

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Université Abdelhamid Ibn
Badis-Mostaganem
Faculté des Sciences de la
Nature et de la Vie



جامعة عبد الحميد بن باديس
مستغانم
كلية علوم الطبيعة و الحياة

DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

M^{elle} HADJKADDOUR Atika

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN AGRONOMIE

Spécialité : GESTION DURABLE DE L'ENVIRONNEMENT

THÈME

***Evaluation du Volume de la Biomasse Aérienne
de l'Olivier -cas des oliveraies de Sig de la
Wilaya de Mascara***

Soutenu publiquement le 04 Octobre 2016

DEVANT LE JURY

| | | | |
|-----------|--------------------|------|--------------------------|
| Président | BENKHELIFA Mohamed | Pr. | Université de Mostaganem |
| Encadreur | ATTOU Sahnoun | MC B | Université de Mostaganem |
| Examineur | LARID Mohamed | Pr. | Université de Mostaganem |

Thème réalisé au niveau de la ferme pilote El Boustane dans la région de Sig wilaya de Mascara
Année universitaire 2015 / 2016

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

*A ma mère Belbkri Houaria qui a, par sa présence seule, apaisé mon cœur et
donné le gout de vivre.*

*A mon père Hadjkaddour Mammar qui est à la fois mon idole et ma sécurité ;
jamais je saurai ce que j'aurai été sans lui.*

*A mes très chères sœurs, Amaria et Nour elyakine, qui ont fait de moi ce que je suis
aujourd'hui et leur adorables et chères filles
Hind et Ritadj.*

*Je dédie également ce travail tout spécialement aux plus chères personnes à ma vie
qui étaient toujours présentes pour moi
Saliha, Hadjer.*

*A toute la famille Hadjkaddour et Belbkri et à tous mes chers amis Tita, Racha,
Wassilla, Chafika, Hafida, Zohra, Ouafaa, Djawhar,
Asma, Saadia, Aicha, Imene, Fatima et Noura.*

A tous les étudiants du Master G. D. E.

*Enfin, à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation
de ce travail.*

Remerciements

Il n'est pas aisé de trouver des mots justes et sincères pour exprimer mes chaleureux et vifs remerciements à tous ceux qui m'ont, de près ou de loin, aidé à réaliser ce travail :

Monsieur BENKHELIFA Mohammed, Professeur à l'Université de Mostaganem de l'honneur et le plaisir qu'il me fait d'avoir accepté de présider le jury de soutenance malgré ses multiples occupations. Je lui exprime ma gratitude et mes respects.

Une pensée particulière pour le Docteur ATTOU Sahnoun qui a bien voulu suivre et diriger ce travail avec ses conseils précieux et surtout sa patience et ses critiques fructueuses. Je lui dois ma plus sincère reconnaissance et respect.

Monsieur LARID Mohammed, Professeur à l'Université de Mostaganem de l'honneur qu'il m'a fait en acceptant d'examiner ce travail. Je lui exprime ma profonde gratitude.

Par ailleurs, il est important de signaler que la réalisation de ce mémoire n'a été possible que grâce au concours de plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner toute ma reconnaissance :

Je voudrais adresser toute ma gratitude à Monsieur BENELHADJ DJELLOUL Bouziane directeur général de la ferme pour sa gentillesse, sa compréhension, son patriotisme et judicieux conseils tout en nous facilitant avec philosophie l'accès à cette entreprise. Je lui dois un grand respect et ma gratitude.

Je remercie également Monsieur MOSBAH Djamel, technicien avéré de l'olivier et chef de département technique, pour sa disponibilité permanente et pour ses multitudes conseils. Qu'il soit assuré de ma sincère gratitude.

Mes remerciements aussi pour Mme BELMEKKI Khadidja chef département comptabilité de la S.P.A El Boustane pour le soutien moral qu'elle m'a prodigué pendant mon stage.

Tous les travailleurs de la ferme pilote El Boustane sont également remerciés.

Enfin, mes remerciements vont droit à l'ensemble du corps enseignant du département des sciences agronomiques.

Liste des abréviations

APS : Algérie Presse Services

B : Biomasse (t/ha)

B1 : Branche primaire

B2 : Branche secondaire

C IFN: Masse de carbone pour l'espèce et la placette considérée

COI : Officielle du Conseil Oléicole International

CE : Carbone Emmagasiné

Ch1 : Charpente Primaire

Ch2 : Charpente Secondaire

CH4: Methane

CITES: Convention on International Trade in Endangered Species

CO₂ : Dioxyde de carbone

D : Diamètre

d0: Diamètre à la base

DBH: Diameter at Breast Height (Diamètre à hauteur de poitrine)

Den : Densité du bois

Df : Diamètre au sommet.

DHP : Diamètre à H auteure de Poitrine

Dm : Diamètre à mi-longueur

FAO: Food and Agriculture Organisation (Organisation pour l'alimentation et l'agriculture)

FC : Fraction de carbone

FEB : Facteur d'Expansion des Branches

FER : Facteur d'Expansion des Racines

GES : Gaz à Effet de Serre

IFN : Inventaire Forestier National

IPCC : Intergouvernemental Panel on Climat Change

ITAFV : Institut Technique d'Arboriculture Fruitière et Vigne

IUCN: International Union for Conservation of Nature and Natural Ressources (Union Internationale de Conservation de la Nature et des Ressources Naturelles)

IUFRO: International Union of Forest Research Organizations

MA : Ministère de l'Agriculture

MDP : Mécanisme pour un Développement Propre

MINFEF : Ministère des Forêts et de la Faune

N₂O : Protoxyde d'Azote

ONG: Organisation Non Gouvernementale

R: Rayon

UNDP: United Nations of Developpement Programme (Programme de développement des Nations Unies)

V: Volume,

| | |
|------------------------------|----------|
| Sommaire | |
| Liste des tableaux | |
| Liste des figures | |
| Liste d'abréviation | |
| Introduction générale | 4 |

4

Première partie : Synthèse bibliographique

Chapitre 1 : Situation de l'oléiculture en Algérie

| | | |
|---------------|---|-----------|
| 1. | Importance de l'olivier dans le monde | 6 |
| 1.1. | Superficies oléicoles dans le monde | 6 |
| 1.2. | Production mondiale d'huile d'olives | 7 |
| 2. | Importance de l'olivier en Algérie | 8 |
| 2.1. | Principales caractéristiques de l'oléiculture en Algérie | 9 |
| 2.2. | Localisation des zones de culture | 9 |
| 2.3. | Progression des plantations oléicoles en Algérie | 9 |
| 2.4. | Densités des plantations | 10 |
| 2.4.1. | Oliveraie dite moderne | 10 |
| 2.4.2. | Oliveraie dite traditionnelle | 11 |
| 2.5. | Age des plantations | 11 |
| 2.6. | Diversité variétale | 11 |
| 2.7. | Pratiques culturales | 11 |
| 4. | Production oléicole nationale | 12 |
| 4.1. | Superficies, production et rendement | 12 |

| | | |
|--------|---|-----------|
| 4.2. | Consommation de l'huile d'olives | 13 |
| 5. | Production de d'huile d'olive | 13 |
| 5.1. | Production mondiale d'huile d'olive | 13 |
| 5.2. | Production de d'huile d'olive en Algérie | 13 |
| | Chapitre 2 : Notions de réchauffement climatique | |
| 1. | Réchauffement climatique | 15 |
| 2. | Relation entre le réchauffement climatique et les gaz à effet de serre | 15 |
| | Chapitre 3 : Notions sur les puits de carbone (Captation du carbone) | |
| 1. | Connaissance du concept «Puits de carbone» | 21 |
| 2. | Puits de carbone naturels et gérés | 22 |
| 3. | Débats et critiques sur les puits | 23 |
| 3.1. | Contribution des puits au contrôle du changement climatique | 23 |
| 3.2. | Controverses scientifiques sur les puits de carbone | 23 |
| 3.3. | Effets des puits sur le développement durable | 23 |
| | Chapitre 4: Méthodes d'évaluation du volume d'un arbre | |
| 1. | Définition du volume d'un arbre | 26 |
| 2. | Compositions physiques d'un arbre | 26 |
| 3. | Estimations de volume | 27 |
| 3.1.a. | Volume | 27 |

| | | |
|----------|--|----|
| 3.1.b. | Instruments de mesure usuels | 29 |
| 3.1.b.1 | Mesure de grosseur | 29 |
| 3.1.b.2. | Remarques générales relatives à la mesure de grosseur | 30 |
| 3.1.b.3. | Mesure de hauteur et/ou longueur | 32 |
| 3.1.b.4. | Remarques générales relatives à la mesure de hauteur | 32 |
| 3.2. | Méthodes d'estimation directe du volume | 32 |
| 3.2.1 | Arbres abattus | 32 |
| 3.2.2. | Arbres sur pied | 33 |
| 3.2.3. | Choix du type de formule | 33 |
| 3.2.4. | Détermination du volume exact d'un arbre | 35 |
| 3.3. | Méthode d'estimation indirecte du volume: Tarifs de cubage et équations associées | 35 |
| 3.3.1. | Choix du type d'équation | 36 |
| 3.4. | Remarques générales concernant les estimations de volume | 37 |
| 3.4.1. | Importance de l'écorce | 37 |
| 3.4.2. | Détermination du volume des branches | 38 |
| | Chapitre 5 : Méthodes de détermination de la quantité de carbone dans une plante | |
| 1. | Notions de séquestration du carbone par les plantes | 39 |
| 2. | Stocks de carbone dans les écosystèmes forestiers difficiles à quantifier | 40 |
| 2.1. | Calculer le volume des troncs | 41 |

| | | |
|------|---|----|
| 2.2. | Évaluation des stocks de carbone dans les arbres | 41 |
| 2.3. | Estimation du carbone dans les sols | 42 |
| 2.4. | Évaluation de carbone dans le bois mort | 42 |
| 2.5. | Estimation du carbone de la végétation du sous-bois | 42 |
| 2.6. | Détermination de la surface forestière | 42 |
| 2.7. | Améliorer la connaissance | 43 |
| 3. | Méthodes pour le calcul des stocks de C dans la biomasse des arbres | 43 |
| 3.1. | Autre méthode de calcul de la C | 44 |

Deuxième partie : Expérimentation

Chapitre 1 : Matériels et Méthodes

| | | |
|------|---|----|
| 1. | Objectifs | 45 |
| 2. | Localisation de la région d'étude et zonage | 45 |
| 2.1. | Localisation de la région d'étude et de la ferme <i>El boustane</i> | 45 |
| 3. | Matériels utilisés | 48 |
| 4. | Méthodes | 49 |
| 4.1. | Méthode de zonage, de dénombrement des arbres et calcul de superficie | 50 |
| 4.2. | Méthode de mensurations directes sur l'olivier | 52 |
| 4.3. | Méthode d'évaluation du volume de la biomasse de bois d'un olivier | 54 |
| 4.4. | Méthode d'évaluation du poids total des petites branches, des | 55 |

| | | |
|-------------|--|-----------|
| | rameaux, des ramilles et des feuilles d'un olivier | |
| 4.5. | Méthode d'évaluation du volume total des petites branches, des rameaux, des ramilles et des feuilles d'un olivier | 57 |
| 4.6. | Méthode d'évaluation de la surface foliaire d'un olivier | 58 |
| 4.7 | | 59 |
| | Calculs statistiques | |
| | Chapitre 2 : résultats et discussions | |
| 1. | Evolution des plantations d'oliveraies entre 2005 et 2015 | 60 |
| 2. | Superficies et effectifs d'oliviers et densité par hectare selon les différentes zones | 62 |
| 3. | Paramètres de mensuration des oliviers | 68 |
| 4. | Evaluation du volume de la biomasse aérienne des oliveraies de la ferme pilote Elboustane | 70 |
| 5. | Evaluation de la masse et de la surface foliaire des oliviers | 72 |
| | Conclusion | 73 |
| | Référence bibliographique | 74 |

Liste des Figures

Les figures

| | <i>Page</i> |
|--|-------------|
| Figure 1: Evolution des concentrations atmosphériques globales de trois gaz à effet de serre (IPCC, 2007a) | 16 |
| Figure 2: Emissions globales de GES anthropiques en 2004 (IPCC, 2007b) | 16 |
| Figure 3: Relation entre la concentration de GES (CO ₂ et CH ₄) et la température de la terre depuis le passé (Hansen and Sato, 2004) | 17 |
| Figure 4: Le cycle global du carbone (2000-2006), focus sur l'Agriculture, la Foresterie et les Autres Gestion des Terres (Canadell et al, 2007; IPCC, 2007) | 18 |
| Figure 5: Emissions de GES par secteur en 2004 (IPCC, 2007b) | 19 |
| Figure 6: Cycle du C au niveau de la parcelle d'un écosystème forestier (adapté à partir de Malhi et al., 1999 et IPCC, 2007) | 20 |
| Figure 7: Flux de carbone entre l'atmosphère continentale pour la période 1989-1998 (d'après Watson et al, 2000) | 21 |
| Figure 8: Modèle simple des stocks et flux de carbone dans une forêt plantée (Watson et al., 2000) | 22 |
| Figure 9: Visualisation des différents volumes et niveaux de mesure du sol à première grosse branche (Rondeuw et Bourland, 2010) | 29 |
| Figure 10: Localisation géographique de la région concernée par l'étude | 46 |
| Figure 11: Zonage de la région de l'étude (Google Earth 2016) | 46 |
| Figure 12: Présentation et localisation de la ferme <i>El boustane</i> | 47 |
| Figure 13: Présentation de la ferme <i>El boustane</i> avec les différentes | 49 |
| Figure 14a: Délimitation de la zone 1 | 50 |
| Figure 14b: Délimitation de la zone 2 | 50 |
| Figure 14c: Délimitation de la zone 3 | 51 |
| Figure 14d: Délimitation de la zone 4 | 51 |
| Figure 14e: Délimitation de la zone 5 | 51 |
| Figure 14f: Délimitation de la zone 6 | 52 |
| Figure 15: Structure globale d'olivier | 53 |
| Figure 16: Exemples de mensurations directes sur l'olivier | 53 |
| Figure 17: Schéma explicatif de la forme et les mesures effectuées sur un olivier | 54 |
| Figure 18: Forme d'un cône de révolution | 55 |
| Figure 19: Présentation de la partie (1/4) du houppier concernée par la coupe des petites branches, des rameaux et des ramilles | 56 |
| Figure 20: Présentation d'un olivier avant, durant et après l'émondage des petites branches, des rameaux et des ramilles d'1/4 du houppier | 56 |
| Figure 21: Opération de séparation des feuilles et leur pesée | 57 |

| | |
|--|----|
| Figure 22: Schéma illustrant la détermination du volume des feuilles | 57 |
| Figure 23: Pesées de l'échantillon de feuilles et des croquis de ces dernières après dessin sur papier cartonné | 58 |
| Figure 24 : Délimitation et répartition globale des parcelles d'oliveraies des six zones en 2015 (Selon logiciel Google Earth Pro) | 60 |
| Figure 25 : Position et délimitation des parcelles d'oliveraies nouvellement implantées et arrachées entre 2005 et 2015 (Google Earth Pro) | 61 |
| Figure 26 : Délimitation des parcelles d'oliveraies de SIG pour la Zone 1 (<i>Google Earth Pro</i>) | 62 |
| Figure 27 : Délimitation des parcelles d'oliveraies de SIG pour la Zone 2 (<i>Google Earth Pro</i>) | 63 |
| Figure 28 : Délimitation des parcelles d'oliveraies de SIG pour la Zone 3 (<i>Google Earth Pro</i>) | 64 |
| Figure 29 : Délimitation des parcelles d'oliveraies de SIG pour la Zone 4 (<i>Google Earth Pro</i>) | 65 |
| Figure 30 : Délimitation des parcelles d'oliveraies de SIG pour la Zone 5 (<i>Google Earth Pro</i>) | 66 |
| Figure 31 : Délimitation des parcelles d'oliveraies de SIG pour la Zone 6 (<i>Google Earth Pro</i>) | 67 |

Liste des tableaux

Les tableaux

| | <i>Page</i> |
|---|-------------|
| Tableau 1 : Superficies oléicoles cultivées durant l'année 2003 (F.A.O., 2003) | 6 |
| Tableau 2 : Production oléicole par pays en 2003 (FAO, 2003) | 8 |
| Tableau 3 : Superficies, production oléicole et rendements en Algérie (M.A, 2005) | 12 |
| Tableau 4 : Convention de mesures (Rondeuw et Bourland, 2010) | 28 |
| Tableau 5 : Equations de cubage traditionnelles, v=volume, h=longueur, d0=diamètre à la base, dm=diamètre à mi-longueur et df=diamètre au sommet | 34 |
| Tableau 6 : Répartition du périmètre de la ferme El boustane, age approximatif des oliveraies et périodes approximatives des dernières récolte et taille (année de plantation) | 48 |
| Tableau 7 : Liste des différents matériels et outils utilisés pour les mesures sur l'olivier | 49 |
| Tableau 8 : Nombre de parcelles nouvellement plantées ou arrachées entre 2005 et 2015 | 61 |
| Tableau 9 : Nombre, superficie des parcelles et effectifs d'oliviers dans la zone 1 | 62 |
| Tableau 10: Nombre, superficie des parcelles et effectifs d'oliviers dans la zone 2 | 63 |
| Tableau 11: Nombre, superficie des parcelles et effectifs d'oliviers dans la zone 3 | 64 |
| Tableau 12: Nombre, superficie des parcelles et effectifs d'oliviers dans la zone 4 | 65 |
| Tableau 13: Nombre, superficie des parcelles et effectifs d'oliviers dans la zone 5 | 66 |
| Tableau 14: Nombre, superficie des parcelles et effectifs d'oliviers dans la zone 6 | 67 |
| Tableau 15: Estimation du nombre total d'oliviers dans la région de SIG en 2015-2016 | 68 |
| Tableau 16: Détermination des paramètres de mensuration des oliviers des 5 parcelles de la ferme pilote Elboustane | 69 |
| Tableau 17: Evaluation du volume de la biomasse aérienne des oliviers de 5 parcelles de la ferme pilote Elboustane | 71 |
| Tableau 18: Evaluation du volume global de la biomasse aérienne pour l'olivier entier | 71 |
| Tableau 19: Evaluation de la masse et de la surface foliaire des oliviers des 5 parcelles de la ferme pilote Elboustane | 72 |

Résumé

Pour l'environnement, l'arbre constitue un élément essentiel et vital pour le maintien de l'équilibre écologique planétaire. Parmi ses nombreuses fonctions, il possède une grande capacité de stockage de biomasse végétale dans ses différentes parties telles que les sous feuilles, les charpentes, les branches, les rameaux, les ramilles et les racines. Ainsi et par sa capacité d'absorption du CO₂ atmosphérique, il constitue une réserve ou un puits considérable de carbone. Par conséquent, il contribue d'une certaine manière à jouer un rôle tampon pour le maintien de l'équilibre des gaz à effet de serre responsables du réchauffement climatique planétaire.

Parmi les arbres, l'olivier qui est bien représenté dans plusieurs régions de l'Algérie telle que SIG (wilaya de Mascara) a été choisi dans cette étude afin d'évaluer l'importance de sa biomasse.

Les méthodes de zonage et de mensurations directes sur l'olivier ont permis les résultats suivants :

Pour faciliter le comptage des arbres, des parcelles et la détermination des superficies de ces dernières, un découpage de la région a permis de délimiter 6 zones d'études.

Entre 2005 et 2015, une augmentation d'environ 11% du nombre de parcelle est à signaler pour toute la région, soit l'équivalent de 561.4 ha, 101 parcelles et 44970 nouveaux oliviers. Ce qui s'est traduit par un nombre global de 915 parcelles et 444628 oliviers pour l'ensemble de la région en 2016.

Par ailleurs, le volume de la biomasse aérienne pour seulement 50 oliviers mesurés est estimé à environ 6187018 m³ de matière végétale fraîche.

Enfin, une surface foliaire de 8340.51m² pour seulement 4 oliviers mesurés.

Mots clés : Biomasse végétale, olivier, superficie, surface foliaire, volume végétal.

بيئة، العنصر الاساسي و الحيوي للحفاظ على التوازن . ومن بين العديد من وظائفها لديها قدرة استيعاب كبيرة لتخزين الكتلة الحيوية في مناطق مختلفة مثل الأوراق، الهياكل، و قدرتها على امتصاص ثاني اوكسيد الكربون من الغلاف الجوي. هي بالوعة كبيرة للكربون. فانها تساهم بطرق مختلفة في لعب دور عازلة من اجل الحفاظ على توازن الغازات الدفيئة المسؤولة عن ارتفاع درجة حرارة الارض. من بين هذه شجر الزيتون الموجودة بشكل في العديد من مناطق الجزائر مثل منطقة سيق (ولاية معسكر) التي اختيرت في هذه الدراسة لتقييم اهمية الكتلة الحيوية. وقد سمحت طرق تقسيم المناطق و القياسات المباشرة على شجرة الزيتون صل الى النتائج التالية:

و تحديد مساحات هذه الاخيرة يجب تقسيم المنطقة الى 6

بين 2005 2015 ، يوجد ارتفاع حوالي 11 % ، أي مايعادل 561.4 هكتار، 101 44970 شجرة جديدة، ما ترجم على انه العدد الاجمالي من 915 444628 شجرة زيتون في المنطقة باسرها خلال عام 2016 .

تشير التقديرات الى ان حجم الكتلة الحيوية فوق الارض من اجل 50 شجرة زيتون تم قياسها الى 6187018³ ية الطازجة.

و اخيرا، 8340.51² 4 اشجار زيتون تم قياسها.

المفاتيح : الكتلة الحيوية، شجرة الزيتون،

Abstract

For the environment, the tree is an essential and vital to maintaining the global ecological balance. Among its many functions, it has a large plant biomass storage capacity in its various parts, such as under leaves, structures, branches, twigs, twigs and roots. And thus its absorption capacity of atmospheric CO₂, it constitutes a reservation or a considerable carbon sink. Therefore, it contributes in some way to play a buffer role in maintaining the balance of greenhouse gases responsible for global warming.

Among the trees, the olive tree which is well represented in several regions of Algeria as GIS (Wilaya of Mascara) was chosen in this study to assess the importance of biomass.

The methods of zoning and direct measurements on the olive tree have allowed the following results:

To facilitate counting tree plots and the determination of areas of recent, a division of the region delineated six study areas.

Between 2005 and 2015, an increase of approximately 11% in the number of land is to report to the whole region, the equivalent of 561.4 ha, 101 parcelles and 44,970 new trees. What translate as an overall number of 915 plots and 444 628 olive trees for the entire region in 2016.

Moreover, the volume of aboveground biomass measured for only 50 olive trees is estimated at about 6,187,018 m³ of fresh plant material.

Finally, leaf area 8340.51m² for only 4 olives measured.

Keywords: Biomass plant, olive, size, leaf area, plant volume

Introduction

Le climat mondial se modifie de jour en jour en raison de la variabilité naturelle et des causes anthropiques. Ce constat nous amène à comprendre les modifications de la composition de l'atmosphère, les cycles hydrologiques, les apports solaires ainsi que les modifications du cycle biogéochimique du carbone, sachant qu'un hectare de forêt peut séquestrer jusqu'à 2 à 5 tonnes de carbone par an (*Negi et al. 2003*). Le changement global affecte la composition de l'atmosphère, l'utilisation des terres et plus particulièrement le climat (*Mooney et al. 1999*). La dégradation de l'environnement en termes d'émission de gaz à effet de serre, particulièrement le dioxyde de carbone, l'amincissement de la couche d'ozone, la dégradation des terres, la rareté de l'eau, la déforestation et d'autres calamités sont considérés comme une menace pour la survie de l'humanité toute entière (*Alamgir et al. 2008*). En effet, le CO₂ est un gaz qui permet à la terre de bénéficier d'un effet de serre naturel indispensable à la vie, puisqu'il maintient la température moyenne

terrestre à 15°C au lieu de -18°C. Par ailleurs, l'augmentation de sa concentration a une influence négative directe sur l'efficacité de cet effet de serre et induit le réchauffement de la planète.

Par opposition à une source, un puits de carbone se définit comme un réservoir de carbone (un océan ou un écosystème par exemple) qui, pendant une période donnée, absorbe globalement plus de carbone qu'il n'en rejette. Les deux grandeurs physiques associées sont les stocks, qui caractérisent les réservoirs et les flux de carbone. Les puits sont définis par des stocks croissants ou des flux positifs de l'atmosphère vers la biosphère. À propos des écosystèmes continentaux, le terme de puits de carbone peut caractériser un objet physique à des échelles différentes, depuis la parcelle forestière ou agricole jusqu'à la biosphère globale. Par exemple et selon (*Watson et al. 2000*), à l'échelle mondiale, la biosphère terrestre constitue actuellement un puits de carbone qui absorbe chaque année environ 2,3 milliards de tonnes de carbone.

L'olivier, *Olea europea L*, est une espèce très cultivée en méditerranée, il est utilisé en gastronomie ; mais également pour l'éclairage, en cosmétique et en thérapie...etc. L'oléiculture s'est répandue avec l'envahissement de la civilisation phénicienne et romaine, presque dans tout le bassin méditerranéen pour être enfin un symbole de la méditerranée.

On le trouve également en Amérique du Nord et du Sud, en Chine, en Australie, avec un pourcentage ne dépassant pas les 3% de l'oléiculture mondiale (*FAO, 2005*).

Comme les autres pays méditerranéens, l'Algérie a sa part des oliviers avec une superficie de 226337 ha, ce qui présente un nombre de 24.000.000 arbres (*M.A, 2005*). Du fait de son adaptation à tous les étages bioclimatiques, l'olivier est présent un peu partout dans le territoire national.

La culture de l'olivier peut avoir des impacts positifs sur l'environnement (air, eau, et sol), à savoir la contribution à l'oxygénation de l'air, l'augmentation des infiltrations de l'eau et la conservation de la fertilité du sol et lutte contre l'érosion. Un autre effet, sans doute bénéfique pour l'environnement, pourra avoir l'olivier quand est cultivé sur de grandes superficies telle que la plaine de Habra (Sig) ou il occupe une place prépondérante dans l'agriculture. Cet effet consiste à absorber partiellement et continuellement le CO₂ atmosphérique. Et c'est dans ce contexte que va se situer ce travail qui consiste à évaluer, en une première étape, l'importance de la biomasse végétale globale que représente l'ensemble de la région de SIG.

Première partie : Synthèse bibliographique

Chapitre 1 : Situation de l'oléiculture en Algérie

1. Importance de l'olivier dans le monde

L'olivier a été utilisé depuis l'antiquité pour la production d'olives de table et d'huiles d'olive. L'oléiculture est concentrée dans la région méditerranéenne; avec 98% des oliviers assurant 90% de la production mondiale d'huile d'olives. Selon *C.O.I. (2005)*, le patrimoine oléicole mondial est évalué à 900 millions d'arbres avec des densités variant entre 17 à 400 arbres/ha.

1.1. Superficies oléicoles dans le monde

La culture de l'olivier occupe dans le monde une superficie de $8.6 \cdot 10^6$ d'hectares en 2003 pour une production de $17.3 \cdot 10^6$ de tonnes d'olives. Les principaux pays producteurs sont énumérés dans le *tableau 1* parmi lesquels se trouvent l'Espagne, l'Italie, la Grèce et la Turquie qui représentent à elles seules 80% de la production mondiale d'olives. Les pays producteurs sont situés particulièrement dans la zone méditerranéenne (*F.A.O., 2003*).

Tableau 01 : Superficies oléicoles cultivées durant l'année 2003 (*F.A.O., 2003*)

| Pays | Superficies cultivées (ha) | Pourcentage (%) |
|----------|----------------------------|-----------------|
| Espagne | 2 400 000 | 27.91 |
| Italie | 1 140 685 | 13.26 |
| Grèce | 765 000 | 8.89 |
| Turquie | 594 000 | 6.90 |
| Tunisie | 1 500 000 | 17.44 |
| Maroc | 550 000 | 6.39 |
| Egypte | 49 888 | 0.58 |
| Algérie | 178 000 | 2.07 |
| Portugal | 430 000 | 5.00 |
| France | 17 000 | 0.19 |
| Monde | 8 597 064 | - |

1.2. Production mondiale d'huile d'olives

La production mondiale d'huile d'olives se concentre principalement dans les pays du pourtour méditerranéen, à savoir l'Espagne, l'Italie, la Grèce, la Turquie, la Syrie, la Tunisie et le Maroc (*Tableau 2*). Selon *C.O.I. (2005)*, la production de ces pays représente 94% de la production mondiale. La moyenne de cette dernière au cours de la période 2000/2001-2004/2005 a été de 2763100 tonnes.

Par ailleurs, des fluctuations considérables ont marqué la production mondiale oléicole. Ces dernières sont liées aux aléas climatiques tels que la sécheresse (l'Espagne durant la campagne 1995/1996), les gels (la Grèce durant la campagne 2001/2002) et l'alternance biologique qui est l'une des caractéristiques de l'olivier qui fait que les années de forte récolte sont généralement suivies de productions plus faibles (*C.O.I., 2005*).

D'après le tableau 2, l'Espagne est le premier pays producteur mondial d'huile d'olives, ce pays avec ses 2 millions d'hectares d'oliviers assure plus de 35% de la production mondiale. La production espagnole atteint le 6160100 tonnes en 2003 (*F.A.O., 2003*).

L'Italie vient en seconde position avec 18% de la production mondiale, la Grèce, la Turquie, et la Syrie représentent respectivement 13%, 10%, 5% de la production mondiale. Les autres pays représentent un pourcentage qui varie entre 0,12% et 2% de la production mondiale.

La production mondiale d'huile d'olives au cours des campagnes 2000/2001 et 2004/2005 a été en moyenne de 2763100 tonnes avec une nette augmentation par rapport aux années 1990 ; (la moyenne des années 1990/1991-1999/2000) est de 2071320 tonnes soit une augmentation de plus de 33%. L'augmentation annuelle de la production d'huile d'olives au cours des années 1990/1991-2003/2004, été de 4.5% (*FAO, 2003*).

Tableau 02 : Production oléicole par pays en 2003 (FAO, 2003)

| | Production (tonnes) | % | Rendement (qx /ha) |
|-----------------|----------------------------|----------|---------------------------|
| Espagne | 6 160 100 | 35.57 | 25.7 |
| Italie | 3 149 830 | 18.18 | 27.6 |
| Grèce | 2 400 000 | 13.85 | 31.4 |
| Turquie | 1 800 000 | 10.39 | 30.3 |
| Syrie | 998 988 | 5.76 | 20.0 |
| Tunisie | 500 000 | 2.88 | 33 |
| Maroc | 470 000 | 2.71 | 8.5 |
| Egypte | 318 339 | 1.83 | 6.38 |
| Algérie | 300 000 | 1.73 | 16.9 |
| Portugal | 280 000 | 1.61 | 6.5 |
| France | 21 000 | 0.12 | 12.4 |
| Monde | 17 317 089 | – | 20.1 |

2. Importance de l'olivier en Algérie

Comme dans la plupart des autres pays méditerranéens, l'olivier constitue l'une des principales espèces fruitières plantées en Algérie, avec environ 207 822 ha soit 33% de la surface arboricole et 24 616 600 arbres (24 millions de pieds d'olivier) (M.A., 2005).

La production d'olives à huile est tributaire des conditions climatiques et reste une culture traditionnelle. Cette espèce est présente à travers l'ensemble des wilayas du Nord du pays en raison de ses capacités d'adaptation à tous les étages bioclimatiques. Ainsi, dans certaines zones, l'oléiculture assure une activité agricole intense permettant de générer des emplois, de garantir l'approvisionnement d'unités de trituration d'olives et de conserveries d'olives (ACHOUR, 1995).

2.1. Principales caractéristiques de l'oléiculture en Algérie

En dépit des potentialités que recèle le secteur, le diagnostic de la situation actuelle montre que les niveaux de production réalisés sont encore très modestes et ne valorisent que partiellement les atouts dont dispose notre pays en la matière. Selon (Benghanem, 1995), cette situation résulte de la combinaison de plusieurs effets négatifs causés par des contraintes étroitement liées aux aléas climatiques, à la complexité des statuts juridiques des terres agricoles, à la dispersion des oliveraies et à la méconnaissance des pratiques culturelles.

2.2. Localisation des zones de culture

Selon M.A. (2005), l'olivier reste toujours l'espèce fruitière la plus dominante du verger arboricole algérien. Il occupe une superficie de 207 822 ha (33% de la surface arboricole), cette surface est divisée comme suit:

- Le centre occupe la première place avec 112 921 ha soit 54.33 % qui sont concentrés essentiellement dans les wilayas de Bejaia et Tizi-Ouzou.
- L'Est du pays vient en seconde position avec 58 764 ha soit 28.27% dont la moitié est localisée dans les wilayas de Sétif, Guelma et Skikda.
- La région Ouest occupe à peine 16.93% soit 35 192 ha dont l'ensemble est concentré à Tlemcen, Relizane et Mascara (Sig).
- Enfin, le Sud occupe une superficie de 945 ha soit seulement 0.45%.

2.3. Progression des plantations oléicoles en Algérie

L'Algérie a triplé ses plantations d'oliviers en dix ans (2000-2012). L'extension de l'oléiculture sur tout le territoire national selon le mode de production intensive se traduit par un triplement des plantations d'oliviers en Algérie durant les dix dernières années. "En termes d'équivalents plants, entre 2000 et 2012, le chiffre passait de $16.8 \cdot 10^6$ de plants en 2000 à $48 \cdot 10^6$ de plants à la fin 2012", indiquent des experts cités par l'APS. Plus de 240 200 ha ont été plantés durant la période 2000-2012, avec un taux de 37% d'arbres plantés entre 2009 et 2012.

Le potentiel existant entre 1970 et 2000 s'établissait à plus de $16 \cdot 10^6$ de plants. En termes de superficie, la filière oléicole occupe actuellement 389 000 ha. Elle se présente, de ce fait, comme la

filière arboricole la plus importante en couvrant 38.7% des superficies. La relance de cette filière demeure liée à l'intégration de l'oléiculture dans le renouveau agricole et rural. Cela a permis son extension sur l'ensemble du territoire algérien et une amélioration notable des systèmes de production. La production d'olives de table connaît elle un quadruplement en passant de 346 730 quintaux en 2000 à plus d' $1.4 \cdot 10^6$ de quintaux en 2012, alors que celle de l'huile d'olive atteint les 728 000 hl en 2011 contre 333 200 hl.

Selon *Belkessam (2013)*, le plan de développement national de l'oléiculture se donne comme objectif primordial d'atteindre un potentiel d'un million d'hectares à l'horizon 2014 pour une production annuelle de 100 000 tonnes d'huile d'olive. Selon la même source, environ 1 953 huileries, dont 408 huileries modernes, assurent la transformation et 248 nouvelles huileries ont été créées entre 2000 et 2011.

2.4. Densités des plantations

La densité de plantation est fonction des conditions dans lesquelles le verger est situé et la manière dont il est conduit. Dans des conditions peu favorables tels que le climat sec, l'absence d'irrigation, la pauvreté des sols, la densité pourra être maintenue à un niveau assez faible de l'ordre de 100 arbre/ha qui est la moyenne observée dans les plantations traditionnelles.

Sous climat semi aride et avec une pluviosité de l'ordre de 500 à 650 mm, la densité peut dépasser 100 arbres /ha atteignant jusqu'à 120 à 130 arbres /ha.

Généralement, sous un climat méditerranéen avec une pluviosité de 700 mm/an ou plus, la densité de plantation peut être supérieure à 200 arbres /ha à condition d'assurer des apports d'eau sous forme d'irrigation.

Selon les conditions du milieu, le verger oléicole national est constitué, de deux catégories principales, à savoir : l'oliveraie moderne et traditionnelle (*BENGHANEM, 1995*).

2.4.1 Oliveraie dite moderne

Selon le M.A (2005), elle représente 21% de la superficie oléicole nationale avec près de 47 500 ha. Il s'agit surtout de verger semi intensif, homogène avec une densité de 100 à 200 arbres/ha. Cette oliveraie bénéficie des techniques et des moyens de production relativement modernes dans le but d'obtenir une meilleure production en quantité, en minimisant les coûts de production.

2.4.2. Oliveraie dite traditionnelle

Elle représente 79% de la superficie oléicole nationale (M.A, 2005). Dans ce type de conduite, la densité est de 40 à 70 arbres /ha mais la répartition des arbres reste hétérogène et leur âge dépasse très souvent 75 ans qui est l'âge limite de pleine production. On note que les opérations culturales au niveau des oliveraies traditionnelles sont marginales (M.A, 2005).

2.5. Age des plantations

D'après BENTAYEB (1991), la plupart des oliveraies sont constituées des arbres trop vieux, avec une moyenne d'âge de 80 à 100 ans, dépassant ainsi l'âge limite de pleine production donc faiblement productif. Les rendements sont faibles et les efforts d'amélioration entrepris se sont avérés insuffisants pour lever les rendements à un niveau économique viable (MADANI, 1991).

2.6. Diversité variétale

Il existe plusieurs variétés d'olives en Algérie, on peut citer les variétés *Chemlal* au Centre et *Sigoise* à l'Ouest qui se partagent à elles seules plus de 50% de notre patrimoine oléicole, avec 35% pour *Chemlal* et 20% pour *Sigoise* (GOUCEM, 1997).

Selon (SADOUDI, 1996), en plus de la variété *Sigoise* à double fin qui occupe 80% des plantations. Il y a lieu de signaler que certaines variétés introduites occupent des superficies assez importantes telles que la *Cornicabra* et la *Sévellane* qui se localisent à l'Ouest du Pays (Oran). Au Nord et au Sud du massif du Zaccar (région de Miliana), se sont les variétés locales (Longue de Miliana) et (Ronde de Miliana) qui dominent. A l'Est du pays, les variétés *Rougettes* et *Blanquettes* de Guelma se trouvent mélangées. Il en est de même pour *Baukaila* et *Hamma* dans la région de Jijel. La grosse de *Hamma* se localise à Constantine. Cet auteur signale aussi que globalement les olivettes de l'Ouest sont destinées à la production d'olives de table alors que celles du Centre et de l'Est sont destinées à la production d'huile.

3.4. Pratiques culturales

En raison de sa rusticité, l'olivier en Algérie est planté dans des terres pauvres et à forte déclivité où la pratique des autres cultures sont limitées. Le manque d'entretien, le vieillissement

des vergers et la présence d'autres sources de revenus se répercutent sur la production. L'oléiculture dans notre pays a été confinée comme cultures de subsistance et peu de moyens sont investis pour sa relance.

Actuellement et pour la plus part du temps, le verger oléicole continue à être mené en extensif vu qu'il ne bénéficie pas ou rarement des techniques d'intensification comme la taille, l'irrigation, les traitements phytosanitaires, la fertilisation et les travaux du sol (*SADOUDI, 1996*).

La récolte se fait encore de manière traditionnelle en gaulant les olives avec un filet placé sous l'arbre ou bien à l'aide d'un panier. Cette technique dominante durant la récolte des olives est à l'origine de la dépréciation quantitative et qualitative de la production et de la réduction du potentiel productif des arbres.

4. Production oléicole nationale

4.1. Superficies, production et rendement

D'après le tableau 3, la superficie de l'olivier a atteint 266337 ha en 2004. Le nombre d'arbres comptés quant à lui a progressé de 14,1% (par rapport à 2003) en atteignant 24616600 arbres en 2004 alors qu'il n'était que de 21583240 oliviers en 2003.

Les oliviers en rapport sont en nombre de 16070800 en 2004 soit un léger accroissement de l'ordre de 3,9% par rapport à 2003.

Tableau 03 : Superficies, production oléicole et rendements en Algérie (*M.A, 2005*)

| Année | Superficies (ha) | Nombre d'arbres comptés | Production (Qx) | Rendement (Qx/ha) | Production en huile (hl) | Rdt olive Kg/Arbre |
|------------------|------------------|-------------------------|-----------------|-------------------|--------------------------|--------------------|
| 1999-2000 | 168080 | 16702610 | 2171120 | 12.51 | 333200 | 14 |
| 2000-2001 | 177220 | 17388980 | 2003390 | 11.3 | 263880 | 23 |
| 2001-2002 | 190550 | 19005590 | 1919260 | 10.07 | 286000 | 13 |
| 2002-2003 | 209730 | 21583240 | 1676270 | 16.99 | 265780 | 10.8 |
| 2003-2004 | 226337 | 24616600 | 4688000 | 8.50 | 757070 | 29.2 |

La production totale d'olives a atteint en 2004 un nouveau record de 4688000 quintaux, jamais égal en Algérie, soit une augmentation de 179.7% par rapport à l'année 2003 (M.A., 2005).

Les rendements ont presque triplé puisqu'ils ont atteint les 29,2 kg par arbre soit un accroissement de 170,4%.

La production d'huile est de 757070 hl. Elle s'est accrue de 356.7% par rapport à l'année 2003 et de 127,1% par rapport à la moyenne de (1991-2000). La production de 2004 est nettement supérieure aux productions des années antérieures (M.A., 2005), (Tableau n°3).

4.2. Consommation de l'huile d'olives

La consommation nationale d'huile d'olives par habitant est passée de 0,80kg/an au début des années 90 pour atteindre 1,2 kg en 2002 (C.O.I., 2003).

L'augmentation de la consommation est due essentiellement à l'augmentation de la production, à la prise en charge récente des activités de conditionnement et de commercialisation sur le marché national à des prix abordables.

5. Production de d'huile d'olive

5.1. Production mondiale d'huile d'olive

La production mondiale est estimée en 2006/07 à plus de 2,8 millions de tonnes, soit un doublement depuis 1990. Elle augmente tendanciellement, à un rythme qui s'accélère de manière significative : 4,2 % par an en moyenne annuelle entre 1990/91 et 2006/07 contre 2,4 % dans les années 80. (Yvette LAZZERI, 2009).

5.2. Production de d'huile d'olive en Algérie

La production d'huile d'olive devrait atteindre ou même dépasser les 45 000 tonnes en Algérie, selon les prévisions de l'Institut technique d'arboriculture fruitière et vigne (ITAFV) qui table également sur une hausse de la récolte d'olives de table. *Nous escomptons atteindre, au bas mot, une production d'huile d'olive de 45 000 tonnes*", indique le directeur de l'ITAFV, Mahmoud Mendil à l'APS. La production de l'huile d'olive a chuté de 41% lors de la campagne 2011-2012 à 39 558 tonnes contre une récolte record de 66 981 tonnes en 2010/11. En Algérie, l'oléiculture reste soumise au "phénomène de l'alternance", une bonne récolte étant souvent suivie d'une autre plus mauvaise l'année suivante, en raison notamment du caractère

extensif de cette culture et de pratiques culturelles archaïques, selon la même source. La production d'olives de table augmente chaque année de 5 à 6% en moyenne, précise à l'APS le directeur des statistiques agricoles du ministère de l'Agriculture et du Développement rural, Hocine Abdelghafour.

Sur une production totale de 3,9 millions de quintaux, la récolte d'olives de table représente 1,4 million de quintaux, d'après les statistiques du ministère de l'Agriculture. (A. Belkessam, 2013).

Chapitre 2 : Notions de réchauffement climatique

1. Réchauffement climatique

Le réchauffement climatique, également appelé réchauffement planétaire, ou réchauffement global, est un phénomène d'augmentation de la température moyenne des océans et de l'atmosphère, à l'échelle mondiale sur plusieurs années. Dans son acception commune, ce terme est appliqué à une tendance au réchauffement global observé depuis les dernières décennies du XXe siècle.

2. Relation entre le réchauffement climatique et les gaz à effet de serre

L'atmosphère est composée d'azote (78,1%) et d'oxygène (20,9%), avec un certain nombre de gaz à l'état de trace dont l'argon (0,93%), l'hélium et les gaz à effet de serre (GES) tels que le dioxyde de carbone CO₂ (379 ppmv₁) ou l'ozone. En outre, l'atmosphère contient également de la vapeur d'eau, dont la proportion est très variable, mais dont la quantité est généralement de 1% (*IPCC, 2001 ; IPCC, 2007a*). Ces composants de l'atmosphère contribuent à « l'effet de serre naturel » qui n'est autre que le processus permettant à l'atmosphère de se maintenir à une température de +15°C, condition indispensable à la vie sur Terre (-18°C sans effet de serre naturel). En effet, la Terre reçoit son énergie du soleil qu'elle (et l'atmosphère) absorbe en partie et renvoie le reste dans l'espace sous forme de rayonnement infrarouge. Mais une partie de cette énergie est interceptée par les GES, permettant ainsi le réchauffement de la Terre. Toutefois, si ces GES sont naturellement présents dans l'air, les activités anthropiques au cours de ces 200 dernières années (depuis la révolution industrielle), en produisent de plus en plus, particulièrement le CO₂, le méthane (CH₄) et le protoxyde d'azote (N₂O) (Figure 01) ; d'autres gaz actuellement présents dans l'atmosphère (chlorofluorocarbones et soufre en ppb₂) sont uniquement issus des activités industrielles. La concentration atmosphérique de CO₂ a augmenté de 31% depuis 1750.

D'après la Figure 02, environ les trois quarts des émissions anthropiques de CO₂ dans l'atmosphère au cours des 20 dernières années sont dus à la combustion de combustibles fossiles. Le reste est imputable, pour l'essentiel, aux changements de mode d'usage, et plus particulièrement au déboisement. Plus de la moitié des émissions actuelles de CH₄ et un tiers des émissions actuelles de N₂O sont d'origine humaine (*IPCC, 2007b*). Elles sont dues à la combustion de combustibles fossiles, bétail, culture du riz, décharges pour le CH₄ et aux émissions dans les terres cultivées, aliments pour bétail et industrie chimique pour le N₂O.

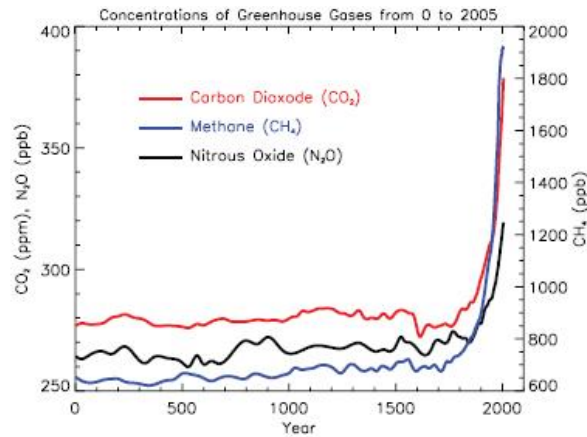


Figure 01 : Evolution des concentrations atmosphériques globales de trois gaz à effet de serre (IPCC, 2007a)

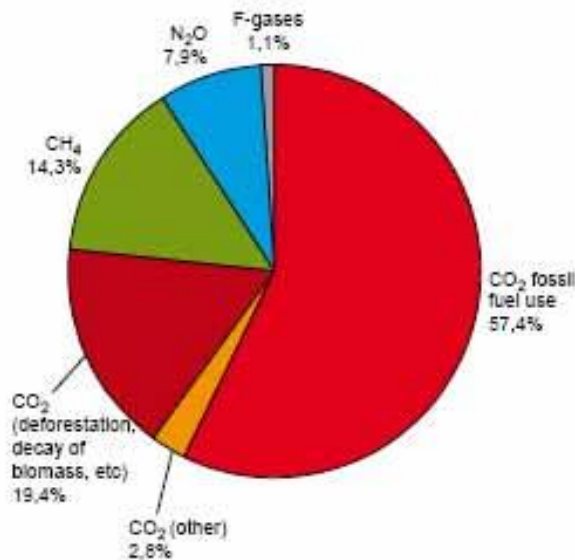


Figure 02 : Emissions globales de GES anthropiques en 2004 (IPCC, 2007b)

Cette augmentation de la concentration atmosphérique en GES constitue un surplus artificiel de GES essentiellement d'origine anthropique qui serait responsable du réchauffement du climat. Ce dernier est donc attribué directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui vient s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables (CCNUCC, 1992). De plus, on observe un lien direct entre l'augmentation de l'effet de serre et le réchauffement de la planète (Figure 03), lien montré par l'observation du réchauffement du climat de la Terre au cours de cette même période de temps (depuis la révolution industrielle) (Hansen and Sato, 2004). L'augmentation totale de température

de 1850-1899 à 2001-2005 est de $0,76 \text{ }^{\circ}\text{C} (\pm 0,19)$. La vitesse moyenne du réchauffement au cours des cinquante dernières années, qui varie de $0,10$ à $0,16 \text{ }^{\circ}\text{C}$ par décennie, est environ le double de la vitesse moyenne pour les cent dernières années (*IPCC, 2007a*). Ce phénomène est aussi accompagné par la fonte généralisée de la neige et de la glace, et l'élévation du niveau moyen mondial de la mer (*IPCC, 2007*).

A noter que, les GES responsables du changement climatique présentent des caractéristiques différentes et ne se conduisent pas de la même manière ; certains (CO_2 , CH_4 et NO_x) sont très efficaces même en petite quantité, donc retiennent davantage de rayonnement infrarouge (*IPCC, 2007b*).

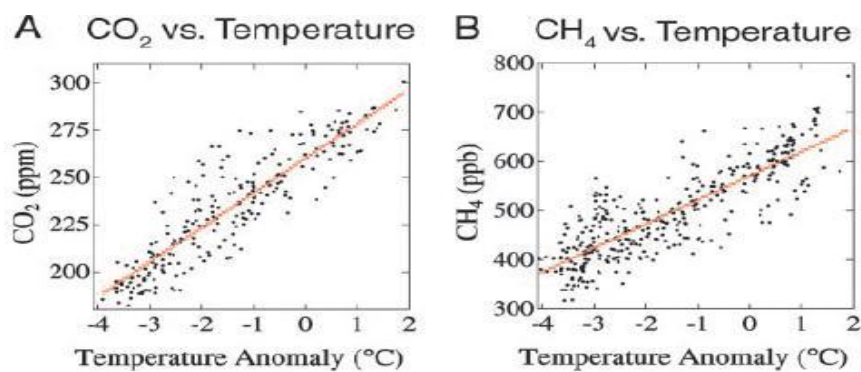


Figure 03 : Relation entre la concentration de GES (CO_2 et CH_4) et la température de la terre depuis le passé (*Hansen and Sato, 2004*)

De tout ceci, la quantité de CO_2 dans l'atmosphère et sa dynamique constituent l'un des focus des recherches à l'encontre du réchauffement global ; mais à noter que cette quantité est contrôlée par le cycle global de C du système terrestre, dont l'écosystème forestier.

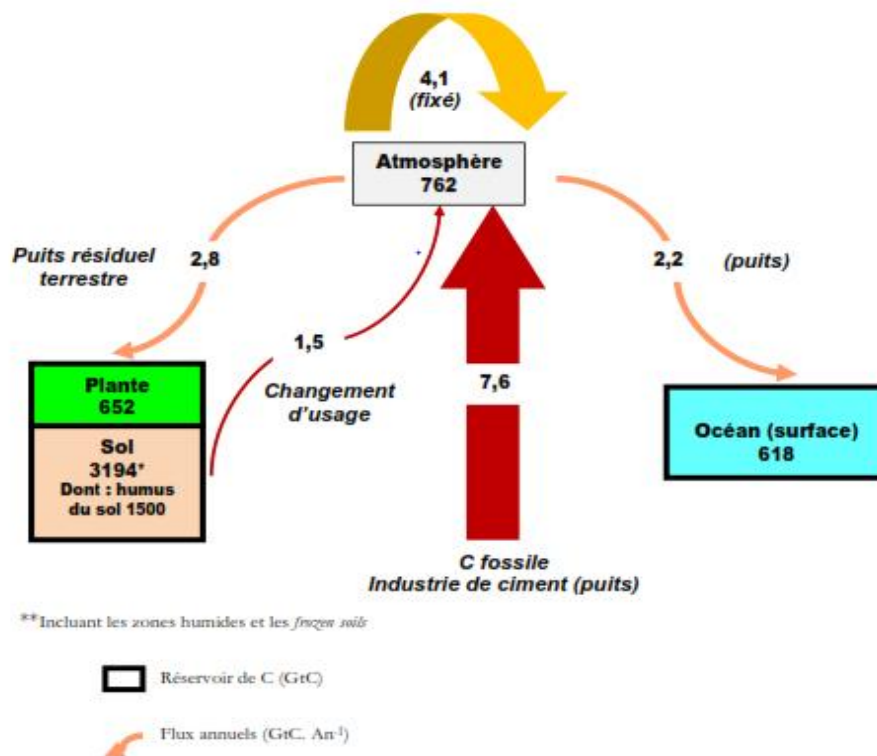


Figure 04 : Le cycle global du carbone (2000-2006), focus sur l'Agriculture, la Foresterie et les Autres Gestion des Terres (*Canadell et al., 2007; IPCC, 2007*)

En considérant les éléments du bilan global du C (Figure 04), on observe que l'écosystème terrestre contribue beaucoup à la séquestration de C. Le compartiment plante renferme presque autant de C que l'atmosphère ; le sol, quant à lui, renferme deux fois plus de C que l'atmosphère (*Schlesinger, 1990 ; Koskela et al., 2000 ; FAO, 2001 ; Robert et Saugier, 2003*). Il y a des échanges de carbone entre ces différents éléments du cycle global, que ce soit naturel ou à la suite des activités anthropiques, qui sont entre autres : la combustion de carbone fossile, la cimenterie et secondairement et, le changement d'usage des terres dont la déforestation (Figure 0.5) (*Schimel et al., 2001; Jandl et al., 2007*) ; les activités forestières (déforestation) est responsable de 17,4% d'émission de GES5 (dont le CO₂) dans l'atmosphère.

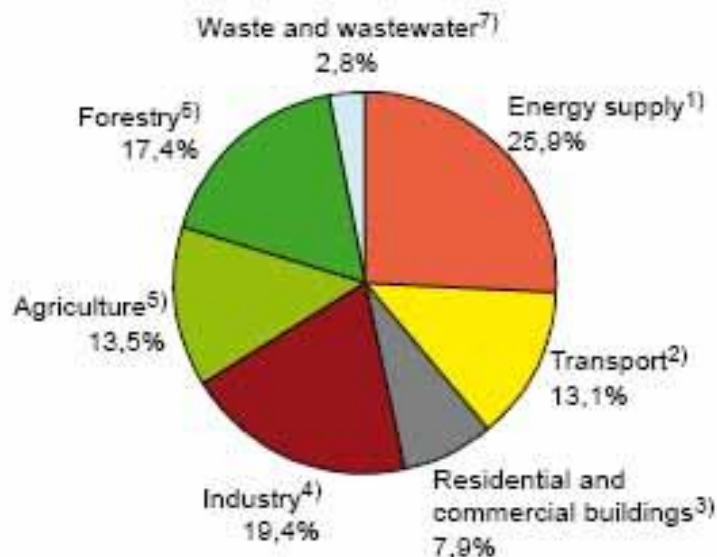


Figure 05 : Emissions de GES par secteur en 2004 (*IPCC, 2007b*)

En d'autres termes, les forêts constituent un composant important dans le changement global parce qu'elles peuvent présenter, selon leur mode de gestion, un impact positif ou négatif du changement climatique induit par l'homme (*Schimel et al., 2001; Canadell et al., 2007; Heimann and Treichstein, 2008*). En effet, on observe une grande capacité de stockage de C due à l'absorption du CO₂ de l'atmosphère pour une forêt en croissance (fonction puits de C). Mais on pourrait aussi s'attendre à un retour d'une quantité considérable de C accumulées par une forêt âgée dans l'atmosphère si cette forêt a été perturbée (fonction source) (*Locatelli and Lescuyer, 1999; Houghton and Goodale, 2004; Luyssaert et al., 2008*). Les processus naturels d'échange de C entre l'atmosphère, la végétation et le sol à l'échelle de la parcelle sont (figure 06).

La photosynthèse (réaction biochimique qui, grâce à l'énergie lumineuse, transforme des molécules d'eau et le CO₂ atmosphérique en molécules d'O₂ et de glucides ou matière organique), la respiration autotrophe (plante) et la respiration hétérotrophe (activité microbienne et tous les microorganismes) (*Cao and Woodward, 1998; Malhi et al., 1999*). Le stock de C de la végétation d'un écosystème forestier résulte donc de la différence entre les taux de production et de décomposition de la biomasse (*IPCC, 2007*). Pour le carbone organique du sol, il existe aussi d'autres processus, tel le transfert de matière organique sous forme solide et soluble (dépôt, érosion, ruissellement, lixiviation) (*Bernoux et al., 2004*). De ces processus, les écosystèmes forestiers ont un potentiel de stockage correspondant à un puits global de 2,8 GtC.an⁻¹ (figure 04).

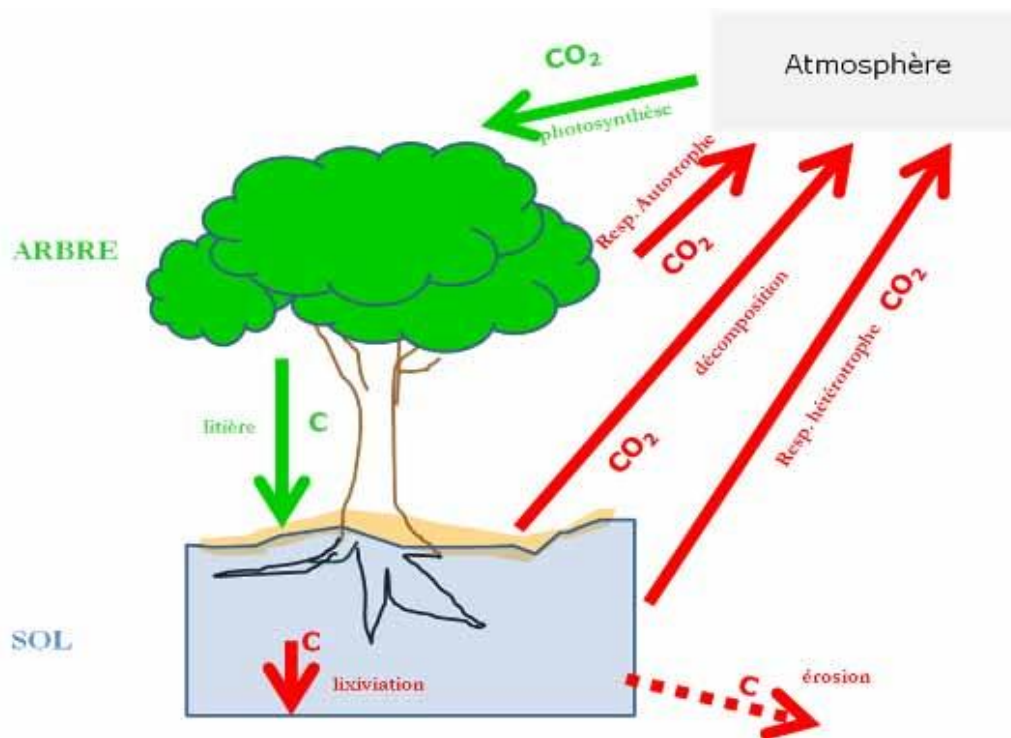


Figure 06 : Cycle du C au niveau de la parcelle d'un écosystème forestier (*adapté à partir de Malhi et al., 1999 et IPCC, 2007*)

Par ailleurs, le potentiel de stockage dépend du type de l'écosystème (*Locatelli et Lescuyer, 1999; Koskela et al., 2000 ; Robert et Saugier, 2003*). Les plantations, selon leur âge, sont reconnues pour avoir un effet sur l'augmentation du stock de C à la fois dans la biomasse et dans le sol (*Koskela et al., 2000 ; Paul et al, 2002 ; Guo et Gifford, 2002; Lal, 2005*), quoi que, principalement pour le compartiment sol, les plantations à courte rotation semblent peu efficaces (*Shea et al, 1998*). Le mode de gestion forestière influence dans la quantité et la dynamique de la matière organique aussi bien dans la végétation que dans le sol; via : l'exportation ou non des résidus de récolte (*O'Connell et al., 2004*), les éclaircies, la durée de rotation des exploitations forestières (*Du Toit et al., 2001, 2003; Corbeels et al., 2005*), les apports de la fertilisation, le drainage, l'espèce forestière utilisée, le contrôle des perturbations naturelles (*Ranger et al., 2002 ; Patzek et Pimentel, 2006 ; Jandl et al., 2007 ; Satori et al., 2007*), et l'historique de la parcelle avant la plantation (*Lugo et Brown, 1993; Post et Known, 2000 ; Guo and Gifford, 2002*). Aussi, les écosystèmes forestiers représentent-ils un potentiel de stockage de C important. D'où les préoccupations et intérêts internationaux pour l'acquisition de connaissances précises sur ces potentialités de fonction de puits de CO₂ de ces plantations forestières.

Chapitre 3 : Notions sur les puits de carbone (Captation du carbone)

1. Connaissance du concept «Puits de carbone»

Par opposition à une source, un puits de carbone se définit comme un réservoir de carbone (un océan ou un écosystème par exemple) qui, pendant une période donnée, absorbe globalement plus de carbone qu'il n'en rejette. Les deux grandeurs physiques associées sont les stocks, qui caractérisent les réservoirs, et les flux de carbone. Les puits sont définis par des stocks croissants ou des flux positifs de l'atmosphère vers la biosphère. À propos des écosystèmes continentaux, le terme de puits de carbone peut caractériser un objet physique à des échelles différentes, depuis la parcelle forestière jusqu'à la biosphère globale. Par exemple, à l'échelle mondiale, la biosphère terrestre constitue actuellement un puits de carbone qui absorbe chaque année environ 2,3 milliards de tonnes de carbone (figure 07). (Watson *et al.*, 2000).

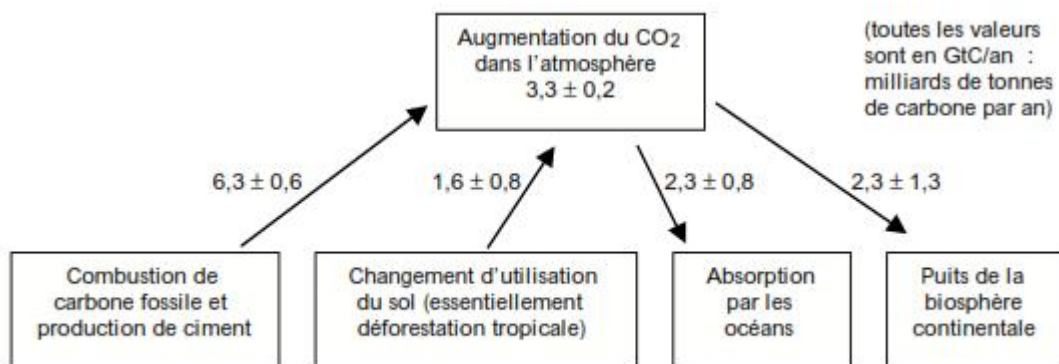


Figure 1. Flux de carbone entre l'atmosphère, les océans et la biosphère continentale pour la période 1989-1998 (d'après Watson *et al.*, 2000)

Figure 07 : Flux de carbone entre l'atmosphère continentale pour la période 1989-1998 (d'après Watson *et al.*, 2000)

Cette valeur est estimée par différence entre les émissions de carbone fossile (6,3 Gt/an) et l'accumulation dans l'atmosphère (3,3Gt/an) et dans les océans (2,3 Gt/an), ce qui représente un puits net de 0,7 Gt/an (Watson *et al.*, 2000). En tenant compte des émissions liées à la déforestation tropicale (estimée à 1,6 Gt/an), on estime que la biosphère continentale absorbe par ailleurs environ 2,3 Gt/an. Cette absorption se fait en partie par la reforestation des zones tempérées (environ 0,7 Gt/an d'après Dixon *et al.*, 1994). Le reste pourrait être lié à une stimulation de la croissance actuelle des forêts. Cette stimulation s'expliquerait par l'augmentation de la photosynthèse liée à des teneurs accrues en CO₂, l'augmentation de la durée de la saison de croissance liée au réchauffement et l'augmentation des dépôts azotés fertilisants liés à la pollution atmosphérique.

2. Puits de carbone naturels et gérés

Deux catégories de puits de carbone peuvent être distinguées en fonction de l'influence anthropique. Par opposition aux puits gérés, un puits naturel est un écosystème qui augmente son stock de carbone sans intervention directe de l'homme (néanmoins avec des influences indirectes des activités humaines, comme par exemple la fertilisation par l'augmentation du CO₂ atmosphérique). Sans intervention humaine, une forêt ou une plantation absorbe du carbone pendant sa croissance: c'est un puits (figure 07).

Ensuite, lorsqu'elle arrive à maturité, on considère généralement qu'elle est à peu près à l'équilibre. Elle prélève à peu près autant de carbone qu'elle en émet dans l'atmosphère : le puits est dit faible ou inactif (figure 08).

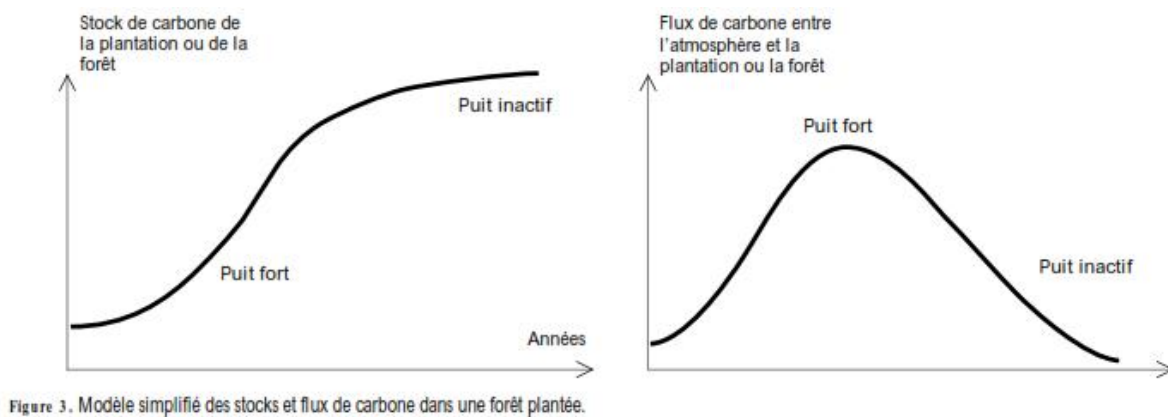


Figure 08 : Modèle simple des stocks et flux de carbone dans une forêt plantée (Watson et al., 2000)

En réalité, une forêt mature n'est pas exactement neutre en termes de flux. Elle peut être soit un puits, soit une source mais faible en comparaison avec un puits actif. Selon le modèle de Cox-Hadley décrit plus loin, le changement global transformera cet ancien puits en source. Dans le cas d'un puits géré, la forêt ou la plantation n'a pas pour vocation à rester dans un état mature: elle doit être exploitée et renouvelée. Après une exploitation durable, l'écosystème forestier reconstitue son stock en redevenant un puits actif. Le bilan de l'exploitation en termes de carbone dépendra du devenir des produits. Si tout le bois est abandonné ou non valorisé, le bilan sera négatif. Cependant, si le bois est utilisé comme matériau ou comme énergie, le bilan peut être positif, en particulier si la valorisation énergétique évite la consommation de carbone fossile (substitution).

Ce sont les pratiques de gestion des puits et de valorisation des produits qui permettent d'optimiser les bénéfices des puits de carbone pour la réduction du changement climatique.

3. Débats et critiques sur les puits

L'inclusion des puits dans la lutte contre le changement climatique fait l'objet de nombreuses critiques, autour de trois thèmes principaux :

- Quelle est la contribution réelle de la séquestration dans le contrôle du changement climatique, en comparaison avec les émissions évitées ?
- Quel est l'impact des puits de carbone sur d'autres aspects du développement durable ?
- Quel est l'impact des puits de carbone sur la «dilution des efforts de réduction des émissions » ?

3.1. Contribution des puits au contrôle du changement climatique

L'objectif ultime de la Convention sur les changements climatiques est la stabilisation de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau non dangereux. Le Protocole de Kyoto fixe des engagements de limitation ou de réduction des émissions nettes pour les pays de l'Annexe I. Les puits peuvent mettre en danger l'intégrité environnementale du protocole s'ils permettent davantage d'émissions de carbone fossile sans les compenser réellement par ailleurs.

3.2. Controverses scientifiques sur les puits de carbone

Certains opposants mettent en évidence les incertitudes scientifiques sur les puits. Ils citent des études sur l'albédo³ qui suggèrent que la reforestation pourrait causer davantage de réchauffement dans certaines conditions. Ils avancent également qu'avec l'effet du changement climatique, les puits actuels vont se transformer en «sources». D'après les opposants, créer des puits revient à créer des bombes à retardement.

3.3. Effets des puits sur le développement durable

Les opposants craignent les effets négatifs des puits, outre ceux sur les gaz à effet de serre. Selon eux, les puits présentent des risques pour le développement et l'environnement local. La création de vastes puits de carbone pourrait geler des terres au détriment des populations locales. Certaines ONG dénoncent les problèmes d'éthique ou d'équité Nord/Sud que pose le MDP forestier.

Pour les illustrer, le « *World Rainforest Movement* » (Lohmann, 2000) utilise l'image de communautés du Sud qui auraient été chassées de leur terre par l'exploitation pétrolière alimentant des consommateurs du Nord, puis chassées à nouveau par des puits de carbone qui compenseraient les émissions de ces mêmes consommateurs. Le terme de « CO2lonialisme » est apparu récemment⁵. Selon les opposants, les ressources en eau ou en terres pourraient être dégradées par des plantations à grande échelle. La transformation d'écosystèmes en puits gérés entraînerait une perte de biodiversité. De nombreuses ONG craignent le développement de grandes surfaces de plantations monospécifiques en remplacement des forêts naturelles. Par exemple, le *WWF* (*WorldWide Fund for Nature*) dénonce les effets sur la forêt naturelle de certaines plantations à vocation de séquestration de carbone (Cadman, 2001). Cette crainte n'est pas spécifique au MDP et se retrouve dans des critiques de plantations à vocation de production. Les promoteurs des puits disent au contraire que les conséquences sur le développement et l'environnement seront positives, en utilisant exactement les mêmes arguments mais dans l'autre sens : des projets de reconstitution du couvert boisé auront des effets positifs sur les sols et les régimes hydrologiques. Les activités de reforestation et les écosystèmes reconstitués créeront des emplois, des revenus et des ressources naturelles pour les populations locales. Qui dit vrai ? Les deux probablement. Les projets forestiers ayant tendance à occuper plus d'espace et à concerner plus de monde que des projets de changement de source d'énergie, on ne peut nier qu'ils auront dans l'ensemble des impacts plus forts sur l'environnement et le développement local, que ces impacts soient positifs ou négatifs. Ce sont les règles d'éligibilité des projets et les procédures de contrôle qui permettront d'éviter les opérations indésirables et de canaliser les flux d'investissement du MDP vers les projets présentant des cobénéfices pour les populations locales. L'Accord de Bonn stipule que seuls les projets de boisements seront éligibles au MDP (au moins dans un premier temps) et énonce le principe suivant : « L'exécution d'activités liées à l'utilisation des terres, au changement d'affectation des terres et à la foresterie contribue à la préservation de la diversité biologique et à l'utilisation durable des ressources naturelles ».

De plus, le MDP a pour but « d'aider les Parties ne figurant pas à l'annexe I de parvenir à un développement durable [...] » (Article 12 du Protocole de Kyoto). Reste à voir comment ces grands principes seront déclinés en règles opérationnelles, ce qui devra être fait à la neuvième Conférence des Parties en 2003. Les débats à venir sont d'une haute importance d'une part parce que le MDP peut fournir un levier d'action important en faveur du développement et des secteurs forestiers tropicaux, et d'autre part parce que le risque de prolifération d'activités indésirables n'est pas négligeable si ce levier est mal pointé.

Mais les solutions efficaces et acceptables ne seront pas faciles à trouver, comme en témoignent les difficultés traditionnellement rencontrées lors de l'élaboration de principes forestiers à vocation universelle. Les promoteurs disent que certains pays attireront les investissements MDP seulement si les puits sont inclus. Il s'agit par exemple des pays les moins avancés, dont les secteurs industriels ou énergétiques ne sont pas suffisamment développés pour attirer des projets d'énergie « propre ».

Chapitre 4: Méthodes d'évaluation du volume d'un arbre

1. Définition du volume d'un arbre

Le volume d'un arbre est un paramètre essentiel à estimer. Par exemple, il permet au forestier de faire des prévisions sur la quantité de bois produit.

Ainsi, ce chapitre sera consacré à la présentation de différentes méthodes utilisées pour déterminer le volume d'un arbre ; qu'il s'agisse de bois abattus ou de bois sur pied (*Jean-Yves MASSENET, 2006*).

2. Compositions physiques d'un arbre

Lorsqu'on souhaite pratiquer un cubage d'un arbre, il faut toujours définir précisément le volume dont on parle, c'est à dire qu'il faut se poser trois questions :

1) Quel est l'objet physique auquel on s'intéresse ?

Cela peut être :

- La tige ;
- Les branches ;
- L'arbre entier (tige + branches) ;
- Ou le houppier.

La tige est le cheminement à suivre pour aller du pied de l'arbre au bourgeon terminal. Les branches sont tout ce qui n'est pas la tige. Enfin, le houppier comprend la partie de la tige située au-dessus d'une certaine découpe et les branches.

2) Quelles sont les limites précises de cet objet physique ?

Ces limites sont données par une découpe inférieure (au gros bout) et une découpe supérieure (au fin bout). Chacune de ces découpes peut être définie de plusieurs façons et correspondre :

- Soit à une qualité de produit : découpe tranchage, découpe poteau, etc.
- Soit à une dimension indiquée par un diamètre ou une circonférence de la découpe : découpe 7 cm de diamètre ou découpe « bois fort », ...
- Soit à une hauteur donnée sur la tige.

Quand la découpe inférieure n'est pas précisée, c'est qu'elle est :

- à la souche pour les volumes « tige » et les volumes « arbres »,
- À l'insertion des branches sur la tige pour les volumes « branches ».

Pour un volume « houppier », elle doit évidemment toujours être précisée.

3) Comment a-t-on calculé le volume de cet objet ?

Le mode adopté pour la détermination du volume peut conduire à :

- Un volume exact : c'est le volume géométrique de l'objet (Le volume d'eau qu'il déplace quand il est plongé dans une cuve). On en a une estimation approchée en le considérant comme un assemblage de solides ayant certaines formes géométriques.
- Un volume commercial : c'est une détermination arbitraire du volume d'une grume, obtenue en assimilant la grume à un cylindre.
- *un volume d'encombrement* : déterminé par enterrage de l'objet cubé (branches, houppier) et exprimé en stères.

Selon *Jean-Yves MASSENET (2006)*, pour être complet, il faut encore préciser s'il s'agit d'un volume sur ou sous écorce ; en l'absence de cette précision, il s'agira toujours d'un volume sur écorce.

3. Estimations de volume

Dans de nombreuses études, la connaissance du volume des arbres est un préalable à l'estimation de leur biomasse (*Araújo et al., 1999; Brown et Lugo, 1984; Brown, 1997; Montagu et al., 2005; Viera et al., 2008*). A ce titre, il convient donc d'estimer au mieux ce volume.

Les points suivants aborderons les différentes notions en rapport avec le volume d'un arbre, les instruments de mesures utilisés ainsi que les méthodes de cubage existantes.

3.1.a. Volume

Avant tout calcul de volume, il est primordial de définir précisément le ou les volumes considérés. En effet et selon *Cailliez (1992) et Rondeux (1999)*, pour un même arbre, un très grand

nombre de volumes peuvent être pris en compte. A titre indicatif, on peut citer quelques volumes de référence :

- Volume des parties souterraines (racines ou souche) ;
- Celui de la tige relatif au bois d'œuvre, défini comme étant la quantité de bois comprise entre le niveau d'abattage et un diamètre ou un niveau supérieur fixé ;
- Celui des branches relatives au bois d'œuvre, s'appliquant à l'ensemble des branches jusqu'à un diamètre limite déterminé ;
- Volumes non commercialisables contenant l'ensemble du bois (tige et branches) situé au-delà d'un diamètre limite déterminé, etc.

Notons également que le volume considéré peut être sur ou sous écorce, cette précision importante étant souvent omise dans les études.

Le tableau 04 et la figure 09 présentent les volumes ainsi que les conventions de mesures considérés dans la présente étude.

Tableau 04 : Convention de mesures (Rondeuw et Bourland, 2010)

| | Définition | Unité | Notation |
|------------------------------------|--|----------------------|----------------------|
| Volume bille | Volume sur écorce considéré depuis la section d'abattage jusqu'à la première grosse branche. | m³ | V_n |
| Volume souche | Volume sur écorce considéré depuis le niveau du sol jusqu'à la section d'abattage | m³ | V_s |
| Volume tige | Somme des volumes de la souche et de la bille | m³ | V tige |
| Longueur tige | Longueur de puis le niveau du sol jusqu'à la première grosse branche | m | L tige |
| Diamètre de référence | Diamètre mesuré à 1.30 m au dessus du niveau du sol ou à 30cm au dessus des contreforts | cm | D ref |
| Petite branche | Branche de diamètre gros bout inférieur ou égale à 5 cm | / | PB |
| Branche moyenne | Branche de diamètre gros bout supérieure à 5 cm et inférieur ou égale à 20 cm | / | MB |
| Grosse branche | Branche de diamètre gros bout supérieure à 20 cm | / | GB |
| Volume aérien ligneux total | Somme des volumes de la souche, de la bille et des parties de grosses branches cubées | m³ | Vtot |

Notons aussi que le terme biomasse ligneuse aérienne totale employé dans ce travail concerne la biomasse de l'ensemble des parties aériennes ligneuses de l'arbre à l'exclusion des fruits lignifiés. Y sont également inclus les végétaux de type arbustif ou arboré, les autres types de végétaux étant soumis à réserve (notamment les lianes).

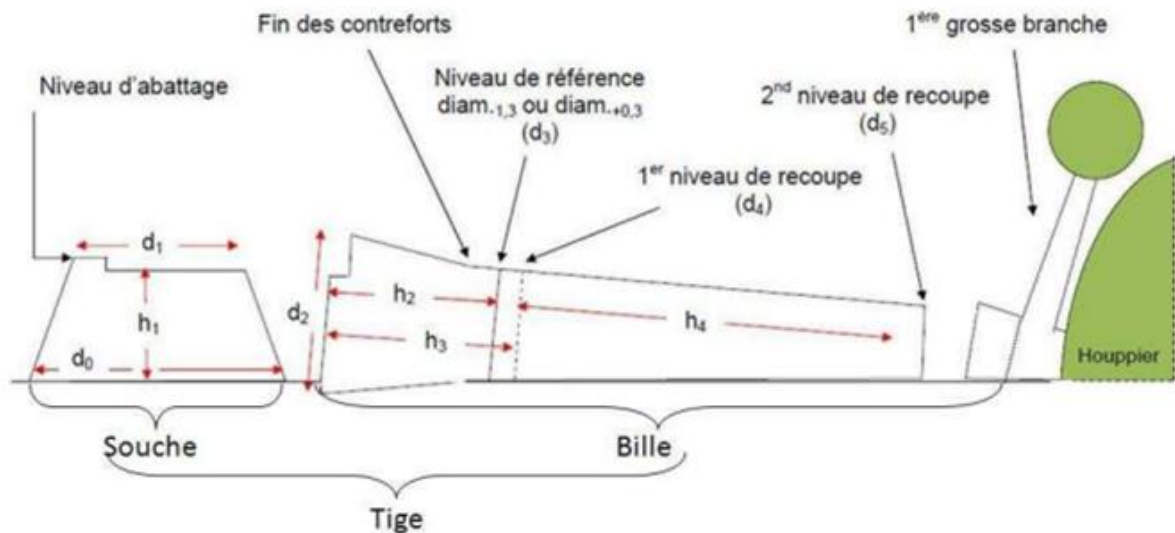


Figure 09 : Visualisation des différents volumes et niveaux de mesure du sol à première grosse branche (Rondeuw et Bourland, 2010)

3.1. b. Instruments de mesure usuels

3.1. b.1 Mesure de grosseur

La grosseur d'un arbre est la caractéristique dendrométrique la plus couramment mesurée. Celle-ci peut être exprimée par trois grandeurs, à savoir le diamètre, la circonférence et la surface terrière. Les deux premières grandeurs sont relatives au périmètre de la section de l'arbre à une hauteur donnée, tandis que la dernière concerne la surface de cette même section.

D'une manière générale, le choix du type d'instrument à utiliser dépend du niveau auquel la grosseur est mesurée. Si le niveau de mesure est à hauteur d'un homme (arbres sur pied ou abattus), le *Compas forestier* ou le *ruban* peuvent être utilisés. En revanche, si le niveau de mesure est inaccessible à hauteur d'homme (arbres sur pied), l'usage d'autres instruments est nécessaire tels que le *Compas Parabolique Finlandais*, le *Relascope de Bitterlich*, le *Pentaprisme de Wheeler* ou le *dendromètre Barr et Stroud*. Ces instruments sont toutefois difficilement utilisables en forêt tropicale suite au manque de visibilité dû au couvert forestier très dense.

La plupart des auteurs (*van Laar & Akça, 2007 ; Rondeux, 1999 ; West, 2009*) conseillent d'effectuer les mesures de grosseurs autant que possible au *ruban*. En effet, bien que la mesure du diamètre soit plus rapide au *compas*, celui-ci ne permet de mesurer qu'un seul diamètre. Or, à une même circonférence correspond une infinité de diamètres. La grandeur mesurée au *ruban* étant la circonférence, les résultats obtenus avec celui-ci sont donc plus fiables que ceux obtenus au *compas*. La plupart des *rubans* sont gradués sur leurs deux faces : l'une en unités linéaires, l'autre face renseignant le diamètre correspondant. Outre la facilité d'utilisation, dans le cas de très gros arbres, le *ruban* s'impose car celui-ci est beaucoup moins encombrant que les grands *compas* existants. Il convient d'accorder une attention toute particulière à la qualité du *ruban* utilisé. En effet, celui-ci doit être inextensible. Or dans certains cas l'usage de *rubans* inadaptés peut mener à des erreurs très importantes (*Picard & Gourlet-Fleury, 2007*). A cet effet, la plupart des ouvrages recommandent l'usage de *rubans* en fibre de verre.

3.1. b.2 Remarques générales relatives à la mesure de grosseur

Comme toute mensuration, la grosseur est sujette à des erreurs. Selon *Rondeux, (1999)*, Ces dernières peuvent être classées selon deux catégories : les erreurs instrumentales et les erreurs de mesures. Les erreurs instrumentales sont généralement dues à un défaut du matériel utilisé ou à un manque d'entretien de ce dernier menant à une erreur systématique lors de son usage. Dans le cas d'une mesure au *compas*, l'erreur systématique la plus couramment rencontrée correspond à un défaut de perpendicularité du bras mobile de celui-ci. Quant au *ruban*, son erreur systématique est plutôt liée à la qualité du *ruban* utilisé ainsi qu'aux conditions climatiques et à la visibilité des graduations. Quant aux erreurs de mesures, elles sont liées à une mauvaise mise en œuvre du matériel par l'opérateur. Trois types d'erreurs de mesure liés au *compas* et au *ruban* sont généralement rencontrés. Il s'agit de l'inclinaison de l'instrument, du niveau de mesure et de la pression (*Loetsch, 1973 ; Rondeux, 1999*). Etant donné la grande diversité de mesures réalisables sur un arbre, l'IUFRO propose d'appliquer certaines conventions de mesures, surtout dans des conditions particulières (*van Laar et Akça, 2007*) :

- Sur terrains en pente, le diamètre est mesuré du côté amont de l'arbre ;
- En forêt tropicale, la mesure de diamètre est effectuée au-dessus des contreforts mais le niveau de mesure n'est pas défini plus précisément ;

- Dans le cas de déformations présentes au niveau de mesure, deux diamètres sont mesurés à X cm de part et d'autre de la déformation, la moyenne des diamètres fournissant une estimation du diamètre réel.

Cailliez (1992) et Rondeux (1999) proposent quelques conventions supplémentaires, notamment en ce qui concerne les arbres penchés et ceux présentant une fourche.

La tige des arbres n'étant jamais parfaitement cylindrique, il a été pris pour convention que le diamètre de référence d'un arbre serait considéré à 1,30 m au dessus du niveau du sol. Ce diamètre de référence est également appelé diamètre à hauteur d'homme ou à hauteur de poitrine (Diameter at Breast Height ou DBH) (*Cailliez, 1992 ; van Laar & Akça, 2007 ; Rondeux, 1999 ; West, 2009*).

En forêt tropicale, la mesure du DBH au sens strict de sa définition est souvent impossible suite à la présence de contreforts sur certains arbres. Pour remédier à ce problème, le DBH est alors généralement pris à 30 cm au dessus des contreforts (*Cailliez, 1992 ; Rondeux & Bourland, 2010*).

Afin de remédier au problème des arbres à contreforts, *Loetsch (1973)* avait proposé de mesurer, pour tous les arbres dont les contreforts montent au-delà de 1,30 m, le diamètre à une hauteur fixée correspondant à la hauteur maximale des contreforts. Une autre méthode également proposée par *Cailliez (1992)* est basée sur l'usage d'une règle graduée appliquée sur le tronc de l'arbre afin de déterminer le diamètre de celui-ci (*bâton de Biltmore*). *Henry, et al. (2010)* avaient proposé une formule permettant de calculer le volume des contreforts. D'autre part, grâce aux techniques informatiques, il semble également possible d'obtenir une estimation du diamètre d'arbres de forme irrégulière sur base de photographies (*Nogueira et al., 2006 ; Chave et al., 2008*).

Selon *Brokaw et Thompson (2000)*, beaucoup d'auteurs ne mentionnent pas la hauteur à laquelle le DBH a été mesuré. Et lorsque cette "hauteur de poitrine" est mentionnée, les auteurs indiquent que celle-ci varie entre 120 et 160 cm. Le DBH étant considéré comme un paramètre de référence, il est couramment utilisé pour comparer des données issues d'études différentes. Dans ces conditions, le manque de précision concernant la hauteur de mesure du diamètre de référence peut mener à des erreurs importantes. A ce titre, les auteurs insistent sur l'importance de mentionner le niveau de mesure du DBH. De plus, ils conseillent d'éviter l'usage du terme "DBH" au profit de la lettre D suivie de la hauteur de mesure en indice Certains auteurs (*van Laar & Akça, 2007 ; Nogueira et al., 2006 ; Nogueira et al., 2008*) mentionnent également la possibilité de déterminer l'aire de sections transversales du tronc à partir de photographies.

3.1.b.3. Mesure de hauteur et/ou longueur

Selon *Rondeux (1999)*, après la grosseur, la hauteur est la plus importante caractéristique à mesurer ou à estimer en vue de déterminer le volume d'un arbre. Comme dans le cas de la mesure de grosseur, différents types de hauteur peuvent être mesurés. Il convient donc dans chaque cas de décrire le plus précisément possible le type de hauteur mesurée. De plus, la hauteur concerne généralement les arbres sur pied, alors que dans le cas d'arbres abattus, nous parlerons plutôt de longueur. A l'instar de la mesure de grosseur, le choix de l'instrument de mesure utilisé pour mesurer la hauteur varie selon que l'on est dans le cas d'arbres sur pied ou d'arbres abattus. Dans le premier cas, la mesure sera réalisée à l'aide de dendromètres alors que dans le second, on préférera l'usage de rubans métalliques. De façon générale, les dendromètres sont classés en trois catégories selon leur principe de construction (géométrique, trigonométrique ou à technologie ultrasonique).

3.1.b.4. Remarques générales relatives à la mesure de hauteur

A l'instar de la mesure de grosseur, la mesure de hauteur est également soumise aux deux mêmes types d'erreur (instrumentale et de mesure). Parmi les erreurs de mesures figurent notamment les erreurs dues à la configuration de l'arbre (visibilité du sommet ou arbre penché), les erreurs dues à l'opérateur (inclinaison de la tête) et les erreurs de mise en station (*Cailliez, 1992 ; Loetsch, 1973 ; Pardé, 1988 ; Rondeux, 1999*). Enfin, grâce aux progrès de la technologie laser, certains appareils permettent, à présent, de combiner la mesure de hauteur et la mesure de diamètre à différents niveaux (*van Laar & Akça, 2007 ; Rondeux, 1999*).

3.2. Méthodes d'estimation directe du volume

D'après plusieurs auteurs, la détermination du volume d'un arbre s'effectue de deux manières différentes, selon que l'arbre est abattu (*Méthode destructive*) ou sur pied. Dans les deux cas, des méthodes de cubage adaptées existent.

3.2.1. Arbres abattus

Dans le cas d'arbres abattus, deux méthodes principales existent (*Pardé et Bouchon, 1988 ; Rondeux, 1999*). La principale différence qui existe entre ces deux méthodes se situe au niveau du nombre de mesures prises. La première méthode proposée est le cubage global.

Dans celle-ci, la tige de l'arbre est assimilée à une forme géométrique (cylindre, tronc de paraboloïde, tronc de cône ou tronc de néloïde).

Les formules de calcul du volume de ces formes permettent alors de déterminer le volume de la tige ou du tronc. La deuxième méthode appelée *cubage par billons successifs* consiste à décomposer la tige en une succession de billons ou tronçons. Le volume de ces billons est ensuite déterminé en les assimilant à une forme géométrique. Le volume de la tige est alors obtenu en sommant les volumes individuels de chaque billon.

3.2.2. Arbres sur pied

Le cubage d'arbres sur pied est beaucoup plus complexe à réaliser puisqu'il implique la connaissance préalable ou l'estimation de certains paramètres dendrométriques (*Rondeux, 1999 ; West, 2009*). Plusieurs méthodes existent ; elles sont basées notamment sur des caractéristiques de forme ou par billons virtuels successifs, à l'aide d'instruments de mesure adaptés (dont le *relascope de Bitterlich*, le *compas finlandais* ou le pentaprisme de Wheeler). Notons aussi, que le cubage d'arbres sur pied a l'avantage d'être non destructif, ce qui est particulièrement intéressant dans les situations où l'abattage des arbres pose problème (notamment vis-à-vis de la législation). En contre partie, puisque cette méthode de cubage impose généralement l'usage d'instruments de mesure, il en découle que la qualité de l'estimation du volume dépend notamment de la visibilité de l'arbre et de sa cime. Celles-ci sont particulièrement problématiques dans le cas des forêts tropicales au sein desquelles le couvert est généralement très dense.

3.2.3. Choix du type de formule

Le choix du type d'équation à utiliser dépend principalement du type de méthode de cubage appliqué (global ou par billons successifs). Dans le cas du cubage par billons successifs, un facteur important à prendre en compte est la longueur des billons.

Diverses études ont été menées afin de comparer l'exactitude de différentes équations de cubage par rapport au volume réel obtenu par xylométrie. Il en ressort que, dans le cas de billons d'une longueur inférieure ou égale à 2 m, les formules traditionnelles (Tableau 05) sont les plus exactes. La plus exacte étant celle de *Huber* et la moins exacte celle de *Smalian* (*Filho et al., 2000; Martin, 1984*).

D'autres études comparent le volume estimé par les formules traditionnelles au volume obtenu au moyen d'une formule dite de référence. C'est notamment le cas dans l'étude de (*Fonweban, 1997*) qui compare les équations traditionnelles au volume obtenu par la formule de Newton, celle-ci étant considérée comme la plus exacte.

Dans la pratique, pour des raisons de facilité de mesure sur le terrain, la formule de Smalian est préférée, à condition que la longueur des billons ne dépasse pas 3m.

Dans le cas d'un cubage global, la formule de *Smalian* doit être évitée (*Fonweban, 1997*) et certains auteurs conseillent l'usage de la formule de *Newton* (*Akindele, 2005 ; Akindele & Lemay, 2006 ; Proce, 2008*). Dans le cas du cubage par billons successifs, il est conseillé d'utiliser la formule du tronc de cône car elle serait le meilleur compromis entre rapidité de mise en œuvre et précision (*Palm, 1982 ; Proce, 2008 ; Rondeux, 1999 ; Rondeux & Bourland, 2010*).

Tableau 05 : Equations de cubage traditionnelles, v =volume, h =longueur, d_0 =diamètre à la base, d_m =diamètre à mi-longueur et d_f =diamètre au sommet

| | |
|--------------------------|---|
| Formule de Huber | $v = (\pi/4)d_m^2 h$ |
| Formule de Smalian | $v = \frac{\pi h}{8}(d_0^2 + d_f^2)$ |
| Formule du tronc de cone | $v = \frac{\pi h}{12}(d_0^2 + d_f^2 + d_0 d_f)$ |
| Formule de N ewton | $v = \frac{\pi h}{24}(d_0^2 + d_f^2 + 4d_m^2)$ |

Selon que l'on se trouve dans le cas du cubage global ou dans celui du cubage par billons successifs, les variables v , h , d_0 , d_m et d_f se rapportent respectivement à la tige ou aux billons.

Les diverses études sur la biomasse font intervenir le volume des arbres. Celui-ci est calculé par divers moyens :

- Volume estimé lors d'inventaires (*Brown et Lugo, 1984*) ;
- Cubage global avec la formule de Huber (*Araujo et al., 1999 ; Chave et al., 2005 ; Deans et al., 1996*) ;
- Cubage global par la formule de Smalian (*Nogueira et al., 2006 ; Nogueira et al., 2008 ; Segura & Kaninnen, 2005*) ;
- Cubage par billons successifs avec la formule de Smalian et des billons de 2m (*Basuki et al., 2009 ; Henry et al., 2010*) ;

- Cubage de la souche par la formule du tronc de néloïde (*Segura & Kaninnen, 2005*) ;
- Cubage sur pied par billons successifs avec la formule de Huber (*Aboal et al., 2005*) ;
- Equations de régression provenant d'études antérieures (*Montagu et al., 2005*).

3.2.4. Détermination du volume exact d'un arbre

La forme d'un arbre ne peut jamais être parfaitement régulière. Pour cela, les principales méthodes d'estimation de volume se basent sur l'assimilation de la tige à une forme géométrique. Cependant, il existe quelques méthodes permettant de déterminer le volume d'un arbre de manière plus précise (*Filho et al., 2000 ; Martin, 1984 ; van Laar & Akça, 2007 ; West, 2009*) :

- la xylométrie, consistant à immerger la tige dans l'eau et mesurer le volume d'eau déplacé ;
- les lasers, scannant le profil de certaines parties de l'arbre pour en déterminer le volume ;
- la photographie, en photographiant l'arbre selon deux directions différentes on peut obtenir par ordinateur une vue en trois dimensions de celui-ci.

Ces différentes méthodes permettent d'obtenir une estimation très précise du volume de certaines parties de l'arbre, cependant aucune d'elle n'est vraiment adaptée au cas d'arbres sur pied. De plus, la plupart de ces méthodes nécessitent d'utiliser du matériel parfois coûteux et dont la mise en œuvre sur le terrain est très contraignante, en particulier en forêt tropicale. Ces limitations font que la plupart des études impliquant des estimations de volume ne font pas appel à ces méthodes. En outre, selon (*Pardé & Bouchon, 1988*), les méthodes de cubage direct par billons successifs donnent des estimations quasi exactes du volume vrai.

3.3. Méthode d'estimation indirecte du volume: Tarifs de cubage et équations associées

Contrairement aux méthodes vues précédemment, les tarifs permettent d'obtenir une estimation du volume des arbres de manière indirecte. En effet, l'usage des tarifs de cubage permet d'éviter de cuber "physiquement" les arbres. Un tarif de cubage se présente sous la forme d'un tableau chiffré, un graphique ou une équation fournissant le volume d'un arbre (ou d'un peuplement) en fonction d'une ou plusieurs caractéristiques dendrométriques directement mesurables (*Cailliez, 1992 ; van Laar & Akça, 2007 ; Pardé & Bouchon, 1988 ; Rondeux, 1999*). Il existe différents types de tarifs, en fonction du nombre d'entrées qu'ils comportent, à savoir, les caractéristiques dendrométriques de l'arbre en fonction desquelles ils fournissent un volume.

Les principales entrées sont les grosseurs à hauteur d'homme (tarifs à une entrée) pouvant être associées à des hauteurs totales ou partielles (tarifs à deux entrées). En outre, (*Rustagi & Loveless, 1990*) proposent également de faire intervenir un facteur de forme comme variable explicative supplémentaire lors de l'estimation du volume.

Concernant la méthode de construction des tarifs, plusieurs méthodes existent mais, actuellement, la plus employée est la méthode mathématique (*Rondeux, 1999*). Concrètement, cette méthode consiste à sélectionner les entrées du modèle puis à choisir l'équation de cubage. Une fois le type d'équation choisi, des ajustements mathématiques sont appliqués tels que les régressions statistiques. En forêt tropicale, les tarifs de cubages sont principalement utilisés dans le cas d'inventaires (*Akindele, 2005 ; Akindele & Lemay, 2006 ; Clément et al., 1973 ; Lanly, 1965a ; Lanly, 1965b ; Loetsch, 1973*) ou d'études sur l'accroissement de certaines essences (*Alder et al., 2003 ; Loetsch, 1973*).

Si l'on s'intéresse plus particulièrement au cas du Cameroun, l'administration forestière de ce pays dispose de tarifs de cubage dont l'usage est imposé aux sociétés forestières. Ces tarifs de cubage ont été établis dans le cadre de l'inventaire forestier camerounais. Les équations proposées sont de trois types différents :

$$V = \alpha D^\beta$$

$$V = \alpha + \beta D^2$$

$$V = \alpha + \beta D + \gamma D^2$$

Où V est le volume sur écorce de l'arbre depuis la section d'abattage jusqu'à la première grosse branche. D son diamètre et α , β et γ sont des coefficients dépendant des espèces ou des groupes d'espèces ainsi que des zones écologiques (*MINFEF & FAO, 2005*). Différentes équations sont donc proposées selon les phases d'inventaire.

3.3.1. Choix du type d'équation

D'une manière générale, deux types d'équations sont cités dans la littérature (*van Laar & Akça, 2007 ; Rondeux, 1999 ; West, 2009*).

Au premier type correspondent les relations linéaires de la forme :

$$v = a_0 + a_1 d^2 h,$$

ou
$$v = a_0 + a_1 d^2 + a_2 d^2 h,$$

ou
$$v = a_0 + a_1 d + a_2 d^2 + a_3 d^3 + a_4 h + a_5 d^2 h.$$

où v est le volume de l'arbre, d son diamètre de référence, h sa hauteur (totale ou partielle) et a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 et a_5 sont des paramètres. Le second type d'équations, quant à lui, se compose d'équations non linéaires dont la forme est :

$$v = a_0 d^{a_1}, \quad (1)$$

ou
$$v = a_0 + a_1 d^{a_2}.$$

Les modèles non linéaires peuvent être linéarisés par une double transformation logarithmique. Par exemple l'équation 1) se linéarise sous la forme :

$$\log v = \log a_0 + a_1 \log d.$$

L'usage de la transformation logarithmique introduit un biais dans l'estimation. Ce dernier peut être corrigé (*Baskerville, 1972 ; Sprugel, 1983*). Toutefois, selon (*Rondeux, 1999*) l'usage de tarifs de type logarithmique ne devrait être réservé qu'aux situations où l'on se trouve confronté à des problèmes d'ajustement. (*Verwijst, 1991*) et (*Parresol, 2001*), quant à eux, proposent des solutions alternatives. Notons également que (*Furnival, 1961*) propose un indice d'ajustement permettant de comparer différents types d'équations.

3.4. Remarques générales concernant les estimations de volume

3.4.1. Importance de l'écorce

Lors de l'estimation du volume d'un arbre, il est généralement plus aisé de mesurer son diamètre sur écorce. Cependant, l'écorce étant la plupart du temps considérée comme un produit de moindre valeur que le bois, il convient d'en tenir compte. De plus, dans une perspective de valorisation des sous-produits de la forêt tels que l'écorce, il est important de pouvoir quantifier ces derniers. Il en va de même lorsque l'on souhaite réaliser une estimation la plus complète possible de la biomasse ligneuse. Pour ces raisons l'épaisseur d'écorce est généralement mesurée (*van Laar & Akça, 2007 ; Rondeux, 1999 ; West, 2009*).

L'épaisseur d'écorce peut être mesurée de différentes manières. Si la mesure est effectuée sur des arbres sur pied, nous aurons recours à un mesureur d'écorce. Dans le cas d'arbres abattus, il est possible d'enlever l'écorce et de mesurer le diamètre sur- et sous-écorce. Toutefois, dans bien des cas, l'enlèvement de l'écorce s'avère fastidieux et on aura donc également recours au mesureur d'écorce (*Caillez, 1992 ; van Laar & Akça, 2007 ; Rondeux, 1999 ; West, 2009*).

L'objectif de la mesure de l'épaisseur d'écorce est généralement de mettre au point des relations (*van Laar & Akça, 2007 ; Li & Weiskittel, 2011*) unissant :

- le diamètre sur écorce à un niveau donné au diamètre sous écorce correspondant ou ;
- le diamètre de référence à l'épaisseur d'écorce à ce même niveau.

Signalons aussi que lors du débardage des bois, ceux-ci subissent un écorçage dû à des frottements lors de leur traction par les engins de débardage. Dans certains cas, cet écorçage peut être relativement important..

3.4.2. Détermination du volume des branches

Selon (*Rondeux , 1999*), le cubage des branches se base sur les mêmes principes que ceux proposés pour la tige dans le cas d'arbres abattus et les formules de cubage par billons successifs sont applicables. Toutefois, afin de réduire le coût et le temps de travail, il est possible d'utiliser des méthodes simplifiées. Celles-ci se basent notamment sur la relation unissant le volume des branches et la longueur totale des billons. D'autres tiennent compte de la longueur des branches ainsi que de leur grosseur et assimilent celles-ci à des troncs de cône.

Dans certaines études de biomasse, le volume des branches est déterminé jusqu'à une recoupe définie. Le volume de celles-ci est alors calculé soit par cubage global (*Segura & Kanninen, 2005*), soit par billons successifs (*Basuki et al., 2009 ; Henry et al., 2010*). Dans le cas des billons successifs, la longueur de ceux-ci est alors de 1 ou 2 m selon les études.

Chapitre 5 : Méthodes de détermination de la quantité de carbone dans une plante

1. Notions de séquestration du carbone par les plantes

Les différentes activités humaines entraînent des émissions importantes de Gaz à l'Effet de Serre (GES), tels que le CO₂, le N₂O et le CH₄ (*Lal, 2004*). En milieu urbain, l'adaptation de la gestion du sol et de la végétation pourrait représenter un des moyens de réduire les émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Selon *Nowak et Crane (2002)*, le bilan qui peut être fait entre la quantité de carbone stocké dans la biomasse des végétaux et le sol et les émissions de carbone et de GES est l'empreinte carbone, ou le taux de séquestration net.

➤ Séquestration ou fixation du carbone par les végétaux :

Les plantes ont la capacité de stocker le carbone dans leurs tissus par l'intermédiaire de la photosynthèse. Le carbone stocké dans la biomasse est incorporé dans le sol à mesure que la biomasse meurt et une partie du carbone du sol est restituée à l'atmosphère via la respiration, la décomposition et la minéralisation de cette matière organique par les microorganismes (*Singh, 2007*).

Selon *Singh (2007)* et *Nowak et Crane (2002)*, la séquestration du carbone par les plantes dépend directement de la quantité de biomasse qu'elles produisent. La quantité de biomasse produite varie selon le type de végétation, les espèces (*Singh, 2007*) et la gestion de cette végétation (*Qian & Follet, 2002*).

D'une manière générale, les plantes ligneuses stockent plus de carbone que les plantes herbacées. Parmi les plantes ligneuses, les arbres sont des puits de carbone majoritaires par rapport aux arbustes (*Jo et McPherson, 1995*).

D'autres facteurs peuvent influencer la quantité de biomasse produite par les plantes. *Nowak et Crane (2002)* ont estimé la séquestration du carbone par les arbres urbains dans plusieurs villes des Etats Unis.

Les quantités de carbone séquestrées déjà calculées augmentaient avec les surfaces d'espaces boisés et la proportion d'arbres de grande dimension et en bonne santé (*Nowak & Crane, 2002*). Dans une forêt ou un bois urbain, la densité des arbres est moins importante que dans une forêt naturelle.

Ainsi, les arbres ayant plus de possibilité de croître en largeur, la séquestration du carbone d'un seul arbre urbain serait quatre fois plus importante qu'un arbre d'une forêt naturelle (*Nowak et Crane, 2002*).

La séquestration ou captation du carbone dépend aussi du stade de croissance des arbres : la séquestration nette de carbone est positive dans une forêt urbaine jeune (phase de croissance), diminue à mesure que la forêt arrive à maturité, jusqu'à devenir négative lorsque les arbres sont sénescents et/ou que les arbres morts émettent du carbone dans l'atmosphère. La quantité de carbone séquestrée dépendant du taux de croissance, la quantité de carbone captée est plus importante pour les arbres qui ont un fort taux de croissance (*Nowak et al., 2002 ; Dubé et al., 2006, cités par Vergriete et Labrecque, 2007*).

Cependant, quelques facteurs sont susceptibles de limiter la capacité des végétaux à séquestrer le carbone. Par exemple, le potentiel de séquestration des gazons augmenterait après l'établissement de la végétation et se stabiliserait au bout d'une quarantaine d'années, notamment parce que les apports en matière organique du sol seraient constants (*Qian et Follet, 2002*).

La quantité de biomasse dépendant également de la capacité des plantes à se développer correctement dans leur milieu. Le climat et la structure du sol notamment ont une importance, car ils influent sur la capacité photosynthétique des plantes et la fixation de la matière organique mais aussi sur la décomposition de la matière organique du sol (*Singh, 2007*). Le choix de plantes adaptées au milieu dans lequel elles sont plantées permet d'optimiser leur croissance et d'éviter des tâches de gestion supplémentaires (ex : les arbres vigoureux plantés près des façades engendrent des tailles supplémentaires) (*Jo et McPherson, 1995*).

2. Stocks de carbone dans les écosystèmes forestiers difficiles à quantifier

La quantification du carbone contenu dans les arbres s'estime à partir des données du volume bois fort mesuré par l'IFN (*L'Inventaire forestier national*). En plus de l'estimation de la biomasse ligneuse, les stocks dans quatre autres compartiments doivent être évalués : les sols et la litière, les feuilles, le bois mort, la biomasse du sous-bois. Différentes sources, issues de mesures et/ou de travaux de modélisation, sont utilisées pour estimer le stock de carbone des différents compartiments des écosystèmes forestiers.

Toutefois les incertitudes restent grandes et les calculs sont complexes.

2.1. Calculer le volume des troncs

L'objectif initial de l'IFN (*et des inventaires forestiers en général*) est d'évaluer la ressource en bois exploitable. De ce fait, seules les tiges ayant un diamètre à 1,30 m de plus de 7,5 cm sont mesurées. Le volume bois fort sur écorce correspondant est connu avec une très bonne précision. En revanche, le volume dans les boisements jeunes ou dans les accrus naturels jeunes n'est pas mesuré par l'IFN. Or, il peut représenter une part non négligeable du volume de bois, notamment en région méditerranéenne.

2.2. Évaluation des stocks de carbone dans les arbres

Le calcul des stocks de carbone dans les arbres est obtenu, pour l'ensemble des espèces, à partir du produit suivant :

$$C = V_{IFN} \times Den \times FEB \times FER \times Car$$

C IFN: masse de carbone pour l'espèce et la placette considérée

V: volume bois fort mesuré par l'IFN

Den : densité du bois

FEB : facteur d'expansion des branches

FER : facteur d'expansion des racines

Car : taux de carbone moyen

Les coefficients multiplicateurs ci-dessus reposent sur des mesures qui, si elles sont déjà nombreuses aujourd'hui, ne sont pas généralisables. C'est le cas notamment pour l'évaluation, complexe, de la biomasse racinaire. Les coefficients peuvent être fonctions de l'essence, de la sylviculture, du type de peuplement, des régions, du climat, etc. Il est donc difficile d'établir des formules génériques de passage du volume de bois fort IFN (m³) à la quantité de carbone contenue dans l'arbre. (PIGNARD G. *et al.*, 2004).

2.3. Estimation du carbone dans les sols

Le stock de carbone des sols forestiers a été mesuré entre 1993 et 1994 sur 642 placettes françaises :

- du réseau systématique européen de suivi de l'état de santé des forêts (540 placettes) ;
- du réseau intensif de suivi des écosystèmes forestiers (*Renecofor, 102 placettes*). (*Arrouays D. et al., 1999*).

2.4. Évaluation de carbone dans le bois mort

Les connaissances sur les masses de bois mort sont lacunaires. Seul le volume de bois mort sur pied depuis moins de cinq ans est comptabilisé par l'IFN. Les autres formes de bois mort représentent une part non négligeable du total. Compte tenu des nouveaux enjeux associés à l'évaluation du bois mort en forêt (carbone, biodiversité, etc.), l'IFN pourrait mettre en place prochainement un protocole d'inventaire spécifique. Un test dans le Haut-Rhin a montré que le bois mort sur pied de moins de cinq ans ne représentait que 20 % du total (*ARROUAYS D. et al 2002*).

2.5. Estimation du carbone de la végétation du sous-bois

La biomasse du sous-bois, composée de petits ligneux, d'herbacées et de mousses, est très mal connue. Elle n'est cependant pas négligeable dans l'évaluation du stock de carbone de l'écosystème. Les modèles de variation de ces biomasses restent à établir en fonction des typologies de stations existantes. Des collaborations entre l'IFN et la recherche pourraient déboucher sur l'estimation du volume de sous-bois et de la masse de carbone correspondante par station forestière. Ainsi, les données de l'IFN seraient à la base d'une évaluation nationale du stock de carbone de la végétation du sous-bois. (*PIGNARD (G.) et al. ,2004*).

2.6. Détermination de la surface forestière

L'estimation de la superficie forestière est nécessaire à l'intégration des stocks au niveau national. Elle constitue néanmoins une autre source d'incertitude.

Jusqu'en 2004, l'IFN opérait à l'échelle départementale selon un cycle d'environ 12 ans, avec pour conséquence que la surface de l'ensemble des forêts françaises n'était jamais évaluée à une date donnée. Les calculs de l'IFN donnaient une situation moyenne sur la période d'inventaire national.

Cet inconvénient pouvait être en partie contourné grâce aux données de l'enquête Teruti/LUCAS , mais un écart non négligeable (de l'ordre de 600 000 ha, soit environ 4 % de la surface forestière), existait entre ces deux sources statistiques. Dès fin 2005, l'IFN sera en mesure d'évaluer chaque année la surface nationale boisée. (PIGNARD (G.) et al., 2004).

2.7. Améliorer la connaissance

La coopération entre l'IFN et les organismes de recherche est indispensable pour affiner l'estimation globale des stocks et des flux de carbone au niveau de l'écosystème demandée dans les inventaires nationaux d'émission de GES. (DUPOUEY (J.-L.), PIGNARD (G.),2001).

3. Méthodes pour le calcul des stocks de C dans la biomasse des arbres :

Deux approches sont proposées pour estimer le stock de C d'un arbre à partir des données d'inventaire (IPCC,2003) :

La première, décrite par Dupuey en 1999, convertir le volume de bois fort d'un peuplement (VIFN) en volume totale aérien ou en biomasse par l'intermédiaire de facteurs d'expansion (FEBR). Cette grandeur est ensuite convertie en masse de C en appliquant un taux de C moyen dans le bois (CARB) et une valeur d'infra densité du bois (DENS). On calcule le stock (C) de la manière suivante (1) :

$$(1) \quad C = VIFN \times FEBR \times DENS \times CARB$$

La seconde option permet d'estimer le volume ligneux ou la biomasse d'un arbre à l'aide de son âge et des ses grandeurs dendrométriques (DHP : Diamètre à H auteure de Poitrine.) utilisées en entrée d'équation au niveau arbre. La méthode se résume ainsi (2) :

$$(2) \quad C = \text{Equation (arbre)} \times CARB \times DENS$$

Les facteurs d'expansion FEBR et les équations au niveau arbre peuvent être (1) spécifiques pour une essence donné, dans région et une structure forestière, (2) ou génériques et applicables au niveau national à l'ensemble des groupes d'essences (conifères et feuillus) dans toutes les structure forestières. (IPCC,2003).

3.1. Autre méthode de calcul la C :

L'équation a ensuite permis d'évaluer la quantité de carbone présente dans la biomasse des composantes étudiées. (*L'IF, 2005*).

$$CE = B * FC$$

Où :

CE = carbone emmagasiné (t C/ha)

B = biomasse (t/ha)

FC = fraction de carbone (%)

Deuxième partie : Expérimentation

Chapitre 1 : Matériels et Méthodes

1. Objectifs

Ce travail expérimental a visé simultanément plusieurs objectifs.

Il a permis d'abord de mettre en évidence l'importance de la culture de l'olivier dans l'Ouest algérien et plus particulièrement dans la région de Sig (Wilaya de Mascara).

Il a aussi permis d'établir une carte détaillée de la position des différentes parcelles occupées par cette espèce végétale selon les différentes zones d'étude délimitées.

Enfin et pour chaque zone d'étude, il a contribué à évaluer le nombre total de parcelles occupées par l'olivier, la surface de chaque parcelle, le nombre d'olivier par parcelle et leur densité par hectare. Ces données ont permis d'estimer la biomasse aérienne totale de l'ensemble des oliveraies de toute la région de Sig. Il s'agit de mesure du volume total de cette biomasse végétale, de son poids et de sa surface foliaire.

2. Localisation de la région d'étude et zonage

2.1. Localisation de la région d'étude et de la ferme *El boustane*

Le choix de la région de Sig a été dicté par l'importance et l'ancienneté de la culture de l'olivier dans cette dernière. En effet, les plus importantes oliveraies existaient depuis la conquête de l'ouest algérien par les collons français. Par ailleurs, il est judicieux de préciser que le récent découpage administratif a permis inévitablement de constater que les oliveraies de cette région concerne simultanément quatre communes de la même wilaya (Mascara) qui sont Sig, Oggaz, Ras el Aïn Amirouche et Bou Henni (Figure 10).

Les coordonnées géographiques sont les suivantes :

Sig : l'altitude : 35° 32 00 Nord , longitude : 0° 11 00 Ouest

Oggaz : l'altitude : 35° 34 00 Nord , longitude : 0° 16 00 Ouest

Ras el Aïn Amirouche : l'altitude : 35° 35 33 Nord , longitude : 0° 12 45 Ouest

Bou Henni : l'altitude : 35° 33 38 Nord , longitude : 0° 05 04 Ouest

Pour plus d'efficacité de mesure et de comptage des arbres, la région de l'étude a été divisée de six zones. A son tour, chaque zone a été subdivisée en plusieurs sections (Figure 11)



Figure 10: Localisation géographique de la région concernée par l'étude

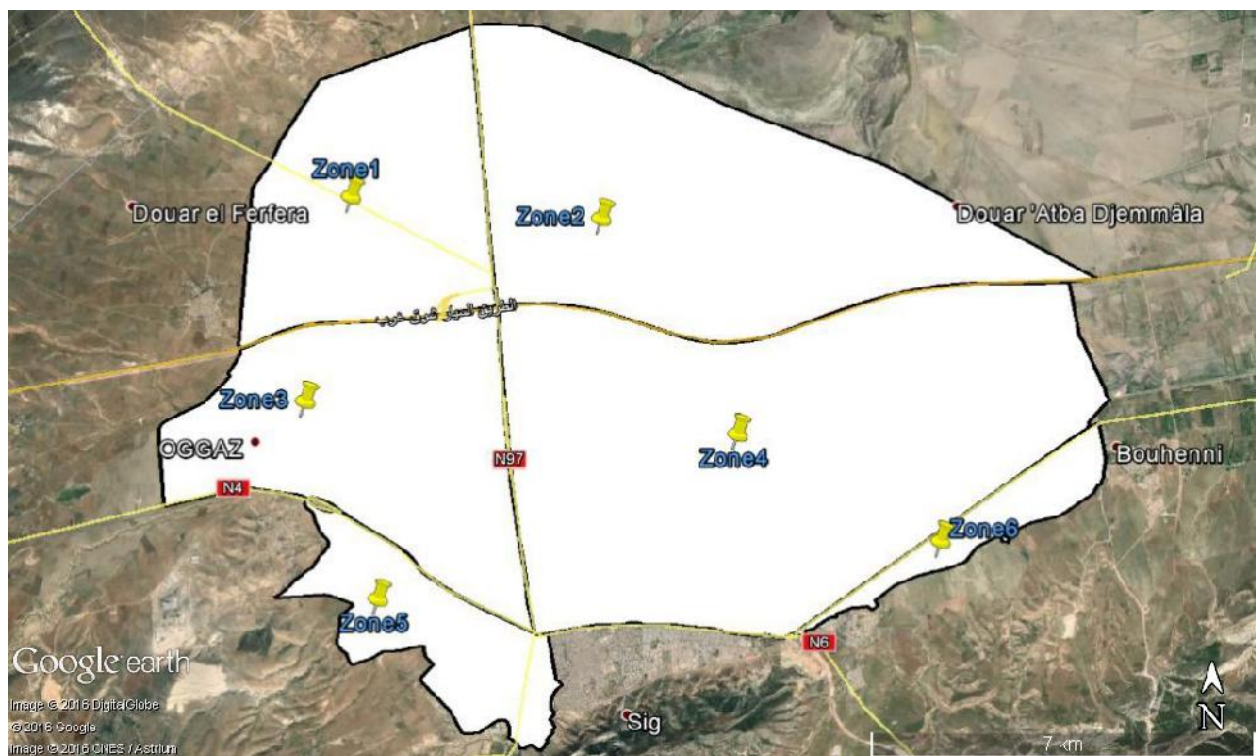


Figure 11 : Zonage de la région de l'étude (Google Erthe 2016)

Enfin, la ferme *El boustane* a été choisie comme modèle pour les différentes mesures sur les oliviers (biomasse végétale) (Figures 12).

Il s'agit initialement de la ferme pilote dite *Si Zaghoul* qui a été restructurée récemment en société par action. La position géographique de cette dernière a été obtenue grâce à la carte d'état major de Sig N° 3-4 à une échelle de 1/25.000^{ème} ; avec les positions suivantes :

$$X_1 = 238,8 ; Y_1 = 252,7$$

$$X_2 = 239,6 ; Y_2 = 254,0$$

X, Y= coordonnées cartésiennes géocentriques relatives les deux axe d'un repère ayant son origine au centre des masses de la terre (coordonnées Lambert).

Cette exploitation est située au Nord-est du chef lieu de commune de Sig. Elle est délimitée à l'Est, à l'Ouest et au Nord par des chemins d'exploitation non goudronnés et au Sud par le réseau de chemin de fer. Sur le plan administratif, l'exploitation retenue est située dans la commune de Sig.

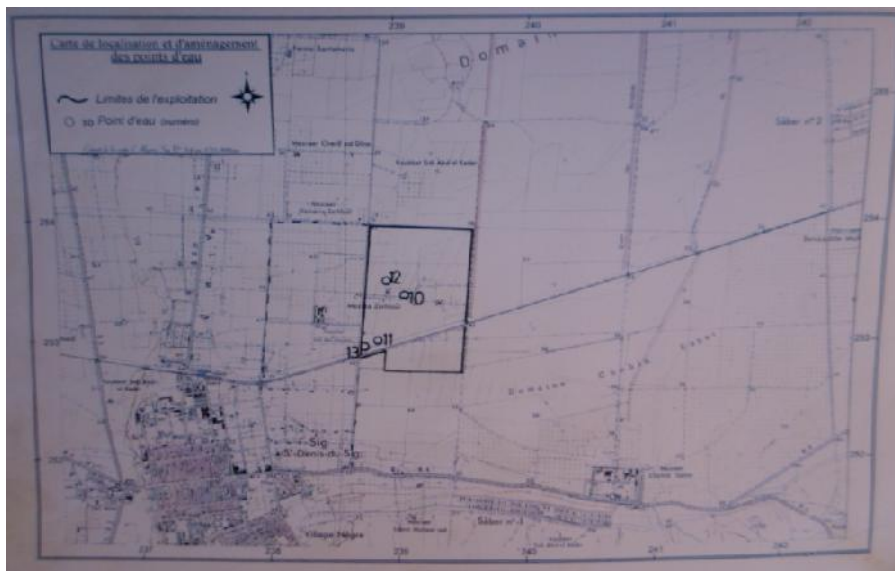


Figure 12: Présentation et localisation de la ferme *El boustane*

L'exploitation *El boustane* occupe une superficie de 95 ha répartie en 14 parcelles d'oliviers (**tableau 6**). Sa topographie épouse celle des terrasses récentes de la plaine de la Mactâa, avec des pentes faibles et des altitudes par rapport à la mer oscillant entre 38 et 46 mètres.

La couverture pédologique de la ferme *El boustane*, comme celle de toute la région de Sig, est formée principalement de sols d'apport alluvial, profonds à caractères vertiques et évoluant sur des marnes, des marnocalcaires, d'une profondeur supérieure ou égale à 120 cm.

Tableau 6: Répartition du périmètre de la ferme *El boustane*, age approximatif des oliveraies et périodes approximatives des dernières récolte et taille (année de plantation)

| N° de Parcelle | Age (an) | Superficie (ha) | Période dernière récolte | Période dernière Taille |
|-----------------------|-------------------|------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| 1 | Période coloniale | 9.62Hectare | fin8-début9/2015 | 12/2014- 1/2015 |
| 2 | Période coloniale | 10.25Hectare | fin8-début9/2015 | 12/2014- 1/2016 |
| 3 | Période coloniale | 10.62Hectare | fin8-début9/2015 | 12/2014- 1/2016 |
| 4 | 34 | 4.85Hectare | fin8-début9/2015 | 12/2014- 1/2016 |
| 5 | Période coloniale | 10.23Hectare | fin8-début9/2015 | 12/2014- 1/2016 |
| 6 | Période coloniale | 4.88Hectare | fin8-début9/2015 | 12/2014- 1/2016 |
| 7 | Période coloniale | 5.60Hectare | fin8-début9/2015 | 12/2014- 1/2015 |
| 8 | 31 | 1.7Hectare | fin8-début9/2015 | 12/2014- 1/2015 |
| 9b | Infrastructure | 1.21Hectare | fin8-début9/2015 | 12/2014- 1/2015 |
| 10a | 16 | 4.2Hectare | fin8-début9/2015 | 12/2014- 1/2015 |
| 10b | Période coloniale | 3.47Hectare | fin8-début9/2015 | 12/2014- 1/2015 |
| 11 | 13 | 2.5Hectare | fin8-début9/2015 | 12/2014- 1/2015 |
| 12 | 13 | 2.5Hectare | fin8-début9/2015 | 12/2014- 1/2015 |
| 13 | Période coloniale | 0.95Hectare | fin8-début9/2015 | 12/2014- 1/2016 |
| 14 | 38 | 5.20Hectare | fin8-début9/2015 | 12/2014- 1/2016 |

3. Matériels utilisés

Pour la délimitation des oliveraies, l'évaluation de leur surface ainsi que le dénombrement des oliviers, le logiciel *Google Earth Pro* version 2015 a été utilisé.

Le matériel végétal concerné par cette étude est l'olivier de la variété Sigoise de la région de Sig

Par ailleurs, différents outils ont été utilisés pour les opérations de mesures des paramètres sur l'olivier (Tableau 7).

Tableau 7 : Liste des différents matériels et outils utilisés pour les mesures sur l'olivier

| Matériel ou outil | Utilisation |
|-----------------------------|--|
| Ruban métrique | Mesures des diamètres et de la longueur du tronc et des charpentes de l'olivier |
| Scie pour bois | Découpe des branches de l'olivier |
| Sécateur | Découpe des rameaux et des ramilles de l'olivier |
| Balance électronique | Pesée de la Biomasse végétale: Masse totale des branches, des rameaux, des ramilles et des feuilles de l'olivier |
| Eprouvette graduée (1000ml) | Mesure du volume de la masse des feuilles, des branches, des rameaux, des ramilles de l'olivier |
| Balances de précision | Pour surface foliaire |

4. Méthodes

Rappelons que pour les différentes opérations de mesures sur l'olivier, cinq parcelles de la ferme *El boustane* ont été choisies aléatoirement. Un échantillon global de cinquante arbres a fait l'objet de mesures, soit dix oliviers par parcelle (Figure 13).

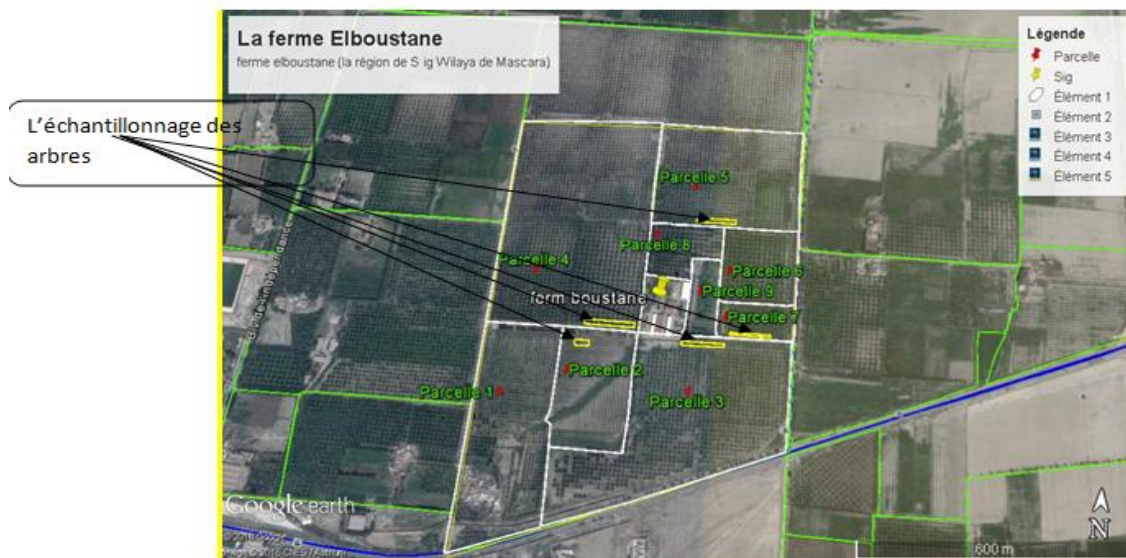


Figure 13: Présentation de la ferme *El boustane* avec les différentes parcelles et position de l'échantillonnage des 50 arbres (*Google Erthe Pro*, 2016)

4.1. Méthode de zonage, de dénombrement des arbres et calcul de superficie

Grace au logiciel Google Earth Pro (2015), la région avec ses six zones ont été délimitées. Plusieurs paramètres peuvent être calculés par ce logiciel. En effet, il a permis la délimitation précise de l'ensemble des parcelles des six zones

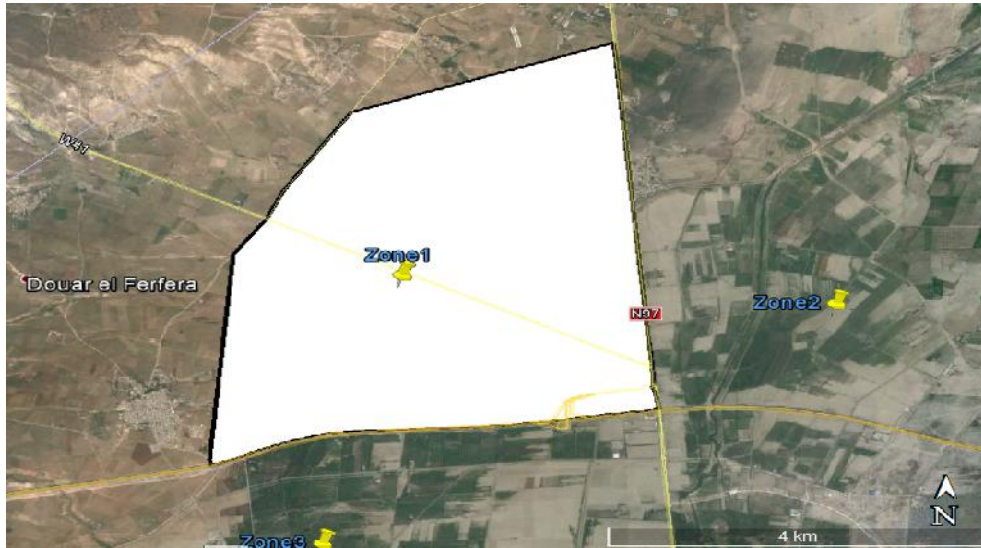


Figure 14 a : Délimitation de la zone 1

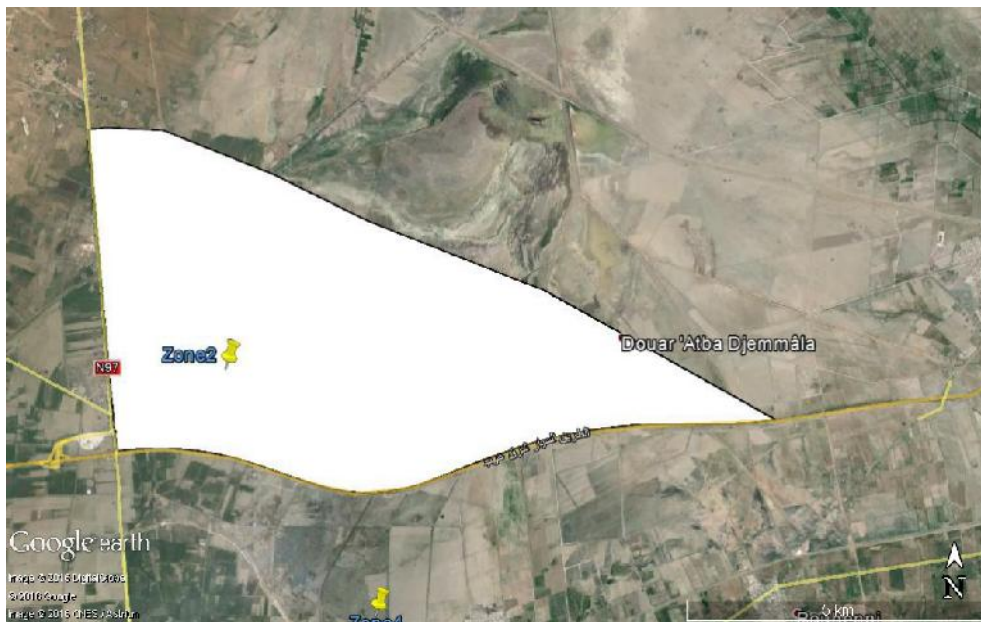


Figure 14 b : Délimitation de la zone 2



Figure 14 c : Délimitation de la zone 3



Figure 14 d : Délimitation de la zone 4



Figure 14 e : Délimitation de la zone 5



Figure 14 f : Délimitation de la zone 6

Pour chaque parcelle, il a également permis la détermination de la superficie en hectare, le dénombrement des arbres et leur densité par hectare. Le même travail a été effectué pour 2005 et 2015 afin d'évaluer la progression de l'oléiculture dans cette région.

4.2. Méthode de mensurations directes sur l'olivier

Avant les mesures directes, il serait nécessaire de présenter la structure globale de la partie aérienne d'un olivier constituée d'un tronc, de charpentes primaires et secondaires (Ch1 et Ch2), de branches primaires et secondaires, de rameaux et de ramilles (**Figure 15**). Ces mesures ont concerné seulement le tronc, les charpentes et les branches primaires. Quant aux branches secondaires, considérées plus fines, rameaux et ramilles, elles ont fait l'objet d'émondage (coupe) pour la détermination du volume et du poids de la biomasse de l'olivier.

Par manque de dendromètre, la hauteur (**h1**) de chaque olivier a été obtenue par mesure direct avec un ruban métrique. La même opération a concerné le rayon (**R1 et R2**) et la hauteur du houppier, la longueur (**L ou h2**) et les diamètres (**D1**) et (**D2**) du tronc, des charpentes et des grosses branches (Figures 16 et 17). En premier lieu, ces différentes mesures ont permis d'évaluer la taille des oliviers de l'échantillon.

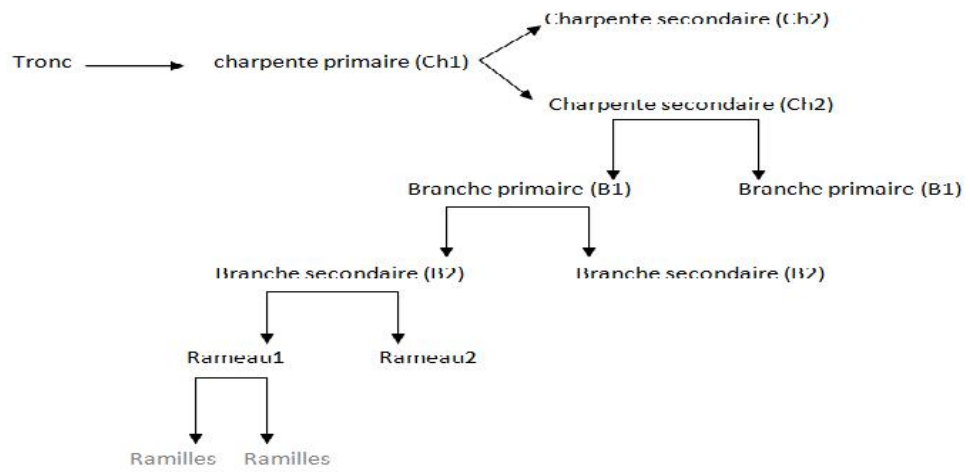


Figure 15 : Structure globale d'olivier



Figure 16: Exemples de mensurations directes sur l'olivier

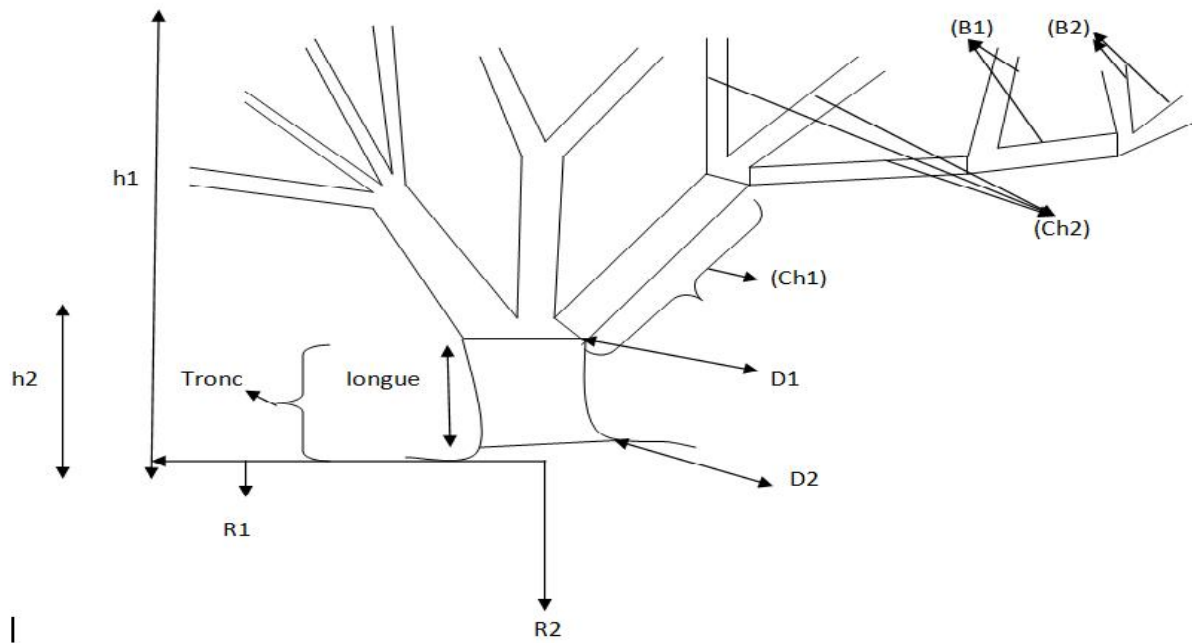


Figure 17 : Schéma explicatif de la forme et les mesures effectuées sur un olivier

Ch1 : charpente primaire ; Ch2 : charpente secondaire ; B1 : branche primaire ; B2 : branche secondaire ; D1 : diamètre 1 ; D2 : diamètre 2 ; h1 : Hauteur 1 ; h2 : Hauteur 2 ; R1 : rayon 1 ; R2 : rayon 2

4.3. Méthode d'évaluation du volume de la biomasse de bois d'un olivier

Les mesures directes de la longueur (**L**) et les diamètres (**D1**) et (**D2**) du tronc, des charpentes et des grosses branches ont permis d'évaluer le volume de la biomasse de bois d'un olivier.

La formule suivante a été appliquée pour le calcul du volume de chaque tronc, charpente et branche suivant qu'il s'agit généralement de la forme d'un *cône de révolution* (Figure 18).

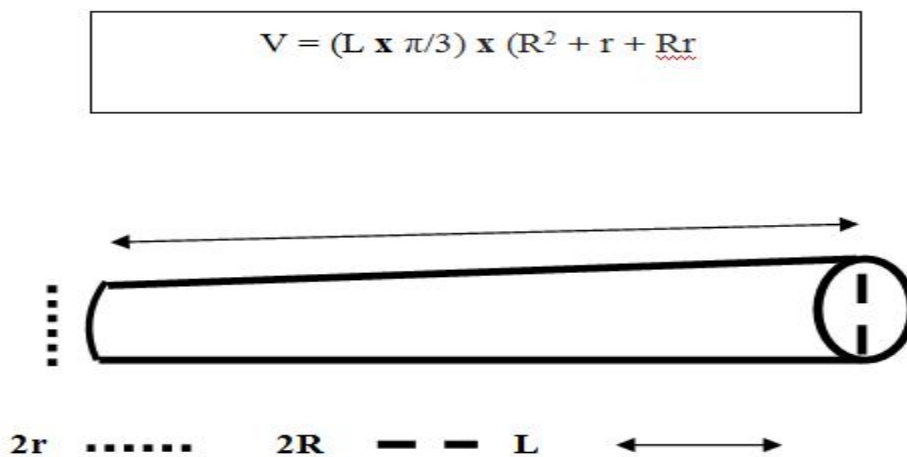


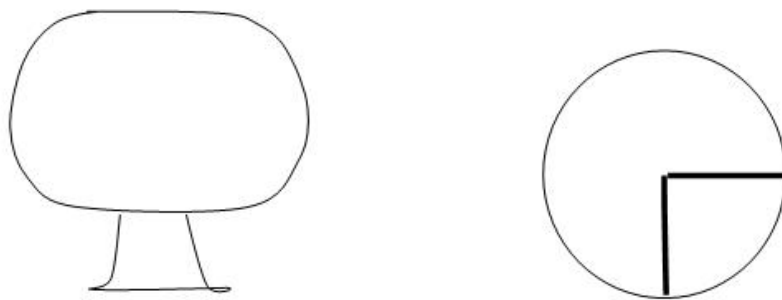
Figure 18 : Forme d'un cône de révolution

La somme totale des volumes de l'ensemble du tronc, des charpentes et des grosses branches donne le *volume global* de la biomasse de bois de l'olivier, non comprises les petites branches, les rameaux, les ramilles et les feuilles.

4.4. Méthode d'évaluation du poids total des petites branches, des rameaux, des ramilles et des feuilles d'un olivier

Pour le poids total des petites branches, des rameaux, des ramilles et des feuilles, quatre oliviers de tailles différentes ont été pris au hasard. Environ un quart (1/4) de leur houppier a fait l'objet d'émondage intégral des parties de l'olivier citées ci-dessus (**figures 19 et 20**).

Après l'opération d'émondage, toutes les feuilles ont été séparées des petites branches, des rameaux et des ramilles puis mises en sac plastique pour leur pesée (figures 21). De même, les petites branches, les rameaux et les ramilles dépourvues de leurs feuilles ont été également pesées ensemble.



Houppier d'un olivier

Vue latérale

Vue de haut

(1/4 du houppier pour coupe)

Figure 19 : Présentation de la partie (1/4) du houppier concernée par la coupe des petites branches, des rameaux et des ramilles

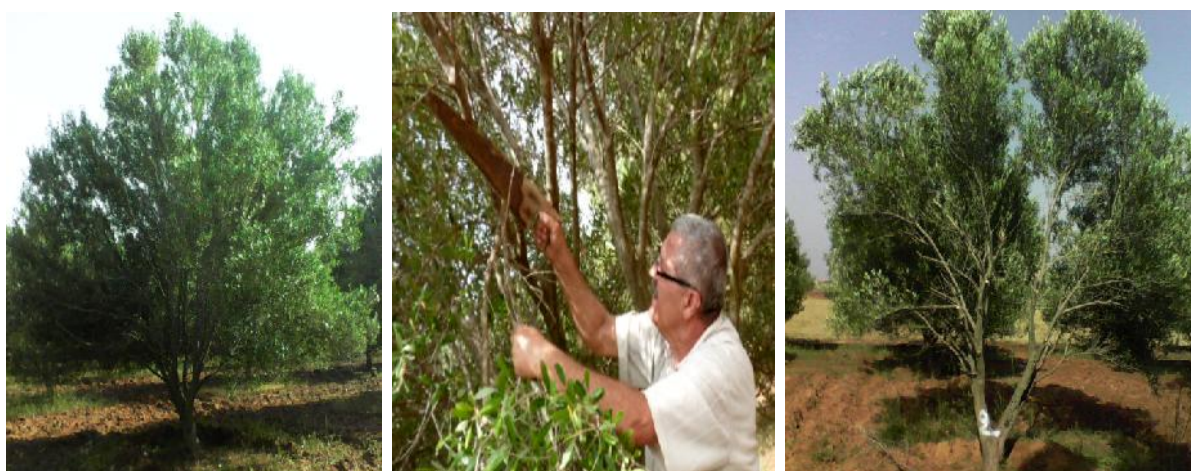


Figure 20: Présentation d'un olivier avant, durant et après l'émondage des petites branches, des rameaux et des ramilles d'1/4du houppier



Figure 21 : Opération de séparation des feuilles et leur pesée

4.5. Méthode d'évaluation du volume total des petites branches, des rameaux, des ramilles et des feuilles d'un olivier

Après la pesée des feuilles des quatre oliviers (1/4 du houppier de chacun), plusieurs échantillons, d'environ 300g, de ces feuilles ont fait l'objet de détermination de leur volume respectif. L'opération consistait à remplir à moitié une éprouvette de 1000ml avec de l'eau de robinet. Puis, un échantillon de 300g de feuille est transvasé dans l'éprouvette contenant 500ml d'eau. Le déplacement de la colonne d'eau de l'éprouvette par l'échantillon de feuilles représente le volume de ce dernier (300g de feuilles) (figure 22). Par extrapolation, le volume total des feuilles d'un olivier a été déterminé.

Les mêmes opérations appliquées sur les feuilles ont été répétées pour l'évaluation du volume total que représentent les petites branches, les rameaux et les ramilles d'un olivier. Sauf qu'avant leur introduction dans l'éprouvette, ces derniers ont été réduits en petits brindilles.

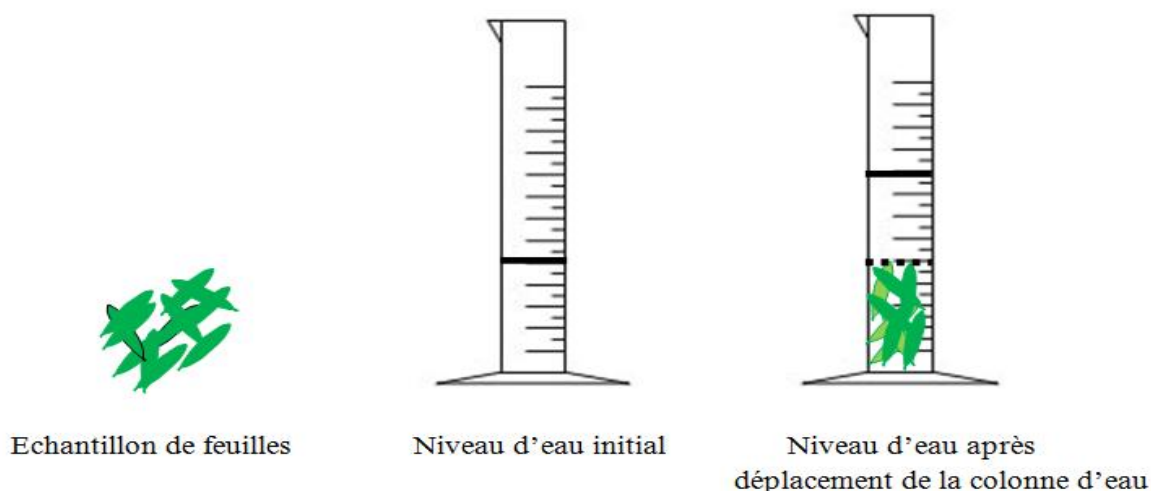


Figure 22 : Schéma illustrant la détermination du volume des feuilles

4.6. Méthode d'évaluation de la surface foliaire d'un olivier

Par défaut d'utilisation du logiciel Mesurim pour la détermination de la surface foliaire des feuilles d'olivier, une méthode directe a été appliquée. Il s'agit de peser un petit échantillon de feuilles. Ensuite, le contour de chaque feuille de cet échantillon a été reproduit sur une feuille cartonnée avec un poids et une surface connue préalablement. Le dessin de chaque feuille d'olivier a été par la suite cisaillé à l'aide d'une paire de ciseaux. Les croquis de l'ensemble des feuilles de chaque échantillon ont été pesés (figure 23). Par simple extrapolation et connaissant la surface totale de la feuille cartonnée (21x27 cm) et de son poids total 10.76g, la surface globale de l'ensemble des feuilles de l'échantillon a été calculée. En divisant cette surface par le nombre de feuilles que constitue l'échantillon, on obtient la surface foliaire moyenne d'une feuille d'olivier. Pour plus de fiabilité des résultats, cette opération a été reproduite sur huit échantillons de feuilles provenant de plusieurs arbres. La figure 11 illustre la méthode de détermination de la surface l'une.



Figure 23 : Pesées de l'échantillon de feuilles et des croquis de ces dernières après dessin sur papier cartonné (Calcul de surface d'une feuille d'olivier)

4.7. Calculs statistiques

Les résultats des différents paramètres mesurés sont présentés par leur valeur moyenne. Les calculs ont été effectués par excel.

Chapitre 2 : Résultats et discussions

1. Evolution des plantations d'oliveraies entre 2005 et 2015

Les deux cartes (Figure 1 et 2) de cette région illustrent la délimitation des six zones, leurs superficies respectives, les sections et les parcelles avec le nombre d'arbre d'oliviers (Pour 2 périodes déférentes 2005 et 2015).

Ces mêmes figures ainsi que le tableau 8 montrent aussi les positions et la délimitation des parcelles d'oliveraies nouvellement implantées et arrachées entre 2005 et 2015.

Ces résultats mettent en évidence l'existence d'une nette progression du nombre de parcelles d'olivier durant la période 2005 et 2015. Une augmentation de l'ordre 101 parcelles nouvellement mises en place est enregistrée durant cette période. En revanche et pour des motifs non élucidés, seulement 6 parcelles avaient fait l'objet d'opération d'arrachage.

Enfin, une progression du nombre de parcelle de l'ordre de 11.03% est observée en 10 ans (2005-2015).

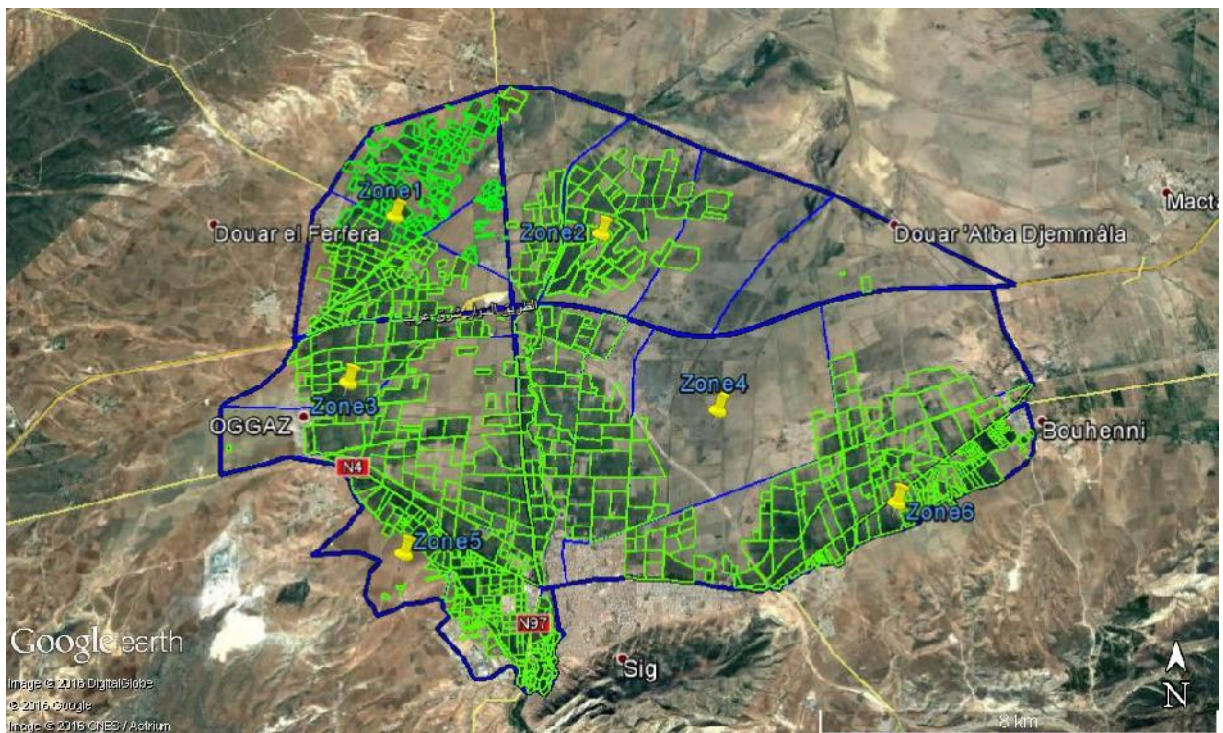


Figure 24 : Délimitation et répartition globale des parcelles d'oliveraies des six zones en 2015 (Selon logiciel Google Earth Pro)

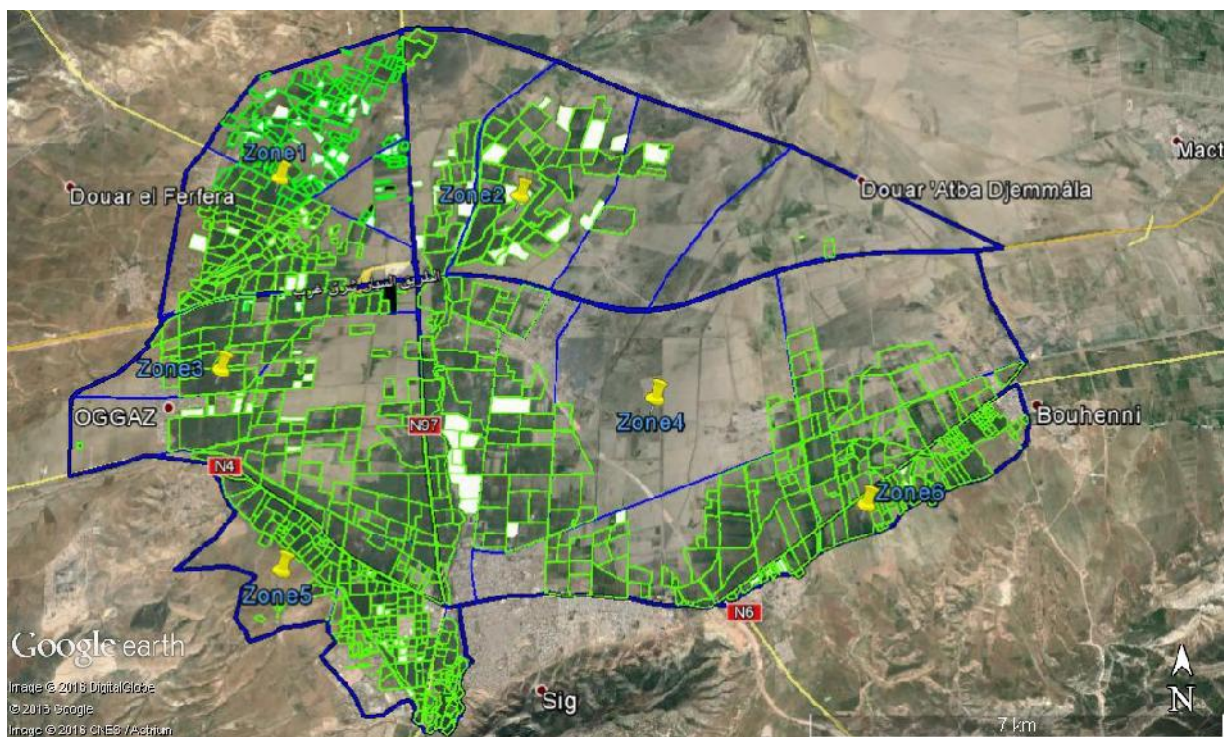


Figure 25: Position et délimitation des parcelles d’oliveraies nouvellement implantées et arrachées entre 2005 et 2015 (Google Earth Pro)

Tableau 8 : Nombre de parcelles nouvellement plantées ou arrachées entre 2005 et 2015

| Numéro Zone | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | Total |
|---|-------|-------|------|------|------|------|--------------|
| Nombre de parcelles plantées entre 2005 et 2015 | 39 | 25 | 9 | 9 | 14 | 11 | 107 |
| Nombre de parcelles arrachées entre 2005 et 2015 | 4 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| Nombre de parcelles en 2015 | 232 | 66 | 113 | 162 | 215 | 127 | 915 |
| Différence entre plantées et arrachées (entre 2005 et 2015) | 35 | 25 | 7 | 9 | 14 | 11 | 101 |
| Bilan de la progression (%) | 15.08 | 37.87 | 6.19 | 5.55 | 6.51 | 8.66 | 11.03 |

2. Superficies et effectifs d'oliviers et densité par hectare selon les différentes zones

La figure 26 montre la délimitation des parcelles d'oliveraies de SIG pour la Zone 1. Rappelons que cette dernière est subdivisée en 4 sections. Pour cette zone et ses 4 sections, on a délimité un total de 231 parcelles avec une superficie totale de 1939 ha hectares et regroupant un total de 67225 oliviers. Enfin, la densité des plantations des oliviers pour les 4 sections varie entre 65 et 117 (tableau 9).

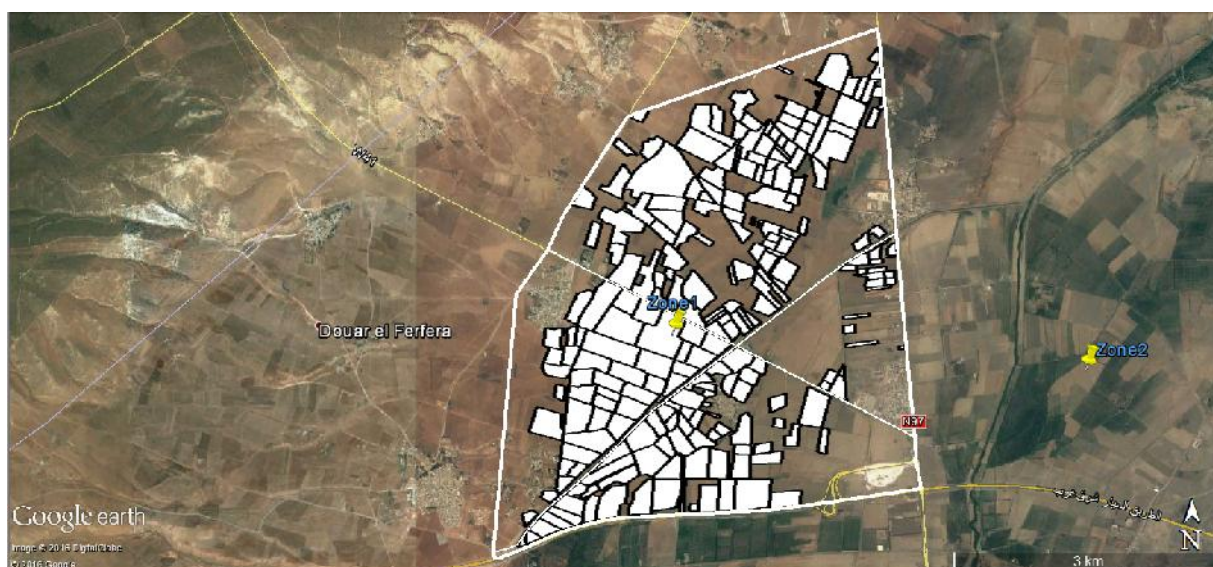


Figure 26 : Délimitation des parcelles d'oliveraies de SIG pour la Zone 1
(Google Earth Pro) Délimitation des parcelles

Tableau 9: Nombre, superficie des parcelles et effectifs d'oliviers dans la zone 1

| Paramètres | Numéro de section | | | | Total |
|-----------------------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| Nombre de parcelles | 22 | 107 | 42 | 60 | 231 |
| Superficie totale (ha) | 218 | 822 | 425 | 472 | 1939 |
| Nombre total d'oliviers | 3087 | 31355 | 15554 | 17229 | 67225 |
| Densité moyenne par hectare | 117 | 80 | 65 | 69 | - |

La figure 27 illustre la délimitation des parcelles d'oliviers de SIG de la Zone 2. Cette dernière zone est subdivisée en 4 sections et délimite un total de 66 parcelles avec une superficie totale de 3571 ha et regroupant un total de 66679 oliviers. Enfin, la densité des plantations des oliviers pour les 4 sections de la zone 2 varie entre 68 et 93 (tableau 10).

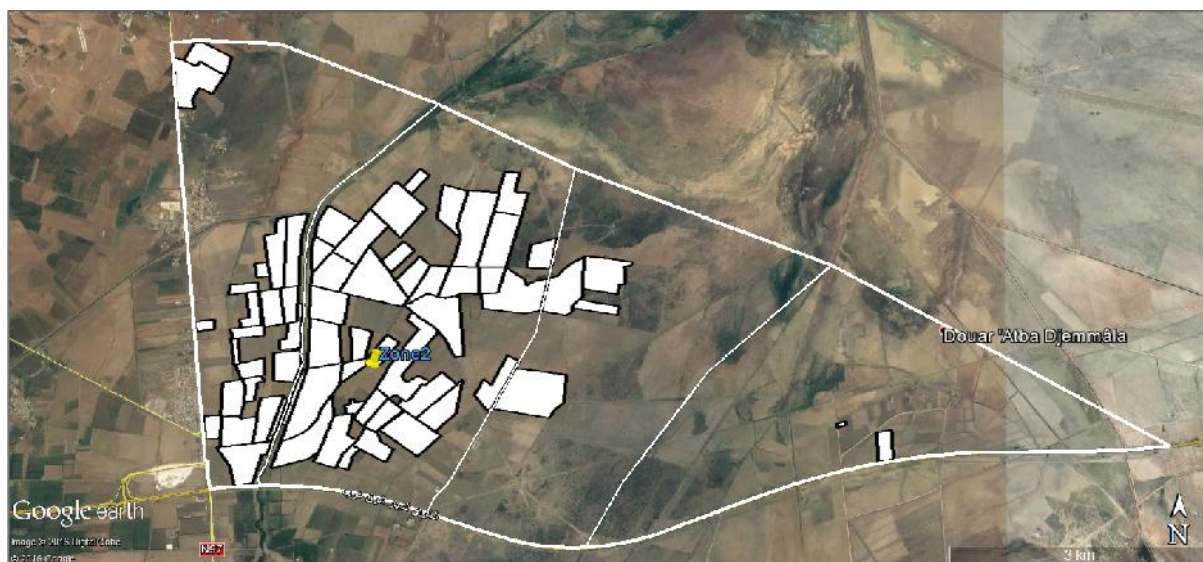


Figure 27 : Délimitation des parcelles d'oliveraies de SIG pour la Zone 2

(Google Earth Pro)  Délimitation des parcelles

Tableau10 : Nombre, superficie des parcelles et effectifs d'oliviers dans la zone 2

| Paramètres | Numéro de section | | | | Total |
|-----------------------------|-------------------|-------|------|-----|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| Nombre de parcelles | 22 | 38 | 4 | 2 | 66 |
| Superficie totale (ha) | 778 | 1049 | 890 | 849 | 3571 |
| Nombre total d'oliviers | 14358 | 47474 | 4704 | 143 | 66679 |
| Densité moyenne par hectare | 87 | 93 | 68 | 72 | - |

La figure 28 représente la délimitation des parcelles d'oliviers de la Zone 3 qui est subdivisée en 3 sections. Pour cette zone et ses 3 sections, on est arrivé à délimiter un total de 113 parcelles avec une superficie totale de 2260 ha qui regroupent un total de 89334 arbres. Enfin, la densité des plantations des oliviers pour les 3 sections de la zone 2 varie entre 67 et 72 (tableau 11).

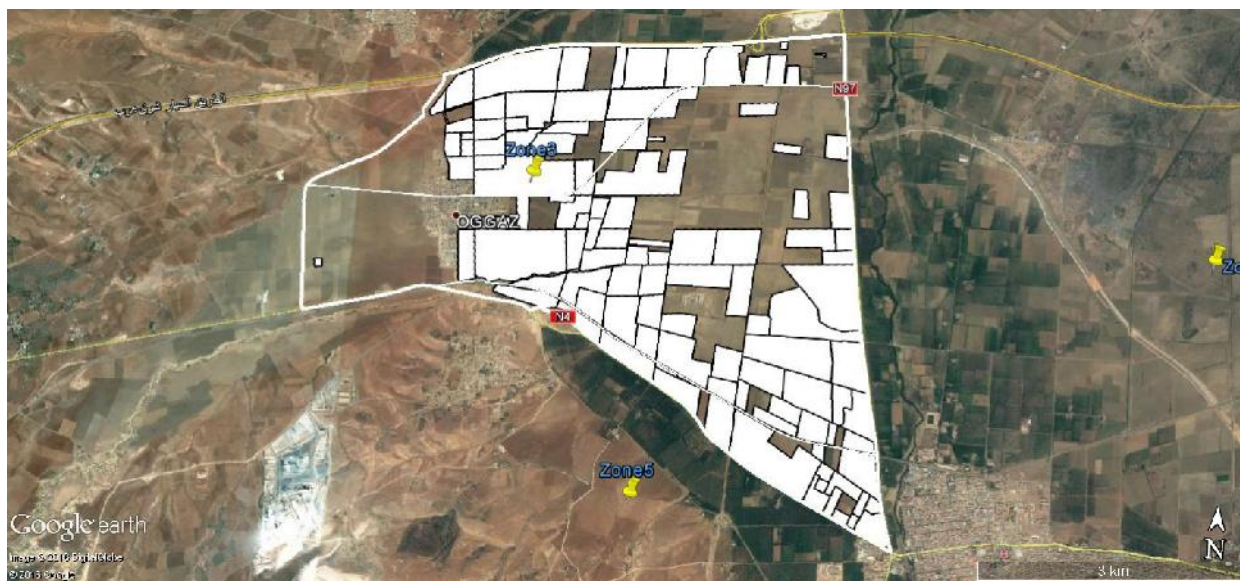


Figure 28 : Délimitation des parcelles d'oliveraies de SIG pour la Zone 3

(Google Earth Pro)  Délimitation des parcelles

Tableau11 : Nombre, superficie des parcelles et effectifs d'oliviers dans la zone 3

| Paramètres | Numéro de section | | | Total |
|-----------------------------|-------------------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | |
| Nombre de parcelles | 19 | 61 | 33 | 113 |
| Superficie totale (ha) | 204 | 1461 | 596 | 2260 |
| Nombre total d'oliviers | 12049 | 48430 | 28430 | 89334 |
| Densité moyenne par hectare | 67 | 68 | 72 | - |

La figure 29 montre la délimitation des parcelles d'oliveraies de la Zone 4. Cette dernière est subdivisée en 6 sections. Pour cette zone et ses 6 sections, on a pu délimiter un total de 162 parcelles avec une superficie totale de 5196 ha hectares qui regroupent un total de 156959 oliviers.

Enfin, la densité des plantations des oliviers pour les 6 sections de la zone 4 varie entre 51 et 83 (tableau 12).

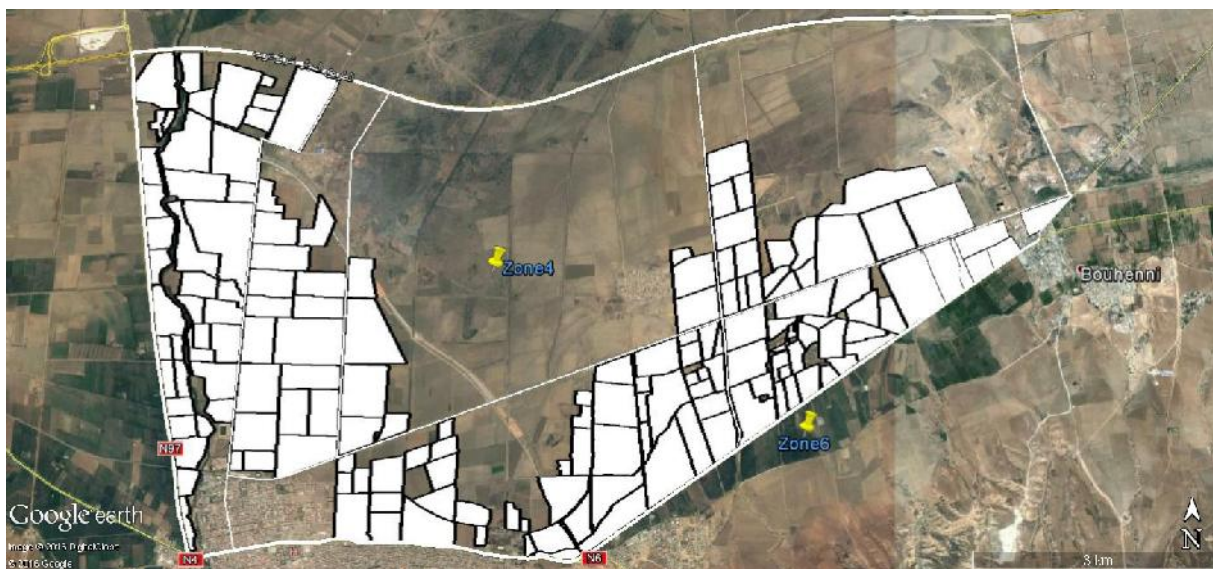


Figure 29 : Délimitation des parcelles d’oliveraies de SIG pour la Zone 4

(Google Earth Pro)  Délimitation des parcelles

Tableau12 : Nombre, superficie des parcelles et effectifs d’oliviers dans la zone 4

| Paramètres | Numéro de section | | | | | | Total |
|-----------------------------|-------------------|-------|------|-------|-------|-------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| Nombre de parcelles | 40 | 18 | 8 | 18 | 48 | 30 | 162 |
| Superficie totale (ha) | 720 | 513 | 1527 | 1128 | 924 | 382 | 5196 |
| Nombre total d’oliviers | 36538 | 23532 | 7355 | 19645 | 43851 | 26038 | 156959 |
| Densité moyenne par hectare | 77 | 63 | 51 | 83 | 75 | 80 | - |

La figure 30 délimitation les différentes parcelles d’oliviers de la Zone 5. Cette zone est subdivisée en 3 sections. Ces dernières délimitent au total 215 parcelles avec une superficie globale de 908 ha et un total de 35127 oliviers. Enfin, la densité des plantations des oliviers pour les 3 sections varie entre 71 et 96 (tableau 13).

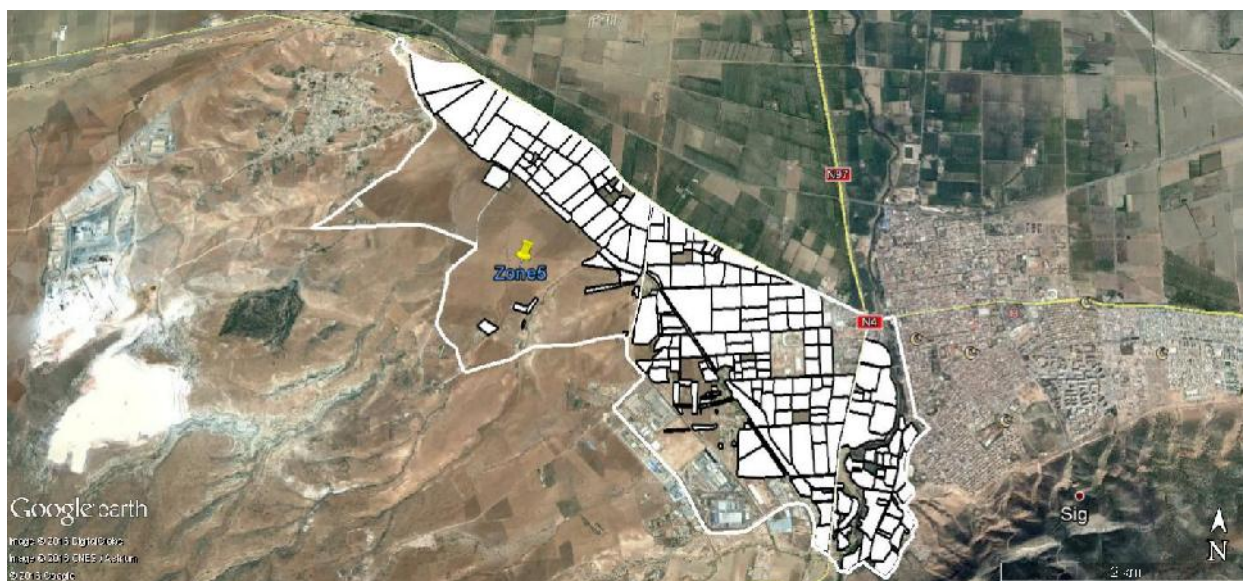


Figure 30: Délimitation des parcelles d’oliveraies de SIG pour la Zone 5

(Google Earth Pro)  Délimitation des parcelles

Tableau 13: Nombre, superficie des parcelles et effectifs d’oliviers dans la zone 5

| Paramètres | Numéro de section | | | Total |
|-----------------------------|-------------------|-------|------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | |
| Nombre de parcelles | 48 | 126 | 41 | 215 |
| Superficie totale (ha) | 424 | 377 | 107 | 908 |
| Nombre total d’oliviers | 10282 | 19715 | 5130 | 35127 |
| Densité moyenne par hectare | 77 | 96 | 71 | - |

La délimitation des parcelles d’oliveraies de la Zone 6 est illustrée dans la figure 31. Rappelons que la Zone 6 est subdivisée en 3 sections. Pour cette zone et ses 3 sections, on a déterminé un total de 127 parcelles avec une superficie totale de 400 ha et regroupant un total de 29304 oliviers. Enfin, la densité des plantations des oliviers pour les 3 sections varie entre 111 et 158 (tableau 14).



Figure 31 : Délimitation des parcelles d'oliveraies de SIG pour la Zone 6

(Google Earth Pro)  Délimitation des parcelles

Tableau14 : Nombre, superficie des parcelles et effectifs d'oliviers dans la zone 6

| Paramètres | Numéro de section | | | Total |
|-----------------------------|-------------------|------|------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | |
| Nombre de parcelles | 87 | 17 | 23 | 127 |
| Superficie totale (ha) | 253 | 72.2 | 74.5 | 400 |
| Nombre total d'oliviers | 17026 | 6056 | 6222 | 29304 |
| Densité moyenne par hectare | 158 | 111 | 113 | - |

Le tableau 15 récapitule l'ensemble des résultats de toute la région de SIG. De grandes variations du nombre de parcelle sont notées entre les 6 zones. Même constatation est observée pour le nombre total d'olivier d'une zone à une autre. Enfin, un total global de 915 et 444628 de parcelles et d'oliviers respectivement sont enregistrés pour l'ensemble de la région.

Tableau15 : Estimation du nombre total d'oliviers dans la région de SIG en 2015-2016

| Zone | Nombre total de parcelles | Nombre total d'olivier par Zone | Nombre total de parcelles pour toute la région | Nombre total d'oliviers pour toute la région |
|-------------|---------------------------|---------------------------------|--|--|
| 1 | 232 | 67225 | 915 | 444628 |
| 2 | 66 | 66679 | | |
| 3 | 113 | 89334 | | |
| 4 | 162 | 156959 | | |
| 5 | 215 | 35127 | | |
| 6 | 127 | 29304 | | |

3. Paramètres de mensuration des oliviers

Le tableau 16 représente les paramètres de mensuration des 10 oliviers choisis aléatoirement au niveau de 5 parcelles de la ferme pilote Elboustane, Ces résultats se résument comme suit :

Le tronc avec une longueur comprise entre 0.23 et 2.50m ;

Le houppier avec un diamètre variant entre 1.25 et 11.20m et une hauteur de 1.76 et 5.41m.

Une taille moyenne des oliviers comprise entre 2.20 et 6.50m.

Tableau16 : Détermination des paramètres de mensuration des oliviers des 5 parcelles de la ferme pilote Elboustane

| N° Parcelle | N° Arbre | Longueur Tronc (m) | Diamètre Houppier (m) | Hauteur Houppier (m) | Taille Olivier (m) (Longueur Tronc + Hauteur Houppier) |
|---------------------|----------|--------------------|-----------------------|----------------------|--|
| 2 | 1 | 0.50 | 2.10 | 2.80 | 3.30 |
| | 2 | 0.56 | 3.45 | 2.74 | 3.30 |
| | 3 | 0.23 | 2.30 | 3.05 | 3.28 |
| | 4 | 0.35 | 2.65 | 1.85 | 2.20 |
| | 5 | 0.39 | 2.25 | 2.61 | 3.00 |
| | 6 | 0.40 | 1.25 | 1.85 | 2.25 |
| | 7 | 0.57 | 1.53 | 1.76 | 2.33 |
| | 8 | 0.48 | 1.50 | 2.22 | 2.70 |
| | 9 | 0.75 | 2.10 | 2.35 | 3.10 |
| | 10 | 0.64 | 2.06 | 2.36 | 3.00 |
| Moyenne (10 Arbres) | N=10 | 0.487 | 2.119 | 2.359 | 2.846 |
| 3 | 1 | 1.18 | 6.59 | 4.52 | 5.70 |
| | 2 | 1.36 | 5.90 | 3.84 | 5.20 |
| | 3 | 1.24 | 4.37 | 3.37 | 4.61 |
| | 4 | 1.54 | 4.42 | 2.66 | 4.20 |
| | 5 | 0.88 | 4.60 | 3.32 | 4.20 |
| | 6 | 1.33 | 5.70 | 3.13 | 4.46 |
| | 7 | 1.30 | 6.30 | 3.17 | 4.47 |
| | 8 | 2.50 | 5.00 | 3.38 | 4.40 |
| | 9 | 1.36 | 5.30 | 2.74 | 4.10 |
| | 10 | 1.45 | 5.42 | 2.35 | 3.80 |
| Moyenne (10 Arbres) | N=10 | 1.414 | 5.36 | 3.248 | 4.514 |
| 4 | 1 | 1.03 | 5.90 | 4.22 | 5.25 |
| | 2 | 1.40 | 8.30 | 4.25 | 5.65 |
| | 3 | 1.05 | 5.67 | 3.90 | 4.95 |
| | 4 | 1.20 | 8.50 | 3.46 | 4.66 |
| | 5 | 0.88 | 6.74 | 5.07 | 5.95 |
| | 6 | 0.90 | 8.80 | 4.75 | 5.65 |
| | 7 | 1.05 | 9.00 | 4.85 | 5.90 |
| | 8 | 1.04 | 10.14 | 5.36 | 6.40 |
| | 9 | 1.50 | 11.20 | 5.00 | 6.50 |
| | 10 | 0.94 | 5.98 | 5.41 | 6.35 |
| Moyenne (10 Arbres) | N=10 | 1.099 | 8.023 | 4.627 | 5.686 |
| 5 | 1 | 0.80 | 6.30 | 5.40 | 6.20 |

| | | | | | |
|------------------------|------|-------|-------|-------|-------|
| | 2 | 1.25 | 5.95 | 4.65 | 5.90 |
| | 3 | 1.33 | 7.10 | 4.77 | 6.10 |
| | 4 | 1.50 | 7.56 | 4.45 | 5.95 |
| | 5 | 0.80 | 5.90 | 5.15 | 5.95 |
| | 6 | 1.46 | 6.30 | 4.94 | 6.40 |
| | 7 | 1.27 | 7.30 | 4.13 | 5.40 |
| | 8 | 1.08 | 8.00 | 4.52 | 5.60 |
| | 9 | 1.00 | 7.00 | 4.80 | 5.80 |
| | 10 | 1.04 | 6.35 | 4.86 | 5.90 |
| Moyenne (10 Arbres) | N=10 | 1.153 | 6.776 | 4.767 | 5.92 |
| 7 | 1 | 1.38 | 6.10 | 3.52 | 4.90 |
| | 2 | 1.36 | 5.49 | 3.44 | 4.80 |
| | 3 | 1.45 | 6.60 | 3.65 | 5.10 |
| | 4 | 1.06 | 7.10 | 3.94 | 5.00 |
| | 5 | 1.30 | 6.40 | 3.75 | 5.05 |
| | 6 | 1.03 | 5.88 | 4.06 | 5.09 |
| | 7 | 1.27 | 5.14 | 4.53 | 5.80 |
| | 8 | 1.16 | 5.94 | 3.74 | 4.90 |
| | 9 | 1.36 | 6.40 | 3.59 | 4.95 |
| | 10 | 1.18 | 5.55 | 3.62 | 4.80 |
| Moyenne (10 Arbres) | N=10 | 1.255 | 6.06 | 3.378 | 5.039 |

4. Evaluation du volume de la biomasse aérienne des oliveraies de la ferme pilote Elboustane

Dans le tableau 17, figure l'évaluation du volume de la biomasse aérienne des oliviers de 5 parcelles de la ferme pilote Elboustane. Il résume les volumes du Tronc, de la Charpente, des feuilles, des rameaux et des ramilles pour les 10 oliviers ainsi que pour l'ensemble de la parcelle où sont situés ces échantillons d'arbre.

Total des volumes mentionnées précédemment représente le volume de la biomasse aérienne des oliviers de 5 parcelles de la ferme pilote Elboustane :

$$7297148669.82\text{cm}^3 (4420212387.53\text{ cm}^3+2845446098.29\text{ cm}^3+31490184\text{ cm}^3).$$

Tableau 17 : Evaluation du volume de la biomasse aérienne des oliviers de 5 parcelles de la ferme pilote Elboustane

| Parcelle | Volume Tronc (m ³) | | Volume Charpente (m ³) | | Volume feuille + Rameaux et ramilles (m ³) | |
|------------------------------|--------------------------------|------------------------|------------------------------------|------------------------|--|------------------------------------|
| | Pour 10 oliviers | Pour toute la parcelle | Pour 10 oliviers | Pour toute la parcelle | Total Oliviers (atelier) | Estimation Pour toute une parcelle |
| N°2 | 7202.58 | 5466758.22 | 11654.75 | 8845955.25 | 7086 | 5378274 |
| N°3 | 93845.33 | 89809980.81 | 303390.77 | 290344966.89 | 7086 | 6781302 |
| N°4 | 2072457.5 | 3183294720 | 1104246.50 | 1696122624 | 7086 | 10884096 |
| N°5 | 1195521.01 | 1129767354.45 | 865385.84 | 817789618.8 | 7086 | 6696270 |
| N°7 | 48071.15 | 11873574.05 | 130943.05 | 32342933.35 | 7086 | 1750242 |
| Total des 5 parcelles | 3417097.57 | 4420212387.53 | 2415620.91 | 2845446098.29 | 35430 | 31490184 |

Tableau 18 : Evaluation du volume global de la biomasse aérienne pour l'olivier entier

| Parcelle | Volume total (Tronc + Charpente + feuille + Rameaux et ramilles) (m ³) | |
|------------------------------|--|------------------------|
| | Pour 10 oliviers | Pour toute la parcelle |
| N°2 | 89717.33 | 19690987.47 |
| N°3 | 468096.1 | 386936249.7 |
| N°4 | 3247564 | 4890301440 |
| N°5 | 2131766.85 | 1954253243.25 |
| N°7 | 249874.2 | 45966749.4 |
| Total des 5 parcelles | 6187018.48 | 7297148669.82 |

5. Evaluation de la masse et de la surface foliaire des oliviers

Le tableau 19 représente l'estimation de la masse et de la surface foliaire des oliviers des 5 parcelles de la ferme pilote (Elboustane). Pour l'ensemble de 50 oliviers des 5 parcelles, une foliaire totale de l'ordre 4655.29kg est enregistrée.

La surface foliaire totale les 50 arbres des 5 parcelles est estimée à 410961.86m².

Le totale de la masse foliaire des oliviers des 5 parcelles de la ferme pilote Elboustane 443842.63kg.

Le totale de la surface des oliviers des 5 parcelles de la ferme pilote Elboustane 39181646.89m².

Tableau 19 : Evaluation de la masse et de la surface foliaire des oliviers des 5 parcelles de la ferme pilote Elboustane

| N° Olivier (Atelier) | Masse foliaire (kg) | | | | | Surface foliaire (m ²) | | | | |
|--|---------------------|-------|------|-------|-------|------------------------------------|---------|-------|-------|-------|
| | 1 | 37.24 | | | | | 3287.48 | | | |
| 2 | 29.42 | | | | | 2597.14 | | | | |
| 3 | 18.7 | | | | | 1650.80 | | | | |
| 4 | 9.12 | | | | | 805.09 | | | | |
| Total 4 oliviers | 94.48 | | | | | 8340.51 | | | | |
| Total Parcelles (pour 10 Olivier) | N° Parcelles | | | | | N° Parcelles | | | | |
| | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 |
| | 349.0 | 883. | 1321 | 1116. | 985.1 | 30817 | 77951 | 1166 | 98544 | 86968 |
| 9 | 02 | .73 | 29 | 6 | .05 | .57 | 80.1 | .75 | .36 | 3 |
| Total Parcelles | N° Parcelles | | | | | N° Parcelles | | | | |
| | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 |
| | 2649 | 8450 | 2030 | 10549 | 24333 | 23390 | 74599 | 1792 | 93124 | 21481 |
| 5.93 | 5.15 | 17.9 | 0.09 | .50 | 14.19 | 66.06 | 2068 | 79.51 | 18.63 | .5 |

Conclusion

Les changements climatiques ont depuis longtemps cessé d'être une curiosité scientifique. Ils constituent la question environnementale majeure qui domine notre époque et le défi majeur auquel doivent répondre les organismes de contrôle environnementaux.

Dans un contexte de l'accroissement des concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre, toutes les possibilités permettant l'absorption et/ou la diminution de la quantité de ces gaz serait bénéfique pour l'environnement. C'est dans ce contexte que ce travail a été effectué. En premier lieu, il a permis d'évaluer l'importance de l'oléiculture dans la région de SIG.

La présente étude a permis tout d'abord d'évaluer l'importance du nombre de parcelles d'olivier dans la région de SIG qui ne cesse d'augmenter d'une année à une autre. Effect, environ 11% de nouvelles parcelles ont été installée entre 2005 et 2010. Ce qui a contribué considérablement à augmenter le nombre total d'oliviers dans cette région. Ce dernier a généré un volume global de biomasse très important. Il faut préciser que l'ensemble des oliveraies de la région de SIG occupe actuellement une superficie approximative de 14274 ha et un effectif global d'olivier d'environ 445 000 arbres.

Enfin, cette étude va constituer une source importante d'informations sur L'évaluation du potentielle de fixation du carbone.

Enfin, cette ébauche d'étude sur les oliveraies de la région de SIG a sans nul doute permis d'ouvrir d'autres perspectives de recherche concernant d'autres aspects liés à la séquestration du carbone atmosphérique. Il s'agit tout d'abord de finaliser le travail en évaluant l'importance de la biomasse que peut représenter le système racinaire de l'olivier. Il serait aussi primordial d'estimer l'apport et le déficit annuel de la biomasse d'un olivier générés aussi bien par la quantité d'olive récolté que par la quantité de branchage soustrait de l'opération de taille des arbres. Enfin, le dosage du carbone total de chaque partie de l'olivier permettra d'évaluer la quantité de CO₂ séquestrée et transformée en carbone dans la plante.

Références bibliographiques

- Aboal, J. R., Arévalo, J. R., & Fernández, Á.*, 2005. Allometric relationships of different tree species and stand above ground biomass in the Gomera laurel forest (Canary Islands). *Flora*, 200, 264-274.
- ACHOUR, A.*, 1995. L'huile d'olive, 1^{er} Edit, Maison de livre Ain M'Lila 1995, 110p.
Agriculture, Ecosystems and Environment 122, 325-339.
- Akindede, S., O.*, 2005. Volume functions for common timber species of Nigeria's rain forest. Report, Akure, Nigeria, International Tropical Timber Organisation, 53 p.
- Alamgi M. and Al-Amin M.*, 2008. Allometric models to estimate biomass organic carbon stock in forest vegetation. *Journal of Forestry Research* 19, 101–106.
- Araújo, T., M., Higuchi, N., & de Carvalho Júnior, J., A.*, 1999. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Pará, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 117, 43-52.
- Arrouays, D., et al.*, 1999 Stocks de carbone dans les sols de France : quelles estimations ?, p. 278-292.
- ARROUAYS, D.*, et al., Stocker du carbone dans les sols de France ?, Inra, 2002, 332 p.
- Baskerville, G., L.*, 1972. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass. *Canadian Journal of Forestry*, 49(2), 49-53.
- Basuki, T., M., van Laake, P., E., Skidmore, A., K., & Hussin, Y., A.*, 2009. Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland Dipterocarp forests. *Forest Ecology and Management*, 257(8), 1684-1694.
- BENGHANEM, A.*, 1995. Etude sur la production d'olive dans la région de Tizi-Ouzou, Mémoire de fin d'étude, INA, 100p.
- BENTAYEB S.*, 1991. Le verger oléicole algérien, Edit Maison de livre, Algérie. 95 p.
- Bernoux, M., Feller, C., Cerri, C., Eschenbrenner, V., Cerri, E.,P.*, 2004. Sequestration du carbone dans le sol. In: E.J. Roose, G.D.N.N.G., Prat Christian, Francis Ganry, Gérard Bourgeon (Ed.), *Gestion de la biomasse, Erosion et séquestration du carbone*.

Brokaw, N., & Thompson, J., 2000. The H for DBH. *Forest Ecology and Management*, 129(1/3), 89-91.

Brown, S., & Lugo, A.,E., 1984. Biomass of tropical forests : A new estimate based on forest volumes. *Science*, 223(4642), 1290-1293.

Brown, S., 1997. *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a Primer*. Report, Rome, FAO, 99 p.

Cadman, T., 2001. *The Kyoto Effect : How the push for Carbon Sinks by Industry and Government has become a Driver for Deforestation*. A report for GreenPeace International and WWF. Disponible à l'adresse: <http://www.panda.org/resources/publications/climate/carbonsinks/carbonsinks.html>

Cailliez, F., 1992. *Forest volume estimation and yield prediction*. Report, Rome, FAO, 115 p.

Canadell, J.G., Kirschbaum, M.U.F., Kurz, W.A., Sanz, M.-J., Schlamadinger, B., Yamagata, Y., 2007. Factoring out natural and indirect human effects on terrestrial carbon sources and sinks. *Environmental Science & Policy* 10, 370-384.

Cao, M., Woodward, F.I., 1998. Dynamic responses of terrestrial ecosystem carbon cycling to global climate change. *Nature* 393, 249-252.

CCNUCC, S., 1992. *Convention Cadre des Nations Unies sur les changements climatiques*.

Chave, J., Olivier, J., Bongers, F., Châtelet, P., Forget, P.,M., van der Meer, P., Norden, N., Riéra, B., & Pierre, C.,D., 2008. Above-ground biomass and productivity in a rain forest of eastern South America. *Journal of Tropical Ecology*, 24, 355-366. *climatique. Bois et Forêts des Tropiques* 260, 5-17. *Conference R Melbourne*, 22 p.

Corbeels, M., McMurtrie, R.E., Pepper, D.A., Mendham, D.S., Grove, T.S., OrConnel, A.M.I., 2005. Long-term changes in productivity of eucalypt plantations under different harvest residue and nitrogen management practices: A modelling analysis. *Forest Ecol*

Cox, P.M., Betts, R.A., Jones, C.D., Spall, S.A., Totterdell, I.J., 2000. Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature*, 408, 184-87 (9 November 2001). *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24: 327-364.

Dixon, R.K., Brown, S., Houghton, R.A., Solomon, A.M., Trexler, M.C., Wisniewski, J., 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, 263, 5144, 185-90.

Du Toit, B., Dovey, S.B., Fuller, G.M., Job, R.A., 2004. *Effects of harvesting and site*

DUPOUEY, (J.-L.), PIGNARD, (G.), 2001 Quelques problèmes posés par l'évaluation des stocks et flux de carbone forestiers au niveau national, Revue forestière française, vol. LIII, n° 3-4, 2001, p. 294-300. E.K.S Nambiar, J Ranger, A. Tiarks and T. Toma CIFOR 2004, Congo, China.

FAO, 2001. Soil carbon sequestration for improved land management. In, World Soil Resources Reports, Rome, p. 75. feedbacks. Nature 451.

Filho A. F., Machado, S. A. & Carneiro, M. R. A., 2000. Testing accuracy of log volume calculation procedures against water displacement techniques (xylometer). Canadian Journal of Forestry, 30, 990-997. following afforestation. Forest Ecology and Management 168, 241-257.

Fonweban, J. N., 1997. Effect of log formula, log length and method of measurement on the accuracy of volume estimates for three tropical timber species in Cameroon. Commonwealth Forestry Review, 76(2), 114-120.

Food and Agriculture Organisation (F.A.O.), 2003, séries statistiques.

Furnival, G. M., 1961. An index for comparing equations used in constructing volumes tables. Forest Science, 7(4), 337-341. Geophysical Union, p. 14.

GOUCEM., 1997 – La diversité oléicole algérienne, Edit Maison de livre, Algérie. 100 p.

Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Guo, L.B., Gifford, M., 2002. Soil carbon stocks and land use: a meta analysis. Global Change Biology 8, 345-360.

Hansen, J., Sato, M., 2004. Greenhouse gas growth rates. PNAS 101, 16109-16114.

Heimann, M., Treichstein, M., 2008. Terrestrial ecosystem carbon dynamics and climate

Henry M., Besnard, A., Asante, W., Eshun, J., Adu Bredu, S., Valentini R., Brenoux M. & Saint-André L., 2010. Wood density, phytomass variations within and among trees, and allometric equations in a tropical rainforest of Africa. Forest Ecology and Management, 260(8), 1375-1388.

Houghton, R.A., Goodale, C.L., 2004. Effects of Land-Use Change on the Carbon Balance
In. Cambridge University Press, Cambridge, p. 996.

IPCC (intergouvernementale panel on climate change), 2003, good practice for land Use, land-use and forestry (LULUCF). Institute for global environmental strategies, hayama, japan, s.p.

IPCC, 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of Intergovernmental Panel on Climate Change. Houghton J. T., Ding V., Griggs D. J., Noguer M., van der Linden P., X. D. et Maskell K. (Ed

IPCC, 2003. Good Practice Guidance: Land Use Change and Forestry Sector In: Jim Penman,

IPCC, 2006. Agriculture, Forestry and Other Land Use. In: Simon Eggleston, L.B., Kyoko Miwa, Todd Ngara and Kiyoto Tanabe (Ed.), Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Japan.

IPCC, 2007a. Climate Change 2007 - The Physical Science Basis - Contribution of Working

IPCC, 2007b. Climate Change 2007 R Mitigation of Climate Change - Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In. Cambridge University Press, Cambridge, p. 851.

Jandl, R., Vesterdal, L., Olsson, M., Bens, O., Badeck, F., Rock, R., 2007. Carbon sequestration and forest management. In. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources 2, 1749-8848.

Jean-Yves MASSENET, Remis à jour le 12/9/06, Lycée forestier – Château de Mesnières – 76270 MESNIERES-EN-BRAY.

Jo H.K., McPherson E.G. (1995). Carbon storage and flux in urban residential greens pace, Journal of Environmental Management **45**, pp. 109-133.

Koskela, J., Nygren, P., Berninger, F., Luukkanen, O., 2000. Implications of the Kyoto Protocol for tropical forest management and land use: prospects and pitfalls. In, Tropical Forestry Reports University of Helsinki, Department of Forest Ecology, Helsinki.

L'IF (la forêt française), mars 2005, un puits de carbone? Son rôle dans la limitation des changements climatiques.

Lal R. (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change, Geoderma **123**, pp. 1-22.

Lal, R., 2005. Forest soils and carbon sequestration. Forest Ecology and Management 220, 242258.

Li R, & Weiskittel, A. R., 2011. Estimating and predicting bark thickness for seven conifer species in the Acadian Region of North America using a mixed-effects modeling approach: comparison of model forms and subsampling strategies. European Journal of Forest Research, 130(2), 219-233.

Locatelli, B., Lescuyer, G., 1999. Rôle et valeur des forêts tropicales dans le changement

Loetsch, F., Zöhrer, F. & Haller, K. E., 1973. Forest Inventory. 2nd ed. München : BLV. Verlagsgesellschaft. 469 p.

Lohmann, L., 2000. Le marché du carbone : dans le sillage de nouveaux problèmes. World Rainforest Movement, Campaign Material, Montevideo, Uruguay (disponible à l'adresse : <http://www.wrm.org.uy/plantations/material/carbonfr.rtf>).

Lugo, A.E., Brown, S., 1993. Management of tropical soils as sinks or sources of atmospheric carbon. *Plant and Soil* 149, 27-41.

Luyssaert, S., Schulze, E.D., Börner, A., Knohl, A., Hessenmöller, D., Law, B.E., Ciais, P., Grace, J., 2008. Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature* 455, 213-215.

M.G., Taka Hiraishi, Thelma Krug, Dina Kruger., Riitta Pipatti, L.B., Kyoko Miwa, Todd Ngara., Wagner, K.T.a.F. (Eds.), Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use C

MADANI, A., 1991- Etude de l'organisation et de l'influence de la fertilité de l'ovaire chez l'olivier (*Olea europea* L) cas de variété Sigoise. Thèse d'Ing. ITA Mostaganem 85 p.

Management on Nutrient Pools and Stand Growth in a South African Eucalypt Plantation. In.

Ministère de l'agriculture. 2005 - Fiche des données statistiques.

Montagu, K. D., Duttmer, K., Barton, C. V. M. & Cowie, A. L., 2005. Developing general allometric relationships for regional estimates of carbon sequestration – an example using *Eucalyptus pilularis* from seven contrasting sites. *Forest Ecology and Management*, 204(1), 113-127.

Montagu, K. D., Duttmer, K., Barton, C. V. M. & Cowie, A. L., 2005. Developing general allometric relationships for regional estimates of carbon sequestration – an example using *Eucalyptus pilularis* from seven contrasting sites. *Forest Ecology and Management*, 204(1), 113-127.

Mooney H. A., Chandell J., Chapin 1999. Ecosystem physiology responses to global change. Cambridge university press, 141-189.

Negi J.D.S., Chauhan P.S. and Negi M., 2003. Evidences of climate change and its impact on structure en fonction of forest ecosystems in and around doon vally. *Indian forester* , 129 (6), 757-769.

Nogueira, E. M., Nelson, B. W. & Fearnside, P. M., 2006. Volume and biomass of trees in central Amazonia: influence of irregularly shaped and hollow trunks. *Forest Ecology and Management*, 227(1/2), 14-21.

- Nowak, D.J., Crane, D.E.* (2002). Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA, *Environmental pollution* **116**, pp. 381-389.
- O'Connell, A.M., Grove, T.S., Mendham, D.S., Rance, S.J.*, 2004. Impact of harvest residue management on soil nitrogen dynamics in Eucalyptus globulus plantations in south western Australia. *Soil Biology & Biochemistry* 36, 39-48. of *Terrestrial Ecosystems*. In: Change, E.a.L.U. (Ed.), *Geophysical Monograph*. the American.
- Olivæ.*, 2005 – Revue officielle du Conseil oléicole international, Edit L. R. Cuélar, 35p.
- Palm, R.*, 1982. Influence de la formule de cubage et de la longueur des billons sur la détermination du volume des arbres abattus. *Annales des Sciences Forestières*, 39(3), 231-238.
- Pardé, J. & Bouchon, J.*, 1988. *Dendrométrie*. 2e éd. Nancy: ENGREF. 328 p.
- Parresol, B. R.*, 1999. Assessing Tree and Stand Biomass : A Review with Examples and Critical Comparisons. *Forest Science*, 45(4), 573-593.
- Patzek T.W. and Pimentel D.*, 2006. *Thermodynamics of Energy Production from Biomass* .
- Paul, K.I., Polglase, P.J., Nyakuengama, J.G., Khanna, P.K.*, 2002. Change in soil carbon
- Picard, N. & Gourlet-Fleury, S.*, 2007. Propositions de directives pour l'installation de parcelles permanentes. Rapport, COMIFAC, 223 p.
- PIGNARD, (G.) et al.*, 2004, Estimation des stocks et des flux de carbone dans la biomasse des forêts françaises à partir des données de l'Inventaire forestier national, Rapport final du projet Carbofor, 2004, p. 62-74. *plantations on soil quality and environment Etude et Gestion des Sols* 9, 159-176.
- Post, W.M., Known, K.C.*, 2000. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Gloal Change Biology* 6, 317-328.
- Proces, P.*, 2008. Appui à l'analyse des données d'inventaire d'aménagement en vue de la gestion durable de la ressource forestière en Afrique Centrale. Le cas de la société forestière Pallisco, Cameroun. Travail de fin d'études : Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, 67 p.
- Qian, Y., Follett, R. F.* (2002). Turfgrass: Assessing Soil Carbon Sequestration in Turfgrass Systems Using Long-Term Soil Testing Data, *Agronomic Journal*. **94**, pp. 930-935.
- Ranger, J., Gelhaye, D., Turpault, M.-P.*, 2002. Effect of semi-intensively managed forest

- Robert, M., Saugier, B.,** 2003. Contribution des écosystèmes continentaux à la séquestration du carbone. *C. R. Geoscience* 335, 577-595.
- Rondeux, J. & Bourland, N.,** 2010. Appui technique aux études dendrométriques Mission du 23 mai au 3 juin 2010 en République du Congo. Rapport, Gembloux, Projet d'Appui à la Gestion Durable des Forêt du Congo, 42 p.
- Rondeux, J.,** 1999. La mesure des arbres et des peuplements forestiers. 2e éd. Gembloux : Les presses agronomiques de Gembloux. 521 p.
- Rustagi, K. P. & Loveless, Jr. R. S.,** 1990. Improved cubic volume prediction using a new measure of form factor. *Forest Ecology and Management*, 40, 1-11.
- SADOUDI, M.,** 1996 – Production et commercialisation de l'huile d'olive en Algérie, Ministère de l'agriculture et de la pêche, 13p, 24p.
- Sartori, F., Lal, R., Ebinger, M.H., Eaton, J.A.,** 2007. Changes in soil carbon and nutrient pools along a chronosequence of poplar plantations in the Columbia Plateau, Oregon, USA.
- Schimel, D.S., House, J.X., Hibbard, K.A., Bousquet, P., Ciais, P., Peylin, P., Braswell, B.H., Apps, M.J., Baker, D., Bondeau, A., Canadell, J., Churkina, G., Cramer, W., Denning, A.S., Field, C.B., Friedlingstein, P., Goodale, C., Heimann, M., Houghton, Schlensinger, W.H.,** 1990. Evidence from chronosequence studies for a low carbon-storage potential of soils. *Nature* 348, 232-234.
- Shea, S., Butcher, G., Ritson, P., Bartle, J., Biggs, P.,** 1998. *The potential for tree crops and*
- Singh, M. H.** (2007). **Soil Organic Carbon Pools in Turfgrass Systems of Ohio.** Rapport de master, Environment Science Graduate Program. The Ohio State University, 141p.
- Sprugel, D. G.,** 1983. Correcting for bias in log-transformed allometric equations. *Ecology*, 64(1), 209-210. vegetation rehabilitation to sequester carbon in Western Australia. *Carbon Sequestration*.
- Verwijst, T.,** 1991. Logarithmic transformations in biomass estimation procedures : violation of the linearity assumption in regression analysis. *Biomass and Bioenergy*, 1(3), 175-180.
- Vieira, S. A., Alves, L. F., Aidar, M., Araujo, L. S., Baker, T., Batista, J. L. F., Campos M. C., Camargo, P. B., Chave, J., Delitti, W. B. C., Higuchi, N., Honorio, E., Joly, C. A., Keller, M., Martinelli, L. A., Mattos, E. A. de, Metzker, T., Phillips, O., Santos F. A. M. dos, Shimabukuro, M. T., Silveira, M. & Trumbore, S. E.,** 2008. Estimation of biomass and carbon stocks: the case of the Atlantic Forest. *Biota Neotropica*, 8(2), 21-29.

Watson, R.T., Noble, I.A., Bolin, B., Ravindranath, N.H., Verardo, D.J., Dokken, D.J., 2000. Land Use, Land-Use Change and Forestry. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, UK (résumé disponible à l'adresse : [http : //www.ipcc.ch/pub/srlulucf-f.pdf](http://www.ipcc.ch/pub/srlulucf-f.pdf)).

West, P. W., 2009. Tree and Forest Measurement. 2nd ed. Dordrecht : Springer. 192 p.