



HAL
open science

Evaluation du stock de carbone dans les forêts Libanaises. Exemple des forêts du Nahr Beyrouth

Ralph Zoghaib

► **To cite this version:**

Ralph Zoghaib. Evaluation du stock de carbone dans les forêts Libanaises. Exemple des forêts du Nahr Beyrouth. Géographie. Normandie Université; Université Saint-Joseph (Beyrouth). Département de géographie, 2021. Français. NNT: 2021NORMR082 . tel-03635142

HAL Id: tel-03635142

<https://theses.hal.science/tel-03635142v1>

Submitted on 8 Apr 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Normandie Université

THÈSE

Pour obtenir le diplôme de doctorat

Spécialité GEOGRAPHIE

Préparée au sein de l'Université de Rouen Normandie

En cotutelle internationale avec Université St Joseph , LIBAN

Evaluation du stock de carbone dans les forêts Libanaises. Exemple des forêts du Nahr Beyrouth.

**Présentée et soutenue par
RALPH ZOGHAIB**

**Thèse soutenue le 12/11/2021
devant le jury composé de**

M. SALIM KATTAR	PROFESSEUR DES UNIVERSITES, Université Libanaise	Rapporteur du jury
M. CHRISTOPHE MORHANGE	PROFESSEUR DES UNIVERSITES, Université Aix-Marseille (CEREGE) et EPHE-PSL	Rapporteur du jury
M. JEROME POULENARD	PROFESSEUR DES UNIVERSITES, UNIVERSITE SAVOIE MONT BLANC	Rapporteur du jury
M. PASCAL PODJWOJEWSKI	DIRECTEUR DE RECHERCHE, INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DEVELOPEM	Membre du jury
M. MAHER ABOUD	PROFESSEUR DES UNIVERSITES, Université de Beyrouth (Liban)	Président du jury
M. DAMASE MOURALIS	PROFESSEUR DES UNIVERSITES, Université de Rouen Normandie	Directeur de thèse
MME JOCELYNE ADJIZIAN GERARD	PROFESSEUR DES UNIVERSITES, Université St Joseph	Co-directeur de thèse

Thèse dirigée par DAMASE MOURALIS (Identité et Différenciation des Espaces de l'Environnement et des Sociétés) et JOCELYNE ADJIZIAN GERARD (Université St Joseph),

Remerciements

Je remercie tout d'abord Dieu tout puissant et la Sainte Vierge Marie de m'avoir donné le courage, la force et la patience d'accomplir ce travail.

Je remercie infiniment mes directeurs de thèse :

Monsieur Damase MOURALIS, Professeur à l'Université de Rouen et responsable du Laboratoire IDEES-Rouen, qui m'a encadré et guidé tout au long de cette thèse. Qu'il soit remercié pour ses judicieux conseils, pour l'aide et le temps qu'il m'a bien voulu me consacrer.

Mme Jocelyne ADJIZIAN GERARD, Chef du Département de Géographie à l'Université de Saint Joseph de Beyrouth, qui s'est toujours montrée à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ma thèse. Merci pour l'inspiration, l'encouragement, et pour toutes les directives précieuses et les solutions proposées à mes problèmes rencontrés durant la thèse.

J'adresse tous mes remerciements à Monsieur Maher ABBOUD, Professeur à l'Université Saint-Joseph à Beyrouth, ainsi qu'à Monsieur Pascal PODJWOJEWSKI, Directeur de Recherche à l'IRD (Bondy), pour avoir accepté de participer à mon jury de thèse.

Je tiens à remercier également Monsieur M. Jérôme POULENARD, Professeur à l'Université Savoie- Mont-Blanc Edytem, Monsieur Christophe MORHANGE, Professeur à Aix-Marseille Université (CEREGE) et à l'EPHE-PSL, ainsi qu'à Monsieur Salim KATAR professeur à l'Université Libanaise à Beyrouth, pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'être rapporteurs de cette thèse.

Ce mémoire n'a pas pu être accompli sans des personnes qui m'ont soutenu tout au long de ce chemin et durant tous les processus de recherche et de rédaction.

Je remercie tout l'équipe du laboratoire IDEES (UMR 6266) « Identité et Différenciation des Espaces, de l'Environnement et des Sociétés », en particulier sa directrice, Madame Sophie DE RUFFAY pour son accueil.

Je voudrais remercier de nouveau Monsieur Pascal PODJWOJEWSKI, Directeur de recherche à l'IRD France, qui m'a permis de partager son expérience, en s'appuyant sur son esprit critique et sa rigueur méthodologique tout au long du travail au terrain, ainsi que pour la relecture du manuscrit.

Et un grand merci à Madame Carole NEHME, maître de conférences à l'université de Rouen pour son aide, suivi et soutien.

J'exprime ma gratitude à Monsieur Chadi MOHANNA, Chef du directeur du Développement Rural et des Ressources Naturelles au Ministère de l'Agriculture Libanais, pour sa confiance et son soutien, à Madame Pascal MILAN, Chef du Cabinet au Ministère et à mes collègues au directeur, et à Monsieur Dany BASSIL, Chef du centre d'extension agricole à Batroun.

J'adresse aussi tous mes remerciements à :

Monsieur Jarjoura HARDANE, Doyen de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines FLSH, à l'Université de Saint Joseph.

Monsieur Pierre-Charles GERARD, Directeur du laboratoire de la géographie à la FLSH- USJ, pour ses encouragements.

Et à tous les professeurs au Département de Géographie à l'Université de Saint Joseph pour leur support, principalement Madame Nada SALIBI et Madame Rita ZAAROUR.

Je remercie Monsieur Ghaleb FAOUR, Directeur du Centre National de Télédétection au CNRS Liban, qui m'a fourni toutes les données nécessaires pour ma thèse.

Merci à Monsieur Gaby KHALAF, ancien directeur du Centre National des Sciences Marines qui m'a permis de faire la plupart des analyses au laboratoire du Centre. Merci encore à mes amis au centre Laury AÇAF, et Cherif JOMAA.

L'aide et la collaboration de plusieurs personnes durant le travail long et dure du terrain étaient indispensables et donc c'est évident d'exprimer ma reconnaissance envers mon ami, Edward ANTOUN qui m'a accompagné et aidé durant la plupart de mes visites de terrain.

Je tiens à remercier aussi mes amis : Joseph BECHARA pour son aide dans les travaux du terrain, Michel BASSIL pour toutes les discussions et les conseils via l'inventaire forestier et Achraf EL MASRI pour son aide dans la localisation des placettes.

Il est impossible de ne pas remercier Guillaume GERARD pour son accueil et son amitié.

Un grand merci à ma mère pour m'avoir encouragé, pour son amour, son sens du sacrifice et ses prières. Sans elle, je n'en serais pas là.

Mes remerciements vont aussi à mon frère Robin et son épouse Chloé, à leur aide et leur soutien continuel.

Un grand merci à ma Rebecca que j'aime, pour tout son soutien, son aide et son amour.

Dédicace

A la mémoire de mon père disparu trop

tôt et

À la Sainte Vierge inépuisable d'amour,

de tendresse et de sacrifice, je dédie cette

thèse

Évaluation du stock de carbone dans les forêts Libanaises. Exemple des forêts du Nahr Beyrouth

Résumé

Le carbone est un composant essentiel de la biomasse végétale et de la matière organique du sol qui constitue les plus importants puits terrestres. Il résulte dans le sol principalement par la décomposition des débris de végétaux. Ce processus de décomposition est influencé par plusieurs facteurs biotiques et abiotiques. L'objectif de cette étude est d'analyser les relations entre les 5 stocks de carbone forestiers : le sol, la litière, la végétation herbacée, les arbres et les arbustes et l'influence de la localisation et des caractéristiques des stations et des sols. L'étude a porté sur 50 placettes d'échantillonnage dans le bassin versant de Nahr Beyrouth dans lesquelles les arbres et arbustes ont fait l'objet de mesures systématiques et où la végétation herbacée, la litière et le sol de chaque placette ont été systématiquement échantillonnés.

Les résultats des mesures sur le terrain puis des analyses de laboratoire montrent que le taux moyen de MO est de 4,9%, alors que l'importance des différents compartiments de stockage par ordre croissant est la suivante : la végétation herbacée (1,6 tC ha⁻¹) la litière (5,9 tC ha⁻¹), le sol (54 tC ha⁻¹) puis les arbres et arbustes (85,1 tC ha⁻¹). Afin d'expliquer les variations en MO des différentes placettes, les analyses statistiques montrent une corrélation positive entre la MO% d'une part et le taux d'argile (0,74), le taux de limon (0,49), la teneur en Ca échangeable (0,820) d'une autre part. Inversement, nous observons une corrélation négative entre la MO% d'une part et le taux de sable (-0,78) et la masse du sol en t ha⁻¹ (-0,62) d'une autre part.

Finalement, notre recherche propose d'établir une équation allométrique qui estime les taux de MO% en intégrant les variables de la litière, l'altitude, la pente, les précipitations moyennes, le taux de sables, de limon et d'argile, la masse du sol et la conductibilité. Cette équation présente une bonne corrélation entre les différents facteurs ($R^2 = 0,678$) et estime 68% de MO avec une erreur de 1,326. Enfin, nous avons spatialisé le stock de carbone des arbres dans les forêts du BV qui est de 859 000 tonnes, 436 000 tonnes dans les formations à pins pignons et de 423 000 tonnes dans les autres types de forêts.

Mots clés : carbone, matière organique, stock, biomasse, sol, litière, herbacée, arbustes, arbres, Nahr Beyrouth et bassin versant.

Summary

Carbon is an essential component of plant biomass and soil organic matter which constitute the most important terrestrial sinks. It is generated in the soil generally by the decomposition of plants debris. The decomposition process is influenced by several biotic and abiotic factors. The aim of this study is to see the relationship between the 5 forest carbon sinks: soil, litter, herbaceous vegetation, trees and shrubs and the influence of the following factors (sand, silt, clay, density of fine particles and content of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Na, Ec, CEC, pH, soil depth, slope, exposure, precipitation and altitude). The study was carried out on 50 sample plots in Nahr Beirut watershed. Data collection involves measuring trees and shrubs and sampling herbaceous vegetation, litter and soil from each plot.

After fieldwork and data analysis in the laboratory, the results show on average that the MO% is 4.9%, the soil organic carbon is 54 tC ha⁻¹, litter carbon is 5.9 tC ha⁻¹, herbaceous carbon is 1.6 tC ha⁻¹, trees and shrubs carbon is 85.1 tC ha⁻¹.

The results show a positive correlation between the MO% on one hand and the clay percentage (0.74), the silt percentage (0.49), the exchangeable Ca (0.820) on the other hand, and a negative correlation between the MO% on one hand and the percentage of sand (-0.78) and the mass of soil in t ha⁻¹ (-0.62) in other hand.

This thesis allowed to establish an allometric equation which estimates percentage of SOM by integrating the variables of the sand %, clay % and exchangeable Ca (ppm). ($R^2 = 0.678$) estimates 68% of MO with an error of 1.326. We have spatialized the carbon stock of trees in forests of the watershed which is 859 000 tonnes, 436 000 tonnes in the pinewood stratum and 423 000 tonnes in the other types of forests stratum.

Key words: carbon, organic matter, stock, biomass, soil, litter, herbaceous, shrubs, trees, Nhar Beirut and watershed.

Table des matières

Remerciements	3
Résumé	6
Summary.....	7
Table des matières	8
Liste des figures.....	12
Liste des photos	16
Liste des tableaux	19
Liste des Acronymes	21
Introduction générale.....	22
État de l’art.....	27
Introduction de la première partie	28
Chapitre 1 : Cycle du carbone et écosystème forestier.....	29
1.1 Principales formes et stockage du carbone.....	30
1.1.1 Carbone inorganique	31
1.1.2 Carbone organique	31
1.1.3 Stocks de carbone.....	33
1.2 Forêts et séquestration du carbone.....	35
1.2.1 Séquestration du carbone dans les écosystèmes.....	35
1.2.2 Rôle de la photosynthèse et de la photorespiration.....	38
1.3 Variabilité et capacité de stockage du carbone par les forêts	39
1.3.1 Variabilité des capacités de stockage	39
1.3.2 Dynamique du carbone dans les arbres forestiers	43
1.3.3 Estimation du stock de carbone dans les arbres	45
1.3.4 Durée du stock de carbone dans les sols forestiers	46
1.4 Forêts méditerranéennes et lutte contre le changement climatique.....	47
Chapitre 2 : Matière organique et litière.....	50
2.1 Avantage, interaction et dynamique de la matière organique du sol.....	51
2.1.1 Transformation des résidus végétaux.....	52
2.1.2 Stabilité du carbone.....	53

2.1.3	Facteurs influençant sur la MOS	54
2.2	Litière	57
2.2.1	Nature, origine et décomposition de la litière	59
2.2.2	Développement de la litière et apports en carbone en fonction des espèces	62
2.2.3	Stabilité de la couche d'humus	64
Chapitre 3 : Les forêts libanaises : contexte de l'étude		66
3.1	Liban : un contexte varié	66
3.2	Contexte forestier libanais	68
3.2.1	Présentation des forêts libanaises	68
3.2.2	Sols du Liban	72
Conclusion de la première partie		73
Contexte de l'étude		75
Introduction de la deuxième partie		76
Chapitre 4 : La zone d'étude : le bassin versant du Nahr Beyrouth		79
4.1	Occupation du sol du bassin versant	81
4.2	Les zones bioclimatiques du bassin versant	83
4.3	Perte des stocks de carbone : une réalité libanaise	85
Chapitre 5 : Collecte et analyse des données		89
5.1	Choix des placettes et des sites	89
5.1.1	Détermination du nombre des placettes	89
5.1.2	Taille placettes	98
5.1.3	Choix des sites d'échantillonnages dans le bassin versant	99
5.2	Collecte des données	104
5.2.1	Quantification de la biomasse végétale et de la litière	104
5.3	Etude du sol	108
5.4	Analyses des échantillons	110
5.4.1	Analyse de sol	111
Chapitre 6 : Equations allométriques et analyses statistiques		115
6.1	Principales équations allométriques des arbres et des arbustes	115
6.1.1	Equations allométriques des arbres	116
6.1.2	Equations allométriques des arbustes	118
6.2	Tests et méthodes statistiques	118

6.2.1	Test de Normalité	118
6.2.2	Test de corrélation.....	118
6.2.3	Analyse en Composantes Principales (ACP)	119
6.2.4	Analyse selon la Classification Ascendante Hiérarchique (CHA).....	119
6.2.5	La régression linéaire	119
6.2.6	L'interpolation.....	119
	Conclusion de la deuxième partie.....	119
	Résultats et discussions	128
	Introduction de la troisième partie.....	122
	Chapitre 7 : Stock du carbone dans les placettes des forêts du Bassin versant	122
7.1	Descriptions et caractéristiques du sol	122
7.1.1	Texture du sol	122
7.1.2	La distribution des Horizons.....	128
7.1.3	Concentration des macros et des microéléments dans le sol	131
7.2	Stocks de carbone du bassin versant	134
7.2.1	Matière organique dans les sols	134
7.2.2	Biomasse et carbone de la litière :	138
7.2.3	Biomasse et Carbone des herbacées	142
7.2.4	La biomasse des arbres et des arbustes.....	145
7.3	Stocks totaux de carbones	148
	Chapitre 8 : Equations et analyses statistiques	157
8.1	Classification des placettes :	157
8.1.1	Classification et relation entre la biomasse et la MO du sol.....	157
8.1.2	Relation entre biomasse et stocks de matière organique du sol.....	163
8.2	Relation entre la MO et les différentes variables	170
8.2.1	Le test de normalité.....	170
8.2.2	Relation entre les stocks de chaque compartiment :	171
8.3	Une équation pour estimer la quantité de matière organique du bassin versant.....	183
	Chapitre 9 : Spatialisation du stock de carbone.....	188
9.1	Les stocks de carbone dans les 5 compartiments du bassin versant.....	189
9.2	Spatialisation du carbone des arbres.....	194
	Conclusion de la troisième partie	201

Conclusion..... 202
Annexes 208
Références 325

Liste des figures

Figure 1: Les échanges de carbone entre les réservoirs en PgC (Houghton, 2007).....	30
Figure 2: Décomposition des MO fraîches (Duchaufour, 1984).....	33
Figure 3: Stock de carbone mondial terrestre en PgC (Giec, 2001).....	36
Figure 4: Les plantations forestières en tant que réservoirs de carbone tiges, branches, feuillages, racines, litière, bois mort, sols (FAO, 2006)	37
Figure 5: Carte des forêts mondiales (P. Gonzales, 2001; FAO, 2001; GIEC, 2006)	42
Figure 6: Stock de COS en t ha ⁻¹ du sol à 1mètre de profondeur (Batjes, 2016).....	43
Figure 7: La synthétisation du Carbone par les feuilles. Adapté (Ecobios, 2019).....	45
Figure 8: Flux de matière et de CO ₂ aux différents stades de la filière forêt-bois française en 2013 (Roux et al., 2017).....	49
Figure 9: Humification et la minéralisation de la matière organique.....	52
Figure 10: Transformation de la matière organique du sol (Chenu et Robert, 2003)	52
Figure 11: Complexe argilo-humique (Huber et Schaub, 2011).....	54
Figure 12: Adsorption des cations sur le complexe d'échange.....	54
Figure 13: Dégradation du carbone végétal organique dans les sols cultivés (Le Bissonnais et al., 1996)	59
Figure 14: Transformation de la litière en humus et en C inorganique (Berg et McLaugherty, 2008) .	61
Figure 15: La séquestration primaire et secondaire du carbone dans le sol.....	62
Figure 16: Corrélation positive entre l'accumulation de C et l'âge des arbres d'après (Forrest et.....	63
Figure 17: La quantité de carbone présente dans la litière(L) et l'horizon humique(FH) pour les différents espèces d'arbre. (Berg & McLaugherty, 2008)	64
Figure 18: Les zones bioclimatiques du Liban (D'après Safi, 1988).....	67
Figure 19: Les différentes forêts libanaises. D'après (MoA et FAO, 2005).....	71
Figure 20: Méthodologie utilisée pour cette étude.....	78
Figure 21: L'emplacement du Bassin versant du Nahr Beyrouth	80
Figure 22: Carte d'occupation des sols du bassin versant du Nahr Beyrouth (D'après CNRS, 2012) ...	81
Figure 23: Les zones bioclimatiques du bassin versant (D'après Safi, 1988)	83
Figure 24: Diminution des surfaces entre 2000 à 2010 pour trois types d'occupation du sol. Ces diminutions ont été réalisées au profit des surfaces de « roches nues » et des « terres artificialisées » (LDN report, 2018)	86

Figure 25: Perte des stocks du carbone du sol (LDN report, 2018).....	87
Figure 26: Les deux strates dans le bassin versant.....	95
Figure 27: La placette utilisée de 25 x 25 mètres.....	99
Figure 28: Distributions des placettes	100
Figure 29: Placette d'échantillonnage	103
Figure 30: Différentes formes d'arbres rencontrés sur le terrain	107
Figure 31: Distribution des placettes sur les différents types de sol (Darwish, 2006).....	123
Figure 32: Distribution texturale des sols selon la classification texturale du département d'agriculture des États-Unis (USDA). (Tavernier et Maréchal, 1958).....	124
Figure 33: Taux de sable élevé dans les échantillons de sols peu profonds	127
Figure 34: Le taux d'argile est important dans les échantillons des sols peu profonds.....	128
Figure 35: Epaisseur des horizons des 50 placettes	130
Figure 36: Variation des stocks de carbone dans les 5 compartiments. Bassin versant du Nahr Beyrouth	151
Figure 37: Distribution moyenne des stock de carbone dans le bassin versant du Nahr Beyrouth pour les 5 compartiments.....	151
Figure 38: Les stocks de carbone dans les placettes du bassin versant de Nahr Beyrouth	154
Figure 39: Stocks de carbone dans les placettes du bassin versant du NB	155
Figure 40: Distribution des stocks de carbone dans les deux strates	156
Figure 41 : Classification par CAH des résultats de biomasse et de MO en t ha ⁻¹	157
Figure 42: Variation de la biomasse des différents groupes de placettes	159
Figure 43: Distribution des trois groupes sur les deux strates	159
Figure 44: Groupement des biomasses arbres, arbuste, herbacées et litière avec la MO en t ha ⁻¹ dans la strate de pin pignon	161
Figure 45: Graphique en coordonnées parallèles des placettes de pin pignons	161
Figure 46: Graphique en coordonnées parallèles des 50 placettes en intégrant la MOS en pourcentage	163
Figure 47: L'Analyse en composantes principales (ACP) des 5 principales variables.....	164
Figure 48: ACP des 4 principales variables en intégrant la MOS en t ha ⁻¹ comme variable supplémentaire quantitative et les 2 strates en catégories	165
Figure 49: Graphique des observation de ACP des 4 principales variables en intégrant la MOS en t ha ⁻¹ comme variable supplémentaire quantitative et les 2 strates en catégories	166

Figure 50 A: ACP des 5 principales variables en utilisant la teneur MOS %	167
Figure 51: Position des placettes selon les axes F et F2 et Identification des barycentres des deux strates selon l'ACP	168
Figure 52: Corrélation entre la matière organique du sol en tonnes par hectare et la litière	172
Figure 53: Les placettes soumises aux interventions anthropiques	173
Figure 54: Corrélations statistiques entre la MOS % et les teneurs en argiles, limons et sables.	177
Figure 55: Corrélation entre la matière organique et la conductivité.....	178
Figure 56: Corrélation entre la MOS % et la teneur du sol en sable, Ca échangeable, la profondeur du profil.....	180
Figure 57: La corrélation entre la teneur de la MOS et la concentration du Ca échangeable, la profondeur du profile et la teneur du sol en argile	181
Figure 58: Cette équation montre une surestimation des valeurs supérieures à 10 %	186
Figure 59: Cette équation montre une surestimation des valeurs supérieures à 10 %	186
Figure 60: L'erreur moyenne quadratique est de 1,331 indiquant les taux de matière organique surestimés et sous-estimés.....	187
Figure 61: Les deux strates de forêt du bassin versant.....	188
Figure 62: Semi variogramme du carbone des sols en t ha ⁻¹	190
Figure 63 : Semi-variogramme de MOS%.....	191
Figure 64: Semi-variogramme du carbone de la litière en t ha ⁻¹	191
Figure 65: Semi variogramme du carbone des herbacées en t ha ⁻¹	192
Figure 66: Stocks de carbone des herbacées par placette en t ha ⁻¹	192
Figure 67: Semi-variogramme du carbone des arbustes en t ha ⁻¹	193
Figure 68: Semi-variogramme du carbone des arbres et arbustes en t ha ⁻¹	193
Figure 69: Semi-variogramme du carbone total en t ha ⁻¹	193
Figure 70: Répartition des teneurs de C selon leur localisation.....	194
Figure 71: Histogramme des valeurs de Carbone. Les placettes 21 et 24 (entourées en rouge) présentent des valeurs aberrantes.....	195
Figure 72 : Semi-variogramme avec tous les points de l'échantillonnage.....	195
Figure 73: Répartition des valeurs selon leur localisation (sans les 2 placettes)	196
Figure 74: Sem - variogramme du carbone des arbres sans les deux placettes (21 et 24)	196
Figure 75: Validation croisée des données estimées. a) La validation croisée ; b) Histogramme des valeurs de Carbone ; c) Valeurs absolues d'erreur standardisée.....	197

Figure 76: Spatialisation du stock de carbone dans le bassin versant.....	198
Figure 77: L'erreur d'estimation sans les placettes 21 et 24.....	199
Figure 78: La répartition des stocks de carbone arboré	200
Figure 79: Correction de la pente sur le terrain.....	209
Figure 80: Etapes de mesure par l'hypsomètre laser	213
Figure 81: Technique de mesure	213
Figure 82: Mesure de la hauteur des arbres sur le terrain	214
Figure 83: Identification texturale du sol – logiciel soil water characteristics.....	217
Figure 84: Extrapolation du stock de carbone des arbres en intégrant tous les placettes.....	324

Liste des photos

Photo 1: Horizon organique épais de 5 cm dans un des coins de la placette 10.	50
Photo 2: Transformation des zones forestières en zones urbaines à la périphérie de la placette 49	86
Photo 3: Perte des espaces forestiers face à l'étalement urbain à la périphérie de la placette 16.....	87
Photo 4 : Travaux d'excavation pour construire dans une forêt de pin à Qsaibé à 600 mètres d'altitude	88
Photo 5: Les forêts du bassin versant	100
Photo 6: La mesure du diamètre au niveau de la poitrine placette 15 et 21	105
Photo 7 : Collection des herbacées.....	108
Photo 8: Collection de litière.....	108
Photo 9: Echantillonnage de sol dans les quatre coins de la placette.....	109
Photo 10: Echantillons de sol pour évaluer la densité.....	110
Photo 11: distribution des horizons	110
Photo 12: Séchage à l'étuve dans une étuve à 105°C	112
Photo 13: Mesure du poids des cylindres de sol	112
Photo 14: Séparation des particules fines des particules grossières	112
Photo 15: Les échantillons de litières stockés avant le séchage à l'étuve	114
Photo 16: Séchage de la litière à l'étuve et Mesure de la partie aérienne des herbacées	114
Photo 17: Le sol argileux et caillouteux de la placette numéro 40.....	125
Photo 18: Le sol sableux de la placette numéro 11	125
Photo 19: Sols jeunes superficiels sur modèle karstique. Placette 41	129
Photo 20: Profil du sol épais de 75 cm. Placette 2	129
Photo 21: Aiguilles de cèdre qui couvrent les racines superficielles très denses (placettes 33)	136
Photo 22: Sols érodés nus, peu profonds et couverts par quelques feuilles de chêne (Placettes 44)	136
Photo 23: Le résultat du brûlis, carbonisation des troncs de pin pignon et absence de litière (placette numéro 23)	139
Photo 24: Le cour d'eau en bas de la colline de la placette 23 et absence de litière.	140
Photo 25: Forêts de chênes sur un plateau montagnard (Placette 39)	140
Photo 26: La diversité végétale des forêts du bassin versant (photo R. Zoghaib)	142
Photo 27: La placette numéro 21	146
Photo 28: La placette numéro 30.....	146
Photo 29: Placette 11 plantations de pin délaissées	160

Photo 30: Forêt de pin pignon non aménagée (Placette 45).....	160
Photo 31: La placette 45 dévoile une biomasse arbustive importante	162
Photo 32: Site 41 qui est une forêt de chêne Caliprine. Noter l'absence de végétation herbacée. Photo prise le 18/6/2017	168
Photo 33: Placette numéro 1 (le 5/3/2017) qui montre présence de végétation herbacée.....	169
Photo 34: Placette numéro 1 (le 9/2/2018) qui montre l'application du brûlis	169
Photo 35: Application du brûlis avant la récolte du pignon par la plupart des gérants (Placette 1)	175
Photo 36: L'hylésine destructeur qui tue les arbres de pin pignon	176
Photo 37 : Hypsomètre Blume-Leiss.....	212
Photo 38: Hypsomètre Nikon forestry Pro Laser Range finder	212
Photo 39: Séchage des échantillons de sol séchés à l'air libre.....	215
Photo 40: Broyage des échantillons de sol avant de les tamiser	215
Photo 41: Déterminer le taux d'argile, limon et sable dans les échantillons de sol.....	216
Photo 42 : Mesure du pH.....	221
Photo 43: Mesure de la conductibilité électrique	221
Photo 44: Cèdre Libanais placette numéro 34.....	227
Photo 45: Forêts de pins pignons du bassin versant du Nahr Beyrouth.....	228
Photo 46: Le pin brutia - placette numéro 15	230
Photo 47: Forêt de Cyprès vert plantée - placette 34	231
Photo 48: <i>Juniperus ocedrus</i> qui est présent dans la placette 25 dans une forêt de pins mixtes	232
Photo 49: Forêt de Chêne Calliprine placette 41	234
Photo 50: <i>Quercus infectoria</i> , placette 39	235
Photo 51: Le caroubier est présent dans des différents endroits dans le bassin versant du Nahr Beyrouth	237
Photo 52: Arbousier de Chypre présent dans la placette 25.....	238
Photo 53: Pistachier de Palestine dans la placette 21	239
Photo 54: Un olivier présent entre les pins pignons dans la placette numéro 2.....	240
Photo 55: Des arbres de Charme-houblon présents dans la placette 24.....	242
Photo 56: Des arbres d'Aulnes présents dans la placette 48	243
Photo 57: Des Platanes d'Orients présents dans le site 21	244
Photo 58: Le peuplier noir présent dans la placette 24.....	245
Photo 59: <i>Prunus ursina</i> localisés entre la placette 33 et 34.....	247

Photo 60: *Pyrus syriaca*, présent dans la placette 27248
Photo 61: Arbre de Judée248
Photo 62: Deux arbustes présents dans la placette 17249

Liste des tableaux

Tableau 1: Estimations du stock du carbone organique dans le sol selon différents auteurs	34
Tableau 2: Les formes de stocks de carbone dans les arbres (Lal, 2008)	44
Tableau 3: Les avantages directs et les avantages secondaires et services à l'écosystème fournis par les stocks de matière organique du sol, D'après Lal, 2008	51
Tableau 4: Les superficies occupées par les forêts d'après NFP en hectare (MoA et FAO, 2005).....	69
Tableau 5: Les superficies occupées par les différentes classes de forêts de conifères d'après NFP en hectares (MoA et FAO, 2005).....	70
Tableau 6: Les superficies occupées par les forêts de feuillus (MoA et FAO, 2005)	70
Tableau 7: Classes d'occupation du Bassin Versant du Nahr Beyrouth (CNRS, 2012).....	82
Tableau 8: Les espèces arborescentes et arbustives.....	84
Tableau 9: Classification des forêts selon la carte du Ministère de l'agriculture (MoA, 2005)	91
Tableau 10: Les placettes aléatoires	93
Tableau 11: Division des forêts du bassin versant en deux strates	95
Tableau 12: Les espèces forestières présentes dans les strates du bassin versant	96
Tableau 13: Calcul du nombre de placettes nécessaires pour cette étude.....	97
Tableau 14: Le choix des placettes en fonction des DBH des arbres (Walker et al., 2014).....	98
Tableau 15: Localisation des placettes	101
Tableau 16: Les équations allométriques spécifiques des arbres.....	116
Tableau 17: Equations allométriques des arbustes et des arbres dont le DBH est inférieur à 10 cm ...	118
Tableau 18: Texture, pH et conductibilité	126
Tableau 19: La concentration des macro et des microéléments dans les échantillons de sol	133
Tableau 20: Les taux de matière organique et de carbone dans le sol.....	137
Tableau 21: Les quantités de litière présentes dans les placettes du bassin versant	141
Tableau 22: Biomasse des plantes herbacées.....	143
Tableau 23: Biomasse des arbres et des arbustes.....	147
Tableau 24: les stock de carbone dans les 5 compartiments.....	149
Tableau 25: Les stocks de carbone dans les forêts du monde.....	152
Tableau 26: Résultat du test de normalité pour les 42 variables seuil $\alpha = 0.05$. En gras, les valeurs inférieures au seuil	170

Tableau 27: La corrélation entre la MOS en t ha ⁻¹ et la litière en t ha ⁻¹ dans les placettes du groupement C acte aux interventions anthropiques	173
Tableau 28 : Corrélation entre les différentes variables	182
Tableau 29: La matrice de corrélations.....	184
Tableau 30: Analyse de la somme des carrés de type III montre les variables significatives	184
Tableau 31: Coefficient de multiplication des variables de l'équation 1.....	185
Tableau 32: Coefficient de multiplication des variables de l'équation 2.....	185
Tableau 33: Correction de la pente	210
Tableau 34: Les arbres échantillonnées	224
Tableau 35: densité de la fraction fine des sols	251
Tableau 36: Les quantités de litières des quatre cadres de chaque placettes	257
Tableau 37: Biomasses de la végétation herbacée.....	259
Tableau 38: Corrélation entre les différente variable	317

Liste des Acronymes

C	Carbone
CO	Carbone organique
COS	Carbone organique du sol
CH ₄	Méthane
CO ₂	Dioxyde de carbone
COD	Carbone organique dissous
COS	Carbone organique du sol
CCNUCC	Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques
MO	Matière organique
MOS	Matière organique du sol
Pg	Pétagramme
Kg	Kilogramme
ha	hectare
t	tonnes
FAO	L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
CIP	carbone inorganique particulaire
CID	carbone inorganique dissous
Pg	Petagramme
PgC	Petagramme carbone
GIEC	Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du climat
UNCCD	Convention des Nations Unies sur la Lutte contre la Désertification
MoA	Ministère de l'agriculture
Gt	Gegatonnes
Lari	Institut National de la Recherche Agronomique Libanais
PgC	un milliard de tonnes de carbone ou 1GtC (gigatonnes de carbone)

Introduction générale

Au cours de ces dernières décennies, le monde connaît des modifications rapides de ses climats qui s'inscrivent dans le cadre du *global change*. Ainsi, des questions se posent sur les conséquences immédiates et lointaines de ces changements qui sont de plus en plus visibles sur les écosystèmes de notre planète. Les causes sont complexes et dépendent de nombreux facteurs, ceux-ci pouvant être naturels et/ou anthropiques. Les concentrations atmosphériques du dioxyde de carbone (CO₂), du méthane (CH₄) et de l'oxyde nitreux (N₂O), n'ont pas cessé d'augmenter depuis le début de la révolution industrielle (IPCC, 2007). Ces émissions, principalement dues aux activités humaines, comme l'utilisation de combustibles fossiles, les changements d'affectation des terres ou l'agriculture ont produit environ 304 ± 30 billions de tonnes de Carbone (GtC). Le CO₂ atmosphérique a atteint entre les années 1750 et 2009 une concentration d'environ 385 ppm de carbone.

Actuellement, il est devenu évident que l'augmentation de la teneur en gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère et le changement climatique qui en résulte auront des effets majeurs au 21^{ème} siècle. La température a déjà augmenté de 1°C et même si les scénarios sont encore incertains, on prévoit, d'ici 2100, une élévation de 1,5 à 6 °C de la température moyenne de la terre (Moorhead et al., 2016) si aucune mesure n'est prise pour réduire les sources d'émission de CO₂. Un rapport de recherche intitulé "Earth Flirt à 1.5 Degree Celsius Global Warming Threshold" et publié par le Climate Central en Avril 2016, confirme ces différents scénarios : la température globale de la Terre a dépassé, pour la première fois, de 1.5°C la moyenne des températures entre Janvier et Mars 2016 (Climate Central, 2016). Face à ce défi mondial, le Protocole de Kyoto, en 1997, a préconisé une réduction de la concentration des gaz à effet de serre. Lors de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) adoptée à Paris en Décembre 2015, l'accord ratifié est sensé renforcer la réponse mondiale à cette menace en contenant l'augmentation de la température mondiale à un niveau inférieur à 2 degrés Celsius par rapport aux niveaux préindustriels. Les actions préconisées visent soit une diminution des taux d'émission, soit une augmentation des puits de carbone en développant les connaissances sur les mécanismes naturels de captation du carbone atmosphérique.

La sylviculture est le secteur le plus susceptible d'éliminer le carbone atmosphérique en effet les forêts bien gérées détiennent le plus souvent des stocks de carbone plus élevés et ont un potentiel d'atténuation plus important que les forêts perturbées ou mal gérées, surexploitées ou brûlées qui deviennent des sources d'émissions (FAO et Plan Bleu, 2015). Les forêts peuvent jouer un rôle dans

l'atténuation du changement climatique en fixant le carbone, grâce à la photosynthèse et à la séquestration du C dans la biomasse aérienne et racinaire, aux stockages dans les sols forestiers et dans les produits en bois. En effet, l'intérêt des systèmes agroforestiers ne se limite pas à ce carbone stocké sous forme de bois car de grandes quantités de litières apportent également du carbone dans les horizons profonds du sol par la mortalité et l'exsudation racinaire. Cependant, les questions liées au cycle du carbone (C) dans le domaine des forêts méditerranéennes comportent encore de nombreuses zones d'incertitude, notamment en raison de leur degré d'anthropisation.

Les forêts qui occupent actuellement 29% de la surface des terres émergées, sont les plus grands puits de carbone. Elles stockent 560 gigatonnes (Gt) de carbone, soit la moitié de celui détenu dans les terres émergées estimé à hauteur de 1120 Gt de carbone (Kohlmaier et al., 1998). Les plantations forestières (avec toutes leurs composantes : tiges, branches, feuillages, racines, litières et bois mort) jouent donc un rôle déterminant dans la régulation du taux de CO₂ atmosphérique. Ainsi, un hectare d'une forêt comprenant des arbres âgés de 60 à 120 ans, comme c'est le cas en Chartreuse (France), représente 100 t de carbone fixé (GIEC, 2001). De plus, les sols forestiers constituent d'importants réservoirs de carbone organique terrestre. Par exemple, en France, ces sols stockent 3.1 milliards de tonnes de carbone organique dans les 30 premiers centimètres des sols (Arrouays 2002).

Cependant, ces réservoirs de carbone ont des limites de stockage de 3 à 5 tonnes de carbone par hectare par an. L'effet des puits de carbone n'est important que durant les 100 premières années de l'âge d'un arbre et décline ensuite, pour s'annuler au bout de 200 ans environ, lorsque la forêt naturelle atteint son point d'équilibre. Au-delà le bilan est nul puisque la forêt ne capte plus de carbone supplémentaire. Elle pourrait même alors, dans certaines conditions défavorables, devenir une source d'émission de carbone. Il faudrait, pour compenser les émissions artificielles de CO₂, créer des surfaces de nouvelles forêts considérables (de l'ordre de 850 millions à 1 milliard hectare, soit 15 à 20 fois la surface de la France).

Par ailleurs, ces propriétés de captations varient selon les essences forestières : en moyenne, les peuplements à plus fort stock par unité de surface sont les sapinières (87 tC ha⁻¹) et les hêtraies (84 tC ha⁻¹). Bien qu'elles constituent un stock de carbone significatif, il semble que les forêts méditerranéennes séquestrent moins de carbone que les autres types de forêts ce qui représentent

5 066 milliards de tonnes de carbone et 1,7 pour cent du stock de carbone forestier mondial en 2015 (FAO, 2015c). Couvrant une aire géographique considérable de 83 068 km² (FRA, 2010), les écosystèmes forestiers méditerranéens présentent quelques caractéristiques générales liées à leur écologie et à leur historique, ainsi que des différences régionales marquées par le contexte physique et humain. Ils ont toutefois un facteur important en commun : leur fragilité, leur instabilité et leur caractère, souvent dégradé. Les exploitations irrationnelles de ces ressources forestières durant des siècles ont provoqué une dégradation des espaces boisés à des rythmes variables, selon les vicissitudes de l'histoire et des civilisations qui se sont succédés dans le bassin méditerranéen. Pour cette raison, il paraît indispensable de lancer une étude pour connaître les stocks des forêts méditerranéennes, et leur rôle dans la réduction des émissions des gaz à effet de serre grâce à leur fonction de puits de carbone. Le Liban constitue un cas intéressant du contexte forestier de la méditerranée orientale.

Caractérisé par son climat et ses conditions géologiques et géographiques variées, le pays des cèdres présente une végétation forestière diverse et une biodiversité importante dans le bassin méditerranéen (Médail et Quézel, 1997). Les forêts couvrent environ 137 000 ha (13% du territoire) et les autres terres boisées couvrent 106 000 ha (environ 10%) du territoire libanais (MOE / PNUD / ECODIT, 2011). Celles-ci fournissent un important service écosystémique (Développement Rural et des Ressources Naturelles, Ministère de l'agriculture libanais, 2016). Elles ont une valeur économique certaine puisque les forêts sont exploitées pour la production de combustible (charbon et bois), ou de fruits (pins pignons, caroubiers, ...). Le pâturage dans ces espaces est une pratique courante et de nombreuses espèces de plantes aromatiques et médicinales (224 plantes d'importance économique) sont largement utilisées (Développement Rural et des Ressources Naturelles Ministère de l'agriculture libanais Ministère de l'agriculture libanais, 2016). L'importance environnementale de ces bois n'est plus à démontrer (lutte contre l'érosion, agroforesterie, assainissement des sols, indicateurs biotiques de pollution, etc.). Outre leur importance touristique et écotouristique, les forêts libanaises présentent une variété d'activités récréatives (MoE/UNEP/GEF, 2016).

Ainsi, au Liban, les forêts fortement anthropisées et exploitées à cause de leur fonction économique, constituent un système complexe dans lequel les humains et la nature interagissent et sont interdépendants. Compte tenu du rôle des forêts dans les stratégies d'atténuation, il paraît important d'améliorer l'usage que nous faisons des sols et des pratiques culturelles pour stocker le carbone de manière pérenne. Or, la mise en place d'une telle stratégie nécessite, au préalable, de comprendre comment la forêt méditerranéenne, dans notre cas libanais, peut-elle participer à cette atténuation ?

Quel est le rôle de la forêt libanaise anthropisée en tant que réservoir de carbone ? Dans ce pays du levant cette problématique se double d'une difficulté liée au fait que les sols libanais sont pauvres en matière organique (Darwish et al., 2009), à cause des incendies et de la destruction des forêts (Masri, 2006).

Comprendre la relation forêts libanaises/carbone, implique de quantifier, d'évaluer la dynamique du stock de CO₂ dans tous les réservoirs qui constituent l'espace forestier, d'identifier les facteurs qui influent sur ce stock (climat, topographie, texture et structure du sol...) et d'analyser leurs interactions. Cette démarche pourra aboutir à des recommandations de préservation et d'augmentation du stock de carbone forestier dans les anthrosols (Barles et al., 1999).

Le bassin-versant du Nahr Beyrouth, représentatif du cas des zones boisées libanaises, a constitué notre région d'étude expérimentale. Un travail de terrain sur plus de 50 placettes a permis de collecter toutes les données nécessaires pour l'estimation du stock dans chacun des réservoirs qui composent l'espace forestier.

Cette étude est traitée en trois parties principales. La première est un état de l'art concernant les stocks de carbone terrestre et s'intéresse aux différents stocks de carbone dans la biomasse végétale, la litière et sol, ainsi que les facteurs influençant ces stocks. La deuxième partie présente les méthodes utilisées pour réaliser l'inventaire carbone dans le bassin versant. Enfin, la troisième partie analyse les résultats et présente les corrélations entre les variables. Cette partie permet d'établir une équation pour calculer les stocks de MO% dans le sol des forêts du bassin versant. Finalement, un essai de spatialisation met en avant les difficultés de cartographie du stock de carbone en milieu anthropisé.

Première partie

État de l'art

Introduction de la première partie

Au cours de ces dernières décennies, le *global change* introduit des modifications au climat de la terre. Attribué à l'accroissement des quantités des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, il se manifeste par une évolution positive des températures depuis le début de l'ère industrielle et est lié à la consommation croissante des hydrocarbures fossiles (Marland et Boden, 1993 ; IPCC, 1994).

Plus d'une quarantaine de gaz à effet de serre ont été listés par le Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Évolution du Climat (GIEC). Selon leur pouvoir de réchauffement, il s'agit de : la Vapeur d'eau (H₂O), le Dioxyde de carbone (CO₂), le Méthane (CH₄), l'Ozone (O₃), le Protoxyde d'azote (N₂O), l'Hydrofluorocarbure (HFC), le Perfluorocarbure (PFC) et l'Hexafluorure de soufre (SF₆) (GIEC, 2007). Malgré son faible pouvoir de réchauffement, le CO₂ représente de loin la contribution la plus importante aux gaz à effet de serre du fait de l'augmentation de sa concentration atmosphérique d'une façon dramatique. Ce carbone atmosphérique représenté par le CO₂ est à l'origine du carbone terrestre.

Le carbone est présent dans l'atmosphère, l'hydrosphère (océans, rivières, fleuves, cours d'eau, étangs et lacs), la lithosphère (roches, sédiments et sols) et la biosphère (biomasse végétale, principalement dans les forêts, et animale). Les transferts, les échanges entre ces différents réservoirs, et les transformations du carbone à la surface de la Terre sont régis par de nombreux mécanismes : la photosynthèse, la respiration, l'humification, la minéralisation, la dissolution, la précipitation et la diagenèse.

Cette première partie aura pour objectif de présenter l'état de l'art concernant les stocks de carbone, leur l'origine et leur milieu de stockage (stock terrestre et marin). Nous présentons les stocks de carbone terrestre, en particulier forestiers (sol, litière, herbacée, arbuste et arbre), et leur influence sur l'écosystème forestier et sur l'environnement. Nous mentionnons ensuite la dynamique de ces stocks dans les forêts et les facteurs qui les influent. Finalement, nous présentons le contexte libanais et sa problématique forestière.

Chapitre 1 : Cycle du carbone et écosystème forestier

Les quatre plus grands réservoirs du carbone sont l'atmosphère, les océans, les réserves d'hydrocarbures et l'écosystème terrestre qui englobe la végétation et le sol. La concentration mondiale moyenne de CO₂ était près de 0,0380%, ou 380 ppm, soit environ 780 PgC (1 Pg = 1 pétagramme = 10¹⁵ g = 10⁹ tonnes métriques) en 2005. Mais dans les océans, la quantité totale de carbone est 50 fois supérieure à celle de l'atmosphère qui est d'environ 38 000 PgC. Elle se concentre dans les eaux intermédiaires et profondes. Seulement 700 à 1000 PgC de ce carbone sont en surface des océans en contact direct avec l'atmosphère. Il existe également 6000 PgC de carbone dans les sédiments océaniques. Ces quantités de carbone réinjectées vers l'atmosphère peuvent retarder (sur plusieurs années) un éventuel rafraîchissement de l'atmosphère même en cas de mise en place de dispositions de réduction d'émissions de gaz à effet de serre. Généralement les gaz ne sont pas solubles dans l'eau, mais en raison de la composition chimique de l'eau de mer, la répartition du carbone entre l'air et la mer est inversée. Ainsi, 98,5% du carbone dans les systèmes océan-atmosphère, se trouve dans la mer (Sarmiento, 1993). La majorité de ce carbone se trouve sous la forme de carbone inorganique dissous (DIC), et la majeure partie du DIC est sous forme de bicarbonates et d'ions carbonates. Moins de 1% du DIC est sous forme de CO₂ dissous (pCO₂) (Sarmiento, 1993). Environ 1000 PgC du DIC sont organiques, principalement sous forme dissoute, et seulement environ 3 PgC se trouvent dans les organismes vivants.

Le carbone représente environ 0,27% de la masse des éléments de la croûte terrestre (Kempe, 1979) et présente environ 50% de matière organique sèche. La quantité de carbone contenue dans la végétation terrestre s'élève à environ 550 Pg plus ou moins 100 Pg. En outre, les forêts sont d'importants réservoirs de carbone puisque les arbres contiennent beaucoup plus de carbone par unité de surface que les autres types de végétation (chapitre 1.2).

La quantité du carbone organique dans les sols est trois fois plus importante que celle de l'atmosphère. Elle est de 1500 PgC en surface et atteint 2300 Pg à 3 mètres de profondeur (Jobbágy et Jackson, 2000).

Le pétrole, les gaz naturels et le charbon sont les résidus de la matière organique formée par les

plantes depuis des millions d'années. La quantité de carbone stockée dans les réserves de charbon récupérables (pétrole et de gaz) est estimée entre 5 000 et 10 000 PgC, et considérée comme le plus grand réservoir après les océans. Les volumes de ces réservoirs sont indiqués d'une manière simplifiée (Figure 1).

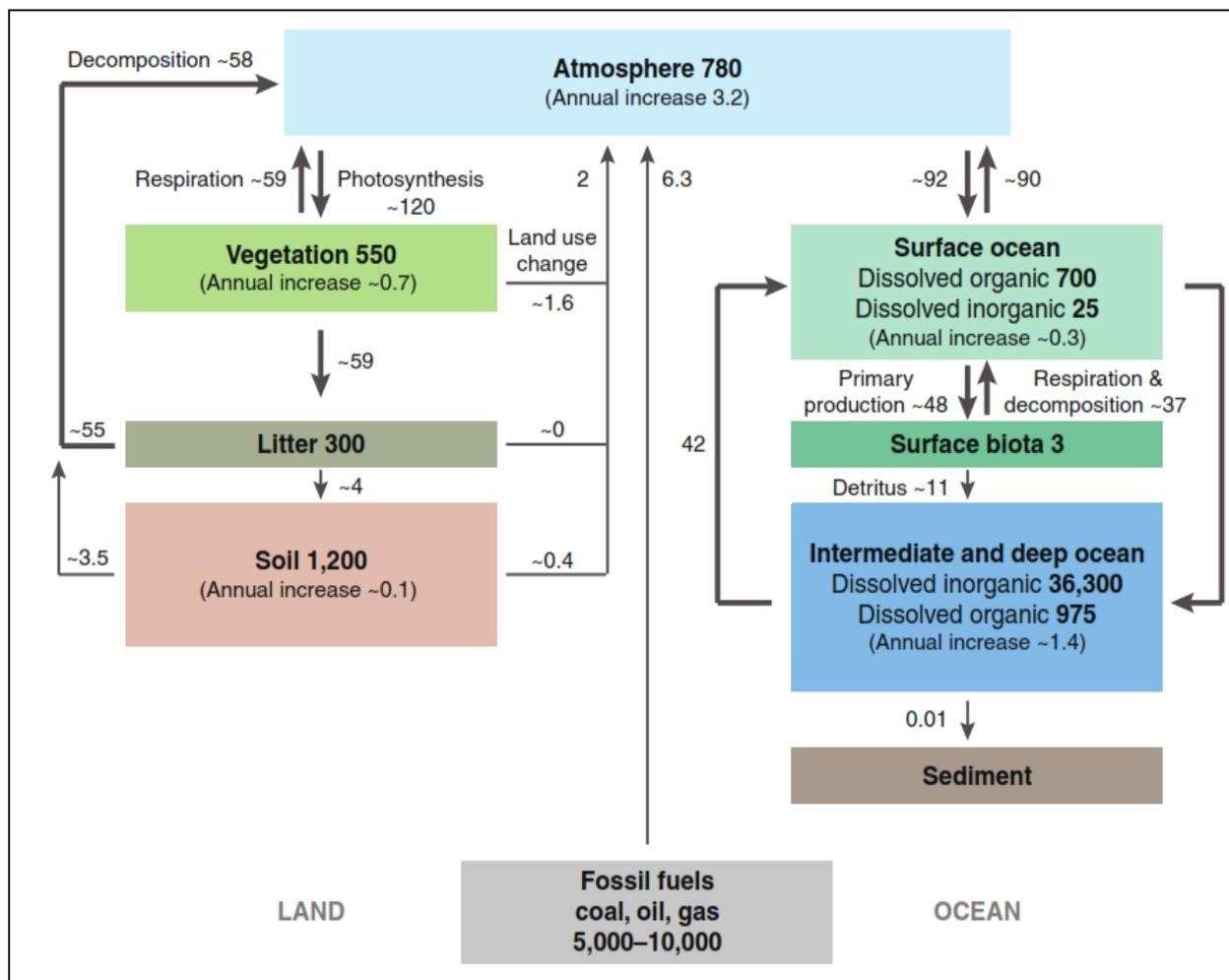


Figure 1: Les échanges de carbone entre les réservoirs en PgC (Houghton, 2007).

1.1 Principales formes et stockage du carbone

Le carbone se trouve sous deux formes principales dans la nature. Le carbone organique et inorganique.

1.1.1 Carbone inorganique

Le carbone inorganique est présent dans les minéraux carbonatés mais il n'établit pas des liaisons chimiques avec l'hydrogène et d'autres carbones. A l'échelle du globe, il est présent dans trois réservoirs : l'atmosphère, l'hydrosphère (en particulier les océans) et la lithosphère (les roches). Dans l'atmosphère, le carbone inorganique est sous forme gazeuse (CO₂).

Dans les eaux continentales et marines, le carbone inorganique constitue 55% du carbone total et il est formé de 17% de carbone inorganique particulaire (CIP) et de 38% de carbone inorganique dissous (CID). (Ludwig et al. 1996 ; Lefevre et al., 2017).

Le CIP provient essentiellement de l'érosion mécanique des carbonates, et certains proviennent de la précipitation de calcite dans les rivières (Dandurand et al., 1982). Dans les océans, les deux tiers du CID proviennent du CO₂ atmosphérique et le reste de l'altération chimique des minéraux carbonatés des roches et des sols. Tandis que dans les eaux continentales, de la dissolution des carbonates, de l'oxydation de la matière organique des sols et de l'altération des roches silicatées (Pawellek et Veizer, 1994 ; Baudin et al., 2021).

1.1.2 Carbone organique

Le carbone organique (CO), généralement à l'origine des organismes vivants, végétaux, animaux et microorganismes, est lié à l'hydrogène, l'oxygène et autres éléments dont l'azote, le phosphore et le soufre pour former des molécules organiques ou des hydrocarbures. Le carbone organique se transforme par l'humification en tourbe, lignite, charbon. Celui-ci constitue 50 % de la matière organique qui est formée par la décomposition des végétaux, des animaux et des microorganismes. Ces transformations contribuent au cycle organique du carbone (Schlesinger et Melack, 1981 ; Meybeck, 1984).

Ce cycle du carbone comprend non seulement le carbone organique dans la végétation, l'atmosphère et l'océan mais aussi le carbone du sol (COS).

La matière organique du sol (MOS) est la fraction du sol composée de tout ce qui était, autrefois, vivant : restes de végétaux principalement et animaux à divers stades de décomposition. Le cycle

du carbone commence quand les plantes et les organismes autotrophes utilisent l'énergie lumineuse pour produire des molécules organiques à partir des éléments minéraux par un processus appelé photosynthèse. Ces molécules organiques synthétisées résultent du captage du carbone, c'est à dire le carbone organique (CO) obtenu à partir de la synthèse du CO₂ atmosphérique. Ce phénomène s'appelle la fixation du carbone (Farineau et al., 2006).

Les résidus, les exsudats racinaires et les plantes mortes se transforment en matière organique du sol par l'activité de la faune microbienne, c'est la décomposition. Ce processus de transformation du matériel organique produit un mélange biogéochimique de composés complexes : des produits de la désintégration microbienne à différents stades de décomposition et de la litière végétale (Von Lützow et al., 2009).

La décomposition est le résultat d'une dégradation physique et d'une transformation biochimique de molécules organiques complexes en molécules organiques et inorganiques plus simples (Juma, 1998). La matière organique bien décomposée forme l'humus, un composé poreux ayant une couleur qui varie entre le noir et le brun foncé. Dans la plupart des sols, la matière organique du sol (MOS) ne représente que 5% du volume total (USDA, NCSA, 1996). L'addition continue des résidus végétaux et leur décomposition en surface du sol contribue à l'activité biologique et au cycle du carbone dans le sol. La décomposition de la matière organique du sol ainsi que la croissance et la désintégration des racines contribuent également à ce cycle.

L'humus s'associe aux minéraux du sol où il se bloque au sein des agrégats pour former un complexe argilo humique. Ce complexe stable permet la persistance du carbone organique du sol (COS) pendant des dizaines, des centaines, voire des milliers d'années (Lefevre et al., 2017). Mais une partie de ce carbone stable est exposée à l'érosion, et exportée vers les rivières et les océans sous forme de carbone organique dissous (COD).

La matière organique libre dans le sol se minéralise sous l'action des microorganismes ce qui entraîne une perte du carbone organique du sol (COS) sous forme d'émission gazeuse. Le carbone retourne alors dans l'atmosphère (Keiluweit et al., 2015).

Le cycle du carbone est donc la transformation continue des composés de carbone organique et inorganique par les plantes, les micro-organismes et les macroorganismes. Ce cycle présente une interaction entre le sol, les plantes, l'atmosphère et l'océan. Il est évident que le stock de COS, augmente tant que le processus d'humification s'accélère et la minéralisation primaire et secondaire se ralentit. Mais, la présence de certains facteurs comme l'apport du nitrate au sol, perturbe la stabilité du COS et déclenche de nouveau la minéralisation (Figure 2).

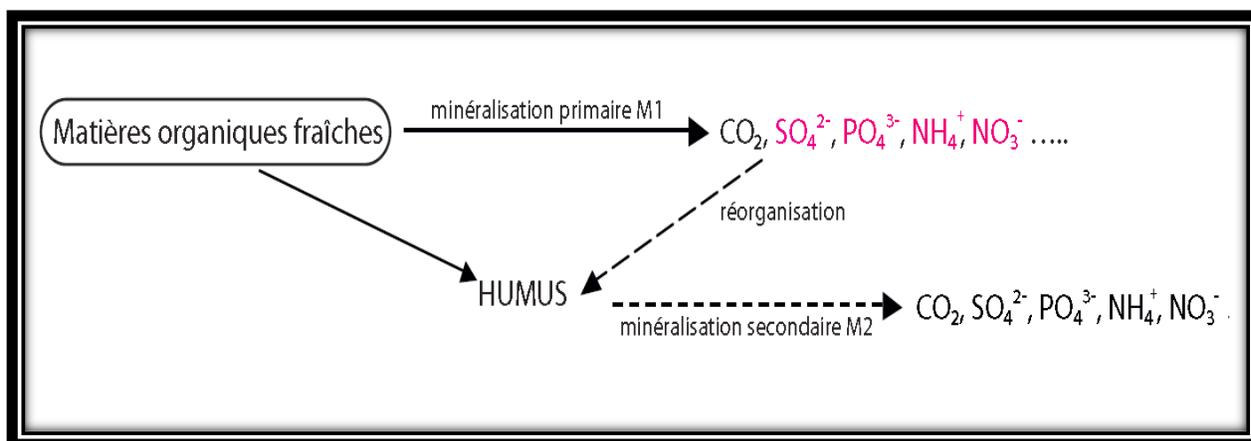


Figure 2: Décomposition des MO fraîches (Duchaufour, 1984)

1.1.3 Stocks de carbone

Diverses estimations du stock de carbone dans l'atmosphère, la biomasse végétale et le sol ont été publiées. Elles estiment le contenu de carbone dans l'atmosphère à environ 750 PgC (GIEC, 2001), ou 780 PgC (Houghton, 2007) ou 800 PgC (FAO et ITPS, 2015 ; FAO,2017). Selon le GIEC (2001), 610 PgC sont stockés dans la biomasse végétale : 122 Pg dans la biomasse terrestre hors forêts et de 488 Pg dans la biomasse forestière. Selon des sources complémentaires, les végétaux terrestres stockent entre 550 PgC (Houghton, 2007) et 500 PgC (FAO et ITPS, 2015 ; FAO,2017).

Dans les sols, les stocks de COS mondiaux ont été estimés à environ 1580 PgC : 632 PgC dans les sols forestiers et 948 PgC dans les autres sols (GIEC, 2001). On relève entre 1200 PgC (Houghton, 2007) et 1500 PgC dans le premier mètre de sol (FAO et ITPS, 2015 ; FAO, 2017).

Plusieurs estimations du COS selon des différentes méthodes de calculs (FAO et ITPS, 2015 ;

FAO, 2017), montrent que ces stocks de COS sont variables dans le temps et l'espace pour plusieurs raisons dont les facteurs biotiques et abiotiques (Weissert et al., 2016) (Tableau 1).

Tableau 1: Estimations du stock du carbone organique dans le sol selon différents auteurs

Référence	Stock de COS (PgC)				Méthode
	0-30cm	0-100cm	0-200cm	0-500cm	
Batjes (1996)	684-724	1 462- 1 548	2 376- 2 456		Base de données géo-référencée (WISE1 – 4 353 profils de sol) + DSMW ²
Jobbágy et Jackson (2000)		1 502	1 993	2 344 ³	2 721 profils de sol groupés par biomes. NSCD ⁴ , WISE et une base de données provenant du service canadien des forêts ⁵
Groupe de travail sur les données mondiales du sol (2000) – Programme international géosphère-biosphère		1 550 (SOC stock x grid cell area)			Données WISE (v.1 – 1 125 profils) + DSMW
Hiederer and Köchy (2011)		1 417			HWSD ⁶ version 1.1
Scharlemann <i>et al.</i> (2014)		1 461 (504-3 000)			Revue de publications allant de 1951 à 2011
Shangguan <i>et al.</i> (2014)		1 455	230 cm: 1 923		DSMW et bases de données nationales/régionales
Köchy <i>et al.</i> (2015)		1 062			HWSD + masse volumique ajustée pour les sols organiques
		1 325			HWSD + masse volumique ajustée pour les sols organiques + améliorée pour les tourbières
Batjes (2016)	755	1 408	2 060		Base de données WISE ^{30sec} + HWSD v.1.2 adaptée

(FAO et ITPS, 2015 ; FAO, 2017)

Les données qui alimentent le tableau 1 sont parfois anciennes mais constituent une synthèse des résultats publiés au cours des deux dernières décennies.

1.2 Forêts et séquestration du carbone

Les forêts recouvrent 30% de la surface de la terre et occupent près de quatre milliards d'hectares. Elles représentent le deuxième plus grand puits de carbone estimé à hauteur de 1120 Pg (Giec, 2001) (Figure 3). Les forêts jouent ainsi un rôle crucial dans l'environnement en luttant contre le réchauffement climatique par leur rôle de séquestration et de stockage du carbone. Le terme « séquestration du carbone » désigne un processus qui implique une augmentation du taux de carbone dans un réservoir autre que celui de l'atmosphère (GIEC, 2000 ; Saïdou et al., 2012). Il s'agit d'un processus naturel par lesquels le CO₂ est soit retiré de l'atmosphère, soit détourné des sources d'émission et stocké dans le réservoir de carbone de la Terre (USGS, 2008 ; Sundquist, 2008). En d'autres termes, la séquestration du carbone peut être définie comme la réduction du CO₂ de l'atmosphère par le stockage dans un puits tel que la végétation. Ce processus est appelé photosynthèse (Watson et al., 2000).

L'écosystème forestier est un système qui échange le carbone avec d'autres éléments comme l'hydrosphère et l'atmosphère. Les arbres qui constituent la principale composante des écosystèmes forestiers, contiennent le plus grand stock de biomasse forestière vivante. Celle-ci est estimée à 680 PgC dont 472 PgC dans la biomasse aérienne, 125PgC dans la biomasse sous-terrainne et 83 PgC dans la matière morte (Kindermann et al., 2008).

1.2.1 Séquestration du carbone dans les écosystèmes

Le carbone séquestré dans les forêts se retrouve sous forme de composés organiques dans la végétation, les détritiques et le sol. L'efficacité de la séquestration du carbone varie selon les espèces d'arbres (cf. *infra*, partie 1.2.2), la croissance, la décomposition, le climat et le sol (Purves et Pacala, 2008).

Or, d'après le GIEC le carbone total stocké dans la forêt est estimé à 1120 PgC (488 Gt de biomasse aérienne et sous-terrainne et 632 PgC dans les sols forestiers) (Figure 3) (GIEC, 2001). Cependant, tous les réservoirs et les flux des écosystèmes forestiers, en particulier souterrains, ne peuvent pas être facilement mesurés.

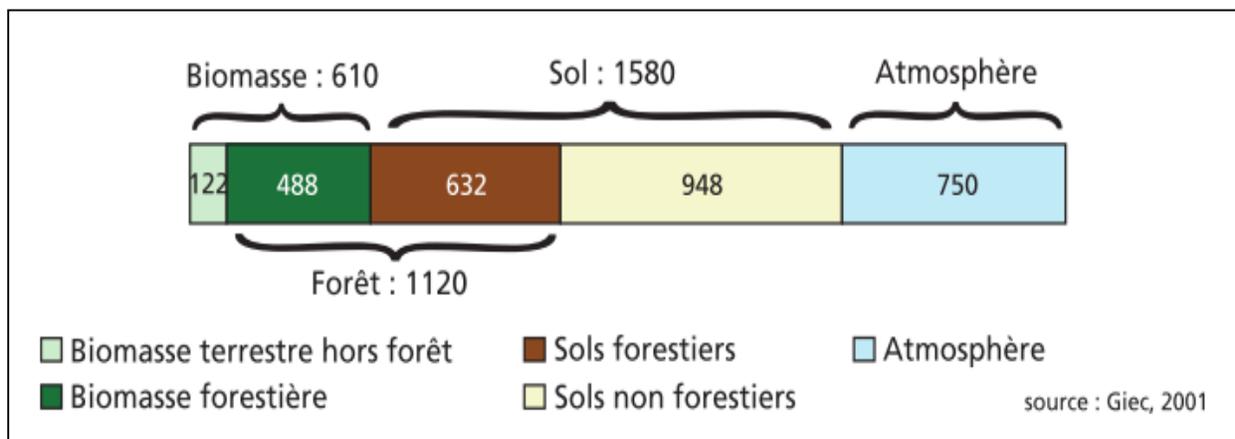


Figure 3: Stock de carbone mondial terrestre en PgC (Giec, 2001)

Les sols des forêts et la végétation forestière contiennent environ 1 120 PgC. (Figure 3) intrinsèquement liés, ils s'influencent mutuellement. Cependant, cette relation entre forêts et sols forestiers est d'autant plus vaste et plus complexe, qu'elle influence l'environnement dans son ensemble.

Les sols, élément majeur des forêts et des écosystèmes boisés, assurent le support aux arbres et contribuent à réguler des processus écosystémiques importants dont l'absorption et la disponibilité des nutriments, la décomposition et le stockage de la matière organique et la disponibilité de l'eau. Tandis que les arbres, contribuent à la formation des sols par les apports en matière organique par la décomposition de leurs résidus. La teneur ou le taux de carbone organique du sol des forêts du monde (elles occupent 4,03 milliards d'ha, soit approximativement 30% des surfaces émergées du globe) varie entre 0 % pour des sols très jeunes et dépasse les 50 % pour certains sols organiques. En général, le taux de COS dans la majorité des sols forestiers varie entre 0,3 et 11,5 % pour les 20 premiers centimètres de profondeur à l'exception des Histosols (Bronick, 2005). La grande partie du stock total de carbone organique du sol (COS) est présente dans les tourbières des forêts tropicales et boréales dans le Sud-est de l'Asie (Birdsey et al., 2015). En revanche, la déforestation dans le monde a causé environ 25% des pertes totales de COS (FAO et ITPS, 2015).

Le carbone est aussi présent sous forme de biomasse forestière (tiges, branches, feuillages, racines, litière, bois mort). Une tonne de bois sec contient 400 kg de carbone. De plus, la

répartition du carbone dans un arbre est la suivante : 76 % dans le bois (troncs, branches), 6% dans les feuilles, 16% dans les racines (Dupouey et al.,1999). Par exemple, le stock moyen de carbone par ha de formation végétale en France est de 138 t ha⁻¹ dans les forêts, 65 t ha⁻¹ dans les prairies et de 43 t ha⁻¹ dans les terres cultivables (Figure 4).

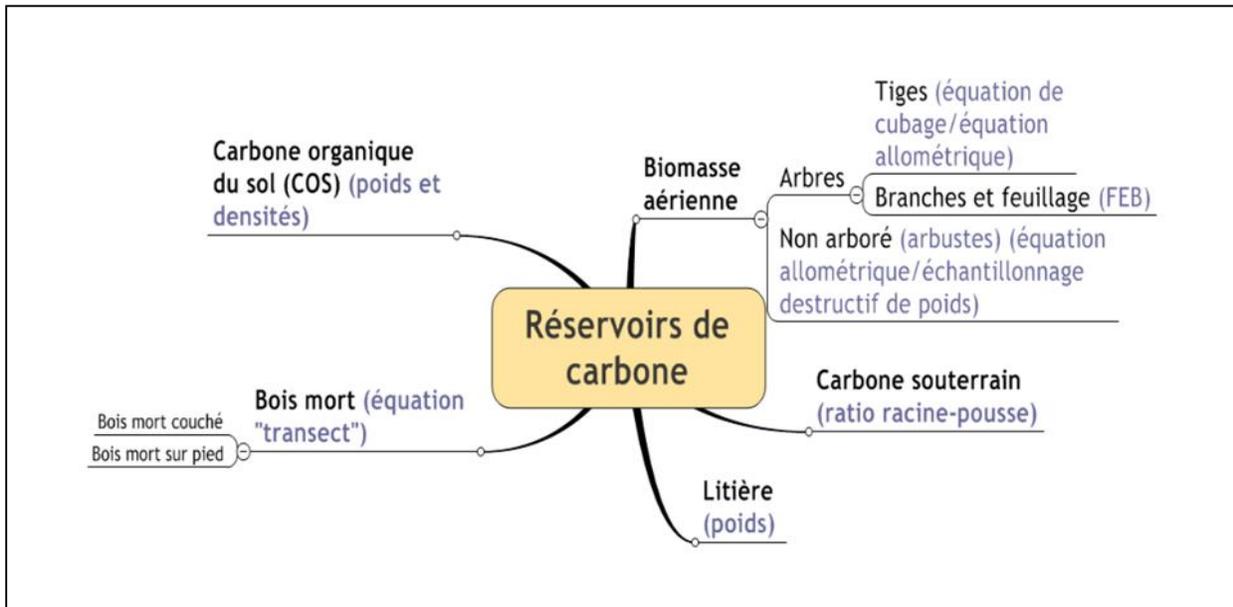


Figure 4: Les plantations forestières en tant que réservoirs de carbone tiges, branches, feuillages, racines, litière, bois mort, sols (FAO, 2006)

Lorsque les arbres meurent, la matière organique se décompose. Les minéraux retournent au sol et le gaz carbonique repart dans l'atmosphère. La forêt ne constitue un puits de carbone que dans la mesure où elle grandit. Arrivées à un stade de maturité et d'équilibre, les forêts n'accumulent plus de carbone du fait qu'il pousse autant d'arbres qu'il en meurt. Pour autant, leur incidence dans les mécanismes d'émissions de carbone n'est pas négligeable. Leur destruction, par le défrichage, la déforestation et le brûlis, revient à libérer d'un coup plusieurs centaines de tonnes de carbone pour chaque ha détruit. Dans ce cas, elles sont sources d'émissions de carbone. Au total, le processus de déforestation serait responsable d'environ 20 % des émissions artificielles de gaz carbonique chaque année. En dépit de ces émissions, la forêt capte le CO₂ et le sol le stocke en matière organique.

Deux processus principaux contrôlent le flux de carbone dans l'écosystème forestier : la photosynthèse responsable de la séquestration du carbone de l'atmosphère et de son stockage

dans la biomasse aérienne et souterraine, la litière et le sol (Lorenz et Lal, 2010), et la respiration libère une partie de ce carbone fixé dans l'atmosphère.

1.2.2 Rôle de la photosynthèse et de la photorespiration

a) Photosynthèse

Les végétaux, grâce à la photosynthèse, captent le CO₂ de l'air pour le stocker sous forme d'herbes, de feuilles, de bois et de racines. La majorité de la photosynthèse se produit dans le feuillage et très peu dans les tiges, les branches (Waring et Schlesinger, 1985), l'écorce, les cotylédons, les bourgeons et les fruits (Kozlowski et al., 1991).

Le rayonnement solaire permet à la plante de capter le CO₂ de l'atmosphère afin de synthétiser des glucides. La photosynthèse utilise la radiation solaire visible (400 nm à 700 nm) qui représente environ 50% de la radiation solaire globale (Waring et Schlesinger, 1985). De cette fraction, environ 85% de l'énergie solaire est absorbée par les feuilles, mais cette valeur peut varier considérablement selon leur structure et leur âge. Enfin, seulement 5% de la quantité de lumière absorbée par les feuilles servent à la photosynthèse, alors que le reste est perdu en chaleur (Salisbury et Ross, 1978).

C'est donc grâce à la photosynthèse que la végétation peut exercer sa fonction de puits de carbone. L'activité de photosynthèse varie selon les espèces, l'exposition des feuilles ou non à la lumière, le moment de la journée et la saison de croissance. Ces variations dépendent des interactions entre les caractéristiques végétales comme l'âge, la structure, l'exposition des feuilles, le développement de la cime, le comportement des stomates et les facteurs environnementaux comme l'intensité de la lumière, la température, la disponibilité de l'eau, la concentration atmosphérique en CO₂, les polluants atmosphériques et les conditions du sol (Kozlowski *et al.*, 1991). Nous pouvons noter que le taux de croissance des espèces à feuilles persistantes est davantage relié à la quantité de nouvelles feuilles qu'à la quantité totale de feuillage (Kozlowski *et al.*, 1991).

En général, le taux de photosynthèse augmente jusqu'à ce que le nouveau feuillage soit

pleinement déployé. Il accuse, par la suite, une baisse graduelle. Ainsi, le taux de photosynthèse dans les feuilles qui persistent plus d'un an, finit par diminuer une fois ce laps de temps passé. En même temps, les végétaux respirent pour assurer leurs multiples fonctions vitales et rejettent alors du gaz carbonique comme les animaux ou les êtres humains. Ces émissions de CO₂ représentent environ la moitié des quantités absorbées de gaz carbonique durant la journée. La différence se retrouve dans la croissance des arbres. Ainsi une tonne de bois sec est constituée de 400 à 500 kg de carbone (IPCC).

b) Photorespiration

La photorespiration utilise 30 à 50 % du carbone fixé lors de la photosynthèse (Kozlowski *et al.*, 1991). La photosynthèse nette est donc la différence entre la photosynthèse et la photorespiration (Kozlowski *et al.*, 1991). La photorespiration provoque la libération du CO₂ dans l'atmosphère à cause des propriétés de l'enzyme Rubisco. Cette enzyme, qui fixe le CO₂ atmosphérique lors de la photosynthèse, peut également fixer l'oxygène (Kozlowski *et al.*, 1991).

Une concentration atmosphérique de CO₂ élevée réduit la photorespiration (Jarvis, 1989). La respiration de construction utilise l'énergie des glucides comme le glucose pour créer des structures végétales ou d'autres composés organiques. La respiration de construction démarre avec le début de la saison de croissance et demeure très active aussi longtemps que la plante croît.

La respiration de maintenance sert à fournir l'énergie nécessaire aux multiples fonctions des cellules vivantes composant les diverses structures de l'arbre (Waring et Schlesinger, 1985). Cette respiration de maintenance double à toutes les augmentations de température de 10 °C.

1.3 Variabilité et capacité de stockage du carbone par les forêts

1.3.1 Variabilité des capacités de stockage

Les stocks et les flux de carbone dans les écosystèmes, jouent un rôle important, dans le cycle du carbone, par le captage naturel de ce dernier de l'atmosphère, qui est sous forme de CO₂. Le CO₂ qui résulte de la combustion des carburants et de la décomposition de la matière organique est stocké dans la biomasse forestière grâce à la photosynthèse et dans les sols par le phénomène

d'humidification.

Le carbone capté par les arbres est stocké à la fois dans la biomasse aérienne : tronc, branches, les feuilles et dans la biomasse souterraine (les racines). Les résidus qui résultent des branches, des feuilles, des racines mortes et les exsudats racinaires sont stockés dans les sols sous la forme de carbone organique du sol (GIEC, 2007 ; Bolin et al., 2000). D'après Bolin, les forêts à l'échelle mondiale, stockent environ 77 % du carbone dans la biomasse végétale aérienne et 23% dans la biomasse souterraine (Bolin et al., 2000).

Les forêts ont une grande capacité de stockage du carbone comparée aux autres modes d'occupation des sols (Dixon et al., 1993). Mais cette capacité de stockage forestière dépend de plusieurs facteurs (Vayreda et al., 2012) :

- Les espèces arborées et arbustives et la végétation herbacée ainsi que leurs interactions ;
- L'âge, le volume et la densité des arbres ;
- La structure et la diversité de la végétation ;
- La superficie forestière ;
- La croissance des arbres et des étages inférieurs qui est formés par les arbustes et la végétation herbacée. Cette croissance est contrôlée par la lumière, la température, l'eau, les nutriments, les sols, la pente et l'altitude ;
- L'attaque des parasites, des insectes et des ravageurs ;
- Le type de gestion forestière et les modes d'intervention (taille, élagage) ;
- Les incendies de forêts.

Le carbone absorbé par les arbres des forêts se fait en fonction de l'âge des arbres et du taux de croissance des forêts. Quand ils sont jeunes les arbres des forêts à croissance rapide absorbent des quantités élevées de CO₂ et au fur et à mesure que les arbres approchent de la maturité, leur taux de croissance diminue ce qui engendre la diminution de l'absorption nette de carbone. En théorie, les forêts arrivées à maturité atteignent un point d'équilibre où la quantité de carbone libérée par la décomposition d'arbres morts est égale à celle absorbée. Mais cela se produit rarement dans les forêts naturelles. Or, dans les réserves et les forêts protégées où les peuplements mûrs restent intacts les forêts se transforment en réservoirs de carbone et non pas en puits de carbone.

Cependant, il existe d'autres facteurs qui interfèrent dans les propriétés de stockage du carbone : les forêts perturbées par les interventions humaines (brûlis, défrichage, érosion des sols) emmagasinent moins de carbone que les forêts intactes (Ding et al., 2011). Les forêts des zones sèches ou semi- arides stockent moins de carbone que celles des régions humides. La teneur en carbone d'une forêt tropicale humide intacte peut atteindre 250 tC ha^{-1} de biomasse aérienne tandis que dans les forêts sèches tropicales où la canopée est ouverte et discontinue, ont un stock inférieur à 40 tC/ha en moyenne (Brown et Lugo, 1984) (Figure 5). Finalement, les forêts jeunes et prématurées sont des puits de carbone, elles ont un pouvoir de stockage plus important que les vieilles forêts.

De manière plus fine, on peut observer des différences selon les espèces d'arbres ; La différence entre les forêts de feuillus, de résineux et des peuplements mixtes n'est pas significative (Wiesmeier et al. 2013). Cependant, les peuplements résineux stockent plus de carbone dans l'horizon organique qui sont plus sujets aux perturbations anthropiques, tandis que les peuplements feuillus et mixtes stockent le carbone plus en profondeur (Wiesmeier et al. 2013 ; De Marco et al. 2013 ; Boca et al. 2014).

Cependant, ces propriétés qui conditionnent les quantités stockées sont modulées par des libérations de carbone. Des estimations faites pour l'année 1990 montrent que 23% des rejets de carbone total annuel dans l'atmosphère sont associés à la déforestation. Ainsi, $1,6 \pm 0,4 \text{ PgC}$ par an ont été rejetés dans l'atmosphère par la déforestation des forêts de basse latitude. Par contre, cette perte a été compensée par le captage de $0,7 \pm 0,2 \text{ PgC}$ par an lié à l'extension et à la croissance des forêts en zones de latitudes moyennes et élevées. Le résultat de cette libération et de ce piégeage montre une émission nette de $0,9 \pm 0,4 \text{ PgC}$ par an (Dixon et al., 1994). Cela est dû à la déforestation dans les zones tropicales (Lugo et Brown, 1992).

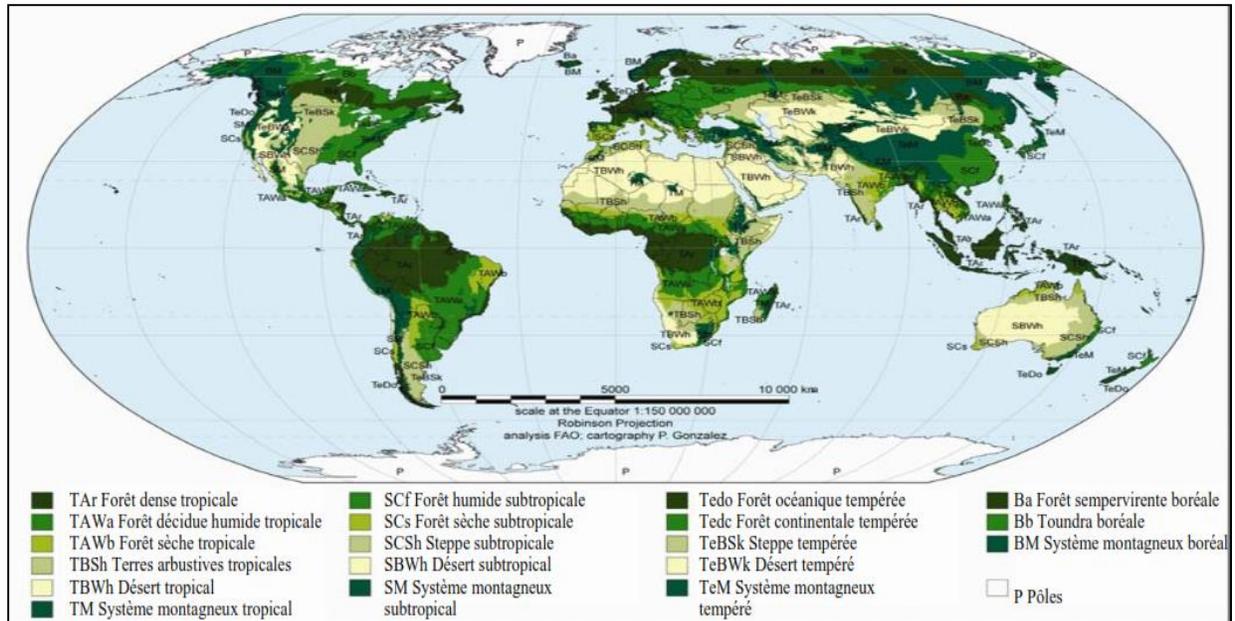


Figure 5: Carte des forêts mondiales (P. Gonzales, 2001; FAO, 2001; GIEC, 2006)

Ainsi, la figure 6 met en évidence la variabilité des stocks de carbone organique des sols, on remarque en générale que les plus grandes réserves de COS sont localisées dans les régions de permafrost, dans les tourbières (Canada, Russie, Finlande, Norvège et Suède) (Pan *et al.*, 2013) et dans les zones humides, les forêts tropicales (Gougoulias *et al.*, 2014 ; Köchy *et al.*, 2015). Dans d'autres régions nous trouvons encore des stocks de carbone importants dans les horizons du sol enterrés par des mécanismes alluviaux, colluviaux et par le volcanisme (O'Rourke *et al.*, 2015). Ce stock varie entre moins de 30 t ha⁻¹ à plus de 400 t ha⁻¹ (Batjes, 2016) (Figure 6).

En comparant la figure 5 (carte des forêts mondiales) à la figure 6 (carte mondiale des stocks de carbone organique du sol en tonnes par hectares à 1 mètre de profondeur), on remarque une forte relation entre la biomasse végétale et la quantité élevée de matière organique dans le sol. Il en est de même pour le carbone organique.

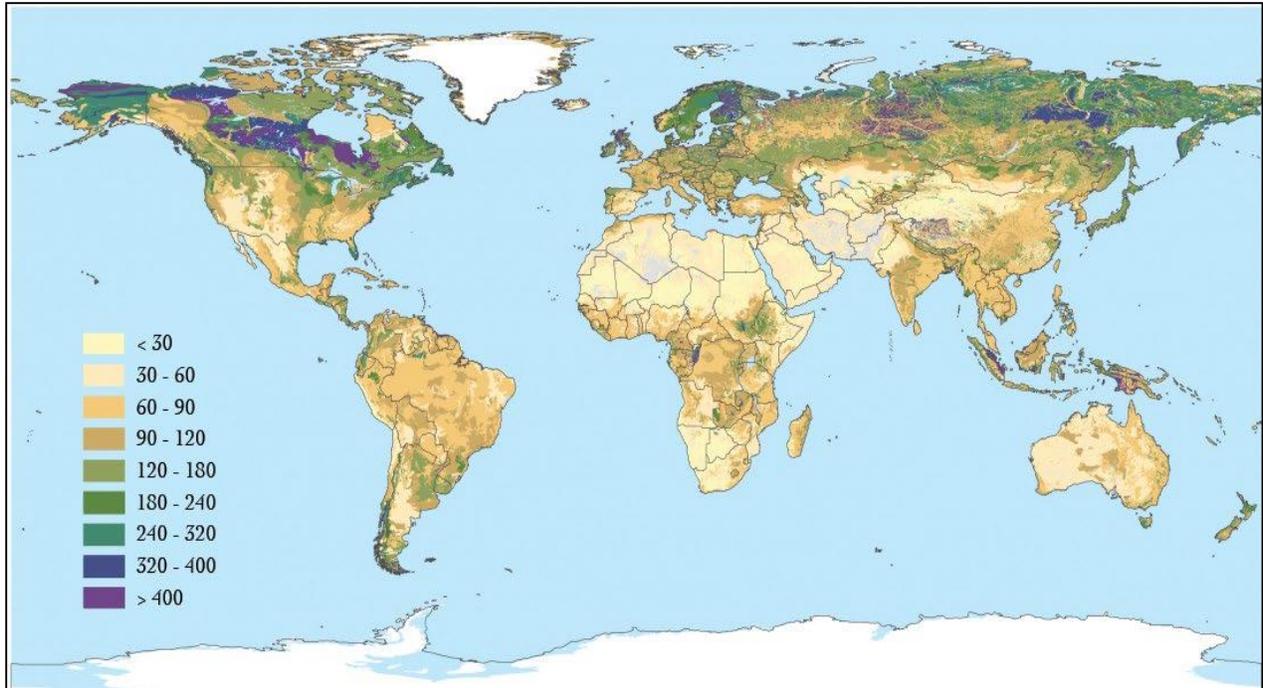


Figure 6: Stock de COS en $t\ ha^{-1}$ du sol à 1mètre de profondeur (Batjes, 2016).

1.3.2 Dynamique du carbone dans les arbres forestiers

Le transport du carbone synthétisé par la photosynthèse dans les différentes parties de l'arbre est défini comme le flux de carbone (LITTON et al., 2007). Dans les arbres, le carbone est utilisé pour la croissance et la défense. De plus, il est stocké en tant que réserve (Novaes et al., 2009). La fraction qui reste est exportée de l'arbre vers les mycorhizes et les micro-organismes du sol (Körner, 2006).

Les puits de carbone à l'intérieur de l'arbre se trouvent en particulier dans le feuillage immature, les branches, les tiges, les racines et les organes reproducteurs (Lorenz et Lal, 2010) (Tableau 2). Le plus grand réservoir de carbone est contenu dans les tiges des arbres sous forme de bois, et de la lignine (Novaes et al., 2009).

Tableau 2: Les formes de stocks de carbone dans les arbres (Lal, 2008)

Composante de l'arbre	puits de carbone
chloroplaste	Amidon
Feuillage	Protéine, cellulose, hémicellulose, pectine, lignine, cutine, tanin sire
Tige	amidon lignine, cellulose, hémicellulose, pectine, tanin et subérine
Inflorescences, fruits graines	Sucrose, fructose, glucose, protéine, amidon gras, sporopollénine, pectine et tanin
racines	Lignine, subérine et carbohydrates

Le carbone est stocké dans les feuilles principalement dans la synthèse des protéines et des polysaccharides. De plus, dans les métabolites secondaires, le carbone entre dans le développement des feuilles, des branches et des tiges des arbres. Dans les tiges végétales, les matériaux structuraux sont synthétisés à partir de polysaccharides importés et stockés dans la tige comme l'amidon (Aber & Melillo, 1989). Le bois des tiges représente le réservoir de carbone dominant dans les arbres (Lamlom et Savidge, 2003).

Les nouvelles feuilles en développement sont des puits de carbone grâce à la photosynthèse et également aux apports importants de carbone des anciennes feuilles qui les alimentent en sève élaborée ce qui assure leur croissance, jusqu'à ce qu'elles atteignent environ 25% de leur taille finale. Leur statut passe alors de puits de carbone en source de carbone (Figure 7). Les jeunes feuilles n'alimentent pas les feuilles les plus âgées en carbone. Le transport de carbone s'effectue toujours des anciennes feuilles aux nouvelles qui n'ont pas encore atteintes les 25% de leur développement (Nobel, 2005).

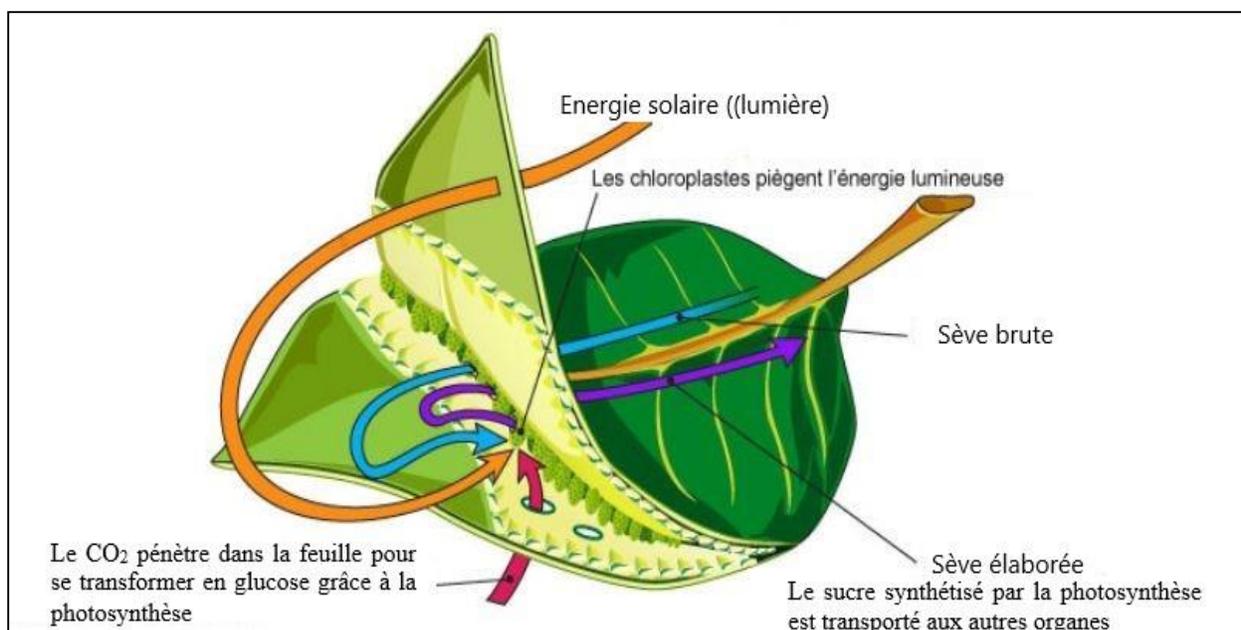


Figure 7: La synthétisation du Carbone par les feuilles. Adapté (Ecobios, 2019).

De plus, les arbres déplacent de grandes quantités de carbone dans la partie sous-terrainne pour la construction et l'entretien des racines.

1.3.3 Estimation du stock de carbone dans les arbres

Quantifier les stocks de carbone dans la biomasse des forêts est essentiel. Mais comment le faire pour la mise en œuvre d'une carte des stocks de carbone ?

La dendrométrie est une solution qui consiste à mesurer le diamètre et la hauteur des arbres afin d'obtenir leur volume, le cubage et la biomasse. Cette quantification nécessite l'application des équations allométriques qui assureront les moyens de quantifier la biomasse et par suite le stock de carbone des arbres.

Dans plusieurs études (Fonweban 1997 ; Avery and Burkhardt 2002 ; Sonwdon et al., 2002) la quantification du stock de carbone dans la biomasse végétale se fait par une équation allométrique générale qui intègre la hauteur et le diamètre des arbres (formules de Smalian, de Huber et de Newton).

Mais l'allométrie des arbres varie en fonction d'une multitude de facteurs dont : l'espèce, l'âge, le climat, le type de forêt, les conditions du milieu et les interventions sylvicoles (taille, élagage,

éclaircie). L'équation allométrique générale ne doit être appliquée seulement en absence des estimations d'équations allométriques spécifiques. Ces derniers améliorent les calculs de biomasse et de carbone (Picard, 2012).

L'avantage des équations spécifiques est qu'elles sont adaptées aux espèces, à la taille, à l'âge et aux conditions locales. Améliorées par des facteurs de corrections, elles permettent de se rapprocher, le plus possible, des valeurs réelles. Certaines études ont développé des équations uniques pour chaque essence, qui prennent en considération leurs spécificités et tous les facteurs qui entrent dans le calcul la biomasse et le stock du carbone. Mais ces études n'ont pas pu englober toutes les espèces en particulier méditerranéennes qui font l'objet de notre sujet d'étude.

1.3.4 Durée du stock de carbone dans les sols forestiers

Dans les forêts, les stocks de carbone dans le sol sont soumis à des entrées et à des sorties : le flux de carbone. Les entrées sont assurées par la litière (feuilles, branches) et par les racines mortes et les exsudats racinaires qui constituent les apports souterrains (développés précédemment). Les sorties sont assurées par le drainage, le lessivage, la minéralisation qui produisent le CO₂ et les mécanismes conditionnant la stabilisation de ces apports. La période qui s'étend entre l'entrée et la sortie du carbone dans le sol est le temps de résidence qui, en général dure plusieurs décennies.

Le carbone est ainsi séquestré dans les sols pour une période définie. Le temps moyen de résidence du carbone dans un écosystème forestier de sa photo-assimilation jusqu'à sa sortie du système est de 53,3 ans pour les forêts boréales, 23,5 ans pour les forêts tempérées et 14 ans pour les forêts tropicales. Mais cette moyenne est variable (Amelung et al., 2008 ; Schmidt et al., 2011). Certains composés résident quelques jours dans les sols, d'autres y persistent durant des siècles, même des millénaires.

La dynamique du carbone dans les sols dépend essentiellement des paramètres environnementaux, biologiques, de l'activité des décomposeurs et des enzymes microbiennes (Lehmann and Kleber, 2015 ; Dungait et al., 2012 ; Schmidt et al., 2011 ; Marschner et al., 2008).

La durée de stockage varie aussi considérablement avec la profondeur, par exemple à 10 cm de profondeur l'âge moyen du carbone des sols forestiers est de l'ordre de 30 ans alors qu'à 40 cm de profondeur il est de 300 ans (Balesdent et al., 2018).

1.4 Forêts méditerranéennes et lutte contre le changement climatique

Bien qu'elle ne soit pas constituée de végétation dense, la forêt méditerranéenne, vulnérable, est formée de plantes caractéristiques adaptées au climat méditerranéen. Formées de feuilles charnues souvent petites, les forêts se mettent en repos végétatif durant les mois d'été, qui sont des mois de sécheresse. On parle alors d'estivage. La végétation redémarre en septembre et en octobre, avec l'arrivée des pluies. L'hiver étant doux, elle continue à se développer pour fleurir dès la fin de l'hiver. Cette végétation constitue la forêt méditerranéenne qui ne couvre que 2 % de l'ensemble des surfaces boisées de la planète (SoMF, 2013). Le climat caractérisé par une longue saison estivale sèche et chaude générant une flore typique et des écosystèmes particulièrement riches, avec 25 000 espèces environ (Myers et al. 2000 ; Pagliani, 2010) dont la moitié est endémique (Thompson et al. 2005), et avec plus de 10 000 espèces de plantes à fleurs (Bonnier, 2010) constituent une zone de transition entre le climat à saison contrasté dans des régions tropicales et le climat des régions tempérées.

L'écosystème de la forêt méditerranéenne contient de nombreuses espèces dont les quatre principaux types de formation végétale suivants :

1. La garrigue : elle pousse sur les sols calcaires ou basiques. Les espèces dominantes sont les chênes kermès et verts. Cette végétation est le résultat de la dégradation de la forêt méditerranéenne qui l'a précédée.
2. Le maquis : Il pousse sur les sols siliceux ou acides. On y retrouve des espèces typiques comme l'arbousier, le lentisque et le chêne liège.
3. La pinède : elle est en général constituée de Pins d'Alep ou de Pins parasols.
4. La chênaie : elle peut être constituée de chênes à feuilles persistantes dont principalement le chêne vert.

La flore est constituée d'un ensemble de plantes adaptées à ce climat et que l'on peut trouver sur le pourtour méditerranéen, de l'Espagne à la Turquie, et des côtes d'Afrique du nord. Elle est

constituée d'un mélange riche d'espèces à feuilles persistantes et à feuilles caduques. Les plantes à feuilles persistantes sont la forme de vie végétale prédominante, capable de supporter des déficits d'eau pendant les périodes les plus chaudes et de résister au gel pendant les périodes les plus froides et humides (Pagliani, 2010). On y observe des associations végétales particulières avec 25 000 espèces floristiques, ce qui représente 10 % de la flore terrestre se localisant uniquement sur 1.6% de la surface de la Terre. La flore méditerranéenne renferme un grand nombre de plantes de petites tailles : 30 000 sous-espèces. De plus, 13 000 espèces de plantes endémiques se trouvent dans l'Est de la Méditerranée, soit la moitié du nombre total des espèces végétales de la région, ce qui classe la région en seconde place après les Andes tropicales, dans la liste mondiale des régions les plus riches en plantes endémiques, (Quezel et al., 2003). Les forêts, qui sont constituées formations arborées et arbustives méditerranéennes sont riches en espèces forestières, dont la plupart sont endémiques (Burnie, 2005).

Deux stratégies permettraient de participer à la limitation des émissions de CO₂ tout en favorisant le stockage du carbone dans ses forêts :

- L'augmentation de la surface forestière par boisement des terres qui favorisera un accroissement pérenne des stocks de carbone dans la biomasse et dans les sols ;
- L'augmentation de l'âge d'exploitabilité des forêts accroîtra le niveau de stock (tonnes de tC ha⁻¹) dans la biomasse ligneuse par l'usage des produits bois ;
- Grâce à une bonne gestion des ressources forestières ligneuses, le bois pourrait devenir une source d'énergie renouvelable (Hunt, 2013) avec du matériel adapté et performant. Le bois-énergie réduit la consommation du fuel, par exemple une tonne de bois produit 313 à 355 litres d'éthanol (Perlack et al, 2005 ; Malmsheimer et al., 2008). L'essence qui émet par sa combustion 2,3 kg de CO₂ en le remplaçant par l'éthanol dérivé du bois, réduira les émissions de CO₂ 90,9% par litre brûlé (Hunt, 2013) (Figure 8).

Le bois présente de plus l'avantage d'être neutre, puisqu'il absorbe autant de carbone qu'il en émet, contrairement aux autres énergies. D'où la nécessité d'étudier cette interaction carbone/forêts dans les forêts méditerranéennes libanaises. Non seulement dans la biomasse végétale mais aussi dans les sols et la litière.

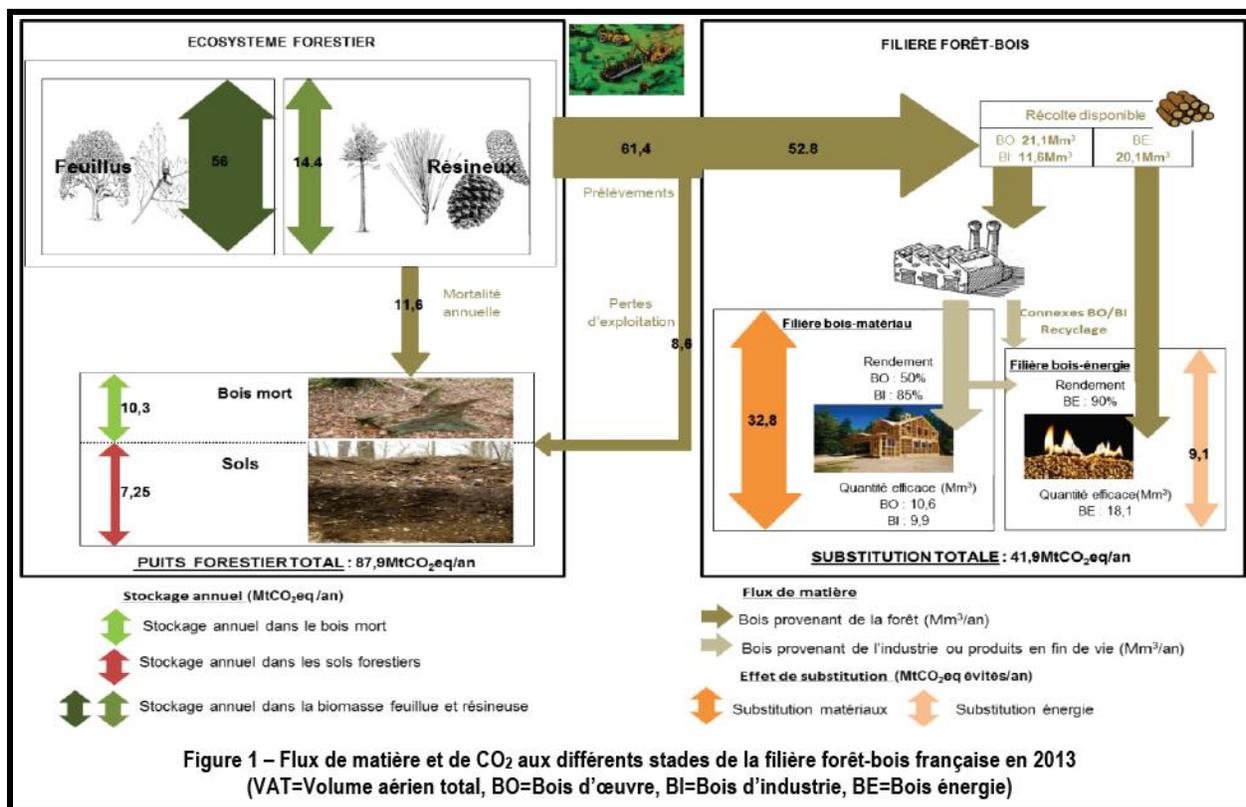


Figure 8: Flux de matière et de CO₂ aux différents stades de la filière forêt-bois française en 2013 (Roux et al., 2017)

Les stocks de carbone du sol et de la litière sont aussi importants que les stocks de carbone de la biomasse végétale, mais ils subissent des perturbations qui les déstabilisent. Dans le chapitre suivant, nous présentons les stocks de carbone présents dans la litière et le sol et les interactions qu'ils subissent avec leur environnement forestier.

Chapitre 2 : Matière organique et litière

La matière organique est un composant essentiel du sol, elle fournit une source de carbone et d'énergie pour les microorganismes vivants du sol. Elle stabilise, retient les particules du sol et réduit le risque d'érosion. La matière organique du sol facilite la croissance des plantes en améliorant la capacité du sol à stocker et à transmettre l'air et l'eau. Elle emmagasine les aliments et les nutriments nécessaires pour la croissance des plantes et des microorganismes présents dans le sol. La matière organique du sol améliore la structure du sol, augmente le taux d'infiltration, réduit l'écoulement, et facilite la pénétration des racines (Loveland et Webb, 2003) (Photographie 1). Mais les pertes continues de la matière organique dans le sol conduisent à la déstabilisation des agrégats du sol (Chenu, 2000).



Photo 1: Horizon organique épais de 5 cm dans un des coins de la placette 10.

2.1 Avantage, interaction et dynamique de la matière organique du sol

La matière organique qui entre dans la structure du sol et qui emmagasine 50% de carbone joue de nombreux rôles. Le tableau 3 indique les avantages directes et secondaires.

Tableau 3: Les avantages directs et les avantages secondaires et services à l'écosystème fournis par les stocks de matière organique du sol, D'après Lal, 2008

Avantages directs	Avantages secondaires et services à l'écosystème
<ol style="list-style-type: none"> 1. Améliore la structure du sol 2. Réduit l'érosion du sol 3. Diminue la pollution non ponctuelle de source 4. Purifie l'eau 5. Dégrade les polluants 6. Augmente l'eau disponible pour les plantes 7. Stocke les nutriments des plantes 8. Améliore le rendement et augmente la biomasse 9. Fournit de la nourriture pour faune microbienne du sol 10. Amortit l'impact de la perturbation sur les propriétés du sol 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Séquestre le CO₂ 2. Améliore la capacité du sol à oxyder le CH₄ 3. Réhabilite les écosystèmes dégradés 4. Améliore la biodiversité des sols 5. Améliore la disponibilité de l'eau et des nutriments 6. Améliorer l'habitat faunique 7. Diminue la perte de nutriments et d'eau de l'écosystème 8. Améliore la résilience des écosystèmes 9. Renforce les mécanismes de recyclage 10. Améliore l'environnement

2.1.1 Transformation des résidus végétaux

Lorsque les résidus de végétaux retournent au sol, ils subissent un processus biologique appelé la décomposition. Cette décomposition englobe une dégradation physique et une transformation biochimique des molécules organiques complexes du matériel mort en molécules organiques et inorganiques plus simples (Juma, 1998). Cette décomposition est divisée en 2 étapes, la première c'est l'humification ou la matière organique qui se transforme en humus et la deuxième c'est la dégradation de ces humus par la minéralisation. Pour avoir un taux élevé de MOS, il faut donc accélérer l'humification (K1) et réduire la minéralisation (K2) (Figure 9).

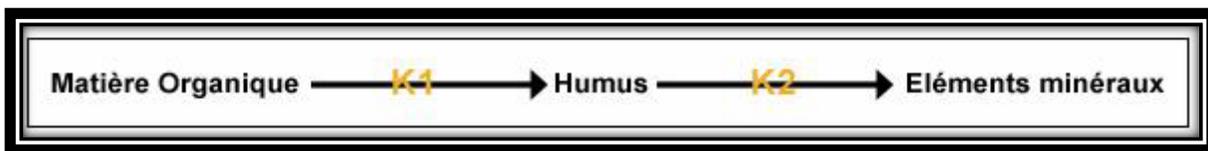


Figure 9: Humification et la minéralisation de la matière organique

La décomposition de la matière organique est, en grande partie, un processus biologique qui se produit naturellement. La vitesse de décomposition est influencée par trois facteurs importants : les organismes du sol, l'environnement physique et la nature de cette matière organique (Brussaard, 1994). Le processus de décomposition libère différents produits dont le dioxyde de carbone, l'énergie, l'eau, les nutriments végétaux et les composés organiques résynthétisés (Figure 10).

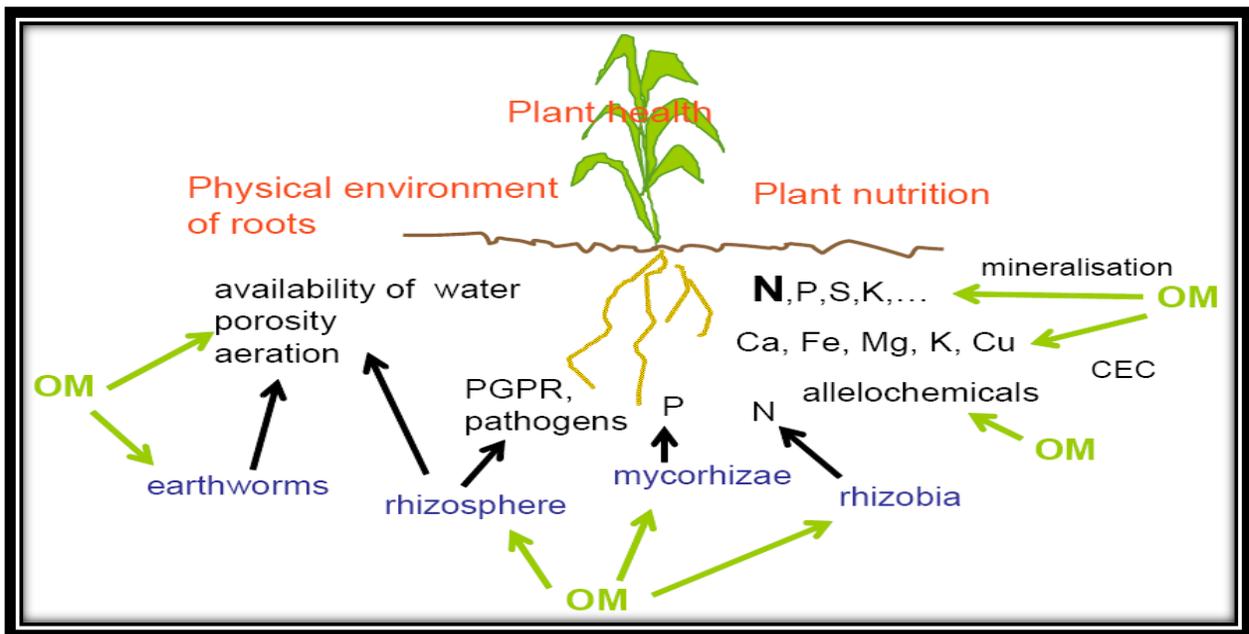


Figure 10: Transformation de la matière organique du sol (Chenu et Robert, 2003)

Le stock de carbone organique présent dans les sols naturels, présente un équilibre dynamique entre les apports de débris végétaux et la perte engendrée par leur décomposition. La destruction des forêts en faveur des surfaces agricoles rompt cet équilibre ce qui cause la perte de la couverture forestière ainsi que la disparition de la litière. Les conséquences sont nombreuses : réduction du nombre et des variétés d'organisme du sol (Curry et Good, 1992) et réduction du stockage de carbone dans la litière et dans le sol.

2.1.2 Stabilité du carbone

Le carbone nouvellement ajouté peut se stabiliser dans le sol par un des divers mécanismes physiques, chimiques ou biochimiques (Six *et al.*, 2002 ; Six *et al.*, 2006 ; Jastrow *et al.*, 2007 ; Kane, 2015). Physiquement, le carbone peut être stabilisé par isolation à l'intérieur des micro et macro agrégats du sol d'où il est inaccessible aux organismes du sol ; il est alors protégé des activités des micro-organismes ce qui ralentit sa minéralisation. Cette stabilité est fonction de la taille des agrégats : elle décroît avec l'augmentation de la taille des agrégats (Kögel-Knabner *et al.*, 2008). En outre, la stabilité de ces agrégats est conditionnée par un changement du processus d'agrégation biotique en un processus abiotique (Flessa *et al.*, 2008). L'hydrophobicité des particules du sol a été identifiée comme un facteur majeur de formation des agrégats. La stabilité de ces derniers, participe à l'occlusion de la MOS dans les microstructures nanométriques d'argile (Kögel-Knabner *et al.*, 2008) qui stabilisent efficacement la MOS sur le long terme. Chimiquement, le carbone peut être fixé aux argiles par liaisons chimiques fortes, ce qui empêche sa consommation par les organismes. En présence de l'humus, une association se forme avec l'argile donnant un complexe plus stable et l'humus protège l'argile en évitant sa dispersion en retenant l'eau. L'argile à son tour protège l'humus des activités des micro-organismes ce qui ralentit donc la minéralisation de l'humus. Ce complexe forme un colloïde relié par des cations comme (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} et Al^{2+}) qui permettent de stabiliser le sol grâce à sa propriété forte qui lui permet de fixer de nombreux minéraux.

Mais tous les cations n'ont pas le même pouvoir adsorbant avec ce complexe (Figure 11), ce pouvoir est dans l'ordre croissant : $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Fe}^{2+} > \text{Al}^{2+}$. Ce pouvoir adsorbant est important, plus il est fort plus le complexe est fixe et plus les agrégats sont stables mais cette stabilité ne dépend pas uniquement du pouvoir adsorbant des cations divalents et monovalents mais aussi du type d'argile, de leur taille.

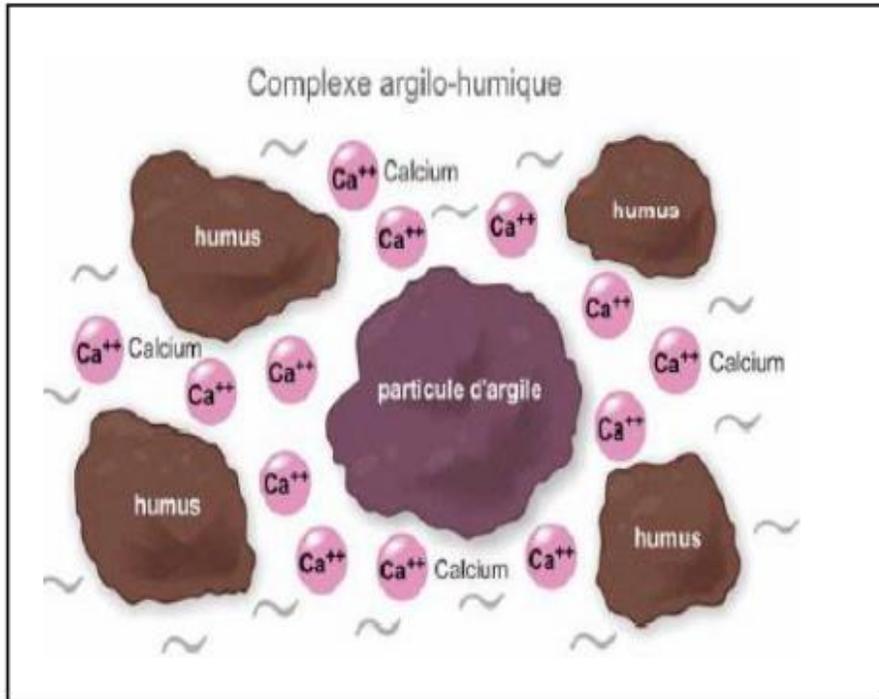


Figure 11: Complexe argilo-humique (Huber et Schaub, 2011)

Biochimiquement, le carbone peut être re-synthétisé en des structures moléculaires complexes qui peuvent freiner la décomposition (Kögel-Knabner et al., 2008).

Cette combinaison « argile + éléments minéraux + humus » forme le complexe argilo-humique (Figure 12). La stabilité de ce complexe varie en relation avec le pH du sol, le climat, la qualité d'humus et d'argile, les pratiques agricoles et les horizons du sol (Von Lützow et al., 2008).



Figure 12: Adsorption des cations sur le complexe d'échange

2.1.3 Facteurs influençant sur la MOS

Le stock de carbone emmagasiné dans la matière organique du sol n'est généralement pas stable :

il subit des phénomènes d'humification et de minéralisation. Les apports en matières végétales varient selon le type de végétation présent. Lorsque le taux d'addition des résidus de végétaux est inférieur au taux de décomposition, la matière organique du sol diminue. L'équilibre est atteint lorsque le taux d'addition est égal au taux de décomposition.

De plus, le stock de matière organique est influencé par le climat, le type de sol, la végétation et les organismes présents dans le sol. Tous ces facteurs varient dans l'espace et dans le temps.

a) Température

L'augmentation des températures entraîne une augmentation de la production végétale aboutissant à des apports plus importants de carbone au sol, mais aussi une augmentation de la décomposition microbienne du carbone organique du sol (Keestrea et al., 2016). Plusieurs études ont prouvé que la température est un facteur clé dans la décomposition des résidus de végétaux. L'augmentation des températures stimulera la perte nette de carbone du sol vers l'atmosphère (Crowther *et al.*, 2016). Celle-ci est normalement plus rapide sous les tropiques que dans les régions tempérées (Ladd et Amato, 1985). La vitesse de décomposition double à chaque augmentation de 8 à 9 °C de la température moyenne annuelle de l'air. Cette vitesse de décomposition est induite par une chaleur continue, ce qui conduit à une difficulté de maintenir un équilibre du stock. En revanche, dans les pays au climat plus frais, on remarque que le sol contient généralement plus de matière organique étant donné que les températures basses ralentissent les processus de décomposition.

b) Précipitations et humidité du sol

Une augmentation des précipitations annuelles contribue à augmenter la quantité de matière organique contenue dans les sols forestiers. Une humidité élevée du sol produit une biomasse plus importante, qui fournit plus de résidus et de litières (Chen et al., 2020). L'activité biologique du sol exige de l'air et de l'humidité. L'activité microbienne optimale se produit lorsque les conditions sont proches de la « capacité de champ », ce qui signifie que 60% des pores sont remplis d'eau (Linn et Doran, 1984). Une fois les pores saturés en eau, l'activité microbienne s'arrête car la plupart des organismes du sol ont besoin d'oxygène. Une diminution de l'oxygène du sol mène à une réduction du processus de minéralisation car ces organismes deviennent inactifs (McLatchey

et Reddy, 1998). A l'exception des régions hyper-humides, les climats des régions humides, subhumides, tropicales et semi-arides sont caractérisés par des saisons contractées. Cette alternance de périodes humides-sèches active la minéralisation. En revanche, les premières pluies chargées de nitrate accélèrent la minéralisation pendant la première partie de la saison des pluies (Greenland, 1958), Cette minéralisation accélérée provoquée par l'azote augmente l'activité microbienne, ce qui engendre la décomposition de la matière organique (Mueller-Harvey, Juo et Wild, 1989).

c) Propriétés du sol

Les sols argileux contiennent un taux de matière organique plus élevé que les sols sableux et limoneux. La matière organique du sol augmente en fonction de l'augmentation de la quantité d'argile. Cette augmentation dépend de deux mécanismes :

- Les liens argilo-humiques entre la surface des particules d'argile et la matière organique qui retardent le processus de décomposition.
- Les sols qui renferment une quantité d'argile élevée possèdent un potentiel d'agrégation élevé. Les macro-agrégats protègent physiquement les molécules de matière organique d'une minéralisation provoquée par décomposition microbienne (Six, et al., 2002 ; Rice, 2002).

Les sols argileux non compactés sont connus pour leur faible densité apparente, leur microporosité élevée et leur rétention élevée de matière organique sous une couverture végétale normale (Uehara et Gilman, 1981). Dans des conditions climatiques semblables, le contenu de matière organique dans les sols de texture fine (argileux) est deux à quatre fois plus important que dans les sols à structure granuleuse ou grossière (sableux) (Prasad et Power, 1997). En revanche, la matière organique peut persister sous forme de complexes organo-oxydes dans les sols riches en fer et en oxydes d'aluminium. De telles propriétés favorisent la formation des micro-agrégats, c'est le cas des sols à texture fine (Uehara et Gilman, 1981).

d) Topographie

Souvent, la matière organique s'accumule dans le fond des vallées pour 2 raisons :

- L'humidité est plus élevée dans le fond des vallées qu'aux sommets des interfluves ;
- Le transport de la matière organique vers le point le plus bas du terrain par lessivage, érosion

et sédimentation.

De plus, le taux de la matière organique du sol est plus élevé dans l'hémisphère nord sur les pentes orientées vers le nord (ubac), contrairement aux pentes orientées sud (adret) parce que les températures y sont plus basses (Quideau, 2002). Introduire les facteurs climatiques, l'exposition, l'élévation, la structure et la texture du sol et d'autres facteurs, permet de discuter de l'influence et des relations de chacun de ces facteurs avec le stock de matière organique du sol dans notre étude. Cette approche est nécessaire dès lors que l'on souhaite proposer des recommandations dans le but de préserver et d'augmenter le stock de carbone forestier dans les sols qui sont considérés comme la couche supérieure composée de matière minérale, d'eau, d'air, de matière organique et d'organismes (Barles et al., 1999).

e) Végétation et biomasse

Le taux d'accumulation de matière organique dans le sol dépend largement de la quantité et de la qualité de matière organique entrante. L'application de matériel végétal d'un faible rapport C/N se dégrade rapidement tels que l'engrais vert et les cultures de légumineuse. Par contre, l'application de matière végétale avec un rapport C/N élevé et un contenu de lignine important telle que la paille de céréale et d'herbes, favorise généralement l'immobilisation des nutriments, l'accumulation de matière organique et la formation d'humus. Dans les forêts, la plus grande part de la matière organique est ajoutée au sol via l'accumulation de la litière issue des feuilles et des branches. Cependant, dans d'autres écosystèmes comme les prairies, les deux-tiers de la matière organique sont obtenues grâce à la décomposition des racines (Quideau, 2002).

2.2 Litière

La litière des forêts peut atteindre 8 à 9 kg m⁻² pour les forêts tempérées (Dupouey *et al.*, 1999) et 5 à 6 kg m⁻² pour une forêt tropicale sur un ferrasol (Andreux et Choné, 1993). D'après Elzein et Balesdent (1995), plus de la moitié du carbone organique du sol est contenue dans les 20 à 30 premiers centimètres où environ 80 % des flux de renouvellement y prennent place. Or, environ 50% de la quantité carbone des sols forestiers se trouve dans les 20 premiers centimètres (Jobbagy et Jackson, 2000). Cette quantité décroît en profondeur. En moyenne, d'après Nussbaum, le carbone est stocké dans le premier mètre des sols forestiers, dont 64% dans les 30 premiers centimètres (Nussbaum et al., 2014). Elzein considère que les 20 à 30 premiers

centimètres des sols cultivés contiennent plus que la moitié du carbone organique du sol et environ 80 % des flux de renouvellement y prennent place (Elzein et Balesdent, 1995). Les stocks de carbone augmentent dans le sol avec l'altitude mais également dans les zones à fortes précipitations (Berg et McClaugherty, 2003).

En raison de la présence d'un horizon organique (O) de surface, ces taux de carbone élevés sont plus marqués dans les forêts. L'horizon (O) se développe en absence d'interventions anthropiques (labour, travail du sol et fertilisation) et dans des conditions climatiques et pédologiques adéquates (Ponge 2003, 2013 ; Gruba et al., 2015). La litière est constituée par les résidus des cultures, les cultures de couverture ou le paillis dans l'écosystème agricole. En générale dans les sols cultivés, le temps moyen de résidence du carbone dans les premiers centimètres du sol est d'environ 10 ans (Elzein, et al., 1995) (Figure 13).

Or, dans les sols forestiers, les apports de matière végétale forestière sont généralement plus riches en lignine qui sont partiellement décomposées (Thevenot et al., 2010), car peu d'organismes sont capables de décomposer la lignine (Arantes et Goodell, 2014). Ces apports sont plus stables et leur temps de résidence est long.

Les chênes, les hêtres et en particulier les résineux contribuent à l'acidification des sols en raison de leur préférence pour l'azote et de leur forte dépendance vis-à-vis des champignons mycorhiziens (Plassard et al., 1991). Plus ces arbres croissent vite, plus ils participent à l'acidification naturelle des sols (Nilsson et al., 1989 ; Carpéna et al., 1984).

Des associations intimes entre matières organiques et particules minérales sont favorisées par le transfert des résidus de litière dans les horizons profonds, et par la présence de cations divalents. Les études ont montré que les brunisols (selon le RPF ou cambisol selon le WRB) fertiles à pH élevé (rencontrés sous de nombreuses forêts libanaises), présentent généralement un humus de type mull qui est caractérisé par une fine couche de litière, en raison de la dégradation rapide des litières sous l'action de la faune du sol, des champignons et des bactéries (Ponge, 2003 ; Salleles, 2014).

Par l'observation visuelle de l'épaisseur et de la structure de cet horizon organique (O), on peut définir une typologie, dite typologie des humus (Ponge, 2003). Celle-ci distingue différents types de successions verticales des horizons O et A dans le sol et témoigne des différents stades d'évolution des résidus organiques et de la MO et donc des différents fonctionnements du sol

forestier.

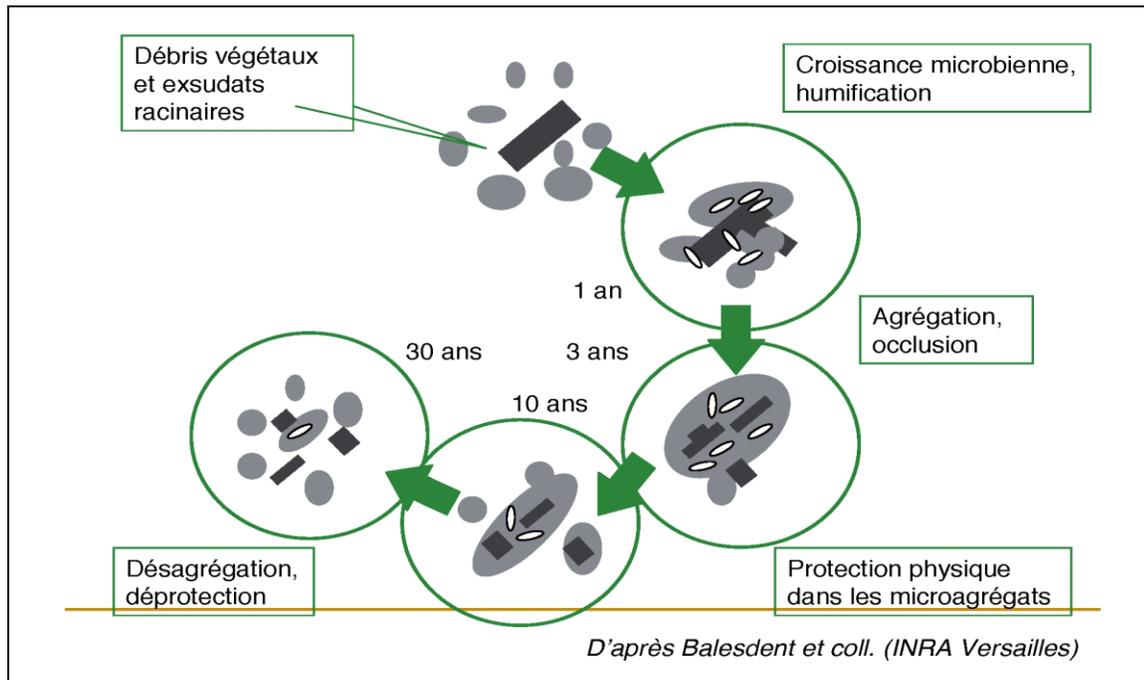


Figure 13: Dégradation du carbone végétal organique dans les sols cultivés (Le Bissonnais et al., 1996)

Le climat influence fortement les stocks de carbone. La chaleur et l'absence d'humidité réduisent les apports de matière végétale forestière et favorise la décomposition ce qui rend les stocks plus faibles dans les zones chaudes et sèches. La roche mère influence à son tour la séquestration du C, car les roches altérées produisent des minéraux (argiles) qui forment des complexes organo-minéraux avec les matières organiques (complexe argilo-humique). Cela rend la minéralisation dépendante de ces minéraux produits par l'altération des roches mères (Ponge, 2003)

2.2.1 Nature, origine et décomposition de la litière

Les arbres matures ainsi que la végétation du sous-étage peuvent contribuer à la formation de la litière. La contribution de la végétation du sous-étage peut atteindre les 25% (Kimmins 2004). Les feuilles sont les principales composantes de la litière aérienne et représentent 72% de la production totale des litières dans les forêts de feuillus et 80% dans les forêts de conifères à aiguilles (Xiong & Nillson, 1997). D'après Cannell (1982), la litière contient 60% de feuilles et

d'aiguilles et 35 % de fragment de bois. Les graminées, qui sont incluses dans la végétation herbacée dans notre étude, représentent moins de 5% des apports de litière dans les forêts. Enfin il ne faut pas oublier les excréments des animaux qui peuvent également entrer dans la composition de la litière.

La litière est formée de fragments et de matière morte qui résultent de la partie supérieure des végétaux (feuilles, aiguilles, tiges, branches, fleurs et fruits). Ces apports aériens sont bien estimés par les équations allométriques et leur décomposition est l'une des principales sources de carbone organique du sol (Lemma et al., 2007). Cette décomposition donne l'humus (Berg et McClaugherty, 2008) et libère des quantités importantes de dioxyde de carbone, de méthane et de gaz à base d'azote. Ce sont des gaz à effet de serre. Quand le taux de décomposition augmente le carbone du sol est émis sous forme de CO₂ et les quantités de gaz à effet de serre s'accroissent dans l'atmosphère.

En général, les plantes ligneuses produisent périodiquement une litière au-dessus du sol et des exsudats ou de la nécromasse racinaire en dessous du sol (Pallardy et al., 2010).

On remarque que dans les écosystèmes forestiers, la quantité de composés biodégradables ou biochimiquement récalcitrants dans la litière est importante (Lorenz et Lal, 2010). En générale, la lignine est très résistante à la décomposition et, par conséquent la litière à haute teneur en lignine a un taux de décomposition plus lent (Mafongoya et al., 1998). En revanche, une litière contenant peu de lignine, de phénols et une teneur élevée en azote aurait un taux de décomposition plus rapide. Le processus initial de décomposition est le lessivage de la matière organique soluble dans l'eau (Chapin et al., 2011).

Lorsque la litière entre en décomposition, les micro-organismes produisent du dioxyde de carbone, de l'humus et des composés de carbone solubles. Une partie de la litière décomposée se transforme en carbone organique dissous (Berg et McClaugherty, 2008) (Figure 14). Celui-ci peut être lessivé ou absorbé par les organismes du sol. Il peut également être adsorbé à la matière organique du sol ou même aux minéraux du sol, ou lessivé sous forme de carbone organique dissous dans l'eau de percolation (Lorenz et Lal, 2010). Sous l'action des décomposeurs du sol, la litière est fragmentée et transformée en métabolite microbien ou convertie en énergie par minéralisation en CO₂.

Les bactéries et les champignons jouent un rôle important dans la décomposition des litières (Van

Der Heijden et al., 2008). Les champignons, tout particulièrement, sont les principaux décomposeurs de la litière végétale fraîche et représentent 60 à 90% de la biomasse microbienne dans les sols forestiers (Amelung et al., 2008).

Le taux, la nature et la quantité de stockage de carbone fourni par la litière varient considérablement selon les écosystèmes. Les environnements anaérobies conservent davantage le carbone dans la tourbe ou l'humus plutôt que dans les environnements plus secs.

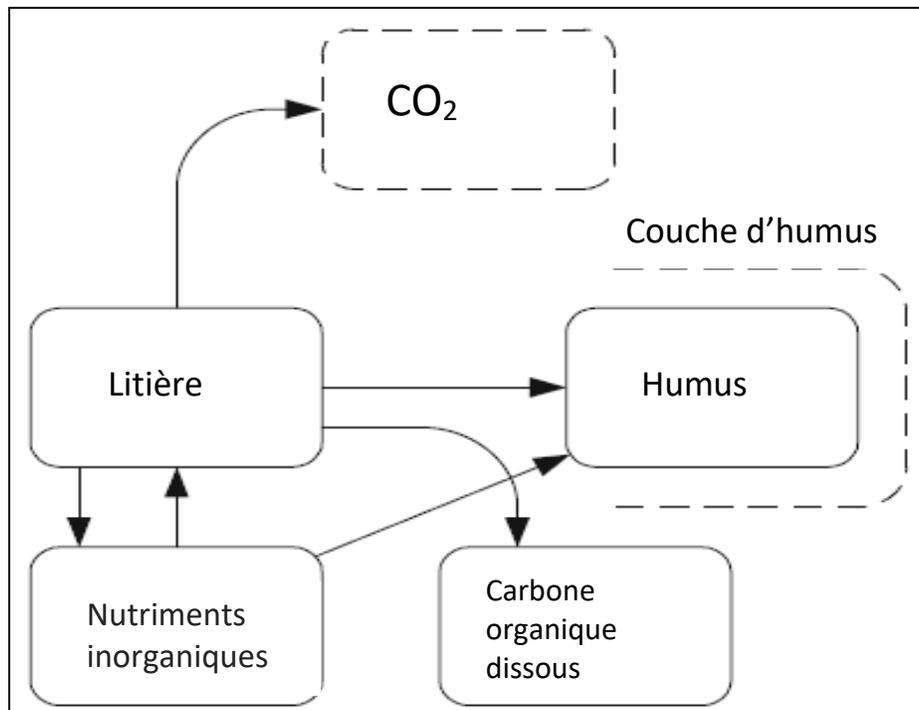


Figure 14: Transformation de la litière en humus et en C inorganique (Berg et McLaugherty, 2008)

La décomposition de la litière alimente le sol en carbone par deux types de séquestrations. La séquestration primaire qui résulte du transport de la litière en décomposition vers les couches organiques du sol plus basses et qui contiennent une matière organique plus stable. Ces matériaux constitueront la séquestration primaire stable (Berg et McLaugherty, 2008). Tandis que la séquestration secondaire est le résultat du transport de la matière organique soluble dans l'eau jusqu'à la couche minérale¹ du sol. Cette séquestration secondaire nécessite que les matériaux organiques des couches supérieures soient solubilisés et transportés dans l'eau jusqu'au sol

¹ La couche où s'accumule le produit de la séquestration primaire est appelé A₀₁ et A₀₂ ou O_e et O_a ou F et H. D'après (Berg et al. 2008)

minéral où ils seront séquestrés. La décomposition racinaire contribue elle aussi à la formation de MO dans les sols minéraux (Berg et McLaugherty, 2008) (Figure 15).

Une relation positive existe entre les réservoirs de carbone et la stabilité de la matière organique du sol (Six et al., 2002). L'accumulation de litière comme réservoir de carbone est considérée comme une première étape pour la formation de matière organique stable du sol (SOM).

L'accumulation et la décomposition de la litière ainsi que plusieurs sous-processus, peuvent être contrôlés par des conditions différentes (Berg et McLaugherty, 2008). Or, la température et l'humidité sont les principaux facteurs qui influencent la formation d'humus (Sollins et al., 1996). D'autres facteurs influencent la stabilité de la litière comme sa composition chimique, elle-même liée aux espèces arborées et arbustives qui sont à son origine (Berg et McLaugherty, 2008).

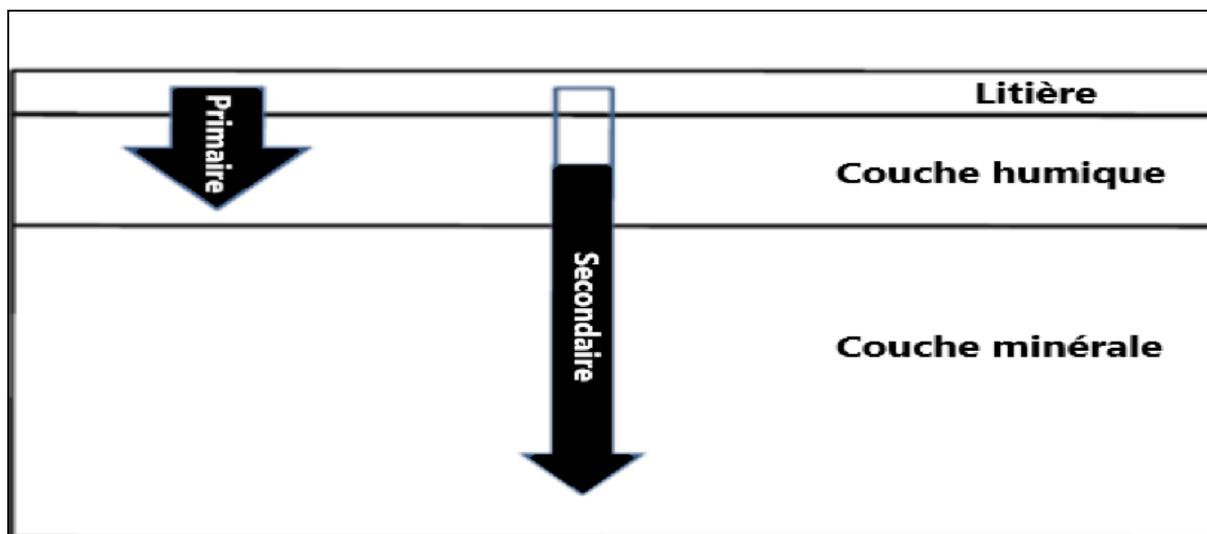


Figure 15: La séquestration primaire et secondaire du carbone dans le sol.

2.2.2 Développement de la litière et apports en carbone en fonction des espèces

Différentes études (Ovington, 1959), (Turner and Long, 1975) (Forrest et Ovington 1970), (Schiffman et Johnson 1989), (Tietema 2004) et (Prietzal et al. 2006) ont montré qu'il y a une relation linéaire positive entre l'âge de la forêt et l'accumulation de la matière organique morte dans les sols des forêts de pins. Par exemple Forrest et Ovington (1970) ont mesuré l'accumulation de carbone dans des forêts de pins en Australie sous un climat subtropical. Cette étude réalisée pendant une période de 47 ans a montré une accumulation du carbone dans la couche humique. Cette accumulation de C qui est formée uniquement par les feuilles mortes des arbres, montre une

corrélation positive entre l'âge de la plantation et le stock de carbone dans la litière (Figure 16).

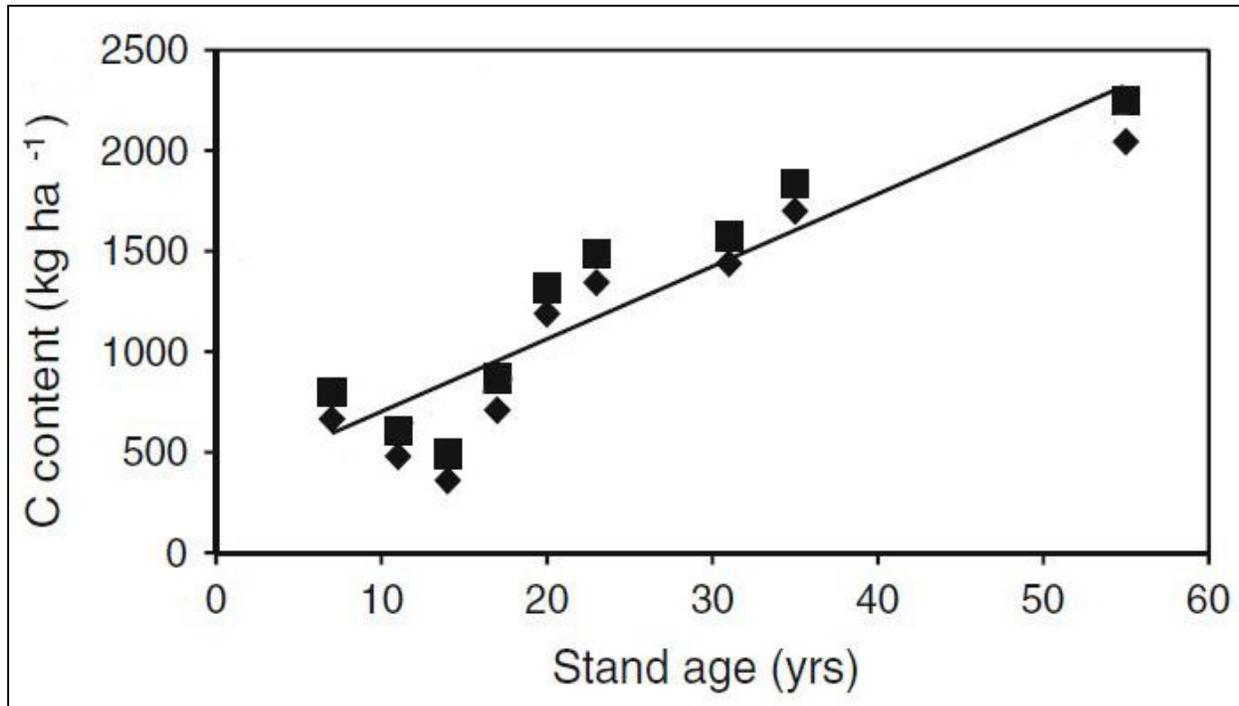


Figure 16: Corrélation positive entre l'accumulation de C et l'âge des arbres d'après (Forrest et Ovington 1970 ; Rasmussen, 1998) cité par (Berg et McLaugherty, 2008)

Les données de production de matière organique par la litière provenant de 3 sites d'essais d'essences d'arbres en monoculture en Angleterre (Ovington, 1954) et au Danemark (Vesterdal et Raulund-Rasmussen, 1998) montrent des quantités d'apports de litière et donc en carbone au sol différents en fonction des espèces d'arbres. Les pins assurent l'apport le plus importante en matière morte qui alimente la litière qui varie entre 481 et 355 kg C ha⁻¹ an⁻¹ (Figure 17). Tandis que les autres espèces apportent moins de matière morte à la litière du sol avec des taux d'accumulation qui ne sont pas significativement différents à l'exception des chênes qui assurent le taux le moins élevé de carbone LFH².

² LFH : Litière et Humus stable du sol des forêts (correspond selon la FAO et l'Unesco à la couche O)

Pine	Spruce						
_____		Fir	Larch	Beech			
	_____				Grand fir	Other decid.	Oak spp
481	355	266	283	227	196	112	103
Sequestration rate in LFH layers (kg C ha ⁻¹ yr ⁻¹)							

Figure 17: La quantité de carbone présente dans la litière(L) et l’horizon humique(FH)³ pour les différents espèces d’arbre. (Berg & McClaugherty, 2008)

2.2.3 Stabilité de la couche d'humus

D’une manière générale, l’humus est stable s’il se décompose lentement et s’accumule. Berg (2003) a mis en avant quatre classes principales d’humus (Berg et McClaugherty, 2008) :

- 1- Décomposition de l’humus stable ou non perturbée.
- 2- Décomposition associée à l’activité microbienne causée par des mycorhizes fortement activés.
- 3- Décomposition associée à une perturbation mécanique causée par la manipulation du sol et le drainage.
- 4- Décomposition de l’humus associée à des apports à taux élevé d’azote.

Jusqu’à présent, aucune étude permettant de savoir comment l’humus se décompose dans des sols non perturbés n’a été faite (Dijkstra et al., 2009).

Le taux de décomposition de la litière est contrôlé par quatre facteurs distincts (Tenney et Waksman, 1929) :

- (1) La composition chimique du substrat ;
- (2) Les apports en azote pour les organismes décomposeurs ;
- (3) La nature des micro-organismes impliqués dans le sol ;

³ FH : La couche où s’accumule de la séquestration primaire Humus stable du sol des forêts

- (4) Les conditions environnementales, en particulier l'aération, l'humidité et la température.

La matière organique est primordiale pour une gestion durable des sols et en particulier, celle des sols forestiers. Elle se forme principalement par le processus d'humification des débits de végétaux. Son temps de résidence dans le sol dépend de plusieurs facteurs qui influent sur sa stabilité dont la température, l'humidité et la nature des sols. La dégradation de la MO est appelée minéralisation ; elle produit les nutriments nécessaires au développement de la biomasse forestière. Celle-ci à son tour réalimente le sol en MO par la litière qui passe par le processus d'humification pour donner l'humus (MO stable). Cette alimentation dépend des espèces végétales, de leur âge et des conditions climatiques qui contiennent les quantités de litières fournies.

Chapitre 3 : Les forêts libanaises : contexte de l'étude

3.1 Liban : un contexte varié

Le Liban est un petit pays d'une longueur de 200 km environ et d'une largeur qui varie entre 65 et 30 km et d'une superficie de 10 452 km² et structuré par deux systèmes montagneux qui s'étirent du Nord vers le Sud, séparé par une profonde dépression, la vallée de la Bekaa qui s'élargit vers le Nord (Dumont, 2005). Ces deux chaînes de montagnes sont le Mont-Liban et l'Anti-Liban qui sont constituées de roches carbonatées variées, avec quelques formations de grès et de basaltes.

L'Anti-Liban s'élève à l'Est de la Vallée de la Békaa et délimite la frontière du Liban avec la Syrie. Sur le plan biogéographique, il est soumis dans sa partie Nord, à l'influence du désert syrien et, dans sa partie Sud, à l'influence du climat méditerranéenne aride avec une couverture forestière réduite si on le compare au Mont Liban.

Le Mont Liban atteint, dans sa partie nord, une altitude de 3 088 mètres au sommet de Qornet es Saouda (Dumont, 2005). Ce massif qui comprend la plupart des forêts du pays est connu pour sa biodiversité. Ce pays est constitué de plusieurs zones agro-écologiques et d'un ensemble phytogéographique très remarquable en raison des conditions climatiques, de la topographie et de la végétation et en particulier forestière (Abi-Saleh, et al. 1976).

Le Liban bénéficie d'un climat doux où la période des précipitations s'étend d'Octobre à Mai or cette période devient plus restreinte en raison du changement climatique. Les pluies hivernales atteignent leur maximum en Janvier, sous la forme de violents orages.

Le Liban subit des changements rapides dans l'occupation des sols et l'utilisation des terres par des activités humaines (Faour et al., 2014). Dans la plupart des régions, la couverture forestière est dense (souvent supérieure à 40% (Sunderlin et al., 2007). Mais ces espaces sont morcelés par le bâti qui s'étale de plus en plus et de manière inorganisée (Faour et al., 2014). Les zones agricoles, abandonnées, sont graduellement remplacées par les forêts qui, durant ces dernières décennies, disparaissent au profit du bâti. L'expansion continue des villes, la dégradation de la couverture forestière causée par les exploitations forestières pour le bois et la production du charbon de bois ou encore le surpâturage ont abouti à la détérioration des écosystèmes fragiles. Malgré la superficie relativement réduite du Liban,

la présence de 2 chaînes de montagnes permet de distinguer 6 zones bioclimatiques (Figure 18).

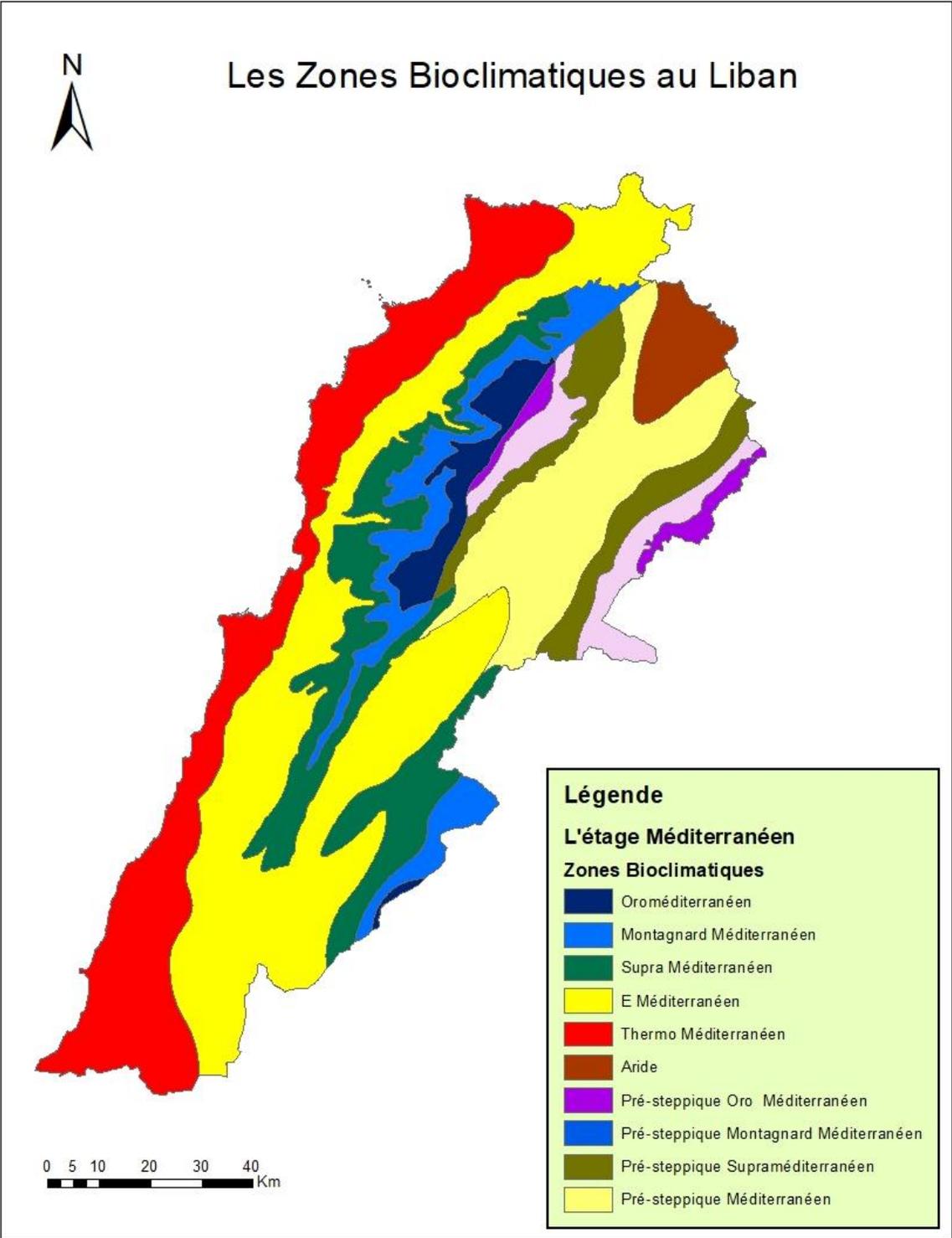


Figure 18: Les zones bioclimatiques du Liban (D'après Safi, 1988)

Selon Safi (1988), ces zones sont : l'Oroméditerranéen, la Méditerranéen Montagnard, La Supra

Méditerranéen, la E Méditerranéen, La Thermo Méditerranéen, la Pré-steppique Oro Méditerranéen, la Pré-steppique Oroméditerranéen, la Pré-steppique Méditerranéen Montagnard, la Pré-steppique Supra Méditerranéen, la Pré-steppique Méditerranéen et la zone Aride. Chacune de ces zones a ses propres associations de végétation en fonction de l'altitude.

3.2 Contexte forestier libanais

3.2.1 Présentation des forêts libanaises

Les forêts sont définies par l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) comme des terres occupant une superficie de plus de 0,5 hectare (5 000 m²) avec des arbres atteignant une hauteur supérieure à 5 mètres et un couvert forestier de plus de 10%, ou avec des arbres capables de remplir ces critères.

Les forêts du Liban occupent 13,3% de la surface du pays avec une superficie d'environ 139 400 hectares. En réalité, les forêts du Liban sont difficiles à inventorier en raison de l'absence de définition précise au Liban. La première carte des forêts PNUD/FAO réalisée en 1965 à partir de photographies aériennes de 1957-1958 et le premier inventaire forestier, montrent que les espaces boisés représentaient 134 700 hectares dont seulement 68 800 étaient considérés comme forêts. Ces données sont anciennes, mais les trente années de guerre civile ont empêché de mettre à jour ces cartes.

Le Liban a produit la première carte d'occupation du sol 25 ans après la production de ce document. Réalisée par la FAO, en 1990, cette carte est basée sur l'interprétation d'images satellites de 1987. Sur ce document, la surface forestière retenue dans cette interprétation est de 70 000 ha, dont 40 000 ha de feuillus et 30 000 ha de résineux. La carte de la FAO contient une typologie simplifiée résolument orientée sur l'usage et non sur la couverture du sol. La comparaison avec les autres données est, de ce fait, difficile. La troisième carte des modes d'occupation des sols du Liban réalisée en 2001 (projet LEDO) par interprétation d'images satellites de 1998, indique une surface forestière de 132 300 ha dont 48 600 ha de forêts denses supérieures à 60 % de recouvrement.

La différence entre les données publiées en 1990 (FAO) et 2001 (LEDO) s'explique par la méthodologie employée pour définir les forêts : la première est fondée sur l'usage du sol alors que la seconde se base sur le mode d'occupation.

Finally, the most recent forest map was produced in 2005 by the Ministry of Agriculture in Lebanon and the FAO. It is based on satellite images IRS (1998), Landsat (1998) and on the 1998 land use map. In this latter, forests occupy 139 000 ha and wooded areas 108 000 ha (FAO, 2005). Today, two land use maps adopting the CORINE classification are produced by the Lebanese CNRS: the first (2010), is based on satellite images IKONOS of 2005 and the second (2017) is based on satellite images GeoEye of 2012. Unfortunately, these two recent maps do not allow to differentiate the main forest species, in particular they do not distinguish pine forests from other types of pine forests.

In the end, based on the 2005 map, we can divide forests into three categories: coniferous forests 32%, deciduous forests 57% and mixed forests 11% (Table 4). Along with a multitude of rare and endemic plants, we find some forest tree species, such as *Abies cilicica*, *Cedrus libani*, *Pinus halepensis*, *Pinus brutia*, *Pinus pinea*, *Cupressus sempervirens*, *Juniperus oxycedrus*, *Quercus libani*, *Quercus calliprinos*, *Ceratonia ciliqua* and *Laurus nobilis*. The 2001 land use map of Lebanon (LEDO project) indicates that oak occupies 55% of the forest cover, pine 12%, cedar 9%, mixed forests represent 19%, and the rest 4%.

Tableau 4: Les superficies occupées par les forêts d’après NFP en hectare (MoA et FAO, 2005).

Type	Pourcentage	Superficie en ha
Conifères	32	44 900
Feuillus	57	78 900
Forêt mixte	11	15 600
Total	100	139 400

Coniferous forests, which include Aleppo pine, *Pinus brutia* and *Pinus halepensis*, and other species such as cedar and cypress occupy 44 900 ha of the country's surface. Meanwhile, other types of pine forests, including *Pinus brutia* and Aleppo pine, spread over 18 000 hectares and constitute 40% of coniferous forests, followed by cedar forests with 10 500 hectares, or 23% of coniferous forests, and Aleppo pine forests with 7 900 hectares, representing 18% of coniferous forests (Table 5) (FRA, 2005).

Le pin pignon est le plus répandu de tous les résineux. Il s'étend depuis le littoral jusqu'à 1 660 m d'altitude. Tous les boisements de pin pignon sont d'origine artificielle d'après Aref Berjaoui qui était Chef du Service de l'exploitation et de la protection des forêts du Liban (Berjaoui, 1952).

Tableau 5: Les superficies occupées par les différentes classes de forêts de conifères d'après NFP en hectares (MoA et FAO, 2005).

Type de forêts de conifères	Pourcentage	Superficie en ha
Autres forêts de pin	40	18 000
Genévrier	23	10 500
Pin pignon	18	7 900
Conifères mixtes	12	5 200
Cèdres	4	2 000
Cyprès	3	1 300
Total	100	44 900

Les forêts de feuillus qui constituent 57% de la surface globale des forêts sont divisées en trois groupes : 42% d'arbres à feuilles persistantes soit 32 900 hectares, 39% d'arbres à feuillus mixtes soit 30 608 hectares, et 19% d'arbres à feuilles caduques soit 15 300 hectares (Figure 19). Parmi les espèces les plus remarquables dans les forêts de feuillus, on cite le Chêne Calliprine (*Quercus calliprinos*) qui est l'espèce dominante dans les forêts sempervirentes. Il pousse entre le niveau de la mer et 1500 m d'altitude tandis que le *Quercus infectoria*, espèce accompagnante de *Quercus calliprinos* dans certaines régions, pousse à partir de 500 m d'altitude. Sa présence contribue à la formation des forêts mixtes (Tableau 6).

Tableau 6: Les superficies occupées par les forêts de feuillus (MoA et FAO, 2005)

Type	Pourcentage	Superficie en ha
Persistants	42	33 000
Feuillus mixtes	39	30 600
À feuilles caduques	19	15 300
Surface Totale	100	78 900

Les autres terres boisées, ne sont pas considérées comme des forêts : elles occupent des parcelles de superficie supérieur à 0,5 hectare ayant un couvert arboré de densité comprise entre 5% à 10 % capables d'atteindre une hauteur minimale 5 m à maturité ; ou des arbres qui occupent plus 10% de couvert et de hauteur inférieur à 5 m. Enfin, les terres à vocation agricole ou urbaine prédominante constituent 10 % de la surface du pays et occupent 108 400 hectares.

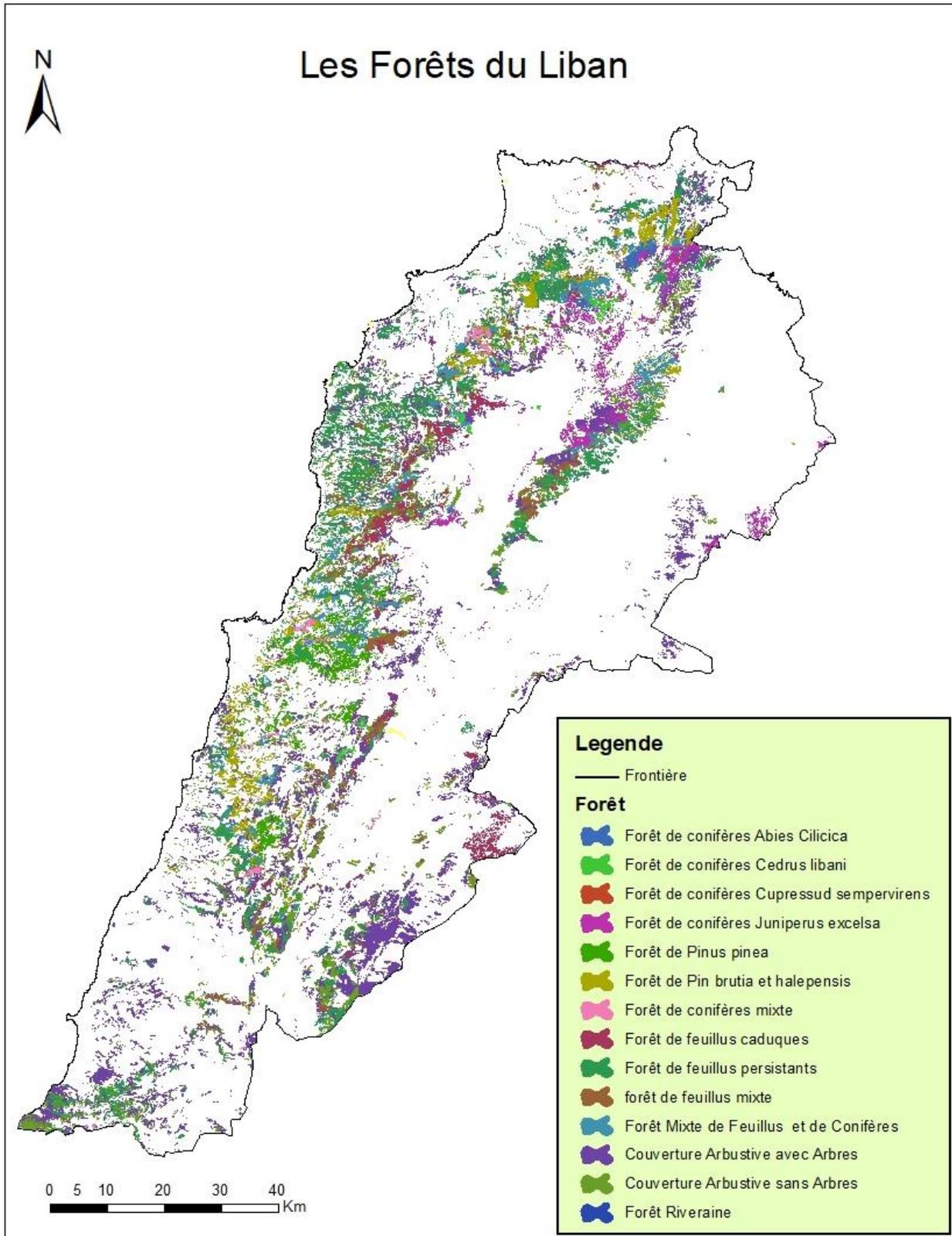


Figure 19: Les différentes forêts libanaises. D'après (MoA et FAO, 2005)

Au Liban, les forêts comme les propriétés terriennes ont des statuts fonciers bien définis. Par contre, à cause des données cadastrales qui ne sont pas toujours mises à jour, des difficultés existent quant aux délimitations des superficies et aux limites de ces propriétés.

Nombreuses sont les transformations des forêts privées en projets de construction. On observe un abandon des terres agricoles, un surpâturage et une extension de surfaces bâties. Ces activités humaines, développées en raison des facteurs socioéconomiques et environnementaux, ont entraîné la détérioration de vastes zones des écosystèmes forestiers.

3.2.2 Sols du Liban

Le Liban est influencé par un climat méditerranéen caractérisé par des alternances de saisons chaudes et sèches et de saisons humides et froides où les sols rouges se forment sur des roches dures carbonatées. Cependant, il n'est pas rare d'observer sur du calcaire dur, des sols de teintes brunes. Les sols libanais du Mont-Liban, généralement composés de sols rouges méditerranéens, bruns ou partiellement brunifiés, sont observés habituellement, entre les isohyètes 600 et 1400 mm et sur des roches dures carbonatées de couleur brune (Lamouroux et al., 1968). De plus, le climat pluvieux du versant ouest du Liban favorise particulièrement la formation de sols de couleur brune. Sur le versant ouest du Mont Liban, le taillis-forêt de chênes, de pins et d'arbrisseaux variés, maintiennent un horizon humifère assez important de 2 à 10 % de matière organique (Duchaufour, 1963). La plupart des sols bruns du bassin du Nahr-Beyrouth sont formés sur les marnes et calcaires durs, en lits alternés, du Jurassique.

Mais les sols libanais sont pauvres en matière organique (Darwish et al., 2009) à cause des raisons environnementales défavorables comme l'érosion en raison de la nature topographique du pays (pentes raides) et les alternances de saisons avec une long période estivale sèche. Il ne faut pas oublier les raisons sociales comme les mauvaises pratiques agricoles qui causent la réduction des superficies des forêts. Le brûlis des résidus de végétaux, l'application irresponsable d'engrais en particulier : la fertilisation avec les nitrates qui minéralise la matière organique du sol en sont des exemples.

Le taux de matière organique dans les sols libanais varie entre 0,4 % à Houla et 8,3 % à Jbeil (Darwish et al., 2009). Néanmoins, nous ne disposons d'aucune autre donnée sur l'évolution du stock de carbone dans les forêts méditerranéennes, au niveau de la couverture végétale et au

niveau du sol ni sur les facteurs qui favorisent la séquestration.

Conclusion de la première partie

L'un des principaux problèmes auxquels le monde est confronté est le réchauffement de la planète causé par l'émission de gaz à effet de serre, en particulier de dioxyde de carbone (CO₂) (Gerard, 2009). La captation puis la séquestration du CO₂ par les arbres est l'un des principaux moyens d'atténuer l'ampleur des changements climatiques. Afin de compléter la réduction des émissions de gaz à effet de serre, il faut privilégier les solutions de captation, notamment les options naturelles qu'offrent les forêts, mais aussi les sols, Or, cette capacité varie selon les essences forestières et la relation forêt - carbone reste mal connue, notamment en milieu méditerranéen.

Réaliser un diagnostic du potentiel de stockage des espaces forestiers des pays du Levant est devenu un enjeu environnemental majeur. Dans cette région, ce diagnostic prend un relief tout particulier car il s'agit de développer la connaissance d'un milieu qui connaît une intervention humaine pluriséculaire. Il est en outre nécessaire de palier la rareté des données concernant les forêts du Levant et en particulier l'absence d'équations allométriques pour beaucoup d'espèces qui rend difficile la quantification de la biomasse.

Qu'en est-il réellement du stockage ou de la libération de carbone des forêts méditerranéennes ? Bien qu'elles constituent un stock de carbone significatif, il semble qu'elles séquestrent moins de carbone que d'autres forêts (FAO, 1997).

Pour mener à bien notre étude, nous avons choisi un site représentatif, le bassin-versant du Nahr Beyrouth dont 60 % de la superficie est occupée par des forêts. Il s'agit de mesurer les stocks de carbone présents dans quatre compartiments : le sol, la litière (qui contient toute la biomasse morte, située au-dessus du sol minéral ou organique), la biomasse aérienne (feuilles, branches, troncs, tiges) et la biomasse souterraine (les racines). La mise en relation avec les facteurs climatiques, topographiques et les caractéristiques du sol permet d'identifier les variables qui influent sur le stock de carbone, en vue d'aboutir à une gestion forestière qui a réellement pour but la lutte contre le réchauffement climatique.

Le suivi réalisé nous permet de créer la carte du stock de carbone dans le bassin-versant de Nahr Beyrouth et d'envisager les facteurs externes qui influent sur ce stock. Ces données permettent

ensuite de proposer un modèle, sous forme d'une équation qui estime la teneur en matière organique du sol en utilisant les paramètres identifiés.

Deuxième partie

Contexte de l'étude

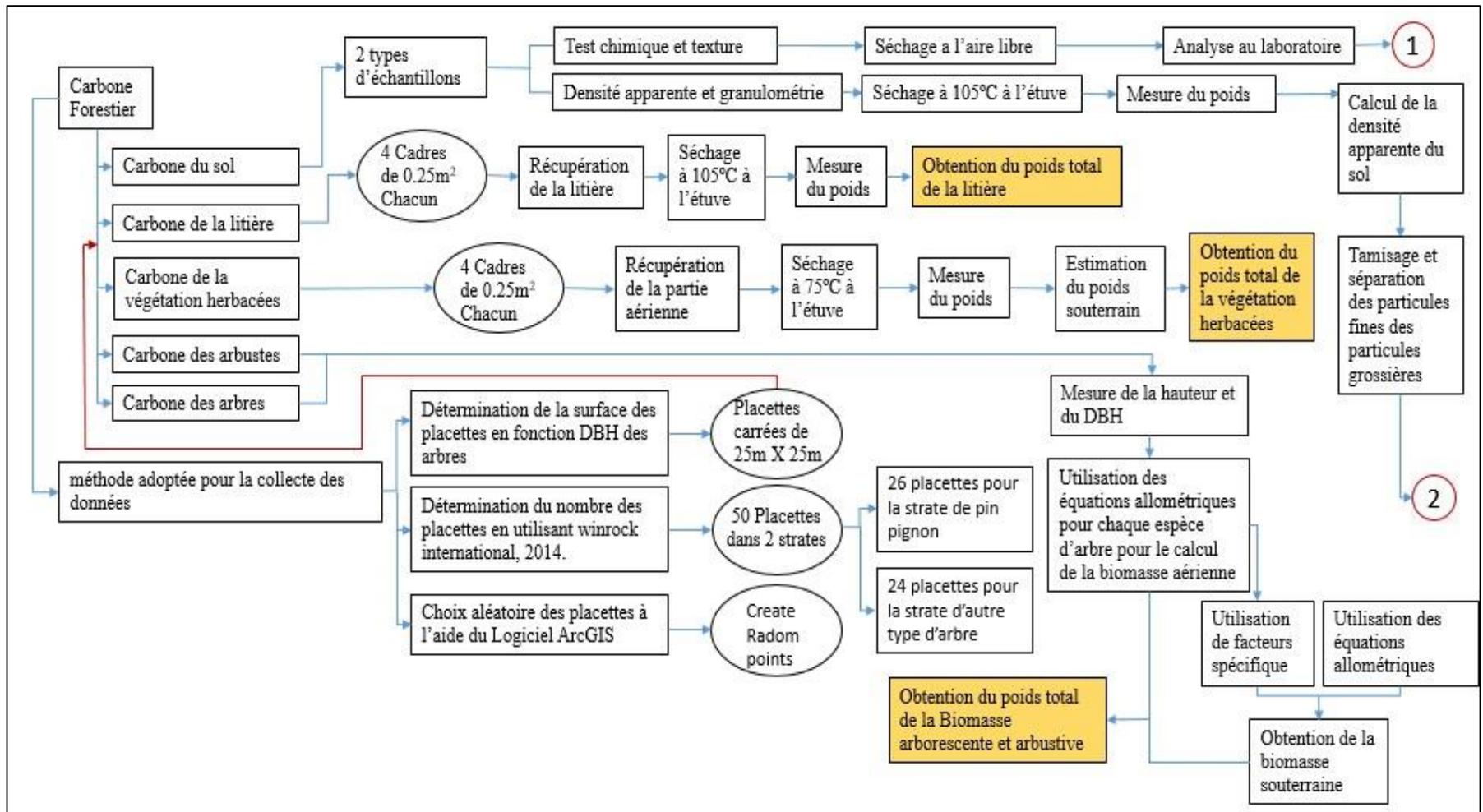
Introduction de la deuxième partie

Cette étude a été menée dans le bassin versant du Nahr Beyrouth d'une superficie de 216 km². Ce secteur, situé à l'est de la capitale du Liban constitue le poumon vert de Beyrouth. Fortement anthropisé, il est représentatif des espaces forestiers libanais. 50 placettes bien réparties selon les différents types forestiers y ont été implantées.

Cette seconde partie de notre recherche présente les étapes suivies pour le choix des échantillons, la collecte, l'analyse et le traitement de données (Figure 20). Grâce à cette approche et à l'important travail de terrain, il a été possible d'acquérir un très grand nombre de données :

- La hauteur et le diamètre à hauteur de poitrine (DBH) de 1 903 arbres et 222 arbustes mesurés ;
- La biomasse de 188 échantillons de litière qui constituent 396 traitements ;
- La biomasse de 113 échantillons d'herbacées ;
- L'analyse de densité et de granulométrie pour 245 échantillons de sols ;
- L'analyse texturale et des nutriments pour 50 échantillons de sol ;
- La mesure de l'épaisseur des horizons de 50 profils.

Cette partie est divisée en trois chapitres. Après avoir introduit la zone d'étude (chapitre 4), la méthodologie fera l'objet du chapitre 5. Avant de terminer dans le chapitre 6 par la présentation des équations appliquées dans le cadre de cette étude. Les étapes méthodologiques sont schématisées dans la figure 20.



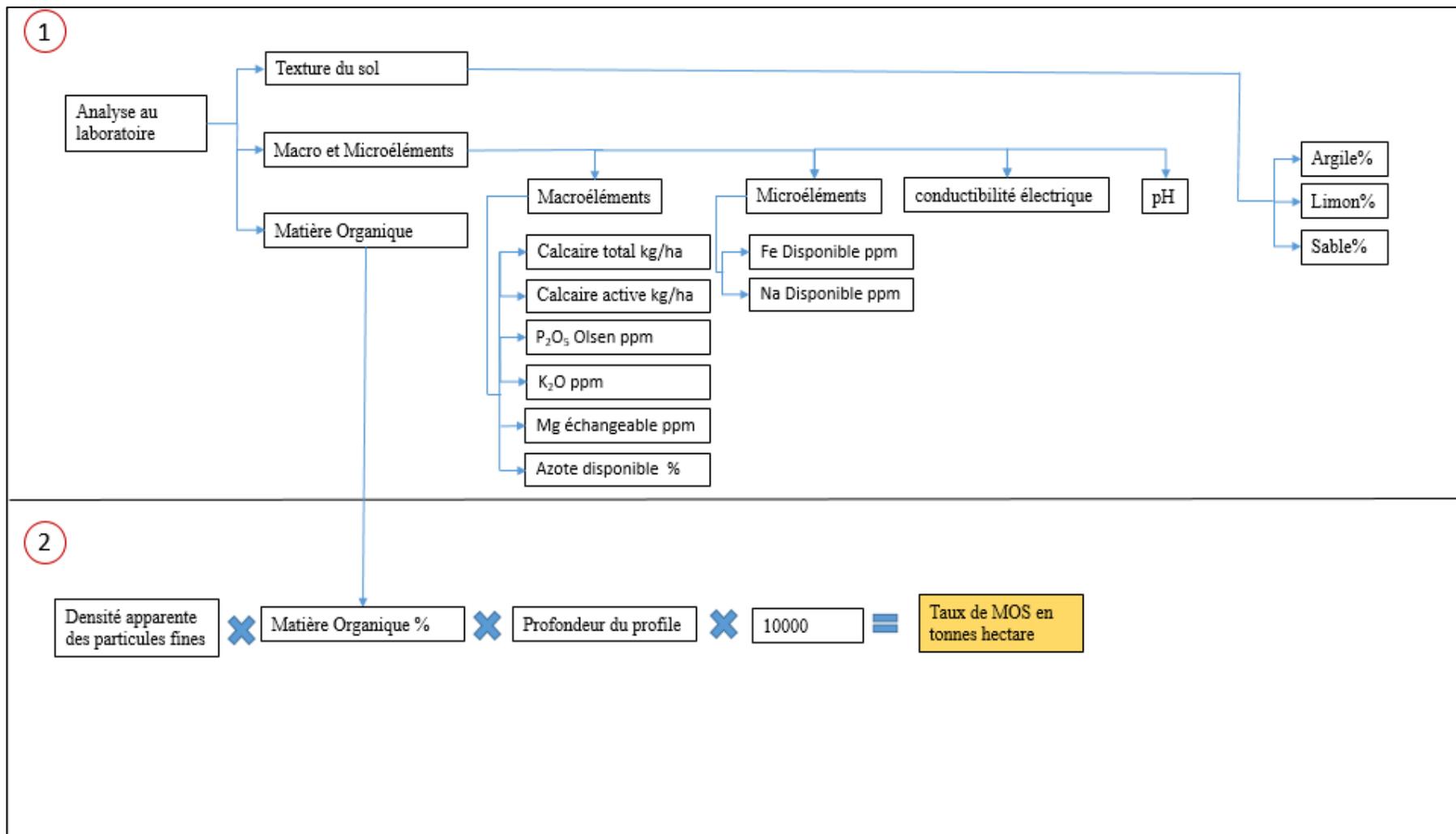


Figure 20: Méthodologie utilisée pour cette étude

Chapitre 4 : La zone d'étude : le bassin versant du Nahr Beyrouth

Situé dans le Mohafaza du Mont Liban, le bassin versant du Nahr Beyrouth (BVNB) est divisé en deux grandes unités géographiques : le Caza (équivalent libanais du *département* français) de El Metn et celui de Baabda et une petite partie de Aley. Il comprend une soixantaine de villages.

Limité à l'Est par la retombée du Mont Liban sur la Békaa, à l'Ouest par la mer Méditerranée, au Nord par le bassin-versant du Nahr El Kalb et le Jabal Sannine et au Sud, par le bassin-versant du Nahr Damour. Le bassin-versant du Nahr Beyrouth s'étend du Jabal el Kneisseh en amont jusqu'à la ville de Beyrouth en aval, avec une altitude maximum de 2050 m. Il comprend de grandes zones forestières considérées comme le poumon vert de Beyrouth.

L'espace couvert par le bassin du Nahr Beyrouth, qui comprend une couronne densément urbanisée dans la partie aval et la haute montagne en amont est subdivisée en 4 secteurs :

- Les profondes gorges de la vallée du Nahr Beyrouth dues au Nahr el Jaamani (dans sa partie nord) et le Nahr el Metn, dans sa partie sud. Les deux branches se retrouvent pour former le Nahr Beyrouth ;
- L'interfluve entre les deux branches principales du Nahr Beyrouth forme une crête étroite ;
- La partie aval constituée par une grande partie du tissu urbain de Beyrouth avec quelques enclaves agricoles ;
- La partie amont, montagneuse, comprend de larges zones forestières. Nous pouvons y distinguer des zones de pâturages et des régions de sols et rochers nus (Figure 21).



Figure 21: L'emplacement du Bassin versant du Nahr Beyrouth

4.1 Occupation du sol du bassin versant

Constitué de 56 % de surface boisée, le paysage typique de ce bassin versant est formé de collines boisées de pins parasol, s'étendant le long des versants (Figure 22). En effet, de vastes zones de collines dans les *cazas* du Metn, Baabda et Aley sont recouvertes de pins pignon.

Beaucoup d'anciens ouvrages comme par exemple POST en (1933) mentionnent que ces pins ne sont pas natifs du Liban. Ils ont été plantés abondamment au cours des 200 dernières années, pour la production du pignon ou blanc de pin. Selon la tradition orale, le Pin pignon y aurait été introduit par l'émir Fakhr Al-Din vers 1600 (Agrimi et Ciancio, 1993).

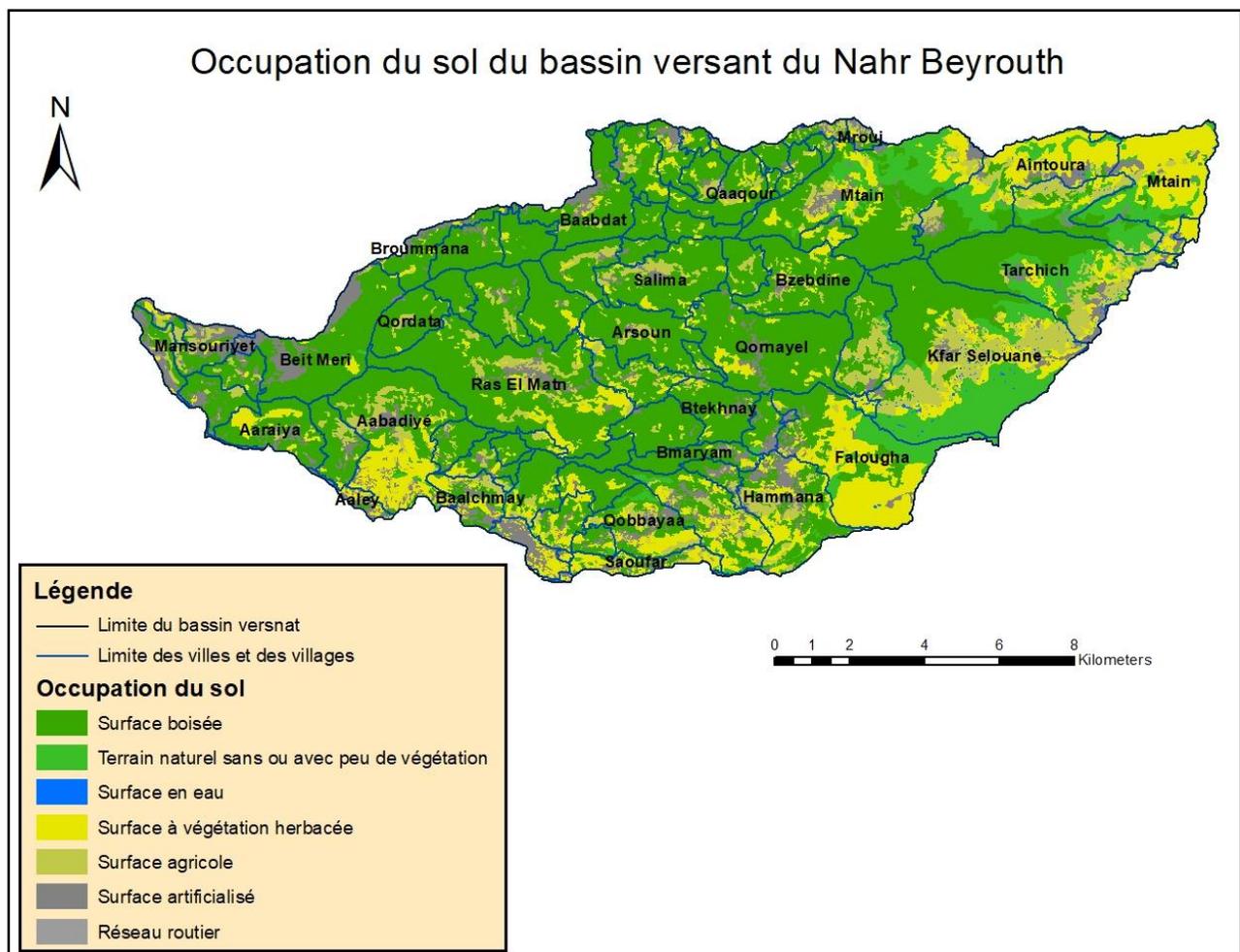


Figure 22: Carte d'occupation des sols du bassin versant du Nahr Beyrouth (D'après CNRS, 2012)

Bouvarel, (1950) et Berjaoui, (1952) pensent que les pinèdes du Liban sont d'origine artificielle. Cependant en se basant sur des observations phytosociologiques et des considérations

phytoédaphiques, Feinbrun (1959) considère que les pinèdes de Pin pignon du Liban sont naturelles. Mais même si ces pinèdes ont une origine naturelle, elles sont largement anthropisées par les habitants pour leur rendement économique.

Le bassin englobe 17 % de surfaces herbacées (buissons et végétations herbacées), 10 % de zones agricoles, 9 % de vergers et de cultures protégées, terrains avec ou sans végétation et 8 % de surfaces artificialisées (bâtis, autoroutes, routes...) (Tableau 7).

Tableau 7: Classes d'occupation du Bassin Versant du Nahr Beyrouth (CNRS, 2012)

Classes	Superficies en hectares	Pourcentage
Surface à végétation herbacée	3 700	17
Surface boisée	12 200	56
Surface en eau	50	0
Terrain naturel sans ou avec peu de végétation	1 900	9
Zone agricole	2 100	10
Surface artificialisée	1 700	8
Total	21 650	100

L'occupation du sol et la répartition des forêts du bassin versant du Nahr Beyrouth peuvent être résumées en cinq zones qui suivent un étagement altitudinal et correspondent aux zones climatiques du bassin versant :

- De 0 à 500 m d'altitude, dominant des zones urbaines denses et moyennes, des industries et des centres commerciaux, des projets urbains en cours de développement et de construction, des zones agricoles et de mitage agricole avec des zones forestières qui s'étendent de part et d'autre des deux branches principales du Nahr Beyrouth en amont ;
- De 500 à 1000 m, des forêts de pins pignons, de chênes, des forêts mixtes de conifères et de feuillus, des zones agricoles, des zones urbaines et des villages dispersés entre ces forêts constituant des mitages ;
- De 1000 à 1500 m, des forêts de pins pignons, des forêts de cèdres, des arbres fruitiers, des zones de pâturage, des rochers et des sols nus. Des zones urbaines et des villages s'étendent

entre ces forêts :

- De 1500 à 2000 m, cette zone est dominée par des zones de pâturages et des régions de sols et de roches nues, mais elle contient également des zones agricoles et quelques surfaces boisées et beaucoup de lacs collinaires et des zones d'extraction de matériaux (carrières), cette zone reste à l'abri de l'urbanisation ;
- Au-dessus de 2000 mètres d'altitude, le bassin versant n'occupe que 26,8 hectares et ce secteur est dominée par de roches et de sols nus (Figure 23).

4.2 Les zones bioclimatiques du bassin versant

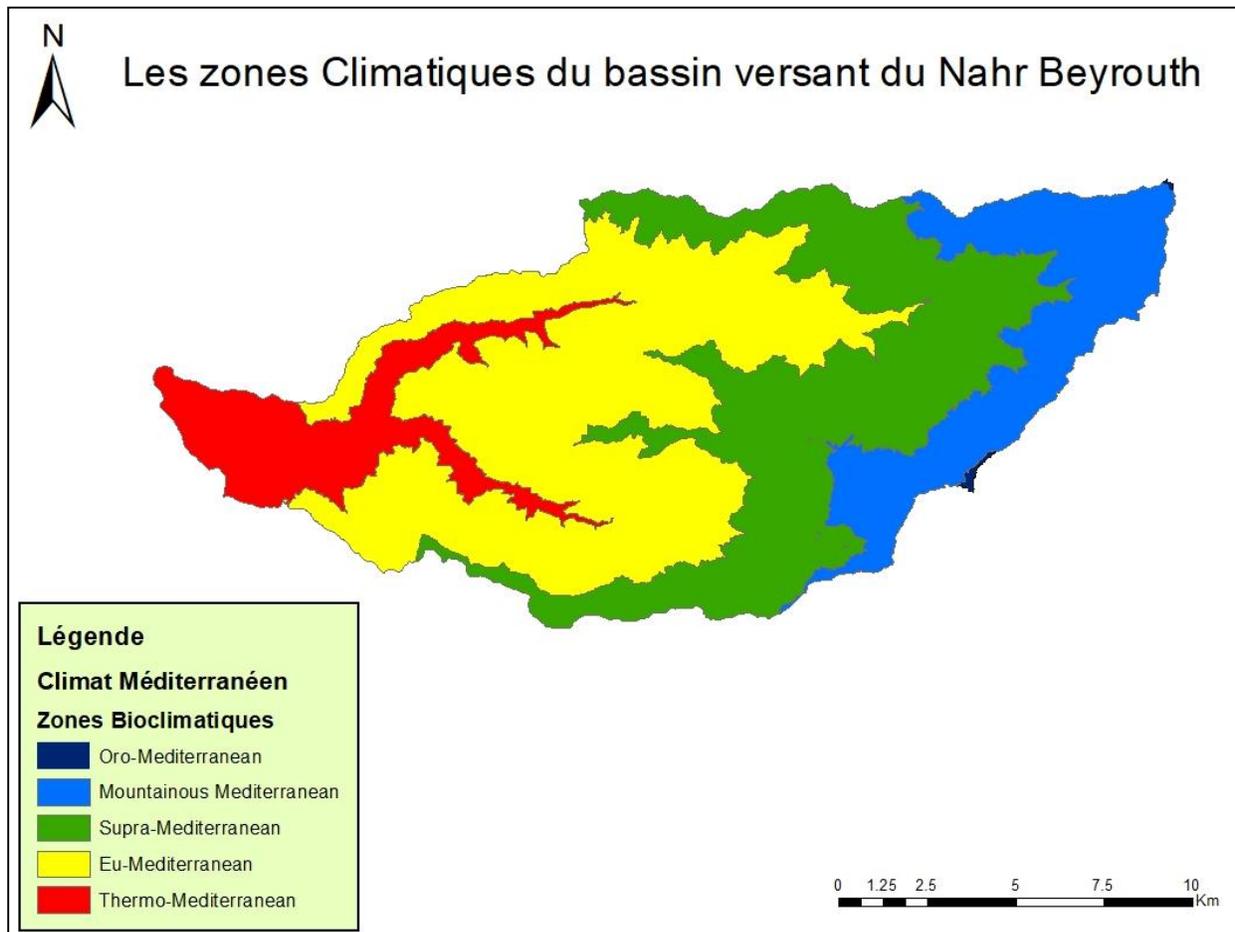


Figure 23: Les zones bioclimatiques du bassin versant (D'après Safi, 1988)

Les formations végétales du BVNB présentent les différentes fonctionnalités des forêts, à savoir écologiques, économiques et sociales. Concernant la fonction économique, les forêts du BVNB sont exploitées selon quatre volets : les fruits végétaux, la combustion, la pharmacopée (vu la

biodiversité des espèces), et l'écotourisme. Ainsi, parmi les fruits végétaux, les pins pignons occupent la plus grande partie des zones forestières du BVNB (Abi Dib, 2012). En outre en raison de leur proximité de la capitale Beyrouth et de son agglomération urbaine, ces forêts sont facilement accessibles par les citoyens. Elles sont devenues un lieu de détente, de repos et de promenade pour les beyrouthins voulant fuir le bruit, le stress et la pollution quotidienne avec le désir de découvrir des paysages et des vues panoramiques.

Tableau 8: Les espèces arborescentes et arbustives

Zone	Altitude en m	Espèce dominante	Observations
Thermo Méditerranéenne	0-500	<i>Ceratonia siliqua, Pistacia lentiscus, Pistacia palaestina</i>	Dégradation sévère de la couverture forestière surtout sur la ligne côtière
Eu-Méditerranéenne	500-1000	<i>Quercus calliprinos, Pistacia palaestina, Pinus pinea, Pinus brutia, Cercis siliquastrum, Styrax officinalis</i>	Dégradation de la couverture forestière est causée par la gèle, l'exploitation forestière pour le bois et la production du charbon
Supra Méditerranéenne	1000-1500	<i>Quercus calliprinos, Quercus infectoria, Pinus pinea, Pinus brutia, Cercis siliquastrum, Styrax officinalis</i>	Couverture forestière dense mais cette densité est interrompue par le bâti qui prend place dans cette zone récemment
Montagnard Méditerranéenne	1500-2000	<i>Cedrus libani, Abies cilicica, Juniperus excelsa</i>	Formation de sapins de cèdres et de genévriers
Oro Méditerranéenne	>2000	<i>Juniperus excelsa</i>	Le Genévrier est la seule espèce présente dans cette zone

Dans le bassin versant du Nahr Beyrouth, on peut relever 5 zones climatiques : les zones Oroméditerranéennes, Méditerranéennes Montagnardes, Supra Méditerranéennes, Euméditerranéennes et Thermo Méditerranéennes (Figure 23). Ces zones sont définies par les différents types de végétations présentes (Tableau 8).

Les forêts de pin pignon constituent 50% de la couverture forestière du bassin versant et la majeure partie de ces forêts sont exploitées. Par ailleurs, une bonne partie de ces pinèdes de pin pignon et même les forêts de chênes calliprines sont développées sur des anciennes terrasses agricoles. Cela a été relevé et observé dans une grande partie des placettes visitées où persistent

jusqu'à présent des anciens murs de soutènement.

4.3 Perte des stocks de carbone : une réalité libanaise

Le 30 septembre 2015, la république libanaise a soumis son nouveau plan d'action climat à la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC). Cette convention était présentée en amont d'un nouvel accord climatique afin d'être adoptée par les gouvernements lors de la conférence climatique de l'ONU à Paris en décembre 2015.

Le nouvel accord de Paris entre en vigueur en 2020 et habilitera tous les pays à agir pour empêcher la température mondiale d'augmenter de plus de 2 degrés Celsius, d'ici 2100, par rapport aux niveaux pré-industriels. De plus, il permet aux États de saisir les nombreuses opportunités qui découlent d'une transformation mondiale nécessaire vers un développement propre et durable. L'un des mécanismes serait la conservation des espaces forestiers. Or, la réalité est toute autre. Une étude récente a été publiée par la « Convention des Nations unies sur la lutte contre la désertification (UNCCD) » en collaboration avec le ministère libanais de l'agriculture. Selon ce rapport, le Liban a perdu entre 2000 et 2010, 1783 hectares de forêts, en d'autres termes 1,25% de sa couverture forestière totale, 2 257 hectares de terres cultivées et 1201 hectares de prairies (Figure 24). Le Caza de Tyr a connu la plus forte perte de couvert forestier (233 ha) suivi de Jbeil (soit 131 ha) et El Metn (soit 111 ha) (photographies 2, 3 et 4).

De ce fait, les pertes en carbone organique du sol des surfaces forestières ont été estimées, entre les années 2000 et 2010, à 120 943 tonnes. Les terres cultivées ont perdu 117 464 tonnes, et les prairies de 71 575 tonnes selon le rapport national du *Land Degradation Neutrality Target Setting Program* publié en février 2018 (Figure 25). Mais ces estimations n'ont pas été accompagnées par des collectes de donnée sur le terrain et n'ont donc pas été validées.



Photo 2: Transformation des zones forestières en zones urbaines à la périphérie de la placette 49

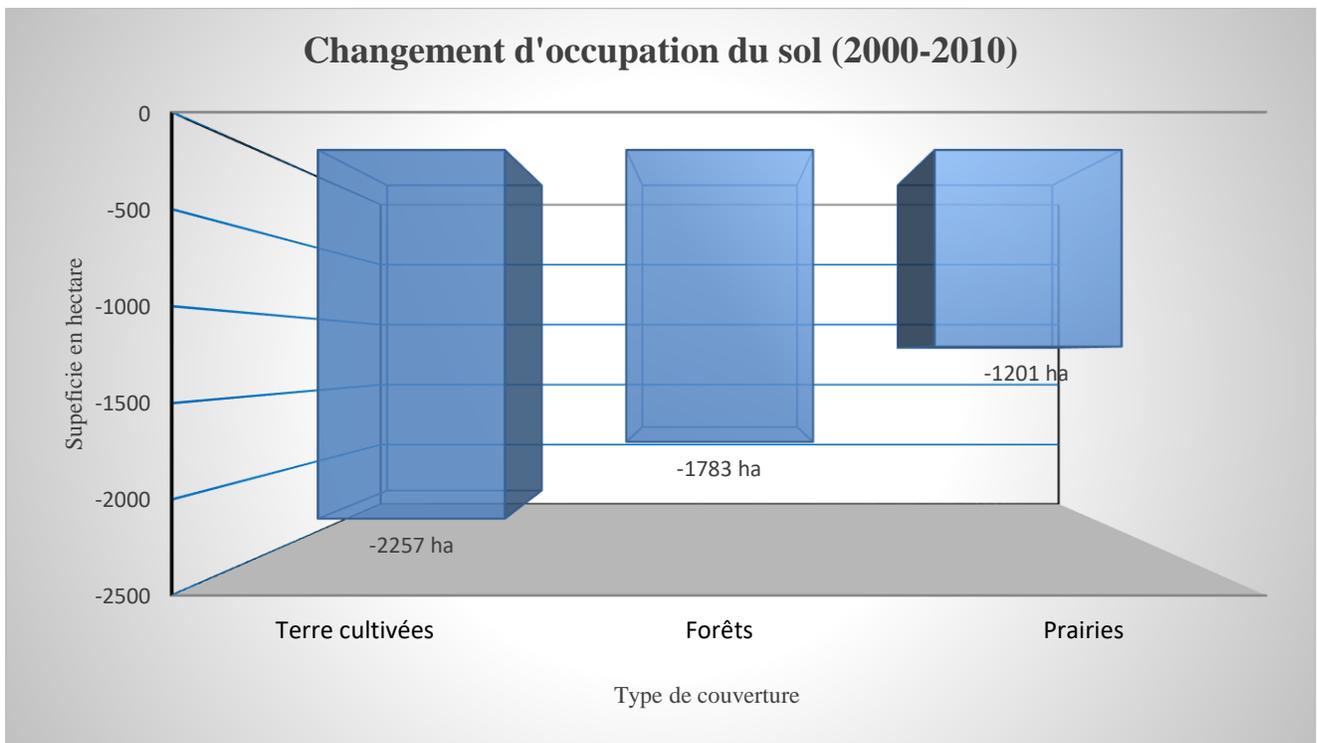


Figure 24: Diminution des surfaces entre 2000 à 2010 pour trois types d'occupation du sol. Ces diminutions ont été réalisées au profit des surfaces de « roches nues » et des « terres artificialisées » (LDN report, 2018)

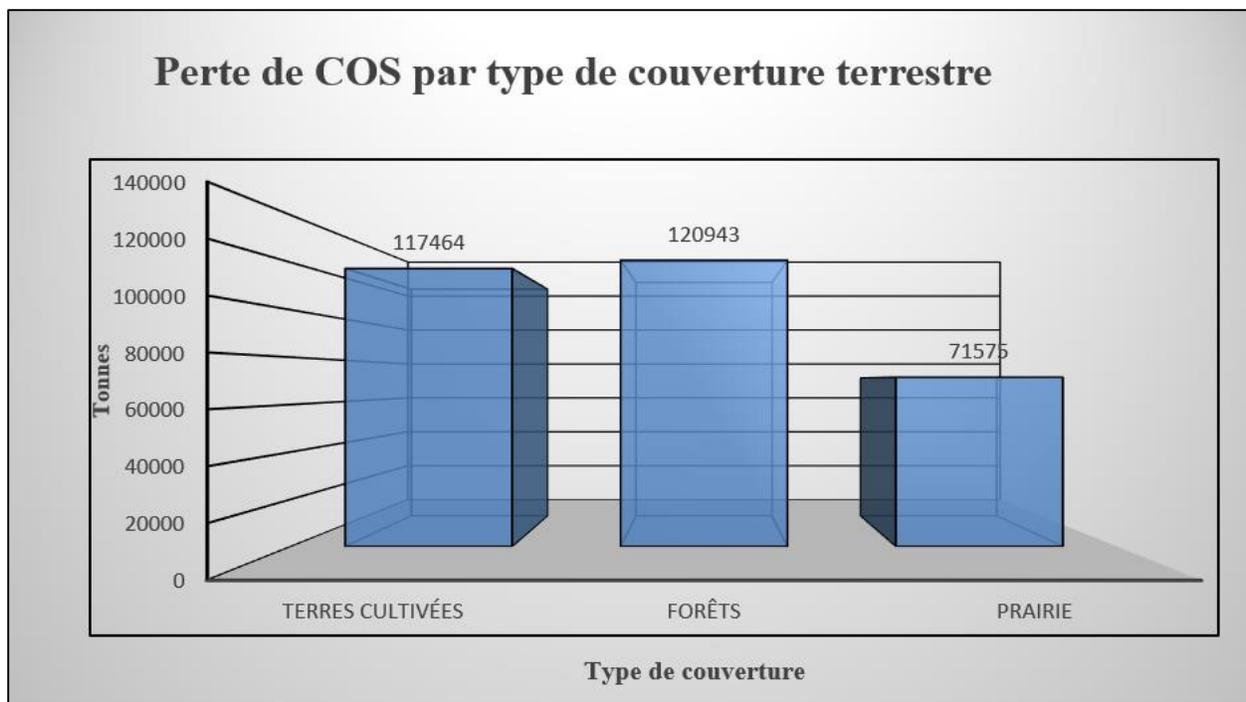


Figure 25: Perte des stocks du carbone du sol (LDN report, 2018)



Photo 3: Perte des espaces forestiers face à l'étalement urbain à la périphérie de la placette 16



Photo 4 : Travaux d'excavation pour construire dans une forêt de pin à Qsaibé à 600 mètres d'altitude

Dans ce contexte de réchauffement climatique, les forêts ont un rôle dans la réduction des émissions des gaz à effet de serre grâce à leur fonction de puits de carbone. Le Liban a signé l'accord de Paris, en avril 2016, qui vise à réduire les émissions des gaz à effet de serre et à augmenter la captation et la séquestration du carbone par des phénomènes naturels comme les forêts. Or, comme ce puits est peu connu au Liban, il convient de nous interroger sur le rôle effectif des écosystèmes forestiers méditerranéens dans la captation du carbone.

Par conséquent, il est nécessaire de réaliser un inventaire carbone au niveau des forêts libanaises pour identifier les quantités de carbone stockées dans les forêts Libanaise, les facteurs environnementaux qui jouent un rôle essentiel dans le processus de stabilisation de la matière organique dans le sol.

Chapitre 5 : Collecte et analyse des données

Comme il n'était pas possible de mesurer de manière exhaustive tous les arbres du bassin versant, nous avons eu recours à des mesures par échantillonnage. Notre unité d'échantillonnage est la placette et notre méthodologie est basée sur celles de la FAO (2009) et du GIEC (2003). Cette approche nous permet de quantifier le carbone des 5 compartiments de stockage (arbres, arbustes, herbacées, litière, et sol) dans des unités géographiques bien définies.

Pour un bon modèle d'échantillonnage, il est important de connaître le nombre et la taille adéquate des placettes qui sont respectivement en relation avec la variabilité de la biomasse. Pour ce faire, des placettes d'essais ont été sélectionnées et on y a calculé la moyenne des DBH (chapitre 5.1)

Trois formes de placette sont proposées dans la littérature : circulaire, carrée ou rectangulaire. Selon Walker et al. (2013), les placettes circulaires sont les plus efficaces pour la collecte des données, car elles nécessitent moins de temps pour les prélèvements et minimisent les erreurs commises sur le terrain. Mais elles demandent un appareillage spécifique et très coûteux qu'il n'a pas été possible d'acquérir. De ce fait, nous avons privilégié les placettes carrées, qui ne demandent pas d'outils sophistiqués mais qui nécessitent un travail de terrain chronophage. En revanche, une corde et une boussole suffisent pour délimiter la placette-échantillon.

Pour la collecte des données nous avons distingué deux groupements forestiers : celui des pins pignons et celui des « autres arbres ». Pour la suite de cette recherche, ces groupements forestiers sont désignés sous le terme de strates forestières. Nous suivons en cela l'usage de la foresterie (GIEC, 2006) qui est différent de l'usage de la biogéographie ou de l'écologie.

5.1 Choix des placettes et des sites

5.1.1 Détermination du nombre des placettes

Le nombre des placettes dépend directement de la biomasse végétale et de la superficie de la zone d'étude (Walker et al., 2013). Pour connaître la population statistique de notre prélèvement, il a fallu procéder à une première analyse cartographique de l'occupation du sol pour définir les

surfaces forestières dans le bassin-versant et établir une typologie des espèces. Pour cela, nous nous sommes basés sur les Cartes d'occupation des sols de 2005 et de 2012 produites par le CNRS en 2010 et 2017.

Comme le CNRS classe toutes les forêts de pin en deux classes suivant leur densité (dense et clairsemé) et non pas selon l'espèce, nous avons eu recours à la carte des forêts réalisée par le Ministère de l'Agriculture en collaboration avec la FAO en 2005 (MoA, 2005) qui distingue les forêts de pins pignons des autres forêts de pins. Cette carte a permis d'observer les éventuelles correspondances ou différences avec la carte d'occupation du sol dans les délimitations des surfaces boisées du bassin versant de Nahr Beyrouth.

Basées sur des classifications différentes, des différences notables ont été relevées entre la carte des forêts du ministère de l'agriculture, d'une part, et celles de l'occupation du sol de 2005 et 2012, d'autre part. Selon les données de la carte d'occupation des sols de 2005 (CNRS, 2010), les forêts de pins denses occupaient 1336 hectares et les forêts de pins clairsemées 5221 hectares. Dans le bassin versant du Nahr Beyrouth, les forêts de pins en 2005 couvrent donc 6557 hectares. A partir de la carte d'occupation du sol de 2012 (CNRS, 2017), on estime à 2442 hectares les forêts de pin dense et à 3996 hectares celles clairsemées, soit, au total une superficie de 6437 hectares. Ce bassin versant a perdu en une période de 7 ans 120 ha de forêts de pin.

D'après la carte réalisée par le Ministère de l'Agriculture et la FAO en 2005 (MoA, 2005) suivant une autre méthode de classification, les forêts de pin pignons occupaient 5819 hectares et les autres types de forêts de pins (Forêt de pin brutia et pin d'Alep) occupaient 175 hectares. Selon cette source, les forêts de pins occupaient donc, au total, 5995 hectares (Tableau 9).

Cette comparaison a été faite pour retenir la carte la plus adaptée pour le calcul du nombre des placettes dans cette étude. Nous avons finalement retenu la carte de la FAO (MoA, 2005) puisque c'est la seule qui différencie les forêts de pin pignons des autres forêts de pin.

En outre, cette approche comparative des 3 cartes disponibles était nécessaire pour pouvoir faire, ultérieurement, les éventuelles corrections des superficies forestières après les visites sur le terrain.

Tableau 9: Classification des forêts selon la carte du Ministère de l’agriculture (MoA, 2005)

Types de forêts	Superficie en Hectare
Forêt à feuilles caduques	451
Forêt à feuilles persistantes	551
Forêt de Cèdre	7
Forêt de pin brutia et pin d’Alep	175
Forêt de pin pignon	5819
Forêt de feuillus Mixte	763
Forêt de feuillus et de conifère	1468
Forêt de conifère Mixte	402
Végétation arbustive avec arbres dispersés	2344
Végétation arbustive	1118
Forêt riveraine	0
Superficie totale des forêts	13098

Afin d’estimer le nombre adéquate de placettes pour la suite de notre étude, nous avons tout d’abord réalisé un choix aléatoire de 5 placettes d’essai dans lesquelles nous avons déterminé les DBH et la biomasse des arbres. Cette première étape d’essai est indispensable pour fixer le nombre total de placettes nécessaires. Pour l’estimation du nombre des placettes nous avons appliqué :

- La formule à une seule strate de Walker (Walker et al. 2013) ;
- La formule « winrock » à deux strates (Goslee et al., 2014)

a) Méthode de Walker à une seule strate

La méthode de Walker (Walker et al. 2013) est basée sur la mesure de la superficie totale des forêts du bassin versant du Nahr Beyrouth, la taille de la placette et les données obtenues à partir des placettes d’essai (biomasse totale des sites d’essai, écart type, stock moyen avec un intervalle de confiance de 95% et marge d’erreur de 10%) (Tableau 10).

Cette équation se présente sous plusieurs formes :

$$n = \frac{(\sum_{h=1}^L N_h \times S_h)^2}{\frac{N^2 \times E^2}{t^2} + (\sum_{h=1}^L N_h \times S_h^2)} \quad (1)$$

$$n = \frac{(N \times s)^2}{\frac{N^2 \times E^2}{t^2} + N \times s^2} \quad (2)$$

$$n = \frac{[(N_1 \times s_1) + (N_2 \times s_2)]^2}{\frac{N^2 \times E^2}{t^2} + N_1 \times s_1^2 + N_2 \times s_2^2} \quad (3)$$

Où :

E = erreur admissible ou demi-largeur souhaitée de l'intervalle de confiance. Calculée en multipliant le stock de carbone moyen par la précision souhaitée, c'est-à-dire le stock de carbone moyen $\times 0,1$ (pour une précision de 10%) ou $0,2$ (pour une précision de 20%),

t = la statistique d'échantillon de la distribution t pour 95 % le niveau de confiance ; t est habituellement fixé à 2 car la taille de l'échantillon est inconnue à ce stade,

N = nombre d'unités d'échantillonnage dans la population ($N = E N_h$), N = Superficie totale des forêts(ha) / Superficie de la placette (ha))

N_h = nombre d'unités d'échantillonnage de la strate h (= superficie de la strate, en ha / superficie de la parcelle, en ha),

S_h = écart type de la strate h

À l'aide du logiciel ArcGis, on a choisi aléatoirement à l'aide de l'outil « create random points », 5 sites qui sont les placettes A, B, C, D et E dans les forêts du bassin versant en fonction des zones bioclimatiques.

Tableau 10: Les placettes aléatoires

Placettes	Biomasse totale t.ha ⁻¹	Altitude (m)
Site A	153,12	108
Site B	102,64	485
Site C	82,07	724
Site D	69,38	1017
Site E	139,51	1547
Moyenne	109,34	
Écart type	36,1	
Superficie totale des forêts (ha)	13100	
Superficie de la placette (ha)	0,0625 (25m × 25m)	
Marge d'erreur (default)	10%	
Intervalle de confiance	95%	

Standard statistical method used (Walker et al., 2013). Sites A à E : sites aléatoirement choisis pour déterminer le nombre de placettes nécessaires à l'étude.

Ces cinq placettes d'essais sont nécessaires pour estimer le nombre total de placettes nécessaires pour cette étude par la mesure de 116 arbres et la biomasse total de chaque placette. Les données sont présentées dans le tableau 10.

$$n = \frac{(209574 \times 36,1)^2}{\frac{209574^2 \times 10,9^2}{2^2} + 209574 \times 36,1^2} = 43,59 \quad (4)$$

Le résultat montre qu'il est nécessaire d'implanter un nombre n, égal à 43,59 parcelles. Ce calcul montre donc que 44 placettes sont nécessaires pour couvrir toute la variabilité naturelle des forêts du bassin versant du Nahr Beyrouth.

b) Méthode « winrock » à plusieurs strates (Goslee et al., 2014) :

Cette méthode est appliquée pour des forêts hétérogènes et assure plus de précision. Par conséquent, les forêts du bassin versant du Nahr Beyrouth ont été divisées en deux strates (Figure 26) :

- La première englobe les forêts de pin pignon qui couvre 5820 ha.

- La deuxième englobe tous les autres types de forêts. C'est à dire les forêts mixtes, où se trouve parfois quelques arbres de pin pignon. Sa superficie est de 7280 ha (Tableau 11).

Les espèces arborées que nous avons mesurées dans chaque placette sont mentionnées dans le Tableau 12.

Cette méthode nécessite l'application des équations suivantes :

$$n = \left(\frac{t_{VAL}}{E} \right)^2 * \left(\sum_I w_i * s_i \right)^2 \quad (5)$$

$$n = \frac{N * t_{val}^2 * (\sum_i w_i * s_i)^2}{N * E^2 + t_{val}^2 * \sum_i w_i * s_i^2} \quad (6)$$

Avec :

$$n_a = n * \frac{1}{1 + n/N} \quad (7)$$

$$n_i = n * \frac{w_i * s_i}{\sum_i w_i * s_i} \quad (8)$$

Où :

- n : Nombre de placettes d'échantillonnage nécessaires à l'estimation des stocks de biomasse dans le projet
- N : Nombre total de placettes d'échantillonnage possibles dans les limites du projet
- t_{VAL} : Valeur t du teste de Student, à des degrés de liberté infinis, pour l'intervalle de confiance requit
- w_i : Poids relatif de la surface de la strate i (c'est-à-dire la superficie de la strate i divisée par la superficie du projet)
- s_i : Écart type estimé du stock de la biomasse dans la strate i
- E : Marge d'erreur acceptable (c'est-à-dire la moitié de l'intervalle de confiance) dans l'estimation de la biomasse dans les limites du projet
- i : Strates d'estimation du stock de biomasse dans les limites du projet

n_a : Le nombre ajusté de placettes d'échantillon nécessaires à l'estimation des stocks de biomasse dans la limite du projet

Pour la procédure à deux strates (Tableau 12), 10 placettes aléatoires ont été choisis et 5 placettes dans chacune des strates : A, C, E, W et Y pour la strate des autres types de forêts et B, D, V, X et Z pour la strate de pin pignon (Tableau 13). Dans ces 10 sites, nous avons mesuré 279 arbres et 32 arbustes.

Tableau 11: Division des forêts du bassin versant en deux strates

Strate	Types de forêts	Superficie en Hectare
Strate 1	Forêt de pin pignon	5820
Strate 2	Autre type de forêts	7280
Superficie totale des deux strates		13100

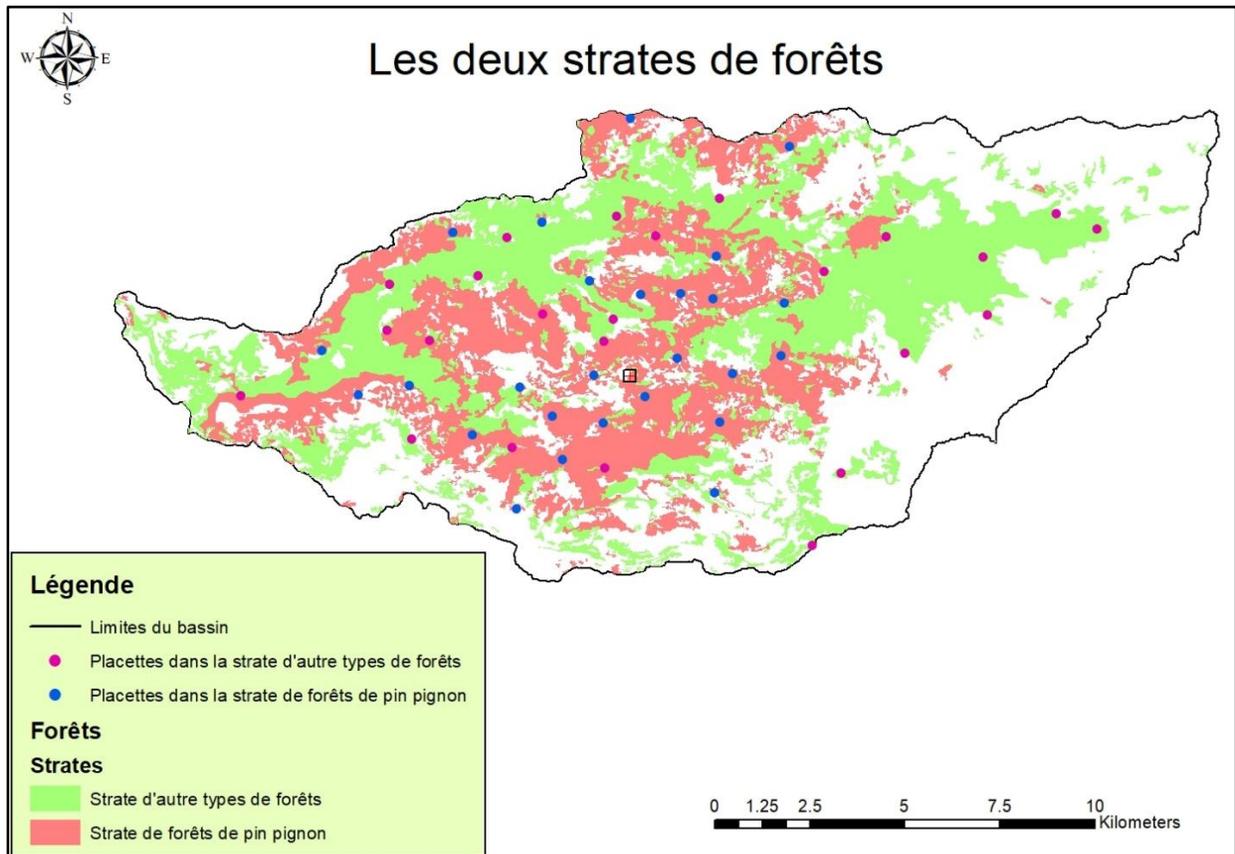


Figure 26: Les deux strates dans le bassin versant

Tableau 12: Les espèces forestières présentes dans les strates du bassin versant

Placette	Strate	Espèces
1	Pin pignon	Pin pignon
2	Pin pignon	Pin pignon
3	Pin pignon	Pin pignon
4	Pin pignon	Pin pignon
5	Pin pignon	Pin pignon
6	Pin pignon	Pin pignon
7	Autre type de forêts	Pin pignon Chêne Calliprine, Pin brutia et Pistachier de Palestine
8	Pin pignon	Pin pignon
9	Pin pignon	Pin pignon
10	Autre type de forêts	Chêne Calliprine et Chêne infectoria
11	Pin pignon	Pin pignon
12	Pin pignon	Pin pignon
13	Autre type de forêts	Pin pignon et Pin brutia
14	Pin pignon	Pin pignon
15	Autre type de forêts	Pin pignon et Pin brutia
16	Pin pignon	Pin pignon
17	Autre type de forêts	Pin pignon, Chêne Calliprine et Chêne infectoria
18	Pin pignon	Pin pignon
19	Pin pignon	Pin pignon
20	Pin pignon	Pin pignon
21	Autre type de forêts	Charme-houblon, Peuplier noir et Platane d'Orient
22	Pin pignon	Pin pignon
23	Pin pignon	Pin pignon
24	Autre type de forêts	Charme-houblon, Peuplier noir et Platane d'Orient
25	Autre type de forêts	Pin pignon, Pin brutia et Genévrier oxycèdre
26	Pin pignon	Pin pignon
27	Autre type de forêts	Chêne Calliprine et Chêne infectoria
28	Pin pignon	Pin pignon
29	Pin pignon	Pin pignon
30	Autre type de forêts	Pin brutia, Chêne Calliprine
31	Autre type de forêts	Chêne Calliprine, Pin brutia et Arbousier de chypre
32	Autre type de forêts	Pin brutia, Chêne Calliprine, Chêne infectoria et Pin pignon
33	Autre type de forêts	Cèdre du libanais
34	Autre type de forêts	Cyprès vert

Placette	Strate	Espèces
35	Pin pignon	Pin pignon
36	Pin pignon	Pin pignon
37	Autre type de forêts	Chêne infectoria
38	Autre type de forêts	Chêne infectoria
39	Autre type de forêts	Chêne Calliprine et Chêne infectoria
40	Autre type de forêts	Chêne Calliprine et Chêne infectoria
41	Autre type de forêts	Chêne Calliprine
42	Autre type de forêts	Chêne infectoria
43	Autre type de forêts	Chêne Calliprine et Chêne infectoria
44	Autre type de forêts	Chêne Calliprine et Chêne infectoria
45	Pin pignon	Pin pignon
46	Pin pignon	Pin pignon
47	Pin pignon	Pin pignon
48	Autre type de forêts	Platane d'Orient, Aulne et Chêne Calliprine
49	Pin pignon	Pin pignon
50	Autre type de forêts	Pin brutia

Tableau 13: Calcul du nombre de placettes nécessaires pour cette étude

Placettes	Strate 1 Pin pignon		Placettes	Strate 2 autre forêts	
	Biomasse total t.ha-1	Altitude (m)		Biomasse total t.ha-1	Altitude (m)
Site B	102,64	485	Site A	153,12	108
Site V	86,79	803	Site C	82,07	724
Site X	171,87	903	Site W	166,18	881
Site D	69,38	1017	Site Y	140,66	1078
Site Z	160,64	1354	Site E	139,51	1547
La moyenne	118,26		La moyenne	136,31	
Écart type	45,54		Écart type	32,2	
Superficie totale des forêts (ha)	5820		Superficie totale des forêts (ha)	7280	
Superficie de la placette (ha)	0,0625		Superficie de la placette (ha)	0,0625	
Pourcentage de placette supplémentaire	45%		Pourcentage de placette supplémentaire	45%	

Standard statistical method used (Goslee et al. 2014). Sites A à E et V à Z:

Pour estimer le nouveau nombre de parcelles nécessaires dans les deux strates, on applique les équations ci-dessus 4 et 5. Les résultats montrent que le nombre de placettes pour la fraction d'échantillonnage est de 34 placettes : 18 placettes pour les forêts de pin pignon et 16 placettes pour les autres types de forêts. Mais il est recommandé d'installer au minimum 10 à 20% de sites supplémentaires (Walker et al., 2014). Par sécurité nous adoptons 50 placettes (26 pour la strate de pin pignon et 24 pour la strate des autres types de forêts) ce qui correspond à une augmentation de 45% du nombre des placettes, bien au-delà de ce qui est recommandé par la méthode winrock internationale (Walker et al., 2014) (Tableau 13).

5.1.2 Taille placettes

Pour déterminer les caractéristiques des placettes adaptées au contexte forestier du bassin versant, nous avons procédé à une étude préalable sur le terrain. 5 sites ont été choisis de manière aléatoire et ont servi de base pour définir la taille de la placette qui est en relation avec la moyenne des diamètres, au niveau de la poitrine (DBH), des arbres qui se trouvent dans les forêts du bassin versant. Ces mesures sont indispensables parce qu'elles déterminent la taille des placettes à échantillonner (Tableau 14).

Tableau 14: Le choix des placettes en fonction des DBH des arbres (Walker et al., 2014)

Diamètre de la tige	Placette Circulaire	Placette Carré	
	Rayons	Coté	Diagonale
Les plants ⁴	2 m	3 m x 3 m	4.2 m
5 – 20 cm DBH	4 m	7 m x 7 m	9.9 m
20 – 50 cm DBH	14 m	25 m x 25 m	35.3 m

Une première visite des forêts du bassin versant était nécessaire pour connaître la répartition des diamètres au niveau de la poitrine (DBH) des arbres qui se trouvent dans les forêts du bassin

⁴ Les plants : sont définis par un diamètre inférieur à 5 cm à une hauteur de 1.3 m

versant. Comme la plupart des arbres échantillonnés ont un DBH entre 20 et 50 centimètres, nous avons opté pour des placettes carrées de 25 mètres de côtés (Figure 27).

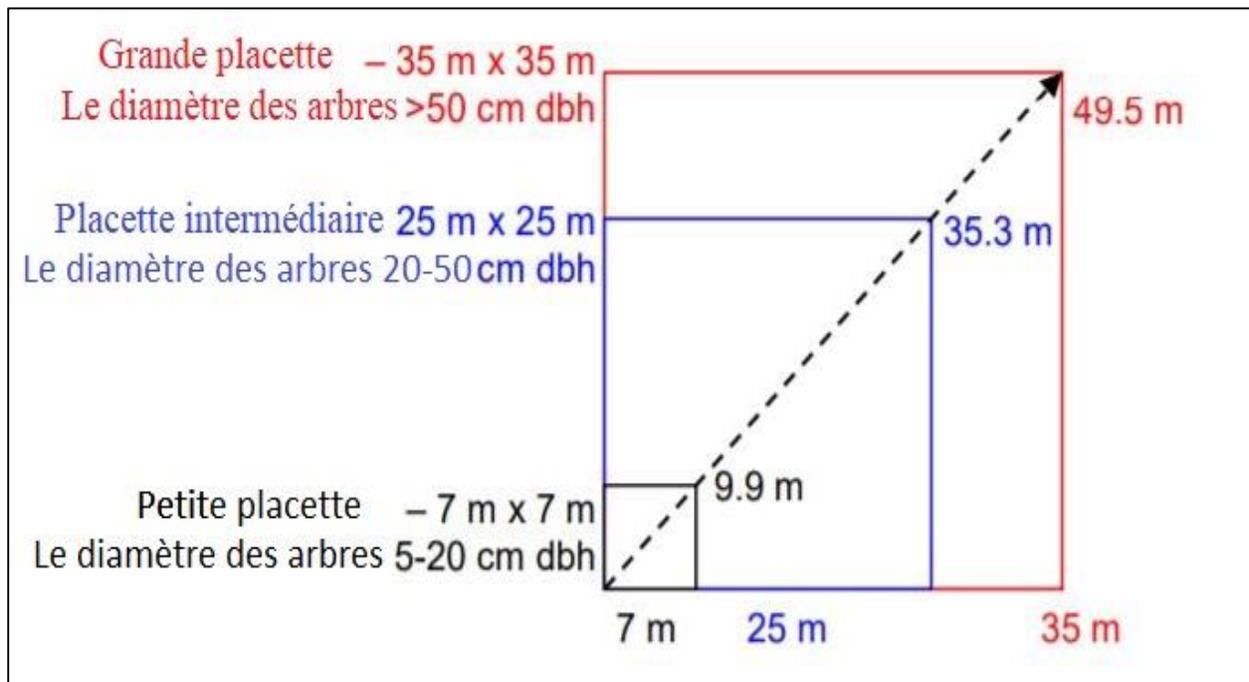


Figure 27: La placette utilisée de 25 x 25 mètres

5.1.3 Choix des sites d'échantillonnages dans le bassin versant

A l'aide du Logiciel ArcGIS, nous avons divisé les forêts en deux strates en nous basant sur la carte des forêts : la strate de pin pignon et la strate des autres types de forêts. Cela nous permet de créer des placettes aléatoires dans chacune de ces strates.

A l'aide de l'outil « Create Random points », on détermine la localisation des placettes par strate (26 pour le pin pignon et 24 pour les autres types de forêt) ; la distance minimale entre les sites devant être de 800 m au minimum.

On a lancé cet outil plusieurs fois pour éviter les zones militaires, les zones minées et les escarpements. Finalement, on a obtenu la distribution présentée sur la figure 28.

Les placettes sont bien réparties dans les deux strates et couvrent des altitudes allant de 108 et 1546 mètres (Tableau 15) avec des pentes qui varient entre 1.1 degré et 36.4 degrés. Ces sites ont

une diversité biologique importante et quelques placettes sont aux bords des cours d'eau du fleuve (Photographie 5).

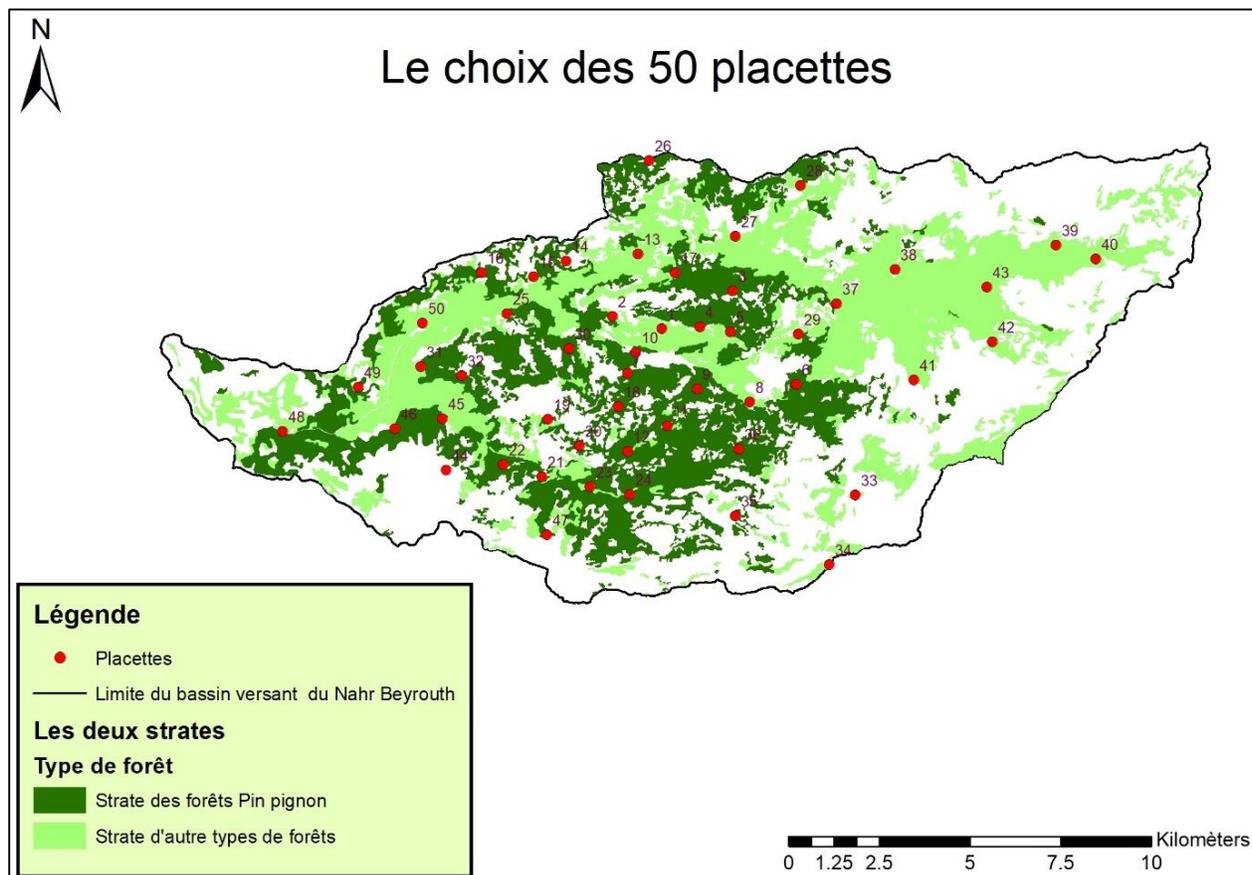


Figure 28: Distributions des placettes



Photo 5: Les forêts du bassin versant

Tableau 15: Localisation des placettes

Placettes	Emplacement		Altitude (m)	Pente (degré)	Exposition
	Longitude	Latitude			
1	35,69402	33,86683	936	24,3	Sud
2	35,67927	33,86955	803	19,1	Sud
3	35,71496	33,87646	821	14,6	Nord-Ouest
4	35,70531	33,86732	1019	7,5	Nord
5	35,71449	33,86629	1066	6,3	Nord-Est
6	35,73436	33,85349	1354	4,7	Ouest
7	35,68398	33,85551	770	19,6	Nord-Est
8	35,72062	33,84883	1058	22,0	Sud-Ouest
9	35,70481	33,85197	930	25,1	Est
10	35,68633	33,86078	724	29,7	Nord-Ouest
11	35,69615	33,84259	1017	29,7	Sud
12	35,68445	33,83609	817	12,6	Nord-Ouest
13	35,68648	33,88521	596	17,7	Sud-Est
14	35,66512	33,88316	695	21,4	Sud-Est
15	35,65556	33,87920	627	24,8	Sud
16	35,63996	33,87991	660	12,7	Sud
17	35,69768	33,88074	563	22,3	Nord
18	35,68140	33,84721	983	5,1	Sud
19	35,66056	33,84383	819	8,1	Sud-Ouest
20	35,66998	33,83725	766	11,8	Sud-Ouest
21	35,65896	33,82949	445	11,2	Nord-Est
22	35,64744	33,83229	516	16,3	Nord
23	35,67334	33,82721	485	36,4	Sud
24	35,68533	33,82539	493	1,1	Flat
25	35,64773	33,86989	583	6,4	Ouest
26	35,68942	33,90845	1155	17,4	Sud-Est

Placettes	Emplacement		Altitude (m)	Pente (degré)	Exposition
	Longitude	Latitude			
27	35,71551	33,89008	881	15,1	Sud
28	35,73471	33,90295	1085	26,6	Est
29	35,73479	33,86599	1047	19,0	Flat
30	35,66641	33,86148	659	8,6	Flat
31	35,62241	33,85628	677	20,9	Sud-Ouest
32	35,63463	33,85433	732	15,0	Sud-Ouest
33	35,75245	33,82615	1547	18,8	Sud-Ouest
34	35,74499	33,80876	1504	22,6	Nord-Ouest
35	35,71675	33,82042	994	14,3	Ouest
36	35,71753	33,83717	906	17,4	Sud-Ouest
37	35,74590	33,87370	775	18,0	Ouest
38	35,76318	33,88246	1078	10,7	Sud
39	35,81103	33,88912	1466	4,8	Flat
40	35,82297	33,88584	1485	28,6	Ouest
41	35,76942	33,85497	1303	20,0	Nord
42	35,79260	33,86475	1389	5,7	Flat
43	35,79078	33,87832	1373	4,0	Nord-Ouest
44	35,63047	33,83066	703	23,0	Nord-Est
45	35,62912	33,84346	584	7,6	Ouest
46	35,61488	33,84078	535	12,3	Nord-Ouest
47	35,66071	33,81508	870	15,9	Nord
48	35,58145	33,83959	108	24,1	Sud
49	35,60390	33,85100	542	16,9	Sud
50	35,62261	33,86715	302	29,5	Est

a) Description de l'unité d'échantillonnage

L'échantillonnage concerne les 5 réservoirs de carbone regroupés en trois unités :

- 1) La strate arborescente ;
- 2) La strate arbustive ;
- 3) La strate des herbacées, la litière et le sol.

L'unité d'échantillonnage est la placette de forme carrée de 25 mètres de côtés (soit de 625 m² de superficie). Elle est la zone de mesure du DBH et de la hauteur des arbres. Le coin sud-ouest de ces unités correspond aux points de départ des relevés des coordonnées des placettes. Chaque unité d'échantillonnage contient une seule sous-placette localisée dans le coin sud-ouest. De forme carrée, de 5 mètres de côté et de superficie de 25 m², elle sert comme point de mesure du DBH et de la hauteur des arbustes dont le diamètre est inférieur à 10 cm. Ce relevé étant considéré comme représentatif de ce type de végétation présent dans la placette.

Finalement, quatre cadres, chacun de 0,5 m de côté et de superficie 0,25m², implantés en chaque coin de la placette viennent compléter le dispositif. Ils servent à échantillonner les espèces herbacées, la litière et les échantillons de sol (Figure 29).

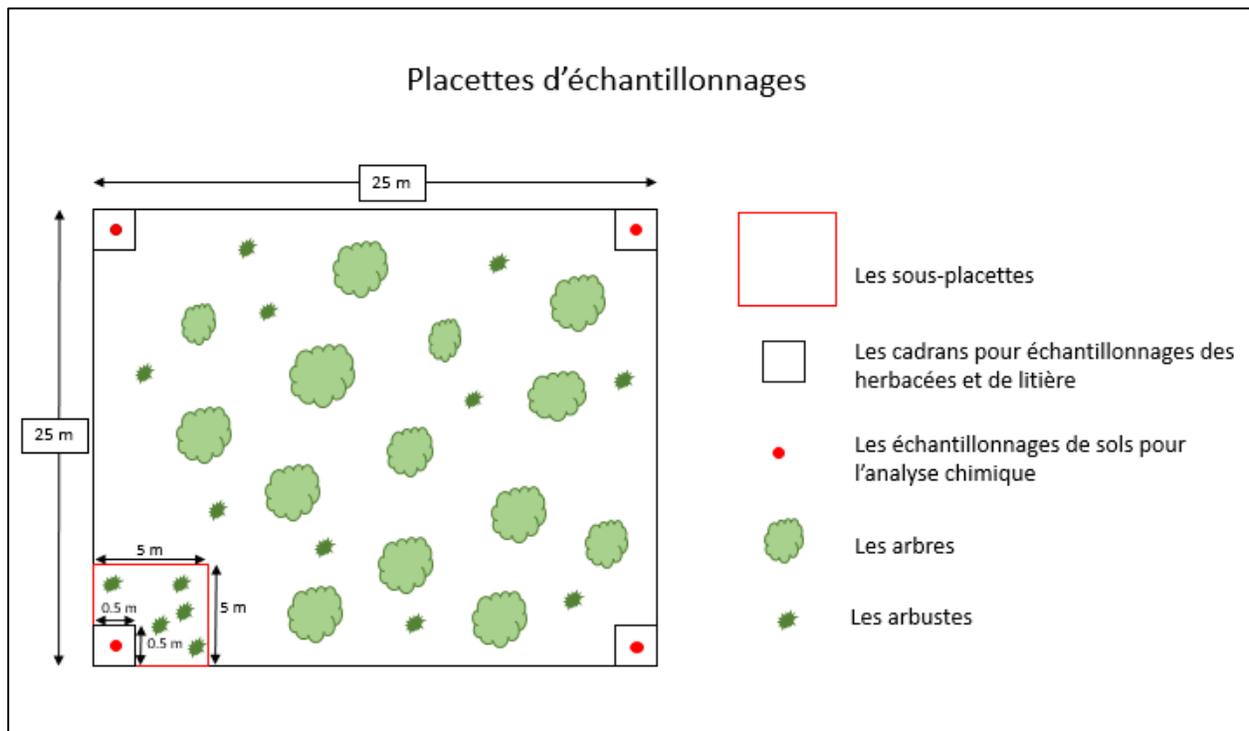


Figure 29: Placette d'échantillonnage

b) La correction de la pente et la mesure des distances horizontales

Comme déjà mentionné ci-dessus, les dimensions de référence pour les placettes sont de 625 m² de superficie et de 25 m de côté sur une surface horizontale, quand la pente est inférieure ou égale à 9 degrés. De même pour les sous-placettes, les dimensions sont de 25 m² et pour les cadres 0,25 m² (Tableau 16). Ainsi, les dimensions des placettes, des sous-placettes et des cadres augmentent avec la pente.

Lorsque le terrain est plat, ces dimensions peuvent être mesurées directement. Par contre, lorsque le terrain est en pente égale ou supérieure à 9 degrés, la longueur horizontale diffère de celle projetée. Un facteur de correction devra donc être appliqué (Equation 9) (cf. annexe I)

$$d1 = AC = \frac{AB}{\cos \alpha} = \frac{d}{\cos \alpha} \quad (\text{Correia et al., 2012}) \quad (9)$$

5.2 Collecte des données

5.2.1 Quantification de la biomasse végétale et de la litière

a) Le DBH

Les informations sur les arbres dont le DBH est supérieur à 10 centimètres sont collectées sur la totalité de la surface des unités d'échantillonnage (les placettes), où on mesure le DBH et la hauteur de chaque individu. Voir fiche du terrain (cf. annexe II).

Le diamètre des arbres est mesuré sur l'écorce à hauteur de la poitrine, soit 1,30 m au-dessus du sol, à l'exception des cas particuliers trouvés dans le bassin et mentionnés plus bas. La prise de mesure est faite à l'aide d'un ruban diamétrique (ruban gradué en unité de diamètre en centimètre) en ceinturant l'arbre perpendiculairement au tronc. Pour éviter une surestimation du volume et pour compenser les erreurs de mesure, le ruban diamétrique est maintenu autant que possible bien tendu dans le plan qui coupe perpendiculairement l'axe de l'arbre au niveau 1,30 m et rien ne doit se trouver entre le ruban et l'écorce de l'arbre à mesurer. La photographie 6 montre les mesures de DBH dans la placette 15 qui appartient à la strate de pin pignon et dans la placette 21 qui appartient aux autres types de forêts.



Photo 6: La mesure du diamètre au niveau de la poitrine placette 15 et 21

Les cas particuliers sont les arbres à fourches, les rejets de souche, les arbres avec un élargissement à la base du tronc ou des contreforts, les arbres avec des racines aériennes, les arbres avec des irrégularités à 1,30m, les arbres penchés et les arbres tombés (FAO, Inventaire forestier national, manuel de terrain modelé, Annexe 5, Rome, Novembre 2002). On détaillera chaque cas ci-dessous des plus au moins fréquemment rencontrés :

I. Les arbres à fourches : plusieurs cas se présentent pour les arbres fourchus suivant la hauteur à laquelle bifurque la tige.

- Si la fourche à son origine (endroit où elle se divise), est à moins de 1,30 m, chaque tige ayant le diamètre nécessaire (≥ 20 cm sur l'ensemble de la placette, ≥ 10 cm pour les sous-placettes rectangulaires) sera considérée comme un arbre et sera mesurée. La mesure du diamètre de chaque tige sera faite à 1,30 m.
- Si la fourche à son origine entre 30 cm et 1,30 m, chaque tige sera considérée comme un arbre et sera mesurée. La mesure du diamètre s'effectue alors à 1 mètre au-dessus du point d'origine de la bifurcation.
- Si la fourche à son origine à 1,30 m ou juste au-dessus, l'arbre comptera comme un arbre unique. La mesure du diamètre est alors réalisée au-dessous du point d'intersection de la fourche, juste au-dessous de l'éventuel gonflement qui pourrait influencer le DBH.

II. Rejets de souche : les rejets de souches prennent naissance entre le niveau du sol et 1,30m sur le tronc d'arbres qui sont morts ou ont été coupés. Ils sont considérés de la même façon que les arbres fourchus, sauf que les rejets de souches ne doivent pas nécessairement être au 1/3 du diamètre du tronc mort. Les rejets de souches prenant naissance au-dessous de 30 cm sont mesurés à 1,30 m du sol ; ceux qui initient entre 30 cm et 1,30 m sont mesurés à 1 mètre au-dessus du point d'origine.

III. Arbres avec un élargissement à la base du tronc ou des contreforts : la mesure du diamètre s'effectue à 30 cm de la fin du renflement ou de l'évasement principal des contreforts, si le contrefort/renflement s'élève à plus de 1 m au-dessus du sol.

IV. Arbres avec des racines aériennes : la mesure du diamètre s'effectue à 1,30 m de la limite entre le tronc et les racines.

V. Arbres avec des irrégularités à 1,30m : pour les arbres avec des renflements, des excroissances, des nœuds, des blessures, des creux et des branches, etc., à hauteur de poitrine, les arbres sont mesurés juste au-dessus de l'irrégularité, là où elle cesse d'affecter la forme normale du tronc.

VI. Arbres penchés : la mesure du diamètre s'effectue à 1,30 m le long du tronc et sur la face du dessous.

VII. Arbres tombés : prendre le diamètre à 1,30 m à partir du collet (transition entre la tige et la racine).

VIII. Arbres tombés vivants avec des branches en forme d'arbre poussant verticalement par rapport à la tige principale. Lorsqu'un arbre couché vivant et touchant le sol a des branches verticales (<45° de la verticale) provenant de la tige principale, il faut déterminer d'abord si le cœur de la tige principale est au-dessus de la litière ou non. Si c'est le cas, nous

utilisons les mêmes règles que pour un arbre fourchu. Si la moelle de la tige principale est en dessous de la litière, il faut ignorer la tige principale et traiter chacune des branches en forme d'arbre comme un arbre séparé. On mesure le DBH (et la hauteur) à 1,30 m à partir du sol, mais pas à partir du sommet de la tige couchée. Si la cime de la tige couchée forme une courbe verticale par rapport au sol, cette portion d'arbre est traitée comme si c'était un arbre individuel, prenant naissance là où la moelle quitte la litière (Figure 30).

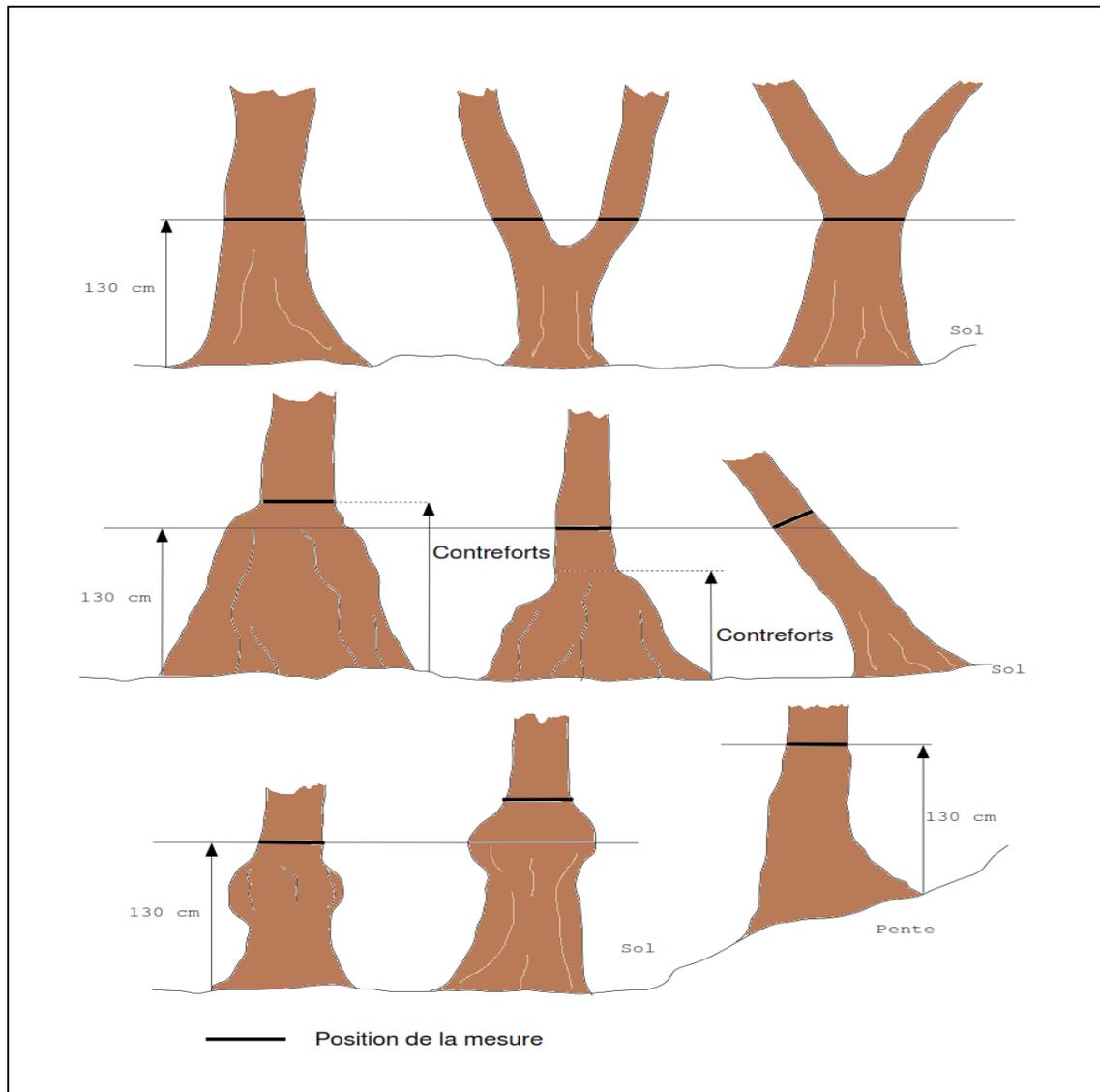


Figure 30: Différentes formes d'arbres rencontrés sur le terrain

b) Mesure de la hauteur des arbres

La mesure de la hauteur des arbres peut se faire avec divers instruments comme le Blume-Leiss, Haga altimètre, Relascope de Bitterlich.... Pour notre étude, nous avons utilisé le « Nikon forestry Pro Laser Range finder » et le « Blume-Leiss Hypsometre » dans les forêts denses où la canopée arbustive ne permet pas au faisceau laser du « range finder » de cibler le sommet de l'arbre. (cf annexe III)

c) Échantillonnage des herbacées et de la litière

La collecte des herbacées a été effectuée en récupérant uniquement la partie aérienne dans les 4 quadrants au 4 coins de chaque placette. Elles sont étiquetées et envoyées au laboratoire (Photographie 7). Après l'échantillonnage des herbacées, nous avons récupéré la litière présente dans chaque quadrant (Photographie 8).



Photo 7 : Collection des herbacées



Photo 8 : Collection de litière

5.3 Etude du sol

5.3.1 Propriétés physiques du sol (texture et densité)

a) Analyse chimique et texturale

Nous avons échantillonné les sols afin de mesurer les macroéléments et les microéléments essentiels présents dans le sol, la texture du sol, le pourcentage de matière organique du sol, le pH et la conductibilité. Pour cela, nous avons collecté quatre sous-échantillons au centre des quatre

quadrants après avoir coupé et collecté la biomasse aérienne des herbacées et récupéré la litière. Lorsque l'épaisseur du sol dépasse 30 cm, nous avons prélevé un échantillon composite de 0 à 30 cm, sans considération des différents horizons pédologiques. Lorsque l'épaisseur est inférieure à 30 cm, nous avons échantillonné l'ensemble du sol, de 0 cm à la profondeur maximale, sans prendre en compte les éventuels horizons (Photographie 9). Ces échantillons de sol sont séchés à l'air libre puis nous regroupons les échantillons des quatre quadrants de la placette pour former un échantillon composite de sol.

Pour cette étude, nous avons adopté la méthode du niveau 1 (cf. 2.3.3.1 Méthodes d'estimation du C des sols GIEC, 2006) où les stocks de C organique des sols minéraux sont calculés à une profondeur qui est par défaut de 30 cm. Les stocks de C des résidus végétaux et de la litière ne sont pas pris en compte dans le calcul du carbone du sol, mais ils sont inclus pour l'estimation des stocks de la litière (GIEC, 2006) (cf. annexe IV).



Photo 9: Echantillonnage de sol dans les quatre coins de la placette

b) Analyse de la densité

Cet échantillonnage a pour objectif de calculer la densité apparente, le pourcentage de particules fines de dimension inférieure à 2 mm et le pourcentage des graviers de dimension supérieure à 2 mm. Pour cette raison, dans chaque placette, trois échantillons par strate, sont pris aléatoirement. Les profondeurs de strates étant réparties de la manière suivante : 0 -30 cm ; 30-60 cm ; 60-90 cm ; 90-120 cm (Photographie 10). En utilisant des cylindres de volume de 110 cm³ environ. (cf. annexe V)



Photo 10: Echantillons de sol pour évaluer la densité

c) Identification des horizons

Pour l'observation et l'identification des horizons des 50 profils, il est nécessaire de creuser dans le sol une tranchée (ou de trouver des tranchées déjà creusées grâce à l'aménagement de nouvelles routes agricoles dans les espaces forestiers). Les tranchées doivent être suffisamment larges et profondes pour laisser apparaître le profil en entier et atteindre la roche mère. Cette profondeur est extrêmement variable dans le bassin versant suivant les types de sol. Ces profils varient de quelques centimètres pour les sols faiblement évolués à plus de 110 cm comme dans la première placette (Photographie 11). Dans le cadre de cette recherche, nous n'avons cependant pas réalisé l'identification systématique des sols.



Photo 11: distribution des horizons

5.4 Analyses des échantillons

L'analyse des sols permet d'identifier leur nature, texture, densité et fertilité (taux en macro et microéléments). Elle permet de détecter les taux de MO dans les sols. Quantifier la biomasse de la litière, des herbacées, des arbustes et des arbres est un moyen d'estimer les stocks de carbone

présent dans ces 5 compartiments.

Dans le cadre de cette recherche, nous avons procédé à une analyse, au laboratoire du Lari, sur 50 échantillons de sol pour avoir les informations nécessaires sur le pourcentage de la MO, la texture et les macro et microéléments. 245 échantillons de sol sont traités pour identifier leur densité et fraction de particules inférieure à 2mm, 113 échantillons herbacées et 188 échantillons de litières (396 traitements) ont été traités au laboratoire du CNRS libanais, pour quantifier le carbone présent.

5.4.1 Analyse de sol

Le sol est composé d'une phase solide, minérale et organique, d'une phase liquide et d'une phase gazeuse. L'analyste doit connaître avec précision la quantité effective de la phase solide afin de rapporter les résultats à une base stable et reproductible.

a) Analyse granulométrique et masse volumique du sol

Le sol est analysé après séchage à l'air et tamisage à 2mm. L'analyse texturale a été réalisée par densimétrie après dispersion à l'hexametaphosphate (Darwish, 1998 ; Pansu & Gautheyrou, 2006). Pour déterminer les taux d'argiles, de limons et de sable présents dans le sol (cf. annexe IV).

La masse volumique apparente ou la densité apparente d'un échantillon de sol (MVA) est le rapport de la masse sèche à 105° C de l'échantillon et de son volume à l'état humide (Martin et al., 2009 ; Valet, 2008). En effet, elle est utilisée pour estimer la masse de terre fine en vue de calculer les stocks de carbone et d'azote organique et d'éléments minéraux.

De cette façon, 245 échantillons de sol appartenant aux 50 placettes ont été analysés. Le protocole consiste à sécher puis à mesurer la masse de l'échantillon. Cette dernière est obtenue par pesage, après séchage dans une étuve à 105°C (Photographie 12). On mesure la masse à plusieurs reprises pour obtenir une masse constante (Photographie 13). On brise les agrégats mécaniquement avec un maillet en caoutchouc puis on tamise à 2mm pour séparer la fraction fine (inférieure à 2 mm) des éléments grossiers (supérieurs à 2mm). Finalement les deux fractions sont pesées (Photographie 14). Sachant que la masse volumique des graviers (MG) est de 2,70 (la masse volumique du quartz et surtout du calcaire) et la masse des graviers (MG) obtenue après tamisage

et pesage, on calcule le volume qui occupé par les éléments grossiers. Connaissant le volume total du cylindre et le volume occupé par les graviers et les cailloux (VG), on calcule le volume de la terre fine (VTF) ensuite la densité apparente de la terre fine (DATF) en faisant le rapport MTF/VTF (cf. annexe V).

$$VG = MG/2.7 \quad (10)$$

$$VT = VTF - VG \quad (11)$$

$$MTF = MT - MG \quad (12)$$

$$DATF = MTF / VTF \quad (13)$$



Photo 12: Séchage à l'étuve dans une étuve à 105°C



Photo 13: Mesure du poids des cylindres de sol

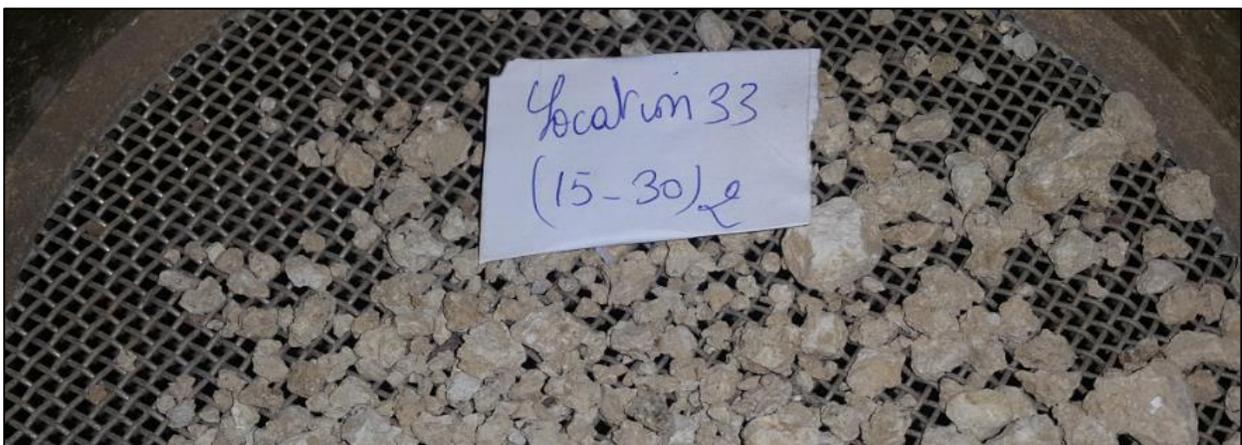


Photo 14: Séparation des particules fines des particules grossières

b) Analyse chimique du sol

Les échantillons de sol ont été broyés et tamisés pour passer 2 mm. Pour l'analyse de la matière organique, le sol a été tamisé à 200 μm . Ensuite, un échantillon de sol de 0,25 à 1 g a été attaqué avec un mélange d'acide sulfurique concentré et de bichromate de potassium (Walkley-Black, 1947 ; Ryan et al., 1996). Cette méthode a été choisie afin de pouvoir comparer nos résultats avec les autres résultats concernant la matière organique faite au Liban et avec la carte des sols. Tous ont utilisé la méthode de Rayn pour déterminer le % de MO.

Le pH a été mesuré en milieu aqueux dans un rapport sol solution de $\frac{1}{2}$ et pour la conductivité électrique (CE) elle a été mesurée en milieu aqueux dans un rapport sol/solution de 1/10 (ou 1/5) à 25°C

La détermination de Na et K s'est faite sur un extrait à l'acétate d'ammonium N puis dosé par photométrie de flamme. Pour le phosphate, nous avons utilisé la méthode de Olsen et al. (1954) adéquate pour les sols alcalins. La détermination du Ca échangeable et du Mg s'est faite sur un extrait par le chlorure d'ammonium mieux adapter au sol calcaire dosé par colorimétrie.

Le CaCO_3 actif est généralement lié au CaCO_3 total, représentant environ 50% environ du CaCO_3 total. La méthode se base sur une réaction avec un excès d'oxalate d'ammonium suivie d'un titrage avec permanganate en milieu acide (Riyan et al. 1996) (cf. annexe VI).

c) Quantification de la litière et des herbacées

La litière est séchée à l'air libre pour réduire le taux d'humidité (Photographie 15) puis placée à une étuve dans des boîtes en aluminium à 105 °C pendant 48 heures (Sicot, 1976). Cette opération est refaite plusieurs fois afin d'obtenir un poids sec fixe.



Photo 15: Les échantillons de litières stockés avant le séchage à l'étuve



Photo 16: Séchage de la litière à l'étuve et Mesure de la partie aérienne des herbacées

La partie aérienne des herbacés est séchée pendant 48 heures à 75°C. Au terme de ce laps de temps, les échantillons sont pesés puis remis dans l'étuve. Cette opération est répétée autant de fois que nécessaire jusqu'à obtenir un poids sec fixe (Photographie 16).

Ces analyses chimiques et physiques du sol ainsi que la mesure de la biomasse des herbacées et de la litière sont indispensables pour obtenir les données nécessaires pour la quantification du stock de carbone dans ces trois réservoirs et pour comprendre les interactions et les facteurs qui influent sur ces stocks.

Chapitre 6 : Equations allométriques et analyses statistiques

Ce chapitre propose une revue de la littérature des équations allométriques spécifiques utiles pour déterminer la biomasse et le stock de Carbone des espèces arborescentes et arbustives. Ensuite, nous présentons la démarche statistique et les tests adoptés pour l'analyse des données.

6.1 Principales équations allométriques des arbres et des arbustes

Pour la quantification de la biomasse des arbres et des arbustes et après avoir mesuré la hauteur des arbres et leur diamètre au niveau de la poitrine, il faut intégrer ces données dans des équations allométriques spécifiques pour pouvoir en déduire leur biomasse

Pour cela, nous adoptons une approche non destructive en utilisant les équations allométriques. Celles-ci ont été obtenues à partir d'une recherche bibliographique approfondie. Il a fallu faire face à un certain nombre de difficultés : le manque de données, des publications anciennes, et d'autres qui donnent des équations qui ne permettent d'estimer directement soit la biomasse totale (biomasse aérienne, biomasse souterrain) soit partielle (uniquement la biomasse aérienne) en fonction des prédicteurs que sont le diamètre du tronc, la densité du bois et la hauteur totale (Chave et al., 2005)

Ces estimations peuvent être sujettes à des erreurs liées au choix de l'équation allométrique (Chave et al., 2004 ; Molto et al., 2013), à l'erreur de prédiction du modèle et aux erreurs de mesure des variables dendrométriques induisant un écart entre les valeurs réelles et les valeurs calculées par le modèle allométrique (Chave et al., 2004 ; van Breugel et al., 2011).

Grâce à une revue de la littérature très chronophage, il a finalement été possible de retrouver des équations allométriques spécifiques pour les espèces arborées et arbustives du BVNB. Elles sont appliquées pour la première fois au Liban. Ainsi, il a été possible de quantifier le stock de carbone des forêts de notre bassin versant. En outre, ces équations pourront utilement être utilisées dans d'autres bassins-versants libanais (cf. chapitre 7).

En réalisant cette étude dans le bassin versant, nous avons pu identifier plusieurs espèces arbustives dont le Cèdre, le Pin pignon, le Pin brutia, Cyprès vert, Oxycèdre, Chêne Calliprine, Chêne infectoria, Caroubier, Arbousier de Chypre, Pistachier de Palestine, Olivier, Charme-houblon, Aulne, Platane d'Orient et Peuplier noir (cf. annexe VII). Pour chacune de ces espèces,

nous adopterons les équations allométriques spécifiques (Tableau 16). Ces équations sont présentées en détail pour chaque espèce dans l'annexe VIII.

6.1.1 Equations allométriques des arbres

Tableau 16: Les équations allométriques spécifiques des arbres

Espèces	Biomasse aérienne (AGB)	Biomasse souterraine (BGB)	Biomasse totale (TB)
Cèdre du Liban (<i>Cedrus libani</i>)	$37,21449 + (-8,08322 \times D) + (0,644812 \times D^2)$ (Durkaya et al., 2013)	$AGB \times 0,387$ (Monero et Ruiz, 2005)	AGB + BGB
Pin pignon (<i>Pinus pinea</i>)	$AGB = 280,1 \times C^{2,33} \times H^{0,19} / 1000$ (Correia et al., 2012) Avec $C = D \times \pi / 100$	$AGB \times 0,1834$ (Monero et Ruiz, 2005)	AGB + BGB
Pin brutia (<i>Pinus brutia</i>)	$AGB = e^{0,406 + 8,991 \times \frac{d}{d+24,021} + 0,030 \times h}$ (De-Miguel et al., 2014)	$AGB \times 0,3089$ (Monero et Ruiz, 2005)	AGB + BGB
Cyprès vert (<i>Cupressus sempervirens</i>)	$AGB = 10^{(-0,748 + 0,786 \times \text{Log}(D^2 \times h)) / 1000}$ (Zohary, 1984)	$AGB \times 0,3089$ (Monero et Ruiz, 2005)	AGB + BGB
Genévrier oxycèdre (<i>Juniperus oxycedrus</i>)	$AGB = W_t = \sum(W_i)$ $W_w = (0,01289 \times D^2 \times H) / 1000$ $W_b = (0,000772 \times D^2 \times H) / 1000$ $W_{br} = (0,00204 \times D^2 \times H) / 1000$ $W_f = (0,00098 \times D^2 \times H) / 1000$ (Vargas-Larreta et al., 2017)	$AGB \times 0,3089$ (Monero et Ruiz, 2005)	AGB + BGB
Chêne calliprine (<i>Quercus calliprinos</i>)	$AGB = \sum(\text{tige, branches et feuilles})$ Tige = $0,143 \times d^2$ Branches épaisses = $[0,0684 \times (d - 12,5)^2 \times h] \times Z$ Si : $d \leq 12,5$ cm donc $Z = 0$; $d > 12,5$ cm donc $Z = 1$; Branches moyennes = $0,0898 \times d^2$ Branches minces et feuilles = $0,0824 \times d^2$ (Ruiz-Peinado et al., 2012)	BGB = Racines = $0,254 \times d^2$ (Ruiz-Peinado et al., 2012)	AGB + BGB
Chêne infectoria (<i>Quercus infectoria</i>)	$AGB = \sum(\text{tige et branches})$ Tige et branches épaisses = $0,0261 \times h \times d^2$ Branches moyennes = $-0,0260 \times d^2 + 0,536 \times h + 0,00538 \times d^2 \times h$ Branches minces = $0,898 \times d - 0,445 \times h$ (Ruiz-Peinado et al., 2012)	Racines = $0,143 \times d^2$ (Ruiz-Peinado et al., 2012)	AGB + BGB

Espèces	Biomasse aérienne (AGB)	Biomasse souterraine (BGB)	Biomasse totale (TB)
Caroubier (<i>Ceratonia siliqua</i>)	AGB= \sum (tige, branches et feuilles) Tige = $0,142 \times d^{1,974}$ Branches épaisses = $0,104 \times d^2$ Branches moyennes = $0,0538 \times d^2$ Branches minces et feuilles = $0,151 \times d^2 - 0,00740 \times d^2 \times h$ (Ruiz-Peinado Gertrudix et al., 2012)	Racines = $0,335 \times d^2$ (Ruiz-Peinado Gertrudix et al., 2012)	AGB + BGB
Arbousier de Chypre (<i>Arbutus andrachne</i>)	AGB = $(a + b \times D^2) / 1000$ a = -2,7563 b = 0,3045 (Zianis, Muukkonen, Mäkipää, & Mencuccini, 2005)	BGB = $3,7 \times \text{AGB}$ (Silva & Rego, 2004)	AGB + BGB
Pistachier de Palestine (<i>Pistacia palaestina</i>)	AGB= $\pi \times d^2 \times h \times \rho / (4 \times 100)$ (Engel & Frey, 1996) et (Picard, 2012)	BGB = $0,3 \times \text{AGB}$ (Mokany et al. 2006 et FRA Liban 2005)	TBM=AGB \times 1,3
Olivier (<i>Olea europaea</i>)	Tige = $0,0114 \times d^2 \times h$ Branches épaisses = $0,0108 \times d^2 \times h$ Branches moyennes = $1,672 \times d$ Branches minces et feuilles = $0,0354 \times d^2 + 1,187 \times h$ (Ruiz-Peinado Gertrudix et al., 2012)	Racines = $0,147 \times d^2$ (Ruiz-Peinado Gertrudix et al., 2012)	AGB + BGB
Charme-houblon (<i>Ostrya carpinifolia</i>)	AGB = $-4,5877 + 5,2638 \times 10^{-3} \times d^2 \times h + 4,09 \times 10^{-1} \times d^2$ (Gasparini, Nocetti, Tabacchi, & Tosi, 2002)	BGB = $\text{AGB} \times 0,26$ (Mokany et al., 2006 ; Cairns et al., 1997)	ABG + BGB
Aulne (<i>Alnus orientalis</i>)	AGB= \sum (tige et branches) Tige : = $0,0191 \times d^2 \times h$ Branches épaisses et moyennes = $0,0512 \times d^2$ Branches minces et feuilles = $0,0567 \times d \times h$ (Ruiz-Peinado Gertrudix et al., 2012)	Racines = $0,214 \times d^2$ (Ruiz-Peinado Gertrudix et al., 2012)	ABG + BGB
Platane d'Orient (<i>Platanus orientalis</i>)	AGB = $V \times \rho$ $V = a \times \text{DBH}^b \times H^c$ a = 0,000613 ; b = 1,510 ; c = 0,706 ρ : densité du bois égale à 0,67 g/cm ³ (Yoon et al., 2013)	BGB = $\text{AGB} \times 0,3$ (Mokany et al. 2006 et FRA Liban 2005)	ABG + BGB
Peuplier noir (<i>Populus nigra</i>)	AGB= $\pi \times d^2 \times h \times \rho / (4 \times 100)$ $\rho = 0,43$ (Crivellaro & Schweingruber, 2013)	BGB = $\text{AGB} \times 0,3$ (Mokany et al. 2006 et FRA Liban 2005)	ABG + BGB

6.1.2 Equations allométriques des arbustes

Tableau 17: Equations allométriques des arbustes et des arbres dont le DBH est inférieur à 10 cm

Espèces	Biomasse aérienne (AGB)	Biomasse souterraine (BGB)	Biomasse totale (TB)
Prune d'ourse (<i>Prunus ursina</i>)	$AGB = \pi \times d^2 \times h \times \rho / (4 \times 100)$ ρ : Densité du bois = 0,60 g/cm ³ (Crivellaro et al., 2013)	$BGB = AGB \times 0,3$ (Mokany et al. 2006 et FRA Liban 2005)	ABG + BGB
Poire syrien (<i>Pyrus syriaca</i>)	$AGB = \pi \times d^2 \times h \times \rho / (4 \times 100)$ ρ : Densité du bois = 0,52 g/cm ³ (Crivellaro et al., 2013)	$BGB = AGB \times 0,3$ (Mokany et al. 2006 et FRA Liban 2005)	ABG + BGB
Arbre de Judée (<i>Cercis siliquastrum</i>)	$AGB = \pi \times d^2 \times h \times \rho / (4 \times 100)$ ρ : Densité du bois = 0,61 g/cm ³ (Crivellaro et al., 2013)	$BGB = AGB \times 0,3$ (Mokany et al. 2006 et FRA Liban 2005)	ABG + BGB
Aliboufier du Liban <i>Styrax officinalis</i>	$AGB = \pi \times d^2 \times h \times \rho / (4 \times 100)$ ρ : Densité du bois = 0,61 g/cm ³ (Crivellaro et al., 2013)	$BGB = AGB \times 0,3$ (Mokany et al. 2006 et FRA Liban 2005)	ABG + BGB

6.2 Tests et méthodes statistiques

Pour traiter statistiquement et analyser les données et les informations issues des échantillons des 50 placettes, il fallait d'abord vérifier la distribution, suivant une loi normale ou non, de la distribution statistique des données étudiées. Pour cette raison, il est donc nécessaire de débiter par un test de normalité.

Nous avons utilisé le logiciel Xlstat pour tous les analyses statistiques.

6.2.1 Test de Normalité

Afin de tester la normalité d'une distribution, le logiciel Xlstat propose les quatre tests statistiques de Shapiro-Wilk, de Jarque-Bera, de Anderson-Darling et de Lilliefors.

Par rapport aux autres tests, celui de Shapiro-Wilk permet de vérifier la normalité de la distribution statistique des petits effectifs ($n \leq 50$). Il couvre donc parfaitement le nombre d'échantillons réalisés dans cette étude.

6.2.2 Test de corrélation

Pour déterminer la relation entre les 5 stocks de carbone étudiés et les différents paramètres analysés, nous avons appliqué un test de corrélation. Comme les variables ne suivent pas la loi

normale, nous adoptons le test de corrélation de Spearman. Le logiciel Xlstat permet de dresser le tableau de corrélation indiquant les relations entre les variables étudiées.

6.2.3 Analyse en Composantes Principales (ACP)

Dans notre étude nous avons eu recours à l'Analyse en Composantes Principales ACP pour comprendre les relations entre les 5 réservoirs de carbone (le sol, la litière, les herbacées, les arbustes et les arbres).

6.2.4 Analyse selon la Classification Ascendante Hiérarchique (CHA)

Nous avons utilisé la classification ascendante hiérarchique (CAH) pour diviser l'ensemble des placettes en groupes et sous-groupes similaires présentant des caractéristiques homogènes. Cette approche nous permet de mieux visualiser les similarités / dissimilarités entre les placettes étudiées et de bien analyser le comportement et les interactions des 5 stocks de carbone.

6.2.5 La régression linéaire

Afin de prévoir les taux de matière organique dans le sol, nous avons recours à la régression linéaire qui nous permet d'établir une équation estimant une variable expliquée, ici le pourcentage de matière organique (MO%) à partir d'autres variables explicatives.

6.2.6 L'interpolation

Enfin, pour réaliser l'interpolation spatiale de nos résultats nous avons adopté la méthode du krigeage qui est la plus couramment utilisée pour spatialiser les stocks de carbone. (Göl et al., 2017 ; Bhunia et al., 2018)

Pour plus de détail sur les méthodes statistiques (cf. annexe IX).

Conclusion de la deuxième partie

Comme il n'est pas possible de travailler sur l'ensemble du territoire libanais, nous avons opté pour une zone d'étude : le bassin versant du Nahr Beyrouth représentatif du système forestier du Liban. Les méthodes présentées dans cette partie nous permettent ainsi d'obtenir les informations les plus représentatives possibles du stock de ce bassin-versant. Le choix du nombre et la taille des placettes a exigé un travail de terrain préalable important. Finalement, le nombre de 50 placettes s'avère selon la méthode à plusieurs strates, représentatives de la biomasse arborée du

bassin versant du Nahr Beyrouth.

La méthodologie d'estimation du carbone est fondée sur les recommandations faites par la FAO ainsi que sur des équations allométriques. Si les techniques d'échantillonnage de biomasse et de sol restent standard, la difficulté a été de trouver une équation allométrique spécifique à chaque espèce d'arbre. Après de longues recherches bibliographiques, il a été possible de dégager des équations qui nous permettent de nous rapprocher le plus possible de la réalité. Le travail de cette thèse ne s'est pas limitée à la collecte des données, puisqu'il a fallu procéder à l'analyse physico-chimique en laboratoire de plus de 245 échantillons de sol.

Cette approche méthodologique nous a permis de collecter des données inédites au Liban et de contribuer ainsi à la connaissance plus précise du stock de carbone dans le contexte forestier de la méditerranée orientale. En effet, si les méthodes proposées par l'UNFCCC et le protocole de Kyoto pour les calculs des émissions et des puits restent général au niveau national, voire, régional, des approches plus fines peuvent alimenter la réflexion sur les mécanismes des stocks de carbone, notamment forestiers.

Troisième partie

Résultats et discussions

Introduction de la troisième partie

Cette dernière partie concerne la présentation et la discussion des résultats et est divisée en trois chapitres. Dans le premier, nous décrivons les résultats obtenus par l'analyse du sol, la texture (teneur en argile, limon et sable) la densité du sol fin, la MOS, les concentrations de potassium (K), de phosphore (P), de calcium échangeable (Ca^{2+}), de magnésium (Mg^{2+}) de fer (Fe^{2+}), sodium (Na^+), le CEC, et le pH. Ensuite nous interprétons les biomasses de la litière, de la végétation herbacée, des arbustes et des arbres. Et enfin nous présentons les résultats des stocks de carbone des 5 compartiments (sol, litière, végétation herbacée, les arbustes et les arbres). Dans le deuxième chapitre, nous divisons les placettes en trois groupes suivant leurs stocks de carbone pour distinguer l'interaction entre ces 5 compartiments. La relation entre ces 5 compartiments est analysée à l'aide d'une analyse en composantes principales (ACP). Les relations entre la MOS, la biomasse végétale, la litière et les différentes variables sont identifiées à l'aide du coefficient de corrélation de Spearman. Et finalement, nous établissons une équation qui estime les taux de MOS à partir de trois de ces variables. Dans le troisième chapitre, nous spatialisons les stocks de carbones arborés dans les forêts du bassin versant.

Chapitre 7 : Stock du carbone dans les placettes des forêts du Bassin versant

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats des variables obtenus par les analyses du sol au laboratoire dont la texture, les macroéléments (N, P, K, Ca, Mg), les microéléments (Fe et Na), le pH, la conductivité électrique E_c et l'étude des horizons. Puis nous présentons les stocks de carbone des 5 compartiments en comparant ces résultats entre les deux strates qui composent le bassin-versant du Nahr Beyrouth.

7.1 Descriptions et caractéristiques du sol

7.1.1 Texture du sol

Le bassin versant de Nahr Beyrouth est situé sur des différents types de sols connus grâce à la carte des sols du Liban, réalisée par le CNRS en 2006 à l'échelle de (1 :50 000). Dans cette carte, la description des profils des sols a été réalisée en suivant la méthodologie de la FAO (FAO-ISRIC, 1990). Les sols dans cette carte ont été nommés suivant 3 nomenclatures : celle de la FAO

- UNESCO (Batjes, 1997), celle de la base de référence mondiale (WRB, 1998) et celle de la taxonomie des sol, 1996 (Darwish, 2006).

En fonction de la superficie occupée, les principaux sols rencontrés sont les suivants : les *Eutric Arenosols*, les *Haplic Luvisols*, les *Leptic Luvisols*, les *Lithic Leptosols*, les *Humi-Eutric Cambisols*, les *Hypoluvis Arenosols*, les *Leptic Andosols* et les *Eutric Regosols* (Figure 31).

La carte utilise la classification SOTER et la légende (*soil color chart*) de la FAO. D'après ce document, quarante-trois placettes sur les cinquante que nous étudions, sont situées sur 3 types de sols.

Dix-neuf placettes sont localisées sur des *Eutric Regosols* qui sont des sols non calcaires mais saturés par des cations issus d'une fertilisation naturelle. L'épipédon de ces sols ne permet pas de les différencier.

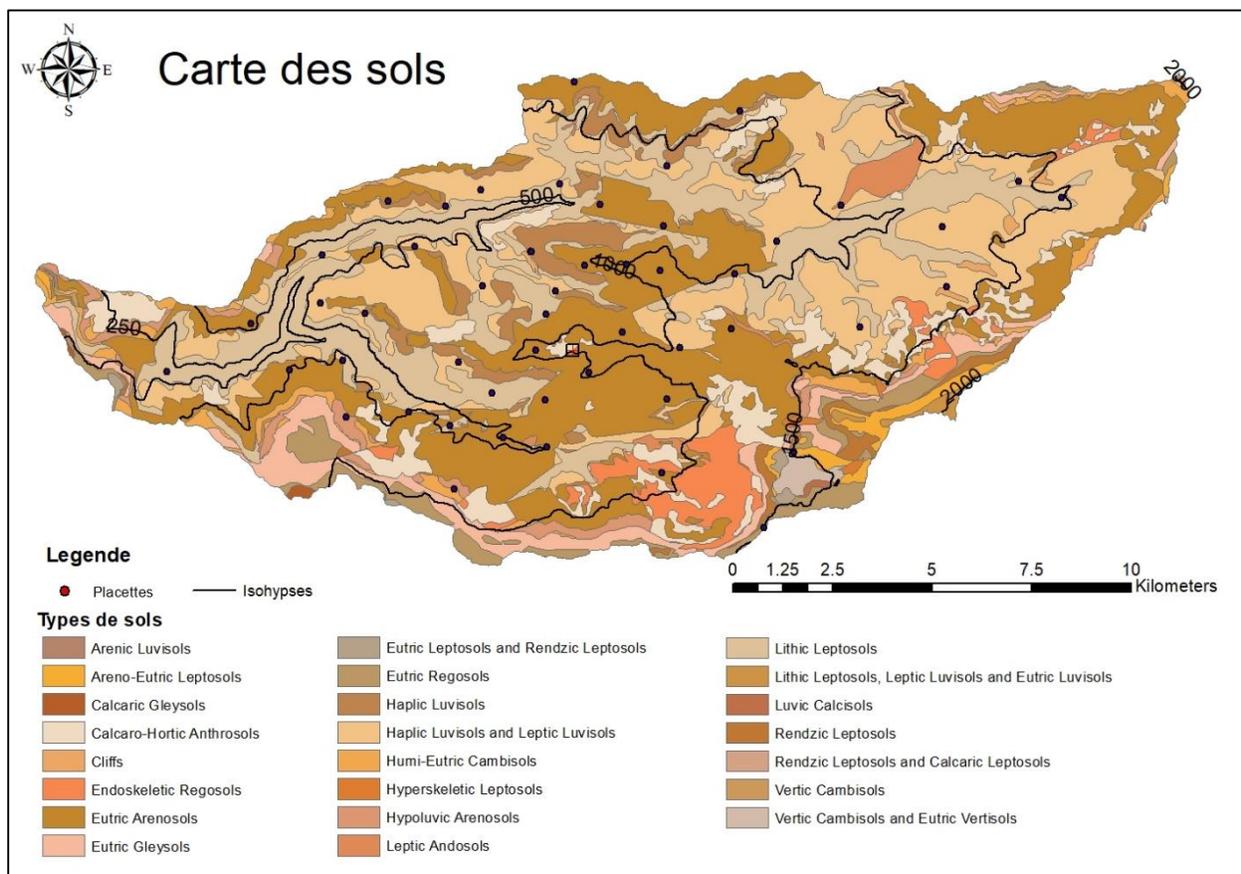


Figure 31: Distribution des placettes sur les différents types de sol (Darwish, 2006)

Seize placettes sont localisées sur des *Haplic Luvisols* et des *Leptic Luvisols*. Les Luvisols sont des sols où l'argile quitte la couche superficielle pour s'accumuler dans l'endopédon sous l'action du lessivage et dans des bonnes conditions de drainage. Les sols Hapliques ne représentent pas des caractéristiques significatives, alors que les sols Leptiques sont des sols où la profondeur varie entre 10 et 50 cm et qui se reposent sur une roche mère dure et continue. Cette roche mère se trouve entre 25 et 100 cm de profondeur.

Pour finir, huit placettes sont localisées sur des *Lithic Leptosols* (Darwish, 2006). Les Leptosols sont des sols caillouteux dont le taux de cailloux dépasse les 80%. Ils sont classifiés comme lithiques lorsque la profondeur du sol ne dépasse pas les 10 cm.

Les résultats des analyses texturales sont donnés dans la figure 32. Les textures des sols dans le bassin versant de Nahr Beyrouth sont dominées par 3 groupes : argileux (20 placettes), limono-argilo-sableux (13 placettes) et limono-sableux (11 placettes). En outre, 4 sites sont de type argilo-sableux, un de type limono-sableux et, enfin, un de type sablo-limoneux (Figure 32). On observe, par conséquent, une grande variabilité spatiale dans la texture du sol entre les placettes.

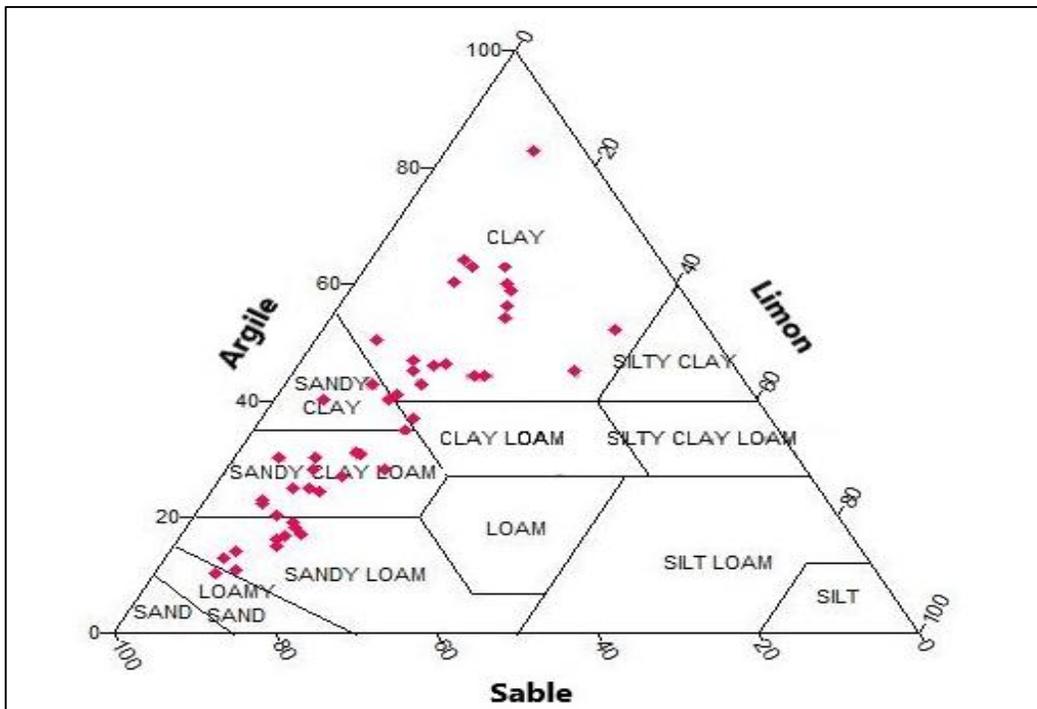


Figure 32: Distribution texturale des sols selon la classification texturale du département d'agriculture des États-Unis (USDA). (Tavernier et Maréchal, 1958)

Les analyses texturales en laboratoire de tous les échantillons prélevés entre 0 et 30 cm de

profondeur du sol (la moitié des placettes ont des sols peu profonds ne dépassant pas les 30 cm) ont montré que le taux d'argile dans l'ensemble des placettes varie de 10,3 % (placette numéro 11) à 82,9 % (placette numéro 40). La placette 40 comprend des anciens sols qui sont couverts par une couche de cailloux (Photographie 17). Le taux de sable varie entre 6,4 % (placette numéro 40) et 82,2% (placette numéro 11) (Photographie 18) tandis que le taux de limon dans le sol varie entre 5,4 % (placette numéro 15) et 36 % (placette numéro 33).

Dans ces placettes, le pH varie entre 6,2 (la placette numéro 1) et 7,8 (placette numéro 45) (Tableau 18). La variation totale du pH entre les sols échantillonnés des placettes est donc de 1,6.



Photo 17: Le sol argileux et caillouteux de la placette numéro 40



Photo 18: Le sol sableux de la placette numéro 11

Tableau 18: Texture, pH et conductibilité

Placette	Pourcentage				Texture du sol (0 – 30 cm)	pH	Conductibilité (ms)
	MO	Sable	Limon	Argile			
1	2,8	68,2	14,7	17,0	Limon sableux	6,2	0,083
2	6,5	20,2	34,7	45,0	Argile	7,7	0,172
3	3,2	54,2	14,7	31,0	Limon argilo-sableux	6,3	0,069
4	3,7	68,2	14,7	17,0	Limon sableux	6,7	0,062
5	2,8	58,2	14,7	27,0	Limon argilo-sableux	6,6	0,053
6	2,2	72,2	12,7	15,0	Limon sableux	6,7	0,032
7	3,5	46,2	18,7	35,0	Argile sableux	7,4	0,111
8	3,0	40,2	14,7	45,0	Argile	7,5	0,104
9	2,7	68,2	12,7	19,0	Limon sableux	6,9	0,047
10	12,3	44,2	14,7	41,0	Argile	7,3	0,240
11	1,2	82,2	7,4	10,3	Sable limoneux	7,5	0,042
12	4,2	62,2	13,4	24,3	Limon argilo-sableux	6,4	0,065
13	4,3	24,2	11,4	64,3	Argile	6,9	0,088
14	6,4	24,2	21,4	54,3	Argile	7,3	0,131
15	4,7	64,2	5,4	30,3	Limon argilo-sableux	6,9	0,058
16	4,2	79,2	9,8	11,0	Limon sableux	6,6	0,058
17	3,7	63,2	11,8	25,0	Limon argilo-sableux	6,5	0,045
18	3,0	65,2	9,8	25,0	Limon argilo-sableux	6,7	0,033
19	6,0	39,2	13,8	47,0	Argile	7,3	0,117
20	5,4	21,2	19,8	59,0	Argile	7,1	0,057
21	4,5	52,2	19,4	28,3	Limon argilo-sableux	7,1	0,203
22	3,4	62,2	13,4	24,3	Limon argilo-sableux	7,3	0,093
23	3,1	68,2	13,4	18,3	Limon sableux	6,9	0,032
24	2,6	70,2	7,4	22,3	Limon argilo-sableux	6,8	0,149
25	5,5	42,2	7,4	50,3	Argile	7,3	0,159
26	2,7	80,0	7,1	12,9	Limon sableux	6,9	0,040
27	6,2	24,0	13,1	62,9	Argile	7,2	0,156
28	3,0	70,0	7,1	22,9	Limon argilo-sableux	6,9	0,047
29	5,0	54,0	15,1	30,9	Limon argilo-sableux	7,2	0,033
30	6,6	20,0	17,1	62,9	Argile	7,1	0,142
31	7,6	53,7	6,0	40,3	Argile sableux	7,3	0,129
32	10,3	35,7	18,0	46,3	Argile	7,0	0,205
33	8,5	11,7	36,0	52,3	Argile	7,5	0,191
34	5,2	45,7	14,0	40,3	Argile sableux	7,5	0,158
35	2,8	71,7	12,0	16,3	Limon sableux	7,2	0,062
36	3,3	70,4	12,7	16,9	Limon sableux	6,8	0,033

Placette	Pourcentage				Texture du sol (0 – 30 cm)	pH	Conductibilité (ms)
	MO	Sable	Limons	Argile			
37	6,0	46,4	10,7	42,9	Argile sableux	7,0	0,091
38	5,7	44,4	18,7	36,9	Limons argileux	6,9	0,146
39	9,0	40,4	16,7	42,9	Argile	7,4	0,147
40	6,2	6,4	10,7	82,9	Argile	7,5	0,110
41	6,0	23,1	20,7	56,2	Argile	7,2	0,141
42	7,8	33,1	22,7	44,2	Argile	7,2	0,206
43	6,6	21,1	18,7	60,2	Argile	7,0	0,213
44	3,6	37,1	16,7	46,2	Argile	7,5	0,118
45	1,7	61,1	10,7	28,2	Limons argilo-sableux	7,8	0,089
46	2,7	77,7	8,0	14,3	Limons sableux	7,6	0,039
47	5,8	59,7	10,0	30,3	Limons argilo-sableux	7,6	0,063
48	6,4	31,7	24,0	44,3	Argile	7,5	0,158
49	3,0	69,7	10,0	20,3	Limons sableux	7,3	0,066
50	6,0	27,7	12,0	60,3	Argile	7,5	0,134

Une corrélation significative de 0.63 indique une relation positive entre la profondeur des sols et la teneur en sable analysée à une profondeur de 0 à 30 cm (Figure 33).

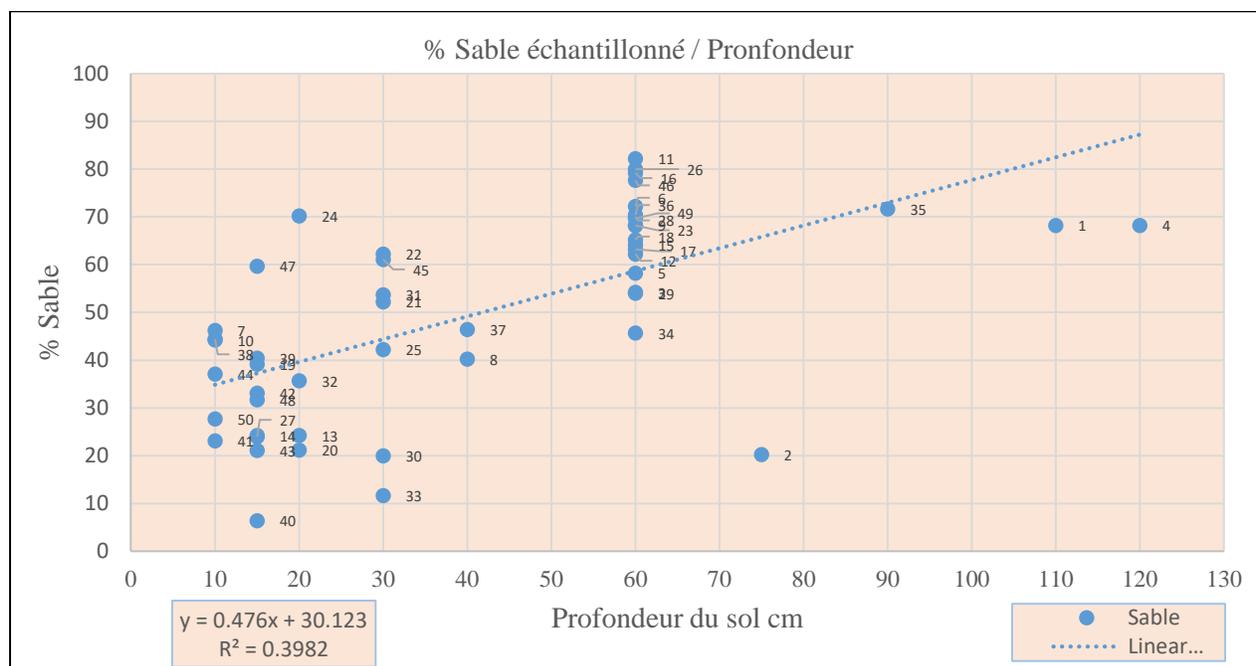


Figure 33: Taux de sable élevé dans les échantillons de sols peu profonds

Plus ceux-ci sont profonds plus le pourcentage en sable augmente dans ces sols (en particulier dans les échantillons pris entre 0 et 30 cm). A l'inverse, la teneur en argile diminue significativement

dans les sols profonds ($r= 0.67$) (Figure 34).

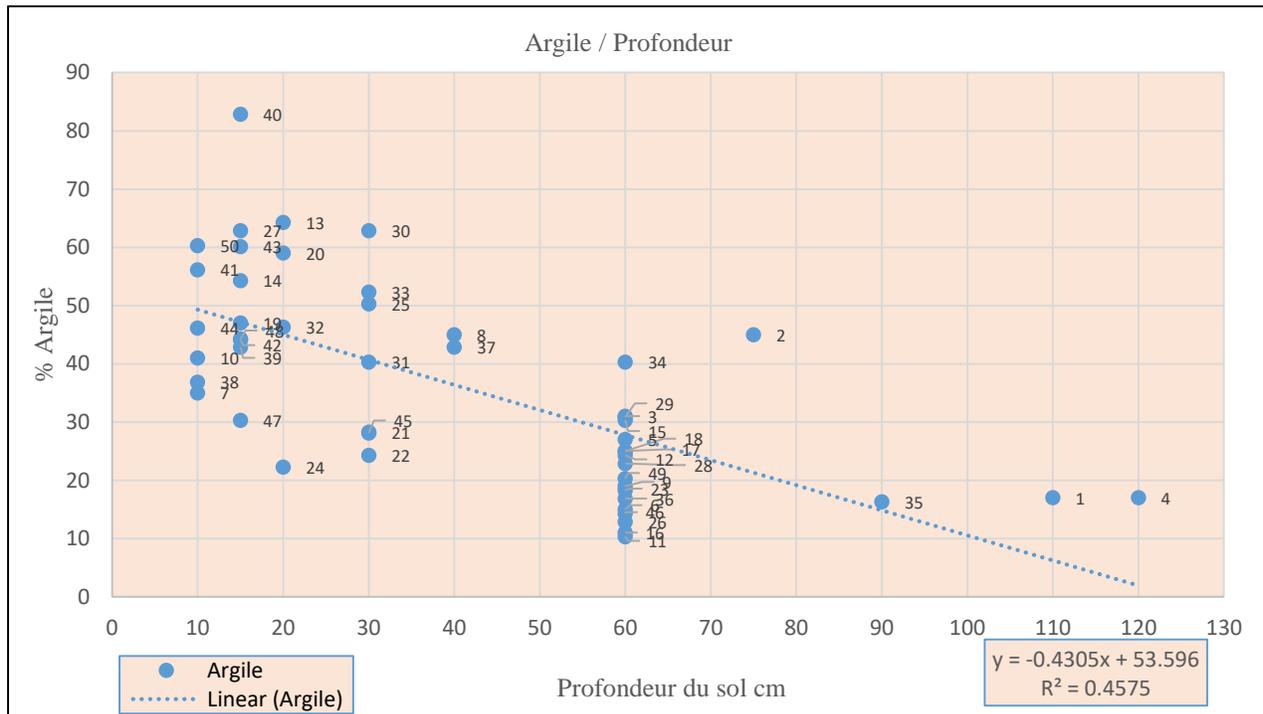


Figure 34: Le taux d’argile est important dans les échantillons des sols peu profonds

7.1.2 La distribution des Horizons

L’étude des horizons pédologiques permet d’en savoir plus sur la formation et l’évolution des sols et de définir l’épaisseur de la couche O (horizon organique).

Les observations sur le terrain ont montré une hétérogénéité dans les profils des sols dans notre bassin d’étude, même à l’échelle d’une même placette. L’étude des horizons pédologiques permet de savoir plus sur la formation et l’évolution de ces sols et de définir l’épaisseur de la couche O (horizon organique). Ces observations montrent que la plupart des profils étudiés dans le bassin versant sont peu profonds, même superficiels, et constitués de sols jeunes peu évolués (Photographie 19).

Dans la plupart des profils étudiés, l’horizon C (horizons minéraux de profondeur) se situe à moins de 60 cm de profondeur à l’exception des placettes 1, 4 et 35 (Figure 35) qui se caractérisent par des *Eutric Arenosols* (sol sableux) et de la placette 2 qui est un *Haplic Luvisols* formé par des dépôts de colluvion caillouteux avec un taux élevé d’argile (Photographie 20). Ces rares placettes aux sols profonds sont occupées par des pin pignon.



Photo 19: Sols jeunes superficiels sur modèle karstique. Placette 41

Les profils de 19 placettes (7, 10, 13, 14, 19, 20, 24, 27, 32, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 47, 48 et 50) ne dépassent pas les 20 cm d'épaisseur. Seulement 5 d'entre elles, sont occupées par le pin pignon (14, 19, 20 47 et 50) tandis que les autres sont occupées par d'autres types de forêts.

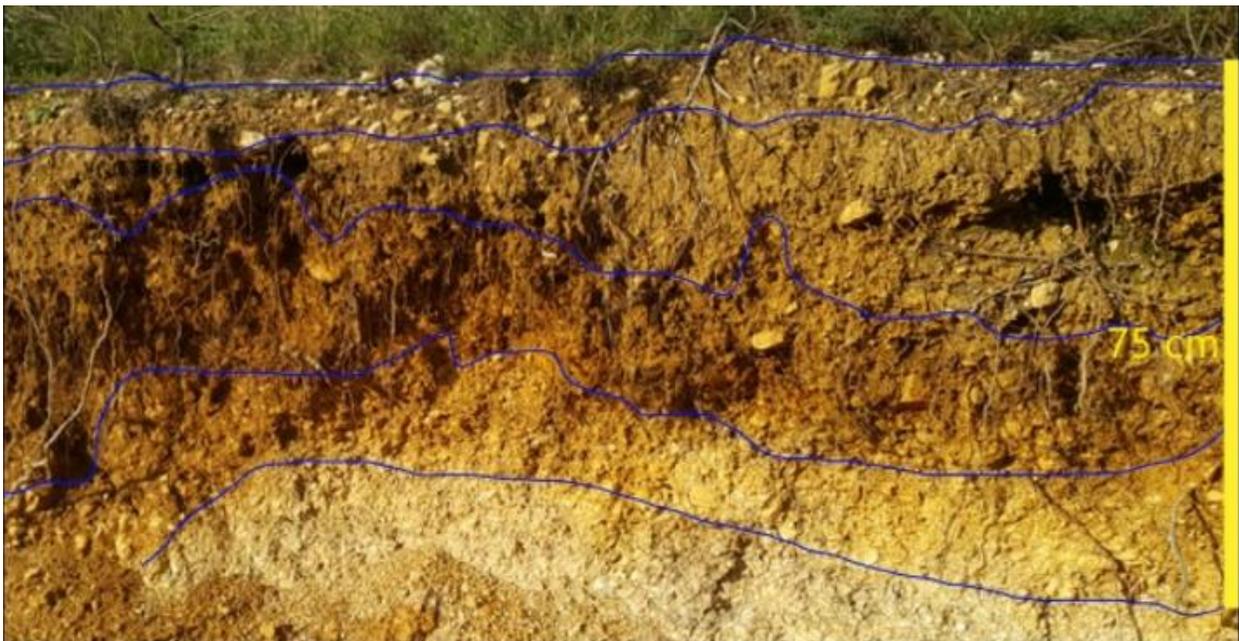


Photo 20: Profil du sol épais de 75 cm. Placette 2

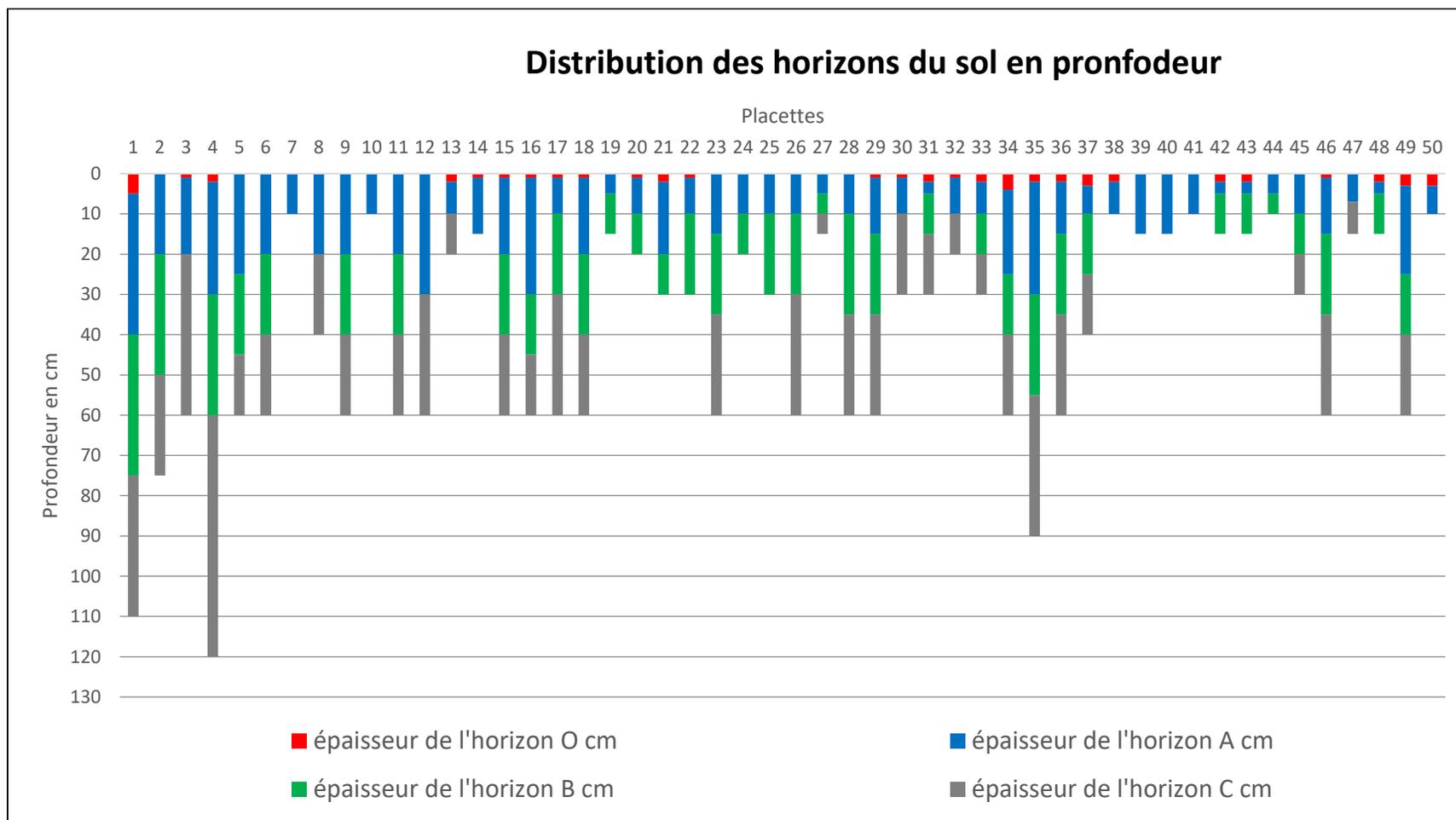


Figure 35: Epaisseur des horizons des 50 placettes

En général les placettes qui se trouvent dans la strate de pin pignon ont des sols plus profonds que ceux des placettes des autres types de forêts.

7.1.3 Concentration des macros et des microéléments dans le sol

Les sels minéraux jouent un rôle important dans le développement de la biomasse végétale. Présents sous forme de macroéléments (N, P, K, Ca, et Mg) et microéléments (Fe et Na), ils sont indispensables à la croissance des végétaux et par conséquent, à la captation du carbone (CO_2) dans la biomasse végétale.

Les matières organiques qui retournent au sol forestier sont de natures variées : résidus végétaux, feuilles et branches d'arbre et autres produits organiques issus des activités humaines (amendement des plantations de pin pignon par le fumier de poules). Cette matière organique subit une dégradation biologique et une minéralisation des composés organiques qui assure l'azote. Tandis que le phosphore provient des roches phosphatées et des résidus des végétaux et des animaux.

La concentration en phosphore (P) Olsen⁵ (Olsen et al., 1954) d'un sol est un indice clé qui peut être utilisé pour évaluer la capacité d'approvisionnement en P du sol et pour en estimer le taux de fertilisation optimale. Dans les placettes étudiées, la concentration moyenne du phosphore est de 39,25 ppm et peut atteindre 159,2 ppm avec un minimum de 0,4 ppm. Cette teneur maximale mesurée dans la placette numéro 21 pourrait s'expliquer par le fait que ce site est traversé par un cours d'eau contaminé par les égouts des villages en amont. D'autres placettes (2, 10 et 39) sont des sites de pâturages qui, par conséquent contiennent des taux élevés de pentoxyde de phosphore P_2O_5 . A l'inverse, la valeur minimale de la placette numéro 26 est probablement associée à la texture sableuse du sol qui est de 80% (Tableau 19).

Les bornes de concentrations en oxyde de potassium généralement relevés pour les sols fertiles varient de 250 ppm à 850 ppm. Dans le bassin-versant du Nahr Beyrouth, les échantillons de sol ont des teneurs qui varient de 924 ppm (maximum) et 34.8 ppm (minimum). La moyenne étant de 351,3. Cette moyenne se situe donc dans la fourchette connue (250 à 850 ppm) et la concentration de K_2O reste donc acceptable. Dans le détail, les concentrations en K_2O de 28 placettes sont situés dans cette fourchette alors que 22 sont en dehors. Une concentration de sable élevée et une faible concentration d'argile pourraient expliquer ces valeurs hors « normes » en terrain de culture.

⁵ Olsen P : Phosphore assimilable par la plante

Les concentrations du magnésium varient entre un taux maximal de 968 ppm (placette numéro 33 située dans une forêt de Cèdre) et un taux minimal de 48,4 ppm (placette numéro 17 qui est une forêt de pin pignon aménagée par des terrasses, utilisées comme un site de camping). La moyenne est de 255,6 ppm située dans la fourchette de 60 ppm à 300 ppm, couramment admise.

La teneur maximale de calcium échangeable est de 6800 ppm relevée dans la placette numéro 40 où le taux de sable est faible estimé à 6,4% et taux d'argile élevé à 82,9 %. Tandis que la teneur minimale de calcium est de 240 ppm (placette 11), elle résulte de la texture du sol représentée par un taux de sable élevé de 82,2% et un taux d'argile réduit de 10,3%. La moyenne du calcium est de 3038 ppm. A l'exception des 4 sites (11, 23, 26 et 36) tous les autres points présentent des valeurs en calcium comprises entre 700 et 3 500 ppm.

Le tableau 19 montre un taux de fer maximal de 55,4 ppm (placette numéro 2) et un taux minimal de 1,1 ppm (placette numéro 1) avec une moyenne de 14,1 ppm. Cette concentration moyenne de fer disponible dans le bassin versant est considérée comme une concentration idéale pour le développement de la végétation (Lindsay et Norvell, 1978).

Finalement, le taux maximal de Na (sodium) échangeable est de 72 ppm et le taux minimal est de 19 ppm avec une moyenne de 40,7 ppm. Nous n'observons donc aucun problème de sodicité dans le bassin versant. Toutes les concentrations de Na sodium échangeables sont très faibles (1 - 40 ppm) à faibles (41 - 80 ppm) et sont de très loin inférieures à 1 500 ppm (10 ESP⁶), valeur considérée comme le seuil au niveau duquel cette concentration de sodium échangeable commence à causer des stress hydriques pour les plantes.

⁶ ESP : Pourcentage de sodium échangeable

Tableau 19: La concentration des macro et des microéléments dans les échantillons de sol

Placette	P ₂ O ₅ Olsen ppm	K ₂ O ppm	Na ppm	Mg ppm	Ca ²⁺ ppm	Fer ppm
1	21	123,6	37	96,8	1040	1,1
2	154,4	300	41	145,2	4960	55,4
3	18,6	205,2	51	338,8	1440	19,1
4	8,5	103,2	36	96,8	1440	2,8
5	15,7	201,6	30	145,2	1360	13,0
6	15,5	58,8	29	48,4	880	18,5
7	27,4	136,8	38	48,4	2480	44,9
8	11,4	259,2	52	290,4	3040	3,8
9	4,4	115,2	40	193,6	880	27,9
10	152,3	666	53	726	5760	10,6
11	8,79	34,8	19	96,8	240	11,3
12	6,6	159,6	32	338,8	1040	2,0
13	15,9	850,8	59	387,2	5360	8,2
14	28,2	734,4	41	968	3600	7,4
15	1,8	324	31	242	1600	4,1
16	18,1	55,2	28	48,4	1600	9,3
17	2,8	297,6	34	48,4	1040	7,3
18	15,2	237,6	24	242	1040	3,8
19	39,2	679,2	33	48,4	3920	33,4
20	9,7	644,4	57	435,6	4080	3,5
21	159,2	374,4	27	96,8	2800	19,4
22	4,7	56,4	23	96,8	1280	2,6
23	6,6	48	26	193,6	640	2,9
24	10,4	226,8	22	193,6	1520	43,3
25	30,6	436,8	36	96,8	3440	6,1
26	0,4	48	29	96,8	640	25,9
27	59,8	764,4	44	48,4	5360	6,2
28	6,3	322,8	22	338,8	960	3,4
29	21	228	22	96,8	1120	7,0
30	20,3	801,6	42	338,8	5200	18,2
31	13,3	367,2	55	96,8	5040	3,5
32	25	397,2	68	242	6000	5,2
33	34,9	600	43	968	4000	11,2
34	47,6	384	30	145,2	4400	40,9
35	5,6	81,6	28	96,8	800	38,9

Placette	P ₂ O ₅ Olsen ppm	K ₂ O ppm	Na ppm	Mg ppm	Ca ²⁺ ppm	Fer ppm
36	9,2	130,8	29	774,4	560	4,7
37	71	463,2	53	145,2	5520	1,8
38	54,8	624	60	629,2	6160	8,7
39	158,5	618	56	145,2	6640	4,3
40	57,6	384	65	145,2	6800	5,8
41	50,2	429,6	67	774,4	5360	15,4
42	99,1	397,2	72	96,8	5040	22,4
43	75,8	708	71	242	6240	2,7
44	26,3	666	45	242	3360	17,2
45	20,5	132	32	242	1600	46,1
46	32,9	91,2	23	96,8	1440	8,9
47	96	222	46	145,2	3600	19,3
48	95	924	58	435,6	2800	6,8
49	23,8	88,8	30	387,2	1200	15,2
50	70,8	361,2	46	145,2	5600	3,8

Finalement, l'ensemble de ces résultats permettent de conclure que les sols étudiés contiennent des taux de macro et micro éléments favorables au développement des forêts.

7.2 Stocks de carbone du bassin versant

Après l'interprétation des résultats de la texture, les macros et les microéléments du sol, le pH et la salinité, nous entamons notre étude avec les calculs des stocks de carbone dans les 5 compartiments.

7.2.1 Matière organique dans les sols

Les recherches sur les dynamiques du C ont généralement été consacrées aux horizons superficiels (0-30 cm) de sol considérés par les agronomes qui sont aussi les horizons de référence dans le cadre des travaux du GIEC et des inventaires nationaux d'émission de carbone. En outre, plus de la moitié du COS est située en dessus de 30 cm de profondeur (GIEC, 2006). La plupart des calculs faits dans le cadre de ce travail se réfèrent à cet horizon.

Pour quantifier la matière organique en tonnes par hectare, il faut appliquer les formules suivantes :
Equation 30 :

- $SOC = C_{\text{content}} \times BD \times t \times 0.1 \times (1 - PCF)$ (Darwish et al., 2017, 2018)

Où :

- SOC = Stock de Carbone dans le sol (en tonnes C ha⁻¹)
- C_{contenu} = la quantité de carbone en mg contenu (mg C. g soil⁻¹) dans la fraction fine du sol (< 2 mm) en gramme.
- BD = densité apparente des particules fines (masse du sol fin / volume du sol fin) (g.cm⁻³)
- t = épaisseur (profondeur, en cm), la profondeur maximale dans notre étude est de 30 cm
- PCF = taux des fragments grossières (> 2mm)
- 0.1= facteur de conversion pour le SOC en t. ha⁻¹

Et pour avoir les résultats en tonne de matière organique par hectare, il faut multiplier par un coefficient de valeur 1,72⁷ (FAO, 1984) ; (Soltner, 2014);

$$\text{MO \%} = \text{C}_{\text{sol \%}} \times 1,72$$

La teneur en matière organique du sol (MOS) (MOS %, ou g/100 g de sol sec) est la teneur en carbone du sol (C %, ou g/100 g de sol sec).

Les résultats de MOS montrent qu'en moyenne les sols contiennent 94 t ha⁻¹ de MOS ou 54 tC ha⁻¹, un minimum de 27 t ha⁻¹ de MOS ou 15 tC ha⁻¹ (placette 44) et un maximum de 220 t MOS ha⁻¹ ou 128 tC ha⁻¹ (placette 33) (Tableau 20).

La placette numéro 33 présente les teneurs en carbone du sol (COS) les plus élevés (128 tC ha⁻¹) même-ci la profondeur des sols de cette placette ne dépassent les 30 cm. Or, les arbres affectent le stockage de C de plusieurs manières. Les conifères comme le cèdre libanais dont le système racinaire est peu profond, ont tendance à accumuler la MOS dans les horizons superficiels beaucoup plus que dans les horizons les plus profonds. Contrairement aux espèces d'arbres à feuilles caduques (Jandl, 2007), le site 33 est une forêt de cèdres plantées au cours des années soixante dans le cadre d'un projet du plan vert. L'accumulation des aiguilles et le développement des racines superficielles des cèdres (Photographie 21) au cours de ces soixante années dans des sols argileux (taux d'argile 52,3 %) ont assuré un stock stable de carbone (Torn et al., 1997 ; Torn et al., 2002 ; Hagedorn et al., 2003) dans le sol (le taux de matière organique dans le sol est de 8,5 %) malgré une pente de 18,8 degrés. En outre, ces sols ont été protégés par la plantation de cédrailles qui ont formé un chevelu racinaire superficiel dense. A l'inverse, la placette 44 contient le taux le

⁷1.72 : Ce facteur conventionnel est attribué à van Bemmelen (1890), à Emil von Wolff (1864), voire à Carl Sprengel (1826). Il est basé sur des anciennes études montrant que la matière organique du sol contient 58 % de carbone.

plus faible de carbone en raison de la présence de sols dont l'épaisseur ne dépasse pas les 10 cm. Située à 704 mètres d'altitude, la combinaison des caractéristiques du sol, de la pente de 23.3 degrés et de la température ne favorise pas la stabilité du stock (Photographie 22).



Photo 21: Aiguilles de cèdre qui couvrent les racines superficielles très denses (placettes 33)

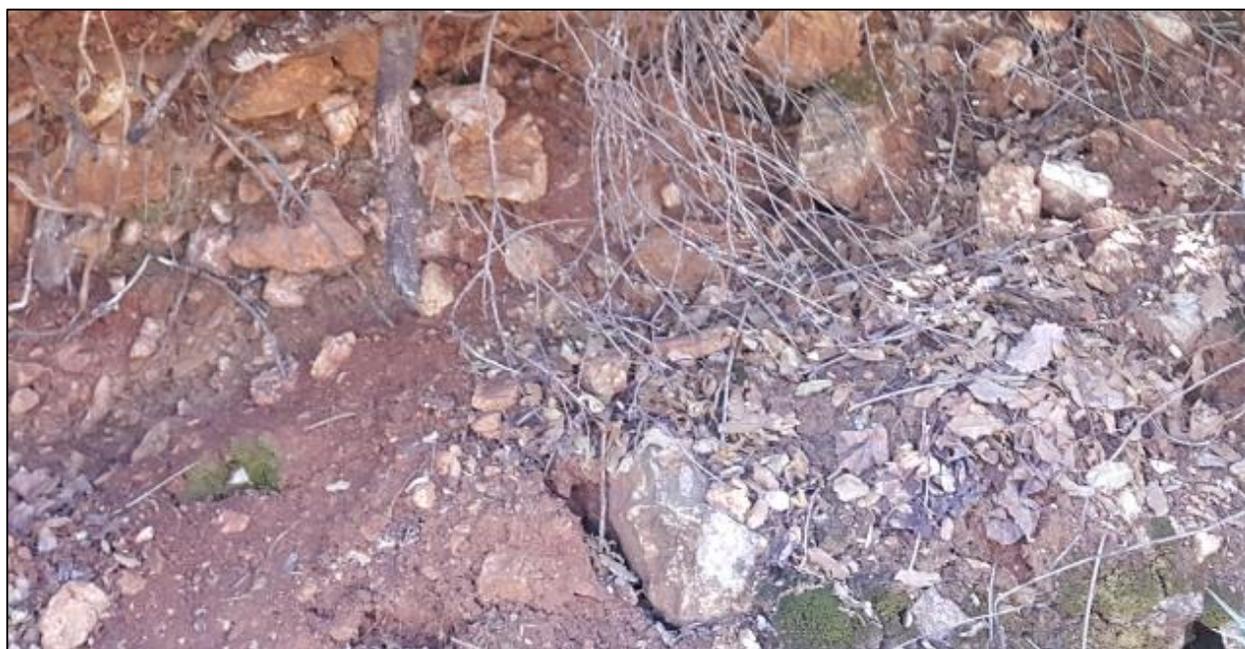


Photo 22: Sols érodés nus, peu profonds et couverts par quelques feuilles de chêne (Placettes 44)

Tableau 20: Les taux de matière organique et de carbone dans le sol

Placette	Epaisseur de prélèvement en cm	Volume du sol en m ³ /m ²	Volume des cailloux dans le sol en m ³ /m ²	Volume de la terre fine en m ³ /m ²	Densité apparente de la terre fine	COS %	MOS %	SOC t ha ⁻¹	OMS t ha ⁻¹
1	30**	0,3	0,04	0,26	1,09	1,7	2,8	47	81
2	30**	0,3	0,06	0,24	0,61	3,8	6,5	55	95
3	30*	0,3	0,01	0,29	1,39	1,8	3,2	75	129
4	30**	0,3	0,01	0,29	1,36	2,2	3,7	84	145
5	30*	0,3	0,02	0,28	1,49	1,6	2,8	68	118
6	30*	0,3	0,01	0,29	1,35	1,3	2,2	50	86
7	10	0,1	0,01	0,09	0,98	2,0	3,5	18	31
8	30*	0,3	0,06	0,24	0,70	1,7	3,0	29	50
9	30*	0,3	0,02	0,28	1,03	1,6	2,7	45	78
10	10	0,1	0,02	0,08	0,87	7,2	12,3	47	81
11	30*	0,3	0,02	0,28	1,28	0,7	1,2	24	42
12	30*	0,3	0,02	0,28	1,45	2,4	4,2	97	167
13	20	0,2	0,02	0,18	0,68	2,5	4,3	30	52
14	15	0,15	0,01	0,14	0,87	3,7	6,4	45	77
15	30*	0,3	0,01	0,29	1,07	2,7	4,7	85	147
16	30*	0,3	0,02	0,28	1,03	2,4	4,2	71	122
17	30*	0,3	0,01	0,29	1,07	2,1	3,7	66	113
18	30*	0,3	0,03	0,27	1,17	1,8	3,0	56	97
19	15	0,15	0,01	0,14	1,13	3,5	6,0	53	92
20	20	0,2	0,02	0,18	0,85	3,1	5,4	46	80
21	30	0,3	0,00	0,30	0,96	2,6	4,5	75	129
22	30	0,3	0,01	0,29	1,24	2,0	3,4	70	122
23	30*	0,3	0,06	0,24	0,73	1,8	3,1	32	56
24	20	0,2	0,01	0,19	0,96	1,5	2,6	28	48
25	30	0,3	0,02	0,28	0,99	3,2	5,5	88	151
26	30	0,3	0,04	0,26	1,31	1,6	2,7	54	93
27	15	0,15	0,03	0,12	0,68	3,6	6,2	30	52
28	30*	0,3	0,05	0,25	0,77	1,7	3,0	34	58
29	30*	0,3	0,01	0,29	1,41	2,9	5,0	119	205
30	30	0,3	0,04	0,26	0,91	3,8	6,6	90	156
31	30	0,3	0,05	0,25	0,62	4,4	7,6	68	117
32	20	0,2	0,02	0,18	0,61	6,0	10,3	65	112
33	30	0,3	0,06	0,24	1,07	4,9	8,5	128	220
34	30*	0,3	0,04	0,26	0,83	3,0	5,2	65	112
35	30**	0,3	0,05	0,25	1,00	1,7	2,8	42	72

Placette	Epaisseur de prélèvement en cm	Volume du sol en m ³ /m ²	Volume des cailloux dans le sol en m ³ /m ²	Volume de la terre fine en m ³ /m ²	Densité apparente de la terre fine	COS %	MOS %	SOC t ha ⁻¹	OMS t ha ⁻¹
36	30*	0,3	0,04	0,26	1,06	1,9	3,3	52	90
37	30*	0,3	0,06	0,24	0,67	3,5	6,0	56	97
38	10	0,1	0,01	0,09	0,73	3,3	5,7	23	39
39	15	0,15	0,01	0,14	0,74	5,2	9,0	56	96
40	15	0,15	0,00	0,15	0,73	3,6	6,2	38	66
41	10	0,1	0,01	0,09	0,91	3,5	6,0	28	49
42	15	0,15	0,01	0,14	1,04	4,5	7,8	67	115
43	15	0,15	0,02	0,13	0,82	3,9	6,6	42	73
44	10	0,1	0,01	0,09	0,81	2,1	3,6	15	27
45	30	0,3	0,02	0,28	1,09	1,0	1,7	30	52
46	30*	0,3	0,03	0,27	1,11	1,6	2,7	48	83
47	15	0,15	0,02	0,13	0,89	3,4	5,8	38	66
48	15	0,15	0,01	0,14	0,76	3,7	6,4	39	68
49	30*	0,3	0,01	0,29	1,34	1,8	3,0	69	119
50	10	0,1	0,00	0,10	0,85	3,5	6,0	28	49

* : Les sols qui ont une profondeur comprise entre 30 et 60 cm

** : Les sols qui ont une profondeur supérieure à 60 cm

(cf. annexe X)

7.2.2 Biomasse et carbone de la litière :

À partir des échantillons prélevés dans les cadres placés aux quatre coins de la placette et traités en laboratoire, nous avons pu estimer le carbone de la litière de la manière suivante :

1. Calcul du facteur de mise à l'échelle (SF) : (Equation 31)
 $SF = 10000 \text{ m}^2 / \text{Surface totale des Cadres d'échantillonnage } (4 \times 0,25 \text{ m}^2 = 1 \text{ m}^2).$
2. Multiplication du SF par la quantité totale de biomasse sèche par site afin d'obtenir la biomasse sèche par hectare (Db).
3. Pour la Conversion de la biomasse en tonne de carbone par hectare (tC ha⁻¹), on utilise la fraction de carbone CF tel que fixé par le GIEC (2006). La CF pour la litière est égale à 0,37 et on le multiplie par 0,001 pour le convertir de kg en tonne.
4. Application de l'équation suivante pour l'estimation du stock de carbone par hectare Cp
 $Cp = Db * CF * 0,001$ où Cp = Stock de carbone dans la parcelle (tC ha⁻¹)

Le tableau ci-dessous montre la biomasse de litière et la quantité de carbone qu'elle contient dans chaque placette du bassin versant du Nahr Beyrouth.

La quantité moyenne de litière par hectare est de 16,01 tonnes. Le stock de carbone de la litière varie entre de 0,24 tC ha⁻¹ et 15,61 tC ha⁻¹ (Tableau 21). Il est en moyenne de 6 tC ha⁻¹. Ces valeurs illustrent la variation du stockage de Carbone de la litière dans les différentes placettes du bassin versant du Nahr Beyrouth.

La placette 23 qui est une forêt de pin pignon de pente 36,4 degré contient la plus faible quantité de C de litière en raison de sa pente raide et des interventions anthropiques qui pratiquent le brûlis sous les arbres du pin pignon pour réduire la végétation arbustive et se débarrasser de la végétation herbacée afin de permettre une récolte plus facile du pignon. En effet, la végétation présente sous les pins pignons rend plus difficile l'accès à ces forêts et le ramassage des pommes de pin pignon. Mais l'application du brûlis (Photographie 23) et la pente raide, facilitent l'érosion du sol emportant les aiguilles de pin pignons qui devraient tapisser le sol en aval de la colline pour atteindre le cours d'eau (Photographie 24).



Photo 23: Le résultat du brûlis, carbonisation des troncs de pin pignon et absence de litière (placette numéro 23)



Photo 24: Le cour d'eau en bas de la colline de la placette 23 et absence de litière.

A l'inverse, la plus grande quantité de litière se trouve dans la placette numéro 39 (Photographie 25). Ce site est occupé par des forêts de chêne calliprine et infectoria situées à 1 466 mètres d'altitude, sur un plateau montagnard de faible pente (4,8 degrés).

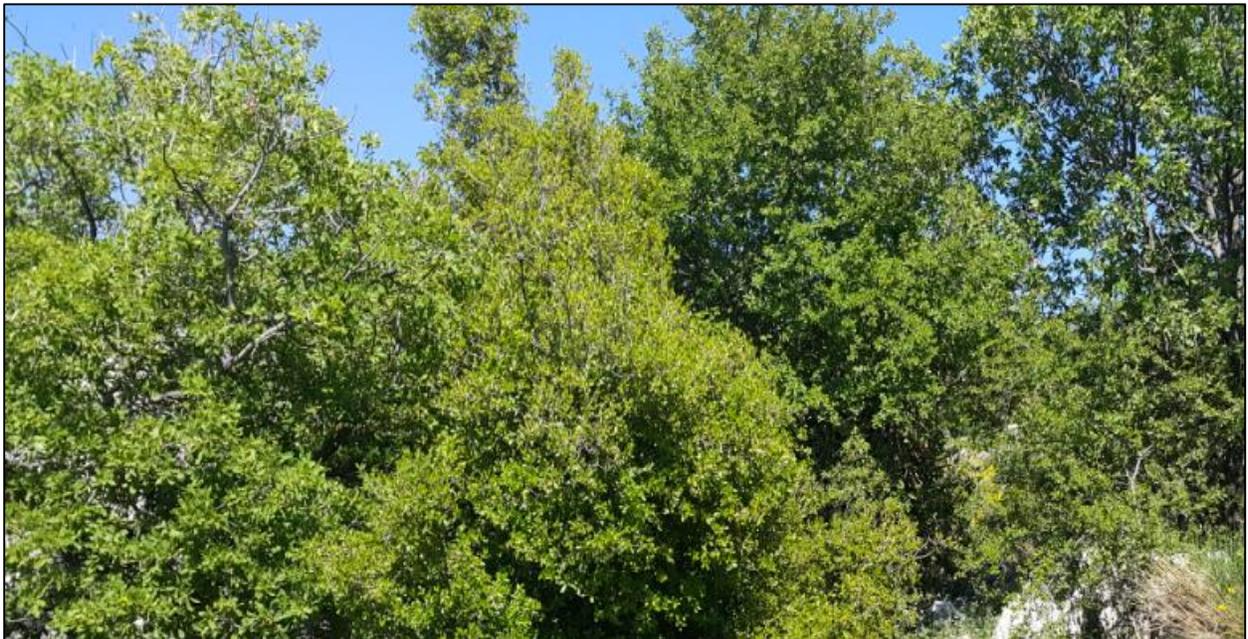


Photo 25: Forêts de chênes sur un plateau montagnard (Placette 39)

Ces conditions favorisent le stockage et la préservation de la litière. Dans ce site, cette dernière subit une dégradation lente en raison de conditions climatiques qui favorisent des hivers froids,

parfois neigeux, et ralentissent la décomposition de la litière.

Tableau 21: Les quantités de litière présentes dans les placettes du bassin versant

Placettes	Litière			Placettes	Litière		
	Biomasse sèche		Carbone		Biomasse sèche		Carbone
	kg/m ²	t. ha ⁻¹	t. ha ⁻¹		kg/m ²	t. ha ⁻¹	t. ha ⁻¹
1	1,114	11,14	4,12	26	1,504	15,04	5,56
2	0,542	5,42	2,01	27	1,652	16,52	6,11
3	1,519	15,19	5,62	28	2,115	21,15	7,82
4	1,994	19,94	7,38	29	2,309	23,09	8,54
5	1,201	12,01	4,45	30	0,966	9,66	3,57
6	0,582	5,82	2,15	31	2,939	29,39	10,88
7	0,848	8,48	3,14	32	1,102	11,02	4,08
8	0,847	8,47	3,13	33	1,831	18,31	6,77
9	1,931	19,31	7,15	34	3,654	36,54	13,52
10	2,696	26,96	9,97	35	1,85	18,5	6,85
11	2,063	20,63	7,63	36	0,728	7,28	2,69
12	0,867	8,67	3,21	37	1,581	15,81	5,85
13	1,841	18,41	6,81	38	2,7	27	9,99
14	0,912	9,12	3,37	39	4,218	42,18	15,61
15	0,672	6,72	2,49	40	1,747	17,47	6,46
16	0,918	9,18	3,4	41	2,625	26,25	9,71
17	1,298	12,98	4,8	42	1,82	18,2	6,73
18	1,544	15,44	5,71	43	2,576	25,76	9,53
19	0,602	6,02	2,23	44	2,182	21,82	8,07
20	0,612	6,12	2,26	45	2,191	21,91	8,1
21	3,106	31,06	11,49	46	1,837	18,37	6,8
22	0,961	9,61	3,56	47	1,226	12,26	4,54
23	0,066	0,66	0,24	48	0,503	5,03	1,86
24	0,402	4,02	1,49	49	1,712	17,12	6,34
25	1,453	14,53	5,37	50	1,929	19,29	7,14

La fraction de carbone CF de la litière est égal à 0,37 (GIEC, 2006). (cf. annexe XI)

Dans le site numéro 23, les interventions humaines pour la taille et la cueillette du pin pignon, l'élagage de la broussaille, et le brûlis sous les arbres pour se débarrasser de toute sorte de végétation, ont causé la quasi disparition de la litière. A l'inverse, l'absence des interventions humaines dans la placette 39 et les conditions climatiques et topographiques favorables ont mené à la préservation et l'entassement de la litière.

7.2.3 Biomasse et Carbone des herbacées

Les herbacées sont une végétation constituée d'herbes, de fleurs et de plantes aromatiques (photographie 26) :



Photo 26: La diversité végétale des forêts du bassin versant (photo R. Zoghaib)

Ces plantes qui tapissent le sol contribuent au stock de carbone forestier et nous avons prélevé la partie aérienne de ces plantes herbacées aux quatre coins des placettes étudiées. La partie souterraine a été estimée en multipliant la biomasse aérienne par 1.05 (Silva & Rego, 2004). Dans 42 placettes, le stock de carbone estimé ne dépasse pas les 2,53 tonnes de carbone par hectare et dans 8 d'entre eux le stock est égal à zéro. Les plus grands stocks, sont de 8,81 tC ha⁻¹ et 8,91 tC ha⁻¹, se retrouvent, respectivement dans les placettes 9 et 32 (Tableau 22).

Cette étude montre que les quantités de carbone stockées dans les herbacées du bassin versant sont minimales en comparaison des autres stocks de carbone forestier (cf chapitre 7). Cela peut s'expliquer par le fait que, dans les forêts de chêne denses, les herbacées ont une difficulté à pousser en raison de la réduction de la lumière sous la canopée de chêne. De même, les interventions humaines dans certains sites de forêts de pin pignon par le désherbage et le brûlis causent la réduction et même la disparition de la végétation herbacée après chaque intervention.

Tableau 22: Biomasse des plantes herbacées

Placette	Biomasse aérienne sèche (kg/m ²)	Biomasse aérienne sèche (t/ha)	Stock de carbone aérien (t/ha)	Biomasse souterraine sèche (t/ha)	Stock de carbone souterrain (t/ha)	Biomasse totale sèche (t/ha)	Carbone total (t/ha)
1	0,2043	2,04	1,02	2,15	1,07	4,19	2,09
2	0,073	0,73	0,37	0,77	0,38	1,50	0,75
3	0,137	1,37	0,69	1,44	0,72	2,81	1,40
4	0,1589	1,59	0,79	1,67	0,83	3,26	1,63
5	0,2466	2,47	1,23	2,59	1,29	5,06	2,53
6	0,1994	1,99	1,00	2,09	1,05	4,09	2,04
7	0,1065	1,07	0,53	1,12	0,56	2,18	1,09
8	0,0575	0,58	0,29	0,60	0,30	1,18	0,59
9	0,8596	8,60	4,30	9,03	4,51	17,62	8,81
10	0,0175	0,18	0,09	0,18	0,09	0,36	0,18
11	0,1387	1,39	0,69	1,46	0,73	2,84	1,42
12	0,3775	3,78	1,89	3,96	1,98	7,74	3,87
13	0,1379	1,38	0,69	1,45	0,72	2,83	1,41
14	0,1317	1,32	0,66	1,38	0,69	2,70	1,35
15	0,1887	1,89	0,94	1,98	0,99	3,87	1,93
16	0,0642	0,64	0,32	0,67	0,34	1,32	0,66
17	0,049	0,49	0,25	0,51	0,26	1,00	0,50

Placette	Biomasse aérienne sèche (kg/m ²)	Biomasse aérienne sèche (t/ha)	Stock de carbone aérien (t/ha)	Biomasse souterraine sèche (t/ha)	Stock de carbone souterrain (t/ha)	Biomasse totale sèche (t/ha)	Carbone total (t/ha)
18	0,2433	2,43	1,22	2,55	1,28	4,99	2,49
19	0,3545	3,55	1,77	3,72	1,86	7,27	3,63
20	0,1709	1,71	0,85	1,79	0,90	3,50	1,75
21	0,0565	0,57	0,28	0,59	0,30	1,16	0,58
22	0,0822	0,82	0,41	0,86	0,43	1,69	0,84
23	0,1189	1,19	0,59	1,25	0,62	2,44	1,22
24	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	0,4197	4,20	2,10	4,41	2,20	8,60	4,30
26	0,3355	3,36	1,68	3,52	1,76	6,88	3,44
27	0,1341	1,34	0,67	1,41	0,70	2,75	1,37
28	0,2167	2,17	1,08	2,28	1,14	4,44	2,22
29	0,6697	6,70	3,35	7,03	3,52	13,73	6,86
30	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
31	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
32	0,8697	8,70	4,35	9,13	4,57	17,83	8,91
33	0,0307	0,31	0,15	0,32	0,16	0,63	0,31
34	0,1126	1,13	0,56	1,18	0,59	2,31	1,15
35	0,036	0,36	0,18	0,38	0,19	0,74	0,37
36	0,0555	0,56	0,28	0,58	0,29	1,14	0,57
37	0,0735	0,74	0,37	0,77	0,39	1,51	0,75
38	0,0565	0,57	0,28	0,59	0,30	1,16	0,58
39	0,0912	0,91	0,46	0,96	0,48	1,87	0,93
40	0,022	0,22	0,11	0,23	0,12	0,45	0,23
41	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
42	0,107	1,07	0,54	1,12	0,56	2,19	1,10
43	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
44	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
45	0,0706	0,71	0,35	0,74	0,37	1,45	0,72
46	0,0459	0,46	0,23	0,48	0,24	0,94	0,47
47	0,105	1,05	0,53	1,10	0,55	2,15	1,08
48	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
49	0,2461	2,46	1,23	2,58	1,29	5,05	2,52
50	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Estimation de la partie souterraine des herbacées est estimée de 1.05 (Silva & Rego, 2004).(cf. annexe XII)

7.2.4 La biomasse des arbres et des arbustes

La biomasse des arbres et des arbustes a été déterminée en additionnant la biomasse aérienne et la biomasse souterraine de chaque individu en appliquant les équations allométriques (cf. *supra*, chapitre 6 et *infra*, Annexe XIII). Pour la transformation de la biomasse des arbres et des arbustes en stocks de carbone nous multiplions ces biomasses par 0,5 en se basant sur l'IPCC (Good Practice Guidance for LULUCF) (Penman et al. 2003). Cela nous permet de quantifier le carbone présent dans la biomasse aérienne et souterraine des arbres et des arbustes. On retrouve des valeurs moyennes de l'ordre de 170,2 t ha⁻¹. La biomasse moyenne des arbres est de 160,2 t ha⁻¹ et celle des arbustes de 10 t ha⁻¹. La quantité de carbone contenue dans les placettes en moyenne est de 85,1 tC ha⁻¹ dont 80,1 tC ha⁻¹ pour les arbres, et 5 tC ha⁻¹ pour les arbustes.

La placette numéro 21 montre la plus grande quantité de carbone arboré et arbustif avec 249 t ha⁻¹ (Photographie 27). A l'inverse, la placette numéro 30 contient la plus petite quantité de carbone dans ses arbres et arbustes qui est de 27,8 t ha⁻¹ (Photographie 28). Cette variation très importante, met en relief que le site 21 stocke 9 fois plus de carbone arborescent que le site 30 parce que ces deux sites, en réalité, n'ont pas de végétation arbustive. Le carbone calculé ne concerne que la biomasse arborée dans ces deux sites.

De plus, la placette numéro 21 est alimentée par un cours d'eau qui lui assure une alimentation hydrique continue enrichie par les minéraux nécessaires au développement des arbres en raison de la contamination de cette eau par les effluents urbains. Cette placette renferme d'immenses arbres de platanes d'orient et un gigantesque pin pignon de 27 mètres de hauteur et de 88 centimètres de diamètre au niveau de la poitrine.

A l'inverse, la placette numéro 30 se trouve dans une forêt peu dense où on trouve des arbres de pin Brutia dispersés avec quelques chênes Calliprine de petites tailles.

En prenant uniquement en compte la strate de pin pignon, le carbone stocké dans la biomasse arborescente et arbustive varie entre 36,1 et 194,8 t ha⁻¹. On peut rassembler ces placettes en 4 groupes : le premier groupe qui renferme 7 placettes qui ont un stock de carbone entre 30 et 60 tC ha⁻¹, le deuxième qui comprend 12 placettes qui ont un stock de carbone entre 60 et 100 tC ha⁻¹ et le troisième groupe dont la quantité de carbone est comprise entre 100 et 140 tC ha⁻¹ renferme 6 placettes. Le dernier groupe ne contient qu'une seule placette, avec plus de 140 tC ha⁻¹ (Tableau 23).



Photo 27: La placette numéro 21



Photo 28: La placette numéro 30

Tableau 23: Biomasse des arbres et des arbustes

Placette	Biomasse des arbres (t/ha)	Carbone des arbres (t/ha)	Biomasse arbustive (t/ha)	Carbone arbustive (t/ha)	Biomasse total (t/ha)	Carbone total (t/ha)
1	160,1	80,1	0,0	0,0	160,1	80,1
2	86,8	43,4	0,0	0,0	86,8	43,4
3	87,7	43,9	0,0	0,0	87,7	43,9
4	210,7	105,3	0,0	0,0	210,7	105,3
5	188,2	94,1	0,0	0,0	188,2	94,1
6	160,6	80,3	0,0	0,0	160,6	80,3
7	88,3	44,2	19,4	9,7	107,7	53,8
8	131,4	65,7	0,0	0,0	131,4	65,7
9	140,6	70,3	31,3	15,6	171,9	85,9
10	82,1	41,0	0,0	0,0	82,1	41,0
11	69,4	34,7	0,0	0,0	69,4	34,7
12	160,8	80,4	0,0	0,0	160,8	80,4
13	236,0	118,0	0,9	0,5	236,9	118,4
14	132,3	66,2	0,0	0,0	132,3	66,2
15	140,7	70,3	0,0	0,0	140,7	70,3
16	158,5	79,2	0,0	0,0	158,5	79,2
17	255,1	127,6	52,3	26,1	307,4	153,7
18	106,3	53,2	0,0	0,0	106,3	53,2
19	102,4	51,2	0,0	0,0	102,4	51,2
20	75,5	37,7	0,0	0,0	75,5	37,7
21	498,0	249,0	0,0	0,0	498,0	249,0
22	261,6	130,8	0,0	0,0	261,6	130,8
23	102,6	51,3	0,0	0,0	102,6	51,3
24	384,2	192,1	0,0	0,0	384,2	192,1
25	88,2	44,1	0,0	0,0	88,2	44,1
26	126,1	63,1	0,0	0,0	126,1	63,1
27	120,6	60,3	45,6	22,8	166,2	83,1
28	217,8	108,9	0,0	0,0	217,8	108,9
29	124,0	62,0	0,0	0,0	124,0	62,0
30	55,7	27,8	0,0	0,0	55,7	27,8
31	283,9	142,0	26,7	13,3	310,6	155,3
32	72,3	36,1	7,5	3,8	79,8	39,9
33	139,5	69,8	69,8	34,9	209,3	104,6
34	207,1	103,5	18,1	9,0	225,2	112,6
35	388,9	194,5	0,0	0,0	388,9	194,5

Placette	Biomasse des arbres (t/ha)	Carbone des arbres (t/ha)	Biomasse arbustive (t/ha)	Carbone arbustive (t/ha)	Biomasse total (t/ha)	Carbone total (t/ha)
36	234,6	117,3	0,0	0,0	234,6	117,3
37	35,1	17,5	75,4	37,7	110,5	55,2
38	103,3	51,6	37,4	18,7	140,662	70,3
39	85,7	42,9	14,5	7,2	100,207	50,1
40	75,6	37,8	0,0	0,0	75,612	37,8
41	75,7	37,8	0,0	0,0	75,653	37,8
42	169,0	84,5	25,4	12,7	194,422	97,2
43	217,7	108,8	20,5	10,3	238,187	119,1
44	99,2	49,6	29,4	14,7	128,580	64,3
45	113,4	56,7	18,2	9,1	131,584	65,8
46	254,0	127,0	0,0	0,0	254,010	127,0
47	127,5	63,7	0,0	0,0	127,493	63,7
48	153,1	76,6	0,0	0,0	153,116	76,6
49	273,2	136,6	0,0	0,0	273,151	136,6
50	148,9	74,4	10,0	5,0	158,865	79,4

La grande variabilité en teneur de carbone dans un espace, qui comprend une seule espèce d'arbre, peut s'expliquer par différentes hypothèses que n'avons pas pu valider dans le cadre de cette recherche : l'âge des arbres qui conditionne les capacités de captation, l'hétérogénéité des sols, l'alimentation en eau et encore les pratiques sylvicoles différentes selon les exploitants.

Le stock moyen de carbone de la biomasse arbustive et arborée est de 90 tC ha⁻¹. La valeur minimale est de 27, 8t C ha⁻¹et la valeur maximale atteint 249 tC ha⁻¹. Cette différence met en relief une variation de 1 à 9 du stock de carbone arbustive et arborée. La présence de terrains minés et la difficulté d'accès dans de certaines zones du bassin versant en sont les premiers éléments explicatifs. Au contraire, dans d'autres secteurs les interventions humaines sont beaucoup plus intenses, comprenant le pâturage, l'élagage, éclaircissage, et même la cueillette des pommes de pin et donc les pratiques qui en résultent dont les brûlis perturbent les stocks de carbone.

7.3 Stocks totaux de carbones

Les résultats obtenus dans la section précédente du chapitre 7 montrent que les stocks de carbone varient entre les différentes placettes voire même entre les différents compartiments (arbres,

arbustes, herbacées, litière, et sol). Les stocks les plus importants sont présents dans la biomasse de la strate arborescente qui contient en moyenne 80 tC ha⁻¹ suivies par les stocks de carbone du sol (quantifié dans les 30 premiers cm du sol) qui ont une moyenne de 54 tC ha⁻¹. La biomasse arborescente et les sols constituent, à elles seules, 92% du stock total de carbone des forêts du bassin versant (Figure 36).

Les trois autres compartiments, la litière, les arbustes et les herbacées ne constituent que 8% du stock total (Figure 37). En général, il est connu que le carbone contenu dans les sols forestiers est plus important que celui de la biomasse végétale (en moyenne 125 t ha⁻¹). Or, ce n'est pas le cas dans notre d'étude : le carbone des arbres et des arbustes représente 58% du stock total alors que le carbone du sol n'est que de 37% (Figure 37). Ce résultat peut être expliqué par les conditions climatiques et par les interventions humaines (pratiques sylvicoles). Le tableau 24 et figure 38 représentent les stocks de chaque compartiment des placettes étudiées.

Tableau 24: les stock de carbone dans les 5 compartiments

Placettes	C du sol t/ha	C de la litière t/ha	C des herbacées t/ha	C des arbustes t/ha	C des arbres t/ha	C de la biomasse végétales t/ha	C total t/ha
1	46,9	4,1	2,1	0,0	80,1	82,2	133,1
2	55,2	2,0	0,7	0,0	43,4	44,1	101,4
3	74,6	5,6	1,4	0,0	43,9	45,3	125,4
4	84,0	7,4	1,6	0,0	105,3	107,0	198,3
5	68,4	4,4	2,5	0,0	94,1	96,6	169,5
6	50,1	2,2	2,0	0,0	80,3	82,4	134,6
7	9,0	3,1	1,1	9,7	44,2	54,9	67,1
8	28,9	3,1	0,6	0,0	65,7	66,3	98,3
9	45,5	7,1	8,8	15,6	70,3	94,7	147,4
10	47,1	10,0	0,2	0,0	41,0	41,2	98,3
11	24,4	7,6	1,4	0,0	34,7	36,1	68,2
12	97,2	3,2	3,9	0,0	80,4	84,3	184,6
13	30,4	6,8	1,4	0,5	118,0	119,9	157,1
14	44,9	3,4	1,3	0,0	66,2	67,5	115,8
15	85,3	2,5	1,9	0,0	70,3	72,3	160,1
16	70,6	3,4	0,7	0,0	79,2	79,9	153,9
17	65,7	4,8	0,5	26,1	127,6	154,2	224,7

Placettes	C du sol t/ha	C de la litière t/ha	C des herbacées t/ha	C des arbustes t/ha	C des arbres t/ha	C de la biomasse végétales t/ha	C total t/ha
18	56,4	5,7	2,5	0,0	53,2	55,6	117,8
19	53,4	2,2	3,6	0,0	51,2	54,8	110,4
20	46,5	2,3	1,8	0,0	37,7	39,5	88,2
21	74,9	11,5	0,6	0,0	249,0	249,6	336,0
22	70,5	3,6	0,8	0,0	130,8	131,6	205,7
23	16,1	0,2	1,2	0,0	51,3	52,5	68,9
24	27,7	1,5	0,0	0,0	192,1	192,1	221,3
25	87,6	5,4	4,3	0,0	44,1	48,4	141,4
26	53,9	5,6	3,4	0,0	63,1	66,5	126,0
27	30,4	6,1	1,4	22,8	60,3	84,5	121,0
28	33,9	7,8	2,2	0,0	108,9	111,1	152,9
29	118,6	8,5	6,9	0,0	62,0	68,8	196,0
30	90,4	3,6	0,0	0,0	27,8	27,8	121,8
31	68,1	10,9	0,0	13,3	142,0	155,3	234,3
32	65,2	4,1	8,9	3,8	36,1	48,8	118,0
33	127,8	6,8	0,3	34,9	69,8	105,0	239,5
34	65,0	13,5	1,2	9,0	103,5	113,7	192,2
35	41,6	6,8	0,4	0,0	194,5	194,8	243,2
36	52,4	2,7	0,6	0,0	117,3	117,9	173,0
37	56,3	5,8	0,8	37,7	17,5	56,0	118,1
38	22,7	10,0	0,6	18,7	51,6	70,9	103,6
39	55,9	15,6	0,9	7,2	42,9	51,0	122,5
40	38,3	6,5	0,2	0,0	37,8	38,0	82,8
41	28,4	9,7	0,0	0,0	37,8	37,8	75,9
42	66,9	6,7	1,1	12,7	84,5	98,3	171,9
43	42,4	9,5	0,0	10,3	108,8	119,1	171,0
44	15,5	8,1	0,0	14,7	49,6	64,3	87,8
45	30,2	8,1	0,7	9,1	56,7	66,5	104,9
46	47,9	6,8	0,5	0,0	127,0	127,5	182,2
47	38,0	4,5	1,1	0,0	63,7	64,8	107,4
48	39,2	1,9	0,0	0,0	76,6	76,6	117,7
49	69,2	6,3	2,5	0,0	136,6	139,1	214,7
50	28,4	7,1	0,0	5,0	74,4	79,4	114,9

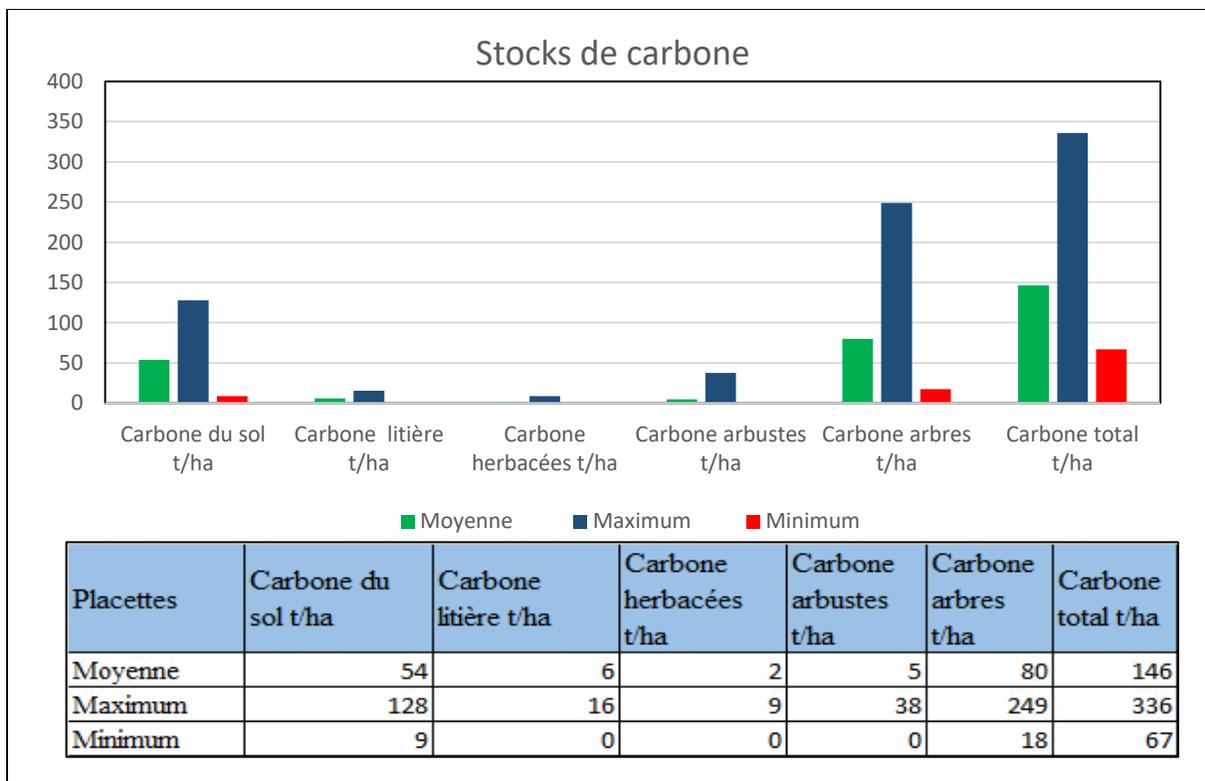


Figure 36: Variation des stocks de carbone dans les 5 compartiments. Bassin versant du Nahr Beyrouth

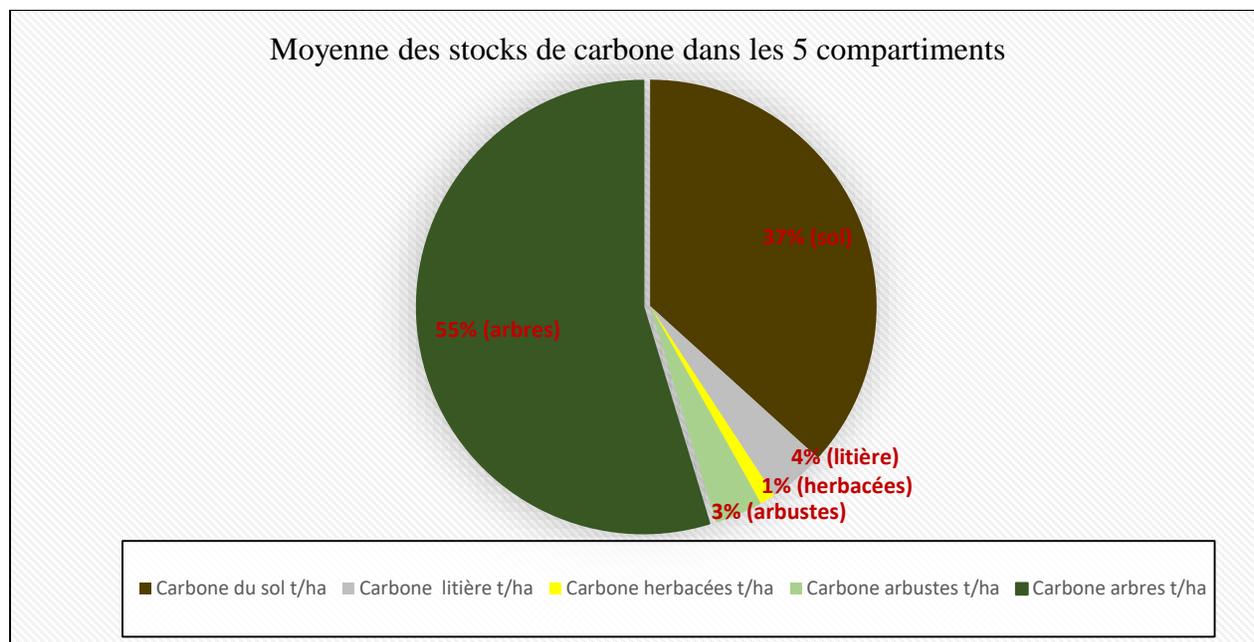


Figure 37: Distribution moyenne des stock de carbone dans le bassin versant du Nahr Beyrouth pour les 5 compartiments

La moyenne du stock total de carbone est de 146 tC ha^{-1} avec un stock maximal de 336 tC ha^{-1} et

un stock minimal de 67 tC ha⁻¹. Seules 9 placettes ont un stock de carbone total inférieur à 100 tC ha⁻¹ (Figure 36). Cette variabilité est liée aux caractéristiques du site, de la forêt (type et la densité de plantation), de l'état de développement du peuplement et des pratiques de gestion.

En général, les forêts tropicales stockent une moyenne de 350 tC ha⁻¹ dont 100 tC ha⁻¹ dans les sols (Torez, 2014). Les sols des forêts de notre étude stockent deux fois moins, avec une valeur moyenne de 54 tC ha⁻¹. Cette valeur est également inférieure aux stocks des sols des forêts tempérées de l'Europe et de l'Australie qui ont un stock de 90 et 83 tonnes par hectare respectivement (Dixon et al, 1994) (Tableau 25). Ces résultats renforcent l'hypothèse de Darwish et al (2009) que les sols Libanais sont pauvres en matière organique. En effet les forêts du bassin versant stockent entre 9 tC ha⁻¹ et 127.8 tC ha⁻¹ dans leur sols (cf. annexe XIII). Tandis qu'on retrouve, en moyenne 87 tonnes de carbone par hectare dans la biomasse végétale (arbres, arbustes et herbacées) avec un maximum de 249,6 tonnes par hectare et un minimum de 27,8 tonnes par hectare.

Tableau 25: Les stocks de carbone dans les forêts du monde

Les stocks de Carbone dans la biomasse végétale et dans le sol des forêts dans des différents écosystèmes				
Ecosystème	Pays/région	Stock de carbone dans la végétation (tonnes/ha)	Stock de carbone dans le sol (tonnes/ha)	Stock total
Boréale	Russie	83	281	364
	Canada	28	484	512
	Alaska	39	212	251
Tempéré	Les Etats-Unis	62	108	170
	Europe	32	90	122
	Chine	114	136	250
	Australie	45	83	127

Les stocks de Carbone dans la biomasse végétale et dans le sol des forêts dans des différents écosystèmes

Ecosystème	Pays/région	Stock de carbone dans la végétation (tonnes/ha)	Stock de carbone dans le sol (tonnes/ha)	Stock total
Tropicale	Asie	132-174	139	271-313
	Afrique	99	120	219
	Americas	130	120	250
Méditerranéens	Liban	87	54	141

Source : Dixon et al., 1994

En comparant ces résultats avec les stocks de carbone dans la végétation des différentes forêts mondiales (Tableau 25), on trouve que les résultats mesurés dans le bassin du Nahr Beyrouth sont comparables aux résultats des forêts tempérées des Etats-Unis, de l'Australie et de l'Europe qui stockent respectivement 62, 45 et 32 tonnes par hectares (Dixon et al, 1994).

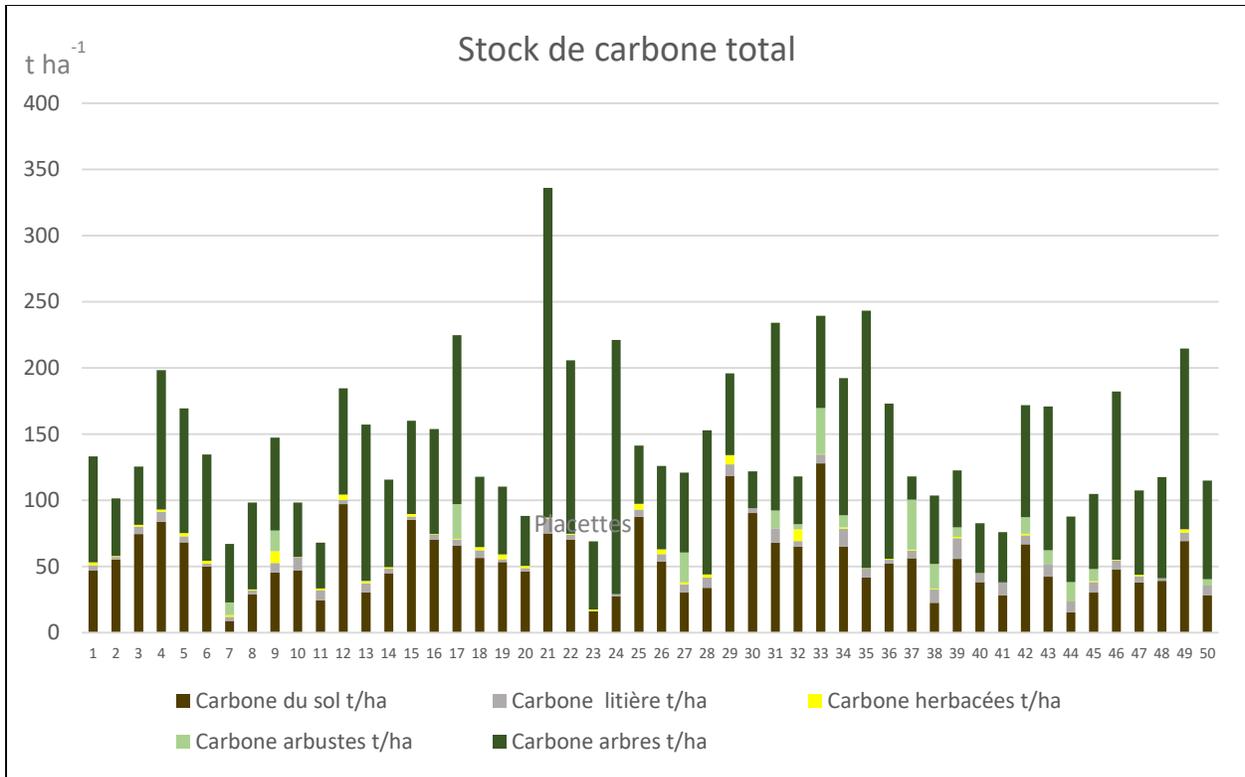


Figure 38: Les stocks de carbone dans les placettes du bassin versant de Nahr Beyrouth

La figure 39 spatialise les stocks de carbone des compartiments de chaque placette étudiée des forêts du bassin versant de Nahr Beyrouth.

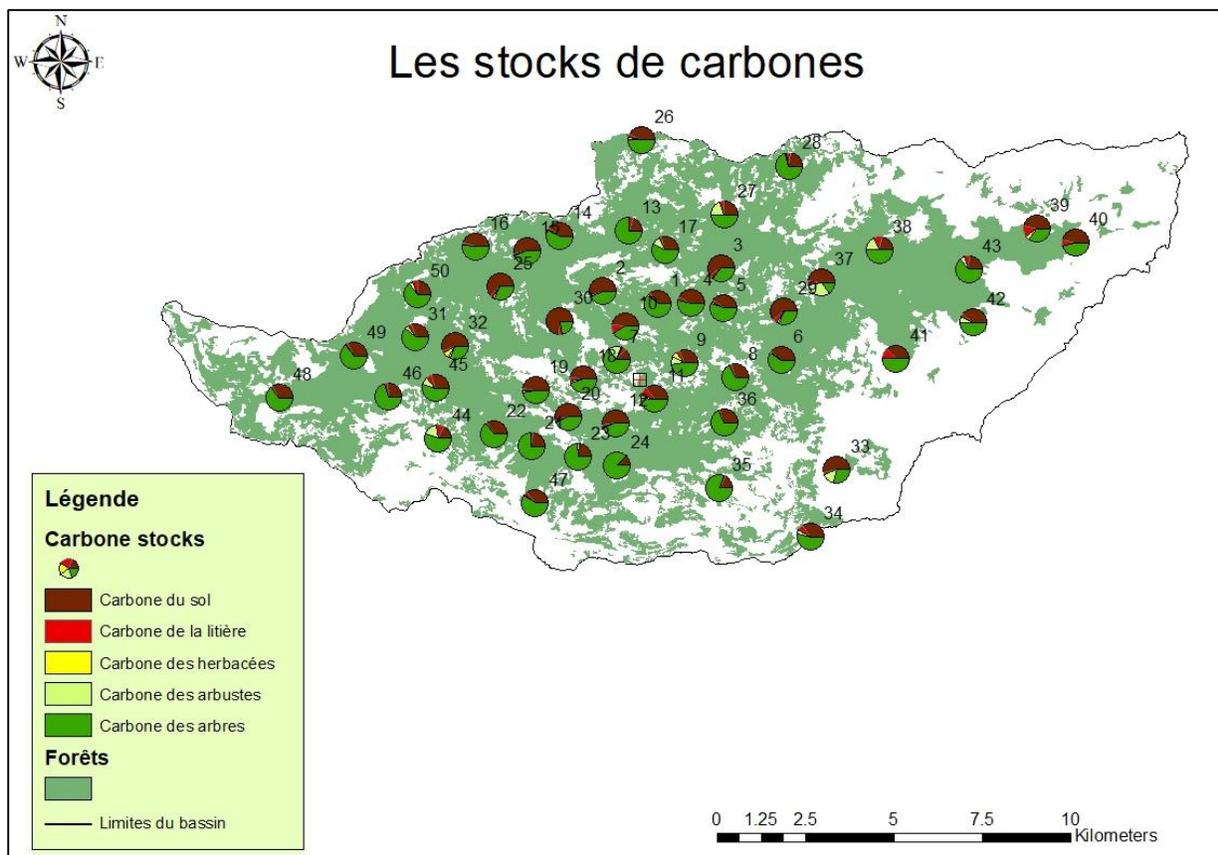


Figure 39: Stocks de carbone dans les placettes du bassin versant du NB

Une analyse fine de stock de carbone par compartiments et selon les strates (Figure 40) indiquent que les stocks moyens de carbone entre les deux strates ne varient pas beaucoup. En moyenne, les stocks de carbone présents dans les arbres sont de 80.7 tC ha^{-1} pour la strate de pin pignon et de 79.5 tC ha^{-1} pour la strate des autres types de forêts (Figure 45). De même, la répartition des stocks de carbonnes du sol sont très proches pour les formations à pin pignon (54.6 tC ha^{-1}) et pour les autres forêts (52.9 tC ha^{-1}) (Figure 40).

Par contre, le carbone présent dans la litière est plus important dans les autres types de forêts (7.1 tC ha^{-1}) que dans la strate de pin pignon (4.8 tC ha^{-1}). Cela peut s'expliquer par la différence significative de la végétation arbustive qui dans les types de forêts semble capter 9 fois plus de carbone que celle des forêts de pin pignon (Figure 45). Finalement, les stocks totaux moyens 143 tC ha^{-1} pour la strate de pin pignon et 150 tC ha^{-1} pour la strate des autres types de forêts ne présentent qu'une variabilité secondaire de 7 tC ha^{-1} (Figure 40)

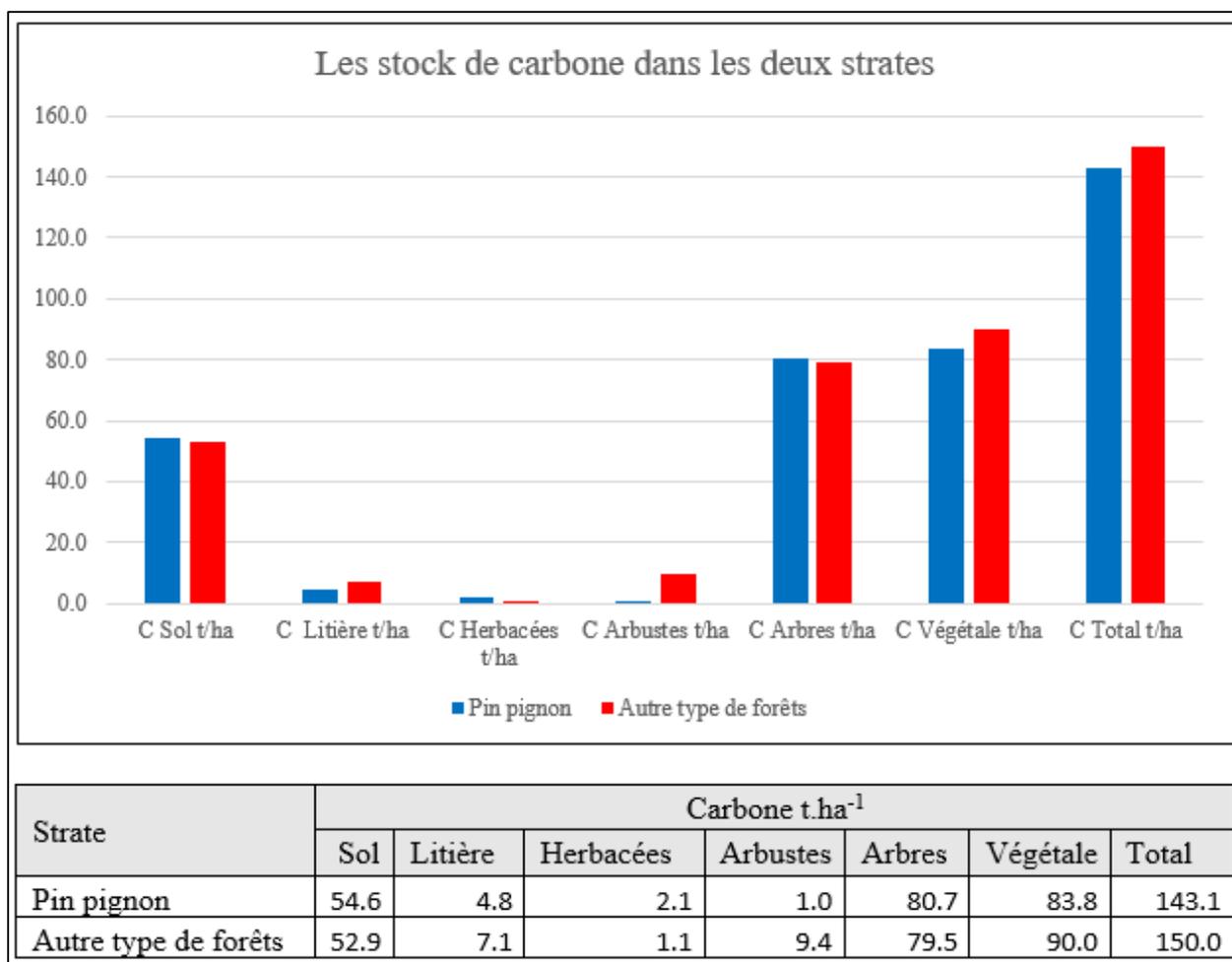


Figure 40: Distribution des stocks de carbone dans les deux strates

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'analyse textural, les concentrations des macros et des microéléments, le pH et la conductibilité électrique du sol de la zone d'étude. Nous avons démontré que le taux de sable est élevé dans les échantillons des sols profonds contrairement à l'argile où les parts les plus importantes se retrouvent dans les sols superficiels. Puis, nous avons présenté les résultats des stocks de carbone des 5 compartiments. Dans ce qui suit, nous allons classer les placettes pour identifier des regroupements selon leurs comportements et caractéristiques.

Chapitre 8 : Equations et analyses statistiques

Dans ce chapitre, les 50 placettes sont divisées en trois groupes suivant leurs stocks de carbone afin de préciser l'interaction des 5 compartiments vis-à-vis du stockage du carbone. Ensuite les interactions entre les compartiments sont analysées à l'aide de l'ACP et les interactions entre MOS et les différentes variables sont identifiées en utilisant les corrélations de Spearman. Finalement, nous établissons une équation qui estime les taux de MOS à partir des variables étudiées.

8.1 Classification des placettes :

8.1.1 Classification et relation entre la biomasse et la MO du sol

Pour identifier les sites qui ont les caractéristiques les plus proches dans la façon dont ils stockent le carbone, nous avons procédé à une **classification ascendante hiérarchique (CAH)**. Les variables de chaque site comprennent : la matière organique des sols en $t\ ha^{-1}$, la masse de la litière sèche en $t\ ha^{-1}$, la masse de la végétation herbacée en $t\ ha^{-1}$, la biomasse des arbres et des arbustes qui sont exprimés en $t\ ha^{-1}$. Le dendrogramme figure 41 permet de définir trois groupes distincts. Les placettes qui se trouvent dans un même groupe ont un comportement similaire, illustré par le **Graphique en coordonnées parallèles**.

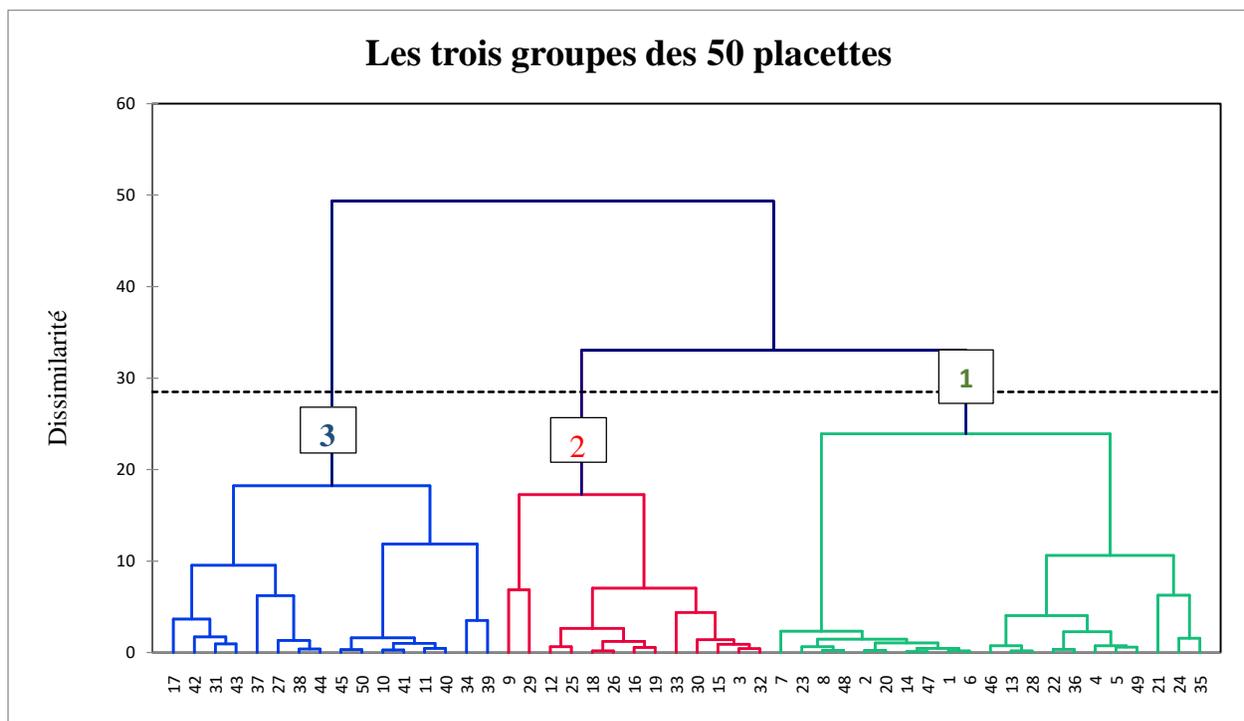


Figure 41 : Classification par CAH des résultats de biomasse et de MO en $t\ ha^{-1}$

a) Le taux de biomasse sur l'ensemble des placettes

Le dendrogramme divise les placettes en trois groupes : le groupe 1 comporte 21 placettes, dont 16 de la strate de pin pignon et 5 de la strate des autres types de forêts. Le groupe 2 renferme 13 placettes, 8 de pin pignon et 5 d'autres types de forêts. Le groupe 3 comprend 16 placettes dont seules 2 d'entre eux sont de la strate des forêts de pin pignon.

Le Graphique en coordonnées parallèles (GCP) montre que les groupes numéro 1 et 2 (Figure 42) ont une biomasse arbustive semblable. Mais celle-ci est moins importante que celle du groupe 3. Cette faible valeur de biomasse arbustive serait la conséquence de l'intervention humaine qui se manifeste clairement dans les sites de pin pignon. Les exploitants ont recours au brûlis qui permet de se débarrasser de toute sorte de végétation qui rend la cueillette et le ramassage des pommes de pin difficiles. Ce genre d'exploitation conduit à éliminer les chênes Calliprines et des chênes *Infectoria* qui poussent sous les plantations et les forêts de pin pignons.

Le groupe numéro 3 englobe les placettes qui comportent le plus de litière. Cette quantité de litière peut être expliquée par l'absence d'aménagement de ces sites, ce qui a permis le développement d'une biomasse arbustive et l'entassement de la litière. Ainsi, les placettes du groupe 3 appartiennent à la strate des autres types de forêts à l'exception des sites 11 et 45 qui sont des sites de pin pignons mais qui ne sont plus exploités. La figure 42 montre que l'augmentation de la biomasse de la végétation arbustive cause une réduction de la biomasse des herbacées. La biomasse arbustive ne permet pas la pénétration de la lumière et rend le développement des herbacées difficile même impossible. Le groupement numéro 2 est représenté par les placettes qui ont une végétation arbustive réduite et même absente sur certains sites.

Afin de vérifier cette hypothèse de l'importance des pratiques sylvicoles des forêts de pin pignon dans le stockage du carbone, il est nécessaire de re-faire une nouvelle classification ascendante hiérarchique (CAH) qui ne prend en compte que les placettes de pin pignons (Photographie 29, 30).

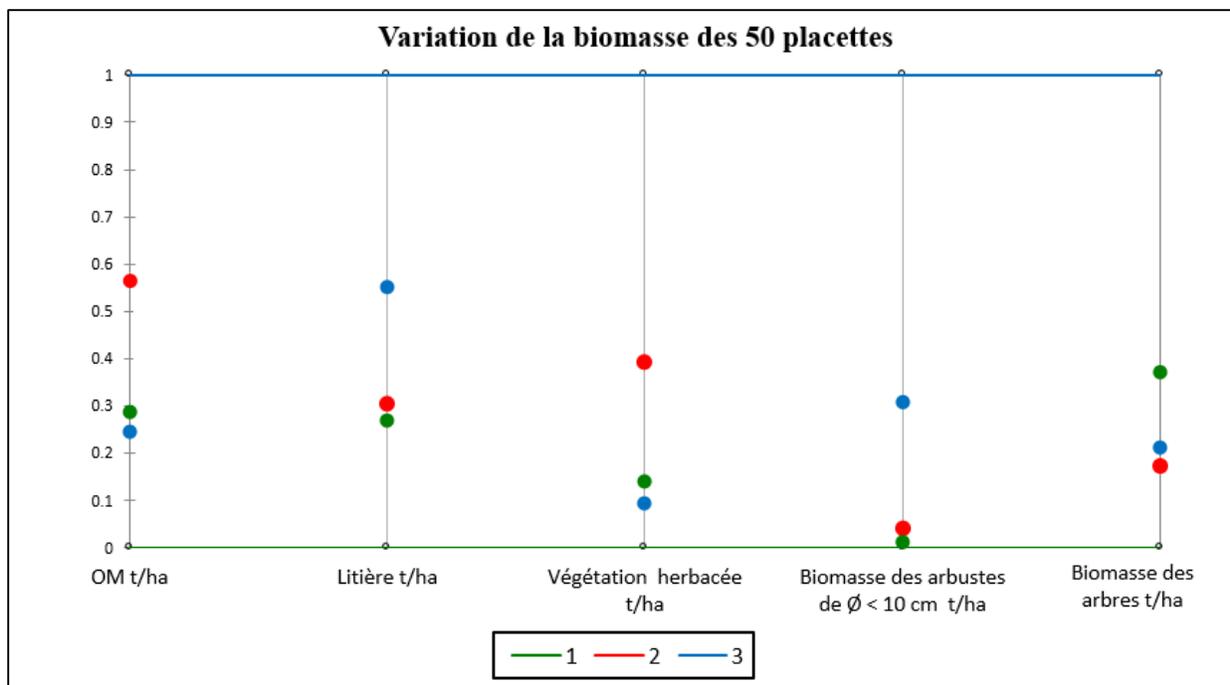


Figure 42: Variation de la biomasse des différents groupes de placettes

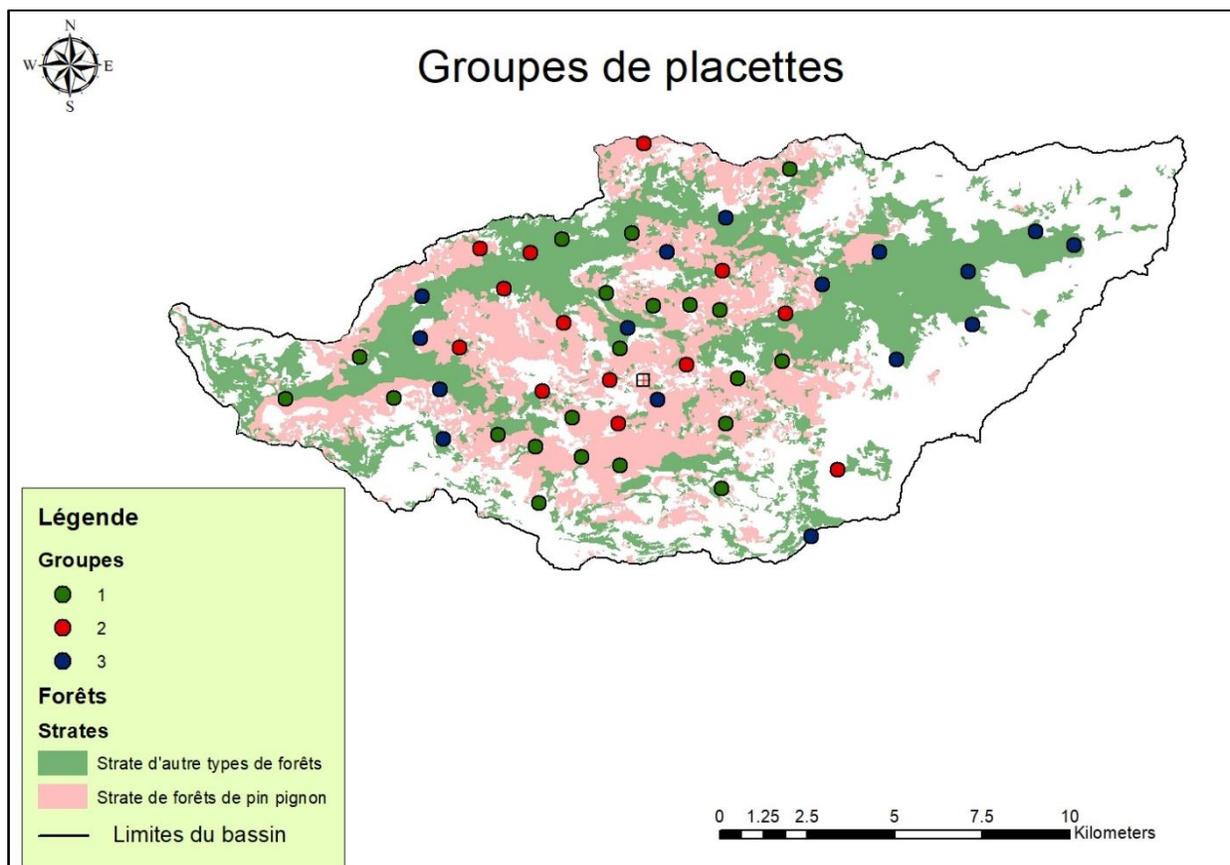


Figure 43: Distribution des trois groupes sur les deux strates



Photo 29: Placette 11 plantations de pin délaissées



Photo 30: Forêt de pin pignon non aménagée (Placette 45)

En cartographiant ces trois groupes (Figure 43), on remarque que la plupart des placettes du groupe 1 se trouve sous forêt de pin pignon tandis que les placettes du groupe 3 représentées par la couleur bleue qui se trouvent sous les autres types de forêts.

Pour cette raison, il fallait relancer une classification ascendante hiérarchique en ne tenant compte que les placettes de pin pignon.

b) Les taux de biomasse dans la strate de pin pignon

Afin d'interpréter les résultats concernant les placettes de pin pignons, on a appliqué la **CAH** aux 26 placettes qui ne contiennent que cette espèce.

On retrouve principalement deux grands groupes : Les 1 et 2 (qui sont respectivement constitués de 17 et 7 placettes) (Figure 44, 45). Ils se caractérisent par une absence de biomasse arbustive, qui reflète les interventions sylvicoles.

Un troisième petit groupe comprend 2 placettes (9 et 45) (Photographie 31) où l'absence des interventions humaines est claire (Figure 45). Il présente une biomasse arbustive (buissons) et une végétation herbacée plus importante que les deux autres groupes. Cependant, sa biomasse arborée est similaire à celle du groupe 1 et deux fois moins importante que celle du groupe 2.

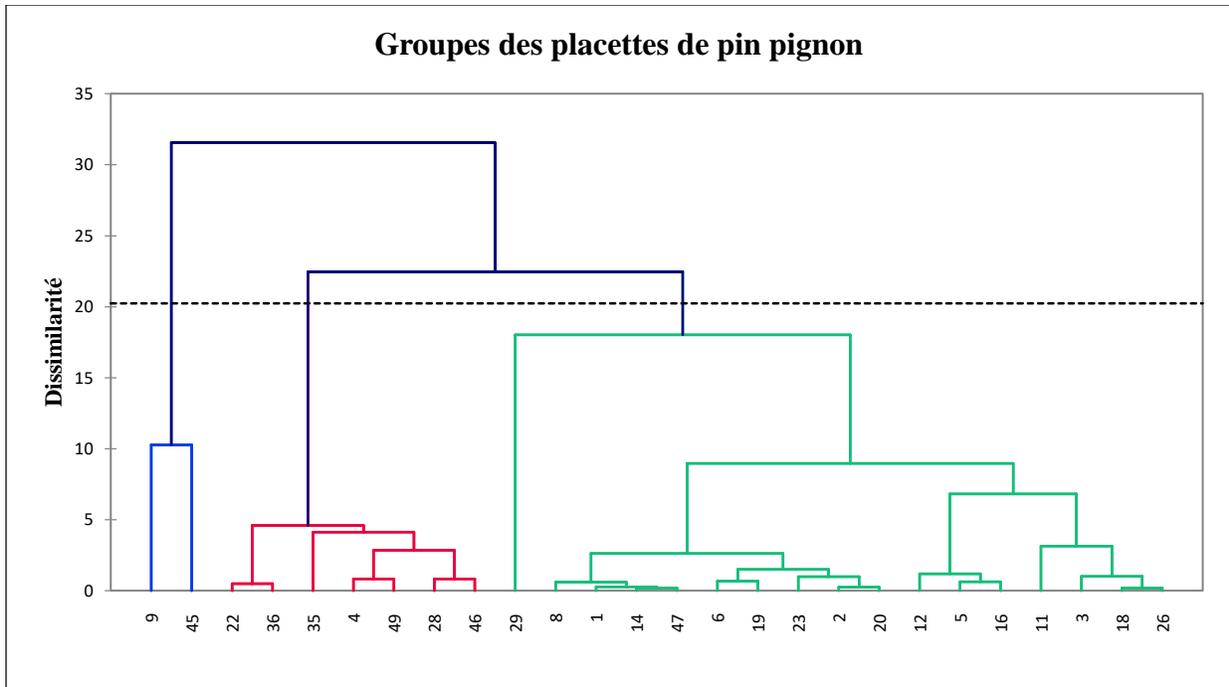


Figure 44: Groupement des biomasses arbres, arbuste, herbacées et litière avec la MO en $t\ ha^{-1}$ dans la strate de pin pignon

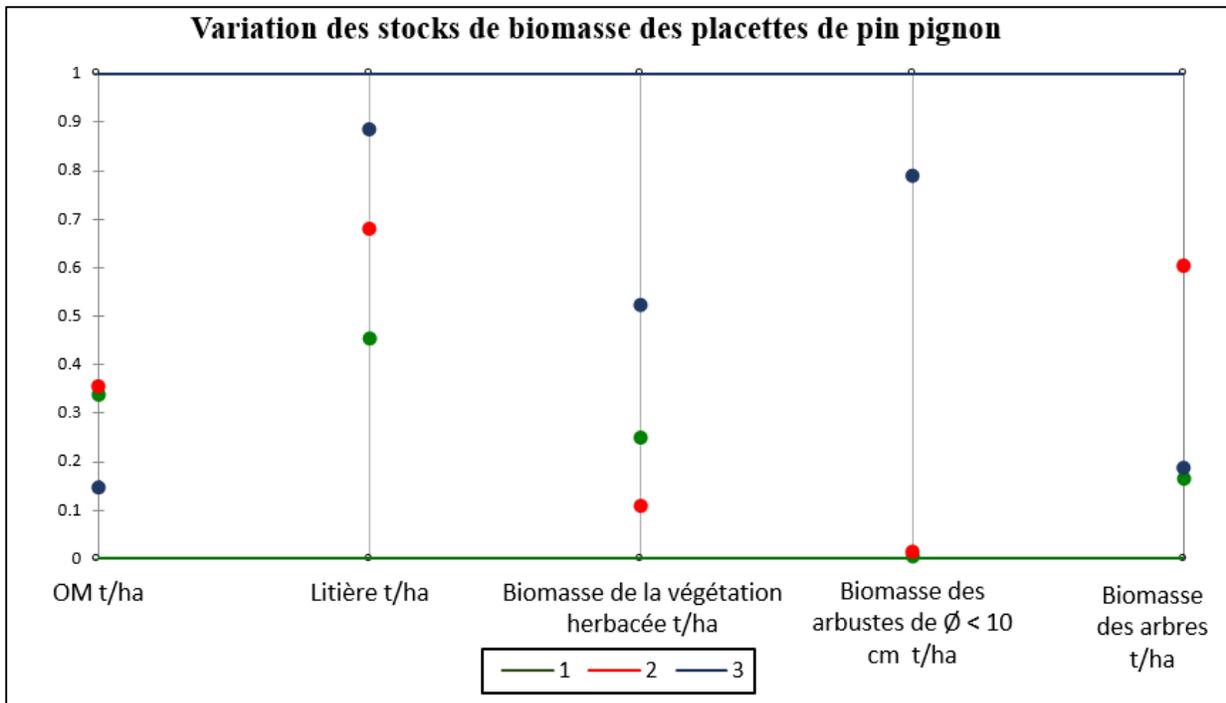


Figure 45: Graphique en coordonnées parallèles des placettes de pin pignons

Pour conclure on remarque que l'augmentation de la litière est associée à une augmentation de la

biomasse de la végétation arbustive. Celle-ci, formée dans la plupart des cas de chênes Caliprine et de chênes infectoria, est présente essentiellement lorsque les interventions humaines sont peu marquées dans les placettes de pin pignons. (Exemple placettes 9 et 45).



Photo 31: La placette 45 dévoile une biomasse arbustive importante

Le groupe 1 diffère du groupe 2 par une végétation herbacée plus importante mais moins de végétation arborescente et de litière.

Ces classifications ne nous permettent pas de déduire une relation ou une influence de la biomasse arborescente, arbustive, herbacée et de la litière sur la matière organique du sol en $t\ ha^{-1}$. Pour voir si cette relation existe, il faut refaire le traitement en utilisant comme variable le pourcentage de matière organique du sol à la place du taux de MOS en $t\ ha^{-1}$. Cela nous permet d'éliminer l'influence du sol sur cette analyse.

c) Classification et relation entre la biomasse et la MOS %

Bien qu'on élimine l'effet de la profondeur du sol qui joue sur la quantité de la MOS, le graphique en coordonnées parallèles montre les mêmes résultats (Figure 46). Une relation positive entre la litière et la biomasse arbustive et une relation négative entre la biomasse arbustive et herbacée.

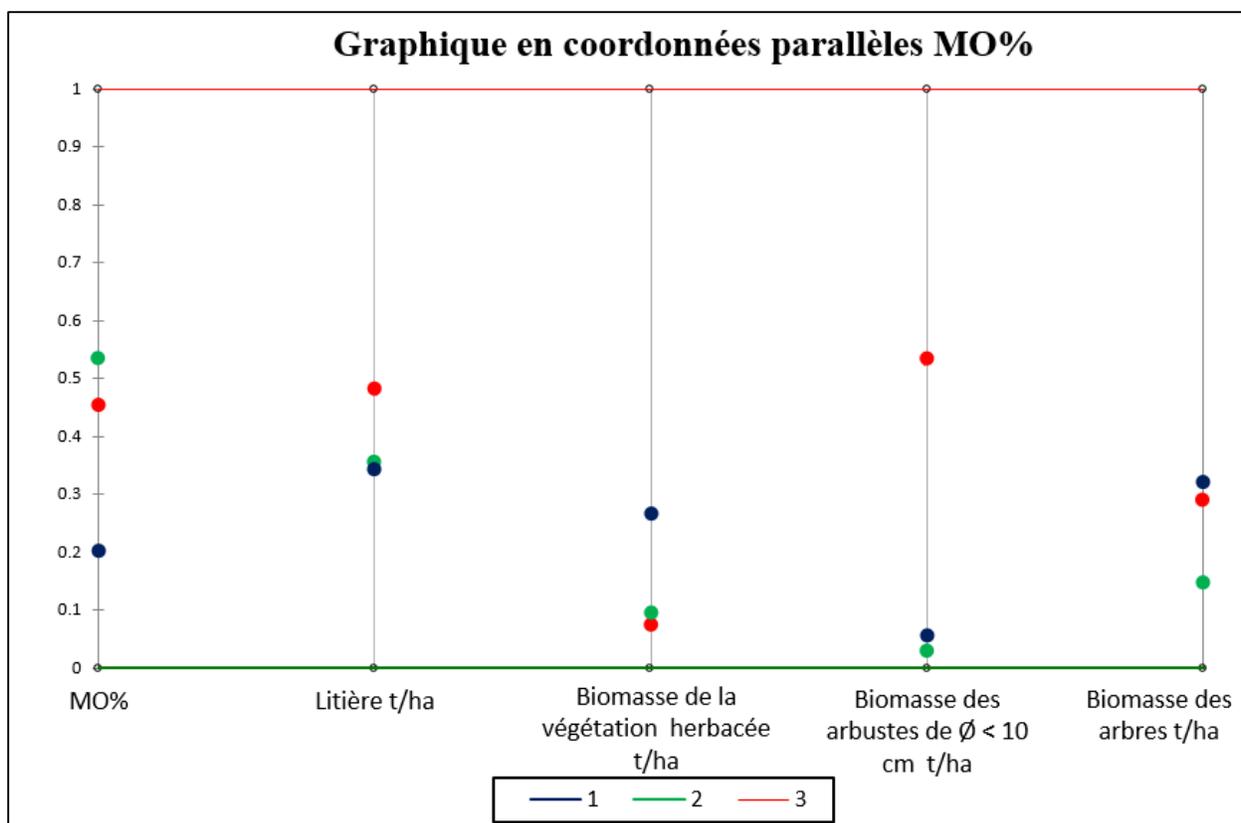


Figure 46: Graphique en coordonnées parallèles des 50 placettes en intégrant la MOS en pourcentage

La Classification Ascendante Hiérarchique et le Graphique en coordonnées parallèles n'ayant pas permis de démontrer l'influence de la litière ou celle de la biomasse arborescente, arbustive ou même des herbacées sur la MOS dans le sol ($t\ ha^{-1}$) et son pourcentage, nous avons réalisé une **Analyse en composantes principales (ACP)**.

8.1.2 Relation entre biomasse et stocks de matière organique du sol

Dans cette ACP, nous avons introduit les variables qui constituent les 5 compartiments de carbone : litière, herbacées, arbustes, arbres et MOS ($t\ ha^{-1}$). Les axes F1 et F2 portent, au total, 52.9% des informations. Cette analyse nous montre qu'il y a une corrélation positive entre la biomasse des herbacées et les quantités de matière organique dans le sol en tonnes par hectares selon l'axe F1 (Figure 47). Cette relation est vraie puisque la matière organique du sol assure un bon développement des plantes vue sa contribution à l'aération et la perméabilité du sol et son rôle dans l'augmentation de la capacité de rétention des sols en eau. Elle assure aussi les éléments nutritifs essentiels pour le développement de la végétation (GSP/FAO, 2018; Jobbágy, 2000). À

son tour, la végétation herbacée contribue à augmenter les stocks de MOS dans le sol. La dégradation de la biomasse racinaire des herbacées apporte au sol des teneurs en carbone élevées (Podwojewski, et al., 2011)

Cette ACP nous permet de dire que :

- Les placettes qui contiennent une quantité de matière organique importante dans le sol ont une biomasse d'herbacée importante ;
- La biomasse arbustive et la litière sont positivement corrélées ;
- Il n'y a aucune corrélation entre la végétation herbacée et la litière (qui forment un angle droit).

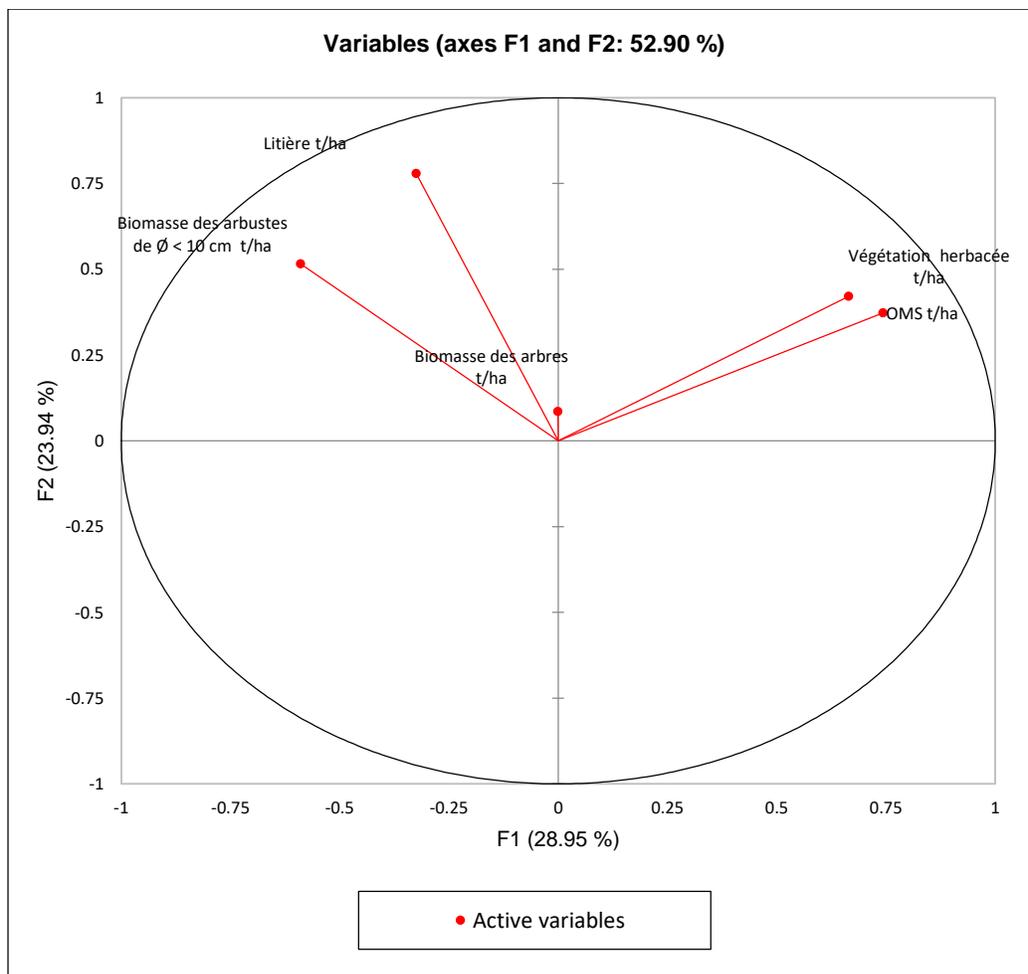


Figure 47: L'Analyse en composantes principales (ACP) des 5 principales variables

L'influence des variables essentielles (biomasse arbustive, arborée et la litière) sur la MOS $t\ ha^{-1}$ n'ayant pas été démontrée par l'ACP, nous avons relancé une seconde ACP en utilisant comme

variable supplémentaire quantitative la MOS t ha⁻¹ (ou illustrative elle n'entre pas dans le calcul qui nous aide à mieux décrire la sortie) et en classifiant les placettes suivant deux catégories : la strate de pin pignon et la strate des autres types de forêts (variables supplémentaires qualitatives). L'axe F1 et F2 représentent 60,7 % des informations. Le cercle des corrélations de cette ACP montre que la litière et la biomasse arbustive sont positivement corrélées dans la strate des autres types de forêts. Les biomasses arborées et herbacées sont négativement corrélées. Une augmentation de la biomasse arborée faisant ombrage sur les sols des forêts réduirait la production d'une biomasse herbacée (Figure 48).

Le barycentre de la strate des forêts de pin pignon montre que ces forêts ont peu de litière et de biomasse arbustive à comparer avec les autres types de forêts (Figure 49)

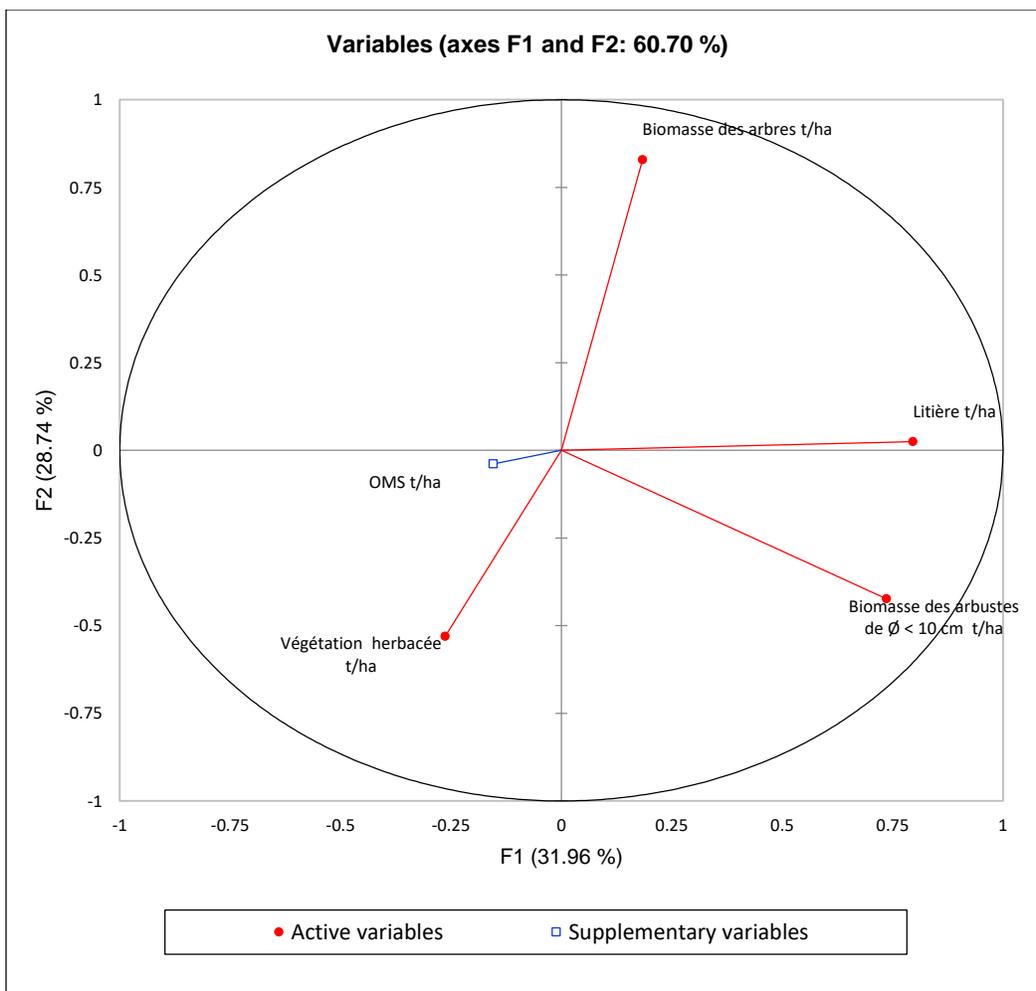


Figure 48: ACP des 4 principales variables en intégrant la MOS en t ha⁻¹ comme variable supplémentaire quantitative et les 2 strates en catégories

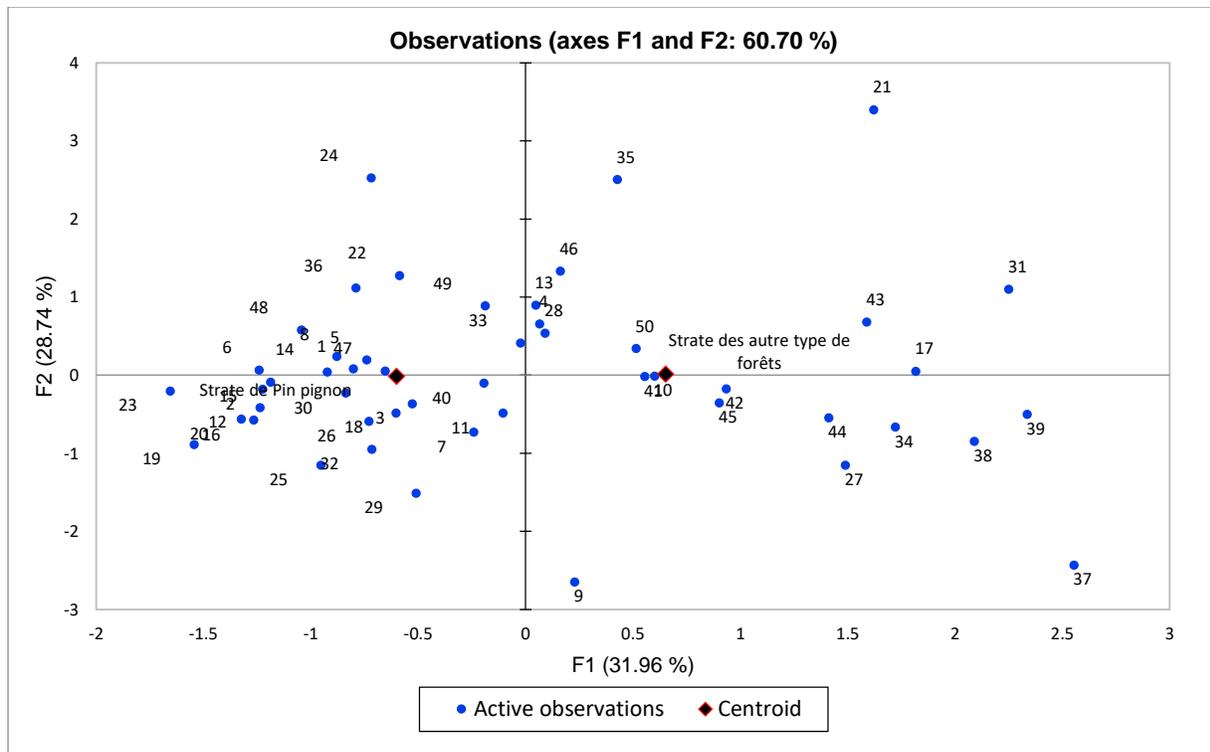


Figure 49: Graphique des observation de ACP des 4 principales variables en intégrant la MOS en $t\ ha^{-1}$ comme variable supplémentaire quantitative et les 2 strates en catégories

Cette absence de relation entre la matière organique des sols en tonnes par hectare et les autres variables (biomasses arborée, arbustive, herbacée et litière) peut s'expliquer par le fait que dans le calcul de la MOS $t\ ha^{-1}$ on a intégré plusieurs facteurs dont la profondeur, la densité apparente, le pourcentage des particules fines des sols et le pourcentage de la matière organique dans les échantillons de sol et que le sol obtient un point dans le calcul de MOS $t\ ha^{-1}$.

On avait intérêt à lancer un autre ACP en intégrant la MOS en %. Les résultats ont montré que les axes F1 et F2 portent 54.4 % des informations. La corrélation est positive entre la MOS %, les biomasses de la litière et les arbustes (Figure 50). Cette relation est réelle puisque la source de la matière organique des sols dans les forêts est la biomasse végétale.

Mais la biomasse arborée a une relation négative avec la production de la matière organique des sols. Ce résultat peut être expliqué par le fait que la plupart des placettes de pin pignon ont une biomasse arborée élevée. Dans ce dernier cas, la raison serait liée aux activités anthropiques et aux pratiques sylvicoles. Dans ces placettes, on a recours au défrichage de la couverture arbustive et au brûlis des broussailles sous les arbres ce qui cause une détérioration de la biomasse arbustive,

herbacée et, en partie la litière (Photographie 32, 33). C'est la cause de la réduction, voire de l'arrêt de formation, de la matière organique des sols. Dans certains sites de pin pignon, comme la végétation herbacée repousse, ces pratiques ne sont détectables que grâce aux restes de charbon dans le sol.

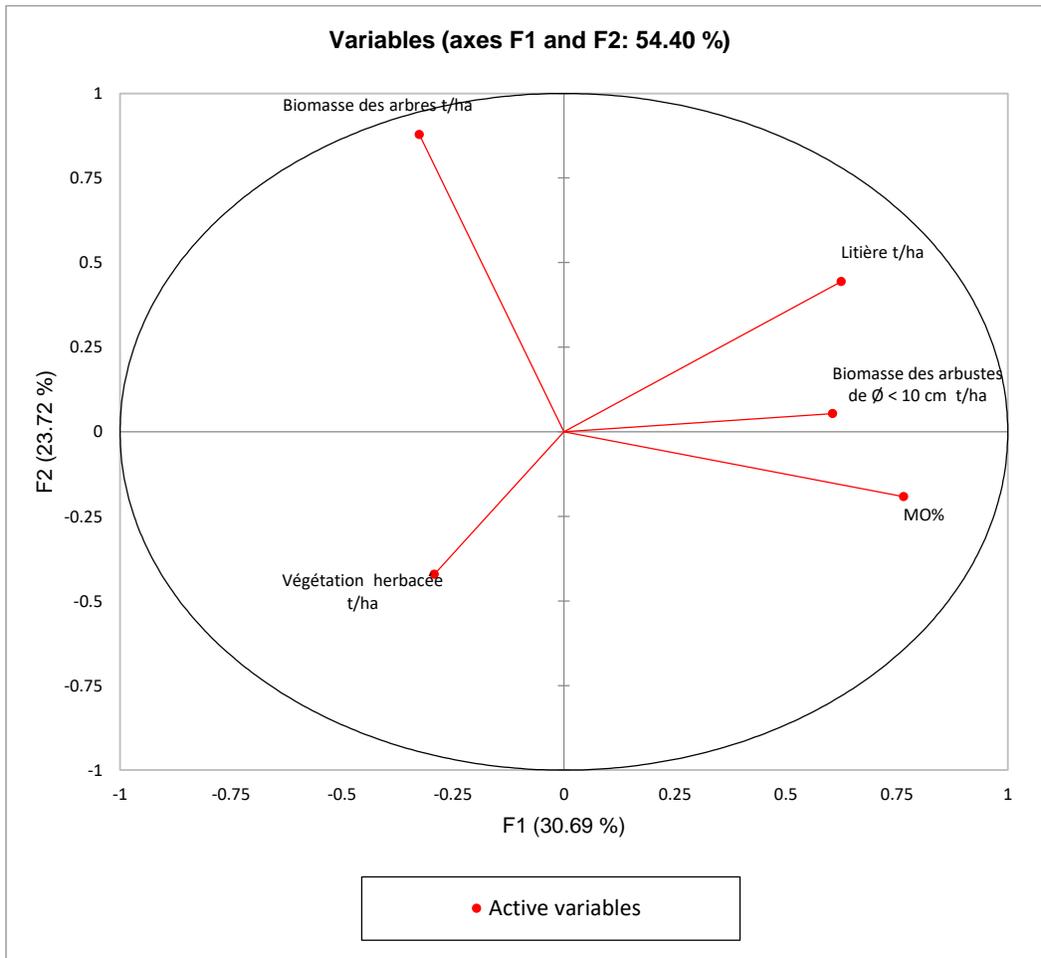


Figure 50 A: ACP des 5 principales variables en utilisant la teneur MOS %

En plus la raideur de certaines pentes qui amplifie l'effet des pratiques agricoles et notamment le brûlis, augmente l'érosion des horizons superficiels et la perte du sol et de la matière organique.

La figure 51 représente les barycentres des deux groupes de forêts et montre que le groupe "autres forêts" regroupe les placettes qui ont une biomasse arbustive et un taux de litière ainsi qu'un pourcentage de matière organique élevé (Photographie 32) au contraire de la strate de pin

ignon. Les activités anthropiques jouent donc un rôle crucial qui modifie les quantités des stocks de carbone contenues dans les forêts du bassin versant et principalement dans celles de pin pignon (Photographie 33,34).

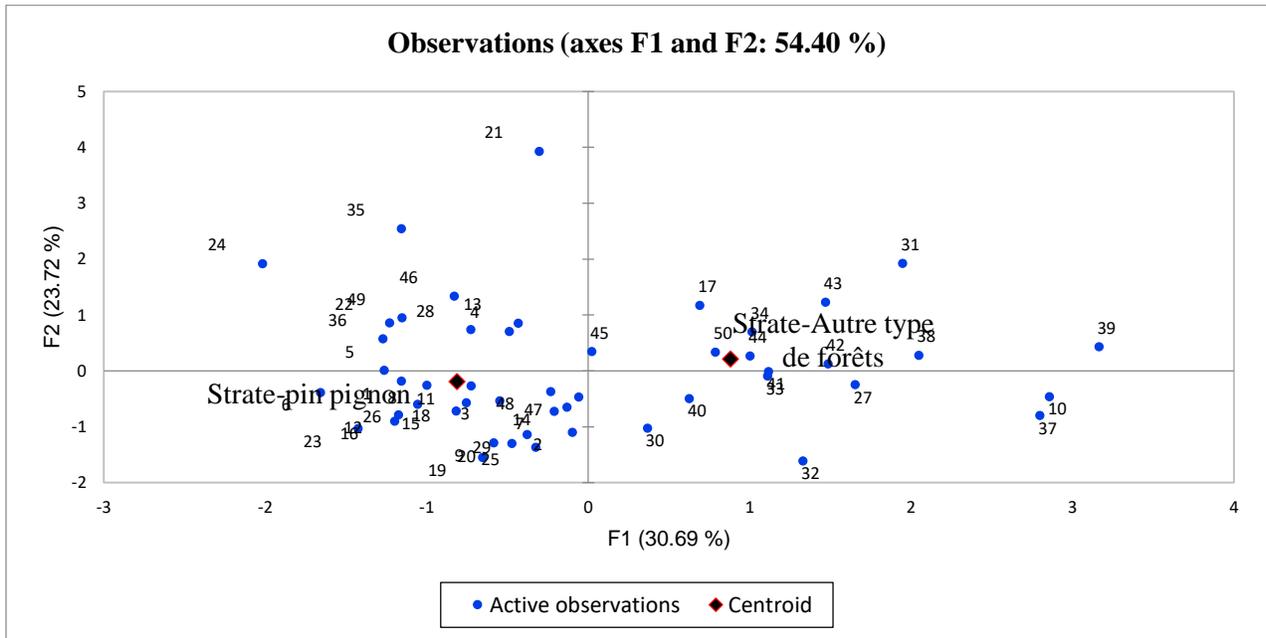


Figure 51: Position des placettes selon les axes F et F2 et Identification des barycentres des deux strates selon l'ACP



Photo 32: Site 41 qui est une forêt de chêne Caliprine. Noter l'absence de végétation herbacée. Photo prise le 18/6/2017



Photo 33: Placette numéro 1 (le 5/3/2017) qui montre présence de végétation herbacée



Photo 34: Placette numéro 1 (le 9/2/2018) qui montre l'application du brûlis

8.2 Relation entre la MO et les différentes variables

8.2.1 Le test de normalité

Avant d'appliquer le test de corrélation et l'analyse en composante principale, nous avons appliqué le test de normalité pour contrôler la distribution des données de chaque variable.

Nous avons choisi le test de Shapiro-Wilk qui est applicable pour des séries allant jusqu'à 50 individus statistiques, ce qui permet donc de tester notre série.

Les résultats de ce test montrent que les données des variables qui ont un p-value calculé supérieur au niveau de signification seuil ($\alpha = 0,05$) suivent une loi normale alors que les données des variables qui ont un p-value calculé inférieur au niveau de signification seuil ne suivent pas la loi normale. Parmi les variables qui suivent la loi normale on relève la litière, l'altitude, la pente, l'argile, la masse volumique du sol et des particules fines, le pH et le Ca en kg/ha (Tableau 26).

Tableau 26: Résultat du test de normalité pour les 42 variables seuil $\alpha = 0.05$. En gras, les valeurs inférieures au seuil

Variables\Test	Shapiro-Wilk
MOS en t ha ⁻¹	0,026
MOS en pourcentage	0,003
Litière en t ha ⁻¹	0,086
Végétation herbacée t ha ⁻¹	< 0,0001
Biomasse des Arbustes t ha ⁻¹	< 0,0001
Biomasse des Arbres t ha ⁻¹	< 0,0001
Biomasses arbres et arbustes t ha ⁻¹	< 0,0001
Altitude en mètre	0,232
Pente degré	0,621
Exposition	0,000
Précipitation Moyenne en mm	< 0,0001
Sable en pourcentage	0,037
Limon en pourcentage	0,000
Argile en pourcentage	0,057
Epaisseur de la couche O en cm	< 0,0001
Epaisseur de la couche A en cm	0,005
Epaisseur de la couche B en cm	0,000
Epaisseur de la couche C en cm	< 0,0001
Profondeur du profile en cm	< 0,0001
Profondeur pour l'estimation de MO	< 0,0001
Masse du sol en t ha ⁻¹	0,003

Masse volumique des particules fines	0,057
Masse volumique du sol	0,535
PH	0,212
Conductibilité	0,005
CaCO3 % Total	< 0,0001
CaCO3 % Active	< 0,0001
N%	0,003
N kg/ha	0,023
P2O5 Olsen kg/ha	< 0,0001
K2O kg/ha	0,002
Na kg/ha	0,004
Mg kg/ha	< 0,0001
Ca kg/ha	0,133
Fer kg/ha	< 0,0001
P2O5 Olsen ppm	< 0,0001
K2O ppm	0,002
Na ppm	0,011
Mg ppm	< 0,0001
Ca ppm	0,000
Fer ppm	< 0,0001

On applique la corrélation entre toutes les variables pour comprendre les relations qui existent entre tous les paramètres. Les résultats montrent une corrélation positive entre la MOS t ha⁻¹ et la végétation herbacée en t ha⁻¹, la profondeur du profile, la profondeur de l'estimation de la matière organique, la masse du sol, la densité des particules fines, la densité du sol, l'épaisseur des horizons O et C, et les minéraux dans le sol en kilogramme par hectare dont le nitrate, le potassium, le sodium et le calcium. A l'inverse la relation entre la MO en t/ha et la pente, le pH et le pourcentage de cailloux présentent des corrélations négatives (Tableau 28).

8.2.2 Relation entre les stocks de chaque compartiment :

a) La relation entre la matière organique du sol en t ha⁻¹ et la litière

La litière est la couche superficielle qui couvre le sol. Elle est constituée de l'ensemble des débris de végétaux en décomposition. Dans les forêts, elle est constituée de feuilles et d'aiguilles de résineux, de rameaux, des branches et des fruits qui recouvrent le sol. Elle contribue essentiellement à la formation de la matière organique des sols forestiers à travers sa décomposition par les microorganismes des sols.

Mais, dans notre cas, aucune corrélation n'a été trouvée entre la teneur de MOS % et la litière

d'une part, et la MOS en $t\ ha^{-1}$ et la litière d'autre part.

En schématisant les résultats des 50 placettes, on remarque que les points forment trois groupes : A, B et C (Figure 52).

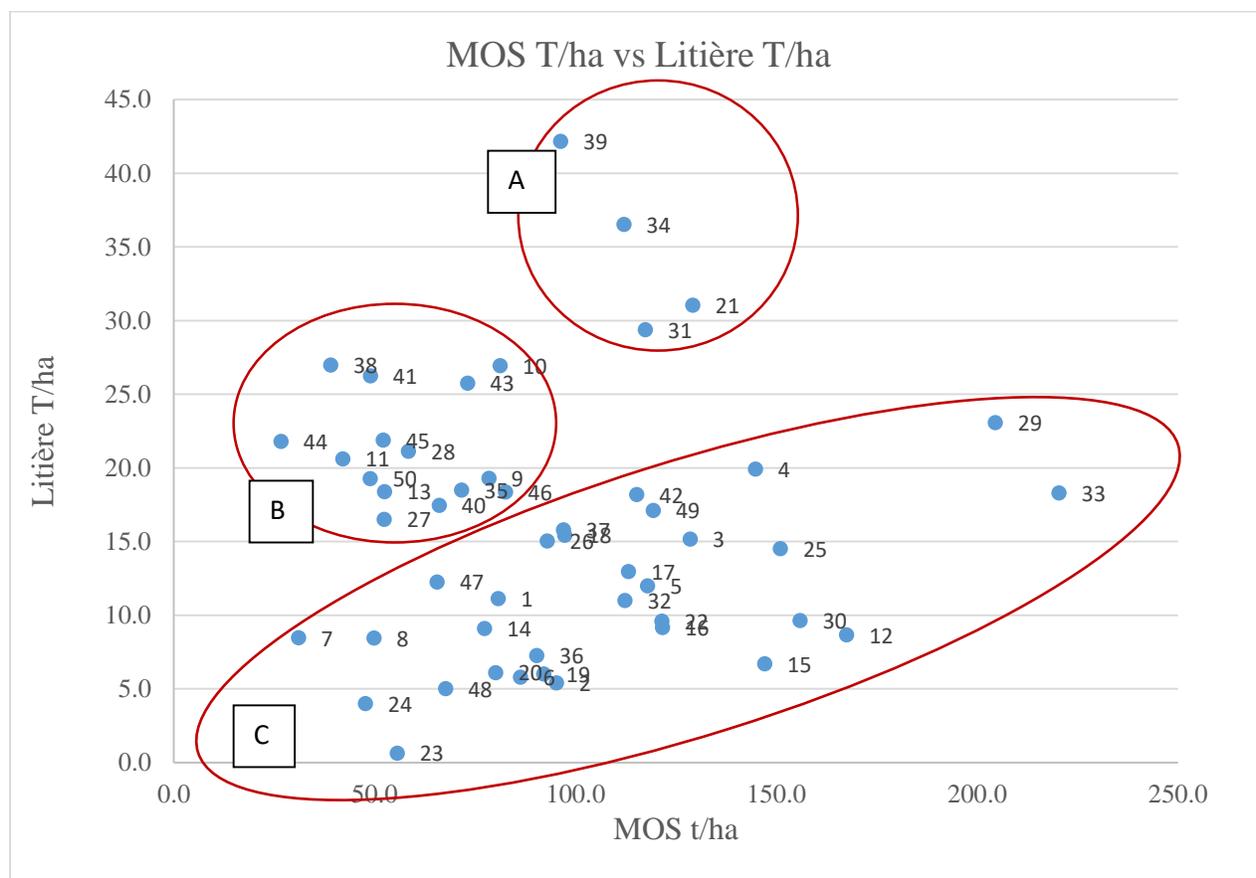


Figure 52: Corrélation entre la matière organique du sol en tonnes par hectare et la litière

Le groupement A contient seulement 4 placettes de la strate « autres types de forêts ». On y trouve que ces placettes sous forêts denses des cyprès, des platanes, de chêne et une forêt mixte. Ces forêts ont un point commun la densité de la canopée arborée et l'absence d'intervention humaine. Le groupement C contient 31 placettes (soit 62 % du nombre total des placettes dont 20 de pin pignon et 11 d'autre type de forêts). On remarque que la plupart des sites du groupement C font l'objet d'intervention humaine même ceux des autres types de forêts. Le groupement B est constitué de 15 placettes 6 de pin pignon et 9 placettes des autres types de forêts la plupart de ces placettes ne sont pas marquées des interventions sylvicoles récentes. En éliminant les groupes A et B, on aboutit à une corrélation de 0,71 (Tableau 27) (Figure 53).

Tableau 27: La corrélation entre la MOS en t ha⁻¹ et la litière en t ha⁻¹ dans les placettes du groupement C acte aux interventions anthropiques

	Litière T/ha	OMS T/ha
Litière T/ha	1	
OMS T/ha	0,709931	1

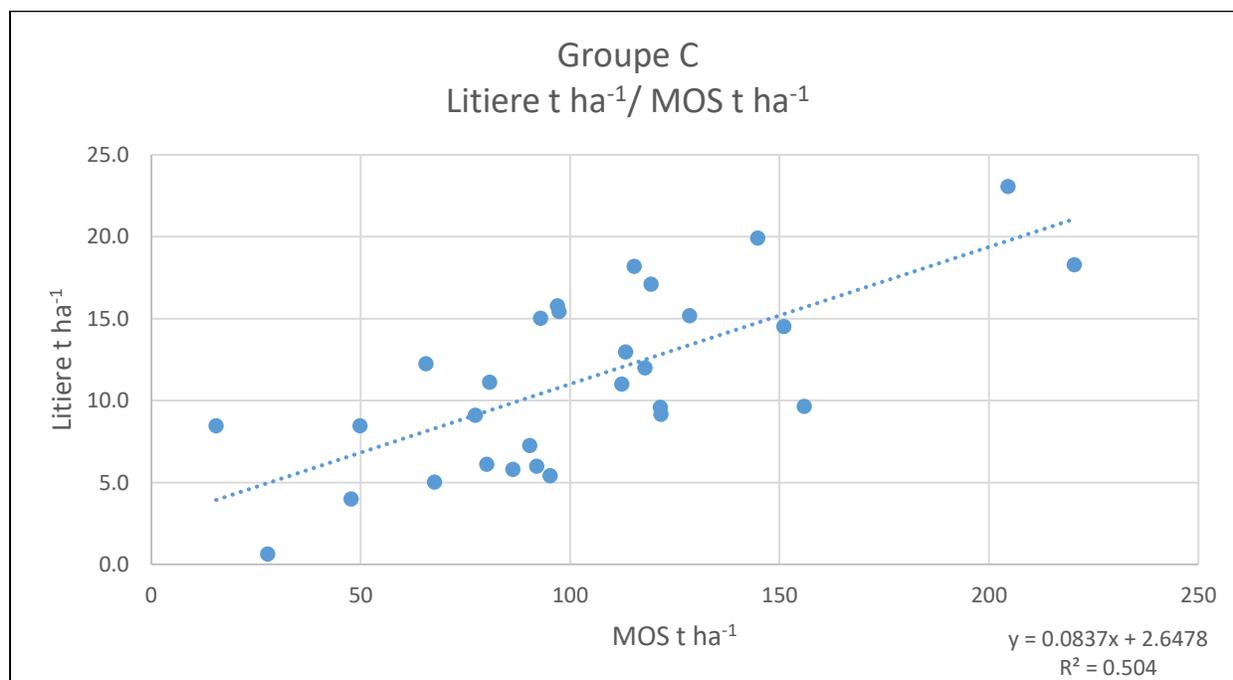


Figure 53: Les placettes soumises aux interventions anthropiques

b) Corrélation entre Matière organique et herbacées

La corrélation positive entre la couverture végétale **herbacée** et la **fraction de matière organique** dans le sol (t ha⁻¹) et qui est de **0,377**, illustre le fait que lorsque la biomasse de la couverture herbacée augmente la quantité de MOS en t ha⁻¹ augmente et vice versa.

Par contre, cette corrélation devient négative en comparant **le pourcentage de matière organique du sol (MOS %)** dans le sol et la biomasse végétale herbacée en tonnes par hectare et qui est de **-0,305**.

Pour mieux comprendre ces résultats, il faut analyser la corrélation entre la biomasse de la

couverture herbacée et la masse du sol en $t\ ha^{-1}$ (est la masse de la terre fine entre 0 et 30 cm). Le résultat de cette corrélation est de **0,535** ce qui montre que la masse du sol influe positivement sur l'augmentation de la biomasse herbacée. Donc la présence des sols développés favorise la production de biomasse herbacée.

Pour renforcer notre hypothèse, il faut observer la corrélation entre la biomasse des herbacées et la profondeur des sols et voir si seule la profondeur des sols influe ou si c'est la combinaison entre les différents facteurs entrant dans le calcul de la masse de la terre fine dont la nature et la structure et la profondeur sont à l'origine de cette corrélation. Cette corrélation est de **0,483**. Inférieure à **0,535**, elle indique que c'est la combinaison des facteurs du calcul de la masse de la terre fine en $t\ ha^{-1}$ qui influe sur la production de la biomasse herbacée et non pas seulement la profondeur. La masse des sols par hectare influe sur l'augmentation de la biomasse herbacée et la matière organique augmente avec l'augmentation des quantités de sol donc cette corrélation montre que la masse des sols est en corrélation avec la biomasse végétale et non pas la fraction de matière organique dans le sol en $t\ ha^{-1}$ de matière organique.

Pour expliquer la corrélation négative entre la biomasse des plantes herbacées et **la MOS %**, il est intéressant de mentionner que dans la plupart des sites où nous trouvons une couverture arbustive développée, nous remarquons le développement d'une couche épaisse de litière et une réduction, voire une absence, de biomasse herbacée.

c) Absence de corrélation entre biomasse arbustive et matière organique du sol

Comme il est déjà connu que l'apport le plus important de la matière organique du sol sont les végétaux, nous observons l'absence de corrélation entre la biomasse des arbustes avec la MOS en ($t\ ha^{-1}$) et la MOS % dans notre zone d'étude.

L'absence de corrélation entre la MOS % et la biomasse arbustive peut s'expliquer par les pratiques d'aménagement forestier (élagage et le brûlis largement répandu dans l'aménagement des forêts de pin pignon). Le but de ce défrichage est de faciliter la cueillette et le ramassage des pommes de pin rendu difficile en présence des buissons et de végétation herbacée

(Photographie 35).



Photo 35: Application du brûlis avant la récolte du pignon par la plupart des gérants (Placette 1)

d) Corrélation entre matière organique et biomasse arborée

L'évolution du stock de carbone organique dans les sols résulte de l'équilibre entre les apports organiques au sol et la vitesse de minéralisation. D'une manière générale, cet apport est constitué par les débris végétaux, les excréments et les restes animaux. En outre, dans certains cas cet apport est lié à des activités anthropiques comme l'application du fumier ou des amendements organiques (composte résidus végétal extra). Dans les forêts, cet apport est dû principalement aux résidus des végétaux. Les végétations arborées et arbustives constituent les sources principales de MOS alimentant le sol par les feuilles et les branches qui constitueront la litière. Il ne faut pas oublier le rôle de la végétation herbacée dans la formation de la MOS, bien que celui-ci soit moins important dans les forêts que les biomasses arborées et arbustives. Vu l'absence de corrélation entre la MOS ($t\ ha^{-1}$) et la litière, la biomasse arbustive et arborée (Tableau 28) seront traitées ultérieurement par d'autres tests. Cette absence de corrélation est causée par des facteurs anthropiques comme le brûlis qui affectent considérablement le cycle de la matière organique. Le feu détruit presque toute la nécromasse à la surface du sol, à l'exception des grosses branches et des troncs d'arbres. La surface du sol devient stérile et perd la litière et une partie de sa matière organique. Le brûlis réduit

la population de la microfaune et macrofaune du sol car il n'y a plus de matière organique disponible pour un rétablissement rapide de la population. Cette pratique est largement utilisée dans les pinèdes du bassin versant pour faciliter la récolte des pommes de pin, et à cause de certaines fausses idées qui prétendent que cette pratique est un moyen de lutter contre les parasites, les maladies et insectes qui sont en train de tuer les arbres comme l'hylésine destructeur (*Tomicus destruens*) (Photographie 36) et la punaise américaine (*Leptoglossus occidentalis*). Celle-ci a diminué la productivité du blanc de pin dans certaines pinèdes d'environ 80% en 2018 (ministère de l'agriculture).



Photo 36: L'hylésine destructeur qui tue les arbres de pin pignon

e) Corrélation texture et matière organique

Les résultats montrent une corrélation positive entre MOS % et le pourcentage d'argile et de limon. Elle est, respectivement, de l'ordre de 0,743 et 0,488. En revanche, la corrélation est négative entre la MOS % la teneur de sable (Figure 54). La matière organique a tendance à augmenter lorsque la teneur en argile augmente dans le sol. Cette augmentation dépend de deux mécanismes :

- Le premier est lié aux liaisons entre la surface des particules d'argile et la matière organique qui retardent le processus de décomposition.
- La deuxième est en relation avec les sols riches en argile qui augmentent le potentiel de formation d'agrégats. Les macro agrégats protègent physiquement les molécules de matière organique des minéralisations ultérieures causées par une attaque microbienne (Rice, 2002 ; Moni, 2008). Ainsi, dans des conditions climatiques similaires, la teneur en matière organique des sols argileux à texture fine est de deux à quatre fois supérieure à celle des sols sableux à texture grossière (Prasad et Power, 1997). Les sols sableux n'offrent pas de protection contre la décomposition de la matière organique. Dans ces sols à texture grossière, il est plus difficile d'augmenter le teneur en carbone organique par rapport à ce qui est observé dans les sols à textures fines (Figure 54).

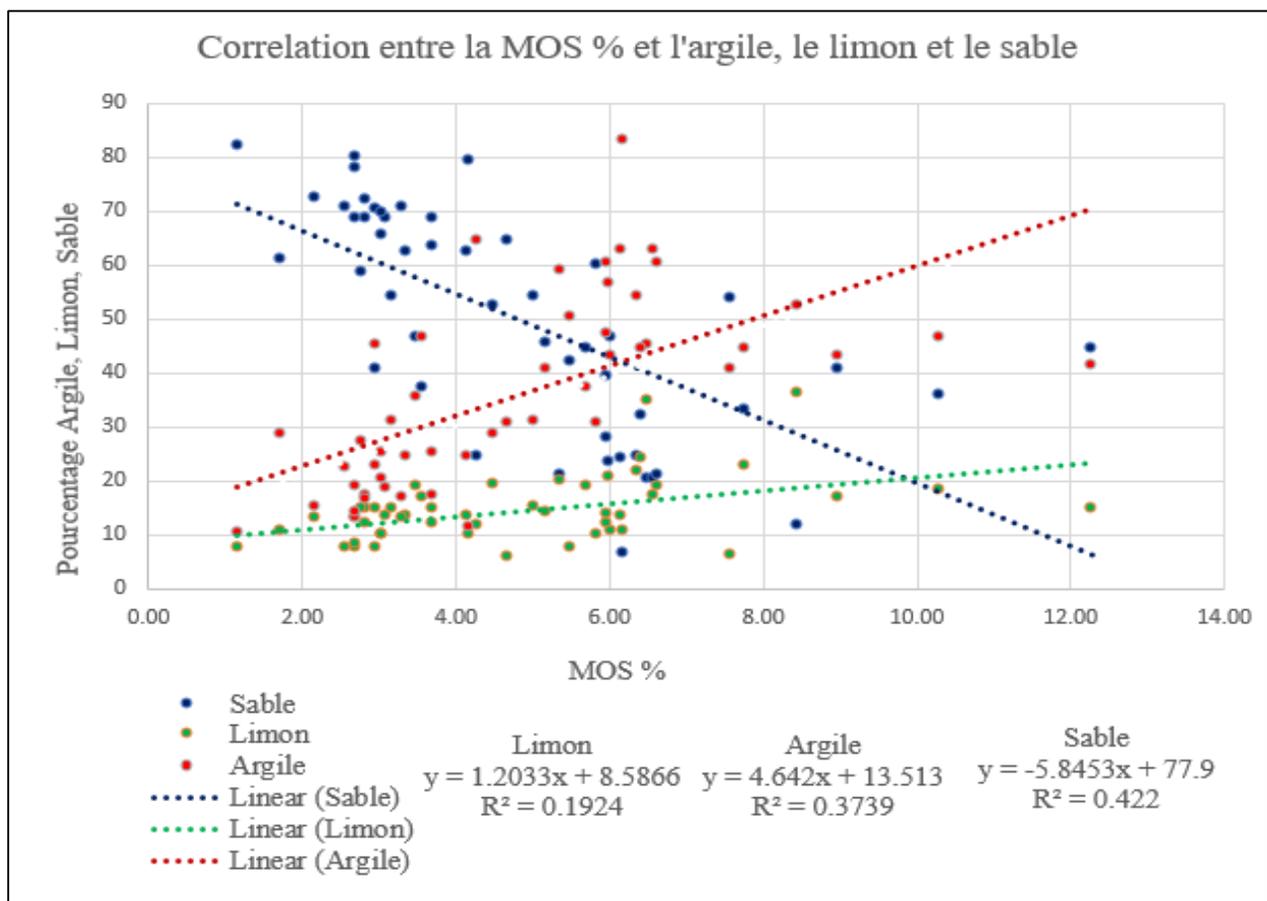


Figure 54: Corrélations statistiques entre la MOS % et les teneurs en argiles, limons et sables.

f) La relation matière organique EC et CEC

La capacité du complexe argilo-humique à retenir les cations s'appelle la capacité d'échange cationique (CEC). Elle est assurée par la fraction stable de la matière organique du sol qui permet une bonne rétention des nutriments. La figure 55 montre une corrélation forte entre la matière organique du sol et la conductivité électrique du sol (EC), d'après Koull les apports en matière organique augmente la conductivité électrique du sol de 82 pourcent (Koull, 2016). Cette fraction de la matière organique qui se décompose très lentement fournit un puis de carbone et de nutriments. Cependant, nous n'avons pas trouvé d'autres références qui précisent cette relation (MOS et conductivité électrique) et il est probable que cette corrélation soit fortuite.

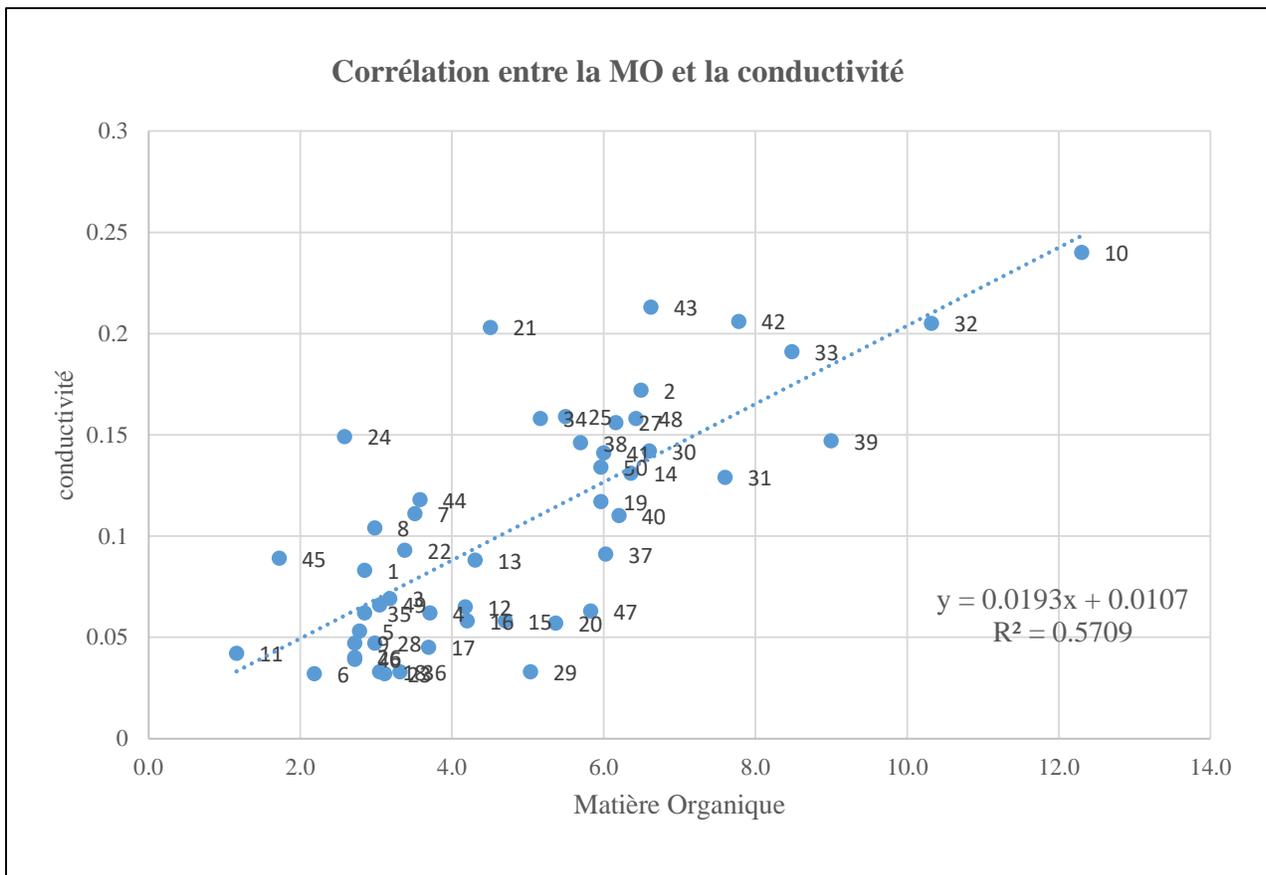


Figure 55: Corrélation entre la matière organique et la conductivité

g) Corrélation entre la teneur MO et le calcaire total et actif

Les sols sont dits calcaires selon l'origine géologique et leur teneur en carbonate de calcium. Ainsi, les sols issus de roches karstiques, comme on le rencontre au Mont Liban, sont des calcaires micritiques francs, gris clair, stratifiés, passant souvent à des couches stratifiées plus épaisses de calcaires dolomités. Cette structure géomorphologique résulte de l'érosion hydrochimique et hydraulique des roches carbonatées dont essentiellement le calcaire qui est le résultat des résidus de décarbonatation.

En général, un sol qui contient moins de 5% de calcaire est dit "non calcaire", un sol qui contient plus de 50% de calcaire est dit "très fortement calcaire". La teneur en carbonates de Ca et Mg contribuent à ralentir la minéralisation du carbone du sol comme dans les rendzines qui sont des sols typiques riches en humus et en matière organique. Ils se développent sur des roches calcaires friables, à profil généralement peu profond et humifère là où la proportion de Ca et Mg échangeable et la teneur en calcaire actif assurent une protection physique de la MOS (Virto, 2018). La figure 56 montre une corrélation positive entre la teneur du sol en matière organique (MOS%) avec la profondeur du profil et la concentration des sols en sable, cette relation indique que les sols sableux sont les plus profonds comparés aux sols argileux. Dans les sols où la teneur en sable est élevée, les teneurs en Ca et en matière organique sont réduites à cause de la porosité élevée de ces sols et de l'incapacité de ces sols riches en sables à retenir la matière organique (Figure 56).

Une teneur importante en calcaire active sous forme ionique Ca^{2+} , a des conséquences sur l'équilibre physico-chimique du sol. En présence de ces ions le calcium, les argiles et l'humus forment des agrégats appelés complexe argilo-humique. Ces agrégats sont capables de retenir à leur surface une quantité importante de cations dont les cations nutritifs pour les plantes comme le Mg^{2+} , K^+ , NH_4^+ . Ce stockage temporaire des cations dans le sol constitue un réservoir nutritif pour les plantes et permet donc le développement de la biomasse forestière.

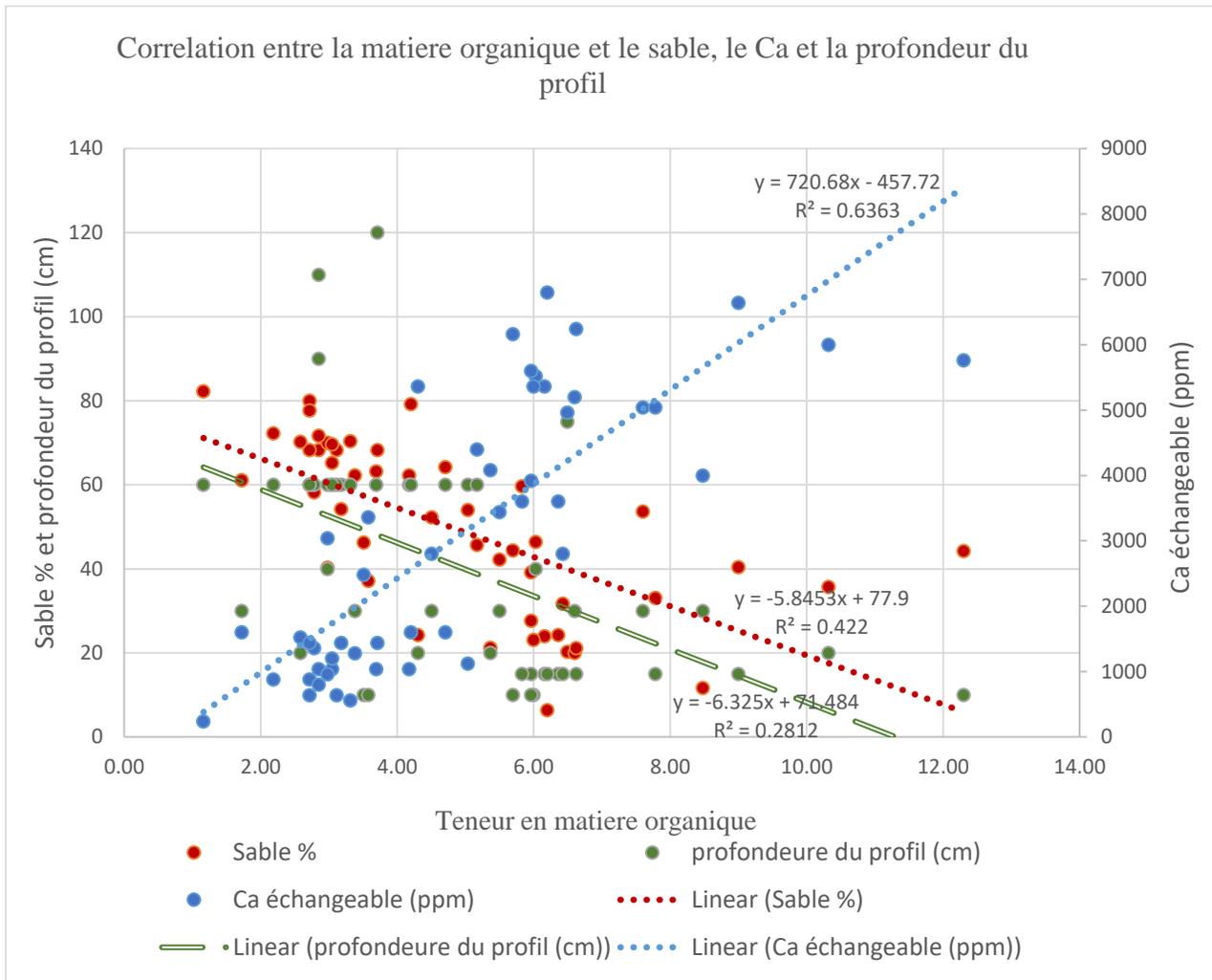


Figure 56: Corrélation entre la MOS % et la teneur du sol en sable, Ca échangeable, la profondeur du profil.

Enfin, cette étude confirme que la plupart des sols sableux sont des sols profonds pauvres en matière organique et en CaCO_3 tandis que les sols argileux sont plus riches en MO et CaCO_3 en raison de formation des liens plus forts entre l'argile et la matière organique favorisés en présence du CaCO_3 (Figure 57). Ce complexe plus stable résiste donc au processus de minéralisation et donc protège les sols de la perte de leur stock de carbone.

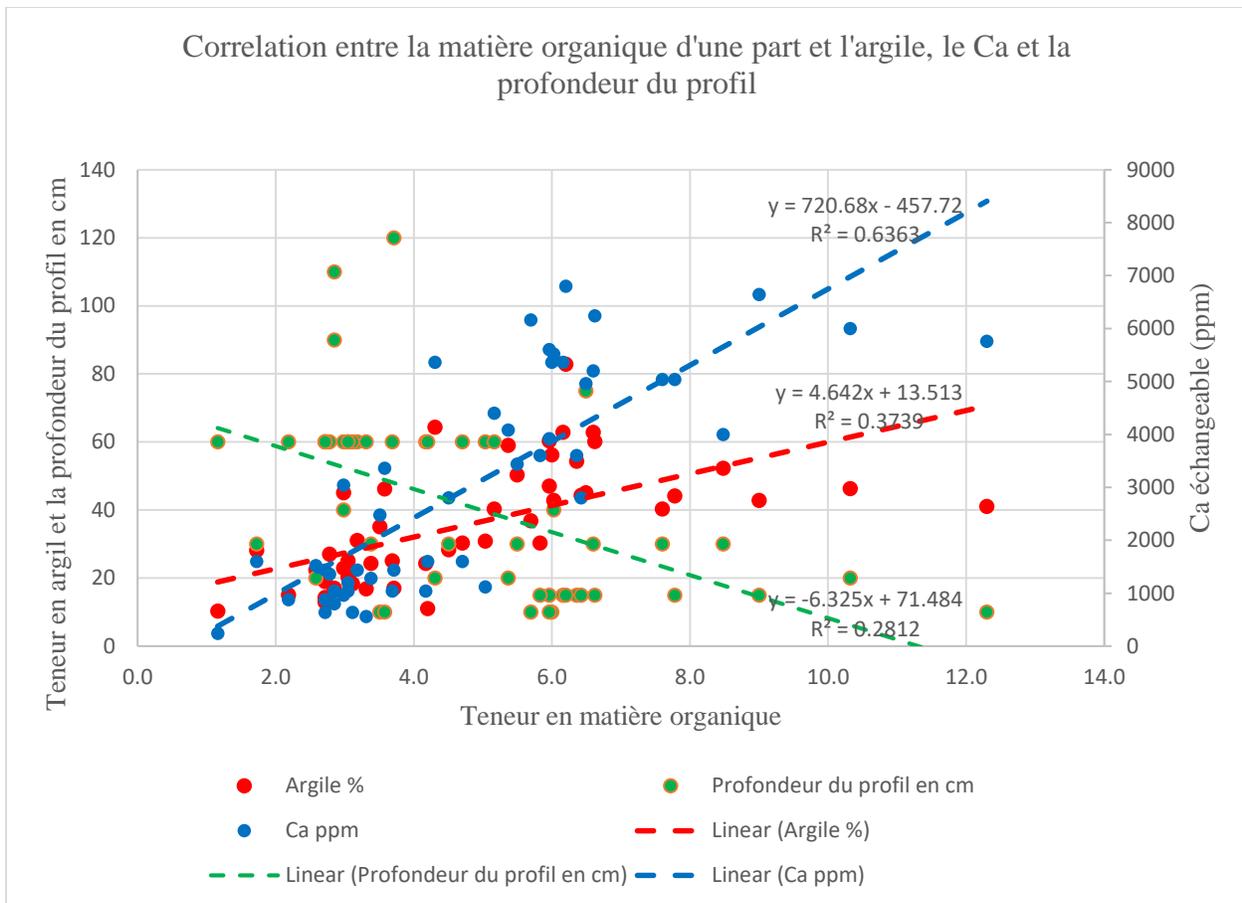


Figure 57: La corrélation entre la teneur de la MOS et la concentration du Ca échangeable, la profondeur du profil et la teneur du sol en argile

h) L'absence de corrélation entre les teneurs de matière organique du sol d'une part et la précipitation, l'altitude et l'exposition

Dès 1883, le climat a été reconnu comme l'un des paramètres de la formation du sol par le géologue russe Vasily Dokuchaev, considéré comme le père de la pédologie. Dokuchaev a déterminé que la formation du sol se produit dans le temps sous l'influence du climat qui a de forts effets sur les propriétés du sol (Brady, 1990). Il s'agit de deux composantes les plus importantes : la température et les précipitations. A ces variables climatiques s'ajoutent, la végétation, et la topographie qui englobe aussi l'altitude, l'exposition et la nature de la roche mère. Il a démontré en 1898 en utilisant l'équation de formation du sol incluant les éléments suivants : (f : facteur ; cl : climat ; o : organismes ; r : reliefs ; P : roche mère ; T : temps)

$$\text{Sol} = \sum f(\text{cl}, \text{o}, \text{r}, \text{p}) \text{tr} \quad (\text{Jenny, 1961}) \quad (14)$$

Tout d'abord, la température limite le temps de résidence de la matière organique dans le sol. La minéralisation augmente avec une élévation des températures. La perturbation périodique de la structure du sol par les pratiques culturales (labour) et les cycles de séchage et de réhumidification successives peuvent être les facteurs majeurs de l'augmentation du taux de décomposition de la matière organique. Cette décomposition est liée à l'exposition de la matière organique physiquement protégée de la biodégradation dans les micro agrégats (Balesdent et al, 2000) et donc de la minéralisation de la matière organique, en particulier l'humus. Mais dans notre étude, nous n'avons pas pu démontrer ces relations en raison de l'absence de corrélation entre l'altitude, les précipitations et la matière organique (Tableau 28).

Tableau 28 : Corrélation entre les différentes variables

Variables	OM T/ha	MO%	Litière T/ha	Biomasse herbacée T/ha	Biomasse Arbustive T/ha	Biomasse Arborée T/ha
OM T/ha	1	0,211	-0,045	0,377	-0,261	0,153
MOS%	0,211	1	0,159	-0,305	0,237	-0,328
Litière T/ha	-0,045	0,159	1	-0,156	0,407	0,069
Végétation herbacée T/ha	0,377	-0,305	-0,156	1	-0,175	-0,030
Biomasse arbustive T/ha	-0,261	0,237	0,407	-0,175	1	-0,035
Biomasse arborée T/ha	0,153	-0,328	0,069	-0,030	-0,035	1
Biomasse arborée et arbustive T/ha	0,085	-0,290	0,155	-0,077	0,181	0,964
Altitude	-0,003	0,070	0,314	0,191	0,043	-0,164
Pente en degré	-0,288	0,024	0,047	-0,103	0,022	-0,144
Exposition	-0,225	0,032	0,170	-0,113	0,136	0,139
Précipitation Moyenne	0,156	0,065	0,143	0,388	-0,095	-0,069
Sable %	0,067	-0,779	-0,086	0,370	-0,245	0,416
Limon %	0,023	0,488	-0,004	-0,231	0,064	-0,237
Argile %	-0,112	0,743	0,094	-0,336	0,282	-0,416
Epaisseur de l'horizon O cm	0,285	0,212	0,214	-0,130	0,175	0,404
Epaisseur de l'horizon A cm	0,243	-0,522	-0,097	0,480	-0,474	0,134
Epaisseur de l'horizon B cm	0,261	-0,499	-0,122	0,351	-0,249	0,353
Epaisseur de l'horizon C cm	0,321	-0,491	-0,113	0,361	-0,245	0,216
Profondeur du profil cm	0,442	-0,562	-0,172	0,483	-0,362	0,321
Profondeur pour l'estimation de MO	0,565	-0,502	-0,131	0,403	-0,321	0,305
Masse terre fine t/ha	0,592	-0,622	-0,141	0,535	-0,402	0,343
Densité des particules fine	0,430	-0,540	-0,094	0,421	-0,418	0,254
Densité du sol	0,411	-0,487	-0,170	0,419	-0,473	0,099
pH	-0,285	0,278	0,229	-0,349	0,090	-0,208
Conductivité électrique mS/cm	-0,020	0,712	0,228	-0,418	0,285	-0,144

Variables	OM T/ha	MO%	Litière T/ha	Biomasse herbacée T/ha	Biomasse Arbustive T/ha	Biomasse Arborée T/ha
CaCO3 % Total	-0,136	0,613	0,090	-0,312	0,208	-0,286
CaCO3 % Active	-0,210	0,577	0,083	-0,288	0,248	-0,299
N%	0,171	0,989	0,139	-0,312	0,226	-0,326
N kg/ha	0,982	0,177	-0,103	0,392	-0,271	0,158
P2O5 Olsen kg/ha	0,254	0,417	0,261	-0,059	-0,009	-0,136
K2O kg/ha	0,433	0,466	0,048	0,017	0,038	-0,067
Na kg/ha	0,687	-0,237	-0,096	0,385	-0,158	0,212
Mg kg/ha	0,208	-0,220	-0,052	0,105	-0,432	0,032
Ca kg/ha	0,517	0,584	0,184	-0,021	0,136	-0,128
Fer kg/ha	0,182	-0,444	-0,044	0,226	-0,215	0,194
P2O5 Olsen ppm	-0,104	0,651	0,288	-0,321	0,215	-0,282
K2O ppm	-0,078	0,756	0,170	-0,339	0,319	-0,299
Na ppm	-0,177	0,698	0,164	-0,372	0,444	-0,375
Mg ppm	-0,122	0,212	0,023	-0,246	-0,148	-0,170
Ca ppm	-0,109	0,820	0,290	-0,400	0,405	-0,372
Fer ppm	-0,144	-0,167	0,043	-0,008	0,012	-0,021
Cailloux poids en g (0-30 cm)	-0,193	0,231	-0,056	-0,155	0,057	-0,219
Pourcentage de cailloux pondéra	-0,297	0,329	-0,021	-0,239	0,165	-0,248

Pour plus de détail voir le tableau complet des corrélations (cf. annexe XIV)

Cette absence de corrélation entre la MOS et les autres variables comme l'attitude et les précipitations devrait être étudiée dans de prochaines recherches en choisissant des placettes qui ont le même couvert végétal (les mêmes espèces arborées et la même densité). Il faudrait également éliminer autant que possible les sites anthropisés, où les activités de taille, d'élagage et de brûlis sont importantes.

8.3 Une équation pour estimer la quantité de matière organique du bassin versant

Pour pouvoir déduire la matière organique présente dans le bassin versant du Nahr Beyrouth, il fallait identifier les facteurs qui favorisent sa formation. Sachant qu'on a étudié les corrélations qui se trouvent entre les différentes variables et la matière organique des sols, on utilisera la régression linéaire multiple pour identifier les variables qui influent sur la matière organique et cela nous permet ensuite de proposer une équation permettant l'estimation de la MO sans avoir recours à une analyse en laboratoire.

Les variables utilisées pour l'estimation de la MO des sols sont les variables texturales (l'argile,

le sable et la densité du sol fin) et Ca échangeable. (Tableau 29) :

Tableau 29: La matrice de corrélations

	Argile %	Densité du sol fin	Ca ppm	Sable %	MO%
Argile	1	-0,583	0,851	-0,96	0,616
Densité du sol fin	-0,583	1	-0,693	0,557	-0,498
Ca ppm	0,851	-0,693	1	-0,832	0,797
Sable	-0,96	0,557	-0,832	1	-0,657
MO%	0,616	-0,498	0,797	-0,657	1

Tableau 30: Analyse de la somme des carrés de type III montre les variables significatives

Variabes	Somme des carrés	F	Pr > F
Argile %	11,105	6,267	0,016
Densité du sol fin	1,068	0,602	0,442
Ca ppm	55,166	31,129	0,000
Sable %	7,615	4,297	0,044

Après avoir intégré les variables dans la régression linéaire multiple pour tirer l'équation d'estimation de la MOS %, nous avons déduit les variables significatives qui ont un (**Pr > F**) < **0,05** ou **p < 0,05** et qui sont les pourcentages d'argiles, de sable ainsi que le Ca échangeable (Tableau 30).

Le pourcentage de la MO est égal à :

$$\text{MOS \%} = \sum (\text{Variables significative} * \text{Valeur}) \quad (\text{Tableau 31}) \quad (15)$$

Dans cette équation, R^2 (coefficient de détermination) est égale à 0,686. Donc 69 % de la variabilité de la MOS % est expliquée par les variables indépendantes présentes dans le tableau 30. Le $P < 0,0001$ nous démontre que le modèle est significatif. L'erreur moyenne quadratique est de 1,331, donc l'erreur prévue en utilisant ce modèle est de 1,331.

Tableau 31: Coefficient de multiplication des variables de l'équation 1

Variabes	Valeur
Intercepte	14,719
Argile %	-0,020
Densité du sol fin	3,045
Ca ppm	0,002
Sable %	-0,002

Pour plus de précision, on intègre uniquement les variables significatives ($P < 0,05$) (tableau 30) dans ce modèle pour obtenir une nouvelle équation, qui contient uniquement les variables suivantes : pourcentages d'argile % et de sables et le Ca échangeable en ppm.

On obtient un $P < 0,0001$. Le R^2 (coefficient de détermination) est égale à 0,678, donc cette équation explique 68 % de la variabilité de la MOS % avec une erreur moyenne quadratique de 1,326 (Figure 65)

La nouvelle équation pour estimation du pourcentage de la MO devient :

$$\text{MOS \%} = \sum (\text{Variables significative} * \text{Valeur}) \quad (\text{Tableau 32}) \quad (16)$$

Le tableau 29 montre que toutes les variables utilisé dans cette équation sont significatives.

L'équation devient :

$$\text{MO\%} = 9,024 - 0,108 * \text{Argile\%} + 0,001 \text{ Ca échangeable (ppm)} - 0,071 * \text{sable \%} \quad (17)$$

Tableau 32: Coefficient de multiplication des variables de l'équation 2

Variabes significatives	Valeur des paramètres
Intercepte	9,024
Argile %	-0,108
Ca échangeable (ppm)	0,001
Sable %	-0,071

Les résidus standards sont utilisés pour comparer les erreurs réalisées sur différentes observations de MOS% (Figure 58). Cette équation sous-estime les valeurs déduites de la MOS% qui sont supérieure à 10% (Figure 59). Mais cette sous-estimation peut être négligeable comme les sols libanais sont pauvres en matière organique (Darwish et al. 2009).

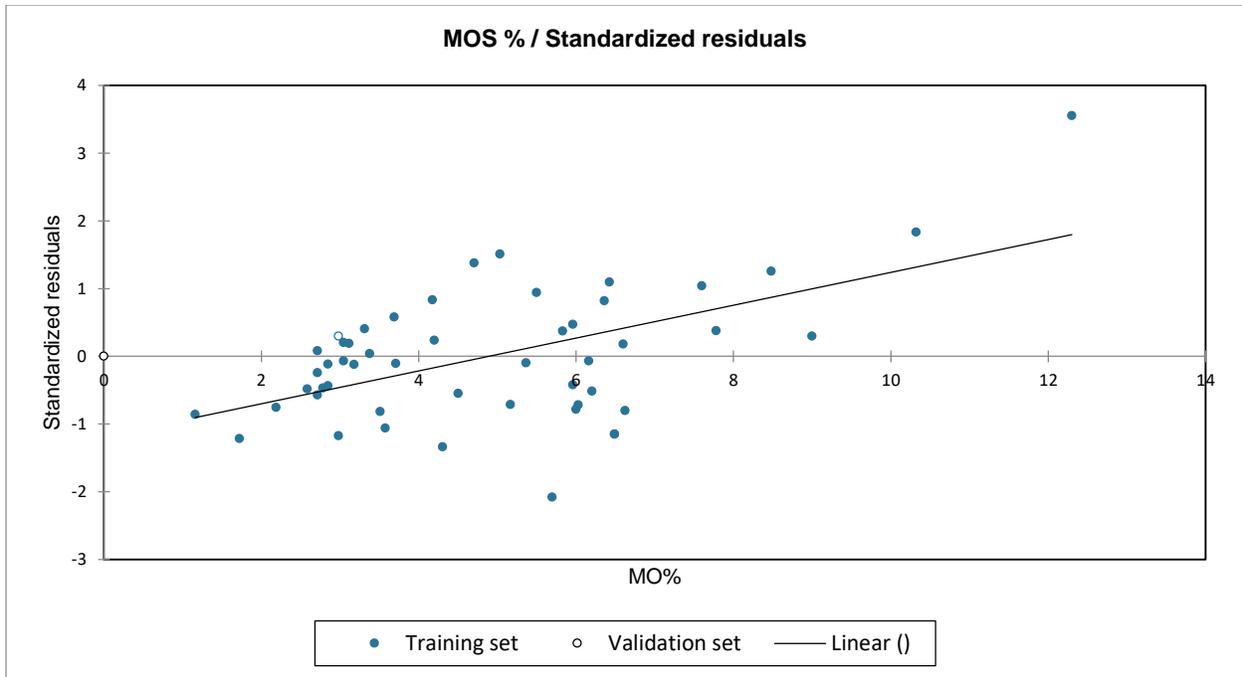


Figure 58: Cette équation montre une surestimation des valeurs supérieures à 10 %

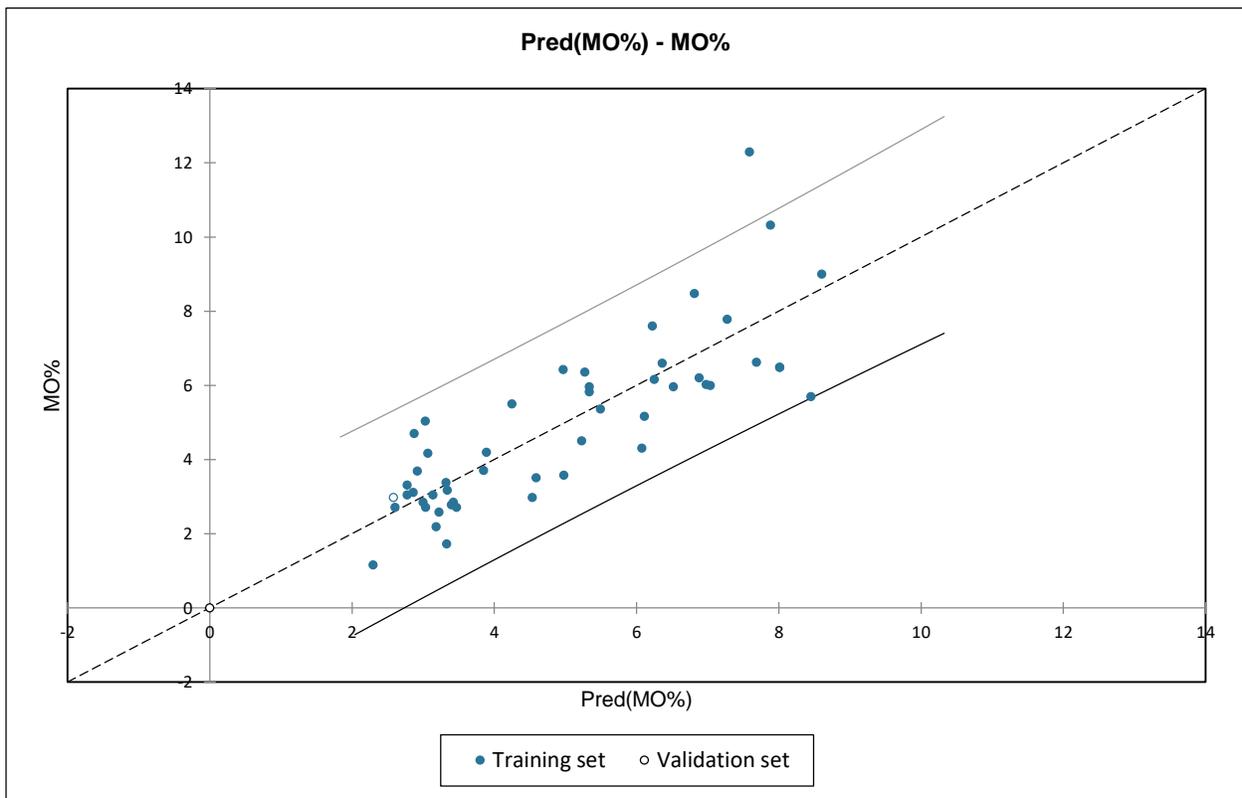


Figure 59: Cette équation montre une surestimation des valeurs supérieures à 10 %

La figure 60 montre que les placettes 32 et 10 sont sous-estimées par cette équation tandis que la

placette 38 est surestimée.

Au total, l'équation présentée dans ce chapitre constitue un modèle statistique intéressant qui permet d'estimer la MO du sol à partir de trois variables simples (sable %, argile % et Ca échangeable en ppm) qui peuvent être facilement acquises en laboratoire.

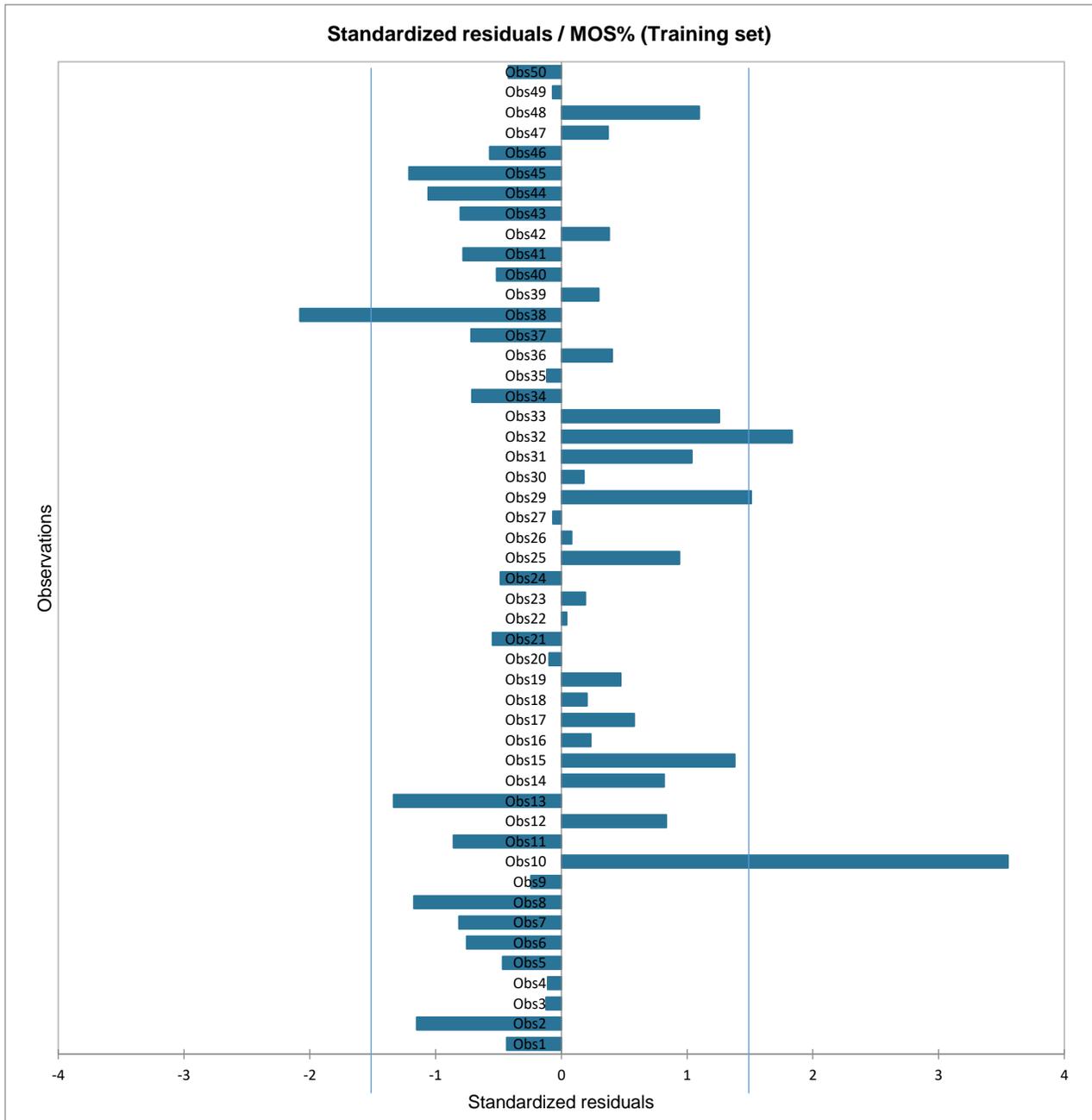


Figure 60: L'erreur moyenne quadratique est de 1,331 indiquant les taux de matière organique surestimés et sous-estimés

Chapitre 9 : Spatialisation du stock de carbone

Les stocks de carbones obtenu par cette étude représentent des données ponctuelles qu'il est intéressant de spatialiser. Celle-ci nous permettra ensuite de quantifier le stock de carbone des 5 compartiments dans les forêts du bassin versant. Différentes méthodes d'interpolation sont utilisées afin de spatialiser les stocks de carbone dont le krigeage qui est l'une des méthodes la plus employée pour l'interpolation des stocks de carbone dans la végétation (Householder et al., 2012 ; Le Clec'H, 2013 ; Park et Lee, 2014) et dans le sol (Martin et al., 2014 ; Göl et al., 2017 ; Mitran et al., 2018 ; Wang et al., 2018 ; Devine et al., 2020).

L'intérêt de l'interpolation spatiale est de pouvoir déduire le stock par type de forêts, qu'il s'agisse des formations à pin pignon ou celles classées comme « autres forêts ». Suite à notre travail de terrain et aux images satellitaires les plus récentes, il a été possible d'affiner la délimitation de ces 2 strates.

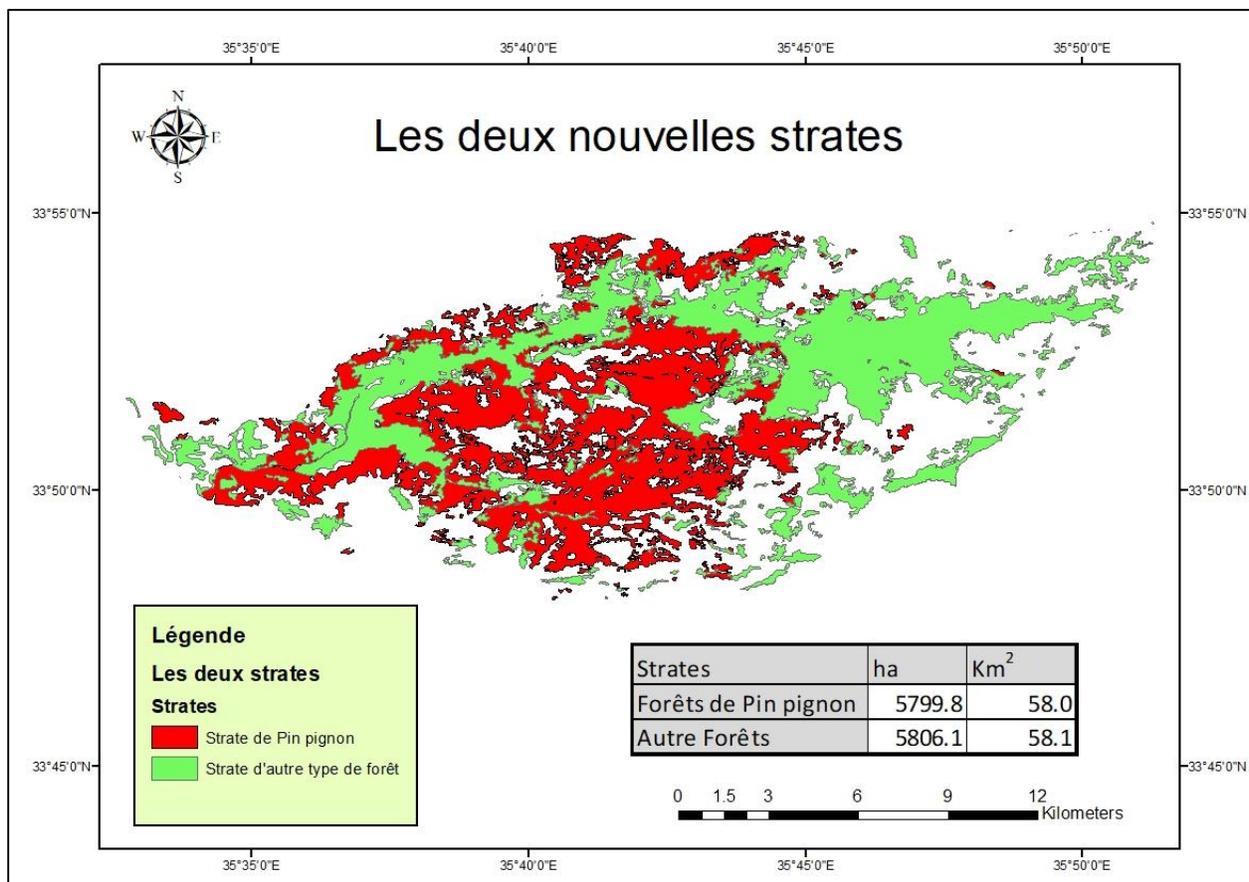


Figure 61: Les deux strates de forêt du bassin versant

Après avoir réalisé toutes les visites des placettes du bassin versant à trois reprises entre Février

2017 et Janvier 2019, et l'obtention des images satellitaires datées de 2005, 2012 et les images disponibles sur « Google Earth » du 1 Mars 2019 et du 20 Septembre 2019, nous avons mis à jour les données pour mieux préciser les superficies des deux strates qui composent le bassin versant. Ces modifications et cette mise à jour ont nécessité 3 ans de travail, de collecte, de vérification et de validation des données dans ce bassin versant.

Le résultat final obtenu est la carte d'occupation des deux strates : celle du pin pignon et celle des autres types de forêts (Figure 61).

La strate de pin pignon a une superficie de 5800 ha et celle des autres types de forêts recouvre 5806 ha du bassin versant. Les deux strates partagent le bassin en deux superficies à-peu-près égales, les forêts occupant, en moyenne, 106 km² de notre zone d'étude.

9.1 Les stocks de carbone dans les 5 compartiments du bassin versant

Pour connaître les taux de stocks de carbone dans l'ensemble des forêts d'une part et, d'autre part, dans chacune des deux strates, nous avons réalisé un krigeage ordinaire en utilisant le logiciel « Isatis 2018 ».

Le principal objectif du krigeage, consiste à prédire une variable régionalisée sur un domaine d'étude, à partir des données observées à certains emplacements. Il repose sur la modélisation et l'estimation de la structure de dépendance spatiale (Boualla, 2019). Cet ensemble de corrélation, susceptible d'exister dans la distribution spatiale des valeurs, pourrait constituer la structure de la variable régionalisée. Dans notre approche, basée sur la géostatistique linéaire, la description de la loi spatiale est limitée à ses deux premiers moments que sont l'espérance (moment d'ordre 1) et la covariance représentée par le variogramme (moment d'ordre 2) (Emery, 2001). Le krigeage a été réalisé pour chacun des 5 compartiments de carbone (sol, litière, herbacées, arbustes et arbres). À cela, nous avons rajouté la somme des stocks de carbone de deux compartiments arbres et des arbustes, ainsi que le carbone total obtenu par la somme des 5 compartiments.

Les semi-variogrammes des stocks de carbone du sol (t ha⁻¹), de la litière (t ha⁻¹), des herbacées (t ha⁻¹), des arbustes (t ha⁻¹), de la MOS (%), la somme des stocks de carbone des arbres et des arbustes (t ha⁻¹) et le carbone total des 5 compartiments (t ha⁻¹), montrent l'absence d'autocorrélations spatiales. Nous présentons dans les paragraphes qui suivent les principales

raisons qui peuvent expliquer cette absence de corrélation spatiale pour chaque stock.

Le semi-variogramme de la figure 62 indique que la teneur en C du sol (en $t\ ha^{-1}$) ne peut pas être interpolée. Cette absence de relation spatiale s'explique par un sol hétérogène, certes, mais aussi par l'effet de l'intervention humaine. En effet, les pratiques culturales liquident les stocks de carbone par la destruction de la litière constituant un réservoir d'alimentation du sol en carbone.

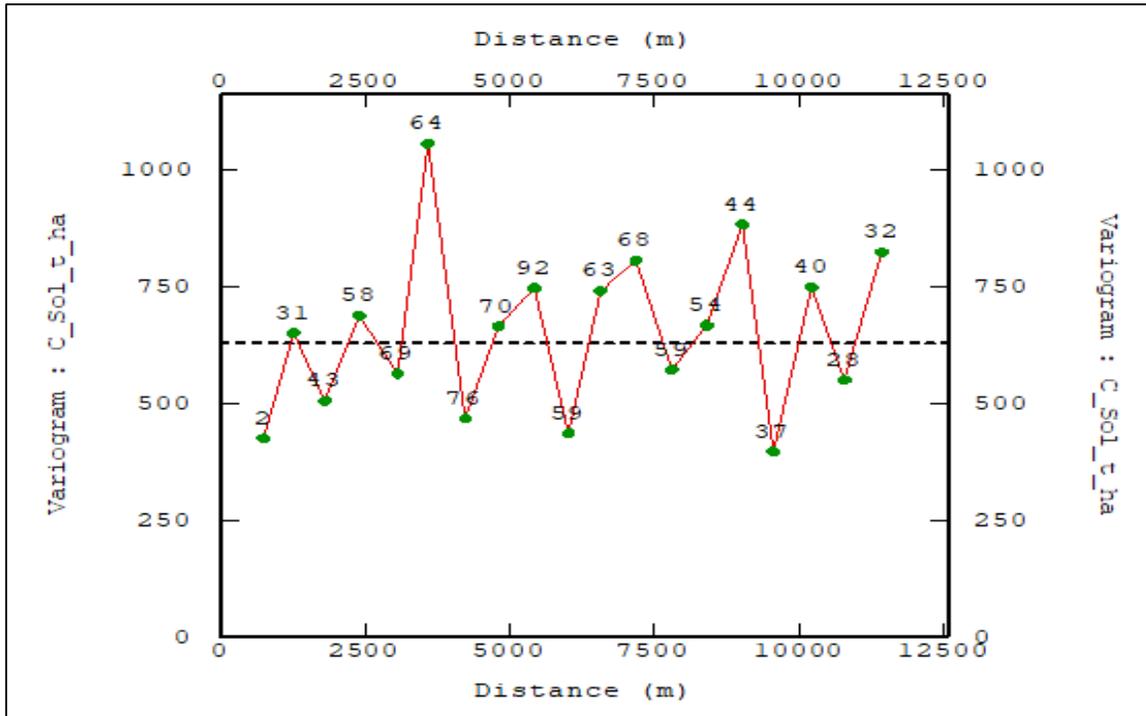


Figure 62: Semi variogramme du carbone des sols en $t\ ha^{-1}$

Pour éliminer l'effet du facteur sol qui intervient dans le calcul du carbone du sol $t\ ha^{-1}$ par ses composantes (densité des particules fines et profondeur), nous avons lancé un nouveau traitement afin de réaliser le krigeage de la matière organique du sol (MOS, %). Le semi variogramme montre un effet pépité pure traduisant l'absence de dépendance spatiale (Figure 63). Et donc, même en l'absence d'interférence du facteur sol (densité, profondeur), nous ne trouvons pas de corrélation spatiale entre la MOS % des placettes. La variabilité de la MOS% qui est en relation avec la texture du sol, en particulier le taux d'argile, pourrait en être la cause.

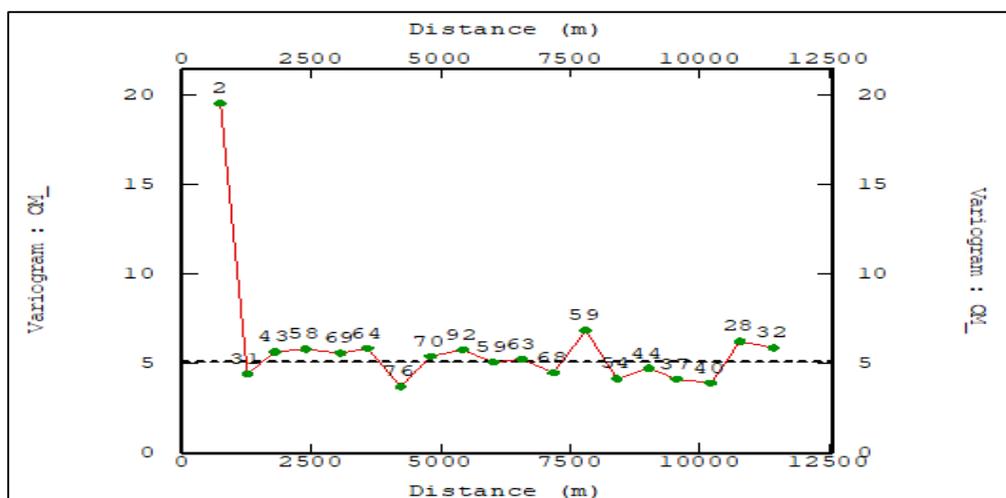


Figure 63 : Semi-variogramme de MOS%

Concernant le carbone contenu dans la litière (en $t\ ha^{-1}$), la figure 64 indique de nouveau l'absence d'autocorrélation spatiale. Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette situation : les interventions humaines, la diversité des espèces forestières, ou encore la variation de la pente et de l'altitude. En outre, comme nous l'avons précédemment noté, cette litière est détruite dans la plupart des forêts exploitées pour la production de pin pignon. L'absence de litière et de végétation herbacée rend les sols vulnérables à l'érosion, du fait de la pluie, sur les fortes pentes. Pour confirmer ce résultat, il serait intéressant d'affiner la zone d'étude, d'augmenter le nombre d'échantillonnage et de travailler sur une strate homogène.

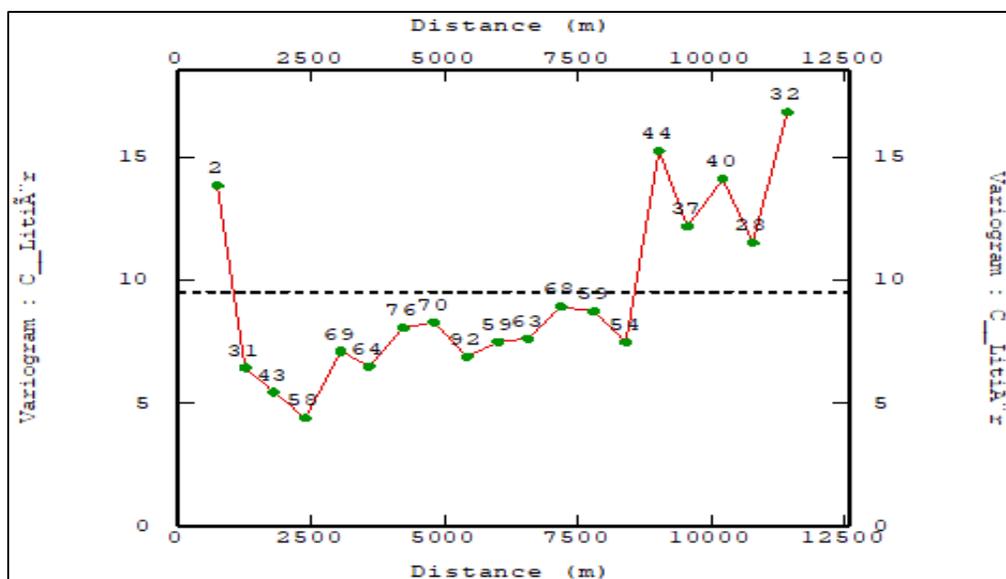


Figure 64: Semi-variogramme du carbone de la litière en $t\ ha^{-1}$

L'absence de corrélation spatiale du stock de carbone des herbacées (Figure 65), peut s'expliquer par leur faible valeur en carbone (celle-ci pouvant être nulle) et leur faible variabilité entre 0 t ha⁻¹ et 4.3 t ha⁻¹, à l'exception des placettes 9, 29 et 32 qui ont respectivement un stock de carbone de 8.8 t ha⁻¹, 6.9 t ha⁻¹ et 8.9 t ha⁻¹ (Figure 66),

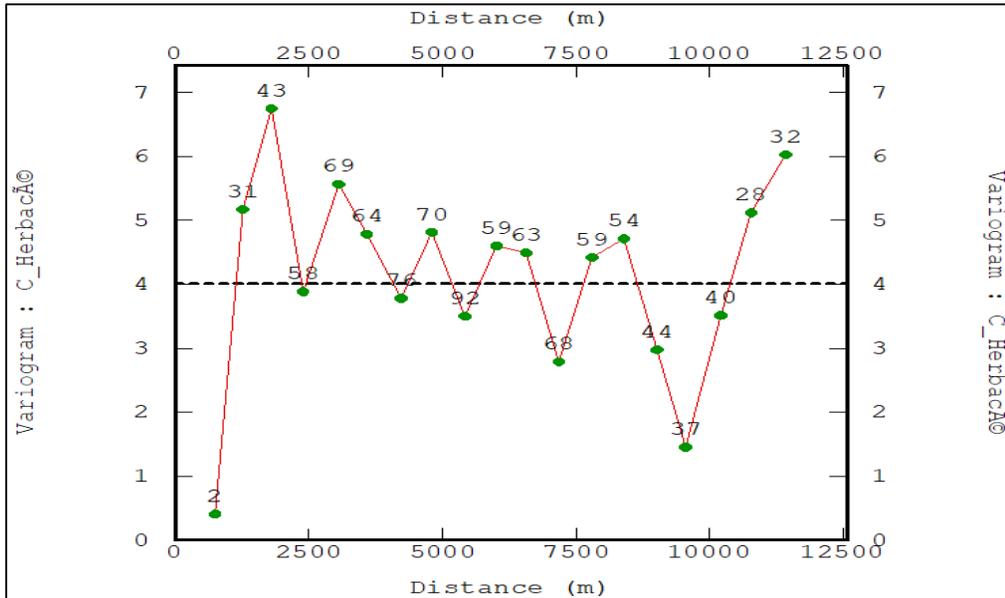


Figure 65: Semi variogramme du carbone des herbacées en t ha⁻¹

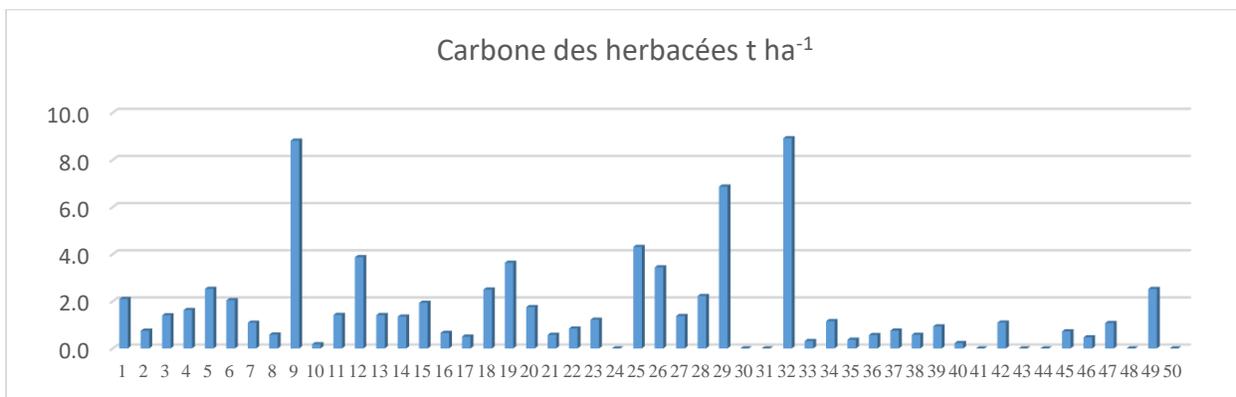


Figure 66: Stocks de carbone des herbacées par placette en t ha⁻¹

Les résultats obtenus sur les arbustes ne peuvent être traités. Sur les 50 placettes, 33 ont un stock égal à zéro (Figure 67). Cette végétation arbustive est réduite en raison de la présence des forêts denses, des interventions humaines... etc. Par conséquent, l'échantillonnage n'est pas significatif pour un traitement géostatistique. De la même manière, les variogrammes de la somme des stocks

de carbone des arbres et des arbustes et le stock total de carbone ne présentent aucune autocorrélation spatiale (Figure 68, 69).

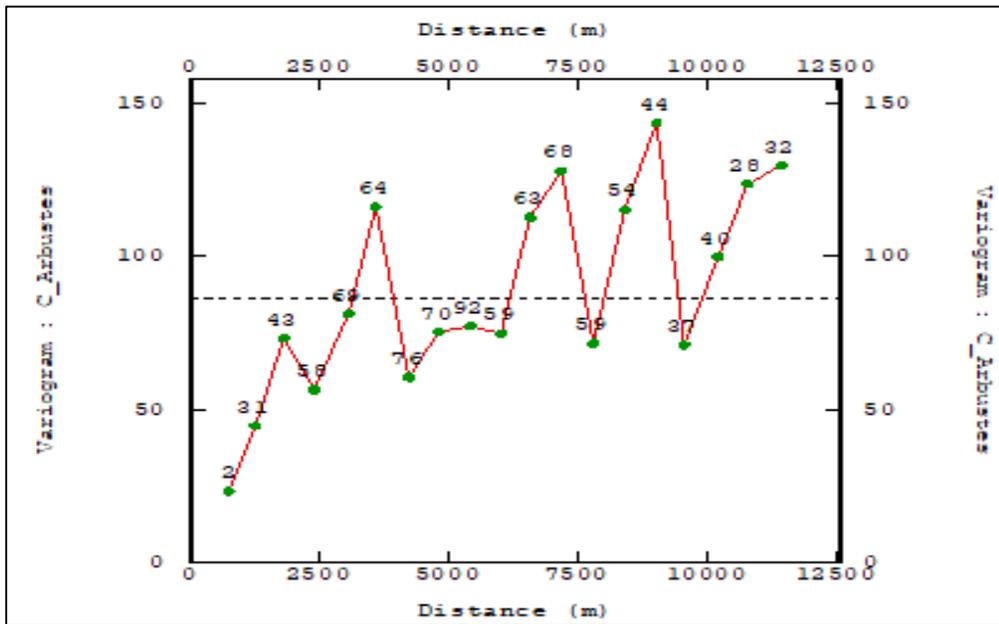


Figure 67: Semi-variogramme du carbone des arbustes en $t\ ha^{-1}$

Finalement, seul le stock de $C\ t\ ha^{-1}$ des arbres présente un résultat intéressant et fait l'objet de la section qui suit en absence de corrélation spécial entre les stocks de carbones des arbres et arbustes et les stocks de carbone totaux (Figure 68, 69).

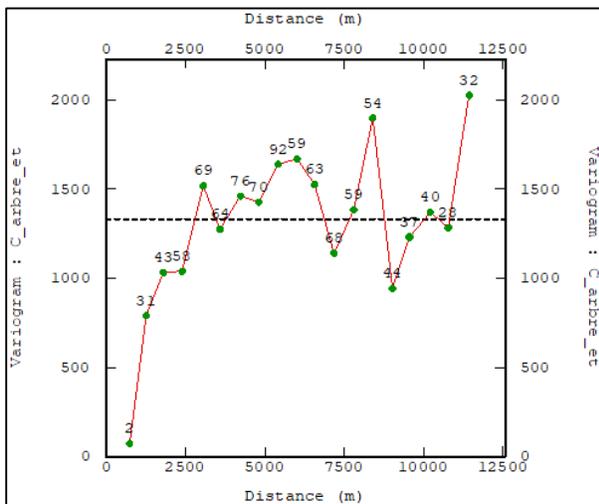


Figure 68: Semi-variogramme du carbone des arbres et arbustes en $t\ ha^{-1}$

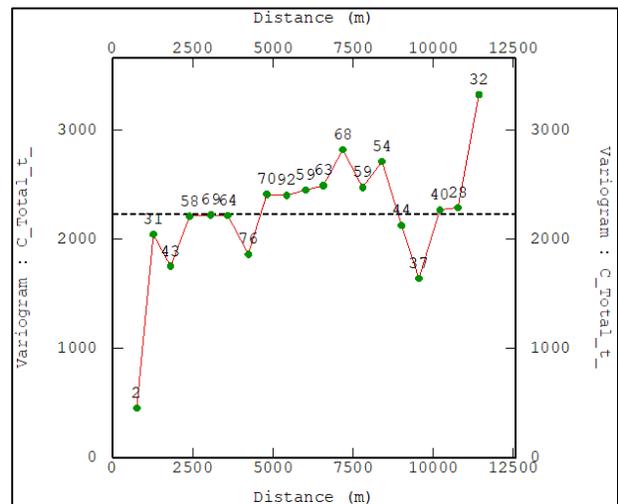


Figure 69: Semi-variogramme du carbone total en $t\ ha^{-1}$

9.2 Spatialisation du carbone des arbres

Une première analyse de la répartition du stock de carbone des arbres selon leur localisation nous montre que 2 sites se caractérisent par des stocks très élevés par rapport aux autres placettes. Les sites 21 et 24 (entourés d'un grand carré rouge dans la figure 70) ont un stock de C arboré très élevé qui est respectivement de 249 t ha⁻¹ et 192 t ha⁻¹, bien supérieur aux valeurs des autres placettes. Dans l'histogramme, ces deux placettes ressortent de manière très significative. Il s'agit de points qui se trouvent au bord du fleuve et qui sont alimentés en eau continuellement même durant les longues périodes de sécheresse estivales. En été, le lit desséché du fleuve transporte les eaux des effluents des villages de la région qui déversent directement leurs eaux usées dans le cours d'eau. De ce fait, elles sont chargées de minéraux nécessaires pour le développement des arbres riverains dont le platane d'Orient, le charme –houblon et le peuplier noir, présents dans ces deux placettes.

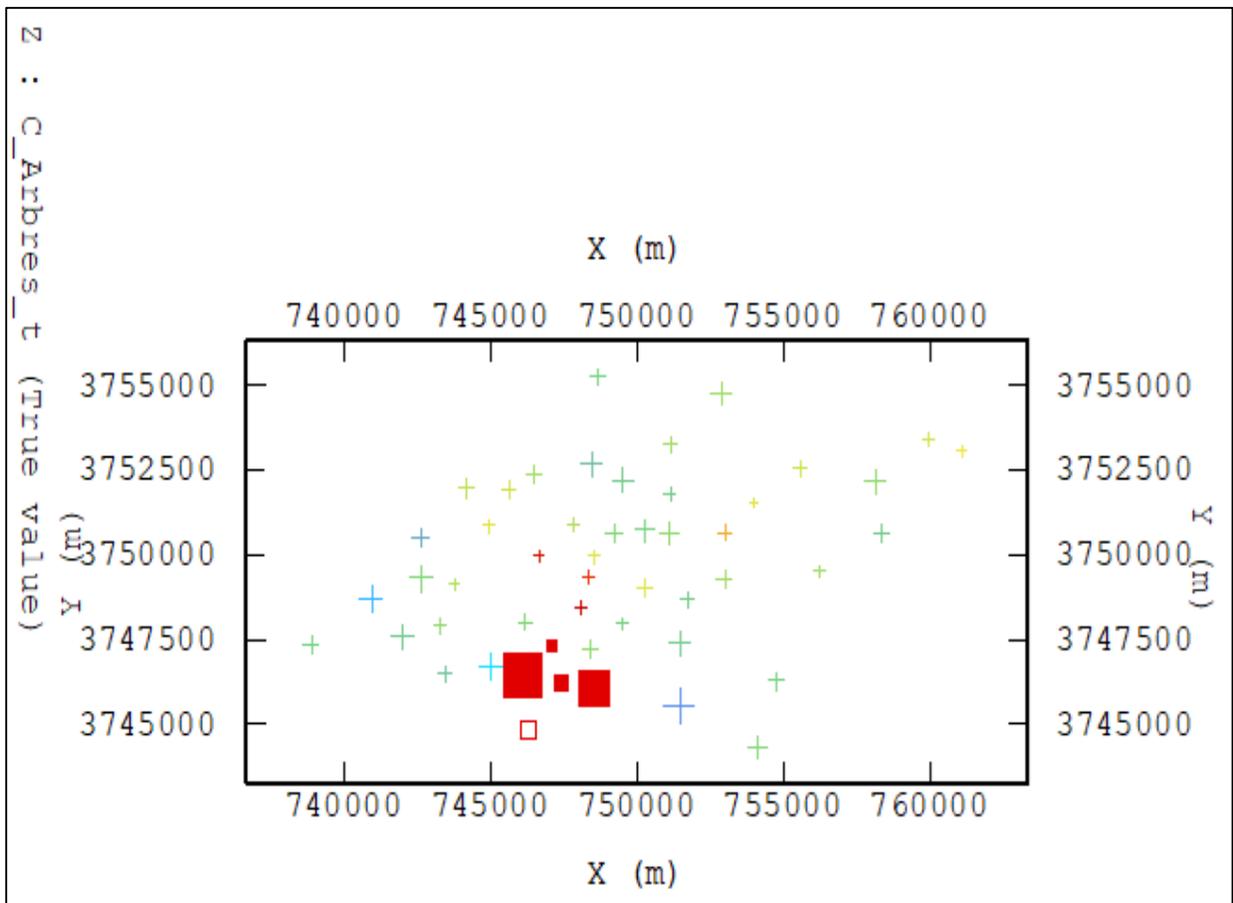


Figure 70: Répartition des teneurs de C selon leur localisation

De ce fait, ces deux points risquent de déstabiliser les valeurs qui sont à proximité.

Ainsi le traitement qui suit sera double :

- Un premier intègre toutes les valeurs de notre échantillonnage
- Un second supprime les 2 placettes qui déstabilisent le variogramme.

Un premier variogramme (Figure 71) incluant ces 2 points extrêmes montre un effet pépité qui démontre qu'il n'y a aucune dépendance spatiale (Figure 72).

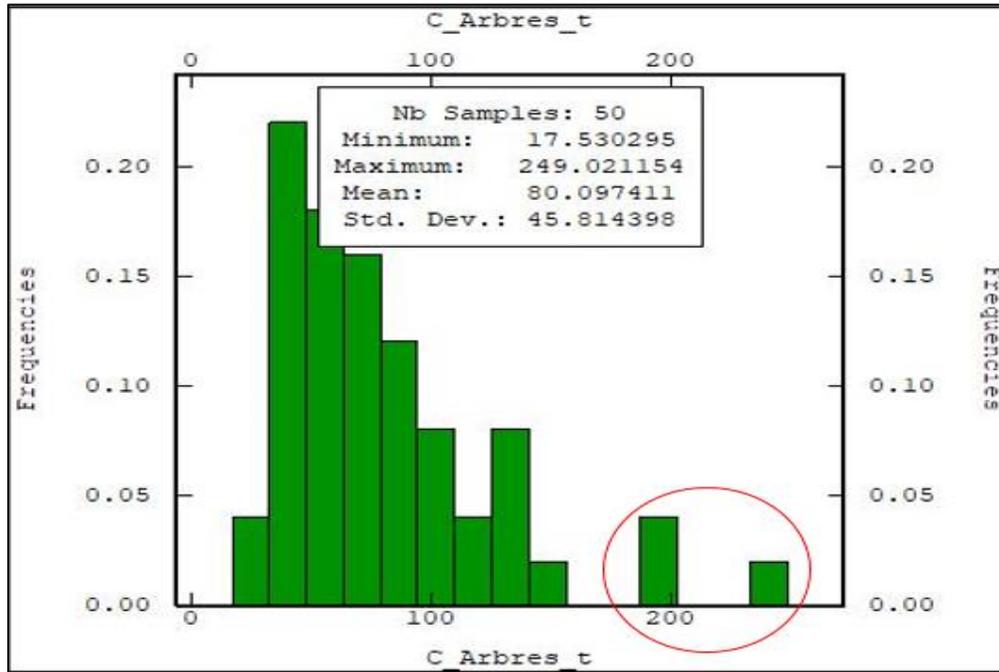


Figure 71: Histogramme des valeurs de Carbone. Les placettes 21 et 24 (entourées en rouge) présentent des valeurs aberrantes

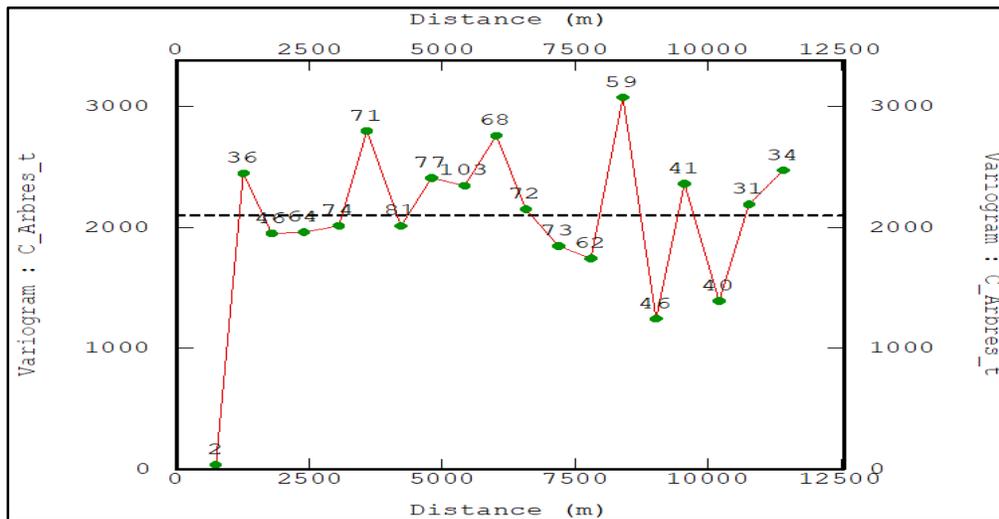


Figure 72 : Semi-variogramme avec tous les points de l'échantillonnage

Par contre, si on retire ces points représentatifs d'une situation extrême (Figure 73), le semi variogramme présente une allure intéressante (Figure 74). Un modèle sphérique s'adapte aux données expérimentales et ne montre pas d'effet pépité. La figure 74 montre une portée de 3 800 m à partir de laquelle il n'y a plus de dépendance spatiale avec un palier de 1 400.

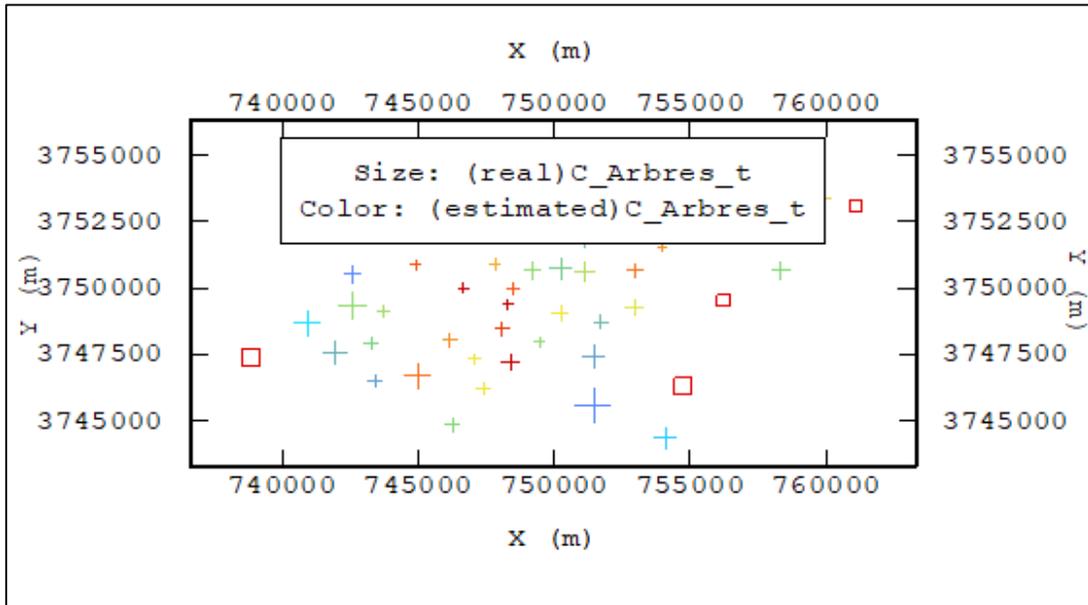


Figure 73: Répartition des valeurs selon leur localisation (sans les 2 placettes)

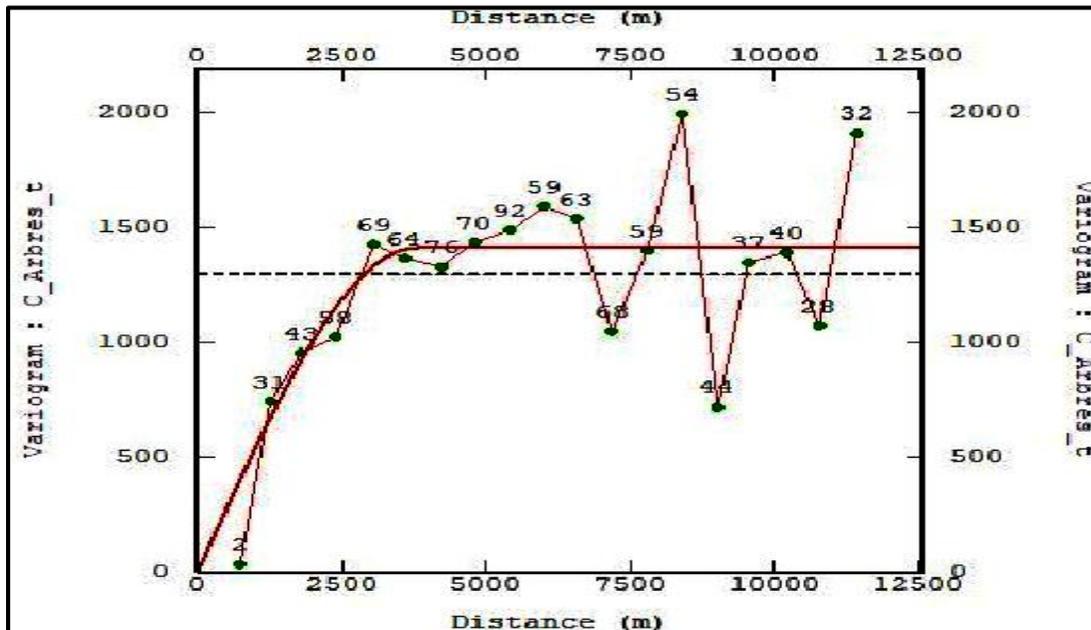


Figure 74: Sem - variogramme du carbone des arbres sans les deux placettes (21 et 24)

Une validation croisée entre les valeurs observées et celles estimées nous permet de juger de la qualité de ce modèle d'interpolation spatiale. Cette procédure consiste à considérer chaque point de données tour à tour, à le supprimer temporairement de l'ensemble de données et à prédire, grâce au krigeage sa valeur. Pour chaque site s_i de valeur de mesure z_i , on obtient une valeur estimée z'_i et une prédiction SD de krigeage (Cardenas et Malherbe 2003).

La validation croisée nous montre la robustesse de nos valeurs estimées. En effet, une comparaison entre données estimées et observées (Figure 75 a) a un coefficient Rho de l'ordre de 0,449 (alors qu'il n'est que de 0,36 dans le cas où on intègre tous les échantillons (cf. annexe XV)

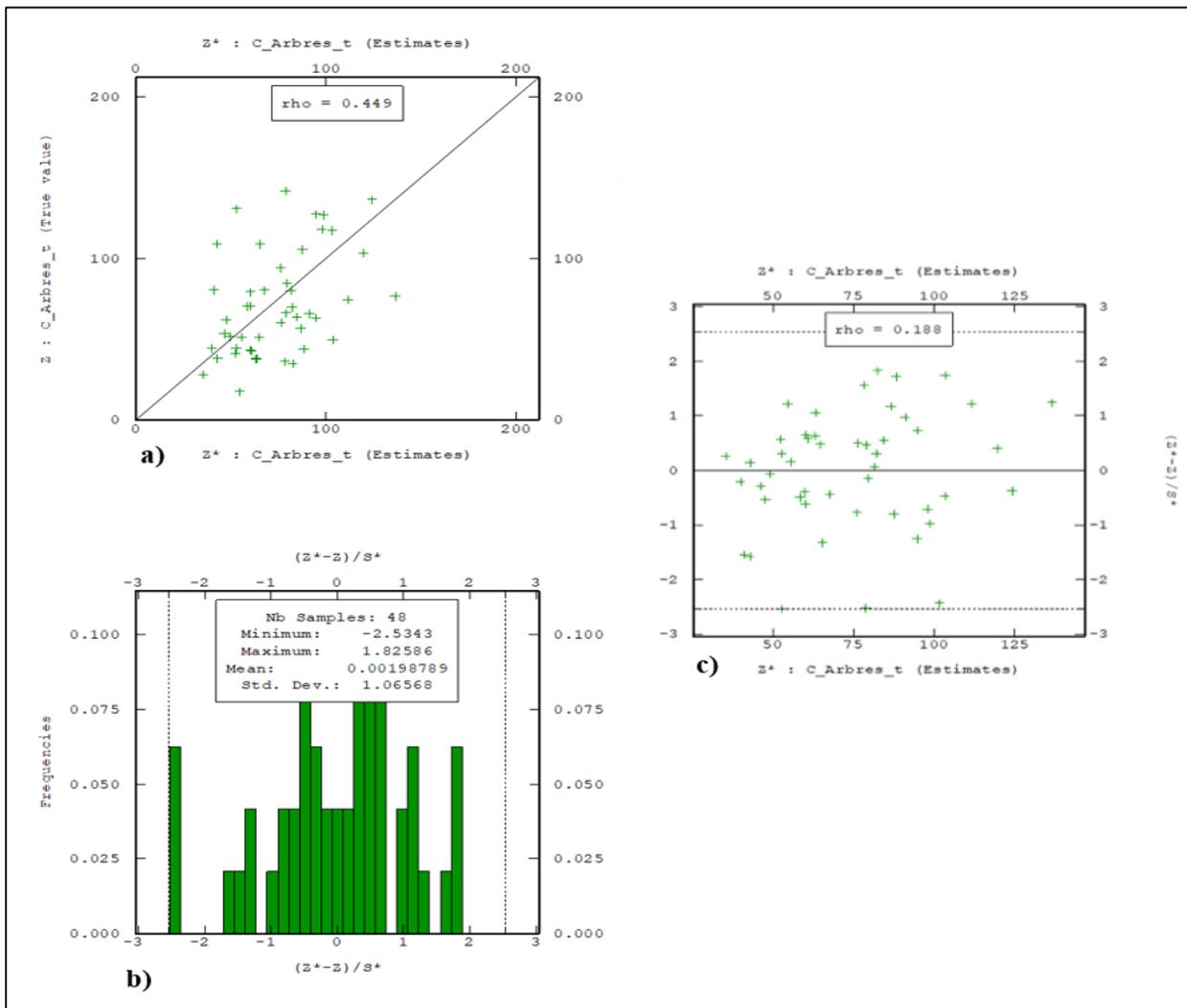


Figure 75: Validation croisée des données estimées. a) La validation croisée ; b) Histogramme des valeurs de Carbone ; c) Valeurs absolues d'erreur standardisée

Par ailleurs, d'autres données confirment la robustesse de nos résultats ;

- La variance de l'erreur standardisée est de 1,06 (Figure 75.b). Or, les estimations sont d'autant plus précises que cette variance est proche de 1 indiquant que l'erreur de prédiction du krigeage est représentative de l'erreur d'estimation (Cardenass et Malherbe, 2003).
- Les valeurs absolues d'erreur standardisée de tous les sites sont inférieures au seuil de 2,5 (Figure 75.c), ce qui signifie que tous les données sont robustes.

Globalement, les valeurs de stock varient de 50 à 100 t ha⁻¹. Cependant, des îlots ressortent significativement. Les zones bleues, avec des valeurs inférieures à 50 tC ha⁻¹, paraissent se concentrer autour des villages. Les zones jaunes présentent des stocks beaucoup plus élevés (100 à 150 tC ha⁻¹). Cette approche spatialisée confirme ce qui a déjà été dit, et permet de souligner l'effet anthropique qui ne doit absolument pas être négligé dans le calcul du stock de carbone des écosystèmes forestiers du Liban. Notons que les valeurs maximales se retrouvent à proximité du fleuve de Nahr Beyrouth, l'eau ne présentant pas un facteur limitant contribue fortement au développement des arbres dans ces zones (Figure 76).

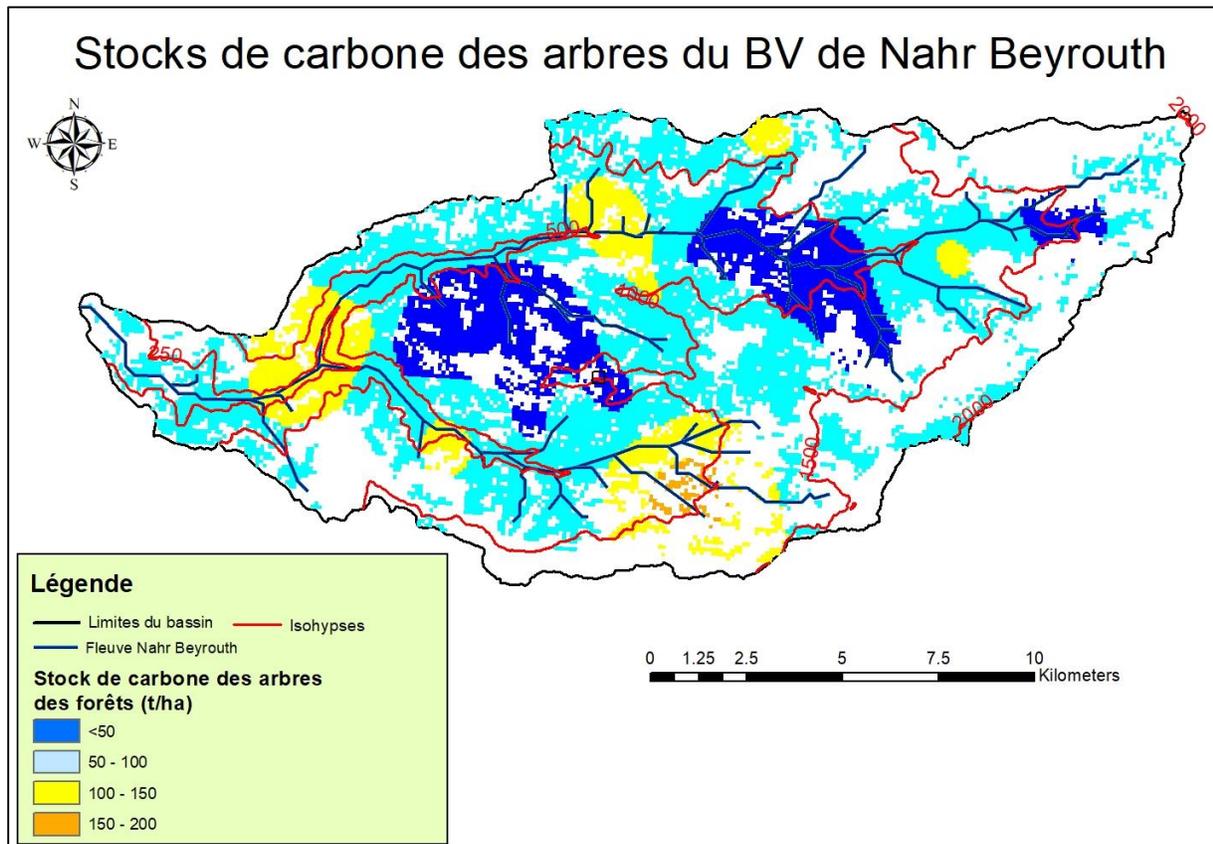


Figure 76: Spatialisation du stock de carbone dans le bassin versant

L'estimation des stocks de carbone obtenue par krigeage présente des erreurs qui sont localisées à la limite du bassin versant. Ceci pourrait aisément s'expliquer par l'absence des placettes à la frontière de la zone d'étude qui présente un effet de bordure (Figure 77). Pour cela, et dans des futures études, et afin d'obtenir une estimation plus exacte et précise, il faudra choisir des placettes au bord et à l'extérieur de la limite du bassin versant. Il est évident que l'autre erreur d'estimation se retrouve à proximité du fleuve, car c'est dans cette zone qu'on retrouve les valeurs régionalisées les plus élevées.

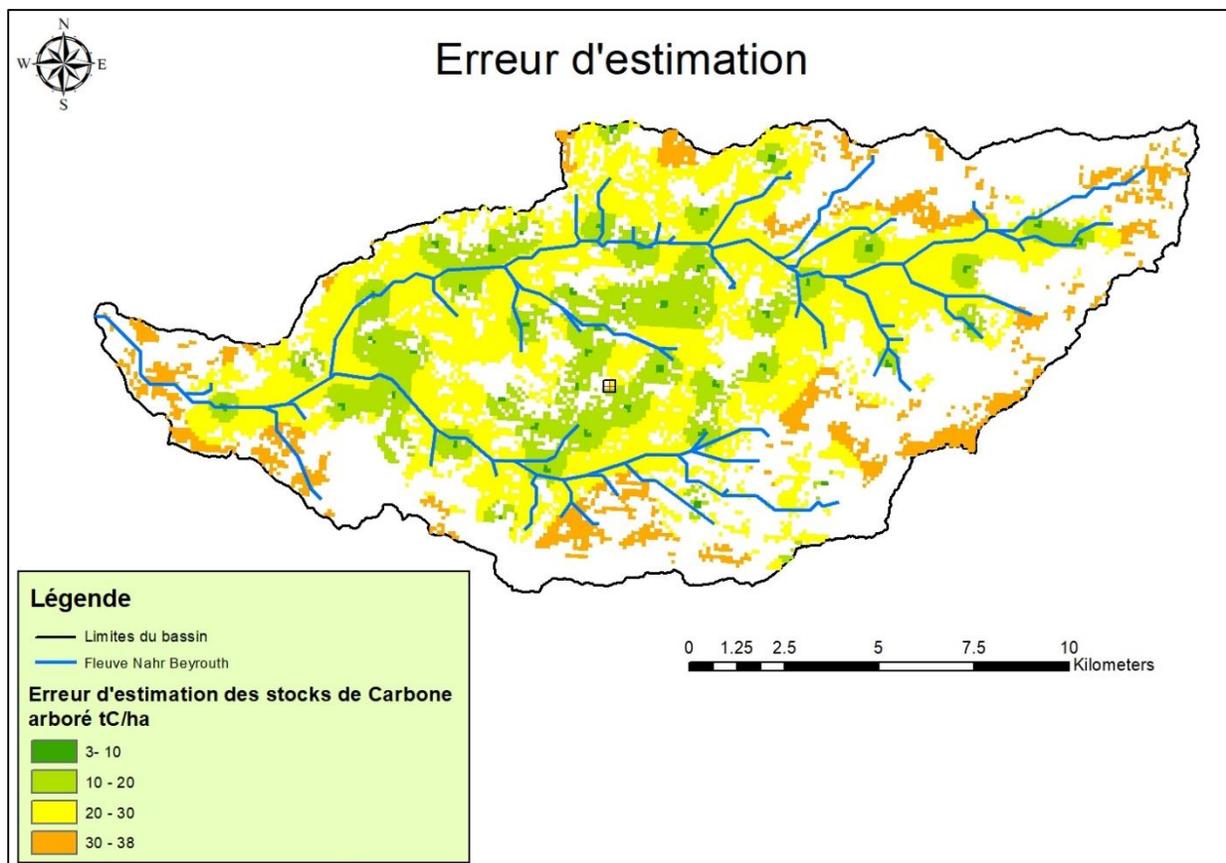


Figure 77: L'erreur d'estimation sans les placettes 21 et 24

Cette tentative de spatialisation montre la difficulté de cartographier la teneur en carbone des 5 compartiments en zone montagneuse, hétérogène et anthropisée qui constitue pourtant une situation fréquente au Liban et plus généralement en Méditerranée orientale. Notre étude permet ainsi de clairement poser la question de la représentativité des valeurs du stock de carbone dans un bassin versant en milieu méditerranéen.

Malgré toutes ces limites, nous avons tenté d'estimer le stock de carbone arboré en le divisant en 4 groupes : Le premier comprend entre 18 et 50 t ha⁻¹, constitue 10 % des superficies des forêts du bassin versant tandis que le deuxième entre 50 et 100 t ha⁻¹ occupe 63 % des forêts du bassin versant et le troisième stock entre 100 et 150 t ha⁻¹ constitue 25 %. Ces 2 derniers groupes occupent plus de 88 % de la superficie des forêts du bassin versant (Figure 78).

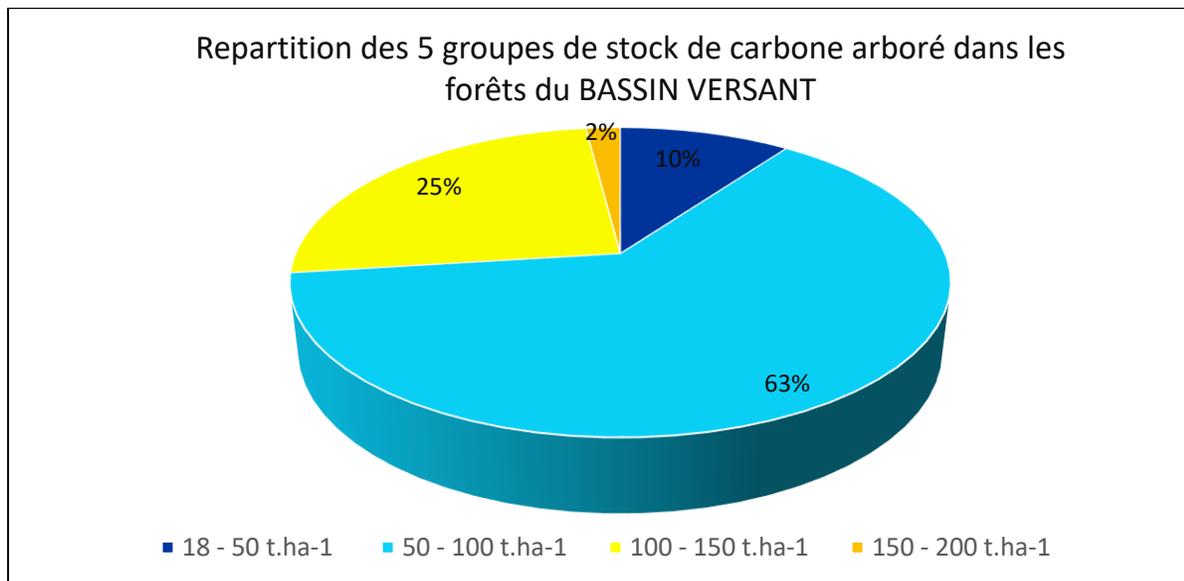


Figure 78: La répartition des stocks de carbone arboré

L'interpolation spatiale permet de calculer les stocks totaux de carbone arboré dans les forêts du bassin versant qui est de 859 000 tonnes. Dans la strate de pin pignon, il s'élève à 436 000 tonnes de carbone avec un minimum de 22 t. ha⁻¹ et un maximum de 191 t ha⁻¹. Tandis que la strate des autres types de forêts le stock total de carbone s'élève à 423 000 tonnes de carbone avec un minimum de 18 t ha⁻¹ et un maximum de 178 t ha⁻¹.

Les difficultés dans l'application du krigeage résident dans l'hétérogénéité des sols et les interventions humaines qui ont permis uniquement de faire le krigeage pour le carbone arboré. Il a permis d'estimer un stock de carbone arboré total de 859 000 tonnes. Pour les autres stocks, et pour plus de précision, il faudra prévoir des campagnes de mesure intensifiant le nombre d'échantillonnage tout en réduisant la zone d'étude.

Conclusion de la troisième partie

Les traitements statistiques utilisés dans cette troisième partie avaient pour objectif d'étudier les relations existantes entre les 5 compartiments de carbone de l'écosystème forestier méditerranéen. Il s'agissait aussi d'examiner les facteurs qui influencent les teneurs en carbone, de chaque compartiment.

Les ACP, ont démontré la présence d'une relation entre la litière et la biomasse arbustive, ce qui constitue un indicateur d'une zone soumise aux actions anthropiques.

Le traitement des variables du sol ont mis en relief une corrélation entre la MOS % et les éléments suivants : la quantité d'argile et de limon, la conductivité électrique et le calcium. Ces relations sont confirmées par les recherches bibliographiques qui indiquent que la complexation stabilise le COS dans le sol. Par conséquent, dans le bassin-versant étudié, nous pouvions espérer observer une stabilité de la MOS, là où les sols sont riches en argile. Cependant cette relation est rarement vérifiée en raison d'une contrainte supplémentaire : les sols argilo-limoneux sont très peu épais en comparaison avec les sols sableux. Par conséquent, la quantité de stockage du carbone y reste peu importante.

Ainsi, contrairement aux forêts des milieux tempérés, dans le bassin versant de Nahr Beyrouth les arbres captent plus de carbone que le sol. Les raisons sont non seulement expliquées par les caractéristiques pédologiques mais aussi par les activités anthropiques qui remanient et modifient les stocks contenus dans le sol et la litière.

L'équation pour estimer la MO constitue un modèle intéressant. Elle permet l'obtention de la valeur de MOS % à partir d'une équation multiple qui utilise les variables les plus significatives (les teneurs en argiles et en sables, exprimés en %, ainsi que le Ca échangeable, exprimé en ppm). Finalement, un essai de cartographie reste limité aux teneurs en carbone des arbres. En effet, la spatialisation est une démarche intéressante dès lors que l'on souhaite analyser la variabilité d'un stock et d'en estimer une valeur à l'échelle d'un territoire, mais elle reste une approche délicate en milieux anthropisés.

Partie

Conclusion

Les forêts jouent un rôle essentiel dans la régulation du climat et dans l'atténuation du réchauffement de la planète. Elles constituent un maillon essentiel de l'avenir que nous souhaitons, pour les populations, pour les économies et pour la santé des individus et de l'environnement menacé par le changement climatique et l'épuisement des ressources naturelles. Le défi à relever pour atteindre les objectifs climatiques est de développer les connaissances sur les mécanismes naturels de stockage du carbone atmosphérique par les forêts car elles constituent un élément clé de la solution.

Il est connu que les forêts méditerranéennes, comme celles du Liban, se caractérisent par une grande hétérogénéité biogéographique, historique, climatique et physiologique. Cependant, leur instabilité et leur vulnérabilité sont liées non seulement à leur environnement et climat (stress hydrique estival qui dure de 4 à 6 mois) mais aussi à la pression anthropique qui augmente. Pour que ces forêts puissent lutter contre des enjeux planétaires majeurs comme le réchauffement climatique, il paraît important de pallier les lacunes en matière de données et de connaissances sur les forêts méditerranéennes et, notamment, sur leur rôle dans le cycle carbone.

Cette recherche a été menée sur le bassin-versant du Nahr Beyrouth. On a réalisé, dans le cadre de cette étude doctorale, un inventaire pour estimer le stock de carbone de 5 compartiments des forêts libanaises : arbres, arbustes, herbacés, litières et sols. Ce travail a comporté une approche comparative entre ces différents réservoirs ainsi, qu'une analyse des facteurs pouvant influencer sur les stocks de carbone du sol. Cette première étude complète, inédite au Liban, est basée sur les normes de l'inventaire carbone de la FAO et du GIEC, cette méthodologie rigoureuse est utilisée pour quantifier le stock total de carbone par placette.

Un choix de 50 placettes répartis sur l'ensemble forestier du bassin-versant, a permis de mesurer le DBH de plus de 1 903 arbres et 222 arbustes, d'estimer la biomasse pour 188 échantillons de litière (qui a fait l'objet de 396 traitements), la biomasse de 113 échantillons d'herbacées, de procéder à une analyse granulométrique de 245 échantillons de sol et à une analyse texturale et des nutriments pour 50 échantillons de sol. Finalement, les horizons de 50 profils ont pu être définis. Cette collecte des données et leur traitement ont permis de mieux comprendre le comportement de la relation forêt/carbone dans cette zone de la méditerranée orientale. L'un des résultats fondamentaux de cette étude est le véritable potentiel de stockage du carbone de la forêt

méditerranéenne. Ainsi, les stocks totaux, tels qu'estimés dans le Nahr Beyrouth, sont comparables à ceux des forêts tempérées.

Cependant, la comparaison entre les 5 compartiments indique quelques différences par rapport aux observations et aux résultats tels que présentés dans la littérature. Le rôle majeur de stockage revient à la biomasse arborescente. Estimée à 87 t ha^{-1} , cette valeur est supérieure à celle obtenue dans les forêts tempérées d'Europe (32 tC ha^{-1}), d'Australie (45 tC ha^{-1}) et les États Unis (62 tC ha^{-1}). Par ailleurs, les analyses des micros et des macroéléments montrent que les sols sont propices au développement des forêts. C'est un atout pour la reforestation.

Par contre, le sol, censé être le premier réservoir de carbone, a dans notre bassin d'étude un stock inférieur à la strate arborescente. Les caractéristiques pédologiques donnent pourtant aux sols des propriétés argilo-humiques favorables à la captation. Mais la contrainte est liée à leur très faible épaisseur qui implique, de ce fait, un stock de carbone très limité. De manière similaire, les sols sableux au complexe argilo-humique moins développé mais plus profond, contiennent peu de carbone.

La pression anthropique est un autre facteur explicatif de ce résultat concernant les sols forestiers. Les pratiques sylvicoles dans les forêts de pin pignon, l'exploitation de charbon de bois, le pâturage, détruisent et modifient le potentiel de stockage du sol. Ainsi, les sols forestiers du bassin versant stockent en moyenne 60 tC ha^{-1} , ce qui est de loin inférieur aux estimations des stocks des sols des forêts tempérées de l'Europe, de l'Australie et des États Unis et qui sont respectivement 90 tC ha^{-1} , 83 tC ha^{-1} et 108 tC ha^{-1} .

S'il a été possible, à partir des variables mesurées sur le terrain et en laboratoire, d'estimer le stock de carbone du sol en un point, la spatialisation reste plus délicate. En effet, grâce à une équation multivariée et comprenant des variables prédictives (comme la précipitation moyenne, la pente la topographie...), il est possible d'estimer localement, à l'échelle d'une placette, la MO (%) du sol. Les résultats sont significatifs et la part d'erreur reste en deçà de la marge acceptable.

Par contre, le krigeage reste difficile et hasardeux pour chacun des compartiments. Il est vrai que l'hétérogénéité du bassin-versant doublé d'une activité anthropique forte, compliquent les interpolations. Seule la cartographie du stock de carbone des arbres a permis de visualiser la répartition spatiale de celle-ci à l'échelle du bassin versant.

Les apports de la thèse :

Jusqu'à présent, aucune étude n'a permis de réaliser un inventaire détaillé des quantités de stockage des différents compartiments des écosystèmes forestiers dans un bassin versant libanais. Les données et les résultats obtenus constituent donc une base qui offre des pistes sur la politique à mettre en place pour préserver le stockage de carbone dans les forêts libanaises.

Cette recherche, essentiellement méthodologique, a regroupé toutes les approches pour estimer les valeurs de carbone. Un travail de terrain important, des analyses en laboratoire et un traitement statistique et géostatistique ont permis de comprendre et de déduire les spécificités de notre zone d'étude dans le stockage du carbone. Par ailleurs, une recherche bibliographique poussée a permis de regrouper un grand nombre d'équations allométriques spécifiques, et de les utiliser pour chaque espèce de notre bassin-versant. Ce travail de dépouillement sera utilisé dès lors que l'on souhaite procéder à un bilan carbone par espèce d'arbres.

Le modèle statistique multivarié utilisant essentiellement des relevés de terrain a pu être validé. Il a été démontré qu'il est possible de déterminer la MOS (%) en appliquant une équation. L'avantage est que l'équation d'estimation de MOS pourrait être applicable sur n'importe quelle zone forestière du bassin versant. Bien que les sols dans ce bassin versant soient hétérogènes, cette étude a permis d'établir de l'établir en utilisant les variables suivantes : la teneur en sable, en argile et Ca échangeable. Ce modèle de coefficient de détermination (R^2) qui est égal à 0,678, estime 68 % de la variabilité de la MOS% avec une erreur moyenne quadratique de 1,326.

Les limites de la thèse

Le travail sur le terrain, et la collecte des données (échantillonnage, étude des profils des sols et analyse en laboratoire) sont le résultat d'un effort personnel. Il a fallu, néanmoins, faire face à un grand nombre de difficultés ; terrain très accidenté, parfois difficile d'accès surtout à cause des terrains minés en absence de cartes précises qui les localisent. Par ailleurs, en raison de la propagation de la rage, plusieurs attaques de chacals, renards et chiens ont été enregistrées dans la zone d'étude.

Le stock de carbone de la strate arborée a été obtenu à partir d'équations allométriques conçues pour des espèces proches des nôtres. L'absence de formules adaptées aux espèces libanaises ont fait défaut.

Au cours de notre recherche, nous avons souvent relevé le rôle des activités anthropiques qui modifient le stock de carbone dans les sols. Or, cet impact, bien que constaté, a été difficile à évaluer. Par conséquent, il n'a pas été possible de quantifier l'impact de chaque activité sur le stock de carbone. Cet élément est important à connaître pour la mise en place d'une gestion durable des forêts pour la lutte contre le réchauffement climatique.

Finalement, l'anthropisation et l'hétérogénéité du terrain n'ont pas permis de spatialiser les données de carbone du sol, de la litière, des herbacées et des arbustes. Cette cartographie mériterait d'être connue si l'on souhaite obtenir une valeur globale, représentative d'un territoire donné.

L'absence des approches comparatives entre notre étude et des études faites au Liban et la recherche des équations allométriques spécifiques utilisées pour les espèces libanaises dans cette zone faisaient de ce travail un défi.

Perspectives de recherche

Au vu de toutes ces conclusions, il s'avère qu'un certain nombre de questionnements mériteraient de faire l'objet de recherches supplémentaires. De manière opérationnelle, il serait nécessaire d'établir les équations allométriques spécifiques aux espèces arborées libanaises. Ces équations permettent d'acquérir des données plus exactes sur les stocks de carbone arboré et de valider nos résultats qui montrent le rôle majeur des arbres dans la captation du carbone.

Les résultats obtenus à l'échelle du bassin versant ont bien décrit le rôle de chacun des compartiments. Mais ces conclusions sont-elles représentatives du Liban ? La méthodologie appliquée au Nahr Beyrouth pourrait servir de démarche modèle pour une approche comparative entre différents bassins versants.

Si les arbres ont un rôle majeur dans la lutte contre le réchauffement climatique, il reste à savoir jusqu'à quand sont-elles en réalité ? En effet, l'âge des arbres est un paramètre explicatif de ce fort potentiel de captation. Néanmoins, il pourrait également être un facteur limitant dans le temps: quand l'arbre vieillit, ses propriétés de stockage diminuent. Une étude de dendrochronologie semble nécessaire pour déterminer les âges des arbres du bassin versant afin de mieux appréhender la variable âge dans le rôle de stockage des forêts.

Dans cette recherche, les informations restaient ponctuelles ; mais compte tenu du nombre d'échantillonnage, il a été possible d'obtenir une valeur à l'échelle d'un territoire : celui du BVNB hétérogène et anthropisé. Appréhender la variabilité spatiale nécessite d'affiner la spatialisation par des mesures plus denses et un découpage plus homogène de l'espace à étudier.

Au terme de cette recherche, une question fondamentale mérite d'être posée : comment appréhender l'impact des activités anthropiques et ses conséquences sur le stock de carbone du sol ? La forêt est à la fois un système écologique et un construit social. Une politique rationnelle de gestion des forêts. Questionner les représentations sociales de la gestion durable des forêts, nous fait entrer dans le champ des sciences humaines.

Pour conclure, cette recherche a souligné l'importance des forêts méditerranéennes dans la lutte contre le réchauffement climatique. Cependant, elle révèle l'importance des interventions humaines dans les forêts et leur influence sur les stocks de carbone par les activités de défrichage, du brûlis et du surpâturage qui réduisent énormément ces stocks. Aussi, cette thèse met en lumière que tout aménagement durable des forêts doit impliquer les différents acteurs engagés dans le territoire afin de répondre aux enjeux du réchauffement climatique. Elle permet, à long terme, un suivi intégré essentiel à la conservation de cet écosystème forestier qui, dans le cas de cette zone d'étude, a démontré un grand potentiel de développement de stratégies de gestion adaptative.

Partie

Annexes

Annexe I : Correction de la pente

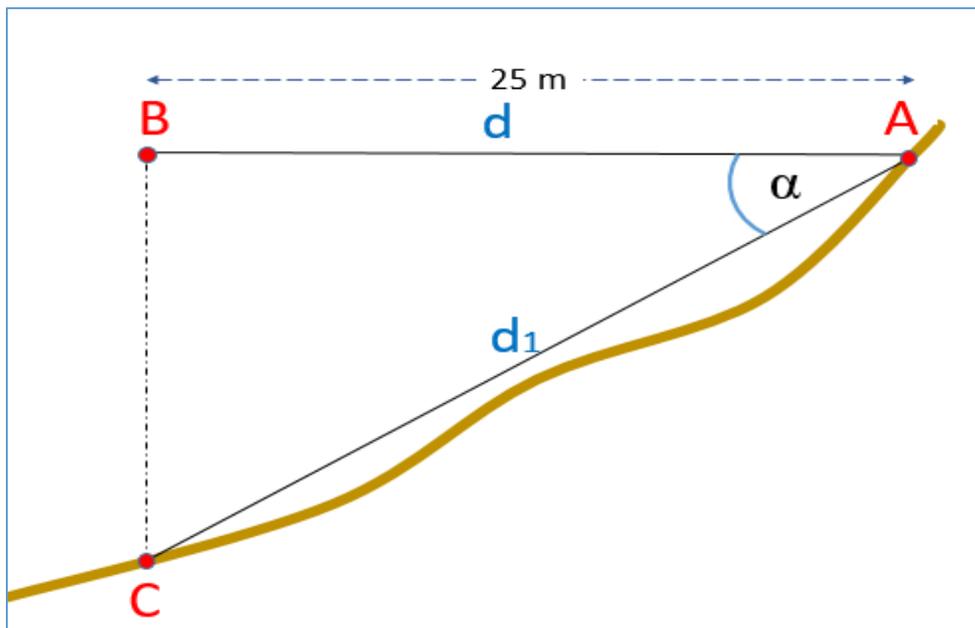


Figure 79: Correction de la pente sur le terrain

La distance mesurée entre deux points le long d'une pente d_1 est toujours plus grande que la distance horizontale d correspondante. Sur un terrain en pente, la distance horizontale d doit être multipliée par un facteur correspondant à la déclivité, pour obtenir la distance corrigée d_1 de telle manière que si α est l'angle de la pente alors $d_1 = d / \cos \alpha$

A l'aide du Nikon forestry Pro Laser Range finder, on mesure la pente du point de repère A en direction du point B. Lors de la détermination de l'angle de la pente, il est important que la mesure soit prise le long d'une ligne de visée parallèle à la pente moyenne du terrain : l'instrument doit être à la même hauteur que la cible. Nous avons mesuré la pente 2 fois de A vers C puis de C vers A, en recommençant la mesure en cas de différence (Figure 79).

Pour trouver la distance corrigée d_1 , il suffit de voir la table de correction de pente (Tableau 33) ou pour plus de précision, on applique directement la formule ci-dessus pour calculer la distance horizontale souhaitée.

Tableau 33: Correction de la pente

Pente	Degré	Distances horizontales	
		5	25
15	9	5,1	25,3
20	11	5,1	25,5
25	14	5,2	25,8
30	17	5,2	26,1
35	19	5,3	26,5
40	22	5,4	26,9
45	24	5,5	27,4
50	27	5,6	28,0
60	31	5,8	29,2
70	35	6,1	30,5

Annexe II : Fiche de terrain

Date	Temps	Numéro de la placette				
Site	Position cartographique	Position réelle	Elévation(m)	Exposition	Pente	Reliefs
Caza	X:	X:				
Village	Y:	Y:				
Echantillons de sols (0-30cm)		Commentaires				
S1	Angle S1-S2:					
S2						
S3						
S4						
V herbacée						
Type	Angle S3-S4:					
G1						
G2						
G3						

G4				
Litière				
Type		Angle S3-S4:		
L1				
L2				
L3				
L4				
L4				

Description du site :

Arbres	Nom Commun	Nom latin	DHP (cm)	Hauteur (m)	Coupée	Condition
1						
2						
3						
4						
5						

Arbuste	Nom Commun	Nom latin	DHP (cm)	Hauteur (m)	Coupée	Condition
1						
2						
3						
4						
5						

Nous avons réalisé des fiches de terrain spécifique à cette étude. Elle renferme les données suivantes : le numéro de la placette, la date et le temps de la visite, la position sur la carte, la position réelle de la placette, l'élévation, l'exposition, la pente, le relief, la Caza et le village. Sur la fiche, une partie est réservée à la description de site : orientation, pente suivant les deux directions, intervention humaine comme le brûlis, l'ajout des amendements, le labour, le pourcentage de cailloux et de roches en surface, si cette forêt était un terrain agricole grâce à la présence des terrasses ...etc. Finalement, une autre partie sert à décrire l'échantillonnage (quantité, nature et lieu).

Annexe III : Mesure de la hauteur des arbres



Photo 37 : Hypsomètre Blume-Leiss

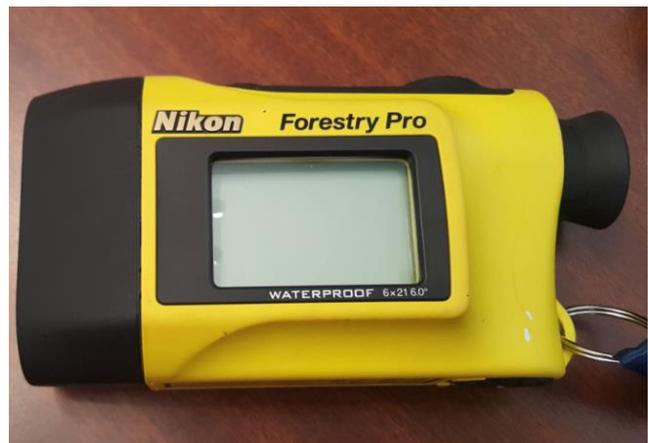


Photo 38: Hypsomètre Nikon forestry Pro Laser Range finder

- a) La mesure de la hauteur s'effectue avec l'hypsomètre « Nikon forestry Pro Laser Range finder », selon les modalités suivantes (Photographie 38) :
- 2 Mise à distance de l'arbre (15, 20, 30 ou 40 mètres, par exemple). Pour éviter les erreurs, il faut être à une distance au moins égale à la hauteur ;
 - 3 Visée de la cime de l'arbre
 - 4 Visée du pied de l'arbre ; (Figure 80)

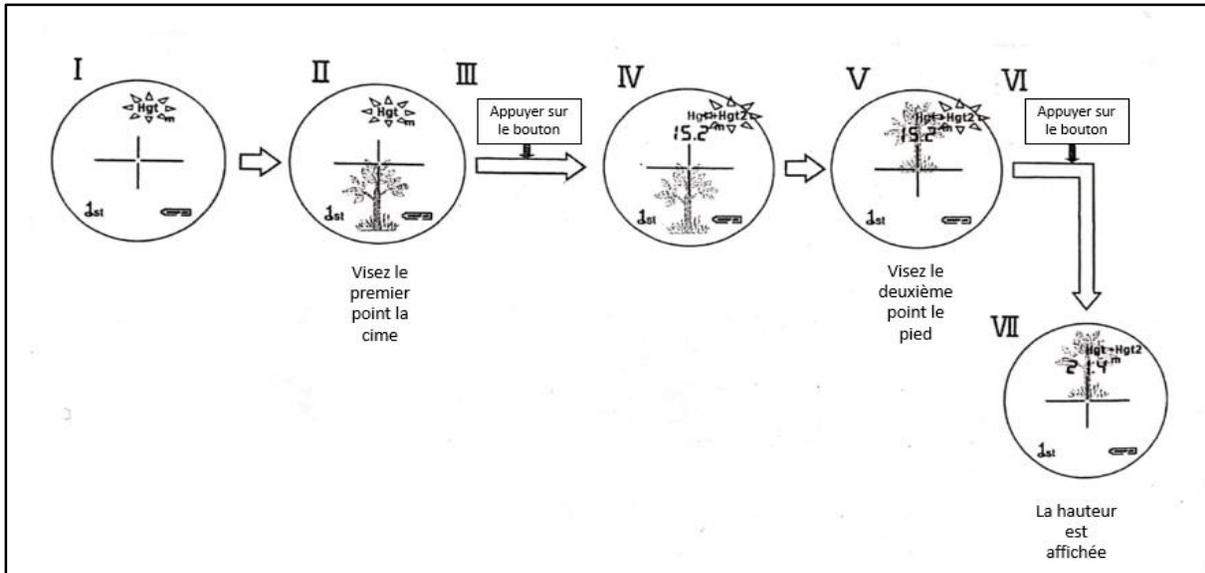


Figure 80: Etapes de mesure par l'hypsomètre laser

L'hypsomètre « **Nikon forestry** » affiche automatiquement la hauteur de l'arbre. Ces étapes sont mentionnées dans la (figure 81).

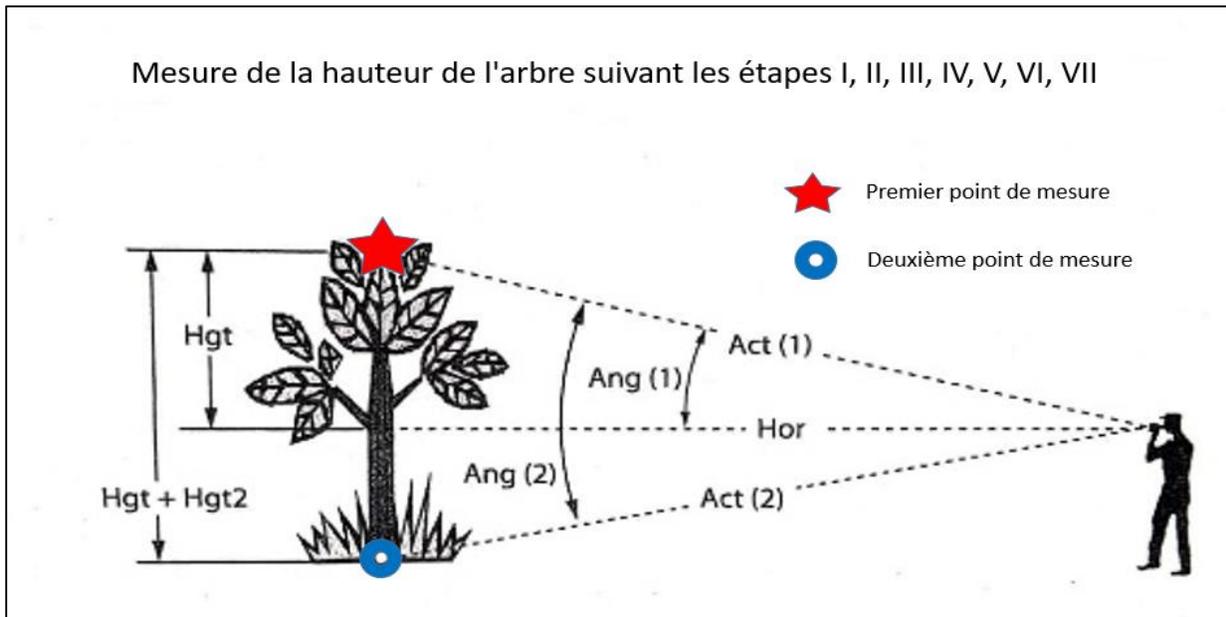


Figure 81: Technique de mesure

a) La mesure avec le Blume-Leiss nécessite les opérations suivantes :

D'abord il faut se placer à une distance égale ou la plus proche de la hauteur de l'arbre (ou de l'échelle choisie : 15, 20, 30 ou 40 m) à l'aide du viseur dioptrique et de la mire. Ensuite il faut débloquer le pendule et viser successivement le pied et le sommet de l'arbre (Massenet, 2011). On bloque à chaque visée le pendule pour lire la valeur correspondante. Celle-ci diffère selon la distance à la cible et le point de vue. Au total, on obtient 2 valeurs (Photographie 38 ; Figure 81, 82).

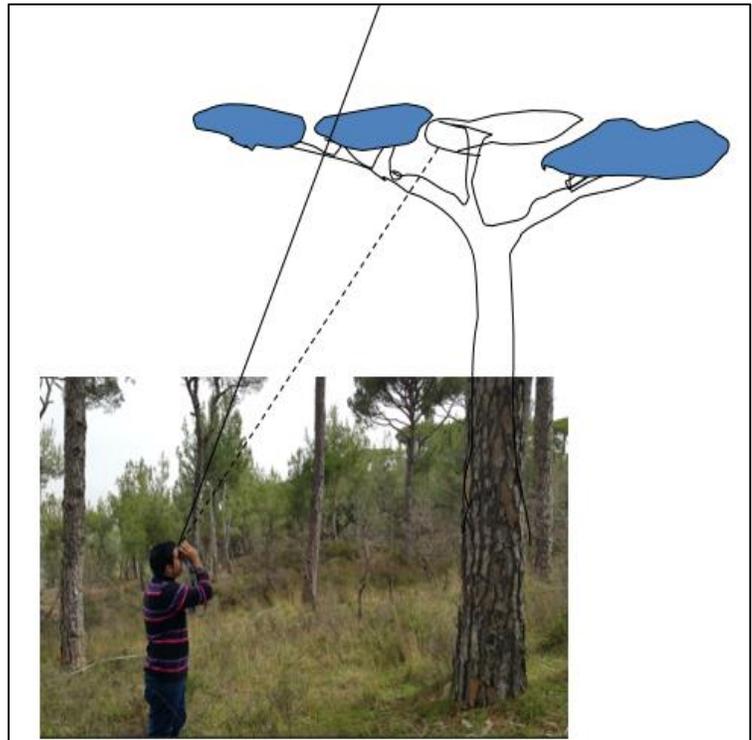


Figure 82: Mesure de la hauteur des arbres sur le terrain

En l'absence de pente, ces deux chiffres sont additionnés lorsqu'ils sont de part et d'autre du Zéro, au contraire, on procède à une soustraction de ces deux chiffres obtenus sur les terrains inclinés et lorsque l'opérateur se trouve plus bas que le pied de l'arbre visé. En terrain incliné, et lorsque on vise le milieu de la mire obliquement, la hauteur lue devra être corrigée d'une valeur qui est fonction de la pente entre l'horizontal et la ligne de visée sur la mire en son point central.

Il faut noter que, nous avons utilisé le « Blume-Leiss » dans des cas très restreints quand il n'était pas possible de viser le sommet de l'arbre avec le « Nikon forestry Pro Laser Range finder » vue que le laser Hypsomètre « Nikon forestry » n'a permis de viser les sommets des arbres d'une canopée dense.

Annexe IV : Détermination de la Texture du sol par la méthode de Bouyoucos

Cette analyse nous permet de connaître la texture du sol et de déterminer les taux d'argiles, de limons et de sable présent dans le sol. Elle consiste à sécher l'échantillon de sol à la température ambiante de la pièce (Photographie 39), ensuite on brise mécaniquement les agrégats avec un marteau en caoutchouc. On tamise le sol avec un tamis de 2 mm et on réduit une deuxième fois la fraction retenue sur le tamis de 2 mm avec un pilon ou un maillet en caoutchouc (Photographie 40) jusqu'à ce que les particules de sol soient à grains uniques.



Photo 39: Séchage des échantillons de sol séchés à l'air libre



Photo 40: Broyage des échantillons de sol avant de les tamiser

Par la suite, on prépare une solution d'hexamétaphosphate de sodium. On dissout 50 g d'hexamétaphosphate en poudre dans une petite quantité d'eau avant de la diluer dans un volume de 1 litre.

On pèse 50 g de sol si la texture fine et 100 g de sol si la texture grossière, après les avoir séché à l'étuve. L'échantillon pesé est mis dans un bécher. Par la suite, on le remplit à moitié d'eau distillée et on y rajoute 50 ml de solution d'hexamétaphosphate de sodium pour défloculer les particules. On place le bécher sur un agitateur. Les échantillons sont remués jusqu'à ce que les agrégats de sol soient décomposés. Cela nécessite généralement entre 3 à 4 minutes avec des sols à texture grossière et 7 à 8 minutes pour des sols, à texture fine et riches en argile.

Ce mélange est transvasé dans une éprouvette graduée de 1000 ml (Photographie 41). On rajoute de l'eau distillée jusqu'à la 1 130, à condition que le densimètre de Bouyoucos soit à l'intérieur de la suspension dans l'éprouvette (Darwish, 1998 ; Pansu & Gautheyrou, 2006). On enlève le densimètre et on bouche l'éprouvette avec du papier filtre et on l'agite.

On place l'éprouvette sur la paillasse et au bout de 20 secondes, on met soigneusement le densimètre. Après 20 secondes, une lecture désigne le pourcentage d'argile et de limon.

L'hydromètre est étalonné pour lire en grammes de matériaux du sol en suspension. On détermine la température de la suspension et pour chaque degré supérieur à 20°C nous ajoutons 0,36 à la lecture de l'hydromètre, ou pour chaque degré inférieur à 20°C, nous soustrayons 0,36 de la lecture de l'hydromètre.

$$\text{Pourcentage de limon et d'argile} = \frac{\text{première lecture corrigée}}{\text{Poids du sol}} \times 100 \quad (18)$$

De nouveau, on bouche l'éprouvette avec du papier filtre, on agite et on la place sur la paillasse pour décanter. Quatre heures plus tard, on mesure par le densimètre, cette lecture est celle de l'argile, nous corrigeons la température comme décrit ci-dessus.

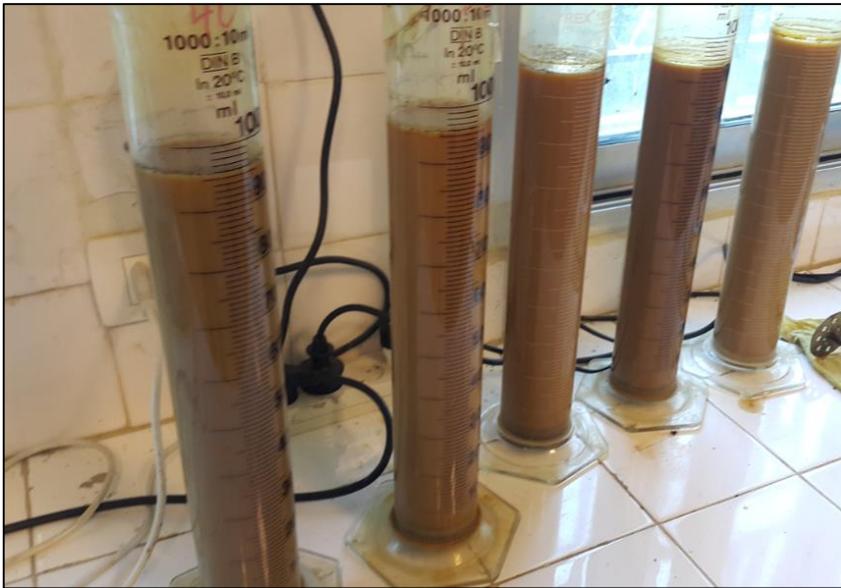


Photo 41: Déterminer le taux d'argile, limon et sable dans les échantillons de sol

$$\text{Pourcentage d'argile} = \frac{\text{deuxième lecture corrigée}}{\text{Poids du sol}} \times 100 \quad (19)$$

Le % de limon est calculé par la différence :

$$\% \text{ limon} = \% (\text{limon} + \text{argile}) - \% \text{ d'argile} \quad (20)$$

Le pourcentage de sable, est égal :

$$\% \text{ sable} = 100\% - (\text{limon} + \text{argile}) \quad (21)$$

Enfin, pour déterminer la texture du sol, on utilise le triangle textural de l'application « Soil water characteristics » version 6.02.74 développée par l'USDA (Etats Unis, Département de l'Agriculture). Les données de la placette numéro 1 sont présentes dans la figure ci-dessous (Figure 83).

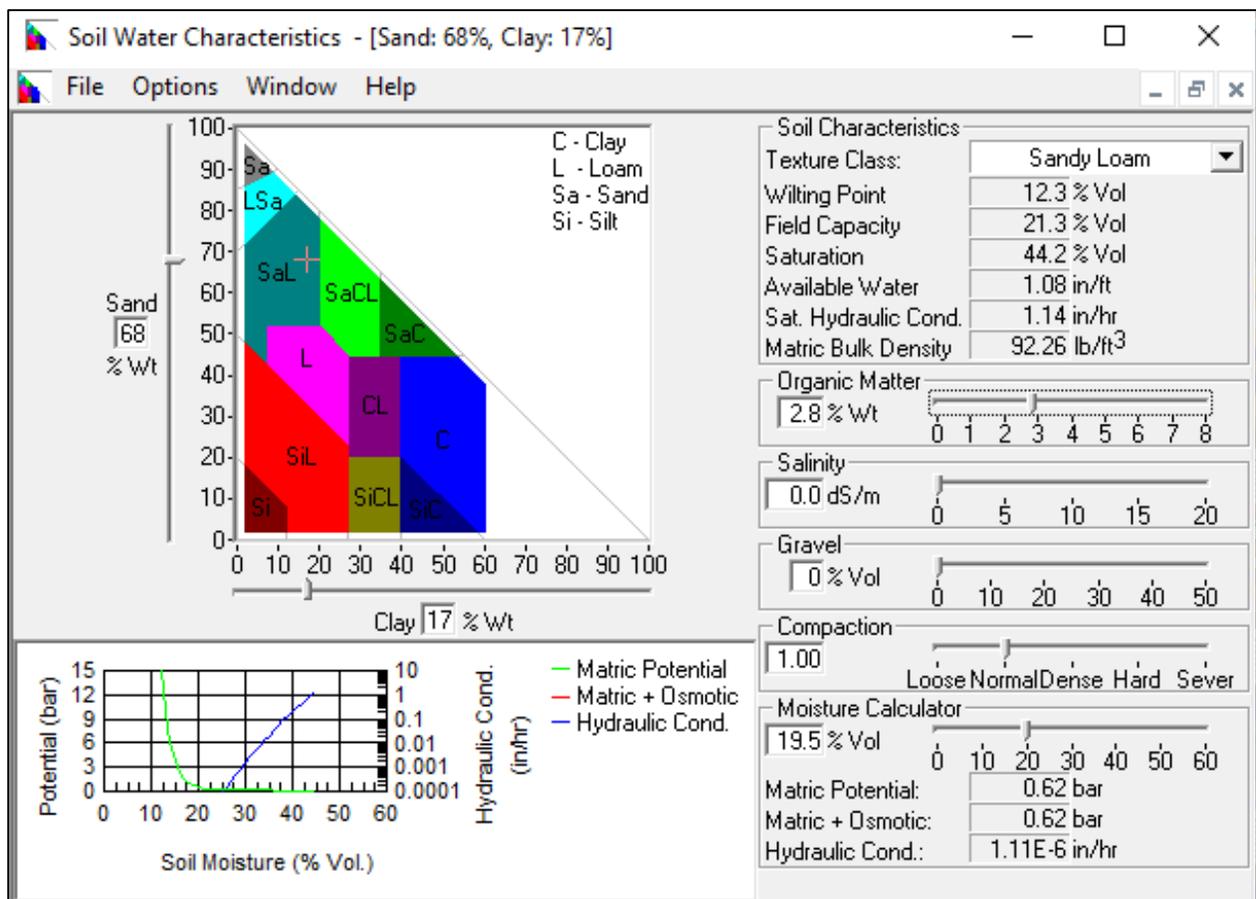


Figure 83: Identification texturale du sol – logiciel soil water characteristics

Annexe V : Méthode de prélèvement du sol pour déterminer la densité

Des cylindres de 5 cm de hauteur et de 5,3 cm de diamètre interne avec un volume de 110.3 cm³ (ou 110.3 ml) sont enfoncés dans le sol de manière perpendiculaire aux horizons après avoir retiré la végétation et les autres matériaux de la surface du sol. Pour enfoncer le cylindre dans la terre, un morceau de bois carré est placé sur le haut du cylindre sur lequel on tape à l'aide d'un maillet (Photo 12). Cela aide à répartir les forces sur l'ensemble du cylindre et minimiser les risques de tordre le cylindre. Si le cylindre se tord, alors il faut le remplacer.

On retire le cylindre une fois qu'il est totalement rempli de sol. Pour l'extraire, il est primordial de creuser autour du cylindre. Une fois retiré, le sol est égalisé aux bords supérieurs et inférieurs du cylindre avec une spatule afin que le volume de terre soit identique à celui du cylindre. Finalement, on vide le contenu dans un sac en plastique. Sur une étiquette collée au sac, on note le numéro de la placette, le numéro de l'échantillon, et la profondeur de la strate à laquelle l'échantillon a été prélevé.

Annexe VI : Méthodes analytiques utilisées pour déterminer MO%, C%, Ph, CE, K, Mg, Ca échangeable, CaCO₃ et Fe

a) Détermination du taux de la matière organique et du carbone (méthode Walkley-Black, 1947)

Cette méthode a été choisie pour que nous puissions comparer nos résultats avec les autres résultats concernant la matière organique faite au Liban et avec la carte des sols. Tous ont utilisé la méthode de Rayn pour déterminer le % de MO

Pour cette méthode, il nous faut les réactifs suivants :

- 1) Potassium dichromate ($K_2Cr_2O_7$) (0.167 M)
 - On sèche pour 2 heures de temps à 105°C et puis on refroidit au dessiccateur.
 - On pèse 49.04 g dans un bécher de 500 ml puis on dilue avec de l'eau distillée et on ajuste dans une fiole de 1 litre.
- 2) Acide sulfurique concentré (H_2SO_4)
- 3) Acide phosphorique concentré (H_3PO_4)
- 4) Sel de mohr
 - On pèse 196 g et on dilue avec de l'eau distillée dans un bécher de 500ml
 - On ajoute 5 ml de H_2SO_4 concentré et puis on ajuste à 1 L.
- 5) L'indicateur Diphénylamine
 - On dilue 1 g de cet indicateur dans 100 ml de H_2SO_4 concentré.

Méthode : (Walkley-Black, 1947 ; Ryan et al., 1996)

- On pèse 0.25 à 1 g de sol tamisé à 2 mm et on met dans un Erlen de 500 ml.
- On ajoute 10 ml $K_2Cr_2O_7$ et 20 ml H_2SO_4 concentré et on agite un peu.
- On met au repos pour 30 min.
- On ajoute 200 ml d'eau distillée et 10 ml H_3PO_4 et on laisse refroidir.
- On ajoute 2-3 gouttes de l'indicateur diphénylamine et on remue en utilisant l'agitateur magnétique.
- On titre avec le sel de mohr jusqu'au virage du violet-bleu au vert.
- On prépare 2 blancs contenant tous les réactifs sauf le sol.

- Si on prend 0.5g (%C × 2) ou 0.25g (%C × 4)

Calcul :

- $M = 10/V_{\text{blanc}}$

- Le pourcentage du Carbone organique oxydable est égal :

$$C_{\text{oxydable}} \% = ((V_{\text{blanc}} - V_{\text{sample}}) \times 0.3 \times M) / \text{masse du sol} \quad (22)$$

$$C_{\text{organique total}} \% = 1.334 \times \text{carbone oxydable} \quad (23)$$

$$\text{MO}\% = 1.724 \times \text{carbone organique} \quad (24)$$

- Pour obtenir le pourcentage de N dans l'échantillon du sol, nous calculons :

$$\%N = \% \text{ M.O} \times 0.06 \quad (25)$$

b) Mesure du pH

La mesure du pH se fait sur une suspension de sol (rapport sol/ solution= 1/2) d'abord dans de l'eau distillée puis dans une solution de KCl 1N, ou bien sur une pâte de sol amenée à saturation (Photographie 42). Le pH de ces milieux est déterminé par la méthode électro-métrique (au pH mètre). **Méthode :**

- On pèse 20 g de sol tamisée à 2 mm dans un bécher de 100 ml.
- On ajoute 40 ml d'eau distillée
- On agite bien pendant 2 heures.
- Après étalonnage du pH mètre, on introduit l'électrode dans la suspension
- On obtient le pH

c) Mesure de la Conductivité Électrique CE

La conductivité d'un liquide est fonction de sa concentration en électrolytes. En pratiquant des extraits aqueux des sols à saturation ou à plus faible dilution (rapport sol /eau = 1/5 ou

1/10), la mesure de la conductivité permet d'obtenir rapidement une estimation de la teneur globale en sel dissous. L'unité du EC ou l'unité de base, est le dS/m ou mS/cm. La conductivité électrique s'élève avec la température. Une augmentation de 1°C résulte dans l'élévation de l'EC de 2%. La température standard T pour la mesure de l'EC est de 25 °C (Photographie 43).

Méthode :

- Peser 10 g de sol dans un bécher de 100 ml.
- Ajouter 50 ml de l'eau distillée
- Bien agiter pendant une heure
- Après avoir calibré le conductimètre avec des solutions standards de KCl 0.01 N, introduire l'électrode dans la suspension et prendre la lecture.

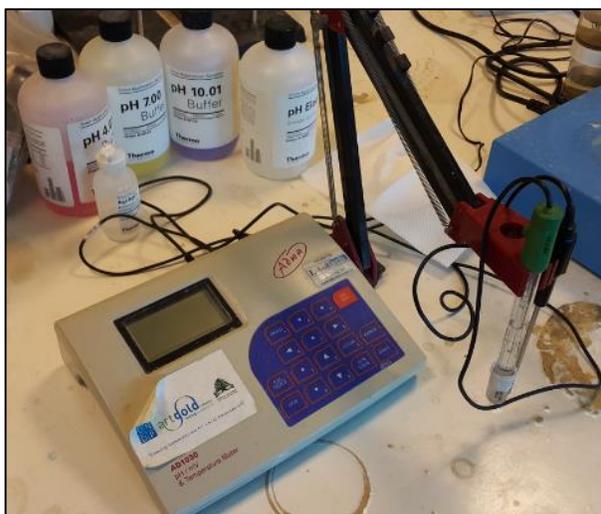


Photo 42 : Mesure du pH



Photo 43: Mesure de la conductibilité électrique

d) Détermination du pourcentage sodium et potassium (photomètre à flamme)

Les réactifs suivants ont été utilisés :

- Acétate d'Ammonium NH_4OAc 1 N.
- Solution standard de K et Na (5, 10, 15, 20 ppm)

On met 2.5 g du sol (2 mm) dans 25 ml de NH_4OAc pour l'extraction. On agite 30 minutes dans l'agitateur puis on filtre le mélange. On allume le photomètre à flamme et on suit les instructions afin de lire la concentration de l'échantillon.

$$K_{\text{Extractible}} (\text{ppm}) = K_{\text{du filtrat}} (\text{ppm}) \times V_{\text{total du filtrat}} (\text{ml}) / M_{\text{du sol prise}} (\text{g}) \quad (26)$$

$$K_2O = K \times 1.22$$

$$Na_2O = Na \times 1.34$$

K, Mg, CaCO₃ total, CaCO₃ active, Fe

e) Détermination du pourcentage du Magnésium et du Calcium

Après avoir utilisé les réactifs nécessaires : NH₄Cl ; Acide ascorbique en poudre ; Cyanure de potassium ; Ferrocyanure de potassium ; KOH 6 N ; MgCl₂ ; Solution tampon NH₄OH et NH₄Cl ; Noir eriochrome ; E.D.T.A. 0,02 N. On met 2,5 g du sol (2 mm) dans 50 ml de NH₄Cl pour l'extraction, on agite 30 minutes dans l'agitateur va et vient puis on filtre le mélange. Par la suite on met dans un erlenmeyer 10 ml du filtrat + 40 ml H₂O et on ajoute une pincée d'acide ascorbique, 1 ml de cyanure de potassium, 1 ml de Ferrocyanure de potassium, 1 ml de KOH, et 2ml de MgCl₂ (facultatif). Le mélange est chauffé jusqu'à 60°C et on ajoute 5 ml du solution tampon NH₄OH et NH₄Cl et 5 gouttes de Noir d'Eriochrome. Quand la couleur vire du violet au bleu (après le titrage avec 'E.DT.A. 0.02 N) nous appliquons la formule suivante

$$V_{Mg} (\text{ppm}) = (V_{\text{titrage}} - V_{Ca} - V_{MgCl_2}) \times 484 \quad (27)$$

f) Détermination du pourcentage du Calcaire actif :

La méthode est la suivante

On met 2 g du sol (2 mm) dans 50 ml d'oxalate d'ammonium (0.2 N) pour l'extraction (2 heures) dans l'agitateur va et vient.

- On filtre le mélange (papier filtre : 185 mm).
- On met dans un erlenmeyer 10 ml du filtrat.
- On ajoute 10 ml de H₂SO₄, 0.1 N.
- On chauffe jusqu'à 70° C.
- Juste avant l'ébullition, on fait le titrage avec le permanganate de potassium, une couleur rose apparait.

Blanc : 10 ml d'oxalate d'ammonium 0.2 N (à peu près 20 ml K).

$$\text{calcaire actif \%} = (V_{\text{blanc}} - V_{\text{sample}}) \times 1.25 \quad (28)$$

g) Détermination du fer assimilable

Finalement, le fer assimilable a été obtenu à partir de la manipulation suivante

Réactifs :

- Acétate acide-acétique
- Hydroxylamine hydrochloride $\text{NH}_2\text{OH.HCL}$
- Solution standard de Fe^{3+} de 25 ppm.
- Indicateur : Orthophénanthroline

Méthode :

- Peser 10g du sol tamisé à 2 mm et ajouter 50 ml d'acétate acide acétique, agiter pour 30 min. puis filtrer.
- Laisser 20 min. au repos.
- Lire au spectrophotomètre à 508 nm.

La solution standard doit avoir une absorbance de 0.2 par échantillon. $\text{Fe ppm} = \text{Absorbance} \times 31.25$.

N.B : Si la valeur > 1 → dilution

Annexe VII : Nombre total d'arbres échantillonnées

Tableau 34: Les arbres échantillonnées

Site	Pin pignon	Pin brutia	Chêne Calliprine	Chêne Infectoria	Platane d'Orient	Charme - houblon	Peuplier noir	Aulne d'Orient	Olivier	Cyprès vert	Cèdre libanais	Arbousier de chypre	Genévrier oxycèdre	Caroubier	Pistachier de Palestine	Nombre d'arbres total
1	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
2	18	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	20
3	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
4	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14
5	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21
6	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
7	9	3	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	21
8	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
9	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
10	0	0	28	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32
11	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
12	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16
13	6	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
14	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26
15	9	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14
16	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21
17	10	0	4	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21
18	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
19	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
20	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
21	1	2	0	1	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	22
22	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
23	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
24	0	0	0	0	0	23	4	4	0	0	0	0	0	0	0	31
25	6	15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	0	26

Site	Pin pignon	Pin brutia	Chêne Calliprine	Chêne Infectoria	Platane d'Orient	Charme - houblon	Peuplier noir	Aulne d'Orient	Olivier	Cyprès vert	Cèdre libanais	Arbousier de chypre	Genévrier oxycèdre	Caroubier	Pistachier de Palestine	Nombre d'arbres total
26	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	170
27	0	0	20	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90
28	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
29	12	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14
30	1	9	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17
31	0	5	152	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	172
32	2	7	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49	0	0	0	0	49
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	158	1	0	0	0	0	159
35	32	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33
36	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16
37	0	0	0	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44
38	0	0	1	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
39	0	0	27	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39
40	0	0	12	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38
41	0	0	53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53
42	0	0	3	98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	101
43	0	0	125	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	152
44	0	0	15	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75
45	15	2	4	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	23
46	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25
47	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
48	0	0	6	0	9	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	19
49	62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	62
50	0	56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56
Total	497	109	469	380	26	23	4	8	3	158	50	16	2	1	4	1750

Annexe VIII : Equations allométriques des arbres et des arbustes

Le volume d'un arbre est un paramètre essentiel à estimer la biomasse. Il permet au chercheur et au forestier de calculer la valeur des arbres en bois, biomasse et carbone. Ainsi, les équations allométriques spécifiques sont indispensables en vue de déterminer la biomasse d'un arbre et de se rapprocher autant que possible de la réalité.

En réalisant cette étude dans le bassin versant, on a pu identifier plusieurs espèces arbustives dont le Cèdre, le Pin pignon, le Pin brutia, Cyprès vert, Oxycèdre, Chêne Calliprine, Chêne infectoria, Caroubier, Arbousier de Chypre, Pistachier de Palestine, Olivier, Charme-houblon, Aulne, Platane d'Orient, Peuplier noir. Et après une étude approfondie des ouvrages, des références et des publications scientifiques concernant toutes les équations allométriques des espèces arborescentes et arbustives identifiées, Nous adopterons les équations allométriques spécifiques suivantes.

Les arbres :

a) Cèdre du Liban

Cedrus libani atteint 40 mètres de haut et se trouve dans la zone montagnarde méditerranéenne répartie entre 1200m à 2000m d'altitude (Photographie 44), et dans certains cas il atteint 2400m comme en Turquie. Il supporte des conditions climatiques rigoureuses, des hivers longs et froids, suivis de printemps courts et de longs étés chauds et secs. Il est présent dans le versant Ouest du Mont Liban à cause de la remontée des brouillards maritimes. Dans de bonnes conditions, le cèdre peut atteindre des altitudes plus élevées. Sur le versant Est, on le retrouve à partir de 1500m d'altitude.

Peu sensible à la nature chimique des sols, il occupe des sols variés de préférence meubles et profonds, et réussit bien sur les éboulis calcaires. Mais il ne supporte pas les terrains hydromorphes et mal drainés. Les sols lourds et argileux ne lui conviennent pas.

Son aire de répartition est fractionnée en massifs d'importance inégale et se limite à la zone des montagnes côtières qui va du Taurus à l'Ouest de la Turquie, passant par l'Amanus en Syrie dans les montagnes Alaouites et arrivant au Sud de la forêt du Barouk au Liban qui est sa limite Sud.



Photo 44: Cèdre Libanais placette numéro 34

Il est utilisé le plus souvent pour le reboisement au Liban dans le versant ouest du Mont-Liban à une altitude optimale de 1400 à 1900 m comme dans le cas de notre étude à Falougha où la placette 34, se trouve dans un site de reboisement de cèdre.

Pour estimer la biomasse du cèdre libanais, on a adopté l'équation basée sur les mesures prises sur 36 arbres de cèdres libanais en Turquie (Durkaya, et al., 2013). Ces données ont permis de produire une base de données aboutissant à l'équation suivante :

$$AGB = 37,21449 + (-8,08322 \times D) + (0.644812 \times D^2) \quad (\text{Durkaya et al., 2013}) \quad (29)$$

$$TB = AGB + BGB \quad (30)$$

$$BGB = AGB \times 0,387 \quad (\text{Monero et Ruiz, 2005}) \quad (31)$$

Ce coefficient qui est de 0,387 a été calculé par Monero et Ruiz pour les conifères dont le cèdre.

Où :

TB = Biomasse totale en tonnes

AGB = Biomasse aérienne en

tonnes

BGB = Biomasse souterraine en tonnes

D = Diamètre au niveau de la poitrine (à 1,30 mètres) en centimètre

b) Pin pignon

Pinus pinea, (pin pignon ou pin parasol) est une espèce d'arbres conifères de la famille des Pinacées. De forme sphérique quand il est jeune mais évoquant une couronne en parasol déployé dans les âges avancés et il peut atteindre facilement les 25 mètres de hauteur (Photographie 45).



Photo 45: Forêts de pins pignons du bassin versant du Nahr Beyrouth

Présent dans les étages Euméditerranéen et Supra méditerranéen, il se trouve bien aux altitudes allant du niveau de la mer jusqu'à 1500 m. Mais au Liban, on le retrouve à une altitude de 1600 mètres et plus. Thermophile et héliophile, le pin pignon supporte bien le froid et exige une pluviométrie de plus de 700 mm.

Il est planté depuis l'antiquité sur tout le pourtour méditerranéen, ce qui rend pratiquement impossible d'établir son aire primitive au Liban. De vieux villageois racontent que ces arbres ont été introduits abondamment au cours de ces trois derniers siècles.

Occupant différentes régions et dominant dans la région de Jezzine (au sud) et du Metn (Mont Liban), le pin pignon est peu exigeant pour le sol mais préfère les terrains à grès et les sols profonds à texture sablonneuse. Il supporte une teneur assez élevée en calcaire dans le sol grâce à la présence des mycorhizes. La salinité du sol est un facteur limitant.

La biomasse du Pin pignon a été estimée à partir de l'équation de Correia et al. (2012). Celle-ci a été obtenue à partir de la collecte des données de 53 arbres de pins pignons dans le centre et le sud du Portugal. Ces arbres avaient des tailles différentes et leurs DBH variaient entre 6,5 et 56,3 cm.

$$AGB = 280,1 \times C^{2,33} \times H^{0,19} / 1000 \quad (\text{Correia et al., 2012}) \quad (32)$$

$$C = D \times \pi / 100 \quad (33)$$

$$BGB = AGB \times 0,1834 \quad (\text{Monero et Ruiz, 2005}) \quad (34)$$

$$TBM = AGB + BGB \quad (35)$$

0,1834 : est le coefficient calculé par Monero et Ruiz (2005) où 47 pins pignon échantillonnés de diamètre minimal 7,5 cm et maximal 63 cm à la province de Huelva et Valladolid en Espagne.

H : Hauteur de l'arbre en mètres

C : Circonférence en mètres

TBM : Biomasse totale en

tonnes

AGB : Biomasse aérienne en tonnes

BGB : Biomasse souterraine en tonnes

D : Diamètre au niveau de la poitrine à (1,30 mètres) en centimètre.

c) **Pin brutia** (*Pinus brutia*)

Charpenté mais non aplati en parasol et tendant plutôt vers la forme conique, le Pin brutia peut atteindre une hauteur de 15 à 20 mètres (Photographie 46). Il est présent dans les zones climatiques Thermo-méditerranéen, Euméditerranéen et Supra-méditerranéen et peut arriver jusqu'à une altitude de 1700m. Il exige une pluviométrie de 450 à 800 mm pour un développement maximal et supporte le froid. Peu sensible à la nature substrat, il préfère les sols marneux et calcaire-marneux, son aire de répartition s'étend dans la Méditerranée orientale, de la Grèce jusqu'au

Liban où on le trouve abondamment dans la moitié nord du pays.



Photo 46: Le pin brutia - placette numéro 15

Seules quelques recherches récentes ont étudié la biomasse aérienne du pin brutia dans des zones restreintes de Turquie (Durkaya et al., 2009) et dans deux îles grecques (Zianis et al., 2011). Pour estimer la biomasse du Pin brutia, on a adopté l'équation (De-Miguel et al., 2014) qui estime la biomasse aérienne du pin brutia adaptée au Liban.

$$AGB = y = e^{0,406+8,991 \times \frac{d}{d+24,021} + 0,030 \times h} \quad (\text{De-Miguel et al., 2014}) \quad (36)$$

$$BGB = AGB \times 0.3089 \quad (\text{Monero et Ruiz, 2005}) \quad (37)$$

$$TBM = AGB + BGB \quad (38)$$

Ce coefficient a été calculé par Monero et Ruiz pour le pin d'Alep. 55 arbres ont été échantillonnés de diamètre minimal 8 cm et maximal 44 cm à la province de Albacete en Espagne. Ce coefficient a été adopté par De-Miguel, et al., en 2014 pour le calcul de la biomasse souterraine du pin brutia en absence de données sur la biomasse souterraine du pin brutia.

h : Hauteur de l'arbre en mètres

d : Diamètre au niveau de la poitrine à (1,3 mètres) en centimètre

e : Le logarithme naturel ou népérien

TBM : Biomasse totale en tonnes

y : (AGB) Biomasse aérienne en tonnes

BGB : Biomasse souterraine en tonnes

d) Cyprès vert (*Cupressus sempervirens*)

Il en existe deux formes : étalée et dressée. Il est originaire des pays du Proche et du Moyen Orient. Il s'étend au Liban de la mer jusqu'à 1700 mètres d'altitude où on le trouve notamment dans la partie Nord du pays, en petits peuplements. Typiquement méditerranéen, il est sensible au froid et ne supporte pas les températures inférieures à -12 degrés C mais résiste bien la sécheresse.

Planté très anciennement dans toute la région méditerranéenne, le cyprès vert peut pousser même dans des sols squelettiques, d'où sa capacité à coloniser des sites défavorables pour d'autres espèces au Liban (Photographie 47). La quantification de sa biomasse se fait en adoptant les équations suivantes :

$$Y = AGB = 10^{(-0,748 + 0,786 \times \text{Log}(D^2 \times h) / 1000)} \quad (\text{Zohary, 1984}) \quad (39)$$

$$BGB = AGB \times 0.3089 \quad (\text{Monero et Ruiz, 2005}) \quad (40)$$

$$TBM = AGB + BGB \quad (41)$$

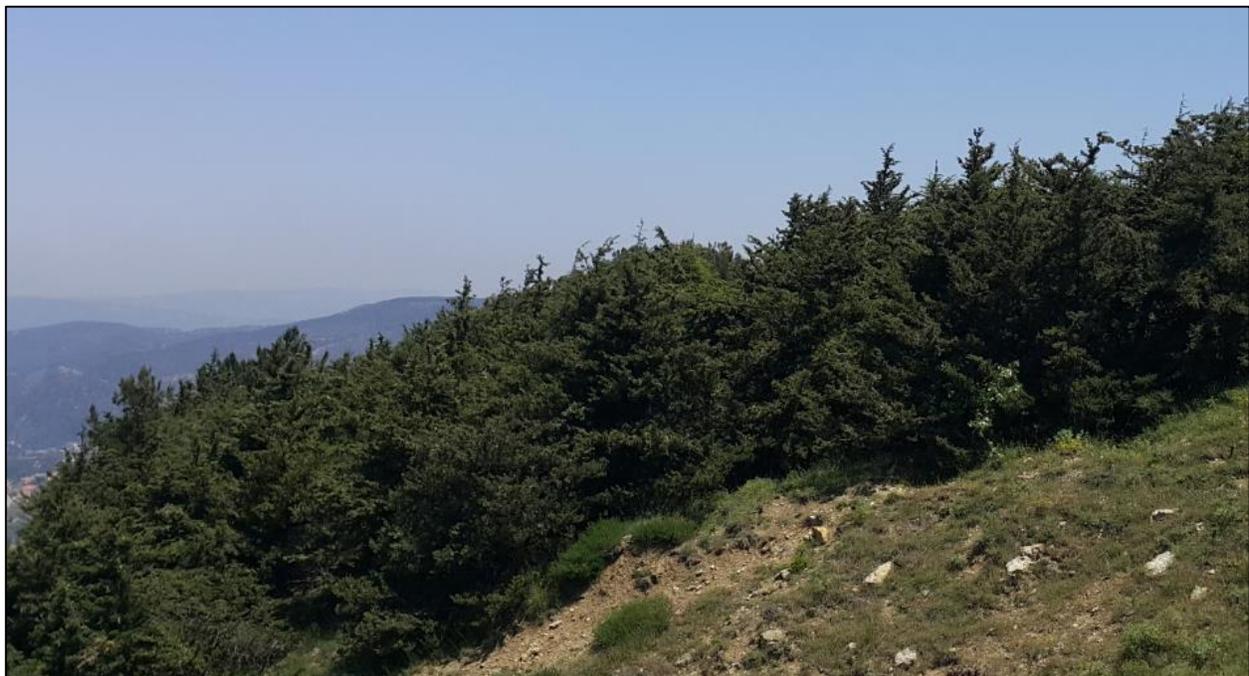


Photo 47: Forêt de Cyprès vert plantée - placette 34

Y : (AGB) Biomasse aérienne en tonnes h : Hauteur de l'arbre en mètre

D : Diamètre au niveau de la poitrine à (1,3 mètres) en centimètre

Ce coefficient a été calculé par Monero et Ruiz pour les conifères dont Cyprès vert. $TBM = AGB + BGB$

TBM : Biomasse totale en tonnes

e) **Genévrier oxycèdre** (*Juniperus oxycedrus*)

Arbuste buissonnant atteignant 8 mètres de hauteur, il se trouve au Liban dans les forêts de chênes, le pin et de cèdres. On le remarque dans les forêts de pin pignon dans le bassin versant du Nahr Beyrouth sous les étages thermo méditerranéen et Supra méditerranéen. Il existe surtout dans les forêts dégagées et éclaircies (Photographie 48).

Espèce héliophile, résistant à la sécheresse et au froid, peu exigeant quant à la nature du sol ;

Le Genévrier oxycèdre s'accommode bien dans les sols superficiels et secs et il peut même pousser dans les sols squelettiques.



Photo 48: *Juniperus oxcedrus* qui est présent dans la placette 25 dans une forêt de pins mixtes
On a utilisé l'équation allométrique du *Juniperus depeanna* (Vargas-Larreta et al., 2017) en tant que taille et densité de bois due à l'absence des équations allométriques du *Juniperus oxycèdre*.

$$W_t = \sum(W_i) \quad (\text{Vargas-Larreta et al., 2017}) \quad (42)$$

$$W_w = (0.01289 \times D^2 \times H) / 1000$$

$$W_b = (0.000772 \times D^2 \times H) / 1000$$

$$W_{br} = (0.00204 \times D^2 \times H) / 1000$$

$$W_f = (0.00098 \times D^2 \times H) / 1000$$

$$BGB = AGB \times 3,58 \quad (\text{Monero et Ruiz, 2005}) \quad (43)$$

$$TBM = AGB + BGB \quad (44)$$

H : Hauteur de l'arbre en mètre

D : Diamètre au niveau de la poitrine à (1,30 mètres) en centimètre

W_w : biomasse du tronc ; W_b : biomasse écorce du tronc ; W_{br} : biomasse des branches avec écorces ; W_f : biomasse du feuillage ; W_t : biomasse aérienne total

f) **Chêne calliprine** (*Quercus calliprinos*)

Quercus calliprinos est un arbre à persistante, de la Famille des Fagacées, on le trouve le plus souvent en taillis ou en futaies, mais il peut se développer en un grand arbre de taille supérieure à 20m dans des conditions favorables ou quand il est isolé (Photographie 49). Il couvre plus de la moitié de la superficie forestière actuelle au Liban et on le trouve de la côte jusqu'à 1500 mètres d'altitude.

Espèce méditerranéenne qui supporte une aridité prolongée, s'adapte à toutes sortes de sol, et se trouve surtout sur les terrains calcaires. On l'observe en Méditerranée Orientale mais aussi en Italie méridionale et en Grèce.

En l'absence d'équation allométrique pour le chêne Calliprine, nous avons adopté celle du chêne Ilex (Ruiz-Peinado et al., 2012) vu leur ressemblance et leur densité de bois qui est similaire ; En effet, selon Crivellaro et Schweingruber, 2013, la densité du bois du chêne Ilex est de 0,78 g/cm³ et celle du bois du chêne Calliprine est de 0,73 g/cm³.

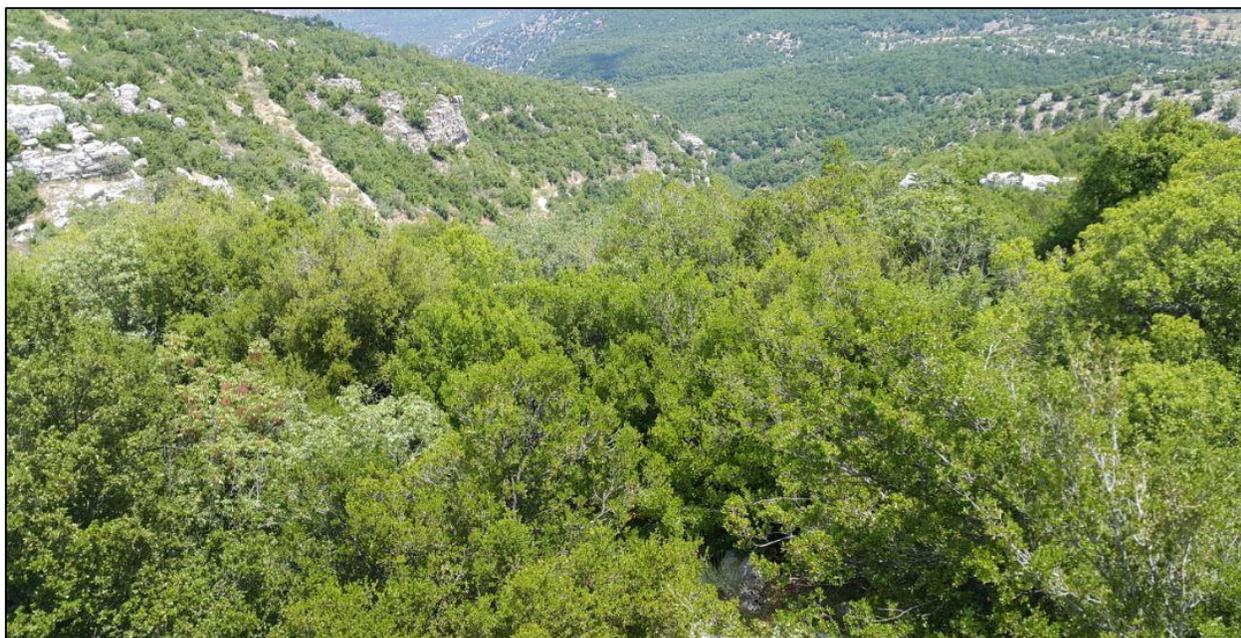


Photo 49: Forêt de Chêne Calliprine placette 41

$$\text{AGB} = \sum (\text{tige, branches et feuilles}) \quad (\text{Ruiz-Peinado et al., 2012}) \quad (45)$$

$$\text{Tige} = 0,143 \times d^2$$

$$\text{Branches épaisses} = [0,0684 \times (d - 12,5)^2 \times h] \times Z$$

Si : $d \leq 12,5$ cm donc $Z = 0$;

$d > 12,5$ cm donc $Z = 1$;

$$\text{Branches moyennes} = 0,0898 \times d^2$$

$$\text{Branches minces et feuilles} = 0,0824 \times d^2$$

$$\text{BGB} = \text{Racines} = 0,254 \times d^2 \quad (\text{Ruiz-Peinado et al., 2012}) \quad (46)$$

$$\text{TBM} = \text{AGB} + \text{BGB} \quad (47)$$

h : Hauteur de l'arbre en mètre

d : Diamètre au niveau de la poitrine à (1,30 mètres) en centimètre Z : variable

g) Chêne infectoria (*Quercus infectoria*)

Quercus infectoria Oliv., de la famille des Fagacées, est un arbre de hauteur 8 à 10 mètres et à l'état isolé, il peut atteindre de grandes taille à feuilles caduques ou semi persistantes (Photographie

50). Il commence à apparaître à partir de 500m dans la zone eu méditerranéenne et devient plus présent à partir de 800m et jusqu'à 1500m. il préfère les sols profonds, calcaires en général. Son aire de répartition est la Méditerranée Orientale.

Au Liban, on le trouve rarement en peuplement pur, il est surtout en mélange avec d'autres espèces comme le chêne calliprine, le pin pignon et cèdre. Cette combinaison remarquable dans le bassin versant du Nahr Beyrouth où on le trouve dans de différentes placettes avec le pin pignon et le chêne calliprine.

Faute d'équation allométriques spécifique au quercus infectoria, on a utilisé celle du Quercus pyrenaica (Ruiz-Peinado Gertrudix et al., 2012) comme ces deux espèces on la même taille et densité de bois 0,65 g/cm³ (Crivellaro et Schweingruber, 2013).



Photo 50: Quercus infectoria, placette 39

$$AGB = \sum (\text{tige et branches}) \quad (\text{Ruiz-Peinado et al., 2012}) \quad (48)$$

$$\text{Tige et branches épaisses} = 0,0261 \times h \times d^2$$

$$\text{Branches moyennes} = -0,0260 \times d^2 + 0,536 \times h + 0,00538 \times d^2 \times h$$

$$\text{Branches minces} = 0,898 \times d - 0,445 \times h$$

$$BGB = \text{Racines} = 0,143 \times d^2 \quad (\text{Ruiz-Peinado et al., 2012}) \quad (49)$$

$$TBM = AGB + BGB \quad (50)$$

TBM = Tige et branches épaisses + Branches moyennes + Branches minces + Racines (en

tonnes) h : Hauteur de l'arbre en mètres

d : Diamètre au niveau de la poitrine à (1,30 mètres) en centimètre

h) Caroubier (*Ceratonia siliqua*)

Ceratonia siliqua de la famille des césalpiniées (légumineuse) pouvant atteindre 10 mètres de hauteur. Il présente un fût trapu, à ramifications nombreuses et noueuses aux feuilles persistantes (Photographie 51). Présent dans la zone thermo-méditerranéenne, on le trouve au Liban de la côte jusqu'à 500 mètres d'altitude, mais dans certaines régions du sud il peut atteindre les 800 mètres. Adapté au climat sec, il peut supporter 6 à 7 mois de sécheresse mais ne supporte pas les basses températures. Une température inférieure à -7°C tue l'arbre.

Tolérant à la salinité du sol, il préfère les sols secs et rocheux et pousse très bien sur les sols alluvions riches en calcaire. Originaire de l'Asie Mineure, on le trouve au Liban souvent sous forme d'arbres isolés, rarement en bouquets.

L'équation allométrique du caroubier (Ruiz-Peinado Gertrudix et al., 2012) est :

$$\text{AGB} = \sum (\text{tige, branches et feuilles}) \quad (\text{Ruiz-Peinado et al., 2012}) \quad (51)$$

$$\text{Tige} = 0,142 \times d^{1,974}$$

$$\text{Branches épaisses} = 0,104 \times d^2$$

$$\text{Branches moyennes} = 0,0538 \times d^2$$

$$\text{Branches minces et feuilles} = 0,151 \times d^2 \\ - 0,00740 \times d^2 \times h$$

$$\text{BGB} = \text{Racines} = 0,335 \times d^2 \quad (\text{Ruiz-Peinado et al., 2012}) \quad (52)$$

$$\text{TBM} = \text{AGB} + \text{BGB} \quad (53)$$



Photo 51: Le caroubier est présent dans des différents endroits dans le bassin versant du Nahr Beyrouth

i) Arbousier de Chypre

Arbutus andrachne de la famille des Ericacées, arbuste de 3 à 5 mètres pouvant atteindre 12 mètres à feuilles caduques (Photographie 52). Il se trouve dans l'étage euméditerranéen et supraméditerranéen, constituant un élément important du maquis ou de la garrigue méditerranéenne. Il est présent dans la Méditerranée Orientale, le Liban, la Chypre.

On a adopté l'équation allométrique de l'Arbousier Unedo en raison d'absence d'équation allométrique pour l'Arbousier de Chypre (Zianis, Muukkonen, Mäkipää, & Mencuccini, 2005) et pour la fraction souterraine. Le rapport tige-racine est de 3,7 (Silva & Rego, 2004).

$$AGB = (a + b \times D^2) / 1000 \quad (\text{Zianis, Muukkonen, Mäkipää, } (54)$$

$$a = -2,7563$$

$$b = 0,3045$$

$$BGB = 3,7 \times AGB \quad (\text{Silva \& Rego, 2004) } (55)$$

$$TBM = AGB + BGB \quad (56)$$



Photo 52: Arbousier de Chypre présent dans la placette 25

j) Pistachier de Palestine

Pistacia palaestina de la famille des Anacardiaceés, caduques, glabres, pouvant atteindre 8 mètres de hauteur, à houppier hémisphérique (Photographie 53). Il se trouve surtout dans l'étage Euméditerranéen (500-1000 m d'altitude), et constitue un élément important dans l'association floristique de chêne Calliprine.

En ce qui concerne les sols, le pistachier de Palestine est peu exigeant et préfère les sols calcaires. Il est bien répandu en Méditerranée orientale et se trouve au Liban dans les taillis de chênes et aussi dans les peuplements de pins.

L'équation allométrique adoptée pour le Pistachier de Palestine est l'équation générale des arbres en formes cylindriques en intégrant sa densité de bois ρ de 0.70 g/cm³ (Engel & Frey, 1996). Cette équation a été adoptée puisqu'il n'y a aucune équation allométrique spécifique pour cette espèce (Picard, 2012).



Photo 53: Pistachier de Palestine dans la placette 21

$$AGB = \pi \times d^2 \times h \times \rho / (4 \times 100) \quad (\text{Engel \& Frey, 1996) et (Picard, 2012)} \quad (57)$$

$$BGB = 0,3 \times AGB \quad (\text{Mokany et al. 2006 et FRA Liban 2005)} \quad (58)$$

$$TBM = AGB + BGB \quad (59)$$

h : Hauteur de l'arbre en mètre

d : Diamètre au niveau de la poitrine à (1,30 mètres) en centimètre

ρ : densité du bois

Comme nous n'avons pas trouvé des références pour quantifier la biomasse souterraine du pistachier et après la consultation de plusieurs publications sur l'estimation de la biomasse souterraine des arbres comme Mokany et al. 2006, qui estime la biomasse souterraine des forêts de feuillus à partir de la biomasse aérienne : si la biomasse aérienne est inférieure à 75 t ha⁻¹, la biomasse souterraine constituera entre 12% et 93% de la biomasse aérienne donc en moyenne 46%. Alors que, si la biomasse aérienne est comprise entre à 75 et 150 t.ha⁻¹, la biomasse souterraine constituera entre 13% et 37% de la biomasse aérienne et elle est en moyenne de 23%. Et comme dans le FRA (Forest Resources Assessment), l'inventaire national des forêts au Liban réalisé en 2005 par le ministère de l'agriculture en collaboration avec la FAO ont adopté le rapport racines

/ pousses de 0,27 en considérant que les forêts du Liban étant comme des forêts sèches subtropicales. Donc on adopte la moyenne de tous ces rapports égale à 0,3 en absence d'un coefficient spécifique pour estimer la biomasse souterraine du Pistachier de Palestine.

k) Olivier

Olea europaea appartient à la famille des Oléacées, arbre à feuilles persistantes, pousse en forme arrondie et peut atteindre une hauteur de 8 à 10 mètres (Photographie 54).



Photo 54: Un olivier présent entre les pins pignons dans la placette numéro 2

Il se trouve dans l'étage eu- méditerranéen, supraméditerranéen, dans les vergers délaissés qui sont transformés en forêts. Il est cultivé au Liban de 0 à 1300 mètres où on trouve les plus anciens oliviers qui datent 4000 ans av. JC à une altitude de 1250 mètres. L'olivier préfère les sols frais limono-sableux ou limono-graveleux à une exposition ensoleillée et il exige une pluviométrie hivernale supérieure 500 mm, Il supporte des températures jusqu'à -7°C. pour quantifier sa biomasse nous adoptons les équations suivantes :

$$\begin{aligned} \text{Tige} &= 0,0114 \times d^2 \times h && \text{(Ruiz-Peinado Gertrudix et al., (60)} \\ \text{Branches épaisses} &= 0,0108 \times d^2 \times h && \text{2012)} \\ \text{Branches moyennes} &= 1,672 \times d \end{aligned}$$

$$\text{Branches minces et feuilles} = 0,0354 \times d^2 \\ + 1,187 \times h$$

$$\text{Racines} = 0,147 \times d^2 \quad (\text{Ruiz-Peinado Gertrudix et al., (61) 2012})$$

$$\text{TBM} = \text{AGB} + \text{BGB} \quad (62)$$

1) Charme-houblon

Ostrya carpinifolia de la famille des Corylacées, est un arbre qui peut atteindre 15 mètres de hauteur, caduques (Photographie 55). Il se trouve surtout dans l'étage Eu-méditerranéen et Supra-méditerranéen, sur les versants frais et humides. Il préfère les bioclimats humides à hiver tempéré et les sols calcaires profonds et meubles situés sur des pentes. Il s'adapte bien aux sols rocheux fissurés.

Présent dans le nord et l'est de la méditerranéen, il s'étend de la France jusqu'au Liban. Au Liban il se rencontre en compagnie du chêne calliprine et du chêne infectoria....

Comme le Charme-houblon est présent au bord de la rivière de Nahr Beyrouth et comme l'eau est présente en abondance dans les couches superficielles du sol ainsi le système racinaire n'a pas besoin d'aller en profondeur (Fan et al., 2017). Ainsi le système racinaire moins développé.



Photo 55: Des arbres de Charme-houblon présents dans la placette 24

Le rapport biomasse sous-terrine sur biomasse aérienne le plus adéquat est le rapport général basé sur une synthèse globale qui est de 0,26 (Mokany et al., 2006 et Cairns et al., 1997).

$$\begin{aligned} \text{AGB} = & - 4,5877 + 5,2638 \times 10^{-3} \times d^2 \times h & (\text{Gasparini, Nocetti, Tabacchi,} & (63) \\ & + 4,09 \times 10^{-1} \times d^2 & \text{\& Tosi, 2002)} \end{aligned}$$

$$\text{BGB} = \text{AGB} \times 0,26 \quad (\text{Mokany et al., 2006 ; Cairns et al., 1997}) \quad (64)$$

$$\text{TBM} = \text{AGB} + \text{BGB} \quad (65)$$

h : Hauteur de l'arbre en mètre

d : Diamètre au niveau de la poitrine à (1,30 mètres) en centimètre

m) Aulne

Alnus orientalis appartient à la famille des bétulacées, c'est un arbre à feuilles caduques pouvant atteindre 20 mètres de hauteur (Photographie 56). Il apparaît à partir de la côte dans la zone Thermo- méditerranéenne et peu attendre les 1500 mètres d'attitudes.

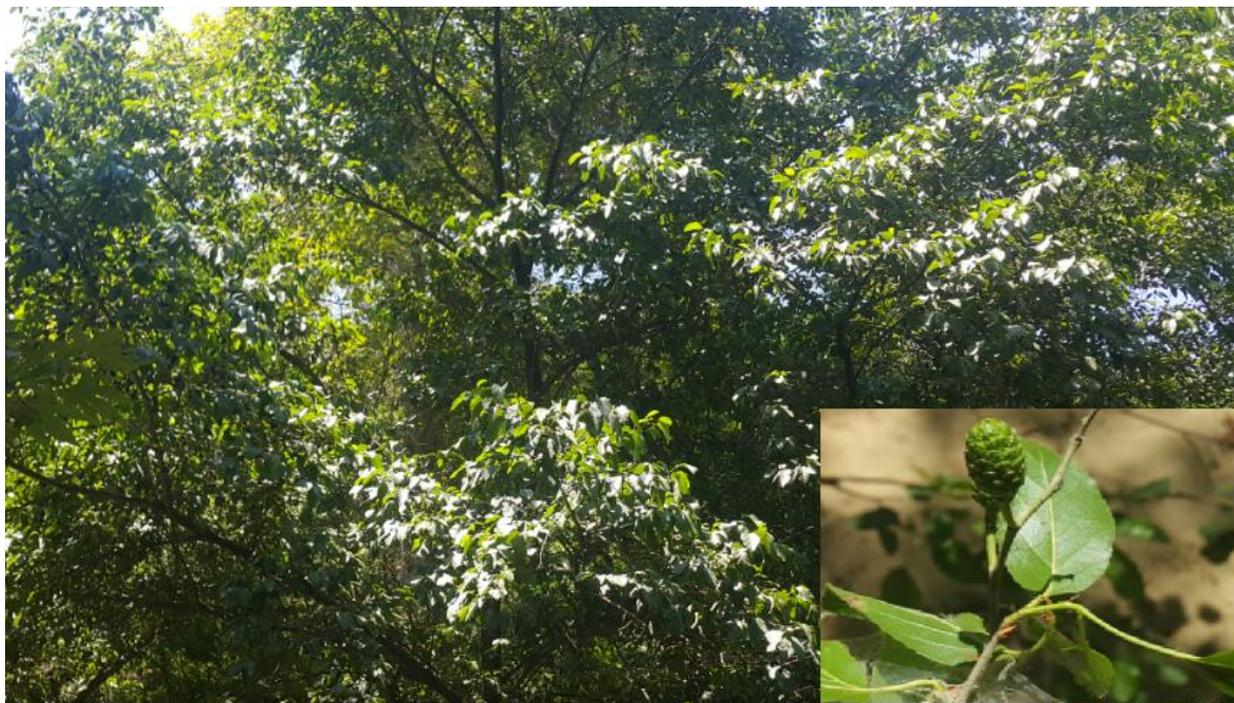


Photo 56: Des arbres d'Aulnes présents dans la placette 48

Originaire et présent en Syrie, Turquie, à Chypre, au Liban et en Palestine, il pousse sur des sols humides au bord des rivières et préfère les sols limono-graveleux. Il peut même supporter les températures basses atteignent jusqu'à -18°C.

Les équations allométriques adoptées pour l'Aulne sont :

$$\text{AGB} = \sum (\text{tige et branches}) \quad (\text{Ruiz-Peinado Gertrudix et } (66)$$
$$\text{Tige : } = 0,0191 \times d^2 \times h \quad \text{al., 2012)$$

$$\text{Branches épaisses et moyennes} = 0,0512 \times d^2$$

$$\text{Branches minces et feuilles} = 0,0567 \times d \times h$$

$$\text{BGB} = = 0,214 \times d^2 \quad (\text{Ruiz-Peinado Gertrudix et } (67)$$
$$\text{al., 2012)$$

$$\text{TBM} = \text{AGB} + \text{BGB} \quad (68)$$

n) Platane d'Orient

Platanus orientalis appartient à la famille des Platanacées, c'est un arbre de grande taille à feuilles caduques pouvant atteindre les 30 mètres (Photo 57), à tronc large avec gros broussins, qui peut atteindre 3 mètres de diamètre. Il se trouve dans l'étage thermoméditerranéen, euméditerranéen, supraméditerranéen et montagnard méditerranéen, de la côte jusqu'à 1800m. cet arbre préfère les sols profonds et humides, mais peut supporter les sols légers à condition qu'ils soient humides. Il est Présent dans le Sud-Est de l'Europe et la Méditerranée orientale. Son équation allométrique est ci-dessous :

$$AGB = V \times \rho \quad (\text{Yoon et al., 2013}) \quad (69)$$

$$V = a \times DBH^b \times H^c$$

$$a = 0,000613 ; b = 1,510 ; c = 0,706$$

$$\rho : \text{densité du bois égale à } 0,67 \text{ g/cm}^3$$

$$BGB = AGB \times 0,3 \quad (\text{Mokany et al. 2006 et FRA Liban}) \quad (70)$$

$$2005)$$

$$TBM = AGB + BGB \quad (71)$$



Photo 57: Des Platanes d'Orients présents dans le site 21

La part de la biomasse souterraine adoptée comme moyenne est 0,3 (Mokany et al., 2006) en raison d'absence d'équation spécifique pour la biomasse souterraine de cette espèce. Le rapport général racines / tige indiqué par (Mokany et al., 2006) est de 0,26 basé sur une synthèse globale présentée par Cairns et al., (1997) Elle a été largement adapté aux études forestières (NowakandCrane, 2002; Nowak et al., 2008 ; Aguaron et McPherson, 2012) pour estimer la biomasse souterraine. Dans l'inventaire national des forêts au Liban réalisé en 2005 par le ministère de l'agriculture en collaboration avec la FAO, le ministère a adopté le rapport racines/ pousses 0,27, considérant que les forêts du Liban des forêts sèches subtropicales. Cependant, nous avons utilisé un rapport de 0,3 (Mokany et al., 2006) en raison des grandes variabilités de ces rapports et de l'absence de la part et d'équation spécifique pour cette espèce. (Cairns et al., 1997)

o) Peuplier noir

Populus nigra appartient à la famille des Salicacées. C'est un arbre très grand qui peut atteindre 30 mètres de hauteur, à feuilles caduques, tronc court, irrégulier avec de grosses branches et un aspect buissonnant (Photo 58).

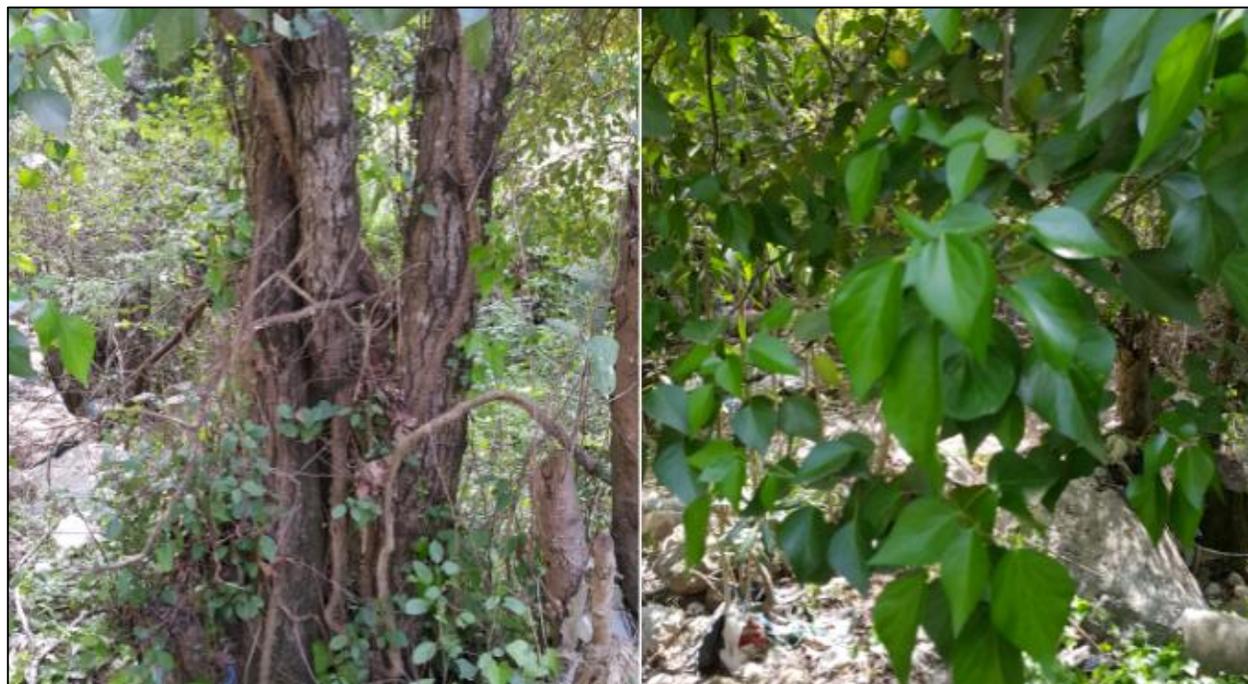


Photo 58: Le peuplier noir présent dans la placette 24

Il pousse dans les étages euméditerranéen, supraméditerranéen et montagnard méditerranéen et

aime la lumière et supporte bien le froid. Il préfère les sols aérés et humides, riches en azote. Au Liban, il se trouve le long des cours d'eau. En absence d'équation allométrique pour le Peuplier noir, nous avons l'équation générale d'un arbre cylindrique en intégrant sa densité de bois de 0,43 g/cm³ (Crivellaro & Schweingruber, 2013). Son équation allométrique est ci-dessous :

$$AGB = \pi \times d^2 \times h \times \rho / (4 \times 100) \quad (\text{Crivellaro et al., 2013}) \quad (72)$$

$$\rho = 0,43$$

$$BGB = AGB \times 0,3 \quad (\text{Mokany et al. 2006 et FRA Liban 2005}) \quad (73)$$

$$TBM = AGB + BGB \quad (74)$$

h : Hauteur de l'arbre en mètre

d : Diamètre au niveau de la poitrine à (1,30 mètres) en centimètre

ρ : densité du bois

Equations allométriques des arbustes et des arbres dont Le DBH est inférieur a 10 cm

Quatre arbustes ayant un diamètre inférieur à 10 centimètres ont été observés dans les placettes du bassin versant du Nahr Beyrouth. Il s'agit de la prune d'ourse, la poire syrienne, l'arbre de Judée et l'aliboufier du Liban. Par conséquent, il a fallu pour ces arbustes et tous les arbres de DBH inférieur à 10 centimètres, nous avons utilisé l'équation allométrique d'un arbre en forme de cylindre à l'exception du Cyprès vert comme il est de forme conique. Cette équation est plus adéquate en raison d'absence des équations spécifiques pour les espèces comme la prune d'ourse, la poire syrienne, l'arbre de Judée et l'aliboufier du Liban et parce que les équations allométriques du Chêne calliprine et du Chêne infectoria nous donnent des valeurs de biomasse surestimées pour des DBH inférieurs à 10 cm.

L'équation allométrique utilise pour ces espèces est la suivante :

$$AGB = \pi \times d^2 \times h \times \rho / (4 \times 100) \quad (\text{Crivellaro et al., 2013}) \quad (75)$$

$$\rho = 0,43$$

$$BGB = AGB \times 0,3 \quad (\text{Mokany et al. 2006 et FRA Liban 2005}) \quad (76)$$

$$TBM = AGB + BGB \quad (77)$$

a) Prune d'ourse

Prunus ursina appartient à la famille des Rosacées, c'est un arbre de petite taille à feuilles caduques de hauteur entre 4 et 8 mètres (Photographie 59). Il se trouve dans les étages supra-méditerranéen et méditerranéen montagnard. Au Liban, il se trouve à l'état disséminé dans les forêts de haute altitudes qui s'étalent du Nord au Sud du pays. Vu l'absence de donnée pour sa densité de bois, nous avons utilisé la densité de bois du *Prunus domestica* qui est de 60 g/cm³ (Crivellaro & Schweingruber, 2013) avec un rapport biomasse souterrain/ biomasse aérienne de 30%.



Photo 59: Prunus ursina localisés entre la placette 33 et 34

b) Poire syrien

Pyrus syriaca à feuilles des Rosacées caduques de hauteur comprise entre 5 et 10 mètres, est un arbre de petite taille qui se trouve dans les étages eu-méditerranéen et supra-méditerranéen (Photographie 60). On utilise la densité du bois : 0,52 g/cm³ (Crivellaro & Schweingruber, 2013) et 30 % le rapport biomasse souterrain/ biomasse aérienne.



Photo 60: *Pyrus syriaca*, présent dans la placette 27

c) Arbre de Judée

Cercis siliquastrum appartient à la famille des césalpinées (Photographie 61). C'est un arbre de 5 à 10 mètres de hauteur, à une couronne basse et irrégulière caduque. Il se trouve dans l'étage thermoméditerranéen, peut monter jusqu'à 800m et s'adapte à tout type de sol.



Photo 61: Arbre de Judée

C'est un arbre répandu en Europe méridionale et Méditerranée Orientale et on le trouve au Liban à

l'état disséminé dans les forêts de chênes et de pins.

Un seul arbuste est présent dans la placette 31.

Nous avons utilisé la densité du bois $0,61 \text{ g/cm}^3$ (Crivellaro & Schweingruber, 2013) et 30 % le rapport biomasse souterrain/ biomasse aérienne.

d) Aliboufier du Liban

Styrax officinalis de la famille Styracacée est un arbuste pouvant atteindre 6 mètres de hauteur avec un houppier arrondi à feuilles caduques. Il se trouve dans les étages eu-méditerranéen et supra méditerranéen, on peut le trouver jusqu' à 1700 mètres d'altitude. Originaire de la Méditerranée Orientale, il préfère le climat méditerranéen humide et tempéré. Il tolère tout type de sol et on le trouve surtout dans les sols calcaires (Photographie 62).



Photo 62: Deux arbustes présents dans la placette 17

Deux arbustes de 4 cm et 4,5 cm de DBH et de hauteur de 4 mètres sont trouvés dans la placette 17. On applique l'équation générale en intégrant la densité du bois de l'Aliboufier du Liban qui est de $0,61 \text{ g/cm}^3$ (Crivellaro & Schweingruber, 2013)

Annexe IX : Méthodes statistiques

Pour détecter la présence ou l'absence de relation entre deux paramètres quantitatifs décrivant le même ensemble d'unités, il fallait appliquer le test de corrélation. On dit qu'il existe une relation entre un paramètre et l'autre si l'attribution des modalités de l'un et de l'autre ne se fait pas au hasard, c'est à dire si les valeurs de X dépendent des valeurs de Y ou si les valeurs de Y dépendent des valeurs de X. Dire que Y dépend de X signifie que la connaissance des valeurs de X permet de prédire, dans une certaine mesure, les valeurs de Y. Les coefficients de corrélation permettent donc de donner une mesure synthétique de l'intensité de la relation entre deux caractères et de son sens lorsque cette relation est monotone. Le coefficient décrit l'importance et le sens de la relation. Dans notre étude

I- Coefficient de corrélation de Pearson

La corrélation de Pearson évalue la relation linéaire entre deux variables. Il permet de mesurer le degré d'alignement du nuage de points. Or d'après le test de normalité appliqué sur nos variables, la plupart des variables ne suivent pas la loi normale. Pour cette raison nous avons adopté la corrélation et l'ACP de Spearman. De plus nous avons interprété la distribution du nuage des points des relations entre les variables car dans certains cas, les coefficients de corrélation ne mesurent que des relations linéaires (Pearson) ou monotones (Spearman).

II- Coefficient de corrélation de Spearman

Le coefficient de Spearman est utilisé pour les variable no ordonnées. Il utilise non pas les valeurs mais les rangs des variables. Egalement utile pour des corrélations non linéaires. Il permet d'analyser les relations non-linéaires monotones et de mesurer la façon dont une variable augmente quand l'autre augmente.

Et comme le test de normalité montre que la plupart des données des paramètres ne suivent pas la loi normale donc on adoptera la corrélation de Spearman.

Annexe X : Densité des sols

Tableau 35: densité de la fraction fine des sols

Placette	Profondeur du sol	Poids du sol humide	Poids du sol sec	Densité apparente	Poids des pierres	Poids des particules fines	Volumes des pierres	Volume calculé des pierres	Volume du sol fines	Densité apparente du sol fines
1	0-5(1)	141.2	135.8	1.23	52.6	83.2	25	19.48	90.82	0.92
1	0-5(2)	143.95	137.45	1.25	23.5	113.95	10	8.7	101.6	1.12
1	0-5(3)	146.5	139.95	1.27	17.7	122.25	10	6.56	103.74	1.18
1	5-10(1)	150.8	137.8	1.25	65	72.8	25	24.07	86.23	0.84
1	5-10(2)	142	129.5	1.17	52.5	77	20	19.44	90.86	0.85
1	5-10(3)	117.2	103.6	0.94	29	74.6	10	10.74	99.56	0.75
1	10-30(1)	186.1	173.3	1.57	87.3	86	35	32.33	77.97	1.1
1	10-30(2)	199.6	177.2	1.61	11.9	165.3	5	4.41	105.89	1.56
1	10-30(3)	188.5	165.7	1.5	9.7	156	5	3.59	106.71	1.46
1	60-90(1)	204.4	174.5	1.58	4.3	170.2	5	1.59	108.71	1.57
1	60-90(2)	205.1	176.6	1.6	9.5	167.1	2.5	3.52	106.78	1.56
1	60-90(3)	205.7	180.6	1.64	33.1	147.5	5	12.26	98.04	1.5
2	0-30(1)	132.4	117.2	1.06	68.5	48.7	30	25.37	84.93	0.57
2	0-30(2)	126.4	110.2	1	65.4	44.8	27.5	24.22	86.08	0.52
2	0-30(3)	134.1	118.2	1.07	49	69.2	20	18.15	92.15	0.75
2	30-60(1)	179.7	157	1.42	129.9	27.1	55	48.11	62.19	0.44
2	30-60(2)	171.2	165.8	1.5	137.1	28.7	57.5	50.78	59.52	0.48
2	30-60(3)	169.4	157.5	1.43	129.2	28.3	55	47.85	62.45	0.45
3	0-30(1)	181.3	160.9	1.46	9	151.9	5	3.33	106.97	1.42
3	0-30(2)	173.8	157	1.42	11.1	145.9	5	4.11	106.19	1.37
3	0-30(3)	158.7	154.2	1.4	6.1	148.1	3	2.26	108.04	1.37
3	30-60(1)	195.3	160.4	1.45	3.9	156.5	2	1.44	108.86	1.44
3	30-60(2)	195.7	159.9	1.45	2.1	157.8	1	0.78	109.52	1.44
3	30-60(3)	205.3	169	1.53	1.2	167.8	0	0.44	109.86	1.53
4	0-60(1)	185.7	166.1	1.51	19.5	146.6	10	7.22	103.08	1.42
4	0-60(2)	183.5	165.5	1.5	10.2	155.3	5	3.78	106.52	1.46
4	0-60(3)	171.3	140.2	1.27	11.6	128.6	5	4.3	106	1.21
4	60-90(1)	206.5	183.8	1.67	20.8	163	10	7.7	102.6	1.59
4	60-90(2)	205.9	189.7	1.72	20.9	168.8	10	7.74	102.56	1.65
4	60-90(3)	208.4	179.9	1.63	25	154.9	12	9.26	101.04	1.53
4	90-120(1)	203.2	178.8	1.62	4	174.8	2	1.48	108.82	1.61
4	90-120(2)	181.3	165.9	1.5	0	165.9	0	0	110.3	1.5
4	90-120(3)	199	181.1	1.64	9.4	171.7	5	3.48	106.82	1.61
5	0-30(1)	186.5	165.6	1.5	26.4	139.2	12.5	9.78	100.52	1.38
5	0-30(2)	202.3	180.7	1.64	5.7	175	2.5	2.11	108.19	1.62
5	0-30(3)	188	168.7	1.53	14.5	154.2	7	5.37	104.93	1.47
5	30-60(1)	167	146.4	1.33	3.9	142.5	2	1.44	108.86	1.31

Placette	Profondeur du sol	Poids du sol humide	Poids du sol sec	Densité apparente	Poids des pierres	Poids des particules fines	Volumes des pierres	Volume calculé des pierres	Volume du sol fines	Densité apparente du sol fines
5	30-60(2)	171.9	152.2	1.38	4.8	147.4	2	1.78	108.52	1.36
5	30-60(3)	174.9	156.8	1.42	4.4	152.4	2	1.63	108.67	1.4
6	0-30(1)	179.4	154.7	1.4	5.4	149.3	2.5	2	108.3	1.38
6	0-30(2)	159.3	136.8	1.24	2.5	134.3	1	0.93	109.37	1.23
6	0-30(3)	191	164	1.49	12.3	151.7	5	4.56	105.74	1.43
6	30-60(1)	211.1	184	1.67	0.7	183.3	0	0.26	110.04	1.67
6	30-60(2)	205.1	179.9	1.63	0.4	179.5	0	0.15	110.15	1.63
6	30-60(3)	209.5	184.5	1.67	0.6	183.9	0	0.22	110.08	1.67
7	0-5(1)	134.1	124.9	1.13	25.4	99.5	12	9.41	100.89	0.99
7	0-5(2)	147.9	138.2	1.25	53.8	84.4	26	19.93	90.37	0.93
7	0-5(3)	125.7	117.2	1.06	8.1	109.1	4	3	107.3	1.02
8	0-20(1)	140.9	125.3	1.14	68.9	56.4	25	25.52	84.78	0.67
8	0-20(2)	144.4	131.3	1.19	78.7	52.6	35	29.15	81.15	0.65
8	0-20(3)	131.6	114.3	1.04	70.3	44	32	26.04	84.26	0.52
8	20-40(1)	139.8	123.7	1.12	60.2	63.5	27	22.3	88	0.72
8	20-40(2)	120.9	102.7	0.93	33.3	69.4	15	12.33	97.97	0.71
8	20-40(3)	166.4	143.6	1.3	59.5	84.1	27	22.04	88.26	0.95
9	0-30(1)	140.8	120.7	1.09	19.1	101.6	10	7.07	103.23	0.98
9	0-30(2)	139.5	115.6	1.05	10	105.6	5	3.7	106.6	0.99
9	0-30(3)	160.5	137.7	1.25	26.7	111	12.5	9.89	100.41	1.11
9	30-60(1)	200.5	174.7	1.58	39.9	134.8	20	14.78	95.52	1.41
9	30-60(2)	185	162.6	1.47	41.1	121.5	20	15.22	95.08	1.28
9	30-60(3)	217.6	186.2	1.69	47.8	138.4	25	17.7	92.6	1.49
10	0-10(1)	192.6	151.1	1.37	60.3	90.8	30	22.33	87.97	1.03
10	0-10(2)	184.5	144.6	1.31	75.9	68.7	37.5	28.11	82.19	0.84
10	0-10(3)	178.9	139.7	1.27	79.6	60.1	40	29.48	80.82	0.74
11	0-30(1)	161	148.9	1.35	3.9	145	2	1.44	108.86	1.33
11	0-30(2)	160.6	150.6	1.37	34.8	115.8	17.5	12.89	97.41	1.19
11	0-30(3)	162.9	151.5	1.37	11.2	140.3	5	4.15	106.15	1.32
11	30-60(1)	184.7	174.4	1.58	77.3	97.1	37.5	28.63	81.67	1.19
11	30-60(2)	179.6	167.3	1.52	63.5	103.8	32.5	23.52	86.78	1.2
11	30-60(3)	193.8	181.6	1.65	62.3	119.3	30	23.07	87.23	1.37
12	0-30(1)	188.3	165.5	1.5	45.5	120	22.5	16.85	93.45	1.28
12	0-30(2)	198.9	171.8	1.56	12.3	159.5	6	4.56	105.74	1.51
12	0-30(3)	206	178	1.61	12.7	165.3	6	4.7	105.6	1.57
12	30-60(1)	204.8	171.8	1.56	18.4	153.4	20	6.81	103.49	1.48
12	30-60(2)	204.1	170.7	1.55	7.2	163.5	3	2.67	107.63	1.52
12	30-60(3)	211.6	176.9	1.6	10	166.9	5	3.7	106.6	1.57
13	0-10(1)	95.2	80	0.73	32.2	47.8	15	11.93	98.37	0.49
13	0-10(2)	110.2	92.1	0.83	44	48.1	20	16.3	94	0.51
13	0-10(3)	122.1	99.4	0.9	43.9	55.5	20	16.26	94.04	0.59

Placette	Profondeur du sol	Poids du sol humide	Poids du sol sec	Densité apparente	Poids des pierres	Poids des particules fines	Volumes des pierres	Volume calculé des pierres	Volume du sol fines	Densité apparente du sol fines
13	10-20(1)	118.3	97	0.88	15.9	81.1	7.5	5.89	104.41	0.78
13	10-20(2)	135.5	108.8	0.99	22.1	86.7	7.5	8.19	102.11	0.85
13	10-20(3)	143.5	115.7	1.05	28.9	86.8	15	10.7	99.6	0.87
14	0-15(1)	134.4	114.5	1.04	29.4	85.1	15	10.89	99.41	0.86
14	0-15(2)	129.9	108.1	0.98	26.8	81.3	12.5	9.93	100.37	0.81
14	0-15(3)	129.4	108.2	0.98	5.6	102.6	2.5	2.07	108.23	0.95
15	0-30(1)	133.6	108.9	0.99	5.5	103.4	2	2.04	108.26	0.96
15	0-30(2)	146.8	124.5	1.13	8.2	116.3	4	3.04	107.26	1.08
15	0-30(3)	155.8	136	1.23	10.9	125.1	5	4.04	106.26	1.18
15	30-60(1)	140.5	127.4	1.16	6.7	120.7	3	2.48	107.82	1.12
15	30-60(2)	164.5	143.1	1.3	6.7	136.4		2.48	107.82	1.27
15	30-60(3)	139.2	126.8	1.15	4.9	121.9	2	1.81	108.49	1.12
16	0-30(1)	154.3	139.8	1.27	43	96.8	20	15.93	94.37	1.03
16	0-30(2)	138.6	114.3	1.04	5	109.3	2.5	1.85	108.45	1.01
16	0-30(3)	149.1	124	1.12	10.6	113.4	5	3.93	106.37	1.07
16	30-60(1)	146.1	132	1.2	12.4	119.6	5	4.59	105.71	1.13
16	30-60(2)	163.6	149.8	1.36	38.8	111	17.5	14.37	95.93	1.16
16	30-60(3)	159.8	143.5	1.3	15.7	127.8	7.5	5.81	104.49	1.22
17	0-10(1)	164.9	128.2	1.16	34.7	93.5	17.5	12.85	97.45	0.96
17	0-10(2)	166.6	121.7	1.1	29.1	92.6	12.5	10.78	99.52	0.93
17	0-10(3)	172.1	124	1.12	9.4	114.6	5	3.48	106.82	1.07
17	10-30(1)	145.8	129.9	1.18	0	129.9	0	0	110.3	1.18
17	10-30(2)	138.4	122.1	1.11	0.7	121.4	0	0.26	110.04	1.1
17	10-30(3)	143.7	129	1.17	1.4	127.6	0	0.52	109.78	1.16
18	0-30(1)	159.9	147.4	1.34	25.1	122.3	12	9.3	101	1.21
18	0-30(2)	159.3	141.6	1.28	22.7	118.9	12	8.41	101.89	1.17
18	0-30(3)	163	141.3	1.28	30.1	111.2	15	11.15	99.15	1.12
18	30-60(1)	180.4	167.5	1.52	15.1	127.6	7	5.59	104.71	1.22
18	30-60(2)	167.3	158.5	1.44	47.4	127.6	25	17.56	92.74	1.38
18	30-60(3)	176.3	159.5	1.45	39	120.5	20	14.44	95.86	1.26
19	0-10(1)	179.1	157.3	1.43	36.6	120.7	17.5	13.56	96.74	1.25
19	0-10(2)	164.7	144.2	1.31	30.6	113.6	15	11.33	98.97	1.15
19	0-10(3)	144.4	126.7	1.15	37.5	89.2	19	13.89	96.41	0.93
19	10-15(1)	156.2	134.4	1.22	6	128.4	3	2.22	108.08	1.19
19	10-15(2)	168.7	150.8	1.37	43.5	107.3	22	16.11	94.19	1.14
19	10-15(3)	152.8	132.1	1.2	9	123.1	5	3.33	106.97	1.15
20	0-10(1)	137.4	106.4	0.96	22.1	84.3	10	8.19	102.11	0.83
20	0-10(2)	163.1	124.3	1.13	25	99.3	12.5	9.26	101.04	0.98
20	0-10(3)	158.9	119.7	1.09	15.5	104.2	7.75	5.74	104.56	1
20	10-20(1)	152.4	121.3	1.1	47.4	73.9	24	17.56	92.74	0.8
20	10-20(2)	151	119.1	1.08	48.2	70.9	24	17.85	92.45	0.77

Placette	Profondeur du sol	Poids du sol humide	Poids du sol sec	Densité apparente	Poids des pierres	Poids des particules fines	Volumes des pierres	Volume calculé des pierres	Volume du sol fines	Densité apparente du sol fines
20	10-20(3)	158.2	127.1	1.15	62.4	64.7	30	23.11	87.19	0.74
21	0-30(1)	115.9	98.7	0.89	1.7	97	1	0.63	109.67	0.88
21	0-30(2)	135.6	119.6	1.08	1.5	118.1	1	0.56	109.74	1.08
21	0-30(3)	122.7	104.6	0.95	3.3	101.3	1	1.22	109.08	0.93
22	0-30(1)	151.4	144	1.31	12.2	131.8	5	4.52	105.78	1.25
22	0-30(2)	149.8	143.5	1.3	6.1	137.4	3	2.26	108.04	1.27
22	0-30(3)	141.9	135.8	1.23	8.2	127.6	4	3.04	107.26	1.19
23	10-15(1)	138	126.1	1.14	53.6	72.5	25	19.85	90.45	0.8
23	10-15(2)	125.7	113.5	1.03	54.3	59.2	27	20.11	90.19	0.66
23	10-15(3)	135.8	122.4	1.11	57.1	65.3	27	21.15	89.15	0.73
24	0-20(1)	115.2	100.9	0.91	10.2	90.7	5	3.78	106.52	0.85
24	0-20(2)	126.1	128.6	1.17	8.7	119.9	5	3.22	107.08	1.12
24	0-20(3)	146.9	109.3	0.99	14.1	95.2	7.5	5.22	105.08	0.91
25	0-30(1)	135.3	122.5	1.11	8.1	114.4	4	3	107.3	1.07
25	0-30(2)	129.3	131.4	1.19	23.1	108.3	11	8.56	101.74	1.06
25	0-30(3)	143.2	118.2	1.07	36.7	81.5	18	13.59	96.71	0.84
26	0-30(1)	184.6	169.9	1.54	67	102.9	33	24.81	85.49	1.2
26	0-30(2)	185.4	168.8	1.53	13.8	155	7	5.11	105.19	1.47
26	0-30(3)	173.7	157.8	1.43	35.6	122.2	18	13.19	97.11	1.26
26	30-60(1)	190.1	169.8	1.54	7.9	161.9	4	2.93	107.37	1.51
26	30-60(2)	189	162.5	1.47	2.2	160.3	1	0.81	109.49	1.46
26	30-60(3)	211.2	187.2	1.7	0	187.2	0	0	110.3	1.7
27	0-15(1)	123.7	105.5	0.96	39	66.5	20	14.44	95.86	0.69
27	0-15(2)	138.4	120.9	1.1	68.7	52.2	34	25.44	84.86	0.62
27	0-15(3)	136.2	114.6	1.04	45	69.6	22.5	16.67	93.63	0.74
28	0-30(1)	137.1	125.3	1.14	72.5	52.8	36	26.85	83.45	0.63
28	0-30(2)	138.8	120.1	1.09	32.1	88	16	11.89	98.41	0.89
28	0-30(3)	121.5	109.5	0.99	32	77.5	16	11.85	98.45	0.79
28	30-60(1)	156.7	138.2	1.25	21	117.2	10	7.78	102.52	1.14
28	30-60(2)	164.5	145.5	1.32	41.2	104.3	20	15.26	95.04	1.1
28	30-60(3)	160.7	144.7	1.31	50.3	94.4	25	18.63	91.67	1.03
29	0-30(1)	198.7	169.2	1.53	4.4	164.8	2	1.63	108.67	1.52
29	0-30(2)	170.4	144	1.31	16.2	127.8	8	6	104.3	1.23
29	0-30(3)	202	172.5	1.56	16.5	156	8	6.11	104.19	1.5
29	30-60(1)	210.8	198.8	1.8	114.8	84	47	42.52	67.78	1.24
29	30-60(2)	206.6	184.5	1.67	49.7	134.8	25	18.41	91.89	1.47
29	30-60(3)	199.1	169.6	1.54	19.8	149.8	8	7.33	102.97	1.45
30	0-30(1)	148.2	126.8	1.15	39.8	87	20	14.74	95.56	0.91
30	0-30(2)	140.4	124.6	1.13	49.9	74.7	25	18.48	91.82	0.81
30	0-30(3)	151.4	128.5	1.17	28.9	99.6	14.5	10.7	99.6	1
31	0-30(1)	132.2	118.5	1.07	63.8	54.7	32	23.63	86.67	0.63

Placette	Profondeur du sol	Poids du sol humide	Poids du sol sec	Densité apparente	Poids des pierres	Poids des particules fines	Volumes des pierres	Volume calculé des pierres	Volume du sol fines	Densité apparente du sol fines
31	0-30(2)	115	101.7	0.92	47.8	53.9	23	17.7	92.6	0.58
31	0-30(3)	108.3	97.9	0.89	36.1	61.8	18	13.37	96.93	0.64
32	0-20(1)	113.8	96.1	0.87	39.7	56.4	20	14.7	95.6	0.59
32	0-20(2)	119.6	99.9	0.91	45.9	54	22	17	93.3	0.58
32	0-20(3)	99.8	85.2	0.77	14.9	70.3	7	5.52	104.78	0.67
33	0-15(1)	171.9	144	1.31	54.4	89.6	22.5	20.15	90.15	0.99
33	0-15(2)	163.2	149.8	1.36	40.9	108.9	20	15.15	95.15	1.14
33	0-15(3)	177	154.1	1.4	47.9	106.2	25	17.74	92.56	1.15
33	15-30(1)	182	150.9	1.37	67.2	83.7	30	24.89	85.41	0.98
33	15-30(2)	188.1	155.8	1.41	53.4	102.4	25	19.78	90.52	1.13
33	15-30(3)	186.7	153.9	1.4	70	83.9	35	25.93	84.37	0.99
34	0-30(1)	147	124.1	1.13	40.8	83.3	20	15.11	95.19	0.88
34	0-30(2)	149.4	129.9	1.18	60.9	69	30	22.56	87.74	0.79
34	0-30(3)	122.2	97.5	0.88	10.4	87.1	5	3.85	106.45	0.82
34	30-60(1)	175.9	150.8	1.37	49.5	101.3	25	18.33	91.97	1.1
34	30-60(2)	163.6	137.8	1.25	42.6	95.2	20	15.78	94.52	1.01
34	30-60(3)	145.7	123.5	1.12	40.1	83.4	20	14.85	95.45	0.87
35	0-30(1)	175	159	1.44	71.2	87.8	35	26.37	83.93	1.05
35	0-30(2)	151.5	131.5	1.19	19	112.5	10	7.04	103.26	1.09
35	0-30(3)	144	129.1	1.17	51.2	77.9	25	18.96	91.34	0.85
35	30-60(1)	193.9	168.9	1.53	63.7	105.2	30	23.59	86.71	1.21
35	30-60(2)	181.3	165.4	1.5	93.5	71.9	45	34.63	75.67	0.95
35	30-60(3)	180.6	158.8	1.44	77	81.8	35	28.52	81.78	1
35	60-90(1)	194.5	163.3	1.48	2.5	160.8	1	0.93	109.37	1.47
35	60-90(2)	196.9	163.6	1.48	11.1	152.5	5	4.11	106.19	1.44
35	60-90(3)	190.9	158.5	1.44	1.2	157.3	0	0.44	109.86	1.43
36	0-30(1)	156.6	142	1.29	45.1	96.9	22.5	16.7	93.6	1.04
36	0-30(2)	164.2	149.3	1.35	40.5	108.8	20	15	95.3	1.14
36	0-30(3)	147.9	133.7	1.21	38.4	95.3	20	14.22	96.08	0.99
36	30-60(1)	217.1	189.9	1.72	17.2	172.7	8	6.37	103.93	1.66
36	30-60(2)	216.2	185.6	1.68	5.5	180.1	2.75	2.04	108.26	1.66
36	30-60(3)	228.8	197.2	1.79	30	167.2	15	11.11	99.19	1.69
37	0-15(1)	138	106.8	0.97	39.2	67.6	20	14.52	95.78	0.71
37	0-15(2)	169.3	125.2	1.14	64.5	60.7	30	23.89	86.41	0.7
37	0-15(3)	143	108.3	0.98	37.3	71	15	13.81	96.49	0.74
37	15-40(1)	168.1	110.8	1	75.2	35.6	35	27.85	82.45	0.43
37	15-40(2)	181.1	134.8	1.22	83.3	51.5	40	30.85	79.45	0.65
37	15-40(3)	170.2	126.1	1.14	55.1	71	25	20.41	89.89	0.79
38	0-10(1)	118.9	93.2	0.84	21	72.2	10	7.78	102.52	0.7
38	0-10(2)	127.8	103.1	0.93	17.3	85.8	8	6.41	103.89	0.83
38	0-10(3)	114.7	89.8	0.81	20.7	69.1	10	7.67	102.63	0.67

Placette	Profondeur du sol	Poids du sol humide	Poids du sol sec	Densité apparente	Poids des pierres	Poids des particules fines	Volumes des pierres	Volume calculé des pierres	Volume du sol fines	Densité apparente du sol fines
39	0-15(1)	117	88.7	0.8	15.2	73.5	7.6	5.63	104.67	0.7
39	0-15(2)	112.9	85.9	0.78	9.7	76.2	5	3.59	106.71	0.71
39	0-15(3)	125.2	95.2	0.86	8.7	86.5	4	3.22	107.08	0.81
40	0-15(1)	119.7	95.7	0.87	4.6	91.1	2.5	1.7	108.6	0.84
40	0-15(2)	106.1	84.2	0.76	13.9	70.3	7	5.15	105.15	0.67
40	0-15(3)	101.5	77.4	0.7	3.6	73.8	2	1.33	108.97	0.68
41	0-10(1)	155.5	132.9	1.2	45.1	87.8	22.5	16.7	93.6	0.94
41	0-10(2)	143.8	118	1.07	26.8	91.2	12.5	9.93	100.37	0.91
41	0-10(3)	115.5	110.3	1	19.6	90.7	10	7.26	103.04	0.88
42	0-15(1)	136.7	109.5	0.99	11.8	97.7	6	4.37	105.93	0.92
42	0-15(2)	171.6	137.3	1.24	21.2	116.1	10	7.85	102.45	1.13
42	0-15(3)	152.1	121.3	1.1	8.6	112.7	4.5	3.19	107.11	1.05
43	0-15(1)	144.9	118.7	1.08	45.5	73.2	22.75	16.85	93.45	0.78
43	0-15(2)	138.7	105.1	0.95	28.1	77	14	10.41	99.89	0.77
43	0-15(3)	147.3	114.2	1.04	20.4	93.8	10	7.56	102.74	0.91
44	0-10(1)	104.7	87.9	0.8	12.7	75.2	6	4.7	105.6	0.71
44	0-10(2)	144.6	115.2	1.04	11.8	103.4	6	4.37	105.93	0.98
44	0-10(3)	133.1	105.5	0.96	11.1	94.4	5.5	4.11	106.19	0.89
44	0-10(4)	136.6	116.5	1.06	58.1	58.4	30	21.52	88.78	0.66
45	0-30(1)	146.3	139.4	1.26	44.9	94.5	22.45	16.63	93.67	1.01
45	0-30(2)	132.1	122.1	1.11	9.6	112.5	5	3.56	106.74	1.05
45	0-30(3)	148.2	139.3	1.26	11.5	127.8	5.75	4.26	106.04	1.21
46	0-30(1)	144.4	125.1	1.13	31.8	93.3	15.9	11.78	98.52	0.95
46	0-30(2)	179.6	159.7	1.45	20.9	138.8	10	7.74	102.56	1.35
46	0-30(3)	136	129.3	1.17	25.3	104	12.5	9.37	100.93	1.03
46	30-60(1)	149.9	140.4	1.27	5.3	135.1	2.5	1.96	108.34	1.25
46	30-60(2)	166.5	161	1.46	0	161	0	0	110.3	1.46
46	30-60(3)	167.3	162.1	1.47	2.5	159.6	1	0.93	109.37	1.46
47	0-15(1)	142.8	128.3	1.16	35.8	92.5	18	13.26	97.04	0.95
47	0-15(2)	147.2	133.2	1.21	55.2	78	27.5	20.44	89.86	0.87
47	0-15(3)	139.7	127.1	1.15	49.1	78	25	18.19	92.11	0.85
48	0-15(1)	144.9	85.7	0.78	10	75.7	0	3.7	106.6	0.71
48	0-15(2)	123.2	110.1	1	36.4	73.7	18.2	13.48	96.82	0.76
48	0-15(3)	111.7	84.1	0.76	13.2	70.9	6.6	4.89	105.41	0.67
48	0-15(4)	135.7	116.3	1.05	27.7	88.6	13.85	10.26	100.04	0.89
49	0-30(1)	162.2	150.3	1.36	13.9	136.4	6.95	5.15	105.15	1.3
49	0-30(2)	162.8	151.1	1.37	2.9	148.2	1.45	1.07	109.23	1.36
49	0-30(3)	166.1	152.6	1.38	5	147.6	2.5	1.85	108.45	1.36
49	30-60(1)	150.9	140.3	1.27	7	133.3	3.5	2.59	107.71	1.24
49	30-60(2)	175.4	163.2	1.48	5.6	157.6	2.8	2.07	108.23	1.46
49	30-60(3)	165.4	155.6	1.41	28	127.6	14	10.37	99.93	1.28

Placette	Profondeur du sol	Poids du sol humide	Poids du sol sec	Densité apparente	Poids des pierres	Poids des particules fines	Volumes des pierres	Volume calculé des pierres	Volume du sol fines	Densité apparente du sol fines
50	0-10(1)	132.5	107.3	0.97	12.2	95.1	6	4.52	105.78	0.9
50	0-10(2)	122.6	100.8	0.91	15.9	84.9	7.95	5.89	104.41	0.81
50	0-10(3)	120.3	98.6	0.89	7	91.6	3.5	2.59	107.71	0.85

Annexe XI : Quantités de litières

Tableau 36: Les quantités de litières des quatre cadres de chaque placettes

Placettes	Litière					
	Cadre L1	Cadre L2	Cadre L3	Cadre L4	kg.m ⁻²	t.ha ⁻¹
1	0.22	0.29	0.49	0.27	1.28	12.75
2	0.13	0.22	0.12	0.14	0.61	6.07
3	0.43	0.23	0.48	0.65	1.78	17.81
4	2.41	0.49	0.58	1.33	4.80	48.03
5	0.19	0.07	0.10	1.00	1.36	13.58
6	0.44	0.05	0.09	0.08	0.67	6.66
7	0.15	0.32	0.28	0.21	0.96	9.62
8	0.12	0.06	0.11	0.43	0.72	7.17
9	0.45	0.60	0.80	0.34	2.19	21.89
10	2.89	0.14	0.24	1.17	4.44	44.40
11	0.86	0.00	0.31	1.13	2.31	23.05
12	0.19	0.61	0.12	0.06	0.97	9.69
13	0.07	0.71	0.73	0.63	2.14	21.36
14	0.53	0.38	0.16	0.00	1.07	10.65
15	0.25	0.18	0.15	0.17	0.75	7.50
16	0.40	0.09	0.22	0.31	1.02	10.16
17	0.37	0.54	0.30	0.25	1.47	14.69
18	0.50	1.02	0.11	0.20	1.84	18.38
19	0.00	0.42	0.06	0.20	0.68	6.81
20	0.05	0.22	0.32	0.08	0.67	6.66
21	0.87	0.63	1.65	3.44	6.59	65.85
22	0.13	0.51	0.22	0.31	1.16	11.62
23	0.03	0.02	0.03	0.00	0.07	0.72
24	0.16	0.29	0.00	0.00	0.45	4.48
25	0.19	0.86	0.22	0.42	1.68	16.78

Placettes	Litière					
	Cadre L1	Cadre L2	Cadre L3	Cadre L4	kg.m ⁻²	t.ha ⁻¹
26	0.47	0.74	0.15	0.36	1.72	17.19
27	0.50	0.42	0.42	0.53	1.86	18.61
28	0.31	1.32	0.23	0.55	2.40	24.00
29	1.06	1.00	0.84	0.36	3.26	32.62
30	0.36	0.16	0.23	0.34	1.09	10.88
31	0.72	0.50	1.22	0.94	3.38	33.81
32	0.22	0.30	0.52	0.20	1.24	12.41
33	0.02	0.93	1.29	0.00	2.25	22.46
34	1.17	1.28	1.22	0.62	4.28	42.79
35	0.39	0.38	0.38	0.58	1.72	17.23
36	0.51	0.08	0.14	0.09	0.83	8.31
37	0.69	0.36	0.40	0.39	1.83	18.31
38	0.44	1.08	1.54	0.49	3.55	35.54
39	1.11	1.27	1.26	1.75	5.39	53.90
40	1.61	0.35	0.00	0.10	2.05	20.52
41	0.96	0.48	1.64	0.00	3.09	30.88
42	0.83	0.35	0.51	0.44	2.13	21.26
43	0.96	0.82	0.60	0.32	2.70	27.00
44	0.89	0.31	0.76	0.64	2.60	26.03
45	0.69	0.70	0.43	0.83	2.65	26.49
46	0.50	0.55	0.00	0.53	1.58	15.83
47	0.67	0.30	0.24	0.21	1.42	14.17
48	0.00	0.35	0.00	0.22	0.56	5.62
49	0.36	0.82	0.36	0.43	1.98	19.77
50	0.57	0.55	0.48	0.72	2.31	23.07

Annexe XII : Biomasse de la végétation herbacée

Tableau 37: Biomasses de la végétation herbacée

Placettes	Biomasse aérienne de la végétation herbacée					
	Cadre G1	Cadre G2	Cadre G3	Cadre G4	kg.m ⁻²	t.ha ⁻¹
1	0.139	0.1038	0	0.0265	0.2043	2.043
2	0	0.0822	0	0.0308	0.073	0.73
3	0.062	0.0603	0.047	0.0477	0.137	1.37
4	0.0385	0.0264	0.149	0	0.1589	1.589
5	0.045	0.0295	0	0.2371	0.2466	2.466
6	0.2244	0	0	0	0.1994	1.994
7	0.1315	0	0	0	0.1065	1.065
8	0.036	0	0.0515	0	0.0575	0.575
9	0.1216	0.2087	0.4055	0.2238	0.8596	8.596
10	0	0.0325	0	0	0.0175	0.175
11	0.0942	0.2084	0.0945	0	0.1387	1.387
12	0.062	0.2112	0.1562	0.0281	0.3775	3.775
13	0.0319	0.1065	0	0.0645	0.1379	1.379
14	0.1077	0	0.0445	0.0545	0.1317	1.317
15	0.0588	0.0832	0.0501	0.0966	0.1887	1.887
16	0.0537	0.042	0	0.0235	0.0642	0.642
17	0	0.074	0	0	0.049	0.49
18	0.1069	0.0665	0.0993	0.0606	0.2433	2.433
19	0.0372	0.1388	0.036	0.2225	0.3545	3.545
20	0.0433	0.0412	0.094	0.0824	0.1709	1.709
21	0.028	0.0325	0	0.051	0.0565	0.565
22	0.0355	0.023	0.0617	0.022	0.0822	0.822
23	0.021	0.0375	0.1114	0.019	0.1189	1.189
24	0	0	0	0	0	0
25	0.1058	0	0.0941	0.2948	0.4197	4.197
26	0.035	0.1931	0.1068	0.0906	0.3355	3.355
27	0	0.1018	0.0458	0.0615	0.1341	1.341
28	0.1267	0	0.0505	0.1045	0.2167	2.167
29	0.1438	0.2899	0.1412	0.1948	0.6697	6.697
30	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0
32	0.0657	0.1535	0.0515	0.699	0.8697	8.697
33	0.0557	0		0	0.0307	0.307
34	0.042	0	0.0866	0.059	0.1126	1.126
35	0.051	0	0	0	0.036	0.36
36	0	0.0805	0	0	0.0555	0.555
37	0.0985	0	0	0	0.0735	0.735

Placettes	Biomasse aérienne de la végétation herbacée					
	Cadre G1	Cadre G2	Cadre G3	Cadre G4	kg.m ²	t.ha ⁻¹
38	0.0815	0	0	0	0.0565	0.565
39	0.0771	0.0641	0	0	0.0912	0.912
40	0	0	0.0339	0.0381	0.022	0.22
41	0	0	0	0	0	0
42	0	0.039	0.0593	0.0737	0.107	1.07
43	0	0	0	0	0	0
44	0	0	0	0	0	0
45	0.031	0	0.0796	0	0.0706	0.706
46	0.02	0	0	0.0659	0.0459	0.459
47	0.0255	0	0.0571	0.0874	0.105	1.05
48	0	0	0	0	0	0
49	0	0.1435	0	0.1526	0.2461	2.461
50	0	0	0	0	0	0

Annexe XIII : Biomasse des arbres et des arbustes (buisson) des 50

placettes du bassin versant du Nahr Beyrouth

Placette numéro 1 :

ARBER	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	C (m)	H (m)	AGB	Biomasse totale
1	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	30	0.9	12.8	0.40	0.47
2	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	27	0.8	11.8	0.31	0.36
3	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	21.6	0.7	10	0.18	0.21
4	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	20.3	0.6	9.2	0.15	0.18
5	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	21	0.7	11.2	0.17	0.20
6	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	37.3	1.2	11.4	0.64	0.76
7	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	43	1.4	12.4	0.91	1.08
8	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	26.2	0.8	11.6	0.28	0.34
9	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	29.9	0.9	12	0.39	0.46
10	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	43.7	1.4	12.6	0.95	1.12
11	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	16.7	0.5	9.8	0.10	0.11
12	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	22.7	0.7	9.4	0.20	0.23
13	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	22	0.7	10.2	0.18	0.22
14	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	15.2	0.5	8.4	0.07	0.09
15	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	35.2	1.1	12.6	0.57	0.68
16	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	33.4	1.0	14.2	0.52	0.61
17	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	37.5	1.2	12	0.66	0.78
18	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	23.2	0.7	10.2	0.21	0.25
19	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	37	1.2	11.8	0.64	0.75
20	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	43.5	1.4	13	0.94	1.12
Biomasse t/625 m ²							10.01
Biomasse t/Hectare							160.14
Carbone t/Hectare							80.07

Placette numéro 2 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	C (m)	H (m)	AGB	Biomasse totale
1	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	25.3	0.79	7.5	0.24	0.28
2	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	12.5	0.39	4.2	0.04	0.05
3	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	16	0.50	6.6	0.08	0.10
4	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	22.5	0.71	7	0.18	0.21
5	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	21.7	0.68	7.4	0.17	0.20
6	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	22	0.69	6.5	0.17	0.20
7	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	17	0.53	4.2	0.09	0.10
8	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	34.5	1.08	8.4	0.51	0.60
9	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	19	0.60	6.4	0.12	0.14
10	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	32.7	1.03	7.6	0.44	0.52
11	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	21.4	0.67	7	0.16	0.19
12	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	29.2	0.92	7	0.33	0.39
13	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	17.5	0.55	5	0.09	0.11

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	C (m)	H (m)	AGB	Biomasse totale
14	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	34.8	1.09	9	0.52	0.62
15	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	27	0.85	8.4	0.29	0.34
16	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	18	0.57	6.2	0.10	0.12
17	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	32.9	1.03	9.6	0.46	0.55
18	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	31.6	0.99	8.2	0.41	0.49
19	Olivier	<i>Olea europaea</i>	16	0.50	3.6	0.06	0.10
20	Olivier	<i>Olea europaea</i>	17.2	0.54	3.6	0.07	0.11
Biomasse t/625 m ²							5.42
Biomasse t/Hectare							86.79
Carbone t/Hectare							43.39

Placette numéro 3 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	C (m)	H (m)	AGB	Biomasse totale
1	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	27.5	0.86	10.2	0.31	0.37
2	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	25.2	0.79	9.4	0.25	0.29
3	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	19.2	0.60	8.4	0.13	0.15
4	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	22.2	0.70	8.6	0.18	0.22
5	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	18.3	0.57	9	0.12	0.14
6	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	23.3	0.73	11	0.21	0.25
7	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	31.2	0.98	12.6	0.43	0.51
8	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	34.1	1.07	11	0.52	0.61
9	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	26.8	0.84	10.6	0.29	0.35
10	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	28.7	0.90	10.2	0.34	0.40
11	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	20.2	0.63	8.4	0.15	0.17
12	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	25	0.79	8.8	0.24	0.29
13	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	26.5	0.83	9.4	0.28	0.33
14	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	18.2	0.57	7.4	0.11	0.13
15	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	24.4	0.77	7.2	0.22	0.26
16	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	19.6	0.62	8.2	0.13	0.16
17	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	13.4	0.42	7	0.05	0.06
18	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	23.3	0.73	9.8	0.21	0.25
19	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	25	0.79	9.2	0.24	0.29
20	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	23.4	0.74	8.8	0.21	0.24
Biomasse t/625 m ²							5.48
Biomasse t/Hectare							87.72
Carbone t/Hectare							43.86

Placette numéro 4 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	C (m)	H (m)	AGB	Biomasse totale
1	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	39	1.23	12.6	0.73	0.86
2	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	22.2	0.70	7.6	0.18	0.21
3	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	18.8	0.59	8	0.12	0.14
4	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	27.5	0.86	11	0.31	0.37
5	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	39	1.23	11.4	0.71	0.84
6	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	44	1.38	14.6	0.99	1.17
7	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	32.7	1.03	14.6	0.50	0.59
8	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	32.6	1.02	13.8	0.49	0.58
9	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	38.7	1.22	14.4	0.73	0.87
10	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	49.5	1.56	14.4	1.30	1.54
11	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	31	0.97	12.2	0.42	0.50
12	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	61	1.92	16	2.16	2.56
13	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	42	1.32	14.8	0.89	1.06
14	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	53.2	1.67	17	1.59	1.88
Biomasse t/625 m ²							13.17
Biomasse t/Hectare							210.68
Carbone t/Hectare							105.34

Placette numéro 5 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	C (m)	H (m)	AGB	Biomasse totale
1	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	34.8	1.09	9.6	0.53	0.63
2	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	29.8	0.94	10.0	0.37	0.44
3	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	28.8	0.90	9.2	0.34	0.40
4	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	31.1	0.98	11.2	0.42	0.50
5	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	20.6	0.65	8.4	0.15	0.18
6	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	28.1	0.88	11.8	0.33	0.40
7	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	30.1	0.95	9.4	0.38	0.45
8	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	35	1.10	10.8	0.55	0.65
9	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	35.5	1.12	10.4	0.56	0.67
10	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	32.9	1.03	10.2	0.47	0.56
11	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	32	1.01	10.8	0.45	0.53
12	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	38.6	1.21	12.2	0.71	0.84
13	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	23.8	0.75	8.8	0.22	0.25
14	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	16.3	0.51	7.8	0.09	0.10
15	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	48.2	1.51	13.6	1.21	1.43
16	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	22.6	0.71	8.2	0.19	0.22
17	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	50	1.57	15.2	1.35	1.59
18	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	25	0.79	9.2	0.24	0.29
19	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	26.5	0.83	9.0	0.28	0.33
20	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	37.8	1.19	13.6	0.69	0.81
21	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	31.7	1.00	9.8	0.43	0.51
Biomasse t/625 m ²							11.76
Biomasse t/Hectare							188.18
Carbone t/Hectare							94.09

Placette numéro 6 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	C (m)	H (m)	AGB	Biomasse totale
1	Pignon	<i>Pinus pinea</i>	31.5	0.99	10.0	0.42	0.50
2	Pignon	<i>Pinus pinea</i>	33.8	1.06	10.8	0.51	0.60
3	Pignon	<i>Pinus pinea</i>	30.2	0.95	10.4	0.39	0.46
4	Pignon	<i>Pinus pinea</i>	33.3	1.05	11.2	0.49	0.58
5	Pignon	<i>Pinus pinea</i>	33.6	1.06	11.0	0.50	0.59
6	Pignon	<i>Pinus pinea</i>	30.7	0.96	11.0	0.41	0.48
7	Pignon	<i>Pinus pinea</i>	32.2	1.01	9.2	0.44	0.52
8	Pignon	<i>Pinus pinea</i>	31	0.97	10.2	0.41	0.48
9	Pignon	<i>Pinus pinea</i>	36.3	1.14	10.0	0.59	0.70
10	Pignon	<i>Pinus pinea</i>	34.9	1.10	11.0	0.55	0.65
11	Pignon	<i>Pinus pinea</i>	31.1	0.98	10.4	0.41	0.49
12	Pignon	<i>Pinus pinea</i>	32	1.01	11.2	0.45	0.53
13	Pignon	<i>Pinus pinea</i>	35.5	1.12	10.4	0.56	0.67
14	Pignon	<i>Pinus pinea</i>	29.4	0.92	10.0	0.36	0.43
15	Pignon	<i>Pinus pinea</i>	30.3	0.95	10.0	0.39	0.46
16	Pignon	<i>Pinus pinea</i>	37.2	1.17	10.4	0.63	0.74
17	Pignon	<i>Pinus pinea</i>	36	1.13	10.4	0.58	0.69
18	Pignon	<i>Pinus pinea</i>	30.7	0.96	10.0	0.40	0.47
Biomasse t/625 m ²							10.04
Biomasse t/Hectare							160.64
Carbone t/Hectare							80.32

Placette numéro 7 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	C (m)	H (m)	z	AGB	Biomasse totale
1	Pistachier de Palestine	<i>Pistacia palaestina</i>	13	0.41	5.8	1	0.06	0.08
2	Pistachier de Palestine	<i>Pistacia palaestina</i>	12.6	0.40	6	1	0.06	0.08
3	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	26	0.82	8.6	1	0.26	0.31
4	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	32.5	1.02	9.6	1	0.45	0.53
5	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	27.1	0.85	9.4	1	0.29	0.35
6	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	27.5	0.86	10.8	1	0.31	0.37
7	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	36.3	1.14	10.6	1	0.60	0.71
8	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	17	0.53	4.8	1	0.06	0.08
9	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	16	0.50	4.8	1	0.05	0.07
10	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	16	0.50	4.8	1	0.05	0.07
11	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11	0.35	3	0	0.04	0.07
12	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.1	0.32	3	0	0.03	0.06
13	Pistachier de Palestine	<i>Pistacia palaestina</i>	10	0.31	5	0	0.01	0.01
14	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	15.2	0.48	7.6	1	0.07	0.09
15	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15.3	0.48	8.2	1	0.08	0.14
16	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.2	0.32	7.8	0	0.03	0.06
17	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	16.4	0.52	8.2	1	0.09	0.16
18	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	27.2	0.85	8.8	1	0.29	0.35

19	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	39.5	1.24	12.8	1	0.75	0.89
20	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	40	1.26	13	1	0.78	0.92
21	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15	0.47	7.2	1	0.07	0.13
Biomasse t/625 m ²								5.52
Biomasse t/Hectare								88.31
Carbone t/Hectare								44.15

Buisson	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (CM)	H (m)	AGB (T)	Biomasse Total
1	Pistachier de Palestine	<i>Pistacia palaestina</i>	6	4	0.0029	0.0038
2	Pistachier de Palestine	<i>Pistacia palaestina</i>	6	4.2	0.0031	0.0040
3	Pistachier de Palestine	<i>Pistacia palaestina</i>	5.2	3.8	0.0021	0.0027
4	Pistachier de Palestine	<i>Pistacia palaestina</i>	6	3.6	0.0026	0.0034
5	Pistachier de Palestine	<i>Pistacia palaestina</i>	4.7	3.8	0.0017	0.0022
6	Pistachier de Palestine	<i>Pistacia palaestina</i>	4.7	3.8	0.0017	0.0022
7	Pistachier de Palestine	<i>Pistacia palaestina</i>	6.2	3.8	0.0030	0.0039
8	Pistachier de Palestine	<i>Pistacia palaestina</i>	2.2	3	0.0003	0.0004
9	Pistachier de Palestine	<i>Pistacia palaestina</i>	3.7	3	0.0008	0.0011
10	Pistachier de Palestine	<i>Pistacia palaestina</i>	7.6	6	0.0071	0.0092
11	Pistachier de Palestine	<i>Pistacia palaestina</i>	6	3	0.0022	0.0029
12	Pistachier de Palestine	<i>Pistacia palaestina</i>	5.3	2.8	0.0016	0.0021
13	Pistachier de Palestine	<i>Pistacia palaestina</i>	5	2.8	0.0014	0.0019
14	Pistachier de Palestine	<i>Pistacia palaestina</i>	6.8	4.2	0.0040	0.0052
15	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	2.8	2.6	0.0004	0.0005
16	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	2.5	2.6	0.0003	0.0004
17	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	2.8	2.4	0.0004	0.0005
18	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	3.2	2.2	0.0004	0.0006
19	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	2.2	2.2	0.0002	0.0003
20	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	4.5	2.4	0.0009	0.0012
21	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	1.3	1.8	0.0001	0.0001
Biomasse t/25 m ²						0.05
Biomasse t/625 m ²						1.21
Biomasse t/Hectare						19.39
Carbone t/Hectare						9.69

Placette numéro 8 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	C (m)	H (m)	AGB	Biomasse totale
1	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	44.7	1.40	13.8	1.02	1.20
2	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	42.4	1.33	13.2	0.89	1.06
3	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	35.6	1.12	13.4	0.60	0.70
4	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	38.5	1.21	12.2	0.70	0.83
5	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	34.8	1.09	14	0.57	0.67
6	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	36	1.13	13.6	0.61	0.73
7	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	36.8	1.16	12.8	0.64	0.75
8	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	33.2	1.04	14.4	0.51	0.61

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	C (m)	H (m)	AGB	Biomasse totale
9	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	44	1.38	13.6	0.98	1.16
10	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	31.1	0.98	11.6	0.42	0.50
Biomasse t/625 m ²							8.21
Biomasse t/Hectare							131.39
Carbone t/Hectare							65.70

Placette numéro 9 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	C (m)	H (m)	AG B	Biomasse totale
1	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	29.9	0.94	16.8	0.41	0.49
2	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	47.3	1.49	18	1.22	1.44
3	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	39.4	1.24	17.2	0.79	0.94
4	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	26.6	0.84	13.4	0.30	0.36
5	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	37.9	1.19	15.2	0.71	0.83
6	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	33	1.04	16.4	0.52	0.61
7	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	35.6	1.12	16.2	0.62	0.73
8	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	42	1.32	16.4	0.91	1.08
9	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	33.1	1.04	15.8	0.52	0.61
10	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	43	1.35	16.2	0.96	1.13
11	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	32.3	1.01	12.8	0.47	0.56
Biomasse t/625 m ²							8.79
Biomasse t/Hectare							140.57
Carbone t/Hectare							70.29

Buisson	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	H (m)	AGB	Biomasse totale
1	Arbousier de Chypre	<i>Arbutus andrachne</i>	8	4.4	0.014	0.05
2	Arbousier de Chypre	<i>Arbutus andrachne</i>	5.5	4.6	0.007	0.03
Biomasse t/25 m ²						0.078
Biomasse t/625 m ²						1.956
Biomasse t/Hectare						31.300
Carbone t/Hectare						15.650

Placette numéro 10 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	H (m)	z	AGB	Biomasse totale
1	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	19	9.6	1	0.118	0.169
2	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	24.4	11.8	1	0.302	0.4532
3	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15.7	6.8	1	0.082	0.1451
4	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	22.3	7.6	1	0.207	0.3330
5	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	17.6	9.8	1	0.115	0.1938
6	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15.6	7.8	1	0.082	0.1436

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	H (m)	z	AGB	Biomasse totale
7	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.2	6.6	1	0.055	0.0994
8	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.2	6.4	1	0.065	0.1160
9	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15	9.6	1	0.075	0.1322
10	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10	9.2	0	0.032	0.0569
11	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.9	6.6	1	0.062	0.1109
12	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.5	6.2	0	0.035	0.0628
13	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.5	6.6	1	0.068	0.1215
14	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	17.2	6	1	0.102	0.1775
15	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.5	5.4	1	0.068	0.1212
16	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.4	5.6	1	0.067	0.1194
17	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	16	6.6	1	0.086	0.1512
18	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	17.1	5.2	1	0.100	0.1740
19	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12	4.4	0	0.045	0.0820
20	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13	4.6	1	0.053	0.0963
21	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12.6	4.8	1	0.050	0.0904
22	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15.6	4.8	1	0.080	0.1417
23	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	21	6.2	1	0.170	0.2817
24	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15.5	6	1	0.079	0.1404
25	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.5	5	0	0.035	0.0628
26	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	17	7.2	1	0.101	0.1745
27	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15	5	1	0.073	0.1302
28	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14	4.2	1	0.062	0.1122
29	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	24	7.4	1	0.248	0.3948
30	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	29.6	10.4	1	0.292	0.417
31	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.2	7.6	1	0.043	0.065
32	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.7	7.6	0	0.040	0.060
Biomasse t/625 m ²							5.13
Biomasse t/Hectare							82.07
Carbone t/Hectare							41.03

Placette numéro 11 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	C (m)	H (m)	AGB	Biomasse totale
1	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	45.7	1.44	11.8	1.04	1.23
2	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	32.6	1.02	9.8	0.46	0.54
3	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	21.2	0.67	8.8	0.16	0.19
4	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	25.8	0.81	10.2	0.27	0.32
5	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	17.7	0.56	7.8	0.11	0.12
6	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	29.5	0.93	9.6	0.36	0.43
7	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	27.5	0.86	9.8	0.31	0.36
8	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	32.5	1.02	9.6	0.45	0.53
9	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	35	1.10	7.4	0.51	0.60
Biomasse t/625 m ²							4.34
Biomasse t/Hectare							69.38
Carbone t/Hectare							34.69

Placette numéro 12 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	C (m)	H (m)	AGB	Biomasse totale
1	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	41.8	1.31	10.2	0.82	0.97
2	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	36	1.13	10.6	0.58	0.69
3	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	34.1	1.07	11.4	0.52	0.62
4	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	35	1.10	13.6	0.57	0.68
5	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	38	1.19	15	0.71	0.84
6	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	37.3	1.17	10.8	0.64	0.75
7	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	37.7	1.18	13.2	0.68	0.80
8	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	29.5	0.93	11.8	0.37	0.44
9	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	19.8	0.62	9.8	0.14	0.17
10	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	21.7	0.68	12	0.18	0.22
11	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	27.2	0.85	12	0.31	0.37
12	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	30	0.94	12.6	0.39	0.47
13	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	39.3	1.23	12.8	0.74	0.88
14	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	33.5	1.05	12.2	0.51	0.60
15	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	39.5	1.24	12.8	0.75	0.89
16	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	35	1.10	11.8	0.56	0.66
						Biomasse t/625 m ²	10.05
						Biomasse t/Hectare	160.83
						Carbone t/Hectare	80.42

Placette numéro 13 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	C (m)	H (m)	AGB	Biomasse totale
1	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	59.5	1.86925	21.8	2.1607	2.5571
2	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	37	1.16239	17.6	0.3482	0.4558
3	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	49	1.53938	0.75	0.7246	0.8575
4	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	37.5	1.1781	14.8	0.6847	0.8103
5	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	36.5	1.14668	20.6	0.3381	0.4425
6	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	30.7	0.96447	11.5	0.4256	0.5571
7	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	60	1.88496	19.2	2.1508	2.5453
8	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	45.5	1.42942	15.6	0.5395	0.7061
9	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	57.2	1.79699	20.6	1.9500	2.3077
10	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	34.3	1.07757	11.6	0.2952	0.3863
11	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	65.9	2.07031	17.8	2.6379	3.1217
						Biomasse t/625 m ²	14.75
						Biomasse t/Hectare	235.96
						Carbone t/Hectare	117.98

Buisson	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (CM)	H (m)	AGB	Biomasse totale
---------	------------	-----------	----------	-------	-----	-----------------

1	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	2	2.4	0.0002	0.0003
2	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	2.5	2.5	0.0003	0.0005
3	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	1.5	2	0.0001	0.0001
4	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	1.7	2.2	0.0001	0.0002
5	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	2	2	0.0002	0.0002
6	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	2.8	2.8	0.0004	0.0006
7	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	2.2	2.6	0.0002	0.0004
					Biomasse t/25 m2	0.002
					Biomasse t/625 m2	0.06
					Biomasse t/Hectare	0.92
					Carbone t/Hectare	0.46

Placette numéro 14 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	C (m)	H (m)	AGB	Biomasse totale
1	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	22.3	0.70	6.8	0.18	0.21
2	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	22.5	0.71	7.6	0.18	0.22
3	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	28.7	0.90	8.6	0.33	0.39
4	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	26.5	0.83	7.2	0.27	0.31
5	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	23.5	0.74	8.4	0.21	0.24
6	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	25.8	0.81	8.4	0.26	0.30
7	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	29.5	0.93	7.6	0.34	0.41
8	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	26.4	0.83	9.6	0.28	0.33
9	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	23.5	0.74	7.8	0.20	0.24
10	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	27.7	0.87	8.4	0.30	0.36
11	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	23.8	0.75	8.6	0.21	0.25
12	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	28	0.88	9	0.32	0.37
13	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	29	0.91	8.8	0.34	0.40
14	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	28	0.88	8.8	0.31	0.37
15	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	33.5	1.05	9.2	0.48	0.57
16	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	29.8	0.94	8.4	0.36	0.43
17	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	32.2	1.01	9.4	0.44	0.52
18	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	29.5	0.93	8.2	0.35	0.41
19	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	27.5	0.86	7.6	0.29	0.35
20	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	28.8	0.90	9	0.34	0.40
21	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	30.3	0.95	7	0.36	0.43
22	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	24.5	0.77	6.2	0.22	0.25
23	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	23.9	0.75	7.8	0.21	0.25
24	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	20.5	0.64	0.1	0.06	0.08
25	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	18	0.57	0.1	0.05	0.06
26	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	22.8	0.72	0.15	0.09	0.11
						Biomasse t/625 m ²	8.27
						Biomasse t/Hectare	132.33
						Carbone t/Hectare	66.16

Placette numéro 15 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	C (m)	H (m)	AGB	Biomasse totale
1	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	41	1.29	10	0.78	0.93
2	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	23.4	0.74	0.25	0.01	0.02
3	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	35.8	1.12	12.6	0.60	0.71
4	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	28.2	0.89	0.25	0.01	0.06
5	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	14.4	-	5.4	0.05	0.07
6	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	44.2	1.39	15.8	1.02	1.20
7	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	41	1.29	13	0.82	0.97
8	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	43.4	1.36	12.8	0.94	1.11
9	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	39	1.23	14.2	0.74	0.88
10	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	40	-	12.6	0.58	0.76
11	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	40.4	1.27	13.2	0.80	0.94
12	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	26.8	-	11	0.23	0.30
13	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	22.2	-	9.6	0.15	0.19
14	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	30.3	-	11.6	0.31	0.40
Biomasse t/625 m ²							8.54
Biomasse t/Hectare							136.62
Carbone t/Hectare							68.31

Placette numéro 16 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	C (m)	H (m)	AGB	Biomasse totale
1	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	32	1.01	8.8	0.43	0.51
2	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	36.7	1.15	10.2	0.61	0.72
3	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	32.5	1.02	10.6	0.46	0.54
4	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	29.5	0.93	11.2	0.37	0.44
5	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	31.3	0.98	12.4	0.43	0.51
6	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	34.7	1.09	12.6	0.55	0.66
7	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	29.3	0.92	11.6	0.37	0.44
8	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	30.9	0.97	10.8	0.41	0.49
9	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	30.5	0.96	10.4	0.40	0.47
10	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	33.6	1.06	11.4	0.50	0.60
11	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	15	0.47	7.2	0.07	0.08
12	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	21.7	0.68	9.8	0.18	0.21
13	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	35.1	1.10	11	0.55	0.66
14	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	38.7	1.22	11.2	0.70	0.83
15	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	30.4	0.96	11.6	0.40	0.47
16	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	21.7	0.68	10.2	0.18	0.21
17	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	27.9	0.88	11	0.32	0.38
18	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	37.4	1.17	11.6	0.65	0.77
19	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	29.1	0.91	11.8	0.36	0.43
20	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	19.2	0.60	10.6	0.14	0.16
21	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	26.2	0.82	11.2	0.28	0.33
Biomasse t/625 m ²							9.91
Biomasse t/Hectare							158.48
Carbone t/Hectare							79.24

Placette numéro 17 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	C (m)	H (m)	z	AGB	Biomasse totale
1	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	62.3	1.96	23		2.43	2.88
2	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	42.8	1.34	19		0.98	1.16
3	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	33.7	1.06	18.8		0.56	0.66
4	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	45.3	1.42	18.6		1.11	1.31
5	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	51.7	1.62	19.2		1.52	1.80
6	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	45.6	1.43	18.2		1.12	1.33
7	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.8	0.37	6.8		0.04	0.06
8	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.6	0.33	6.2	0	0.04	0.06
9	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.5	0.33	6.4	0	0.03	0.06
10	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.2	0.32	6.4	0	0.03	0.06
11	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.8	0.34	7	0	0.04	0.07
12	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	24.7	0.78	10		0.20	0.29
13	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.7	0.46	10.2		0.08	0.11
14	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.7	0.40	8.8		0.05	0.08
15	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	53.8	1.69	19.8		1.68	1.99
16	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15	0.47	11.2		0.09	0.12
17	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.4	0.42	9.8		0.06	0.09
18	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	41.5	1.30	17.8		0.90	1.06
19	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	41.7	1.31	18		0.91	1.08
20	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	49.9	1.57	18.8		1.39	1.65
21	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10	0.31	6.8		0.03	0.04
							Biomasse t/625 m ²	15.94
							Biomasse t/Hectare	255.10
							Carbone t/Hectare	127.55

Buisson	Nom commun	Nom Latin	Dbh (CM)	H (m)	AGB	Biomasse totale	
1	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	6.3	5.2	0.0039	0.0060	
2	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	4.5	5	0.0058	0.0089	
3	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	7	5.4	0.0152	0.0232	
4	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	6.1	4.8	0.0102	0.0157	
5	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	6.7	4.8	0.0124	0.0189	
6	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	4.8	5.2	0.0069	0.0105	
7	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	7.4	5	0.0157	0.0240	
8	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	3.5	4.8	0.0034	0.0052	
9	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	4	4.8	0.0044	0.0067	
10	Aliboufier du Liban	<i>Styrax officinalis</i>	4	4	0.0031	0.0047	
11	Aliboufier du Liban	<i>Styrax officinalis</i>	4.5	3.8	0.0037	0.0056	
12	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	1.7	2	0.0003	0.0005	
13	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	1.6	2	0.0003	0.0004	
14	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	1.5	2	0.0003	0.0004	
						Biomasse t/25 m ²	0.13
						Biomasse t/625 m ²	3.27
						Biomasse t/Hectare	52.29
						Carbone t/Hectare	26.14

Placette numéro 18 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	C (m)	H (m)	AGB	Biomasse totale
1	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	25.2	0.79	7	0.24	0.28
2	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	40.2	1.26	11.2	0.76	0.90
3	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	32.8	1.03	8.6	0.45	0.54
4	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	28	0.88	8	0.31	0.36
5	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	23	0.72	8.6	0.20	0.23
6	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	36.3	1.14	11.8	0.61	0.72
7	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	39.9	1.25	12.4	0.77	0.91
8	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	28.1	0.88	9.4	0.32	0.38
9	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	27.6	0.87	8.2	0.30	0.35
10	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	22.7	0.71	8.8	0.19	0.23
11	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	40.4	1.27	10.8	0.77	0.91
12	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	39	1.23	10.6	0.70	0.83
Biomasse t/625 m ²							6.64
Biomasse t/Hectare							106.31
Carbone t/Hectare							53.15

Placette numéro 19 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	C (m)	H (m)	AGB	Biomasse totale
1	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	44.7	1.40	15.2	1.04	1.23
2	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	39.5	1.24	0.25	0.36	0.42
3	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	43	1.35	13.4	0.92	1.09
4	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	45.5	1.43	12.6	1.04	1.23
5	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	43.8	1.38	13.8	0.97	1.15
6	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	33.5	1.05	8.4	0.47	0.56
7	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	30.5	0.96	8.2	0.38	0.45
8	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	24.9	0.78	6.6	0.23	0.27
Biomasse t/625 m ²							6.40
Biomasse t/Hectare							102.36
Carbone t/Hectare							51.18

Placette numéro 20 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	C (m)	H (m)	AGB	Biomasse totale
1	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	24.7	0.78	6.8	0.22	0.26
2	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	30.6	0.96	7.6	0.38	0.44
3	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	31	0.97	8	0.39	0.46
4	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	28.6	0.90	9.6	0.34	0.40
5	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	30.3	0.95	8.6	0.38	0.44
6	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	22.9	0.72	6.4	0.19	0.22
7	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	24.9	0.78	6.8	0.23	0.27
8	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	58	1.82	14	1.87	2.21
Biomasse t/625 m ²							4.72
Biomasse t/Hectare							75.46
Carbone t/Hectare							37.73

Placette numéro 21 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	C (m)	H (m)	AGB	Biomasse totale
1	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	39.1	1.23	17.2	0.63	0.83
2	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	51.1	1.61	19	1.15	1.50
3	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	88	2.76	27.2	5.61	6.64
4	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.4	0.36	9.2	0.08	0.06
5	Platane d'Orient	<i>Plantanus orientalis</i>	34	1.07	18.8	0.67	0.87
6	Platane d'Orient	<i>Plantanus orientalis</i>	48	1.51	26.8	1.45	1.88
7	Platane d'Orient	<i>Plantanus orientalis</i>	19.7	0.62	12.2	0.22	0.28
8	Platane d'Orient	<i>Plantanus orientalis</i>	29.9	0.94	17.4	0.52	0.68
9	Platane d'Orient	<i>Plantanus orientalis</i>	29.7	0.93	23	0.63	0.82
10	Platane d'Orient	<i>Plantanus orientalis</i>	41	1.29	26.4	1.13	1.47
11	Platane d'Orient	<i>Plantanus orientalis</i>	37.2	1.17	17.8	0.74	0.96
12	Platane d'Orient	<i>Plantanus orientalis</i>	39	1.23	25	1.01	1.31
13	Pistachia Palaestina	<i>Pistachier de palestine</i>	10.4	0.33	8.8	0.06	0.08
14	Platane d'Orient	<i>Plantanus orientalis</i>	41	1.29	27.6	1.16	1.51
15	Platane d'Orient	<i>Plantanus orientalis</i>	39.7	1.25	27.2	1.10	1.43
16	Platane d'Orient	<i>Plantanus orientalis</i>	47.8	1.50	28.4	1.50	1.95
17	Platane d'Orient	<i>Plantanus orientalis</i>	50	1.57	27.4	1.56	2.03
18	Platane d'Orient	<i>Plantanus orientalis</i>	66	2.07	30.4	2.56	3.33
19	Platane d'Orient	<i>Plantanus orientalis</i>	34	1.07	1.8	0.13	0.17
20	Platane d'Orient	<i>Plantanus orientalis</i>	31.5	0.99	20.2	0.63	0.82
21	Platane d'Orient	<i>Plantanus orientalis</i>	43	1.35	23.8	1.13	1.47
22	Platane d'Orient	<i>Plantanus orientalis</i>	36	1.13	22.2	0.82	1.07
						Biomasse t/625 m ²	31.13
						Biomasse t/Hectare	498.04
						Carbone t/Hectare	249.02

Placette numéro 22 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	C (m)	H (m)	AGB	Biomasse totale
1	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	52	1.63	16	1.49	1.76
2	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	35.8	1.12	15.4	0.62	0.73
3	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	42	1.32	13.8	0.88	1.04
4	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	56	1.76	17.4	1.80	2.13
5	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	49	1.54	16.4	1.30	1.54
6	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	31.5	0.99	12.8	0.44	0.53
7	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	37.3	1.17	14.6	0.67	0.80
8	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	40.8	1.28	14.8	0.83	0.99
9	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	32	1.01	15.2	0.48	0.56
10	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	25	0.79	13	0.26	0.31
11	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	48	1.51	16.8	1.25	1.48
12	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	56	1.76	18.6	1.82	2.15
13	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	58.3	1.83	17.4	1.97	2.34
						Biomasse t/625 m ²	16.35
						Biomasse t/Hectare	261.59
						Carbone t/Hectare	130.80

Placette numéro 23 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	C (m)	H (m)	AGB	Biomasse totale
1	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	45.1	1.42	14.8	1.05	1.25
2	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	44.6	1.40	13.8	1.01	1.20
3	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	33.8	1.06	12.4	0.52	0.62
4	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	36.3	1.14	14.6	0.63	0.75
5	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	37.2	1.17	15.8	0.68	0.81
6	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	42.7	1.34	16.2	0.94	1.12
7	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	35	1.10	14.4	0.58	0.69
Biomasse t/625 m ²							6.41
Biomasse t/Hectare							102.64
Carbone t/Hectare							51.32

Placette numéro 24 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	C (m)	H (m)	AGB	Biomasse totale
1	Charme -houblon	<i>Ostrya carpinifolia</i>	47	1.48	17.2	1.10	1.38
2	Platane d'Orient	<i>Plantanus orientalis</i>	37	1.16	19.6	0.78	1.02
3	Platane d'Orient	<i>Plantanus orientalis</i>	101	3.17	20.4	3.67	4.77
4	Charme -houblon	<i>Ostrya carpinifolia</i>	26.2	0.82	18.8	0.34	0.43
5	Charme -houblon	<i>Ostrya carpinifolia</i>	37	1.16	18.6	0.69	0.87
6	Charme -houblon	<i>Ostrya carpinifolia</i>	27.5	0.86	18	0.38	0.47
7	Charme -houblon	<i>Ostrya carpinifolia</i>	27.6	0.87	18.6	0.38	0.48
8	Charme -houblon	<i>Ostrya carpinifolia</i>	25.8	0.81	10.8	0.31	0.38
9	Charme -houblon	<i>Ostrya carpinifolia</i>	21.5	0.68	2	0.19	0.24
10	Charme -houblon	<i>Ostrya carpinifolia</i>	25.6	0.80	1.5	0.27	0.34
11	Charme -houblon	<i>Ostrya carpinifolia</i>	27	0.85	19.6	0.37	0.46
12	Charme -houblon	<i>Ostrya carpinifolia</i>	35.3	1.11	20	0.64	0.80
13	Charme -houblon	<i>Ostrya carpinifolia</i>	30.8	0.97	12.6	0.45	0.56
14	Charme -houblon	<i>Ostrya carpinifolia</i>	38.3	1.20	13.4	0.70	0.88
15	Platane d'Orient	<i>Plantanus orientalis</i>	30.8	0.97	20.4	0.61	0.79
16	Platane d'Orient	<i>Plantanus orientalis</i>	38.7	1.22	21	0.88	1.14
17	Charme -houblon	<i>Ostrya carpinifolia</i>	26.5	0.83	6	0.30	0.38
18	Charme -houblon	<i>Ostrya carpinifolia</i>	26	0.82	6.8	0.30	0.37
19	Charme -houblon	<i>Ostrya carpinifolia</i>	28	0.88	6.2	0.34	0.43
20	Charme -houblon	<i>Ostrya carpinifolia</i>	28.5	0.90	17.8	0.40	0.51
21	Peuplier noir	<i>Populus nigra</i>	32	1.01	10.2	0.35	0.46
22	Charme -houblon	<i>Ostrya carpinifolia</i>	27	0.85	9.8	0.33	0.42
23	Charme -houblon	<i>Ostrya carpinifolia</i>	25.7	0.81	10.6	0.30	0.38
24	Charme -houblon	<i>Ostrya carpinifolia</i>	27.5	0.86	14.2	0.36	0.46
25	Charme -houblon	<i>Ostrya carpinifolia</i>	24	0.75	14.8	0.28	0.35
26	Charme -houblon	<i>Ostrya carpinifolia</i>	29	0.91	14.4	0.40	0.51
27	Peuplier noir	<i>Populus nigra</i>	17.5	0.55	7	0.07	0.09
28	Peuplier noir	<i>Populus nigra</i>	37	1.16	20.4	0.94	1.23
29	Peuplier noir	<i>Populus nigra</i>	42	1.32	22.2	1.32	1.72
30	Charme -houblon	<i>Ostrya carpinifolia</i>	33.6	1.06	18.8	0.57	0.72
31	Charme -houblon	<i>Ostrya carpinifolia</i>	41	1.29	8.2	0.76	0.95

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	C (m)	H (m)	AGB	Biomasse totale	
							Biomasse t/625 m ²	24.01
							Biomasse t/Hectare	384.19
							Carbone t/Hectare	192.10

Placette numéro 25 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	C (m)	H (m)	z	AGB	Biomasse totale
1	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	13.3	0.42	7.8	1	0.05	0.06
2	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	31.2	0.98	11.6	1	0.33	0.43
3	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	16.5	0.52	9.6	1	0.08	0.10
4	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	18.7	0.59	8.8	1	0.10	0.13
5	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.7	0.37	7.2	0	0.04	0.08
6	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	28.4	0.89	9.2	1	0.25	0.33
7	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	34.4	1.08	6.2	1	0.35	0.45
8	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	42	1.32	13	1	0.65	0.85
9	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	22.2	0.70	9.8	1	0.15	0.19
10	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	29.2	0.92	12.2	1	0.29	0.38
11	Caroubier	<i>Ceratonia ciliqua</i>	10.3	0.32	5.2	0	0.04	0.08
12	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	27	0.85	10.8	1	0.30	0.36
13	Arbousier de chypre	<i>Arbustus andrachne</i>	10	0.31	4.2	0	0.02	0.08
14	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	20.8	0.65	11.8	1	0.13	0.18
15	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	26	0.82	9.4	1	0.27	0.32
16	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	23.6	0.74	9	1	0.21	0.25
17	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	17.7	0.56	7.4	1	0.10	0.12
18	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	22.9	0.72	8.2	1	0.19	0.23
19	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	19.1	0.60	6.2	1	0.12	0.14
20	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	20.5	0.64	9.4	1	0.12	0.16
21	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	29.4	0.92	11.8	1	0.29	0.38
22	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	10	0.31	4.4	0	0.02	0.03
23	Genévrier oxycèdre	<i>Jeniperus oxycedrus</i>	11.5	0.36	3.4	0	0.01	0.03
24	Genévrier oxycèdre	<i>Jeniperus oxycedrus</i>	11.8	0.37	2.8	0	0.01	0.02
25	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	16.7	0.52	7.2	1	0.07	0.09
26	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	14.5	0.46	4.4	1	0.05	0.06
							Biomasse t/625 m ²	5.52
							Biomasse t/Hectare	88.25
							Carbone t/Hectare	44.12

Placette numéro 26 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	C (m)	H (m)	AGB	Biomasse totale
1	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	31.4	0.99	9.4	0.42	0.49
2	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	32.8	1.03	9.6	0.46	0.55
3	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	33	1.04	9.8	0.47	0.56
4	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	32.5	1.02	9.6	0.45	0.53
5	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	24.2	0.76	7.6	0.22	0.26
6	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	32.5	1.02	9.6	0.45	0.53
7	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	30.5	0.96	9.4	0.39	0.46
8	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	18	0.57	7.6	0.10	0.11
9	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	28.8	0.90	8.8	0.34	0.40
10	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	27.2	0.85	9	0.29	0.35
11	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	35.5	1.12	9.8	0.56	0.66
12	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	29.2	0.92	9	0.35	0.41
13	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	35	1.10	8.4	0.52	0.62
14	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	30.7	0.96	8.6	0.39	0.46
15	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	30	0.94	8.4	0.37	0.43
16	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	34	1.07	9.8	0.50	0.60
17	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	31	0.97	8.2	0.39	0.46
						Biomasse t/625 m ²	7.88
						Biomasse t/Hectare	126.13
						Carbone t/Hectare	63.07

Placette numéro 27 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	H (m)	z	AGB	Biomasse totale
1	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.5	5	0	0.02	0.04
2	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.7	4	0	0.02	0.04
3	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12	5.8	0	0.03	0.05
4	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.6	6	1	0.04	0.06
5	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.2	5.8	1	0.04	0.06
6	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.3	6.2	0	0.04	0.07
7	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	23.3	7.2	1	0.13	0.21
8	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	24.6	7.4	1	0.15	0.23
9	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.1	2.8	0	0.03	0.06
10	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.3	6.6	1	0.04	0.06
11	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.4	6.8	1	0.05	0.07
12	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12	5.8	0	0.05	0.08
13	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.4	6.4	1	0.04	0.06
14	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.3	2.4	0	0.04	0.07
15	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.5	7.2	1	0.06	0.09
16	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	18.8	7.6	1	0.09	0.14
17	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.5	5.8	0	0.03	0.04
18	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.4	5.6	0	0.03	0.04
19	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10	4.8	0	0.02	0.04
20	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.2	3.8	0	0.02	0.03

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	H (m)	z	AGB	Biomasse totale
21	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.5	5.6	0	0.03	0.05
22	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.1	5.8	1	0.03	0.06
23	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.7	5.6	1	0.04	0.06
24	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.8	6	0	0.04	0.07
25	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	22.8	7	1	0.12	0.20
26	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	24.1	7.2	1	0.14	0.22
27	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.2	3.2	0	0.03	0.06
28	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.8	6.4	0	0.04	0.06
29	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.9	6.6	1	0.04	0.07
30	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.5	5.6	0	0.04	0.08
31	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.9	6.2	0	0.04	0.06
32	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.8	3	0	0.04	0.07
33	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14	7	1	0.05	0.08
34	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	18.3	7.4	1	0.09	0.13
35	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10	5.6	0	0.02	0.04
36	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.1	5.4	0	0.02	0.04
37	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11	5.2	0	0.03	0.04
38	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.2	4.2	0	0.02	0.04
39	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.5	6	1	0.04	0.06
40	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.1	6.2	1	0.04	0.07
41	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.7	6	1	0.04	0.07
42	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.8	6.4	0	0.04	0.08
43	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	23.8	7.4	1	0.14	0.22
44	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	25.1	7.6	1	0.16	0.25
45	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.6	3	0	0.04	0.06
46	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.8	6.8	1	0.04	0.07
47	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.9	7	1	0.05	0.08
48	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12.5	6	1	0.05	0.09
49	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.9	6.6	1	0.04	0.07
50	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.8	2.6	0	0.04	0.08
51	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15	7.4	1	0.06	0.09
52	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	19.3	7.8	1	0.10	0.15
53	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11	6	0	0.03	0.05
54	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.9	5.8	0	0.03	0.05
55	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.1	4.4	0	0.02	0.04
56	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.2	3.4	0	0.02	0.03
57	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11	5.2	0	0.03	0.04
58	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.6	5.4	0	0.03	0.05
59	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.2	5.2	1	0.03	0.05
60	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.3	5.6	0	0.03	0.06
61	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	22.3	6.6	1	0.11	0.18
62	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	23.6	6.8	1	0.13	0.21
63	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.1	2.2	0	0.03	0.06
64	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.3	6	0	0.03	0.05
65	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.4	6.2	1	0.04	0.06
66	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11	5.2	0	0.04	0.07
67	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.4	5.8	0	0.03	0.05

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	H (m)	z	AGB	Biomasse totale
68	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.3	3	0	0.03	0.06
69	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.5	6.6	1	0.05	0.07
70	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	17.8	7	1	0.08	0.12
71	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.5	5.2	0	0.03	0.04
72	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.4	5	0	0.02	0.04
73	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.5	5.6	0	0.03	0.05
74	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.7	4.6	0	0.03	0.05
75	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13	6.4	1	0.04	0.07
76	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.6	6.6	1	0.05	0.07
77	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.2	6.4	1	0.05	0.08
78	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12.3	6.8	1	0.05	0.09
79	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	24.3	7.8	1	0.15	0.24
80	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	25.6	8	1	0.17	0.27
81	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.1	3.4	0	0.04	0.07
82	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.3	7.2	1	0.05	0.07
83	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.4	7.4	1	0.06	0.09
84	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13	6.4	1	0.05	0.10
85	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.4	7	1	0.05	0.07
86	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12.3	3	1	0.05	0.09
87	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15.5	7.8	1	0.07	0.10
88	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	19.8	8	1	0.11	0.16
89	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.5	6.4	0	0.03	0.05
90	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.4	6.2	0	0.03	0.05
Biomasse t/625 m ²							7.53
Biomasse t/Hectare							120.56
Carbone t/Hectare							60.28

Buisson	Nom commun	Nom Latin	Dbh (CM)	H (m)	AGB	Biomasse totale
1	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	9.1	5.2	0.0082	0.0126
2	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	7.2	4.2	0.0125	0.0191
3	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	8.6	4	0.0170	0.0259
4	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	9.4	4.4	0.0074	0.0114
5	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	8	4.8	0.0176	0.0269
6	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	2.8	2.6	0.0012	0.0018
7	Pistachier de Palestine	<i>Pistacia palaestina</i>	4	2.6	0.0008	0.0011
8	Pistachier de Palestine	<i>Pistacia palaestina</i>	3	1.6	0.0003	0.0004
9	Pistachier de Palestine	<i>Pistacia palaestina</i>	1.2	1.6	0.0000	0.0001
10	Poire syrian	<i>Pyrus syriaca</i>	5.1	2	0.0007	0.0011
11	Poire syrian	<i>Pyrus syriaca</i>	7	3.2	0.0090	0.0137
Biomasse t/25 m ²						0.114
Biomasse t/625 m ²						2.851
Biomasse t/Hectare						45.622
Carbone t/Hectare						22.811

Placette numéro 28 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	C (m)	H (m)	AGB	Biomasse totale
1	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	44	1.38	16.8	1.02	1.20
2	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	36	1.13	16.2	0.63	0.75
3	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	43	1.35	16.1	0.96	1.13
4	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	49.5	1.56	19	1.37	1.62
5	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	56	1.76	19.6	1.84	2.18
6	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	51.5	1.62	19	1.50	1.78
7	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	45	1.41	18.8	1.10	1.30
8	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	45.5	1.43	18.8	1.12	1.33
9	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	41	1.29	17.4	0.87	1.03
10	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	45.2	1.42	17.6	1.09	1.29
Biomasse t/625 m ²							13.62
Biomasse t/Hectare							217.84
Carbone t/Hectare							108.92

Placette numéro 29 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	C (m)	H (m)	AGB	Biomasse totale
1	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	26.5	0.83	9.8	0.28	0.33
2	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	24.2	0.76	9.4	0.23	0.27
3	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	28.7	0.90	9.8	0.34	0.40
4	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	33.1	1.04	10.8	0.48	0.57
5	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	34.3	1.08	12.2	0.54	0.63
6	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	37	1.16	13.4	0.65	0.77
7	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	31.5	0.99	10.4	0.43	0.50
8	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	26.3	0.83	12.4	0.29	0.34
9	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	35.6	1.12	13.2	0.59	0.70
10	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	35.5	1.12	12.4	0.49	0.67
11	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	10.5	0.33	5.6	0.03	0.03
12	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	37.3	1.17	12.8	0.66	0.78
13	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	51.1	1.61	15.8	1.43	1.69
14	Chêne infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10	0.31	5.8	0.03	0.04
Biomasse t/625 m ²							7.75
Biomasse t/Hectare							123.95
Carbone t/Hectare							61.98

Placette numéro 30 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	C (m)	H (m)	z	AGB	Biomasse totale
2	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10	0.31	3.6	0	0.03	0.06
10	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.5	0.33	3	0	0.03	0.06
11	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10	0.31	42	0	0.03	0.06
12	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	17.4	0.55	7.2	1	0.11	0.18
13	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12.5	0.39	7.6	1	0.05	0.09

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	C (m)	H (m)	z	AGB	Biomasse totale
14	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10	0.31	6	0	0.03	0.06
15	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12	0.38	5.8	0	0.05	0.08
2	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	22	0.69	13.4	1	0.16	0.21
3	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	28.1	0.88	15	1	0.29	0.38
4	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	26.7	0.84	15	1	0.26	0.34
6	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	14.8	0.46	11.4	1	0.06	0.08
7	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	17	0.53	3	1	0.07	0.09
8	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	30.2	0.95	16.4	1	0.35	0.46
9	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	35.7	1.12	16.6	1	0.51	0.67
16	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	13	0.41	7.4	1	0.04	0.06
17	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	34.2	1.07	14	1	0.43	0.56
1	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	12	0.38	5.2	0	0.04	0.05
Biomasse t/625 m ²								3.48
Biomasse t/Hectare								55.67
Carbone t/Hectare								27.83

Placette numéro 31 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	H (m)	z	AGB	Biomasse totale
161	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.5	6.6	1	0.058	0.104
192	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15	8	1	0.074	0.131
115	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11	6.8	0	0.038	0.069
142	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.9	7.6	0	0.045	0.081
160	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.4	6.4	1	0.057	0.103
107	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.8	6.6	0	0.037	0.066
156	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.3	6.4	1	0.056	0.101
197	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15.2	8.6	1	0.077	0.136
175	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.2	7.4	1	0.065	0.116
200	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15.3	6.6	1	0.077	0.137
92	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.4	6	0	0.034	0.062
220	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	16.6	8	1	0.096	0.166
110	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.9	7.2	0	0.037	0.068
93	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.4	6	0	0.034	0.062
145	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12.1	6.6	1	0.046	0.083
24	Arbousier de chypre	<i>Arbutus andrachne</i>	10.1	5.8	0	0.028	0.105
191	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15	8.2	1	0.074	0.132
163	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.6	6.6	1	0.059	0.106
169	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.9	7	1	0.062	0.111
106	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.8	7	0	0.037	0.066

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	H (m)	z	AGB	Biomasse totale
119	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.1	6.8	0	0.039	0.070
215	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	16.4	7.8	1	0.093	0.161
155	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.2	6	1	0.055	0.099
25	Arbousier de chypre	<i>Arbutus andrachne</i>	10.2	6.2	0	0.029	0.107
23	Arbousier de chypre	<i>Arbutus andrachne</i>	10.1	6	0	0.028	0.105
180	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.4	7.4	1	0.067	0.120
168	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.8	6.6	1	0.061	0.109
211	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	16.1	7.4	1	0.088	0.154
201	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15.3	8.4	1	0.078	0.138
154	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.2	6.2	1	0.055	0.099
108	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.8	6.6	0	0.037	0.066
98	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.6	6.8	0	0.035	0.064
146	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12.2	6.8	1	0.047	0.085
185	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.7	7.8	1	0.071	0.126
22	Arbousier de chypre	<i>Arbutus andrachne</i>	10.1	5.8	0	0.028	0.105
20	Arbousier de chypre	<i>Arbutus andrachne</i>	10	6	0	0.028	0.102
116	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11	6.8	0	0.038	0.069
105	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.7	5.2	0	0.036	0.065
89	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.3	6	0	0.033	0.060
195	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15.1	8	1	0.076	0.133
101	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.6	5	0	0.035	0.064
188	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.8	7.8	1	0.072	0.127
80	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.1	5.8	0	0.032	0.058
166	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.7	6.6	1	0.060	0.107
128	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.3	7	0	0.040	0.073
138	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.7	7.4	0	0.043	0.078
170	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.9	6.8	1	0.062	0.111
1	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.5	6.2	0	0.035	0.063
7	Arbousier de chypre	<i>Arbutus andrachne</i>	10.6	6.4	0	0.031	0.116
137	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.6	6.2	0	0.042	0.077
203	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15.4	8.4	1	0.080	0.140
84	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.2	5.8	0	0.033	0.059
213	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	16.3	7.8	1	0.091	0.159
139	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.7	6.2	0	0.043	0.078
99	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.6	6.4	0	0.035	0.064
182	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.5	7.4	1	0.068	0.122
187	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.8	8	1	0.072	0.128
81	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.1	4.6	0	0.032	0.058

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	H (m)	z	AGB	Biomasse totale
21	Arbousier de chypre	<i>Arbutus andrachne</i>	10	5.8	0	0.028	0.102
186	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.7	7.6	1	0.071	0.126
124	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.2	5.6	0	0.040	0.071
90	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.3	4.8	0	0.033	0.060
189	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.9	8	1	0.073	0.130
100	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.6	6.2	0	0.035	0.064
85	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.2	4.6	0	0.033	0.059
88	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.3	6.8	0	0.033	0.060
181	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.5	7.6	1	0.068	0.122
8	Arbousier de chypre	<i>Arbutus andrachne</i>	10.4	6.2	0	0.030	0.112
147	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12.4	7	1	0.048	0.088
78	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.1	6.2	0	0.032	0.058
123	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.2	7	0	0.040	0.071
177	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.3	7.4	1	0.066	0.118
5	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.3	5.8	0	0.040	0.073
217	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	16.5	8.2	1	0.095	0.164
151	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.1	8.2	1	0.054	0.098
14	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	26.2	7.5	1	0.197	0.258
141	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.8	6.4	0	0.044	0.079
130	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.4	7.6	0	0.041	0.074
30	Arbousier de chypre	<i>Arbutus andrachne</i>	10.3	6.3	0	0.030	0.109
28	Arbousier de chypre	<i>Arbutus andrachne</i>	10.3	6	0	0.030	0.109
207	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15.7	7	1	0.083	0.145
131	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.4	7.2	0	0.041	0.074
176	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.2	7	1	0.065	0.116
83	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.2	5.8	0	0.033	0.059
164	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.6	6.4	1	0.059	0.106
6	Arbousier de chypre	<i>Arbutus andrachne</i>	10.5	6.4	0	0.031	0.114
172	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14	6.8	1	0.063	0.113
150	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13	6	1	0.053	0.096
216	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	16.4	6	1	0.091	0.159
112	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.9	6.6	0	0.037	0.068
132	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.4	6	0	0.041	0.074
2	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.7	6.4	0	0.036	0.065
79	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.1	5.8	0	0.032	0.058
17	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	26.4	7.7	1	0.202	0.264
109	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.8	5.2	0	0.037	0.066
193	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15	6.4	1	0.074	0.131

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	H (m)	z	AGB	Biomasse totale
205	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15.5	8.4	1	0.081	0.142
199	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15.2	8.2	1	0.077	0.136
127	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.3	5.8	0	0.040	0.073
9	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	27.3	8.4	1	0.222	0.291
152	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.1	6.2	1	0.054	0.098
135	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.6	7.4	0	0.042	0.077
91	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.4	6.6	0	0.034	0.062
95	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.5	6.8	0	0.035	0.063
77	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10	5.6	0	0.032	0.057
103	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.7	7	0	0.036	0.065
208	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15.8	7.2	1	0.084	0.147
16	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	26.3	7.7	1	0.200	0.262
102	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.7	6.4	0	0.036	0.065
210	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	16	7.4	1	0.087	0.152
125	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.3	7.6	0	0.040	0.073
133	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.5	7.2	0	0.042	0.075
118	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.1	7.4	0	0.039	0.070
209	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15.9	7.2	1	0.085	0.150
144	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12	6.6	0	0.045	0.082
86	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.3	6.6	0	0.033	0.060
129	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.4	7.2	0	0.041	0.074
190	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.9	7.8	1	0.073	0.129
111	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.9	6.6	0	0.037	0.068
198	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15.2	6.6	1	0.076	0.135
140	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.8	7.6	0	0.044	0.079
153	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.1	6	1	0.054	0.098
148	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12.5	7	1	0.049	0.089
113	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.9	5.6	0	0.037	0.068
96	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.5	6.2	0	0.035	0.063
136	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.6	7.4	0	0.042	0.077
183	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.6	7.8	1	0.070	0.124
204	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15.5	6.8	1	0.080	0.141
206	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15.6	7	1	0.081	0.143
167	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.8	6.8	1	0.061	0.109
11	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	17.5	7.2	1	0.109	0.187
159	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.4	6.2	1	0.057	0.103
4	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.2	6.4	0	0.033	0.059
27	Arbousier de chypre	<i>Arbutus andrachne</i>	10.2	6	0	0.029	0.107

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	H (m)	z	AGB	Biomasse totale
104	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.7	6.4	0	0.036	0.065
184	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.6	7.6	1	0.069	0.124
15	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	26.3	8.8	1	0.207	0.271
29	Arbousier de chypre	<i>Arbutus andrachne</i>	10.3	6	0	0.030	0.109
171	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14	7	1	0.063	0.113
97	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.5	5	0	0.035	0.063
3	Arbousier de chypre	<i>Arbutus andrachne</i>	11.5	7.2	0	0.038	0.139
10	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	16.2	7.6	1	0.090	0.156
179	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.4	7.6	1	0.067	0.120
76	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10	5.6	0	0.032	0.057
120	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.1	6.8	0	0.039	0.070
194	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15.1	6.4	1	0.075	0.133
121	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.1	5.6	0	0.039	0.070
157	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.3	8.2	1	0.056	0.101
165	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.7	6.8	1	0.060	0.108
87	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.3	6	0	0.033	0.060
178	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.3	7.2	1	0.066	0.118
134	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.5	6	0	0.042	0.075
82	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.2	6.4	0	0.033	0.059
158	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.3	6.2	1	0.056	0.101
196	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15.2	8.4	1	0.077	0.136
114	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11	7.2	0	0.038	0.069
202	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15.4	6.8	1	0.079	0.139
122	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.2	7	0	0.040	0.071
149	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12.9	6	1	0.053	0.095
13	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.1	7.2	1	0.064	0.114
94	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.4	4.8	0	0.034	0.062
143	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.9	6.4	0	0.045	0.081
126	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.3	7	0	0.040	0.073
26	Arbousier de chypre	<i>Arbutus andrachne</i>	10.2	6	0	0.029	0.107
117	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11	5.4	0	0.038	0.069
173	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.1	7.2	1	0.064	0.114
218	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	16.5	8	1	0.095	0.164
162	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.5	6.4	1	0.058	0.104
174	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.1	7	1	0.064	0.114
212	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	16.2	7.6	1	0.090	0.156
12	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.3	7.2	1	0.066	0.118
214	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	16.3	6	1	0.090	0.157

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	H (m)	z	AGB	Biomasse totale	
							Biomasse t/625 m2	17.744
							Biomasse t/Hectare	283.90
							Carbone t/Hectare	141.95

Buisson	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (CM)	H (m)	AGB (T)	Biomasse Totale	
1	Arbre de Judée	<i>Cercis siliquastrum</i>	6.8	4	0.0089	0.0115	
2	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	3.2	1.6	0.0003	0.0005	
3	Arbousier de chypre	<i>Arbutus andrachne</i>	1.5	2	0.0002	0.0008	
4	Arbousier de chypre	<i>Arbutus andrachne</i>	2	1.8	0.0004	0.0013	
5	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	2.1	2	0.0002	0.0003	
6	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	3.7	3.3	0.0009	0.0013	
7	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	3.5	3.2	0.0007	0.0011	
8	Arbousier de chypre	<i>Arbutus andrachne</i>	1.7	3	0.0004	0.0016	
9	Arbousier de chypre	<i>Arbutus andrachne</i>	1.2	3.2	0.0002	0.0009	
10	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	3.4	4.8	0.0011	0.0016	
11	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	2.7	4.2	0.0006	0.0009	
12	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	3.3	5.6	0.0012	0.0018	
13	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	6.5	6.1	0.0049	0.0075	
14	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	7.2	6.2	0.0061	0.0094	
15	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	5.4	4.5	0.0025	0.0038	
16	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	1.4	2.3	0.0001	0.0001	
17	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	8.6	6.4	0.0090	0.0138	
18	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	6.7	6.3	0.0054	0.0083	
						Biomasse t/25 m2	0.07
						Biomasse t/625 m2	1.67
						Biomasse t/Hectare	26.66
						Carbone t/Hectare	13.33

Placette numéro 32 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	C (m)	H (m)	z	AGB	Biomasse totale
1	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	17.7	0.56	4.8	1	0.11	0.19
8	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14	0.44	3.2	1	0.06	0.11
9	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12.2	0.38	3.4	1	0.05	0.08
14	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12.7	0.40	4	1	0.05	0.09
19	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10	0.31	3.8	0	0.03	0.06
3	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.2	0.32	4.8	0	0.04	0.04
11	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15	0.47	7.8	1	0.12	0.10
12	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.1	0.38	7.8	1	0.08	0.06
13	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.8	0.43	7.8	1	0.10	0.08
2	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	11	0.35	4.2	0	0.03	0.04
4	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	32.8	1.03	10.2	1	0.35	0.46
5	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	28.3	0.89	10.4	1	0.26	0.33

7	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	18	0.57	9.8	1	0.09	0.12
10	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	30	0.94	8.4	1	0.27	0.36
15	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	13	0.41	8.8	1	0.04	0.06
16	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	34.8	1.09	11.8	1	0.42	0.55
17	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	40	1.26	10.4	1	0.74	0.88
18	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	40.6	1.28	10	1	0.76	0.91
							Biomasse t/625 m ²	4.52
							Biomasse t/Hectare	72.26
							Carbone t/Hectare	36.13

Buisson	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (CM)	H (m)	AGB (T)	Biomasse Total	
1	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	5.3	2.6	0.0014	0.0021	
2	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	5.2	2.4	0.0012	0.0019	
3	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	2.6	2.2	0.0003	0.0004	
4	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	3	2.4	0.0004	0.0006	
5	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	3.4	2.4	0.0005	0.0008	
6	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	4	2.4	0.0007	0.0011	
7	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	3	2.4	0.0004	0.0006	
8	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	2.2	2.4	0.0002	0.0003	
9	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	6.8	2.8	0.0025	0.0038	
10	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	9.3	2.8	0.0046	0.0071	
						Biomasse t/25 m ²	0.019
						Biomasse t/625 m ²	0.471
						Biomasse t/h	7.544
						Carbone t/h	3.772

Placette numéro 33 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	H (m)	AGB	Biomasse totale
1	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	16.5	6	0.079	0.1101
2	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	13.5	6	0.046	0.0633
3	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	15.2	6.8	0.063	0.0878
4	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	12.5	6.2	0.037	0.0512
5	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	13.5	6.2	0.046	0.0633
6	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	14.5	6.2	0.056	0.0771
7	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	15.5	6.6	0.067	0.0927
8	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	15.5	6.2	0.067	0.0927
9	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	18.5	6.4	0.108	0.1503
10	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	19.5	6.6	0.125	0.1731
11	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	14.4	6.4	0.055	0.0756
12	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	20	6.6	0.133	0.1851
13	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	19.6	6.6	0.126	0.1754
14	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	26.5	6.6	0.276	0.3826
15	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	26	6.6	0.263	0.3647
16	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	19.1	6	0.118	0.1637
17	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	20.1	6	0.135	0.1876
18	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	25.2	6.4	0.243	0.3370

19	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	21	6	0.152	0.2106
20	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	22	6.2	0.171	0.2378
21	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	22	6.8	0.171	0.2378
22	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	26	7	0.263	0.3647
23	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	21.5	6.2	0.161	0.2240
24	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	21.4	6.2	0.160	0.2213
25	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	18.9	9.2	0.115	0.1592
26	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	24	6.6	0.215	0.2977
27	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	19	6.2	0.116	0.1615
28	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	11.5	4.8	0.030	0.0410
29	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	15.9	4.8	0.072	0.0995
30	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	10.4	2.6	0.023	0.0318
31	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	23.2	6.4	0.197	0.2729
32	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	16.2	3	0.075	0.1047
33	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	17.5	6.2	0.093	0.1293
34	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	19.6	6.4	0.126	0.1754
35	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	18.5	6.2	0.108	0.1503
36	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	16.5	6	0.079	0.1101
37	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	23.4	6.4	0.201	0.2790
38	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	30.4	6.8	0.387	0.5373
39	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	15.2	6.2	0.063	0.0878
40	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	15.4	6.26	0.066	0.0911
41	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	12.3	6	0.035	0.0490
42	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	15.5	6.2	0.067	0.0927
43	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	19.2	6.4	0.120	0.1661
44	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	21.5	6.4	0.161	0.2240
45	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	21.4	6.4	0.160	0.2213
46	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	16.3	6.2	0.077	0.1065
47	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	22.3	6	0.178	0.2464
48	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	26.5	6.4	0.276	0.3826
49	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	19.5	6	0.125	0.1731
					Biomasse t/625 m ²	8.720
					Biomasse t/Hectare	139.51
					Carbone t/Hectare	69.76

Placette numéro 34 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	H (m)	AGB	Biomasse totale
1	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	16.8	6.2	0.063	0.088
2	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	20	6.2	0.083	0.115
3	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	14.8	2.5	0.025	0.035
4	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	10.4	5.8	0.028	0.039
5	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	10.8	5.8	0.030	0.042
6	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	20.2	6.4	0.087	0.120
7	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	10	6.2	0.028	0.039
8	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	20.5	6.2	0.086	0.120

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	H (m)	AGB	Biomasse totale
9	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	11.4	4.8	0.028	0.039
10	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	10.3	4.6	0.023	0.032
11	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	15.8	6.2	0.057	0.080
12	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	21.3	6.6	0.096	0.134
13	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	10.4	4	0.021	0.029
14	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	12	5.8	0.035	0.049
15	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	13.2	6.4	0.044	0.062
16	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	24	6.8	0.119	0.165
17	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	17.8	7	0.076	0.106
18	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	18.7	6.6	0.079	0.109
19	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	13	2.4	0.020	0.028
20	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	12.6	6.8	0.043	0.060
21	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	19.3	6.2	0.079	0.109
22	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	17.5	5.8	0.064	0.089
23	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	13	5.8	0.040	0.056
24	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	15.4	2.2	0.024	0.034
25	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	20.5	6.4	0.089	0.123
26	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	16.7	3.2	0.037	0.052
27	Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	49	12.4	0.587	0.814
28	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	14.4	4.8	0.041	0.056
29	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	11.4	4.6	0.027	0.038
30	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	12.3	5.2	0.034	0.047
31	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	12.6	6.2	0.040	0.056
32	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	17.4	6.2	0.067	0.093
33	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	19	6.2	0.077	0.106
34	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	15.6	5.6	0.052	0.072
35	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	10.2	5.8	0.027	0.038
36	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	11	5.8	0.031	0.043
37	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	21	6.2	0.090	0.125
38	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	11	6.2	0.033	0.045
39	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	22	6.2	0.097	0.134
40	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	11.8	5.4	0.033	0.045
41	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	10.2	5	0.024	0.034
42	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	21.7	6.6	0.099	0.138
43	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	10.5	4.6	0.024	0.033
44	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	12.7	5.8	0.039	0.054
45	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	13.4	6.2	0.044	0.061
46	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	23.5	6.8	0.115	0.160

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	H (m)	AGB	Biomasse totale
47	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	17.8	6.8	0.074	0.103
48	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	19.6	6.6	0.085	0.117
49	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	13.4	5.2	0.039	0.054
50	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	19	6.4	0.079	0.109
51	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	18.4	6.2	0.073	0.101
52	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	20.5	6.6	0.091	0.126
53	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	22.3	6.4	0.101	0.140
54	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	21.5	6.2	0.093	0.129
55	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	20.2	6.6	0.089	0.123
56	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	11.2	4	0.024	0.033
57	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	14.7	4.7	0.041	0.057
58	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	18.6	6.4	0.076	0.106
59	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	12.8	5.8	0.039	0.054
60	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	19	6.2	0.077	0.106
61	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	22	6.4	0.099	0.137
62	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	15.4	6.2	0.055	0.077
63	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	21	6.4	0.092	0.128
64	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	10.4	4.6	0.024	0.033
65	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	12.2	5.4	0.034	0.048
66	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	16.4	5.6	0.056	0.078
67	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	19.6	5.6	0.074	0.103
68	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	14.4	1.9	0.020	0.027
69	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	10	5.2	0.024	0.034
70	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	10.4	5.2	0.026	0.036
71	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	19.8	5.8	0.078	0.108
72	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	9.6	5.6	0.024	0.034
73	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	20.1	5.6	0.077	0.107
74	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	11	4.2	0.024	0.033
75	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	9.9	4	0.020	0.027
76	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	15.4	5.6	0.051	0.071
77	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	20.9	6	0.087	0.120
78	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	10	3.4	0.017	0.024
79	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	11.6	5.2	0.031	0.043
80	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	12.8	5.8	0.039	0.054
81	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	23.6	6.2	0.108	0.150
82	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	17.4	6.4	0.069	0.095
83	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	18.3	6	0.071	0.098
84	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	12.6	1.8	0.015	0.021

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	H (m)	AGB	Biomasse totale
85	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	12.2	6.2	0.038	0.053
86	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	18.9	5.6	0.070	0.097
87	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	17.1	5.2	0.057	0.079
88	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	12.6	5.2	0.035	0.049
89	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	15	1.6	0.018	0.025
90	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	20.1	5.8	0.080	0.110
91	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	16.3	2.6	0.030	0.042
92	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	16.6	6	0.060	0.084
93	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	19.8	6	0.080	0.111
94	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	14.6	2.3	0.023	0.032
95	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	10.2	5.6	0.027	0.037
96	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	10.6	5.6	0.028	0.039
97	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	20	6.2	0.083	0.115
98	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	9.8	6	0.026	0.037
99	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	20.3	6	0.083	0.115
100	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	11.2	4.6	0.026	0.037
101	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	10.1	4.4	0.022	0.030
102	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	15.6	6	0.055	0.076
103	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	21.1	6.4	0.093	0.129
104	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	10.2	3.8	0.020	0.027
105	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	11.8	5.6	0.034	0.046
106	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	13	6.2	0.042	0.059
107	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	23.8	6.6	0.115	0.159
108	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	17.6	6.8	0.073	0.101
109	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	18.5	6.4	0.075	0.105
110	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	12.8	2.2	0.018	0.025
111	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	12.4	6.6	0.041	0.057
112	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	19.1	6	0.075	0.105
113	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	17.3	5.6	0.061	0.085
114	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	12.8	5.6	0.038	0.053
115	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	15.2	2	0.022	0.031
116	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	20.3	6.2	0.085	0.118
117	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	16.5	3	0.035	0.048
118	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	17.2	6.8	0.071	0.098
119	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	20.4	6.8	0.092	0.128
120	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	15.2	3.1	0.031	0.043
121	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	10.8	6.4	0.032	0.045
122	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	11.2	6.4	0.034	0.048

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	H (m)	AGB	Biomasse totale
123	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	20.6	7	0.096	0.133
124	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	10.4	6.8	0.032	0.044
125	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	20.9	6.8	0.096	0.133
126	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	11.8	5.4	0.033	0.045
127	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	10.7	5.2	0.027	0.038
128	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	16.2	6.8	0.064	0.089
129	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	21.7	7.2	0.106	0.148
130	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	10.8	4.6	0.025	0.035
131	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	12.4	6.4	0.040	0.056
132	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	13.6	7	0.050	0.069
133	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	24.4	7.4	0.131	0.181
134	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	18.2	7.6	0.084	0.117
135	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	19.1	7.2	0.087	0.121
136	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	13.4	3	0.025	0.035
137	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	13	7.4	0.049	0.067
138	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	19.7	6.8	0.087	0.121
139	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	17.9	6.4	0.072	0.099
140	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	13.4	6.4	0.045	0.063
141	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	15.8	2.8	0.031	0.043
142	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	20.9	7	0.098	0.136
143	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	17.1	3.8	0.044	0.061
144	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	17	6.4	0.066	0.092
145	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	20.2	6.4	0.087	0.120
146	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	15	2.7	0.028	0.038
147	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	10.6	6	0.030	0.041
148	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	11	6	0.032	0.044
149	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	20.4	6.6	0.090	0.125
150	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	10.2	6.4	0.030	0.041
151	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	20.7	6.4	0.090	0.125
152	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	11.6	5	0.030	0.041
153	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	10.5	4.8	0.025	0.034
154	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	16	6.4	0.060	0.083
155	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	21.5	6.8	0.100	0.139
156	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	10.6	4.2	0.023	0.031
157	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	12.2	6	0.037	0.052
158	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	13.4	6.6	0.047	0.065
159	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	24.2	7	0.123	0.171
Biomasse t/625 m ²						12.94

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	H (m)	AGB	Biomasse totale
					Biomasse t/Hectare	207.08
					Carbone t/Hectare	103.54

Buisson	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (CM)	H (m)	AGB (T)	Biomasse Total
1	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	8.4	3.2	0.009	0.013
2	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	9.5	3.6	0.013	0.018
3	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	8.2	3	0.009	0.012
4	Cyprès vert	<i>Cupressus sempervirens</i>	4.5	1.8	0.002	0.003
					Biomasse t/25 m2	0.045
					Biomasse t/625 m2	1.130
					Biomasse t/Hectare	18.072
					Carbone t/Hectare	9.0362

Placette numéro 35 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	C (m)	H (m)	AGB	Biomasse totale
1	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	28.3	0.89	9.8	0.33	0.39
2	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	29	0.91	9.6	0.35	0.41
3	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	19.5	0.61	9.4	0.14	0.16
4	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	32.6	1.02	12.2	0.48	0.56
5	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	35.9	1.13	11.4	0.59	0.70
6	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	31.5	0.99	10.8	0.43	0.51
7	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	30.5	0.96	12.2	0.41	0.48
8	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	24.2	0.76	10	0.23	0.27
9	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	32.3	1.01	11.8	0.46	0.55
10	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	28.2	0.89	12.2	0.34	0.40
11	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	31.6	0.99	12.4	0.44	0.53
12	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	32	1.01	13.2	0.46	0.55
13	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	27.3	0.86	12.8	0.32	0.38
14	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	26.6	0.84	12	0.30	0.35
15	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	43	1.35	12.6	0.91	1.08
16	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	33.9	1.06	12	0.52	0.62
17	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	44.8	1.41	13.2	1.01	1.20
18	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	40	1.26	12.8	0.77	0.92
19	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	47.3	1.49	15.2	1.18	1.40
20	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	34.7	1.09	13.8	0.56	0.67
21	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	52.5	1.65	17.4	1.55	1.83
22	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.7	0.34	7	0.03	0.05
23	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	36.5	1.15	14.2	0.64	0.75
24	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	35.1	1.10	14.2	0.58	0.69
25	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	37.8	1.19	14.2	0.69	0.82

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	C (m)	H (m)	AGB	Biomasse totale
26	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	52.5	1.65	15.6	1.51	1.79
27	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	52	1.63	17.8	1.52	1.80
28	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	42	1.32	17.6	0.92	1.09
29	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	36.5	1.15	16.8	0.66	0.78
30	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	22.3	0.70	11	0.19	0.23
31	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	31.2	0.98	12.6	0.43	0.51
32	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	24.3	0.76	11.6	0.24	0.28
33	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	50	1.57	14.2	1.33	1.57
Biomasse t/625 m ²							24.31
Biomasse t/Hectare							388.93
Carbone t/Hectare							194.46

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	C (m)	H (m)	AGB	Biomasse totale
1	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	17.8	0.56	8.4	0.11	0.13
2	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	50.5	1.59	18	1.42	1.68
3	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	32.6	1.02	14.6	0.49	0.58
4	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	40.2	1.26	17.8	0.83	0.99
5	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	47.7	1.50	18.4	1.25	1.48
6	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	31.4	0.99	13.2	0.44	0.52
7	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	28.2	0.89	12	0.34	0.40
8	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	29.6	0.93	12.2	0.38	0.45
9	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	47.2	1.48	16.2	1.19	1.41
10	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	47.4	1.49	18.4	1.23	1.46
11	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	52.5	1.65	18.4	1.56	1.85
12	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	36.7	1.15	15.2	0.65	0.77
13	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	36.4	1.14	15.2	0.64	0.76
14	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	30.5	0.96	12.2	0.41	0.48
15	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	44.2	1.39	16.4	1.02	1.21
16	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	30.1	0.95	14	0.41	0.48
Biomasse t/625 m ²							14.66
Biomasse t/Hectare							234.58
Carbone t/Hectare							117.29

Placette numéro 36 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	C (m)	H (m)	AGB	Biomasse totale
1	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	17.8	0.56	8.4	0.11	0.13
2	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	50.5	1.59	18	1.42	1.68
3	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	32.6	1.02	14.6	0.49	0.58
4	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	40.2	1.26	17.8	0.83	0.99
5	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	47.7	1.50	18.4	1.25	1.48
6	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	31.4	0.99	13.2	0.44	0.52
7	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	28.2	0.89	12	0.34	0.40
8	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	29.6	0.93	12.2	0.38	0.45
9	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	47.2	1.48	16.2	1.19	1.41

10	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	47.4	1.49	18.4	1.23	1.46
11	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	52.5	1.65	18.4	1.56	1.85
12	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	36.7	1.15	15.2	0.65	0.77
13	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	36.4	1.14	15.2	0.64	0.76
14	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	30.5	0.96	12.2	0.41	0.48
15	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	44.2	1.39	16.4	1.02	1.21
16	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	30.1	0.95	14	0.41	0.48
						Biomasse t/625 m ²	14.66
						Biomasse t/Hectare	234.58
						Carbone t/Hectare	117.29

Placette numéro 37 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	H (m)	AGB	Biomasse totale
1	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.2	7	0.041	0.062
2	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10	6.4	0.027	0.041
3	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.1	6.4	0.028	0.042
4	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.7	6.8	0.032	0.048
5	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12	7.2	0.040	0.061
6	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.7	6.8	0.032	0.048
7	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.2	6.8	0.029	0.044
8	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.1	6.8	0.039	0.060
9	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10	6.2	0.026	0.041
10	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.6	6.6	0.031	0.047
11	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.9	7	0.039	0.059
12	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.6	6.6	0.031	0.047
13	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.1	6.6	0.028	0.043
14	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12	6.6	0.038	0.058
15	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10	6	0.026	0.040
16	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.5	6.4	0.029	0.045
17	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.8	6.8	0.037	0.057
18	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.5	6.4	0.029	0.045
19	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10	6.4	0.027	0.041
20	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.9	6.4	0.036	0.056
21	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.4	6.2	0.028	0.044
22	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.7	6.6	0.036	0.056
23	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.4	6.2	0.028	0.044
24	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.3	7.2	0.042	0.064
25	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.1	6.6	0.028	0.043
26	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.2	6.6	0.029	0.044
27	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.8	7	0.033	0.050
28	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.1	7.4	0.042	0.063
29	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.8	7	0.033	0.050
31	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.4	7.4	0.044	0.066
32	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.2	6.8	0.029	0.044
33	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.3	6.8	0.030	0.045
34	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.9	7.2	0.034	0.051

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	H (m)	AGB	Biomasse totale
35	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.2	7.6	0.043	0.065
36	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.9	7.2	0.034	0.051
37	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.4	7.2	0.032	0.047
38	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.5	7.6	0.045	0.068
39	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.3	7	0.031	0.046
40	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.4	7	0.031	0.046
41	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11	7.4	0.036	0.053
42	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.3	7.8	0.045	0.067
43	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11	7.4	0.036	0.053
44	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.5	7.4	0.033	0.049
Biomasse t/625 m ²						2.19
Biomasse t/Hectare						35.06
Carbone t/Hectare						17.53

Buisson	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (CM)	H (m)	AGB (T)	Biomasse Total
10	Pistachier de Palestine	<i>Pistacia palaestina</i>	3	2.8	0.002	0.002
11	Pistachier de Palestine	<i>Pistacia palaestina</i>	1	2.4	0.000	0.000
12	Pistachier de Palestine	<i>Pistacia palaestina</i>	1.9	2.6	0.001	0.001
13	Pistachier de Palestine	<i>Pistacia palaestina</i>	2	2.4	0.001	0.001
14	Pistachier de Palestine	<i>Pistacia palaestina</i>	1.7	2.4	0.000	0.001
1	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	1.2	3.2	0.000	0.000
4	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	2.4	3.2	0.000	0.001
9	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	2.3	4.4	0.000	0.001
21	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	2.5	3	0.000	0.001
23	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	1.7	2.4	0.000	0.000
2	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	4.6	3.2	0.003	0.004
3	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	3.5	3.2	0.002	0.003
5	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	4.5	4.2	0.004	0.006
6	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	8.3	4.8	0.017	0.022
7	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	3.2	4	0.002	0.003
8	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	3	4.2	0.002	0.003
15	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	3.3	4.4	0.002	0.003
16	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	7	6	0.015	0.020
17	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	6	6.2	0.011	0.015
18	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	6.7	6.2	0.014	0.018
19	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	7.3	4.4	0.012	0.016
20	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	4.4	3.8	0.004	0.005
22	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	3	3.2	0.001	0.002
24	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	8	4.8	0.016	0.020
25	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	6.3	4	0.008	0.011
26	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	9.6	5.4	0.025	0.033
Biomasse t/25 m ²						0.19
Biomasse t/625 m ²						4.71
Biomasse t/Hectare						75.42
Carbone t/Hectare						37.71

Placette numéro 38 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	H (m)	z	AGB	Biomasse totale
1	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	16.1	6.4	0	0.061	0.098
2	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.7	5.6	0	0.027	0.044
3	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.3	7.2	0	0.031	0.046
4	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.3	8.4	0	0.048	0.070
5	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	18.1	9	0	0.101	0.148
6	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.2	0.2	0	0.008	0.026
7	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	115	7.6	0	2.924	4.815
8	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.6	7.8	0	0.047	0.070
9	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.2	5.6	0	0.034	0.055
10	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.7	6	0	0.049	0.080
11	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	20	8.2	0	0.112	0.169
12	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.1	7.2	0	0.035	0.053
13	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13	5.8	0	0.039	0.063
14	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.7	6	0	0.038	0.061
15	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.2	7.2	0	0.054	0.083
16	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.4	6	0	0.028	0.043
17	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15	6	0	0.051	0.083
18	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.5	5.2	0	0.042	0.073
19	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.5	5.2	0	0.029	0.048
20	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11	5.2	0	0.027	0.044
21	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	18	6.8	0	0.078	0.124
22	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.5	6.4	0	0.034	0.053
23	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12	6.4	0	0.037	0.057
24	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.2	6.4	0	0.033	0.051
Biomasse t/625 m2							6.45
Biomasse t/Hectare							103.28
Carbone t/Hectare							51.64

Buisson	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (CM)	H (m)	AGB (T)	Biomasse Total
5	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	3.5	2.8	0.0007	0.0010
6	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	3	2.8	0.0005	0.0007
7	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	5.5	4.8	0.0028	0.0042
16	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	7.5	3.2	0.0034	0.0053
1	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	5.3	4	0.0019	0.0025
2	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	9.3	7	0.0103	0.0134
3	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	4.6	2.8	0.0010	0.0013
4	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	2.8	2.6	0.0003	0.0005
8	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	9.7	6.8	0.0109	0.0142
9	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	8.9	6.4	0.0086	0.0112
10	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	3.1	6.6	0.0011	0.0014
11	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	2	2.2	0.0001	0.0002
12	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	4	2.2	0.0006	0.0008
13	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	4.2	2.4	0.0007	0.0009
14	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	4.7	1.8	0.0007	0.0009

15	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	7.1	2.6	0.0022	0.0029
17	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	9.5	4.4	0.0068	0.0088
18	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	9.4	6	0.0090	0.0117
19	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	9.2	6.2	0.0089	0.0116
Biomasse t/25 m ²						0.094
Biomasse t/625 m ²						2.337
Biomasse t/Hectare						37.385
Carbone t/Hectare						18.692

Placette numéro 39 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	H (m)	z	AGB	Biomasse totale
3	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13	4	1	0.053	0.096
4	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12	3.6	0	0.045	0.082
5	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.2	3.6	1	0.055	0.099
6	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14	3.4	1	0.062	0.112
7	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.1	3	0	0.032	0.058
8	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.2	3.2	0	0.033	0.059
9	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	17.4	4.2	1	0.102	0.179
10	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	16.5	3.8	1	0.090	0.159
15	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	23.7	8	1	0.246	0.388
16	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	20	7.6	1	0.155	0.257
18	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	17	5.2	1	0.098	0.172
19	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.7	5.2	1	0.060	0.107
20	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15.7	5.2	1	0.081	0.144
21	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12.3	5.2	1	0.048	0.086
22	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.5	5.2	1	0.058	0.104
23	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.2	5.4	1	0.065	0.116
24	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.4	5.2	1	0.057	0.102
25	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10	5.2	0	0.032	0.057
29	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	16.5	5.8	1	0.092	0.161
30	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.7	5.4	1	0.070	0.125
31	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11	5	0	0.038	0.069
32	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	17	5	1	0.098	0.171
33	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	18.1	5.2	1	0.114	0.198
34	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	16.6	5.2	1	0.093	0.163
35	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	21.5	5	1	0.173	0.291
36	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12.5	2.8	1	0.049	0.089
40	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15.5	3.2	1	0.078	0.139
1	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	16.5	5.2	1	0.053	0.092
2	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	18.7	5.4	1	0.068	0.118
11	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	23	8	1	0.141	0.216
12	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	29.5	8.2	1	0.229	0.354
13	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	22	7.8	1	0.127	0.196
14	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	22.5	8	1	0.135	0.208
17	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	17.7	5.8	1	0.065	0.110
26	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.1	3.8	0	0.019	0.034
27	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.2	3.8	0	0.019	0.034

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	H (m)	z	AGB	Biomasse totale
28	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.5	4	0	0.021	0.037
37	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	16.4	3.4	1	0.037	0.075
38	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.2	3.6	1	0.031	0.060
39	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.3	3.6	0	0.022	0.040
Biomasse t/625 m ²							5.36
Biomasse t/Hectare							85.71
Carbone t/Hectare							42.85

Buisson	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (CM)	H (m)	AGB (T)	Biomasse Totale
1	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	6	6	0.0037	0.0056
2	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	5.3	5.8	0.0028	0.0043
3	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	7.3	5.6	0.0051	0.0078
4	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	8.5	3	0.0041	0.0063
5	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	2.4	2.8	0.0003	0.0005
6	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	7	3	0.0028	0.0043
7	Aliboufier du Liban	<i>styrax officinalis</i>	4.5	2.8	0.0027	0.0035
8	Aliboufier du Liban	<i>styrax officinalis</i>	4.8	2.6	0.0029	0.0037
9	Aliboufier du Liban	<i>styrax officinalis</i>	1.2	2	0.0001	0.0002
Biomasse t/25 m ²						0.036
Biomasse t/625 m ²						0.906
Biomasse t/Hectare						14.500
Carbone t/Hectare						7.250

Placette numéro 40 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	H (m)	z	AGB	Biomasse totale
1	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	26.5	6.6	1	0.152	0.252
2	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	19.5	6.6	1	0.087	0.142
3	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	27.7	7	1	0.175	0.284
4	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.2	3.8	1	0.032	0.061
5	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15.9	4	1	0.040	0.076
6	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10	4	0	0.019	0.034
7	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	18	5	1	0.059	0.106
8	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	18.3	5	1	0.061	0.109
9	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	16.2	4.8	1	0.048	0.085
10	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.5	3.2	1	0.026	0.052
11	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12	6.2	0	0.036	0.056
12	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14	6.6	1	0.049	0.077
13	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.3	6.6	1	0.051	0.080
14	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.6	6.6	1	0.046	0.073
15	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.8	6.6	1	0.048	0.075

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	H (m)	z	AGB	Biomasse totale
16	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12	4.4	0	0.027	0.048
17	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10	4.2	0	0.020	0.034
18	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	17.2	6.2	1	0.066	0.108
19	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	16.3	6.2	1	0.060	0.098
20	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.3	5.8	1	0.045	0.075
21	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.5	6	0	0.032	0.051
22	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15.2	6.4	1	0.055	0.088
23	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.4	6.2	1	0.038	0.060
24	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.6	6	0	0.033	0.052
25	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	21.5	6.4	1	0.101	0.167
26	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	19	6.4	1	0.081	0.133
27	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	26	5.4	1	0.143	0.452
28	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	21.5	5.2	1	0.094	0.292
29	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12.2	3.6	1	0.021	0.085
30	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	16	3.8	1	0.038	0.149
31	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15	3.8	1	0.034	0.130
32	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10	3.2	0	0.013	0.057
33	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	21.7	6.2	1	0.115	0.304
34	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	21.5	6.2	1	0.113	0.297
35	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15.1	5.7	1	0.051	0.132
36	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.2	4.6	1	0.031	0.099
37	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	16.7	5.5	1	0.060	0.165
38	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12.4	4.6	1	0.028	0.088
Biomasse t/625 m ²							4.726
Biomasse t/Hectare							75.612
Carbone t/Hectare							37.806

Placette numéro 41 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	H (m)	z	AGB	Biomasse totale
1	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10	3.8	0	0.032	0.057
2	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.1	4.2	0	0.032	0.058
3	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11	4	0	0.038	0.069
4	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.3	4.2	0	0.033	0.060
5	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.5	4.2	0	0.035	0.063
6	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11	4.6	0	0.038	0.069
7	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.5	4.2	0	0.042	0.075
8	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.1	3.4	0	0.032	0.058
9	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.7	3.6	1	0.069	0.124
10	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12.6	4	1	0.050	0.090
11	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15	4	1	0.073	0.130
12	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15	4	1	0.073	0.130
13	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11	3.6	0	0.038	0.069
14	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.2	3.6	0	0.033	0.059
15	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12.4	3.8	1	0.048	0.088
16	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.1	4.2	0	0.032	0.058

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	H (m)	z	AGB	Biomasse totale
17	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.7	4.4	1	0.070	0.124
18	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.2	4.2	1	0.055	0.099
19	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.1	4.8	0	0.039	0.070
20	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.1	4.2	1	0.063	0.114
21	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.6	3.6	0	0.035	0.064
22	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11	3.4	0	0.038	0.069
23	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12.1	3.2	1	0.046	0.083
24	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.2	3.2	0	0.033	0.059
25	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.5	3.4	1	0.058	0.104
26	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10	3	0	0.032	0.057
27	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.4	3.2	0	0.034	0.062
28	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	16.7	5.2	1	0.094	0.165
29	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.2	6.2	0	0.033	0.059
30	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.2	6	0	0.033	0.059
31	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11	5.6	0	0.038	0.069
32	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12.2	5.2	1	0.047	0.085
33	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	1.7	5.4	0	0.001	0.002
34	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.1	6.2	0	0.032	0.058
35	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12.7	5.4	1	0.051	0.092
36	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.2	3.8	0	0.033	0.059
37	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.4	6.2	0	0.041	0.074
38	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.8	4.2	0	0.037	0.066
39	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.5	6.4	0	0.035	0.063
40	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.7	4.4	0	0.036	0.065
41	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15.9	6	1	0.084	0.149
42	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.2	6.2	1	0.065	0.116
43	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	17.6	5.8	1	0.108	0.187
44	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12.1	4.6	1	0.046	0.083
45	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.4	4.6	0	0.041	0.074
46	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	16.2	6.2	1	0.089	0.155
47	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15.7	6.4	1	0.082	0.145
48	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.1	4.8	0	0.032	0.058
49	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12.2	4.8	1	0.047	0.085
50	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15.2	6.2	1	0.076	0.135
51	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15.1	6.2	1	0.075	0.133
52	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15.4	6.2	1	0.078	0.139
53	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	17.8	6.2	1	0.112	0.192
						Biomasse t/625 m ²	4.73
						Biomasse t/Hectare	75.65
						Carbone t/Hectare	37.83

Placette numéro 42 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	z	H (m)	AGB	Biomasse totale
1	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.7	0	7	0.038	0.057
2	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.7	0	7.2	0.044	0.067
3	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.2	0	7.2	0.041	0.063
4	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11	0	7	0.034	0.051
5	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.2	0	7	0.035	0.053
6	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.2	0	8	0.039	0.057
7	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15	0	8	0.065	0.097
8	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12	0	6.8	0.038	0.059
9	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.5	0	6.6	0.040	0.063
10	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.5	0	8	0.035	0.051
11	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	16.3	0	8	0.075	0.113
12	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15.5	0	8.8	0.075	0.109
13	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15.7	0	9.6	0.083	0.118
14	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.5	0	10	0.057	0.080
15	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	18	0	10.8	0.119	0.165
16	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	16	0	10.2	0.091	0.127
17	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.5	0	10.2	0.076	0.106
18	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13	0	10.2	0.062	0.087
19	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.5	0	10.6	0.079	0.109
20	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.5	0	10.2	0.067	0.093
21	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.2	0	10.2	0.048	0.066
22	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.2	0	10.4	0.065	0.090
23	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	17.5	0	11.4	0.119	0.162
24	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	18.5	0	11	0.127	0.176
25	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	16	0	10.8	0.096	0.132
26	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	16.7	0	11	0.105	0.145
27	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.7	0	10.8	0.054	0.074
28	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14	0	10.6	0.074	0.102
29	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15.7	0	11	0.094	0.129
30	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12	0	10.4	0.055	0.076
31	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.5	0	10.6	0.060	0.083
32	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	21	0	10.4	0.153	0.216
33	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11	0	10.6	0.048	0.065
34	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	20	0	10.8	0.145	0.202
35	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	29	0	12.6	0.339	0.459
36	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	32.2	0	12.6	0.414	0.563
37	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.5	0	7	0.037	0.056
38	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	16.3	0	10.2	0.094	0.132
39	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.5	0	10.4	0.077	0.107
40	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	16	0	10.4	0.092	0.129
41	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.5	0	10.4	0.059	0.082
42	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	16.5	0	10.6	0.100	0.138

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	z	H (m)	AGB	Biomasse totale
43	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15.5	0	10.4	0.087	0.122
44	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.2	0	10.2	0.064	0.089
45	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.5	0	10.2	0.076	0.106
46	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10	0	10.2	0.039	0.054
47	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14	0	10.2	0.071	0.099
48	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10	0	5.2	0.023	0.038
49	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.1	0	5.2	0.024	0.038
50	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.5	1	5.2	0.038	0.064
51	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15.5	0	10.2	0.086	0.120
52	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10	0	9.4	0.037	0.051
53	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.3	0	9.2	0.045	0.063
54	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.5	0	9.2	0.053	0.076
55	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.7	0	8.6	0.038	0.055
56	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.6	0	9	0.069	0.099
57	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.7	0	8.4	0.051	0.074
58	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15	0	8.6	0.069	0.101
59	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.2	0	8.6	0.055	0.080
60	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.1	0	10	0.062	0.087
61	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.5	0	10.2	0.058	0.081
62	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	26.5	0	12	0.272	0.372
63	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.2	0	5.6	0.029	0.047
64	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.9	0	7.8	0.037	0.054
65	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13	0	7.6	0.048	0.073
66	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11	0	7.6	0.036	0.054
67	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15	0	7.4	0.061	0.093
68	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.8	0	7.4	0.046	0.070
69	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.9	0	9	0.071	0.103
70	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.5	0	8.8	0.059	0.085
71	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.5	0	9.2	0.069	0.099
72	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15.3	0	9	0.075	0.108
73	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	18	0	9	0.100	0.147
74	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.5	0	7.2	0.038	0.056
75	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14	0	8.6	0.061	0.089
76	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.5	0	8.4	0.056	0.082
77	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	16	0	8.4	0.076	0.113
78	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	16.2	0	8.4	0.078	0.115
79	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	16.2	0	8.6	0.080	0.117
80	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15.5	0	8.8	0.075	0.109
81	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11	0	7.6	0.036	0.054
82	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13	0	7.6	0.048	0.073
83	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12	0	7.4	0.041	0.062
84	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15	0	10	0.079	0.112
85	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15.3	0	10	0.082	0.116

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	z	H (m)	AGB	Biomasse totale
86	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.5	0	10.2	0.076	0.106
87	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11	0	9.6	0.044	0.061
88	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.3	0	9.4	0.053	0.074
89	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	17.5	0	10.8	0.113	0.157
90	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.5	0	9.2	0.061	0.087
91	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.7	0	8.6	0.067	0.098
92	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.5	0	9	0.068	0.098
93	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15.3	0	8.8	0.073	0.107
94	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.7	0	9	0.061	0.088
95	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.5	0	9	0.060	0.086
96	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.7	0	8.6	0.045	0.064
97	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.7	0	8.6	0.045	0.064
98	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	16.3	0	9.8	0.091	0.129
99	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.7	0	9.4	0.064	0.091
100	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	20	0	9.4	0.127	0.184
101	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12	0	7.4	0.041	0.062
Biomasse t/625 m ²							10.57
Biomasse t/Hectare							169.04
Carbone t/Hectare							84.52

Buisson	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (CM)	H (m)	AGB (T)	Biomasse Total
1	prune d'ourse	<i>prunus usica</i>	7	5.8	0.004	0.006
2	prune d'ourse	<i>prunus usica</i>	6	5.8	0.003	0.004
3	prune d'ourse	<i>prunus usica</i>	4	5.2	0.001	0.002
4	prune d'ourse	<i>prunus usica</i>	4	5	0.001	0.002
5	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	7.5	4.2	0.005	0.007
6	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	9.5	6.2	0.011	0.016
7	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	4.5	3.4	0.001	0.002
8	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	6.5	6.4	0.005	0.008
9	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	2.6	3	0.000	0.001
10	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	4.5	3	0.001	0.002
11	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	9.5	3.8	0.007	0.010
12	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	6.2	4	0.003	0.004
Biomasse t/25 m ²						0.06
Biomasse t/625 m ²						1.59
Biomasse t/Hectare						25.38
Carbone t/Hectare						12.69

Placette numéro 43 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	H (m)	z	AGB	Biomasse totale
1	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15.7	7.2	1	0.083	0.145
2	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	17	7	1	0.101	0.174
3	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	16	6.2	1	0.086	0.151
6	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.3	5	1	0.066	0.118
7	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12	5	0	0.045	0.082
8	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12.1	5	1	0.046	0.083
9	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	18	6.7	1	0.116	0.198
10	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10	5.4	0	0.032	0.057
11	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	16	6.2	1	0.086	0.151
13	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.5	5.8	0	0.035	0.063
14	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.8	4	0	0.044	0.079
15	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12	3.4	0	0.045	0.082
16	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10	3.6	0	0.032	0.057
17	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.2	3.6	0	0.033	0.059
18	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.5	3.8	0	0.035	0.063
19	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10	3.6	0	0.032	0.057
20	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15	4.4	1	0.073	0.130
23	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10	4.8	0	0.032	0.057
24	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.3	4.2	0	0.033	0.060
25	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10	4	0	0.032	0.057
26	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12	4.2	0	0.045	0.082
27	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12	4.2	0	0.045	0.082
28	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11	4	0	0.038	0.069
29	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12	4.8	0	0.045	0.082
30	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12.5	5	1	0.049	0.089
31	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10	4.6	0	0.032	0.057
32	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.5	5.4	0	0.042	0.075
33	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.2	4.6	0	0.033	0.059
34	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11	4.6	0	0.038	0.069
35	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15	5.4	1	0.073	0.130
36	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.6	5.2	0	0.035	0.064
39	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12.2	6.4	1	0.047	0.085
40	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.4	5.2	0	0.034	0.062
42	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12.5	6.2	1	0.049	0.089
43	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12.2	5.4	1	0.047	0.085
44	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.5	5	0	0.035	0.063
45	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.3	5.2	0	0.040	0.073
46	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15.5	6.2	1	0.080	0.141
47	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12	5.6	0	0.045	0.082
48	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10	5.4	0	0.032	0.057
49	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.5	7	1	0.068	0.122
50	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13	7	1	0.053	0.096
51	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.5	7	0	0.035	0.063
52	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	17	7.4	1	0.101	0.175
53	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12	5.8	0	0.045	0.082
54	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14	6	1	0.063	0.112

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	H (m)	z	AGB	Biomasse totale
55	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11	5.4	0	0.038	0.069
56	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.5	5.6	0	0.035	0.063
57	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11	5.8	0	0.038	0.069
58	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12.2	6	1	0.047	0.085
60	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.2	7	1	0.065	0.116
61	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.5	6.2	1	0.068	0.121
62	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13	6.2	1	0.053	0.096
67	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.2	6.4	1	0.065	0.116
68	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15.1	5.8	1	0.075	0.132
69	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.4	5.4	1	0.057	0.103
70	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.7	7.2	1	0.070	0.125
71	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	16	7	1	0.087	0.152
72	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15	6.2	1	0.074	0.131
74	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.3	5	1	0.056	0.101
75	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11	5	0	0.038	0.069
76	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.1	5	0	0.039	0.070
77	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	17	6.7	1	0.100	0.174
78	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15	6.2	1	0.074	0.131
79	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.8	4	0	0.037	0.066
80	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11	3.4	0	0.038	0.069
81	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14	4.4	1	0.062	0.112
83	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11	4.2	0	0.038	0.069
84	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11	4.2	0	0.038	0.069
85	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10	4	0	0.032	0.057
86	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11	4.8	0	0.038	0.069
87	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.5	5	0	0.042	0.075
88	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.5	5.4	0	0.035	0.063
89	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10	4.6	0	0.032	0.057
90	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14	5.4	1	0.063	0.112
93	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.2	6.4	0	0.040	0.071
95	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.5	6.2	0	0.042	0.075
96	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.2	5.4	0	0.040	0.071
97	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.3	5.2	0	0.033	0.060
98	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.5	6.2	1	0.068	0.121
99	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11	5.6	0	0.038	0.069
100	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.5	7	1	0.058	0.104
101	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12	7	0	0.045	0.082
102	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	16	7.4	1	0.087	0.152
103	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11	5.8	0	0.038	0.069
104	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13	6	1	0.053	0.096
105	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10	5.4	0	0.032	0.057
106	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10	5.8	0	0.032	0.057
107	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.2	6	0	0.040	0.071
108	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.2	7	1	0.055	0.099
109	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.5	6.2	1	0.058	0.104
110	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12	6.2	0	0.045	0.082
113	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.2	6.4	1	0.055	0.099

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	H (m)	z	AGB	Biomasse totale
114	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.1	5.8	1	0.064	0.114
115	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12.4	5.4	1	0.048	0.088
116	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	17	6.2	1	0.100	0.173
118	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15.3	5	1	0.076	0.136
119	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13	5	1	0.053	0.096
120	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	19	6.6	1	0.133	0.225
121	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11	5.4	0	0.038	0.069
122	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	17	6.2	1	0.100	0.173
123	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.5	5.8	0	0.042	0.075
124	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12.8	4	1	0.052	0.093
125	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13	3.4	1	0.053	0.096
126	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.2	3.6	0	0.040	0.071
128	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.3	4.2	0	0.040	0.073
129	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11	4	0	0.038	0.069
130	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13	4.8	1	0.053	0.096
131	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.5	5	1	0.058	0.104
132	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.2	4.6	0	0.040	0.071
133	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	16	5.4	1	0.085	0.150
136	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.4	5.2	0	0.041	0.074
137	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.5	6.2	1	0.058	0.104
138	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.2	5.4	1	0.055	0.099
139	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13	5.6	1	0.053	0.096
140	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15.5	7	1	0.080	0.141
141	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14	7	1	0.063	0.113
142	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	18	7.4	1	0.117	0.200
143	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13	5.8	1	0.053	0.096
144	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.5	5.6	0	0.042	0.075
145	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13.2	6	1	0.055	0.099
147	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15.2	7	1	0.076	0.135
148	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15.5	6.2	1	0.080	0.141
151	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15.2	6.4	1	0.076	0.135
152	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	16.1	5.8	1	0.087	0.153
4	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.5	6	0	0.034	0.044
5	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15.4	6.2	1	0.075	0.088
12	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10	4.6	0	0.023	0.036
21	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10	3.6	0	0.018	0.032
22	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12	5.2	0	0.038	0.052
37	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.2	5.2	0	0.033	0.046
38	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11	6	0	0.037	0.047
41	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11	5.6	0	0.035	0.046
59	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.6	5.8	0	0.033	0.044
63	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.1	6	1	0.061	0.074
64	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.5	6.6	1	0.071	0.082
65	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10	6	0	0.031	0.040
66	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10	5.8	0	0.030	0.039
73	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.4	6.2	1	0.066	0.078
82	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11	5.2	0	0.032	0.044

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	H (m)	z	AGB	Biomasse totale
91	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.2	5.2	0	0.028	0.039
92	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10	6	0	0.031	0.040
94	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10	5.6	0	0.029	0.039
111	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.1	6	1	0.053	0.065
112	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.5	6.6	1	0.061	0.072
117	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	16.4	6.2	1	0.085	0.099
127	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11	3.6	0	0.022	0.038
134	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12.2	5.2	1	0.040	0.053
135	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	12	6	0	0.044	0.055
146	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	11.6	5.8	0	0.040	0.051
149	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15.1	6	1	0.070	0.084
150	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15.5	6.6	1	0.081	0.093
Biomasse t/625 m ²							13.60
Biomasse t/Hectare							217.67
Carbone t/Hectare							108.83

Buisson	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (CM)	H (m)	AGB (T)	Biomasse Total
1	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	8	2.8	0.0034	0.0052
2	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	9.5	5	0.0086	0.0132
3	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	7	5.6	0.0052	0.0080
4	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	3.5	5	0.0012	0.0018
5	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	8.5	4	0.0055	0.0084
6	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	4.5	2	0.0008	0.0012
7	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	6	2	0.0014	0.0021
8	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	2.5	1.8	0.0002	0.0003
9	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	6	3.8	0.0026	0.0040
10	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	6	3.6	0.0025	0.0038
11	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	5	4	0.0019	0.0029
12	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	2	2.6	0.0002	0.0003
Biomasse t/25 m ²						0.05
Biomasse t/625 m ²						1.28
Biomasse t/Hectare						20.52
Carbone t/Hectare						10.26

Placette numéro 44 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	H (m)	z	AGB	Biomasse totale
1	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12	4.8	0	0.045	0.082
6	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.9	4.8	0	0.045	0.081
11	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12.1	4.8	1	0.046	0.083
16	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.8	4.8	0	0.044	0.079
21	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12.2	4.8	1	0.047	0.085
26	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.7	4.8	0	0.043	0.078

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	H (m)	z	AGB	Biomasse totale
31	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12.3	4.8	1	0.048	0.086
36	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.6	4.6	0	0.042	0.077
41	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12.4	5	1	0.048	0.088
46	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.5	4.6	0	0.042	0.075
51	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12.5	5	1	0.049	0.089
56	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.4	4.6	0	0.041	0.074
61	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12.6	5	1	0.050	0.090
66	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.3	4.4	0	0.040	0.073
71	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12	5.2	0	0.045	0.082
2	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14	6	1	0.060	0.073
3	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.2	5.8	1	0.060	0.074
4	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15.3	6.2	1	0.074	0.087
5	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	16.1	6.6	1	0.087	0.099
7	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.9	6	1	0.059	0.072
8	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.1	5.8	1	0.059	0.073
9	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15.2	6.2	1	0.073	0.086
10	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	16	6.6	1	0.086	0.098
12	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.1	6	1	0.061	0.074
13	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.3	5.8	1	0.061	0.075
14	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15.4	6.2	1	0.075	0.088
15	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	16.2	6.6	1	0.088	0.100
17	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.8	6	1	0.058	0.071
18	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14	5.8	1	0.058	0.072
19	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15.1	6.2	1	0.072	0.085
20	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15.9	6.6	1	0.085	0.097
22	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.2	6	1	0.062	0.075
23	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.4	5.8	1	0.061	0.076
24	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15.5	6.2	1	0.076	0.089
25	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	16.3	6.6	1	0.090	0.102
27	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.7	6	1	0.057	0.070
28	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.9	5.8	1	0.057	0.071
29	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15	6.2	1	0.071	0.084
30	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15.8	6.6	1	0.084	0.096
32	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.3	6	1	0.063	0.076
33	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.5	5.8	1	0.062	0.077
34	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15.6	6.2	1	0.077	0.091
35	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	16.4	6.6	1	0.091	0.103
37	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.6	5.8	1	0.055	0.068
38	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.8	5.6	1	0.054	0.069
39	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.9	6	1	0.068	0.082
40	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15.7	6.4	1	0.081	0.093
42	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.4	6.2	1	0.066	0.078
43	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.6	6	1	0.065	0.079
44	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15.7	6.4	1	0.081	0.093
45	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	16.5	6.8	1	0.095	0.106
47	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.5	5.8	1	0.054	0.067
48	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.7	5.6	1	0.054	0.068

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	H (m)	z	AGB	Biomasse totale
49	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.8	6	1	0.067	0.081
50	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15.6	6.4	1	0.080	0.092
52	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.5	6.2	1	0.067	0.079
53	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.7	6	1	0.066	0.080
54	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15.8	6.4	1	0.082	0.094
55	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	16.6	6.8	1	0.096	0.107
57	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.4	5.8	1	0.053	0.066
58	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.6	5.6	1	0.053	0.067
59	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.7	6	1	0.066	0.080
60	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15.5	6.4	1	0.078	0.091
62	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.6	6.2	1	0.067	0.080
63	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.8	6	1	0.067	0.081
64	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15.9	6.4	1	0.083	0.095
65	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	16.7	6.8	1	0.097	0.108
67	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.3	5.6	1	0.051	0.064
68	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	13.5	5.4	1	0.050	0.065
69	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.6	5.8	1	0.063	0.077
70	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15.4	6.2	1	0.075	0.088
72	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14	6.4	1	0.064	0.076
73	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	14.2	6.2	1	0.064	0.076
74	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	15.3	6.6	1	0.079	0.090
75	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	16.1	7	1	0.093	0.103
Biomasse t/625 m ²							6.20
Biomasse t/Hectare							99.20
Carbone t/Hectare							49.60

Buisson	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (CM)	H (m)	AGB (T)	Biomasse Totale
1	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	2.2	2.8	0.0003	0.0004
2	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	2.4	2.8	0.0003	0.0005
3	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	2.6	3.2	0.0004	0.0006
4	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	2.7	3.2	0.0004	0.0007
5	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	2.8	3.4	0.0005	0.0008
6	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	2.4	3	0.0003	0.0005
7	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	2.5	3.4	0.0004	0.0006
8	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	2.7	3.6	0.0005	0.0008
9	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	2.6	3.4	0.0004	0.0007
10	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	2.7	3.6	0.0005	0.0008
11	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	4	3.6	0.0011	0.0017
12	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	5.2	3.2	0.0017	0.0025
13	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	5.5	3.4	0.0020	0.0030
14	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	8	4.2	0.0051	0.0079
15	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	5.4	3.6	0.0020	0.0031
16	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	6.7	3.8	0.0033	0.0050
17	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	6	3.8	0.0026	0.0040

Buisson	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (CM)	H (m)	AGB (T)	Biomasse Totale
18	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	6.1	3.8	0.0027	0.0041
19	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	4.5	4.2	0.0016	0.0025
20	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	4.7	3.4	0.0014	0.0022
21	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	9	4.2	0.0065	0.0099
22	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	7.6	4.2	0.0046	0.0071
23	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	7.4	3.8	0.0040	0.0061
24	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	3.3	3.2	0.0007	0.0010
25	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	3.4	3.2	0.0007	0.0011
26	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	3.6	3.4	0.0008	0.0013
27	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	3.8	3.4	0.0009	0.0014
28	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	3.2	3.2	0.0006	0.0010
29	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	4.6	3.8	0.0015	0.0023
Biomasse t/25 m ²						0.07
Biomasse t/625 m ²						1.84
Biomasse t/Hectare						29.38
Carbone t/Hectare						14.69

Placette numéro 45 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (cm)	C(m)	H (m)	z	AGB	Biomasse totale
5	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.1	0.32	6.4	0	0.032	0.058
6	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.5	0.33	6.2	0	0.035	0.063
9	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11	0.35	3.6	0	0.038	0.069
22	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	10.2	0.32	5.6	0	0.033	0.059
3	Chêne Infectoria	<i>Quercus infectoria</i>	10.5	0.33	8.2	0	0.046	0.052
20	Olivier	<i>Olea oropeana</i>	10.2	0.32	5.4	0	0.040	0.055
19	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	12.5	0.39	6.6	0	0.039	0.051
23	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	12.7	0.40	7.4	0	0.041	0.054
1	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	38.8	1.22	12	0	0.712	0.843
2	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	31.1	0.98	11.2	0	0.420	0.497
4	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	29.5	0.93	12.4	0	0.379	0.448
7	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	26.8	0.84	12.8	0	0.305	0.360
8	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	26.3	0.83	12.4	0	0.290	0.343
10	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	30.7	0.96	13	0	0.419	0.496
11	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	22.4	0.70	12	0	0.198	0.234
12	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	30.8	0.97	12.2	0	0.417	0.494
13	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	22.9	0.72	12	0	0.209	0.247
14	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	18	0.57	12.2	0	0.119	0.141
15	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	26.7	0.84	12.6	0	0.301	0.356
16	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	30	0.94	13.2	0	0.398	0.471
17	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	29.5	0.93	12	0	0.376	0.445
18	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	22.5	0.71	10.8	0	0.196	0.232
21	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	42	1.32	12.2	0	0.860	1.017
Biomasse t/625 m ²								7.09
Biomasse t/Hectare								113.36
Carbone t/Hectare								56.68

Buisson	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (CM)	H (m)	AGB (T)	Biomasse total
1	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	4.7	3.6	0.002	0.002
2	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	2	3.4	0.000	0.000
3	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	2.5	3.4	0.000	0.001
4	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	6	3.6	0.002	0.004
5	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	2.2	2.8	0.000	0.000
6	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	4.4	3.4	0.001	0.002
7	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	6.7	3.4	0.003	0.004
8	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	4.7	3	0.001	0.002
9	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	7.4	3.8	0.004	0.006
10	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	4.4	3.2	0.001	0.002
11	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	9.3	4	0.007	0.010
12	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	2.7	3.4	0.000	0.001
13	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	5	3.2	0.002	0.002
14	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	6.5	3.6	0.003	0.004
15	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	4.7	3.4	0.001	0.002
16	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	4.5	3.4	0.001	0.002
Biomasse t/25 m ²						0.05
Biomasse t/625 m ²						1.14
Biomasse t/Hectare						18.22
Carbone t/Hectare						9.11

Placette numéro 46 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (CM)	C (m)	H (m)	AGB (T)	Biomasse total
1	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	29.8	0.94	12	0.39	0.46
2	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	36	1.13	11.2	0.59	0.70
3	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	17.8	0.56	8.2	0.11	0.13
4	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	39.8	1.25	13.8	0.78	0.92
5	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	27.5	0.86	12.2	0.32	0.38
6	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	29.8	0.94	11.8	0.38	0.45
7	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	26	0.82	12.6	0.28	0.33
8	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	40	1.26	14.6	0.79	0.94
9	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	33.7	1.06	15.8	0.54	0.64
10	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	29.5	0.93	12.6	0.38	0.45
11	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	38.5	1.21	16.2	0.74	0.88
12	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	31	0.97	15.4	0.44	0.52
13	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	38.2	1.20	15.8	0.72	0.86
14	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	27.5	0.86	14.2	0.33	0.39
15	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	36.5	1.15	14.4	0.64	0.76
16	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	30.5	0.96	13.6	0.42	0.49
17	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	19.5	0.61	9.4	0.14	0.16
18	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	46.8	1.47	16.4	1.17	1.38
19	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	37	1.16	15.2	0.67	0.79
20	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	41.5	1.30	16.2	0.88	1.04
21	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	41.4	1.30	16	0.88	1.04

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (CM)	C (m)	H (m)	AGB (T)	Biomasse total
22	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	4.6	0.14	16.4	0.01	0.01
23	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	30.5	0.96	13.2	0.41	0.49
24	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	42.5	1.34	14.4	0.91	1.08
25	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	32.7	1.03	15	0.50	0.59
Biomasse t/625 m ²							15.88
Biomasse t/Hectare							254.01
Carbone t/Hectare							127.01

Placette numéro 47 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (CM)	C (m)	H (m)	AGB (T)	Biomasse Totale
1	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	39	1.23	12.8	0.7298	0.864
2	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	32	1.01	11.4	0.4503	0.533
3	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	4	0.13	13.4	0.0037	0.004
4	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	38.5	1.21	14	0.7204	0.853
5	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	35	1.10	13.2	0.5705	0.675
6	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	41.5	1.30	13.8	0.8557	1.013
7	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	33	1.04	12	0.4885	0.578
8	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	50.4	1.58	13.6	1.3419	1.588
9	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	34.6	1.09	12.4	0.5489	0.650
10	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	39	1.23	13.2	0.7341	0.869
11	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	25.2	0.79	0.6	0.1475	0.175
12	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	24.8	0.78	0.6	0.1421	0.168
Biomasse t/625 m ²							7.97
Biomasse t/Hectare							127.49
Carbone t/Hectare							63.75

Placette numéro 48 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (CM)	H (m)	z	AGB (T)	Biomasse Totale
1	Platane d'Orient	<i>Plantanus orientalis</i>	42.3	18.6	1	0.924	1.201
2	Platane d'Orient	<i>Plantanus orientalis</i>	43.5	19.2	1	0.986	1.281
3	Platane d'Orient	<i>Plantanus orientalis</i>	32.4	18.4	1	0.613	0.797
4	Platane d'Orient	<i>Plantanus orientalis</i>	27.1	20.6	1	0.507	0.659
5	Aulne d'Orient	<i>Alnus orientalis</i>	20.6	6	1	0.077	0.168
6	Aulne d'Orient	<i>Alnus orientalis</i>	27.2	8.3	1	0.168	0.326
7	Platane d'Orient	<i>Plantanus orientalis</i>	29.3	20.6	1	0.570	0.741
8	Platane d'Orient	<i>Plantanus orientalis</i>	31.4	20.6	1	0.633	0.823
9	Aulne d'Orient	<i>Alnus orientalis</i>	22.6	13.2	1	0.172	0.281
10	Platane d'Orient	<i>Plantanus orientalis</i>	32.1	19	1	0.618	0.804
11	Platane d'Orient	<i>Plantanus orientalis</i>	41.7	21	1	0.985	1.280
12	Aulne d'Orient	<i>Alnus orientalis</i>	15.2	7.2	1	0.050	0.099
13	Platane d'Orient	<i>Plantanus orientalis</i>	24.4	18.6	1	0.403	0.523
14	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	15.4	7.8	1	0.079	0.139

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (CM)	H (m)	z	AGB (T)	Biomasse Totale
15	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11.3	7.6	0	0.040	0.073
16	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	13	7.6	1	0.055	0.097
17	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	11	6.8	0	0.038	0.069
18	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	14.5	7.8	1	0.068	0.122
19	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	12.2	7	1	0.047	0.085
Biomasse t/625 m ²							9.57
Biomasse t/Hectare							153.12
Carbone t/Hectare							76.56

Placette numéro 49 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (CM)	C (m)	H (m)	AGB (T)	Biomasse Totale
1	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	24.5	0.77	9.8	0.23	0.28
2	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	28.8	0.90	9.6	0.34	0.40
3	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	27.5	0.86	9.2	0.30	0.36
4	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	19.5	0.61	9.2	0.14	0.16
5	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	21.2	0.67	10	0.17	0.20
6	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	26.5	0.83	11.2	0.29	0.34
7	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	23	0.72	10.4	0.20	0.24
8	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	20.5	0.64	11.6	0.16	0.19
9	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	21.2	0.67	11	0.17	0.20
10	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	21.7	0.68	9.6	0.18	0.21
11	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	27	0.85	11.8	0.31	0.36
12	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	24.5	0.77	11.4	0.24	0.29
13	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	34.5	1.08	11.2	0.53	0.63
14	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	29.5	0.93	9.6	0.36	0.43
15	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	26.5	0.83	7.8	0.27	0.32
16	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	31.4	0.99	9.2	0.41	0.49
17	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	24.5	0.77	8.8	0.23	0.27
18	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	32.5	1.02	8.4	0.44	0.52
19	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	18.3	0.57	9	0.12	0.14
20	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	25.5	0.80	9.2	0.25	0.30
21	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	23.7	0.74	8.6	0.21	0.25
22	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	21.9	0.69	9.6	0.18	0.21
23	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	20.9	0.66	9.2	0.16	0.19
24	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	28.5	0.90	10.6	0.34	0.40
25	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	21.5	0.68	9.4	0.17	0.20
26	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	21.4	0.67	9.2	0.17	0.20
27	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	22.7	0.71	11	0.20	0.24
28	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	21.4	0.67	9.2	0.17	0.20
29	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	26.4	0.83	9.6	0.28	0.33
30	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	25.3	0.79	9.2	0.25	0.30
31	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	28.6	0.90	9.2	0.33	0.39
32	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	26.4	0.83	9.6	0.28	0.33
33	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	13.5	0.42	7.8	0.06	0.07

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (CM)	C (m)	H (m)	AGB (T)	Biomasse Totale
34	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	20.3	0.64	9.4	0.15	0.18
35	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	20.6	0.65	8.6	0.15	0.18
36	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	28.6	0.90	8.2	0.33	0.39
37	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	17.7	0.56	6.6	0.10	0.12
38	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	31.7	1.00	9	0.42	0.50
39	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	13.5	0.42	6.8	0.05	0.06
40	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	25.4	0.80	8.2	0.25	0.29
41	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	20.2	0.63	8.4	0.15	0.17
42	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	26	0.82	8.4	0.26	0.31
43	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	18.7	0.59	8	0.12	0.14
44	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	29	0.91	8.6	0.34	0.40
45	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	22	0.69	8	0.18	0.21
46	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	27.3	0.86	9.4	0.30	0.35
47	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	21.5	0.68	8.8	0.17	0.20
48	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	22.3	0.70	9.2	0.19	0.22
49	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	21.4	0.67	9.2	0.17	0.20
50	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	28	0.88	8.6	0.31	0.37
51	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	25.6	0.80	9.2	0.26	0.30
52	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	31	0.97	9.6	0.40	0.48
53	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	17.5	0.55	8.6	0.10	0.12
54	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	25	0.79	9.4	0.24	0.29
55	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	10.7	0.34	5.2	0.03	0.04
56	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	26.5	0.83	9.2	0.28	0.33
57	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	33.7	1.06	9.6	0.49	0.58
58	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	25.5	0.80	9.4	0.26	0.30
59	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	23	0.72	9.2	0.20	0.24
60	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	18	0.57	7.6	0.11	0.13
61	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	20	0.63	7.6	0.14	0.17
62	Pin pignon	<i>Pinus pinea</i>	19	0.60	7.4	0.12	0.15
Biomasse t/625 m ²							17.07
Biomasse t/Hectare							273.15
Carbone t/Hectare							136.58

Placette numéro 50 :

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (CM)	H (m)	AGB (T)	Biomasse Totale
1	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	19	12	0.110	0.145
2	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	21.2	12.4	0.143	0.187
3	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	22.5	9.4	0.149	0.195
4	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	18.2	9.2	0.092	0.121
5	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	15.7	10.4	0.070	0.091
6	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	18.5	8.4	0.094	0.123
7	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	17.2	11.6	0.088	0.115
8	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	27.4	14.2	0.266	0.349

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (CM)	H (m)	AGB (T)	Biomasse Totale
9	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	17	11.4	0.085	0.111
10	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	19.2	12	0.113	0.148
11	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	20.5	9	0.120	0.156
12	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	16.2	8.8	0.071	0.093
13	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	13.7	10	0.052	0.068
14	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	16.5	8	0.072	0.094
15	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	15.2	11	0.066	0.087
16	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	25.4	13.8	0.222	0.291
17	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	18	11.8	0.098	0.128
18	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	20.2	12.4	0.128	0.168
19	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	21.5	9.2	0.134	0.175
20	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	17.2	9	0.081	0.106
21	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	14.7	10.4	0.061	0.079
22	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	17.5	8.4	0.083	0.108
23	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	16.2	11.2	0.076	0.100
24	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	26.4	14	0.244	0.319
25	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	18.5	11.2	0.102	0.133
26	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	20.7	12.4	0.135	0.177
27	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	22	9.2	0.141	0.184
28	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	17.7	9	0.086	0.113
29	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	15.2	10.2	0.065	0.085
30	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	18	8.2	0.088	0.115
31	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	16.7	11	0.081	0.106
32	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	26.9	14.2	0.256	0.335
33	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	21	12.4	0.140	0.183
34	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	23.2	12.8	0.176	0.231
35	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	24.5	9.8	0.182	0.238
36	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	20.2	9.6	0.118	0.154
37	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	17.7	10.8	0.091	0.119
38	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	20.5	8.8	0.119	0.156
39	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	19.2	12	0.113	0.148
40	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	29.6	14.6	0.320	0.419
41	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	20	12.2	0.124	0.163
42	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	22.2	12.6	0.159	0.208
43	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	23.5	9.6	0.165	0.216
44	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	19.2	9.4	0.105	0.137
45	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	16.7	10.6	0.080	0.105
46	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	19.5	8.6	0.106	0.138
47	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	18.2	11.8	0.100	0.131
48	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	28.4	14.4	0.290	0.380
49	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	19.5	12	0.117	0.153
50	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	21.7	12.4	0.150	0.196
51	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	23	9.4	0.156	0.205
52	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	18.7	9.2	0.098	0.128
53	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	16.2	10.4	0.074	0.097
54	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	19	8.4	0.099	0.130
55	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	17.7	11.6	0.093	0.122

Arbre	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (CM)	H (m)	AGB (T)	Biomasse Totale
56	Pin brutia	<i>Pinus brutia</i>	27.3	14.2	0.264	0.346
Biomasse t/625 m ²						9.31
Biomasse t/Hectare						148.89
Carbone t/Hectare						74.45

Buisson	Nom Commun	Nom Latin	Dbh (CM)	H (m)	AGB (T)	Biomasse Totale
1	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	4.2	3.4	0.001	0.002
2	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	3	3.4	0.001	0.001
3	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	2.7	3.4	0.000	0.001
4	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	5	3.6	0.002	0.003
5	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	4.8	3.6	0.002	0.002
6	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	3.8	3.4	0.001	0.001
7	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	7	3.4	0.003	0.005
8	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	6.4	3	0.002	0.004
9	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	3.4	3.2	0.001	0.001
10	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	4.1	3.2	0.001	0.002
11	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	3	3.2	0.001	0.001
12	Chêne Caliprine	<i>Quercus caliprinos</i>	5.6	3.4	0.002	0.003
Biomasse t /25 m ²						0.02
Biomasse t/625 m ²						0.62
Biomasse t/Hectare						9.97
Carbone t/Hectare						4.99

Annexe XIV : Tableau de corrélation

Tableau 38: Corrélation entre les différent variable

Variables	OM T/ha	MO%	Litière T/ha	Biomasse herbacée T/ha	Biomasse arbusive T/ha	Biomasse arborée T/ha
OM T/ha	1	0.211	-0.045	0.377	-0.261	0.153
MO%	0.211	1	0.159	-0.305	0.237	-0.328
Litière T/ha	-0.045	0.159	1	-0.156	0.407	0.069
Végétation herbacée T/ha	0.377	-0.305	-0.156	1	-0.175	-0.030
Biomasse arbusive T/ha	-0.261	0.237	0.407	-0.175	1	-0.035
Biomasse arborée T/ha	0.153	-0.328	0.069	-0.030	-0.035	1
Biomasse arborée et arbusive T/ha	0.085	-0.290	0.155	-0.077	0.181	0.964
Altitude	-0.003	0.070	0.314	0.191	0.043	-0.164
Pente en degré en degré	-0.288	0.024	0.047	-0.103	0.022	-0.144
Exposition	-0.225	0.032	0.170	-0.113	0.136	0.139
Précipitation moyenne	0.156	0.065	0.143	0.388	-0.095	-0.069
Sable	0.067	-0.779	-0.086	0.370	-0.245	0.416
Limon	0.023	0.488	-0.004	-0.231	0.064	-0.237
Argile	-0.112	0.743	0.094	-0.336	0.282	-0.416
épaisseur de l'horizon O cm	0.285	0.212	0.214	-0.130	0.175	0.404
épaisseur de l'horizon A cm	0.243	-0.522	-0.097	0.480	-0.474	0.134
épaisseur de l'horizon B cm	0.261	-0.499	-0.122	0.351	-0.249	0.353
épaisseur de l'horizon C cm	0.321	-0.491	-0.113	0.361	-0.245	0.216
profondeur du profile cm	0.442	-0.562	-0.172	0.483	-0.362	0.321
profondeur pour l'estimation de MO	0.565	-0.502	-0.131	0.403	-0.321	0.305
Masse du sol t/ha	0.592	-0.622	-0.141	0.535	-0.402	0.343
Densité des particules fine	0.430	-0.540	-0.094	0.421	-0.418	0.254
Densité du sol	0.411	-0.487	-0.170	0.419	-0.473	0.099
PH	-0.285	0.278	0.229	-0.349	0.090	-0.208
Conductivité mS/cm	-0.020	0.712	0.228	-0.418	0.285	-0.144
CaCO3 % Total	-0.136	0.613	0.090	-0.312	0.208	-0.286
CaCO3 % Active	-0.210	0.577	0.083	-0.288	0.248	-0.299
N%	0.171	0.989	0.139	-0.312	0.226	-0.326
N kg/ha	0.982	0.177	-0.103	0.392	-0.271	0.158
P2O5 Olsen kg/ha	0.254	0.417	0.261	-0.059	-0.009	-0.136
K2O kg/ha	0.433	0.466	0.048	0.017	0.038	-0.067
Na kg/ha	0.687	-0.237	-0.096	0.385	-0.158	0.212
Mg kg/ha	0.208	-0.220	-0.052	0.105	-0.432	0.032
Ca kg/ha	0.517	0.584	0.184	-0.021	0.136	-0.128
Fer kg/ha	0.182	-0.444	-0.044	0.226	-0.215	0.194
P2O5 Olsen ppm	-0.104	0.651	0.288	-0.321	0.215	-0.282
K2O ppm	-0.078	0.756	0.170	-0.339	0.319	-0.299
Na ppm	-0.177	0.698	0.164	-0.372	0.444	-0.375
Mg ppm	-0.122	0.212	0.023	-0.246	-0.148	-0.170
Ca ppm	-0.109	0.820	0.290	-0.400	0.405	-0.372
Fer ppm	-0.144	-0.167	0.043	-0.008	0.012	-0.021
Cailloux poids en g	-0.193	0.231	-0.056	-0.155	0.057	-0.219
Pourcentage de cailloux pondéral	-0.297	0.329	-0.021	-0.239	0.165	-0.248

Variables	Biomasse arborée et arbustive T/ha	Altitude	Pente en degré	Exposition	Précipitation Moyenne	Sable%	Limon%
OM T/ha	0.085	-0.003	-0.288	-0.225	0.156	0.067	0.023
MO%	-0.290	0.070	0.024	0.032	0.065	-0.779	0.488
Litière T/ha	0.155	0.314	0.047	0.170	0.143	-0.086	-0.004
Végétation herbacée T/ha	-0.077	0.191	-0.103	-0.113	0.388	0.370	-0.231
Biomasse arbustive T/ha	0.181	0.043	0.022	0.136	-0.095	-0.245	0.064
Biomasse arborée T/ha	0.964	-0.164	-0.144	0.139	-0.069	0.416	-0.237
Biomasse arborée et arbustive T/ha	1	-0.156	-0.156	0.148	-0.097	0.372	-0.222
Altitude	-0.156	1	-0.111	-0.139	0.823	-0.092	0.199
Pente en degré	-0.156	-0.111	1	0.320	-0.019	-0.032	-0.081
Exposition	0.148	-0.139	0.320	1	-0.086	-0.034	0.072
Précipitation moyenne	-0.097	0.823	-0.019	-0.086	1	0.005	0.042
Sable	0.372	-0.092	-0.032	-0.034	0.005	1	-0.635
Limon	-0.222	0.199	-0.081	0.072	0.042	-0.635	1
Argile	-0.364	0.030	0.039	0.015	-0.021	-0.966	0.461
épaisseur de l'horizon O cm	0.440	-0.098	-0.006	-0.039	-0.043	-0.055	0.139
épaisseur de l'horizon A cm	0.045	0.167	0.029	-0.174	0.227	0.518	-0.153
épaisseur de l'horizon B cm	0.313	0.040	0.020	0.008	0.108	0.603	-0.329
épaisseur de l'horizon C cm	0.161	0.133	0.132	-0.166	0.201	0.581	-0.315
profondeur du profile cm	0.250	0.083	0.014	-0.199	0.173	0.652	-0.344
profondeur pour l'estimation de MO	0.245	-0.036	-0.042	-0.273	0.066	0.563	-0.388
Masse du sol t/ha	0.254	-0.001	-0.225	-0.213	0.123	0.655	-0.372
Densité des particule fine	0.152	0.076	-0.284	-0.052	0.180	0.555	-0.182
Densité du sol	0.001	0.172	-0.151	-0.042	0.228	0.529	-0.164
PH	-0.200	-0.079	0.230	-0.042	-0.237	-0.388	0.123
Conductivité mS/cm	-0.073	-0.023	-0.102	0.048	-0.110	-0.707	0.510
CaCO3 % Total	-0.245	-0.027	-0.059	0.022	-0.158	-0.682	0.435
CaCO3 % Active	-0.248	-0.097	-0.076	0.020	-0.232	-0.642	0.380
N%	-0.288	0.066	0.039	0.096	0.068	-0.787	0.530
N kg/ha	0.092	-0.018	-0.254	-0.174	0.158	0.072	0.034
P2O5 Olsen kg/ha	-0.117	0.129	-0.261	-0.198	-0.026	-0.311	0.319
K2O kg/ha	-0.062	-0.022	-0.187	-0.167	0.127	-0.545	0.296
Na kg/ha	0.164	0.150	-0.282	-0.242	0.168	0.242	-0.072
Mg kg/ha	-0.044	0.013	0.024	-0.116	0.124	0.091	0.073
Ca kg/ha	-0.101	0.077	-0.322	-0.253	0.038	-0.596	0.252
Fer kg/ha	0.136	0.031	-0.213	-0.157	-0.033	0.337	-0.102
P2O5 Olsen ppm	-0.215	0.076	-0.106	-0.002	-0.084	-0.613	0.476
K2O ppm	-0.221	0.009	-0.033	0.016	0.040	-0.837	0.451
Na ppm	-0.297	0.179	0.027	0.090	-0.008	-0.756	0.477
Mg ppm	-0.193	0.005	0.161	-0.005	0.025	-0.335	0.294
Ca ppm	-0.279	0.077	-0.085	0.017	-0.034	-0.823	0.382
Fer ppm	-0.029	0.043	-0.148	-0.067	-0.113	0.031	0.101
Cailloux poids en g	-0.189	0.142	0.235	0.050	0.104	-0.203	0.086
Pourcentage de cailloux pondéral	-0.199	0.095	0.277	0.073	0.034	-0.311	0.127

Variables	Argile	épaisseur de l'horizon O cm	épaisseur Horizon A cm	épaisseur Horizon B cm	Épaisseur Horizon C cm
OM T/ha	-0.112	0.285	0.243	0.261	0.321
MO%	0.743	0.212	-0.522	-0.499	-0.491
Litière T/ha	0.094	0.214	-0.097	-0.122	-0.113
Végétation herbacée T/ha	-0.336	-0.130	0.480	0.351	0.361
Biomasse Arbustive T/ha	0.282	0.175	-0.474	-0.249	-0.245
Biomasse Arborée T/ha	-0.416	0.404	0.134	0.353	0.216
Biomasse Arborée et arbustive T/ha	-0.364	0.440	0.045	0.313	0.161
Altitude	0.030	-0.098	0.167	0.040	0.133
Pente en degré	0.039	-0.006	0.029	0.020	0.132
Exposition	0.015	-0.039	-0.174	0.008	-0.166
Précipitation Moyenne	-0.021	-0.043	0.227	0.108	0.201
Sable	-0.966	-0.055	0.518	0.603	0.581
Limon	0.461	0.139	-0.153	-0.329	-0.315
Argile	1	0.037	-0.577	-0.640	-0.601
épaisseur de l'horizon O cm	0.037	1	-0.094	0.107	0.101
épaisseur de l'horizon A cm	-0.577	-0.094	1	0.405	0.581
épaisseur de l'horizon B cm	-0.640	0.107	0.405	1	0.574
épaisseur de l'horizon C cm	-0.601	0.101	0.581	0.574	1
profondeur du profile cm	-0.690	0.133	0.720	0.785	0.897
profondeur pour l'estimation de MO	-0.582	0.127	0.561	0.677	0.758
Masse du sol t/ha	-0.663	0.043	0.593	0.594	0.662
Densité des particule fine	-0.581	-0.035	0.443	0.394	0.390
Densité du sol	-0.571	-0.117	0.456	0.410	0.559
pH	0.367	-0.104	-0.302	-0.251	-0.397
Conductivité mS/cm	0.662	0.148	-0.432	-0.513	-0.633
CaCO3 % Total	0.647	-0.134	-0.519	-0.497	-0.667
CaCO3 % Active	0.630	-0.173	-0.507	-0.511	-0.688
N%	0.747	0.198	-0.536	-0.489	-0.501
N kg/ha	-0.116	0.301	0.246	0.307	0.356
P2O5 Olsen kg/ha	0.232	0.196	-0.045	-0.151	-0.249
K2O kg/ha	0.573	0.201	-0.277	-0.172	-0.183
Na kg/ha	-0.282	0.230	0.364	0.331	0.503
Mg kg/ha	-0.110	0.079	0.283	0.024	0.265
Ca kg/ha	0.584	0.299	-0.173	-0.257	-0.253
Fer kg/ha	-0.379	-0.180	0.334	0.274	0.266
P2O5 Olsen ppm	0.556	0.130	-0.360	-0.460	-0.577
K2O ppm	0.873	0.130	-0.628	-0.556	-0.595
Na ppm	0.740	0.145	-0.506	-0.646	-0.462
Mg ppm	0.324	0.106	-0.102	-0.392	-0.133
Ca ppm	0.835	0.133	-0.530	-0.672	-0.657
Fer ppm	-0.073	-0.257	0.051	-0.083	-0.088
Cailloux poids en g	0.188	-0.042	-0.219	-0.017	0.159
Pourcentage de cailloux pondéral	0.307	-0.022	-0.317	-0.124	0.031

Variables	profondeur du profile cm	profondeur pour l'estimation de MO	Masse du sol t/ha	Densité des particules fine	Densité du sol	PH
OM T/ha	0.442	0.565	0.592	0.430	0.411	-0.285
MO%	-0.562	-0.502	-0.622	-0.540	-0.487	0.278
Litière T/ha	-0.172	-0.131	-0.141	-0.094	-0.170	0.229
Végétation herbacée T/ha	0.483	0.403	0.535	0.421	0.419	-0.349
Biomasse Arbustive T/ha	-0.362	-0.321	-0.402	-0.418	-0.473	0.090
Biomasse Arborée T/ha	0.321	0.305	0.343	0.254	0.099	-0.208
Biomasse Arborée et arbustive T/ha	0.250	0.245	0.254	0.152	0.001	-0.200
Altitude	0.083	-0.036	-0.001	0.076	0.172	-0.079
Pente en degré	0.014	-0.042	-0.225	-0.284	-0.151	0.230
Exposition	-0.199	-0.273	-0.213	-0.052	-0.042	-0.042
Précipitation Moyenne	0.173	0.066	0.123	0.180	0.228	-0.237
Sable	0.652	0.563	0.655	0.555	0.529	-0.388
Limon	-0.344	-0.388	-0.372	-0.182	-0.164	0.123
Argile	-0.690	-0.582	-0.663	-0.581	-0.571	0.367
épaisseur de l'horizon O cm	0.133	0.127	0.043	-0.035	-0.117	-0.104
épaisseur de l'horizon A cm	0.720	0.561	0.593	0.443	0.456	-0.302
épaisseur de l'horizon B cm	0.785	0.677	0.594	0.394	0.410	-0.251
épaisseur de l'horizon C cm	0.897	0.758	0.662	0.390	0.559	-0.397
profondeur du profile cm	1	0.894	0.801	0.471	0.558	-0.405
profondeur pour l'estimation de MO	0.894	1	0.845	0.433	0.523	-0.294
Masse du sol t/ha	0.801	0.845	1	0.808	0.745	-0.420
Densité des particule fine	0.471	0.433	0.808	1	0.861	-0.340
Densité du sol	0.558	0.523	0.745	0.861	1	-0.301
pH	-0.405	-0.294	-0.420	-0.340	-0.301	1
Conductivité mS/cm	-0.617	-0.513	-0.623	-0.505	-0.524	0.391
CaCO3 % Total	-0.667	-0.543	-0.617	-0.446	-0.420	0.620
CaCO3 % Active	-0.690	-0.596	-0.650	-0.484	-0.488	0.599
N%	-0.576	-0.530	-0.641	-0.530	-0.476	0.273
N kg/ha	0.473	0.575	0.604	0.453	0.441	-0.326
P2O5 Olsen kg/ha	-0.165	-0.125	-0.106	-0.017	-0.023	0.376
K2O kg/ha	-0.146	0.000	-0.030	-0.111	-0.186	-0.052
Na kg/ha	0.582	0.664	0.752	0.582	0.566	-0.428
Mg kg/ha	0.259	0.331	0.372	0.312	0.350	-0.231
Ca kg/ha	-0.149	0.056	-0.065	-0.229	-0.252	0.206
Fer kg/ha	0.355	0.364	0.475	0.513	0.446	0.071
P2O5 Olsen ppm	-0.584	-0.566	-0.601	-0.409	-0.420	0.501
K2O ppm	-0.673	-0.588	-0.670	-0.576	-0.599	0.229
Na ppm	-0.622	-0.622	-0.687	-0.570	-0.519	0.180
Mg ppm	-0.235	-0.195	-0.252	-0.229	-0.161	0.010
Ca ppm	-0.722	-0.645	-0.743	-0.658	-0.656	0.376
Fer ppm	-0.079	-0.098	-0.012	0.160	0.111	0.278
Cailloux poids en g	-0.007	0.005	-0.369	-0.473	-0.030	0.175
Pourcentage de cailloux pondéral	-0.140	-0.129	-0.535	-0.660	-0.252	0.240

Variables	Conductivité mS/cm	CaCO3 % Total	CaCO3 % Active	N%	N kg/ha	P2O5 Olsen kg/ha
OM T/ha	-0.020	-0.136	-0.210	0.171	0.982	0.254
MO%	0.712	0.613	0.577	0.989	0.177	0.417
Litière T/ha	0.228	0.090	0.083	0.139	-0.103	0.261
Végétation herbacée T/ha	-0.418	-0.312	-0.288	-0.312	0.392	-0.059
Biomasse Arbustive T/ha	0.285	0.208	0.248	0.226	-0.271	-0.009
Biomasse Arborée T/ha	-0.144	-0.286	-0.299	-0.326	0.158	-0.136
Biomasse Arborée et arbustive T/ha	-0.073	-0.245	-0.248	-0.288	0.092	-0.117
Altitude	-0.023	-0.027	-0.097	0.066	-0.018	0.129
Pente en degré	-0.102	-0.059	-0.076	0.039	-0.254	-0.261
Exposition	0.048	0.022	0.020	0.096	-0.174	-0.198
Précipitation Moyenne	-0.110	-0.158	-0.232	0.068	0.158	-0.026
Sable %	-0.707	-0.682	-0.642	-0.787	0.072	-0.311
Limon %	0.510	0.435	0.380	0.530	0.034	0.319
Argile %	0.662	0.647	0.630	0.747	-0.116	0.232
épaisseur de l'horizon O cm	0.148	-0.134	-0.173	0.198	0.301	0.196
épaisseur de l'horizon A cm	-0.432	-0.519	-0.507	-0.536	0.246	-0.045
épaisseur de l'horizon B cm	-0.513	-0.497	-0.511	-0.489	0.307	-0.151
épaisseur de l'horizon C cm	-0.633	-0.667	-0.688	-0.501	0.356	-0.249
profondeur du profile cm	-0.617	-0.667	-0.690	-0.576	0.473	-0.165
profondeur pour l'estimation de MO	-0.513	-0.543	-0.596	-0.530	0.575	-0.125
Masse du sol t/ha	-0.623	-0.617	-0.650	-0.641	0.604	-0.106
Densité des particule fine	-0.505	-0.446	-0.484	-0.530	0.453	-0.017
Densité du sol	-0.524	-0.420	-0.488	-0.476	0.441	-0.023
pH	0.391	0.620	0.599	0.273	-0.326	0.376
Conductivité mS/cm	1	0.755	0.728	0.718	-0.053	0.451
CaCO3 % Total	0.755	1	0.963	0.619	-0.164	0.460
CaCO3 % Active	0.728	0.963	1	0.579	-0.239	0.433
N%	0.718	0.619	0.579	1	0.154	0.411
N kg/ha	-0.053	-0.164	-0.239	0.154	1	0.221
P2O5 Olsen kg/ha	0.451	0.460	0.433	0.411	0.221	1
K2O kg/ha	0.361	0.296	0.243	0.462	0.443	0.248
Na kg/ha	-0.303	-0.476	-0.539	-0.267	0.691	0.012
Mg kg/ha	-0.210	-0.271	-0.347	-0.203	0.220	-0.154
Ca kg/ha	0.539	0.410	0.362	0.539	0.477	0.508
Fer kg/ha	-0.156	0.009	-0.020	-0.434	0.210	0.081
P2O5 Olsen ppm	0.704	0.689	0.687	0.663	-0.131	0.839
K2O ppm	0.675	0.607	0.598	0.763	-0.083	0.262
Na ppm	0.587	0.395	0.400	0.695	-0.199	0.218
Mg ppm	0.179	0.097	0.037	0.237	-0.119	-0.048
Ca ppm	0.769	0.641	0.647	0.805	-0.145	0.418
Fer ppm	0.149	0.333	0.324	-0.147	-0.125	0.203
Cailloux poids en g	0.132	0.198	0.146	0.251	-0.165	-0.075
Pourcentage de cailloux pondéral	0.235	0.283	0.245	0.347	-0.280	-0.074

Variables	K2O kg/ha	Na kg/ha	Mg kg/ha	Ca kg/ha	Fer kg/ha	P2O5 Olsen ppm
OM T/ha	0.433	0.687	0.208	0.517	0.182	-0.104
MO%	0.466	-0.237	-0.220	0.584	-0.444	0.651
Litière T/ha	0.048	-0.096	-0.052	0.184	-0.044	0.288
Végétation herbacée T/ha	0.017	0.385	0.105	-0.021	0.226	-0.321
Biomasse Arbustive T/ha	0.038	-0.158	-0.432	0.136	-0.215	0.215
Biomasse Arborée T/ha	-0.067	0.212	0.032	-0.128	0.194	-0.282
Biomasse Arborée et arbustive T/ha	-0.062	0.164	-0.044	-0.101	0.136	-0.215
Altitude	-0.022	0.150	0.013	0.077	0.031	0.076
Pente en degré	-0.187	-0.282	0.024	-0.322	-0.213	-0.106
Exposition	-0.167	-0.242	-0.116	-0.253	-0.157	-0.002
Précipitation Moyenne	0.127	0.168	0.124	0.038	-0.033	-0.084
Sable	-0.545	0.242	0.091	-0.596	0.337	-0.613
Limon	0.296	-0.072	0.073	0.252	-0.102	0.476
Argile	0.573	-0.282	-0.110	0.584	-0.379	0.556
épaisseur de l'horizon O cm	0.201	0.230	0.079	0.299	-0.180	0.130
épaisseur de l'horizon A cm	-0.277	0.364	0.283	-0.173	0.334	-0.360
épaisseur de l'horizon B cm	-0.172	0.331	0.024	-0.257	0.274	-0.460
épaisseur de l'horizon C cm	-0.183	0.503	0.265	-0.253	0.266	-0.577
profondeur du profile cm	-0.146	0.582	0.259	-0.149	0.355	-0.584
profondeur pour l'estimation de MO	0.000	0.664	0.331	0.056	0.364	-0.566
Masse du sol t/ha	-0.030	0.752	0.372	-0.065	0.475	-0.601
Densité des particule fine	-0.111	0.582	0.312	-0.229	0.513	-0.409
Densité du sol	-0.186	0.566	0.350	-0.252	0.446	-0.420
pH	-0.052	-0.428	-0.231	0.206	0.071	0.501
Conductivité mS/cm	0.361	-0.303	-0.210	0.539	-0.156	0.704
CaCO3 % Total	0.296	-0.476	-0.271	0.410	0.009	0.689
CaCO3 % Active	0.243	-0.539	-0.347	0.362	-0.020	0.687
N%	0.462	-0.267	-0.203	0.539	-0.434	0.663
N kg/ha	0.443	0.691	0.220	0.477	0.210	-0.131
P2O5 Olsen kg/ha	0.248	0.012	-0.154	0.508	0.081	0.839
K2O kg/ha	1	0.168	0.240	0.585	-0.079	0.234
Na kg/ha	0.168	1	0.354	0.291	0.261	-0.393
Mg kg/ha	0.240	0.354	1	-0.071	0.130	-0.344
Ca kg/ha	0.585	0.291	-0.071	1	-0.062	0.446
Fer kg/ha	-0.079	0.261	0.130	-0.062	1	-0.182
P2O5 Olsen ppm	0.234	-0.393	-0.344	0.446	-0.182	1
K2O ppm	0.730	-0.339	-0.040	0.478	-0.390	0.571
Na ppm	0.253	-0.087	-0.160	0.430	-0.471	0.519
Mg ppm	0.270	-0.064	0.769	0.017	-0.209	0.053
Ca ppm	0.358	-0.356	-0.293	0.653	-0.431	0.729
Fer ppm	-0.097	-0.114	-0.099	-0.035	0.855	0.176
Cailloux poids en g	-0.005	-0.253	0.006	-0.019	-0.228	0.070
Pourcentage de cailloux pondéral	0.016	-0.372	-0.059	0.021	-0.320	0.157

Variables	K2O ppm	Na ppm	Mg ppm	Ca ppm	Fer ppm	Cailloux poids en g	Pourcentage de cailloux pondéral
OM T/ha	-0.078	-0.177	-0.122	-0.109	-0.144	-0.193	-0.297
MO%	0.756	0.698	0.212	0.820	-0.167	0.231	0.329
Litière T/ha	0.170	0.164	0.023	0.290	0.043	-0.056	-0.021
Végétation herbacée T/ha	-0.339	-0.372	-0.246	-0.400	-0.008	-0.155	-0.239
Biomasse Arbustive T/ha	0.319	0.444	-0.148	0.405	0.012	0.057	0.165
Biomasse Arborée T/ha	-0.299	-0.375	-0.170	-0.372	-0.021	-0.219	-0.248
Biomasse Arborée et arbustive T/ha	-0.221	-0.297	-0.193	-0.279	-0.029	-0.189	-0.199
Altitude	0.009	0.179	0.005	0.077	0.043	0.142	0.095
Pente en degré	-0.033	0.027	0.161	-0.085	-0.148	0.235	0.277
Exposition	0.016	0.090	-0.005	0.017	-0.067	0.050	0.073
Précipitation Moyenne	0.040	-0.008	0.025	-0.034	-0.113	0.104	0.034
Sable	-0.837	-0.756	-0.335	-0.823	0.031	-0.203	-0.311
Limon	0.451	0.477	0.294	0.382	0.101	0.086	0.127
Argile	0.873	0.740	0.324	0.835	-0.073	0.188	0.307
épaisseur de l'horizon O cm	0.130	0.145	0.106	0.133	-0.257	-0.042	-0.022
épaisseur de l'horizon A cm	-0.628	-0.506	-0.102	-0.530	0.051	-0.219	-0.317
épaisseur de l'horizon B cm	-0.556	-0.646	-0.392	-0.672	-0.083	-0.017	-0.124
épaisseur de l'horizon C cm	-0.595	-0.462	-0.133	-0.657	-0.088	0.159	0.031
profondeur du profile cm	-0.673	-0.622	-0.235	-0.722	-0.079	-0.007	-0.140
profondeur pour l'estimation de MO	-0.588	-0.622	-0.195	-0.645	-0.098	0.005	-0.129
Masse du sol t/ha	-0.670	-0.687	-0.252	-0.743	-0.012	-0.369	-0.535
Densité des particule fine	-0.576	-0.570	-0.229	-0.658	0.160	-0.473	-0.660
Densité du sol	-0.599	-0.519	-0.161	-0.656	0.111	-0.030	-0.252
pH	0.229	0.180	0.010	0.376	0.278	0.175	0.240
Conductivité mS/cm	0.675	0.587	0.179	0.769	0.149	0.132	0.235
CaCO3 % Total	0.607	0.395	0.097	0.641	0.333	0.198	0.283
CaCO3 % Active	0.598	0.400	0.037	0.647	0.324	0.146	0.245
N%	0.763	0.695	0.237	0.805	-0.147	0.251	0.347
N kg/ha	-0.083	-0.199	-0.119	-0.145	-0.125	-0.165	-0.280
P2O5 Olsen kg/ha	0.262	0.218	-0.048	0.418	0.203	-0.075	-0.074
K2O kg/ha	0.730	0.253	0.270	0.358	-0.097	-0.005	0.016
Na kg/ha	-0.339	-0.087	-0.064	-0.356	-0.114	-0.253	-0.372
Mg kg/ha	-0.040	-0.160	0.769	-0.293	-0.099	0.006	-0.059
Ca kg/ha	0.478	0.430	0.017	0.653	-0.035	-0.019	0.021
Fer kg/ha	-0.390	-0.471	-0.209	-0.431	0.855	-0.228	-0.320
P2O5 Olsen ppm	0.571	0.519	0.053	0.729	0.176	0.070	0.157
K2O ppm	1	0.673	0.386	0.782	-0.084	0.203	0.328
Na ppm	0.673	1	0.343	0.793	-0.124	0.196	0.329
Mg ppm	0.386	0.343	1	0.210	-0.138	0.201	0.258
Ca ppm	0.782	0.793	0.210	1	-0.052	0.153	0.299
Fer ppm	-0.084	-0.124	-0.138	-0.052	1	-0.101	-0.110
Cailloux poids en g	0.203	0.196	0.201	0.153	-0.101	1	0.969
Pourcentage de cailloux pondéral	0.328	0.329	0.258	0.299	-0.110	0.969	1

Annexe XV : Extrapolation du stock de carbone des arbres

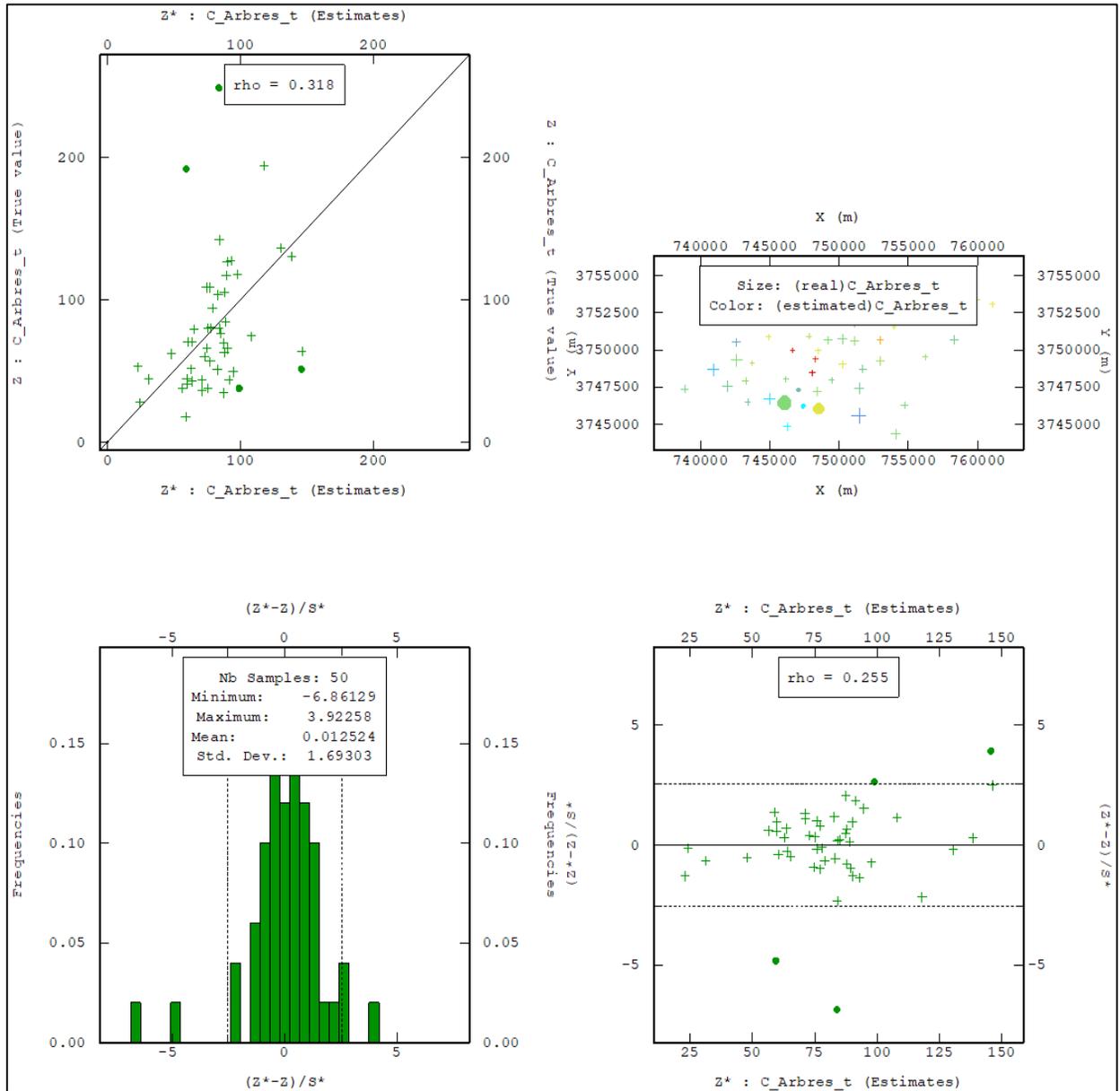


Figure 84: Extrapolation du stock de carbone des arbres en intégrant tous les placettes

Partie

Références

Références

- Abi Dib S.** (2012) : Vers un modèle de gestion durable des forêts du Liban : Application aux régions d'Aintouret el Metn, Jwar el Hawz et Mtein. Thèse de doctorat de l'Université saint-Joseph, 368 p.
- Abi-Saleh, B., Barbero, M., Nahal, I., & Quezel, P.** (1976). Les séries forestières de végétation au Liban Essai d'interprétation schématique. Bulletin de la Société Botanique de France, 123(9), 541-560.
- Agriculture Organization for the United Nations**, 1998. World reference base for soil resources (No. 84). Food & Agriculture Org.
- Agrimi, M. and Ciancio, O.**, 1993. Le pin pignon (*Pinus pinea* L.).
- Aguaron, E. and McPherson, E.G.**, 2012. Comparison of methods for estimating carbon dioxide storage by Sacramento's urban forest. In Carbon sequestration in urban ecosystems (pp. 43-71). Springer, Dordrecht.
- Amelung, W., Brodowski, S., Sandhage-Hofmann, A., & Bol, R.** (2008). Combining biomarker with stable isotope analyses for assessing the transformation and turnover of soil organic matter. *Advances in agronomy*, 100, 155-250.
- Andreux, F., Choné, T.** 1993. Dynamics of soil organic matter in the Amazon ecosystem and after deforestation: basis for efficient agricultural management. Centre National de la Recherche Scientifique, Nancy. 51 pp.
- Arantes, V. and Goodell, B.**, 2014. Current understanding of brown-rot fungal biodegradation mechanisms: a review. In Deterioration and protection of sustainable biomaterials (pp. 3-21). American chemical society.
- Arrouays, D., Balesdent, J., Germon, J.C., Jayet, P.A., Soussana, J.F. and Stengel, P.**, 2020. Stocker du carbone dans les sols agricoles de France Synthèse du rapport d'expertise INRA, 334p.
- Avery, E.; Burkhart, H.E.** 2002. Forest measurements.

Avery, t.E, burkhart, H.E. 2002. Forest measurements. McGraw Hill, Boston, Mass. baltsavias,

Balesdent, J., Basile-Doelsch, I., Chadoeuf, J., Cornu, S., Derrien, D., Fekiacova, Z. and Hatté, C., 2018. Atmosphere–soil carbon transfer as a function of soil depth. *Nature*, 559(7715), pp.599-602.

Balesdent, J., Chenu, C. and Balabane, M., 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil and tillage research*, 53(3-4), pp.215-230.

Barles, S., Breysse, D., Guillerme, A. & Laeyval, C. (1999). *Le Sol Urbain*. Collection VILLES, Economica, Paris. 278p

Batjes, N. H. 1996. Total Carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, 47: 151-163.

Batjes, N. H. 2016. Harmonized soil property values for broad-scale modelling (WISE30sec) with estimates of global soil carbon stocks. *Geoderma*, 269: 61-68.

Batjes, N.H. 1999. Management options for reducing CO₂ concentrations in the atmosphere by increasing carbon sequestration in the soil. ISRIC. Wageningen, The Netherlands. 114 pp.

Batjes, N.H., 1997. A world dataset of derived soil properties by FAO–UNESCO soil unit for global modelling. *Soil use and management*, 13(1), pp.9-16.

Baudin, F., Tribouvillard, N. and Trichet, J., 2021. Chapitre 1• Variété des matières organiques naturelles à la surface du globe : origine, composition et répartition. In *Géologie de la matière organique* (pp. 17-56). EDP Sciences.

Baudin, F., Tribouvillard, N. and Trichet, J., 2021. Chapitre 1• Variété des matières organiques naturelles à la surface du globe : origine, composition et répartition. In *Géologie de la matière organique* (pp. 17-56). EDP Sciences.

Bélouard, T., Vidal, C., Hervé, J.C. and Nicolas, R., 2005 *Le nouvel inventaire forestier de l'IFN. De l'observation des écosystèmes forestiers à l'information sur la forêt*, p.23.

Berg B, Virzo De Santo A, Rutigliano F, Ekbohm G (2003) Limit values for plant litter

decomposing in two contrasting soils—influence of litter elemental composition. *Acta Oecologia* 24:295–302

Berg, B., & McClaugherty, C. (2008). *Plant Litter. Decomposition, Humus Formation, Carbon Sequestration.*

Berjaoui, A., (1952). La distribution des essences forestières au Liban. *Revue forestière française.* 4(12):833-837.

Bhunja, G.S., Shit, P.K. and Maiti, R., 2018. Comparison of GIS-based interpolation methods for spatial distribution of soil organic carbon (SOC). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17(2), pp.114-126.

Birdsey, R. and Pan, Y., 2015. Trends in management of the world's forests and impacts on carbon stocks. *Forest Ecology and Management*, 355, pp.83-90.

Bonnier, J. & Derioz, P., 2010. "La forêt méditerranéenne en tant que paysage : patrimoine naturel, cadre de vie ou espace social ? " *Forêt méditerranéenne XXXII (n° 1) : 15-22.*

Boualla N. (2018-2019) : Cours de géostatistique, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed BOUDIAF, 31 p.

Bouvarel P., 1950 - Les principales essences forestières du Liban. *Revue Forestière Française,* 2(6):323-332.

Brady, N.C., 1990. *The Nature and Properties of Soils*, 10th ed. Macmillan, New York, NY, 595pp.

Bronick, C.J. and Lal, R., 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124(1-2), pp.3-22.

Brussaard, L. (1994). Interrelationships between biological activities, soil properties and soil management. In D.J. Greenland and I. Szabolcs, eds. *Soil resilience and sustainable land use*, pp.309–329. Wallingford, UK, CAB International. *Concepts and Research Methods* CAB International. 437 pp.

Burnie, D. (2005). *Fleurs de Méditerranée 500 espèces.* Paris, France. Ed, LAROUSSE. 250 P.

Cairns, M.A., Brown, S., Helmer, E.H. and Baumgardner, G.A., 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*, 111(1), pp.1-11.

Cannell, M.G., 1982. World forest biomass and primary production data.

Cardenas G, Malherbe L (2003) Evaluation des incertitudes associées aux méthodes géostatistiques. Rapport final, Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air

Carpéna, J., Doubinger, J., Guérin, R. and Juteau, J., M. Monnier, 1984. Le volcanisme acide de l'Ouest-Morvan dans son cadre géologique : caractérisation géochimique, structurale et chronologique de mise en place. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 26, pp.839-859.

Chapin, F. S., Matson, P. A., & Vitousek, P. M. (2011). *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology (Second, Vol. 7). New York, NY: Sp

Chave J. et al., 2004. Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates. *Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. B*, 359(1443), 409-420.

Chave J. et al., 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145(1), 87-99.

Chen, Q., Niu, B., Hu, Y., Luo, T. and Zhang, G., 2020. Warming and increased precipitation indirectly affect the composition and turnover of labile-fraction soil organic matter by directly affecting vegetation and microorganisms. *Science of The Total Environment*, 714, p.136787.

Chenu, C and Robert, M. (2003). Importance of organic matter for soil properties and functions. Communication at the SCAPE meeting Alicante.

Chenu, C. (2000). Organic Matter Influence on Clay wettability and Soil Aggregate Stability. *Soil Science Society of America Journal*. 64, 1479-1486 pp

Climate Central (2016), “Flirting with the 1.5°C Threshold,” April 20, 2016. <http://www.climatecentral.org/news/world-flirts-with-1.5Cthreshold-20260#interactive>

CNRS-L (2010), Land Use Land Cover map of Lebanon for 2005, Scale 1/20000 *CORINE Land Cover* methodology (*level 4*) based on IKONOS images satellites.

CNRS-L (2017) Land Use Land Cover map of Lebanon for 2012, Scale 1/20000 *CORINE Land Cover* methodology (*level 4*) based on GeoEye images satellites.

Correia, A. C., Tomé, M., Carlos, P., Sónia, F., Dias, A., Freire, J., ... Pereira, J. S. (2012). Biomass allometry and carbon factors for a Mediterranean pine (*Pinus pinea* L.) in Portugal. *Forest Systems*, 19(3), 418.

Crivellaro, A., & Schweingruber, F. H. (2013). Atlas of Wood, Bark and Pith Anatomy of Eastern Mediterranean Trees and Shrubs. In *Atlas of Wood, Bark and Pith Anatomy of Eastern Mediterranean Trees and Shrubs*.

Crowther, T. W., Todd-Brown, K. E. O., Rowe, C. W., Wieder, W. R., Carey, J. C., achmuller, M. B., Snoek, B. L., Fang, S., Zhou, G., Allison, S. D., Blair, J. M., Bridgham, S. D., Burton, A. J., Carrillo, Y., Reich, P. B., Clark, J. S., Classen, A. T., Dijkstra, F.A., Elberling, B., Emmett, B. A., Estiarte, M., Frey, S. D., Guo, J., Harte, J., Jiang, L., Johnson, B. R., Kröel-Dulay, G., Larsen, K. S., Laudon, H., Lavalley, J. M., Luo, Y., Lupascu, M., Ma, L. N., Marhan, S., Michelsen, A., Mohan, J., Niu, S., Pendall, E., Peñuelas, J., Pfeifer-Meister, L., Poll, C., Reinsch, S., Reynolds, L. L., Schmidt, I. K., Sistla, S., Sokol, N. W., Templer, P. H., Treseder, K. K., Welker J. M. & Bradford, M. A. 2016. Quantifying global soil carbon losses in response to warming. *Nature*, 540: 104-110.

Curry, P. Good, A. (1992). Soil faunal degradation and restoration. *Adv. Soil Sciences*. 17. 171-215 pp.

Dandurand, J.L., Gout, R., Hoefs, J., Menschel, G., Schott, J. et Usdowski, E., (1982). Kinetically controlled variations of major components and carbon and oxygen isotopes in a calcite precipitating spring. *Chemical Geology*, 36, 299-315.

Darwish, T. Abou Daher, M. Jomaa, I. and Atallah, T. (2009). Soil organic carbon stock estimation in Lebanese territories. Workshop proceedings 10th IMSMC, Beirut June 2009. 112-117 pp.

Darwish, T. M. (1998). Status of Soil Survey in Lebanon the Need for a Georeferenced Soil Database.

Darwish, T., & Fadel, A. (2017). Mapping of soil organic carbon stock in the Arab countries to mitigate land degradation. *Arabian Journal of Geosciences*, 10(21), 474.

Darwish, T., Atallah, T., & Fadel, A. (2018). Challenges of soil carbon sequestration in the NENA region. *Soil*, 4(3), 225-235.

De-Miguel, S., Pukkala, T., Assaf, N., & Shater, Z. (2014). Intra-specific differences in allometric equations for aboveground biomass of eastern Mediterranean *Pinus brutia*. *Annals of Forest Science*, 71(1), 101–112.

Devine, S.M., O'Geen, A.T., Liu, H., Jin, Y., Dahlke, H.E., Larsen, R.E. and Dahlgren, R.A., 2020. Terrain attributes and forage productivity predict catchment-scale soil organic carbon stocks. *Geoderma*, 368, p.114286.

Dijkstra, J.P.M., Reinds, G.J., Kros, H., Berg, B. and de Vries, W., 2009. Modelling soil carbon sequestration of intensively monitored forest plots in Europe by three different approaches. *Forest Ecology and Management*, 258(8), pp.1780-1793.

Dixon, P.L., Lubberts, W. and Wooley, G.H., Wynn Oil Co, 1994. Engine and radiator coolant treatment and handling, enabling coolant reuse. U.S. Patent 5,318,700.

Dixon, R.K., Solomon, A.M., Brown, S., Houghton, R.A., Trexier, M.C. and Wisniewski, J., 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, 263(5144), pp.185-190.

Dixon, R.K., Winjum, J.K. & Schroeder, P.E. 1993. Conservation and sequestration of carbon: the potential of forest and agroforest management practices. *Global Environmental Change*, 3: 159-173.

Duchaufour, Ph. (1963) - Note sur le rôle du fer dans les complexes argile-humiques. *C.R. Acad. Sci.*, t. 256, pp. 2657- 2660.

Duchaufour, Ph., (1984) : Abrégé de pédologie.

Dumont, G.F., 2005. Les populations du Liban. *Outre-terre*, (4), pp.419-445.

Dupouey, J.L., Siguand, G., Bateau, V., Thimonier, A., Dhole, J.F., Nepveu, G., Bergé, L.

Augusto, L., Belkacem, S., Nys, C. 1999. Stocks et flux de carbone dans les forêts françaises. C.R. Acad.Agric. Fr 85 (6. : 293–310).

Durkaya A, Durkaya B, Ünsal A (2009) Predicting the above-ground biomass of calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.) stands in Turkey. *Afr J Biotechnol* 8:2483–2488

Durkaya, B., Durkaya, A., Makineci, E., & Ülküdür, M. (2013). Estimation of above-ground biomass and sequestered carbon of Taurus Cedar (*Cedrus libani* L.) in Antalya, Turkey. *IForest*, 6(5), 278–284.

Elzein, A. and Balesdent, J., 1995. Mechanistic simulation of vertical distribution of carbon concentrations and residence times in soils. *Soil Science Society of America Journal*, 59(5), pp.1328-1335.

Elzein, A. and Balesdent, J., 1995. Mechanistic simulation of vertical distribution of carbon concentrations and residence times in soils. *Soil Science Society of America Journal*, 59(5), pp.1328-1335.

Emery A., 2001. géostatistique linéaire, Ecole des mines de Paris, 405 p.

Engel, T., & Frey, W. (1996). Fuel resources for copper smelting in antiquity in selected woodlands in the Edom highlands to the Wadi Arabah/Jordan. *Flora*, 191(1), 29–39.

Fady, B. M., F. (2004). "Mediterranean Forest Ecosystems." *Encyclopedia of Forest Science*: 1403-1414.

Fan, Y., Miguez-macho, G., Jobbágy, E. G., Jackson, R. B., & Otero-casal, C. (2017). Hydrologic regulation of plant rooting depth. *114(40)*, 10572–10577.

FAO & ITPS (2015) Status of the world's soil resources (SWSR) – main report. Food and agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on soils, Rome, Italy.

FAO & Plan Bleu., 2015. Potentiel d'atténuation et d'adaptation des forêts méditerranéennes au changement climatique. Document d'opinion, Rome, FAO et Valbonne, France, Plan Bleu. 35 pp.

FAO (1997). State of the World's Forests 1997. Rome

FAO (2011). Reforming forest tenure: issues, principles and process. Rome, Italy, FAO Forestry Paper.110 P.

FAO (2011). State of the world forest. Rome, Italy, FAO.179 P.

FAO (2017). Carbone Organique du Sol : une richesse invisible. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, Italie.

FAO. 2015. Évaluation des ressources forestière mondiales 2015. Répertoire de données de FRA 2015. Rome, FAO. 253 pp.

Faour, G. and Mhawej, M., 2014. Mapping urban transitions in the greater beirut area using different space platforms. Land, 3(3), pp.941-956.

Farineau, J., & Morot-Gaudry, J. F. 2006. La photosynthèse. Processus physiques, moléculaires et physiologiques. Métabolismes de types C4 et CAM. Collection Synthèses. INRA Paris, 293-314.

Feinbrun N., 1959 - Spontaneous Pineta in the Lebanon. Bulletin of Resources Council of Israel, 7D (3/4):132-153.

Feller, C., & Beare, M. H., 1997. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. Geoderma, 79(1-4), 69-116.

Flessa, H., Amelung, W., Helfrich, M., Wiesenberg, G. L. B., Gleixner, G., Brodowski, S., Rethemeyer, J., Kramer, C., Grootes, P. M., 2008. Storage and stability of organic matter and fossil carbon in a Luvisol and Phaeozem with continuous maize cropping: Asynthesis. J. Plant Nutr. Soil Sci. 171, 36–51.

Fonweban, J.N. & Houllier, F. 1997. Tarif de peuplement et modèle de production pour Eucalyptus saligna au Cameroun. Bois For. Trop., 253 : 21–36

Forrest, W.G. and Ovington, J.D., 1970. Organic matter changes in an age series of Pinus radiata plantations. Journal of Applied Ecology, pp.177-186.

Franzluebbers, A., 2010. Achieving soil organic carbon sequestration with conservation

agricultural systems in southeastern United States. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 74, 347–357.

Franzluebbers, A.J., Follett, R.F., 2005. Greenhouse gas contributions and mitigation potential in agricultural region of North America. *Soil Tillage Res.* 83, 25–52.

Gasparini, P., Nocetti, M., Tabacchi, G., & Tosi, V. (2002). Biomass equations and data for forest stands and shrublands of the Eastern Alps (Trentino, Italy). *Biomass*, (November).

GIEC. 2003 Recommandations en matière de bonnes pratiques pour le secteur de l'utilisation des terres, changements d'affectation des terres et foresterie par Jim Penman, Michael Gytarsky, Taka Hiraishi, Thelma Krug, Dina Kruger, Riita Pipatti, Leandro Buendia, Kyoko Miwa, Todd Ngara, Kiyoto Tanabe et Fabian Wagner, Publié par l'Institute for Global Environmental Strategies (IGES).

GIEC. 2006. Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux des gaz à effet de serre, préparé par le Programme pour les inventaires nationaux des gaz à effet de serre, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. et Tanabe K. (éds). Publié: IGES, Japon

GIEC. 2007. Changement climatique 2007: l'atténuation du changement climatique. Rapport du Groupe de travail III - L'atténuation du changement climatique. B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R.Dave, L.A. Meyer (édition) Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, NY, Etats-Unis.

GIEC. 2014. Changement climatique 2014 : synthèse, rapport des groupes de travail I, II et III au cinquième rapport d'évaluation du Groupement Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Genève: GIEC.

GIEC. 2015. Technical Assessment of IPCC Inventory Guidelines - Results of Questionnaire Survey AFOLU. Bonn: s.n.

GIEC. Changements climatiques (2001) : Rapport de synthèse. Résumé à l'intention des décideurs, 2001, 37 p.

GIEC. R.D.G., 2000. En matière de bonnes pratiques et de gestion des incertitudes pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre. Penman, J. et al (Eds), Publié: IGES, Japon.

GIEC/IPCC (2001). Bilan 2001 des changements climatiques : les éléments scientifiques. Rapport

du Groupe de travail I du GIEC, contribution du Groupe de travail I au 3e rapport d'évaluation du GIEC.

Global Soil Data Task. 2000. Global Soil Data Products CD-ROM (IGBP-DIS). CDROM. International Geosphere-Biosphere Programme, Data and Information System. Postdam, Germany: Disponible à Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center, Oak Ridge, Tennessee, U.S.A.

Göl, C., Bulut, S. and Bolat, F., 2017. Comparison of different interpolation methods for spatial distribution of soil organic carbon and some soil properties in the Black Sea backward region of Turkey. *Journal of African Earth Sciences*, 134, pp.85-91.

Göl, C., Bulut, S. and Bolat, F., 2017. Comparison of different interpolation methods for spatial distribution of soil organic carbon and some soil properties in the Black Sea backward region of Turkey. *Journal of African Earth Sciences*, 134, pp.85-91.

Goslee, K., Brown, S. and Casarim, F., 2014. Forest Carbon Monitoring System: Emission Factors and their Uncertainties, Version 2. Submitted by Winrock International to the Guyana Forestry Commission.

Gougoulias, C., Clark, J. M. & Shaw, L. J. 2014. The role of soil microbes in the global carbon cycle: tracking the below-ground microbial processing of plant-derived carbon for manipulating carbon dynamics in agricultural systems. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94: 2362-2371.

Greenland, D.J. (1958). Nitrate fluctuations in tropical soils. *J. Agric. Sci.*, 50: 82–92 pp.

Gregorich, E.G., Rochette, P., VandenBygaart, A.J., Angers, D.A., 2005. Greenhouse gas contributions of agricultural soils and potential mitigation practices in eastern Canada. *Soil Tillage Res.* 83, 73–94

Gruba, P., Socha, J., Błońska, E. and Lasota, J., 2015. Effect of variable soil texture, metal saturation of soil organic matter (SOM) and tree species composition on spatial distribution of SOM in forest soils in Poland. *Science of the Total Environment*, 521, pp.90-100.

GSP/ FAO, 2018. Vargas, R., Pankova, E.I., Balyuk, S.A., Krasilnikov, P.V. and Khasankhanova, G.M., 2018. Handbook for saline soil management. FAO/LMSU.

Hagedorn, F., Spinnler, D., Bundt, M., Blaser, P., Siegwolf, R., 2003. The input and fate of new C in two forest soils under elevated CO₂. *Global Change Biology* 9, 862–872.

Hiederer, R. & Köchy, M. 2011. Global Soil Organic Carbon Estimates and the Harmonized World Soil Database. Luxembourg: JRC-IES.

Hou, G., Delang, C.O., Lu, X. and Gao, L., 2020. A meta-analysis of changes in soil organic carbon stocks after afforestation with deciduous broadleaved, sempervirent broadleaved, and conifer tree species. *Annals of Forest Science*, 77(4), pp.1-13.

Houghton, R.A., 2007. Balancing the global carbon budget. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 35, pp.313-347.

Householder, J.E., Janovec, J.P., Tobler, M.W., Page, S. and Lähteenoja, O., 2012. Peatlands of the Madre de Dios River of Peru: distribution, geomorphology, and habitat diversity. *Wetlands*, 32(2), pp.359-368.

Huber, G. and Schaub, C., 2011. La fertilité des sols: L'importance de la matière organique. *Agriculture et terroir, chambre d'agriculture Bas Rhin*.

Hunt, C.A., 2009. Carbon sinks and climate change: forests in the fight against global warming. Edward Elgar Publishing.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), (1994). *Climate Change: Radiative Forcing of Climate Change and An evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios*. J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, J. Bruce, Hoesung Lee, B.A. Callander, E. Haites, N. Harris and K. Maskell (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK. 339pp.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007. Summary for policymakers. In Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, H. L. Miller (eds.). *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change): Albritton DL, Meira Fillo LG, the WGI writing team, 2001. WGI—Technical Summary. In: Climate Change 2001: Synthesis Report (ed Watson RT). Geneva, Switzerland ([http:// www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)).

Jandl, R., Lindner, M., Vesterdal, L., Bauwens, B., Baritz, R., Hagedorn, F., Johnson, D.W., Minkinen, K. and Byrne, K.A., 2007. How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? *Geoderma*, 137(3-4), pp.253-268.

Jarvis, P.G. 1989. "Atmospheric Carbon Dioxide and Forests ". *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, vol. 324, p. 369-392.

Jastrow, J. D., Amonette, J. E. & Bailey, V. L. 2007. Mechanisms controlling soil carbon turnover and their potential application for enhancing carbon sequestration. *Climatic Change*, 80: 5-23.

Jenny, H., 1961. Derivation of state factor equations of soils and ecosystems 1. *Soil Science Society of America Journal*, 25(5), pp.385-388.

Jobbágy, E., Jackson, R.B., 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications* 10, 423–436.

Jobbágy, E.G. and Jackson, R.B., 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological applications*, 10(2), pp.423-436.

Johnson, J.M.F., Reicosky, D.C., Allmaras, R.R., Sauer, T.J., Venterea, R.T., Dell, C.J., 2005. Greenhouse gas contributions and mitigation potential of agriculture in the central USA. *Soil Tillage Res.* 83, 73–94.

Jones, C- E. 2006. Balancing the Greenhouse Equation – Part IV, Potential for high returns from more soil carbon, *Australian Farm Journal*, February 2006, 55-58 pp.

Juma, N.G. (1998). *The pedosphere and its dynamics: a systems approach to soil science*. Volume 1. Edmonton, Canada, Quality Color Press Inc. 315 pp.

Kane, D. 2015. *Carbon Sequestration Potential on Agricultural Lands: A Review of Current Science and Available Practices*, s.l.: s.n.

Keestrea, S. D., Bouma, J., Wallinga, J., Titttonell, P., Smith, P., Cerdà, A., Montanarella, L., Quinton, J. N., Pachepsky, Y., van der Putten, W. H., Bardgett, R. D., Moolenaar, S., Mol, G., Jansen, B. & Fresco, L. O. 2016. The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals. *SOIL*, 2: 111-128.

Keiluweit, M., Bougoure, J.J., Nico, P.S., Pett-Ridge, J., Weber, P.K. and Kleber, M., 2015. Mineral protection of soil carbon counteracted by root exudates. *Nature Climate Change*, 5(6), pp.588-595.

Kempe S., ed B Bolin ET Degens, S Kempe, P Ketner, 1979. Carbon in the rock cycle. In *The Global Carbon Cycle*, pp. 343-77.

Kimmins JP (2004) *Forest ecology*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ

Kindermann, G. E., McCallum, I., Fritz, S., & Obersteiner, M., 2008. A global forest growing stock, biomass and carbon map based on FAO statistics. *Silva Fennica*, 42(3), 387–396.

Köchy, M., Hiederer, R. & Freibauer, A. 2015. Global distribution of soil organic carbon -Part 1: Masses and frequency distributions of SOC stocks for the tropics, permafrost regions, wetlands, and the world. *SOIL*, 1: 351-365

Kögel-Knabner, I., Ekschmitt, K., Flessa, H., Guggenberger, G., Matzner, E., Marschner, B., & von Lützw, M., 2008. An integrative approach of organic matter stabilization in temperate soils: Linking chemistry, physics, and biology.

Kohlmaier, G.H, Weber, M. et Houghton, R.A., (1998). *Carbon dioxide mitigation in forestry and wood industry*, Berlin, Springer Verlag, 375 p

Körner, C., 2006. Plant CO₂ responses: An issue of definition, time and resource supply. *New Phytologist*, 172(3), 393–411.

Koull, N. and Halilat, M.T., 2016. Effets de la matière organique sur les propriétés physiques et chimiques des sols sableux de la région d’Ouargla (Algérie). *Etude et Gestion des sols*, 23, pp.9-23.

Koull, N. and Halilat, M.T., 2016. Effets de la matière organique sur les propriétés physiques et chimiques des sols sableux de la région d’Ouargla (Algérie). *Etude et Gestion des sols*, 23, pp.9-23.

Kozlowski, T.T., Kramer, P.J. et Palladry, S.G., 1991. *The Physiological Ecology of Woody Plants*, San Diego, California, Academic Press, inc. 657 p.

Kramer, P.J. et Palladry, S.G., 1991. *The Physiological Ecology of Woody Plants*, San Diego, California, Academic Press, inc. 657 p.

Ladd, J.N. and Amato, M., 1985. Nitrogen cycling in legume cereal rotations. In B.T. Kang and J. Van der Heide, eds. *Nitrogen management in farming systems in humid and sub-humid tropics*. 127 pp.

Lal, R., 2008. Sequestration of atmospheric CO₂ in global carbon pools. *Energy & Environmental Science*, 1(1), pp.86-100.

Lamtom, S. H., and R. A. Savidge., 2003. A reassessment of carbon content in wood: variation within and between 41 North American species." *Biomass and Bioenergy* 25.4, pp. 381-388.

Lamouroux, M. et Aubert, G., 1968. - Les sols bruns méditerranéens formés sur les calcaires durs du Liban. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. VI, no 1, 1968.

Le Bissonnais Y. et al., 1996 : Mise au point d'outils de prévision de l'évolution de la stabilité de la structure de sols sous l'effet de la gestion organique des sols « MOST » (Matières Organiques et Structure des sols), UR Science du Sol INRA-SESCPF, Orléans, 1996.

Le Clec'H, S., Oszwald, J., Jegou, N., Dufour, S., Cornillon, P.A., de Souza Miranda, I., Gonzaga, L., Grimaldi, M., Gond, V. and De Sartre, X.A., 2013. Cartographier le carbone stocké dans la végétation: perspectives pour la spatialisation d'un service écosystémique. *Bois & Forêts des Tropiques*, 316, pp.35-47.

Lefevre, C., Rekik, F., Alcantara, V. and Wiese, L., 2017. Carbone organique du sol : Une richesse invisible.

Lemma, B., Kleja, D.B., Olsson, M. and Nilsson, I., 2007. Factors controlling soil organic carbon sequestration under exotic tree plantations: A case study using the CO₂Fix model in southwestern Ethiopia. *Forest Ecology and Management*, 252(1-3), pp.124-131.

Liebig, M.A., Morgan, J.A., Reeder, J.D., Ellert, B.H., Gollany, H.T., Schuman, G.E., 2005.

Greenhouse gas contributions and mitigation potential of agricultural practices in northwestern USA and western Canada. *Soil Tillage Res.* 83, 25–52.

Lindsay, W.L. and Norvell, W.A., 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil science society of America journal*, 42(3), pp.421-428.

Linn, D.M and Doran, J.W., 1984. Effect of water-filled pore space carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and non-tilled soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48: 1267–1272 pp.

Litton, C. M., Raich, J. W., & Ryan, M. G., 2007. Carbon allocation in forest ecosystems. *Global Change Biology*, 13(10), 2089–2109.

Lorenz, K. and Lal, R., 2009. Carbon sequestration in forest ecosystems. Springer Science & Business Media.

Loveland P. et Webb J., 2003. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review, *Soil and Tillage Research*, 70, 1: 1 – 18.

Ludwig W., Probst J.L. et Kempe S., 1996. Predicting the oceanic input of organic carbon by continental erosion. *Global Biogeochemistry Cycles* 10, 23-41.

Lugo, A.E. and Brown, S., 1992. Tropical forests as sinks of atmospheric carbon. *Forest Ecology and Management*, 54(1-4), pp.239-255.

Mafongoya, P.L., Giller, K.E. and Palm, C.A., 1998. Decomposition and nitrogen release patterns of tree prunings and litter. In *Directions in Tropical Agroforestry Research* (pp. 77-97). Springer, Dordrecht.

Malmsheimer, R., P. Heffernan, S. Brink, D. Crandall, F. Deneke, C. Galik, E. Gee, J. Helms, N. McClure, M. Mortimer, S. Ruddell, M. Smith and J. Stewart., 2008. ‘Preventing GHG emissions through biomass substitution: forest management solutions for mitigating climate change in the United States’, *Journal of Forestry*, 106(3), 136–40.

Marland G. et Boden T.A., 1993. The magnitude and distribution of fossil-fuel-releases. In *The Global Carbon Cycle* (edited by M. Heimann). Springer-Verlag, New York, 117-138.

Martin, M.P., Orton, T.G., Lacarce, E., Meersmans, J., Saby, N.P.A., Paroissien, J.B., Jolivet, C., Boulonne, L. and Arrouays, D., 2014. Evaluation of modelling approaches for predicting the spatial distribution of soil organic carbon stocks at the national scale. *Geoderma*, 223, pp.97-107.

Masri, T. Khater, C. Masri, N and Zeidan C., 2006. Regeneration capability and economic losses after fire in Mediterranean forests Lebanon. *Lebanese Science Journal*, 7, (1).37-47 pp.

Massemet, J.Y., 2011 Lycée forestier, CHAPITRE II : HAUTEUR DES ARBRES– Château de Mesnières – 76270 MESNIERES-EN-BRAY

McClagherty C, Berg B., 1987. Cellulose, lignin and nitrogen levels as rate regulating factors in late stages of forest litter decomposition. *Pedobiologia* 30:101–112

McGraw Hill, Boston, Mass. baltsavias, Keestrea, S. D., Bouma, J., Wallinga, J., Tittonell, P., Smith, P., Cerdà, A., Montanarella, L., Quinton, J. N., Pachepsky, Y., van der Putten, W. H., Bardgett, R. D., Moolenaar, S., Mol, G., Jansen, B. & Fresco, L. O. 2016. The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals. *SOIL*, 2: 111-128.

McLatchey, G.P. and Reddy, K.R., 1998. Regulation of organic matter decomposition and nutrient release in a wetland soil (Vol. 27, No. 5, pp. 1268-1274). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America.

Médail, F., & Quézel, P. (1997). Hot-spots analysis for conservation of plant biodiversity in the Mediterranean Basin. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 84, 112–127.

Melillo, J.M., Aber, J.D., Linkins, A.E., Ricca, A., Fry, B. and Nadelhoffer, K.J., 1989. Carbon and nitrogen dynamics along the decay continuum: plant litter to soil organic matter. *Plant and soil*, 115(2), pp.189-198.

Meybeck M. (1984). Les fleuves et le cycle géochimique des éléments. Thèse Doc. Etat, Univ.Paris VI.

Mitran, T., Mishra, U., Lal, R., Ravisankar, T. and Sreenivas, K., 2018. Spatial distribution of soil carbon stocks in a semi-arid region of India. *Geoderma Regional*, 15, p.e00192.

MOA/FAO (2005). TCP/LEB/2903 Project Document. Ministry of Agriculture, Lebanon / Food and Agricultural Organization of the United Nations.

MoE/UNDP/ECODIT, 2011. State and trends of the Lebanese environment. URL: <http://www.MOE.gov.lb/Pages/SOER2010.aspx>

MoE/UNEP/GEF. (2016). National Biodiversity Strategy and Action Plan – NBSAP

Mokany, K., Raison, J.R. and Prokushkin, A.S. (2006). Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomes. *Global Change Biology* 12: 84-96.

Molto Q., Rossi V. & Blanc L., 2013. Error propagation in biomass estimation in tropical forests. *Methods Ecol. Evol.*, 4(2), 175-183.

Moni, C., 2008. Stabilisation physique et physico-chimique de la matière organique dans les horizons profonds du sol (Doctoral dissertation, Paris 6).

Montero, G., Ruiz-Peinado, R. and Munoz, M., 2005. Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles (p. 270p). Madrid: INIA-Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria.

Moorhead, J. and Nixon, T., 2016. Global 500 greenhouse gas performance: 2010–2015. Thomson Reuters, June.

Mueller-Harvey, I., Juo, A.S.R. et Wild, A. (1989). Mineralization of nutrients after forest clearance and their uptake during cropping. In J. Proctor, ed. Mineral nutrients in tropical forest and savannah ecosystems, pp. 315–324. Spec. Publ. No. 9. The British Ecological Society. UK, Blackwell Scientific Publications.

Myers, N., Mittlemeier, R.A., Mittlemeier, C.G., Da Fonseca, G.A.B. & Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403, 853–858

Nilsson T, Daniel G, Kirk TK, Obst JR (1989) Chemistry and microscopy of wood decay by some higher ascomycetes. *Holzforschung* 43:11–18

Novaes, E., Osorio, L., Drost, D. R., Miles, B. L., Boaventura-Novaes, C. R. D., Benedict, C.,

Kirst, M. 2009. Quantitative genetic analysis of biomass and wood chemistry of *Populus* under different nitrogen levels. *New Phytologist*, 182(4), 878–890.

Nussbaum, M., Papritz, A., Baltensweiler, A. and Walthert, L., 2014. Estimating soil organic carbon stocks of Swiss forest soils by robust external-drift kriging. *Geoscientific Model Development*, 7(3), pp.1197-1210.

O'Rourke, S. M., Angers, D. A., Holden, N. M. & Mcbratney, A. B. 2015. Soil organic carbon across scales. *Global Change Biology*, 21: 3561–3574.

Olsen, S.R., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate (No. 939). US Department of Agriculture.

Olson, K.R. and Al-Kaisi, M.M., 2015. The importance of soil sampling depth for accurate account of soil organic carbon sequestration, storage, retention and loss. *Catena*, 125, pp.33-37.

Ovington J.D., 1959. The circulation of minerals in plantations of *Pinus sylvestris* L. *Ann Bot NS* 23:229–239

Ovington, J. D., 1954. Studies of the development of woodland conditions under different trees: the forest floor. *The Journal of Ecology*, 71-80.

Ovington, J.D., 1959. The circulation of minerals in plantations of *Pinus sylvestris* L. *Annals of Botany*, 23(2), pp.229-239.

Pagiani, M., 2010. Les forêts de Méditerranée : Une nouvelle stratégie de conservation. WWF Programme Méditerranée. Communication. Rome, Le WWF - Fonds Mondial pour la Nature 30 P.

Pagliani, M. 2010. Les forêts de Méditerranée : Une nouvelle stratégie de conservation. WWF Programme Méditerranée. Communication. Rome, Le WWF - Fonds Mondial pour la Nature 30 P.

Pallardy, S. G., Kozlowski, T. T., & Kramer, P. J. (2010). The physiological ecology of woody plants. *Academic*, 80(2), 657

Pan, Y., Birdsey, R.A., Phillips, O.L. and Jackson, R.B., 2013. The structure, distribution, and

biomass of the world's forests. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 44, pp.593-622.

Pansu, M., & Gautheyrou, J. 2006. Handbook of soil analysis: Mineralogical, organic and inorganic methods. In *Handbook of Soil Analysis: Mineralogical, Organic and Inorganic Methods*.

Park, J.S. and Lee, E.J., 2014. Geostatistical analyses and spatial distribution patterns of tundra vegetation in Council, Alaska. *Journal of Ecology and Environment*, 37(2), pp.53-60.

Pawellek F. et Veizer, J. 1994. Carbon cycle in the upper Danube and its tributaries: $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ constraints. *Israel Journal of Earth Sciences*, 43, 187-194.

Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. and Wagner, F., 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry.

Perlack R., L. Wright, A. Turhollow, R. Graham, B. Stokes and D. Erbach., 2005, 'Biomass as feedstock for a bioenergy and bioproducts industry: the technical feasibility of a billion-ton annual supply', Tennessee: Oak Ridge National Laboratory.

Phachomphon, K., Dlamini, P. and Chaplot, V., 2010. Estimating carbon stocks at a regional level using soil information and easily accessible auxiliary variables. *Geoderma*, 155(3-4), pp.372-380.

Picard N., Saint-André L. & Henry M., 2012. Manuel de construction d'équations allométriques pour l'estimation du volume et la biomasse des arbres : de la mesure de terrain à la prédiction. Rome: FAO; Montpellier, France: CIRAD.

Picard, N., 2012. Manual for building tree volume and biomass allometric equations From field measurement to prediction (Cirad).

Plassard, C., Scheromm, P., Mousain, D. and Salsac, L., 1991. Assimilation of mineral nitrogen and ion balance in the two partners of ectomycorrhizal symbiosis: data and hypothesis. *Experientia*, 47(4), pp.340-349.

Podwojewski, P., Poulenard, J., Nguyet, M.L., De Rouw, A., Pham, Q.H. and Tran, D.T., 2011. Climate and vegetation determine soil organic matter status in an alpine inner-tropical soil catena in

the Fan Si Pan Mountain, Vietnam. *Catena*, 87(2), pp.226-239.

Ponge, J.F., 2003. Humus forms in terrestrial ecosystems: a framework to biodiversity. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(7), pp.935-945.

Ponge, J.F., 2013. Plant–soil feedbacks mediated by humus forms: a review. *Soil Biology and Biochemistry*, 57, pp.1048-1060.

POST G. E., 1933 - Flora of Syria, Palestine and Sinai. 2nd ed. rev. by DINSMORE J. E., Beirut.

Prasad, R. and Power, J.F., 1997. Soil fertility management for sustainable agriculture. New York, USA, Lewis Publishers. 356 pp.

Prietzl, J., Stetter, U., Klemmt, H.J. and Rehfuss, K.E., 2006. Recent carbon and nitrogen accumulation and acidification in soils of two Scots pine ecosystems in Southern Germany. *Plant and Soil*, 289(1), pp.153-170.

Purves, D. W., & Pacala, S., 2008. Predictive models of forest dynamics. *Science*, 320(5882), 1452–1453.

Quezel, P., 2003. *Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen*. Paris, Elsevier (Collection Environnement).

Quideau, S-A., 2002. Organic matter accumulation. In: *Encyclopedia of soil science*. New York, USA, Marcel Dekker Inc. 891–894 pp.

Rice, C.W. 2002. Organic matter and nutrient dynamics. In: *Encyclopedia of soil science*, pp. 925–928. New York, USA, Marcel Dekker Inc.

Roux, A., Colin, A., Dhôte, J.F. and Schmitt, B., 2017. ‘Quel rôle pour les forêts et la filière forêt-bois françaises dans l’atténuation du changement climatique? Filière forêt-bois française et atténuation du changement climatique. Annexes’, (June), p. 234

Ruiz-Peinado Gertrudix, R., Montero, G., & Del Rio, M. 2012. Biomass models to estimate carbon stocks for hardwood tree species. *Forest Systems*, 21(1), 42.

Ryan, J.S, Gabaret, K. Harmsen and A. Rachid., 1996. *A soil and Plant analysis Manuel Adapted*

for the Ouest Asia and Nord Africa Region. ICARDA, Aleppo, Syria.140 pp.

Saïdou, A., Dossa, A. F. E., Gnanglè, P. C., Balogoun, I., & Aho, N., 2012. Evaluation du stock de carbone dans les systèmes agroforestiers à karité (*Vitellaria paradoxa* CF Gaertn.) et à néré (*Parkia biglobosa* Jacq. G. Don) en zone Soudanienne du Bénin. Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB), 1-9.

Saleh, Bernadette & Safi, Samir., 1988. Carte de la Végétation du Liban. ECOLOGIA MEDITERRANEA. XIV. 123-142.

Salisbury, F.B. et C.W. Ross, 1978. Plant Physiology 2nd ed., Belmont, California, Wadsworth Publ. Co., 657 p.

Salleles, J., 2014. Étude de la contribution des litières à la nutrition azotée des arbres : dynamique temporelle suivie par marquage isotopique. Revue Forestière Française.

Sarmiento, J.L., 1993. Ocean carbon cycle. Chemical and Engineering News, 71(22), pp.30-43.

Scharlemann, J. P., Tanner, E. V., Hiederer, R. & Valerie, K. 2014. Global Soil Carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. Carbon Management, 5(1): 81-91.

Schiffman PM, Johnson WC, 1989 Phytomass and detrital carbon storage during forest regrowth in the southeastern United States Piedmont. Can J For Res 19:67–78

Schiffman, P.M. and Johnson, W.C., 1989. Phytomass and detrital carbon storage during forest regrowth in the southeastern United States Piedmont. Canadian Journal of Forest Research, 19(1), pp.69-78.

Schlesinger W.H. et Melack J.M., 1981. Transport of organic carbon in the world's rivers. Tellus 33, 172-1 87.

Shangguan, W., Dai, Y., Duan, Q., Liu, B. & Yuan, H. 2014. A global soil data set for earth system modeling. Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 6: 249-263.

Silva, J. S., & Rego, F. C. (2004). Root to shoot relationships in Mediterranean woody plants from Central Portugal. Biologia Bratislava, 59(13), 1–7.

Silva, J.S. and Rego, F.C., 2004. Root to shoot relationships in Mediterranean woody plants from Central Portugal. *Biologia*, 59(13), pp.1-7.

Six, J., Callewaert, P., Lenders, S., De Gryze, S., Morris, S. J., Gregorich, E. G., ... & Paustian, K., 2002. Measuring and understanding carbon storage in afforested soils by physical fractionation. *Soil science society of America journal*, 66(6), 1981-1987.

Six, J., Conant, R. T., Paul, E. a, & Paustian, K., 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturatin of soils. *Plant and Soil*, 241, 155–176.

Six, J., Frey, S. D., Thiet, R. K. & Batten, K. M. 2006. Bacterial and Fungal contributions to Carbon Sequestration in Agrosystems. *Soil Science Society of America*, 70(2): 555-569.

Snowdon, P., Raison, R.J., Keith, H., Ritson, P., Grierson, P., Adams, M., Montagu, K., Bi, H.Q., **Burrows, W. and Eamus, D.**, 2002. Protocol for sampling tree and stand biomass.

Sollins, P., Homann, P., & Caldwell, B. a., 1996. Stabilization and destabilization of soil organic matter1.pdf. *Geoderma*, 74(1–2), 65–105.

SoMF (State of Mediterranean Forest)., 2013. Estimation from FAOSTAT.

Sunderlin, W.D., Dewi, S. and Puntodewo, A., 2007. Poverty and forests. Multi-country analysis of spatial association.

Thevenot M, Dignac M-F, Rumpel C (2010) Fate of lignins in soils: a review. *Soil Biol Biochem* 42 :1200–1211

Thompson, J.D., Lavergne, S., Affre, L. Gaudeul, M. & Debussche, M. 2005. Ecological differentiation of Mediterranean endemic plants. *Taxon*, 54: 967–976. Topak,

Tietema A (2004) WANDA, a regional dynamic nitrogen model (With Aggregated Nitrogen DynAmics) for nitrate leaching from forests. *Hydrol Earth Syst Sci* 8:803–812

Tietema, A., 2004. WANDA, a regional dynamic nitrogen model (With Aggregated Nitrogen DynAmics) for nitrate leaching from forests. *Hydrology and Earth System Sciences*, 8(4), pp.803-812.

- Torn, M.S., Lapenis, A.G., Timofeev, A., Fischer, M.L., Babikov, B.V., Harden, J.W.,** 2002. Organic carbon and carbon isotopes in modern and 100-year-old-soil archives of the Russian steppe. *Global Change Biology* 8, 941–953.
- Torn, M.S., Trumbore, S.E., Chadwick, O.A., Vitousek, P.M., Hendricks, D.M.,** 1997. Mineral control of soil organic carbon storage and turnover. *Nature* 389, 170–173.
- Turner, J. and Long, J.N.,** 1975. Accumulation of organic matter in a series of Douglas-fir stands. *Canadian Journal of Forest Research*, 5(4), pp.681-690.
- Uehara, G. and Gilman, G.** (1981). *The mineralogy, chemistry and physics of tropical soils with variable charge argiles*. Boulder, USA, Westview Press. 170 pp.
- Ugalde, D., Brungs, A., Kaebernick, M., McGregor, A. et Slattery, B.** (2007). Implications of climate change for tillage practice in Australia *Soil and Tillage Research*, Volume 97, Issue 2, December 2007. 318-330pp.
- Van Breugel M. et al.,** 2011. Estimating carbon stock in secondary forests: Decisions and uncertainties associated with allometric biomass models. *For. Ecol. Manage.*, **262**(8), 1648-1657.
- Van Der Heijden, M. G. A., Bardgett, R. D., & Van Straalen, N. M.,** 2008. The unseen majority: Soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems.
- Vayreda, J., Martínez-Vilalta, J., Gracia, M. Retana, J.** 2012. Recent climate changes interact with stand structure and management to determine changes in tree carbon stocks in Spanish forests. *Global Change Biology*, 18: 1028-1041.
- Verchot, L. V., Dutaur, L., Shepherd, K. D., & Albrecht, A., 2011. Organic matter stabilization in soil aggregates: understanding the biogeochemical mechanisms that determine the fate of carbon inputs in soils. *Geoderma*, 161(3-4), 182-193.
- Virto, I., Antón, R., Apesteguía, M. and Plante, A.,** 2018. Role of carbonates in the physical stabilization of soil organic matter in agricultural Mediterranean soils. In *Soil Management and Climate Change* (pp. 121-136). Academic Press.
- Von Lützow, M. and Kögel-Knabner, I.,** 2009. Temperature sensitivity of soil organic matter

decomposition what do we know. *Biology and Fertility of soils*, 46(1), pp.1-15.

Von Lützow, M., Kögel-Knabner, I., Ludwig, B., Matzner, E., Flessa, H., Ekschmitt, K., ... & Kalbitz, K., 2008. Stabilization mechanisms of organic matter in four temperate soils: Development and application of a conceptual model. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171(1), 111-124.

Walker, S. M., Pearson, T. R. H., Casarim, F. M., Harris, N., Petrova, S., Grais, A., ... Brown, S. (2013). *Standard Operating Procedures for Terrestrial Carbon Measurement: Version 2012*. Winrock International, 96.

Wang, S., Zhuang, Q., Jia, S., Jin, X. and Wang, Q., 2018. Spatial variations of soil organic carbon stocks in a coastal hilly area of China. *Geoderma*, 314, pp.8-19.

Waring, R.H. et Schlesinger.W.H., 1985. *Forest Ecosystems: Concepts and management*, Academic Press, Orlando, Florida, 340p.

Watson, R., Noble, I. et Bolin, B. and 32 co-authors (2000) Summary for policymakers: land use, land use change and forestry. In: *A special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press

Xiong, S., & Nillson, C. (1997). Dynamics of leaf litter accumulation and its effects on riparian vegetation: A review. *The Botanical Review*, 63(September), 240–264. Retrieved from

Yoon, T. K., Park, C. W., Lee, S. J., Ko, S., Kim, K. N., Son, Y., ... Son, Y. (2013). Allometric equations for estimating the aboveground volume of five common urban street tree species in Daegu, Korea. *Urban Forestry and Urban Greening*, 12(3), 344–349.

Zianis D, Xanthopoulos G, Kalabodikis K, Kazakis G, Ghosn D, Roussou O. (2011) Allometric equations for aboveground bio- mass estimation by size class for *Pinus brutia* Ten. trees growing in Nord and Sud Aegean Islands, Greece. *Eur J For Res* 130: 145–160

Zianis, D., Muukkonen, P., Mäkipää, R., & Mencuccini, M. (2005). *SILVA FENNICA Monographs 4 · 2005 Biomass and Stem Volume Equations for Tree Species in Europe*. In the Finnish Society of Forest Science, The Finnish Forest Research Institute. Retrieved from

Zohary, M. and Heller, D., 1984. *The genus Trifolium*. Israel Academy of Sciences and

Humanities.