



PROJET DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :

Hemdène Safa & Azizi Marwa

INTITULÉ DU SUJET

Estimation de la diversité spécifique et du carbone séquestré dans la végétation arbustive de la forêt dégradée de Sidi Amor, Ariana.

Président : Mr Béjaoui Zoubeir
Examinatrice : M^{me} Madiouni Hanène
Encadreurs ISBB : M^{me} Ben Hassine Abir
Encadreur société : M^{me} Stiti Boutheina

Dédicace

Je voudrais exprimer, en ce préambule de ce projet de fin d'étude, ma gratitude à mes chers parents, mon père Youssef et ma mère Moufida, aucun mot ne pourrait exprimer mon amour et mon admiration pour leurs sacrifices illimités.

À mes frères Marwen, Abd Rezeg et ma sœur Chaïma qui sont la source d'amour et de tendresse illimités.

À tous mes amis et à tous ceux qui me sont chers, pour leurs aides morales, vous vivez toujours dans mon cœur malgré la distance qui nous sépare.

Azizi Marwa

Dédicace

Merci Allah (mon dieu) de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et du bonheur.

Je suis arrivée à la fin du parcours, à ce stade, à atteindre un palier d'enseignement qui me permet d'obtenir un diplôme dans une spécialité à laquelle je croyais.

Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à ma mère Chadlia.

A mon père Ahmed, écolé de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes les années des études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger.

Que dieu les gardes et les protège.

A mes adorables sœurs Marwa et Anwar.

A mon frère Sofiene.

A mes amies. A tous ceux qui me sont chères.

A tous ceux qui m'aiment. A tous ceux que j'aime.

Je dédie ce travail.

Hemdène Safa

Remerciements

On ne saurait présenter notre modeste projet de fin d'études, sans exprimer notre profonde gratitude à ceux qui, chacun, selon sa spécialité, son savoir et sa disponibilité, nous ont soutenues et ont été patients avec nous, pour nous laisser entrevoir de nouveaux horizons au-delà du diplôme et nous permettre d'affronter la vie professionnelle avec une certitude scientifique.

Nos remerciements tout d'abord s'adressent à monsieur 'Mohamed Ali Ben Abdallah', directeur de recherche et directeur général de l'INRGREF de Tunis, de nous savoir accueillir à l'institut avec nos profonde gratitude.

Nous remercions aussi monsieur 'Mohamed Lamjed El Marzouki', directeur de l'Institut Supérieur de Biotechnologie de Béja (ISBB).

La principale remerciée reste pour nos encadreurs, M^me Boutheina Stiti qui a sacrifié de son temps pour nous amener à cerner notre thème et nous a aidées précieusement et avec enthousiasme, et M^me Ben Hassine Abir pour ces remarques enrichissantes durant toute notre période d'étude à l'ISBB et pour son encouragement répété durant tout le long de notre travail.

Nous remercions également nos professeurs dans les différentes matières qu'ils nous ont enseignées, et les membres de jury pour avoir accepté de juger ce projet.

Enfin, nous tenons à remercier Mme Thouraya Chahed, enseignante à l'Institut Supérieur des Etudes Préparatoires en Biologie Géologie de Soukra (ISEP-BG) qui nous a soutenues et accompagné dans toute la partie expérimentale de ce travail.

Puissent ces quelques mots leurs rendre hommage en guise de remerciement.

Hemdène Safa

Azizi Marwa

Étudiantes de Biotechnologie Végétale- ISB Béja

Liste des abréviations

ACFC : Hydrochlorofluorocarbure.

AGB : Biomasse vivante sèche.

Bb : Biomasse des bois.

Bf : Biomasse des feuilles.

Br : Biomasse des racines.

Bt : biomasse totale.

C : carbone.

CFC : chlorofluorocarbure.

Ch₄ : Méthane.

CO₂ : Dioxyde de carbone.

FAO : Food and Agriculture Organization of the united Nations : organization des nations unies pour l'alimentation et l'Agriculture.

GDA : Groupement du développement agricole.

GES : Gaz à effet de serre.

Giec : groupe d'expert intergouvernemental sur l'évolution du climat.

Gtc : Milliards de tonnes de carbone.

H₂O : eau.

IFN : Inventaire Forestier National.

IFPN : Inventaire Forestier et Pastoral National.

MEAT : Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement.

MDP : mécanisme de développement propre.

N₂O : protoxyde d'azote / oxyde nitreux.

OGM : Organismes génétiquement Modifié.

PADB : Plan d'Action de la diversité Biologique.

PIB : Prix constant de 1990.

ppmv : Partie par million de volume.

t : tonne.

TE-CO₂ : Millions de tonnes équivalent CO₂.

Liste des tableaux

Tableau 1: Absorption du CO ₂ par les différents systèmes végétaux en Tunisie en 1994 (PADB, 1998).....	20
Tableau 2: Comparaison des émissions de GES dans un certain nombre de pays (MEAT, 1999).....	21
Tableau 3 : Indices de diversité utilisés (Mölder <i>et al.</i> 2008; Pohle et Thomas, 2006).....	39
Tableau 4 : Les indices de la richesse spécifiques de la végétation de la strate arbustive de la forêt de Sidi Amor.....	43
Tableau 5 : Caractéristique biométriques « minimum – maximum (moyenne ± écartype) » et morphotype des espèces arbustive de la forêt de Sidi Amor. La différence entre les paramètres, analysée par ANOVA, est indiquée par s quand elle est significative (ns : non significatif) au seuil de signification 0.05. La probabilité P est donnée entre parenthèses.....	45
Tableau 6 : Valeurs des densités, des couvertures et des phytovolume spécifiques moyens des 23 espèces arbustives de la forêt de Sidi Amor.....	47
Tableau 7 : Valeurs moyennes des biomasses aérienne et totale des 19 espèces étudiées.....	48
Tableau 8 : Illustration de la préparation de la biomasse entre les différentes parties de la plante de chaque espèce arbustive.....	50
Tableau 9 : Répartition de phytomasse, carbone et de CO ₂ entre les différentes parties de la plante.....	52

Liste des figures

Figure 1: Gaz à effet de serre sous forme d'une couche isolante autour de la Terre.....	13
Figure 2 : Répartition des forêts dans le monde (Source FAO 2006).....	16
Figure 3 : Répartition de la superficie (ha) par espèce principale (source IFPN 2010).....	18
Figure 4 : Stock de carbone mondial (hors océan), en GtC (milliards de tonnes de carbone) (GIEC, 2001).....	19
Figure 5: Répartition des émissions tunisiennes nettes de GES par type de gaz (%) (MEAT, 1999).....	21
Figure 6: Participation des pays du monde au protocole de Kyôto en janvier 2011 (Source Wikipedia).....	24
Figure 7: La proportion relative de carbone (C), d'Eau (H ₂ O), et d'autres éléments (par exemple, N, P, K, Ca, Mg, etc.) contenus dans (a) la biomasse humide et (b) sèche des arbres.....	28
Figure 8 : carte de localisation de la zone d'étude.....	32
Figure 9 : Emplacement des huit parcelles installées dans la forêt de Sidi Amor (Image Google Earth, map data 2013).....	33
Figure 10 : Mise en place du dispositif dans la forêt du Sidi Amor.....	34
Figure 11 : Schéma des mesures.....	35
Figure 12 : les trois formes possibles des biovolumes des végétaux.....	35
Figure 13 : abattage et déracinement des plantes échantillonnées dans la forêt de Sidi Amor.....	37
Figure 14 : Traitement des échantillons coupés (séchage, fractionnement et pesée). (a : séchage des échantillons à 70°C pendant 72 heures ; b : fractionnement des différentes parties de la plante ; c : pesée des différentes fractions des plantes).....	38
Figure 15 : les espèces végétales arbustives identifiées dans les huit parcelles installées dans la forêt de Sidi Amor.....	42

Figure 16 : Comparaison de la phytomasse aérienne de la strate de Sidi Amor avec d'autres subéraies du bassin méditerranéen.....49

Figure 17 : Rapports biomasse photosynthétique sur biomasse totale Bf/Bt et phytomasse racinaire sur biomasse totale Br/Bt des espèces dominantes de la strate arbustive de la forêt de Sidi Amor.....51

Table des matières

Introduction générale	11
○ Pourquoi y a-t-il un intérêt autour du carbone? ... Erreur ! Signet non défini.	
○ Pourquoi y a-t-il un intérêt autour du carbone forestier? Erreur ! Signet non défini.	
Chapitre I Synthèse bibliographique.....	13
Introduction	14
I. Distribution des forêts	14
1- Dans le monde.....	14
2- En Tunisie	16
2-1 Historique de la forêt Tunisienne	16
2-2 Les ressources forestières.....	16
2-3 Structure et composition	16
II. Importance des forêts	17
1- Cycle de carbone	17
1-1 La forêt : réservoir terrestre de carbone.....	18
2- Changements climatiques	20
3- Les protocoles.....	23
3-1 Protocole de Kyôto	23
3-2 Protocole de Montréal.....	24
3-3 Protocole de Madrid.....	25
a- Principe du protocole de Madrid :	25
b- Les annexes au protocole :	25
c- Conséquences du protocole	25
3-4 Protocole de Carthagène.....	25
a- Objectif du protocole de Carthagène	26
3-5 Protocole de Rio de Janeiro	26

III.	Estimation de la biomasse.....	27
IV.	Estimation du carbone	27
V.	La richesse spécifique.....	28
	1- Définition	28
	2- Indices de diversité : (indices de Shannon et de Simpson).....	28
	a- Indice de Shannon.....	28
	b- L'équitabilité	29
	c- Indice de Simpson.....	29
	d- L'indice de Berger-Parker.....	29
Chapitre II Méthodologie		30
I-	Présentation de la zone d'étude	31
II-	Matériel et méthodes.....	32
	1- Structure de la strate arbustive	32
	2- Calcul du phytovolume.....	36
	3- Calcul de la phytomasse	36
III-	Estimation du carbone stocké dans la biomasse de la strate arbustive	37
IV-	Estimation de la richesse spécifique.....	38
V-	Analyses statistiques.....	38
Chapitre III_Résultats et discussions		40
	1- Estimation de la richesse spécifique.....	41
	2- Structure de la strate arbustive	44
	3- Phytomasse de la strate arbustive.....	47
	4- La séquestration du Carbone du type arbustive	52
Conclusion.....		Erreur ! Signet non défini.
Références Bibliographiques.....		55
Annexe		59

Introduction générale

Depuis des décennies, la dégradation des écosystèmes forestiers ne cesse de s'accroître dans le monde et surtout dans la région méditerranéenne. En Tunisie, cette dégradation est devenue préoccupante et une politique nationale a été prise pour lutter contre cette régression et contre la désertification. En effet, les écosystèmes forestiers tunisiens jouent des rôles socio-économiques et environnementaux de grande importance, en particulier, autour des grandes villes où l'urbanisation est intense. Après le protocole de Kyoto, l'estimation de la séquestration du carbone est devenue systématique dans divers pays. En Tunisie, les données sur la biomasse et le réservoir de carbone dans les strates arbustives des écosystèmes méditerranéens sont rares. Dans une perspective de gestion durable du potentiel des ressources naturelles, une quantification de la séquestration du carbone dans la strate arbustive et une meilleure connaissance de sa structure est utile pour établir un modèle sylvo-pastoral adéquat capable d'accommoder la pression anthropique à la sauvegarde de l'écosystème.

Dans le présent travail, nous avons comme objectif principal la valorisation des ressources forestières dans la forêt de Sidi Amor (Ariana) au profit du GDA (Groupement de Développement Agricole) dans cette zone afin de contribuer à l'obtention d'un modèle de gestion durable qui allie la conservation de l'environnement et l'exploitation économique optimale des ressources naturelles. Ainsi, les objectifs spécifiques de cette étude ont été de :

- Estimer la diversité spécifique de la végétation dans la forêt de Sidi Amor ;
- Décrire la structure de la végétation de la strate arbustive ;
- Estimer les biomasses aérienne et souterraine produites dans cette strate.
- Quantifier le carbone stocké dans la biomasse de la strate arbustive.

Ainsi, notre travail a été réparti comme suit :

- une synthèse bibliographique des différents thèmes abordés a été donnée,
- la méthodologie employée et le matériel utilisé ont été présentés;
- les résultats, la discussion et l'analyse des données sur la biodiversité, la distribution spatiale des espèces et sur la biomasse et la séquestration de carbone et de la strate arbustive.

Chapitre I

Synthèse

bibliographique

Introduction

Une forêt ou un massif forestier est une étendue boisée, relativement dense, constituée d'un ou plusieurs peuplements d'arbres et d'espèces associées. Un boisement de faible étendue est dit bois, boqueteau ou bosquet selon son importance. Les définitions de la forêt sont nombreuses en fonction des latitudes et des usages.

De plus, divers types de forêts existent ; des forêts primaires aux forêts dites urbaines, avec les gradients intermédiaires. Il existe également de nombreux types d'exploitation des forêts (sylviculture, agrosylviculture). En conséquence, le terme forêt peut avoir plusieurs significations différentes selon l'endroit où vous- vous trouvez dans le monde et selon le but de la définition.

La forêt est aussi un milieu de vie et une source de revenus pour l'homme : au début du XX^e siècle, plus de 500 millions de personnes, dont 150 millions d'autochtones vivent encore en forêt ou à ses abords. Elle abrite une grande richesse écologique composée d'une centaine d'espèces de mammifères, d'une cinquantaine d'espèces d'oiseaux, d'un millier d'espèces végétales et de plusieurs millions d'espèces d'insectes.

L'action de l'Homme dans plusieurs régions du monde conduit à une destruction ou une surexploitation des forêts. Cela concerne surtout actuellement les forêts tropicales, et conduit au phénomène de déforestation. La moitié des forêts de la planète a été détruite au cours du XX^e siècle.

I. Distribution des forêts

1- Dans le monde

Dans le monde, la forêt couvrait en 2005 environ 30 % des terres émergées. Selon la définition retenue, la superficie estimée de la forêt mondiale varie de 2,4 à 6 milliards d'hectares sur la base des chiffres envoyés par les États, l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) a estimé la forêt mondiale à presque 4 milliards d'hectares, soit 0,62 ha/habitant. Mais la forêt est mieux préservée sur la ceinture tropicale humide et au nord de la zone tempérée dans l'hémisphère nord. Ailleurs, dans 64 pays abritant un total de 2,0 milliards d'habitants, il existait en 2005 moins de 0,1 hectare de forêt par

personne, chiffre qui diminue inéluctablement alors que le taux de population augmente et que la forêt régresse.

Sept pays ou territoires ne possèdent plus aucune forêt et dans 57 autres pays, elles ne couvrent plus que moins de 10 % des terres. En Afrique, les forêts couvrent environ 23 % de la superficie totale des terres; selon les informations fournies par les pays africains, 75 millions d'hectares de forêts (soit 10 pour cent de la superficie totale des forêts du continent) auraient été convertis à d'autres utilisations, entre 1990 et 2010 (Source FAO, 2011).

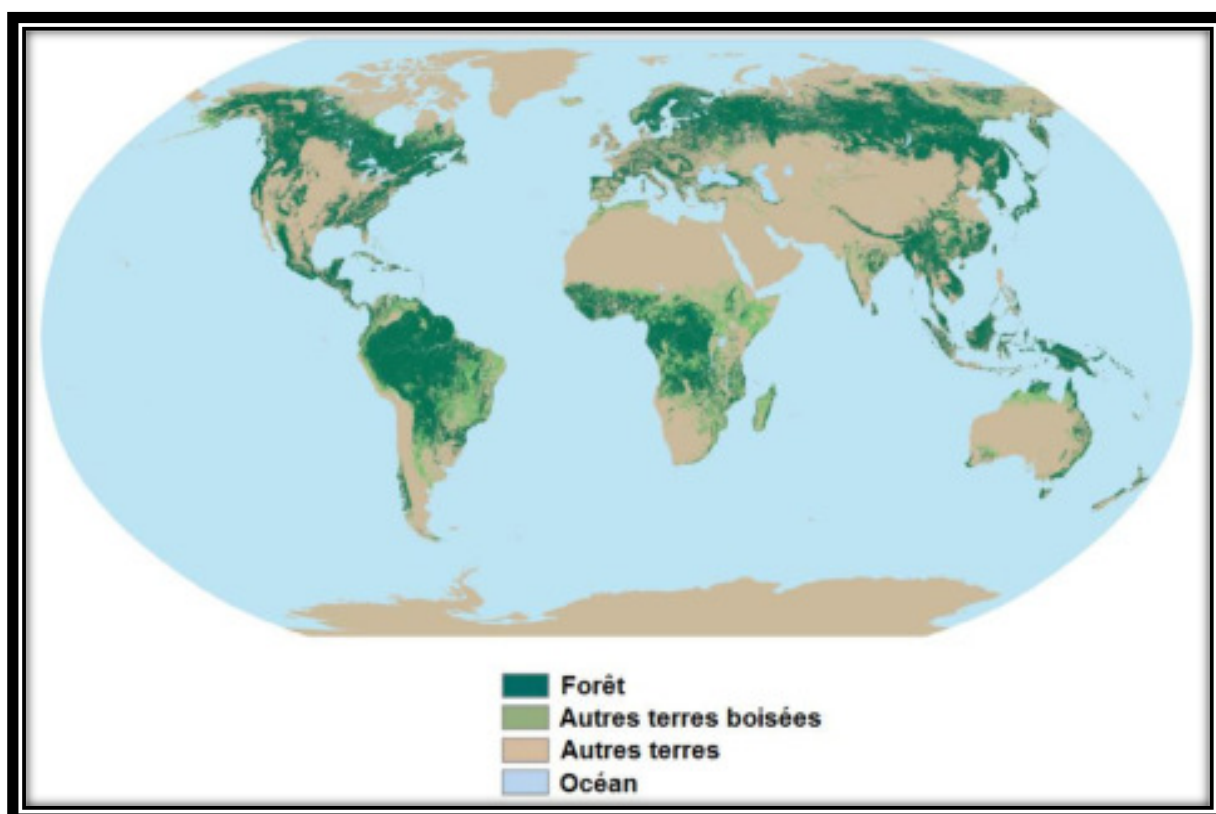


Figure 2 : Répartition des forêts dans le monde (Source FAO 2006).

Les cinq pays les mieux dotés en forêts (Fédération de Russie, Brésil, Canada, États-Unis d'Amérique et Chine) comptent pour plus de la moitié de la superficie forestière mondiale. Cette carte montre la concentration des forêts sur quelques zones géographiques (figure 2), dont le bassin de l'Amazonie, l'Afrique équatoriale, l'Asie du Sud-est, le nord de l'Amérique du Nord et de la Fédération de Russie. L'Union européenne fait partie des zones boisées, même si les massifs sont moins compacts.

2- En Tunisie

2-1 Historique de la forêt Tunisienne

Le recoupement de données historiques sur la forêt tunisienne montre que la superficie forestière est passée de 3 millions d'hectares (ha) à l'époque Romaine, à 1,2 millions ha au début de l'occupation française, et à 368.000 ha à l'avènement de l'indépendance. Au début de la décennie 70, les surfaces des forêts et maquis ont retrouvé une trajectoire ascendante passant de moins de 500.000 ha en 1971 à 1,1 millions d'ha en 1985. Depuis cette date, hausses et baisses, parfois surprenantes, des surfaces forestières, se sont succédé, malgré les efforts importants consentis par les autorités forestières en matière de protection, d'aménagement et de reboisement (Bilan énergétique national. Année 1997).

2-2 Les ressources forestières

L'année 1995 a coïncidé avec l'achèvement du premier inventaire forestier et pastoral en Tunisie. Cette opération a permis de doter la Tunisie d'une couverture cartographique complète sur une superficie de 120 000 km² utilisant les images satellites, les photos aériennes et une cartographie informatique. A partir des résultats de cet inventaire, la superficie des terrains forestiers en Tunisie est égale à 970.818 ha composés de 51,8% de forêt proprement dite, 33,8% des maquis et garrigues, et 14,4% des autres terrains forestiers (tranchés par feu, poste forestier, terrains rocheux, clairières, etc.).

De même, il existe 507.990 ha constitués des forêts et boqueteaux, 132.898 ha des maquis et garrigues arborés, 194.849 ha des maquis et garrigues non arborés (milieu Sylvo-pastoraux, cynégétique...) et finalement 140.080 ha constitués des autres terrains forestiers (selon l'Inventaire Forestier et Pastoral National (IFPN), 2010).

2-3 Structure et composition

Pour les conifères, la plus grande partie de la superficie revient au pin d'Alep qui couvre 35.7% pur, le *Thuya* couvre seulement 2.6%, et le reste étant reparti entre de nombreuses essences en mélange pour un pourcentage de 16.7%. Parmi les feuillus, vient en tête le chêne liège avec 5.5% des formations forestières en Tunisie, puis l'eucalyptus existe sur 3.4% de la superficie et le reste est occupé par une gamme d'espèces peu présentées (chêne zen, acacias, peuplier, etc.)(Figure 3).

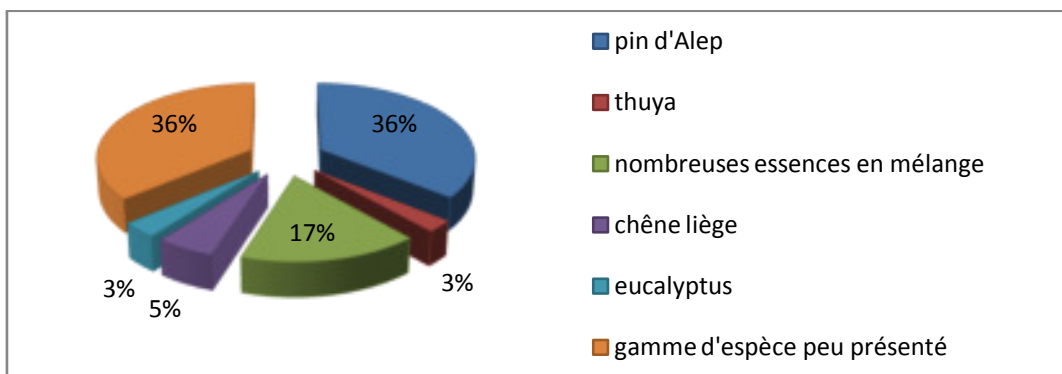


Figure 3 : Répartition de la superficie (ha) par espèce principale (source IFPN 2010).

II. Importance des forêts

Les forêts ont joué un rôle essentiel dans l'histoire de l'humanité. Depuis des millénaires, des épisodes de déforestation accompagnent la croissance démographique et le développement dans le monde entier. Des facteurs comme les changements climatiques, les cultures, les technologies et les échanges ont contribué, dans une large mesure, à accélérer ou ralentir la déforestation voire à l'inverser. Au fil du temps, les interactions entre les êtres humains et les forêts ont évolué, en fonction des mutations sociales et économiques. L'histoire nous apprend qu'il existe des liens solides entre l'utilisation des forêts (y compris la déforestation) et le développement économique et social, mais aussi entre la destruction des forêts (avec des effets irréversibles sur l'environnement) et le déclin économique. Les décideurs doivent tenir compte du paradoxe suivant: les forêts, les produits forestiers et les services éco-systémiques rendus par les forêts sont essentiels, mais dans certaines circonstances, des exigences plus pressantes se font jour pour l'utilisation des sols occupés par les forêts. D'un point de vue historique, on peut comprendre à quel point il est important – mais aussi difficile – de préserver les forêts et d'assurer un juste équilibre entre la conservation et l'exploitation des forêts, en pratiquant une gestion durable des ressources forestières, pour maximiser les effets positifs des forêts sur le plan économique, social et environnemental.

1- Cycle de carbone

Le carbone est au cœur des discussions internationales sur l'effet de serre et le changement climatique. Dans ce cadre, la forêt assure un rôle primordial en captant les composés atmosphériques contenant du carbone ou en libérant du dioxyde de carbone par respiration,

décomposition et par combustion. Cela fait d'elle le principal réservoir terrestre de carbone susceptible, selon le cas, de se comporter en puits 1 ou en source.

1-1 La forêt : réservoir terrestre de carbone

Le carbone, présent dans l'atmosphère sous la forme gazeuse de dioxyde de carbone (CO₂), participe au réchauffement climatique. Lors de la photosynthèse, les plantes libèrent l'oxygène (O₂) dans l'atmosphère et fixent le carbone (C) pour assurer leur croissance. Il est alors séquestré pendant des durées très variables dans la biomasse puis dans les sols, avant de retourner dans l'atmosphère.

Selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec), en 1996 les océans stockaient 93 % du carbone de la planète principalement sous une forme inorganique dissoute. Les 7 % restants se répartissent entre la biomasse terrestre, les sols et l'atmosphère (figure 4).

L'augmentation de cette fraction est responsable du réchauffement climatique. Les forêts stockent plus de la moitié du carbone des terres émergées. Elles jouent donc un rôle déterminant dans la régulation du niveau du CO₂ atmosphérique.

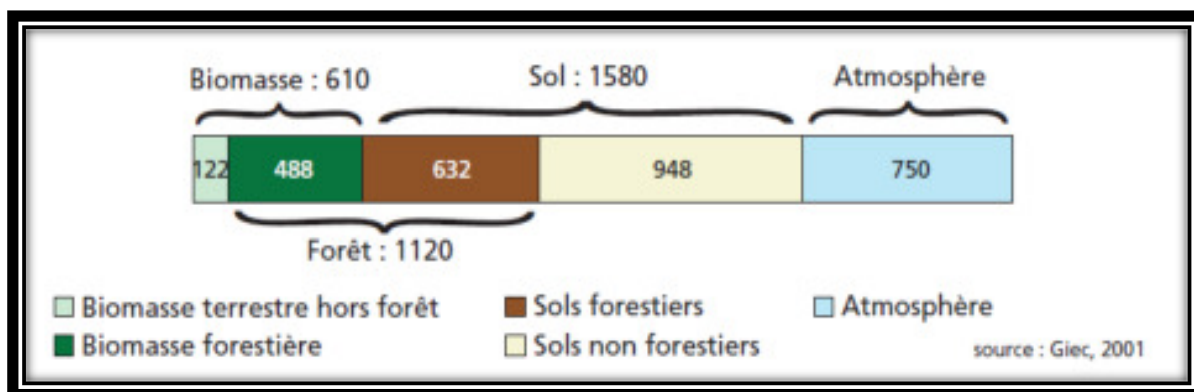


Figure 4 : Stock de carbone mondial (hors océan), en GtC (milliards de tonnes de carbone) (GIEC, 2001).

La forêt et le changement d'affectation des sols sont une source nette d'absorption de CO₂ en Tunisie. Cette absorption nette s'est élevée à 1,8 millions de tonnes en 1994. Les émissions de CO₂ dues à cette source découlent de l'utilisation de la biomasse à des fins énergétiques, qui a émis 3,5 millions de tonnes en 1994, ce qui représente 17% des émissions nationales de CO₂, et se situe aux mêmes niveaux d'émissions que les utilisations énergétique du secteur du transport ou des industries manufacturières et mines. A l'inverse, les émissions dues aux autres usages du bois restent peu significatives puisqu'elles n'atteignent que 186.000 tonnes de CO₂ (Source Plan d'Action de la Diversité Biologique (PADB). Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire, République Tunisienne, avril 1998).

	1000 tonnes
Total de l'absorption	- 5 503,5
Formations forestières	- 811,6
Oliveraies	- 4 319,1
Arboriculture fruitière	- 365,1
Plantation routière et autre	- 7,7

Tableau 1: Absorption du CO₂ par les différents systèmes végétaux en Tunisie en 1994 (PADB, 1998)

Les émissions anthropiques nettes de GES de la Tunisie se sont élevées à 23,4 millions de tonnes équivalent CO₂ (TE-CO₂), ce qui représente 2,66 TE-CO₂ par habitant ou 1,8 TE-CO₂ par millier de US\$ de PIB (prix constant de 1990). La Tunisie contribue donc d'une manière relativement limitée à l'amplification de l'effet de serre, en comparaison à d'autres nations, même si le ratio émissions par unité de PIB est sensiblement plus élevé que celui de nations plus développées (Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire (MEAT), septembre 1999). Le tableau comparatif 2 présente les niveaux d'émissions atteints dans un certain nombre de pays ainsi que quelques ratios illustratifs :

	Émissions nettes (Millions TECO ₂)	Émissions/tête (TECO ₂)	Émissions par 1000 US\$ de PIB (prix constants 1990)
Tunisie	23	2.66	1.83
Maroc	42	1.76	1.64
États Unis	4734	18.9	0.86
France	450	7.9	0.38
Grande Bretagne	676	11.6	0.67

Tableau 2: Comparaison des émissions de GES dans un certain nombre de pays (MEAT, 1999).

NB : les données pour la Tunisie sont celles de l'année 1994. Pour les autres pays, il s'agit des données de l'année 1990 (MEAT, 1999).

Les analyses agrégées des émissions tunisiennes montrent la domination du CO₂ qui représente 66% des émissions nationales nettes, suivi du N₂O avec 18% et du CH₄ avec 16% (figure 5).

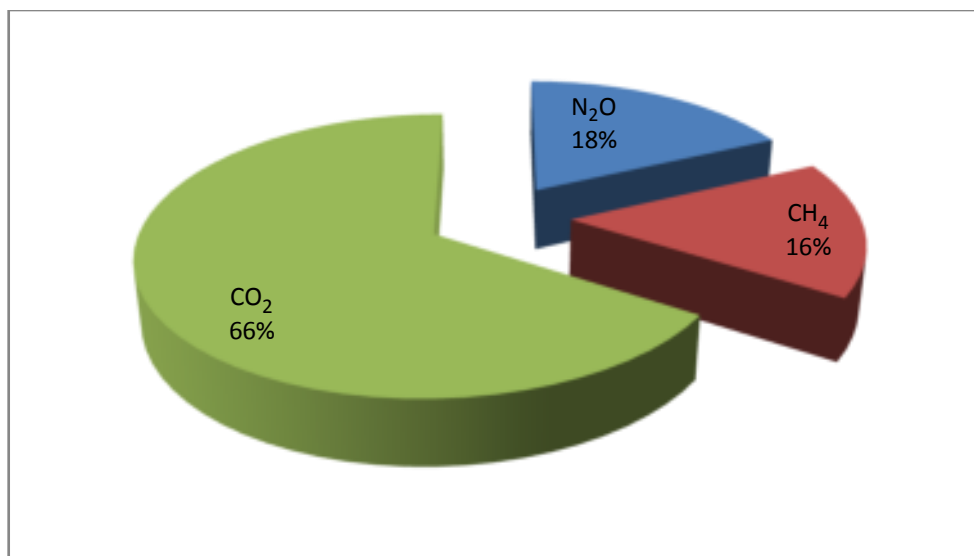


Figure 5: Répartition des émissions tunisiennes nettes de GES par type de gaz (%) (MEAT, 1999).

2- Changements climatiques

Le changement climatique actuel est principalement lié à l'émission des gaz à effet de serre provenant des activités humaines. Le réchauffement d'origine anthropique est dû pour plus de 3/4 au seul dioxyde de carbone (CO₂). La consommation des énergies fossiles (production

d'énergie, carburant des véhicules, chauffage de l'habitat, industrie) est, de loin, le secteur le plus incriminé. Mais il ne faut surtout pas oublier le changement d'occupation des terres, incluant la déforestation, qui se situe à la seconde place en terme de responsabilité dans l'augmentation des émissions mondiales de gaz à effet de serre (17% des émissions mondiales).

La superficie des forêts tropicales (bassin amazonien en Amérique du Sud, bassin congolais en Afrique, forêt indonésienne en Asie) est aujourd'hui en net recul. Le rythme de déforestation se situe entre 5 et 10% par décennie suivant les régions. La forêt primaire africaine a pratiquement disparu, ayant perdu 80% de sa superficie au cours du dernier siècle. La forêt amazonienne constitue le plus grand domaine forestier continu au monde. Alors qu'elle n'avait perdu que 1% de sa superficie avant les années 1970, cette forêt s'est réduite d'un sixième au cours des dernières décennies du XX^{ème} siècle. La technique de fertilisation des sols par culture du brûlis a contribué à l'expansion des terres arables et à l'avancée progressive des cultures de soja et des pâturages, pour l'élevage du bétail. Le constat est similaire pour l'ensemble des forêts tropicales. En Asie par exemple, la forêt indonésienne a perdu 30% de sa superficie en seulement une quinzaine d'année (1990-2005).

Les pays des régions tempérées ont plutôt tendance à stabiliser leur couvert forestier. La Chine est, de loin, le pays qui a le bilan le plus favorable. L'espace forestier européen tend quant à lui à se stabiliser, voire même à s'étendre de 66000 Km² par décennie, soit une expansion de 0.7%. Actuellement, le Brésil et l'Indonésie sont, de loin, les pays qui participent le plus à la déforestation planétaire (60%).

En 2001, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a conclu que le réchauffement observé durant la deuxième moitié du XX^{ème} siècle était essentiellement attribuable aux activités humaines qui ont accru les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Le Groupe a aussi averti que ces changements continueraient à engendrer des changements climatiques rapides durant les siècles à venir (GIEC, 2001). Parmi ces gaz à effet de serre, le plus important est le CO₂, dont les concentrations atmosphériques ont été altérées de façon catastrophique par les perturbations anthropiques du cycle mondial du carbone.

Au moins pendant les 420 mille années qui ont précédé le XX^{ème} siècle, la concentration atmosphérique de CO₂ a relativement peu varié, oscillant entre environ 80 ppmv (parties par

million en volume) (durant les glaciations, où la température du globe était inférieure de 8 à 9°C à celle d'aujourd'hui) et 180 ppmv (durant les périodes interglaciaires où la température était comparable aux valeurs actuelles). La fourchette de variation du CO₂ atmosphérique est extrêmement étroite, étant donné que sa concentration est déterminée par un cycle biogéochimique fortement dynamique. Ceci laisse penser que le cycle mondial du carbone était régulé par de puissants processus de réaction biologique tendant à maintenir un équilibre étroit entre l'absorption photosynthétique nette de CO₂ par la biosphère et sa respiration totale, les forces nettes de la biosphère comme sources et comme puits ont été très proches de zéro, au moins pendant ces 420 000 années.

Des éléments convaincants indiquent que la biosphère a joué un rôle majeur dans la régulation du climat de la Terre. Des données récentes montrent en particulier que, bien qu'il y ait eu des périodes durant lesquelles la température de la planète a changé brusquement sans que cela s'accompagne d'altérations notables des concentrations de CO₂ atmosphérique, l'inverse n'apparaît pas dans les archives glaciaires-interglaciaires (Smith et al. 1999). La phase de réchauffement des conditions glaciaires à interglaciaires a été relativement rapide alors que la phase de refroidissement conduisant à la glaciation a été d'abord rapide (ce qui semble être le signe d'une perturbation par un événement extérieur), mais ensuite progressive (ce qui indique de puissantes réactions tendant à contrecarrer le changement).

Il y a une asymétrie à long terme dans les taux mondiaux d'absorption et de libération du CO₂ par la biosphère (Falkowski *et al.* 2000). Les écosystèmes terrestres et marins font office de tampons pour maintenir la température du globe dans une fourchette compatible avec la vie. La concentration de CO₂ atmosphérique est aujourd'hui de l'ordre de 370 ppmv - soit près de 35% de plus qu'à n'importe quel moment au cours des 420 000 dernières années - une situation en contraste avec les statistiques à long terme, due à des perturbations anthropiques du cycle mondial du carbone. La concentration augmente aussi à un rythme au moins dix fois, sinon cent fois plus rapide que jamais auparavant (Falkowski *et al.* 2000). Il est clair que la manière dont la biosphère régularise le cycle mondial du carbone et, partant, le système climatique a changé. Bien que l'on puisse facilement quantifier les apports anthropogéniques directs de CO₂ vers l'atmosphère, il s'est avéré extrêmement difficile de donner une explication quantitative des taux d'augmentation des concentrations atmosphériques, précisément en raison des puissantes réactions des écosystèmes terrestres et marins aux changements. Il est indispensable de comprendre les réactions de la biosphère la réponse du

biote de la planète aux perturbations à la fois pour évaluer les effets futurs et pour concevoir des mesures d'atténuation appropriées.

3- Les protocoles

3-1 Protocole de Kyôto

Le Protocole de Kyôto ratifié par le Japon en Juin 2002 est entrée en vigueur depuis Février 2005. Le présent protocole, un accord international juridiquement contraignant pour réduire les gaz à effet de serre (GES) de larges émissions dans le monde. Des objectifs quantifiés de réduction des émissions de GES ont été fixés pour chacun des pays développés. la figure 6 présente les différents pays dans le monde qui ont ratifié le protocole et celles qui n'ont pas (Beaudoin G, 2003).

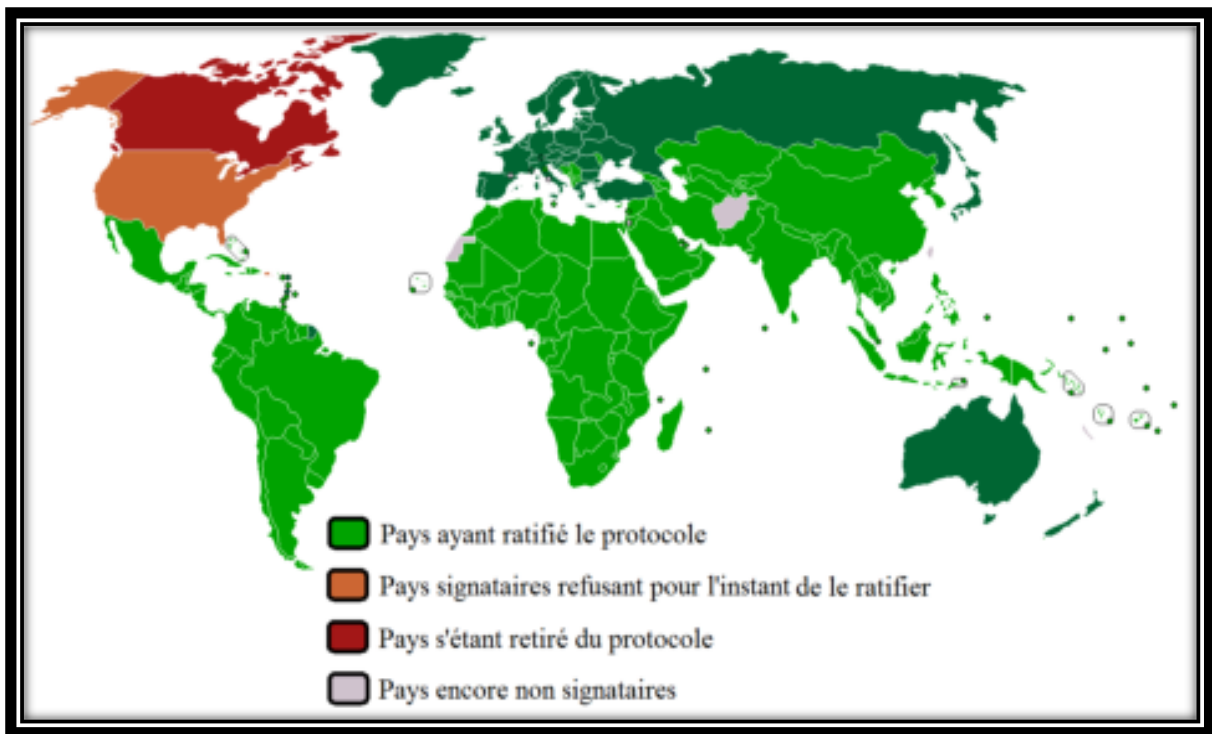


Figure 6: Participation des pays du monde au protocole de Kyôto en janvier 2011

(Source Wikipedia).

Dans le secteur agricole, en particulier dans le secteur de l'élevage, le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄) et le protoxyde d'azote (N₂O) sont identifiés comme les émissions de GES principalement à la fermentation entérique, la gestion du fumier et des sols agricoles, etc. Tandis que dans le secteur des transports intérieurs, le CO₂ est identifié comme les émissions de GES provenant de la combustion mobile des liquides combustibles (ministère

de l'Environnement du Japon, 2005). Par conséquent, le CO₂, le CH₄ et le N₂O sont ciblés dans cette étude que les gaz à effet de serre, et les méthodes de référence pour l'évaluation des pollutions environnementales ont été adoptées le Mécanisme de Développement Propre (MDP).

Le protocole de Kyôto requiert une approche diversifiée de technologies complémentaires pour réduire les émissions de GES. Cette approche devrait comprendre une stratégie intégrée pour soutenir la recherche, le développement et l'implantation industrielle des technologies de la capture et de la séquestration du carbone (Koichi Kaku et al., 2011).

3-2 Protocole de Montréal

Le Protocole de Montréal est un accord international modifiant la Convention de Vienne sur la protection de la couche d'ozone adoptée le 22 mars 1985. Son nom complet est protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone. Il a pour objectif de réduire et à terme d'éliminer complètement les substances qui réduisent la couche d'ozone. Il a été signé par 24 pays et par la Communauté économique européenne le 16 septembre 1987 dans la ville de Montréal, au Québec et est entré en vigueur le 1er janvier 1989. En 2009, 196 pays sont signataires du Protocole de Montréal, lui permettant ainsi d'être le premier protocole environnemental à atteindre la ratification universelle. Ce protocole impose la suppression de l'utilisation des chlorofluorocarbure (CFC) sauf pour des utilisations qualifiées de critiques ou essentielles, de halons, bromure de méthyle et autres substances appauvrissant la couche d'ozone (hydrochlorofluorocarbure (HCFC), tétrachlorométhane, bromochlorométhane, hydrobromofluorocarbure, méthylchloroforme). En 2009, les CFC sont définitivement supprimés, à l'exception de quantités très minimes et indispensables (utilisation en médecine).

La convention sur la protection de la couche d'ozone de Vienne de 1985 était une convention cadre. Elle ne disposait donc d'aucun dispositif contraignant et avait pour objectif d'être complétée par des protocoles additionnels. Au moment de sa signature, les informations scientifiques s'intéressaient surtout aux dommages sur l'ozone stratosphérique résultant des activités humaines. Seulement, en 1985, l'alerte est donnée sur la concentration d'ozone au-dessus du continent antarctique. C'est en réponse à la découverte de ce "trou dans la couche d'ozone" que fut adopté le protocole de Montréal avec la volonté de poser cette fois-ci des règles précises et contraignantes pour les États membres.

3-3 Protocole de Madrid

Le Protocole au traité de l'Antarctique relatif à la protection de l'environnement en Antarctique, ou plus simplement Protocole de Madrid, a été signé en 1991 et ratifié en 1998.

a- Principe du protocole de Madrid :

Ce protocole fait suite au traité sur l'Antarctique de 1959 qui sanctuarise l'Antarctique et en fait un patrimoine commun de l'Humanité, bannissant toutes tentatives d'appropriation et d'utilisation à des fins militaires. Le protocole de Madrid s'adjoint aux conventions préexistantes sur la conservation des phoques et plus généralement de la faune et de la flore marine de l'Antarctique. Il crée un cadre légal pour une protection globale de l'environnement de ce milieu.

b- Les annexes au protocole :

Le protocole a été complété par la suite par différentes annexes :

- Annexe I : évaluation de l'impact sur l'environnement.
- Annexe II : conservation de la faune et de la flore de l'Antarctique.
- Annexe III : élimination et gestion des déchets.
- Annexe IV : prévention de la pollution marine.
- Annexe V : protection et gestion des zones (zone gérée spéciale de l'Antarctique destinée à la planification et zone spécialement protégée de l'Antarctique destinée à la protection de l'environnement).
- Annexe VI : responsabilité découlant de situations critiques pour l'environnement (non entrée en vigueur).

c- Conséquences du protocole

Avec ce traité, toutes exploitations belliqueuses comme économiques sont proscrites et les activités scientifiques, ou autres, sont soumises à une évaluation préalable de leur impact sur l'environnement.

3-4 Protocole de Carthagène

Le Protocole de Carthagène sur la prévention des risques biotechnologiques relatif à la Convention sur la diversité biologique, ou plus simplement le Protocole de Carthagène sur les risques biotechnologiques est un outil créé en 2000 dans le cadre de la convention sur la diversité biologique.

a- Objectif du protocole de Carthagène

C'est le premier traité international à porter sur les OGM (Organismes Génétiquement modifiés) et leurs risques. C'est un outil d'usage volontaire pour apporter des bases juridiques contraignantes à la prévention internationale des risques potentiels ou avérés de la biotechnologie pour la diversité biologique et la santé humaine.

3-5 Protocole de Rio de Janeiro

Un accord conclu à Rio de Janeiro le 29 Janvier 1942, entre le Pérou et l'Équateur, avec la participation des nations médiatrices de l'Argentine, le Brésil et les États-Unis. Il a été ratifié par le congrès du Pérou et l'Équateur, le 26 Février 1942, et il a établi la frontière entre les deux pays, internationalement reconnue aujourd'hui. Après la découverte du Río Cenepa entre les fleuves Zamora et Santiago dans la Cordillère du Condor en 1951, l'Équateur a contesté la démarcation des traités, qui s'arrêta, laissant un tronçon de la frontière inexplorée. L'Équateur a répudié le traité en 1960, mais les puissances garantes jugé cette répudiation invalide.

III. Estimation de la biomasse

La biomasse d'un arbre ou d'une plante en général, signifie le poids ou la masse de son tissu vivant et elle est généralement exprimée en unités de tonnes métriques (t). Une biomasse vivante peut être séparée en composantes aériennes (feuilles, branches et tiges) et en sous-sol (racines). Elle est plus fréquente pour estimer la biomasse vivante sèche (AGB) d'un arbre, qui est le poids du tissu de la plante vivante en surface, après que toute l'eau ait été enlevée, c'est à dire, après que les feuilles, les branches, et les tiges aient été soigneusement séchées, en utilisant souvent un four de laboratoire spécial. En général, l'eau représente environ 50% ou la moitié du poids (ou biomasse humide) d'un arbre vivant (figure 7) (Walker W, 2011).

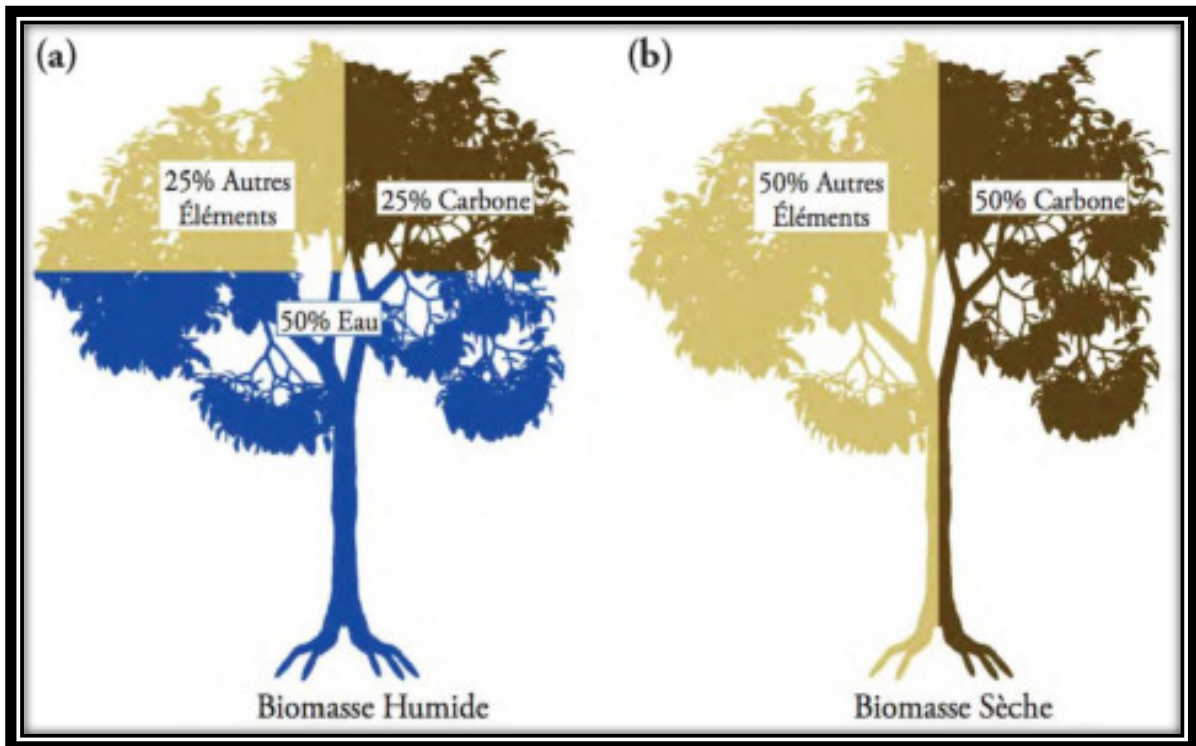


Figure 7: La proportion relative de carbone (C), d'Eau (H₂O), et d'autres éléments (par exemple, N, P, K, Ca, Mg, etc.) contenus dans (a) la biomasse humide et (b) sèche des arbres (Walker W, 2011).

IV. Estimation du carbone

La séquestration de carbone opérée par un arbre résulte d'un métabolisme complexe faisant appel à la photosynthèse et à la respiration grâce auxquelles cet organisme vivant synthétise des composés organiques indispensables à son entretien et à son développement. En phase de

croissance, un arbre puise le dioxyde de carbone dans l'atmosphère et stocke une fraction du carbone dans les racines (32,5 %), le tronc et les branches (31 %), mais aussi les feuilles dans une plus faible proportion (1,5 %). Les tissus ligneux ne peuvent se former sans l'activité microbologique du sol - qui stocke 35 % du carbone - ni les échanges hydriques et gazeux qui se déploient autour du système racinaire. Un arbre absorbe 20 tonnes de CO₂ (5,5 tC) pour produire un mètre cube de bois. Lorsqu'il brûle ou se décompose à l'air libre, ce mètre cube de bois sec relargue une tonne de CO₂, soit l'équivalent de 0,273 tonne de carbone (Walker W, 2011).

V. La richesse spécifique

1- Définition

La diversité spécifique se définit à la fois par rapport au nombre d'espèces en présence (richesse spécifique) mais également en fonction de l'abondance relative des espèces dans le peuplement considéré (certaines espèces peuvent être communes ou au contraire très rares).

2- Indices de diversité : (indices de Shannon et de Simpson)

Les indices de Shannon et de Simpson permettent de calculer le niveau de diversité d'espèces dans un milieu donné.

a- Indice de Shannon

Est un indice permettant de mesurer la biodiversité. Claude Elwood Shannon est à l'origine de cet indice, qui est fondé sur la notion d'entropie (entropie de Shannon) (Marcon E. et *al.*, (2013)).

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i \quad (1)$$

H': indice de biodiversité de Shannon ; *i*: Une espèce du milieu d'étude ; *S*: nombre d'espèces.

p_i : Proportion d'une espèce *i* par rapport au nombre total d'espèces (*S*) dans le milieu d'étude, qui se calcule de la façon suivante :

$$p(i) = n_i / N \quad (2)$$

Où n_i est le nombre d'individus pour l'espèce i et N est l'effectif total (les individus de toutes les espèces). Il est possible de choisir arbitrairement la base du logarithme et on trouve donc souvent dans la littérature scientifique \log ou \log de base 2 à la place de \ln .

Cet indice permet de quantifier l'hétérogénéité de la biodiversité d'un milieu d'étude et donc d'observer une évolution au cours du temps. Cet indice varie toujours de 0 à $\ln S$ (ou $\log S$ ou $\log_2 S$, selon le choix de la base du logarithme), il est d'autant plus petit (proche de 0) que le nombre d'espèces est faible et que quelques espèces dominent. Il est l'un des plus connus et des plus utilisés par les spécialistes. L'indice de Shannon doit être associé à l'indice de Simpson.

b- L'équitabilité

L'indice d'équitabilité de Pielou est maximal quand les espèces ont des abondances identiques dans le peuplement et minimal quand une seule espèce domine tout le peuplement.

$$E = \frac{H'}{\ln S} \quad (3)$$

c- Indice de Simpson

L'indice de Simpson est une formule permettant de calculer une probabilité, soit la probabilité que deux individus sélectionnés aléatoirement dans un milieu donné soient de la même espèce (Marcon E. et al., (2013)).

$$D = \sum \frac{N_i(N_i-1)}{N(N-1)} \quad (4)$$

D : Indice de Simpson

N_i : nombre d'individus de l'espèce donnée ; N : nombre total d'individus.

L'indice variera entre 0 et 1. Plus il se rapproche de 0, plus les chances d'obtenir des individus d'espèces différentes sont élevées.

d- L'indice de Berger-Parker

L'indice de Berger-Parker correspond à la fréquence relative maximale de l'espèce la plus abondante dans les différents relevés (Stiti et al., 2012).

$$D' = \frac{N_{max}}{N} \quad (5)$$

N_{max} : nombre d'individus de l'espèce la plus abondante.

Chapitre II

Méthodologie

I- Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude est le GDA de Sidi Amor qui signifie le Groupement de Développement Agricole de Sidi Amor. Elle est située dans le site naturel de jbel du Sidi Amor (Nord-est de la Tunisie, région de l'Ariana, à 20 km du capital Tunis) 36°93'05.42''N, 10°16'46.23''E (voir figure 8). L'altitude est entre 60 m et 120 m. Les pentes sont moyennes, rarement fortes. Elle couvre une superficie de 200 ha.

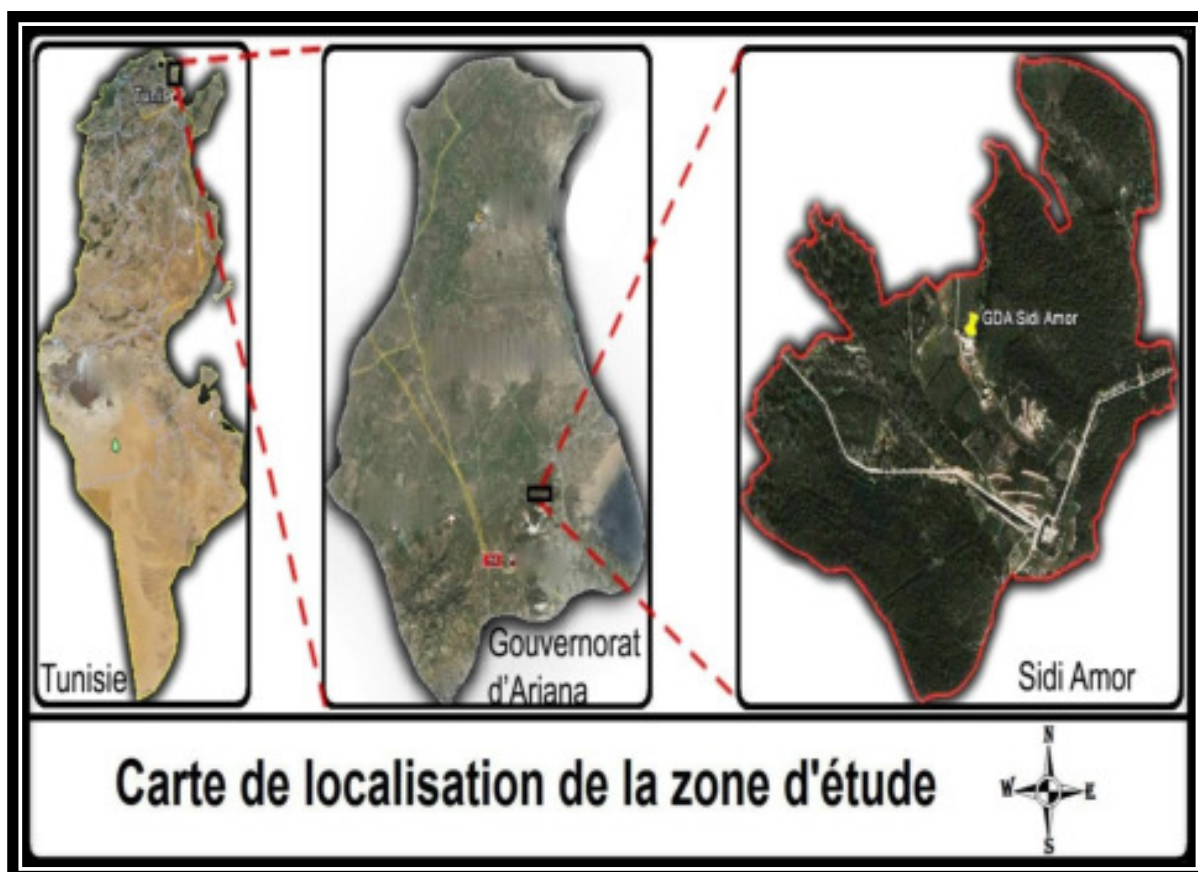


Figure 8 : carte de localisation de la zone d'étude.

Conformément aux cartes topographiques de 1/50000^{ème} de l'Ariana, la zone d'intervention du Groupe est délimitée en vertu de coordonnées LAMBERT (Quadrillage Kilométrique Nord Tunisien) 525/512 et 403/393.

Le climat est de type méditerranéen modéré. La température moyenne est de 18°C. La saison d'été (Mai-Septembre) est chaude et sèche. Pendant l'hiver (Octobre-Avril), le climat est doux avec des pluies fréquentes. Les températures au grand Tunis sont de 6°C à 14°C en Janvier et

de 21°C à 33°C en Août. La pluviométrie est en moyenne de 500-600 mm dans la partie nord du pays.

II- Matériel et méthodes

1- Structure de la strate arbustive

La procédure utilisée dans ce travail est tirée de Robles et Passera (1995). Des transects ont été utilisés en combinaison avec la méthode du plus proche voisin, ce qui permet un rapide calcul de la densité, de la couverture végétale et du phytovolume (Wharton et Griffith, 1993). La combinaison de ces paramètres est en effet le meilleur choix pour obtenir une description précise de la strate arbustive (Navarro Cerillo et Oyonarte, 2006).

Après une appréciation qualitative visuelle de la végétation arbustive à l'intérieur de la forêt étudiée, huit parcelles représentatives ont été sélectionnées (figure 9).

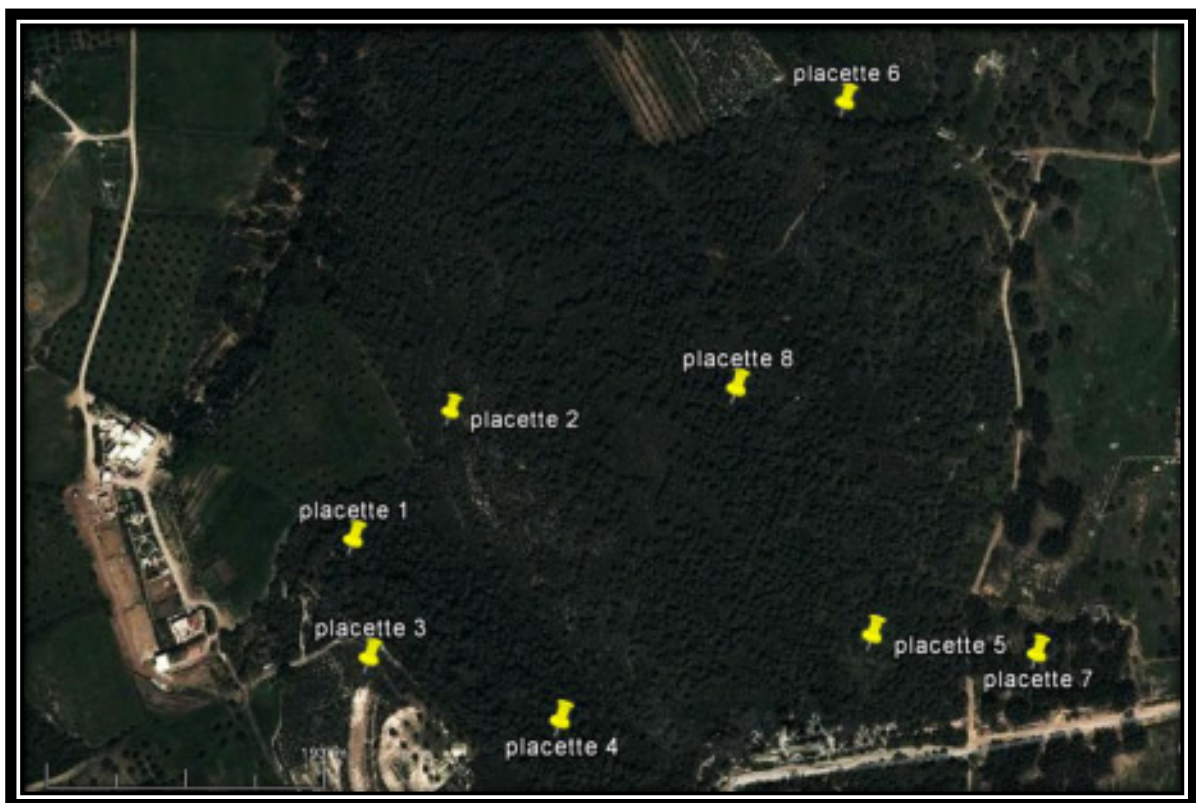


Figure 9 : Emplacement des huit parcelles installées dans la forêt de Sidi Amor (Image Google Earth, map data 2013).

Dans chacune des huit parcelles sélectionnées dans la forêt d'étude, deux transects orthogonaux de 50m de long ont été installés, le premier selon une direction nord sud et le second perpendiculairement au précédent (figure 10). Chaque transect comprend 1 point d'observation tous les mètres, environ 100 observations ont été faites par parcelle (Wharton et Griffith, 1993) de façon à prendre en compte le plus grand nombre d'espèces d'arbustes. Chaque transect était donc divisé en 50 points d'observation distants d'1m. A partir de chaque point d'observation, la distance à l'arbuste le plus proche a été mesurée et les paramètres morphologiques de la plante ont été relevés.

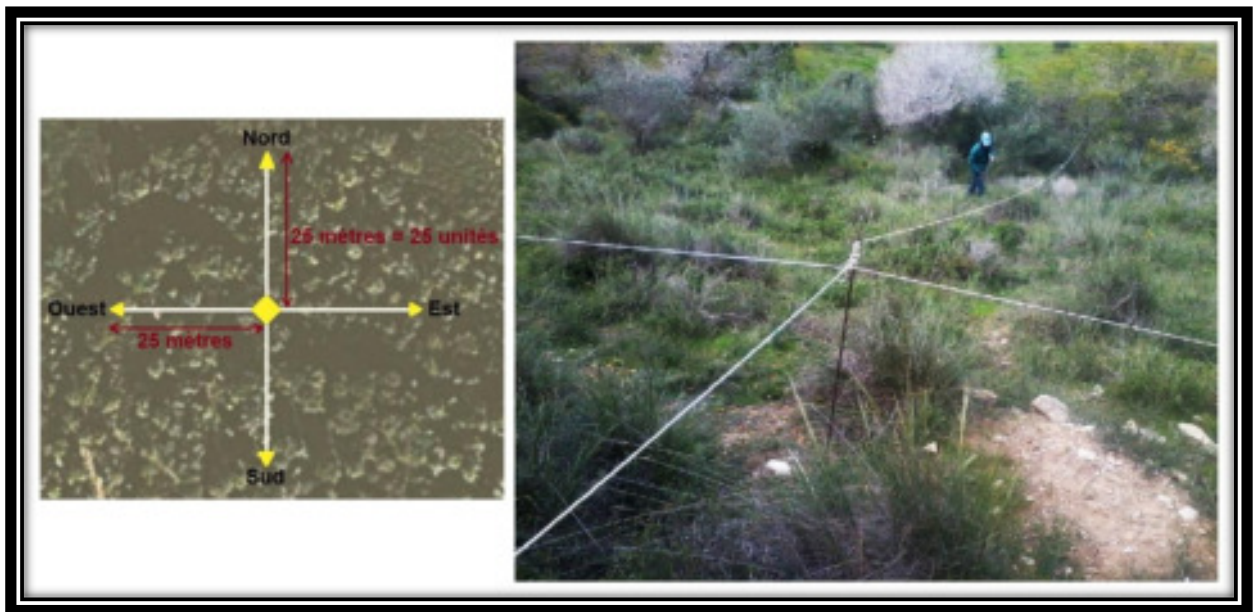


Figure 10 : Mise en place du dispositif dans la forêt du Sidi Amor.

Dans chacune de ces unités, la distance du point d'observation à l'arbuste le plus proche a été mesurée (d_i , m). Pour chacune des plantes observées, quatre variables morphologiques ont en outre été mesurées (Stiti et *al.*, 2012): hauteur de la plante (h , m), plus grand diamètre de la couronne (Φ_g , m), plus petit diamètre (Φ_p , m) et diamètre à la base (Φ_b , m) (figure 11).

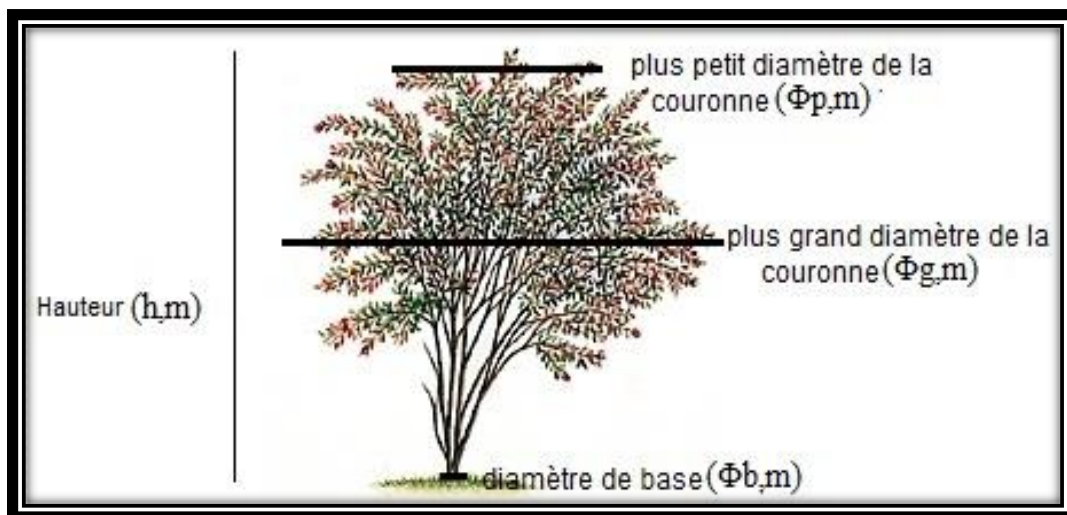


Figure 11 : Schéma des mesures.

Ces variables ont été utilisées pour calculer le diamètre moyen de la couronne (Φ_m, m) et le Phytovolume de chaque individu (V_i) observé. Pour cela, le biovolume apparent a été déterminé en adaptant la forme du végétal à celle d'un corps solide spécifique correspondant à trois formes possibles (figure 12): conique, semi-sphérique et cylindrique (Oyonarte et Cerillo, 2003; Sebei et *al.*, 2009 ; Stiti et *al.*, 2012).

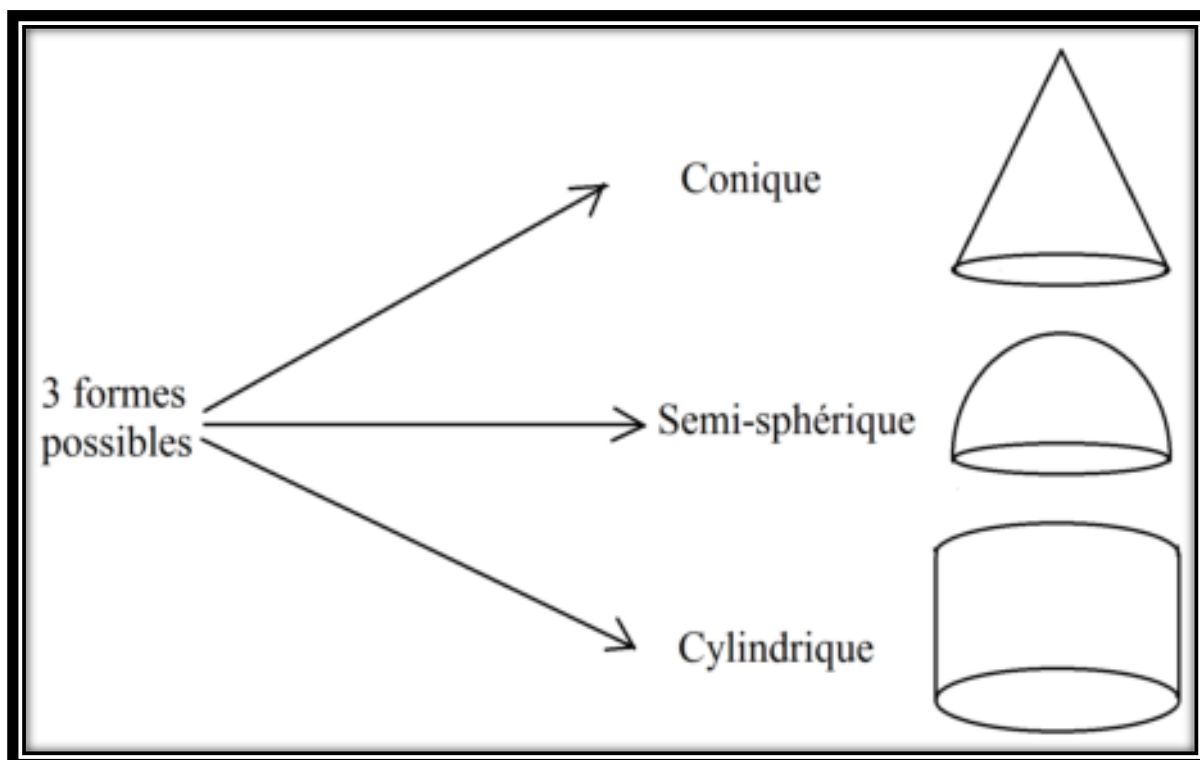


Figure 12 : les trois formes possibles des biovolumes des végétaux.

- Morphotype conique :

$$V = \frac{1}{3} \pi * h * \frac{\Phi_m^2}{4} \quad (6)$$

- Morphotype Semi-sphérique :

$$V = \frac{4}{3} \pi * h * \frac{\Phi_m^2}{4} \quad (7)$$

$$V = \frac{4}{3} \pi * h^2 * \frac{\Phi_m}{2} \quad (8)$$

- Morphotype cylindrique :

$$V = \pi * h * \frac{\Phi_m^2}{4} \quad (9)$$

Avec h : hauteur maximal ; Φ_m : le moyenne des diamètres maximale et minimale de la couronne.

La densité végétale par unité de surface, De a été calculée à partir de la formule suivante:

$$De = \frac{S_f}{(\delta * di_m)^2} \quad (10)$$

Où S_f est la surface estimée (S_f est ici égale à 10000m²), di_m la moyenne des distances de chaque point d'observation à l'arbuste le plus proche, et δ un facteur de correction qui varie suivant la méthode utilisée.

Avec δ est égal à 2 pour la méthode du plus proche voisin (Wharton & Griffith, 1993).

La densité de chaque espèce $De_{(spi)}$ a été calculée à partir de la formule:

$$De_{(spi)} = \left(\frac{nbr.plante_{spi}}{nbr.tot.plantes} \right) * De \quad (11)$$

Lorsque des arbres étaient présents le long des transects, la distance du point d'observation aux arbres a été mesurée comme pour les arbustes. Ensuite, pour calculer la densité des arbres, la formule (10) a été utilisée avec les mêmes paramètres que pour les espèces arbustives ($S_f = 10000 \text{ m}^2$; $\delta = 2$).

Pour chaque plante mesurée, le diamètre moyen, Φ_m a été utilisé pour obtenir la couverture C , ajustée à un cercle:

$$C = \pi * \left(\frac{\Phi_m}{2}\right)^2 \quad (12)$$

Ensuite, pour chaque espèce i , la couverture $C_{(spi)}$ a été déterminée en calculant la moyenne des couvertures C de toutes les plantes appartenant à l'espèce i . La couverture de l'espèce i par hectare C_i a été obtenue à partir de la formule:

$$C_i = De_i * C_{(spi)} \quad (13)$$

Où $C_{(spi)}$ est la couverture moyenne de chaque espèce.

2- Calcul du phytovolume

Le Phytovolume par hectare pour chaque espèce V_i a été calculé à partir des valeurs de densité spécifique $De_{(spi)}$ tirées de la formule (11) et celles du Phytovolume spécifique $V_{i(spi)}$ obtenues à partir des moyennes des Phytovolume de chaque espèce:

$$V_i/ha = De_{(spi)} * V_{i(spi)} \quad (14)$$

Le Phytovolume total V_t pour chaque type d'arbuste étant:

$$V_t/ha = \sum(De_{(spi)} * V_{i(spi)}) \quad (15)$$

3- Calcul de la phytomasse

A près les mesures préalables qui ont été faites dans toutes les parcelles, 10 échantillons entières représentatives de chaque espèce ont été coupées (parties aériennes et racinaires).

Figure 13 : abattage et déracinement des plantes échantillonnées dans la forêt de Sidi Amor.

Les échantillons coupés ont été transférés au laboratoire pour le séchage dans une étuve poêle à air pulsé à 70°C pendant 72 heures jusqu'au poids constant (figure 14). Ensuite, chaque échantillon a été pesé afin de déterminer le poids sec de chaque fraction (ligneuse, photosynthétique et racinaire).

Figure 14 : Traitement des échantillons coupés (séchage, fractionnement et pesée). (a : séchage des échantillons à 70°C pendant 72 heures ; b : fractionnement des différentes parties de la plante ; c : pesée des différentes fractions des plantes).

La phytomasse par hectare pour chaque espèce B_i a été calculée à partir des valeurs de densité spécifique $De_{(spi)}$ tirées de la formule (11) et celle de la phytomasse spécifique $B_{i(spi)}$ obtenues à partir des moyennes des phytomasse de chaque espèce (Navarro Cerillo et Oyonarte, 2006) :

$$B_i/ha = De_{(spi)} * B_{i(spi)} \quad (16)$$

La phytomasse total B_t a été déterminée à partir de l'équation suivante :

$$B_t/ha = \sum(De_{(spi)} * B_{i(spi)}) \quad (17)$$

Le ratio de la phytomasse photosynthétique sur la phytomasse totale ainsi que le ratio de la phytomasse racinaire sur la phytomasse totale ont été calculés pour toutes les espèces (Navarro Cerillo et Oyonarte, 2006).

III- Estimation du carbone stocké dans la biomasse de la strate arbustive

Comme décrit précédemment, la phytomasse totale de chaque arbuste a été estimée dans un échantillon stratifié de la forêt de Sidi Amor.

Pour chacun des types arbustifs étudiés, la quantité totale de carbone séquestré dans la biomasse a été déterminée comme suit. En effet, la biomasse aérienne estimée de chaque type d'arbuste a été prédite à partir de son modèle allométrique, comme on le verra ultérieurement. En suite, la quantité du carbone séquestré a été supposée être de 50% de la biomasse. Ces proportions de carbone ont été jugées appropriées pour être appliquées d'une manière générale dans les forêts (Gifford, 2000), avec peu de différences entre différents taxons (Navarro et Blanco, 2006). Pour cette raison, le pourcentage de carbone dans la matière sèche des arbustes adoptées dans cette étude a été égal à 50%, de sorte que les biomasses ont été converties en stockage de carbone par un coefficient multiplicatif de 0,5. En suite, le CO₂ séquestré a été obtenu en multipliant la quantité de stockage de carbone par 3,67 (= 44/12).

IV- Estimation de la richesse spécifique

La richesse spécifique de la strate arbustive dans la forêt Sidi Amor a été estimée à l'aide des indices de diversité de Shannon, d'équitabilité de Piélou et l'indice de dominance de Berger-Parker (Mölder *et al.* 2008; Pohle et Thomas, 2006) à partir des données collectées dans chacune des huit parcelles d'étude (tableau 3).

L'indice de Shannon permet de quantifier l'hétérogénéité de la biodiversité d'un milieu; il est maximal quand les espèces sont nombreuses et que tous les individus sont répartis d'une façon égale entre toutes ces espèces. L'indice d'équitabilité de Piélou est maximal quand les espèces ont des abondances identiques dans le peuplement et minimal quand une seule espèce domine tout le peuplement. L'indice de Berger-Parker correspond à la fréquence relative maximale de l'espèce la plus abondante dans les différents relevés (Stiti *et al.*, 2012)

Indice	Caractère mesuré	Équation	Valeurs extrêmes
Shannon	Combinaison de richesse	$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$	0-ln S
Shannon	Equitabilité	$E = H' / \ln S$	0-1
Berger-Parker	Dominance	$D' = N_{max} / N$	

Tableau 3 : Indices de diversité utilisés (Mölder *et al.* 2008; Pohle et Thomas, 2006).

Avec p_i : abondance relative de l'espèce i (nombre total d'individus de l'espèce sur le nombre total N d'individus des différentes espèces présentes); S : nombre d'espèces; ln: log népérien; N_{max} : nombre d'individus de l'espèce la plus abondante.

V- Analyses statistiques

Tous les calculs ont été exécutés sur des variables non transformées, à l'aide du logiciel "Excel 7.0". Comme la couverture végétale et le volume par hectare de chaque espèce ont été calculés à partir de leur densité spécifique ($De_{(spi)}$), l'analyse statistique n'a concerné que

cette dernière variable. L'analyse de variance (une variable dépendante quantitative, un seul facteur indépendant), a été effectuée à l'aide du logiciel SPSS (version 13); elle a permis de comparer les moyennes des densités spécifiques des différentes espèces trouvées en utilisant le test de Fisher.

Chapitre III

Résultats et discussions

Notre étude a été réalisée dans la forêt de Sidi Amor dans le but de valoriser les ressources forestières dans la zone au profit du GDA (Groupe de Développement Agricole) de Sidi Amor. Pour cela, nous avons effectué une estimation de la diversité spécifique de la végétation dans cette forêt. En outre, la structure de la strate arbustive a été décrite et les biomasses aérienne et souterraine ainsi que le carbone séquestré produits dans cette strate ont été estimés.

1- Estimation de la richesse spécifique

Les résultats de cette étude, effectuée dans huit parcelles sélectionnées dans la forêt de Sidi Amor, ont montré la présence de 2557 plantes réparties sur 23 espèces végétales (figure 15):

Rosemarinus officinalis L, Calicotome villosa L, Erica multiflora L, Globularia alypum L, Phagnalon rupestre L, Pistacia lentiscus L, Thymus vulgaris L, Prasium majus L, Phyllirea angstifolia L, Teucrium pseudo-chamaepitys L, Thymelaea hirsuta L, Ruta chalepensis L, Asparagus albus L, Asparagus acutifolius L, Cistus libanotis L, Cistus villosus L, Cistus salviifolius L, Ampelodesmos mauritanicus L, Macrochloa tenacissima L, Helianthemum sp., Fumana leavipes L, Fumana thymifolia L, Satureja nervosa L.

En outre, 3 espèces arborées ont été identifiées (*Pinus halepensis, Olea europaea, Eucalyptus globulus*) et 137 arbres ont été trouvés sur les transects des 8 parcelles.



Globularia alypum L



Rosemarinus officinalis



Pistacia lentiscus



Phyllirea angustifolia



Thymus vulgaris



Prasium majus



Erica multiflora



Cistus villosus



Cistus libanotis



Calicotome villosa



Thymelaea hirsuta



Ampelodesmos mauritanicus

Figure 15 : les principales espèces végétales arbustives identifiées dans les 8 parcelles installées dans la forêt de Sidi Amor.

Les résultats présentés par le tableau 4 montrent que la richesse spécifique de la strate arbustive dans la forêt de Sidi Amor a été estimée à l'aide des indices de diversité de

Shannon, d'équitabilité de Piélou et de l'indice de dominance de Berger-Parker à partir des données collectées dans les huit parcelles d'étude.

Tableau 4 : Les indices de la diversité spécifique de la végétation de la strate arbustive de la forêt de Sidi Amor.

Indices	Caractère mesuré	Valeur extrême	Équations	Résultats
Shannon	Combinaison de richesse	0 - S	$H' = - \sum p_i * \ln p_i$	2,25
Piélou	Équitabilité	0 - 1	$E = \frac{H'}{\ln S}$	0,72
Berger-Parker	Dominance		$D' = \frac{N_{max}}{N}$	0,25

p_i : abondance relative de l'espèce i (nombre total d'individus de l'espèce sur le nombre total N d'individus des différentes espèces présentes). H' : indice de diversité de Shannon.

D : indice de Simpson. D' : indice de Berger-Parker. E : indice de l'équitabilité.

S : nombre d'espèces. \ln : log népérien. N_{max} : nombre d'individus de l'espèce la plus abondante.

L'indice de Shannon présente une valeur très faible égale à 2.25 (valeur qui varie entre 0 et 23) ce qui nous informe sur la faible diversité spécifique de la strate arbustive de la forêt de Sidi Amor. Ainsi, cette forêt montre une diversité spécifique proche de celle trouvée dans la forêt de Bellif, appartenant à l'arrondissement forestier de Béja et localisée dans les forêts des Mogods (Znegui et Tercim, 2011), et celle de la forêt de Ain Snoussi située dans la région de Ain Draham située dans les forêts de Kroumirie (Stiti et al., 2012) et aussi de celle de la forêt de Jbel Béni Oualid qui est répartie sur les délégation de Haouaria, Menzel Temimeet Tekelsa relevant du gouvernorat de Nabeul (Chalbi et Mechergui, 2012) où l'indice de Shannon a été estimé, respectivement à 2.17 (valeur qui varie entre 0 et 15), à 1.44 (valeur qui varie entre 0 et 15) et à 2.43 (valeur qui varie entre 0 et 21). L'indice de l'équitabilité (0.72) est proche de 1, ce qui montre que la distribution spatiale des espèces au sein des parcelles d'étude est

homogène. L'indice de Berger-Parker montre une faible dominance (0.25) de l'espèce *Globularia alypum L*, une espèce qui se trouve abondamment dans les lieux rocaillieux et broussailleux secs, de préférence sur calcaire (ce qui est le cas de la forêt de Sidi Amor), parfois aussi dans les maquis (Source Tela Botanica).

2- Structure de la strate arbustive

Afin de décrire la structure de la végétation arbustive, les paramètres morphologiques des 23 espèces trouvées ont été résumés dans le tableau 5. A l'échelle interspécifique, l'analyse de variance montre une différence significative entre les diamètres moyens des 23 espèces. Le diamètre moyen des arbustes a varié de 0.042 m pour *Satureja nervosa L* à 0.696 pour *Pistacia lentiscus L* (tableau 5). Par contre, la différence entre les hauteurs moyennes des couronnes n'a pas été significative (tableau 5). La forme semi-sphérique est la forme dominante.

Tableau 5 : Caractéristique biométriques « minimum – maximum (moyenne ± ecartype) » et morphotype des espèces arbustive de la forêt de Sidi Amor. La différence entre les paramètres, analysée par ANOVA, est indiquée par s quand elle est significative (ns : non significatif) au seuil de signification 0.05. La probabilité P est donnée entre parenthèses.

Espèce	Hauteur (m)	Diamètre moyen (m)	Morphotype
<i>Rosemarinus officinalis L</i>	0,06-2,7 (0,301±1,08)	0,031-2,904 (0,354±0,34)	semi-sphérique
<i>Calicotome villosa L</i>	0,05-3,0 (0,388±0,414)	0,014-0,89 (0,154±0,187)	semi-sphérique
<i>Erica multiflora L</i>	0,06-1,34 (0,548±0,302)	0,028-1,066 (0,315±0,259)	cylindrique
<i>Globularia alypum L</i>	0,02-0,9 (0,234±0,118)	0,017-1,299 (0,171±0,129)	semi-sphérique
<i>Satureja nervosa L</i>	0,06-0,36 (0,159±0,077)	0,018-0,167 (0,042±0,030)	conique
<i>Phagnalon rupestre L</i>	0,07-0,6 (0,215±0,151)	0,021-0,281 (0,11±0,076)	semi-sphérique
<i>Pistacia lentiscus L</i>	0,07-3,6 (0,792±0,802)	0,034-3,428 (0,696±0,922)	semi-sphérique
<i>Thymus vulgaris L</i>	0,02-0,86 (0,302±0,170)	0,011-1,61 (0,261±0,266)	semi-sphérique
<i>Prasium majus L</i>	0,04-0,93	0,041-1,509	semi-sphérique

	(0,387±0,219)	(0,303±0,278)	
<i>Phyllirea angustifolia L</i>	0,07-3,00 (0,832±0,669)	0,028-3,761 (0,625±0,635)	semi-sphérique
<i>Teucrium pseudo-chamaepitys L</i>	0,05-0,21 (0,117±0,048)	0,014-0,179 (0,047±0,038)	conique
<i>Thymelaea hirsuta L</i>	0,1-0,99 (0,367±0,283)	0,028-0,442 (0,192±0,158)	conique
<i>Ruta chalepensis L</i>	0,14-0,88 (0,701±0,125)	0,131-0,507 (0,272±0,13)	conique
<i>Asparagus albus L</i>	0,06-4,00 (0,534±0,492)	0,014-2,835 (0,325±0,407)	cylindrique
<i>Asparagus acutifolius L</i>	0,02-2,82 (0,399±0,312)	0,011-2,22 (0,229±0,226)	cylindrique
<i>Cistus libanotis L</i>	0,03-0,47 (0,197±0,12)	0,021-0,365 (0,108±0,088)	conique
<i>Cistus villosus L</i>	0,11-0,98 (0,418±0,222)	0,038-0,595 (0,241±0,159)	semi-sphérique
<i>Cistus salviifolius L</i>	0,61-0,9 (0,755±0,205)	0,444-0,809 (0,627±0,258)	semi-sphérique
<i>Ampelodesmos mauritanicus L</i>	0,08-2,5 (0,804±0,602)	0,137-1,259 (0,660±0,506)	semi-sphérique
<i>Macrochloa tenacissima L</i>	0,17-1,2 (0,619±0,26)	0,105-1,236 (0,491±0,259)	semi-sphérique
<i>Helianthemum sp.</i>	0,07-0,33 (0,18±0,088)	0,024-0,196 (0,085±0,054)	conique
<i>Fumana leavipes L</i>	0,06-0,24 (0,104±0,05)	0,018-0,259 (0,08±0,064)	conique
<i>Fumana thymifolia L</i>	0,04-0,51 (0,147±0,112)	0,011-0,506 (0,08±0,062)	semi-sphérique
ANOVA	ns (0,057>0,050)	s (0,04<0,05)	

Dans la forêt de Sidi Amor, la densité végétale totale a été estimée à 8438,05 plantes par hectare dont 8378,82 plantes par hectare sont des arbustes, soit 99% de la densité. Ces plantes couvrent plus que la moitié de l'hectare avec un pourcentage de couverture égale à 59,67 % (tableau 5).

A propos de la densité spécifique, l'espèce *Globularia alypum L* présente la valeur la plus élevée 2120 plantes par hectare. L'espèce *Calicotome villosa L* présente une densité spécifique qui varie de 200 à 300 plantes par hectare, une valeur qui est inférieure à celle estimée à Ain Snoussi 1191 plantes par hectare (Stiti et al., 2012) et à celle estimée à Jbel Béni Ouelid 392,39 plantes par hectare (Chalbi et Mechergui, 2012). On note aussi que l'espèce *Cistus villosus L*, *Cistus salviifolius L* et *Ruta chalepensis L* ont la valeur la plus faible qui est

inférieur à 6 plantes par hectare et que l'espèce *Helianthemum sp.* est rarement présent dans la forêt de Sidi Amor.

À l'échelle spécifique, l'espèce *Rosemarinus officinalis L* présente la couverture spécifique la plus élevée 18,56% par hectare. L'espèce *Phyllirea angustifolia L* couvre 8,4% par hectare, une valeur qui est supérieur à celle estimée à Ain Snoussi 6,86% (Stiti et al., 2012) et à celle estimée à Jbel Béni Ouelid 4,49% (Chalbi et Mechergui, 2012). Et pour l'espèce *Ampelodesmos mauritanicus L*, il couvre 10,05% par hectare dans la forêt de Sidi Amor tandis que à Jbel Béni Ouelid il couvre seulement 0,2% par hectare (Chalbi et Mechergui, 2012).

Le phytovolume total (pour l'ensemble des espèces arbustives) par hectare a été estimé à 2168,85 m³/ha ; l'espèce *Phyllirea angustifolia L* occupe le plus grand volume (629,95 m³/ha), cette valeur est toujours inférieur à celle estimée à Ain Snoussi 1.934,81 m³/ha (Stiti et al., 2012) et à celle estimée à Jbel Béni Ouelid 1.510,94 m³/ha (Chalbi et Mechergui, 2012). Suivi de l'espèce *Pistacia lentiscus L* (543,12m³/ha), tandis que *Satureja nervosa L* n'occupe que 6.11m³/ha (Tableau6).

Tableau 6 : Valeurs des densités, des couvertures et des phytovolume spécifiques moyens des 23 espèces arbustives de la forêt de Sidi Amor.

Espèce	Dspécifique (plantes /ha)	Couverture (%/ha)	Phytovolume (m ³ /ha)
<i>Rosemarinus officinalis L</i>	2064,393972	31,09679466	176,8230004
<i>Calicotome villosa L</i>	239,2075555	0,872097346	9,79760341
<i>Erica multiflora L</i>	173,6712389	1,794326347	25,11391092
<i>Globularia alypum L</i>	2120,099841	6,067662863	37,37356334
<i>Satureja nervosa L</i>	95,02765902	0,01557838	0,030528975
<i>Phagnalon rupestre L</i>	62,25950074	0,068310484	0,163181177
<i>Pistacia lentiscus L</i>	131,0726331	10,78505093	543,1209587
<i>Thymus vulgaris L</i>	425,9860577	3,694388841	33,03677114
<i>Prasium majus L</i>	173,6712389	1,826839457	22,05359609
<i>Phyllirea angustifolia L</i>	285,0829771	14,08306386	629,9491629
<i>Teucrium pseudo-chamaepitys L</i>	58,98268491	0,01323776	0,028146006

<i>Thymelaea hirsuta L</i>	29,49134245	0,108777214	0,895622927
<i>Ruta chalepensis L</i>	3,276815828	0,000879159	0,000514564
<i>Asparagus albus L</i>	255,5916346	4,307750318	151,5842164
<i>Asparagus acutifolius L</i>	806,0966937	5,20698245	76,672202
<i>Cistus libanotis L</i>	88,47402736	0,105431233	0,336419839
<i>Cistus villosus L</i>	0,000452573	2,3199E-06	2,56872E-05
<i>Cistus salviifolius L</i>	6,553631656	0,174708227	2,408130735
<i>Ampelodesmos mauritanicus L</i>	389,9410836	16,84689097	421,9201554
<i>Macrochloa tenacissima L</i>	127,7958173	2,453749763	36,31135042
<i>Helianthemum sp.</i>	3,02023E-05	1,85971E-08	1,87607E-08
<i>Fumana leavipes L</i>	45,87542159	0,029204245	0,034128878
<i>Fumana thymifolia L</i>	704,5154031	0,448273158	1,192075287

3- Phytomasse de la strate arbustive

Dans notre étude nous avons trouvé 23 espèces réparties sur les 8 parcelles mais seules 19 espèces ont été utilisées pour l'estimation de la phytomasse, faute de temps. Les espèces utilisées sont les espèces ayant les densités spécifiques les plus élevées.

La forêt de Sidi Amor fournit une phytomasse aérienne égale à 3,79 t/ha (somme des biomasses de toutes les espèces) qui varie considérablement de 0.0001 t/ha pour *Ruta chalepensis L* à 1,6 t/ha pour *Rosemarinus officinalus L*. On note que la biomasse totale est de l'ordre de 5,02 t/ha.

Espèce	Phytomasse aérienne spécifique (t/ha)	Phytomasse total spécifique (t/ha)
<i>Rosemarinus officinalus L</i>	1,6329	2,0541
<i>Calicotome villosa L</i>	0,0995	0,1055
<i>Erica multiflora L</i>	0,1539	0,2431
<i>Globularia alypum L</i>	0,1972	0,2777
<i>Satureja nervosa L</i>	0,0009	0,001

<i>Phagnalon rupestre L</i>	0,0005	0,0006
<i>Pistacia lentiscus L</i>	0,4493	0,6049
<i>Thymus vulgaris L</i>	0,2492	0,3071
<i>Prasium majus L</i>	0,0255	0,0356
<i>Phyllirea angustifolia L</i>	0,5157	0,6774
<i>Thymelaea hirsuta L</i>	0,0041	0,0049
<i>Ruta chalepensis L</i>	0,0001	0,0002
<i>Asparagus albus L</i>	0,0897	0,1948
<i>Asparagus acutifolius L</i>	0,0798	0,0967
<i>Cistus libanotis L</i>	0,0051	0,0063
<i>Cistus villosus L</i>	0,0026	0,0034
<i>Ampelodesmos mauritanicus L</i>	0,1474	0,2386
<i>Macrochloa tenacissima L</i>	0,1256	0,1589
<i>Fumana sp,</i>	0,0098	0,012

Tableau 7 : Valeurs moyennes des biomasses aérienne et totale des 19 espèces étudiées.

La figure 14 présente une comparaison de la phytomasse aérienne de la strate de Sidi Amor avec d'autres subéraies de la Tunisie. Cette biomasse aérienne (1.97 t/ha) s'est révélée faible par rapport aux forêts tunisiennes sauf par rapport à la forêt de Béni Oualid qui présente un phytomasse inférieur à celle de Sidi Amor.

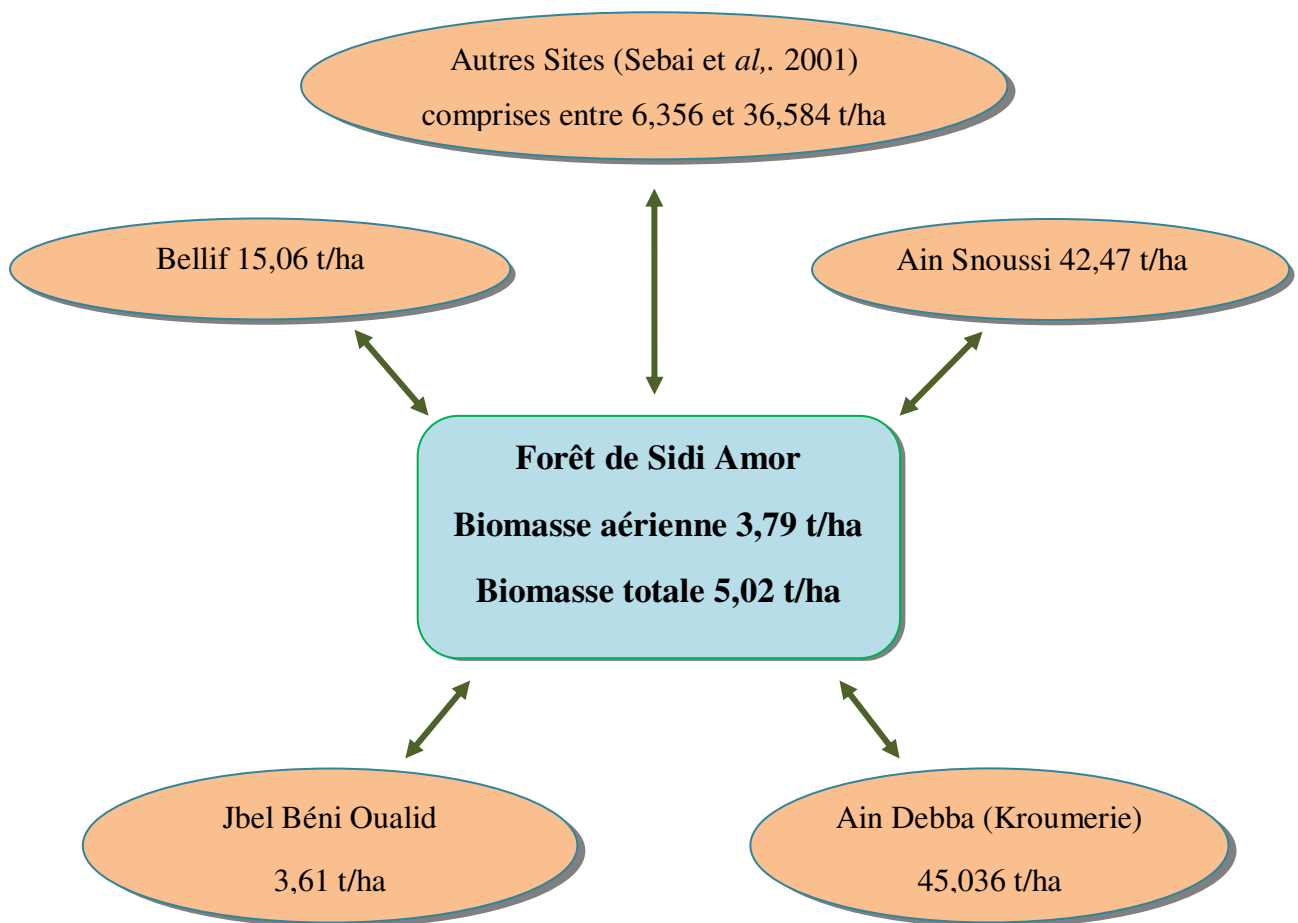


Figure 16 : Comparaison de la phytomasse aérienne de la strate de Sidi Amor avec d'autres subéraies du bassin méditerranéen.

On constate à partir de ce tableau 8 que la répartition de la biomasse entre les différentes parties de la plante est inéquitable d'une part entre les composantes d'une espèce et d'autre part d'une espèce à l'autre.

Tableau 8 : Illustration de la préparation de la biomasse entre les différentes parties de la plante de chaque espèce arbustive.

Espèce	matière sèche (kg)				Biomasse aérienne	Biomasse totale
	Feuille	Bois	Racine	Fleur		
<i>Rosemarinus officinalis L</i>	0,292	0,493	0,204	0,006	0,791	0,995
<i>Calicotome villosa L</i>	0,107	0,282	0,025	0,027	0,416	0,441
<i>Erica multiflora L</i>	0,275	0,585	0,514	0,026	0,886	1,4
<i>Globularia alypum L</i>	0,02	0,071	0,038	0,002	0,093	0,131
<i>Satureja nervosa L</i>	0,003	0,004	0,002	0,002	0,009	0,011
<i>Phagnalon rupestre L</i>	0,002	0,005	0,002	0,001	0,008	0,01
<i>Pistacia lentiscus L</i>	1,231	2,189	1,187	0,008	3,428	4,615
<i>Thymus vulgaris L</i>	0,128	0,453	0,136	0,004	0,585	0,721
<i>Prasium majus L</i>	0,032	0,114	0,058	0,001	0,147	0,205
<i>Phyllirea angustifolia L</i>	0,17	1,636	0,567	0,003	1,809	2,376
<i>Thymelaea hirsuta L</i>	0,035	0,103	0,026	0,002	0,14	0,166
<i>Ruta chalepensis L</i>	0,009	0,031	0,006	0,002	0,042	0,048
<i>Asparagus albus L</i>	0,123	0,225	0,411	0,003	0,351	0,762
<i>Asparagus acutifolius L</i>	0,037	0,057	0,021	0,005	0,099	0,12
<i>Cistus libanotis L</i>	0,026	0,028	0,013	0,004	0,058	0,071
<i>Cistus villosus L</i>	0,017	0,035	0,018	0,005	0,057	0,075
<i>Ampelodesmos mauritanicus L</i>	0,359		0,234	0,019	0,378	0,612
<i>Macrochloa tenacissima L</i>	0,964		0,26	0,019	0,983	1,243
<i>Fumana sp,</i>	0,005	0,007	0,003	0,001	0,013	0,016

Le ratio moyen Bf/ Bt (biomasse photosynthétique sur biomasse totale) pour les arbustes étudiés était de 0,27 allant de 0,07 pour *Phyllirea angustifolia L* à 0,77 pour *Macrochloa tenacissima L*. Ce ratio est supérieur à celui trouvé dans d'autres subéraies Tunisienne dont la

valeur est de 0,18 (Sebei et al, 2001) et 0,15 (Chalbi et Mechergui, 2012), ou dans des garigues Françaises 0.17 (Navarro Cerillo et Oyonarte, 2006).

Le ratio moyen Br/Bt de la biomasse souterraine sur la biomasse totale était de l'ordre de 0,235 variant entre 0,0567 pour *Calicotome villosa L* à 0,5394 pour *Asparagus albus L*. Toutefois, Ces rapports sont fortement affectés par l'âge des individus, la structure de la végétation concernée et d'autres facteurs en relation avec le pâturage qui est moyen dans la forêt de Sidi Amor.

Le rapport Bf/Bt (0,27) est plus élevé par rapport au rapport Br/Bt (0,23) ce qui évoque plusieurs causes, notamment, le paramètre génétique et essentiellement l'absence du pâturage. Le ratio moyen Bb/Bt de la biomasse ligneuse sur la biomasse totale a été à 0,45. Ceci s'explique par le fait que les espèces qui pèsent le plus sont celles de *Pistacia lentiscus L* et de *Phyllirea angustifolia L*. Ce sont des espèces dont la ramification des branches est importante.

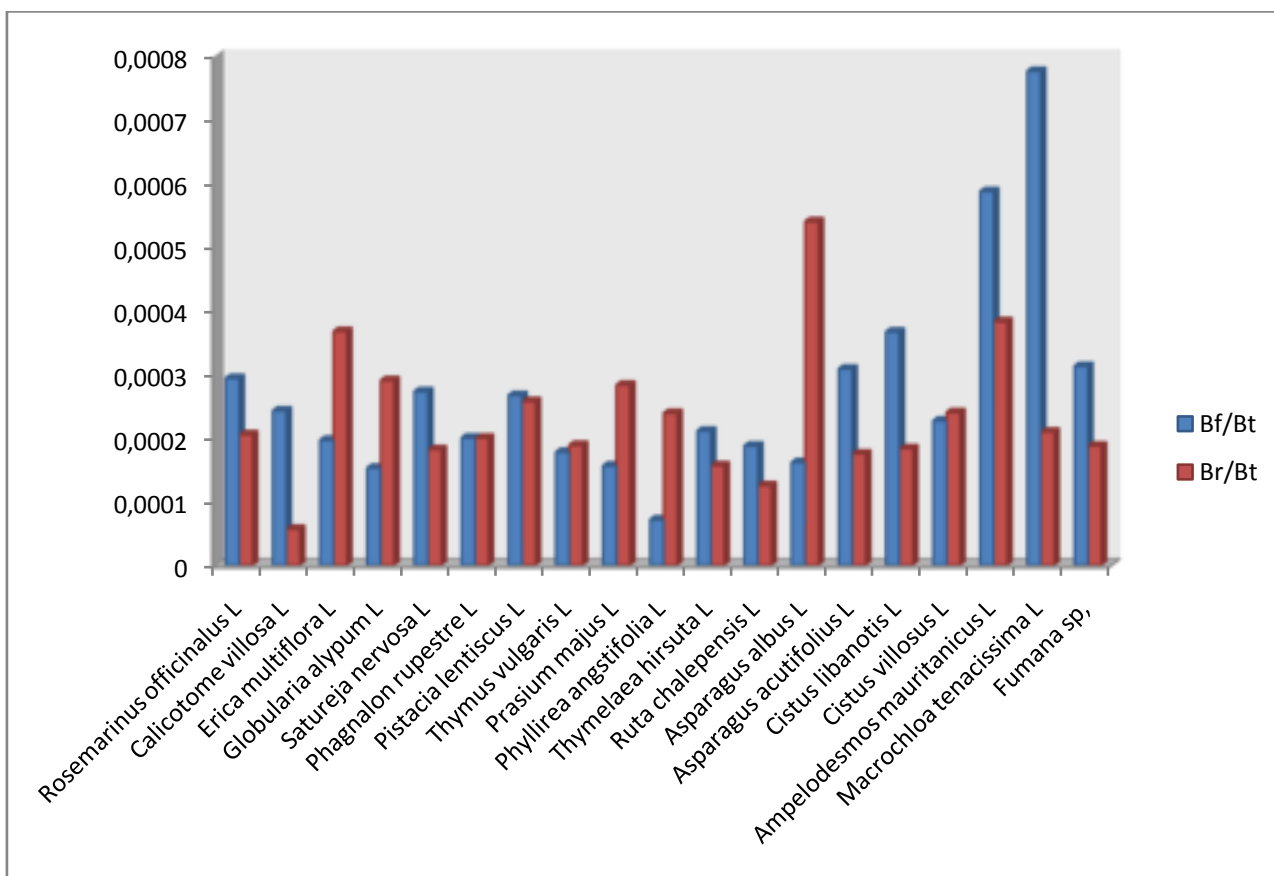


Figure 17 : Rapports biomasse photosynthétique sur biomasse totale (Bf/Bt) et phytomasse racinaire sur biomasse totale (Br/Bt) des espèces dominantes de la strate arbustive de la forêt de Sidi Amor.

4- La séquestration du Carbone du type arbustive

Le foret de Sidi Amor stock 2,509 t/ha de carbone et donc 9,209 t/ha de CO₂ séquestré dans la végétation arbustive, principalement dans les bois puis dans les feuilles. Presque la moitié ¼ de CO₂ a été séquestrée dans la partie racinaire des plantes.

Tableau 9 : Répartition de phytomasse, carbone et de CO₂ entre les différentes parties de la plante.

	Phytomasse aérienne	Total	Tige	Feuille	Racine
Phytomasse (t/ha)	3,786	5,019	2,418	1,320	1,233
Carbone	1,893	2,509	1,209	0,660	0,616
CO₂	6,947	9,209	4,437	2,423	2,263

Ces valeurs sont supérieures à celle estimées pour la forêt de Béni Ouelid (Chalbi et Mechergui, 2012), on note aussi que l'absorption totale du CO₂ par formation forestières en Tunisie en 1994 est dotée de 811600 tonne ce qui montre que la forêt de Sidi Amor absorbe plus que 0.001% de totalité de CO₂ absorbé dans toute le pays, cette pourcentage même si elle faible, elle donne une valeur très importante à cette forêt qui peut s'améliorer avec le temps.

Conclusion

En Tunisie, les écosystèmes forestiers jouent des rôles socio-économique et écologique très importants. Cependant, ces forêts s'amenuisent continuellement sous les effets de multiples facteurs de dégradation. Celle-ci se traduit par un déséquilibre de structure des peuplements. Dans la zone de Sidi Amor, une exploitation arbustive combinée à une agriculture non appropriée et une urbanisation intensive combinée à la pollution du sol ont provoqué la régression spatiale de la forêt. Ce type de destruction de couvert végétale se poursuit depuis plusieurs siècles mais s'est accéléré ces dernières décennies. C'est dans ce cadre que cette étude a été réalisée afin de contribuer à la conservation d'une forêt qui mérite un plus grand intérêt en regard sa proximité de la capitale de la Tunisie qui manque de plus en plus de zones vertes. Dans le but de coopérer avec le GDA (Groupement de développement Agricole) de Sidi Amor, nous avons effectué ce travail qui a estimé les ressources naturelles afin de mieux les conserver et les exploiter.

D'après les espèces végétales trouvées on peut constater que la forêt de Sidi Amor est une garrigue. C'est une formation végétale caractéristique des régions méditerranéennes, proche au maquis, caractérisé par ses sols calcaires. Le lieu est désert et solitaire mais d'une grande beauté avec une très belle vue sur la plaine et la mer au loin. Le GDA Sidi Amor est une association qui s'est donnée comme priorité de protéger l'environnement et de préserver et d'enrichir la biodiversité par le développement rural. La lutte contre l'érosion a été réalisée par des travaux de terrassement et de stabilisation des berges et des ravins. D'où l'estimation du carbone stocké est devenue également une nécessité pour valoriser cette forêt. En plus, cette forêt contient une variété intéressante du point de vue aromatique, médicinal, et même culinaire. Afin de contribuer aux efforts d'approfondir les connaissances sur la végétation arbustive des garrigues tunisiennes, notre travail a étudié la distribution spatiale et a évalué la richesse spécifique et le carbone stocké dans la forêt de pin d'Alep de Sidi Amor. 23 espèces arbustives dominantes ont été identifiées. Les résultats ont révélé une richesse spécifique faible avec une équité dans la distribution spatiale des espèces avec une dominance de *Globularia alypum L.* la couverture arbustive est moyenne et ne dépasse pas 59,67% de toute la surface occupée et une dégradation de leur couvert. Ainsi, la distribution spatiale de la strate arbustive montre une répartition non équitable de trouées (vides). En plus, le phytovolume moyen de toutes les espèces a été estimé à 2168,845 m³/ha. La strate arbustive de cette forêt produit 5,02 t/ha de biomasse et séquestre, par conséquent 9,209 t/ha de CO₂ dont la majeure partie est accumulée dans la phytomasse aérienne.

Finalement, il nous paraît fort intéressant de soulever le grand intérêt de ce projet de fin d'étude, qui met fin à notre formation. Cependant, un approfondissement de cette recherche préliminaire nous paraît évident. Une expérience professionnelle sera également intéressante pour notre formation.

Références

Bibliographiques

-
- 1) **Beudoin G (2003)** : La troisième voie de protocole de Kyôto : la séquestration du carbone, p5-13.
 - 2) **Blanco Oyonarte P., R. M. Navarro Cerrillo (2003)**: A boveground phytomass models for major species in shrub ecosystems of western Andalusia, p 47-55.
 - 3) **Bontemps J.D., Longuetaud F., Franceschini T., Charru M., Constant T. (2012)** : L'estimation de la biomasse et de la productivité forestières à l'épreuve des changements environnementaux, Innovations Agronomiques 18 (2012), p 39-52.
 - 4) **Campagna M., ing.f. M.Sc. (1996)** : Le cycle du carbone et la forêt : de la photosynthèse aux produits forestiers, p. 3,11-14.
 - 5) **Chalbi A., et Mechergui Y., (2012)** : Estimation de la richesse spécifique et de la séquestration du carbone dans la strate arbustive d'une séquence dégradée de la subéraie de Cap-Bon.
 - 6) **Chave J. et al., (2005)**: Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests.
 - 7) **Colin A., Derrière N.,(2005)** : La forêt française : un puits de carbone ? Son rôle dans la limitation des changements climatiques, Inventaire Forestier National.
 - 8) **Gader G., 2007** : L'étude prospective du secteur forestier en Afrique, Tunisie.
 - 9) **Giec, Changements climatiques 2001** : Rapport de synthèse. Résumé à l'intention des décideurs, 2001, 37 p.
 - 10) **GUYTA MERCIER, ing.f, (janvier 2009)** : La biomasse forestière.
 - 11) **Inventaire Forestier et Pastoral National de la Tunisie (IFPN), 2010.**
 - 12) **Jarvis, P.G., (1989)** : Atmospheric Carbon Dioxide and Forests + dans Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, vol. 324, p. 369-392.
 - 13) **Kramer P.J., (1981)** : Carbon Dioxide Concentration, Photosynthesis, and Dry Matter Production+ dans BioScience, vol. 31, p. 29-33.
 - 14) **Koichi Kaku et al. (2011)**: An Inconvenient Truth-Global Warming on Greenhouse Gas (GHG) Reduction under Kyoto Protocol Regime to Post Kyoto Protocol in ASIA, p 515-519.
 - 15) **La FAO, Les forêts et le changement climatique**, Œuvre avec les pays pour atténuer le changement climatique et s'adapter à ses effets grâce à la gestion durable des forêts.
 - 16) **Mme. Mette Løyche Wilkie, (2005)** : Evaluation des ressources forestières mondiale, Tunisie, Rapport national
 - 17) **Marcon E. et al., (2013)**: Mesure de la biodiversité, p29-31.

18) Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire - République tunisienne. Septembre 1999 : Inventaire des gaz à effet de serre en Tunisie - Année 1994.

19) Ministère de l'environnement et de l'aménagement du territoire octobre 2001 : Communication Initiale de la Tunisie à la Convention Cadre des Nations Unies sur les changements Climatiques, p30-56.

20) Nations unies / United nation UN (1998) : Protocole de Kyoto à la convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, p 23.

21) Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture FAO (2011) : Situation des forêts du monde 2011, p 3-7.

22) Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture FAO (2012) : Situation des forêts du monde 2012, p 9-22.

23) Pierre-Olivier Drège (2006) : Forêt et carbone.

24) Pignard (G.) et al., (2004) : Estimation des stocks et des flux de carbone dans la biomasse de forêts françaises à partir des données de l'Inventaire forestier national, Rapport final du projet Carbofor, 2004, p. 62-74.

25) Puget J., Blanche R., Salençon J., Carpentier A. (2010) : Le changement climatique, Institut de France, Académie des sciences, p. 2-14.

26) Ryan, G.M., (1991) : A Simple Method for Estimating Gross Carbon Budgets for Vegetation in Forest Ecosystems + dans Tree Physiology, 9 (1-2), p. 255-266.

27) S. Brown et al., (1996) FAO : Rôles actuel et futur des forêts dans le débat sur le changement climatique mondial. Revue internationale des forêts et des industries forestières - Vol. 47.

28) Sebeia H., Albouchib A., Rappc M., et El Aounid M.H. (2001) : Évaluation de la biomasse arborée et arbustive dans une séquence de dégradation de la suberaie à Cytise de Kroumirie (Tunisie), p 175–191.

29) Secrétariat de l'ozone Programme des Nations Unies pour l'environnement (UNEP) (2012) : Manuel du Protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone 9^{ème} Édition (2012), p4.

30) Stiti B., Mannai Y., Khaldi A., Henchi B. (2012): Richesse spécifique et distribution spatiale de la strate arbustive de la subéraie de Ain Snoussi, Tunisie, Integrated Protection in Oak Forests IOBC/wprs Bulletin Vol. 76, 2012 p. 9-16.

31) Woods Hole Research Center / Dr. Wayne Walker (2011) : Guide de Terrain pour l'Estimation de la Biomasse et le Carbone Forestier p7-11.

Sites internet :

<http://www.wikipedia.org>

<http://www.banquemondiale.org>

<http://web.worldbank.org>

<http://www.countryreports.org>

<http://www.futura-sciences.com>

<http://search-tags.com>

Annexe

Annexe 1 : Fiche du travail de terrain

Hauteur de la plante (h , m), le plus grand diamètre de la couronne (Φ_g , m), plus petit diamètre (Φ_p , m), diamètre de la base (Φ_b , m), la distance du point d'observation à l'arbuste le plus proche (d_i , m), le diamètre moyen de la couronne (Φ_m , m).

Parcelle	Transect	Unité	Espèce	d_i (m)	Φ_g (m)	Φ_p (m)	Φ_b (m)	h (m)	Forme

Annexe 2 : Distribution des espèces en fonction des parcelles.

Espèce	Placette 1	Placette 2	Placette 3	Placette 4	Placette 5	Placette 6	Placette 7	Placette 8	Total
<i>Rosemarinus officinalis L</i>	73	89	149	17	61	51	143	47	630
<i>Calicotome villosa L</i>	9	1	31	2	5	9	7	9	73
<i>Erica multiflora L</i>	18	0	14	21	0	0	0	0	53
<i>Globularia alypum L</i>	31	130	286	1	16	28	148	7	647
<i>Satureja nervosa L</i>	0	0	12	6	0	4	7	0	29
<i>Phagnalon rupestre L</i>	0	0	0	0	0	6	11	2	19
<i>Pistacia lentiscus L</i>	4	1	0	15	10	2	0	8	40
<i>Thymus vulgaris L</i>	5	2	11	11	14	58	26	3	130
<i>Prasium majus L</i>	6	2	0	2	16	8	4	15	53
<i>Phyllirea angustifolia L</i>	17	0	1	24	21	11	3	10	87
<i>Teucrium pseudo-chamaepitys L</i>	0	0	0	0	0	0	18	0	18
<i>Thymelaea hirsuta L</i>	0	0	3	1	0	5	0	0	9

<i>Ruta chalepensis L</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Asparagus albus L</i>	0	6	5	15	28	11	10	3	78
<i>Asparagus acutifolius L</i>	10	3	0	73	36	30	11	83	246
<i>Cistus libanotis L</i>	1	0	26	0	0	0	0	0	27
<i>Cistus villosus L</i>	0	0	0	0	8	7	0	3	18
<i>Cistus salviifolius L</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	2
<i>Ampelodesmos mauritanicus L</i>	7	1	1	9	7	2	76	16	119
<i>Macrochloa tenacissima L</i>	11	11	11	0	0	0	2	4	39
<i>Helianthemum sp.</i>	0	0	0	0	0	7	3	0	10
<i>Fumana leavipes L</i>	0	0	0	0	0	1	13	0	14
<i>Fumana thymifolia L</i>	0	22	137	1	12	20	23	0	215
Total	194	268	688	198	234	260	505	210	2557

Annexe 3 : Calcul des indices de richesse spécifique de la végétation de la forêt de Sidi Amor.

Avec p_i : abondance relative de l'espèce i (nombre total d'individus de l'espèce sur le nombre total N d'individus des différentes espèces présentes) ; \ln : log népérien.

Espèce	Effectif	Pi	Pi*100	Pi ²	ln pi	pi * ln pi
<i>Rosemarinus officinalus L</i>	630	23,38530067	0,233853007	546,8722873	-1,453062538	-0,339803043
<i>Calicotome villosa L</i>	73	2,709725316	0,027097253	7,342611286	-3,608322916	-0,09777564
<i>Erica multiflora L</i>	53	1,967334818	0,019673348	3,870406287	-3,928490443	-0,07728656
<i>Globularia alypum L</i>	647	24,01633259	0,240163326	576,7842311	-1,426436062	-0,342577629
<i>Satureja nervosa L</i>	29	1,076466221	0,010764662	1,158779525	-4,531486527	-0,048779922
<i>Phagnalon rupestre L</i>	19	0,705270973	0,00705271	0,497407145	-4,954343378	-0,034941546
<i>Pistacia lentiscus L</i>	40	1,484780995	0,01484781	2,204574603	-4,209902903	-0,062507838
<i>Thymus vulgaris L</i>	130	4,825538233	0,048255382	23,28581924	-3,031247907	-0,146274027
<i>Prasium majus L</i>	53	1,967334818	0,019673348	3,870406287	-3,928490443	-0,07728656

<i>Phyllirea angustifolia L</i>	87	3,229398664	0,032293987	10,42901573	-3,432874238	-0,110861195
<i>Teucrium pseudo-chamaepitys L</i>	18	0,668151448	0,006681514	0,446426357	-5,008410599	-0,033463768
<i>Thymelaea hirsuta L</i>	9	0,334075724	0,003340757	0,111606589	-5,70155778	-0,01904752
<i>Ruta chalepensis L</i>	1	0,037119525	0,000371195	0,001377859	-7,898782357	-0,00293199
<i>Asparagus albus L</i>	78	2,89532294	0,028953229	8,382894926	-3,54207353	-0,102554467
<i>Asparagus acutifolius L</i>	246	9,131403118	0,091314031	83,3825229	-2,393450821	-0,218555643
<i>Cistus libanotis L</i>	27	1,002227171	0,010022272	1,004459303	-4,602945491	-0,04613197
<i>Cistus villosus L</i>	18	0,668151448	0,006681514	0,446426357	-5,008410599	-0,033463768
<i>Cistus salviifolius L</i>	2	0,07423905	0,00074239	0,005511437	-7,205635176	-0,005349395
<i>Ampelodesmos mauritanicus L</i>	119	4,41722346	0,044172235	19,51186309	-3,119658864	-0,137802303
<i>Macrochloa tenacissima L</i>	39	1,44766147	0,014476615	2,095723732	-4,235220711	-0,061311658
<i>Helianthemum sp.</i>	10	0,371195249	0,003711952	0,137785913	-5,596197264	-0,020772818
<i>Fumana leavipes L</i>	14	0,519673348	0,005196733	0,270060389	-5,259725027	-0,027333389
<i>Fumana thymifolia L</i>	215	7,980697847	0,079806978	63,69153813	-2,528144329	-0,20176356
Total	2694	94,91462509	0,949146251	1355,803736	-96,6048699	-2,248576211

Annexe 4 : Répartition des biomasses moyennes suivant les compartiments de la plante.

Avec : **Bf** : Biomasse des feuilles, **Bt** : Biomasse total, **Br** : Biomasse des racines.

Espèce	Bf	Br	Bt	Bf/Bt	Br/Bt
<i>Rosemarinus officinalis L</i>	0,292	0,204	0,995	0,2934673	0,2050251
<i>Calicotome villosa L</i>	0,107	0,025	0,441	0,2426304	0,0566893
<i>Erica multiflora L</i>	0,275	0,514	1,4	0,1964286	0,3671429
<i>Globularia alypum L</i>	0,02	0,038	0,131	0,1526718	0,2900763
<i>Satureja nervosa L</i>	0,003	0,002	0,011	0,2727273	0,1818182
<i>Phagnalon rupestre L</i>	0,002	0,002	0,01	0,2	0,2

<i>Pistacia lentiscus L</i>	1,231	1,187	4,615	0,2667389	0,2572048
<i>Thymus vulgaris L</i>	0,128	0,136	0,721	0,1775312	0,1886269
<i>Prasium majus L</i>	0,032	0,058	0,205	0,1560976	0,2829268
<i>Phyllirea angustifolia L</i>	0,17	0,567	2,376	0,0715488	0,2386364
<i>Thymelaea hirsuta L</i>	0,035	0,026	0,166	0,2108434	0,1566265
<i>Ruta chalepensis L</i>	0,009	0,006	0,048	0,1875	0,125
<i>Asparagus albus L</i>	0,123	0,411	0,762	0,1614173	0,5393701
<i>Asparagus acutifolius L</i>	0,037	0,021	0,12	0,3083333	0,175
<i>Cistus libanotis L</i>	0,026	0,013	0,071	0,3661972	0,1830986
<i>Cistus villosus L</i>	0,017	0,018	0,075	0,2266667	0,24
<i>Ampelodesmos mauritanicus L</i>	0,359	0,234	0,612	0,5866013	0,3823529
<i>Macrochloa tenacissima L</i>	0,964	0,26	1,243	0,775543	0,2091714
<i>Fumana sp,</i>	0,005	0,003	0,016	0,3125	0,1875
Moyenne				0,271866	0,2350666