doivent faire l'objet d'un développement et d'une gestion responsable et durable (Atibt, 2014).

Le développement viable refuse la notion d'équilibre soutenu par la notion de durabilité. Le développement viable a le souci de gérer une variabilité et des incertitudes inhérents à tous les écosystèmes et recherche à assurer une co-viabilité à long terme des écosystèmes et des modes de vie (Florac, 1996).

1. Les critères de viabilité

La viabilité d'un peuplement forestier est fonction de plusieurs critères et paramètres de qualité d'un peuplement.

1.1. Stabilité

La stabilité d'un peuplement est un paramètre d'analyse structurale qui permet l'évaluation de la qualité des peuplements. Elle dépend à la fois de la densité et de l'élancement des arbres. L'étude de ce dernier vise à déterminer les facteurs de variation de sa valeur et ses relations avec la stabilité du peuplement. Généralement, le coefficient d'élancement 100 correspond au seuil de stabilité d'un peuplement, mais pour une espèce sensible aux perturbations ce seuil descend jusqu'à 80 (Andriamahazo, 2003).

La stabilité d'un peuplement est donnée par la valeur du coefficient d'élancement (Robisoa *et al.*, 2008). Ce dernier caractérise le rapport hauteur/diamètre (H/D) qui est utilisé tantôt à l'échelle du peuplement, on l'appelle alors « facteur de stabilité » pour quantifier les risques de chablis importants (Becker, 1992), tantôt pour des arbres individuels. Dans le second cas, on l'appelle alors plutôt « facteur d'élancement » ; il ne s'agit pas seulement d'un coefficient de forme.

Il renseigne également sur la position sociale des arbres (Pardé et Bouchon, 1988) : « les arbres dominants et codominants ont normalement un rapport inférieur à 100 ; et pour les arbres d'avenir, on conseille de ne retenir que des arbres ayant un rapport inférieur à 80 ».

1.2.Index PHF

Le PHF est index de trois chiffres, correspondant à des valeurs numériques. Il résume qualitativement l'état d'un arbre d'une certaine essence forestière, dans un peuplement (Synnott, 1979).

Le premier chiffre implique la position du houppier (P) qui décrit l'intensité d'insolation sur celui-ci.

Le deuxième chiffre correspond à la forme du houppier (H). Il tient compte de la projection du houppier et de la masse foliaire d'un arbre, déterminant la capacité de son accroissement.

Le troisième chiffre caractérise la forme du fût (F), il donne des indications sur la qualité probable du bois lors d'une exploitation.

On utilise l'index PHF dans les inventaires des forêts primaires, secondaires et même dans des peuplements équiennes ; il permet, combiné aux données quantitatives, une interprétation sylvicole plus détaillée. Il se révèle intéressant pour les parcelles permanentes d'accroissement, pour juger à long terme la concurrence entre les différents arbres ou espèces (Dawkins, 1958).

1.2.1. Position du houppier

Un houppier ou couronne est la partie d'un arbre constituée de l'ensemble des branches situées au sommet du tronc. C'est le principal support des organes photosynthétiques, il peut exister des branches basses le long du tronc et des gourmands. Il peut lui-même être colonisé par des lianes et de nombreuses espèces (Lanier, 1994).

L'index PHF donne une relation entre la position du houppier d'un arbre (houppier complètement libre, libre d'en haut, partiellement libre d'en haut, partiellement couvert ou entièrement couvert) considéré et celle des arbres voisins (Figure 3). Il indique la dominance, le stade de compétition ou l'exposition vers l'étage dominant du houppier (Blaser, 1984).



Figure 3. Positions du houppier (Boudon et Mogueédec, 2007).

1.2.2. Forme du houppier

Le houppier se compose des branches, des rameaux et de feuilles. Le développement de l'arbre et la disposition des branches, rameaux et feuilles varient d'une espèce à une autre. On peut identifier un arbre par la forme de sa couronne.

En relation avec la dimension et le stade de développement d'un arbre, l'apparence de la qualité du houppier déterminera l'accroissement (Figure 4). La forme du houppier (parfait, bien, tolérable, mal ou très mal) indique qualitativement le développement antérieur d'un arbre et probablement sa potentialité future (Blaser, 1984).

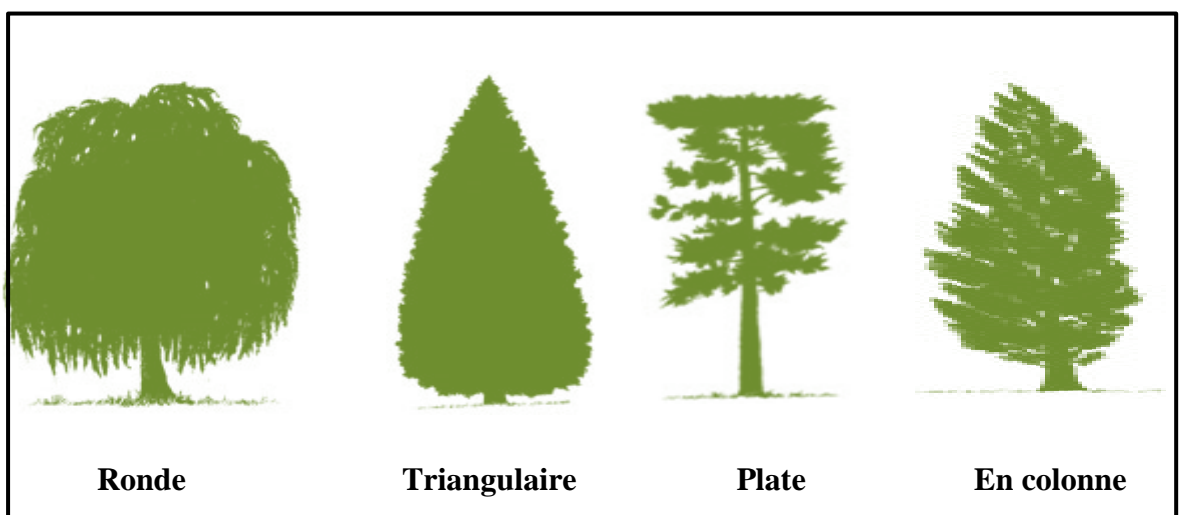


Figure 4. Les différentes formes du houppier.

1.2.3. Forme du fût

Le fût est la partie de la tige située entre la section de culée et une découpe supérieure bien déterminée, autrement dit le fût est la partie dénudée du tronc entre le sol et les premières grosses branches. Le reste de la tige et les branches forment, jusqu'à une découpe (fin bout de diamètre donné) le houppier (Lanier, 1994).

Selon le petit lexique forestier (2010), le tronc ou le fût est la partie cylindrique d'un arbre, il doit être assez fort pour supporter le poids des branches, des feuilles et des fruits et assez souple pour que l'arbre plie sous le vent sans casser. Le tronc distribue l'eau, les sels minéraux et les substances nutritives à toutes les parties de l'arbre.

La forme du fût est un index de la qualité et de la quantité du bois de sciage qu'on peut obtenir d'un arbre. Il est important pour estimer la valeur d'une future exploitation. La forme du fût (droit, rond, cylindrique, bombé, irrégulier, tortueux, conique ou fourchu) n'est pas liée à l'accroissement (Figure 5), mais elle influence certainement les futures pratiques sylvicoles. Le choix des arbres d'élite est basé essentiellement sur la forme du fût (Dawkins, 1958).



Figure 5. Les différentes formes de fût (Clauset, 2011).

1.3. Potentiel exploitable

Le potentiel exploitable des peuplements peut être affecté à la qualité du bois. Cette dernière se définit par rapport à un contexte d'utilisation (Duchesne, 2012).

Pour déterminer si un peuplement a un avenir, il est indispensable d'évaluer la qualité des essences qui le composent. La qualité d'un arbre dépend de la génétique, de son adaptation à la

station et de la gestion antérieure. On l'évalue sur les critères suivants : rectitude, houppier équilibré, aspect élancé, absence ou rares défauts sur le tronc sur une hauteur d'au moins 6 m. La qualité peut être décrite selon trois catégories (Centre Régional de la Propriété Forestière, 2012) :

- Qualité médiocre : les arbres ne produiront que des produits secondaires.
- Qualité moyenne : les arbres produiront en majorité des produits utilisables en charpente ou sciage de second choix.
- Qualité bonne : les arbres produiront du sciage de premier choix.

Il existe des techniques qui définissent les règles d'exploitation forestière. A l'heure actuelle, ces règles sont fondées sur la fixation du diamètre minimum d'exploitabilité, légèrement différencié selon les essences, et la désignation d'arbres à préserver lors de l'exploitation (Brunaux et Demenois, 2003).

Le Diamètre Minimum d'Exploitabilité (DME) d'une essence est le diamètre en dessous duquel elle ne doit pas être exploitée. On dit qu'une essence a atteint le seuil d'exploitabilité lorsque le diamètre mesuré est supérieur à 40cm.

Le potentiel exploitable d'une essence est lié au volume d'un arbre (ou d'une grume) qui est un paramètre essentiel à estimer, il permet au vendeur ou à l'acheteur de calculer la valeur des arbres lors des transactions commerciales (Fogefor, 2008).

Le volume est un critère dendrométrique particulièrement important pour caractériser un peuplement. S'il trouve auprès de nombreux forestiers un écho important, c'est qu'il est relié aux transactions commerciales. En effet, connaître le volume présent sur une parcelle peut permettre de déduire la récolte potentielle (Gaudin, 1996).

Il faut toujours bien veiller à définir le volume dont on parle (volume aménagement comprenant tige et houppier, volume bois fort tige à la découpe 7 cm, volume bois d'œuvre...) (Gaudin, 1996).

1.4. Vigueur des peuplements

La vigueur est l'aptitude d'un organisme à croître dans des conditions données. Elle est une caractéristique dynamique ; impliquant croissance, reproduction et adaptation à l'environnement. On peut stimuler la vigueur d'un arbre par les pratiques culturales (Regnard *et al.*, 2008).

La vigueur d'un végétal ligneux, appréciée sur un cycle de croissance, est la quantité de matière et d'énergie engagée dans le fonctionnement des méristèmes au cours de ce cycle, hors développement reproducteur. La résultante finale de la croissance primaire et de la croissance secondaire réalisées par cette structure au cours du cycle considéré.

La vigueur des peuplements désigne l'analyse de la viabilité des peuplements qui ont la même vigueur à l'intérieur d'une station. Cette viabilité est fonction de plusieurs paramètres :

1.4.1. Taille

La taille d'un peuplement donné est relative à des attributs quantitatifs soulignant l'importance des peuplements : ce sont l'abondance et la dominance (Robisoa, 2008).

1.4.1.1. Abondance

L'abondance d'un peuplement désigne sa régularité c'est-à-dire la représentation de chaque espèce dans un échantillon donné ; ce qui permet de dire si l'échantillon comporte quelques espèces abondantes avec des espèces rares ou si toutes les espèces y sont représentées équitablement ou également (Shalufa *et al.*, 2014).

L'abondance ou la densité relative d'une espèce ou d'une famille correspondant au nombre total d'individus d'espèce ou d'une famille dans l'échantillon multiplié par 100.

1.4.1.2. Dominance

La dominance relative est le rapport de la surface terrière occupée par une espèce ou une famille à la surface terrière totale multipliée par 100. Elle s'exprime en pourcentage (%).

Pour un arbre, la surface terrière est désignée par la surface de la section transversale de son tronc à 1.30m de hauteur (Shalufa, 2014). Pour un peuplement, la surface est représentée par tous les troncs des arbres d'un hectare de la forêt que l'on aurait coupé à 1.30 mètre de hauteur (Massenet, 2005).

La surface terrière est un bon indicateur de la richesse d'un peuplement. Plus elle est élevée, plus le peuplement est riche (Gaudin, 1996).

1.4.2. Les conditions

1.4.2.1. Régénération

La régénération naturelle désigne la faculté d'un écosystème (généralement forestier) à se reconstituer spontanément, après enlèvement de tout ou partie du couvert forestier, soit par coupes rases, coupes partielles ou création de trouées ou de clairières.

En sylviculture, le terme « régénération naturelle » désigne plus spécifiquement le processus de régénération spontanée du couvert forestier. Il inclut les techniques sylvicoles de restauration d'un couvert forestier, comme les dégagements et les dépressages (Fogefor, 2011).

C'est un des modes de renouvellement de la futaie, celui-ci pouvant se faire aussi par coupe rase suivie d'une replantation. Cette dernière solution, simple et éprouvée, permet aussi une rotation culturale, de choisir une essence et/ou une origine mieux adaptée à la station (variété améliorée), voire en fonction du paysage recherché. Par ailleurs, la régénération naturelle peut aboutir à une futaie régulière, ou futaie irrégulière.

1.4.2.2. Mortalité

La mortalité représente la mort naturelle des essences forestières et doit varier par classe de diamètre. En effet, elle est plus élevée chez les jeunes tiges que chez les tiges âgées. Toutefois, elle a été fixée à un taux constant de 1% tout diamètre confondu.

Le taux de mortalité (T_m) est donné par le rapport entre le nombre d'arbres morts (chablis et mort sur pied) et le nombre total des arbres dans la parcelle par unité de surface (hectare) et par unité de temps (Robisoa, 2008).

1.4.3. Le contexte spatial

Le contexte spatial d'un peuplement est l'un des facteurs les plus utilisés pour l'analyse de la viabilité et de la vigueur d'un peuplement, il est décrit comme suit :

1.4.3.1. Degré de couverture

Le degré de couverture est défini comme la somme des projections des couronnes des arbres du peuplement rapporté à sa surface totale. Cet indice convient surtout aux utilisations numériques, lorsqu'on dispose de mesures des largeurs des houppiers (Schutz, 2014). Lorsque le degré de couverture du peuplement est supérieur à 50%, la surface est forestière. Lorsque celui-ci est inférieur à 30%, la surface est en principe non forestière (ING, 2014).

1.4.3.2. Espacement moyen des arbres

Le facteur d'espacement ($S\%$) est le rapport de la distance moyenne entre les tiges (a) en mètres sur la hauteur dominante (H_0) du peuplement en mètres. Cet indice est utilisé principalement pour chiffrer et préciser le degré de vigueur d'une éclaircie (Pardé, 1960).

Le facteur d'espacement en sylviculture est défini par le quotient entre l'espacement moyen entre les tiges et la hauteur dominante des peuplements. Il permet d'estimer la concurrence au sein d'un peuplement de futaie régulière et de raisonner la pratique des éclaircies sur certains peuplements résineux (Gaudin, 1996).

On peut ainsi définir une hauteur dominante qui correspond à la hauteur des arbres les plus gros et les plus hauts, c'est-à-dire les arbres dominants. On peut également définir une hauteur moyenne qui correspond à la moyenne de toutes les hauteurs mesurées.

La hauteur est aussi un critère quantitatif très utilisé. Elle intervient non seulement pour classer les peuplements réguliers, mais aussi pour estimer les potentialités stationnelles (Gaudin, 1996).

2. Les pressions

La pression est définie comme une force exercée par un corps sur une surface et la menace est un signe qui fait craindre une chose. Ainsi, la pression s'exerce déjà au moment actuel sur les écosystèmes forestiers. La menace ou pression, sont deux des facteurs contribuant à court, à moyen, ou à long terme, à la diminution de la viabilité (Hachette, 1994).

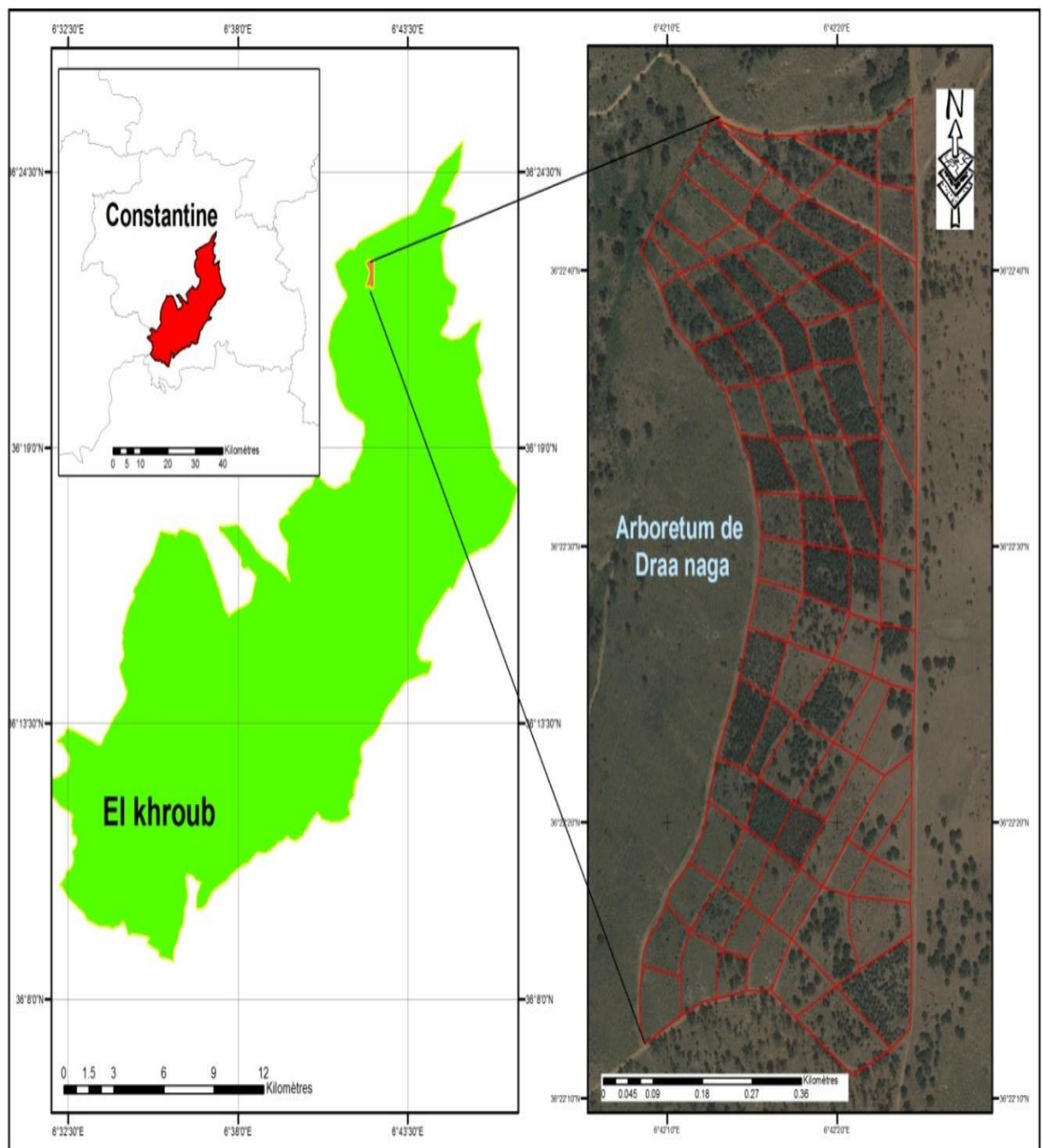
L'importance des pressions est jugée par rapport à l'étendue et au nombre de parcelles touchées par chaque type de pression. Il est toujours utile de révéler les causes connues ou probables des phénomènes exceptionnels ou accidentels, liés à une intervention humaine malencontreuse (Dubourdieu, 1997).

Les principales menaces qui pèsent sur la biodiversité des écosystèmes forestiers sont (Sedjar, 2012):

- Les incendies naturels et anthropiques.
- Surexploitation de bois ou d'autres ressources telles que les plantes médicinales.
- Les aléas climatiques comme la sécheresse qui influe sur les espèces exigeantes vis-à-vis des conditions climatiques.
- L'érosion, en saison des pentes raides.
- Maladies phytosanitaires (chenille processionnaire, la tordeuse, les champignons...).
- Le surpâturage est la principale cause de dégradation des écosystèmes forestiers et d'appauvrissement de la biodiversité.

I. Présentation de la zone d'étude

Gérée par la Conservation des Forêts de Constantine, la station forestière « Draa Naga » appartenant administrativement à la wilaya de Constantine 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. Il occupe une superficie totale de 30 ha, sur le territoire de la commune d'El-khroub (Carte 1).



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

1. Caractéristiques écologiques de la zone d'étude

Les caractéristiques écologiques de l'arboretum de Draa Naga se résument comme suit (Tableau1) :

Tableau 1. Caractéristiques écologiques de l'arboretum de Draa Naga.

Situation géographique	Relief hydrographie	Climat	Sol
- Longitude X ₁ : 6° 42' 5" X ₂ : 6° 42' 30" - Latitude Y ₁ : 36° 20' 45" Y ₂ : 36° 22' 15" Altitude : 950m	- Le relief se caractérise par une faible pente (3 à 12%). - Le réseau hydrographique est constitué par quelques ravins encaissés à d'écoulement temporaire.	- Etages bioclimatiques : semi-aride et subhumide. - Climat : été chaud et sec, et un hiver froid et humide. -Pluviométrie annuelle : 700mm.	Le type du sol de la station forestière de Draa Naga est silico-argileux.

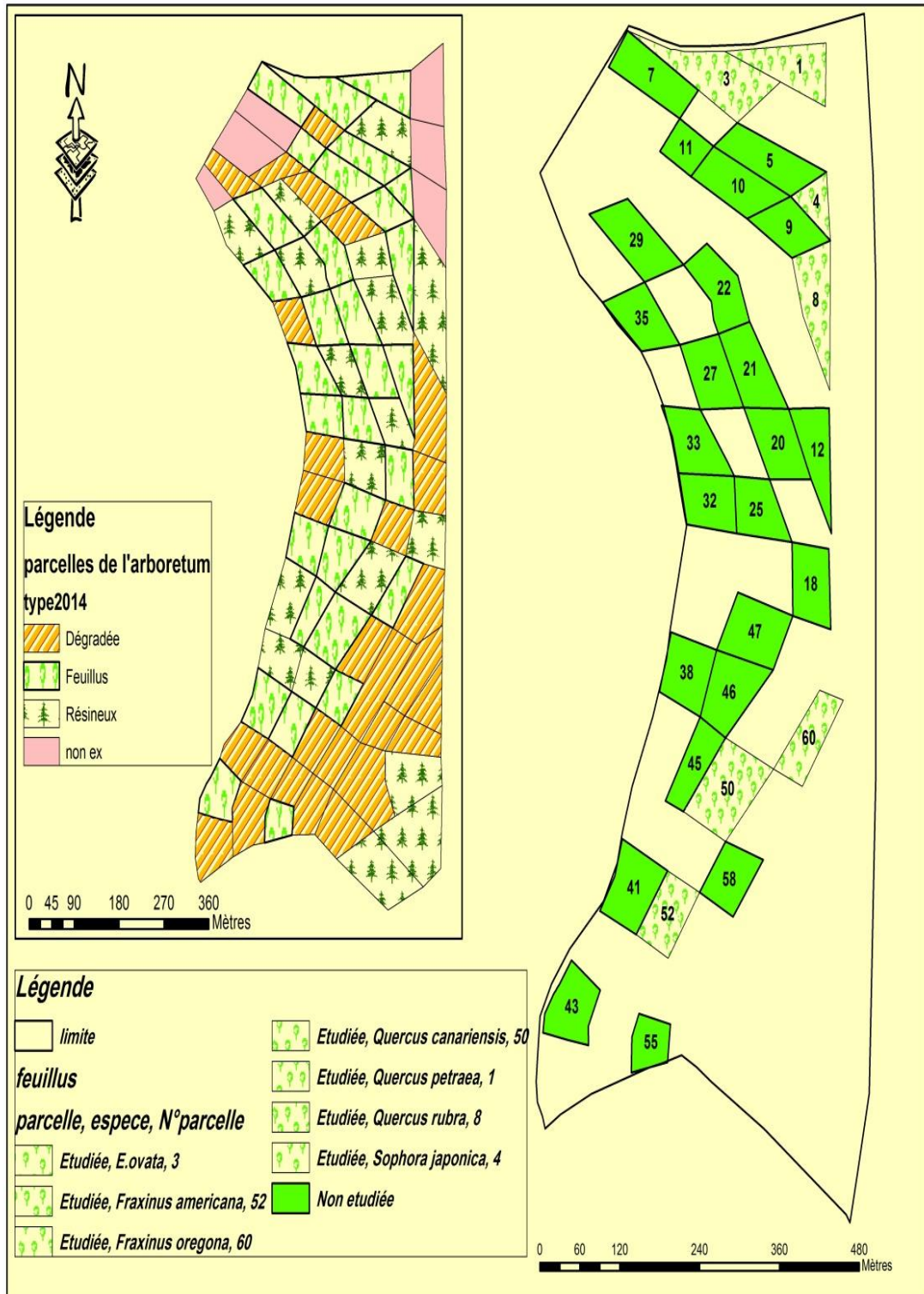
L'élaboration des différentes cartes est réalisée à partir du logiciel ARCGIS 10 ; pour cela une méthode a été adoptée :

- L'intégration des images satellitaires dans le SIG et l'élaboration du plan parcellaire de l'arboretum par une digitalisation des 77 parcelles de l'arboretum (cf. annexe 1, figure 1).

- La saisie des données du terrain et la création de la table attributaire. Cette phase consiste à attribuer pour chaque parcelle plusieurs champs d'informations comme le numéro de la parcelle, type de l'espèce existante, famille, pressions, etc... (cf. annexe 1, figure 2).

- Après avoir intégré toutes les données du terrain dans le SIG, on a procédé à l'élaboration de différentes cartes (carte de localisation des parcelles étudiées et la carte de l'inventaire des pressions) de cet arboretum selon plusieurs critères (espèces, Type, familles, pressions) pour chacune des parcelles étudiées (cf. annexe 2, figure 3). Cela est produit par l'élaboration d'une fonction de symbologie qui aboutit à l'élaboration des différentes cartes thématiques de l'arboretum (cf. annexe 2, figure 4).

Sur les 77 parcelles de l'arboretum de Draa Naga, la présente étude s'est effectuée spécifiquement sur 7 parcelles d'espèces feuillus (Carte 2) dont 31 sont présentes au sein de l'arboretum et leurs caractéristiques sont illustrées dans le tableau 2.



Carte 2. Localisation de parcelles feuillues étudiées de l'arboretum de Draa Naga.

II. Mesures dendrométriques

Etant donné que l'étude est focalisée sur les parcelles des feuillus, il est préférable de réaliser un inventaire « pied par pied ». En effet, la population à inventorier ne demeure pas trop vaste pour pouvoir être dénombrée d'une autre manière.

Le relevé des paramètres dendrométriques est précédé d'une description du peuplement et des parcelles (cf. Annexe 3). Cette dernière consiste à observer les traces des événements anciens (coupes illicites, passage du feu, etc.), l'état physiologique et biologique du peuplement, ainsi que les conditions de la station en vue d'apprécier ses potentialités ou ses limites.

Pour chaque arbre, les informations suivantes vont être récoltées (figure 6) (cf. Annexe 3):

- Les noms vernaculaires des essences donnés par le ou les guides locaux (1);
- Le diamètre et la circonférence à 1.30m du sol (2);
- Le diamètre du houppier ainsi que le recouvrement total de l'arbre (X et Y) (3);
- La hauteur totale (H_T) 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 (4);
- La hauteur du fût (H_F) définie par la longueur de la ligne droite joignant le pied de l'arbre à la première grosse branche (5);
- Les coordonnées géographiques (longitude et latitude) de chaque parcelle et de chaque arbre (6) ;
- Relevé des pressions de chaque parcelle (pâturage, incendies...);
- Index PHF (Position du houppier : 7, forme du houppier : 8, forme du fût : 9).

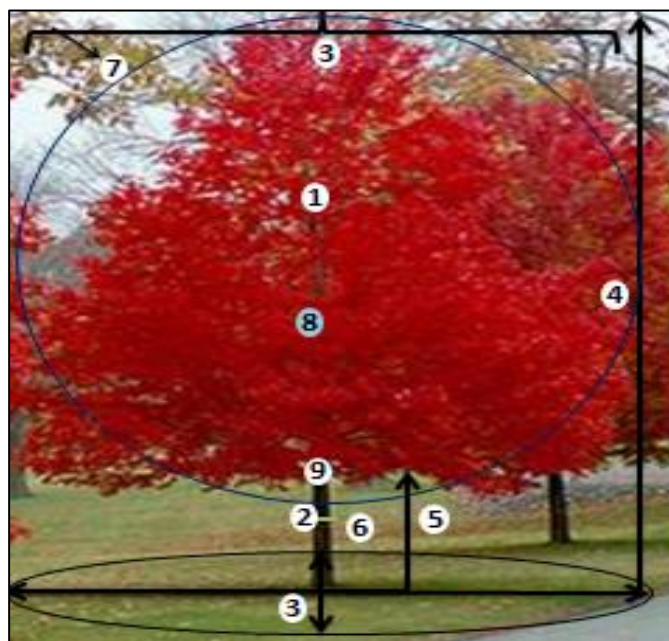


Figure 6. Mesures dendrométriques sur terrain.

III. Traitement et analyses des données

Toutes les données recueillies durant les travaux de terrain sont saisies et recopiées sur le tableur Excel afin de faciliter leur traitement. Microsoft Excel permet le traitement mathématique et statistique, il effectue les calculs élémentaires, les sommes et les moyennes, la réalisation de certaines figures et/ou graphes, ainsi que d'autres fonctions habituellement utilisées.

1. Stabilité

La stabilité d'un peuplement est donnée par la valeur du coefficient d'élanement (CE) se traduisant par le rapport hauteur-diamètre (Robisoa *et al.*, 2008).

$$CE = H/D$$

Lorsque $CE < 100$ représente un peuplement régulier et stable avec un couvert complet et dense et lorsque $CE > 100$ cela signifie que le peuplement régulier est instable, le couvert est dense supérieur à 80% (Berges, 2012).

2. Potentiel exploitable

Le potentiel exploitable des peuplements peut être affecté à la qualité. Dans cette étude, le seuil d'exploitabilité est le diamètre strictement supérieur à 40cm. Ainsi, plus les peuplements sont riches en individus de gros diamètres, plus ils sont à fort potentiel, et plus leur qualité est meilleure (Robisoa, 2008).

Le biovolume, ou potentiel en bois, est le volume de bois fourni par la végétation dans une surface donnée. Il est donné par la formule de (Dawkins, 1959) :

$$V = \sum v_i = \sum [g_i * h_i] * 0.53$$

Ou V : potentiel en bois ou biovolume (m³/ha)

0.53 : coefficient de forme si DHP > 35, par contre 0.51 si DHP < 35

G_i : surface terrière de chaque individu i (m²/ha)

H_i : hauteur totale de l'arbre en mètre

3. Vigueur des peuplements

Il n'existe pas de formule concrète pour l'estimation de la vigueur. Pour cela, une étude de la similarité est réalisée afin de distinguer les groupes de peuplements qui ont les caractéristiques les plus similaires, c'est-à-dire, les peuplements qui ont la même vigueur à l'intérieur de la station (Robisoa, 2008).

4. Analyse de la viabilité

Cette analyse consiste à l'évaluation de la viabilité de l'écosystème. La méthode utilisée est celle établie par The Nature Conservancy (TNC). Les niveaux de viabilité de quelques attributs sylvicoles de l'arboretum sont récoltés et énumérés, par rapport à des valeurs de référence récoltées dans des études similaires. Les niveaux de viabilité restent des jugements relatifs à ces références.

Trois catégories d'indicateurs (taille, conditions, contexte spatial, pressions et menaces) permettent d'estimer le niveau de viabilité. Des attributs de mesure de viabilité sont choisis parmi les paramètres mesurés dans l'analyse sylvicole :

- La taille est relative à des attributs quantitatifs soulignant l'importance des peuplements ; ce sont l'abondance et la dominance ;
- Les conditions sont la régénération, la mortalité et la stabilité ;
- le contexte spatial est régi par le degré de couverture et l'espacement moyen des arbres.
- Les pressions et les menaces : le nombre des coupes illicites, la surface brûlée, le nombre des arbres malades (insectes, champignons...).

Les critères des trois premiers facteurs ont été comparés avec des valeurs obtenues dans des écosystèmes jugés viables. A partir de cette comparaison, la viabilité de l'écosystème peut être :

- très bonne : aucun des trois facteurs ne présente une viabilité « moyenne » et « faible », au moins deux facteurs sont classés « très bonne » ;
- bonne : soit deux facteurs ont une viabilité « moyenne », soit un seul est de très bonne viabilité. Aucun ne doit pas avoir une viabilité faible ;
- moyenne : c'est la combinaison de deux viabilités moyennes ou une bonne viabilité. Aucun des facteurs n'est une très bonne viabilité ;
- faible ou non viable : la viabilité de tous les facteurs n'est pas bonne. Deux facteurs ont une viabilité faible.

Concernant le quatrième facteur, son degré a été classé selon les effets et les menaces qu'il entraîne. Il peut être : très élevé, élevé, moyen, bas.

4.1. La taille

La taille d'un peuplement est donnée par la notion d'abondance et de dominance.

L'abondance des arbres est donnée par le nombre de tiges par hectare (Robisoa, 2008) :

$$N = (n \cdot 10000) / S$$

N : est le nombre de tiges inventoriées

S : est la superficie en hectare

La dominance est révélée par la surface terrière G en m²/ha et est calculée par la formule :

$$G = \sum gi = \sum \pi d^2 / 4$$

gi : surface terrière de chaque individu en m²;

d : diamètre de l'arbre en mètre.

4.2. Les conditions

4.2.1. Régénération

Le taux de régénération (Tr) est donné selon l'échelle de (Rothe, 1969) indiquant le rapport entre le nombre d'individus régénérés (n) et le nombre d'individus semenciers (N) (Robisoa, 2008) :

$$Tr (\%) = (n/N) \cdot 100$$

- Une espèce est en difficulté de régénération quand le taux (Tr) est inférieur à 100%.
- Si Tr est compris entre 100% et 1000%, l'espèce présente une bonne régénération.
- Si Tr > 1000%, l'espèce a alors une très bonne régénération.

4.2.2. Mortalité

Le taux de mortalité (Tm) est le rapport entre le nombre d'arbres morts (chablis et mort sur pied) et le nombre total des arbres dans la parcelle par unité de surface (Randrianjanahary, 2004).

$$Tm (\%) = (m/M)*100$$

m : nombre d'arbres morts ou chablis,
M : nombre total des arbres).

4.3. Le contexte spatial

Le contexte spatial détermine la viabilité d'un peuplement par le degré de couverture et l'espacement moyen des arbres.

4.3.1. Degré de couverture

Le degré de couverture est exprimé par le recouvrement des couronnes qui exprime la surface occupée par la projection au sol de la couronne des arbres. Elle permet d'estimer le pourcentage de la surface du sol couvert par la canopée par rapport au pourcentage de la surface où la lumière atteint le sol.

Il est possible après observation du recouvrement de dire si la formation végétale est très fermée, fermée ou ouverte (Kemadjou, 2011).

$$\text{Degré de couverture (\%)} = (\sum S_h * 100) / S_p$$

n : nombre de houppiers
S_h : surface couverte par houppier
S_p : surface de la parcelle

Lorsque le degré de couverture du peuplement est supérieur à 50%, la surface est forestière. Lorsque celui-ci est inférieur à 30%, la surface est en principe non forestière (ING, 2014).

4.3.2. Espacement moyen des arbres

Le facteur d'espacement (S%) est un indice utilisé principalement pour chiffrer l'intensité d'une éclaircie, il donne une relation entre l'espacement moyen « a » des arbres et la hauteur dominante (H_d) du peuplement.

L'espace moyen se calcule avec la formule ci-dessous dans laquelle N est la densité en nombre de tiges par hectare du peuplement (Centre Régional de la Propriété Forestière, 2012).

$$a = \sqrt{10.000 / (N * 0.866)}$$

Selon Hart-Becking, le facteur d'espace peut être calculé avec la formule suivante :

$$S\% = (a / H_d) * 100$$

Plus S% est élevé, plus le peuplement est ouvert (Massenet, 2010).

Le tableau 3 synthétise les attributs de la viabilité.

Tableau 3. Analyse de la viabilité.

Catégories	Attributs	Indicateurs	Référence	Etat actuel	Viabilité
Taille	Abondance	N/ha	Valeurs standard ou valeurs selon d'autres documents et/ou publications, ou étude d'autres cas.	Valeur calculée dans les analyses sylvicole et de pression (à comparer aux valeurs de la colonne de référence)	Très bonne
	Dominance	G en m ² /ha			
Conditions	Régénération	Tr (%)			Bonne
	Mortalité	Tm (%)			Moyenne
Qualité	Stabilité	FE			Faible
	Index PHF	Index PHF			
Contexte spatial	Densité des peuplements	Degré de couverture (%)			
	Espacement moyen des arbres	Espacement moyen à l'hectare			
Pressions et menaces	Coupes illicites	Nombre			
	Surface brûlée	m ²			
	Arbres malades	Nombre			

4.4. Inventaire des pressions

Un inventaire des pressions a également été effectué dans l'ensemble de l'arboretum plus précisément sur les parcelles d'espèces feuillues étudiées, en prélevant toutes les menaces qui règnent sur chaque parcelle. Les observations doivent s'étendre aux arbres plus ou moins

instables et aggravants les risques : arbres penchés sur terrains en glissement, arbres déchaussés par l'érosion en lisière des ravineurs, présence de ravageurs, de champignons, ainsi que les menaces d'ordres climatiques (stress hydrique,...).

L'objectif de cet inventaire est de recenser, de quantifier et d'ordonner les pressions par ordre de menaces afin de dégager la viabilité des ressources. Il a été divisé en deux étapes : une fouille systématique et une mesure des pressions. La fouille systématique consiste à observer toutes les pressions dans l'ensemble des parcelles étudiées. Elle est utile pour spatialiser et évaluer l'envergure des pressions permettant l'élaboration d'une carte de pressions. La mesure des pressions donne au gestionnaire des caractéristiques sur les pressions.

IV. Ecologie numérique

L'Analyse en Composante Principale est une technique mathématique qui permet de détecter les dépendances statistiques entre un grand nombre de variables quantitatives. Elle sert essentiellement à réduire un système complexe de corrélations en un plus petit nombre, c'est-à-dire de « résumer » les grandes masses de données sous la forme de vecteurs représentatifs (vecteurs propres) montrant la dispersion des individus que l'on peut lier aux influences susceptibles d'expliquer la variabilité du champ étudié. A chaque champ spatial, est associée une chronique temporelle (composante principale) qui reproduit le résumé des variables obtenues par combinaison linéaire et explique un certain pourcentage par rapport à la variance totale.

Dans notre étude, seuls les paramètres quantitatifs ont été analysés. Les données enregistrées ont été d'abord soumises à une analyse descriptive. Les valeurs moyennes, minimales, maximales, l'écart-type de la moyenne et le coefficient de variation ont été déterminés pour l'ensemble des 15 variables quantitatives étudiées (Hm, Dm, coefficient d'élancement, PHF, abondance, dominance, contenance (Vtot et Vexp), surface terrière, surface terrière moyenne, surface terrière de l'arbre moyen, régénération, mortalité, degré de couverture et espacement moyen). Elles ont été ensuite soumises à une analyse en composantes principales (ACP) puis à une classification ascendante hiérarchique (CAH). Le logiciel Excel-Stat (2015) a été utilisé pour conduire ces analyses.

Tableau 2.Caractéristiques des 7 parcelles étudiées.

N° Par	Coordonnées géographiques	Exposition	Pente	Altitude (m)	Superficie (Ha)	Espèce	Nom latin	Famille	Année de plantation	Nombre initial	Espèce actuel (2015)	Nombre actuel (2015)
P1	6.70574750175 36.37899936540	Nord	Faible	910-890	0,37	Chêne afares	<i>Quercus afares</i>	Fagaceae	1954	x	<i>Quercus petraea</i>	72
P3	6.70475338396 36.37891025070	Nord	Faible	910-890	0,53	Gommier	<i>Eucalyptus Ovata</i>	Myrtaceae	1954	1250	<i>Eucalyptus Ovata</i>	45
P4	6.70600802365 36.37459505800	Nord	Faible	910-890	0,15	Sophora du Japon	<i>Sophora japonica</i>	Fagaceae	1955	350	<i>Sophora japonica</i>	15
P8	6.706074890940 36.37702231110	Nord	Faible	910-890	0,37	Chêne rouge d'Amérique	<i>Quercus rubra</i>	Fagaceae	1955	950	<i>Quercus rubra</i>	6
P50	6.704874259140 36.37284903870	Nord	Faible	910-890	0,54	Chêne des canaries	<i>Quercus canariensis</i>	Fagaceae	1960	267	<i>Quercus canariensis</i>	30
P52	6.704068409931 36.37178649770	Nord	Faible	910-890	0,32	Frêne d'Amérique	<i>Fraxinus americana</i>	Oleaceae	1960	615	<i>Fraxinus americana</i>	7
P60	6.705974306270 36.37328457760	Nord	Faible	910-890	0,32	Frêne d'Oregon	<i>Fraxinus oregona</i>	Oleaceae	1960	1955	<i>Fraxinus oregona</i>	28

V. Synthèse de la démarche méthodologique

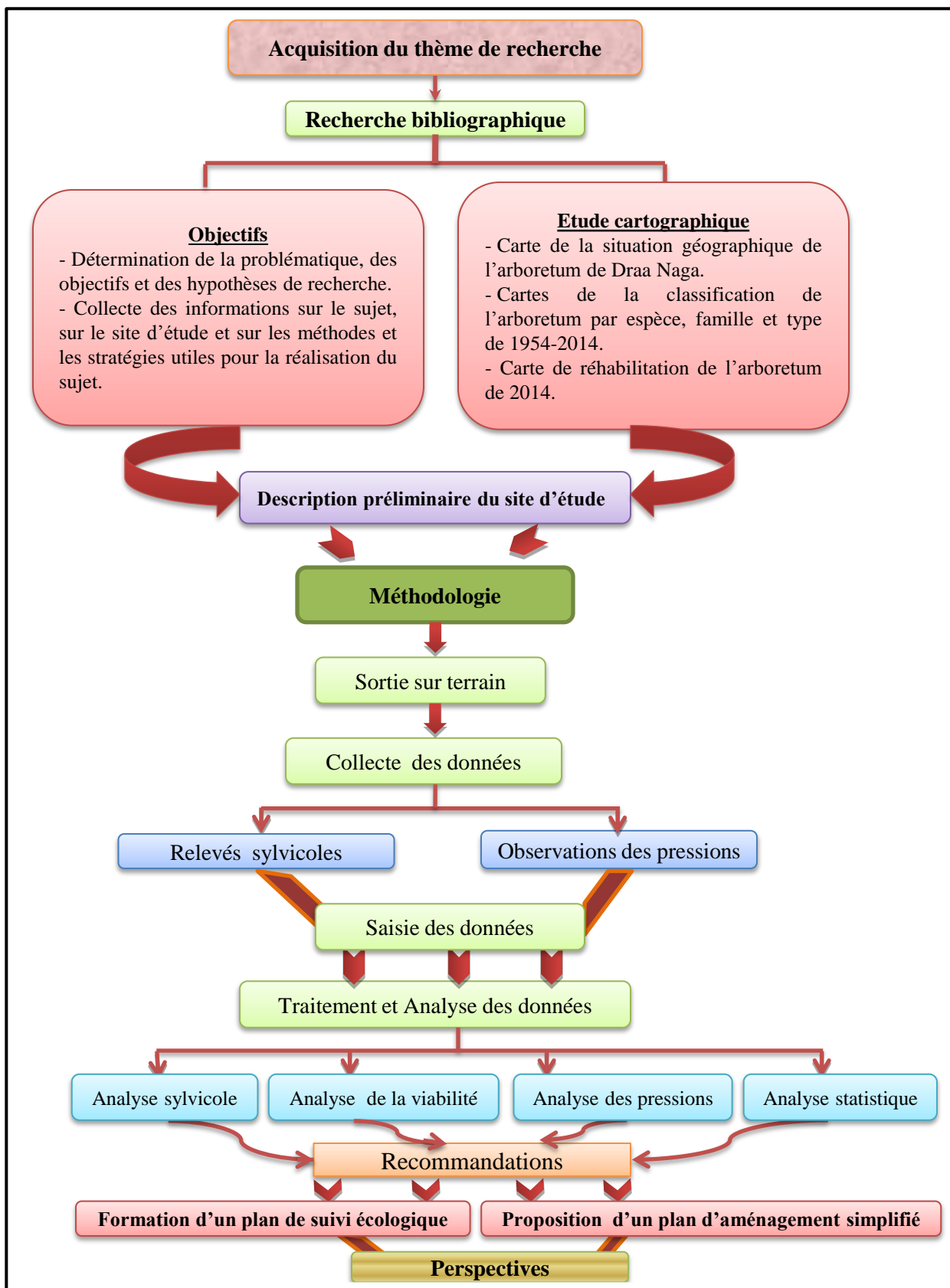


Figure 7. Démarche méthodologique adoptée.

Résultats et discussion

L'arboretum de Draa Naga est un site principalement à fonction forestière, secondairement à vocation pédagogique et écotouristique. D'autre part, son état écologique, plus précisément sa viabilité, est demeurée peu connue jusqu'ici. Et dans l'objectif de perpétuer les fonctions de l'arboretum, l'amélioration de son état de viabilité est essentielle à travers un suivi écologique permanent des peuplements artificiels qui sont les cibles de conservation. Pour cela, la connaissance de sa situation écologique actuelle est indispensable ; elle permettrait de disposer des données nouvelles suite à l'analyse sylvicole pour une appréciation du niveau de viabilité actuel de l'arboretum.

L'analyse de la viabilité est faite à partir des paramètres dendrométriques (analyse sylvicole) récoltés sur 7 parcelles des feuillus d'une part et l'observation des pressions d'autre part.

Les résultats obtenus peuvent mener à la proposition de quelques recommandations pour contribuer à l'amélioration de la viabilité de l'arboretum et doivent servir d'outil d'aide à la décision pour une amélioration de la gestion (plan de suivi écologique et plan d'aménagement simplifié).

1. Qualité des peuplements

1.1. Abondance et dominance

La structure horizontale d'une espèce rassemble la répartition de tiges et la surface terrière par classe de diamètre. Etant donné que la densité (abondance), la surface terrière (dominance) et l'état de développement des peuplements sont fortement liés entre eux, l'étude de l'un ne peut se faire sans l'introduction d'un autre (Rajoelison *et al.*, 2008). Cette étude se fera en tenant compte d'au moins deux des 15 facteurs étudiés. Cette analyse consiste à étudier la structure spatiale des peuplements du point de vue abondance et dominance. Le tableau 4 récapitule les principales caractéristiques des espèces étudiées dans chaque parcelle.

Tableau 4. Caractéristiques quantitatives des peuplements.

Parcelle	Espèce	D (cm)	H (m)	H/D	gh (m ²)	g (m ²)	(g-gh) (cm ²)	N/ha (m ²)	G (m ² /h)
P1	<i>Q. petraea</i>	25	8.1	32.40	0.05	0.054	0.32	195	10.53
P3	<i>E. ovata</i>	39	14	35.89	0.12	0.14	2.32	85	12.31
P4	<i>S. japonica</i>	8	2.9	36.25	0.01	0.01	0.33	107	0.91
P8	<i>Q. rubra</i>	28	11.4	40.71	0.06	0.01	-4.89	5	0.06
P50	<i>Q. canariensis</i>	10.1	23	43.91	0.04	0.05	-2.17	56	2.59
P52	<i>F. americana</i>	7	4.5	64.29	0.004	0.002	-0.19	22	0.05
P60	<i>F. oregona</i>	7.9	18	43.89	0.02	0.003	0.31	87	0.23

Le tableau 5 montre que le diamètre moyen minimum obtenu est de 7cm pour la parcelle 52 (*F. americana*) et de 8cm pour la parcelle 4 (*S. japonica*), cela signifie que ces deux peuplements sont encore au stade de fourré à gaulis et qu'ils n'ont pas encore atteint un bon stade de développement. Pour les peuplements de *F. oregona* (P60), *Q. canariensis* (P50), *Q. petraea* (P1) et *Quercus rubra* (P8), le diamètre moyen est compris entre 18 et 28cm, ces peuplements présentent des caractéristiques plus développées au stade de perchis à la jeune futaie. Le diamètre moyen maximum observé est de 39cm, appartenant à l'*E. ovata* qui a atteint le stade de la futaie adulte avec des diamètres plus au moins important arrivant jusqu'à 78cm comparé à ceux de l'arboretum de Mandraka (Madagascar) qui ont atteint des diamètres de 87cm (Andriamahazo, 2003).

Tableau 5. Densité et surface terrière totales en ordre croissant d'état de développement de peuplement.

Parcelle	D _{1.30m}	H/D	(g-gh) (cm ²)	N/ha (m ²)	G (m ² /h)
P52	7	64.29	-0.19	22	0.05
P4	8	36.25	0.33	107	0.91
P60	18	43.89	0.31	87	0.23
P50	23	43.91	-2.17	56	2.59
P1	25	32.40	0.32	195	10.53
P8	28	40.71	-4.89	5	0.06
P3	39	35.89	2.32	85	12.31

Pour définir le tempérament des espèces étudiées, observons la distribution des pieds des 7 parcelles par catégorie de diamètre moyen (figure 8).

- Avec un diamètre moyen compris entre 7cm et 39cm, ces peuplements sont à l'état de fourré-gaulis à la futaie adulte. L'abondance totale de pieds de diamètre à HDP supérieur à 5cm varie de 9 à 126 pieds par hectare.

- Le plus jeune de tous est le *F. americana* (P52) avec un diamètre à HDP de 7cm en moyenne. Ce peuplement renferme un nombre très réduit (6 pieds /ha) de petites perches et de perches qui ne sont pas encore comptés dans la surface terrière du peuplement. Le total de nombre de pieds atteignant le diamètre de surface terrière mesurable est seulement de 16 pieds/ha.

- Le diamètre moyen le plus élevé est celui de l'*E. ovata* (P3) avec une moyenne de 39cm. Ce peuplement renferme un nombre moyen (11 pieds/ha) des petites perches et des perches. Le nombre total de pieds atteignant le diamètre de surface terrière mesurable est de 22 pieds/ha.

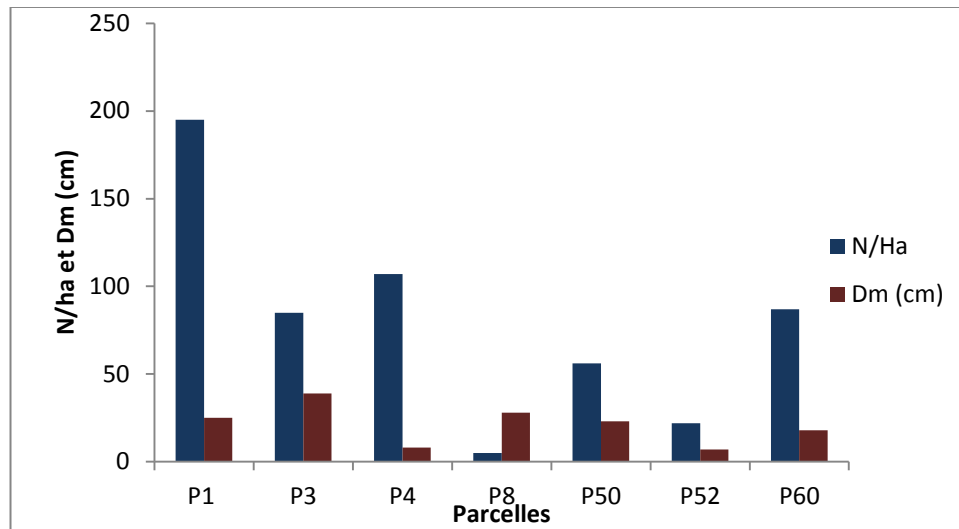


Figure 8. Distribution des arbres par catégorie de diamètre moyen.

La figure 9 montre la structure de chaque peuplement des 7 parcelles au point de vue abondance réparties par classe de diamètre. Au premier regard, trois (3) groupes de peuplements se distinguent:

- Le premier groupe renferme les parcelles 1, 8 et 50 qui sont successivement caractérisées par les espèces *Q. petraea*, *Q. rubra* et *Q. canariensis* qui représentent un très grand nombre de tiges variant de 20 à 95 pieds/ha dans la classe $[17.5 < D < 27.5 \text{ cm}]$ [c'est-à-dire le petit bois et un nombre de 9 à 46 pieds/ha pour le bois moyen de la classe $[27.5 < D < 47.5 \text{ cm}]$, ce sont les deux classes les plus représentatives pour ces chênes dont le bois riche en tanin est recherché pour sa bonne qualité (Paolini *et al.*, 2014).

- Le deuxième groupe regroupe les parcelles 4, 52 et 60 (*S. japonica*, *F. americana* et *F. oregona*) représentées surtout par la classe $[D < 7.5 \text{ cm}]$ [des petites perches et de la classe $[7.5 < 17.5 \text{ cm}]$ [des perches, ce qui prouve que ces trois espèces sont au même stade de développement qui est le gaulis. Le nombre de pieds le plus abondants pour la classe de diamètre $[1.3 < 7.5 \text{ cm}]$ [et de la classe $[7.5 < 17.5 \text{ cm}]$ [est attribué à la parcelle 4 (*S. japonica*), ce sont les petites perches et les perches. Ceci est expliqué par la croissance très lente de cette espèce car elle ne commence à fleurir et bien se développer que vers 40 ou 50 ans et avec une forte chaleur estivale (Anonyme, 2015), c'est ce qui fait sa particularité.

- Le troisième groupe est représenté par la parcelle 3 de l'*E. ovata* dont le nombre pieds est presque semblable pour toutes les classes (9 à 11 pieds/ha), cependant c'est le seul groupe qui a pu atteindre un très grand diamètre de 78cm appartenant à la dernière classe $[D < 7.5 \text{ cm}]$ [du très

gros bois, cette espèce est recherchée surtout pour son utilisation en industrie pour la fabrication de miel de haute qualité (Bernard, 2003).

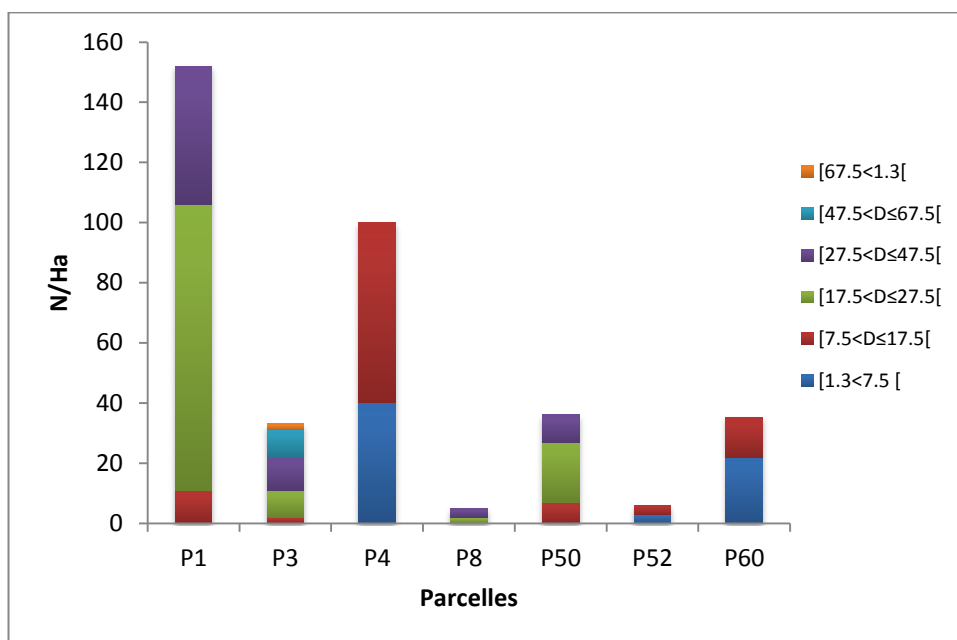


Figure 9. Densité par classe de diamètre.

La surface terrière (Dominance) est un bon indicateur de la richesse d'un peuplement. Plus elle est élevée, plus le peuplement est riche (Gaudin, 1996). Comme dans le cas de l'abondance, trois groupes sont enregistrés (figure 10):

-Dans le groupe de peuplement des chênes de diamètre moyen supérieur à 17.5cm, la variation de la surface terrière par rapport au diamètre moyen est très irrégulière (parcelles 1, 8 et 50). La comparaison avec la figure 9 montre que la surface terrière varie dans le même sens que la densité sauf au niveau de la parcelle 8 du *Q. rubra*, mais la différence entre les trois parcelles est plus marquée dans la figure 10. Cette différence peut être attribuée au fait que la surface terrière est fonction du carré du diamètre et à une forte concurrence entre les pieds au niveau de la surface terrière occupée.

-Pour le groupe du peuplement d'*E. ovata* (P3), la surface terrière est nettement plus élevée chez les individus ayant un diamètre moyen supérieur à 47.5cm, ce qui correspond aux résultats obtenus dans la figure 9.

-Pour les peuplements de *S. japonica* (P4), les *F. oregona* (P60) et le *F. americana* (P52) de diamètre moyen inférieur ou égal à 17.5cm, la surface terrière totale augmente avec le diamètre moyen pour la catégorie des perches et des perchettes.

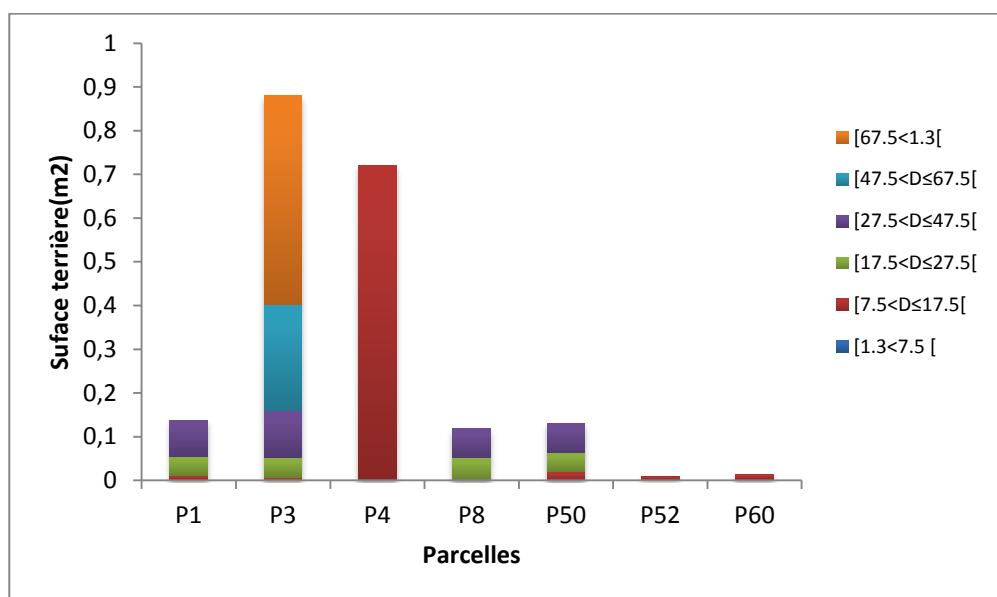


Figure 10. Surface terrière par classe de diamètre.

Dans les figures 11 et 12, nous pouvons observer la variation de la surface terrière en fonction du diamètre, de la circonférence et de la hauteur des espèces étudiées. Ainsi, l'étude de la régression linéaire et du coefficient de corrélation permet de démontrer l'étroite relation qui existe entre ces différents paramètres pour chaque parcelle.

Les résultats obtenus pour chaque parcelle montrent que les coefficients de corrélations sont significatifs à hautement significatifs pour les parcelles 1, 3, 4, 50 et 60 (*Q. petraea*, *E. ovata*, *S. japonica*, *Q. canariensis* et du *F. oregona*), alors qu'ils sont très hautement significatifs pour les parcelles 8 et 52 du *Q. rubra* et du *F. americana* respectivement. Ces résultats montrent que les quatre paramètres (Surface terrière, diamètre, circonférence et hauteur) sont étroitement liés du fait que l'augmentation de l'un induit obligatoirement l'augmentation de l'autre et vice versa.

La comparaison entre la surface terrière moyenne et la surface terrière de l'arbre de diamètre moyen ($g - gh$) permet de qualifier la productivité du peuplement où g est la surface terrière moyenne de la population va être introduite dans l'analyse horizontale des peuplements. La répartition des tiges à travers les différents diamètres et le fait que la surface est une fonction du carré du diamètre sont à l'origine de la différence entre la surface terrière moyenne et la surface terrière de l'arbre de diamètre moyen. Ce paramètre caractérise alors la répartition de nombre de tiges par diamètre (Andriamahazo, 2003).

Les résultats obtenus dans la figure 13 montre qu'il y'a des valeurs positifs et négatifs :

Chez les peuplements de *Q. petraea* (P1), de *E. ovata* (P3), *S. japonica* (P4) et le *F. oregona* (P60), la différence entre la surface terrière moyenne et la surface terrière de l'arbre moyen ($g - gh$) est positif, cela signifie que les arbres des populations occupent en moyenne une surface terrière plus grande que celle occupée par l'arbre moyen. Ce qui peut être traduit à un gain de surface terrière de chaque arbre face à l'arbre de diamètre moyen. Autrement dit, la surface totale est relativement grande par rapport au diamètre moyen des arbres et à la densité du peuplement. Le ($g - gh$) positif de ces peuplements caractérise alors une bonne productivité du peuplement.

Chez les peuplements de *Q. rubra* (P8), du *F. americana* (P52) et du *Q. canariensis* (P50), la différence entre la surface terrière moyenne et la surface terrière de l'arbre moyen ($g - gh$) est négatif, cela montre que les peuplements contiennent des arbres de surface terrière inférieure à celle de l'arbre moyen. Ce qui signifie que le peuplement en question présente une mauvaise productivité. Ce paramètre permet aussi d'évaluer l'écart moyen entre les diamètres des tiges. Plus la valeur absolue de ($g - gh$) est grande plus les tiges ont les différences entre les diamètres de tiges sont aussi grandes (Andriamahazo, 2003).

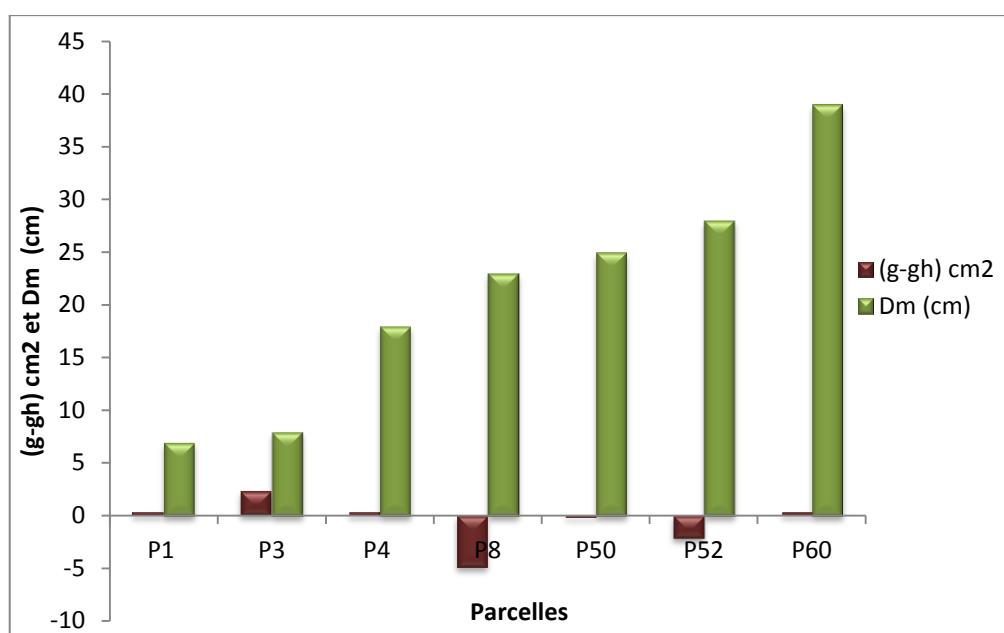


Figure 13. Différence entre surface terrière moyenne et surface terrière de l'arbre moyen (g _ gh).

1.2. Coefficient d'élancement

Le coefficient d'élancement donne une idée sur la stabilité écologique de la strate des feuillus. Pour une meilleure stabilité, la valeur du coefficient doit avoisiner les 100 (Robisoa, 2008).

En considérant le rapport H/D, les feuillus possèdent les valeurs les moins favorables. Par conséquent ils subissent une compétition trop importante et ne devraient pas bien résister au vent. Ils ont une hauteur bien trop élevée par rapport à leur diamètre. Cette vitesse de croissance s'explique par leur fort pouvoir compétiteur (Rajoelison *et al.*, 2008).

La figure 14 montre les coefficients d'élancements moyens des peuplements des 7 parcelles étudiées.

- Les 4 premières parcelles (1, 3, 4 et 8) et les deux dernières (parcelle 52 et 60) ayant un diamètre moyen compris entre 7cm et 39cm, présentent des coefficients d'élancement compris entre 32 et 41 et donc inférieur à 100, cela signifie que ces peuplements sont stables et réguliers (Erlbeck, 2002). Le *Q. petraea* avec un coefficient d'élancement avoisinant le 32 représente le peuplement le plus stable, le plus résistant au vent, à la neige et aux chablis avec un fort pouvoir compétiteur (Massenet, 2010). Contrairement à la parcelle 50 où le *Q. canariensis* avec un diamètre moyen très faible (7cm) représente le coefficient d'élancement le plus élevé (64), cela permet de dire que ce peuplement est moins stable que les précédents.

Cette constatation permet de supposer que le coefficient d'élanement est fonction du diamètre moyen donc de l'âge du peuplement. La figure 14 montre le coefficient d'élanement en fonction du diamètre moyen du peuplement suivi de la courbe de tendance polynomiale de la fonction (figure 15).

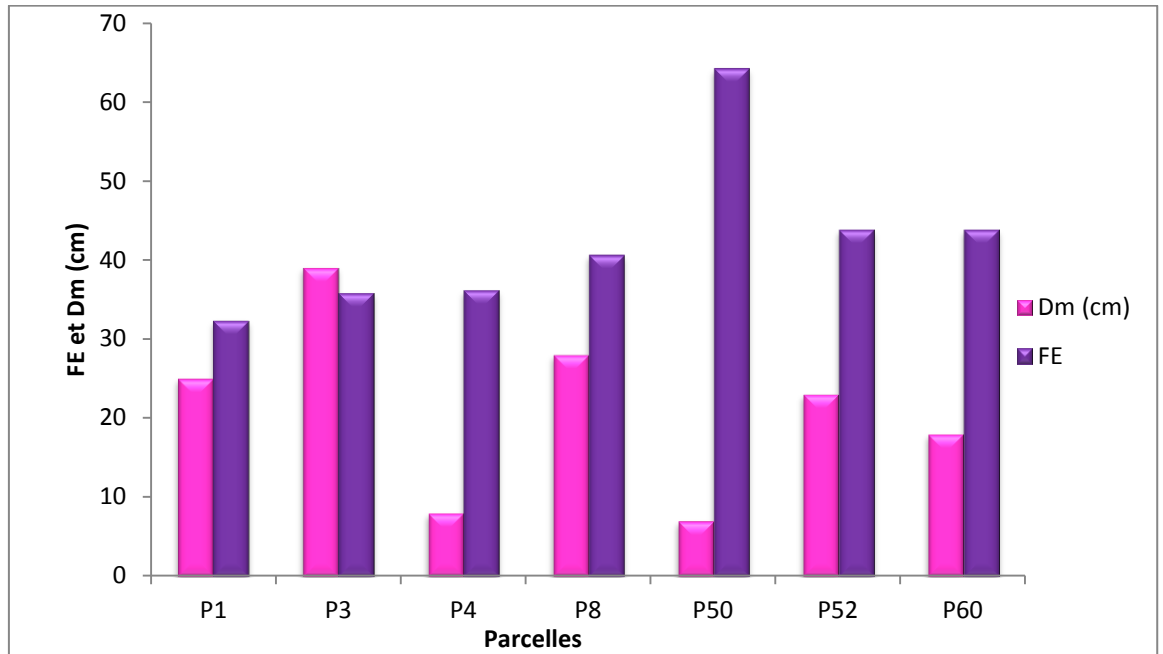


Figure 14. Coefficient d'élanement par parcelle.

D'après la figure 15, le coefficient d'élanement est une fonction négative du diamètre moyen. Le coefficient de détermination $R^2 = 0.3446$ de la courbe de tendance signifie que 66 % des valeurs observées ne sont pas expliquées par la courbe de tendance. Ces 66 % correspondent sûrement à la portion très irrégulière de la courbe au niveau de l'intervalle de 7cm à 39cm. Il y a donc une relation entre le diamètre moyen et la hauteur moyenne du peuplement de régénération naturelle (figure 16).

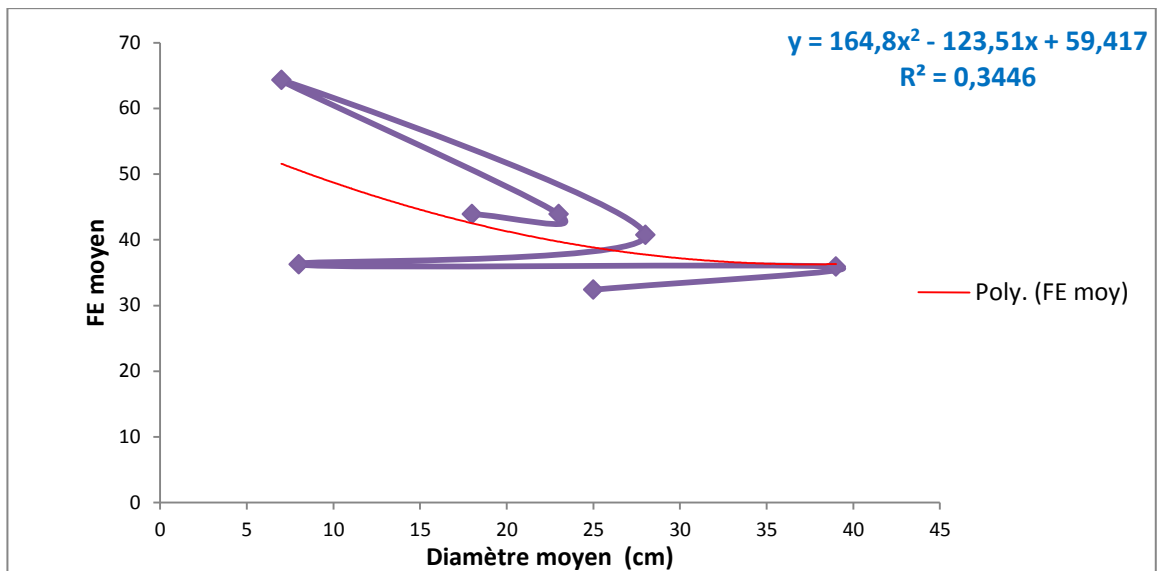


Figure 15. Coefficient d'élanement en fonction du diamètre moyen des peuplements.

La figure 16 montre que le coefficient de détermination $R^2=0.929$, cela signifie que 92.9% des valeurs observées de la hauteur sont expliquées par la courbe de tendance. Nous pouvons alors utiliser cette courbe pour la prévision de la hauteur moyenne d'un peuplement de régénération naturelle livré à lui-même si le diamètre moyen est connu (Andriamahazo, 2003).

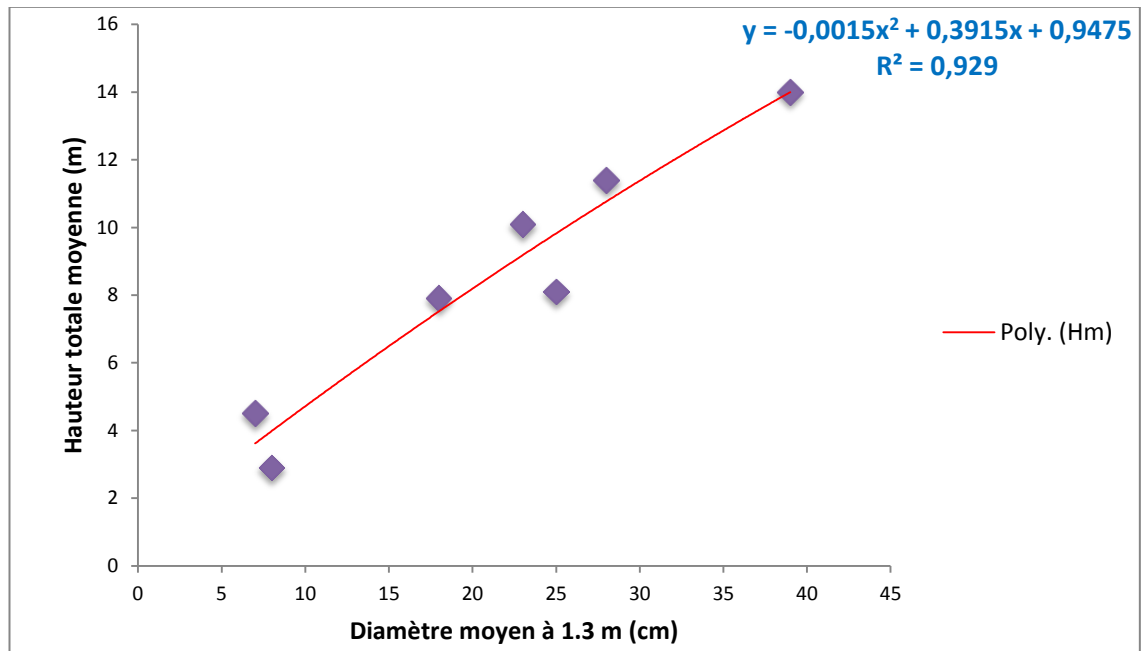


Figure 16. Hauteur totale moyenne en fonction du diamètre à 1.3m des peuplements étudiés.

1.3. Index PHF

La qualité des peuplements peut être donnée par l'index PHF, un index de trois chiffres qui donne un jugement de la position de l'arbre (par rapport aux autres et indiquant ainsi la dominance et le stade de compétition ou l'exposition vers l'étage dominant), de la forme générale des houppiers, et de la forme des fûts (Robisoa *et al.*, 2008). Il permet de faire une interprétation sylvicole plus détaillée pour prévoir l'avenir du peuplement (Blaser, 1990) et en déduire à la fin la viabilité des peuplements (Rajoelison *et al.*, 2008).

1.3.1. Position du houppier (Index P)

L'index P est exprimé par les valeurs 100, 200, 300, 400 et 500 (Rasatatsihoarana, 2009). Il donne une idée sur la position du houppier de l'arbre considéré et celle des arbres voisins. Il indique la dominance, le stade de compétition ou l'exposition vers l'étage dominant du houppier (Blaser, 1990).

D'après la figure 17, nous constatons que :

- 86 pieds/ha de *Q. petraea* (P1), 19 pieds/ha d'*E. ovata* (P3), 100 pieds/ha de *S. japonica* (P4), 5 pieds/ha de *Q. rubra* (P8), 26 pieds/ha de *Q. canariensis* (P50), 6 pieds/ha de *F. americana* (P52) et 38 pieds/ha de *F. oregona* (P60) ont un houppier en pleine lumière, complètement libre d'en haut et latéralement, ce sont surtout des arbres dominants ou de petits arbres dans des trouées.

- 41 pieds/ha de *Q. petraea* (P1), 13 pieds/ha d'*E. ovata* (P3), 50 pieds/ha de *Q. canariensis* (P50) et 6 pieds/ha de *F. americana* (P52) ont un houppier en pleine lumière d'en haut mais couvert latéralement.

- 11 pieds/ha de *Q. petraea* (P1), 2 pieds/ha d'*E. ovata* (P3) et 3 pieds/ha de *F. americana* (P52) ont un houppier partiellement libre et en pleine lumière d'en haut, ce sont surtout les arbres de l'étage intermédiaire ou du sous-étage couvert.

- Seulement 9 pieds/ha de *Q. petraea* (P1) ont un houppier couvert, sans lumière d'en haut et partiellement éclairé latéralement, ce sont les arbres d'étage dominé ou de petits arbres en périphérie d'une trouée.

- 5 pieds/ha de *Q. petraea* (P1) ont un houppier en entièrement couvert, sans lumière directe, ce sont surtout les arbres du sous-bois.

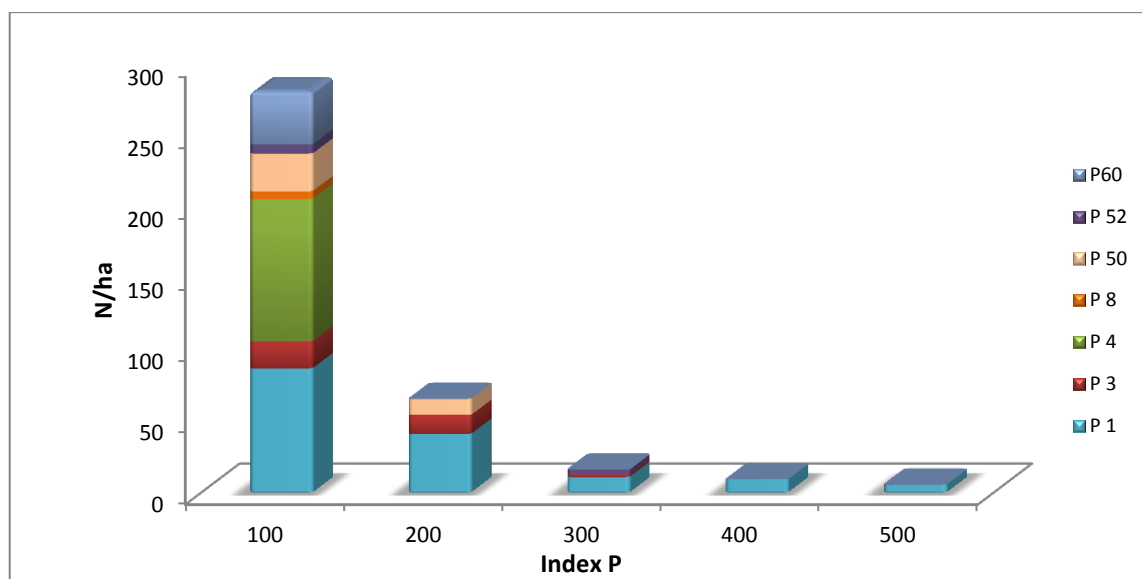


Figure 17. Proportion du nombre de tiges selon l'Index P.

1.3.2. Forme du houppier (Index H)

En relation avec la dimension et le stade de développement d'un arbre, l'apparence de la qualité de l'houppier déterminera l'accroissement. La forme du houppier indique qualitativement le développement antérieur d'un arbre et probablement sa potentialité future. L'index H varie de 10 à 50 (Blaser, 1990).

La figure 18, montre que :

- 19 pieds/ha de *Q. petraea* (P1), 9 pieds/ha d'*E. ovata* (P3), 5 pieds/ha de *Q. rubra* (P8), 35 pieds/ha de *Q. canariensis* (P50), 3 pieds/ha de *F. americana* (P52) et 16 pieds/ha de *F. oregona* (P60) ont un houppier parfait, circulaire en plan symétrique, dense et étendu.

- 66 pieds/ha de *Q. petraea* (P1), 11 pieds/ha d'*E. ovata* (P3), 3 pieds/ha de *Q. canariensis* (P50), 3 pieds/ha de *F. americana* (P52) et 19 pieds/ha de *F. oregona* (P60) ont un houppier plus ou moins circulaire en plan avec quelques déficiences de symétrie ou avec quelques branches mortes.

- 43 pieds/ha de *Q. petraea* (P1), 6 pieds/ha d'*E. ovata* (P3), 3 pieds/ha de *F. americana* (P52) et 3 pieds/ha de *F. oregona* (P60) ont un houppier tolérable, partiellement asymétrique et ouvert. Ce type de houppier est susceptible de réagir positivement à une intervention.

- 14 pieds/ha de *Q. petraea* (P1), 2 pieds/ha d'*E. ovata* (P3) et 100 pieds/ha de *S. japonica* ont un houppier fortement asymétrique avec seulement quelques branches vertes et denses, mais ayant encore l'apparence d'un arbre pouvant survivre.

- Seulement 11 pieds/ha de *Q. petraea* (P1) et 6 pieds/ha d'*E. ovata* (P3) ont un houppier dégradé, qui se porte très mal avec quelques branches vivantes. En apparence, ces arbres paraissent condamnés.

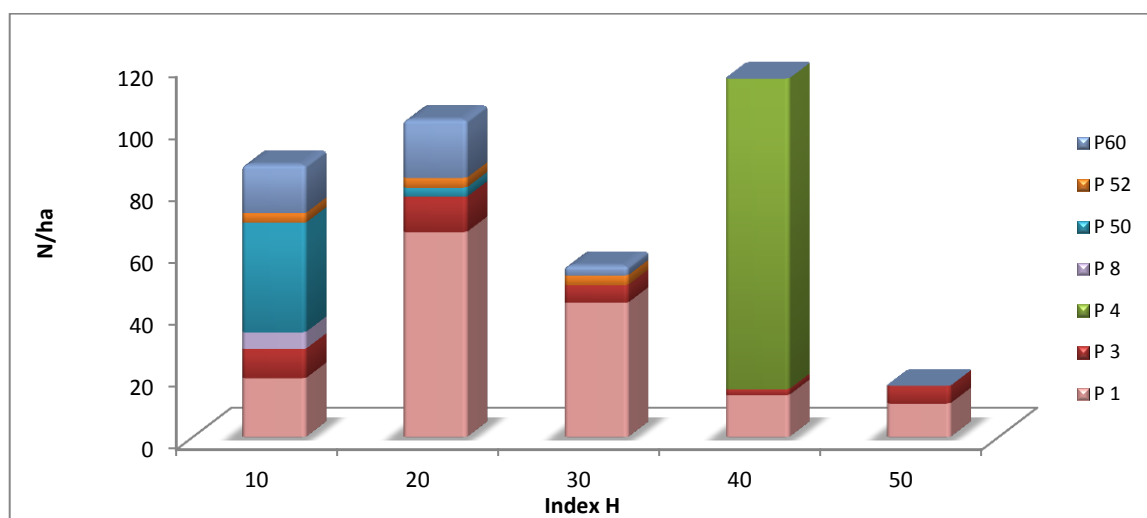


Figure 18. Proportion du nombre de tiges selon l'Index H.

1.3.3. Forme du fût (Index F)

La forme du fût est un index de la qualité du bois. La forme du fût n'est pas liée à l'accroissement, mais elle influence certainement les futures pratiques sylvicoles (Blaser, 1990). Elle varie de 1 à 6 (Rajoelison, 1997). Il ressort de la figure 19 en dessous que :

- 49 pieds/ha de *Q. petraea* (P1), 8 pieds/ha d'*E. ovata* (P3), 5 pieds/ha de *Q. rubra* (P8), 31 pieds/ha de *Q. canariensis* (P50) et 3 pieds/ha de *F. oregona* (P60) ont un fût droit, rond et plein ; cylindrique, sans défaut et sans embranchements. Les gros fûts peuvent fournir du bois de placage et les tiges minces de petits diamètres sont utilisées comme bois de poteaux (Blaser, 1984).

- 25 pieds/ha de *Q. petraea* (P1), 11 pieds/ha d'*E. ovata* (P3), 7 pieds/ha de *Q. canariensis* (P50) et 9 pieds/ha de *F. oregona* (P60) ont un fût droit, cylindrique, légèrement bombé, plein pour une division en sections, sans défauts et sans embranchements. Ce type de fût fournit en partie du bois de placage (Blaser *et al.*, 1993).

- 16 pieds/ha de *Q. petraea* (P1), 8 pieds/ha d'*E. ovata* (P3), 3 pieds/ha de *F. americana* (P52) et 6 pieds/ha de *F. oregona* (P60) ont un fût partiellement droit, bombé jusqu'à 2 mètres de haut, en partie cylindrique, généralement conique et sans défauts. C'est un bon bois de sciage (Blaser, 1984).

- 35 pieds/ha de *Q. petraea* (P1), 6 pieds/ha d'*E. ovata* (P3), 20 pieds/ha de *S. japonica* (P4), 3 pieds/ha de *F. americana* (P52) et 9 pieds/ha de *F. oregona* (P60) ont un fût droit sur quelques mètres, bombé de haut, conique et sans défauts sérieux. Il est utilisé comme bois de sciage ou comme bois d'énergie (bois de feu ou de charbon) (Blaser, 1984).

- 19 pieds/ha de *Q. petraea* (P1), 2 pieds/ha d'*E. ovata* (P3), 33 pieds/ha de *S. japonica* (P4) et 9 pieds/ha de *F. oregona* (P60) ont un fût irrégulier, tortueux, fortement conique, avec des fourches, en partie défectueux. Il peut être utilisé comme bois de construction (Blaser, 1984).

- Seulement 8 pieds/ha de *Q. petraea* (P1), 47 pieds/ha de *S. japonica* (P4) et 3 pieds/ha de *F. americana* (P52) et ont un fût très irrégulier, très fourchu et tortueux, conique, avec des défauts nettement visible. Il est surtout utilisé comme bois d'énergie (Blaser *et al.*, 1993).

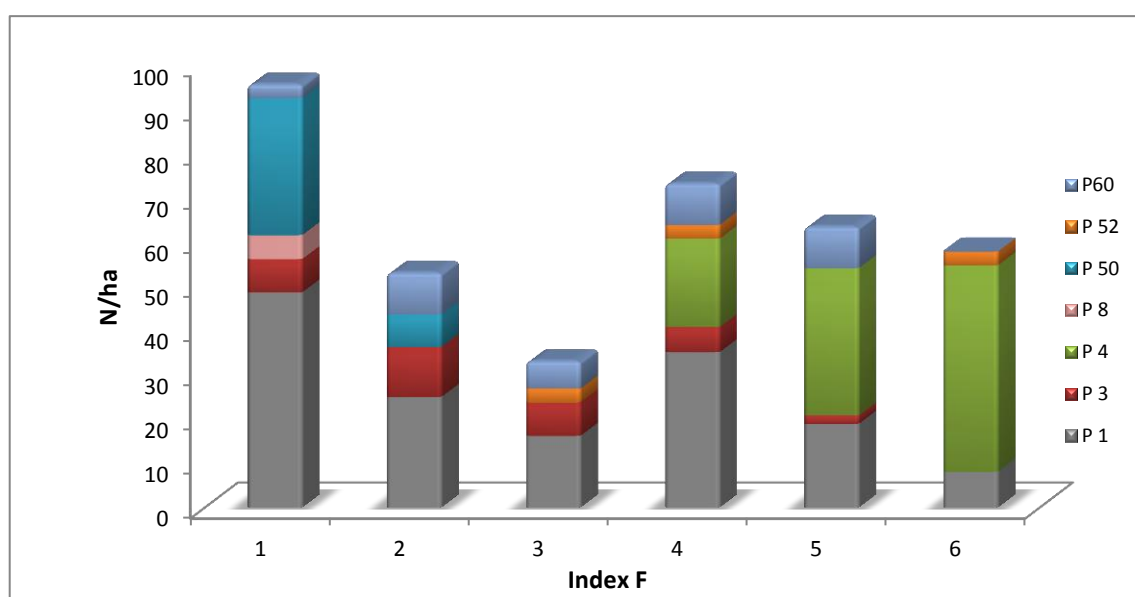


Figure 19. Proportion du nombre de tiges selon l'Index F.

Le tableau 6 récapitule la qualité des peuplements étudiés selon l'index PHF, cette qualité est assez variable entre les différentes essences étudiées. Le *Q. rubra* et le *Q. canariensis* ont la meilleure qualité comparée aux autres essences avec un index PHF parfait égale à 111, ce qui permet d'en déduire leur bonne viabilité (Rajoelison *et al.*, 2008) et leur grand aspect compétiteur surtout vers l'étage dominant.

Le cumule du PHF montre que le nombre de tiges le plus élevé pour les 7 espèces est de 282 pieds/ha pour l'index P, 88 pieds/ha pour l'index H et 96 pieds/ha pour l'index F, ce qui donne une moyenne de 155 pieds/ha pour un index PHF parfait (111), 73 pieds/ha pour un PHF bien (222), 35 pieds/ha pour un PHF moyen (333), 66 pieds/ha pour un PHF tolérable (444), 28 pieds/ha pour un PHF mal (555) et 18 pieds/ha pour un PHF très mal (556). La moyenne des

résultats de l'index PHF est 233 pour l'ensemble des espèces étudiées depuis le quel on a déduit une assez bonne qualité de nos peuplements étudiés.

Tableau 6. Qualité des peuplements selon l'index PHF.

Parcelle	Espèce	PHF	Qualité	PHF Cumulé								
				P	N/ha	H	N/ha	F	N/ha	PHF	Moy	Qualité
P 1	<i>Q. petraea</i>	233	AB	100	281	10	88	1	96	111	155	P
P 3	<i>E. ovata</i>	233	AB	200	66	20	102	2	53	222	74	B
P 4	<i>S.japonica</i>	145	M	300	16	30	55	3	33	333	35	M
P 8	<i>Q. rubra</i>	111	TB	400	9	40	115	4	73	444	66	T
P 50	<i>Q. canariensis</i>	111	TB	500	5	50	16	5	64	555	28	Ma
P 52	<i>F. americana</i>	125	B	0	0	0	0	6	58	556	19	TM
P60	<i>F. oregona</i>	123	B	Tot	377	Tot	377	To	377	Tot	377	AB
Total		223	A.B									

TB : Très bonne ; B : Bonne ; AB : Assez bonne ; M : Moyen ; P : Parfait ; T : Tolérable ; Ma : Mal ; TM : Très mal

1.4. Potentiel exploitable

Le potentiel exploitable des peuplements peut être affecté à la qualité. Dans cette étude, le seuil d'exploitabilité est le diamètre strictement supérieur à 30cm. Ainsi, plus les peuplements sont riches en individus de gros diamètre, plus ils sont à fort potentiel, et plus leur qualité est meilleure (Robisoa, 2008).

La figure 20 montre que les contenances les plus élevées pour les volumes total et exploitable sont estimées à 24.41 m³/ha et 21.03m³/ha respectivement pour l'*E. ovata* (P3), le *Q. petraea* (P1) et le *Q. canariensis* (P50) ont des volumes exploitables variant de 12.25 m³/ha à 1.20 m³/ha ; ces volumes considérés faibles mais qui restent plus au moins élevés par rapport à ceux du *S. japonica* (P4), *Q. rubra* (P8), *F. americana* (P52) et le *F. oregona* (P60) avec un volume total compris entre 0.02 et 0.90 m³/ha et un volume exploitable de 0.009. Ceci permet d'en déduire que les 7 peuplements offrent un volume total de 44.33 m³ /ha soit une exploitabilité de 34.95 m³ /ha sur une superficie égale à 2.6 hectares.

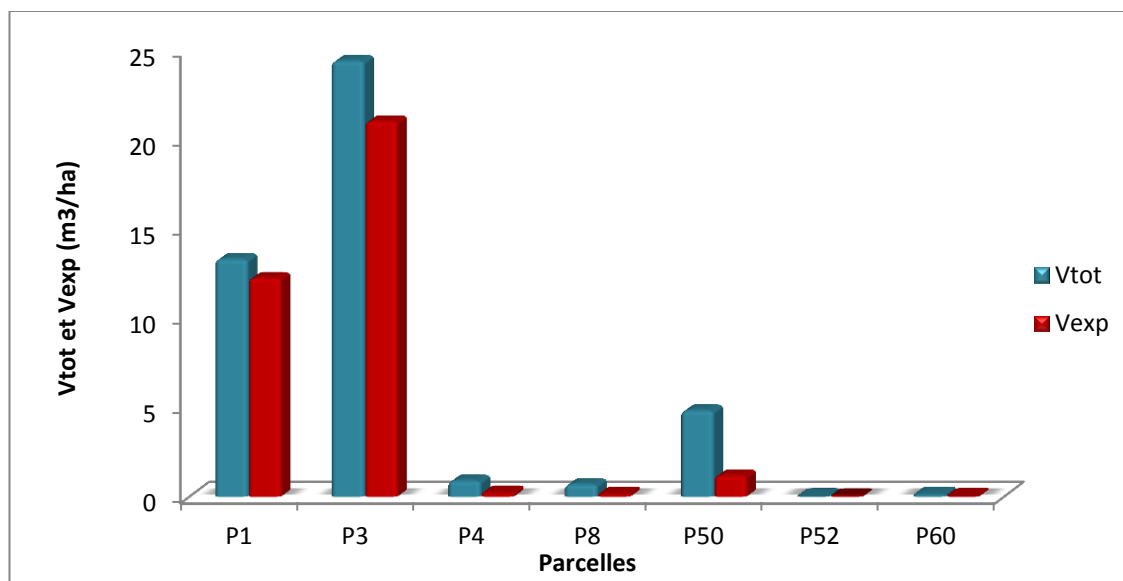


Figure 20. Contenance des 7 peuplements étudiés.

Le tableau 7 récapitule les catégories de diamètres obtenues des 7 peuplements étudiés, seul le *Q. petraea* avec 38 pieds/ha et une moyenne de diamètre égale à 32.76cm (bois moyen), l'*E. ovata* avec 21pieds/ha et une moyenne de 50.36cm (bois moyen, gros bois et très gros bois) et *Q. canariensis* avec 2 pieds/ha et une moyenne de 30cm (bois moyen) ont atteint des seuils de diamètres plus au moins importants qui leurs confèrent une surface terrière et un volume élevé (diamètre supérieur à 30cm pour les feuillus). Cela est due aux divers soins sylvicoles (éclaircie, élagage) antérieures qui ont permis aux espèces d'avoir des fûts droits et de dimensions importantes (Rajoelison *et al.*, 2008).

Tableau 7. Catégories de diamètre.

Parcelle	Classes de diamètre (cm)					
	d < 7.5	7.5 < d ≤ 17.5	17.5 < d ≤ 27.5	27.5 < d ≤ 47.5	47.5 < d ≤ 67.5	67.5 < d
	Perchettes	Perches	Petits bois	Bois moyens	Gros bois	Très gros bois
P1	0	12.50	23.37	32.76	0	0
P3	0	9	24.20	37	55.8	78
P4	6	9.56	0	0	0	0
P8	0	0	26	29	0	0
P50	0	16	23.41	30	0	0
P52	6.5	8	0	0	0	0
P60	6.21	11.13	0	0	0	0

Pour déterminer si un peuplement a un avenir, il est indispensable d'évaluer la qualité des essences qui le composent. La qualité peut être décrite selon trois catégories (Centre Régional de la Propriété Forestière, 2012) :

- Qualité médiocre : les arbres ne produiront que des produits secondaires.

- Qualité moyenne : les arbres produiront en majorité des produits utilisables en charpente ou sciage de second choix.

- Qualité bonne : les arbres produiront du sciage de premier choix.

Le tableau 8 résume la qualité de bois de nos peuplements ainsi que leur utilisation :

Tableau 8. Qualité et utilisations du bois des 7 essences étudiées.

Parcelle	Espèce	Qualité	Utilisation
P1	<i>Q. petraea</i>	Bonne	Bois dense et dur, riche en tanin avec des propriétés technologiques excellentes. Utilisé pour le tranchage de placage, mobilier, <u>ébénisterie</u> ...
P3	<i>E. ovata</i>	Moyenne	Bois est employé en papeterie ; il ne peut être utilisé en menuiserie.
P4	<i>S. Japonica</i>	Moyenne	Bois sert à faire des charpentes.
P8	<i>Q. rubra</i>	Bonne	Bois est moyennement riche en tanin est utilisé en ébénisterie et en menuiserie.
P50	<i>Q. canariensis</i>	Moyenne	Bois d'œuvre, bois de feu et de sciage.
P52	<i>F. americana</i>	Moyenne	Le bois est dur, résistant et souple utilisé pour l'outillage (manches), tournage, ébénisterie.
P60	<i>F. oregona</i>	Moyenne	Bois est recherché pour la fabrication de charpentes, de meubles, d'équipements sportifs, de manches d'outil et de tonneaux.

2. Les conditions

2.1. Régénération

L'étude de la régénération naturelle vise à analyser les facteurs intervenant dans la régénération des peuplements. Elle peut être axée sur la catégorie des jeunes bois qui dans cette étude rassemble les petites tiges de diamètre compris entre 1 et 17.5cm de diamètre (Avial, 2011). L'avenir du peuplement forestier est estimé à partir du taux de régénération (TR) (Rollet, 1969).

Le taux de régénération varie de 0 à 93.75 % dans les 7 sites d'études (tableau 9). En moyenne, le taux de régénération est égal à 47.14 %. En se référant à l'échelle de Rothe (1964), ce taux est inférieur à 100%, ce qui signifie que l'ensemble de ces espèces présentent des difficultés de régénération. Ce sont les peuplements de *S. japonica* et de *F. oregona* (P4 et P60) qui représentent des taux des régénérations les plus élevés avoisinant les 93% ce qui très proche d'une bonne régénération (Rajaonera, 2008).

L'*E. ovata* avec un TR de 12.50% présente des difficultés de régénération ; en effet, les peuplements de ce dernier sont envahis par les espèces autochtones, et leur sous-bois est très

dense. Cela induit une incapacité de ces peuplements à régénérer convenablement car la concurrence interspécifique est très rude. Pourtant, il est constaté que les pieds d'Eucalyptus produisent des graines (Robisoa *et al.*, 2008).

Un peuplement ayant un taux de régénération inférieur à 5% est voué à disparaître (Ramalanjaona, 2013) ; c'est le cas de *Q. rubra* qui demeure la seule espèce ayant un taux de régénération égale à zéro avec une densité seulement de 5 pieds/ha, vient ensuite le chêne rouvre avec un TR de 5.88.

Tableau 9.Taux de régénération 7 peuplements étudiés.

Parcelle	Espèce	Taux de Régénération (%)
P1	<i>Q.petraea</i>	5.88
P3	<i>E. ovata</i>	12.50
P4	<i>S. Japonica</i>	93.75
P8	<i>Q.rubra</i>	0
P50	<i>Q. canariensis</i>	50
P52	<i>F. americana</i>	75
P60	<i>F.oregona</i>	92.86

2.2. Mortalité

La mortalité représente la mort naturelle des essences forestières, elle est plus élevée chez les jeunes tiges que chez les tiges âgées. Toutefois, elle a été fixée à un taux constant de 1% tout diamètre confondu (Robisoa, 2008).

Le tableau 10 montre l'évaluation de la mortalité des espèces étudiées de l'arboretum, avec un taux de mortalité très élevé compris entre 57.14 et 66.67% pour les espèces *F. americana*, *E. ovata* et *Q. rubra* (P52, P3 et P8) qui ont un potentiel d'avenir très faible car il y a une forte concurrence entre les pieds. Autrement dit, on assiste à une sélection naturelle qui a abouti à un grand taux de mortalité des pieds (Andriamahazo, 2003), comparé à celui de *Q. petraea* (22.22%) et *Q. canariensis* (13.33%) dont le potentiel d'avenir est plus au moins élevé car la biomasse perdue par la mortalité de certains arbres est compensée en partie par l'accroissement des diamètres des arbres encore en vie (Kouka, 2006).

Le taux de mortalité des peuplements de *S. japonica* (P4) et *F.oregona* (P60) demeurent les plus faibles avec un pourcentage ne dépassant pas les 7%, ces espèces ont un potentiel d'avenir très élevé et une viabilité meilleure car l'état de semis et de fourré est caractérisé par une concurrence avec la végétation adventive qui provoque une forte mortalité des jeunes plants qui sont très sensibles à cet état (Rajoelison, 2005).

Ces évaluations explicitent ainsi que si aucune mesure de protection adéquate de cet écosystème forestier n'est prise en compte, l'arboretum disparaîtra, il y aura dégradation des sols, perte des habitats de la flore et de la faune et voire même une érosion massive (Robisoa, 2008).

Tableau 10. Taux de mortalité des 7 peuplements étudiés.

N° Parcelle	Espèce	Mortalité (%)
P1	<i>Q.petraea</i>	22.22
P3	<i>E. ovata</i>	60.00
P4	<i>S. Japonica</i>	6.660
P8	<i>Q.rubra</i>	66.67
P50	<i>Q. canariensis</i>	13.33
P52	<i>F. americana</i>	57.14
P60	<i>F.oregona</i>	7.140

3. Contexte spatiale

3.1. Degré de couverture

Le degré de couverture représente la somme des projections des couronnes des arbres des peuplements rapporté à sa surface totale (Schutz, 2014). Lorsque le degré de couverture du peuplement est supérieur à 50%, la surface est forestière. Lorsque celui-ci est inférieur à 30%, la surface est en principe non forestière (ING, 2014). Le degré de couverture doit être supérieur à 100% pour juger une bonne stabilité du peuplement. En effet, une couverture de 100% signifie une fermeture horizontale normale. Les surfaces de projection des houppiers couvrent toute la surface terrestre considérée (Robisoa, 2008).

Selon la classification du recouvrement de la végétation forestière (Forster *et al.*, 2001) :

- Recouvrement inférieur < 10 % : Végétation forestière quasiment inexistante.
- Recouvrement entre 10 % et 30 % : Végétation forestière dispersée.
- Recouvrement entre 30 % et 50 % : Végétation forestière claire / ouverte.
- Recouvrement entre à 50 % et 70 % : Végétation forestière dense.
- Recouvrement > à 70 % : Végétation forestière dense continue.

Les résultats obtenus montrent que le degré de couverture de *Q. petraea* (49.6%) et de l'*E. ovata* (38.3%) est compris entre 30% et 50% (tableau 11), cela signifie que ces deux peuplements ont une végétation forestière claire et ouverte (Forster *et al.*, 2001), l'importance du degré de couverture est due à la grande étendue des houppiers des arbres. En effet, ces arbres adoptent une caractéristique des couronnes isolés (très larges) grâce à leur faible densité, et vu qu'ils sont à

l'étage le plus prépondérant. Les grands arbres de la strate des émergents couvrent ainsi de grandes surfaces, et leurs projections se superposent à celles des houppiers des arbres des étages inférieurs (Robisoa, 2008).

Les peuplements de *Q. rubra* et *F. oregona*, *F. americana*, *S. japonica* possèdent des degrés de couverture très faibles compris entre 2 et 10%, ce recouvrement est en dessous du seuil toléré pour une forêt cela signifie que cette végétation forestière est quasiment inexistante (Forster *et al.*, 2001) avec des diamètres de houppier très réduit ne dépassant pas les 4.5 mètres. Le *Q. rubra*, avec un degré de couverture de 2.47%, représente le peuplement le moins dense avec seulement 5 pieds/ha et un diamètre de houppier de 7 mètres cela est dû principalement au taux de mortalité très élevé de l'ordre de 66.67% de cette espèce.

La parcelle 50 possède un degré de couverture très faible 6.39% mais en réalité ce taux concerne juste le *Q. canariensis* car cette parcelle a été colonisée par le *Pinus pinea* dont l'ensemble du degré de couverture dépasse largement les 50% ce qui fait d'elle une végétation forestière dense.

Tableau 11. Degré de couverture des 7 parcelles.

N° Parcelle	Espèce	Degré de couverture (%)
P1	<i>Q.petraea</i>	49.6
P3	<i>E. ovata</i>	38.3
P4	<i>S. Japonica</i>	9.2
P8	<i>Q. rubra</i>	2.47
P50	<i>Q. canariensis</i>	6.39
P52	<i>F. americana</i>	4.71
P60	<i>F.oregona</i>	2.96

3.2. Facteur d'espacement

Cet indice exprimé en pourcentage et est utilisé principalement pour chiffrer l'intensité d'une éclaircie, il donne une relation entre l'espacement moyen et la hauteur dominante (Massenet, 2012). Un espacement moyen autour de 4m est jugé comme indicateur de bonne viabilité pour le contexte spatial (Rajoelison, 2006).

Le tableau 12 résume les résultats obtenus pour chaque peuplement, plus le facteur d'espacement (S%) est élevé, plus le peuplement est ouvert et plus l'éclaircie est forte (Massenet, 2010). Les principales espèces de feuillus étudiées (toutes les catégories de diamètre sont considérées) donnent une abondance de 557 pieds à l'hectare, ce qui leur confère un espacement moyen de 22.9 mètres. Les peuplements de feuillus sont ainsi faiblement denses (Robisoa, 2008).

Pour des essences de Chênes et d'Eucalyptus, le facteur d'espacement doit croître régulièrement avec l'âge, sans disque que pour des peuplements de Douglas ou le Peuplier, ce facteur t doit rester à peu près constant avec l'âge (Becking, 1953).

Tableau 12.Facteurs d'espacement des peuplements étudiés.

Parcelle	Espèce	H_d	EM (m)	Fe (%)	Observation
P1	<i>Q. petraea</i>	12.7	7.70	60.59	Eclaircie très forte
P3	<i>E. ovata</i>	24.1	11.66	48.36	Eclaircie forte
P4	<i>S. Japonica</i>	5	1.08	21.58	Eclaircie modérée
P8	<i>Q. rubra</i>	12.4	0.67	5.37	Eclaircie très faible
P50	<i>Q. canariensis</i>	17.5	1.45	8.29	Eclaircie très faible
P52	<i>F. americana</i>	5	0.22	4.58	Eclaircie très faible
P60	<i>F. oregona</i>	6.8	0.11	1.69	Eclaircie très faible

4. Les pressions

Le suivi des pressions est très important en matière de suivi écologique. Pour l'arboretum de Draa Naga, il s'agissait de repérer les diverses formes de pression (incendies, coupes illicites, érosion, maladies, chablis, etc...). Celles-ci sont des indicateurs à considérer pour le plan de suivi. Le relevé des pressions a également été effectué afin de recenser, de quantifier et d'ordonner les pressions par ordre de menaces ce qui a pour but de dégager la viabilité des ressources. La méthode adoptée est la fouille systématique et l'observation directe des pressions sur les parcelles.

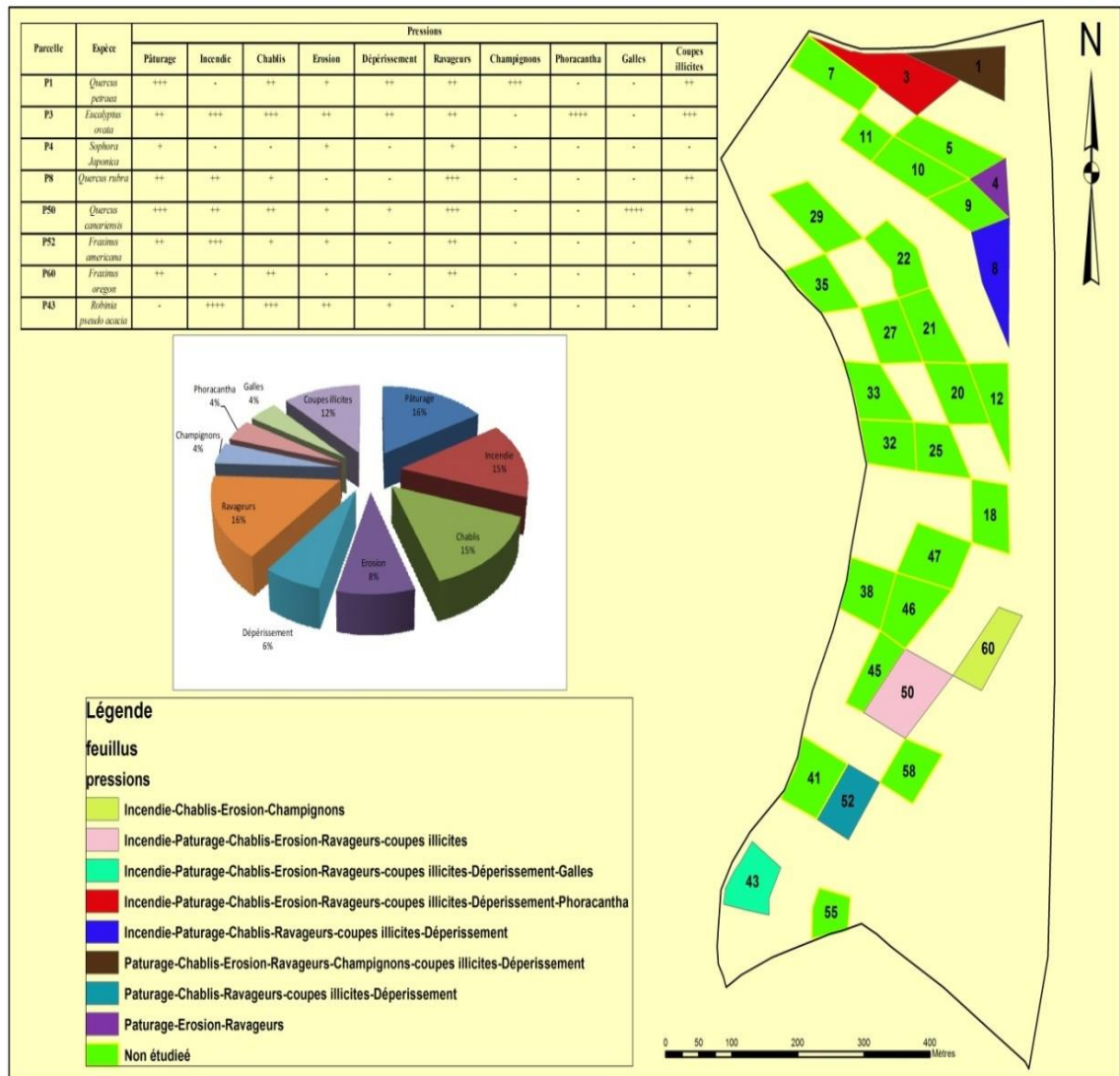
La carte 3 présente les localisations de chaque pression de l'arboretum avec leur degré d'intensité. Les pressions sont d'origine anthropiques et biologiques mais aussi des pratiques irresponsables : incendies, coupes illicites, érosion, chablis, dépérissement, pâturage, ravageurs et maladies. Ces pressions ont modifié la structure floristique de l'arboretum et celle de la faune : les régénérations naturelles sont moins abondantes, les arbres de diamètre supérieur à 40 cm sont rares, certaines essences risquent de disparaître. L'ensemble des parcelles comportent à la fois plusieurs types de pressions (P3).

Le degré de pression est basé sur l'analyse des impacts de chaque pression sur l'arboretum. Les coupes illicites, incendies ainsi que le pâturage sont considérés les plus dommageables parce qu'elles appauvrissent l'arboretum en espèces et en individus, détruisent les régénérations naturelles et créent des trouées (Photos 1, 2 et 3).

Nos observations faites sur le terrain ont démontré la présence de nombreux et divers champignons (Photo 4), agents naturels du pourrissement qui témoignent de processus écologique d'humification fonctionnels surtout pour le *Q. petraea*. Nous avons également

observé plusieurs types de galles chez le *Q. canariensis* (Photo 6), ainsi que d'autres phénomènes tels que le *Phoracantha* (Photo 5) pour l'*E. ovata*.

De nombreux dégâts de gibier ont également été observés. Les sangliers fouissent dans le sol et abîment les racines des arbres, ces animaux causent des dégâts importants sur les jeunes arbres, c'est pourquoi les forestiers favorisent une ouverture progressive du peuplement et non des coupes à blanc. C'est aussi l'une des raisons pour laquelle ils transforment les taillis de mauvaises qualités en futaie sur souche (Hoede *et al.*, 2002).



Carte 3. Inventaire des pressions des 7 parcelles étudiées.

Le degré d'intensité des pressions est illustré dans la carte 3 comme suit :

- (++++) Pressions et menaces très fortes
- (+++) Pressions et menaces fortes
- (++) Pressions et menaces moyennes
- (+) Pressions et menaces faibles
- (-) Aucune pressions et menaces



Photo 1. Incendie chez l'*Eucalyptus ovata*.



Photo 2. Pâturage intense sur l'ensemble des parcelles.



Photo 3. Coupes illicites sur plusieurs parcelles.



Photo 4. Présence de champignon sur le *Quercus petraea*.



Photo 5. Attaque de l'eucalyptus par le Phoracantha.



Photo 6. Galles du *Quercus canariensis*.

5. Ecologie numérique

5.1. Analyse en composantes principales (ACP)

L'analyse en composantes principales (ACP) a été appliquée à la matrice des corrélations obtenues à partir des 15 variables centrées réduites, mesurées sur les 7 parcelles des feuillus étudiées (*Q. petraea*, *E. ovata*, *S. japonica*, *Q. rubra*, *Q. canaiensis*, *F. americana* et *F. oregona*).

Les calculs réalisés avec le logiciel Excel Stat (2015) 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.

Ces axes retenus serviront par la suite à l'étude de la distribution des individus (parcelles) et des variables (paramètres sylvicoles) dans des plans à deux dimensions.

Le tableau 13 donne les valeurs propres, les pourcentages de variation expliquée par chacun des trois axes retenus, ainsi que les pourcentages cumulés obtenus par l'ACP sur les données de l'ensemble des 7 parcelles étudiées ; ces résultats sont obtenues grâce à la matrice de corrélation (cf. Annexe 3, tableau 3).

La figure 21 représente d'une part, l'histogramme des valeurs propres en fonction des rangs des axes principaux et, d'autre part, le graphique du pourcentage cumulé de la variation expliquée en fonction toujours des axes principaux.

Tableau 13. Résultats de l'ACP des trois axes à partir des 15 caractéristiques mesurées sur les 7 parcelles de l'arboretum.

Paramètres statistiques	F1	F2	F3
Valeur propre	9.5739	3.3531	1.3893
% de variabilité	63.8260	22.3540	9.2622
% cumulé	63.8260	86.1800	95.4422

F1 : 1^{er} axe principal ; F2 : 2^{ème} axe principal ; F3 : 3^{ème} axe principal

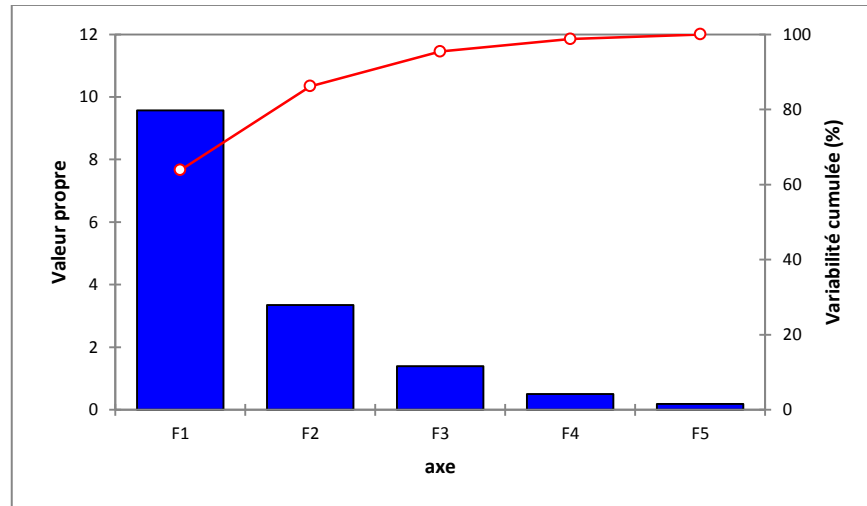


Figure 21. Histogramme des valeurs propres en fonction des rangs des axes principaux pour l'ensemble des parcelles.

L'analyse des corrélations carrées du tableau 14 montre que l'axe 1 est formé principalement par les variables PHF, Vtot, Vexp, gh, g, G, DC, EM et Dm car elles ont les valeurs des corrélations carrées supérieures à 50.74%.

L'axe 2 est très fortement corrélé avec les variables A et Hm. Les corrélations carrées sont respectivement 66.91% et 44.73%. Enfin, l'axe 3 n'est constitué que par la variable FE avec laquelle il est corrélé ($\text{corr}^2\% = 37.87\%$).

Tableau 14. Valeurs des corrélations et corrélations carrées des variables initiales avec les trois premières composantes principales.

Variable	Axes principaux						Plan factoriel 1-2 Corr (%)
	F1		F2		F3		
	Corr	Corr ² %	Corr	Corr ² %	Corr	Corr ² %	
FE	0.27	7.03	0.03	0.09	0.62	37.87	50
PHF	0.84	70.97	0.09	0.80	0.04	0.17	71.94
Vtot	0.98	95.35	0.00	0.00	0.01	0.01	95.36
Vexp	0.97	93.76	0.01	0.00	0.02	0.04	93.81
A	0.08	0.61	0.82	66.91	0.10	1.02	68.54
gh	0.89	78.60	0.09	0.83	0.02	0.03	79.46
g	0.94	89.57	0.00	0.00	0.00	0.00	89.57
(g-gh)	0.22	4.63	0.62	38.47	0.13	1.65	49.74
G	0.97	93.60	0.01	0.02	0.01	0.00	93.62
R	0.37	13.51	0.60	36.53	0.01	0.01	50.05
M	0.16	2.42	0.50	24.59	0.27	7.20	34.22
DC	0.93	87.17	0.04	0.16	0.02	0.05	87.38
EM	0.81	65.10	0.10	0.96	0.00	0.00	66.06
Hm	4.5	20.41	2.1	44.7	0.10	1.06	65.11
Dm	0.71	50.74	0.23	5.31	0.04	0.18	56.23

La représentation graphique des 15 variables à l'intérieur du cercle de corrélation sur le plan factoriel 1-2 montre dans la figure 22 que :

L'axe 1 est représenté par les paramètres sylvicoles PHF, Vtot, Vexp, gh, g, G, DC, EM et Dm qui sont corrélés positivement, dans la mesure où ces derniers présentent les plus fortes contributions dans un intervalle de (+ 0.822 à + 0.982). À l'opposé de cet axe, la plus faible contribution est représentée par les paramètres sylvicoles FE et R qui sont respectivement (- 0.627 et - 0.6931).

L'axe 2 est représenté par les paramètres sylvicoles A et (g-gh), y présentant les contributions les plus élevées qui sont respectivement (+ 0.770 et + 0.633). Sur le côté négatif de ce même axe, la mortalité (M) et la hauteur moyenne (Hm) sont caractérisées respectivement par les plus faibles contributions (- 0.753 et 0.618).

L'affinité des différents paramètres avec les 7 essences étudiées est confirmée par l'analyse en composantes principales (ACP), ce qui met en évidence l'influence des paramètres sylvicoles étudiés sur la viabilité des espèces. En effet, trois groupes homogènes sont dégagés par l'ACP. Le premier groupe (G1) situé sur le côté positif de l'axe 1 du cercle des corrélations présentant des affinités étroites des paramètres sylvicoles A, (g-gh), EM, PHF, DC, G, Vtot, Vexp, g, gh, Dm, Hm et M avec la parcelle 1 (*Q. petraea*) et la parcelle 3 (*Eucalyptus ovata*) ; le deuxième groupe (G2) est situé toujours sur le même axe du cercle des corrélations présentant une affinité entre le paramètre R et les parcelles (P4 et P60) de *S. japonica* et *F. oregona* respectivement et enfin le troisième groupe (G3) corrélé avec le paramètre FE regroupant les parcelles (P8, P50 et P52) de *Q. rubra*, *Q. canariensis* et *F. americana*.

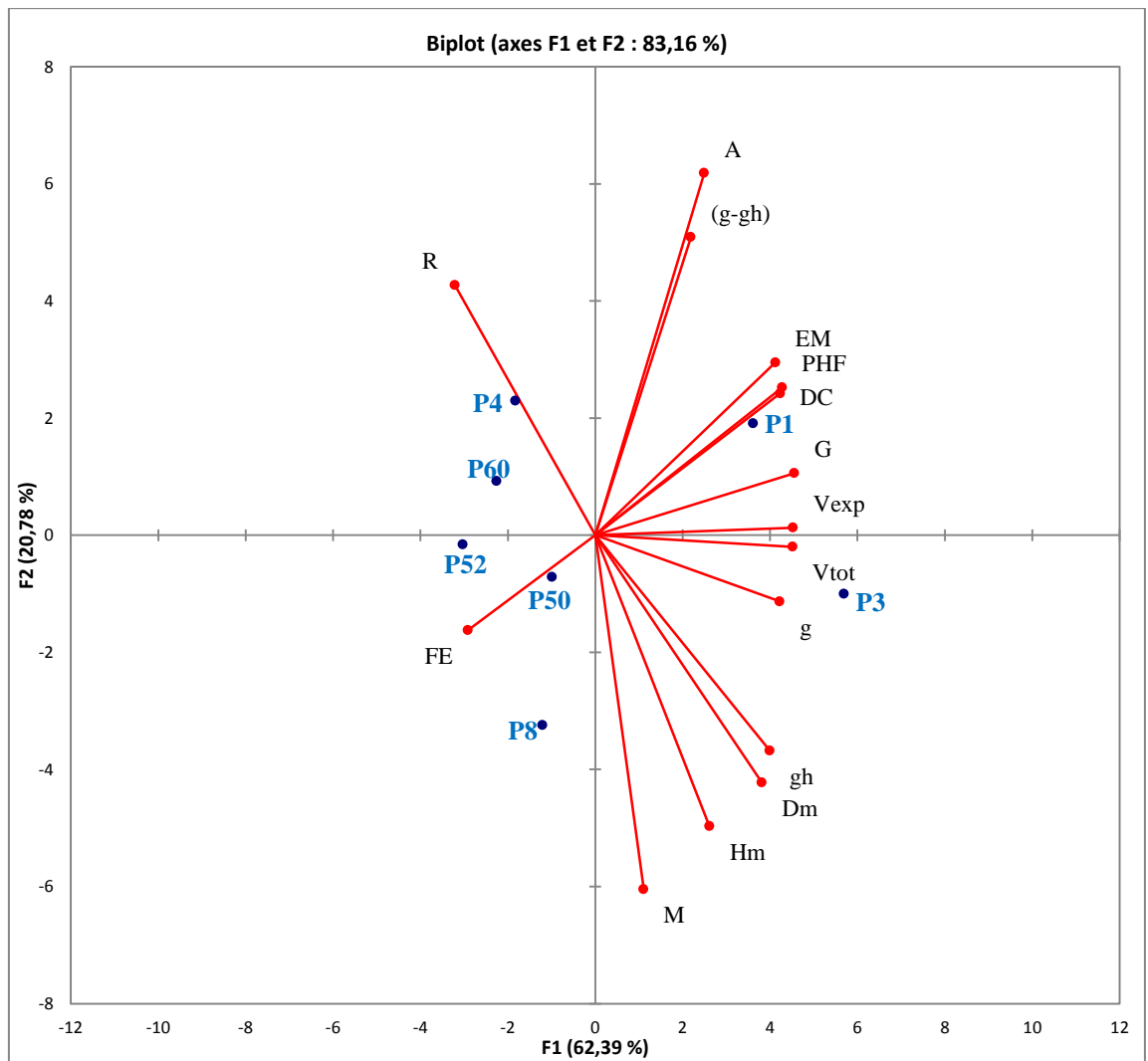


Figure 22. Représentation graphique des 15 variables à l'intérieur du cercle de corrélations sur le plan factoriel 1-2

5.2. Classification ascendante hiérarchique (CAH)

Le regroupement des 7 parcelles a été effectué en fonction des moyennes des données de l'ensemble des 15 variables caractéristiques observées à la recherche des groupes homogènes. Ce regroupement qui est fait au moyen d'un dendrogramme, obtenu à l'aide de la méthode du lien simple et la distance carrée de *Paerson* permet de distinguer 3 groupes qui sont donnés par la figure 23.

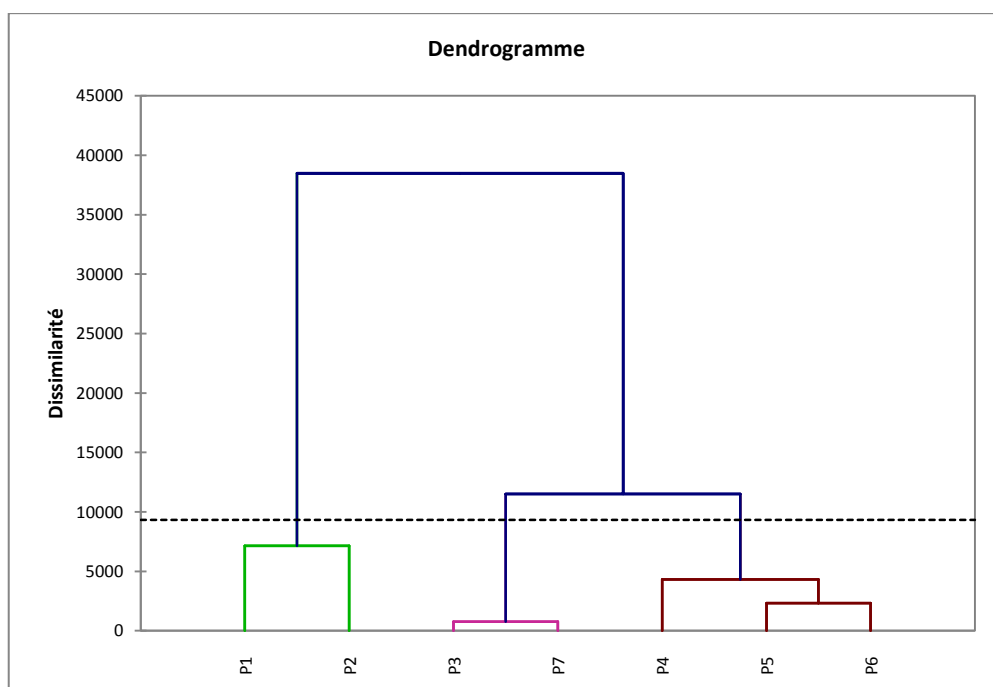


Figure 23. Dendrogramme du regroupement des 7 parcelles étudiées, à l'aide de la méthode du lien simple et la distance carrée de Pearson.

6. Viabilité des peuplements feuillus de l'arboretum

La viabilité de l'arboretum se traduit par la viabilité de l'ensemble des peuplements de feuillus étudiés. A partir du tableau 13, il en ressort que ces peuplements ont tous une viabilité moyenne avec des conditions de renouvellement faible dû au fait que ce sont des espèces issues de plantation et par conséquent sont assujettis à des exploitations. La contrainte principale qui nuit la viabilité de l'arboretum est l'absence de toute intervention sylvicole.

A partir des résultats et interprétations précédemment exposés, les deux hypothèses émises sont bien vérifiées.

- L'hypothèse 1 « l'arboretum n'est soumis à aucune pression » est rejetée parce que des pressions anthropiques et biologiques persistent dans l'arboretum. Les coupes illicites ont entamé la richesse spécifique de la forêt, les feux ont détruit une superficie importante de la végétation ainsi que le pâturage, les insectes, champignons...

- Par contre, l'hypothèse 2 « malgré les pressions, l'arboretum se reconstitue » est acceptée. Concernant la structure, les jeunes bois de 5 à 17.5 cm de diamètre sont plus ou moins abondants. Le taux de régénération est de 47.14%. L'arboretum reste plus ou moins viable par l'intermédiaire des régénérations naturelles.

Tableau 15. Evaluation du niveau de viabilité des feuillus.

Catégories	Attributs	Indicateurs	Références	Etat actuel	Viabilité par attribut	Viabilité par catégorie
Taille	Abondance	Nombre de tiges d >5cm (N/ha)	> 625 tiges	557 tiges/ha	Moyenne	Moyenne
	Dominance	Surface terrière (m ² /ha)	100 m ² /ha	26.68 m ² /ha	Faible	
Conditions	Régénération	Taux de régénérations (%)	TR ≥ 100% (Echelle de Rothe, 1964)	47.14 %	Faible	Moyenne
	Mortalité	Taux de Mortalité (%)	Indicateur seuil = 5%	33.31 %	Elevé	
Qualité	Stabilité	Coefficient d'élancement	FE ≥ 100 (bonne)	42.48	Moyenne	Moyenne
	Index PHF	Index PHF	111 (Parfait)	223	Bonne	
Contexte spatial	Densité des peuplements	Degré de couverture (%)	100%	113.63 %	Moyenne	Moyenne
	Espacement moyen des arbres	Espacement moyen à l'hectare	4m (bonne)	22.9m	Faible	
Niveau de viabilité						Moyen

7. Recommandations

7.1. Proposition d'un plan d'aménagement simplifié pour l'arboretum (PAS)

Un plan d'aménagement simplifié a été proposé afin de montrer d'une manière très simple l'application des pratiques et techniques les plus adaptées pour une gestion rationnelle, effective et durable des ressources naturelles de l'arboretum de Draa Naga.

7.1.1. Objectifs d'aménagement

L'objectif principal de cet aménagement est d'améliorer la viabilité de l'arboretum de Draa naga. Ce dernier constitue l'abri par excellence des espèces faunistiques et floristiques. Il protège le sol contre l'érosion hydrique par ses systèmes racinaires et ses houppiers. Afin d'atteindre cet objectif, les travaux d'aménagement doivent aboutir aux deux objectifs spécifiques suivants : reconstituer l'arboretum, réduire de façon notable les pressions. Ces travaux sont :

- Suivre systématiquement les pressions sur l'arboretum.

- Procéder à un suivi écologique de manière continue.
- Effectuer des aménagements sylvicoles.
- Réaliser des travaux d'entretien de toutes les infrastructures.

7.1.2. Stratégie d'aménagement

L'aménagement de l'arboretum est surtout sylvicole.

Les activités d'aménagement seront effectuées en anticipant le rythme de la dynamique écologique. Autrement dit, les aménagements sylvicoles doivent prévenir et suivre l'évolution naturelle de la végétation.

La carte des pressions (carte 3) servira d'outil de décision pour l'aménagement (repérage des zones sensibles, à aménager à court terme). L'aménagement de l'arboretum est spécifié à travers le cadre logique.

7.1.3. Résultats attendus

Au vu de ces objectifs, les résultats attendus de ce plan d'aménagement simplifié sont :

- que la dynamique de l'arboretum soit favorisée ;
- que l'arboretum soit riche en régénération des essences principales ;
- que l'arboretum soit aménagée périodiquement en fonction de son état écologique ;
- que le système de contrôle des pressions soit renforcé dans la station forestière.

7.2. Plan de suivi écologique permanent de l'arboretum

Il est mentionné dans le plan d'aménagement des activités de suivi (état écologique, pressions). Le plan de suivi proposé constitue ainsi un plan intégré au plan d'aménagement simplifié de l'arboretum. L'objectif du suivi écologique est de détecter les tendances de la situation environnementale de l'arboretum sur la base des indicateurs adéquats. Le suivi se fera périodiquement. Après avoir caractérisé l'état actuel de la forêt, ce plan est vital pour la mise en œuvre des différentes activités de suivi. Celles-ci seront de préférence effectuées sur les 7 parcelles d'inventaire forestier déjà étudiées.

7.2.1. Critères de choix des indicateurs

Trois cibles seront sujettes du suivi écologique : l'habitat qui est l'arboretum de Draa naga, la biodiversité englobant la faune et la flore, les pressions. Des indicateurs seront choisis pour

chaque cible. Il faudra qu'ils reflètent l'état des cibles. Ils devront être mesurables, précis et sensibles à toute modification des conditions environnantes. Ainsi, pour le suivi de la biodiversité, les espèces principales caractéristiques de l'arboretum seront retenues comme indicateurs.

7.2.2. Résultat attendu

Le résultat attendu de ce plan est l'évaluation dans le temps des trois cibles : la viabilité de l'arboretum, le degré de pression et la biodiversité.

7.2.3. Périodicité

Le suivi de la flore et de l'habitat devrait avoir lieu durant la période de végétation pour collecter le maximum d'informations et de l'arboretum. La période d'observation de la faune devrait être identique à celle dont l'état de référence est défini, qui est le mois d'avril. L'objectif est de pouvoir comparer de façon synoptique les deux états successifs. Il serait avantageux aussi d'inventorier les pressions. Pour le feu, un suivi journalier est possible en consultant les alertes journalières de *Global Fires*, un programme spatial (télédétection) opéré par l'Université de Maryland USA, avec la Conservation International. Ce programme permet de détecter, suivant une résolution de 50m*50m, la chaleur émise par les feux. Il est alors nécessaire d'établir un moyen de communication avec le responsable du site (téléphone). Il est à noter que l'abonnement à ce programme est gratuit. Les coordonnées géographiques des feux seront disponibles après l'adhésion de la Conservation des Forêts de Constantine sur son site web (s'il existe).

7.2.4. Résultats attendus

Les résultats attendus sont :

- Une fiche de suivi avec tous les paramètres à relever.
- Des données écologiques relatives à l'instant t_0 (état zéro).
- Des données écologiques relatives au temps, t_1, t_2, \dots, t_n .

Ces données serviront à l'analyse de viabilité, qui induira toutes les décisions sylvicoles pour les années à venir (années d'interventions).

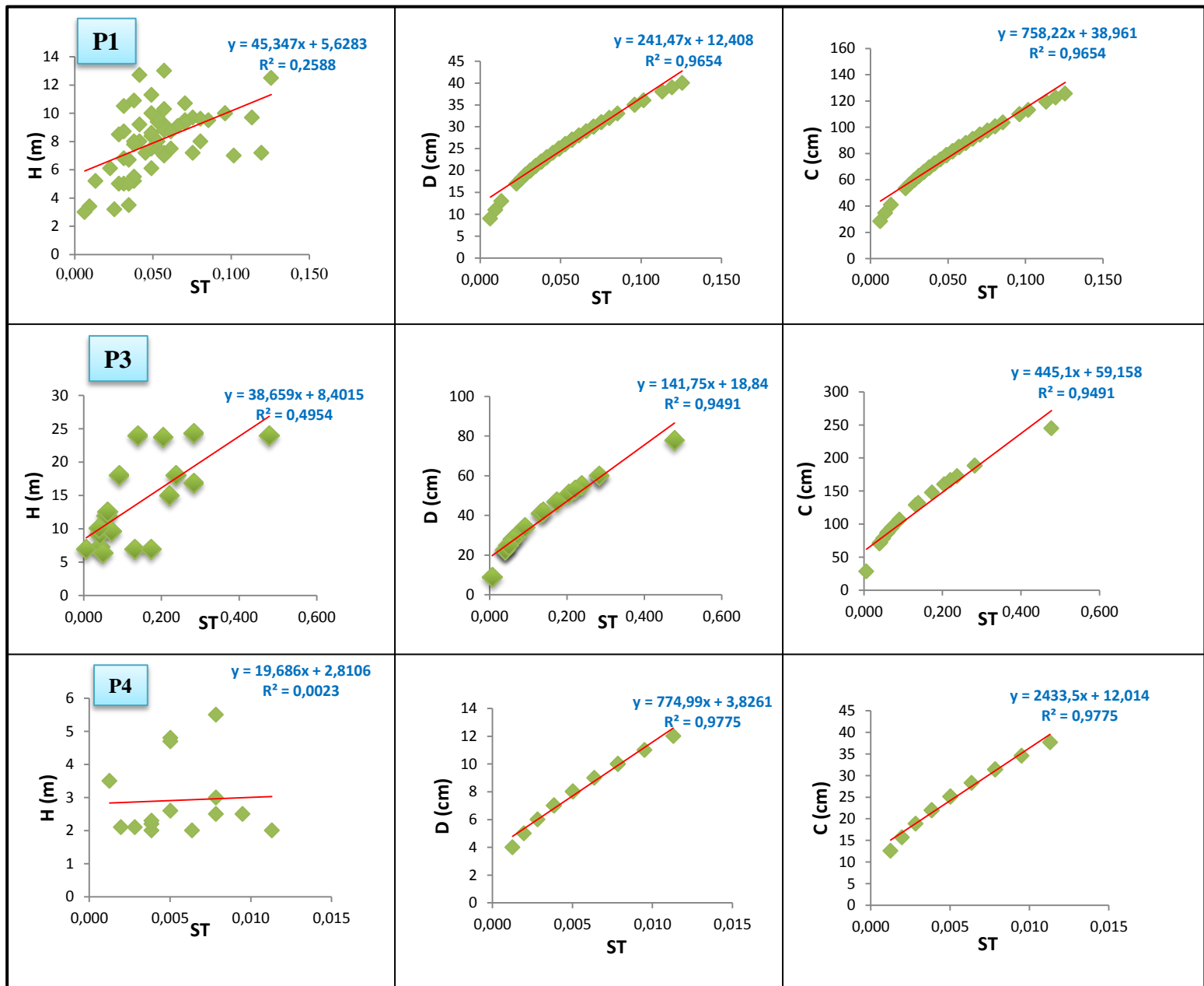


Figure 11. Corrélations linéaires de la surface terrière en fonction de la hauteur, diamètre et circonférence des parcelles (P1, P3, et P4)

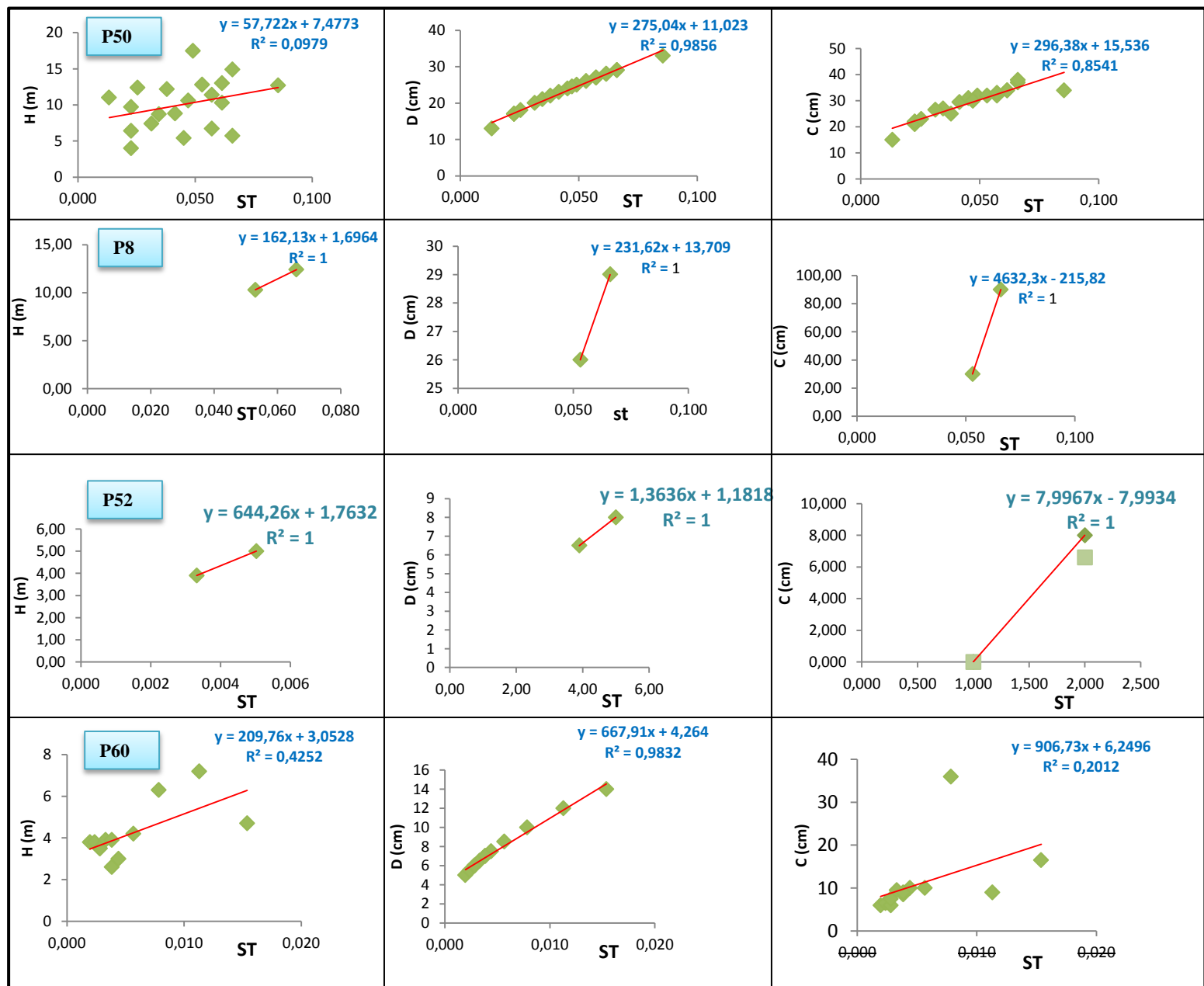


Figure 12. Corrélations linéaires de la surface terrière en fonction de la hauteur, diamètre et circonférence des parcelles (P50, P8, P52 et P60)

Conclusion

Le suivi d'un arboretum permet de détecter les changements au fil du temps. Tout environnement vivant est en perpétuel changement.

L'arboretum de Draa Naga est d'une part à vocation forestière et pédagogique et secondairement écotouristique. D'autre part, son état écologique, plus précisément sa viabilité, est demeurée peu connue jusqu'ici. Et dans l'objectif de perpétuer les fonctions de l'arboretum, l'amélioration de cet état de viabilité est essentielle à travers un suivi écologique permanent des peuplements artificiels qui sont les cibles de conservation. Pour cela, la connaissance de sa situation écologique et de son niveau de viabilité actuel est indispensable.

Cette étude effectuée uniquement sur les peuplements feuillus a opéré différentes analyses: analyse sylvicole, analyse des pressions, analyse statistique et analyse de viabilité. Ainsi, l'analyse sylvicole a fourni des connaissances sur les peuplements artificiels, leur taille, leur dynamisme, leur état de développement, leur stabilité, leur qualité... etc. Ces résultats constituent l'état de référence pour les suivis à venir, ou état zéro. Les résultats obtenus à partir des paramètres d'analyse sylvicole, ont montré un niveau de viabilité moyen pour l'arboretum. Ce niveau de viabilité est généré par une qualité de peuplement stable, une mortalité élevée (plus de 23%), un potentiel d'avenir moyen (taux de régénération faible = 47%) et une qualité assez bonne (PHF=223).

Ces analyses ont pu ressortir que diverses pressions pèsent sur l'arboretum. Par ordre de menaces, les feux, le pâturage et les coupes illicites sont les premières. Si les coupes illicites appauvrissent l'arboretum en essences de valeur comme le *Quercus rubra*, et créent des trouées dans les parcelles tels que la parcelle du *Fraxinus americana* et *Fraxinus oregona*. Les feux et le pâturage ont fait disparaître une superficie importante des parcelles d'*Eucalyptus* et de *Quercus canariensis*.

Malgré la reconstitution de l'arboretum, son niveau de viabilité est moyen. L'évolution de ce niveau est variable en fonction du degré de pressions.

Face à ces atouts et à ces faiblesses, l'arboretum devrait être aménagée en vue de réduire de manière palpable les pressions et d'assurer sa reconstitution. Des interventions au niveau de la végétation sont indispensables telles : l'enlèvement des espèces envahissantes, l'enrichissement des trouées, l'exploitation des individus de diamètre supérieur à 40 cm...

Les résultats des travaux ont mené à la proposition de quelques recommandations pour contribuer à l'amélioration de la viabilité de l'arboretum. Une mesure à associer avec ces

recommandations est la réalisation d'un suivi écologique permanent de l'habitat, de la biodiversité et des pressions. Cette recherche a permis d'évaluer les valeurs biologiques et écologiques des vestiges de l'arboretum, les menaces y existant. Elle a aussi permis de dégager la nécessité d'autres recherches à effectuer comme : l'étude écologique des différentes essences existant sur le site en vue de déterminer les essences les mieux adaptées à ses conditions de la station.

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. En même temps que le suivi, ces études apporteront des informations en plus pour une amélioration effective de la viabilité de l'arboretum.

Perspectives

Pour l'entretien de l'arboretum en général :

- Etudier les possibilités d'utilisations des espèces du fait que nombreuses sont celles qui ont atteint le stade de maturité, il faudrait les exploiter. Les profits réalisés reviendront à l'entretien de l'arboretum.

- Enlever tous les bois mort et tous les chablis, et envisager leur valorisation.

- Augmenter le nombre de personnel, car nombreux sont les travaux d'entretien et de gestion de l'arboretum. Jusqu'à maintenant, on remarque que le rythme de travail est très largement dépassé par le rythme d'évolution des peuplements.

- L'arboretum sert de raccourci pour accéder à Djebel-El Ouahch. Les pistes sont très souvent parcourues par la population locale. Une participation des personnes bénéficiaires des services de ces voies d'accès peut être envisagée, dans le seul but de les entretenir. Ce serait une forme de gestion intégrée.

Pour pallier à cela, il est indiqué de :

- Fabriquer des panneaux d'indication avec toutes les informations nécessaires pour attirer les visiteurs (bureau, particularité de la biodiversité,...).

- Assurer l'existence permanente de personnel de bureau et d'agents de terrain. La coopération avec l'université Frères Mentouri Constantine (Spécialité : Ecologie et environnement) ne peut être que bénéfique pour les visites du site, vu que les étudiants s'intéressent beaucoup à la biodiversité.

Références bibliographiques

Andrianantenaina H. (2005). Contribution à l'étude de la potentialité d'envahissement de *Opuntia monacantha* dans la réserve spécial de Beza Mahafaly. Université de d'Antananarivo, 54 p.

Andriamahazo M. (2003). Contribution à la relance et à la conduite sylvicole de *Cupressus lusitanica* (Cas de la station forestière de Manjakatempo). Mémoire de fin d'étude. Département des Eaux et Forêts. Ecole supérieur des sciences agronomiques. Université d'Antananarivo, 78 p.

Allorge B. (1950). Relevé de peuplement végétal. Méthodes descriptives des peuplements végétaux, 10 p. <http://dc.plantouz.chez-alice.fr/methvgtt.htm>

Anonyme (2015). Document de travail réalisé par les maîtres-ressources en sciences de Haute-Garonne, octobre 2010, 42 p.

Anonyme (2015). Critères de durabilité. www.villedurable.org

Anonyme (2015). Le Jardin du Pic Vert. *Sophora japonica*. <http://www.jardindupicvert.com>

Atibt H. (2014). Des pratiques forestières durables. <http://www.atibt.org/a-la-une//Caterpillar-des-pratiques-forestieres-arbres-durables-/9099115=fr>

Aubry S. (1992). Inventaire typologique en Haute-Loire, ONF, Bulletin technique, n°24, p 21-42

Avial B. (2011). Elaboration d'une méthode de caractérisation de la régénération naturelle en peuplement résineux irrégulier. Mémoire de stage. CRPF de Bourgogne, antenne de la Nièvre, 56 p.

Becker M. (1992). Deux indices de compétition pour la comparaison de la croissance en hauteur et en diamètre d'arbres aux passés sylvicoles variés et inconnus. HAL Id: hal-00882786, p 24-37

Bernard M. (2003). Aménagement et gestion. L'Eucalyptus : Un arbre forestier stratégique, p 144-146

Blaser J., Rajoelison L. G., Tsiza G., Rajemison M., Rabevohitra R., Randrianjafy H., Razafindrianilana N., Rakotovao G., Comlet S. (1993). Choix des essences pour la sylviculture à Madagascar, Akon'ny ala n°12 et 13, 166 p.

Blaser J. (1984). El paraméto Tendencia del arboi. El CHASQUI (Turrialba, Costa Rica) 5/6 : p 22-25

Boudru M. (1992). Boisement et reboisement artificiels, Forêt et sylviculture, 356 p.

Boudon F., Moguédec G. (2007). Déformation asymétrique de houppiers pour la génération de représentations paysagères réalistes. Revue Électronique Francophone d'Informatique Graphique, Volume 1, Numéro 1, p 19-45

Bringer J. (1998). Les arboretums de la région d'Ile de France et de la région Centre, thèse de docteur en pharmacie. Université Paul Sabatier, p 49.

-Brunaux O., Demenois J. (2003). Aménagement forestier et exploitation en forêt tropicale humide guyanaise. L'homme et la forêt, 272 p.

Centre Régional de la Propriété Forestière. (2012). Diagnostic des peuplements feuillus à base de chênes et orientations sylvicoles. CRPF de Bourgogne, Mars 2012, p 15.

Chauvet M et Delmas M. (1991). Jardins botaniques et arboretums de France, novembre 1991 Lavoisier. http://www.tela-botanica.org/page:menu_435?langue=fr

Dawkins H.C. (1958). The management of naturel tropical high-forest with special reference to Uganda. Imp. For. Paper 34, Oxford, Angleterre, 55 p.

Djallil L. (1994). Les forêts algériennes. Forêt Méditerranéennes. N° 1, janvier 1 994. p 59-60.

Djouadi H et Khorief Nacereddine S. (2000). Diagnostic et Reconstitution de la réserve biologique (Djebel-Ouahch) dans la région de Constantine. Mémoire d'ingénieur d'état en Ecologie. Gestion des ressources forestières (systèmes forestiers). 99 p.

Dubourdiou J. (1997). Manuel d'aménagement forestier. Gestion durable et intégrée des écosystèmes forestiers. Office National des Forêts, p 46-48

Duchesne I. (2012). Sylviculture et qualité du bois- où en sommes-nous? Centre canadien sur la fibre de bois, Ressources naturelles. Université du Québec à Rimouski, Canada, 32p.

Dupuy B et Amsallem. (1999). Technique de gestion des écosystèmes forestiers tropicaux. Forestry Policy and Planning Division, Rome, July 1999, p 59.

Drénou C. (1999). Étude des relations entre systèmes racinaires et stabilité des arbres. Dossier de l'environnement de l'INRA n°20, p157-158

Florac M. (1996). Le développement durable : Son concept, CEP. p 8-17

Forger M. (2008). La Pratique du Cubage des Bois sur Pied. Cubage et Estimation du Bois sur Pied, 21 p.

Forster H., Matar B., Badmokréo B. (2001). Méthodologie et Instruction pour l'Exécution des Inventaires Forestiers Détaillés et Participatifs au Niveau des Marchés Ruraux. Projet Energie Domestique (PED). Agence pour l'Energie Domestique et l'Environnement (AEDE), 16p.

Fogefor H. (2011). La régénération naturelle Principes généraux. CRPF Du Limousin. Mars 2011, 19 p.

Gaudin S. (1996). Dendrométrie des peuplements. BTSA Gestion Forestière. Module D42. V.1.1, p 10-40

Hoede C., Thierry A., Guibert C., Balthasar J., Lacoume S., Jacquemin B. (2002). Bilan de santé du massif forestier de Paimpont : Diagnostic à partir de l'état sanitaire des houppiers, de l'indice de compétition, des réserves en amidon racinaire et de la présence de pathogènes. Rapport de stage. Université Paris Sud- Centre d'Orsay, p 11-16

Kemadjou M. (2011). Dynamique forestière post-exploitation industrielle: Cas de la forêt dense semi- décidue de Mbalmayo au sud Cameroun. Université de Yaoundé I, p10-13. http://www.memoireonline.com/02/13/6908/m_Dynamique-forestiere-post-exploitation-industrielle-Cas-de-la-for-dense-semi-decidue-de-Mbalm13.html

Kouka, L. (2006). Etude floristique des forêts du Parc national d'Ozala (Congo- Brazzaville) Acta Bot. Gallica, p 49-81

Lacaze JF. (1991). Recherche forestière et arboretums, Jardins botaniques et arboretum de demain, BDR, p 35-40

Lanier L., Badré M., Delabrazé P., Dubourdou J. (1994). Précis de sylviculture. École Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts. 2^{ème} édition, p 462-466

Le petit lexique forestier (2010). Family Forestry Luxembourg, p 20.

Mahamane A. (2006). Etudes floristique, phytosociologique et phytogéographique de la végétation du Parc régional du W du Niger, Acta Bot. Gallica, p 265-269

Massenet J. (2011). Hauteur des arbres. Lycée forestier – Château de Mesnières, p 25.

Massenet J. (2005). Grosseur des arbres. Lycée forestier, Château de Mésnière, p 30.

Pardé J. (1961). Comment préciser l'intensité d'une éclaircie? Revue Forestière Française. p 151-156

Paolini V., Dorchies Ph., Hoste H. (2014). Effets des tanins condensés et des plantes à tanins sur les strongyloses gastro-intestinales chez le mouton et la chèvre. Unité Mixte Associée 1225 INRA/ENVT « Physiopathologie des Maladies infectieuses et Parasitaires des Ruminants ».Toulouse Cedex, p 1-3

Rached-Kanouni M., Hadeff 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). *IJMSBR*, 3(9), 35-41.

Rajoelison G., Rabenilalana F., Rakoto H. (2008). Rapport final. Suivi écologique et analyse socio-économique d'un aménagement participatif de bassin versant dans la zone de Mandraka – Madagascar, p 70

Ramalanjoana M. (2013). Etude de la régénération de la senescence de *Tamarindus indica* et ses impacts et implications écologiques dans la réserve de Bezà Mahafaly. Mémoire d'ingénieur en sciences agronomiques. Université d'Antananarivo, p 33-46

Rasatatsihoarana H et Randriananjatoa T. (2009). Reconnaissance écologique des aires forestières dans le Menab Sud en vue d'une délimitation de nouvelles aires protégées. Rapport final. Madagascar Nationale parc, 76 p.

Robisoa M., Rajoelison G., Rabenilalana M et Rakoto H. (2008). Définition d'un état zéro et mise en place d'un système de suivi écologique permanent de l'Arboretum de la station forestière de Mandraka. Centre for development and environment (cde). ESAPP-Eastern and Southern Africa Partnership Program, p 82.

Regnard J., Lauri P, Moore W. (2008). Vigueur et mode de compatibilité. Facteurs de contrôle de la vigueur, 54 p.

Sedjar A. (2012). Biodiversité et dynamique de la végétation dans un écosystème forestier- Cas de djebel Boutaleb-. Mémoire de Magister en Biodiversité et Gestion Des Ecosystèmes, 105p.

Shalufa N., Robbrecht E., Katusi R., Nshimba H., Ntahobuka J., Habimana H et Mangambu J. (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*. Vol.23, 158p.

Verain J. (2010). Etude de la faisabilité technique de réseau des Arboretum de changement climatiques. Mémoire de la formation d'ingénieur civil du Génie Rural, des eaux et des forêts, Institut des sciences et industries du vivant de l'environnement, Paris, 89p.

Résumé

L'arboretum de Draa Naga est à vocation forestière, pédagogique et écotouristique. Géré par la Conservation des Forêts de Constantine, ce site est formé de 77 parcelles où sont plantées plusieurs espèces sylvicoles (feuillus et résineux) de diverses provenances s'étalant sur une superficie de 30 ha.

Suite à une décision prise par la Conservation des forêts de Constantine pour la conservation et la restauration de la station forestière de Draa Naga, où aucune étude n'a évalué sa viabilité depuis sa création. Cette étude a comme objectif l'estimation de cette viabilité par le suivi permanent de l'état actuel de l'arboretum comprenant la biodiversité et les pressions. La collecte de données y afférentes a eu recours à un inventaire forestier (pied par pied) et un inventaire des pressions. L'état a été évalué par l'analyse de ces composants.

Les diverses analyses menées lors de cette étude ont révélé que l'arboretum est soumis à des pressions biotiques et abiotiques et une viabilité moyenne. Cela est induit par une qualité de peuplement assez bonne (PHF= 223), une stabilité moyenne (FE= 42.48), une mortalité élevée (plus de 33%) et un potentiel d'avenir moyen (taux de régénération faible= 47%). Le pâturage, les incendies et les coupes illicites constituent les pressions les plus importantes.

Malgré ces pressions, l'arboretum est classé comme un écosystème viable. Mais ces potentialités sont insuffisantes : il faut réduire les pressions et reconstituer l'arboretum pour une meilleure conservation de l'écosystème. A cet effet, la présente étude suggère l'aménagement en premier lieu par des interventions sylvicoles favorisant les régénérations des différentes espèces et d'inclure un système de suivi écologique permanent. Ce dernier permet de cadrer toutes les interventions.

Mots clés : Feuillus, viabilité, arboretum (Draa Naga), pressions, suivi écologique.

Abstract

Arboretum of Draa Naga is valuable tool for forestry, education and ecotourism. Actually managed by the Conservation of Forests (Constantine), this area consists of 77 plots where are planted several forest species (hardwood and softwood) from various sources spanning an area of 30ha.

This arboretum has been designated by the Conservation of Forests to be preserved and restored. According to that decision, all forms of pressures are forbidden inside. However, no study has evaluated its viability regarding that restriction. So, the aim of this work is the measure the viability through permanent survey of the actual state of the arboretum including vegetation, biodiversity and pressures. Then its state has been evaluated by the analysis of each constituting component.

This research has proved that the forest has been the subject of anthropic and biologic pressures and analyses results show a mid viability of the arboretum. Which is indicated by a medium stability of forests stand's quality ($PHF = 223$, $H/D = 42.48$), a high rate of mortality (more than 33%) and a very low future potentiality (47.14% of regeneration). Grazing, fires and illicit tree-cut are the most significant pressures.

In spite of these pressures, the arboretum is classified as a viable ecosystem. But these potentialities are inadequate: pressures should be decreased and arboretum should be reconstituted for better ecosystem conservation. Therefore, this work suggests first: the forest adjustment by sylvicol activities facilitating regeneration of different species and to include a permanent ecological monitoring system which can fit all interventions.

Keywords: hardwood, viability, arboretum (Draa Naga), pressures, ecological monitoring.

ملخص

يتميز حقل التجارب ذراع الناقة بأهمية غائية، تعليمية و سياحية. تديره مؤسسة حفظ الغابات لولاية قسنطينة، هذا الموقع يتكون من 77 قطعة أرضية تمتد على مساحة 30 هكتار، تزرع فيها عدة أنواع من الأشجار (أشجار متساقطة الأوراق وأشجار محافظة للأوراق) ذو مصادر مختلفة.

بعد صدور قرار من قبل حفظ الغابات لولاية قسنطينة من أجل حفظ وترميم حقل التجارب ذراع الناقة، حيث لم توجد أي دراسات جدوى لاستدامة بقاءه و نظامه منذ إنشائه. تهدف هذه الدراسة لتقدير الجدوى و الاستدامة المعيشية بالمراقبة المستمرة للحالة الراهنة للحقل التجريبي من التنوع البيولوجي والضغوط. وقد تم جمع البيانات ذات الصلة باستخدام حصر الغابات للأشجار (واحدة تلوى الأخرى) والضغوط المخزونة فيه. تم تقييم الحالة من خلال تحليل هذه المكونات. كشفت مجموعة التحليلات المختلفة التي أجريت في هذه الدراسة أن الحقل التجريبي يخضع لمجموعة من الضغوطات الحيوية و اللاحيوية واستدامة بقاء متوسطة. هذا ناتج عن نوعية جيدة للأنواع المدروسة، استقرار متوسط، نسبة وفيات عالية ومحتمل مستقبلي متوسط. الرعي والحرائق وقطع الأشجار الغير مشروع يعتبر من الضغوطات الأكثر أهمية على الرغم من هذه الضغوطات، فإن الحقل التجريبي هذا يصنف كنظام إيكولوجيا قابلة للحياة. لكن هذه إمكانياته غير كافية: يجب علينا أن نقلل من الضغوطات و نعمل من أجل استعادة الغابة ككل و الحفاظ على أفضل النظم الإيكولوجية. تحقيقا لهذه الغاية، تقترح هذه الدراسة تخطيطا كأول تطور من خلال التدخلات العملية و إعادة زراعة الغابة لصالح تجديد الأنواع المختلفة من أجل رصد نظام بيئي دائم. هذا الأخير يسمح لنا بتأطير جميع التدخلات.

الكلمات المفتاحية: أشجار متساقطة الأوراق ، استدامة البقاء، حقل تجريبي (ذراع الناقة)، الضغوطات، الرصد البيئي.

Annexe 1

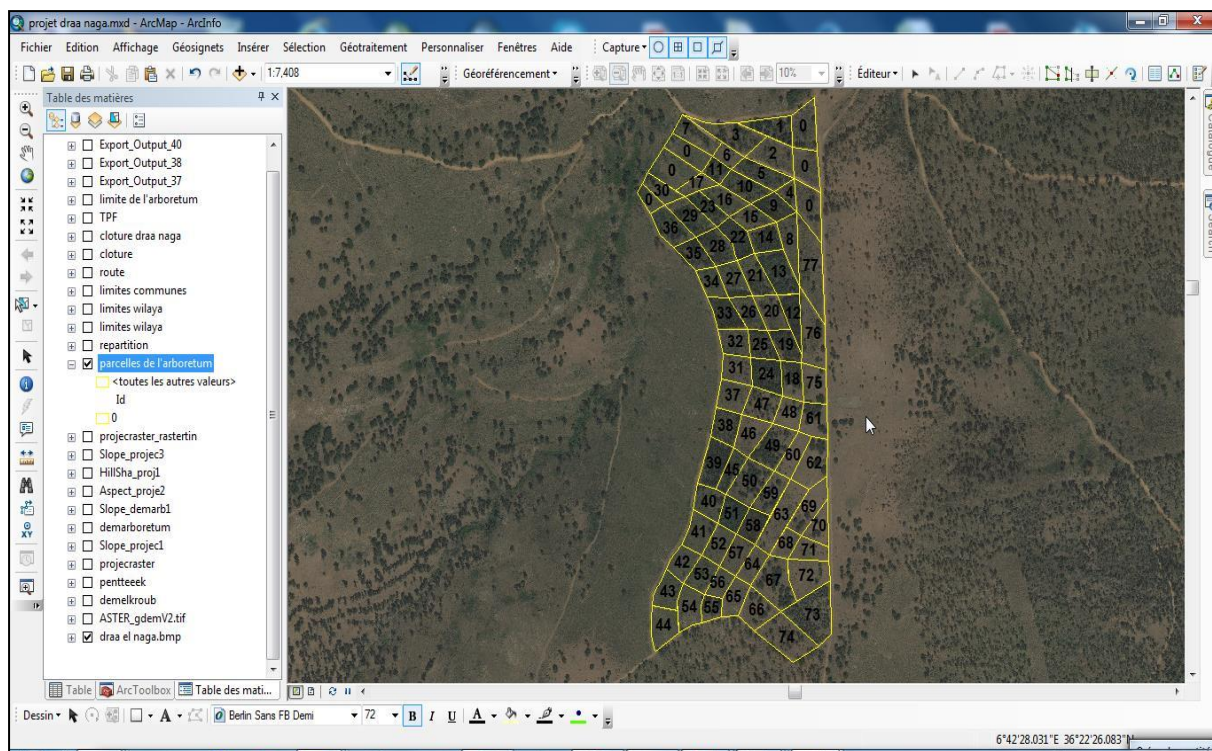


Figure 1. La digitalisation des parcelles à partir de l'image satellitaire.

F	Shape *	Id	N°parcelle	travaux_1	fam1967	especes83	fam1983	type1983	espece1967	type1967	fam2014	type2014
2	Polygone	0	1	Nettoiement	Fagaceae	Quercus petraea	Fagaceae	Feuilleux	Quercus petraea	Feuilleux	Fagaceae	Feuilleux
2	Polygone	0	2	Repeuplement	Pinaceae	Pinus laevis	Pinaceae	Résineux	Pinus laevis	Résineux	Pinaceae	Résineux
6	Polygone	0	3	Repeuplement-Nettoiement	Myrtaceae	E. ovata	Myrtaceae	Feuilleux	E. ovata	Feuilleux	Myrtaceae	Feuilleux
2	Polygone	0	4	Repeuplement-Nettoiement	Fabaceae	Sophora japonica	Fabaceae	Feuilleux	Sophora japonica	Feuilleux	Fabaceae	Feuilleux
2	Polygone	0	5	Repeuplement	Myrtaceae	E. ovata	Myrtaceae	Feuilleux	E. ovata	Feuilleux	Myrtaceae	Feuilleux
6	Polygone	0	6	Plantation	Meliaceae	Melia azadarach	Meliaceae	Feuilleux	Melia azadarach	Feuilleux	Dégradée	Dégradée
6	Polygone	0	7	Repeuplement	Myrtaceae	E. baniana	Myrtaceae	Feuilleux	E. baniana	Feuilleux	Myrtaceae	Feuilleux
6	Polygone	0	8	Repeuplement	Fagaceae	Quercus rubra	Fagaceae	Feuilleux	Quercus rubra	Feuilleux	Fagaceae	Feuilleux
0	Polygone	0	9	Repeuplement-Recépage	Myrtaceae	E. eleophora	Myrtaceae	Feuilleux	E. eleophora	Feuilleux	Myrtaceae	Feuilleux
1	Polygone	0	10	Repeuplement-Nettoiement	Fabaceae	Acacia piconita	Fabaceae	Feuilleux	Acacia piconita	Feuilleux	Myrtaceae	Feuilleux
6	Polygone	0	11	Nettoiement	Myrtaceae	E. stuartiana	Myrtaceae	Feuilleux	E. stuartiana	Feuilleux	Myrtaceae	Feuilleux
6	Polygone	0	12	Recépage	Myrtaceae	E. sideroxylois	Myrtaceae	Feuilleux	E. sideroxylois	Feuilleux	Myrtaceae	Feuilleux
6	Polygone	0	13	Nettoiement-Eclaircie	Cupressaceae	Cupressus arizonica	Cupressaceae	Résineux	Cupressus arizonica	Résineux	Cupressaceae	Résineux
2	Polygone	0	14	Nettoiement-Echenillage	Pinaceae	Pinus canariensis	Pinaceae	Résineux	Pinus canariensis	Résineux	Pinaceae	Résineux
2	Polygone	0	15	Plantation	Pinaceae	Abies concolot	Pinaceae	Résineux	Abies concolot	Résineux	Dégradée	Dégradée
2	Polygone	0	16	Plantation	Myrtaceae	Pinus caribaea	Pinaceae	Résineux	E. brocklowaj	Feuilleux	Dégradée	Dégradée
8	Polygone	0	17	Plantation	Pinaceae	Pinus palata	Pinaceae	Résineux	Pinus palata	Résineux	Dégradée	Dégradée
6	Polygone	0	18	Recépage	Myrtaceae	E. amygdalina	Myrtaceae	Feuilleux	Dégradée	Dégradée	Myrtaceae	Feuilleux
4	Polygone	0	19	Repeuplement	Pinaceae	Pinus brutia	Pinaceae	Résineux	Pinus brutia	Résineux	Pinaceae	Résineux
6	Polygone	0	20	Repeuplement-Nettoiement	Myrtaceae	E. pauciflora	Myrtaceae	Feuilleux	E. pauciflora	Feuilleux	Myrtaceae	Feuilleux
6	Polygone	0	21	Repeuplement-Nettoiement	Myrtaceae	E. pauciflora	Myrtaceae	Feuilleux	Dégradée	Dégradée	Myrtaceae	Feuilleux
1	Polygone	0	22	Nettoiement-Recépage	Myrtaceae	E. polyanthemos	Myrtaceae	Feuilleux	E. polyanthemos	Feuilleux	Myrtaceae	Feuilleux
2	Polygone	0	23	Repeuplement-Nettoiement	Pinaceae	Pinus brutia	Pinaceae	Résineux	Pinus brutia	Résineux	Pinaceae	Résineux
2	Polygone	0	24	Repeuplement-Elagage	Cupressaceae	Cupressus atlantica	Cupressaceae	Résineux	Cupressus atlantica	Résineux	Cupressaceae	Résineux
3	Polygone	0	25	Nettoiement-Recépage	Myrtaceae	E. dalympleana	Myrtaceae	Feuilleux	E. dalympleana	Feuilleux	Myrtaceae	Feuilleux
4	Polygone	0	26	Repeuplement	Pinaceae	Pinus ponderosa	Pinaceae	Résineux	Pinus ponderosa	Résineux	Pinaceae	Résineux
4	Polygone	0	27	Repeuplement-Recépage	Myrtaceae	E. gunnii	Myrtaceae	Feuilleux	E. gunnii	Feuilleux	Myrtaceae	Feuilleux
6	Polygone	0	28	Repeuplement-Nettoiement	Pinaceae	Pinus radiata	Pinaceae	Résineux	Pinus radiata	Résineux	Pinaceae	Résineux
1	Polygone	0	29	Repeuplement-Nettoiement	Myrtaceae	E. cosmophloia	Myrtaceae	Feuilleux	E. cosmophloia	Feuilleux	Myrtaceae	Feuilleux

Figure 2. Saisie des données de terrain et élaboration de la table attributaire.

Annexe 2

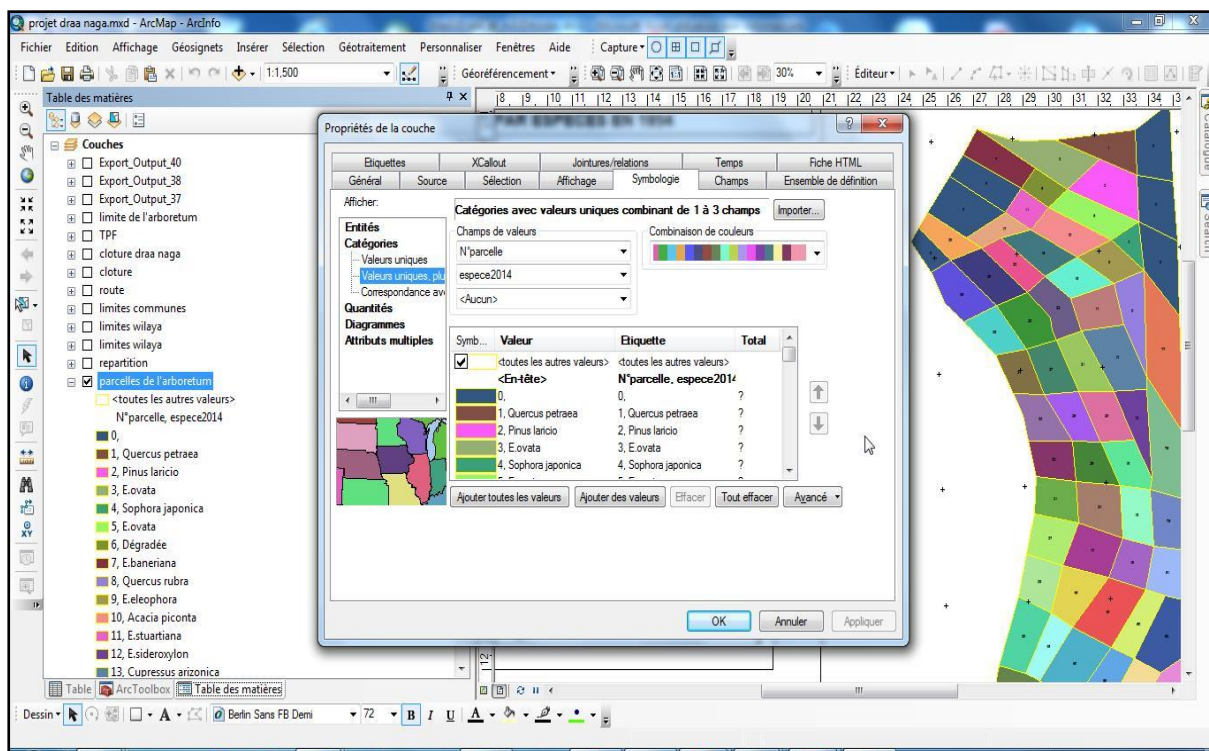


Figure 3. Elaboration des cartes thématiques par la fonction symbologie (ARCGIS10).

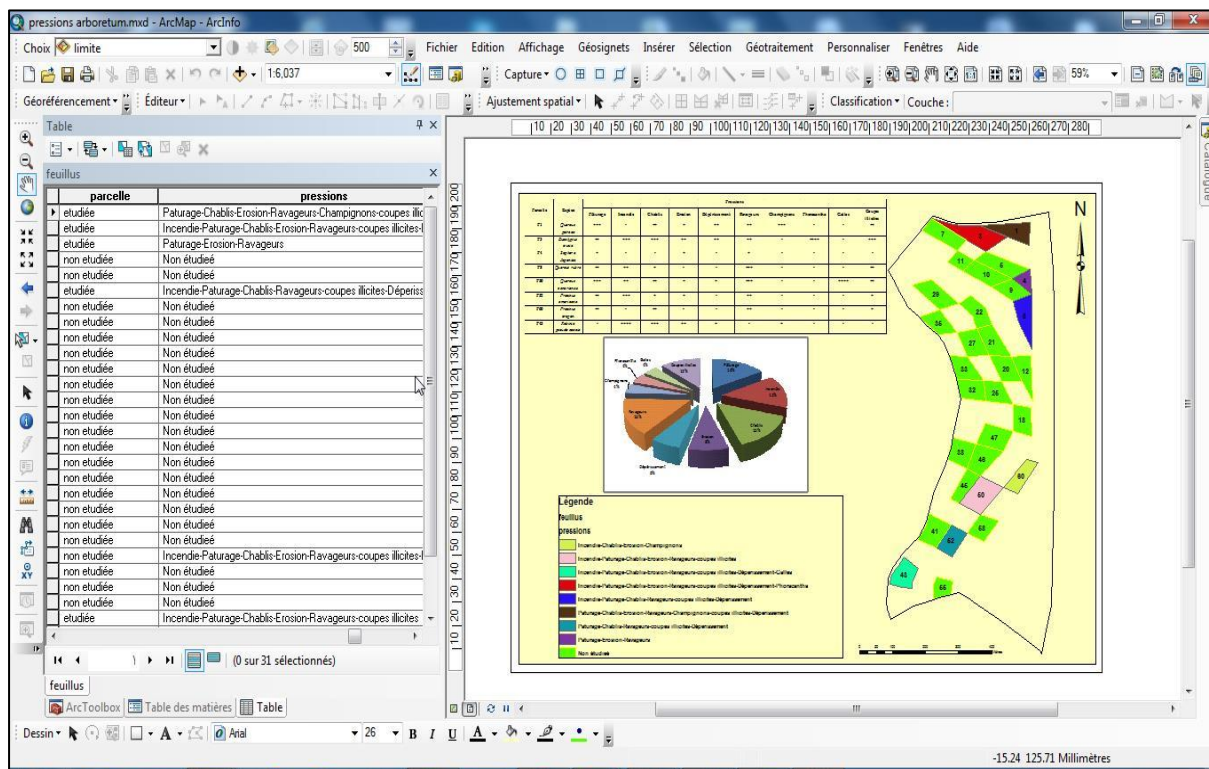


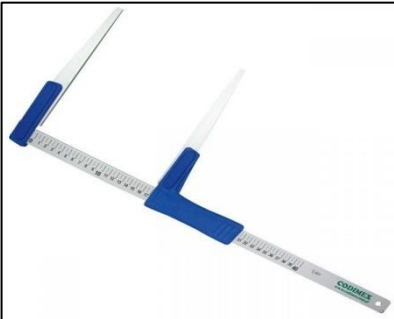






Figure 4. Elaboration de la carte des pressions des 7 parcelles étudiées (ARCGIS10).

Annexe 3

Tableau 2. Méthode de récolte des données sylvicoles.

Mesures sur terrain	Méthodologie	Matériel utilisés
Marquage des arbres	Avec de la peinture, on procède au marquage de chaque arbre pied par pied, cela permet d'établir un inventaire de chaque parcelle.	 <p>Peinture</p>
Coordonnées géographiques de chaque arbre	Les coordonnées géographiques de chaque arbre (altitude, latitude et longitude) sont prises à l'aide d'un GPS de terrain « Garmin » (Dakota 10).	 <p>GPS (Garmin, Dakota 10)</p>
Diamètre (cm)	<p>Le diamètre des arbres sur pied est mesuré à l'aide d'un compas forestier composé d'une règle graduée et de deux bras parallèle l'un fixe et l'autre coulissant.</p> <p>Pour l'utiliser il faut placer le compas forestier perpendiculaire à l'axe du tronc et de façon à ce que son bras fixe et son bras mobile soit accolé à l'écorce. Sur la règle graduée au niveau du bord intérieur du bras mobile vous pourrez lire la mesure.</p>	 <p>Compas forestier</p>

<p>Circonférence (cm)</p>	<p>Pour mesurer la circonférence d'un arbre, il est nécessaire d'utiliser un ruban gradué appelé « ruban circonférentiel ». Cette mesure doit être effectuée à 1.30m du sol.</p>	 <p>Ruban circonférentiel</p>
<p>Hauteur (H_{tot} et $H_{fût}$)</p>	<p>La hauteur de l'arbre est mesurée avec le Smartphone avec l'application « Measure Height ». La méthode consiste à se déplacer à une distance comprise entre environ la moitié de la hauteur de l'arbre. Il faut procéder à deux visées, tout d'abord le pied de l'arbre (au sol), puis la mesure au sommet de l'arbre. Il est important de bien tendre les bras, de sorte à ce que les épaules et le Smartphone soient alignés. Attention à ne pas se cambrer lors de la dernière visée. S'il est impossible de viser le sommet de l'arbre sans garder le torse droit, il faut s'éloigner de l'arbre.</p>	 <p>SmartPhone (Android)</p>
<p>Index PHF</p>	<p>Index PHF de trois chiffres et calculer à partir des observations faites sur terrain :</p> <ul style="list-style-type: none"> -P : Position du houppier (Complètement libre 100, libre d'en haut 200, partiellement libre d'en haut 300, partiellement couvert 400, entièrement couvert 500). -H : Forme du houppier (Parfait 10, bien 20, tolérable 30, mal 40, Très mal 50). -F : Forme du fût (Droit ; rond ; plein 1, Droit ; cylindrique 2, Partiellement droit ; bombé 3, Bombé ; conique 4, Irrégulier ; tortueux 5, Très irrégulier 6). 	 <p>Observation directe de l'arbre</p>
<p>Recouvrement du houppier (cm)</p>	<p>Le diamètre (x, y) du houppier est mesuré sur terrain avec un décimètre qui est placé sur les deux extrémités du recouvrement de l'houppier sur le sol à l'aide d'un mètre ruban en acier.</p>	 <p>Décimètre (en acier)</p>

Thème : Viabilité des feuillus de l'arboretum de Draa Naga (Constantine)

Résumé

L'arboretum de Draa Naga est à vocation forestière, pédagogique et écotouristique. Géré par la Conservation des Forêts de Constantine, ce site est formé de 77 parcelles où sont plantées plusieurs espèces sylvoles (feuillus et résineux) de diverses provenances s'étalant sur une superficie de 30 ha.

Suite à une décision prise par la Conservation des forêts de Constantine pour la conservation et la restauration de la station forestière de Draa Naga, où aucune étude n'a évalué sa viabilité depuis sa création. Cette étude a comme objectif l'estimation de cette viabilité par le suivi permanent de l'état actuel de l'arboretum comprenant la biodiversité et les pressions. La collecte de données y afférentes a eu recours à un inventaire forestier (pied par pied) et un inventaire des pressions. L'état a été évalué par l'analyse de ces composants.

Les diverses analyses menées lors de cette étude ont révélé que l'arboretum est soumis à des pressions biotiques et abiotiques et une viabilité moyenne. Cela est induit par une qualité de peuplement assez bonne (PHF= 223), une stabilité moyenne (FE= 42.48), une mortalité élevée (plus de 33%) et un potentiel d'avenir moyen (taux de régénération faible= 47%). Le pâturage, les incendies et les coupes illicites constituent les pressions les plus importantes.

Malgré ces pressions, l'arboretum est classé comme un écosystème viable. Mais ces potentialités sont insuffisantes : il faut réduire les pressions et reconstituer l'arboretum pour une meilleure conservation de l'écosystème. A cet effet, la présente étude suggère l'aménagement en premier lieu par des interventions sylvoles favorisant les régénérations des différentes espèces et d'inclure un système de suivi écologique permanent. Ce dernier permet de cadrer toutes les interventions.

Mots clés : Feuillus, viabilité, arboretum (Draa Naga), pressions, suivi écologique

Laboratoire de recherche : Laboratoire de Développement et Valorisation des Ressources Phytogénétiques. Faculté des Sciences de la nature et de la vie. Département de Biologie et Ecologie Végétale. Université des frères Mentouri Constantine.

Jury d'évaluation

Président du jury :	BAZRI K.ED.	MCB- UFM Constantine
Rapporteur :	RACHED-KANOUNI M.	MCA- UFM Constantine
Examineur :	HADEF A.	MAA- UFM Constantine

Année universitaire
2014 – 2015

