

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE DE BLIDA 1



FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

DEPARTEMENT DE BIOTECHNOLOGIE

Mémoire présenté pour l'obtention

Du diplôme de Master

Spécialité : Sciences de la nature et de la vie

Option : Sciences Forestières

Thème

Estimation du carbone organique de quelques sols
De la forêt de Bainem

Présenté par : Moogafi Othmane

Guerfi Yassine

Soutenue le : 15 / 09/2018

Soutenu devant le jury composé de :

Président : Mme Sellami. M

M.A.A Université de Blida

Examineur : Mr Akli. A

M.A.A Université de Blida

Promotrice : Mme Zemouri. S

M.A.A Université de Blida

Co.promotrice : Dilmi. A

Chargée de la recherche INRF Alger

Année universitaire : 2018/2019

Remerciements

Nous remercions tout d'abord le Dieu qui nous a donné le courage et la patience dans toute notre vie pour terminer ce modeste travail. Toujours en lui nous avons mis toute notre confiance et ne nous sommes jamais déçus.

Nous exprimons nos profondes gratitude et reconnaissances à notre Promotrice Madame ZEMOURI Samia et Madame Dilmí Amel et monsieur Zinedine chekired pour avoir proposé et accepté de diriger, avec beaucoup de patience et de dévouement, ce sujet de mémoire de fin d'études et on ne peut jamais oublier leurs encouragements et leurs conseils, nous les prions de trouver ici le témoignage d'une respectueuse reconnaissance.

Nous venons de traduire également nos vifs remerciements aux membres de jury :

Madame, SELAMI Madîha maître de conférences à l'université de Blida, pour avoir accepté de présider le jury.

Monsieur, AKLI Adel Maître assistant à l'université de Blida, pour nous avoir fait l'honneur d'examiner et de juger ce travail.

Nos sincères remerciements vont au directeur de l'Institut national de recherche forestière.

Nos reconnaissances vont également à toutes l'équipes de laboratoire du l'Institut national de recherche forestière.

Nos remerciements vont à tous les professeurs de département des sciences agronomiques et de biologie.

Mes reconnaissances vont également à tous nos collègues de promotion.

Dédicace

C'est avec l'aide de Dieu le tout puissant que j'ai pu arriver au terme de ce travail que je tiens à dédier:

A mon très cher père pour le soutien qui m'apporte durant toute ma vie

A ma bien aimée très chère mère, symbole de l'amour et de l'affection, celle qui m'a toujours encouragé.

A Mes chères sœurs. A Mon très cher frère.

Mes très chères amies qui m'ont toujours soutenu avec leurs grands cœurs : Maroua, Yassine, Zindine, Mohamed.

A mes collègues de la promotion de 2^{ème} année Master

A tous ceux qui j'aime

A mon précieux binôme : Yassine

Moogafi

Dédicaces

Je dédie ce mémoire

A mes parents :

Grâce à leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices, ils ont pu créer le climat affectueux et propice à la poursuite de mes études.

Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments envers eux.

A Mes chères sœurs .A Mes très cher frères :

Mes très chères amies qui m'ont toujours soutenu avec leurs grands cœurs : Bilal. nidhal. fateh. Nasrddine .

A mes collègues de la promotion de 2^{eme} année Master

A tous ceux qui j'aime

A mon précieux binôme : Othmane

Yassine

Résumé

Le présent travail a été réalisé dans la région d'Alger (forêt de Bainem) , entre dans le projet de l'institut national de la recherche forestière (INRF), financé par la direction générale de la recherches scientifiques et développement technologique. Il consiste a une étude basé sur l'évaluation et la comparaison de stock de carbone organique au niveau de différents horizons des sols pour les essences forestières de deux parcelles l'une à dominance Eucalyptus (*eucalyptus Camadulensis*) et l'autre a dominance Pin d'Alep (*Pinushalepensis*) . Après avoir analysé les résultats, nous avons constaté que les deux parcelles sont riches en carbone organique et aussi en azote, on a constaté que le stock de carbone organique chez les résineux (Pin d'Alep) est plus important que chez les feuillus (eucalyptus).

Mots-clés : Bainem, Eucalyptus (*eucalyptus Camadulensis*), Pin d'Alep (*Pinushalepensis*) , carbone organique , INRF , résineux , feuillus

Abstract

The present work was carried out in the Algiers region (Bainem Forest), is part of the project of the National Institute of Forest Research (INRF), funded by the Directorate General of Scientific Research and Technological Development. It consists of a study based on the evaluation and comparison of organic carbon stock at different soil horizons for the forest species of two plots, one dominated by Eucalyptus (*Eucalyptus Camadulensis*) and the other dominated by pine. Aleppo (*Pinushalepensis*). After analyzing the results, we found that the two plots are rich in organic carbon and also in nitrogen, it was found that the organic carbon stock in conifers (Aleppo pine) is higher than in hardwood (*Eucalyptus*).

Keywords: Bainem, Eucalyptus (*Eucalyptus Camadulensis*), Aleppo Pine (*Pinushalepensis*), Organic Carbon, INRF, Softwoods, Hardwoods

الملخص

تم تنفيذ العمل الحالي في منطقة الجزائر غابة باينام و هو جزء من مشروع المعهد الوطني لأبحاث الغابات الذي تموله الجمعية العامة للبحث العلمي و التطور التكنولوجي يتكون هذا العمل من دراسة تستند إلى تقييم و مقارنة مخزون الكربون العضوي في مختلف أفاق التربة لنوعين من النبات الأولى تشمل الاكالبتوس و الثانية تضم الصنوبر الحلبي . بعد تحليل النتائج وجدنا أن كلا القطعتين غنيتان بالكربون العضوي و أيضا بالنيتروجين كما وجدنا كذلك إن مخزون الكربون العضوي في الصنوبريات الصنوبر الحلبي أعلى منه في الأخشاب الصلبة الاكالبتوس و هذا ما يؤكد ان الغطاء النباتي خاصة الغابات لها دور كبير في امتصاص غاز ثنائي الكربون و تحويله إلى كربون عضوي و بالتالي انخفاض نسبة حدوث ظاهرة الاحتباس الحراري .

الكلمات المفتاحية الصنوبر الحلبي , باينام , الكربون العضوي , الصنوبريات , الأخشاب الصلبة , الاوكالبتوس

المعهد الوطني لأبحاث الغابية

Liste des figures

Figure 01	La composition du sol par volumes	02
Figure 02	Distribution des forêts dans le monde. Tiré de FAO, 2010	04
Figure 03	Les processus de transformation de la matière organique (ITV FRANCE)	06
Figure 04	La minéralisation de la matière organique	10
Figure 05	Le cycle global du carbone	13
Figure 06	situation géographique de la forêt de bainem (Ghezali, 2012)	15
Figure 07	Les Températures de la Forêt de Baïnem (Ghezali, 2012)	18
Figure 08	La Pluviométrie (mm) de la Forêt de Baïnem (Ghezali, 2012)	19
Figure 09	Diagramme Ombrothermique selon la méthode de Gaussen (Période 2000-2011)	20
Figure 10	Climagramme d'EMBERGER situation de la région d'étude bainem	22
Figure 11	Parcelle de l'eucalyptus au niveau de la forêt de bainem	23
Figure 12	Parcelle de Pin d'Alep au niveau de la forêt de bainem	24
Figure 13	profil pédologique au niveau de la forêt de bainem	24
Figure 14	Les analyses dans laboratoire au niveau de l'INRF	25
Figure 15	L'analyse granulométrie au niveau de l'INRF	26
Figure 16	Les analyses de Ph mètre au niveau de l'INRF	27
Figure 17	L'analyse de conductivité électrique au niveau de l'INRF	28
Figure 18	Variation du carbone organique du sol en fonction de la profondeur	32
Figure 19	Variation de la matière organique du sol en fonction de la profondeur	33
Figure 20	Variation de la l'azote organique du sol En fonction de la profondeur	35
Figure 21	Variation du rapport C / N du sol En fonction de la profondeur	36
Figure 22	Variation du pH des sols En fonction de la profondeur	37
Figure 23	Variation de la CE des sols En fonction de la profondeur	38
Figure 24	Variation de L'humidité des sols En fonction de la profondeur	39

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau 01	Moyennes mensuelles la température et précipitations pour la période 2000-2011	20
Tableau 02	Paramètre statistique de la texture	30
Tableau 03	Paramètre statistiques du carbone organique (CO%).	31
Tableau 04	Paramètre statistiques de la matière organique (MO%).	32
Tableau 05	Paramètre statistiques de l'azote total (N%)	33
Tableau 06	Paramètre statistiques du rapport C/N	35
Tableau 07	Paramètre statistique du pH	36
Tableau 08	Paramètre statistique de la conductivité électrique (C.E dS.m-1)	37
Tableau 09	Paramètre statistique de L'humidité (%)	38

Liste des abréviations

Liste des abréviations

COS : Carbone organique du sol

F.A.O.: Food and Agriculture Organisation

I.T.A.F.V : Institut Technique de l'Arboriculture Fruitière et de la vigne

P : Précipitation en mm

T : Température en °C

CE : Conductivité Électrique

MO : Matière Organique

pH : potentielle Hydrogène

C/N : Rapport Carbone/Azote

N : Azote

Ca⁺⁺ : Calcium

K⁺ : Potassium

Mg⁺⁺ : Magnésium

°C : Degré Celsius

% : Pourcentage

µm : micromètre

C : Carbone

O : Organique

N : Azote

T : Total

H : Horizon

Liste des abréviations

MOS : Matière organique du sol

MOD : Matière organique dissoute ou soluble

COD : Carbone hydrosoluble (dissous dans l'eau)

MOV : Matière organique vivant

M O F : Matière organique fraîche

EC : Eucalyptus

PA : Pin d'Alep

Gt : Giga tonnes de carbone

TABLE DES MATIERES

Remerciements	
Dédicace	
Résumé	
Liste du tableau	
Liste de la figure	
List d'abréviation	
Introduction générale	

PARTIE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : LE SOL

Introduction.....	01
1. La composition du sol	01
2. Les fractions du sol.....	02
2.1. La fraction solide	02
2.2. La fraction liquide	03
2.3. La fraction gazeuse	03
3. Les sols des forêts	03
4. Les Influences de la végétation Sur les sols.....	04
5. Influence des sols sur le peuplement forestier	05

CHAPITRE II : LA MATIÈRE ORGANIQUE DANS LE SOL

Généralités.....	06
1. Les typologies des matières organiques.....	06
1-1. Les matières organiques vivantes	06
1-2. Les débris d'origine végétale	06
1-3. Des composés organiques stabilisés	06
2. Les sources de la matière organique du sol	07
3. La nature et les différentes formes de la matière organique.....	08
4. Les rôles de la matière organique	08
5. les dynamiques de la matière organique.....	09
6. Les processus de transformation de la matière organique.....	09
6-1. La minéralisation.....	09
6-2. L'humification.....	10
6-3. La minéralisation secondaire.....	10
7. Les effets de la matière organique.....	10
7.1 .Sur les propriétés physique.....	10
7.2. Sur les propriétés chimiques	10
7.3. Sur les propriétés biologiques	10
8. Les qualités de la matière organique	11
9. Les effets de la température sur le carbone organique	11
10. Les peuplements forestiers et matières organiques dans les sols	11
11. Cycle Du Carbone Global	12

Partie II : ETUDE DE MILIEU

1. Présentation de la Forêt de Bainem	14
1.1. Localisation	14
1.2. Description	14
2. Le réseau hydrographique	15
3. Les Caractéristiques géologiques et pédologiques	16
4. la végétation	17
5. Les données climatiques	18
5.1. Particularités climatiques de la Forêt de Bainem	18
5.1.1. Températures de la Forêt de Bainem.....	18
5.1.2. Pluviométrie de la Forêt de Bainem	19
5.2. Diagramme ombrothermique.....	20
5.3. Quotient pluviothermique et Climagramme d'EMBERGER	21

PARTIE III : MATRIELS ET METHODES

Introduction	24
1/Travail sur le terrain	
1.1/ Parcelles expérimentales.....	23
1.2/ Échantillonnage	24
2/Analyses au laboratoire.....	25
2.1. Les méthodes d'analyses physiques	26
2.1.1. Les Analyses granulométriques	26
2.1.2. L'humidité (séchage à l'étuve 105°C).....	26
2.1.3. La matière organique (méthode d'ANNE)	27
2.2. Les méthodes d'analyse chimique :.....	27

2.2.1. Le Ph	27
2.2.2. La conductivité électrique	28
2.2.3. Le dosage de l'azote total (méthode KJELDAHL).....	29

PARTIE IV : RÉSULTATS ET DISCUSSION

I - Interprétation des résultats	30
I.1.La granulométrie	30
I.2. Le carbone organique.....	31
I.3.La matière organique.....	32
I.4. L'azote (N)	33
I.5.Le rapport C/N.....	35
I.6. Le potentiel hydrique pH (eau)	36
I.7. La conductivité électrique.....	37
I.8.L'humidité.....	38
II-Discussion des résultats.....	40

Conclusion général

Références bibliographiques

Annexe

Introduction générale

Le sol constitue un réservoir important de carbone organique des écosystèmes terrestres, puisqu'il contient de deux à trois fois plus de (C) que la végétation et l'atmosphère. Il est le principal composant de la matière organique du sol. En tant qu'indicateur de la santé du sol, le COS est important pour ses contributions à la production alimentaire. **(Schlesinger, 1986)**.

La matière organique du sol (MOS) est étroitement liée au carbone organique, **(Stevenson 1994)**. La MOS est un facteur clé du cycle du carbone (C) mondial **(Paustian et al., 1997)**. Lorsqu'on parle de carbone organique du sol, on parle en fait de matières organiques du sol **(Cardinal, 2015)**.

L'étude de la dynamique de cet élément dans le système sol-plante atmosphère revêt un regain d'intérêt pour la communauté scientifique. Cet intérêt renvoie à deux enjeux majeurs, l'un de nature globale, concerne le changement climatique et l'autre de dimension locale, est relatif à la fertilité des sols **(Ndiaye et al., 2014)**. La matière organique provient des organes et d'organismes morts, végétaux pour la plupart, de déjections animales, d'exsudats des racines ou « rhizodépôts » et d'organismes vivants.

Toute cette matière organique subit des biotransformations dans le sol qui s'étalent de la biodégradation jusqu'à la minéralisation. Cette dernière restitue le carbone à l'atmosphère sous forme de CO₂ ou CH₄ (des gaz à effet de serre). L'ensemble des composés organiques réside dans le sol pendant une durée moyenne de quelques décennies mais peut, néanmoins, aller de quelques heures à plusieurs millénaires **(Cardinal, 2015)**.

Le carbone est donc stocké de manière temporaire dans les sols. L'évolution de ce stock organique dans les sols résulte de l'équilibre entre les apports organiques au sol et la vitesse de minéralisation **(Chenu, 2015)**.

Les forêts stockent plus que la moitié du carbone organique des terres émergées et le carbone emmagasiné dans les sols des forêts représente 35% du total du carbone présent dans les réservoirs du sol **(Robert, 2002)**. Les forêts jouent donc un rôle déterminant dans la régulation

du niveau du CO₂ atmosphérique, dont l'augmentation d'origine anthropique est considérée comme majoritairement responsable du réchauffement climatique (**GIEC, 2001, 2007**).

A partir de l'hypothèse ; que les sols forestiers jouaient un rôle de puits vis-à-vis du carbone, qu'il s'avère primordial de connaître la taille de réservoir du carbone des écosystèmes forestiers.

C'est dans ce contexte que s'inscrit ce travail de mémoire de fin d'étude, qui porte sur :

- Evaluation du taux de carbone des sols au niveau du forêt de Bainem.
- Evaluation du taux de la matière organique des sols.
- Détermination de l'essence forestière la plus adoptée pour le stockage du carbone organique.

Ce mémoire est structuré en trois parties :

- ❖ Aperçu bibliographique
- ❖ Matériel et méthodes
- ❖ Résultats et discussion

Et finalement une conclusion générale

Généralité sur le sol

Le sol est la partie meuble de la lithosphère. Cette couche constitue la couverture pédologique, généralement continue en plaine. Elle est organisée depuis l'échelle du continent, de la région, jusqu'à la maille élémentaire du minéral argileux. Cette couverture est souvent profondément modifiée, voire complètement détruite, par l'homme. Pour l'observer, la décrire, il faut à un moment donné en isoler un maillon élémentaire, le pédon, volume de sol de 1 à 10 m² de surface et d'environ 1 m de profondeur, suffisant pour caractériser le profil du sol à partir de ses différents horizon (**Robert, 1996**).

1. La composition du sol

Les sols sont des systèmes complexes et thermodynamiquement ouverts qui échangent continuellement de l'énergie et de la matière avec le milieu environnant (**Batjes et al, 1992 ; Otto, 1989**). Ce sont donc des milieux très hétérogènes qui sont composés d'une matrice solide, constituée de matière minérale et de matière organique et d'une phase fluide (gaz et liquide) qui occupe l'espace poral laissé entre les particules solides, communément appelées microporosité et macroporosité. Celles-ci sont donc déterminées, respectivement, par la texture et la structure du sol et d'une multitude d'organismes vivants (**Bensid, 2015**). Le sol est donc constitué par l'assemblage de quatre composantes principales : les particules minérales, la matière organique (MO), l'eau et l'air. Les proportions volumiques de ces éléments varient essentiellement en fonction du type de sol et de son état d'humidité (**Calvet, 2003**). La matière organique du sol (MOS), malgré son faible pourcentage volumique, joue un double rôle, l'un édaphique dans la fertilité des sols et l'autre d'ordre écologique.

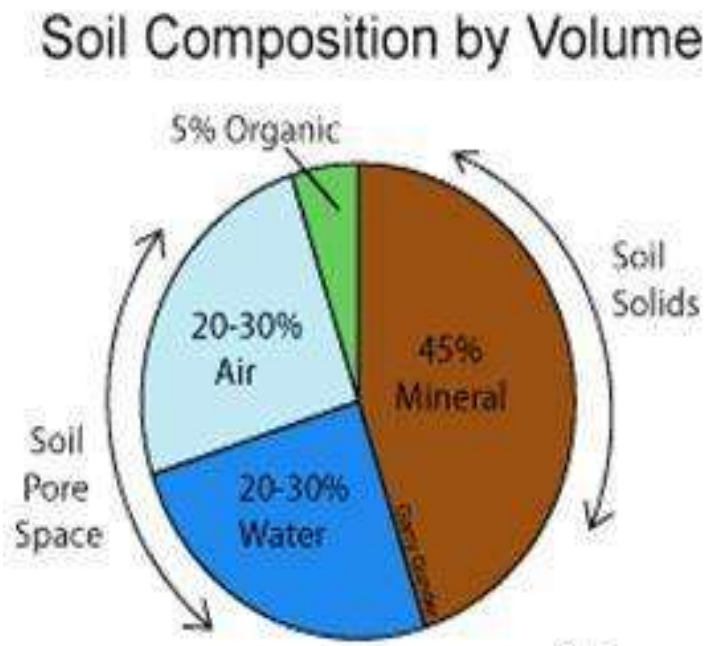


Figure 1 : la composition du sol par volumes

(<https://www.studyblue.com/notes/n/soils-cnp/deck/13856098>)

2. Les fractions du sol:

Il est un mélange complexe de fragments de roches de granulométries variées, d'organismes et d'humus (ensemble complexe de résidus de matière organique partiellement décomposée et transformée) Pour mieux l'appréhender, on peut le décomposer en plusieurs fractions (SOLTNER, 1992) :

2.1. La fraction solide : elle est constituée de deux types d'éléments distincts :

- Les éléments minéraux, ou « constituants mécaniques », qui proviennent essentiellement de l'altération mécanique et chimique de la roche mère. Ils se présentent sous la forme de pierres, de graviers, de sables grossiers ou fins, de limons, d'argiles, de calcaire ou encore d'oxyde de fer. Cette fraction minérale est très dominante sur le plan quantitatif (de 80 à 99% en masse) et relativement stable en composition.

- Les éléments organiques, ou la matière organique du sol (**MOS**). Cette fraction de compositions très variables au cours du temps, peut être plus ou moins abondante dans le sol (de 0% dans les déserts à sols minéraux à plus de 95% dans les tourbières). (**MUSTIN, 1987**)

2.2. La fraction liquide : ou la « solution du sol », représente l'eau contenue dans le sol et dans laquelle sont dissoutes les substances solubles provenant à la fois de l'altération des roches, de la décomposition des **MOS** et des apports extérieurs tels que les fertilisants et pesticides. Cette fraction est le lieu des réactions chimiques permanentes indispensables à l'évolution de la matière organique et à la croissance des végétaux. Il y a trois types de solutions (**MUSTIN, 1987**)

- liquide libre qui s'écoule à travers le sol et qui percole par gravité.
- liquide utilisable par les végétaux qui est retenu plus ou moins fortement par les particules du sol, il occupe les petites lacunes et imbibe les particules par capillarité.
- liquide inutilisable par les végétaux qui est très fortement lié aux particules solides du sol.

2.3. La fraction gazeuse : ou l'« atmosphère du sol », est composée de mêmes gaz que l'air auxquels s'ajoutent certains gaz provenant de la décomposition des **MOS** (méthane et ammoniac)

3. Les sols des forêts

Dans le monde 4.03 milliards d'ha sont couverts par de la forêt, ce qui représente approximativement 30 % des surfaces émergées du globe. La majorité du carbone du sol se concentre dans les tourbières des forêts boréales et tropicales dans l'Asie du Sud-est (**Figure 2**) (**Pan et al., 2013**). La végétation forestière et les sols contiennent environ 1 240 PgC et le stock de carbone varie largement au travers des différentes latitudes. Sur la totalité du stock de C mondial dans le biome forestier, Le contenu en COS des sols de forêt peut aller de 0 pour cent pour des sols très jeunes à plus de 50 pour cent dans certains sols humides ou organiques, avec la plupart contenant entre 0.3 et 11.5 pour cent dans les 20 premiers centimètres pour les sols minéraux (**Lal, 2005**).

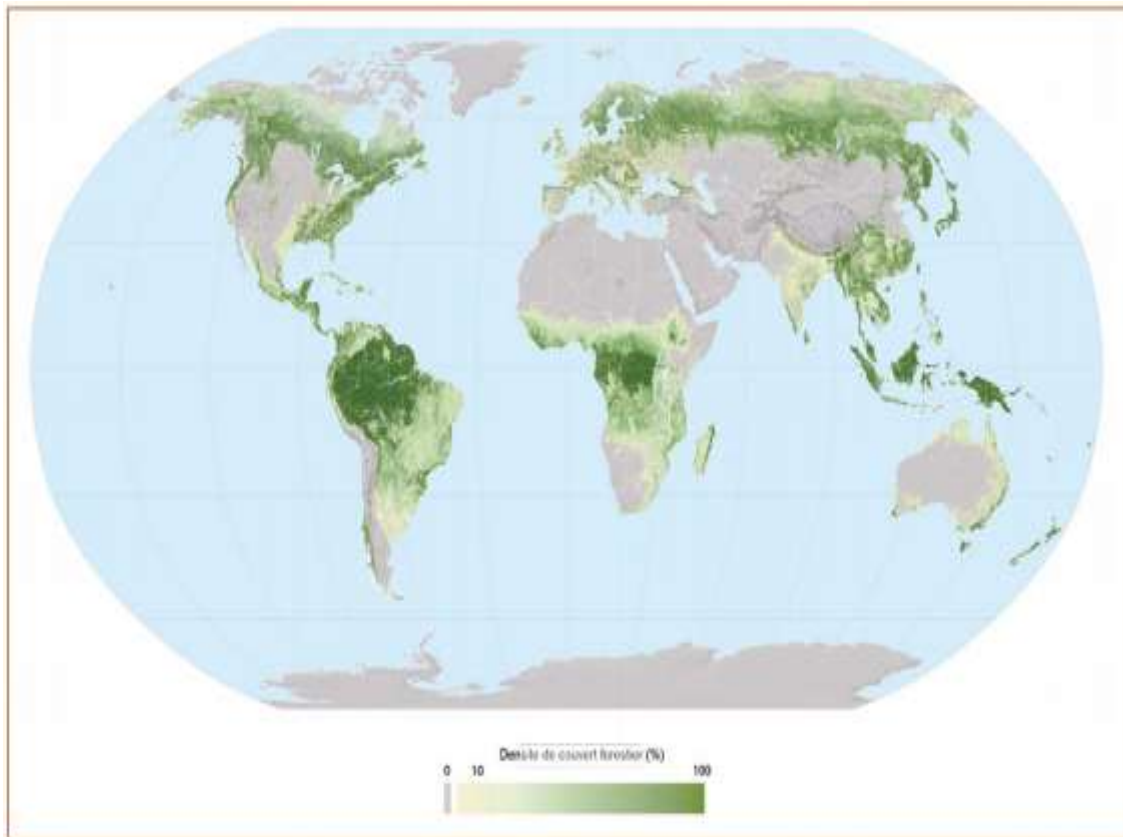


Figure 2 : Distribution des forêts dans le monde. FAO, 2010

4. Les influences de la végétation Sur les sols

D'après (Aubert, 1970), Une végétation suffisamment dense réduit considérablement la radiation totale atteignant le sol. Il s'ensuit une réduction de la température plus encore, sous forêt, par rapport au sol nu. Cette influence joue sur la valeur des températures maxima et de l'amplitude thermique journalière à la surface du sol, La température du sol nu variant de 50° à 54°c celle du sol voisin sous végétation herbacée était de 34°c et sous forêt de 25° seulement.

En fonction du type de végétation, l'amplitude thermique varie Également à l'intérieur du sol. En sol ferrallitique, à 20 cm de la surface, sous tapis graminéen, l'amplitude thermique journalière fut, un jour, de 13° ; elle s'abaisse le même jour à 10°, sous la forêt voisine.

5. Les influences des sols sur le peuplement forestier :

D'après Ferry et al (2003), l'influence du sol sur les arbres est parfaitement identifiable à l'échelle de l'individu (encore faudrait-il aborder les questions de dynamique d'accroissement et de longévité). Se traduit-elle par des variations à l'échelle du peuplement forestier,

en termes de structure dendrométrique (densité, surface terrière, distribution des diamètres...), d'architecture, de dynamique sylvigénétique et de composition floristique?

Au sein d'une communauté, les plantes sont individuellement en compétition pour trois ressources essentielles : la lumière, l'eau, et certains éléments minéraux.

La compétition entre individus pour l'alimentation minérale est d'autant plus perceptible que les sols sont chimiquement pauvres. Elle est plus faible sur sol ferrallitique que sur podzol et quasi absente sur des sols riches (CE élevée).

Le sol (stabilité mécanique, profondeur de l'enracinement, engorgement...) en interaction avec d'autres facteurs (caractéristiques des espèces, vent et pluviosité) influence le cycle sylvigénétique et infine la structure dendrométrique et la composition floristique du peuplement forestier. Dans la gamme de sols étudiés, plus les conditions édaphiques sont contraignantes, plus le peuplement forestier est dense et plus les arbres sont de petite taille, en diamètre et en hauteur (**BELLOULA , 2011**)

Généralités

La matière organique est ensemble des composés carbonés et azotés issus de la dégradation des produits de la faune et de la flore, de surface et du sous-sol. Elle présente une gamme de substance très différents et à des stades d'évolution très variée (**Duchauour, 1977**).

La matière organique joue un rôle majeur relativement à la conservation des sols. Elle a des effets positifs en particulier sur L'activité biologique, la structure la rétention en eau, le drainage et la réserve en éléments nutritifs du sol. Son influence se répercute également sur la productivité et la rentabilité des Cultures.(**Duchauour,1977**).

1- Les typologies des matières organiques

Elles se répartissent en trois groupes

1-1 -Les matières organiques vivantes (MOV), animale, végétale, fongique et microbienne, englobent la totalité de la biomasse en activité (racines, vers de terres, microflore du sol...).

1-2-Les débris d'origine végétale (résidus végétaux, exsudats), animale (déjections, cadavres), fongique et microbienne (cadavres, exsudats) appelés «Matières Organiques fraîches».

1-3-Des composés organiques stabilisés (« MO stable»), les matières humiques ou humus, provenant de l'évolution des matières précédentes. La partie humus représente 70 à 90 % du total. (**Beuuchamp j, 2003**).

Evolution simplifiée des matières organiques

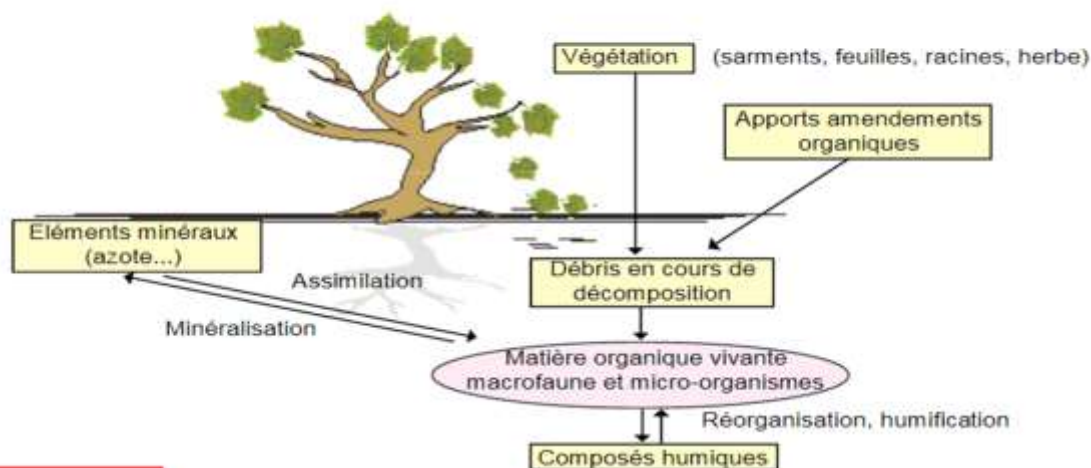


Figure 03 : Les processus de transformation de la matière organique (ITV FRANCE)

2. Les sources de la matière organique du sol

Les débris végétaux sont la source essentielle de la matière organique présente dans le sol à l'état inerte. Suite à l'activité microbienne, les débris végétaux sont décomposés plus ou moins rapidement.

(Loision et Niogret in Belloula, 2011), établissent une liste des principales sources de la matière organique dans les sols forestiers :

- Débris végétaux.
- Bio faune du sol.
- Microflore du sol.
- Exsudats racinaires.
- Pluviollessivats.

(Mangenot et Toutain 1980 in Belloula, 2011) ont dénoté qu'en dehors des apports racinaires des végétaux forestiers, l'essentiel de la matière organique qui arrive au sol provient des parties aériennes des arbres, des arbustes, et de la strate herbacée. Ces apports sont de deux types :

- Les pluviollessivats qui correspondent à des apports de matières solubles ou de résidus variés de très petite taille (lessivage de la phyllosphère par les eaux de pluies).
- Retombées biologiques solides : débris végétaux de différentes natures.

3- La nature et les différentes formes de la matière organique

(**Baldock et Nelson, 1999**) définissent la MOS comme étant la somme de composés organiques morts et vivants qui se trouvent dans ou à la surface du sol, indépendamment de leur origine ou de leur stade de décomposition. Globalement, la MOS a été subdivisée par (**Theng et al, 1989**) en deux groupes, la MO vivante (5 %) et morte (95 %).

Les composés vivants de la MOS comprennent les racines des plantes, les macroorganismes (pédofaune) et les micro-organismes. Tandis que les composants non vivants comprennent la MO libre, MO protégé, l'humus (MO stable : 60 à 80 de la MO totale du sol) et le charbon (MO inerte).

4. Les rôles de la matière organique

Les matières organiques sont, d'une part, un élément essentiel de la fertilité des sols (**Tiessen et al, 1994**) et une source de nutriments pour les plantes et leur recyclage est un facteur clé de la productivité d'un écosystème. D'autre part, elles affectent aussi la structure et la porosité du sol, ainsi que l'infiltration de l'eau et la réserve utile du sol. De même, elles constituent une source de nourriture pour tout un ensemble d'organismes du sol qui jouent un rôle majeur dans le fonctionnement biologique du sol (**Bounoura, 2018**).

- Elles forment avec les argiles le « complexe argilo-humique » qui, grâce à ses charges de surface négatives, adsorbe une part des cations de la solution du sol (Ca, Mg, K, Na, etc.).
- Elles assurent le stockage et la mise à disposition pour la plante, par minéralisation, des éléments nutritifs dont elle a besoin.
- Elles stimulent l'activité biologique, étant à la fois source d'énergie et d'éléments nutritifs pour les organismes du sol.
- Elles déterminent la structuration du sol et participent à sa stabilité vis-à-vis des agressions extérieures (pluie, tassement...) en limitant, notamment, l'érosion hydrique.
- Elles favorisent le réchauffement du sol (coloration plus sombre des matières organiques).
- Elles contribuent à la perméabilité, l'aération du sol et la capacité de rétention en eau.
- Elles influencent également la qualité de l'air, par le stockage ou l'émission de gaz à effet de serre.

5- Les dynamiques de la matière organique

La richesse du sol en produits organiques est liée à l'abondance de la végétation et au processus de décomposition des débris végétaux ou animaux (**Belloula, 2011**).

Dans les conditions favorables, la matière organique évolue rapidement. Le sol hérite une fraction organique faiblement humifiée mais, directement incorporée au milieu minéral (**Duchaufour, 1988**).

Les composés solubles sont soumis à une biodégradation active dans l'horizon A, et une plus faible part s'intègre à la fraction humique puis à l'humine par polymérisation et condensation rapide. Le bilan de ce mode d'humification indirecte s'exprime par une insolubilisation des précurseurs phénoliques et aboutit à la formation sur place d'un complexe argilo- humique stable construit autour de la fraction argileuse fine.

6- Les processus de transformation de la matière organique

6-1 la minéralisation:

C'est la dégradation de la M O F, en particulier les composants peu résistants comme les glucides, les protéines et les acides aminés. Et les produits de la transformation sont des cations, des anions et des molécules simples (**Soltner, 1996 in Gobet, 1998**).

6-2-L'humification:

La matière organique est synthétisée par : l'humification par héritage, qui donne l'humine résiduelle ou héritée. Avec l'humification par polycondensation, qui fournit l'humine d'insolubilisation. et dernièrement L'humification par néo synthèse bactérienne fournit l'humine microbienne. (**Soltner, 1996 in Gobet, 1998**)

6-3- la minéralisation secondaire:

C'est la plus lente (1 à 3 %) de la matière humifiée, mais aboutissant au même résultat que la minéralisation primaire. (**Gobet et al ,1998**).

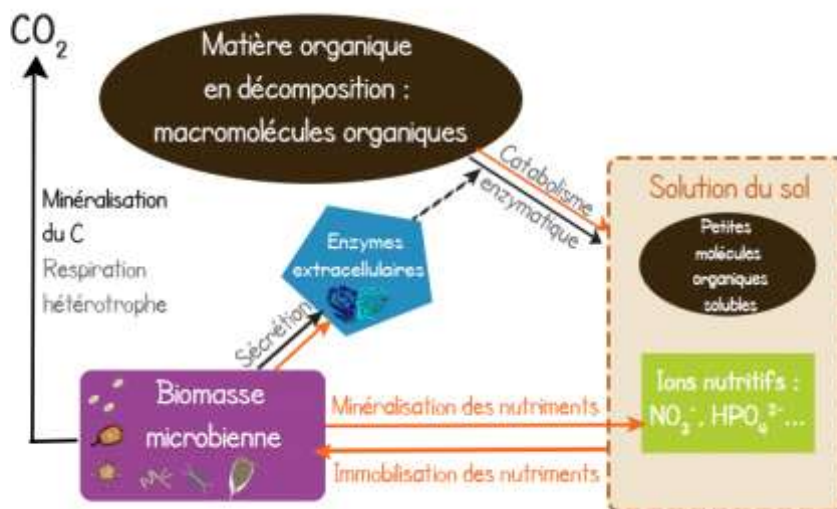


Figure 04 : La minéralisation de la matière organique (Calvet, 2003)

7- Les effets de la matière organique

La matière organique influe sur les propriétés bio- physico -chimique :

7.1- Effet sur les propriétés physiques

La M.O grossière, à la surface du sol, atténue le choc des gouttes de pluie et permet à l'eau de s'infiltrer lentement dans le sol ; l'écoulement en surface et l'érosion sont ainsi réduits (Donahy, 1958).

7.2-Effet sur propriétés chimiques

Les M.O contribuent classiquement à la fertilité chimique des sols. Elles sont une réserve d'éléments nutritifs, principalement pour l'azote, le phosphore et le soufre (Balesdent, 1996).

7.3-Effet sur les propriétés biologiques

Les apports organiques facilement fermentes, permettent d'améliorer l'activité biologique (Parr, 1973). Les M.O représentent un véritable substrat énergétique pour les micro-organismes pour synthétiser leurs propres protéines ainsi que pour former des métabolites (Ribiero, Moureaux, Novikoff, 1976).

8. Les qualités de la matière organique

La composition chimique de la matière organique (**MO**) des sols influence la dynamique du carbone et des nutriments par la rapidité avec laquelle se dégradent les substances qui la composent, La **MO** provient principalement des apports de la végétation et par conséquent, la qualité varie selon les espèces. La composition végétale est donc la principale responsable de la différenciation des propriétés chimiques de la matière organique contenue dans les sols Une **MO** de bonne qualité est plus rapidement éliminée par les micro-organismes et à un taux de décomposition plus élevé. La concentration en lignine, le ratio lignine/azote ainsi que le ratio carbone/azote sont considérés comme d'importants indicateurs du taux de décomposition et sont utilisés pour déterminer la qualité de la matière organique. (**Banville, 2009**).

9- Les Effet de la température sur le carbone organique

Une augmentation de la température augmente l'activité des organismes du sol et incidemment le taux de décomposition et la minéralisation du carbone.

L'effet de la température sur l'activité microbienne et la minéralisation du carbone et de l'azote des sols est principalement défini le taux de décomposition de la matière organique des sols a tendance à doubler pour chaque augmentation de température de 10°C (**Davidson et Janssens, 2006**).

10-Les peuplements forestiers et matières organiques dans les sols

Si le rôle de "fournisseurs" de nutriments joué par les peuplements forestiers suscite un intérêt certain, l'attention est de plus en plus attirée par leur pouvoir de réduction des pertes. Les aspects les plus importants sont le recyclage des nutriments et l'amélioration de la structure du sol, essentiellement par une augmentation de la teneur en matière organique du sol due à des chutes de litière (**Beer 1988 ; Colman et al. 1989 ; Young, 1989**). Les apports de matière organique au sol ont deux fonctions principales :

- le maintien de la teneur de la matière organique du sol, en vue de préserver les propriétés physiques et chimiques du sol ;
- l'apport d'éléments nutritifs

Ces deux aspects sont essentiels pour la production végétale. Le maintien de bonnes caractéristiques physiques et chimiques du sol est un facteur crucial, parce qu'il assure une utilisation efficace des nutriments disponibles et une récupération efficace des apports d'éléments nutritifs.

11- Cycle Du Carbone Global :

Le cycle du carbone (C) désigne l'ensemble des réservoirs et des flux de (C) organique et minéral. Ce cycle comprend quatre grands réservoirs : l'hydrosphère, la lithosphère, l'atmosphère et la biosphère (Fig.). A des pas de temps géologiques courts (de l'ordre de l'an au siècle), l'essentiel des échanges de (C) a lieu entre la biosphère et l'atmosphère, à travers la photosynthèse et la respiration et, entre l'atmosphère et l'hydrosphère, à travers l'équilibre de dissolution des carbonates marins et entre les couches profondes et superficielles des océans. En effet, 8.9 Gt C an⁻¹ dans l'atmosphère provient de l'utilisation de carbone fossile, et rentre en grande partie dans les émissions de gaz à effet de serre (Fig.05) (**Le Quéré et al, 2014**). A l'échelle planétaire, ces émissions représentent environ 4‰ du stock de carbone organique. Ainsi, une faible variation des stocks de carbone du sol peut avoir un impact majeur sur les émissions de (GES) et l'atténuation du changement climatique. Actuellement, les écosystèmes terrestres (sols + végétations) compensent un peu plus de 30% des émissions de (GES) anthropiques (**Cardinal, 2015**).

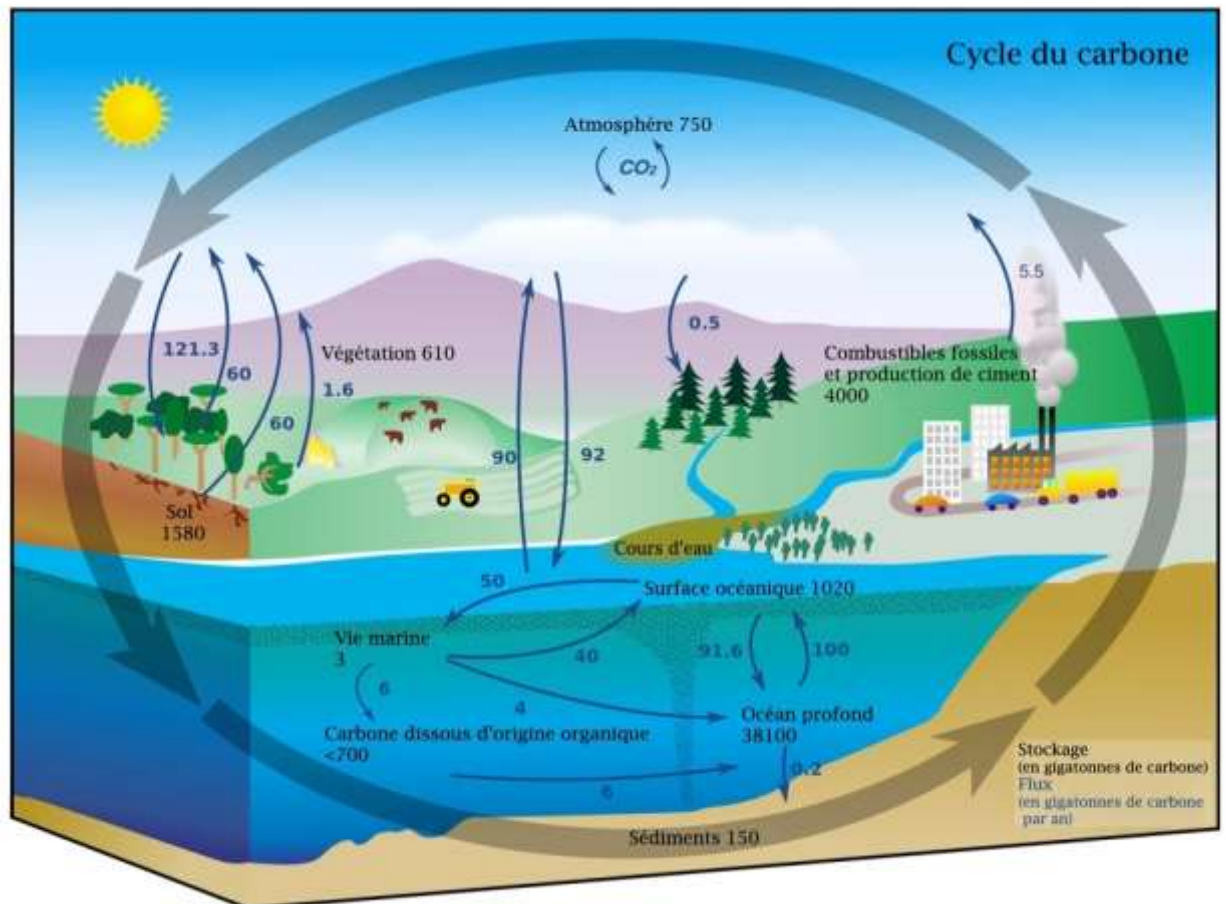


Figure 05 : le cycle global du carbone <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/climate-education-resources/carbon-cycle>

1. Présentation de la Forêt de Bainem (Alger)

La forêt de Baïnem s'étend sur 504 ha près de Bains Romains. C'est un ensemble de collines entre 80 et 500 m d'altitude représentant les contreforts ouest du massif de la ville de Bouzaréah. Outre son intérêt comme biotope naturel exceptionnel et espace socio-culturel et de détente, la forêt de Baïnem joue un rôle vital pour la protection contre l'érosion hydrique des infrastructures et agglomérations situées sur la côte en aval. Cette fonction à elle seule en fait un site des plus sensibles de toute la zone côtière algéroise. Seul un statut d'aire protégée (réserve naturelle) pourrait aider à la stabilité du sol et du couvert végétal. **(Ait benamar et Ahriz, 1993)**

1.1/Localisation

La forêt de Baïnem est située à 12 kilomètres à l'ouest d'Alger . Elle est localisée entre les communes d'El Hammamet, Aïn Benian, Béni Messous, Bouzaréah et Raïs Hamidou dans les hauteurs d'Alger.

1.2/Description

La forêt de Baïnem abrite un écosystème dunal. Elle fait partie du littoral Ouest-algérois, et est limitée :

- au Nord par la mer Méditerranée, la commune d'El Hammamet et la Route nationale 11,
- au Sud par la commune de Béni Messous,
- à l'Ouest par la commune de Raïs Hamidou,
- et à l'Est par la commune de Aïn Bénian.

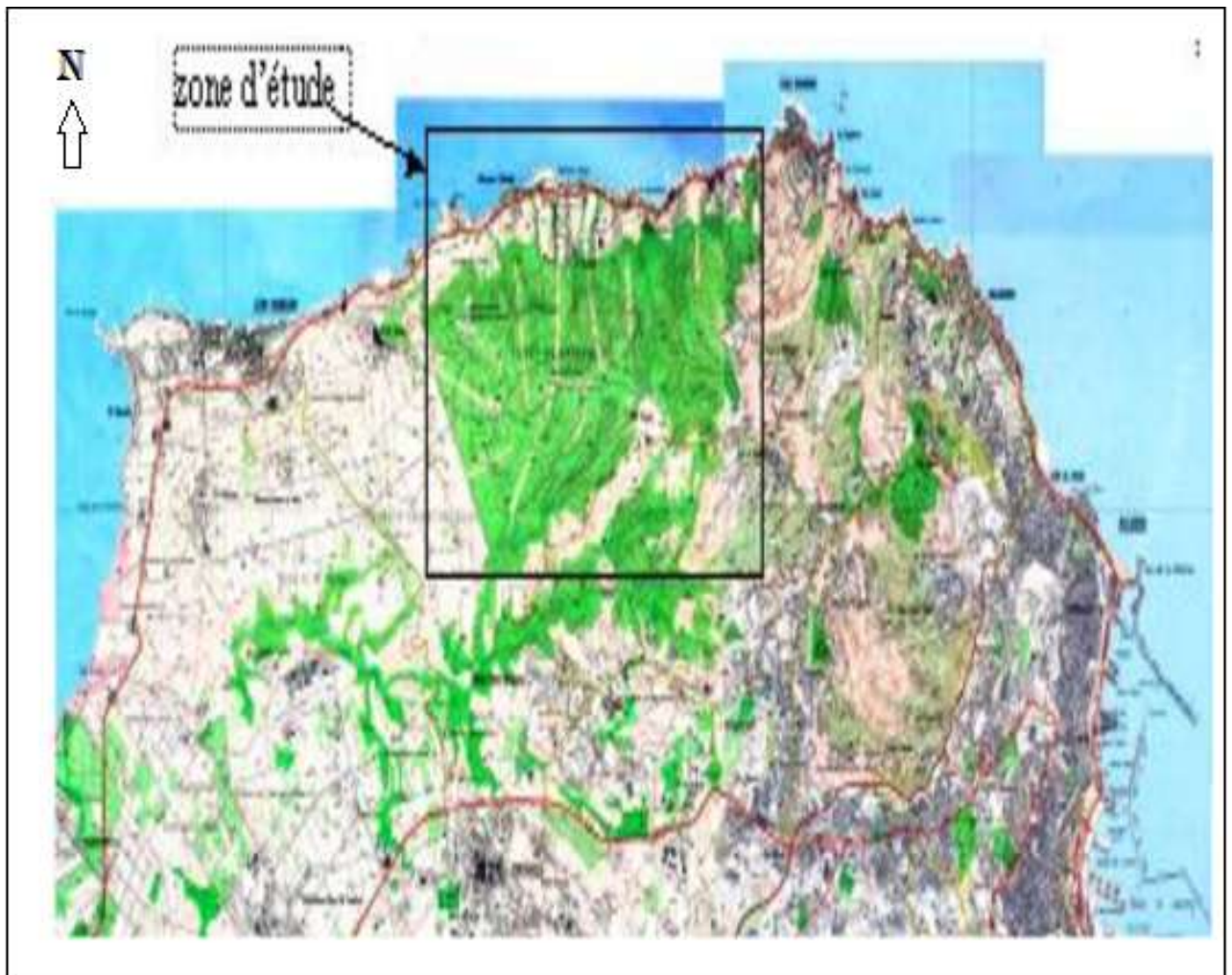


Figure 06 : Situation géographique de la forêt de Bainem (Ghezali, 2012)

2. Les réseaux hydrographiques

Autour de cette forêt est constitué de deux oueds, Oued Kniss et Oued M'Kacel. La superficie du bois est d'environ 504 hectares.

Aménagé en banquettes antiérosives servant de drainage des eaux pluviales, le massif cristallin de Bainem renferme une riche végétation dont les strates arbustives forment le maquis.

3- Les Caractéristiques géologiques et pédologiques

Le sous-sol est formé de roches métamorphisées (micaschistes) recouvertes de roches mères argileuses et de sables rouges du Pliocènes, à l'ouest. Les sols qui s'y sont développés sont à tendance acide supportant une végétation primitive.

les sols de la forêt reposent sur des roches mères qui peuvent être divisées en deux groupes : les roches mères calcaires (rares) et les roches non calcaires (schiste 1 dominante).

En utilisant la classification française, (**Ait Benameur et Ahriz, 1993**), regroupent les sols de la forêt de Bainem en quatre catégories présentés ci-dessous :

a. Classe des sols à sesquioxydes de fer dit « Sols rouges fersiallitiques » et qui supportent la grande strate arborescente de la forêt, rares dans l'ensemble mais dominants dans la forêt de Bainem. Profil épais du sol avec au moins 4 horizons et une texture limono-argileuse, une tendance à l'acidité et teneur variable de la matière organique en fonction des horizons.

b. Classe des sols peu évolués dont :

- Sols peu évolués d'érosion lithique sur les pentes et les ravines de faible épaisseur du profil, au maximum deux horizons avec teneur faible en matière organique et un pH en fonction de la végétation environnante et la nature du matériau parental.
- Sols peu évolués d'apport colluvial en surface ou en bas-fond souvent accompagnés d'alluvions et supporte une végétation électorive des milieux rocheux et pauvres.

c. Classe des sols minéraux bruts. Lieux d'affleurement de roche à faible pédogenèse et faible couverture végétale.

d. Classe des sols brunifiés à pédogenèse sur roche mère peu acide voire calcaire, les plus riches en matière organique et supportent des belles strates arbustives et herbacées

4- La végétation

Les pins et les eucalyptus constituent les principales essences de la forêt. Ils occupent respectivement une superficie de 174 ha et 255 ha. Les autres espèces couvrent une superficie de 75ha (**L.Bechkok, 1978**).

Parmi les premiers, on citera :

- Pinus halepensis (pin d'Alep).
- pinus canariensis (pin des canaris).
- Pinus pinaster (pin maritime).

Diverses essences existent aussi, il s'agit de quelques espèces de chêne et de cyprès

Le sous-bois est plus ou moins dense et ce en fonction de la topographie, les principaux sont :

- Pistacia lentiscus (lentisques).
- Olea europea (l'oléastre).
- Ampelodesma mauritanica (Le diss).
- Erica arborea (La bruyère arborescente).
- Lavandula stoechas (La lavande).
- Rabus ulmifolius (les ronces).
- Phyllaria angustifolia (phyllaire).

5. Les Données climatique

5.1. Particularités climatiques de la Forêt de Bâinem

Les données climatiques de la région d'Alger durant la période 2000-2011 sont représentées dans les figures suivantes

5.1.1. Températures de la Forêt de Bâinem

Les valeurs des températures enregistrées dans la Forêt de Bâinem durant la période 2000-2011 sont représentées par la figure 07.

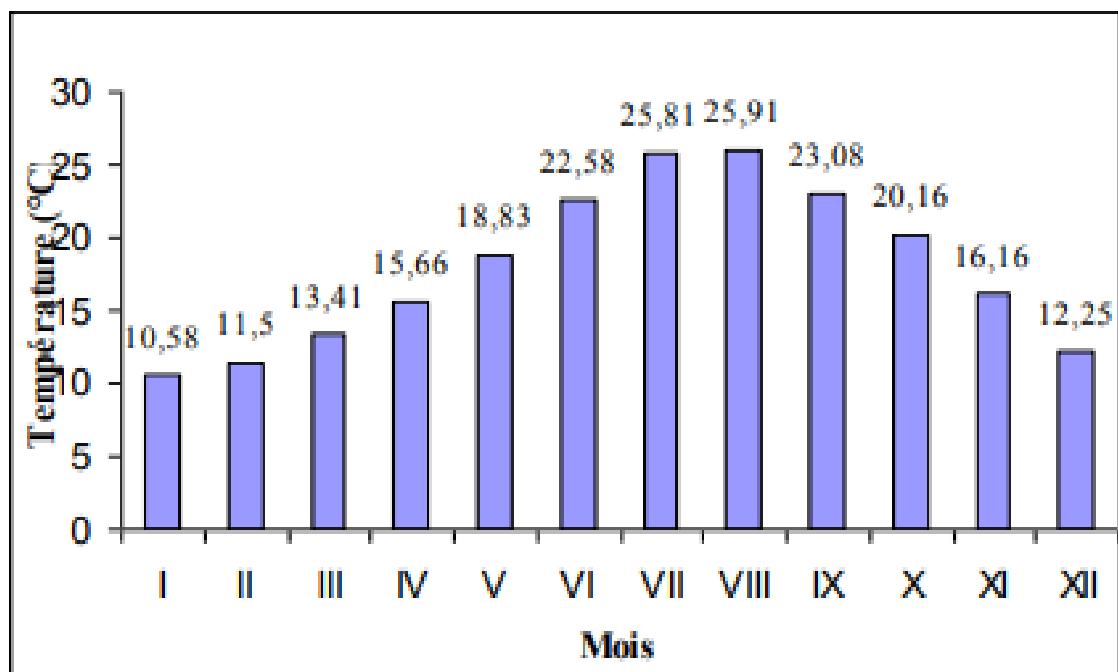


Figure 07 : Les Températures de la Forêt de Bâinem (Ghezali, 2012)

T en °C. : Températures moyennes mois par mois en degrés Celsius

A partir de cette diagramme nous remarquons que les températures dans la région d'Alger en période estivale sont assez tempérées. Le maximum est affiché en août avec 25,9 °C. Alors que pour la période hivernale, la valeur minimale est relevée en janvier avec 10,6 °C. (Fig.07).

5.1.2. Pluviométrie de la Forêt de Bainem

Les valeurs sur la pluviométrie de la région de Bainem enregistrées durant la période 2000 – 2011 sont réunies dans la figure suivante.

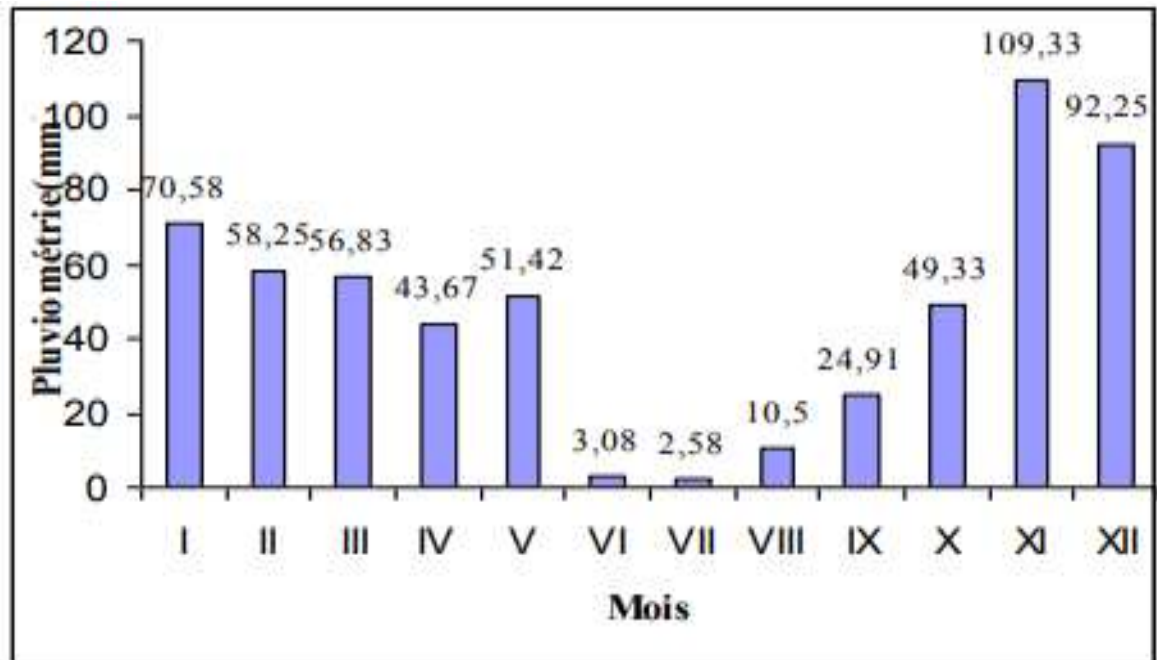


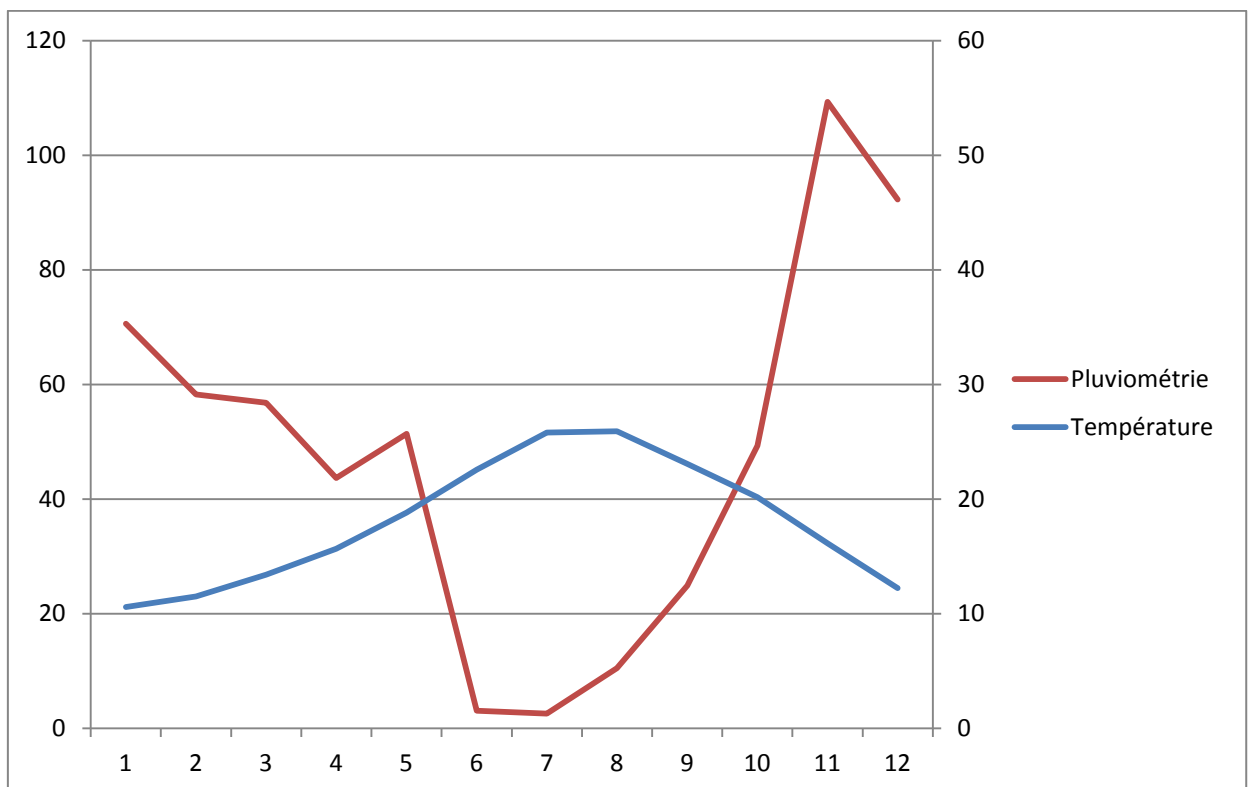
Figure 08 : Histogramme (mm) de la Forêt de Bainem (Ghezali, 2012)

A partir de ce diagramme nous remarquons la précipitation la plus importante dans le mois de novembre ($P \text{ mm} = 109,3 \text{ mm}$), décembre ($P \text{ mm} = 92,3 \text{ mm}$) et janvier ($P \text{ mm} = 70,6 \text{ mm}$). Par contre la précipitation dans le mois de juin ($P \text{ mm} = 3,1 \text{ mm}$) et août ($P \text{ mm} = 10,5 \text{ mm}$) sont les plus faibles (Fig.08).

5.2. Diagramme Ombrothermique

Tableau n°1 : Moyennes mensuelles la température et précipitations pour la période 2000-2011

mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Température	10,58	11,5	13,4	15,66	18,83	22,6	25,8	25,9	23,1	20,16	16,16	12,3
Pluviométrie	70,58	58,3	56,8	43,67	51,42	3,08	2,58	10,5	24,9	49,33	109,3	92,3

**Figure 09** : Diagramme Ombrothermique selon la méthode de Gaussen (Période 2000-2011)

D'après le diagramme ombrothermique, la période sèche dans la zone d'étude s'étale sur une durée de 05 mois (mois de mi mai jusqu' au mois de octobre) (Fig.09).

5.3-Quotient pluviothermique et Climagramme d'EMBERGER

Le quotient pluviothermique d'EMBERGER lie les deux facteurs essentiels définissant le climat : les températures et les précipitations.

EMBERGER a défini un quotient pluviothermique qui permet de faire la distinction entre les différentes nuances du climat méditerranée (**DREUX .1980**)

Il permet de situer la région d'étude dans l'étage bioclimatique qui lui correspond (**DAJOUZ .1971**)

Le quotient Q₂ pluviothermique est donné par la formule suivant :

$$Q_2 = \frac{3.43p}{M - m} \quad 14.41$$

- Q₂ : quotient pluviothermique.
- M : la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en (°C).
- m : la moyenne des températures minimales du mois le plus frais en (°C).
- P : pluviométrie annuelle en (mm).

Les températures minimales et maximales enregistrées son respectivement avec une précipitation et d'après le calcul on a obtenue Q₂.

- M = 25.91
- m (°C) = 11.5
- p (Mm) = 572.73
- Q₂ = 136.32

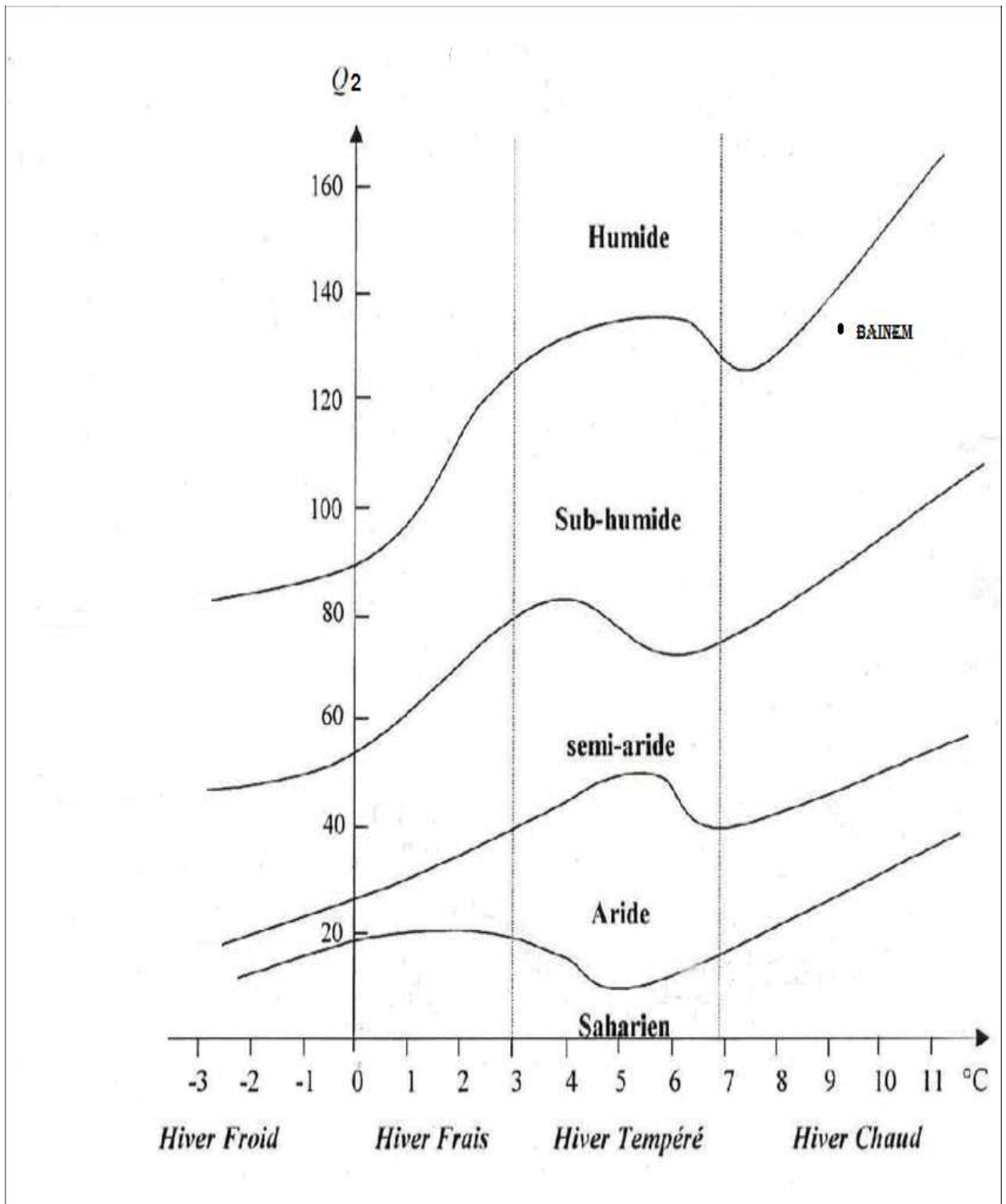


Figure 10 : Climagramme d'EMBERGER situation de la région d'étude Bainem

La région d'étude se situe dans l'étage bioclimatique sub-humide à hiver chaud (Fig10)

Introduction:

L'étude d'un sol, à des fins pédologiques ou agronomiques, consiste en un ensemble de prospections sur le terrain, complétées par des analyses au laboratoire des échantillons représentatifs du sol, prélevés du site étudié. Les études au laboratoire s'intéressent à des analyses minéralogiques, physiques (humidité, texture, structure...), chimiques (pH, C.E.C., calcaire, matière organique, éléments minéraux: N, P, K..) et aussi biologiques (faune et microflore du sol).

1. Travail sur le terrain

1.1. Parcelles expérimentales

Deux parcelles d'un demi-hectare chacune ont été choisies pour conduire cette étude ; elles se situent dans la forêt de Bainem, Premier parcelle se trouve à une altitude de 250 m et l'eucalyptus d'arbre dominant dans cette parcelle et la deuxième parcelle à une altitude de 260 m et le pin d'Alep d'arbre dominant.



Figure 11 : Parcelle de l'eucalyptus au niveau de la forêt de Bainem (2019)



Figure 12 : Parcelle de Pin d'Alep au niveau de la forêt de Bainem (2019)

1.2/ Échantillonnage

Les échantillons ont été prélevés à partir de trois horizons des sols (0-10, 10-20, 20-30, cm). Comme le sol est très dur, on s'est limité à cinq profils de prélèvements pour chaque parcelle (quatre dans chaque coin et un en milieu de parcelle). Après séchage à l'aire en salle, est préférable (2 à 4 jours) séchage lent qui seul peut conserver au sol ses propriétés et après broyage et tamisage à 2 mm des échantillons de sol.



Figure 13 : Profil pédologique au niveau de la forêt de Bainem (2019)

2/Analyses au laboratoire

les analyses de laboratoire permettent de mesurer, de déterminer ou de préciser les caractères des sols observés sur le terrain.

Par l'analyse chimique, deux buts peuvent être atteints, l'un pédologique et l'autre agronomique sont néanmoins reliés entre eux. Au point de vue pédologique, les analyse de sols au laboratoire constituent une aide indispensable pour préciser les observations faites sur le terrain dans le but d'apprécier le degré d'évolution du sol. Du point de vu agronomique ; les analyses de sol permettent de déterminer le potentiel alimentaire d'un sol ; c'est-à-dire la réserve du sol en éléments minéraux assimilables.



Figure 14 : Les analyses de (CO) dans laboratoire au niveau de l'INRF (2019)

2.1 Les méthodes d'analyses physiques

2.1.1 Les analyses granulométriques

La méthode internationale par pipetage à la pipette Robinson a été employée pour la granulométrie. En effet, après attaque, dans une éprouvette, de 20 g de sol tamisé à 2 mm par l'eau oxygénée H₂O₂ à 110 v et dispersion des particules par l'hexamétaphosphate de Na, il est ensuite procédé au prélèvement après agitation à la pipette de Robinson de 10 ml de la suspension après environ 6 heures de décantation (selon la loi de Stokes). Le pourcentage d'argile est calculé après séchage à l'étuve à 105°C et pesée de la charge solide contenue dans les 10 ml prélevés à la pipette de Robinson.



Figure 15 : L'analyse granulométrie au niveau de l'INRF (2019)

2.1.2 L'humidité (méthode gravimétrique)

La méthode gravimétrique, ou méthode par séchage à l'étuve à 105°C pendant 24h, consiste à prélever un échantillon du sol à étudier, à peser sa masse à l'état humide puis à l'état sec après passage à l'étuve à 105°C et d'en déduire la masse ou le volume d'eau contenu dans l'échantillon.

Cette détermination est souvent utilisée soit dans le but de connaître la valeur en eau d'un sol dans un état particulier, soit pour permettre d'exprimer les résultats d'analyse en poids de terre séché,

2.1.3 La matière organique (méthode d'ANNE)

En utilisant la méthode ANNE on peut déterminer le taux de MO, cette dernière consiste à oxyder à chaud le carbone de la matière organique contenu dans un échantillon de sol en utilisant un oxydant puissant : le bichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) en milieu sulfurique, on admet que l'oxygène consommé est proportionnel au carbone que l'on veut doser.

Le bichromate en excès est dosé par un réducteur : Sel de Mohr.

$$MO\% = 1.72 * C\%$$

2.2 Les méthodes d'analyse chimique

2.2.1 Le pH

Par la méthode électrométrique. Cette méthode consiste à mesurer :

- L acidité actuelle ou pH eau
- L acidités d échange ou Ph KCL

A laide d'un ph mètre dans des conditions déterminées) dans l'eau ou dans une solution KCl suivant le rapport sol/eau KCL= (1/2.5)



Figure 16 : Les analyses de ph mètre au niveau de l'INRF

2.2.2 La conductivité électrique

La conductivité électrique (CE) est mesurée à l'aide d'un appareil appelé conductimètre sur une aliquote de l'extrait à une température (t) obtenue à partir d'un échantillon de sol séché puis saturé d'eau d'estéril et dont la valeur dépend de la concentration en sels des solutions du sol.



Figure 17 : L'analyse de conductimètre électrique au niveau de l'INRF

2.2.3 Le dosage de l'azote total (méthode KJELDAHL)

L'azote est dosé par la méthode KJELDAHL, méthode classique dosant l'azote après minéralisation de l'azote organique (à chaud par l'acide sulfurique) et distillation en milieu basique.

L'azote total correspond sensiblement à l'azote organique du sol (**Prevost, 1990**).selon **Soltner** (1988), une teneur de 0.2% d'azote dans le sol est suffisante

I. Interprétation des résultats

I.1. La granulométrie

Tableau n° 2: Paramètre statistique de la texture

Parcelle	Granulométrie %			Texture
	A%	L%	S%	
Eucalyptus	19.25	37.08	43.73	Limon
Pin d'Alep	35.23	19.95	42.28	Limono-argileux

La texture est déterminée par l'importance relative et la taille des particules d'argile, de limon et de sable dans les sédiments minéraux (**Banville, 2009**).

D'après le tableau n°2 et le triangle textural (**voir annexe n°6-7**), les deux parcelles sont caractérisés par :

- **La parcelle1 (l'Eucalyptus) :** Elle est caractérisée par une texture Limoneuse. avec une moyenne de particules sableuses, limon, argile respectivement (S 43.73%, L: 37.08%, A : 19.25%).

- **La parcelle 2 (Pin d'Alep) :** Elle présente une texture limono-argileuse. Cependant le taux d'argile augmente progressivement du premier horizon vers la profondeur (voir annexe n°8-9). Ce qui peut être expliqué par un lessivage vers les horizons de profondeur, avec moyenne générale de particules sableuses, limon, argile respectivement (S 42.28%, L: 19.95%, A : 35.23%).

I.2. Le carbone organique

Tableau n°3 : Paramètre statistiques du carbone organique (CO%).

Echantillons	CO%		
	H1	H2	H3
Eucalyptus	2.48	1.48	0.92
Pin d'Alep	3.27	1.67	1.23

Dans le tableau ci-dessus, nous remarquons que la teneur en carbone organique de la parcelle2 (PA) est supérieure à celle de la parcelle1 (EC) où elle se situe respectivement entre 1.23 et 3.27% et entre 0.92 et 2.48%.

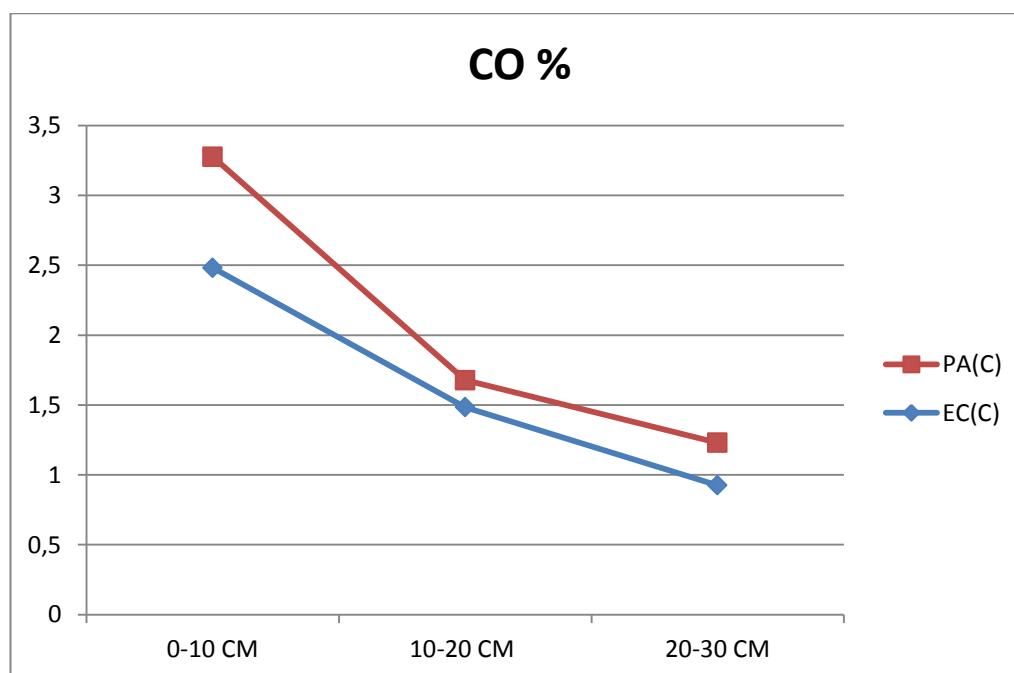


Figure N° 18 : Variation du carbone organique du sol
En fonction de la profondeur

À travers la courbe de la figure 18, nous remarquons une variation dans les résultats, la proportion du carbone organique dans la parcelle du Pin d'Alep (1.23-3.27%) est supérieure à celle d'eucalyptus (0.92-2.48%).

Nous notons également à travers le graphique que la proportion de carbone organique est très importante au sommet H 1, puis commence à diminuer progressivement jusqu'à atteindre son niveau le plus bas dans le dernier Horizon H 3.

Les résultats obtenus ci-dessus nous permettent de déduire que le taux de carbone pour le parcelle à dominance Pin D'Alep était supérieure à celle de la parcelle à dominance Eucalyptus

I.3.La matière organique

Tableau n°4 : Paramètre statistiques de la matière organique (MO%).

Echantillons	MO%		
	H1	H2	H3
Eucalyptus	4.72	2.55	1.27
Pin d'Alep	5.63	2.88	2.11

A partir du tableau ci-dessus nous remarquons que les sols sont généralement riche en matière organique, pour les horizons H1 et H2 avec des valeurs respectivement de (4.72% , 2.55%) pour la parcelle1 (**EC**) , et de (5.63 , 2.88) pour la parcelle 2 (**PA**) ; par ailleurs les H3 montrent des valeur moyennement faible (**Mellouhi 1997 , Vekini 2000**) pour les deux parcelles, avec des valeurs qui ne dépassent pas 1.27 et 2.11%.

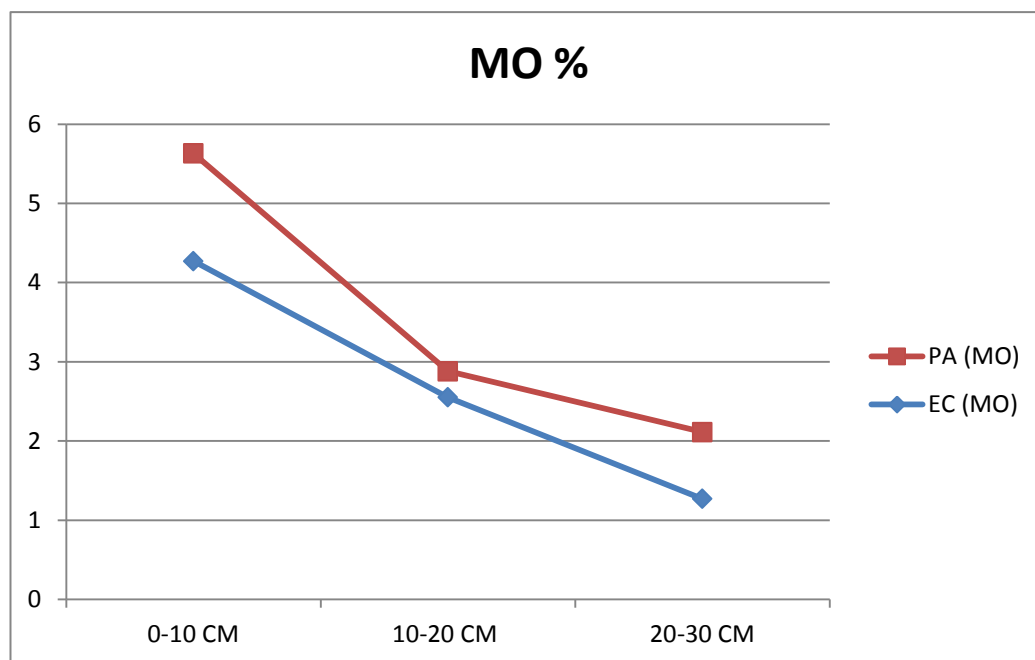


Figure N° 19 : Variation de la matière organique du sol
En fonction de la profondeur

À partir de la figure N°19, on constate une variation des taux de la matière organique pour les deux parcelles étudiées en fonction de la profondeur. Cependant le taux de la matière organique est très importante dans les horizons de surfaces H₁, puis commence à diminuer progressivement jusqu'à atteindre son niveau le plus bas dans le dernier Horizon H₃.

Par ailleurs, la proportion de matière organique dans le Pin d'Alep (2.11-5.63%) est supérieure à celle d'Eucalyptus (1.27- 4.72%).

I.4. L'azote (N)

Tableau n°5 : Paramètre statistiques de l'azote total (N%)

Horizons \ Parcelles	EC	PA
H ₁	0.68	0.65
H ₂	0.47	0.54
H ₃	0.38	0.65

Selon les résultats obtenus (Tableau n°5) au niveau des horizons de chaque parcelle la quantité d'azote est très importante (Calvet et Vellemin ,1986). Elle varie entre 0.38 et 0.68 % pour la parcelle d'Eucalyptus, et 0.54 à 0.65 % pour la parcelle du Pin d'Alep.

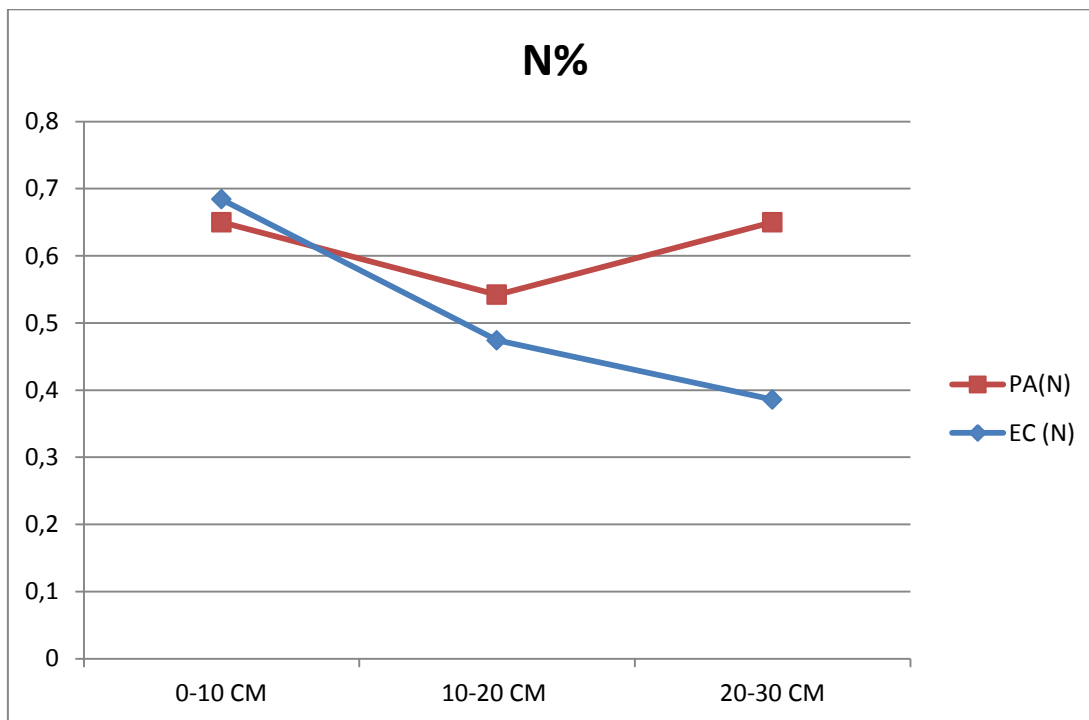


Figure N° 20 : Variation de la l'azote organique du sol
En fonction de la profondeur

D'après les résultats et de la courbe du graphique, nous remarquons :

H₁ : Le taux d'azote des deux parcelles est presque similaire, parcelle1(**EC**) 0.68% et 0.65% pour la parcelle2 (**PA**).

H₂ : Le taux d'azote dans les deux parcelles commence à diminuer dans H₂ (10-20 cm).

Cependant le taux de diminution à la première parcelle est supérieur à celui de la deuxième parcelle, car la parcelle de Pin d'Alep présente une couche de charge caillouteuse.

H₃ : Une large différence du taux d'azote entre les deux parcelles est remarquable pour cet horizon.

I.5. Le rapport C/N

Tableau n°6: Paramètres statistiques du rapport C/N

Horizons \ Parcelles	EC	PA
H ₁	3.6	4.6
H ₂	3.2	3.2
H ₃	3	2.2

D'après (Duchaufour, 1988). Le rapport C/N calculé dans les deux profils donne des valeurs comprises entre 2.2 et 4.6 pour tous les horizons, ce qui témoigne d'une minéralisation rapide de la matière organique.

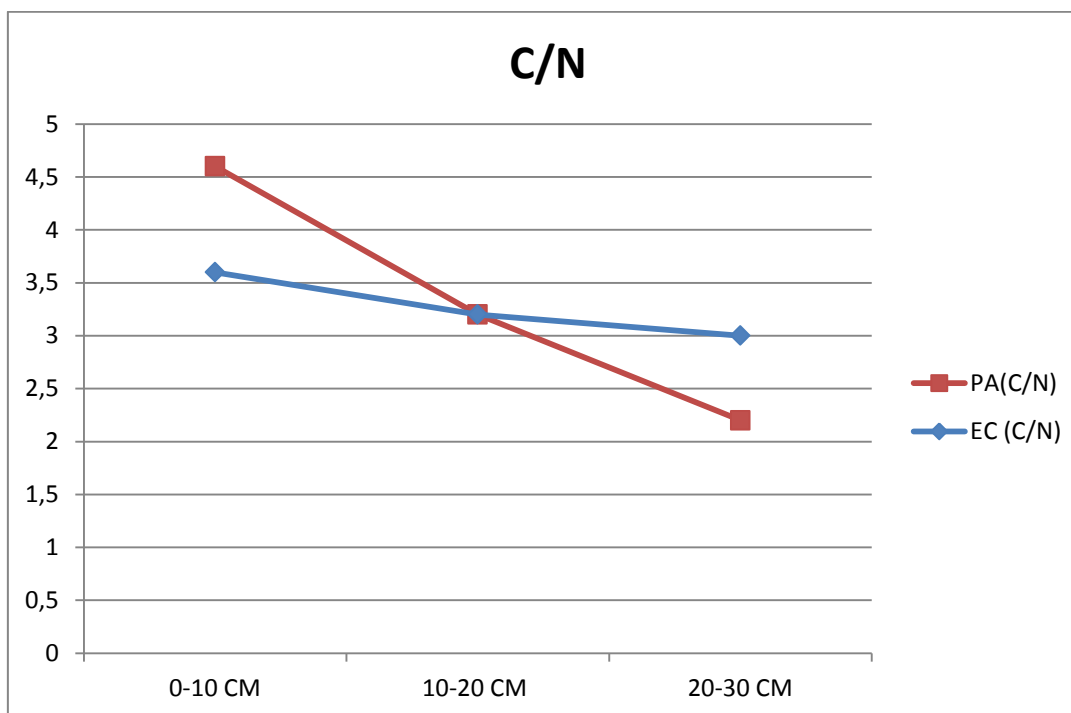


Figure N° 21 : Variation du rapport C / N du sol
En fonction de la profondeur

Les valeurs C/N < 9 impliquent une minéralisation rapide de la matière organique avec pour conséquence une fourniture excédentaire d'Azote aux plantes (d'où la perte d'Azote) si la température et le pH du sol sont favorables. La déficience en azote pourrait donc être perçue ici comme une limitation à une production durable.

I.6. Le potentiel hydrique pH (eau)

Tableau n° 7: Paramètre statistique du pH

Horizons \ Parcelles	EC	PA
H ₁	7.6	7.7
H ₂	7.5	7.8
H ₃	7.6	7.8

La mesure du pH d'une suspension d'un échantillon de sol dans l'eau (pH eau) prend en compte la concentration en ions H₃O⁺ à l'état dissocié dans le liquide surnageant. Ces ions sont en équilibre avec ceux présents à l'état non dissocié, fixés sur certains composants solides du sol tels que les minéraux argileux, les matières organiques.

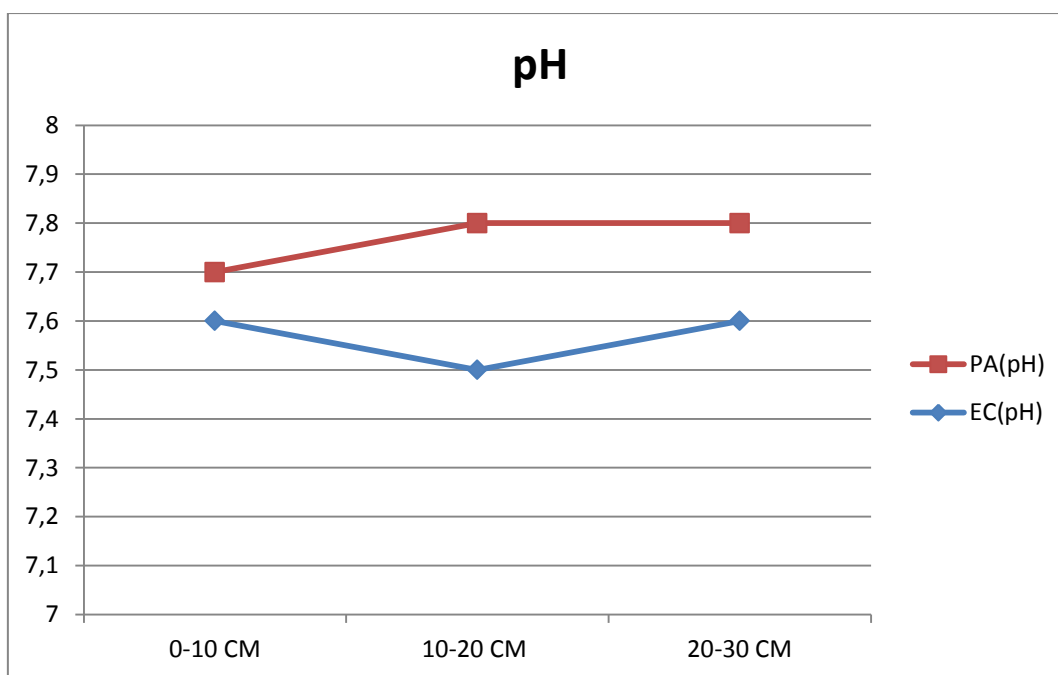


Figure N° 22 : Variation du pH des sols
En fonction de la profondeur

Les sols étudiés présentent des valeurs de pH qui varient entre 7.5- 7.6 pour la parcelle 1, et 7.7 et 7.8 pour la parcelle 2, par contre la valeur la plus importante est enregistrée au niveau de la parcelle 2 (Pin d'Alep) pour l'Horizon H₂ et H₃ avec une valeur de 7.8.

Nous constatons d'après les résultats obtenus que le pH des deux Parcelles est basique (Mellouhi 1997, Yekini 2000).

I.7. La conductivité électrique

Tableau n°8 : Paramètre statistique de la conductivité électrique (C.E dS.m-1)

Horizons \ Parcelle	EC	PA
H ₁	0.52	0.20
H ₂	0.35	0.15
H ₃	0.42	0.18

La mesure de la conductivité électrique donne des valeurs entre 0.35 et 0.52 dS.m-1 pour la parcelle 1, et entre 0.15 et 0.20 dS.m-1 pour la parcelle 2, ce qui signifie que les sol ne sont pas salés (Baize, 2000) pour les deux profils (Voir annexe N°4).

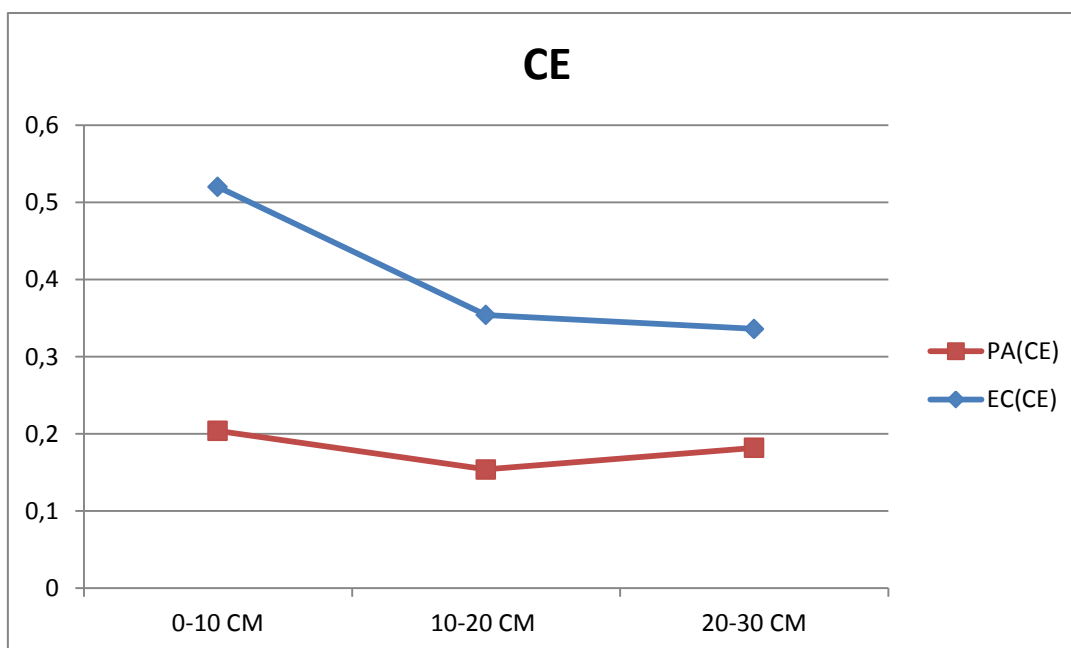


Figure N° 23 : Variation de la conductivité électrique des sols
En fonction de la profondeur

I.8.L'humidité

Tableau n°9 : Paramètre statistique de L'humidité (%)

Horizons \ Parcelle	EC	PA
H ₁	2.15	0.195
H ₂	1.5	0.327
H ₃	1.57	0.365

Dans le tableau ci-dessus, nous remarquons que l'humidité de la parcelle1 varie entre 1.5 et 2.15, cependant elle est supérieure à celle de la parcelle2 qui enregistre des valeurs variant entre 0.195 et 0.365.

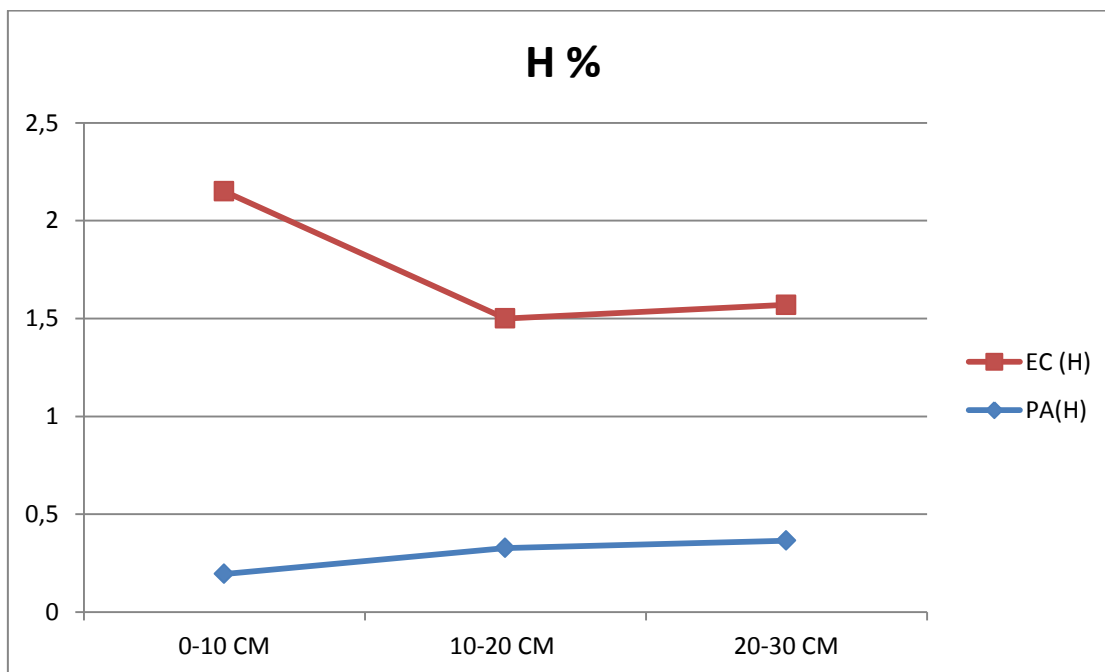


Figure N° 24 : Variation de L'humidité des sols
En fonction de la profondeur

Selon la courbe graphique ci-dessus nous constatons que la teneur en eau dans le sol est plus au moins importante dans la parcelle 2 par rapport à celle de la parcelle 1. Cette différence hautement significative.

D'après les résultats obtenus on peut tirer que :

- Les sols de la région d'étude se caractérisent par une texture limoneuse et limono-argileuse, c'est une texture équilibrée
- Ce sont des sols moyennement alcalin ($7,5 < \text{pH} < 7,8$), avec une conductivité électrique comprise entre 0.15 et 0.52, donc ce sont des sol non salé .
- les sols de la zone d'étude sont des sols riches en matière organique, ce qui peut influencer la fertilité de ces sols, car la matière organique constitue un facteur très important dans la composition des sols
- Les sols ne contiennent pas de calcaire dans les deux parcelles.
- Les deux parcelles sont est très riche en azote.
- minéralisation rapide de la matière organique.

II-Discussion des résultats

1- La matière organique (MO)

La matière organique (MO) du sol joue un rôle très important dans la stabilité du sol, l'augmentation de la capacité de rétention en eau du sol et la fixation des éléments minéraux. Le contenu en matière organique des sols est influencé globalement par les facteurs climatiques, la végétation, la texture du sol, les conditions topographiques, influençant le microclimat, le drainage et les pratiques culturales (**Drouet, 2010**). Elle représente ainsi un indicateur important de la dégradation de la qualité des sols.

D'après **A.D.C.S. (2009)**, La matière organique est considérée comme un composant vital d'un sol sain; sa réduction donne un sol dégradé. La perte de matière organique du sol réduit la capacité d'infiltration de l'eau dans ce sol, ce qui augmente le ruissellement et l'érosion. L'érosion à son tour réduit la teneur en matière organique en lessivant la couche arable du sol, fertile. Une réduction de la teneur en carbone organique signifie aussi une réduction de la nourriture à disposition pour les organismes vivants présents dans le sol, et donc une réduction de la biodiversité du sol.

Des études récentes ont démontrées l'importance de la séquestration du **CO₂** atmosphérique dans ce réservoir : le carbone est d'abord immobilisé dans le tissu des végétaux avant d'être soit partiellement minéralisé, soit partiellement stabilisé dans le sol sous forme d'humus (**Van Wesemael, 2006**).

Les résultats obtenus montrent que les valeurs les plus élevées de la matière organique sont observés au niveau de la parcelle à dominance Pin d'Alep. Ceux-ci confirment que la teneur de Matières organique dans les sols est liée à la production de biomasse. Donc le facteur qui influencent le taux de matières organique dans le sol sont à la fois naturel et anthropique, les facteurs naturels les plus important sont : le climat, le type de roches mère, la couverture végétale, le type de végétation, et la topographie. (**Van Wesemael , 2006**).

2-Le rapport C/N

Une réduction du taux de minéralisation est provoquée par une baisse du nombre d'organismes en décomposition, ou une augmentation de la vitesse de décomposition découlant de modifications de facteurs naturels ou anthropogènes. Le rapport de minéralisation est considéré comme un indicateur d'un sol sain; sa réduction donne un sol dégradé. La matière organique se décompose plus rapidement à des températures plus élevées, si bien que les sols des climats plus chauds tendent à contenir moins de matière organique que ceux des climats plus frais (S.A.S.C, 2009).

3-Le potentiel hydrique pH (eau)

Le pH est un paramètre très important de la dynamique du sol car le degré d'acidité ou de basicité joue un rôle très important sur l'assimilation des éléments dans le sol.

Le pH de l'horizon superficiel du sol varie significativement en fonction de l'essence. L'impact des essences est surtout significatif dans les dix premiers centimètres du sol (Ovington, 1953 in Augusto 1999). Ceci est dû à la composition de la litière et des pluviocessivats.

Les valeurs de PH obtenue montre que le pH, des sols étudiés sont basiques.

4-La conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique permet aussi de déterminer le degré de la salinité du sol. Elle définit la quantité totale en sels solubles correspondant à la salinité globale du sol, elle dépend de la teneur et de la nature des sels solubles présents dans ce sol (Guessoum, 2001).

Ce paramètre est en relation avec les cations Ca^{2+} et Na^{+} dus principalement à l'altération des roches sous l'influence des facteurs physiques (Girard et al. 2005).

La valeur extrême de la conductivité électrique de sol étudié est de 0,52 dans parcelle 1 est de 0,20 pour la deuxième parcelle.

L'analyse de la conductivité électrique (**CE**) montre qu'elle est très faible, indiquant que les sols sont non salins (**tableau N°08**) pour les différentes profondeurs des profiles étudiées dans les deux parcelles.

Conclusion

La présente étude s'intègre dans un projet de recherche de l'institut national de la recherche forestière (I.N.R.F), financée par la direction générale de la recherche scientifique et développement technologique, elle a été menée au niveau de la forêt de Bainem. visant à quantifier le stock de carbone organique au niveau des différents horizons du sol forestières pour deux parcelles l'une à dominance Eucalyptus (*Eucalyptus* SP) et Pin d'Alep (*Pinus halepensis*)).

Le deuxième objectif est d'évaluer la capacité de chaque essence à mieux absorber le carbone présent dans l'air, et son impact sur le réchauffement climatique, ainsi de déterminer le choix de l'essence la mieux absorbante du carbone.

En regard des résultats obtenus, il est possible d'affirmer que :

- Les sols de la région d'étude se caractérisent par une texture limoneuse et limono-argileuse.
- Ce sont des sols moyennement alcalins et non salés.
- les sols de la zone d'étude sont des sols riches en matière organique, ce qui peut influencer leur fertilité.
- Les sols sont très riches en azote, avec une minéralisation rapide de la matière organique.

En ce qui concerne la séquestration du carbone dans les sols, on peut dire que les résultats obtenus ont démontré que les différentes formations végétales possèdent des stocks de carbone distincts ; cependant les résineux ont une grande capacité d'absorber et de stocker le carbone dans les couches superficielles du sol notamment dans les premières 30cm par

apport a les feuillues. Et les principaux facteurs de variation des stocks de carbone des sols sont les caractéristiques quantitatives des sols (teneur en argile ; et profondeur du sol).

Au terme de cette étude, il serait intéressant d'étendre la recherche sur d'autres facteurs écologiques tels que la densité de peuplement, l'âge des forêts ainsi que l'accroissement annuel.

Annexe : Analyse et méthode

Annexe N°01

Les normes d'interprétation de rapport C/N

- Matière organique plus ou moins bien décomposée. $8 < C/N < 15$
- Matière organique mal décomposée..... $15 < C/N < 25$
- Matière organique pratiquement intact..... $C/N > 25$

Annexe N°02

Tableau 01 : Les normes d'azote

Les normes	N%
Sol pauvre	0,05
Sol moyen	0,1 -0,15
Sol riche	0,02

Annexe N°03

Tableau 02 : les normes de la méthode électrique de pH

Les normes	PH
Sol fortement acide	$PH < 5$
Franchement acide	$5,0 < pH < 6,0$
Légèrement acide	$6,0 < pH < 6,6$
Neutre	$6,6 < pH < 7,4$
Basiques	$7,4 < pH < 7,8$
Très basiques	$7,8 < pH < 8,5$

Source : Mallouhi (1997) et Yekini (2000), Abomey – Calavi.

Annexe N°04

Tableau 03 : les normes de la méthode de la conductivité (C.E)

Les normes	Conductivité électrique (mmhos/cm)
Sol non sale	$CE < 2$
Sol peu sale	$2 < CE < 4$
Sol sale	$4 < CE < 8$
Sol très sale	$8 < CE < 16$
Sol dextrement sale	$CE > 16$

Annexe n°05

Tableau 04 : les normes de la méthode ANNE de la matière organique

Les normes	Matière organique (%)
Sol très pauvre	<0,5
Sol pauvre	0,5-1,5
Sol moyennement pauvre	1,5-2,5
Sol riche	2,5-5
Sol très riche	6-15

Source : Mallouhi (1997) et Yekini (2000), Abomey – Calavi.

Annexe n°06

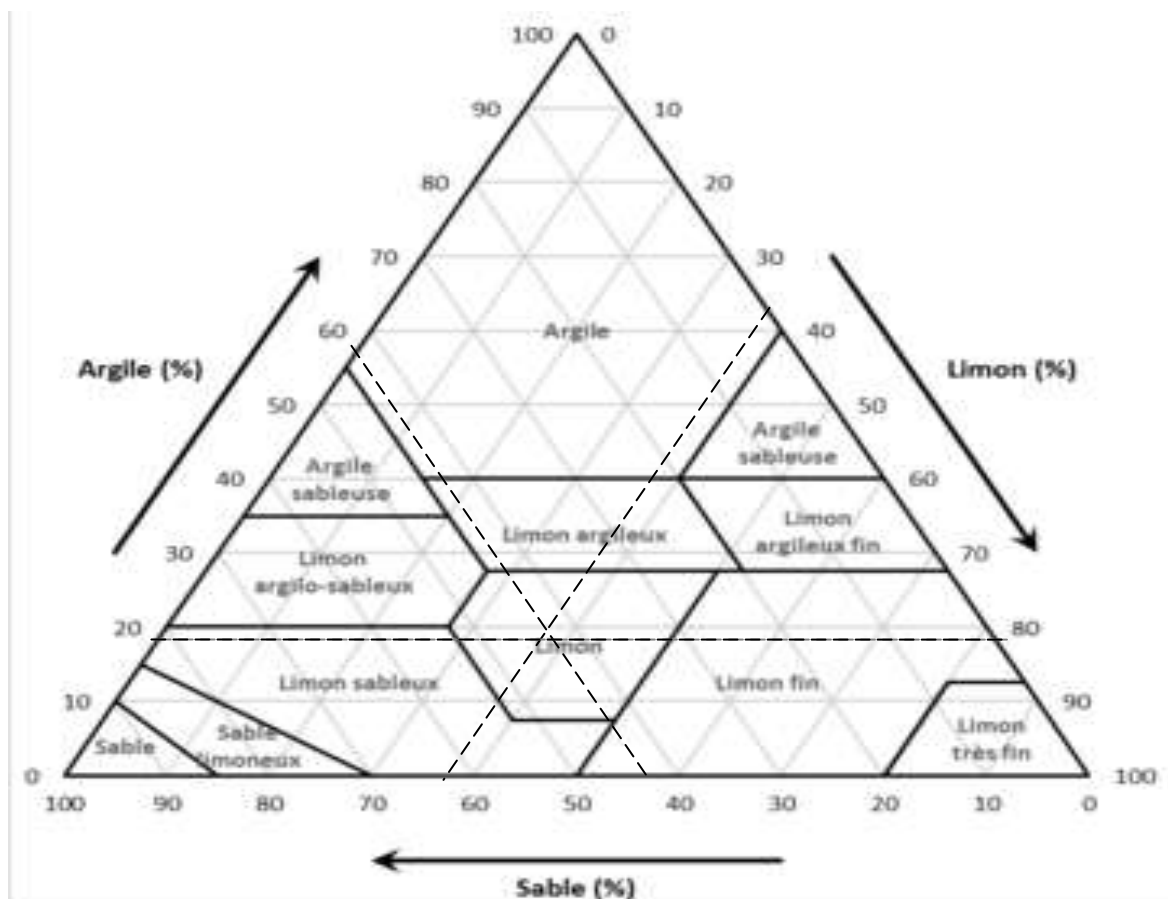


Figure n°3: triangle texturales (cas d'eucalyptus)

Annexe n°07

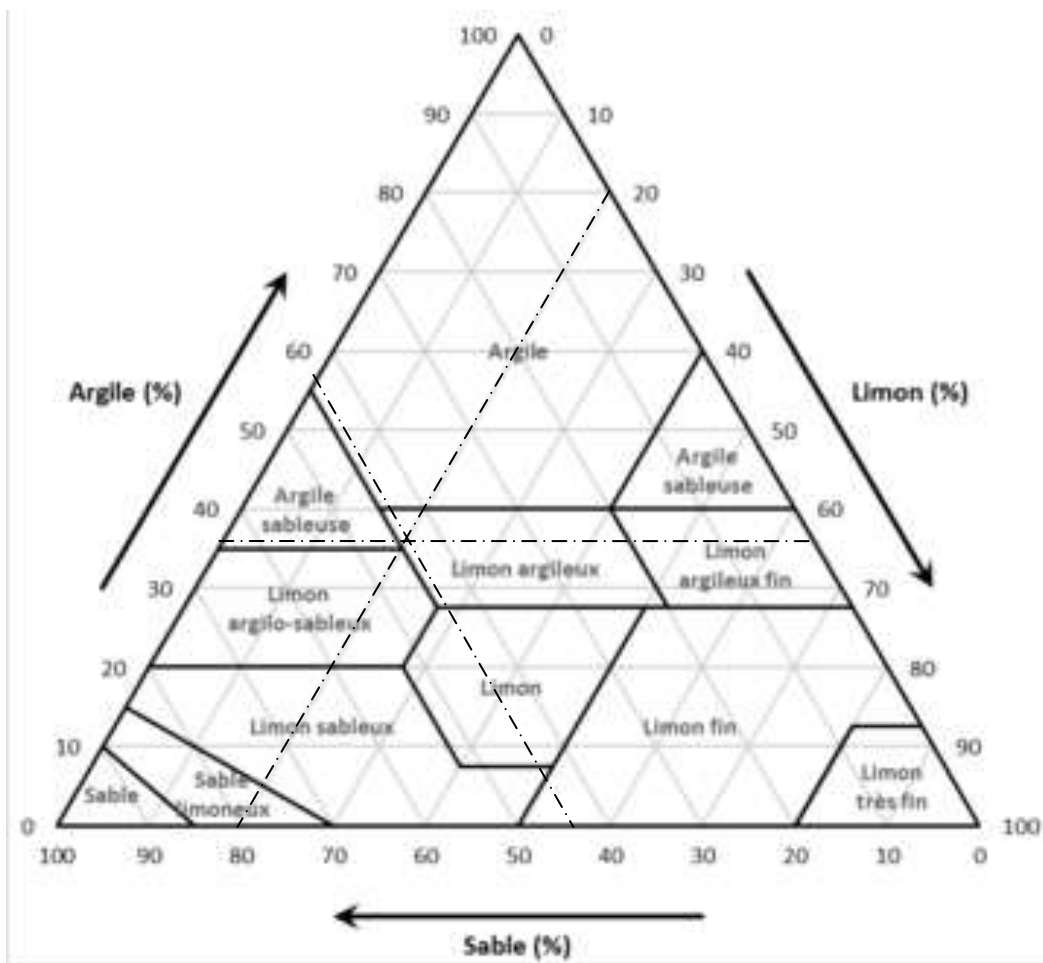


Figure n°3: triangle texturales (cas de pin d'Alep)

Annexe n°08

Tableau n° 05: Données physico-chimiques du parcelle n°01 (Eucalyptus)

Horizon	Profondeur (cm)	Granulométries %			C %	MO %	N %	C/N	pH	CE	H%
		Argile	Limon	Sable							
EC1	0-10 cm	16,45	34,3	49,25	3,27	5,62	0,7	5	7,1	0,44	2.69
EC1	10-20 cm	10,8	49,48	39,73	1,58	2,71	0,35	5	7,4	0,27	2.41
EC1	20-30 cm	16,85	40,62	42,54	1,27	2,18	0,18	7	7,5	0,18	2.72
EC2	0-10 cm	13,4	35,83	50,77	2,11	3,64	0,7	3	7,3	0,34	2.44
EC2	10-20 cm	26,55	24,89	49,56	1,96	3,37	0,61	3	6,9	0,32	1.66
EC2	20-30 cm	26,6	70,88	2,52	1,35	2,31	0,44	3	7,1	0,59	1.57
EC3	0-10 cm	19,95	36,32	43,74	2,11	3,64	0,53	4	7,8	0,52	1.53
EC3	10-20 cm	23,4	35,69	40,91	1,73	2,98	0,53	3	7,4	0,43	1.21
EC4	0-10 cm	16,9	36,44	46,66	1,27	2,18	0,53	2	8	0,56	1.76
EC4	10-20 cm	16,25	33,73	50,02	1,19	2,05	0,44	3	7,9	0,55	1.36
EC4	20-30 cm	17,15	31,33	51,52	0,35	0,6	0,61	1	8	0,52	0.89
EC5	0-10 cm	15,6	36,49	47,91	3,65	6,28	0,96	4	7,6	0,74	2.34
EC5	10-20 cm	26,05	24,18	49,77	0,96	1,65	0,44	2	8	0,2	0.88
EC5	20-30 cm	23,65	28,99	47,35	0,73	1,26	0,7	1	7,7	0,39	1.1

Annexe n°09

Tableau 06: Données physico-chimiques du parcelle n°02 (Pin d'Alep)

Horizon	Profondeur (cm)	Granulométries %			C	MO	N	C/N	pH	CE	H%
		Argile	Limon	Sable							
PA1	0-10 cm	3,85	17,19	43,96	1,23	2,12	0,53	2	8,7	0,21	0.25
PA1	10-20 cm	46,35	14,78	38,87	1,85	3,17	0,61	3	8,6	0,2	0.29
PA1	20-30 cm	58,7	12,56	28,77	1,38	2,38	0,88	2	8,6	0,18	0.31
PA2	0-10 cm	40,1	21	38,9	2,15	3,7	0,7	3	7,3	0,09	0.23
PA2	10-20 cm	41,4	20,35	38,25	1,08	1,85	0,35	3	7,6	0,09	0.31
PA2	20-30 cm	45,65	17,77	36,58	0,92	1,59	0,53	2	7,6	0,15	0.25
PA3	0-10 cm	28,1	24,82	50,08	1,54	2,64	0,44	4	7,5	0,21	0.31
PA3	10-20 cm	30,1	22,35	47,55	1,69	2,91	0,61	3	7,7	0,14	0.45
PA3	20-30 cm	37,2	15,08	47,72	1,85	3,17	0,7	3	7,7	0,24	0.52
PA4	0-10 cm	27,6	18,54	53,86	7,69	13,22	1,05	7	7,4	0,27	0.34
PA4	10-20 cm	38,6	13,81	41,59	1,31	2,25	0,61	2	7,8	0,11	0.3
PA4	20-30 cm	42,65	20,32	37,03	1,85	3,17	0,53	4	7,8	0,12	0.52
PA5	0-10 cm	22,3	31,16	46,53	3,77	6,48	0,53	7	7,6	0,24	0.32
PA5	10-20 cm	32,4	27,45	40,15	2,46	4,23	0,53	5	7,7	0,23	0.27
PA5	20-30 cm	33,5	22,11	44,38	0,15	0,26	0,61	0	7,7	0,22	0.22

Annexe n°10

Tableau 07:Fiche descriptive

Critères de l'environnement		
Parcelle N°1 : Date : 14/05 /2019		
Coordonnées N 36.79707° E 002.96630° Végétation : eucalyptus		
Horizon	poids humide	poids séchés
EC1	6.91 kg	6,63 kg
EC1	6.98 kg	6,42 kg
EC1	5.08 kg	4,49 kg
EC2	6.28 kg	5,52 kg
EC2	11.55 kg	11,002 kg
EC2	10.8 kg	10,22 kg
EC3	6.9 kg	6,57 kg
EC3	8.05 kg	7,77 kg
EC4	8.35 kg	7,89 kg
EC4	12.07 kg	11,65 kg
EC4	8.65 kg	8,33 kg
EC5	11.08 kg	10,45 kg
EC5	8.83 kg	7,50 kg
EC5	6.09 kg	5,69 kg

Annexe n°11

Tableau 08: Fiche descriptive

Critères de l'environnement		
Parcelle N°2 : Date : 11/06 /2019		
Coordonnées N 36.79767° E 002.96960° Végétation : Pin d'Alep		
Horizon	poids humide	poids séchés
PA1	10,2 kg	9,7 kg
PA1	6,5 kg	6,25 kg
PA1	8,95 kg	8,6 kg
PA2	9,6 kg	9,05 kg
PA2	9,1 kg	8,75 kg
PA2	8,8 kg	8,42 kg
PA3	8,61 kg	8,15 kg
PA3	8,15 kg	7,71 kg
PA3	7,65 kg	7,2 kg
PA4	8.26 kg	7.93 kg
PA4	9.6 kg	9.33 kg
PA4	6.8 kg	6.36 kg
PA5	8.65 kg	8.08 kg
PA5	6.6 kg	6.35 kg
PA5	8.15 kg	7.87 kg

Référence Bibliographique

AIT-BENAMAR H et AHRIZ N, 1993

Contribution a la cartographie des sols du foret de bainem. Thèse Ing I.N.A EL Harrach-Alger.
10P

Aubert. (1970)

Influence de la végétation sur le sol, Influence de la végétation sur les processus de la pédogenèse.12p.

BALESDENT J ., 1996.

Un point sur l'évolution des réserves organique des sols en France. Etude et gestion des sols.
INRA.(afes). vol 3 n° 4. 245-260pm

Baldock, J.A., and P.N. Nelson. 1999.

Soil organic matter. p. B-25–B- 84. In M.E. Sumner (ed.) Handbook of soil science. CRC Press,
Boca Raton, Florida.

Banville . (2009).

Caractérisation des stocks de carbone de 5 types de formations végétales dans un secteur du
bassin versant de la rivière eastmain, baie james. Univ du Québec à Montréal. 158p., 16 Tab.,
23 fig

Batjes, N.H. et E.M. Bridges, 1992.

A review of soil factors and processes that control fluxes of heat, moisture and greenhouse gases.
Technical Paper 23; 197 p.

BEAUCHAMP J., (2003).

Propriétés des sols , université de picardie jules verne , [http// www u-picardie.fr / Beuchamp/
mst/ sol.htm](http://www.u-picardie.fr/Beuchamp/mst/sol.htm).

BECHKOK. L, 1978.

Etude de la productivité de l'Eucalyptus cladocalyx F.V.M dans la forêt de bainem . Thèse .ing,
agro, I.N.A El-Harrach, 44p.

BELLOULA,N. 2011.

Etude expérimentale de l'Influence de la typologie des Cédraies sur la distribution des formes d'Azote dans certains sols du massif forestier du CHELIA. Thèse de Magister Batna -Alger. 11-140P

BENSID, Z, 2015

Dynamique de la Matière Organique des Sols des Monts Forestiers du Bélézma. Thèse de doctorat Batna-Alger 16p

BOUNOUARA, Z, 2018.

Origine et évolution de la matière organique dans les sols des zones subhumides (Cas de la région de SKIKDA - ALGERIE). Thèse de doctorat Batna-Alger. 5p

Calvet, R., 2003.

Le sol, Propriétés et Fonctions, T1 : Constitution et Structure, phénomènes aux interfaces, Ed. France Agricole, 455 p.

Cardinal, (2015).

Stockage de carbone et dynamique des matières organiques des sols en agroforesterie sous climat méditerranéen et tempéré. These doctorat de l'université Paris – Sclay, préparée à AgroPaisThech.

Chenu C, Camille B, Bernoux M, 2015.

L'agroforesterie permet-elle de concilier production agricole et atténuation du changement climatique. N° :225.

Davidson E.A.ET Janssens I.A. 2006.

Temperature sensitivity of soil carbon de composition and feedbacks to climate change».Nature, vot 440, no. 9, p. 165-17

DONAHY R ., 1958.

Nature des sols et croissance végétale .Ed . D'organisation. Paris, 312p.

DUCHAUFOR PH., 1977.

Pédogenèse et classification pédologique (II) Edition Masson Paris, 477p.

DUCHAUFOUR PH., 1988.

Abrégé de pédologie Ed Masson Paris, 454 p.

FAO. 2010.

The world's forests 2010. (Disponible sur http://foris.fao.org/static/data/fra2010/fao_forest_map_2010.pdf). Accès le 1er mars 2017.

Ferry, Freycon, Paget, Sabatier. 2003.

Description et dynamique des milieux forestiers, influence du sol sur la végétation arborescente en forêt guyanaise: état des connaissances. 61-73p.

Ghazali, D. 2012

Systématique et bioécologie des acariens du sol (Acari-Oribatida) en Algérie. Thèse de doctorat I.N.A EL Harrach-Alger. 22P

GOBET J.M ., ARAGNO M ET MATHEY W., 1998.

Le sol vivant, bases de pédologie des sols. Ed . presses polytechnique et universitaire. Ramandes, 519p.

ITV France.

Fertilisation de la vigne un point sur les préconisation (évolution simplifié des matières organiques)

Lal, R. 2005.

Forest Soils and Carbon Sequestration. Forest Ecology and Management, 220: 242- 258.

Le quéré C, (2014).

Global carbon budget 2014. Earth Syst Sci Data Discuss 7:521–610. doi: 10.5194/essdd-6-689-2013.

Mustin M., 1987.

Le composte, gestion de la matière organique. Ed. François Dubusc. Paris. 954p.

Ndiaye O. ; Tamsir Diop A. ; Elie Akpo L. ; Diène M.(2014).

Dynamique de la teneur en carbone et en azote des sols dans les systèmes d'exploitation du Ferlo cas du CRZ de Dahra. Journal of Applied Biosciences 83:7554– 7569. ISSN 1997–5902

Otto Hans-Jürgen, 1989.

Ecologie forestière. Edts. Pascal Maurin, Paris, 391 p.

Pan, Y., Birdsey, R. A., Phillips, O. L. & Jackson, R. B. 2013.

The Structure, Distribution, and Biomass of the World's Forests. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 44: 593-622.

Paustian, K., Andren, O., Janzen, H., Lal, R., Smith, P., Tian, G., Tiessen, H., Van Noordwijk, M., Woomer, P.L., (1997).

Agricultural soils as a sink to mitigate CO2 emissions. Soil use. Manage 13, 230-244.

Parr J.F., 1973.

Nature and significance of inorganic transformation in tile drained soil. Soil and fertilizers. N°32. Pp 411-415.

Agricultural soils as a sink to mitigate CO2 emissions. Soil use. Manage 13, 230-244.

RIBIERO R.M., MOUREAUX C et NOVIKOFF A., 1976

Etude comparative de l'altération microbienne des différents minéraux constituant d'une diabase. Cah.O.R.S.T.O.M.Vol . n°2 ,161-168p.

Robert M. 1996.

le sol: interface dans l'environnement, ressource pour le développement. Masson. 3eme cycle et recherche. Collection sciences de l'environnement. ISBN : 244p

SOLTNER D. 1992.

Les bases de la production végétale.Tome1: le sol. Collection Sciences et Techniques Agricoles, 19 édition, Sainte Gemmessur Loire.

SOLTNER D., 1996.

Les bases de la production végétale, TOME 1 : Le sol et son amélioration, collection science et technique agricoles 21ème Edition, 302p.

Schlesinger, W.H. 1986.

Changes in soil carbon storage and associated properties with disturbance and recovery. Chapter 11, p. 194-220. Dans: J.R. Trabalka and D.E. Reichle (eds.) The changing carbon cycle - A global analysis. Springer-Verlag, New York, NY.

Stevenson FJ 1994.

Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions, 2nd Edition. Wiley studies on PAH-contaminated soil under varying temperatures. Chemosphere, 61, 1529-1538.

Tiessen H, Cuevas E, Chacon P 1994.

The Role of Soil Organic-Matter in Sustaining Soil Fertility. Nature 371:783–785.

Theng, B., K. Tore and P. Sollins, 1989.

Constituents' organic matter in temperate and tropical soils. (Eds.), Dynamics of Soil Organic Matter in tropical Ecosystems Niffal Project, University of Hawaii, pp 5 - 32.