



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE



وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
جامعة باجي مختار - عنابة
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA

FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

THESE EN VUE DE L'OBTENTION D'UN DIPLOME DE DOCTORAT EN SCIENCES

Spécialité: Biologie Végétale

Intitulé

**Etude des relations sol-végétation de la
chênaie d'Ouled Bechih (Souk-Ahras)
« dynamique de la matière organique »**

Présenté par : Mlle SAMAI Ibtissem

Membre de Jury :

Président :	Pr. DJAMAÏ Rachid	U.B.M. Annaba
Directeur de thèse :	Pr. BENSLAMA Mohamed	U.B.M. Annaba
Examineur :	Pr. OUKID Mohamed Laid	U.B.M. Annaba
Examineur :	Dr. MAIZI Mohamed Cherif	U.M.M.C. Souk-Ahras
Examinatrice :	Dr. NEFFAR Souad	U. L.T. Tébessa
Examinatrice :	Dr. RACHED KANOUNI Malika	E.N.S.B. Constantine

Année universitaire : 2016/2017

Remerciements

Au nom de dieu clément et miséricordieux, le grand merci lui revient d'avoir aidé à élaborer cette thèse.

Mes vifs remerciements s'adressent à tous les membres de jury :

Pr. DJAMAÏ Rachid pour l'honneur qu'il m'a fait de présider le jury.

Pr. OUKID Mohamed Laid pour sa modestie d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Dr. MAIZI Mohamed Cherif pour sa modestie d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Dr. NEFFAR Souad pour sa gentillesse d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Dr. RACHED KANOUNI Malika pour sa gentillesse d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à **Pr. BENSLAMA Mohamed** qui a suivi et dirigé ce travail avec un enthousiasme toujours égale. Je le remercie pour sa gentillesse, sa patience, la disponibilité constante qu'il a manifestée, le soutien qu'il m'a apporté, la confiance qu'il m'a témoignée, afin de mener à terme cette thèse.

Je tiens à remercier vivement et du fond du cœur papa Younes pour l'aide qu'il m'a apporté et le soutien continuél tous le long de mon travail.

Un merci tous particulier à mon future mari Walid surtout pour son immense gentillesse et pour son aide précieux pendant la réalisation de ce travail.

Je remercie surtout Dr Amamra Amina et Dr Maghlaoui Zoubaida qui m'ont rendu service et m'ont aidés pour finaliser ce document.

Enfin je remercie tous ceux qui ont collaborés et contribués de prés ou de loin de la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédis ce travail à la lumière de mes yeux et aux ailes de mes voltiges papa et maman et mon future mari Walid, qui n'ont jamais cessés de me chérir et me soutenir durant toutes mes années d'études. Je leur dis merci et que dieu vous garde.

À mon frère Karim et sa famille.

À mon frère Waheb et sa famille.

À mon frère Djamel et sa famille.

À ma sœur Fairouz, son mari Hamdi et ses enfants Iheb, Maram et Abderrahmene.

À ma sœur Naouel, son mari Salah et ses enfants Lina et Midou.

À mon frère Toufik.

À ma très chère tante Chemama, à mon oncle Chadli et ses enfants : Nadia, Mimi, Abderrahmene et Imed.

Ibtissem

Sommaire

- Introduction.....	1
Chapitre I : Etude des sols et de la matière organique	
I. Le sol.....	3
1.1. Définition	3
1.2. Les différentes phases du sol.....	4
1.2.1. La phase liquide du	5
1.2.2. La phase gazeuse du sol.....	5
1.2.3. La phase solide du sol.....	6
1.3. Les facteurs écologiques à l'origine de la formation des sols	6
1.4. Les éléments constitutifs du sol	9
1.4.1. Fraction minérale.....	9
1.4.2. Fraction organique	10
a- Les constituants vivants.....	11
b- Les constituants non vivants.....	11
c- Matière organique inerte.....	12
1.4.3. Le complexe argilo-humique	12
1.5. Les différents types du sol	13
1.6. Les différentes fonctions du sol.....	14
II. La matière organique du sol	
2.1. Définition.....	16
2.2. Composition de la matière organique	17
2.2.1. Les substances non-humiques	17

2.2.2. Les substances humiques.....	18
2.3. Origine de la matière organique du sol.....	19
2.3.1. Une origine exogène	19
2.3.2. Une origine endogène	20
2.4. Evolution de la matière organique du sol	20
2.4.1. La minéralisation.....	21
2.4.2. L'humification.....	22
2.4.2.1. L'humification physico- chimique (abiologique)	23
2.4.2.2. L'humification biologique.....	23
➤ Les agents de l'humification.....	23
a- Rôle de la microflore.....	24
b- Rôle de la faune.....	24
➤ Classification des humus	25
a- Humus des milieux aérés	25
b- Humus des milieux hydromorphes	27
2.5. Effets du milieu sur l'évolution des fractions humiques	27
➤ Activité biologique globale.....	28
➤ Rôle du climat Général et du microclimat local.....	29
➤ La stabilisation par maturation climatique des composés.....	31
a- influence des facteurs climatiques : rôle des saisons sèches	31
2.6. Rôles et effets des substances humiques.....	32
2.6.1. Influences sur le sol	32
2.6.2. Influences sur les plantes.....	33
2.7. La matière organique des sols et le stockage du carbone	34
2.8. Le rapport carbone / azote	35
2.9. Rôle de la matière organique du sol	36

2.9.1. Qualités et fertilité du sol	37
2.9.2. La matière organique comme facteur de pédogenèse	39
2.9.3. La matière organique comme facteur contrôlant l'effet de serre	40

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

2.1. Localisation géographique.....	41
2.2. La situation géologique.....	45
2.3. Situation géomorphologique.....	47
2.4. Réseau hydrographique.....	49
2.5. Situation climatique.....	51
2.5.1. Précipitation.....	51
2.5.2. Température.....	52
2.5.3. Synthèse climatique.....	54
2.5.3.1. Le Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен.....	54
2.5.3.2. Détermination d'étage bioclimatique de Souk-Ahras.....	55
2.5.3.3. Calcul du quotient pluvio thermique d'Emberger.....	56
2.5.3.4. Situation de la zone d'étude dans le climagramme d'Emberger.....	57
2.6. Humidité relative.....	57
2.7. Les vents.....	58
2.7.1. Vitesse moyenne mensuelle du vent.....	58
2.8. Les Phénomènes climatiques accidentelles.....	59
2.8.1. La neige.....	59
2.8.2. La grêle.....	59
2.8.3. Les gelées.....	60

2.8.4. Le siroco.....	60
2.8.5. Durée d'insolation.....	61
2.8.6. Evaporation du plan d'eau.....	61
2.9. Couverture forestière.....	62
2.10. Occupation des sols.....	63
2.11. L'activité socio-économique.....	65

Chapitre III : Matériels et méthodes

3.1. La démarche cartographique.....	66
3.1.1. Plan de prospection.....	69
3.1.2. Description morphologique (fiche de description).....	67
3.1.3. Prélèvement des échantillons.....	68
3.2. Au laboratoire.....	70
3.2.1. Préparation du sol.....	70
3.2.2. Méthode d'analyse physico-chimique.....	70
3.2.3. Les analyses physico-chimiques.....	70
3.2.3.1. Le pH.....	70
3.2.3.1.1. Le pH eau.....	70
3.2.3.1.2. Le pH KCl.....	71
3.2.3.2. La conductivité (C.E).....	71
3.2.3.3. L'humidité hygroscopique (H).....	71
3.2.3.4. La matière organique (MO).....	71
3.2.3.5. Dosage du carbone organique.....	72
3.2.3.6. Dosage de l'azote total.....	73
3.2.3.7. La porosité.....	74

3.2.3.8. La densité apparente (D_A).....	74
3.2.3.9. La densité réelle (D_R).....	74
3.2.3.10. La granulométrie.....	74
3.2.3.11. Extraction et fractionnement des matières humiques du sol.....	79
3.3. Les analyses statistiques.....	81

Chapitre IV : Résultats et discussions

4. Caractérisations morpho-analytiques des sols.....	82
4.1. Description morpho-analytique des profils	82
4.1.1. Station : 01 - El-Djebha (Profil N : 01).....	82
4.1.1.1. Description morphologique	82
4.1.1.2 .Résultats analytiques.....	83
4.1.1.3. Interprétation.....	83
4.1.1.4. Le fractionnement de la matière organique du sol de la forêt d'Ouled Bechih.....	87
4.1.1.5. Analyse statistique	89
4.2.1. Station: 02 - El-Mechta Salem (Profil N : 02).....	91
4.2.1.1. Description morphologique	91
4.2.1.2. Résultats analytiques.....	92
4.2.1.3. Interprétation.....	92
4.2.1.4. Le fractionnement de la matière organique du sol	96
4.2.1.5. Analyse statistique	97
4.3.1. Station : 03 - El-Mazraa (Profil N : 01).....	100
4.3.1.1. Description morphologique	100
4.3.1.2. Résultats analytiques.....	101
4.3.1.3. Interprétation.....	101
4.3.1.4. Le fractionnement de la matière organique du sol.....	105
4.3.1.5. Analyse statistique.....	107

4.4.1. Station : 04 - El-Matlague (Profil N : 01).....	110
4.4.1.1. Description morphologique.....	110
4.4.1.2. Résultats analytiques.....	111
4.4.1.3. Interprétation.....	111
4.4.1.4. Le fractionnement de la matière organique du sol.....	115
4.4.1.5. Analyse statistique.....	116
4.5.1. Station: 5 - Mechta El-Hadjajia (Profil N : 01).....	119
4.5.1.1. Description morphologique	119
4.5.1.2. Résultats analytiques.....	120
4.5.1.3. Interprétation.....	120
4.5.1.4. Le fractionnement de la matière organique du sol.....	124
4.5.1.5. Analyse statistique	125
4.6.1. Station : 06 - El-Machrouha (Profil N : 01).....	128
4.6.1.1. Description morphologique.....	128
4.6.1.2. Résultats analytiques.....	129
4.6.1.3. Interprétation.....	129
4.6.1.4. Le fractionnement de la matière organique du sol.....	133
4.6.1.5. Analyses statistiques.....	134

Chapitre V : Relations sols-végétations

5.1. Introduction.....	137
5.2. Discussion.....	138
Discussion générale	143
Conclusion générale	145
Résumé	147
Références bibliographiques	150
La liste des abréviations	164

Introduction générale

Le milieu forestier est un exemple particulièrement net d'écosystème organisé en strates superposées, ce qui permet l'utilisation maximum de l'énergie solaire ainsi qu'une plus grande diversification des niches écologiques (Dajoz, 1985).

La forêt méditerranéenne, milieu fortement anthropisé, constitue un écosociosystème, (système complexe) dans lequel les humains et la nature interagissent et sont interdépendants. (Berkes et Folke, 2000).

La forêt d'Ouled Bechih occupe une superficie de 6 582 ha, elle est connue par la diversité de ces écosystèmes (BNEDER, 2007), c'est dans cette zone qu'on peut décrire l'une des plus belles forêts humides d'Afrique du nord (Boudy, 1955), grâce à sa position géographique et par sa diversité tant biotique qu'abiotique. Et elle est considérée comme un parc régional en cours de création.

Cette zone est située au Nord de la wilaya de Souk-Ahras, dont l'ambiance climatique est de type méditerranéenne, caractérisée par une température moyenne annuelle de 16°C, et une précipitation moyenne annuelle de 625mm, avec une humidité atmosphérique importante 68%. Malgré l'importance de ces formations végétales, peu de travaux ont été réalisés dans cette région.

Parmi les éléments essentiels dans ce milieu on a la matière organique qui joue un rôle essentiel dans l'environnement. Elle constitue le substrat indispensable au développement de la vie biologique, car elle est une source majeure de carbone et d'énergie pour les micro-organismes. Elle conditionne les propriétés chimiques (stocks de carbone, d'azote et de phosphore) et physiques (perméabilité, stabilité structurale, capacité de rétention et de circulation en eau) du sol (Fustec-Mathon et al. 1975 ; Jambu et al, 1983 ; Dutartre et al, 1993). Elle intervient dans la composition atmosphérique par le biais de la minéralisation et protège les ressources en eau par sa capacité à retenir les polluants organiques (phytosanitaires) ou minéraux (métaux lourds).

Le développement industriel, la démographie ont introduit dans les écosystèmes des produits chimiques, difficilement recyclables par les processus naturels qui en se concentrant

dans le sol avec les chaînes trophiques sont devenus des facteurs de déséquilibre biologique voire même de prolifération de certains agents pathogènes.

Le sol est l'élément principal de l'environnement qui règle la répartition de la végétation. Il se développe en fonction de la roche mère, la topographie et les caractéristiques du climat (Ozenda, 1989).

Duchauffour (1977), souligne que le sol est une réserve de substances nutritives et un milieu stable pour l'activité biologique.

L'interaction sol-végétation, en Afrique du nord a été étudiée par de nombreux auteurs, pédologues et phyto-écologues (Duchauffour 1977,1988; Pugos, 1996 ; Bottner 1982; Selmi, 1985 ; Michalet, 1991).

Les sols sont des milieux particuliers qui permettent la vie végétale, mais chaque espèce vivante a ses exigences en substances minérales, et en substances organiques, en eau et n'occupe donc qu'une partie limitée d'un sol de nature déterminée.

C'est ainsi que nous avons axé notre travail sur les caractéristiques physicochimiques des sols de la forêt d'Ouled Bechih, Souk-Ahras, et sur l'évolution et le dynamique de la matière organique existante, ainsi que sur son influence sur les modifications des propriétés physiques des sols, et aussi la relation existante entre le sol et la végétation de cette forêt. Elle nous sera certainement très informative.

Les chapitres suivants seront développés :

- Etude des sols et de la matière organique,
- Présentation de la zone d'étude (Milieu physique) comprenant :
 - Situation géographique de la région,
 - Le bioclimat,
 - La géomorphologie, la géologie,
 - Description de la végétation,
- Matériel et méthodes (Approche méthodologique),
- Résultats et discussions,
- Relations sols-végétations,
- Conclusion.

Chapitre I : Etude des sols et de la matière organique

I. Le sol

1.1 Définition :

L'entité sol peut avoir de nombreuses définitions qui dépendent généralement de la discipline d'étude. La discipline concernée dans ce travail est la pédologie. Il en résulte une définition évolutive naturaliste de l'entité sol :

Le sol est une entité naturelle, c'est-à-dire dont l'existence initiale ne dépend pas de l'homme (Baize and Girard, 1995), superficielle et souvent meuble résultant de la transformation, au contact de l'atmosphère et des êtres vivants (biosphère), d'un matériau minéral (géosphère) issu le plus souvent d'une roche sous-jacente, sous l'influence des processus physiques, chimiques et biologiques » (Girard et al, 2004).

Le sol est la couche supérieure de la croûte terrestre, composée de matière minérale, de matière organique, d'eau, d'air et d'organismes. Il dispose de son atmosphère interne, ainsi que d'une flore et d'une faune spécifiques. Les sols proviennent de l'altération et de la transformation des roches sous l'action de la vie, de l'atmosphère et des échanges d'énergie qui s'y manifestent (Barles et al, 1999). Ce sont des systèmes dynamiques complexes qui évoluent en permanence sous l'action de processus pédogénétiques relativement lents, bien que certains événements ponctuels puissent accélérer leur évolution (par exemple érosion rapide et importante dans le cas d'un événement climatique violent), et peuvent se dégrader (Duchaufour, 1997 in Grosbellet, 2008).

Le sol est la couche superficielle meuble de la lithosphère terrestre, présentant une épaisseur variable de quelques centimètres à plusieurs mètres. Il est constitué par un mélange de matériaux minéraux et organiques, qui sert de support et milieu naturel pour la croissance des plantes (Glossary of Soil Science Terms, 1965 ; Legros, 2007). Cette couche, dénommée encore couverture pédologique, est la résultante au cours du temps de plusieurs facteurs génétiques - la roche-mère sur laquelle s'est développé le sol - et environnementaux tels que le climat, le relief et la végétation (Duchaufour, 1984 ; Pedro, 1985 ; Boulaïne, 1989).

Le sol est une formation naturelle de surface à structure meuble, d'épaisseur variable, résultant de transformation de la roche mère sous jacente, sous l'influence de divers processus physiques, chimiques et biologiques. (Demolon, 1966).

Le sol est un système complexe constitué de différentes matières premières interagissant les unes avec les autres. Les propriétés du sol résultent de l'effet de toutes ces interactions (Mac Carthy et al, 1990).

Le sol est la partie supérieure de la croûte terrestre. Il est l'interface entre l'atmosphère, l'hydrosphère, la lithosphère et les organismes vivants. Il est composé d'une fraction minérale et d'une fraction organique : la pédogenèse résulte de l'altération d'un substrat minéral par des phénomènes physiques, chimiques et biologiques (figure 1). Au cours de cette transformation, le substrat minéral est colonisé par des organismes qui composent peu à peu la matière organique. Cette matière organique s'associera ainsi au minéral pour former entre autres des complexes organo-minéraux. (Quenea, 2004).

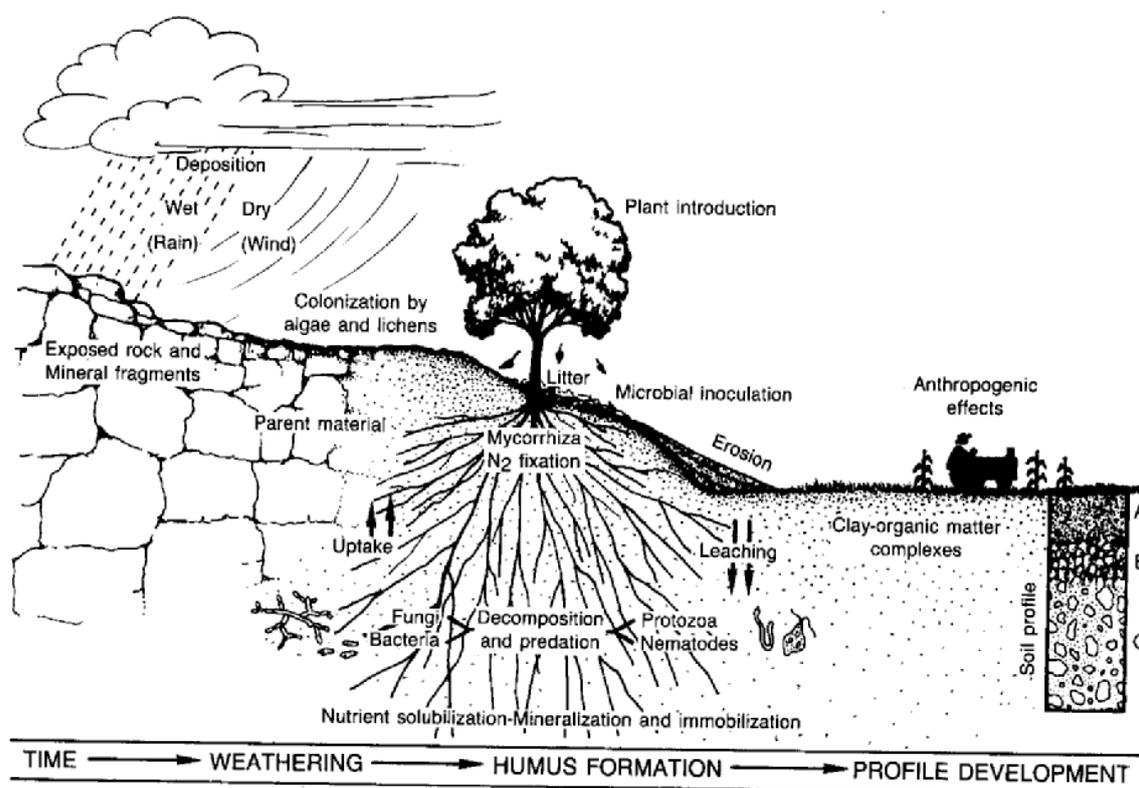


Fig. 1 : Relation entre organismes, matière organique et roche mère dans le développement du sol (d'après Paul and Clark, 1996)

1.2. Les différentes phases du sol :

Le sol est un système dispersé à trois phases (Hillel, 1974 in Hubert 2008).

Par ailleurs, le sol est considéré comme un système hétérogène, poreux et polyphasique constitué de trois phases : solide, liquide et gazeuse. Aux interfaces entre ces

différentes phases, d'importants phénomènes de rétention d'eau et de substances chimiques, des échanges d'ions et de molécules peuvent avoir lieu (Hillel, 1982).

1.2.1. La phase liquide du sol :

La phase liquide du sol est souvent désignée par le terme « solution du sol ». Cette dernière, occupant une partie plus ou moins importante de la porosité du sol, est constituée d'eau où se trouvent diverses substances organiques et minérales dissoutes et des particules en suspension. La composition de la solution du sol varie selon celle du sol mais également en fonction du climat, des apports anthropiques (fertilisants, produits de traitement phytosanitaire...) et de l'activité biologique du sol (exsudats racinaires, produits de synthèse et de dégradation microbienne ...).

La solution du sol joue un rôle important dans la nutrition végétale, car les plantes y puisent les éléments nutritifs présents sous des formes solubles dites « assimilables » ou « biodisponibles ». Cette notion de biodisponibilité concerne également de nombreux xénobiotiques (pesticides, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ...). Leur présence dans la solution du sol les rend accessibles aux microorganismes et aux plantes.

Une dynamique d'échange existe en permanence entre les ions ou molécules retenus par la phase solide du sol et ceux présents dans la solution du sol. (El Arfaoui Benaomar, 2010).

1.2.2 La phase gazeuse du sol :

Dans les sols, les gaz occupent 15 à 35% du volume total. Dans un sol bien aéré, les gaz qui règnent dans l'atmosphère du sol sont l'azote (78 à 80%), l'oxygène (18 à 20%) et le dioxyde de carbone (0,2 à 3%). Quoique faible, la quantité de gaz carbonique présente dans le sol est nettement supérieure à celle présente dans l'air atmosphérique (0,03%). Ceci est dû à la respiration des organismes vivants du sol et à la minéralisation de la matière organique.

D'autres molécules gazeuses d'origine anthropique telles que les pesticides ou les HAP peuvent également être détectées dans l'atmosphère du sol.

Ces gaz peuvent exister dans le sol soit à l'état libre soit dissous dans la solution du sol. Cependant, dans certaines conditions (d'hydromorphie par exemple), la phase gazeuse peut être absente ; tout l'espace poral du sol est alors occupé par l'eau et le sol est dit saturé (Duchaufour, 1984 ; Robert, 1996 ; Calvet, 2003).

1.2.3 La phase solide du sol :

La phase solide du sol est en général majoritairement minérale (90 à 99% de la masse du sol) mais comprend toujours une fraction organique dont le taux varie selon le type de sol et les conditions de pédogenèse. Les sols cultivés présentent des taux de matière organique compris dans une gamme allant de moins de 1% à 20% de la masse du sol (Calvet, 2003).

1.3. Les facteurs écologiques à l'origine de la formation des sols :

Jenny (1941) a formalisé le rôle des différents facteurs écologiques intervenant dans la formation des sols par une équation simple:

$$\text{Sol} = f(\text{R}, \text{B}, \text{C}, \text{t}, \text{p}), \text{ avec (figure 2)}$$

- R, le matériel minéral parental ou roche mère. La roche mère a un rôle essentiellement statique et non dynamique comme les autres facteurs. Elle agit principalement par sa composition chimique (silicatée, carbonatée, teneur en ferromagnésiens et en éléments alcalins et alcalino-terreux) ; sa composition minéralogique (répartition de la teneur des éléments dans les minéraux, altérabilité de la roche) et sa structure (roche indurée, fissurée, meuble argileuse, meuble limoneuse).
- B, les êtres vivants et leur matière organique. Le sol étant un milieu vivant, les êtres vivants initient la formation du sol. Ils agissent sur la structuration du sol (formation des agrégats avec la matière organique, structuration par les racines des plantes, bioturbation de la macrofaune) et sur l'altération de la phase minérale (action des microorganismes, prélèvements d'éléments nutritifs par les plantes)
- C, le climat. Il détermine la répartition des sols au niveau du globe. Il intervient principalement à travers la pluviométrie et la température. L'eau et la température agissent sur l'altération des roches et des minéraux et sur la vitesse de décomposition de la matière organique. Pour des températures très basses ou très élevées, si la pluviométrie est nulle, l'altération est quasi inexistante. Si la pluviométrie est élevée et la température basse, la matière organique a tendance à s'accumuler et si la température est élevée, l'altération minérale est intense. De plus, la différence pluviométrie-évapotranspiration (P-ETP) qui conditionne le drainage et l'exportation ou non des produits de l'altération hors du profil est aussi importante pour l'évolution des sols.

- t, le temps. L'influence du temps est très différente selon le type de roche mère et les processus de pédogénèse impliqués. Ainsi, il faut de quelques centaines d'années à de nombreux millénaires pour qu'un sol se développe.

- p, la pente et l'altitude. Par rapport aux autres facteurs, ce sont des facteurs indirects qui agissent sur les conditions hydriques (vitesses d'écoulement vertical et horizontal de l'eau) ou climatiques (exposition par rapport au soleil, température du sol), voir sur le facteur biologique dans le cas de l'altitude (étagement bioclimatique de la faune et de la flore). (Hubert, 2008)

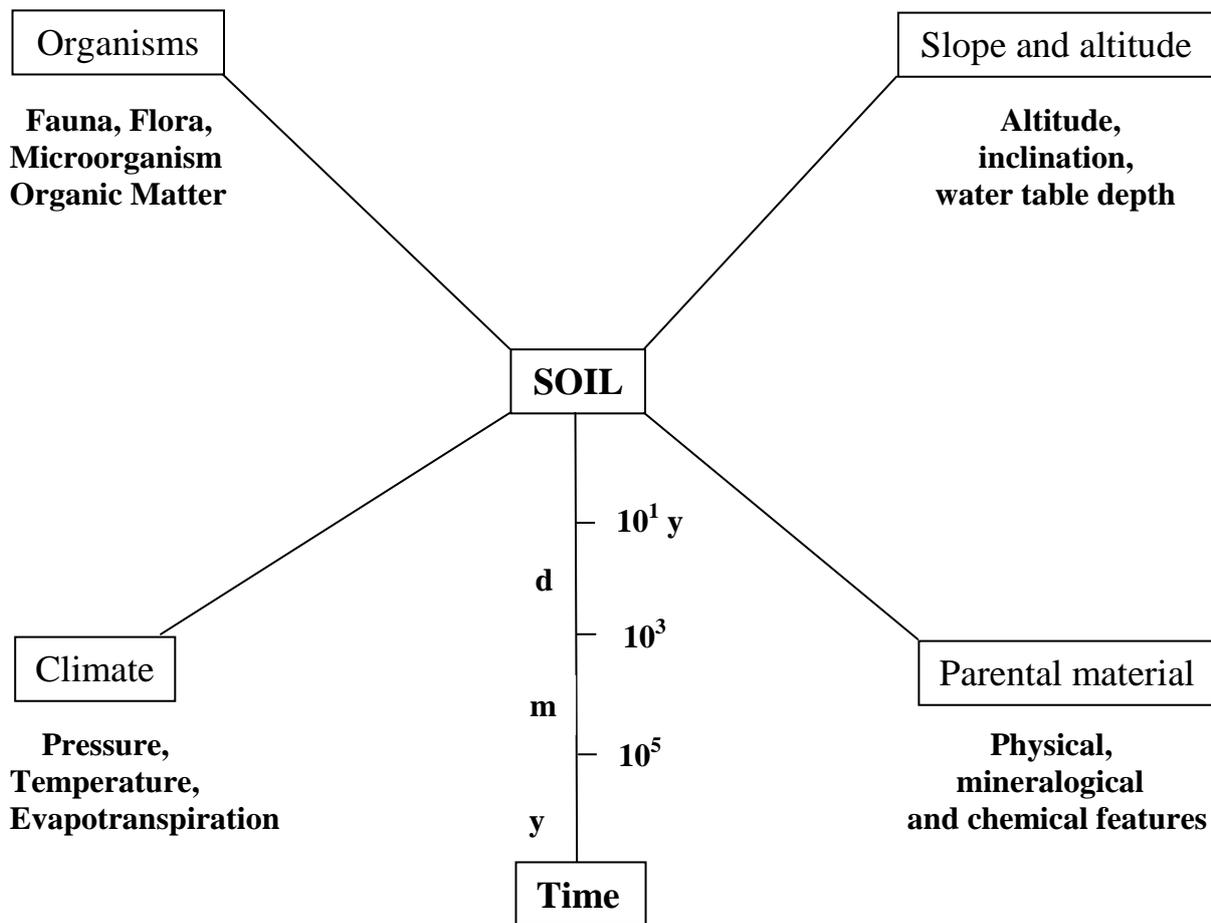


Fig. 2: Les cinq facteurs de formation des sols, (Hubert, 2008).

Ces cinq facteurs et leurs variations se combinent pour donner une gamme presque infinie de sols, chacun ayant ses caractéristiques physiques, chimiques et biologiques à un degré d'évolution donné. Pourtant un seul principe commun d'évolution relie ces facteurs en trois phases, à la fois successives et simultanées, allant de la roche brute à un système équilibré (figure 03) (Gobat et al, 2003).

- La première phase est la phase d'altération de la roche mère par altération chimique et désagrégation physique, avec ou sans modification minéralogique, et qui aboutit à la subdivision en différentes classes granulométriques (texture du sol) de la matrice minérale.

- La seconde phase est l'enrichissement (ou incorporation) en matières organiques du sol après la colonisation par la végétation, la macrofaune et les microorganismes. Cette phase engendre une altération biochimique de la phase minérale. Le sol se structure par l'apparition d'une couche superficielle organique, la litière et l'interaction entre les phases minérales et organiques. (Hubert, 2008).

- La troisième phase est le transfert de matière minérale et/ou organique dans le sol qui permet la mise en place de couches différenciées horizontales : les horizons du sol.

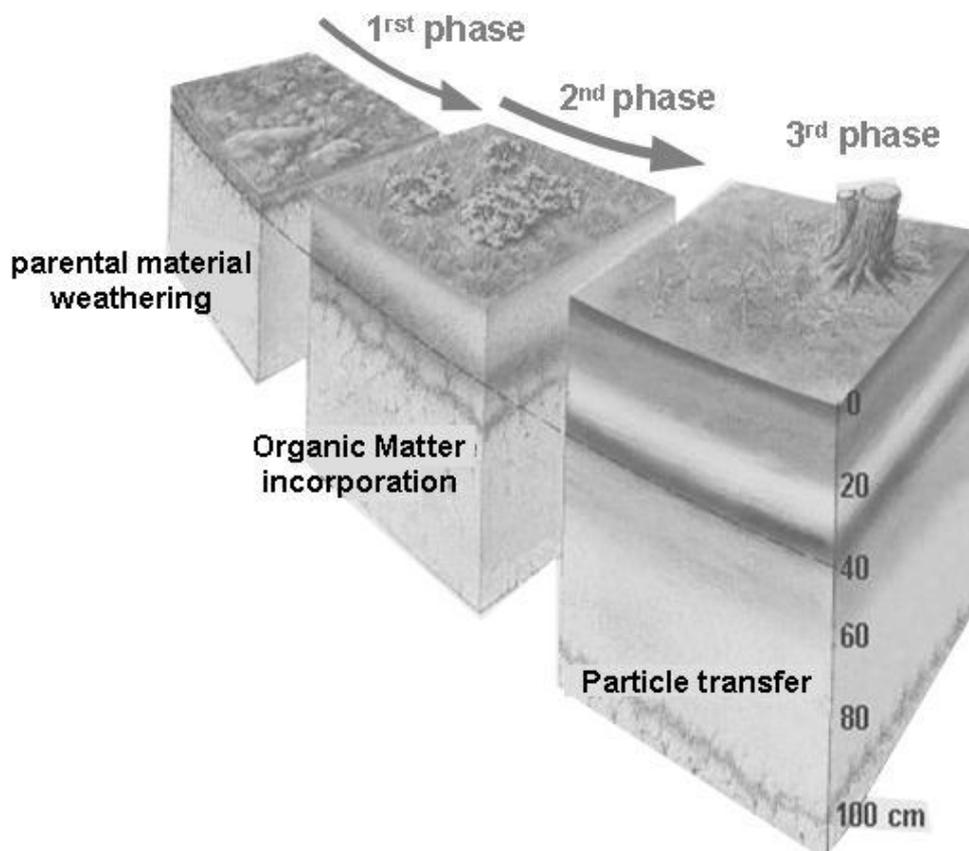


Fig. 3: Les trois phases du développement des sols. (Hubert, 2008).

1.4. Les éléments constitutifs du sol :

Le sol est un milieu organisé (Chenu et Bruand, 1998) dont la matrice du sol, ou phase solide, est constitué d'une phase minérale souvent majoritaire, et d'une phase organique et de micro et macro organismes vivants.

1.4.1 Fraction minérale :

La fraction minérale du sol est formée par l'ensemble des produits d'altération physique, chimique et biochimique des minéraux dits « primaires » de la roche-mère (Duchaufour, 1984).

Les minéraux constituent, en général, de 95 à 99% du sol. La composition minérale dépend de la nature de la roche-mère. La nature des minéraux peut être extrêmement diverse. Ces éléments minéraux peuvent avoir différentes tailles granulométriques :

- **Sables** ($\varnothing=2000$ à $50\mu\text{m}$) : Fragments de roches stables chimiquement abondants dans la partie grossière du sol, ne jouent aucun rôle dans la fertilisation des sols; leur rôle est surtout physique, car ils maintiennent l'organisation morphologique du sol (Benslama, 2005, in Samai 2007).

- **Limon** ($\varnothing=50$ à $2\mu\text{m}$) : ils sont de nature chimique variable. Ils sont instables et jouent un rôle très important dans la fertilité des sols. Les limons peuvent être dégradés en fragments plus fins; ou ils peuvent évoluer par glomération ou agrégation. (Benslama, 2005).

- **Argiles** granulométrique ($\varnothing < 2\mu\text{m}$) : Résultantes d'altération des roches, transformations secondaires, et elles sont les fractions les plus actives du sol. (Benslama, 2005). Les argiles sont des silicates d'aluminium plus ou moins hydratés, microcristallins, à structure en feuillets (phyllithes); elles sont douées de propriétés particulières.

- Par leurs charges négatives, elles retiennent des cations sous la forme échangeable.
- Certaines ont la capacité d'absorber de l'eau entre les feuillets (argiles gonflantes), ce qui provoque une importante variation de volumes entre les saisons sèches et humides.
- Les argiles jouent un grand rôle dans la formation d'agrégats dont elles constituent, avec la matière organique et les ciments.
- Les argiles jouent un rôle très important dans la stabilité du sol. (Duchaufour, 1995).

Selon les proportions de ces trois fractions granulométriques, la texture du sol peut être qualifiée de sableuse à argileuse. La capacité du sol à remplir ses fonctions dépend de la nature de la roche-mère et de la texture. (Quenea, 2004).

1.4.2 Fraction organique :

La fraction organique est constituée à plus de 80% de matière organique (MO) morte (tissus végétaux, résidus d'organismes). Il existe plusieurs catégories de constituants organiques. (Oades, 1998 – Stevenson, 1999 – Baldock et Nelson, 2000)

Elles sont indiquées dans la figure 04.

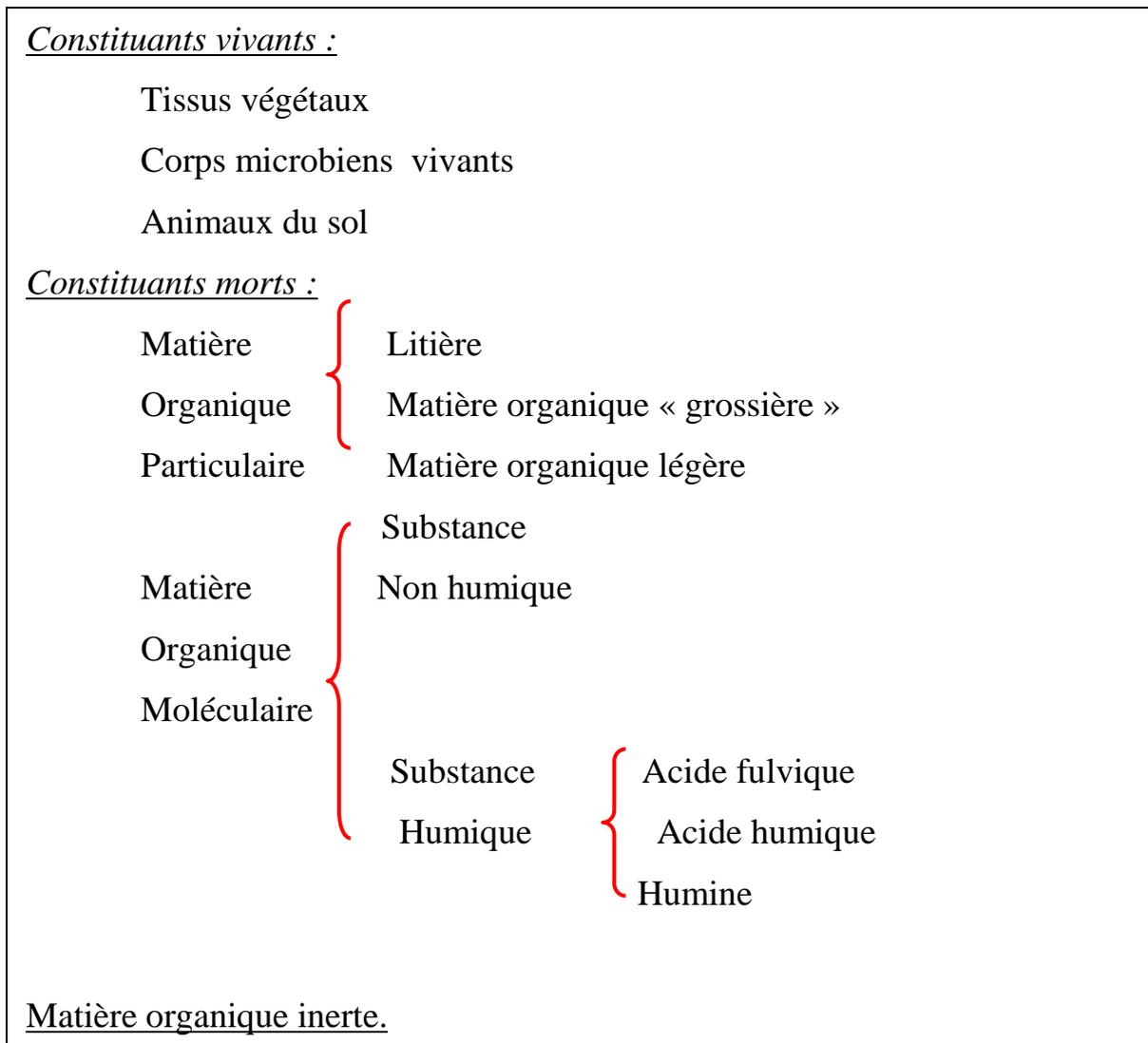


Fig. 04 : les constituants organiques du sol, (Calvet, 2003)

D'après la figure 04 on distingue deux «03» catégories de constituants organiques:

a. Les constituants vivants:

Ils sont représentés par:

- Les tissus végétaux, principalement les tissus vivants des plantes, mais certains auteurs incluent également dans cette catégorie les tissus des végétaux morts restant debout à la surface du sol (arbres morts encore dressés).
- Les animaux du sol comprenant la microfaune, la mésofaune et la macrofaune.
- La biomasse microbienne qui correspond à la microflore vivante du sol c'est à dire, les bactéries, les champignons, les actinomycètes et les algues. (Baldock et Nelson, 2000).

b. Les constituants non vivants:

Ils sont représentés par :

- **La matière organique particulière** : se présente évidemment sous forme de particules plus ou moins grandes et sont des fragments de tissus dans lesquels des structures cellulaires sont reconnaissables. On la divise en générale en plusieurs fractions en se basant, soit sur les dimensions des particules, soit sur leurs masses volumiques. (Duchaufour, 1995) :
 - La litière: contient les fragments les plus grands, elle n'est pas mélangée à des minéraux et elle est localisée à la surface du sol puisqu'elle résulte de la chute des feuilles et des tiges mortes. (Toutain, 1974).
 - La matière organique grossière: correspond à des fragments de tissus végétaux dont la taille varie entre 20 et 50 μm selon l'échelle granulométrique utilisée par (Baldock et Nelson, 2000) et (Calvet, 2003).
- **La matière organique légère**: dans cette fraction, la masse volumique des particules organiques est petite par rapport aux deux «02» fractions précédentes. (Dabin, 1976).
La matière organique moléculaire: constituée par des molécules de tailles très diverse plus ou moins associées entre elles et produites par les transformations chimiques des constituants tissulaires et elle est divisée en deux «02» fractions. (Andreux, 2004).
 - Les substances non humiques: sont des molécules appartenant à des familles chimiques identifiées: hydrates de carbone, protéines, acides aminés, lipides, tannins, lignines et acides organiques. Une partie de ces substances non humique peut être dissoute dans la solution du sol et une autre partie associée aux minéraux et aux substances humiques. (Andreux, 2002).

- Les substances humiques: sont des macromolécules acides, de taille variable, de composition chimique et de structure complexe et on trouve:
 - Les acides fulviques.
 - Les acides humiques.
 - Les humines. (Bruckert, 1972).

c. Matière organique inerte

1.4.3 Le complexe argilo-humique :

D'après Gobat *et al*, 2003 ; Bronick et Lal, 2005, La matière organique est intimement mêlée à la matière minérale du sol, notamment les fractions les plus fines (argiles), et forme avec elles ce que l'on appelle le complexe argilo-humique.

Lors de leur incorporation dans la matrice minérale du sol, les composés organiques du sol (l'humus qui correspond à la matière organique décomposée) réagissent avec les surfaces des minéraux, et en particulier avec les surfaces des minéraux argileux. Des liaisons diverses s'établissent (liaison électrostatique, liaison hydrogène...) et des complexes argile-matière organique ou complexe argilo-humique et/ou oxydes-matières organiques sont ainsi formés (Chenu and Bruand, 1998).

Donc Les complexes argilo-humique (organo-minéraux) sont le résultat de l'association de deux «02» fractions, organiques et minérales par des liaisons :

- Soit: simples, électrostatiques (réaction de simple échange)
- Soit: covalentes et de coordinations, intervenant notamment dans les phénomènes de complexation.

Pour les molécules non ioniques intervient les forces attractives de «Vander Waals» et des liaisons hydrogènes. (Bonneaux et Souchier, 1994).

L'équilibre entre les deux «02» composantes du complexe permettent d'obtenir un sol dont les caractéristiques sont:

- Une stabilité structurale.
- Une capacité d'échange élevée.
- Une capacité de rétention en eau importante. (Benslama ,2005).

1.5. Les différents types du sol :

Classification Ecologique des sols d'après Duchaufour, 1983 :

I) Sols dont la pédogenèse est très liée à l'évolution des matières organiques. Sols des régions soumises à des climats froids ou tempérés.		
Sols peu évolués	Climatiques	Sols désertiques, Sols gelés ou cryosols
	D'érosion	Régosols, lithosols
	D'apport	Sols alluviaux et colluviaux
Sols peu différenciés, humifères, désaturés, avec un profil uniformément coloré par un humus riche en complexes organométalliques rapidement insolubilisés.	Pauvre en alumine, sur roches cristallines	Rankers
	Riche en alumine, sur roches volcaniques	Andosols
Sols calcimagnésiques, caractérisés par un blocage de l'humification, à un stade précoce, par le calcaire actif. Forte incorporation d'humus peu évolué dans le profil.	Humifères	Rendzines
	Peu humifères	Sols bruns calcaires Sols bruns calciques
	Très humifères	Sols humo calcaires Sols lithocalciques humifères
Sols isohumiques, caractérisés par une incorporation profonde, par voie biologique, de matières organiques stabilisées par une maturation climatique prolongée.	À complexe saturé	Chernozems, Sols châtaîns, Sols gris forestiers
	À complexe désaturé	Brunizems
	Sous climat de plus en plus aride	Sols marrons Sierozems
Vertisols. Sols à argile gonflante. Incorporation profonde par mouvements vertiques de complexes organominéraux très stables et de couleur foncée.	Foncés	Vertisols
	Colorés	Sols vertiques
Sols brunifiés à profil ABC, caractérisés par un humus de type mull à rotation rapide, peu épais, résultant surtout de l'insolubilisation par le fer libre suffisamment abondant et formant un pont ferrique avec les argiles.	Horizon B d'altération	Sols bruns
	Horizon B d'accumulation d'argile	Sols lessivés
		Sols continentaux ou boréaux
Sols podzoliques. La matière organique est peu évoluée et forme des complexes organo-minéraux mobiles. Altération par complexolyse dominante. Migration du type chéluviation.	Pas ou peu hydromorphes	Sols podzoliques Podzols
	Hydromorphes (à nappe)	Sols podzoliques Podzols
II) Sols dont la pédogenèse est très liée au climat chaud et humide, mais assez indépendante de l'évolution des matières organiques. Comportement particulier des sesquioxydes de fer et d'alumine.		

Sols fersiallitiques. Évolution des oxydes de fer du type « rubéfaction ». Climats de type méditerranéen et tropical sec.	Rubéfaction incomplète	Sols bruns fersiallitiques
	Rubéfaction complète, complexe saturé ou presque	Sols rouges fersiallitiques
	Désaturation et dégradation partielle du complexe	Sols fersiallitiques acides
Sols ferrugineux. Abondance des oxydes de fer cristallisés (goethite et hématite). Argile de néoformation dominante (kaolinite)	Altération incomplète	Sols ferrugineux
	Altération complète	Ferrisols
Sols ferrallitiques. Altération complète des minéraux primaires sauf le quartz. Teneur élevée en sesquioxydes. Oxydes de fer et d'alumine cristallisés	Kaolinite dominante	Sols ferrallitiques
	Hydromorphie	Sols ferrallitiques hydromorphes
III) Sols dont la pédogenèse est liée à des conditions locales de station.		
Sols hydromorphes. Oxydoréduction du fer liée à la présence permanente ou temporaire d'une nappe.	Oxydoréduction marquée. Sols à nappe	Pseudogley, Stanogley, Gley
	Oxydoréduction atténuée. Hydromorphie par imbibition capillaire	Pélosols, Planosols
Sols salsodiques. Évolution conditionnée par l'ion sodium.	Forme saline	Sols salins
	Forme sodium échangeable	Sols alcalins

Tableau 1 : Les différents types du sol (Duchaufour, 1983).

1.6. Les différentes fonctions du sol :

Le sol a de nombreuses fonctions. Il est un milieu biologique dans/et sur lequel se développent des êtres vivants. Ce développement va dépendre de la qualité de ce sol ou fertilité (quantité de carbone, d'azote, capacité d'échange cationique, etc...). Il est aussi un acteur déterminant du cycle de l'eau (stockage et régulation) et de la qualité de cette eau (source de pollution, capacité de rétention des polluants mais aussi biodégradation de ceux-ci). (Quenea, 2004)

D'après (Gobat et al, 2003) le sol est un « carrefour multifonctionnel » ou de « pivot du système biogéochimique » (Pedro, 2008) vient de l'essor encore récent de l'écologie des sols. Ainsi, par ses fonctions naturelles, le sol peut être considéré comme (Gobat et al, 2003).

- Un support pour les êtres vivants. Le sol est le milieu de vie des êtres vivants terrestres et par cette fonction, il assure le maintien de leur réserve génétique (notamment au niveau des microorganismes du sol),
- Un réservoir de matières organiques et minérales. Le sol est la ressource primordiale en éléments nutritifs des êtres vivants terrestres, Il faut aussi noter que les sols cultivés contiennent des stocks de matières organiques sensiblement plus faibles que ceux des sols sous forêts ou sous prairies, et que ces stocks peuvent varier considérablement selon les systèmes de cultures pratiqués. (Chenu C., Balabane M., 2001 in Laboubée, 2007).
- Un régulateur des échanges et des flux de l'écosystème. Le sol est le pivot du système biogéochimique et il joue un rôle majeur dans les cycles fondamentaux du fonctionnement de la planète comme par exemple le cycle du carbone, de l'azote, des cations, ou encore de l'eau.
- Un lieu de transformation de la matière organique. Cette fonction du sol est principalement due à l'abondance et à la diversité des microorganismes du sol. L. Pasteur a d'ailleurs écrit dès la moitié du XIXème siècle : « s'il n'y avait pas de microbes dans les sols qui recouvrent notre planète, la surface de la Terre serait encombrée de cadavres, de sorte que la vie serait devenue impossible »
- Un système épurateur de substances polluantes. Le sol par ses propriétés de rétention et de transformation permet de limiter la dispersion de substances polluantes comme les pesticides, les nitrates ou les éléments traces métalliques aux autres milieux de l'écosystème terrestre (comme les nappes phréatiques du sous sol ou les cours d'eau et le milieu marin).

A travers l'ensemble de ces fonctions naturelles, le sol est pour l'Homme une des bases essentielles de la vie humaine (le support principal de l'activité et des constructions humaines) ; le lieu de production agricole et forestière (la fonction première du sol déjà évoquée) ; un endroit de stockage des matières premières et des déchets ; un élément constitutif du paysage ; un miroir de l'histoire des civilisations et des cultures.

Il apparaît important de rappeler que ces fonctions du sol sont maintenant reconnues par la législation, ainsi la norme ISO 11074 définit de la façon suivante les différentes fonctions du sol : « contrôle des cycles des éléments et de l'énergie en tant que compartiment des écosystèmes ; support des plantes, des animaux et de l'homme ; base des constructions et des immeubles ; production agricole ; rétention de l'eau et des dépôts ; constitution d'une réserve

génétique ; conservation en tant que mémoire de l'histoire et de la nature ; protection en tant qu'archive archéologique et paléoécologique ».

II. La matière organique du sol

2.1 Définition :

L'importance de la matière organique dans le sol a été mise en évidence depuis longtemps ; Plusieurs auteurs ont essayés de définir cette fraction, parmi ces définitions nous citons :

La matière organique, c'est l'ensemble des substances d'origine biologique, de nature et de propriétés très variées. (Chamayon et Legros, 1989 in Koull, 2007).

La matière organique est un constituant du sol. Elle est principalement composée : de carbone (50%), d'oxygène (40%), d'hydrogène (5%), d'azote (4%). (Anonyme, 1).

La matière organique, c'est tous ce qui vit ou a déjà été vivant. Elle englobe les résidus végétaux et animaux aux divers stades de décomposition (les cellules et les tissus des organismes du sol ainsi que les substances produites par les microorganismes du sol). Ces substances forment dans le sol une fraction stable connue sous le nom de l'humus. (Bonneau et Souchier, 1994).

Par le terme « MO des sols (MOS) » on entend l'ensemble des composés organiques qui sont issus de résidus d'organismes à différents stades de décomposition, synthétisés par les organismes vivants ou qui sont des produits de dégradation. Les quantités de MOS et de carbone organique sont corrélées. Il est arbitrairement admis que la MOS est le double du carbone organique dans un sol non cultivé et que dans un sol cultivé, elle est égale à 1.73 fois la teneur en carbone organique (Duchaufour, 2001).

Aussi, Les matières organiques des sols rassemblent tout ce qui vit ou a été vivant dans les sols, c'est-à-dire des résidus végétaux et animaux à divers stades de décomposition, la faune et la flore du sol ainsi que les racines (Gregorich et al, 2003). Elles comprennent également toutes les substances sécrétées par les racines, telles que des petites molécules, des sucres, des acides organiques exsudés ou excrétés, du mucilage et des cellules.

D'après Calvet, 2003 : La matière organique du sol (MO) représente tous les composés organiques non vivants particuliers et moléculaires, d'origine animale, végétale ou

microbienne, présents dans le sol (Calvet, 2003). Dans les sols cultivés, les quantités de matière organique et de carbone organique sont corrélées. Il est admis que la teneur en MO est égale à 1,72 fois celle en carbone organique (Duchaufour, 1984).

Les débris végétaux et animaux (racines, écorces, feuilles, cadavres,.....etc.), sont les sources essentielle de la matière organique présente dans le sol à l'état inerte, et suite à l'activité microbologique, ils sont décomposés plus ou moins rapidement. (Oades, 1993; Kögel-Knabner, 2002).

2.2 Composition de la matière organique :

Au sens large, la matière organique du sol comprend la biomasse vivante, et l'ensemble du matériel organique résiduel (Ekschmitt *et al.*, 2005 in Grosbellet, 2008).

La matière organique des sols est très hétérogène en raison de la nature des constituants qui la composent et de leur stade de décomposition. Ces constituants varient selon la diversité de la biomasse et la composition des sols qui en résulte. De plus, la dégradation des débris organiques est influencée par les conditions pédoclimatiques (pH, température, humidité et aération du sol) et la variabilité de la flore microbienne. (Koudroi, 2007).

Dans cette matière organique, on distingue deux grands groupes : les substances humiques, les substances non-humiques. La classification de ces groupes ne repose que sur des propriétés de fractionnement et non sur la classe des molécules présentes. (Lavaud, 2010).

2.2.1 Les substances non-humiques :

Sont des composés aux caractéristiques chimiques reconnaissables. Ces substances organiques, de faibles poids moléculaire, sont généralement labiles et relativement faciles à métaboliser et/ou dégrader par les enzymes hydrolytiques produites par les microorganismes. Et dont la majorité provient des résidus de constituants organiques végétaux ou animaux ou de molécules excrétées par ces organismes dans le milieu. Ce sont les constituants de ces résidus organiques qui forment la MO du sol. Ainsi, on peut distinguer: des carbohydrates dont principalement la cellulose et l'hemicellulose qui sont les constituants les plus abondants des plantes, la lignine, les composants azotés, les lipides, les tannins, la cutine, la subérine, etc...Des résidus de carbonisation de végétaux ou carbonisats ont été également observés dans les sols. Ces principaux constituants seront brièvement présentés. (Quenea, 2004)

2.2.2 Les substances humiques :

Les SH constituent une famille chimique complexe (Schulten et Leinweber, 1996). Présentent dans tous les écosystèmes, les SH représentent la majeure partie du carbone organique globalement distribué dans les environnements aquatiques et terrestres. Elles se retrouvent dans les sols, les sédiments et les eaux naturelles (Mac Carthy et al, 1990 ; Pena Médez et al, 2005 ; Eyheraguibel, 2004). 60 à 70% du carbone du sol se trouvent dans les SH (Griffith et Schnitzer, 1975).

Ils sont le résultat de l'humification c'est à dire dégradation de la biomasse produit d'abord des matériaux facilement dégradables, servant de substrats aux micro-organismes du sol (Vaughan and Ord, 1985). La décomposition plus lente des autres débris induit la formation de substances humiques (Eyheraguibel, 2004). Les substances humiques représentent la majeure partie (60 à 70%) de la matière organique des sols (Griffith et Schnitzer, 1975 in El Arfaoui Benaomar, 2010).

Généralement on distingue dans ces substances humiques : les acides humiques (AH), les acides fulviques (AF) et l'humine. Ce sont des macromolécules acides de composition et structure chimique complexes et très hétérogènes. Ces trois groupes de substances humiques ont été définis selon un critère de solubilité en milieux acide et alcalin. Les acides humiques sont solubles en milieu alcalin mais insolubles en milieu acide, les acides fulviques sont solubles aussi bien en milieux alcalin qu'acide et l'humine est insoluble quelque soit le pH (Pignatello, 1998 ; Huang et al, 2003). D'après Schulten et Schnitzer (1997), l'humine et les AH sont les même substances mais l'humine n'est pas extraite en milieu basique du fait de sa complexation par les argiles et les oxydes.

Elles constituent des mélanges très complexes de MO hétérogènes de couleur jaune à noire, de composition mal définie et variable, de caractère acide, partiellement aromatiques, difficilement dégradables dans les conditions thermodynamiques où elles se trouvent, présentant une large gamme de masses molaires (poids moléculaire élevé, de quelques centaines à plusieurs dizaines de milliers de daltons) ; ce sont des poly-électrolytes, hydrophiles, renfermant des cavités hydrophobes et des radicaux libres et susceptibles de former des suspensions colloïdales (Busnot et al, 1995).

Les SH peuvent avoir des origines très diverses. Elles peuvent provenir de toute MO d'origine animale, végétale ou bactérienne. Ceci inclut par exemple les fumiers et les composts, les boues d'épuration ou les lixiviats d'ordures ménagères (Eyheraguibel, 2004).

Par ailleurs, il est possible de fabriquer des SH artificielles par action d'une base ou d'un acide, le plus souvent à chaud, à partir d'un grand nombre de produits végétaux riches en composés ligno-cellulosiques le plus souvent des résidus de récoltes (pailles, tiges de maïs etc.) (Richard, 2002). Le point commun à toutes les SH, indépendamment de leurs origines, est la complexité de leurs structures, ce qui ne permet pas de les rattacher à aucune des classes biochimiques habituelles (Stevenson, 1982).

➤ **Facteurs conditionnant la décomposition de la matière organique :**

- La nature de la litière : Qualité définie par le rapport C/N
- Les conditions micro climatiques et chimiques la vitesse de décomposition dépend de (T°, H% et aération optimales, pH faiblement acide à neutre, l'évaporation)
- La nature des décomposeurs :

Actions :

- Fragmentation,
- Incorporation,
- Formation de complexes organo-minéraux, (Lahwel, 2009).

2.3. Origine de la matière organique du sol :

La matière organique dans les écosystèmes, est riche par la diversité des origines et la sensibilité aux variations environnementales. (Duchaufour, 1995).

Les végétaux sont la principale source de la matière organique du sol. (Menut, 1974). Ainsi chaque année s'accumule sur le sol une masse énorme de débris végétaux qui en mélange avec les débris animaux et la biomasse (champignons, bactéries) pour former la matière organique du sol. (Dabin, 1976).

Selon «Barriuso, 1985» ; la matière organique du sol peut avoir deux «02» origines distinctes :

2.3.1. Une origine exogène :

(Comportement allochtones). On regroupe dans cette fraction l'ensemble de la matière organique hydrosoluble (pluiolessivat), et les débris végétaux solides feuilles, rameaux, branches, les cadavres et les déjections de la méso et la macrofaune.

C'est l'ensemble des composés organique qui arrive à la surface du sol. (Barriuso, 1985).

2.3.2. Une origine endogène :

(Comportement autochtones). Renferme un groupe de biomasse du sol (champignons, bactéries, actinomycètes) ; les produits de pédofaune ainsi la biomasse et les exudats racinaires. C'est l'ensemble des composés organiques qui sont produits dans le sol. (Boughendjioua, 1998).

2.4. Evolution de la matière organique du sol :

Le devenir de la matière organique dans le sol est étroitement lié à son environnement. Afin de mieux comprendre les mécanismes d'évolution, on présentera dans ce chapitre les on s'intéressera aux deux voies d'évolution de la matière organique : la minéralisation et la stabilisation.

Au contact du sol les débris organiques subissent une évolution. Selon «Duchaufour, 1984» ; l'évolution et la transformation de la matière organique fraîche est sous l'influence des conditions du milieu d'une part et la nature du couvert végétale d'autre part. (Figure N°05).

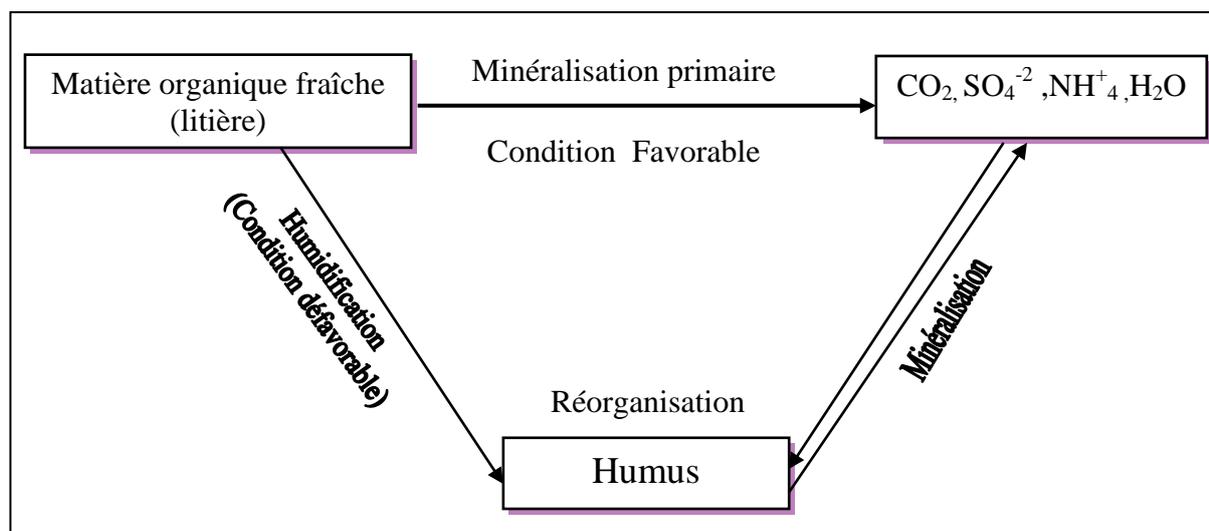


Fig. 5: Schéma des processus d'évolution de la matière organique fraîche des sols. (Duchaufour, 2001).

Le processus d'évolution de la matière organique du sol peut prendre plusieurs directions, contrôlées surtout par les conditions stationnelles. Ces conditions stationnelles peuvent définir trois «03» situations où l'évolution de la matière organique peut aboutir à des résultats complètement différents.

- Dans les milieux faiblement acides, bien aérés, le renouvellement des humus est rapide, par un apport permanent de litière. Le stock d'humus dans le sol reste faible, le taux de la minéralisation est donc élevé, c'est le cas des sols à humus actifs (sol brun forestier faiblement acide). (Gury, 1990 in Benslama Zanache, 1998).
- Dans les milieux biologiquement peu actifs, la formation des humus est élevée, et donc le taux de minéralisation est faible, c'est le cas des humus carbonatés des sols calcaires (Bottner, 1982 in Benslama-Zanache, 1998).
- Dans les milieux asphyxiants, à forte acidité, la matière organique fraîche qui arrive au sol s'accumule ou subit une faible transformation chimique, favorise la formation des humus bruts ou des tourbes. (Menut, 1974 – Goba et al, 1986 – Diné et al, 1989 in Duchaufour, 1995).

Donc au niveau du sol cette matière organique subit un double processus au cours de son évolution : La minéralisation et l'humification. (Benslama, 1984).

D'après «Robert et Chenu, 1992» ; tous les constituants organiques subissent une évolution selon deux «02» voies :

La majeure partie sera minéralisée et une faible partie transformée en composés humiques par héritage (transformation physico-chimique ou néoformation microbienne).

D'une manière générale c'est deux «02» processus fondamentaux intervenant dans la transformation de la matière organique sont :

2.4.1. La minéralisation:

La minéralisation de la matière organique est un processus de dégradation. Ses conséquences principales sont la diminution de la teneur en matière organique dans un sol, et une disparition sélective de certains composés (Abiven, 2004).

D'après «Duchaufour, 1983», la minéralisation de la matière organique, humifiée ou non, fait allusion à la formation de composés minéraux primaires ou de base.

Et d'après «Toutain, 1987», la minéralisation est l'assimilation par les organismes du sol de la matière organique comme source d'énergie et comme élément pour leur métabolisme, au cours de la quelle la matière organique est transformée en composés minéraux simples (CO₂, N₂, ... etc.).

La vitesse de la minéralisation est très fortement dépendante de la nature de la matière organique du sol d'une part, et d'autre part des facteurs environnementaux tels que : l'aération du sol, la teneur en nutriments, de la température, du pH, de l'accessibilité aux organismes de la matière organique, et la teneur en eau.

D'une manière générale, la minéralisation c'est l'ensemble des processus de décomposition et de simplification des constituants de la matière organique fraîche aboutissant à des composés simples, solubles ou gazeux.

Selon les conditions du milieu et la composition de la matière organique brute, la vitesse de la minéralisation peut varier fortement et les produits ainsi formés se distinguent essentiellement par leurs natures chimiques. (Vedy, 1973 – Toutain, 1981 – Hetier et al, 1986 in Mokraoui, 1999).

La minéralisation se déroule en trois «03» phases qui sont marquées par des changements morphologiques et substantielles (substances):

- **La première phase:** consiste à la transformation des substances organiques immédiatement après la mort des tissus.
- **La deuxième phase:** s'effectue par morcellement mécanique, des débris végétaux par les différentes représentations de la faune.
- **La troisième phase:** englobe les processus de la décomposition microbienne des divers groupes de substances. (Dimanche, 1973 – Dabin, 1980 – Duchaufour, 1988, 1989 in Benslama-Zanache, 1998).

2.4.2. L'humification:

C'est l'ensemble des processus de synthèse aboutissant à la formation des composés humiques colloïdaux de néoformation, au dépend des produits plus ou moins solubles résultants de la décomposition de la matière organique fraîche. (Prevot, 1970 in Benslama-Zanache, 1998).

Selon «Duchaufour, 2001» ; l'humification consiste en l'élaboration à partir de ces composés (aux quels s'ajoute divers matières azotées et des produits mal dégradés, tel que résidus de cellulose et de lignine ... etc.).

De nouvelles molécules conduisant à des corps chimiques complexes et de réaction acide, regroupés sous le terme général de composés humiques.

Ces derniers seront à leurs tours soumis à une minéralisation dite secondaire, fournissant à nouveau des éléments simples utilisables par les végétaux.

L'humification résulte de processus physico- chimiques et biochimiques. (Brik, 1979 in Duchaufour, 1995).

2.4.2.1. L'humification physico- chimique (abiologique) :

Caractérise les milieux biologiquement très peu actifs, soit très acides, sol mal aéré. La transformation de la matière organique est lente et incomplète, aboutit à des composés peu polymérisés, facilement dispersés, souvent solubles. Il se forme surtout des acides fulviques et des acides humiques bruns. (Brucher, 1970 – Kibertus et al, 1979 – Toutain 1987, in Benslama-Zanache, 1998).

2.4.2.2. L'humification biologique :

Ce type d'humification caractérise les milieux biologiquement actifs et aboutit à l'identification des produits de néoformation qui dominent les produits d'héritage ou de transformation incomplète. (Priot, 1968 – Brick, 1979– Bruchert, 1974 – Toutain, 1974, 1981 – Duchaufour, 1984, 1988, 1989, 1995 in Benslama-Zanache 1998).

➤ Les agents de l'humification:

«Oades, 1988» ; a résumé les principaux facteurs contrôlant le principe d'humification: la quantité de litière apportée au sol, la proportion des différentes parties de plante et leurs distributions aériennes ou souterraines ; la proportion relative des différents tissus de plante et leur composition chimique.

D'autre part «Duchaufour, 1995»; a cité que l'humification résulte de l'action des facteurs écologiques et biologiques.

- Facteurs écologiques: sont responsables des processus physico- chimiques de l'humification et peuvent être liées au climat (T°C, H%) et à la station (pH, nappe, aération).
- Facteurs biologiques: sont composés non seulement de microflore (bactéries, champignons) mais aussi de la faune du sol; son rôle dans l'humification peut être à la fois directe (par transformation de la biomasse morte), et indirecte (par l'action

enzymatique qu'elle exerce au cours des différentes étapes de l'humification). (Toutain, 1974, 1981 in Benslama-Zanache, 1998).

a) Rôle de la microflore:

- **Les bactéries:** elles prolifèrent dans les milieux riches en azote et peu acides, elles sont surtout abondantes autour des racines, au sein de la rhizosphère (Berthelin, et al, 1990). La plus part sont hétérotrophes et saprophytes, elles décomposent les celluloses, les sucres qui constituent les sources d'énergie, et sont pour la plus grande partie minéralisés sous forme de CO₂. (Duchaufour, 1995).

Les bactéries jouent donc un rôle de première importance dans l'oxydoréduction suivant le potentiel oxydoredox (Eh) et le pH du milieu. (Duchaufour et Toutain, 1985).

- **Les actinomycètes:** ont à leurs tours un rôle qui semblerait important dans la décomposition des litières et dans l'humification, mais ce rôle est encore mal connu. (Duchaufour, 1995). Ils seraient susceptibles de décomposer les produits aromatiques de la matière organique fraîche, (lignine, certains tannins) et d'élaborer certains acides humiques en favorisant les liaisons des chaînes peptidiques avec les noyaux aromatiques, (en particulier ioniques). (Kilbertus et al, 1979 – Berthelin et al, 1983, 1986, 1990).
- **Les champignons:** interviennent dans les différentes phases de la dégradation de la matière organique, leurs rôle dans le sol est considérable et très variés; leurs action s'exercent surtout dans la phase de décomposition de la matière organique fraîche. La plus part des champignons sont aptes à décomposer les celluloses, à hydrolyser les composés phénoliques plus résistants (lignines et tannins) c'est ainsi que :
 - Les pourritures brunes ou molles décomposent les celluloses préférentiellement en composés phénoliques, la lignine libérée est peu transformée.
 - Les pourritures blanches, au contraire s'attaquent à la lignine et aux composés tanniques libérant des composés phénoliques à petites molécules donc solubles. (Gourbiere, 1981– Rihani, 1988 – Rihani et al, 1995).

b) Rôle de la faune:

Suivant la taille des organismes, elle est divisée en micro, méso et macrofaune.

- **La microfaune:** tel que les protozoaires (surtout ciliés) et des nématodes abondants dans les milieux très humides et s'attaquent aux bactéries et actinomycètes. (Toutain, 1981).
- **La mésofaune:** Arthropodes inférieurs (acariens, tartigrades, collemboles) et enchytraeides qui caractérisent surtout les milieux acides « Moder et Mor ». (Duchaufour, 1995).
- **La macrofaune :** dont les lombrics qui jouent un rôle essentiel dans les Moders et résistent à l'acidité, ils activent la décomposition de la litière mais l'incorporation au sol minéral (horizon H). Les formes anéciques, caractérisent les mulles, elles favorisent la division des litières et aussi les incorporent au sol minéral contribuant par leur transit digestif à la formation de macro agrégats argilo humiques. (Toutain, 1981 in Benslama-Zamache, 1998).

Les larves d'insectes et d'Arthropodes sont plus abondantes dans les milieux acides et secs (Moder), alors que dans les régions tropicales, les termites ont une action mécanique sur l'évolution des sols (remonté de la terre fine en surface) et une action biochimique (formation d'agrégats à complexe argilo humique qui assure une structure aérée. (Garnier et al, 1988).

Le résultat le plus important de l'humification c'est l'humus : matière organique évoluée et plus ou moins stabilisée.

➤ **Classification des humus :**

Les types d'humus sont classés en fonction de leurs caractères morphologiques, qui sont étroitement liée à l'activité biologique (vitesse de décomposition de la matière organique fraîche, turnover de la fraction humifiée), et aux liaisons organo-minérales, contractées par les composés humiques. (Duchaufour, 1995).

a) Humus des milieux aérés :

1) Mull : c'est un humus actif, caractérisé par une décomposition très rapide des litières, qui ne s'accumulent pas en surface (une activité importante des microorganismes). L'humification est très importante avec présence d'un complexe argilo humique bien développé, se manifeste par l'existence d'agrégats et de grains minéraux revêtus, et nous avons par la suite deux «02» types de mull :

- Mull à forte activité de vers de terre.

- Mull à forte activité des pourritures blanches. (Duchaufour, 1995).

➤ **Formes d'humus de types mull :**

- Dans un milieu saturé en Ca^{++} mais sans CO_3Ca \implies mull calcique
- Dans un milieu non saturé en Ca^{++} \implies Mull eutrophe, mull mésotrophe, mull oligotrophe.
- Dans un milieu où on a un blocage dû à l'environnement ionique \implies mull calcaire, mull andique.
- Dans un milieu où on a un blocage dû à une maturation pédoclimatique \implies mull cherozémique ou mull vertique. (Loyer, 1991).

2) Moder : présentant un passage progressif entre la litière et l'horizon A1. Et absence d'un véritable complexe argilo- humique, et absence d'activité des vers de terre, faible activité des champignons de la pourriture blanche. Il y a activité des Enchytraéides et des macros et microarthropodes. (Orstom, 1990).

➤ **Formes d'humus de type Moder :**

- Eumoder.
- Dysmoder.

3) Mor : c'est un humus peu actif, peu transformé, superposé au sol minéral ; l'humification étant très faible, il ne se forme pas d'agrégats argilo-humiques (Beyer et al, 1993).

D'après «Duchaufour, 1995» ; le Mor Présentant un passage continu entre les sous couches de la litière (OL, OF et OH) et une discontinuité brutale entre la sous couche OH et l'horizon A1, avec absence de complexe argilo-humique et présence d'une matière organique de diffusion peu colorée. Absence d'activités des vers de terre et des champignons de la pourriture blanche avec activité des Enchytraéides et des macros et microarthropodes donc ce type d'humus sont caractérisés par une faible activité biologique.

➤ **Formes d'humus de type Mor :**

- Fibrimor.
- Mesimor.
- Humimor. (Kubat, 1992)

b) Humus des milieux hydromorphes :

1) **Tourbe :** C'est un humus des milieux constamment engorgés, caractérisé par une accumulation de résidus végétaux ou de produits peu transformés (la minéralisation primaire est ralentie, la matière organique fraîche s'accumule, alors que l'humification est souvent incomplète. (Loyer, 1991).

➤ **Formes d'humus de type tourbe :**

- Dans les vallées alluviales à eaux riches en calcium \implies tourbe eutrophe.
- Dans les dépressions mal drainées, sur des matériaux acides des montagnes humides \implies tourbe acide. (Kubat, 1992).

2) **Anmor :** c'est un Humus de station immergée une grande partie de l'année. C'est un humus mieux incorporé et plus humifié que la tourbe, avec création du complexe argilo-humique.

➤ **Formes d'humus de type Anmor :**

- Si le milieu est riche en cation \implies Anmor calcique.
- Si le milieu est pauvre en cation \implies Anmor acide. (Duchaufour, 1995).

2.5. Effets du milieu sur l'évolution des fractions humiques :

L'humification comporte, après la phase biologique rapide, une phase d'évolution physico-chimique lente qui a pour conséquence, dans certains cas, l'augmentation de la polymérisation des molécules humiques, et la multiplication des liaisons avec les composés minéraux, notamment les argiles ; c'est la phase de maturation de l'humus qui aboutit à un équilibre stable très variable suivant les conditions du milieu entre l'humus formé et l'humus détruit. Les types d'humus formé dans une station sont sous la dépendance des facteurs climatiques, physiques et chimiques du milieu et des facteurs biologiques liés à la station. Un même matériel végétal peut subir selon les conditions du milieu et les activités des divers organismes présents, des évolutions tout à fait différentes, aboutissant par exemple, en milieu tempéré, soit à une pédogenèse de type sol brun, soit à une pédogenèse de type podzol. (Berthelin et al, 1994 in Ndira, 2006).

Il me paraît indispensable de préciser d'entrée de jeu que le manque de travaux récents en ma possession et montrant les variations de composition chimique des composés humiques, induites par les principaux des paramètres du milieu, me conduit à utiliser une

bibliographie légèrement vieillotte. Les travaux de Jacquin (1963) sur la contribution des processus de formation et d'évolution de divers composés humiques d'une part et ceux de Jacquin et Bruckert (1965) sur l'identification et l'évolution des acides hydrosolubles de deux litières d'autre part, nous apparaissent tous légèrement anciens. Je prendrai simplement pour appui, les travaux de synthèse de Duchaufour, (1970) sur l'humification et écologie, bien que les problématiques étudiées ne soient pas toujours en relation avec l'orientation suivie, à savoir les influences du milieu sur l'évolution des composés humiques. (Ndira, 2006).

A la lumière des diverses expériences sur l'étude de l'évolution de la MO des sols, Duchaufour (1970) précise les modalités de leurs transformations par voie biologique ou physico-chimique, en fonction des facteurs écologiques. Pour cet auteur, les facteurs écologiques jouent évidemment un rôle essentiel dans l'évolution des différentes fractions de l'humus. En dehors de l'«activité biologique globale» des horizons humifères, qui, en climat tempéré surtout, exerce une action particulièrement importante, il oppose l'action du climat, à celle du milieu minéral auquel l'humus est incorporé :

➤ **Activité biologique globale :**

Elle est elle-même la résultante de l'action de plusieurs facteurs dont les trois principaux sont, rappelons-le : la composition des litières (améliorante ou acidifiante), le pH du milieu, et enfin l'aération.

On oppose couramment les types d'humus forestiers, biologiquement actifs (mull) à ceux qui manifestent une faible activité biologique (moder ou mor). Les processus d'humification sont bien différents dans les deux types de milieux :

- Une première différence, réside dans la teneur en « humine » résultant de l'oxydation directe de la lignine, beaucoup plus élevée dans les mull que dans les moder ou les mor. La lignine qui subsiste longtemps, presque sans modification biochimique dans les mor, ne doit pas, selon Duchaufour (1970), être considérée comme une SH.
- Une seconde différence tient à la rapidité beaucoup plus grande des processus d'humification (et aussi, corrélativement, des humifications) dans les mull que dans les moder ou dans les mor : dans les horizons A1 du mull, l'intégration des anions ou des polymères solubles dans les molécules d'acides humiques préexistantes, intervient de façon accélérée par « décarboxylation » biologique (Bruckert, 1970). Les noyaux cycliques en particulier, débarrassés de leurs carboxyles, sont absorbés au sein des

molécules humiques. Dès la base de l'horizon A1 des sols à mull, il ne reste plus trace de composés organiques solubles susceptibles de migrer en profondeur ; il n'en est évidemment pas de même dans les sols podzoliques à moder ou mor, dans lesquels les composés solubles des litières (acides organiques et polymères) migrent en complexant le fer et l'aluminium, jusqu'au niveau de l'horizon B où l'ensemble s'insolubilise.

➤ Rôle du climat Général et du microclimat local :

Le climat général, comme le micro-climat, influent sur l'humification. Les régions équatoriales sont aussi néfastes que celles de climats très froids, les premières stimulant à l'excès toute minéralisation, les secondes l'inhibant. Un couvert très dense conduit à l'accumulation d'humus brut acide. Une température et une aération élevées stimulent la décomposition humique. Plus le climat est chaud, plus vite disparaît l'humus. De plus, les phénomènes de thermopériodismes, ou alternances de chaleur et de froid, accélèrent aussi beaucoup la minéralisation humique.

Les facteurs climatiques et microclimatiques jouent donc un rôle essentiel à l'égard de ce processus de maturation :

En climat chaud, une séquence climatique a pu être étudiée depuis les sols ferrallitiques de climat constamment humides, jusqu'aux sols tropicaux sub-arides à saison sèche marquée (Duchaufour, et Dommergues, 1963). On note une diminution progressive de la teneur de l'humus en AF et une augmentation de la polymérisation des AH, lorsque la durée de la saison sèche s'accroît.

En climat tempéré ou froid, on peut observer un contraste semblable entre l'action des climats atlantiques, humides mais sans périodes très froide, et celles des climats continentaux de l'Europe de l'Est à hivers très froids et à phases de sécheresse accentuée ; en climat tempéré atlantique, les humus, même actifs (mull), sont faiblement humifiés, les AH bruns et les AF l'emportent de beaucoup sur les AH gris ; les horizons humifères sont peu épais. L'inverse s'observe en climat continental froid où l'humification et la polymérisation très fortes (acides humiques gris souvent beaucoup plus abondants) permettent la formation des horizons humifères très épais : les alternances microclimatiques très marquées (saturation par l'eau puis forte dessiccation) favorisent donc l'humification et la polymérisation des composés humiques (Duchaufour, 1960).

En climat atlantique à saisons faiblement contrastées, tant pour la température que pour l'humidité, seules les formes les plus labiles d'acides humiques prennent naissance ; les acides humiques bruns se forment en saison humide et froide, et sont partiellement biodégradés en été ; l'humification reste faible, l'horizon humifère est peu épais et peu coloré (humus de type «cryptomull»). Lorsque au contraire les contrastes saisonniers sont plus marqués et que le climat comporte des phases de sécheresse accentuées (type tropical ou continental), l'humification augmente d'intensité, et elle aboutit à des formes plus polymérisées et plus stables. Les humus des climats continentaux sont plus épais et plus foncés que les mull atlantiques.

Il convient de souligner que les contrastes climatiques répétés agissent en sens inverse sur les composés les plus labiles, encore proches de la matière organique fraîche, et sur ceux qui ont déjà subi un début de «stabilisation»: ils accélèrent la décomposition des premiers, alors qu'au contraire ils freinent celle des seconds; dans les chernozems par exemple, une partie des composés humiques labiles (acides humiques bruns, et formes d'humine les plus jeunes) subit un «turnover» très rapide, alors que d'autres formes déjà plus évoluées sont au contraire soustraites à ce «turnover» et se stabilisent rapidement (Campbell et *al.*, 1967).

Dans les vertisols, cette opposition est poussée à l'extrême comme l'ont montré les expériences de Nguyen Kha et al. (1969 et 1970) : la partie labile arrive à disparaître presque entièrement, seule subsiste une petite fraction d'acides humiques et d'humine très polymérisée et très stable.

En étudiant les variations périodiques dans le degré de condensation des acides humiques sur le terrain et en Laboratoire, Bachelier (1983) observe une variation symétrique du degré de condensation des acides humiques, les acides humiques à grosses molécules (les plus condensés) dominant en hiver et au printemps, les acides humiques à petites molécules (les moins condensés) en été et en automne. Quant aux AF, ils s'avèrent un peu plus abondants au printemps et en été (sans doute par suite d'une activité biologique plus forte), et un peu moins abondants en automne et en hiver. Il n'en est pas toujours ainsi et, dans d'autres travaux, il a pu constater une diminution des acides fulviques en été par suite d'une condensation de ces acides, liée à une dessiccation du milieu. (Ndira, 2006).

➤ **La stabilisation par maturation climatique des composés humiques :**

Il s'agit d'un processus de transformation progressive et lente des composés humiques, qui se sont formés très rapidement dans la phase biologique ; ce « vieillissement » des composés humiques est surtout sous la dépendance des facteurs climatiques : très faible dans les climats sans saison sèche marquée, il est au contraire très accentué dans les climats à saisons contrastées (Paul et Van Veen, 1978).

a) influence des facteurs climatiques : rôle des saisons sèches :

L'évolution des fractions organiques. La plupart des recherches effectuées sur ce sujet portent sur l'évolution saisonnière des composés extractibles, classés dans l'ordre de stabilité croissante, AF, AH bruns, AH gris (ces derniers, caractérisés par une forte polycondensation des noyaux aromatiques).

Turenne (1975) a étudié les transformations saisonnières des composés humiques des mull tropicaux des savanes côtières de Guyane Nguyen Kha (1973) a procédé à des expériences d'incubation à l'étuve, d'échantillons de pélosol (tempéré) et de vertisol (tropical), tantôt tropicales (étés très secs).

On peut tirer de ces résultats les renseignements suivants : en climat sans saison sèche, les AF et les AH, non seulement sont plus labiles, mais encore subissent des phases alternantes « polymérisation-dépolymérisation », les AF se transformant en AH, ou réciproquement. Les saisons les plus humides (climat équatorial) sont « dépolymérisantes », de même que les saisons les plus chaudes (étés humides) en climat tempéré atlantique. A l'inverse, les composés extractibles des sols ayant évolué en climat contrasté à saison sèche (vertisol), ne subissent aucune évolution saisonnière, qu'il s'agisse d'AF ou d'AH, mais il n'en est pas du tout de même des AF de pélosols tempérés, qui se transforment progressivement en AH lorsqu'ils sont soumis artificiellement à des conditions de climat tropical à saisons sèches. On peut conclure de toutes ces expériences, que les saisons sèches jouent un rôle fondamental dans le processus de maturation. En d'autres termes l'élévation de température conduit à des évolutions différentes des composés humiques.

2.6 Rôles et effets des substances humiques :

Les nombreuses propriétés physico-chimiques des substances humiques, expliquent leurs impacts sur le sol et les plantes.

2.6.1 Influences sur le sol :

Les substances humiques influent sur la fertilité du sol en améliorant sa structure, en augmentant l'activité biologique, la disponibilité des nutriments et en complexant les métaux toxiques (Stevenson, 1985).

Par leur caractère macromoléculaire et leurs propriétés colloïdales, les substances humiques assurent la cohésion des particules élémentaires du sol (MacCarthy et al., 1990). La structure du sol est ainsi stabilisée par un grand nombre de liaisons électrostatiques et de liaisons faibles établies entre les molécules organiques et les argiles (Balesdent, 1996). Les substances humiques lient les particules du sol sous forme d'agrégats qui améliorent la stabilité structurale du sol. Au sein de ces agrégats, la présence de micro-porosités permet de maintenir une structure aérée où l'eau et l'air peuvent circuler. Outre l'aération du sol, la surface d'échange gazeux entre le sol et l'atmosphère et sa capacité de rétention d'eau sont augmentées. L'eau pénètre plus facilement dans le sol et limite les risques d'érosion et de compactage (Balesdent, 1996). La couleur des sols, variable du jaune au brun, est directement liée à la concentration de SH dans le milieu. Une couleur sombre favorise l'absorption de l'énergie solaire et le réchauffement des sols (Stevenson, 1982 et Balesdent, 1996). La présence de substances humiques améliore l'activité biologique des sols en fournissant aux microorganismes hétérotrophes un substrat énergétique et carboné. La variabilité des composés organiques entretient la diversité de la population microbienne (Balesdent, 1996). L'activité de ces organismes a un effet favorable sur les propriétés physiques du sol.

La matière organique forme avec les argiles un complexe colloïdal appelé complexe argilo-humique (CAH). Ce complexe est chargé électronégativement en raison de la présence de fonctions carboxyles (RC OO-) et hydroxydes acides (RO-). Les liaisons entre les substances humiques et les cations solubles du sol sont réalisées au niveau du CAH par échange cationique et protonique sur les fonctions -COOH et -OH. Ces complexes peuvent aussi interagir avec des ions, des oxydes, des hydroxydes métalliques et des minéraux pour former des complexes organométalliques. Les groupements fonctionnels COOH, C=O sont impliqués dans la dégradation des minéraux du sol. Leur liaison aux métaux permet leur passage en solution et leur transport, sous formes solubles, dans les eaux et les sols. (Schnitzer, 1978). Ces propriétés expliquent l'importance des substances humiques dans l'établissement du pH du sol et leur confèrent un pouvoir tampon qui permet d'en limiter les variations (Vaughan et Ord, 1985). Grâce à leurs propriétés chélatrices, les complexes

augmentent la capacité d'échange cationique des sols, limitent le lessivage de certains éléments (Vaughan et Ord, 1985) et permettent également la détoxification en complexant les métaux lourds. La matière organique influe sur les réserves minérales des sols et améliore la biodisponibilité des éléments pour les végétaux en limitant leur précipitation (Revel et al, 1999; Stevenson, 1985). La nutrition minérale des plantes est donc facilitée.

Les substances humiques possèdent un rôle essentiel dans les écosystèmes. Elles limitent les variations environnementales du sol (pollutions, exportations d'éléments, fluctuations de pH,...) et contribuent à la croissance des plantes par leurs effets sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol.

2.6.2 Influences sur les plantes :

De nombreux facteurs rendent l'étude des effets des substances humiques sur les plantes difficile et l'analyse des données bibliographiques montre des résultats très différents (MacCarthy et al, 1990; Vaughan and Malcom, 1985). La nature et l'intensité des réponses peuvent varier en fonction des substances humiques, des plantes et des conditions expérimentales (figure 06).

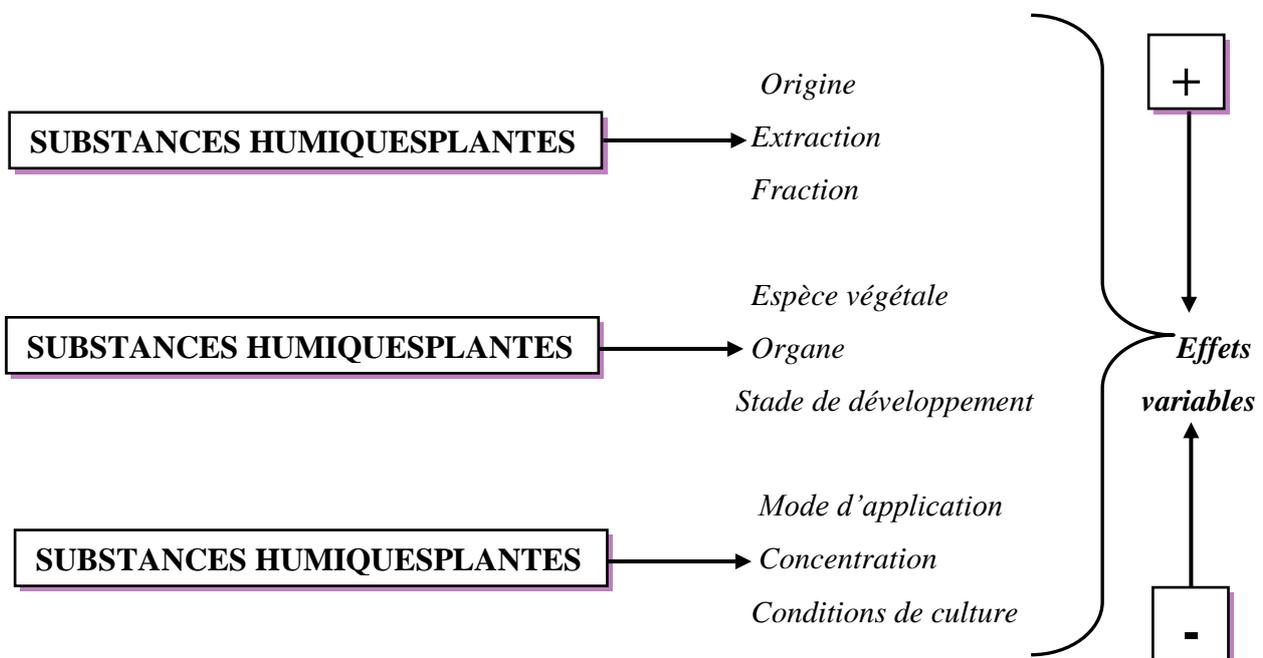


Fig. 6 : Facteurs influençant la réponse des plantes aux substances humiques.

L'origine et la nature des matières humiques conditionnent les réponses des plantes. Les substances humiques naturelles du sol, de tourbe, de compost, ou de roche sédimentaire (lignite, léonardite) présentent des effets sur les végétaux mais génèrent des réponses différentes. L'utilisation des différentes fractions de la matière organique, acides humiques ou fulviques, influe sur la spécificité des réponses. Par leur pénétration dans la plante, les particules de faible poids moléculaire (acides fulviques) présentent un mode d'action différent des acides humiques et modifient de manière plus intense le métabolisme cellulaire (Vaughan and Ord, 1985). Ces variabilités d'action sont directement liées à la composition des molécules humiques. La caractérisation des molécules humiques renseigne sur leur poids moléculaire, la présence de groupement fonctionnel, et permet d'établir des relations entre leur structure et leur activité biologique. La qualité de l'extraction des fractions humiques apparaît également comme un facteur de variabilité car elle influe sur les caractéristiques chimiques des composés, et par conséquent sur leur activité.

L'utilisation des substances humiques montre des effets différents selon les conditions expérimentales et le mode d'application (sol, substrat solide, solution nutritive ou application foliaire). L'intensité de la réponse dépend le plus souvent de la dose testée et de nombreuses études débutent par la détermination de la dose optimale (Hartwigsen and Evans, 2000).

L'impact des fractions humiques augmente avec la concentration mais de trop fortes doses présentent un effet inhibiteur. La complexité et l'évolution du matériel humique en fonction des conditions expérimentales peuvent être une source de variabilité.

Enfin, les espèces végétales réagissent différemment aux stimulations des substances humiques et les effets observés varient par leur nature et leur intensité (Piccolo, 1993). Les traitements humiques affectent principalement la croissance et le développement des graines, des plantules ou des plantes entières. Des effets spécifiques s'observent sur les organes, les cellules ou le métabolisme cellulaire.

2.7 La matière organique des sols et le stockage du carbone :

- Les matières organiques du sol assurent de nombreuses fonctions agronomiques et environnementales. Elles jouent un rôle de tampon vis-à-vis des autres milieux (biosphère, eaux, sous-sol) et participent au cycle des gaz à effet de serre. Elles améliorent la fertilité, l'aération, la réserve en eau et la biodiversité du sol. Elles limitent la compaction et l'érosion hydrique et favorisent le piégeage des métaux

toxiques ou des micropolluants organiques. Elles proviennent de la transformation des débris végétaux par les organismes vivants, essentiellement les micro-organismes. Composées de 58 % de carbone organique en moyenne, elles libèrent du dioxyde de carbone (CO₂) et des composés organiques en se décomposant sous l'influence du climat et des conditions ambiantes du sol. (Girard et al, 2005).

- La quantité de carbone organique stockée dans les 30 premiers cm du sol est estimée à 700 Gt (gigatonnes ou milliards de tonnes) au niveau mondial et à 3,1 Gt en France métropolitaine. Les stocks les plus faibles sont observés en Languedoc-Roussillon et dans quelques zones de cultures très intensives, les stocks faibles dans les grandes plaines de cultures intensives, les stocks moyennement élevés dans les régions forestières ou fourragères et enfin les stocks les plus élevés en zones montagneuses.
- Malgré une minéralisation du carbone plus rapide en milieu tropical qu'en milieu tempéré les stocks sont plus élevés dans les sols d'outre-mer en raison des conditions climatiques favorables à une productivité végétale abondante. En Martinique par exemple, les stocks élevés au nord de l'île s'expliquent par la nature des sols issus de matériaux volcaniques, tandis qu'ils sont moyens sous bananeraies et faibles sous cultures de canne à sucre et cultures maraîchères fortement intensifiées. (Salducci, 2011).
- L'évolution du stock de carbone organique dans les sols résulte de l'équilibre entre le volume des apports végétaux au sol et la vitesse de minéralisation. Certains changements d'usage ou de pratiques agricoles favorisent le stockage de carbone dans les sols, comme la conversion des cultures en prairies ou en forêts. Au contraire, la mise en culture des prairies ou des forêts entraîne une diminution du stock de carbone. Le sol joue le rôle de puits ou d'émetteur de carbone, principalement sous forme de dioxyde de carbone (CO₂). Le protocole de Kyoto, qui vise à réduire les émissions de CO₂, inclut la possibilité de comptabiliser le carbone stocké dans les sols, de façon vérifiable, comme une émission négative. (Dossier Inra, 2009).

2.8 Le rapport carbone / azote :

C'est un indicateur de l'activité biologique des sols, Il renseigne sur :

- le degré d'évolution de la matière organique,
- l'activité biologique,
- le potentiel de fourniture d'azote par le sol (minéralisation). (LCA, 2008)

- Si le rapport C/N est inférieur à 8, la dégradation de la matière organique est excessive. Le sol est inapte à entretenir la masse microbienne qui décroît en raison de l'insuffisance en carbone. Un apport de matière organique fraîche (non compostée) est fortement recommandé.
- Si le rapport C/N est compris entre 8 et 11, la matière organique évolue correctement ;
- Si le rapport C/N est supérieur à 11, l'évolution de la matière organique est freinée en raison de l'incapacité de la microflore du sol à se multiplier (déficit d'azote). Pour y remédier, un amendement à base de matière végétale riche en azote (exemple : engrais vert ou compost riche en azote) est particulièrement recommandé.
- D'autres paramètres tels que le fractionnement de la matière organique du sol ou encore la mesure de l'activité biologique permettent de mieux apprécier l'évolution de la matière organique dans le sol. Les cinétiques de minéralisation du carbone et de l'azote restent les meilleurs indicateurs car elles permettent de reproduire l'évolution de la matière organique dans le sol. (Elzein et Balesdent, 1995)

Le tableau N°2 renseigne sur le classement des sols en fonction de leur rapport C/N :

6	8	9	10	11	12	14	>14
Très faible	Faible		Normal		Légèrement élevé	Élevé	Très Élevé
Sol à décomposition rapide de la matière organique		Bonne décomposition de la matière organique				Sol d'activité biologique réduite ramenant à une décomposition lente de la matière organique	

Tableau 2 : Classement des sols en fonction de leur rapport C/N (LCA, 2008)

Donc le rôle de la matière organique est le suivant :

2.9. Rôle de la matière organique du sol :

La matière organique des sols joue un rôle essentiel dans l'environnement. Elle contribue à la formation d'un environnement favorable pour les organismes qui se développent dans le sol ; car elle est une source majeure de carbone et d'énergie pour les microorganismes. Et aussi elle est une source de nutriments, elle possède une capacité de rétention de l'eau qui permet de réguler le système hydrique du sol (Rawls et al., 2003), elle agit comme un tampon contre les variations de pH, elle contribue à la structure physique du sol (Oades, 1988) au travers de la formation de

complexes organo-minéraux et à la stabilité de cette structure contre l'érosion en liant les particules de sols entre elles. Le maintien de cette structure favorise la circulation de gaz et d'eau dans le sol.

Elle conditionne les propriétés chimiques (stocks de carbone, d'azote et de phosphore), et physiques (perméabilité, stabilité structurale, capacité de rétention et de circulation en eau) du sol. (Fustec, Mathon et al, 1975 – Dutartre et al, 1993).

2.9.1. Qualités et fertilité du sol :

La matière organique a des fonctions biologiques, physiques et chimiques essentielles dans les sols :

- La matière organique du sol représente l'indicateur principal de la qualité des sols, à la fois pour des fonctions agricoles (c'est-à-dire la production et l'économie) et pour les fonctions environnementales (parmi elles la séquestration du carbone et la qualité de l'air). (Elzein et Balesdent, 1995)
- Les apports de la matière organique sous forme de : compost, fumier feuille mortes, etc..., peuvent avoir des effets favorables autant sur les propriétés physiques et chimiques que sur l'activité biologiques du sol donc sur sa productivité. La teneur en matière organique d'un sol est un critère essentiel de sa fertilité, facteur essentiel de productivité : on dit qu'un bon sol doit contenir au moins 5% de matières organique. (Le Bissonnais et al., 2001).
- La matière organique du sol représente l'indicateur principal de la qualité des sols, à la fois pour des fonctions agricoles (c'est-à-dire la production et l'économie) et pour les fonctions environnementales (parmi elles la séquestration du carbone et la qualité de l'air). (Duprarque , Rigalle, 2011).
- Elle est une source de nutriments.
- Elle possède une capacité de rétention de l'eau qui permet de régler le système hydrique du sol. (Chamayon et Legros, 1989).
- Elle agit comme un tampon contre les variations de pH.
- Elle contribue à la structure physique du sol au travers de la formation de complexe organo-minéraux, et à la stabilité de cette structure. (Duchaufour, 1984).
- Elle agit contre l'érosion en liant les particules de sol entre elles, et le maintien de cette structure favorise la circulation de gaz et d'eau dans le sol. (Oades, 1988).

- La matière organique, est le principal déterminant de l'activité biologique. La quantité, la diversité et l'activité de la faune et des micro-organismes sont en relation directe avec la présence de la matière organique. (Chaussod, 2009).
- La matière organique et l'activité biologique qui en découle ont une influence majeure sur les propriétés physiques et chimiques des sols (Robert, 1996). L'agrégation et la stabilité de la structure du sol augmentent avec le contenu en carbone des sols. Les conséquences directes sur la dynamique de l'eau et la résistance à l'érosion par l'eau et le vent. Le carbone des sols affecte aussi la dynamique et la biodisponibilité des principaux éléments nutritifs. (Le Bissonais. et al, 1996).
- La matière organique et les organismes vivants associés jouent un rôle dans l'agrégation du sol à différentes échelles du sol (aux échelles micro et macro). Ainsi les processus d'agrégation jouent un rôle déterminant dans la séquestration du carbone. (Tisdall et Oades, 1982 – Robert et Chenu, 1992).
- 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.
- La matière organique du sol favorise l'augmentation de la capacité d'échange électrique et inhibe la toxicité de certains éléments. comme elle favorise l'assimilation d'autres éléments. (Oades, 1988).
- Comme elle a un effet indirect qui est l'amélioration des propriétés physiques du sol par l'intensification de l'activité de la pédofaune, qui a un rôle majeur dans la porosité et la structure du sol (biopores). (Calvet, 2003).

Le tableau suivant (tableau 3) résume les rôles physiques, Rôles biologiques et chimiques de la matière organique du sol.

	Action	Bénéfice
Rôle physique	structure, porosité	- pénétration de l'eau et de l'air - stockage de l'eau - limitation de l'hydromorphie - limitation du ruissellement - limitation de l'érosion - limitation du tassement - réchauffement
	rétention en eau	- meilleure alimentation hydrique

Rôle biologique	stimulation de l'activité biologique (vers de terre, biomasse microbienne)	- dégradation, minéralisation, réorganisation, humification - aération
Rôle chimique	dégradation, minéralisation	fourniture d'éléments minéraux (N, P, K, oligo-éléments...)
	Capacité d'Echange Cationique (CEC)	stockage et disponibilité des éléments minéraux
	complexation des Elément Trace Métallique (ETM) rétention des micropolluants organiques et des pesticides	limitation des toxicités (par exemple Cu) qualité de l'eau

Tableau N 3 : Les rôles de la matière organique du sol (Mackiewicz, 2005)

2.9.2. La matière organique comme facteur de pédogenèse :

La matière organique forme, avec certains éléments du complexe d'altération, des complexes organo-minéraux qui confèrent au sol ses propriétés essentielles, mais on peut affirmer aussi que la matière organique est un élément moteur de la pédogenèse, dans la mesure où elle oriente, d'une part le processus d'altération, et d'autre part les transferts de matière dans le profil (par redistribution au sein du profil), ou même hors du profil par pertes à l'état soluble (dans les eaux de drainage). Lorsque la redistribution l'emporte, le profil se différencie en horizons éluviaux et illuviaux. (Duchaufour, 1995).

L'importance de la matière organique dans la formation et la différenciation des sols a été utilisée pour définir des classes de sol.

Exemple : l'ordre des Mollisols et l'ordre des Histosols qui sont reconnus par le Soil Taxonomy.

2.9.3. La matière organique comme facteur contrôlant l'effet de serre :

L'effet de serre est un processus naturel de réchauffement de la température qui intervient dans le bilan radiatif de la terre, il est dû aux gaz à effet de serre (GES) contenus

dans l'atmosphère, à savoir principalement la vapeur d'eau (qui contribue le plus à l'effet de serre), ou le dioxyde de carbone CO_2 et le méthane CH_4 .

L'accumulation de la matière organique sous forme d'humus dans les sols est considérée actuellement comme un moyen de lutte contre le réchauffement climatique.

C'est pour cette raison que des programmes de recherche visant un blocage ou un ralentissement de la minéralisation et une augmentation de l'humification ont été initiés afin de contrôler l'émission du CO_2 . (Anonyme 02).

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Le milieu forestier est un exemple particulièrement net d'écosystème organisé en strates superposées, ce qui permet l'utilisation maximum de l'énergie solaire ainsi qu'une plus grande diversification des niches écologiques (Dajoz, 1985).

La forêt méditerranéenne, milieu fortement anthropisé, constitue un écosociosystème, (système complexe) dans lequel les humains et la nature interagissent et sont interdépendants ;(Berkes et Folke, 2000).

2.1. Localisation géographique :

La wilaya de Souk-Ahras est localisée au Nord-est algérien. Elle est installée aux portes de l'Algérie en un passage naturel entre la Tunisie et le reste du pays. (Figure N : 07), Elle est limitée :

- ✦ au Nord-est par la wilaya d'el Taref ;
- ✦ au Nord-ouest par la wilaya de Guelma ;
- ✦ au Sud par la wilaya de Tébessa ;
- ✦ au sud-ouest par la wilaya d'Oum-El-Bouaghi ;
- ✦ à l'est par la Tunisie.

La wilaya de Souk-Ahras s'étendant sur une superficie de 4.359,65 Km², ne représente que 0,18 % de l'ensemble du territoire national .Elle est située à 77Km de la wilaya de Guelma, à 100 Km de Annaba, à 134 Km de Tébessa et à 50 Km de la frontière Tunisienne. (La direction de la conservation des forêts de la wilaya de Souk-Ahras).

Voici un tableau qui détermine la position géographique de la région de Souk-Ahras.

Dénomination	Latitude	Longitude	Altitude
Souk-Ahras	36.17N	75.74 E	635m

Tableau N : 04- La représentation de la position géographique de Souk-Ahras. (La DSA de Souk-Ahras)

Présentation de la wilaya de Souk-Ahras :

Population : 440.300 habts.

Superficie : 4.359 Km².

Densité : 101 habts/ Km².

Distance par rapport à la Capitale (Alger): 700 Km.

Elle renferme 82000 ha de surface forestière (BNEDER., 2007), soit un taux de 17.28% de la superficie totale de la wilaya. Les Forêts de Chêne liège occupent une superficie de 12000 ha (DGF, 2002 in Mokhtari, 2006) soit la plus importante couverture forestière.

Elles représentent environ 5.24 % de la superficie totale de Forêts de Chêne liège en Algérie et produisent environ 5.700 quintaux de liège annuellement depuis 1992 jusqu'en 2009. Elle est composée de cinq forêts domaniales dont 16% de ce patrimoine forestier se concentrent au Nord-Est de la wilaya, notamment au niveau des communes d'El Machrouha, Ain Zana, Ouled Idriss (Benachoura, 1999).

Elle possède plusieurs autres atouts dont :

- Des ressources minières non encore exploitées (Plomb de Djebel El Oued, Plomb et zinc de Khedara, fer (Djebel el Ballout et Djebel Ledjbel, Baryte de Draa Zarga).
- Des sites archéologiques de réputation mondiale datant de l'ère Romaine. Ces sites sont quasi vierges de tout investissement de mise en valeur.
- Une superficie forestière estimée à plus de 96 765 ha composée de chênes liège et zeen, des pins d'Alep, des cyprès et des eucalyptus. Ces ressources sylvicoles souffrent d'une exploitation irrationnelle et de manque de débouchés en aval.
- Une tradition ancestrale d'élevage extensif avec plus de 80 000 bovins et 300 000 ovins et caprins.

MONTS SOUK AHRAS

Schéma Directeur d'Aménagement des Zones de montagne

LIMITES ADMINISTRATIVES

La zone d'étude

N



Fig. 07 - Carte de situation géographique de Souk-Ahras.

- **La forêt domaniale d'Ouled Bechih** : La Forêt d'Ouled Bechih s'étale sur 3500 ha (Figure : 8). Elle est composée essentiellement de Chêne liège (*Quercus suber*), de chêne zeen (*Quercus canariensis*), et d'olivier (*Olea europea*).

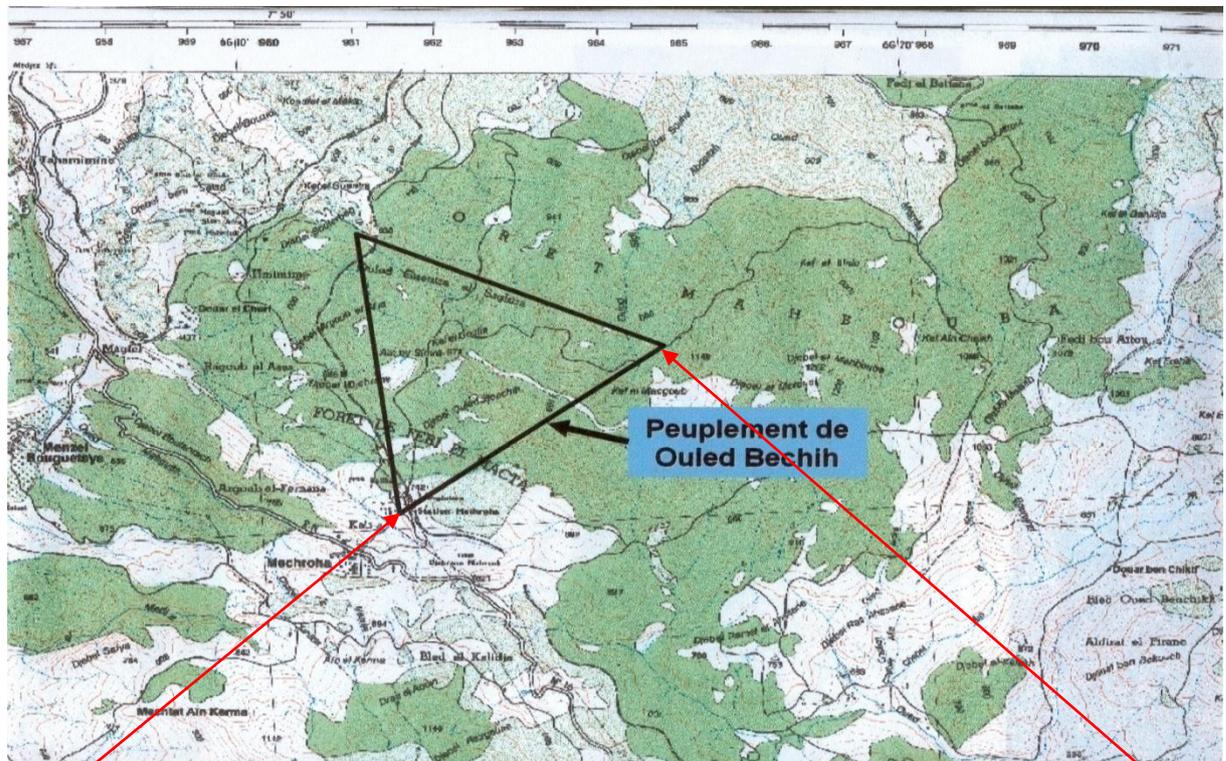


Fig. 8 -Situation géographique des peuplements d'Ouled Bechih. (D.G.F, 2007).



2.2. La situation géologique :

La willaya de Souk-Ahras se distingue par deux caractéristiques essentielles : (Figure N : 09)

- ⊕ Le Nord a caractère montagneux faisant partie de l'atlas tellien.
- ⊕ Le sud faisant partie des hautes plaines. (D'après la direction de la conservation des forêts de la willaya de Souk-Ahras).

Selon Davide 1956 ; la région de Souk-Ahras est essentiellement caractérisée par des formations sédimentaires dont l'âge le plus ancien est le trias jusqu'au quaternaire, constituée généralement par des grès, des marnes, des cailloutis et des alluvions.

Et selon BNEDER 2007, la lithologie de Souk-Ahras est la suivante : (Tableau N : 05).

Lithologie	Monts de Souk-Ahras (ha)	Monts de la Medjerda Souk-Ahras (ha)
Argiles	22051	20
Trias (gypses)	18098	-
Calcaire et dolomies dures	35338	421
Calcaires friables	2318	309
Alluvions et sables	10595	-
Marnes	81638	32999
Totaux	170038	33749

Tableau N : 05 - La lithologie du Monts de Souk-Ahras. (BNEDER 2007).

MONTS DE SOUK AHRAS

Schéma Directeur d'Aménagement des Zones de montagne

LITHOLOGIE

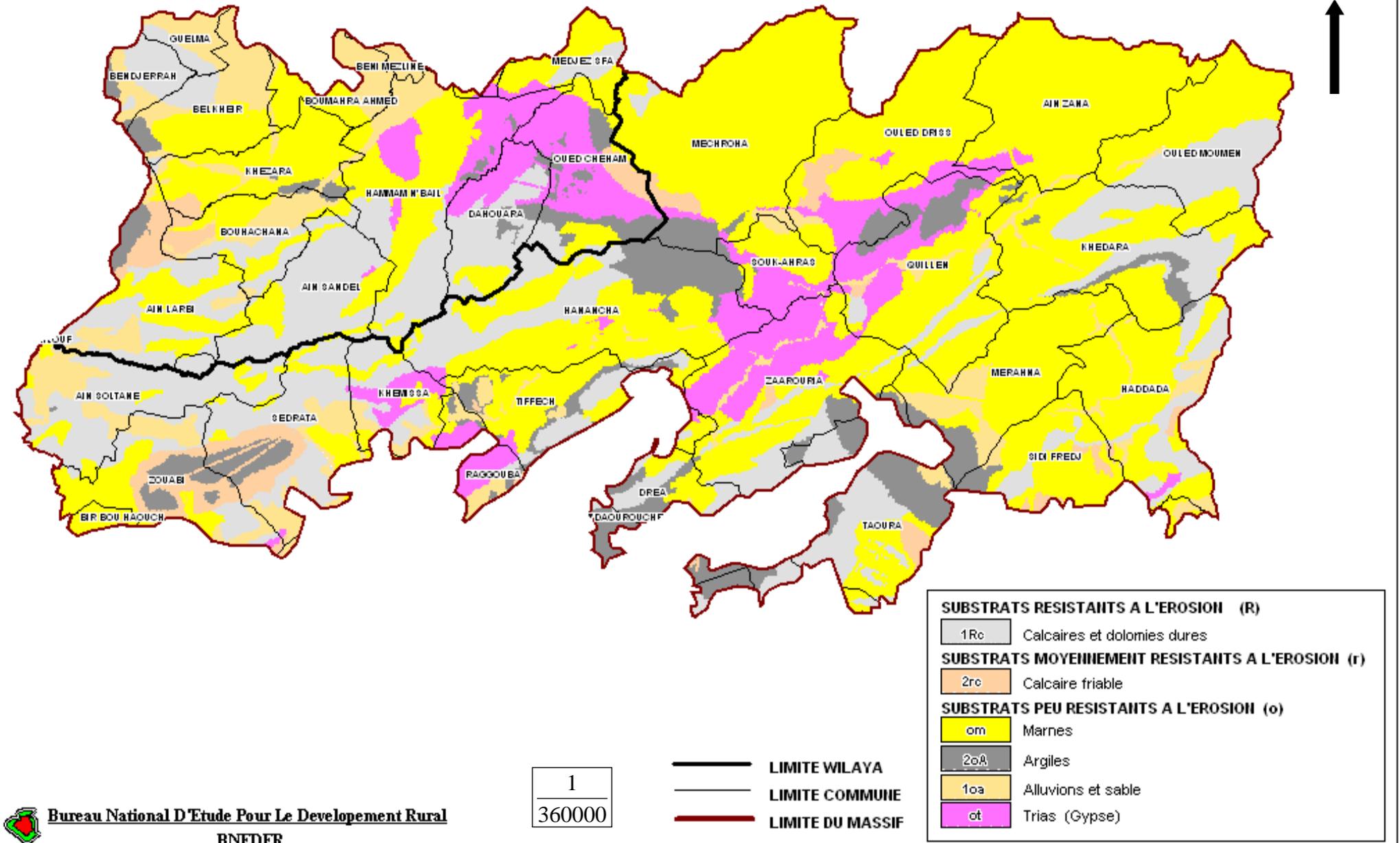


Fig. 09 – La carte lithologique de Souk-Ahras.

2.3. Situation géomorphologique :

Selon la classification des pontes et du climat dominant, la willaya de Souk-Ahras se caractérise par trois régions :

- ⊕ **Région Nord-est** : région montagneuse présentant des pentes très rudes variant de 15 % à plus de 20 % et faisant partie de la chaîne tellienne, et qui constitue le patrimoine forestier.
- ⊕ **Région Sud-ouest** : région médiane constituée de piedmonts. cette région est le prolongement des hauts plateaux, elle est caractérisée par de plaines agricoles et de pâturage.
- ⊕ **Région sud** : les terres sont de vastes étendues caractérisées par un relief plat, le sol est dégradé et de faible profondeur aggravé par une exposition aux divers aléas climatiques de faibles pluviométries, c'est l'espace des hauts plateaux. (D'après la conservation des forêts de la willaya de Souk-Ahras).

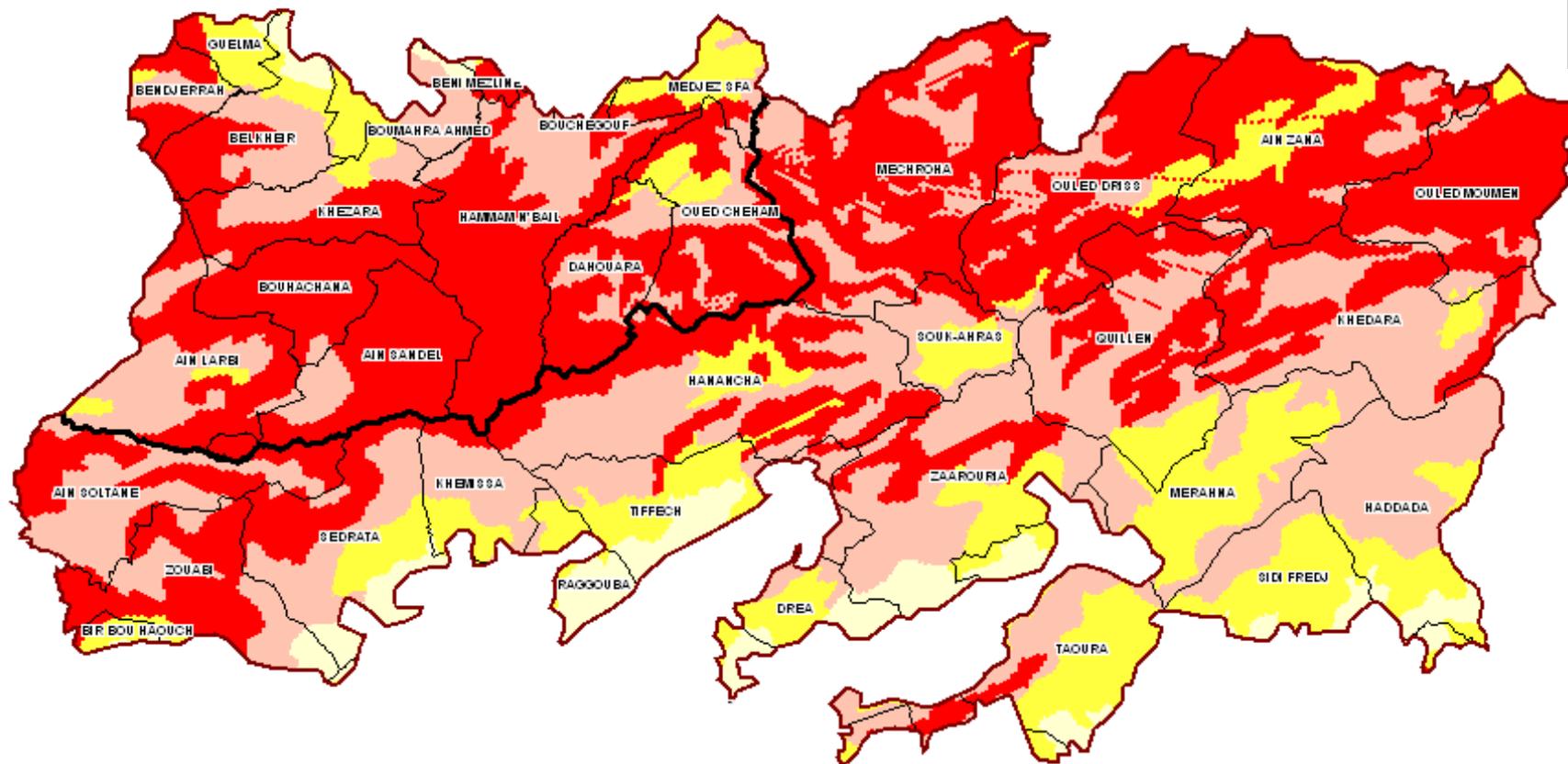
D'après Djefjel 2005; le territoire de la willaya de Souk-Ahras est considéré comme une zone chaînier de montagnes entre l'atlas tellien au nord et l'atlas saharien au sud. D'une manière générale, il s'agit d'un relief montagneux complexe ; très élevé au nord, et moins élevé au sud de la willaya ; dont au nord, il est subdivisé en deux alignements séparés par la vallée de Medjerda, d'une orientation générale sud-ouest, nord-est. (Figure N : 10).

MONTS DE SOUK AHRAS

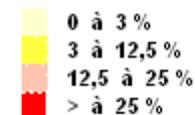
Schéma Directeur d'Aménagement des Zones de montagne

PENTES

N



Classe des Pentes



1
360000

- LIMITE WILAYA
- LIMITE COMMUNE
- LIMITE DU MASSIF

Fig. 10 – La carte des pentes de Souk-Ahras.

2.4. Réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique couvre pratiquement la willaya, la rareté de l'eau s'explique essentiellement par des conditions climatiques dont les précipitations sont nettement insuffisantes d'une part et le manque de moyens et d'infrastructure de récupération rationnelles et de stockage d'autre part. (Bouchabou, 2009).

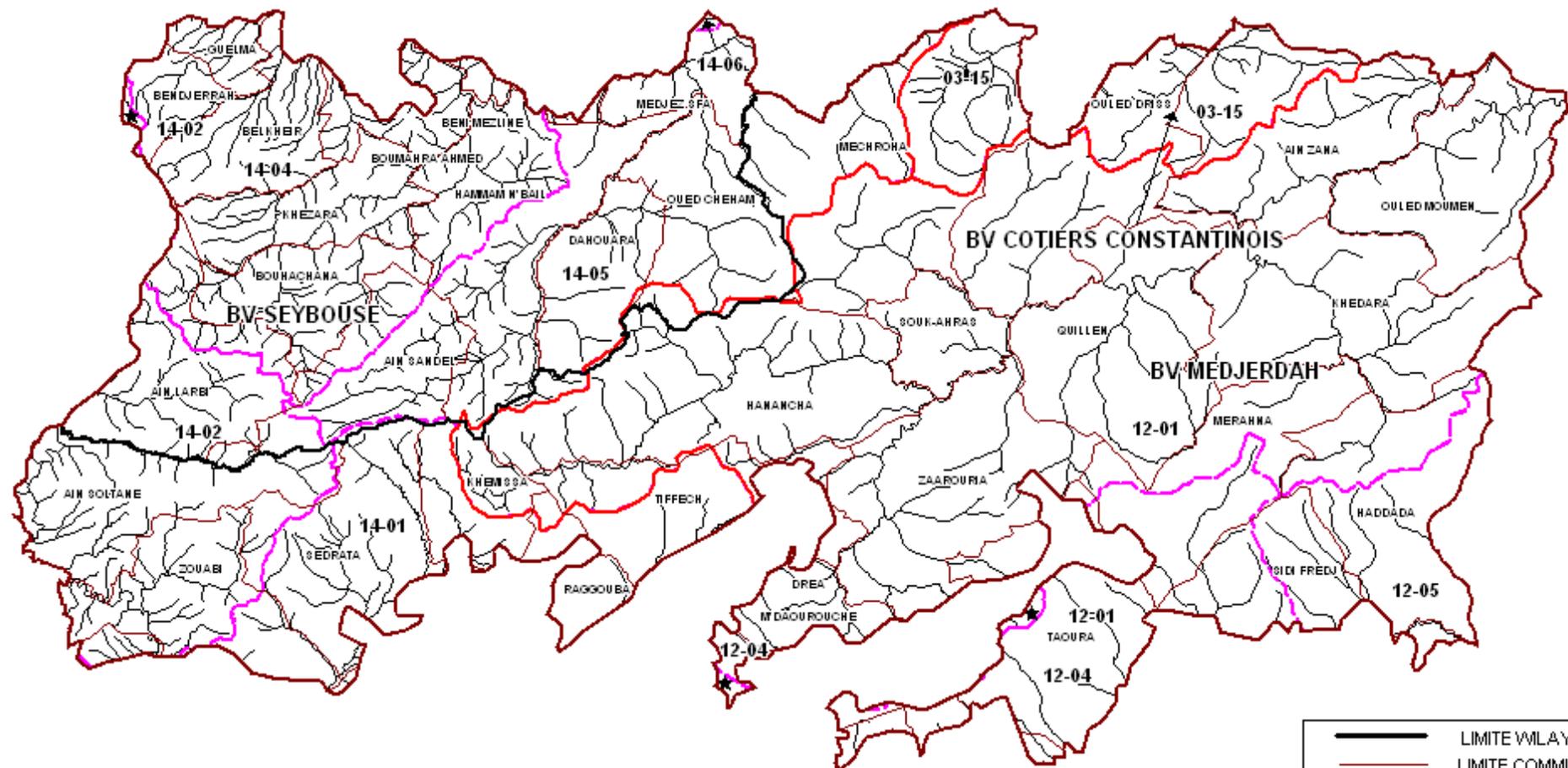
Trois grands oueds sillonnent la willaya avec débit irréguliers vu les conditions climatiques : (Figure N : 11).

- ✦ **Oued Mellegue** : situé au sud de la willaya de Souk-Ahras, son bassin versant occupe une superficie de 1.442 Km². Le débit moyen est de 210 millions m³ /an ; c'est un affluent de oued Medjerda en Tunisie.
- ✦ **Oued Medjerda** : considéré comme le collecteur principal, dont le bassin versant couvre une superficie de 1.377 Km², avec un débit moyen de 400 millions de m³ /an.
- ✦ **Oued Cherf** : d'une superficie de 1.040 Km² avec un débit moyen de 99 millions de m³ /an. Il coule vers le nord ouest ; il rejoint l'oued Seybouse. (Anonyme :03).

MONTS DE SOUK AHRAS

RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Schéma Directeur d'Aménagement des Zones de Montagne



Code_S_B	Libelle
12-05	OUED_MELLEQUE_AVAL
03-15	OUED_BONAMOUSA
14-06	OUED_SEYBOUSE_MARITIME
14-04	OUED_SEYBOUSE_MOYENNE
12-04	OUED_MELLEQUE_AMONT
14-05	OUED_MELAH
12-01	OUED_MEDJERDAH
14-01	OUED_CHERF_AMONT

	LIMITE WILAYA
	LIMITE COMMUNE
	LIMITE DU MASSIF
	Bassin Versant
	Sous Bassin Versant
	Oued permanent
	Oued temporaire
	Canal



Bureau National D'Etude Pour Le Développement Rural
BNEDER

1
360000

Fig. 11 – La carte du réseau hydrographique de Souk-Ahras.

2.5. Situation climatique :

Nous allons nous intéresser, dans cette partie, principalement à la pluviométrie et aux températures, considérés comme éléments climatiques majeurs qui influencent directement la végétation (Emberger, 1955).

Située sur les hauteurs de l'atlas tellien, la willaya de Souk-Ahras est exposée aux influences climatologiques méditerranéennes au nord d'une part, et désertiques au sud d'autre part (figure N : 12). Son régime climatique dépend de deux paramètres principaux : la précipitation météorologique et la température. (Zouaidia, 2006).

2.5.1. Précipitation :

La pluie est un facteur climatique très important qui conditionne l'écoulement saisonnier et influence directement le régime des cours d'eau, ainsi que celui des nappes aquifères. (Davide, 1956).

Des mesures pluviométriques mensuelles de la période (1992-2006), ont été prises d'après la station Météorologique de Souk-Ahras, et elles sont représentées dans le tableau suivant :

Année	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Moyenne annuelle
1992	21.3	73.1	57.5	227.7	139.2	11.7	4.3	13.7	0.9	24.2	47.1	143.8	764.5
1993	49.1	35.3	53.5	40.0	63.9	19.3	0.3	1.3	4.5	5.7	7.0	109.7	389.6
1994	48.7	145.7	5.5	44.0	4.3	5.2	6.1	1.8	13.6	37.1	9.0	36.3	393.3
1995	7.9	8.2	11.4	10.3	19.7	22.2	26.0	28.4	23.1	16.9	13.5	8.9	196.5
1996	78.8	229.3	68.0	66.2	53.9	2.7	9.7	15.7	30.7	14.7	18.5	36.0	624.2
1997	78.9	27.7	48.6	65.4	22.0	26.7	19.2	34.6	59.4	47.8	165.5	142.3	738.1
1998	87.1	35.7	45.7	65.9	40.8	20.8	0.00	41.6	68.7	51.7	144.6	66.0	668.6
1999	132.4	62.3	70.3	26.6	22.0	19.9	24.3	25.3	24.6	10.6	114.1	122.6	655.0
2000	26.5	33.7	14.2	43.5	136.4	41.7	0.6	16.6	14.6	45.8	18.2	54.0	445.8
2001	159.2	154.5	67.8	80.3	59.2	6.4	0.1	6.6	64.5	23.6	32.5	31.9	686.6
2002	24.6	48.7	15.2	60.9	15.4	22.3	47.3	78.1	19.4	30.6	141.2	124.3	628.0
2003	301.4	94.7	35.2	117.8	42.3	3.8	0.8	0.00	50.6	36.7	13.2	275.8	972.3
2004	179.3	12.1	67.9	38.0	115.2	74.8	0.00	20.2	57.7	23.5	149.9	194.5	933.1
2005	98.9	122.3	58.6	76.3	8.0	22.4	12.8	12.6	16.1	14.5	21.2	152.6	616.3
2006	165.3	82.3	50.6	31.8	38.2	2.6	13.1	18.1	30.5	50.3	51.9	128.1	662.8
Moyenne mensuelle	99.7	77.7	44.7	66.3	52.0	20.2	11.0	21.0	31.9	28.9	63.2	108.5	625.0

Tableau N : 06 - Précipitations mensuelles (mm) de la région de Souk-Ahras. (Période de 1992-2006). Station météorologique de Souk-Ahras.

Ce tableau montre que la précipitation moyenne annuelle est de 625mm/an. La variation des précipitations est importante d'un mois à un autre. Les mois de décembre et janvier sont les mois où on enregistre le maximum des précipitations (jusqu'à 108,5 mm), le minimum est enregistré au mois de Juillet (11mm). Les mois les plus pluvieux dans la région de Souk-Ahras sont : Novembre, Décembre, Janvier, Février, Mars, Avril et Mai au cours de cette période il tombe en moyenne plus de 70% de la pluie totale annuelle.

En générale, la pluviométrie augmente avec l'altitude mais est plus forte sur les versants exposés aux vents humides. En outre, elle diminue en fonction de l'éloignement du littoral, du fait de l'appauvrissement progressif de l'humidité de l'air à mesure que les zones montagneuses sont traversées (BNEDER, 1980).

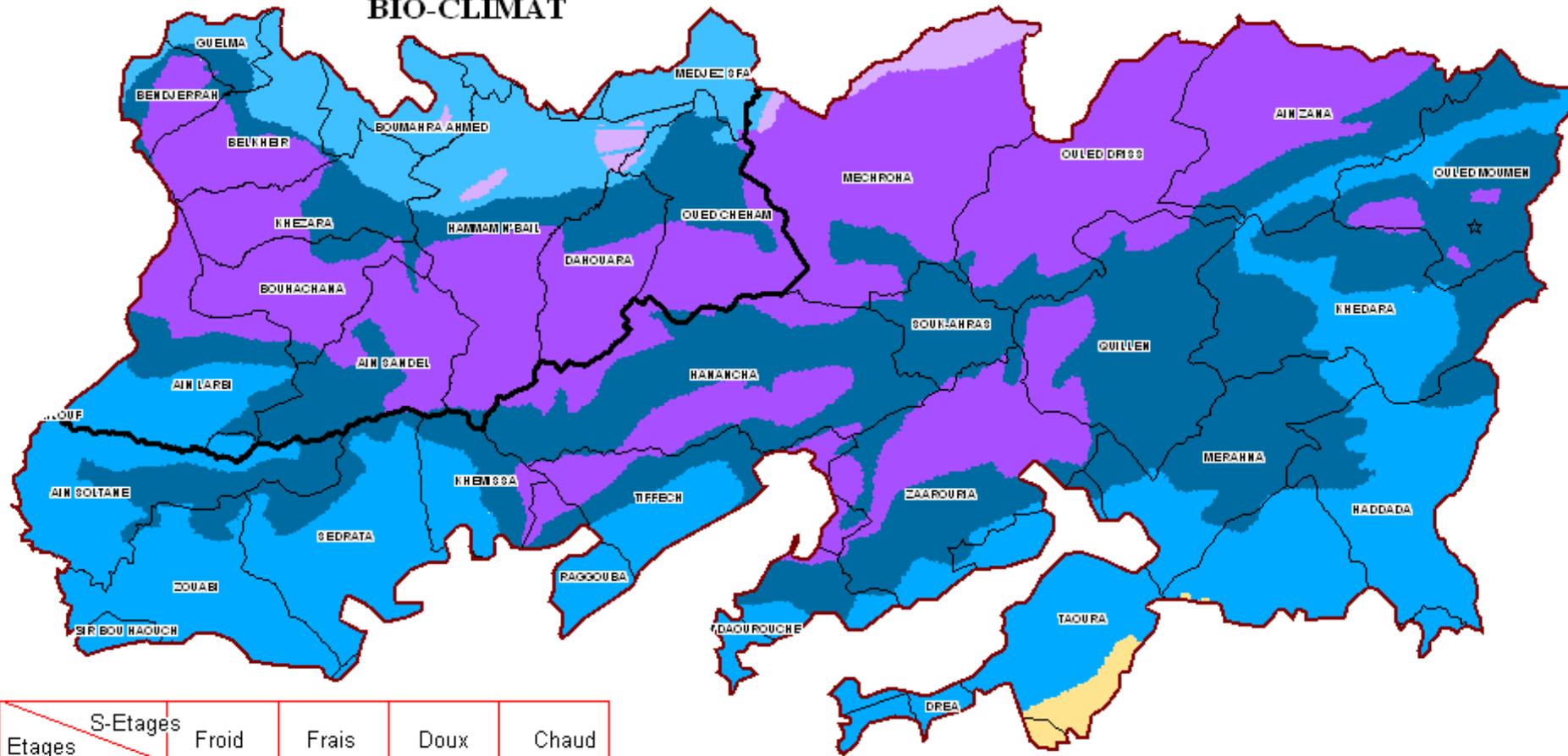
2.5.2. Température :

Les températures constituent l'autre élément majeur conditionnant le climat d'une région. Elles permettent de déterminer l'évapotranspiration et le déficit d'écoulement, interviennent aussi dans le développement du rythme biologique des végétaux et facilitent l'établissement du bilan hydrique. (Davide, 1956). Voici des valeurs moyennes mensuelles de la période (1992-2006) d'après la station météorologique de Souk-Ahras. (Tableau N : 07).

MONTS DE SOUK AHRAS

Schéma Directeur d'Aménagement des Zones de montagne

BIO-CLIMAT



Etages	S-Etages			
	Froid	Frais	Doux	Chaud
Humide	HF	Hfr	Hd	Hc
Sub-Humide	SHF	SHfr	SHd	SHc
Semi-aride	SAF	SAfr	SAd	SAc
Aride	AF	Afr	Ad	Ac
Saharien	Sah			

- LIMITE WILAYA
- LIMITE COMMUNE
- LIMITE DU MASSIF

1
360000



Bureau National D'Etude Pour Le Developement Rural
BNEDER

Fig.12 - La carte bioclimatique de Souk-Ahras.

Année	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Moyenne annuel
1992	5.7	7.1	9.0	11.2	15.5	18.8	22.5	24.7	22.0	17.1	12.5	7.8	14.49
1993	6.1	5.9	8.4	12.3	17.0	22.0	24.9	25.9	21.7	18.2	11.4	8.6	15.20
1994	7.9	8.2	11.4	10.3	19.7	22.2	26.0	28.4	23.1	16.9	13.5	8.9	16.38
1995	6.1	10.1	9.0	11.6	17.7	21.5	25.4	24.5	20.7	16.6	11.5	10.0	31.52
1996	9.0	6.4	9.9	11.6	16.1	19.8	24.4	25.4	19.3	14.8	12.6	9.8	14.93
1997	8.9	9.4	9.3	11.4	19.3	24.6	25.2	24.8	20.7	17.2	11.8	8.8	15.95
1998	7.5	8.5	9.6	13.5	15.9	23.3	25.9	24.7	22.2	15.3	10.4	7.1	15.33
1999	7.8	5.8	10.3	13.3	20.6	24.2	25.1	28.7	23.7	19.8	11.4	8.3	16.58
2000	5.4	8.7	11.5	14.4	19.9	22.0	26.6	26.7	22.2	16.2	13.1	9.8	16.38
2001	8.5	7.6	14.0	12.1	17.0	22.7	26.7	26.4	21.7	20.3	11.9	7.3	16.35
2002	6.7	8.9	11.3	13.6	18.1	24.2	25.4	24.8	21.2	17.8	12.5	9.4	16.16
2003	7.3	6.5	10.1	13.9	18.0	25.2	28.5	28.0	21.3	18.8	12.6	7.5	16.48
2004	7.6	9.8	10.7	12.2	15.4	21.5	26.1	26.8	21.5	19.7	10.6	8.5	15.87
2005	5.6	5.2	10.7	13.8	19.1	23.1	26.1	24.0	20.6	17.6	12.0	6.5	15.36
2006	4.9	6.6	10.8	15.1	19.5	24.0	26.2	24.2	20.9	18.8	12.9	8.3	16.02
Moyenne mensuelle	7.00	7.65	10.4	12.69	17.92	22.6	25.67	25.87	21.52	17.67	12.05	8.44	16.86

Tableau N : 07- Température mensuelle (°C) de la région de Souk-Ahras. (Période de 1992-2006). (Station météorologique de Souk-Ahras).

Il ressort du tableau précédent que :

- ⊕ La température moyenne mensuelle minimale est au mois de Janvier égale à 7.0°.
- ⊕ La température moyenne mensuelle maximale est au mois de Juin égale à 35.51°.
- ⊕ La température moyenne mensuelle est égale à 16.26°.

2.5.3. Synthèse climatique :

Dont le but est de visualiser l'avantage, les caractéristiques bioclimatiques, permettant de classer notre zone d'étude dans le contexte climatique global, le calcul d'indice climatique est important.

2.5.3.1. Le Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson :

Exprimé en courbes juxtaposées, le diagramme met en relation $P= 2T$.

A partir des données concernant les précipitations mensuelles, moyennes (**P**) ainsi que celle de température (**T**), durant la période de (1986-2004) ; nous avons réalisé le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson et qui nous ont permis de distinguer :

- ⊕ Une saison sèche s'étend de Mai à Octobre ;
- ⊕ Une saison humide s'étend du mois de Novembre à Avril.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
T(°C)	14,4	15,8	20,4	24,6	34,4	44	50,6	51,8	43,6	35,2	23,6	16,8
P(mm)	101,80	72,80	61,70	68,80	56,10	44,30	37,30	43,40	49,40	35,60	67,10	97,00

Tableau N : 08 - Températures moyenne mensuelles (°C) ; Précipitations mensuelles (mm) de la région de Souk-Ahras. (Période de 1986-2004). Office National de Météorologie (ONM, 2004).

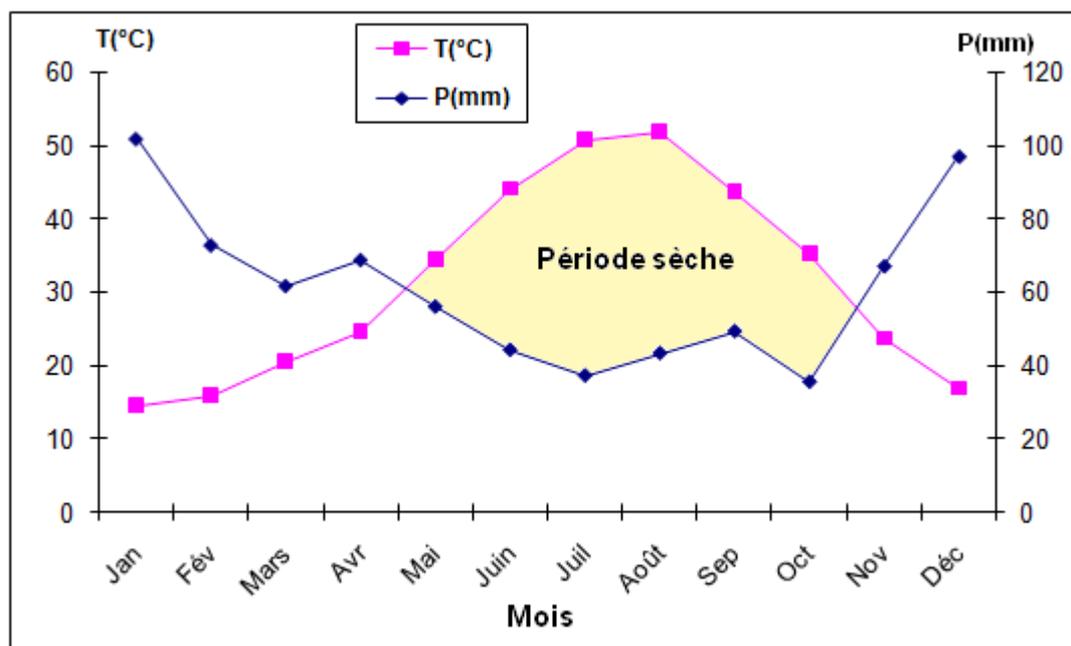


Fig.13 - Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausson de la région de Souk-Ahras.

2.5.3.2. Détermination d'étage bioclimatique de Souk-Ahras :

Notre région d'étude se situe au Nord-est algérien, appartenant au bassin Méditerranéen.

Selon Quezel 1978, cette région appartient au méditerranéen appelé aussi domaine méditerranéen Nord-Africain.

Pour le bassin méditerranéen, à partir d'un coefficient pluvio-thermique d'Emberger (indice d'aridité perfectionné par la prise en compte de l'amplitude thermique annuelle), Emberger a classé toutes les situations météorologiques suivant deux coordonnées : d'une part les valeurs de ce coefficient et d'autre part la moyenne des températures du mois le plus froid.

D'après Emberger (1930,1955). Le bassin méditerranéen dans son ensemble peut être subdivisé en cinq étages bioclimatiques : aride, semi aride, subhumide, humide et per humide :

- ⊕ Aride: P compris entre 100 et 400 mm.
- ⊕ Semi-aride : P compris entre 400 et 600 mm.
- ⊕ Sub-humide : P entre 600 et 800 mm.
- ⊕ Humide : P entre 800 et 1200 mm.
- ⊕ Per-humide: P > 1200 mm. (Quezel, 2000).

Emberger a réalisé un climagramme où l'on trouve l'ensemble de ces étages associés chacun à la température moyenne minimale au mois le plus froid et le coefficient pluvio-thermique correspondant. Ce climagramme permet de caractériser le climat d'une région et le classer dans un étage bioclimatique.

Selon Emberger 1936, l'étage bioclimatique correspond à l'étage de végétation et les diverses structures de végétation qui correspond à des critères écologiques spécifiques, notamment en fonction des étages altitudinaux de végétation et de types bioclimatiques. (Quezel et al, 1990), peuvent être représentés sur le climagramme. (Quezel, 2000).

2.5.3.3. Calcul du quotient pluvio thermique d'Emberger :

Le calcul du quotient pluvio thermique « Q_2 » d'Emberger est pour déterminer l'étage bioclimatique de la région ; Ce quotient pluviothermique d'EMBERGER « Q_2 » est déterminé par la combinaison des trois principaux facteurs du climat :

P : Précipitation annuelles en mm.

M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud en degré de Kelvin (°K) ;

m : moyenne des minima du mois le plus froid en degré de Kelvin (°K). (khanfouci, 2005).

La formule utilisée pour le calcul est la suivante :

$$Q_2 = \frac{2000 \times P}{(M^2 - m^2)}$$

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

La région	M (°K)	m (°K)	P (mm)	Q ₂	M (°C)	Période
Souk-Ahras	314,1	274,4	724,3	62,00	1,4	1986-2003

Tableau N : 09 - Données concernant le calcul du quotient pluviométrique d'Emberger

2.5.3.4. Situation de la zone d'étude dans le climagramme d'Emberger :

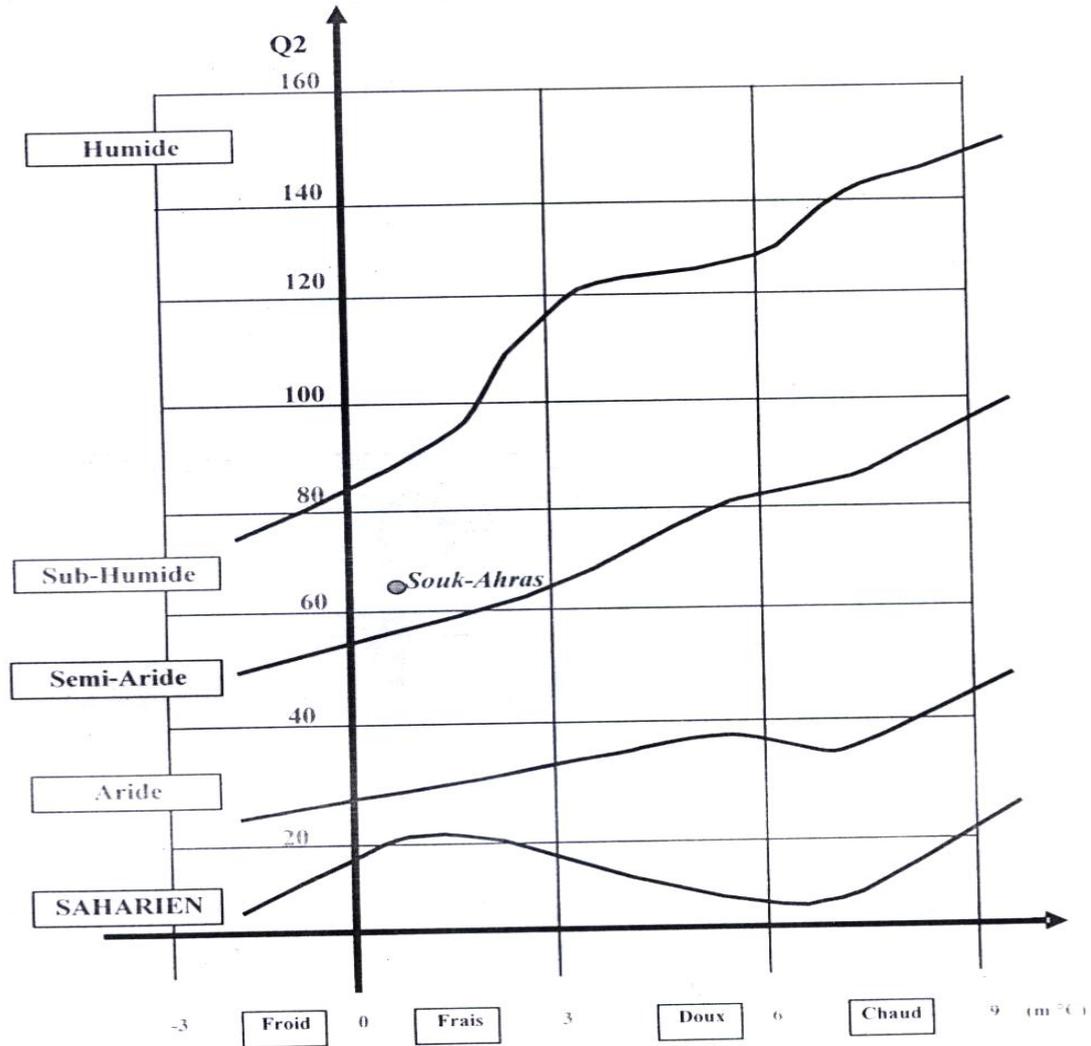


Fig. 14 - Situation de la station d'étude dans le climagramme d'Emberger (1955).

2.6. Humidité relative :

L'humidité de l'air moyenne mensuelle et annuelle est donnée d'après les résultats des observations sur la station météorologique de Souk-Ahras, de la période (1992-2006).

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Jun	Juin	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Moyenne annuel
Humidité relative de l'air %	79.4	77.1	73.4	72	66.3	56.1	49.8	52.7	63.8	67.4	75	79.1	67.7

Tableau N : 10 - Humidité de l'air moyenne mensuelle et annuelle. Station météorologique de Souk-Ahras (1992-2006).

Le moins le plus sec de l'année est juillet avec l'humidité relative moyenne l'air de 49.8%, les mois les plus humides sont décembre et janvier dont l'humidité relative varie dans les limites de 79.1 – 79.4 %.

2.7. Les vents :

Le vent est l'un des éléments les plus déterminants des régimes pluvieux, de l'évaporation et par conséquent du climat. D'après les données de la station météorologique de Souk-Ahras, les vents dominants sont du Nord au Sud. Leur activité se manifeste pendant la période pluvieuse. Ces vents soufflent en été sous forme de sirocco. Ils sont secs, chauds et souvent assez forts, favorisant l'évaporation. (Davide, 1956).

Pour caractériser le régime des vents nous avons dépouillés les données de la station météorologique de Souk-Ahras.

La fréquence annuelle des vents dominants par directions est donnée dans le tableau suivant :

Direction	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Calme
Fréquence %	15.7	2.9	2.1	12.2	12.9	3.6	1.6	7.1	15.7

Tableau N : 11 - Fréquence moyenne interannuelle des vents par directions. Station météorologique de Souk-Ahras (1992-2006).

2.7.1. Vitesse moyenne mensuelle du vent :

Voici le tableau N : 12 qui déterminent la vitesse moyenne mensuelle du vent de la région de Souk-Ahras.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Moyenne annuel
Vitesse du vent (m/s)	3.5	3.8	3.6	3.7	2.9	3.1	3.1	2.9	2.8	2.5	3.3	3.4	3.2

Tableau N : 12 - Vitesse moyenne mensuelle du vent. Station météorologique de Souk-Ahras (1992-2006).

La vitesse moyenne annuelle du vent est 3.2 m/s. La vitesse moyenne mensuelle minimale du vent est de 2.5 m/s (Octobre), celle moyenne mensuelle maximale atteint 3.7 m/s (Avril).

2.8. Les Phénomènes climatiques accidentelles :

2.8.1. La neige :

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Moyenne annuel
Nombre de jours	1.47	1.33	0.67	0.13	0	0	0	0	1.2	0	0.13	0.47	5.4

Tableau N : 13 - Vitesse moyenne mensuelle du vent. Station météorologique de Souk-Ahras (1992-2006).

La chute de neige est observée depuis septembre à avril, le nombre de jours de neige maximum est au mois janvier.

Le nombre moyen de jours de neige est de 5-4 jours par an.

2.8.2. La grêle:

Le nombre moyen mensuel de jours où il y a de la grêle est donné dans le tableau N 14

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Moyenne annuel
Nombre de jours de grêle	0.2	0.67	0.4	0.53	0.07	0.13	0	0.2	1.33	0.13	0.13	0	3.8

Tableau N : 14 - Nombre moyen mensuel de jours de grêle. Station météorologique de Souk-Ahras (1992-2006).

Dans la zone étudiée le plus souvent il y a de la grêle pendant tout les mois de l'année sauf le mois de Juillet et Décembre. Le nombre moyen de jours ou il y a de la grêle est de 3,8 jours par an.

2.8.3. Les gelées :

Dans la zone considérée, les gelées peuvent avoir lieu, ce qui représente un risque pour les cultures agricoles surtout en période de décembre, janvier, février, mars. Dans le tableau N : 15, nous avons présentés le nombre de jours de gelée.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Moyenne Annuel
Nombre de jours de gelée	7.4	4.33	2.2	0.67	0	0	0	0	0	0	0.53	4	19.133

Tableau N: 15 - Nombre de jours de gelée. Station météorologique de Souk-Ahras (1992-2006).

Ces valeurs sont celles de la station météorologique de Souk-Ahras avec une période de gelée s'étalant de Novembre au Avril, dont le plus grand nombre est enregistré en Janvier avec 7.4 jours de gelée.

2.8.4. Le siroco :

Le siroco est un vent du sud-est chaud et sec ; peut être observé dans n'importe quel mois de l'année. C'est ce vent (sec et chaud) qui assèche le sol et fait augmenter l'évapotranspiration des plantes et de ce fait il constitue un danger pour les cultures agricoles. (David, 1956).

Le nombre de jours moyen de siroco pris d'après les données de la station météorologique de Souk-Ahras pour la période de 1992 – 2006, est indiqué dans le tableau N :16.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Moyenne annuel
Nombre de jours avec siroco	0	0	0	0.07	0	0	0	0	0.13	0	0	0	0.2

Tableau N : 16 - Nombre de jours moyen mensuel de siroco. Station météorologique de Souk-Ahras (1992-2006).

D'après tableau N : 16 le siroco se présente dans les mois de septembre et d'Avril avec un nombre de jours moyen annuelle de 0.2 jours.

2.8.5. Durée d'insolation :

L'insolation est un paramètre climatique que l'on utilise pour le calcul de l'évapotranspiration potentielle. (Davide, 1956).

La durée moyenne mensuelle de l'insolation est celle calculée d'après les données de la station météorologique de Souk-Ahras est mentionné dans le tableau suivant :

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Durée d'insolation (heures)	144.3	148.8	210.0	227.0	267.7	291.3	339.2	308.2	243.7	216.3	157.5	137.9

Tableau N : 17- Durée moyenne mensuelle de l'insolation. Station météorologique de Souk-Ahras (1992-2006).

2.8.6. Evaporation du plan d'eau :

C'est la quantité d'eau évaporée ou transpirée par le sol et les végétaux. (Davide, 1956). Voici des valeurs de l'évaporation du plan d'eau d'après la station météorologique de Souk-Ahras (en millimètre).

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Moyenne mensuelle
Evaporation du plan d'eau (mm)	48.1	53	74.8	77.6	114	166.6	217.5	208.5	137.9	109.8	71.6	52.5	1331.9

Tableau N : 18 - Valeurs mensuelles d'évaporation. Station météorologique de Souk-Ahras (1992-2006).

La moyenne mensuelle annuelle de la quantité d'eau évaporée dans la région de Souk-Ahras est 1331,9 mm/an.

La grande quantité d'eau évaporée est enregistrée en juillet le mois le plus chaud (température élevé), et on remarque que la quantité de cette eau est diminuée en janvier (le mois le plus froid).

2.9. Couverture forestière :

La willaya de Souk-Ahras détient un patrimoine forestier très important. La superficie forestière est estimée à 97.280 hectares soit un taux de 23% de la superficie total de la willaya. (Messaadia, 2009).

Les principales espèces sont le pin d'Alep, l'eucalyptus, le chêne liège, zeen et autres espèces.

Les superficies recouvertes par ces espèces se répartissent comme suit :

- ✦ Pin d'Alep avec 33.569 ha soit 34,50 % de la superficie totale de la willaya ;
- ✦ Eucalyptus avec 29.779 ha soit 30,61 %.
- ✦ Chêne liège avec 12.535 ha soit 12,88 %.
- ✦ Chêne zeen avec 4.387 ha soit 4,97 %.
- ✦ Autres essences avec 16.560 ha soit 17,04 % . (Zouaidia, 2006).

2.10. Occupation des sols :

D'après le Bureau National d'Etudes pour le Développement Rural, 2007 :

- ⊕ 60% des terres de la région de Souk-Ahras sont occupées par l'agriculture.
- ⊕ Le taux de boisement est de 35% dont 19% à base de formations forestières clairsemées ; Ce taux de boisement est insuffisant.
- ⊕ 70% des cultures sont pratiquées sur des terrains à pente supérieure à 12,5%, dont 47% sont considérés comme étant instables.

Occupation des sols	Monts de Souk-Ahras (ha)	% Sur une pente \geq 12,5%	% Sur des terrains instables
Culture	71249	71,35%	47,96%
Culture+Vignes	-		
Culture+Parcours	37465		
Vignes	-	-	-
Arboriculture	24		
Parcours	2432		
Maquis claire	11594		
Maquis dense	14556		
Forêt claire	23109		
Forêt dense	7605		
Reboisement	144		
Sol nus	14		
Plan d'eau	371		
Agglomération	1475		

Tableau N : 19 - Occupation des sols du Monts de Souk-Ahras. (BNEDER, 2007).

NB :

- ⊕ 71,35% des terres de culture se situent sur des pentes \geq 12,5%.
- ⊕ 47,96% des terres de cultures sont sur des terrains instables.

MONTS DE SOUK AHRAS

Schéma Directeur d'Aménagement des Zones de montagne

OCCUPATION DES TERRES

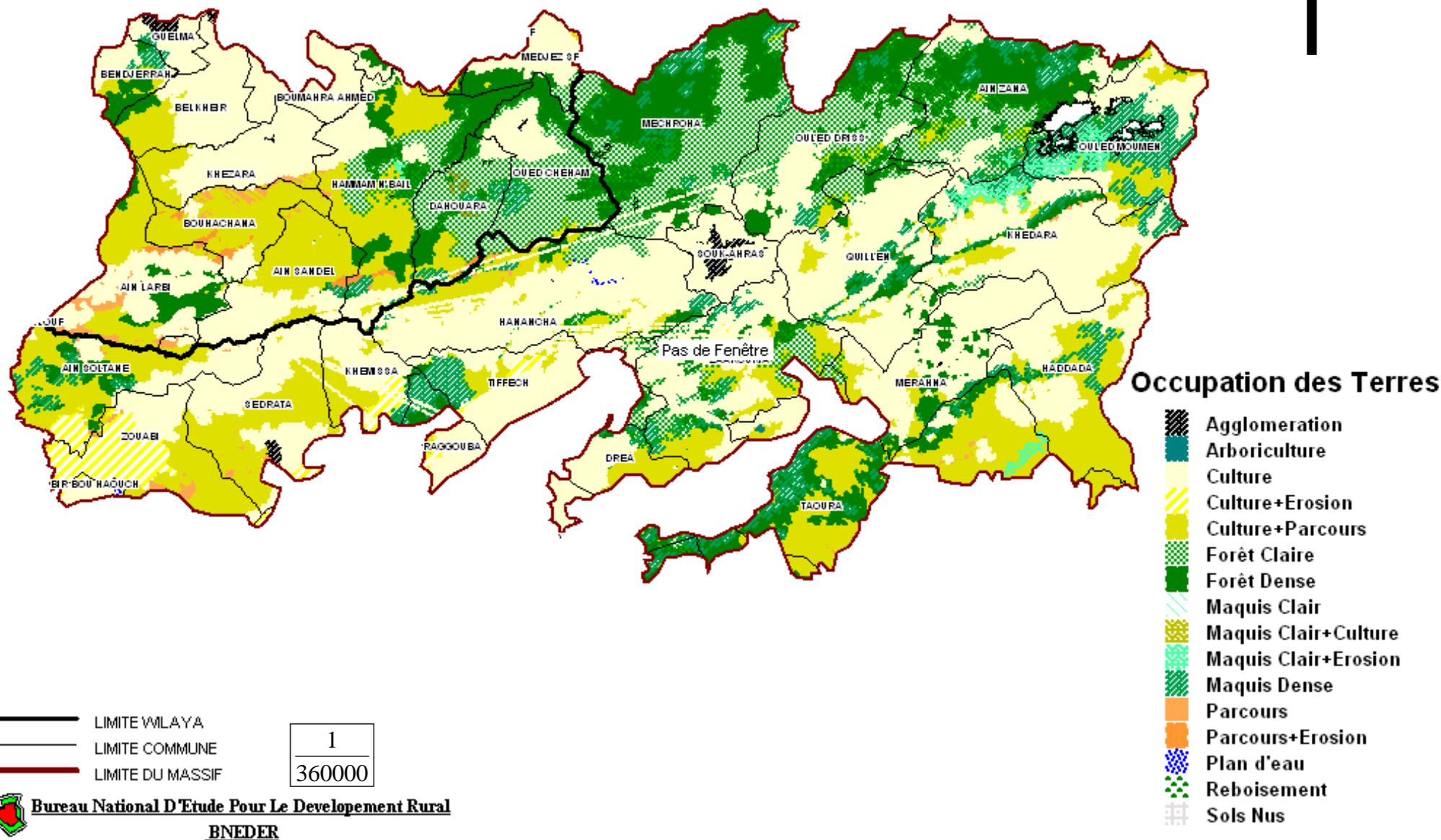


Fig.15 – La carte d'occupation des terres de Souk-Ahras.

2.11. L'activité socio-économique :

La situation socio-économique de la région de Souk-Ahras peut être résumée dans le tableau suivant :

	Facteurs du milieu	Potentialités – Atouts	Contraintes
Milieu socio-économique	Population	<ul style="list-style-type: none"> - Faible densité de population au Km² (inférieure à 100 hab. pour la majorité des communes. - Faible taux de croissance de la population (inférieure à 3 %) - Prédominance de la population rurale. 	<ul style="list-style-type: none"> - Exceptés les communes de : <ul style="list-style-type: none"> • Souk Ahras (2619 hab. /Km²), • Sedrata (260 hab. / Km²),
	Activités	<ul style="list-style-type: none"> - Les principaux secteurs pourvoyeurs d'emplois sont : <ul style="list-style-type: none"> • l'agriculture et les administrations. 	<ul style="list-style-type: none"> - Faible taux d'occupation de la population active (inférieure à 74%).
	Indicateurs de développement social et humain.	<ul style="list-style-type: none"> - Taux de scolarisation supérieur à 70%. - Faible T.O.L (4.5 à 7 personnes). - Taux de raccordement significatifs pour les communes de Guelma. 	<ul style="list-style-type: none"> - Faible taux de raccordement aux réseaux d'A.E.P, d'assainissement et d'électrification pour les communes de Souk-Ahras.
	Les Productions	<ul style="list-style-type: none"> - S.A.U potentielle (49.66 %). - Importance des ressources fourragères (jachère, fourrages cultivés). - Bonnes performances pour le maraîchage, les fourrages et les cultures industrielles. - Potentialités céréalières. 	<ul style="list-style-type: none"> - Faible potentiel arboricole. - Importance de la jachère. - 98 % de la S.A.U sujette à l'érosion. - Faibles performances céréalières. - Faible potentiel arboricole.
	Production végétale		
Production animale	<ul style="list-style-type: none"> - 60 % du cheptel constitué d'ovins 	<ul style="list-style-type: none"> - Surcharge animale de l'ordre de 55%. 	

Tableau N : 20 - La situation socio-économique de la région de Souk-Ahras. (BNEDER, 2007).

Chapitre III : Matériels et méthodes

3.1. La démarche cartographique :

Nous avons suivi le protocole suivant pour distinguer et identifier la relation entre le sol et la végétation de la forêt d'Ouled Bechih Souk-Ahras ; ce protocole est présenté dans les démarches suivantes :

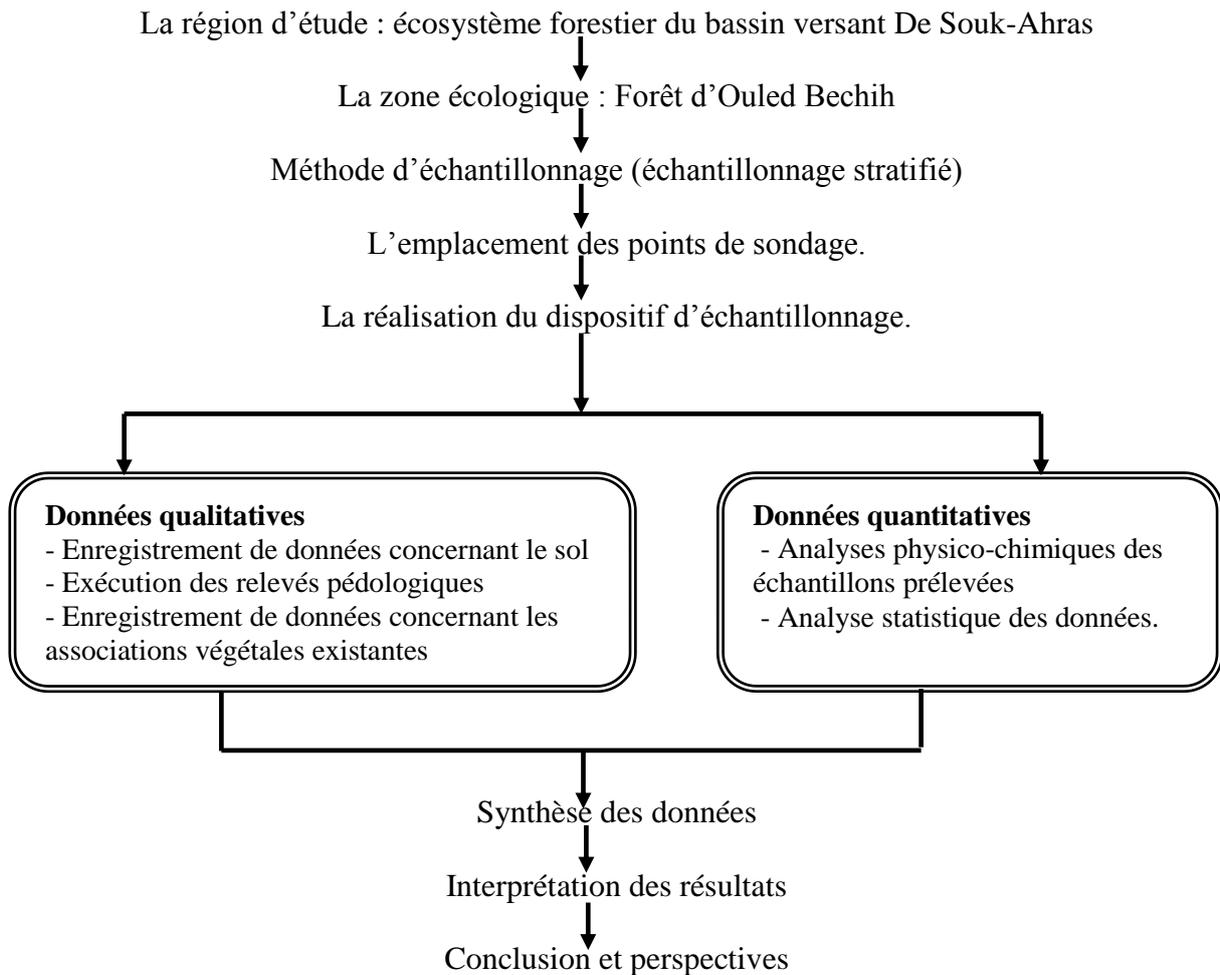


Fig.17: Démarche méthodologique expérimentale

3.1.1. Plan de prospection :

La carte topographique de la région de Souk-Ahras représente la base de notre travail ; Notre zone d'étude est limitée par la présence de formation forestière (forêt d'Ouled Bechih). Cette partie de la région a été divisée selon un quadrillage de 1km de côté, nous avons comptabilisé 180 carrées, qui couvrent l'ensemble des situations géomorphologiques et de

végétation. La présence de formation forestière a permis de retenir 06 carrés représentatifs de la zone en question.

Dans chaque carré, nous avons réalisé un profil pédologique de la surface à la roche mère qui a fait l'objet d'une description morphologique et d'un prélèvement d'échantillon de sol pour la caractérisation physico-chimique.

3.1.2. Description morphologique (fiche de description) :

La description morphologique des sols a été réalisée en utilisant le modèle suivant :

Fiche de description d'un profil :

Coordonnées géographiques : (GPS)

La latitude N:

La longitude E :

L'altitude (m) :

Géologie :

Géomorphologie :

Végétation :

Climat :

Type d'occupation du sol :

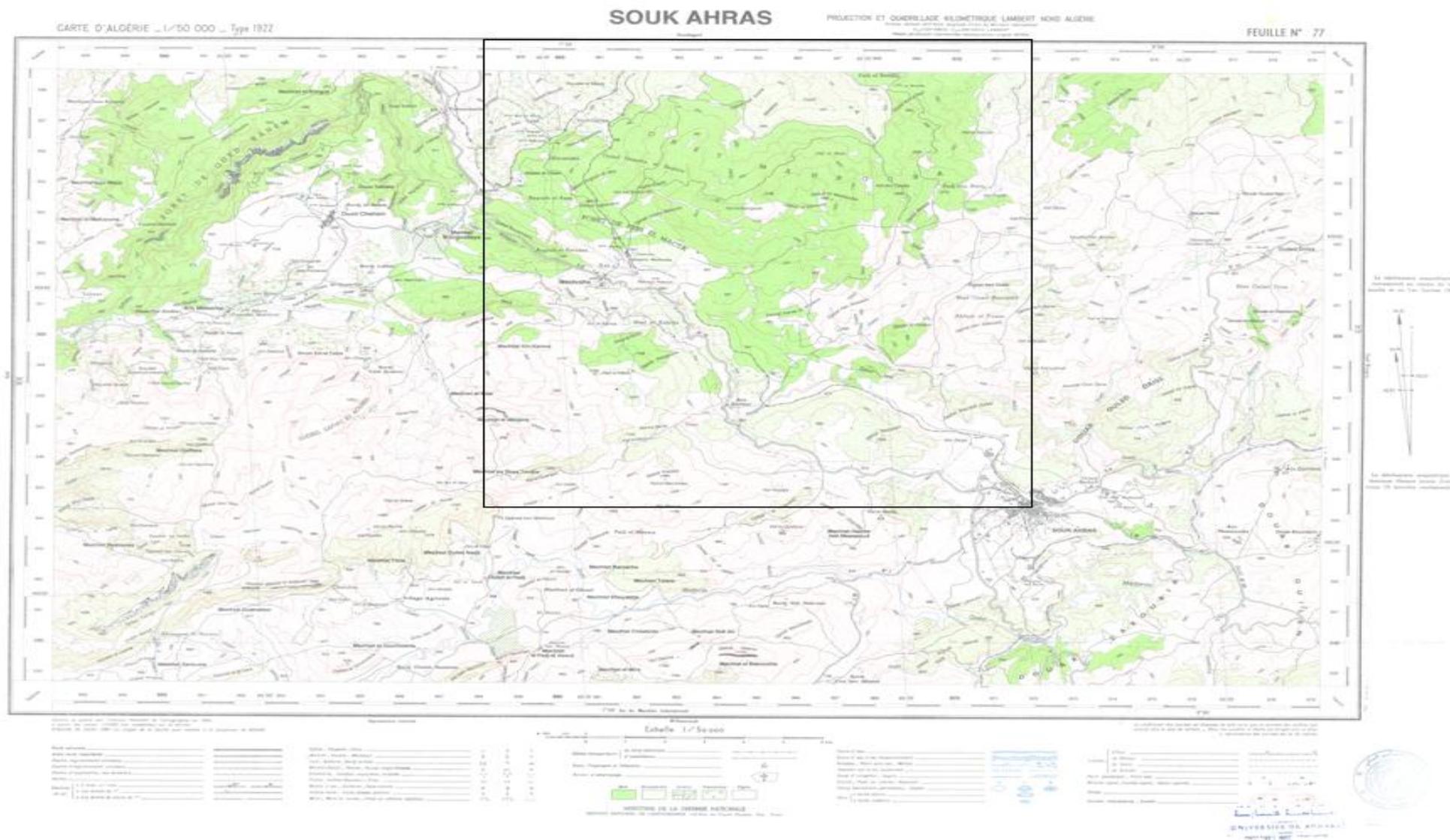
Description des horizons

Horizons	H₁	H₂	H₃	H₄
Epaisseur				
Couleur				
Humidité				
Texture				
Structure				
Teneur en MO				
Activité biologique				
Racine				
Éléments grossiers				
Transition				
Réaction à l'HCl				

3.1.3. Prélèvement des échantillons :

Pour chaque station un profil a été réalisé à l'aide d'une tarière ou bien un profil naturel, qui a fait l'objet d'une description morphologique de haut en bas (couleur, texture, structure, réaction à l'HCl,...etc.) ; seule 6 stations ont été retenues : El-Djebha, El-Mechta Salem, El-Mazraa, El-Matlague, Mechta El-HAdjajia, El-Machrouha (figure n : 16). Les six profils échantillonnés sont des profils représentatifs de la diversité des sols de la région.

Le prélèvement des échantillons de ces stations a été fait sur tout le profil, c'est-à-dire sur tous ces horizons.



69
Etude des relations sol-végétation de la chênaie d'Ouled Bechih (Souk-Ahras), « dynamique de la matière organique ».

Fig. 16 - La carte de répartition des stations étudiées

3.2. Au laboratoire :

3.2.1 Préparation du sol :

Les échantillons ramenée au laboratoire sont séchés à l'aire libre pendant quelques jours, puis la grande partie à été broyée et tamisée à 2mm.

3.2.2 Méthode d'analyse physico-chimique :

- Sur la fraction broyée et tamisée ont été effectuées les déterminations suivantes :
 - ⊕ Le pH eau, pH KCl.
 - ⊕ La conductivité électrique.
 - ⊕ L'humidité.
 - ⊕ La matière organique.
 - ⊕ Le carbone organique.
 - ⊕ L'azote total.
 - ⊕ La densité réelle.
 - ⊕ La granulométrie.
 - ⊕ Les bases échangeables.
 - ⊕ La capacité d'échange cationique.
 - ⊕ Le fractionnement de la matière organique.
- Sur la fraction non traitée, on n'a effectué qu'une seule analyse : la densité apparente.

3.2.3. Les analyses physico-chimiques :

L'analyse des échantillons récoltés nous donnera des renseignements importants sur le sol. Voici une brève description des principaux paramètres appartient d'une analyse de sol.

3.2.3.1. Le pH :

Par définition, il est l'unité de mesure de la concentration en ions hydrogènes, permettant d'évaluer l'acidité ou la basicité d'un milieu. Il existe plusieurs méthodes de mesure du pH (pHeau, pHKCl). (Dajoz, 1985).

3.2.3.1.1. Le pH eau :

C'est la mesure de l'acidité d'une suspension de terre dans de l'eau, avec un rapport terre/eau normalisé (1/5). Il indique aussi la concentration en ions « H⁺ » présente dans l'eau. (Morel, 1986). La lecture du pH se fait sur le pH mètre lorsque l'aiguille est stabilisée et après un repos au moins d'une heure de la suspension. (Ben Amara, 2007).

3.2.3.1.2. Le pH KCl :

Il exprime l'acidité d'échange ou l'acidité potentielle. C'est un indice d'expression des degrés de saturation du complexe adsorbant, ainsi que la nature chimique des ions fixés. Dans notre étude, nous avons mesurés l'acidité d'une suspension de chlorure de potassium (KCl 1N), avec un rapport terre /solution normalisé. (Delcour, 1981).

3.2.3.2. La conductivité (C.E) :

La conductivité électrique s'effectue de la même manière que le pH eau (du sol sol/eau), mais par le conductimètre à la place du pH mètre. (Samai, 2007).

-Mode opératoire : Il s'agit d'obtenir à partir d'un échantillon de sol une solution de pâte saturée en eau distillée, soit le rapport sol/eau constant (1/5 ou 1/10).

- Calibrer le conductimètre,
- Introduire la cellule de conductivité au centre du récipient de la solution du sol les deux électrodes doit être bien émergées dans la solution,
- Lire la conductivité,
- Mesurer la température de la solution,
- Laver la cellule avec de l'eau distillée. (Samai, 2009).

3.2.3.3. L'humidité hygroscopique (H) :

L'humidité hygroscopique représente la quantité d'eau que peut retenir un sol soumis aux conditions d'assèchement naturelles.

C'est la quantité d'eau retenue à la surface externe des particules du sol et en équilibre avec la pression et l'humidité atmosphérique.

L'évaluation de l'humidité hygroscopique passe par un séchage du sol à l'air libre puis un séchage à l'étuve pendant 24h à 105°C°. (Benslama, 2005).

3.2.3.4. La matière organique (MO):

Réalisé par incinération du sol après passage au four à moufle à 480°C pendant 24h, elle est exprimée en pourcentage du poids sec de la terre. (Benslama-Zanache, 1998).

Selon Lambert (1975) on peut distinguer quatre classes d'abondance de la matière organique résumées dans le tableau suivant : (Tableau N : 22).

Classes	Taux de matière organique	Qualification
1	<1	Très pauvre
2	1 à 2	Pauvre
3	2 à 4	Moyenne
4	>4	Riche

Tableau : 22 – Classes d’abondance de la matière organique. (Lambert, 1975)

3.2.3.5 . Dosage du carbone organique : (Méthode Anne)

On a dosé le carbone organique selon Anne le protocole est le suivant :

- Dans un ballon de Pyrex Peser 0.25 à 1g de sol broyé, soit P₀ g (teneurs en c<30 mg)
- Attaque oxydante : verser dans un ballon de 100 à 150 ml avec 10 ml de solution aqueuse de bichromate de potassium à 8% et 15 ml H₂SO₄ pur .porter à ébullition lente.
- Le ballon est relié à un réfrigérant ascendant .compter le temps à partir de la première goutte condensée, laisser 5mm à ébullition.
- Refroidir, transvaser dans une fiole de 100ml. Ajuster avec les eaux de rinçage.
- Prélever 20 ml (V) et verser dans un bécher de 400 ml. Diluer à 200ml. Ajouter 1,5g de Naf pour rendre le virage plus visible. Verser 3à4 gouttes de diphénylamine
- Titrer avec une solution de sel de mohr 0,2 N.

La liqueur primitive, brun-noirâtre ou violette vire au vert. Virage très sensible.

Soit X ml la chute de burette, et Y ml pour un essai témoin, sans sol, ou avec sable calciné.

1ml de solution de mohr 0,2 N correspond à 0,615 mg de carbone C .partant d’une prise d’essai P₀ g et d’une aliquote Vml /100, on’ a :

$$C\% = 6,15 \frac{Y - X}{V \cdot P_0} \quad (P_0 \text{ en grammes})$$

Préparation de la diphénylamine et du sel de mohr 0,2 N :

- Dissoudre 0,5 g de diphénylamine dans 100 ml de H₂SO₄ concentré et verser cette liqueur sur 20 ml d’eau.
- Dissoudre 78,5 g de sel de mohr (sulfate double d’ammonium et fer ferreux) dans 500 ml d’eau distillée bouillir et refroidie à l’abri de l’air, contenant 20 ml

H₂SO₄. Compléter à 1 litre et conserver dans un flacon brun. (Bonneau et Souchier, 1994).

Méthode Anne modifiée pour des horizons riches en C :

- A une prise réduite d'échantillon (P0 < 500mg)

Ajouter 20 ml d'eau et 3,2 g de bichromate.

Dissoudre en chauffant légèrement. Compléter avec 30 ml H₂SO₄ concentré –poursuivre selon le protocole précédent.

3.2.3.6. Dosage de l'azote total : (Méthode Kjeldahl)

Mode opératoire :

- A une prise P0, 1 à 5g de sol broyé, déposée dans un matras Kjeldahl de 250 ml ajouté 10 à 20 ml de H₂SO₄ cc, environ 36 N, et une pincée de mélange catalyseur (décrit ci dessous)
- Minéralisation : attaquer sous la hotte d'abord doucement puis à ébullition on (avec un entonnoir dans le col du ballon).poursuivre l'attaque pendant une heure après la décoloration .couleur verdâtre
- Laisser refroidir, puis ajouter 20 à 50 ml d'eau. Recueillir sur filtre dans une fiole jaugée de 100 ml. Ajuster avec les eaux de rinçage <<soit le volume total V₀.
- Introduire une aliquote V ml (20 ml) et 10 ml de lessive de soude environ 12 N, dans un appareil parnas et wagner .observation du précipité Cu(OH)₂
- Distiller NH₃ par entrainement à la vapeur à 100 °C et doser NH₄OH condensée, en présence de quelques gouttes de rouge de méthyle avec H₂ SO₄
- 0,1 N .1ml H₂ SO₄ 0,1 N correspond à 1,4 mg de N .On peut aussi faire un dosage, en retour, en ajoutant un excès d'acide sulfurique, dosé ensuite par de la sonde NaOH 0,1 N(x ml)
- faire un témoin dans les mêmes conditions (y ml).

Calcul :

$$N^0\% = 1,4 \frac{V_0}{P_0 \cdot V} (y - x) \quad (p_0 \text{ en gramme})$$

Préparation du mélange catalyseur :

Mélanger les produits dans les proportions suivantes :

5g de K₂ SO₄, 5g de CU SO₄ , 0,25 g de sélénium.

Certains catalyseurs sont commercialisés (sans sélénium). (Bonneau et Souchier , 1994).

3.2.3.7 La porosité :

La détermination de la porosité totale de petit agrégat de terre, secs conduit à l'évaluation de la porosité texturale ou l'estimation de la porosité minimale d'assemblage. (Barriuso, Andreux, Portal, 1990).

3.2.3.8 La densité apparente (D_A):

Sachant que la densité apparente des sols varie entre $1,00 \text{ g/cm}^3$ et $1,80 \text{ g/cm}^3$. (Kaurichev, 1980 in Boudjemaa, 2007). Elle représente la masse totale de l'agrégat/volume totale de l'agrégat ; La « D_A » indique l'état ou la condition du sol, elle diminue avec la teneur du sol en humus. (Duthil, 1970 in Boudjemaa, 2007).

3.2.3.9 La densité réelle (D_R):

Elle exprime la densité des éléments constituant la phase solide du sol, la « D_R » représente la masse du solide / le volume du solide, elle est généralement entre $2,5 \text{ g/cm}^3$ et $2,6 \text{ g/cm}^3$. (Morel, 1989).

3.2.3.10 La granulométrie :

L'analyse granulométrique d'un sol, consiste à déterminer la proportion des diverses classes de grosseur des particules. On sépare par les analyses de sol, les particules en trois classes distinctes : soit sable (de 2 à 0,05 mm), le limon (de 0,05 à 0,02 mm) et l'argile (inférieure à 0,02 mm). (Damay et Julien, 1995). Cela nous permet de connaître certaines caractéristiques du sol, comme la capacité des racines à y pénétrer, la capacité du sol à retenir l'eau, ou sa vulnérabilité à la compaction. (Calvet, 2003) ; Et donc la granulométrie est effectuée selon la méthode internationale, (par l'emploi de la pipette de Robinson)

Mode opératoire :

1) Destruction de la matière organique :

- Dans un bêcher de 600ml et de forme haute, mettre 10g ou 20g de terre fine séchée à l'air et tamisée au travers de mailles carrées de 2mm de côté (10g pour une terre argileuse, 20g pour une terre sableuse).
- On verse dans le bêcher 50ml d'eau oxygénée à 20 volumes davantage pour une teneur élevée en matière organique.

- On recouvre le bêcher d'un verre de montre afin d'éviter des projections en dehors du bêcher pendant la période d'effervescence.
 - On met le bêcher sur le bain de sable dont la température ne doit pas dépasser 85°C. Si une ébullition trop forte se manifestait, l'eau oxygénée se décomposerait trop rapidement.
 - Si la terre est humifère, l'effervescence peut produire une mousse abondante risquant de déborder. Pour éviter cela, on fait descendre la mousse en ajoutant quelques gouttes d'alcool éthylique.
 - Si une certaine effervescence se prolonge on ajoute de temps en temps et par petites quantités de l'eau oxygénée à 110 volumes.
 - La durée de l'attaque dépend de la teneur en matière organique (24h à 48h).
 - Après la fin de l'effervescence, on chauffe encore 2 heures environ pour éliminer H_2O_2 en excès et terminer par 10mn d'ébullition. (On peut accélérer l'élimination de l'excès d'eau oxygénée en ajoutant quelques gouttes d'ammoniaque).
- On assure que toute l'eau oxygénée a disparue en versant quelques gouttes du liquide chaud (60°) dans une solution étendue de permanganate de potassium. En présence d'eau oxygénée, le permanganate de potassium se décolore.
- On laisse refroidir le bêcher, puis on transvase à l'aide d'un jet de pissette, son contenu dans un flacon de sédimentation jauger à 1000ml.
 - On verse dans le flacon, 10ml d'hexamétophosphate de sodium (100g par litre). Cette solution alcaline a pour rôle de disperser les particules qui ont tendance à s'agglomérer.
 - On complète avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge (1000ml).
 - On agite le flacon durant 1heure au moins, sur l'agitateur mécanique.
 - On porte le flacon à proximité de la pipette de Robinson qui doit être placée dans une pièce de température constante.

2) Prélèvement des fractions argileuses et limoneuses

a) Prélèvement des argiles, des limons fins et des limons grossiers (particules inférieures à 50 microns).

- On met le flacon dans un récipient contenant de l'eau maintenue à 20°C.
- On agite à l'aide d'un thermomètre indiquée est égale à 20°C, sortir le flacon, l'agiter immédiatement et violement par retournement répéter de manière à mettre en suspension toute la terre.
- On pose très rapidement le flacon sous la pipette de Robinson,

- On laisse décanter le contenu du flacon durant 46 secondes à 20°,
- On prélève au bout de 46 seconds et à 10cm de profondeur, 10ml de liquide,
- On transvase les 10ml et l'eau de rinçage dans une capsule en verre de pyrex ou en porcelaine d'une contenance de 30ml et préalablement tarée,
- On porte la capsule dans une étuve à dessiccation ou sur un bain de sable dont la température est maintenue à 105°C pour éviter toute ébullition et toute perte de sédiments par projection,
- Après évaporation totale, on pèse la capsule et son contenu sec,

Etant donné que la prise d'essai à une quantité de terre fine séchée à l'air, il est indispensable de laisser les capsules après passage dans l'étuve à dessiccation ou sur le bain de sable, en contact avec l'atmosphère de la salle de travail durant un certain temps, Ceci afin que les sédiments se réhydratent et se mettent en équilibre hydrique avec l'atmosphère du laboratoire.

- Par différence avec le poids de la capsule vide, déterminer le poids « palh » de sédiment (argile+limon fin+limon grossier+hexamétaphosphate) contenu dans 10ml de suspension.

b) Prélèvement des argiles et des limons fins (particules inférieures à 20 microns)

- On opère comme précédemment (il n'est pas nécessaire de maintenir la température du liquide à 20° C),
- Après agitation violente et par retournement du liquide, on laisse décanter durant 4mn 48 secondes si la température est de 20° C,
- On effectue le prélèvement de 10ml à une profondeur de 10cm

Dès que le temps de sédimentation s'est écoulé,

- On transvase le prélèvement dans une capsule en verre pyrex ou en porcelaine préalablement tarée,
- On Faire évaporer et peser la capsule avec son contenu sec,
- Par différence avec le poids de capsule, déterminer le poids « palfh » de sédiment (argile+limon fin+hexamétaphosphate) contenu dans 10ml de suspension,

c) Prélèvement de l'argile (particules inférieures à 2microns).

Après avoir agiter violement et par retournement, poser le flacon à proximité de la pipette de Robinson,

- Laisser sédimenter durant au moins 2 heures, en maintenant constante la température du liquide,
- Au bout de 6, 7 ou 8 heures, on peut effectuer le prélèvement de 10ml à une profondeur qui dépend de la température de suspension et du temps de sédimentation,

- Procéder ensuite comme précédemment, et déterminer le poids « pah » de sédiment argile + hexamétaphosphate) contenu dans 10ml de suspension,

3) Détermination de la surcharge d'hexamétaphosphate de sodium.

- Prendre un flacon jaugé à 1000 ml ou une éprouvette graduée de 1000 ml,
- Verser 1ml d'hexamétaphosphate de sodium à 10g par litre,
- Compléter avec de l'eau distillée à 1000 ml,
- Agiter, puis faire un prélèvement à la pipette de Robinson comme précédemment,
- Transvaser le prélèvement dans une capsule en verre pyrex ou en porcelaine préalablement tarée,
- Faire évaporer puis peser la capsule et son contenu sec,
- Déterminer comme précédemment le poids « ph » correspondant à la surcharge en hexamétaphosphate contenu dans 10ml de suspension,

4) Calcul des quantités d'argile, de limon fin et de limon grossier.

Le poids d'argiles « pa » contenu dans 10ml de suspension est égal à pah-ph.

Le poids de limon fin « plf » contenu dans 10ml de suspension est égal à palfh-pah.

Le poids de limon grossier « plg » contenu dans 10ml de suspension est égal à palh-palhf.

Connaissant ainsi les poids pa, plf, plg, on peut calculer les poids d'argile, de limon fin et de limon grossier contenu dans 1000ml de suspension, c'est-à-dire dans la prise d'essai de terre.

Les résultats sont ensuite exprimés en pourcentage.

5) Fractionnement des sables

- Superposer les tamis 200 microns et 50 microns.
- Faire passer le contenu du flacon sur le tamis 200 microns, à l'aide d'un petit jet d'eau.
- Faire couler sur les 2 tamis superposés de l'eau afin d'éliminer les particules inférieures à 50 microns.
- A l'aide d'un jet de pissette contenant de l'eau distillée terminer le rinçage des sédiments tout en recueillant les sables fins et les sables grossiers, séparément dans 2 capsules préalablement tarées.
- Eliminer la majeure partie de l'eau recueillie dans les capsules,
- Porter les capsules à l'étuve ou sur le bain de sable,
- Après évaporation totale peser les capsules et leur contenu sec,
- Par différence avec les poids des capsules vides, déterminer les poids de sables fins et de sables grossiers contenus dans la prise d'essai,

- Exprimer les résultats en %. (Lahwel, 2009).

Les principales classes texturales : selon le triangle textural de l'U.S.D.A

Pour définir la texture de la fraction de terre fine, on s'est servi du diagramme triangulaire représenté ci-dessous (Figure N : 18).

La méthode du triangle textural se fonde sur la classification granulométrique de l'USDA, qui répartit les particules de la façon suivante :

- ⊕ Le limon regroupe toutes les particules dont le calibre est compris entre 0,002 et 0,05 mm.
- ⊕ L'argile comprend toute les particules dont le calibre est inférieur à 0,002 mm. (Bonneau et Souchier, 1994).

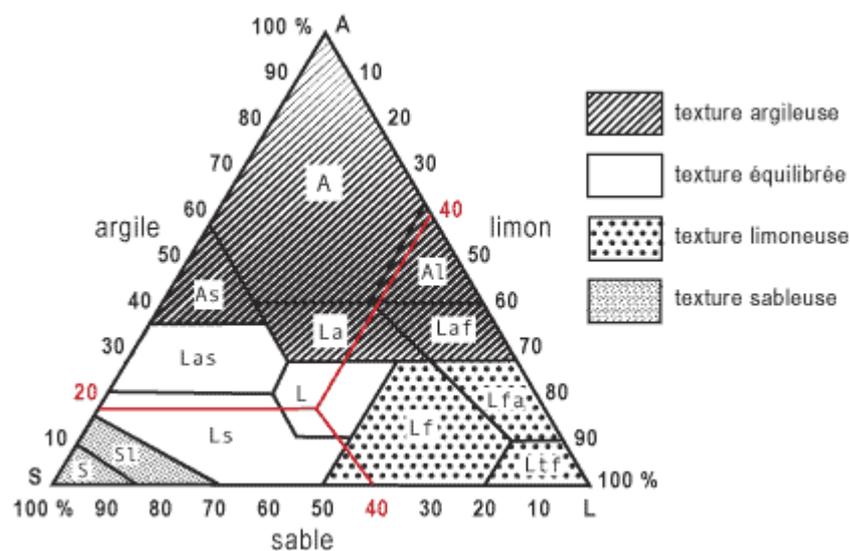


Fig. 18 - le triangle texturale. (Anonyme : 05).

La légende

A : argileux	L : limoneux
As : argilo-sableux	Ls : limono-sableux
Al : argilo-limoneux	Lfa : limoneux fins argileux
La : limono-argileux	Lf : limoneux fins
Laf : limono-argileux fins	Ltf : limoneux très fins
Las : Limono-argileux sableux	Sl : sablo-limoneux
	S : sableux

3.2.3.11. Extraction et fractionnement des matières humiques du sol

Description de la technique : Selon Duchufour et Jacquin, (1966) :

Etape 1

10 g de sol est mis en suspension avec 30 ml de HCl 1M dans un tube à centrifuger jusqu'à pH 1. Ceci permet la précipitation des acides humiques AH (insoluble à pH acide). La suspension est secouée sur un agitateur pendant 1 heure, en suite centrifugé à une vitesse (2800 tours/min) pendant 30 minutes pour enlever le surnageant (S1) qui contient les acides fulviques (FA). Le résidu (R1) est solubilisé de nouveau avec 30 ml de HCl 1M à pH 1. Ce procédé est répétée trois fois pour chaque réplica pour donner trois surnageant, qui sont mis en commun et seront analysés pour le carbone organique associé aux fulviques plus humines.

Etape 2

Le résidu (R1) est mis en suspension avec 15 ml de NaOH 1M et 15 ml de NaOH 0,1M jusqu'à pH 13. Le milieu alcalin permet l'entraînement en suspension des acides humiques (AH) et des acides fulviques (AF) n'ayant pas été extraits lors de l'étape 1. La suspension est agitée pendant 3 heures sous atmosphère d'azote et centrifugée avec une vitesse (2800 tours/min) pendant 30 minutes. Le résidu (R2) est récupéré séché à l'étuve à une température $<60^{\circ}\text{C}$ pendant quelques minutes et sera analysé pour la détermination de carbone lié aux humines. Le surnageant est acidifié jusqu'à pH 1 avec 20 ml de HCl 6M. Cette opération permet de la précipitation des acides humiques AH alors que la fraction fulvique reste en solution. Cette étape est répétée deux fois. Le surnageant (S2) est récupéré par centrifugation à une vitesse (2800 tours/min). Cette dernière opération est répétée trois fois pour donner trois surnageant (S2) qui seront mis en commun. Le résidu (R3) contenant les acides humiques AH est alors dissous avec 25 ml de NaOH 1M sous atmosphère d'azote. (Figure : 19).

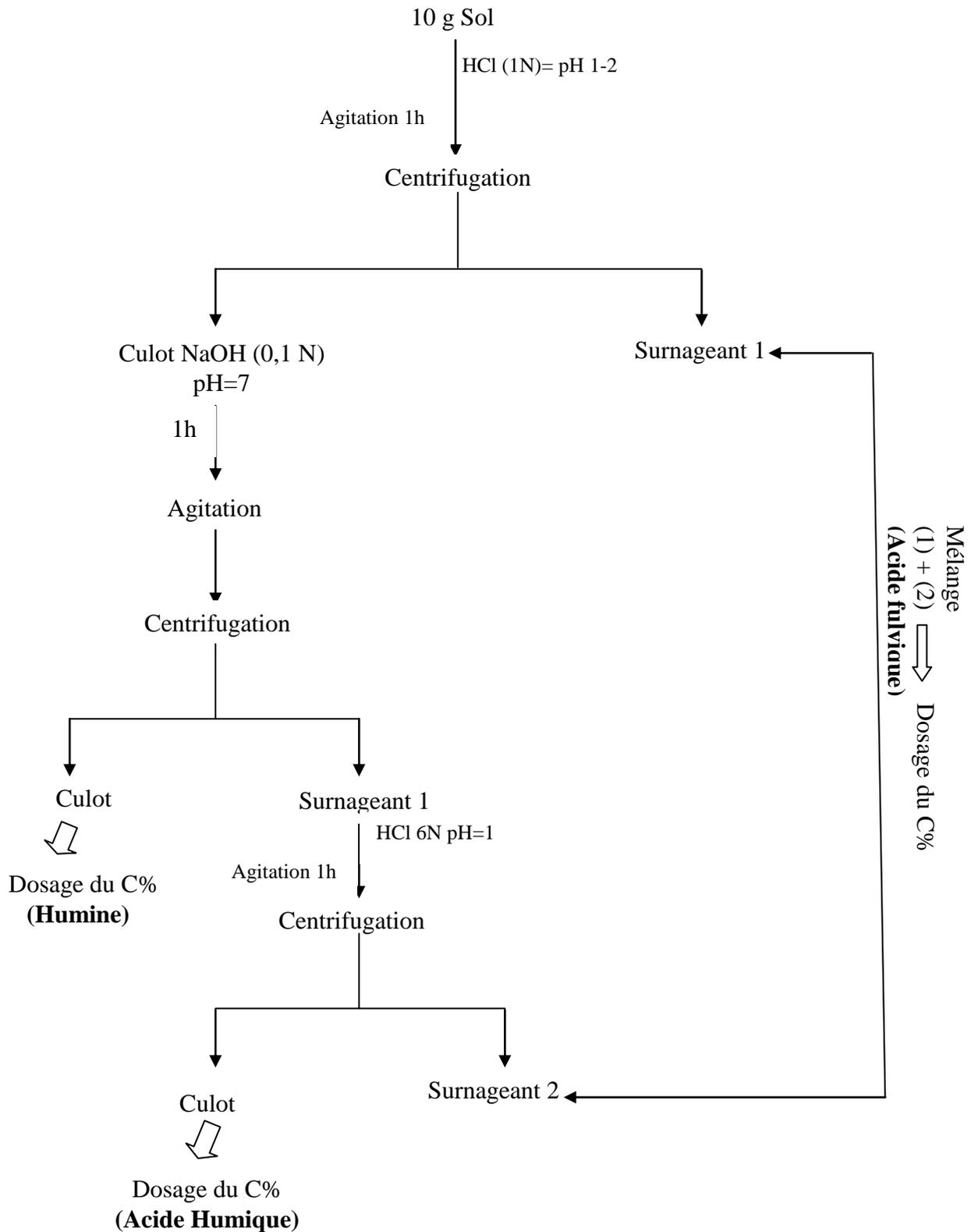


Fig.19 Fractionnement de la matière organique
Selon Duchaufour et Jacquin, (1966)

Les bases échangeables et la capacité d'échange cationique sont réalisées au laboratoire de FERTIAL SPA (société des fertilisants d'Algérie).

Les bases échangeables : Ca
K
Na
Mg
P

} Extraction par l'acétate d'ammonium

3.3. Les analyses statistiques :

Les données sont représentées par la moyenne plus ou moins l'écart type établie sur un effectif précisés dans les tableaux. Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel MINITAB version 16.11 Fr.

Les résultats obtenus pour chaque station ont subi une analyse Anova à un seul critère de classification suivie du test de Tukey pour comparer entre les horizons pour la granulométrie, les paramètres physico-chimiques et le fractionnement de la matière organique du sol.

Chapitre IV : Résultats et discussions

4. Caractérisations morpho-analytiques des sols :

4.1. Description morpho-analytique des profils :

Les fiches ci-dessous représentent les descriptions morphologiques des stations d'étude dans la forêt d'Ouled Bechih (Souk-Ahras), sélectionnées aléatoirement sur un fond topographique, illustrées par quelques photos des profils prises lors des sorties effectuées.

4.1.1. Station : 01 - El-Djebha (Profil N : 01)

4.1.1.1. Description morphologique :

Fiche de description N : 01

Numéro de station: 01 – El-Djebha.

La date:23/03/2013

Position géographique: N : 36° 21. 325', E : 007° 52. 301', Z : 856m.

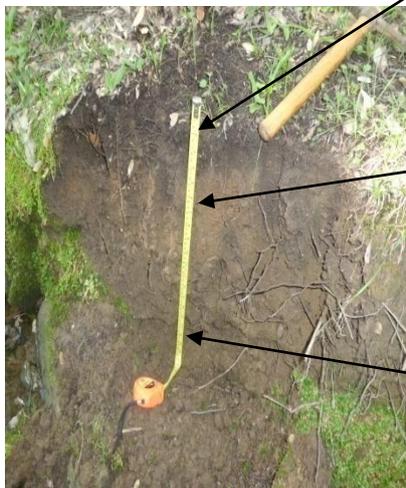
La géologie: grés de Numidie.

La géomorphologie: pente orientation sud.

La végétation: chêne liège (*Quercus suber*), bruyère arborescente (*Erica arborea*), ronce à feuilles d'orme (*Rubus ulmifolius*), l'aubépine (*Crataegus monogyna*), Asphodèle (*Asphodelus microcarpus*), présence d'une couche de litière d'épaisseur de 1 cm à base de feuilles de chêne liège.

Le climat: une journée ensoleillée.

Description du profil N : 01



0-08cm: couleur noir sombre (10YR2/1) (blak), horizon organique, présence de racines fines, texture sableuse, structure particulière. Pas de réaction à l'HCl.

08-30cm: couleur gris marron (7,5YR6/0) (gray), présence de racines fines, texture sableuse, structure particulière fine. Pas de réaction à l'HCl.

30-50cm: couleur marron (10YR5/2) (grayishbrown), texture sableuse, structure particulière, présence de beaucoup de racines, présence de graviers, pas de réaction à l'HCL.

4.1.1.2. Résultats analytiques:

Param Horiz	Prof (cm)	La granulométrie %					pH eau	pH KCl	C.E $\mu\text{s}/\text{cm}$	H %	MO %	Tx Cend %	D_R g/cm^3	D_A g/cm^3	Poro %	C%	K meq/g	Na meq/g	Mg meq/g	Ca meq/g	P meq/g	NH_4^+ meq/l	N Total %
		Ar	LF	LG	SF	SG																	
S ₁ P ₁ H ₁	0-08	01,30	19,07	14,68	26,33	38,62	6,64	5.39	78.9	3,66	23,22	76,78	4.23	1.84	57	1.62	0,056	0,014	0.236	0.319	0,027	3,40	0.0516
S ₁ P ₁ H ₂	08-30	21,31	15,90	06,08	35,22	21,49	5,95	3.69	28.7	1,86	7,61	92,39	4.27	1.99	54	0.73	0,028	0,007	0.175	0.812	0,02	3.50	0.014
S ₁ P ₁ H ₃	30-50	29,26	10,01	08,37	19,82	32,54	6,92	4.55	17.1	4,33	7,18	92,89	5.61	1.67	71	0.36	0,029	0,010	0.02	0.952	0,05	6,20	0.0088

4.1.1.3. Interprétation:

L'analyse granulométrique des différents horizons de ce profil (tableau ci-dessus); fait ressortir la dominance des sables dans tous les sols avec des valeurs qui dépassent 52%, avec la présence d'un mélange d'argile et de limon avec des valeurs moins de 48%; ces valeurs permettent de déterminer une texture sableuse. (Figure : 20-A).

La caractérisation physico-chimique montre que nous sommes en présence d'un sol faiblement acide en surface et il devient moyennement acide au milieu, et proche de la neutralité en profondeur. (Figure : 20-B).

L'évolution du pH KCl confirme le caractère acide, et montre que le complexe adsorbant est désaturé.

L'évaluation de la conductivité électrique nous indique que le sol est non salé (figure : 20-C). Selon (Duchaufour, 1983) ; la conductivité électrique est proportionnelle à la quantité des sels ionisables, elle constitue un bon indicateur du degré de minéralisation de la solution du sol.

L'humidité hygroscopique est faible dans tout le profil ceci est lié aux caractéristiques physiques du sol qui retiennent qu'une faible quantité d'eau lorsqu'il est soumis aux conditions d'assèchement naturelles. (Figure : 20-D).

L'analyse de la matière organique donne une valeur importante en surface qui diminue brutalement dans les couches profondes du profil. Ceci traduit une forte minéralisation liée à une intense activité biologique en surface et une faible migration de la matière organique vers les horizons de profondeur. (Figure : 20-E).

L'évaluation de taux de cendre confirme le caractère minéral des sols surtout en profondeur. (Figure : 20-F).

La relation densité apparente densité réelle définit la porosité du sol, Cette dernière est importante tous le long du profil, et cela est sous l'effet de l'activité biologique en surface et la composition granulométrique sableuse en profondeur. (Figure : 20-G).

Les sols ayant une teneur en carbone inférieur à 2 % se sont des sols pauvres en matière organique (c'est le cas de ce profil), (figure : 20-H). Ils sont soit caractérisés par un faible apport ou par une forte activité biologique. C'est dans ces sols que le processus de minéralisation domine. La totalité de la matière organique est intégrée dans le sol.

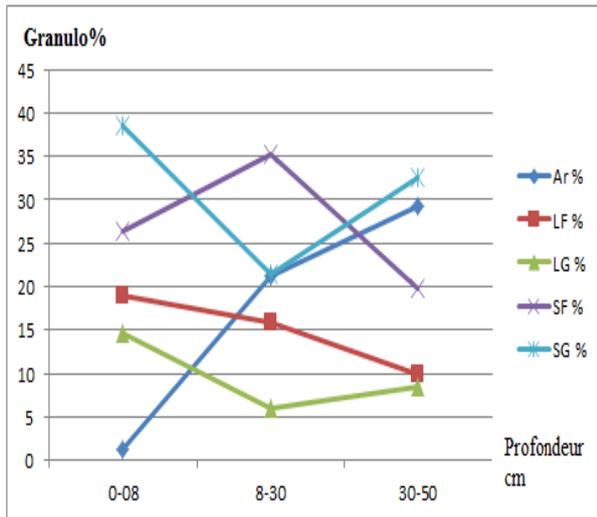
L'analyse de l'azote total varie entre 0.0516 et 0.0088 montre une diminution importante dans tous le long du profil (figure : 20-I). , cette dernier peut être liée à des facteurs tel que la nature du couverture végétal, l'érosion, l'immobilisation par les micro-organismes, l'assimilation par les plantes. (Collins, 2015).

Le rapport C/N est un indicateur de l'activité biologique des sols, Il renseigne sur le degré d'évolution de la matière organique, l'activité biologique, et le potentiel de fourniture d'azote par le sol (minéralisation). Le rapport C/N est supérieur à 31 dans tout le profil; D'après LCA, 2008 : ce rapport est très élevé donc ces horizons ont une activité biologique réduite, avec une décomposition lente de la matière organique.

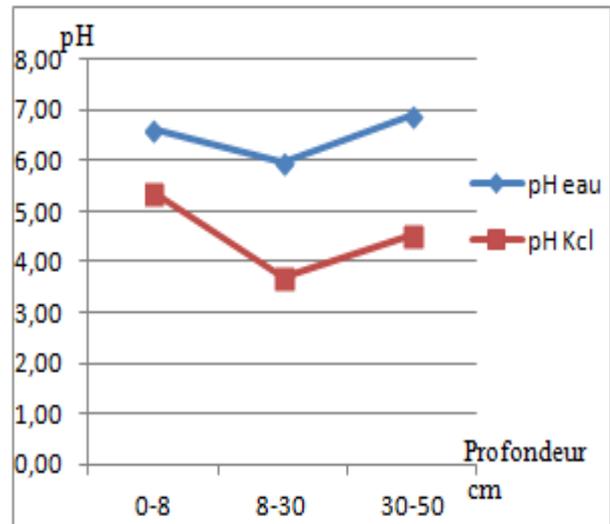
Le rapport C/N n'est pas suffisant pour apprécier la diversité des MO et le fonctionnement biologique du sol. Il existe d'autres mesures complémentaires de fertilité biologique du sol : le fractionnement des MO du sol. (Salducci, 2011)

Les analyses des bases échangeables K, Na, Ca, et P donne des faibles valeurs et qui diminuent avec la profondeur, (Figure : 20-J).

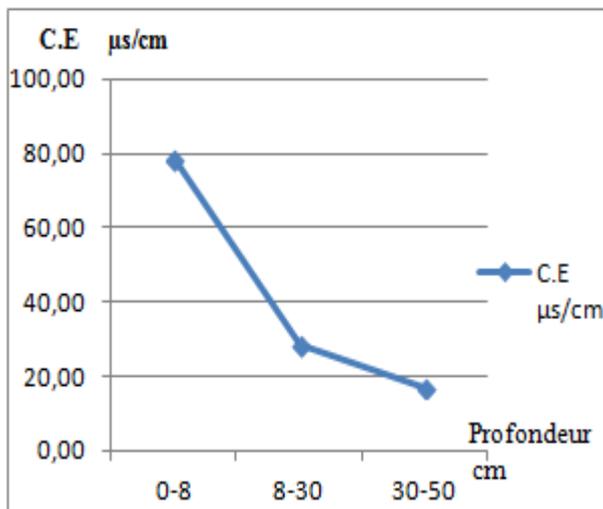
Pour l'analyse de l' NH_4^+ , les valeurs augmente avec la profondeur, elles varient entre 3,40 et 6.20meq/l, (Figure : 20-K).



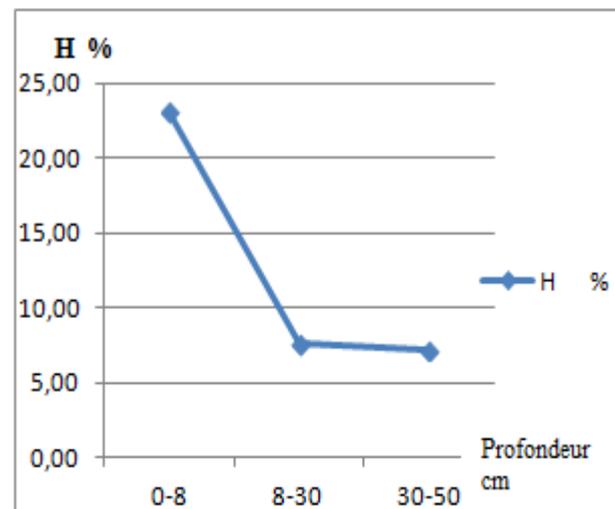
A: Granulométrie



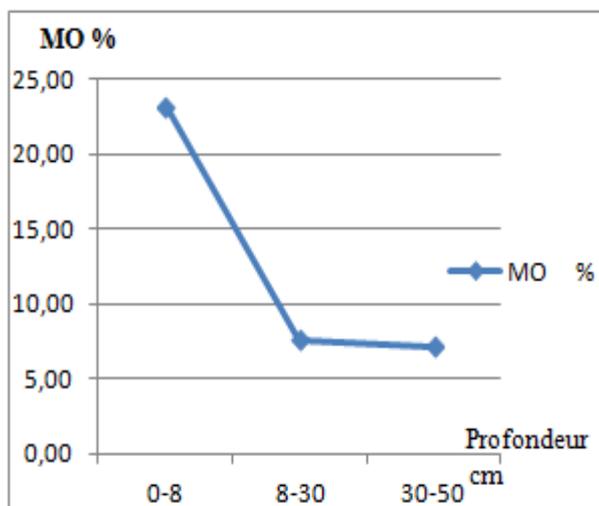
B: pHeau, pHKCl



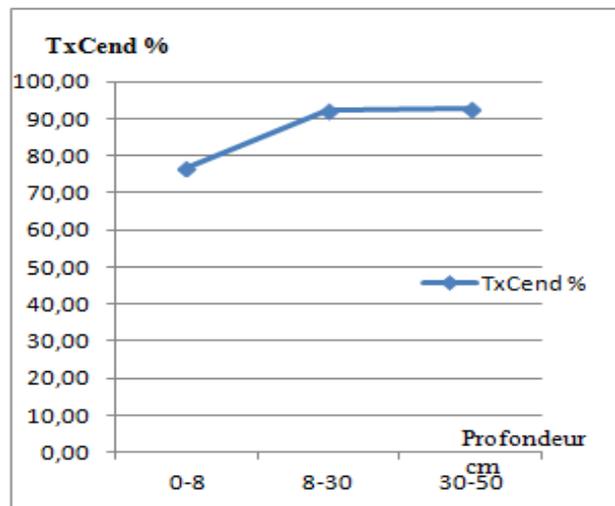
C: Conductivité



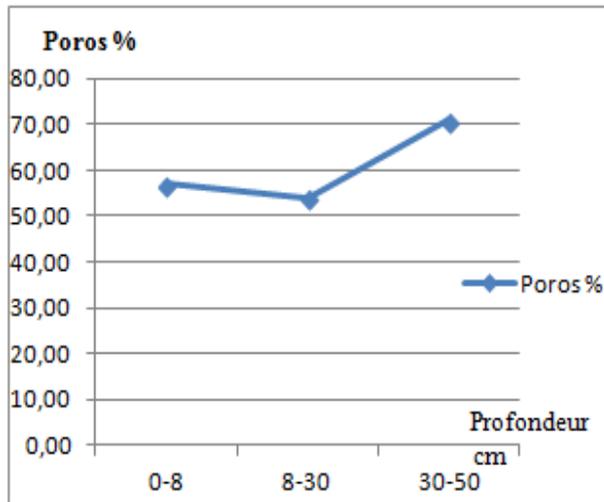
D: Humidité



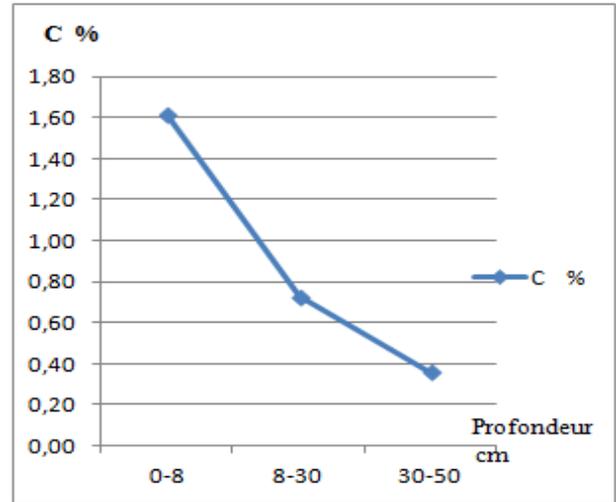
E: Matière organique



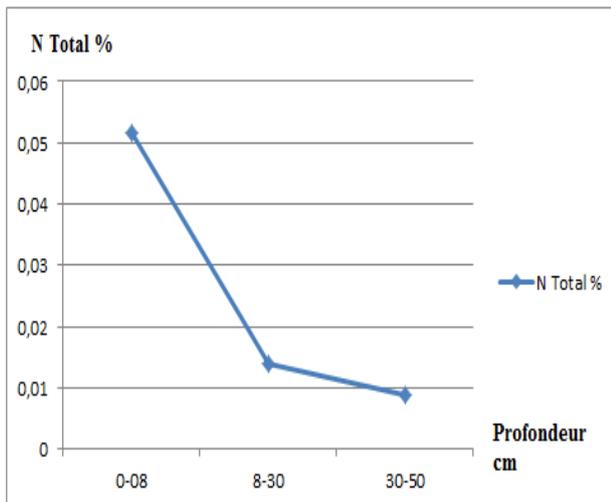
F: Taux d'incinération



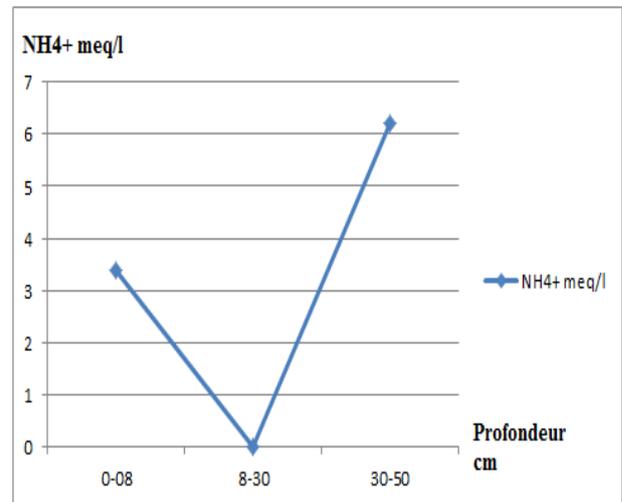
G: Porosité



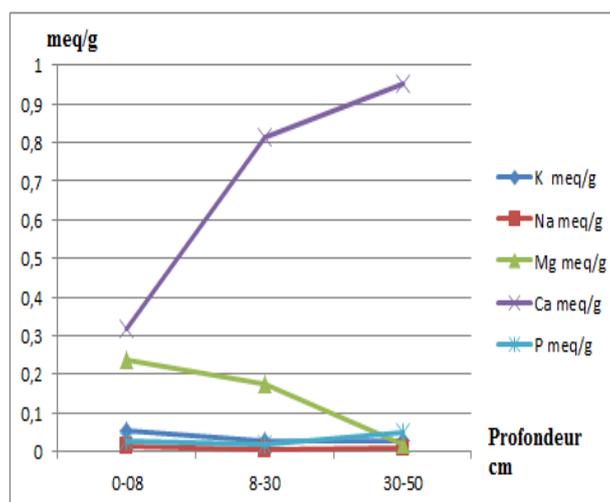
H: Carbone organique



I: Azote total



J : Bases échangeables



K: Ammonium

Fig. 20 - Profil 1- El-Djebha.

4.1.1.4. Le fractionnement de la matière organique du sol de la forêt d'Ouled Bechih:

Le fractionnement de la matière organique du sol est réalisé pour apprécier les caractères instantanés de celle-ci, mais aussi pour compéter la définition des caractères évolutifs et dynamiques des fractions organiques des profils étudiés.

La matière organique toujours en évolution et en dynamique dans les conditions favorables. Le sol hérite une fraction organique faiblement humifiée mais directement incorporée au milieu minéral (Souchier, 1971,1984 ; Duchaufour, 1988).

Les composés solubles sont soumis à une biodégradation active dans certains horizons, 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 directe s'exprime par une insolubilisation des précurseurs phénoliques et abouti à la formation sur place d'un complexe argilo-humique stable, construit autour de la fraction argileuse fine. Donc pas de migration profonde de complexe organométallique. (Bruckert, 1970,1979 ; Souchier, 1971,1984 ; Vedy, 1973).

Dans les conditions défavorables, l'humification est indirecte par une évolution lente de la matière organique (Toutain, 1974, 1981,1985 ; Hetier, 1975,1979 ; Dabin, 1971).

Ce processus n'intervient de façon importante que dans les milieux où l'activité biologique minéralisatrice est ralentie par un facteur contrariant (ex : forte acidité).

Selon Selmi, 1985 ; l'étude de l'humification constitue une source d'information tout à fait remarquable. Chaque formation végétale correspond un mode d'humification qui est en équilibre optimum avec l'ensemble des facteurs du milieu (bioclimat et roche mère). (Toutain, 1974, 1984) ; (Duchaufour, 1968,1984, 1988,1989).

Donc l'humus est l'élément intégrateur des divers facteurs écologiques d'une part et joue un rôle essentiel dans la genèse des sols d'autre part en soumettant les horizons minéraux soit à une altération biochimique soit à des mouvements de matière qu'il favorise.

Dans les milieux acides la M.O joue un rôle fondamental et moteur de la pédogénèse. (Souchier, 1971,1984 ; Monrozier et al, 1983).

Le fractionnement de la matière organique des échantillons de sol a conduit aux résultats mentionnés dans le tableau suivant :

Profil	M.O.L % (matière végétale légère)	A.F % (acide fulvique)	H% (humine)	A.H% (acide Humique)	Taux d'humification %	Degré de polymérisation %
S ₁ P ₁ H ₁	1.6	4.44	92.55	1.41	98.45	0,03
S ₁ P ₁ H ₂	24.4	12.05	61.64	1.91	75.61	0,22
S ₁ P ₁ H ₃	7	22.69	69.84	0.47	93.01	0,33

Interprétation :

D'après les résultats obtenus on remarque que l'humine est le plus dominant avec une distribution hétérogène dans presque la quasi-totalité des profils. Ceci est expliqué par soit un faible apport ou forte activité biologique transformant les produits organique transitoires en humine stable, c'est dans ces sols que le processus de l'humification est le plus dominant. (Figure : 20-L).

Les résultats obtenus illustrent que les acides humiques ont un faible apport et qui présentent la fraction condensée et polymérisée des acides organiques. Les teneurs très faibles des acides fulviques indiquent une transformation lente de la matière organique car ils sont solubles dans l'eau et dans les milieux acides.

Donc on constate que la matière organique du sol sous forêt de chêne liège est toujours en évolution et en dynamique, elle subit une dégradation physique, une décomposition chimique et microbiologique sous l'effet des différents micro-organismes (bactéries, actinomycètes, champignons).

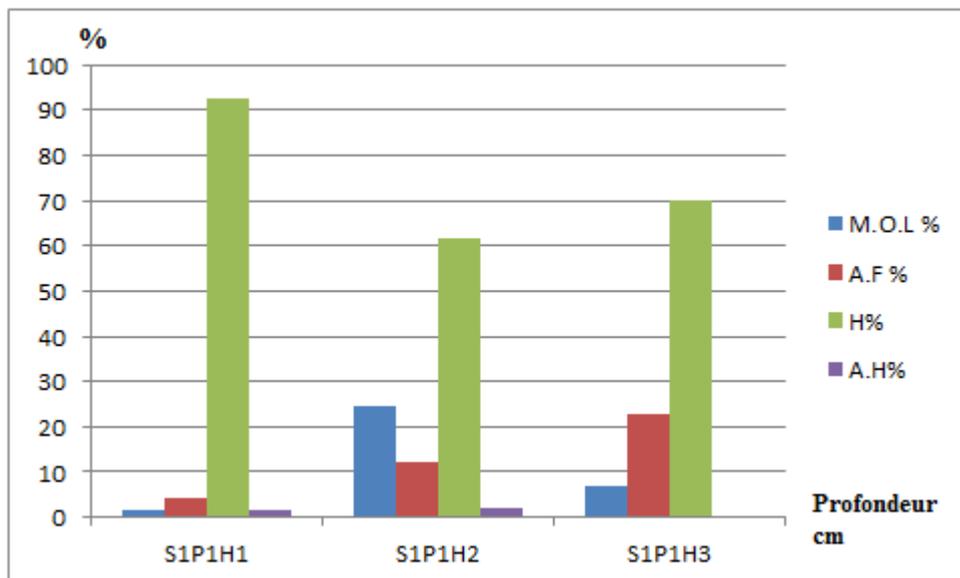


Fig. 20-L : Répartition des différentes fractions de la matière organique en fonction de la profondeur, sous forêt de chêne liège.

4.1.1.5. Analyse statistique :

Comparaison entre les horizons pour le paramètre de la granulométrie :

L'anova1 accompagnée par le classement de Tukey entre les trois horizons

	DDL	SCE	CM	F obs	P
Factorielle	2	0	0	0	1.000
Résiduelle	12	1690	141		
Total	14	1690			

DDL : Degré de liberté; **SCE**: Sommes des carrées des écarts; **CM**: Carré moyen; **F obs**: Test de Fisher; **P**: Seuil de signification.

Test de Tukey:

Horizons	N	Moyenne	Groupe
3	5	20	A
1	5	20	A
2	5	20	A

N: c'est le nombre d'effectif.

Groupe A : le test Tukey classe les horizons entre eux et cette analyse a révélé que tes horizons se ressemblent.

L'analyse d'Anova à un seul critère de classification pour les paramètres de granulométrie a révélé qu'il n'y a pas une différence significative entre les trois horizons (H_1 , H_2 et H_3) $p=1.000$.

Le test de Tukey pour les paramètres de granulométrie a classé les horizons en un seul groupe A.

Pour les paramètres physico-chimiques :

	DDL	SCE	CM	F obs	P
Factorielle	2	107	54	0.08	0.926
Résiduelle	48	33238	692		
Total	50	33345			

DDL : Degré de liberté; **SCE**: Sommes des carrées des écarts; **CM**: Carré moyen; **F obs**: Test de Fisher; **P**: Seuil de signification.

Test de Tukey:

Horizons	N	Moyenne	Groupe
1	17	15.49	A
3	17	12.88	A
2	17	12.10	A

L'analyse d'ANOVA à un seul critère de classification pour les paramètres physico-chimiques a révélé qu'il n'y a pas une différence significative entre les trois horizons (H_1 , H_2 et H_3) $p=0.926$.

Le test de Tukey pour les paramètres physico-chimiques a classé les horizons en un seul groupe A.

Pour Le fractionnement de la matière organique du sol de la forêt d'Ouled Bechih:

Anova 1 :

	DDL	SCE	CM	F obs	P
Factorielle	2	47	24	0.01	0.986
Résiduelle	15	24687	1646		
Total	17	24734			

DDL : Degré de liberté; **SCE**: Sommes des carrées des écarts; **CM**: Carré moyen; **F obs** : Test de Fisher; **P**: Seuil de signification.

Test de Tukey :

Horizons	N	Moyenne	Groupe
1	6	33.08	A
3	6	32.22	A
2	6	29.31	A

L'analyse d'Anova à un seul critère de classification pour le fonctionnement de la matière organique du sol de la forêt d'Ouled Bechih a révélé qu'il n'y a pas une différence significative entre les trois horizons (H_1 , H_2 et H_3) $p=0.986$.

Le test de Tukey pour le fonctionnement de la matière organique du sol de la forêt d'Ouled Bechih a classé les horizons en un seul groupe A.

4.2.1. Station: 02 - El-Mechta Salem (Profil N: 02)

4.2.1.1. Description morphologique :

Fiche de description N : 02

Numéro de station : 02 - El-Mechta Salem.

La date : 23/03/2013

Position géographique : N : 36° 21. 096', E : 007° 54. 512', Z: 823m.

La géologie : grès de Numidie.

La géomorphologie : pente orientation Sud-Ouest.

La végétation : chêne zeen (*Quercus canariensis*), chêne liège (*Quercus suber*), l'eucalyptus (*Eucalyptus globulus*), Asphodèle (*Asphodelus microcarpus*), urginée maritime (*Urginea maritima*), ronce à feuilles d'orme (*Rubus ulmifolius*), l'aubépine (*Crataegus monogyna*),

Le climat : une journée ensoleillée.

Description du profil N : 02



0-10cm: couleur marron foncé (7,5YR 4/2) (darkybrown), sol organique, texture argileuse, structure particulaire, présence de beaucoup de racines fines, avec une bonne activité biologique, pas de réaction à l'HCl, ni d'accidents pédologiques.

10-30cm: couleur marron foncé (10YR3/4) (darkyellowishbrown), texture argileuse, structure particulaire, beaucoup de racines fines, avec beaucoup de tâches d'ydromorphie, ne réagit pas à l'HCl.

30-45cm: couleur grismarron (10YR5/2) (grayishbrown), sol argileux riche en matière organique, structure particulaire, présence de quelque racines fines, avec beaucoup de tâche d'ydromorphie, pas de réaction à l'HCl.

>45cm: couleur grise (7,5YR6/0) (gray), sol argileux apparemment non organique, structure massive, avec beaucoup de tâche d'ydromorphie, (alternance des tâches

4.1.1.2. Résultats analytiques:

Param Horiz	Prof (cm)	La granulométrie %					pH eau	pH KCl	C.E µs/cm	H %	MO %	Tx Cend%	D _R g/cm ³	D _A g/cm ³	Poro %	C %	K meq/ g	Na meq/ g	Mg meq/ g	Ca meq/ g	P meq/ g	NH ₄ ⁺ meq/l	N Total %
		Ar	LF	LG	SF	SG																	
S ₂ P ₁ H ₁	0-10	10,21	44,41	01,80	23,45	20,13	6.00	5.62	52.3	4.4	13.38	86.62	2,05	1,49	27,31	1.19	0,092	0,027	0.304	0.207	0.128	1.99	0.0324
S ₂ P ₁ H ₂	10-30	26,91	21,33	10,03	20,08	21,65	5.68	5.40	33.2	4	8.33	91.67	1,95	1,61	17,43	0.73	0,080	0.144	0.246	0.165	0.034	3.02	0.0324
S ₂ P ₁ H ₃	30-45	36,17	06,58	29,44	13,11	14,70	6.03	5.53	33.5	4.8	8.61	91.39	1,74	1,66	4,59	0.58	0,086	0.031	0.319	0.191	0,010	2.86	0.014
S ₂ P ₁ H ₄	>45	28,00	12,00	27,64	14,93	17,43	5.79	5.56	37.5	4.4	6.06	93.94	1,52	1,44	5,26	0.64	0,083	0.027	0.321	0.180	0,007	2.10	0.0252

4.2.1.3. Interprétation:

L'analyse granulométrique (le tableau ci-dessus), décrit les proportions relatives des diverses tailles des particules solides du sol (argiles limons et sables) ; à partir des données fournies par l'analyse des échantillons de ce profil, il ressort que les deux horizons de surface présentent un pourcentage de limons et de sables élevé, par contre en bas on remarque la dominance des argiles (figure : 21-A) ; d'après le triangle de texture, on définit que la texture de la surface est sablo-limoneuse, et en bas argileuse.

L'évaluation de la réaction du sol montre que nous sommes dans un milieu à ambiance acide et qu'il n'existe pas de différence importante entre l'acidité actuelle (pH eau) et l'acidité potentielle, indiquant une forte désaturation du complexe adsorbant le long du profil. (Figure : 21-B).

La conductivité électrique est proportionnelle à la qualité des sels ionisables, elle constitue une bonne indication du degré de minéralisation du sol. (Duchaufour, 1983) ; et dans notre profil la salinité augmente avec la profondeur et elle est toujours faible. (Figure : 21-C).

L'évaluation de l'humidité hygroscopique donne des valeurs qui augmentent de la surface à la profondeur (figure : 21-D), ce qui montre que la présence d'argiles en profondeur augmente la rétention d'eau hygroscopique.

La teneur en matière organique chute brutalement de la surface vers la profondeur (figure : 21-E); ce qui fait ressortir l'influence du couvert végétal sur l'apport de la matière organique fraîche ; La diminution est probablement liée à une forte activité biologique.

La dominance des cendres témoigne du caractère minéral de ce profil. (Figure : 21-F).

La porosité du sol, représente le volume des pores d'un sol et leurs dimensions. Elle dépend de la composition granulométrique et de la structure ; dans notre profil la texture limoneuse en surface offre une bonne porosité, cette dernière diminue avec la profondeur et avec l'augmentation du taux d'argile, elle devient presque compacte en bas du profil. (Figure : 21-G).

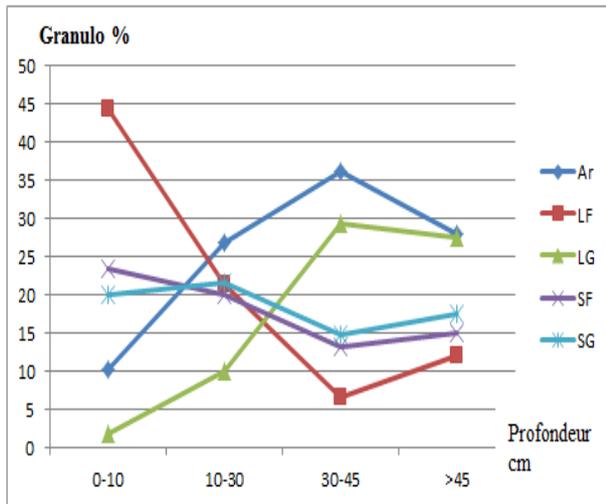
L'évaluation du taux du carbone organique dans ce profil, donne des faibles valeurs, surtout en profondeur, ce qui confirme la diminution de la matière organique d'un horizon à autre. (Figure : 21-H).

L'évaluation de l'azote total donne des très faibles valeurs qui varie entre 0.0324 et 0.0252 et qui diminue avec la profondeur du profil, (Figure : 21-I).

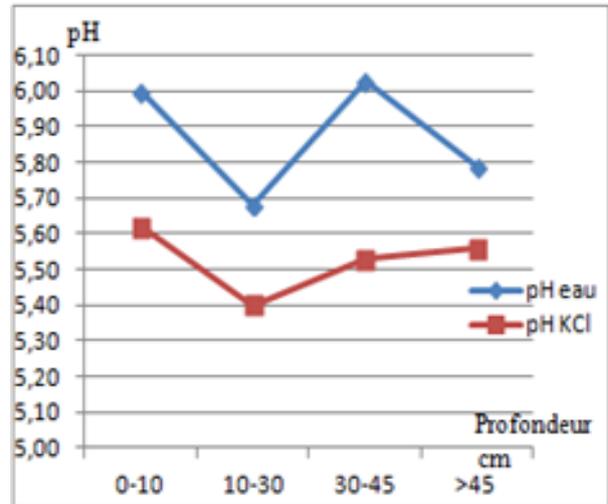
Le rapport C/N est très élevé pour tous les horizons il varie entre 22 et 41, ce qui montre qu'il n'y a pas assez d'azote pour permettre la décomposition du carbone (il y a compétition entre l'absorption par les plantes et la réorganisation de la matière organique par les microorganismes du sol, c'est le phénomène de "faim d'azote"). L'azote est alors prélevé dans les réserves du sol. La minéralisation est lente et ne restitue au sol qu'une faible quantité d'azote minéral.

Les analyses des bases échangeables K, Na, Ca, et P donne des faibles valeurs tous le long du profil, (Figure : 21-J).

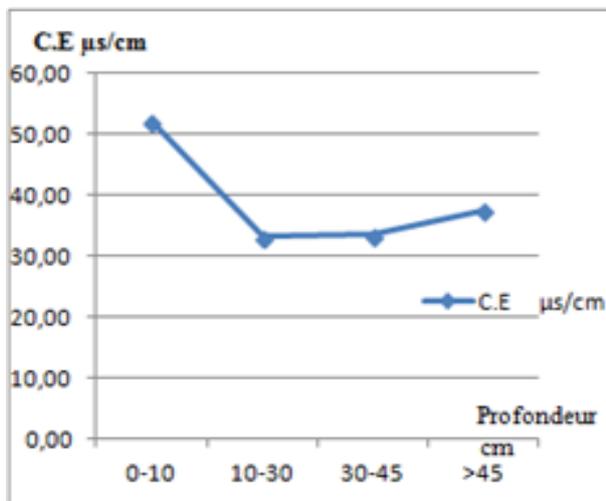
Pour l'analyse de l' NH_4^+ , les valeurs varient entre 1.99 et 3.02 meq/l, dans tous le profil (Figure : 21-K).



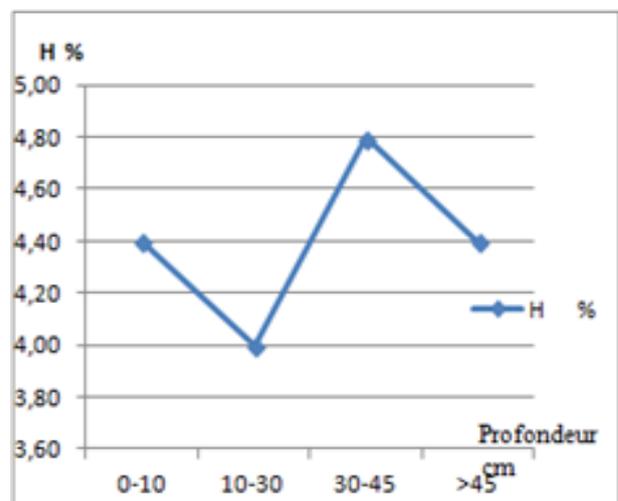
A: Granulométrie



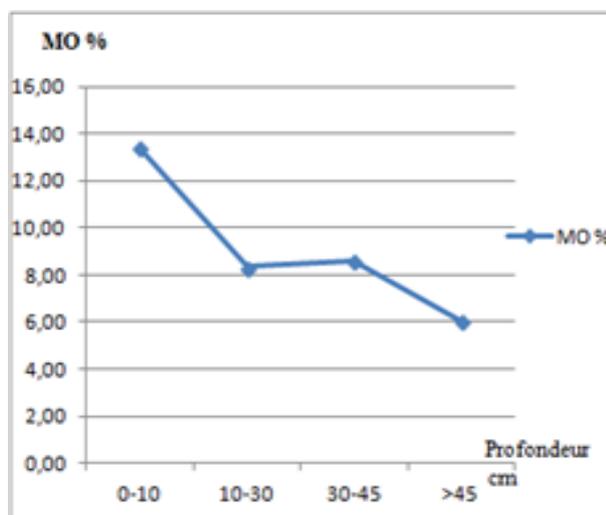
B: pH_{eau}, pH_{KCl}



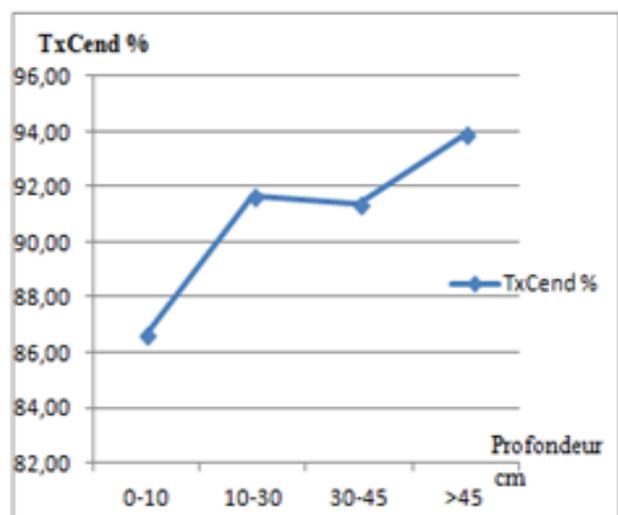
C: Conductivité



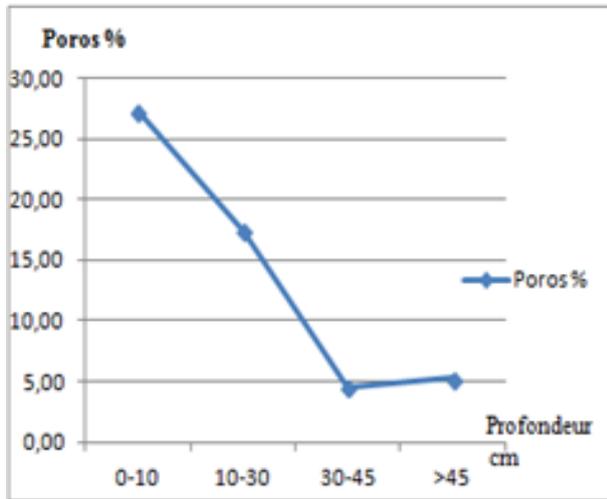
D: Humidité



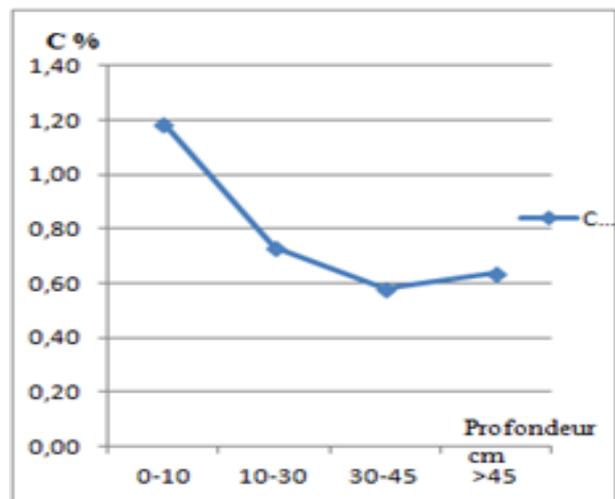
E: Matière organique



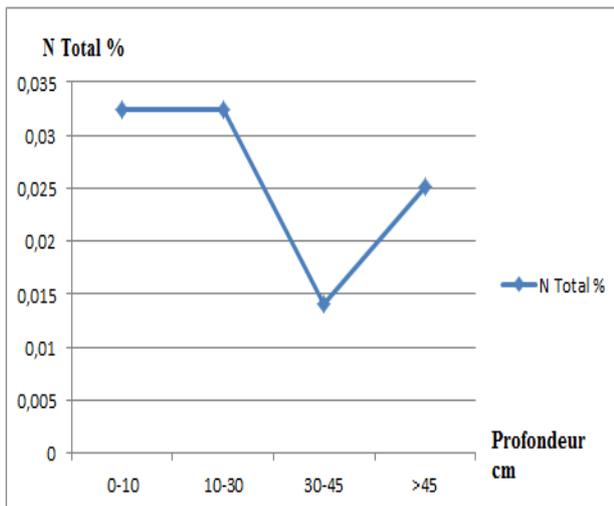
F: Taux d'incinération



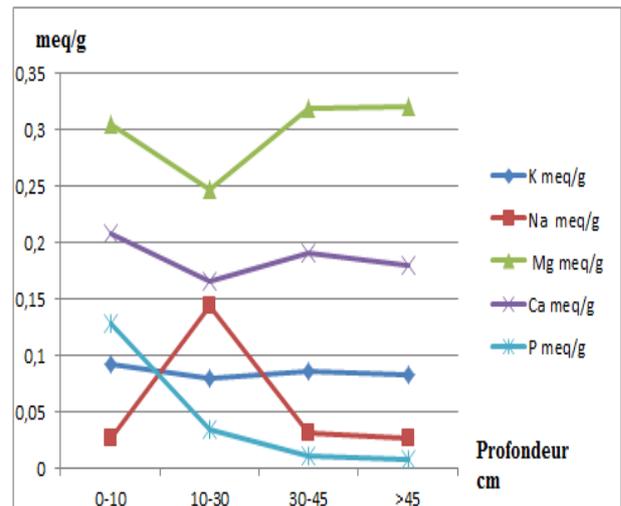
G: Porosité



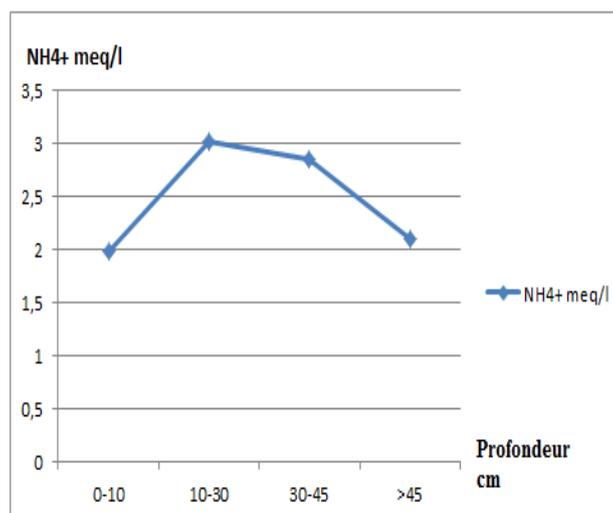
H: Carbone organique



I: Azote total



J : Bases échangeables



K: Ammonium

Fig. 21 - Profil 2- El-Mechta Salem.

4.2.1.4. Le fractionnement de la matière organique du sol :

Le fractionnement des échantillons de sol a conduit aux résultats mentionnés dans le tableau suivant :

Profil	M.O.L % (matière végétale légère)	A.F % (acide Fulvique)	H % (humine)	A.H % (acide humique)	Taux d'humification %	Degré de polymérisation %
S ₂ P ₁ H ₁	2.71	7.05	89.07	1.17	97.31	0,092
S ₂ P ₁ H ₂	0.82	9.86	89.04	0.27	99.17	0,11
S ₂ P ₁ H ₃	38.99	6.37	53.44	1.20	61.03	0,14
S ₂ P ₁ H ₄	47.67	5.31	40.62	6.4	52.34	0,28

Interprétation :

La synthèse analytique de la matière organique totale et les quatre fractions organiques (la matière organique légère, l'humine, les acides humiques et les acides fulviques) des sols de ce profil montre des différences remarquables d'un horizon à un autre à l'intérieur du même profil (Figure : 21-L).

Cette matière organique semble évoluée plus ou moins rapidement car nous avons constatés la dominance de deux fractions :

- Les acides fulviques témoins d'une transformation physicochimique rapide.
- Humine indicateur d'une très forte stabilisation de la matière organique.

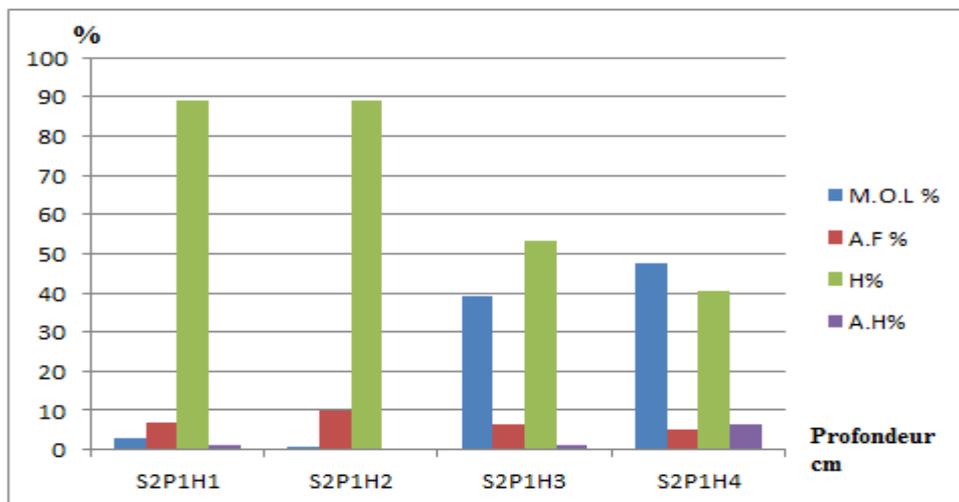


Fig. 21-L : Répartition des différentes fractions de la matière organique en fonction de la profondeur, sous forêt mixte de chêne liège, chêne zeen.

4.2.1.5. Analyse statistique :

Comparaison entre les horizons pour le paramètre de la granulométrie :

L'anova1 accompagnée par le classement de Tukey entre les trois horizons.

	DDL	SCE	CM	F obs	P
Factorielle	3	0	0	0.00	1.000
Résiduelle	16	2011	126		
Total	19	2011			

DDL : Degré de liberté; SCE: Sommes des carrées des écarts; CM: Carré moyen; F obs : Test de Fisher; P: Seuil de signification.

Test de Tukey:

Horizons	N	Moyenne	Groupe
4	5	20	A
3	5	20	A
2	5	20	A
1	5	20	A

N: c'est le nombre d'effectif

Groupe A : le test Tukey classe les horizons entre eux et cette analyse a révélé que les horizons se ressemblent.

L'analyse d'Anova à un seul critère de classification pour les paramètres de granulométrie a révélé qu'il n'y a pas une différence significative entre les quatre horizons (H_1 , H_2 et H_3) $p=1.000$.

Le test de Tukey pour les paramètres de granulométrie a classé les horizons en un seul groupe A.

Les paramètres physico-chimiques :

Anova 1 :

	DDL	SCE	CM	F obs	P
Factorielle	3	63	21	0.04	0.989
Résiduelle	64	33953	531		
Total	67	34016			

DDL : Degré de liberté; **SCE:** Sommes des carrées des écarts; **CM:** Carré moyen; **F obs:** Test de Fisher; **P:** Seuil de signification.

Test de Tukey:

Horizons	N	Moyenne	Groupe
1	17	11.95	A
2	17	10.22	A
4	17	9.70	A
3	17	9.53	A

N: c'est le nombre d'effectif

Groupe A : le test Tukey classe les horizons entre eux et cette analyse a révélé que tes horizons se ressemblent.

L'analyse Anova à un seul critère de classification pour les paramètres physico-chimiques a révélé qu'il n'y a pas une différence significative entre les quatre horizons (H₁, H₂ et H₃) p=0.989.

Le test de Tukey pour les paramètres physico-chimiques a classé les horizons en un seul groupe A

Pour le fractionnement de la matière organique du sol :

Anova 1:

	DDL	SCE	CM	F obs	P
Factorielle	3	293	98	0.07	0.977
Résiduelle	20	28872	1444		
Total	23	29164			

DDL : Degré de liberté; **SCE**: Sommes des carrées des écarts; **CM**: Carré moyen; **F obs** : Test de Fisher; **P**: Seuil de signification.

Test de Tukey:

Horizons	N	Moyenne	Groupe
2	6	32.21	A
1	6	32.90	A
3	6	26.86	A
4	6	25.44	A

N: c'est le nombre d'effectif

Groupe A : le test Tukey classe les horizons entre eux et cette analyse a révélé que ces horizons se ressemblent.

L'analyse d'Anova à un seul critère de classification pour Le fractionnement de la matière organique du sol a révélé qu'il n'y a pas une différence significative entre les quatre horizons (H₁, H₂ et H₃) p=0.977.

Le test de Tukey pour le fractionnement de la matière organique du sol a classé les horizons en un seul groupe A.

4.3.1. Station : 03 - El-Mazraa (Profil N : 01)

4.3.1.1. Description morphologique :

Fiche de description N : 03

Numéro de station : 03 – El-Mazraa.

La date : 23/03/2013

Position géographique : N : 36° 26. 567', E : 007° 57. 181', Z : 552m.

La géologie : grés de Numidie.

La géomorphologie : pente forte orienté vers le Sud.

La végétation : forêt de chêne liège (*Quercus suber*), lentisque (*Pistacialentiscus*), olivier sauvage (*Oleaoleaster*), Asphodèle (*Asphodelusmicrocarpus*), calycotome épineux (*Calycotomevillosa*), bruyère arborescente (*Erica arborea*), l'aubépine (*Crataegus monogyna*), Urginée maritime (*Urgineamaritima*),

Le climat : ciel claire.

Description du profil N : 01



0-30cm: couleur marron noir (10YR2/2) (verydarkbrown), texture limoneuse, structure particulaire, riche en racines fines, horizon riche en matière organique, pas de réaction à l'HCl.

30-60cm: couleur marron (7,5YR 5/6) (strongbrown), texture sableux-limoneuse, structure particulaire fine, humide, apparemment non organique pas de réaction à l'HCl.

>60cm: couleur gris marron (10YR5/2) (grayishbrown),), sol humid, apparemment non organique, texture argileuse, structure particulaire, riche en fragments de roches, abondance de taches d'hydromorphie, pas de réaction à l'HCl. C'est un gré en altération.

4.1.1.2. Résultats analytiques:

Param Horiz	Prof (cm)	La granulométrie %					pH eau	pH KCl	C.E µs/cm	H %	MO %	Tx Cend %	D _R g/cm ³	D _A g/cm ³	Poro %	C %	K meq/ g	Na meq/ g	Mg meq/ g	Ca meq/ g	P meq/g	NH ₄ ⁺ meq/l	N Total %
		Ar	LF	LG	SF	SG																	
S ₃ P ₁ H ₁	0-30	15,36	29,95	11,75	23,03	19,91	6,40	4.57	23.4	9	6.31	93.69	3.31	1.84	45	0.39	0,014	0,020	0.140	0.534	0,02	3,22	0.0232
S ₃ P ₁ H ₂	30-60	02,08	53,44	06,78	20,66	17,04	6,82	4.90	14.2	2.8	7.61	92.39	3.4	1.6	53	0.33	0,014	0,017	0.169	0.471	0,04	6,80	0.0192
S ₃ P ₁ H ₃	>60	37,83	34,76	02,14	13,15	12,12	6,89	4.99	16.2	5.2	8.86	91.14	4.76	1.75	64	0.36	0,020	0,028	0.288	0.850	0,16	4.03	0.0204

4.3.1.3. Interprétation:

L'analyse granulométrique permet de déterminer la texture du sol. Selon les valeurs, (le tableau ci-dessus), on constate que la texture sablo-limoneuse en surface, devient franchement limoneuse au milieu du profil (plus de 60%), puis argileuse en bas du profil. D'après Duchaufour (1970) les sols très riches en limons offrent une texture particulière souvent très défavorable ; la quantité de colloïdes minéraux est insuffisante pour permettre la formation d'agrégat. (Figure : 22-A).

Le suivie de la réaction du sol indique que nous sommes en présence d'un sol légèrement acide, proche de la neutralité en profondeur. L'acidité résiduelle évolue dans le même sens, cela est probablement lié à une désaturation du complexe adsorbant. (Figure : 22-B).

D'autre part le suivie de la conductivité électrique le long du profil fait ressortir le caractère non salin de ce type de sol. (Figure : 22-C).

L'humidité hygroscopique reste faible dans l'ensemble du profil, moins de 9 %. Cette valeur confirme la nature texturale du sol. (Figure : 22-D).

L'évaluation du taux de la matière organique permet de constater une évolution progressive en fonction de la profondeur, généralement une bonne distribution tout le long du profil, et cela explique une bonne accumulation de la matière organique en profondeur. (Figure 22-E).

Le taux de cendre confirme le caractère minéral de ces types de sol. (Figure : 22-F).

Le suivie de la porosité de ce profil montre que tous les sols ont une bonne porosité malgré la structure fine. La bonne porosité est liée à la présence de la matière organique qui influe sur les propriétés physiques du sol, elle augmente la cohésion (formation des complexes argilo-humique), et accroît la capacité de rétention en eau. (Figure : 22-G).

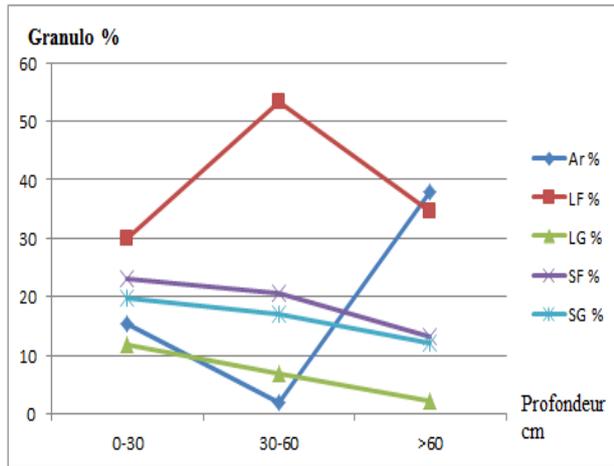
Le carbone organique est trop faible dans tous les horizons de ce profil, cela explique la dominance de processus de minéralisation et l'accumulation de la matière organique tous le long des horizons. (Figure : 22-H).

Le taux d'azote total est très faible pour tous les horizons du profil il ne dépasse pas 0.0232 %. (Figure : 22-I).

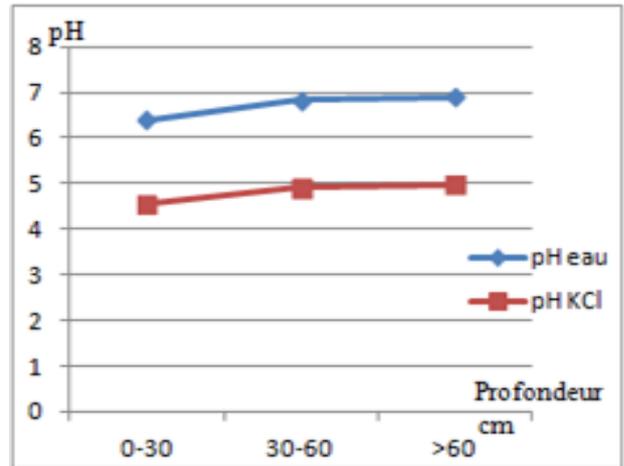
Le rapport C/N dans ce profil varie entre 16 et 17. Sachant que le rapport C/N est un des indices de qualité des sols. Un sol organique au C/N élevé (> 15-20, compostage incomplet) peut entraîner un risque de « faim d'azote » pour les plantes, car les micro-organismes du sol utiliseront cette azote. (Crovetto Lamarca, 2008).

Les analyses des bases échangeables K, Na, Ca, et P donne des faibles valeurs et qui diminuent avec la profondeur, (Figure : 22-J).

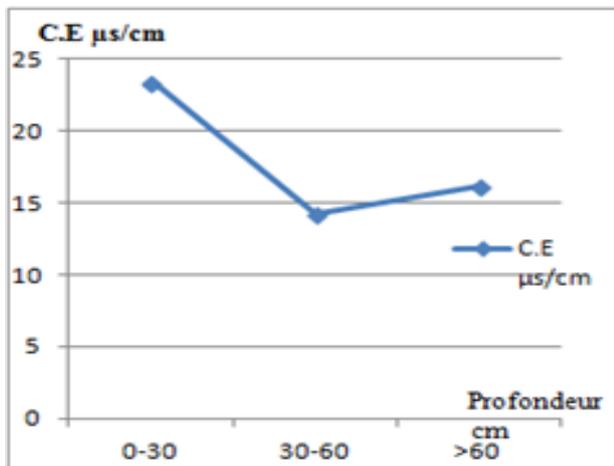
Pour l'analyse du l' NH_4^+ , les valeurs augmente avec la profondeur, elles varient entre 3,422 et 6.80 meq/l, (Figure : 22-K).



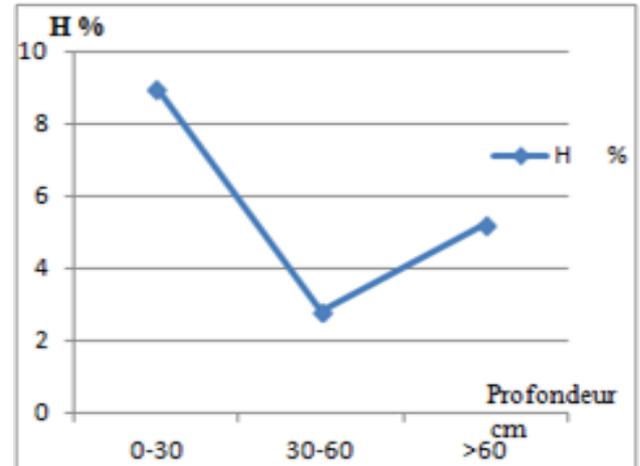
A: Granulométrie



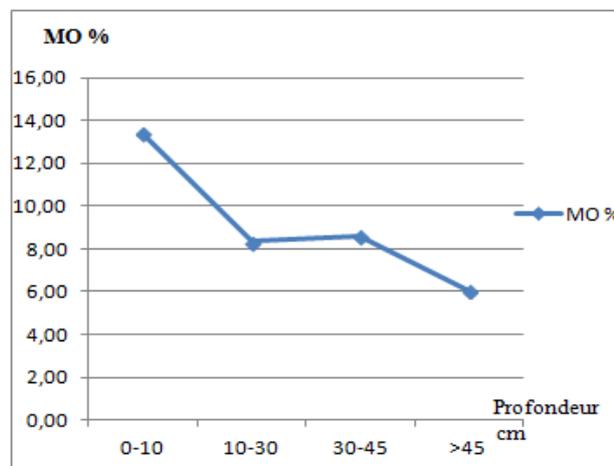
B: pHeau, pHKCl



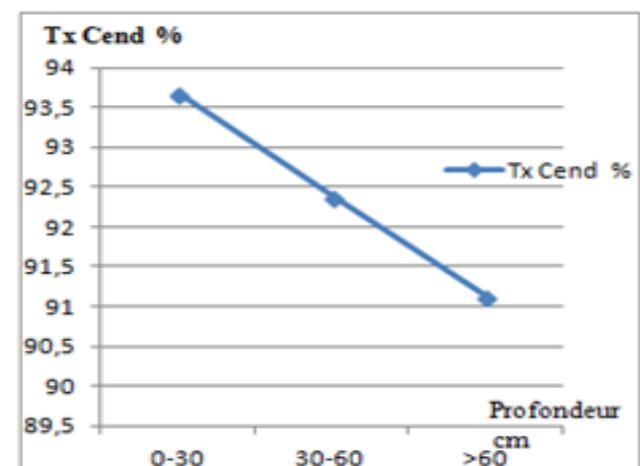
C: Conductivité



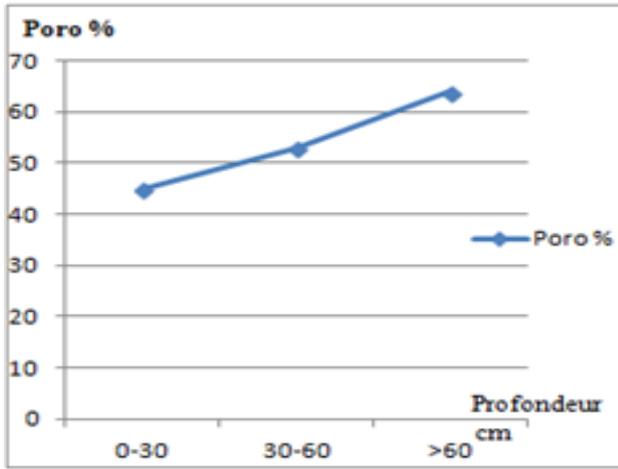
D: Humidité



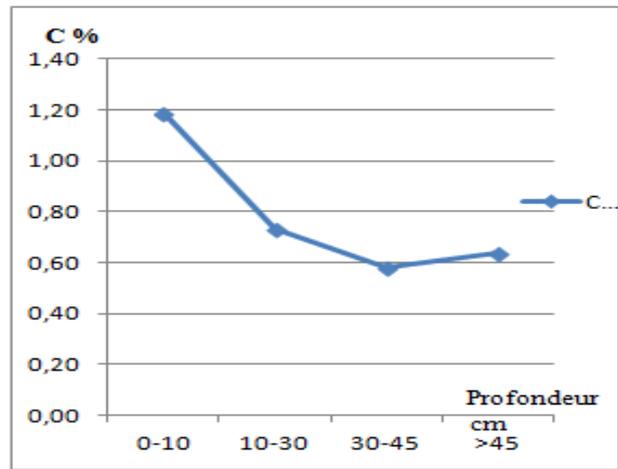
E: Matière organique



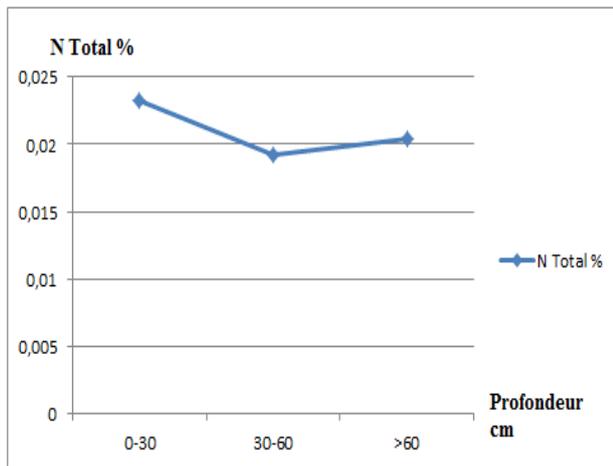
F: Taux d'incinération



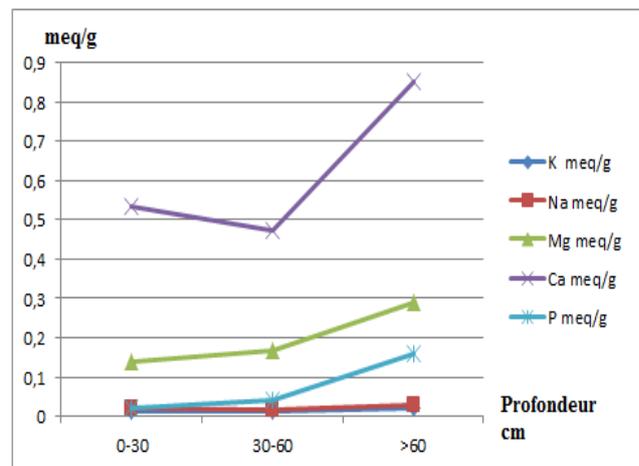
G: Porosité



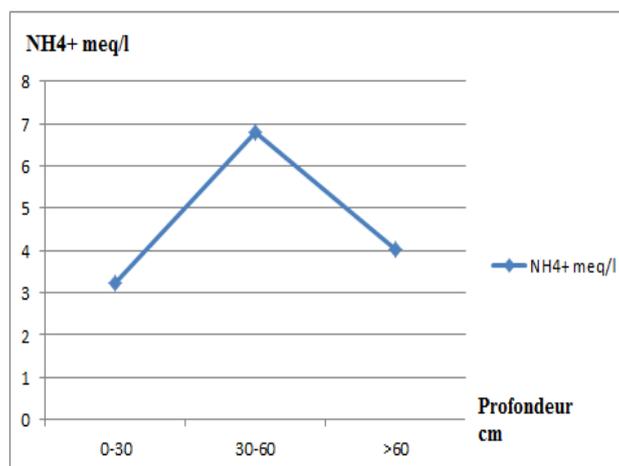
H: Carbone



I: Azote total



J : Bases échangeables



K: Ammonium

Fig. 22- Profil 1-El-Mazraa.

4.3.1.4. Le fractionnement de la matière organique du sol :

Le fractionnement des échantillons de sol a conduit aux résultats mentionnés dans le tableau suivant :

Profil	M.O.L % (matière végétale légère)	AF % (acide fulvique)	H % (humine)	A.H % (acide humique)	Taux d'humification %	Degré de polymérisation %
S ₃ P1H ₁	40.02	7.17	51.28	1.53	60	0,16
S ₃ P1H ₂	8.5	27.87	60.60	3.03	91.51	0,51
S ₃ P1H ₃	17.8	22.77	52.77	1.66	77.22	0,46

Interprétation :

Les analyses du fractionnement de la matière organique de ce profil montre les résultats suivants :

- **Horizon : 01**

Le taux de l'humine 51.28% est le plus élevé par rapport à l'acide fulvique et l'acide humine,

La valeur de la matière organique légère est 40.02%, est c'est la fraction la plus dominante.

- **Horizon : 02**

Le pourcentage de l'humine : 60.60% est la plus élevée par rapport à l'acide fulvique : 27.87% et l'acide humique : 3.03%.

les résultats obtenus montrent que la valeur de la matière organique légère est : 8.5%.

- **Horizon : 03**

La valeur de l'acide humique 1.66% est la plus faible par rapport l'humine : 54.77% est acide fulvique : 22.77%

Le Pourcentage de la matière organique légère est : 17.8%. (Figure : 22-L).

La matière organique du sol est toujours en évolution et en dynamique, elle subit une dégradation physique, une décomposition chimique et microbiologique sous l'effet des différents micro-organismes (bactérie, actinomycètes, champignons).

La synthèse analytique de la matière organique totale et les quatre fractions organiques (la matière organique légère, l'humine, les acides humiques et les acides fulviques) des sols des profils étudiés, montre des différences remarquables d'un profil à un autre et d'un horizon à un autre à l'intérieur du même profil.

Dans notre cas la teneur en carbone est inférieure à 2 % car sont des sols pauvres en matière organique.

D'après les résultats obtenus on remarque que l'humine est le plus dominant avec une distribution hétérogène dans presque la quasi-totalité des profils. Ceci est expliqué par soit un faible apport ou forte activité biologique transformant les produits organique transitoires en humine stable, c'est dans ces sols que le processus de l'humification est le plus dominant.

Les résultats obtenus illustrent que les acides humiques ont un faible apport et qui présentent la fraction condensée et polymérisée des acides organiques.

Les teneurs très faibles des acides fulviques indiquent une transformation lente de la matière organique car ils sont solubles dans l'eau et dans les milieux acides.

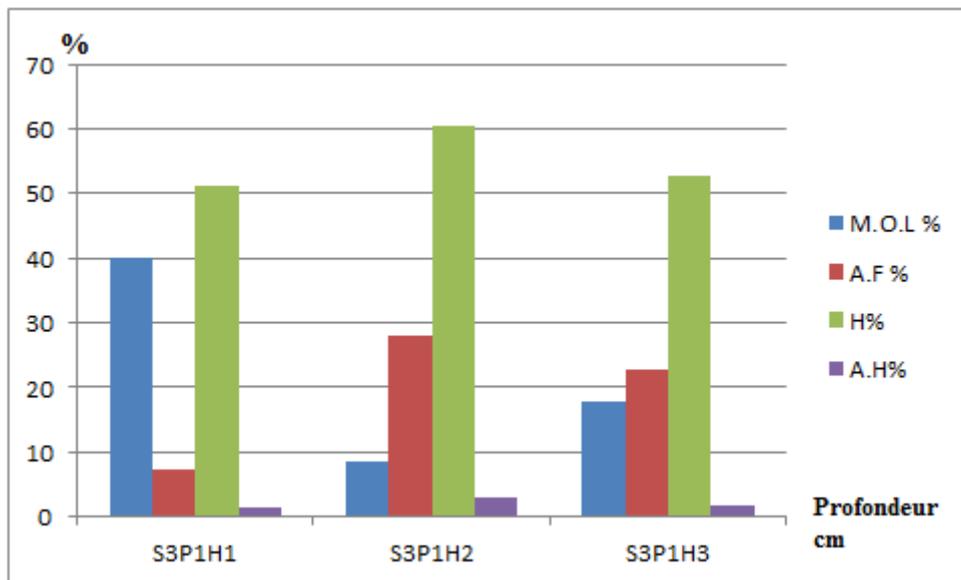


Fig. 22-L : Répartition des différentes fractions de la matière organique en fonction de la profondeur, sous forêt de chêne liège.

4.3.1.5. Analyse statistique :

Comparaison entre les horizons pour le paramètre de la granulométrie :

L'anova1 accompagnée par le classement de Tukey entre les trois horizons.

	DDL	SCE	CM	F obs	P
Factorielle	2	0	0	0.00	1.000
Résiduelle	12	2785	232		
Total	14	2785			

DDL : Degré de liberté; **SCE:** Sommes des carrées des écarts; **CM:** Carré moyen; **F obs:** Test de Fisher; **P:** Seuil de signification.

Teste de Tukey:

Horizons	N	Moyenne	Groupe
3	5	20	A
2	5	20	A
1	5	20	A

N: c'est le nombre d'effectif

Groupe A : le test Tukey classe les horizons entre eux et cette analyse a révélé que tes horizons se ressemblent.

L'analyse d'Anova à un seul critère de classification pour les paramètres de granulométrie a révélé qu'il n'y a pas une différence significative entre les trois horizons (H₁, H₂ et H₃) p=1.000.

Le test de Tukey pour les paramètres de granulométrie a classé les horizons en un seul groupe A.

Pour les paramètres physico-chimiques :

	DDL	SCE	CM	F obs	P
Factorielle	2	7	4	0.01	0.994
Résiduelle	48	29074	606		
Total	50	29081			

Chapitre IV : Résultats et discussions

DDL : Degré de liberté ; **SCE**: Sommes des carrées des écarts; **CM**: Carré moyen; **F obs**: Test de Fisher; **P**: Seuil de signification.

Test de Tukey:

Horizons	N	Moyenne	Groupe
3	17	12.33	A
1	17	11.64	A
2	17	11.45	A

N: c'est le nombre d'effectif

Groupe A : le test Tukey classe les horizons entre eux et cette analyse a révélé que les horizons se ressemblent.

L'analyse d'Anova à un seul critère de classification pour les paramètres physico-chimiques a révélé qu'il n'y a pas une différence significative entre les trois horizons (H_1 , H_2 et H_3) $p=0.994$.

Le test de Tukey pour les paramètres physico-chimiques a classé les horizons en un seul groupe A.

Pour le fractionnement de la matière organique du sol :

Anova 1:

	DDL	SCE	CM	F obs	P
Factorielle	2	86	43	0.04	0.958
Résiduelle	15	14986	999		
Total	17	15071			

DDL : Degré de liberté; **SCE**: Sommes des carrées des écarts; **CM**: Carré moyen; **F obs**: Test de Fisher; **P**: Seuil de signification.

Le teste de Tukey :

Horizons	N	Moyenne	Groupe
2	6	32.00	A
3	6	28.78	A
1	6	26.69	A

N: c'est le nombre d'effectif.

Groupe A : le test Tukey classe les horizons entre eux et cette analyse a révélé que ces horizons se ressemblent.

L'analyse d'Anova à un seul critère de classification pour Le fractionnement de la matière organique du sol a révélé qu'il n'y a pas une différence significative entre les trois horizons (H₁, H₂ et H₃) p=0.958.

Le test de Tukey pour Le fractionnement de la matière organique du sol a classé les horizons en un seul groupe A.

4.4.1. Station : 04 - El-Matlague (Profil N : 01)

4.4.1.1. Description morphologique :

Fiche de description N : 04

Numéro de station: 04 – El-Matlague.

La date : 23/03/2013

Position géographique: N : 36° 24' 51.2'', E : 007°55'31.2'', Z : 780m.

La géologie : grés de Numidie.

La géomorphologie: pente orientation Nord.

La végétation: forêt de chêne zeen (*Quercus canariensis*), bruyère arborescente (*Erica arborea*), urginée maritime (*Urginea maritima*), l'aubépine (*Crataegus monogyna*), Asphodèle (*Asphodelus microcarpus*).

Le climat: une journée ensoleillée.

Description du profil N : 01



0-30cm: couleur marron noir (10YR3/3) (darkbrown) riche en débris organiques, beaucoup de racines fines, texture sableuse, structure particulaire, avec beaucoup de galeries d'activité biologique, ne réagit pas à l'HCl.

30-50cm: couleur marron gris (10YR2/2) (verydarkbrown), texture argileux-sableuse, structure particulaire, sol humide, pas de racines, présence de débris organiques, avec du gravier, pas de réaction à l'HCl.

>50cm: couleur marron roujâtre (10YR5/6) (yellowishbrown), texture argileuse, structure particulaire, pas de racines non organiques, sol saturé en eau, présence de taches d'hydromorphie, pas de réaction à HCl

Chapitre IV : Résultats et discussions

4.1.1.2. Résultats analytiques :

Param Horiz	Prof (cm)	La granulométrie %					pH eau	pH KCl	C.E µs/cm	H %	MO %	Tx Cend %	D _R g/cm ³	D _A g/cm ³	Poro %	C %	K meq/ g	Na meq/ g	Mg meq/ g	Ca meq/ g	P meq/ g	NH ₄ ⁺ meq/l	N Total %
		Ar	LF	LG	SF	SG																	
S ₄ P ₁ H ₁	0-30	19,43	26,99	19,81	19,44	14,33	6.66	4.16	12.9	2.6	3,38	96.62	1,93	1,26	34,71	0.70	0,017	0,011	0.115	0.515	0,20	5.89	0.0212
S ₄ P ₁ H ₂	30- 50	09,89	45,20	01,45	23,87	19,59	6.38	4.09	10	1.4	1,93	98.07	2.57	1.78	36	0.52	0,008	0,011	0,097	0.227	0,17	8.88	0.024
S ₄ P ₁ H ₃	>50	47,37	29,98	05,46	10,48	06,71	5.99	4.06	13	4.6	1,01	98.99	1,94	1,27	34,53	0.40	0,014	0,017	0.285	0.731	0,13	4.01	0.0196

4.4.1.3. Interprétation:

La granulométrie montre un équilibre entre les sables et les limons dans les horizons de surface, et une dominance d'argile à la base du profil, ce qui engendre une texture sablo-limoneuse en surface et au milieu, et une texture argileuse au niveau de l'horizon de profondeur. (Figure : 23-A).

Ce profil se caractérise par une réaction faiblement acide en surface et moyennement acide en profondeur. L'analyse du pH KCl confirme le caractère acide notamment en profondeur. L'acidité d'échange reste presque stable, ce qui indique que le complexe adsorbant est en état d'équilibre. (Figure : 23-B).

La conductivité électrique de ce profil est relativement élevée en surface tandis que les couches profondes enregistrent de très faibles valeurs (figure : 23-C) ; ce qui indique que le sol est non salé.

L'analyse de la matière organique donne une valeur moyenne en surface qui diminue brutalement dans les couches profondes du profil. (Figure : 23-E). Ceci traduit une forte minéralisation liée à une intense activité biologique en surface et une faible migration de la matière organique vers les horizons de profondeur.

L'évaluation du taux de cendre confirme le caractère minéral des sols surtout en profondeur. (Figure : 23-F).

L'évaluation des propriétés physiques de ce profil montre que la texture limoneuse en surface, sableuse au milieu du profil et argileuse au fond, (Figure : 23-A). Cette variation n'a pas une grande influence sur la porosité qui reste moyenne le long du profil, (Figure : 23-G).

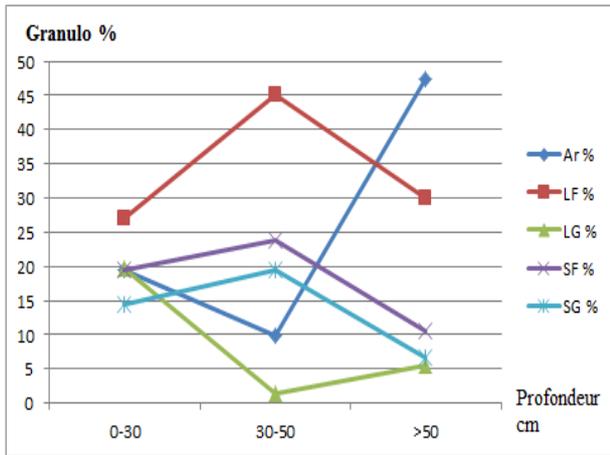
Les sols ayant une teneur en carbone inférieur à 2 % se sont des sols pauvres en matière organique (c'est le cas de ce profil), (figure : 23-H), ils sont soit caractérisés par un faible apport ou par une forte activité biologique. C'est dans ces sols que le processus de minéralisation domine. La totalité de la matière organique est accumulée dans le sol.

L'évaluation de la teneur de l'azote totale dans les sols de cette forêt (forêt de chêne zeen) montre que nous en présence des sols très pauvres en azote dont les valeurs ne dépassent pas 0.024 % dans tout le profil. (Figure : 23-I)

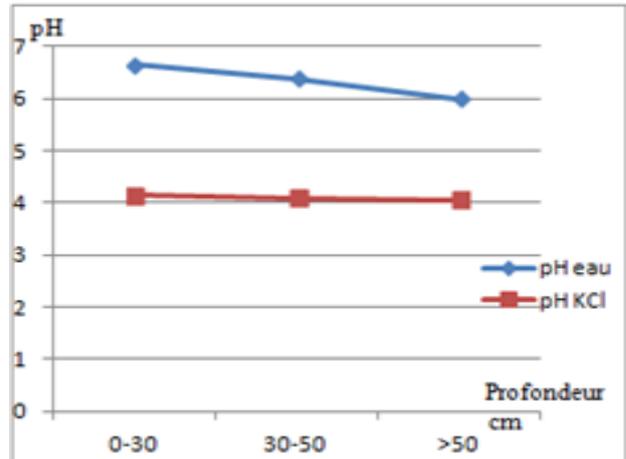
Le rapport C/N ou rapport carbone sur azote est un indicateur qui permet de juger du degré d'évolution de la matière organique, c'est-à-dire de son aptitude à se décomposer plus ou moins rapidement dans le sol: et dans ces sols le rapport est supérieur à 21% donc, il est couramment admis que, plus le rapport C/N d'un sol est élevé, plus il se décompose lentement dans le sol mais plus l'humus obtenu est instable.

Les analyses des bases échangeables K, Na, Ca, et P donnent des faibles valeurs tout le long du profil, (Figure : 22-J).

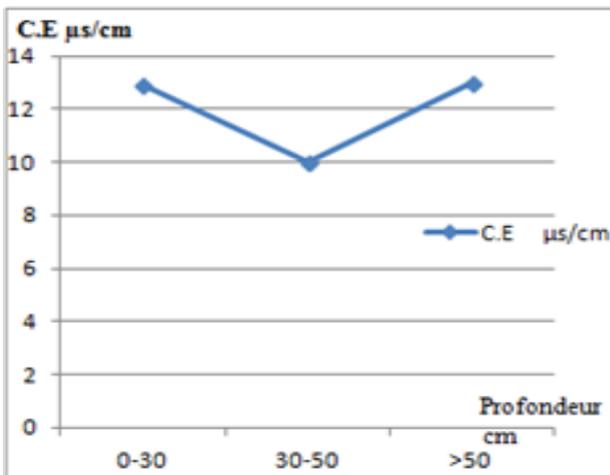
Pour l'analyse de l' NH_4^+ , les valeurs varient entre 4.01 et 8.88 meq/l, dans tout le profil (Figure : 22-K).



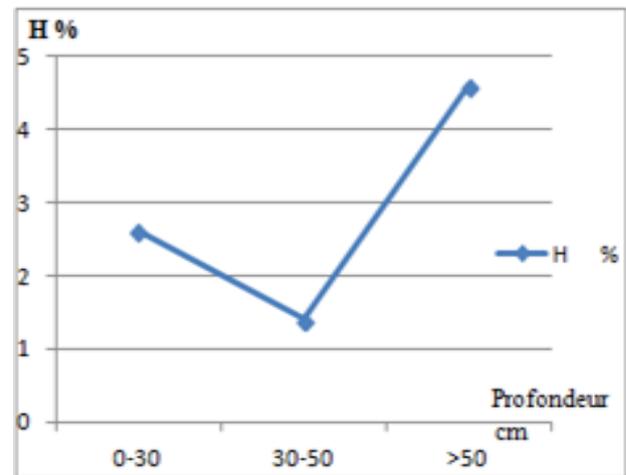
A: Granulométrie



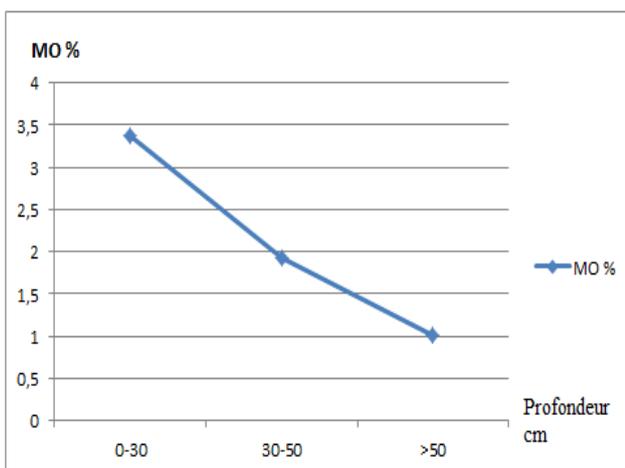
B: pH_{eau}, pH_{KCl}



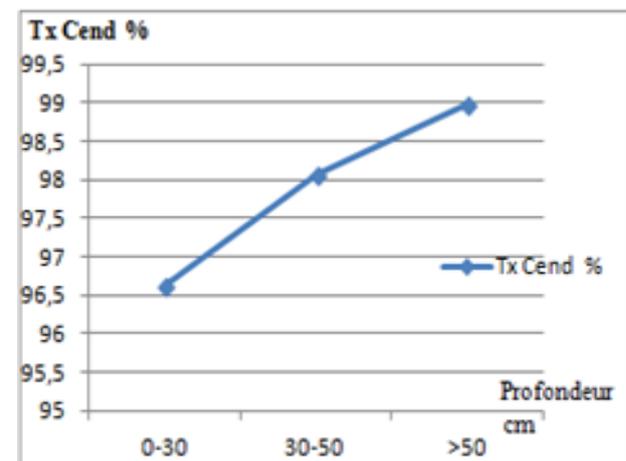
C: Conductivité



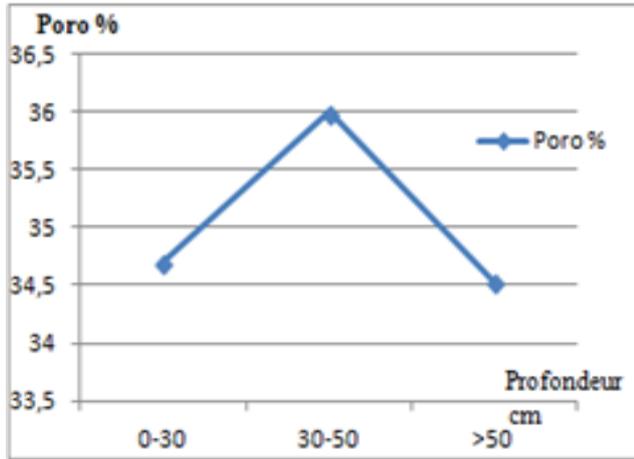
D: Humidité



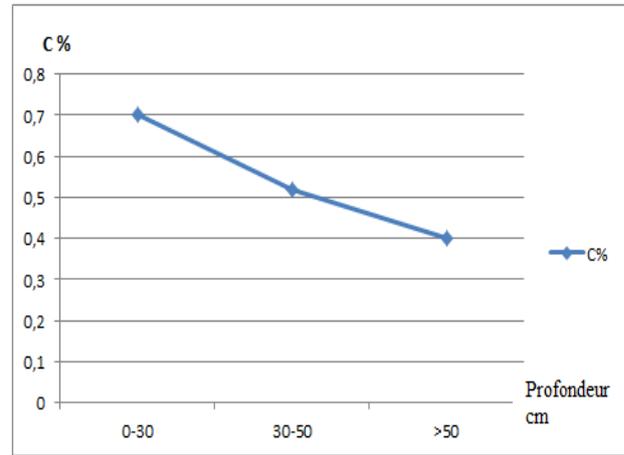
E: Matière organique



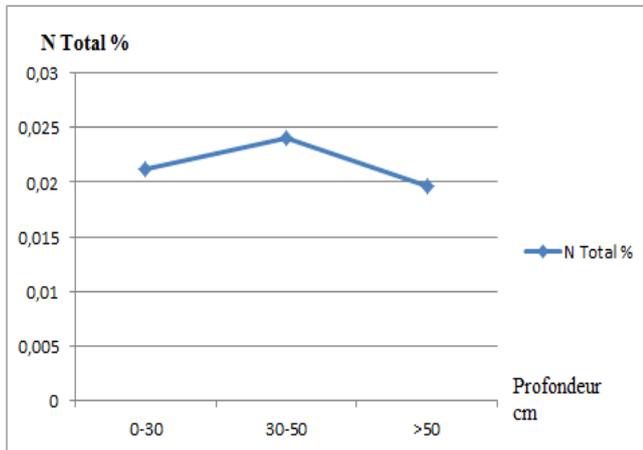
F: Taux d'incinération



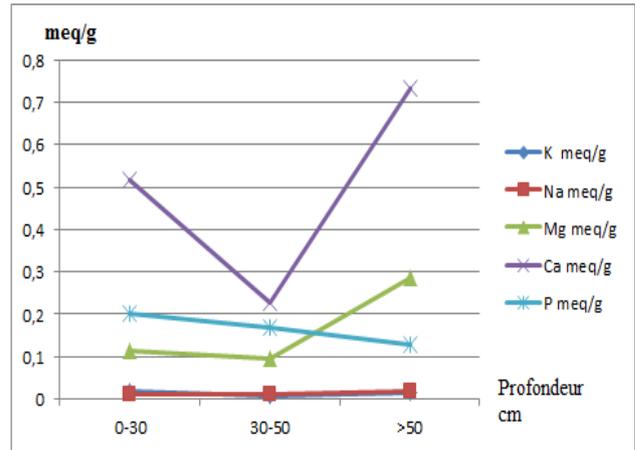
G : Porosité



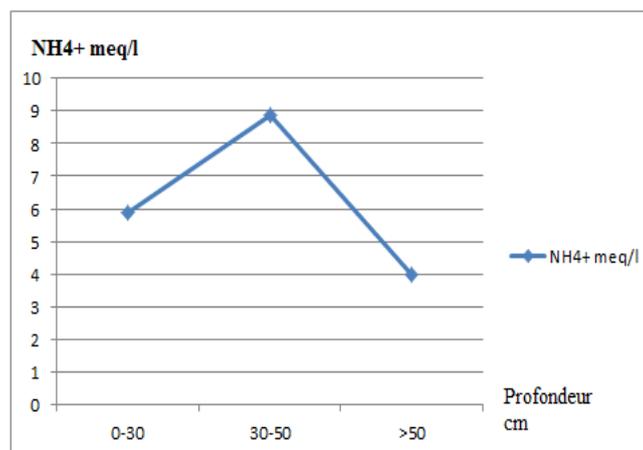
H: Carbone organique



I: Azote total



J : Bases échangeables



K: Ammonium

Fig. 23 - Profil 1- El-Matlague.

4.4.1.4. Le fractionnement de la matière organique du sol :

Les résultats du fractionnement de la matière organique sont mentionnés dans le tableau suivant :

Profil	M.O.L % (matière végétale légère)	A.F % (acide Fulvique)	H % (humine)	A.H% (acide Humique)	Taux d'humification %	Degré de polymérisation %
S ₄ P ₁ H ₁	80.15	6	8.85	5	19.85	1,24
S ₄ P ₁ H ₂	12.13	9.03	78.84	0	83.09	0,11
S ₄ P ₁ H ₃	48.38	8.54	41.81	1.27	51.63	0,23

Interprétation :

Les résultats obtenus montrent que sous forêt de chêne zeen la fraction légère est très importante en surface, qui diminue au milieu du profil pour augmente à la base, elle évolue dans le sens inverse que l'humine. Cette dernière fraction représente la matière stable. Les acides fulviques, souvent plus mobile sont équitablement répartie dans les trois horizons par contre les acides humiques enregistre une diminution avec la profondeur. (Figure : 23-L).

Le fractionnement de la matière organique dans les sols de cette forêt montre une dynamique de la matière organique malgré l'acidité du milieu, avec la dominance de la fraction stable (humine), et aussi la présence d'une forte concentration relative des acides fulviques qui suggère une mobilité des composants facilement hydrolysable.

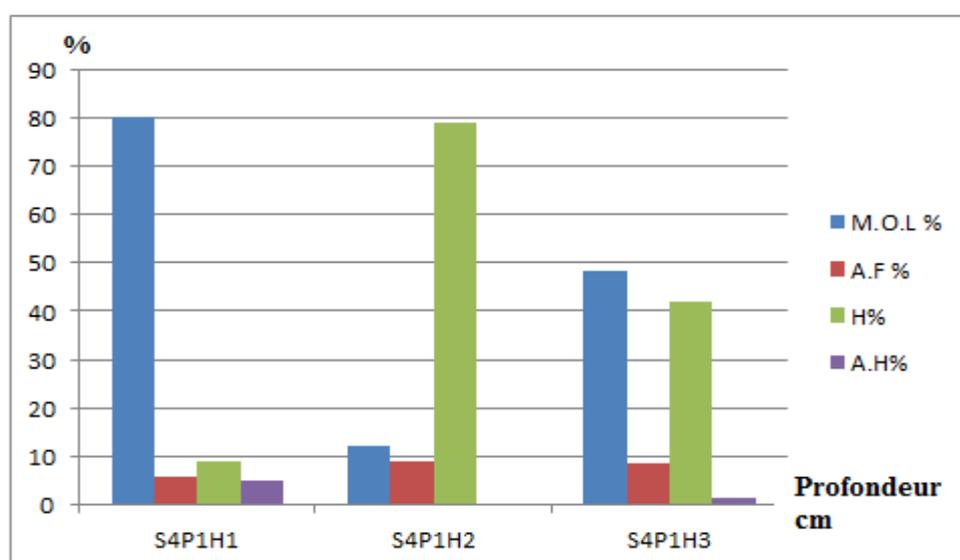


Fig. 23-L : Répartition des différentes fractions de la matière organique en fonction de la profondeur, sous forêt de chêne zeen.

4.4.1.5. Analyse statistique :

Comparaison entre les horizons pour le paramètre de la granulométrie :

L'anova 1 accompagnée par le classement de Tukey entre les trois horizons

	DDL	SCE	CM	F obs	P
Factorielle	2	0	0	0.00	1.000
Résiduelle	12	2506	209		
Total	14	2506			

DDL : Degré de liberté; **SCE:** Sommes des carrées des écarts; **CM:** Carré moyen; **F obs :** Test de Fisher; **P:** Seuil de signification.

Teste de Tukey :

Horizons	N	Moyenne	Groupe
2	5	20	A
1	5	20	A
3	5	20	A

N: c'est le nombre d'effectif.

Groupe A : le test Tukey classe les horizons entre eux et cette analyse a révélé que tes horizons se ressemblent.

L'analyse d'Anova à un seul critère de classification pour les paramètres de granulométrie a révélé qu'il n'y a pas une différence significative entre les trois horizons (H₁, H₂ et H₃) p=1.000.

Le test de Tukey pour les paramètres de granulométrie a classé les horizons en un seul groupe A.

Pour les paramètres physico-chimiques :

Anova 1 :

	DDL	SCE	CM	F obs	P
Factorielle	2	12	6	0.01	0.990
Résiduelle	48	27984	583		
Total	50	27997			

DDL : Degré de liberté; **SCE:** Sommes des carrées des écarts; **CM:** Carré moyen; **F obs:** Test de Fisher; **P:** Seuil de signification

Test de Tukey :

Horizons	N	Moyenne	Groupe
2	17	11.12	A
1	17	10.10	A
3	17	10.06	A

N: c'est le nombre d'effectif

Groupe A : le test Tukey classe les horizons entre eux et cette analyse a révélé que tes horizons se ressemblent.

L'analyse d'Anova à un seul critère de classification pour les paramètres physico-chimiques a révélé qu'il n'y a pas une différence significative entre les trois horizons (H₁, H₂ et H₃) p=0.990.

Le test de Tukey pour les paramètres physico-chimiques a classé les horizons en un seul groupe A.

Pour le fractionnement de la matière organique du sol :

Anova 1:

	DDL	SCE	CM	F obs	P
Factorielle	2	321	161	0.16	0.855
Résiduelle	15	15255	1017		
Total	17	15577			

DDL : Degré de liberté; **SCE**: Sommes des carrées des écarts; **CM**: Carré moyen; **F obs**: Test de Fisher; **P**: Seuil de signification

Test de Tukey :

Horizons	N	Moyenne	Groupe
2	6	30.53	A
3	6	25.31	A
1	6	20.18	A

N: c'est le nombre d'effectif.

Groupe A : le test Tukey classe les horizons entre eux et cette analyse a révélé que ces horizons se ressemblent.

L'analyse d'Anova à un seul critère de classification pour Le fractionnement de la matière organique du sol a révélé qu'il n'y a pas une différence significative entre les trois horizons (H₁, H₂ et H₃) p=0.855.

Le test de Tukey pour Le fractionnement de la matière organique du sol a classé les horizons en un seul groupe A.

4.5.1. Station: 5 - Mechta El-Hadjajia (Profil N: 01).

4.5.1.1. Description morphologique :

Fiche de description N : 05

Numéro de station: 05 – Mechta El-Hadjajia.

La date:23/03/2013

Position géographique: N : 36° 23' 08.6'', E : 007° 53' 14.0'', Z : 1005m.

La géologie : grés de Numidie.

La géomorphologie: pente exposition Nord.

La végétation: forêt de mixte : chêne liège (*Quercus suber*), chêne zeen (*Quercus canariensis*), bruyère arborescente (*Erica arborea*), urginée maritime (*Urginea maritima*), l'aubépine (*Crataegus monogyna*), olivier sauvage (*Olea europaea*), Asphodèle (*Asphodelus microcarpus*).

Le climat: une journée ensoleillée.

Description du profil N : 01



0-20cm: couleur noir (7.5YR2/0) (black), riche en débris organique, texture limoneuse, structure particulière, présence d'activité biologique, pas de réaction à l'HCl.

20-50cm: couleur marron (10YR3/6) (darkyellowish brown) riche en matière organique décomposée, texture argilo-limoneuse, structure grossière, présence de peu de racines fines, pas de réaction à l'HCl.

>50cm: couleur marron jaunâtre (10YR5/6) (yellowishbrown), texture argileuse, structure particulière, peu de racine fine, sol humide, avec quelque trace d'hydromorphie temporaire, présence de graviers et de fragments de roche en altération, ne réagit pas à l'HCl.

4.5.1.2. Résultats analytiques :

Param Horiz	Prof (cm)	La granulométrie %					pH eau	pH KCl	C.E µs/cm	H %	MO %	Tx Cend %	D _R g/cm ³	D _A g/cm ³	Poro %	C %	K meq/ g	Na meq/ g	Mg meq/ g	Ca meq/ g	P meq/ g	NH ₄ ⁺ meq/ l	N Total %
		Ar	LF	LG	SF	SG																	
S ₅ P ₁ H ₁	0-20	55,18	14,69	0,81	14,83	14,49	6.17	3.73	16.8	4.8	14.7	85.3	12.19	1.66	87	1.29	0,056	0,024	0.238	0.127	0,01	3,10	0.044
S ₅ P ₁ H ₂	20- 50	59,72	10,39	03,02	14,79	12,08	6.12	3.37	9.8	3.4	9.31	90.69	14.28	1.68	89	0.46	0,036	0,020	0.209	0.661	0,01	4,60	0.022
S ₅ P ₁ H ₃	>50	70,16	07,26	02,26	10,27	10,05	6.11	3.31	10.7	5.4	10.57	89.43	34.36	2.12	94	0.43	0,042	0,024	0.328	0.112	0,06	6,30	0.0104

4.4.1.3. Interprétation:

L'analyse granulométrique des différents horizons de ce profil (tableau ci-dessus) fait ressortir la dominance des argiles tous le long du profil, avec des valeurs croissantes de la surface jusqu'à la profondeur (plus de 55%). Ces valeurs permettent de définir une texture franchement argileuse. (Figure : 24-A).

La mesure du pH eau montre que nous sommes en présence d'un sol faiblement acide en surface qui devient nettement acide à très acide en profondeur. (Figure : 24-B).

L'analyse du pH KCl confirme le caractère acide notamment en profondeur. La faible acidité de l'horizon de surface est probablement liée à l'effet de la matière organique.

La conductivité électrique de ce profil est relativement élevée en surface tandis que les couches profondes enregistrent de très faibles valeurs (figure : 24-C) ; ce qui indique que le sol est non salé.

L'analyse de la matière organique donne une valeur importante en surface qui diminue brutalement dans les couches profondes du profil. (Figure : 24-E). Ceci traduit une forte minéralisation liée à une intense activité biologique en surface et une faible migration de la matière organique vers les horizons de profondeur.

L'évaluation du taux de cendre confirme le caractère minéral des sols surtout en profondeur. (Figure : 24-F).

L'analyse du carbone donne des valeurs trop faibles, qui deviennent presque négligeable avec la profondeur (Figure : 24-H), et ce phénomène explique une forte minéralisation de la matière organique, avec une activité biologique intense.

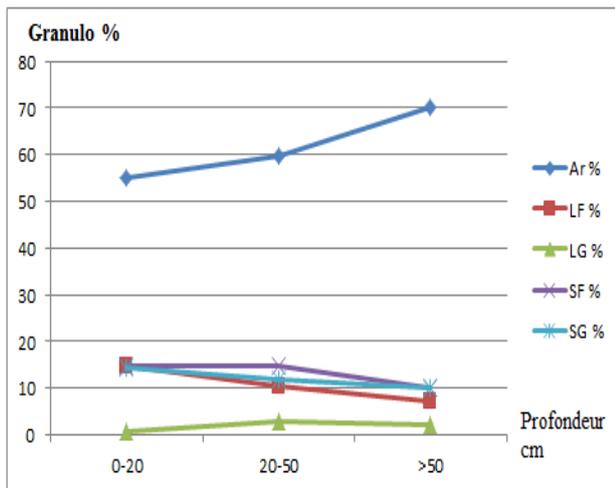
La porosité est obtenue par la relation densité apparent densité réelle, les résultats enregistre des valeurs très importantes et élevés pour la porosité de notre, ce qui explique la structure grossière et particulière des sols, avec une bonne activité biologique. (Figure : 24-G).

L'évaluation du taux de l'azote total montre que ce profil est très pauvre en azote total dont ces valeurs diminuent avec la profondeur jusqu'à 0.0104%. (Figure : 24-I).

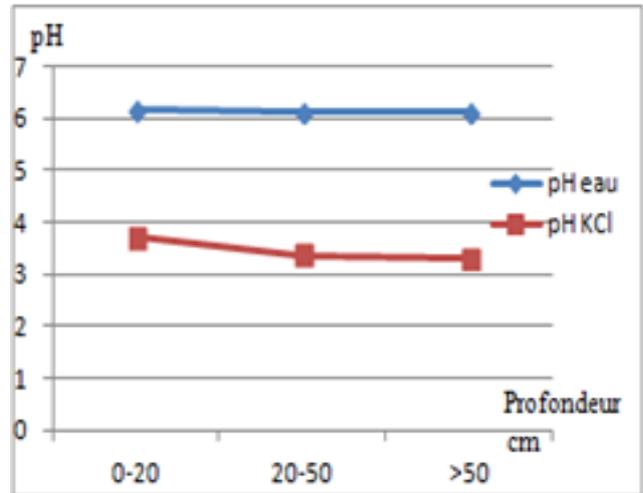
La caractérisation du rapport C/N du sol montre que ce rapport est supérieur à 30 pour tous les horizons du profil, ce qui explique qu'il n'y a pas assez d'azote pour permettre la décomposition du carbone, Il est couramment admis que, plus le rapport C/N d'un produit est élevé, plus il se décompose lentement dans le sol mais plus l'humus obtenu est stable.

Les analyses des bases échangeables K, Na, Ca, et P donne des faibles valeurs et qui diminuent avec la profondeur, (Figure : 24-J).

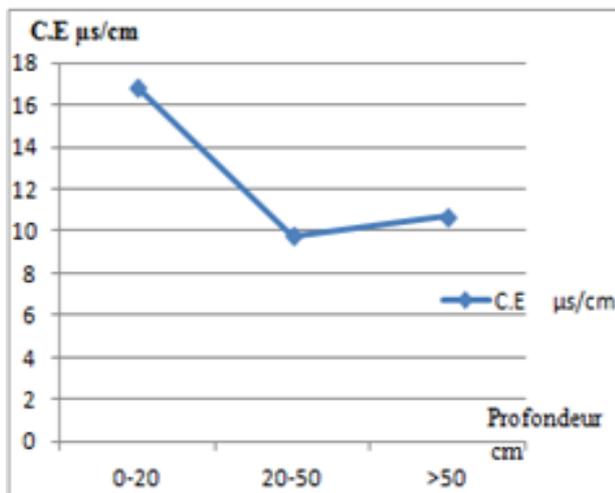
Pour l'analyse du NH_4^+ , les valeurs augmentent avec la profondeur, elles varient entre 3,10 et 6.30 meq/l, (Figure : 24-K).



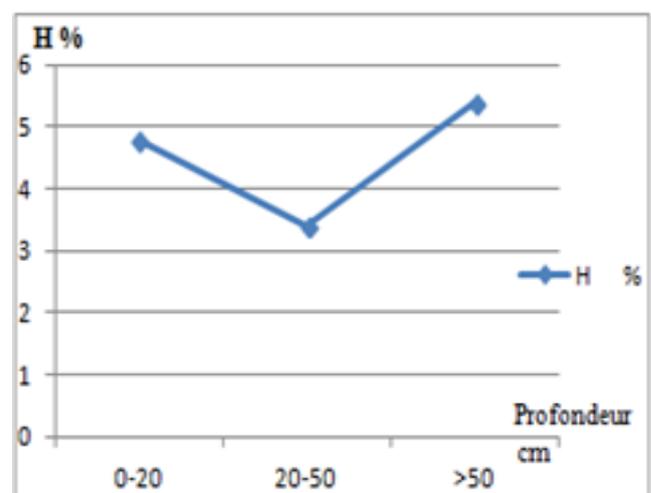
A: Granulométrie



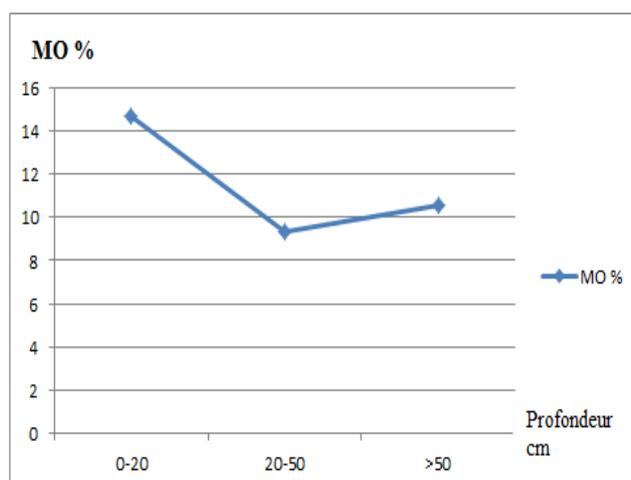
B: pHeau, pHKCl



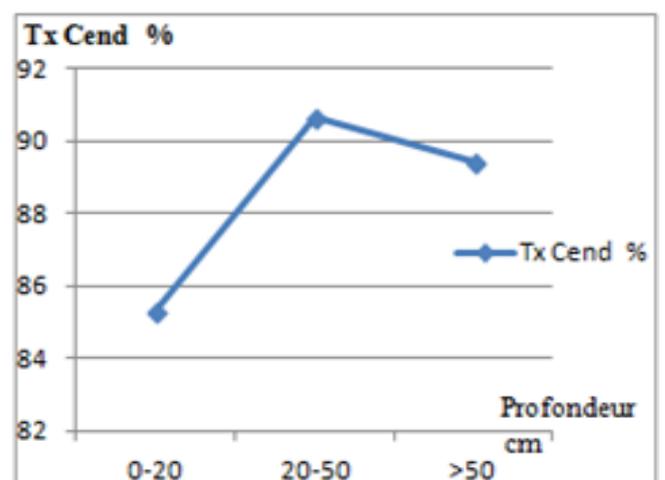
C: Conductivité



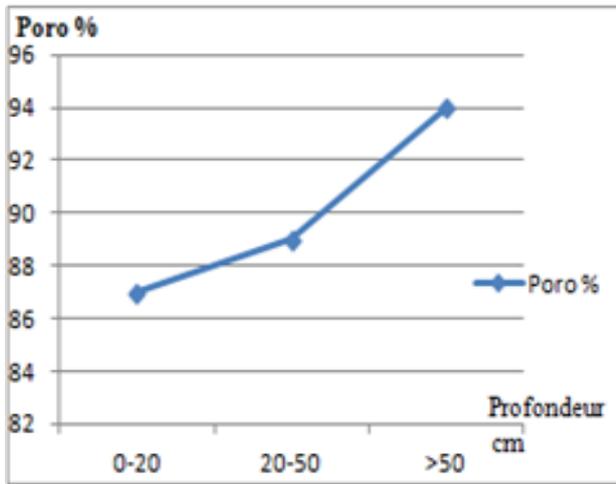
D : Humidité



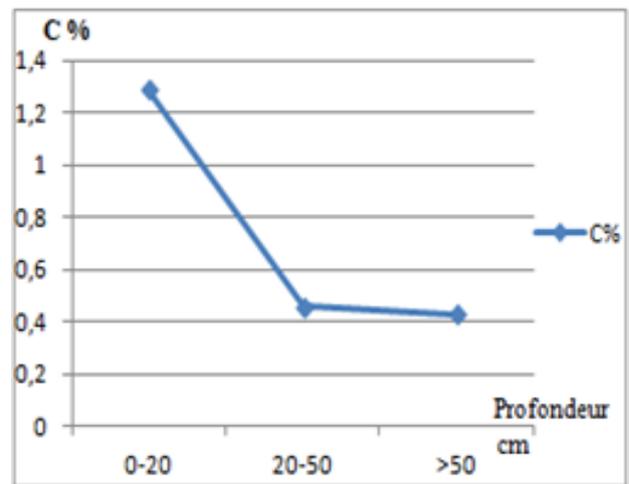
E: Matière organique



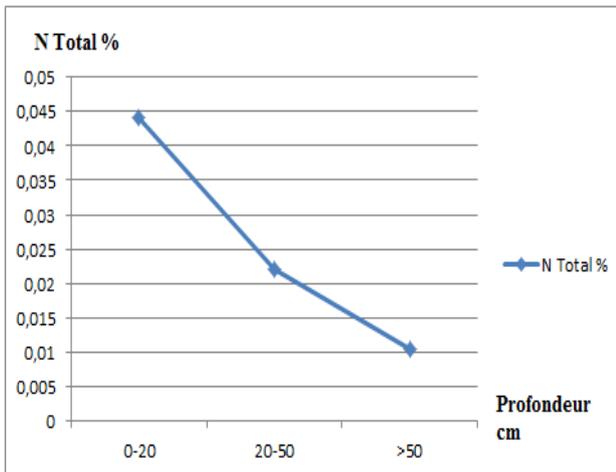
F: taux d'incinération



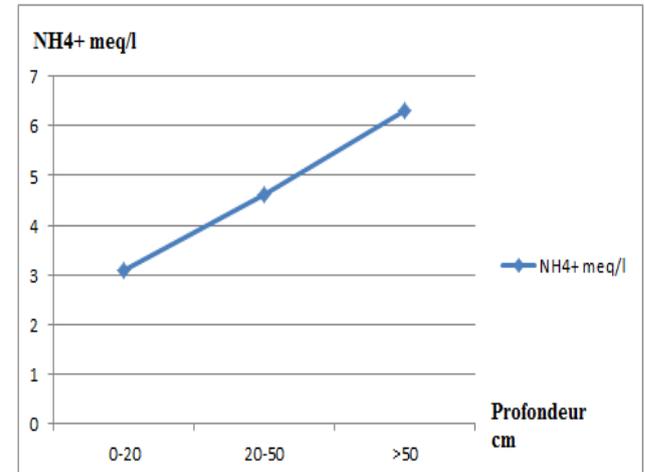
G: porosité



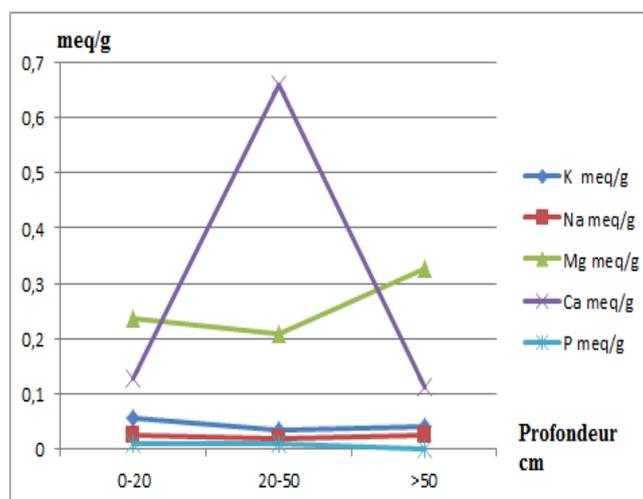
H: carbone organique



I: Azote total



J : Bases échangeables



K: Ammonium

Fig. 24 - Profil 1- Mechta El-Hadjajia

4.5.1.4. Le fractionnement de la matière organique du sol:

Les résultats du fractionnement de la matière organique sont mentionnés dans le tableau suivant :

Profil	M.O.L % (matière végétale légère)	A.F %(acide Fulvique)	H % (humine)	A.H % (acide humique)	Taux d'humification %	Degré de polymérisation %
S ₅ P ₁ H ₁	14.56	1.72	82.17	1.55	86.27	0,039
S ₅ P ₁ H ₂	0.87	9.13	86.95	3.04	99.13	0,13
S ₅ P ₁ H ₃	2.34	9.30	86.04	2.32	49.24	0,13

Interprétation :

Dans cette station constatons une faible représentation de la matière organique légère et qui diminue avec la profondeur, l'humine bien représenté plus 80% augmente légèrement avec la profondeur.

Les acides fulviques très faible en surface et ne dépasse pas 10% en profondeur, les acides humiques augmente également avec la profondeur.

Dans cette station le taux d'humification est très élevé qui atteint plus 90% le long du profil. (Figure : 24-L).

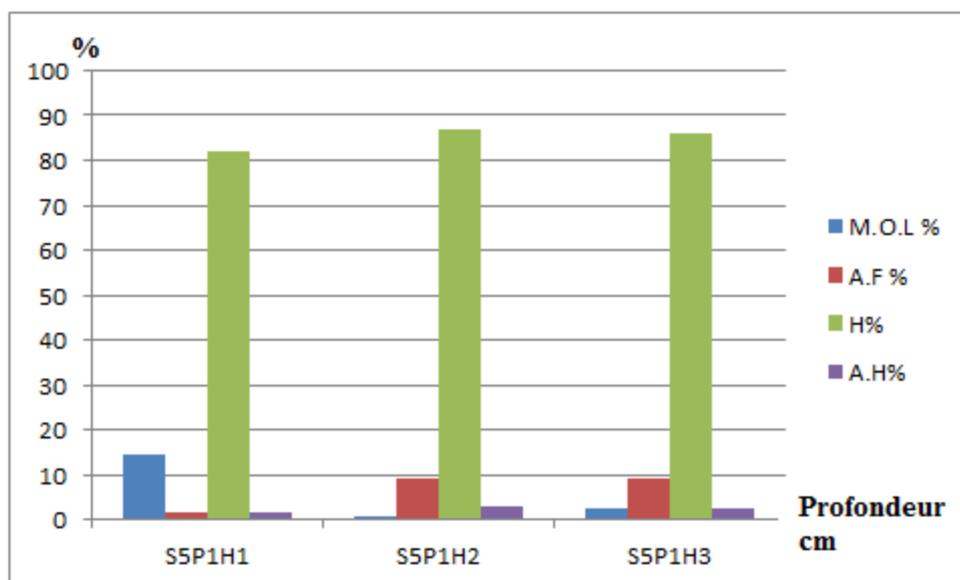


Fig. 24-L : Répartition des différentes fractions de la matière organique en fonction de la profondeur, sous forêt mixte de chêne lège et chêne zeen.

4.5.1.5. Analyse statistique :

Comparaison entre les horizons pour le paramètre de la granulométrie :

L'anova 1 accompagnée par le classement de Tukey entre les trois horizons.

	DDL	SCE	CM	F obs	P
Factorielle	2	0	0	0.00	1.000
Résiduelle	12	6926	577		
Total	14	6926			

DDL : Degré de liberté; **SCE:** Sommes des carrées des écarts; **CM:** Carré moyen; **F obs:** Test de Fisher; **P:** Seuil de signification.

Test de Tukey :

Horizons	N	Moyenne	Groupe
3	5	20	A
1	5	20	A
2	5	20	A

N: c'est le nombre d'effectif.

Groupe A : le test Tukey classe les horizons entre eux et cette analyse a révélé que tes horizons se ressemblent.

L'analyse d'Anova à un seul critère de classification pour les paramètres de granulométrie a révélé qu'il n'y a pas une différence significative entre les trois horizons (H₁, H₂ et H₃) p=1.000.

Le test de Tukey pour les paramètres de granulométrie a classé les horizons en un seul groupe A.

Pour les paramètres physico-chimiques :

Anova 1 :

	DDL	SCE	CM	F obs	P
Factorielle	2	31	15	0.02	0.982
Résiduelle	48	39955	832		
Total	50	39986			

DDL : Degré de liberté; **SCE:** Sommes des carrées des écarts; **CM:** Carré moyen; **F obs:** Test de Fisher; **P:** Seuil de signification.

Test de Tukey :

Horizons	N	Moyenne	Groupe
3	17	15.49	A
1	17	13.96	A
2	17	13.76	A

N: c'est le nombre d'effectif

Groupe A : le test Tukey classe les horizons entre eux et cette analyse a révélé que tes horizons se ressemblent.

L'analyse d'Anova à un seul critère de classification pour les paramètres physico-chimiques a révélé qu'il n'y a pas une différence significative entre les trois horizons (H₁, H₂ et H₃) p=0.982.

Le test de Tukey pour les paramètres physico-chimiques a classé les horizons en un seul groupe A.

Pour le fractionnement de la matière organique du sol :

Anova 1 :

	DDL	SCE	CM	F obs	P
Factorielle	2	223	112	0.07	0.937
Résiduelle	15	25697	1713		
Total	17	25920			

DDL : Degré de liberté; **SCE**: Sommes des carrées des écarts; **CM**: Carré moyen; **F obs**: Test de Fisher; **P**: Seuil de signification

Test de Tukey :

Horizons	N	Moyenne	Groupe
2	6	33.21	A
1	6	31.05	A
3	6	24.90	A

N: c'est le nombre d'effectif

Groupe A : le test Tukey classe les horizons entre eux et cette analyse a révélé que ces horizons se ressemblent.

L'analyse d'Anova 1 à un seul critère de classification pour Le fractionnement de la matière organique du sol a révélé qu'il n'y a pas une différence significative entre les trois horizons (H₁, H₂ et H₃) p=0.937.

Le test de Tukey pour Le fractionnement de la matière organique du sol a classé les horizons en un seul groupe A.

4.6.1. Station : 06 - El-Machrouha (Profil N : 01)

4.6.1.1. Description morphologique :

Fiche de description N : 06

Numéro de station: 06 – El-Machrouha.

La date : 23/03/2013

Position géographique: N : 36° 23' 00.5'', E : 007° 51' 00.5'', Z : 847m.

La géologie : grés de Numidie.

La géomorphologie: pente exposition Nord.

La végétation: chêne liège (*Quercus suber*), Asphodèle (*Asphodelus microcarpus*), calycotome épineux (*Calycotome spinosa*), diss (*Ampelodesmamauritanicum*), l'aubépine jaune (*Crataegus azarolus*), ronce à feuilles d'orme (*Rubus ulmifolius*)

Le climat: ciel claire.

Description du profil N : 01



0-20cm: couleur marron noir (10YR2/2) (verydarkbrown), riche en matière organique, texture limoneuse, structure particulière, présence de beaucoup de racines, avec du gravier, et une activité biologique intense pas de réaction à l'HCl.

20-40cm: couleur marron claire (10YR5/2) (grayishbrown), texture sableuse, structure particulière, riche en graviers, avec peu de racines, pas de réaction à l'HCl.

40-60cm: couleur marron jaunâtre (10YR6/6) (brownishyellow), avec beaucoup de tâche d'hydromorphie, pas de racines, texture argileuse, structure massive (compacte) pas de réaction à l'HCl.

Chapitre IV : Résultats et discussions

4.1.1.2. Résultats analytiques :

Param Horiz	Prof (cm)	La granulométrie %					pH eau	pH KCl	C.E µs/cm	H %	MO %	Tx Cend %	D _R g/cm ³	D _A g/cm ³	Poro %	C %	K meq/ g	Na meq/ g	Mg meq/ g	Ca meq/ g	P meq/ g	NH ₄ ⁺ meq/ l	N Total %
		Ar	LF	LG	SF	SG																	
S ₆ P ₁ H ₁	0-20	27,43	24,65	06,61	24,91	16,40	5.42	3.43	21.5	3.6	8,24	91,75	2,05	1,49	27,31	1,44	0.037	0,017	0.143	0.914	0,02	4,30	0.018
S ₆ P ₁ H ₂	20-40	51,37	32,34	02,19	08,54	05,56	5.88	3.19	16.3	3.2	6,52	93,47	1,95	1,61	17,43	1,36	0.031	0,025	0.3	0.649	0,22	3,10	0.028
S ₆ P ₁ H ₃	40-60	58,21	16,08	15,33	05,33	05,05	5.67	2.93	13.6	4.2	5,44	94,55	1,74	1,66	4,59	1,33	0.031	0,028	0.289	0.494	0,18	3,19	0.0128

4.6.1.3. Interprétation:

Les analyses physiques et chimiques réalisées sur ce profil montrent que chaque horizon a une texture différente à l'autre ; le 1^{er} de surface présente une texture sablo-limoneuse, le second a une texture argilo-limoneuse, le 3^{ème} et le dernier a une texture nettement argileuse (plus de 58% d'argile). (Figure : 25-A).

La caractérisation chimique de ce profil montre une réaction franchement acide dans tous les horizons; (figure : 25-B). Nous constatons une faible différence entre l'acidité actuelle et potentielle (caractéristique des sols insaturés acides).

La conductivité électrique est proportionnelle à la qualité des sels ionisables, elle constitue une bonne indication du degré de minéralisation du sol. (Duchaufour, 1983) ; et dans notre profil la salinité diminue avec la profondeur et elle est toujours faible, et les sols de ce profil sont non salés. (Figure : 25-C).

L'évaluation de l'humidité hygroscopique donne des valeurs qui augmentent de la surface à la profondeur (figure : 25-D), ce qui montre que la présence d'argiles en profondeur augmente la rétention d'eau hygroscopique.

Le suivie de la matière organique donne des valeurs qui diminuent avec la profondeur. (Figure : 25-E). La présence de la matière organique favorise l'activité biologique. Le suivie du taux de la matière organique enregistre une diminution en fonction de la profondeur.

L'évaluation du taux de cendre confirme le caractère minéral des sols, surtout en profondeur. (Figure : 25-F).

La porosité du sol, représente le volume des pores d'un sol et leurs dimensions. Elle dépend de la composition granulométrique et de la structure ; dans notre profil la texture limoneuse en surface offre une bonne porosité, cette dernière diminue avec la profondeur et avec l'augmentation du taux d'argile. (Figure : 25-G).

L'évaluation du taux du carbone organique dans ce profil, donne des faibles valeurs, sur tous en profondeur, ce qui confirme la diminution de la matière organique d'un horizon à autre ; La totalité de la matière organique est intégrée dans le sol. (Figure : 25-H).

L'analyse de l'azote total donne des faibles valeurs dans tous les horizons de ce profil dont les valeurs obtenues varient entre 0.018 % et 0.0118 % et qui diminuent avec la profondeur. (Figure : 25-I).

Le rapport C/N constitue un indice de bonne ou mauvaise évolution des matières organiques. Le rapport de C/N pour cette station présente des valeurs supérieures à 50 pour tous les horizons, Ces valeurs élevées sont reliés à des conditions d'évolution défavorables. (Anonyme 06).

Les analyses des bases échangeables K, Na, Ca, et P donne des faibles valeurs et qui diminuent avec la profondeur, (Figure : 25-J).

Pour l'analyse du l'NH_4^+ , les valeurs reste presque stable dans tous les horizons du profil, elles varient entre 4.30 et 3019 meq/l, (Figure : 25-K).

4.6.1.4. Le fractionnement de la matière organique du sol :

Les résultats du fractionnement de la matière organique sont mentionnés dans le tableau suivant :

Profil	M.O.L %(matière végétale légère)	A.F %(acide Fulvique)	H %(humine)	A.H% (acide Humique)	Taux d'humification %	Degré de polymérisation %
S ₆ P ₁ H ₁	50.77	3.86	38.65	6.72	49.24	0,27
S ₆ P ₁ H ₂	10.84	39.16	50	0	89.16	0,78
S ₆ P ₁ H ₃	1.634	5.34	93.02	0	98.37	0,057

Interprétation :

Dans cette station, la matière organique légère présente une diminution avec la profondeur par contre l'humine évolue dans le sens inverse.

Les acides fulviques enregistre une forte accumulation au centre du profil avec une absence des acides humiques à la base du même profil. (Figure : 25-L).

Dans cette station le taux d'humification moyen en surface devient très important au milieu et à la base du profil.

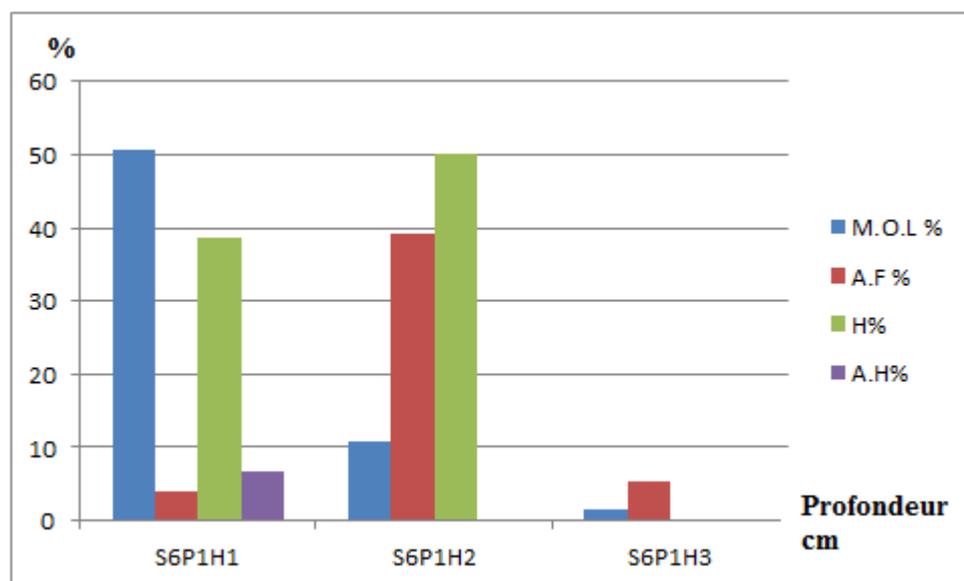


Fig. 25-L : Répartition des différentes fractions de la matière organique en fonction de la profondeur, sous forêt de chêne léger.

4.6.1.5. Analyses statistiques :

Comparaison entre les horizons pour le paramètre de la granulométrie :

L'Anova 1 accompagnée par le classement de Tukey entre les trois horizons.

	DDL	SCE	CM	F obs	P
Factorielle	2	0	0	0.00	1.000
Résiduelle	12	4022	335		
Total	14	4022			

DDL : Degré de liberté; **SCE**: Sommes des carrées des écarts; **CM**: Carré moyen; **F obs** : Test de Fisher; **P**: Seuil de signification.

Test de Tukey :

Horizons	N	Moyenne	Groupe
2	5	20	A
1	5	20	A
3	5	20	A

N: c'est le nombre d'effectif

Groupe A : le test Tukey classe les horizons entre eux et cette analyse a révélé que tes horizons se ressemblent.

L'analyse d'Anova à un seul critère de classification pour les paramètres de granulométrie a révélé qu'il n'y a pas une différence significative entre les trois horizons (H_1 , H_2 et H_3) $p=1.000$.

Le test de Tukey pour les paramètres de granulométrie a classé les horizons en un seul groupe A.

Pour les paramètres physico-chimiques :

Anova 1 :

	DDL	SCE	CM	F obs	P
Factorielle	2	30	15	0.03	0.971
Résiduelle	48	24146	503		
Total	50	24176			

DDL : Degré de liberté; **SCE**: Sommes des carrées des écarts; **CM**: Carré moyen; **F obs**: Test de Fisher; **P**: Seuil de signification

Le test de Tukey :

Horizons	N	Moyenne	Groupe
2	17	10.10	A
1	17	9.13	A
3	17	8.23	A

N: c'est le nombre d'effectif

Groupe A : le test Tukey classe les horizons entre eux et cette analyse a révélé que tes horizons se ressemblent.

L'analyse d'Anova à un seul critère de classification pour les paramètres physico-chimiques a révélé qu'il n'y a pas une différence significative entre les trois horizons (H_1 , H_2 et H_3) $p=0.971$.

Le test de Tukey pour les paramètres physico-chimiques a classé les horizons en un seul groupe A.

Pour le fractionnement de la matière organique :**Anova 1 :**

	DDL	SCE	CM	F obs	P
Factorielle	2	228	114	0.08	0.921
Résiduelle	15	20718	1381		
Total	17	20945			

DDL : Degré de liberté; **SCE**: Sommes des carrées des écarts; **CM**: Carré moyen; **F obs**: Test de Fisher; **P**: Seuil de signification

Test de Tukey :

Horizons	N	Moyenne	Groupe
3	6	33.07	A
2	6	31.66	A
1	6	24.92	A

N: c'est le nombre d'effectif.

Groupe A : le test Tukey classe les horizons entre eux et cette analyse a révélé que ces horizons se ressemblent.

L'analyse d'Anova à un seul critère de classification pour Le fractionnement de la matière organique du sol a révélé qu'il n'y a pas une différence significative entre les trois horizons (H₁, H₂ et H₃) p=0.921.

Le test de Tukey pour Le fractionnement de la matière organique du sol a classé les horizons en un seul groupe A.

5. Relations sols-végétations :

5.1. Introduction :

La relation sol-végétation dans la forêt d'Ouled Bechih (Souk-Ahras) peut être déterminée par l'analyse des propriétés des sols qui sont sous l'influence directe du climat, de la végétation et la topographie, à savoir la teneur en matière organique et l'évolution de la réaction du sol.

L'influence du sol sur la végétation est déterminée par l'analyse des inventaires floristiques dans les différents groupements.

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau représentatif des résultats morpho-analytiques de la forêt d'Ouled Bechih (Souk-Ahras) :

Coordonnées des stations	Inventaire floristique
<p>Profil N : 01. Lieu : El-Djebha. Roche mère : grés de Numidie. Altitude : 856m.</p>	<p>chêne liège (<i>Quercus suber</i>), bruyère arborescente (<i>Erica arborea</i>), ronce à feuilles d'orme (<i>Rubus ulmifolius</i>), l'aubépine (<i>Crataegus monogyna</i>), Asphodèle (<i>Asphodelus microcarpus</i>), présence d'une couche de litière d'épaisseur de 1 cm à base de feuilles de chêne liège.</p>
<p>Profil N : 02. Lieu : El-Mechta Salem Roche mère : grés de Numidie. Altitude : 823m.</p>	<p>chêne zeen (<i>Quercus canariensis</i>), chêne liège (<i>Quercus suber</i>), l'eucalyptus (<i>Eucalyptus globulus</i>), Asphodèle (<i>Asphodelus microcarpus</i>), urginée maritime (<i>Urginea maritima</i>), ronce à feuilles d'orme (<i>Rubus ulmifolius</i>), l'aubépine (<i>Crataegus monogyna</i>),</p>

<p>Profil N : 03. Lieu : El-Mazraa. Roche mère : grés de Numidie. Altitude : 552m.</p>	<p>forêt de chêne liège (<i>Quercus suber</i>), lentisque (Pistacialentiscus), olivier sauvage (Oleaoleaster), Asphodèle (<i>Asphodelusmicrocarpus</i>), calycotome épineux (<i>Calycotomevillosa</i>), bruyère arborescente (<i>Erica arborea</i>), l'aubépine (<i>Crataegus monogyna</i>), Urginée maritime (<i>Urgineamaritima</i>),</p>
<p>Profil N : 04. Lieu : El-Matlague. Roche mère : grés de Numidie. Altitude : 780m.</p>	<p>forêt de chêne zeen (<i>Quercus canariensis</i>), bruyère arborescente (<i>Erica arborea</i>), urginée maritime (<i>Urgineamaritima</i>), l'aubépine (<i>Crataegus monogyna</i>), Asphodèle (<i>Asphodelusmicrocarpus</i>).</p>
<p>Profil N : 05. Lieu : Mechta El-Hadjajia. Roche mère : grés de Numidie. Altitude : 1005m.</p>	<p>forêt de mixte : chêne liège (<i>Quercus suber</i>), chêne zeen (<i>Quercus canariensis</i>), bruyère arborescente (<i>Erica arborea</i>), urginée maritime (<i>Urgineamaritima</i>), l'aubépine (<i>Crataegus monogyna</i>), olivier sauvage (Oleaoleaster), Asphodèle (<i>Asphodelusmicrocarpus</i>).</p>
<p>Profil N : 06. Lieu : El-Machrouha. Roche mère : grés de Numidie. Altitude : 847m.</p>	<p>chêne liège (<i>Quercus suber</i>), Asphodèle (<i>Asphodelusmicrocarpus</i>), calycotome épineux (<i>Calycotomespinosa</i>), diss (<i>Ampelodesmamauritanicum</i>), l'aubépine jaune (<i>Crataegus azarolus</i>), ronce à feuilles d'orme (<i>Rubusulmifolius</i>)</p>

5.2. Discussion :

L'analyse de ce tableau est en parfaite corrélation avec la réalité du terrain, car la forêt d'Ouled Bechih est constituée principalement par la subéraie et la zeenaie, avec les différents stades de dégradation et d'intégration entre ces deux peuplements, qui partagent le même substrat et un grand nombre de facteurs climatiques, mais le chêne zeen est dominant dans les

stations les plus froides, qui sont souvent en altitude ; alors qu'il est remplacé par le chêne liège dans les stations aérées est bien exposées.

La description morphologique est les résultats analytiques des différents profils font ressortir cette relation : La différenciation des sols est liée aux facteurs de formation et d'évolution : facteurs de pédogénèse où la roche mère, le climat et la nature du couvert végétale sont les facteurs déterminants.

La roche mère ; dans l'ensemble des stations étudiées est la même, elle est formé par des grés et d'argiles de Numidie. L'altération des grés libère une arène sableuse qui est à l'origine de la texture sableuse du sol. Les bandes d'argiles constituent souvent une zone de blocage devant la progression des substances hydrosolubles et des matières en suspensions transportées par l'eau dans les profils ; ce qui limite les pertes de ces éléments, mais il permet leurs déplacement dans le profil.

Le climat de la zone est caractérisé par une pluviométrie assez abondante qui joue un rôle non négligeable dans l'altération des roches d'une part, (L'eau des pluies a d'autres impacts sur le sol. Lors de l'infiltration et de la percolation de l'eau à travers le sol, des produits en solution (divers cations et anions) sont lessivés du sol par la percolation. Là où les pluies et la percolation sont abondantes, les sols ont tendance à s'acidifier à cause de l'exportation des cations basiques (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) au profit de l'apport de H^+ . Et dans la distribution des particules et les éléments minéraux et organiques dans le sol. (Donc l'eau qui ruisselle à la surface détache et transporte des sédiments et matières organiques. Le déplacement du sol par l'érosion hydrique contribue à une réorganisation horizontale du sol dans laquelle certains versants sont progressivement décapés de leur couvert pédologique tandis que des dépressions représentent des lieux d'accumulation. (Anonyme, 07).

Une roche mère perméable, facilement altérable, et un climat pluvieux et tempéré favorisent l'installation d'un couvert végétale dense diversifié.

Les types de végétaux et la biomasse en surface sont fortement corrélés avec le climat. La végétation apporte de la matière organique au sol et les organismes décomposent les matières organiques et structurent le sol. L'apport de matières organiques est fondamental pour les propriétés physiques et chimiques des sols. Dans le contexte de la formation des sols, trois rôles de la végétation peuvent être soulignés. Premièrement, les végétaux favorisent la météorisation physique du matériau d'origine par la pénétration des racines. Il suffit de

contempler comment les racines peuvent soulever et déformer les rues et trottoirs pour constater la force impressionnante qu'exercent les racines. Deuxièmement, la décomposition des matières organiques, qui sont riches en C, H et O, libère des H^+ qui favorisent la météorisation chimique du sol. Enfin, la concentration de matières organiques dans le sol favorise la fertilité du sol et permet une meilleure densité et croissance des végétaux : ceci accélère les processus de météorisations physiques et chimiques. En réalité, la présence des végétaux joue un rôle essentiel dans la formation d'horizons à l'intérieur du profil du sol, (aux milieux avec un couvert végétal dense. Il y a une très forte différenciation des horizons). (Morschel, 2008).

Le couvert végétal réagit aux conditions édaphiques tel que : la texture, la porosité, la nature des minéraux de la roche mère, le bilan hydrique du sol ... et à l'influence de la pression humaine et animale et la topographie et le temps.

L'influence de la topographie se ressent aux échelles régionale ou locale. D'abord, elle a un impact sur le meso-climat. Les pluies et températures sont influencées par l'altitude et l'orientation des versants. Ceci crée des contrastes entre versants Nord et Sud en Méditerranée, par exemple, où les versants Nord ont tendance à être plus humides grâce à un taux d'évapotranspiration plus faible (moins d'ensoleillement direct) et donc à favoriser la croissance végétale et des sols plus épais dans un milieu connu pour son stress hydrique estival. Nous trouvons des tendances contraires en zones froides, où le facteur limitant est énergétique et dans ce cas, les sols sur versants Sud sont souvent mieux développés que sur versants Nord où la neige persiste plus longtemps. Pour la pluie, nous pouvons noter les différences entre les versants bien arrosés sur les versants West des cordillères et les versants Est qui sont beaucoup plus secs.

Ensuite, la topographie influence le ruissellement et les zones d'érosion et de dépôt des sédiments. Ainsi, l'érosion décape les parties convexes et les versants raides, et le dépôt de sédiments augmente l'épaisseur du sol en bas de versant. Enfin, la topographie a un impact sur la circulation de l'eau et surtout sur l'accumulation de l'eau dans les zones de dépression où les eaux de ruissellement et d'écoulement hypodermiques (à l'intérieur du profil du sol) se concentrent. Ceci crée des conditions anaérobies avec accumulation de matières organiques (formation de tourbières) et parfois même la réduction du Fe^{3+} à Fe^{2+} , qui produit une couche de sol gris ou vert clair. (Emsellem, 2008).

Le temps permet au sol de former des horizons qui reflètent les conditions locales. L'échelle de temps pour la formation d'un sol se mesure en milliers d'années. Cependant, elle ne peut être considérée qu'en relation avec l'intensité de météorisation : des centaines de millions d'années dans un milieu aride peuvent donner des effets moins importants que quelques centaines d'années dans un milieu humide tropical. Plus les conditions de météorisation et de pédogenèse sont intenses, moins il faut de temps pour altérer le matériau d'origine et former des horizons distinctes. (Anonyme ; 8).

Aussi le couvert de végétation influence l'évolution du sol par un apport important permanent de matière organique sous forme de litière. C'est l'évolution de la litière qui est à l'origine de la différenciation des sols dans les chênaies qui sont parmi les systèmes naturels les mieux régulés au monde, et sont considérées comme des milieux les plus équilibrés.

Dans la forêt d'Ouled Bechih nous avons constatés trois situations : à savoir la subéraie, la zeenaie, et la forêt mixte.

La subéraie constituée essentiellement par le *Quercus suber*, espèce calcifuge, se développe sur un sol pauvre, peu évolué, en mélange avec un cortège floristique dominé par : Frêne à feuilles étroite (*Fraxinus angustifolia*), Asphodèle (*Asphodelus microcarpus*), Diss (*Ampelodesma mauritanicum*), ronce à feuilles d'orme (*Rubus ulmifolius*), calycotome épineux (*Calycotome villosa*), ciste de montpellier (*Cistus monospeleus*), bruyère arborescente (*Erica arborea*), l'aubépine (*Crataegus monogyna*), chardon laiteux (*Galactites tomentosus*), trèfle blanc (*Trifolium repense*), Urginée maritime (*Urginea maritima*), daphné de gnidium (*Daphné gnidium*), des cyclamens (*Cyclamen africanum*), la filaire (*Phillyrea latifolia*).

Ce cortège floristique offre au sol une quantité de litière peu abondante, car le *Quercus suber* est une espèce à feuille persistante ainsi que le reste du cortège ; le renouvellement des feuilles peut être établi sur toute l'année, donc un apport continue de litière qui se décompose rapidement par une faune et une flore très abondante. La disparation rapide de la litière élimine l'effet protecteur de cette litière et expose le sol aux actions de dégradation, notamment l'érosion. C'est ainsi que nous retrouvons en générale des sols peu évolués, très érodés, pauvres en matière organique sous couvert forestier.

Dans la forêt mixte qui se développe dans la zone de transition entre la subéraie et la zénaie. Nous avons constatés un enrichissement du sol par un important apport de litière composée essentiellement par les débris organiques issus des chênes zeen, qui s'accumule à la surface du sol suite aux ralentissements de l'activité biologique qui peut être inhibé par le froid en période hivernale. Le sol ainsi formé est un sol brun forestier peu développé (lessivé).

En altitude le chêne liège est éliminé par le froid, il est remplacé par le chêne zeen (*Quercus canariensis*), espèce à feuille caduque. Durant la période hivernale, le chêne zeen perd son feuillage et alimente le sol par un important apport en litière ; durant l'hiver les températures sont très basses (proche de zéro), bloquent toutes activités biologiques. La litière subit un lavage et le sol s'enrichit par des produits hydrosolubles.

Avec l'amélioration des conditions climatiques l'activité biologique s'intensifie et la décomposition de la litière amorcée, apportant au sol une importante quantité de matière organique humifère. La dégradation de la litière est incomplète dans ce type de milieu ; ce qui favorise son accumulation à la surface du sol avec la distinction des trois couches de litière. Le sol étant très riche en matière organique bien protégé par une couche de litière contre l'effet d'érosion de la pluie. Nous assistons à la formation d'un sol brun lessivé.

En conclusion, nous pouvons constater trois situations du couvert végétal, et chaque situation a un type de sol ; c'est ainsi que nous distinguons :

- ⊕ Des sols peu évolués sous forêt de chêne liège.
- ⊕ Des sols bruns érodés sous forêt mixte.
- ⊕ Des sols bruns forestiers sous forêt de chêne liège.

Ces trois grandes formations des sols renferment une mosaïque de type de sol qui reste sous l'influence des conditions stationnelles.

Discussion générale :

La caractérisation morpho-analytique des sols de la forêt d'Ouled Bechih montre que la majorité des sols sont caractérisés par un pH acide qui a la tendance d'évoluer vers une acidité plus prononcée donc le complexe adsorbant est dessaturé acide.

Malgré le couvert végétal dense et diversifié, les sols renferment une teneur en matière organique qui varie d'une station à autre, ceci est dû à la vitesse de minéralisation de la matière organique.

La minéralisation de cette matière organique est en relation directe avec l'activité biologique qui dépend de l'aération du sol.

En effet la détermination de la porosité des sols montre que ces derniers ont une forte porosité favorisant l'installation d'une faune et une flore responsable de la transformation de la matière organique.

Le fractionnement de la matière organique dans les différentes stations a révélé une prédominance de la fraction légère (débris organiques non décomposés) par rapport à la fraction humifiée. Ce fait traduit les difficultés de dégradation que rencontre la matière organique produite dans ce milieu par un couvert végétal dense et diversifié. Ce phénomène peut être expliqué par la durée de saturation en eau du milieu d'une part et par la qualité et la quantité de matière organique produite (Manlay et al, 2007 ; Feller, 1997; Bruckert et al, 1974). La présence de l'eau en quantité importante sature le sol, inhibe l'activité biologique et favorise la transformation physicochimique de la matière organique (humification physico chimique) au détriment de l'activité biologique (Duchaufour, 2001 ; Gobat et al, 2003).

Les produits de l'humification physicochimique sont dominés par des composés peu polymérisés à poids moléculaires relativement faibles. Ils sont représentés par des acides fulviques solubles dans des solutions peu acides et sont facilement mobilisables et migrent avec la solution du sol en profondeur (Pinton et al, 1995 ; Pinton et al, 1997 ; Morard, et al, 2003). Dans les stations étudiées, cette fraction représente environ 40 % du carbone humifié dans la majorité des sols étudiés.

La présence du fer dans ces milieux favorise la formation de complexes organo-métalliques d'où la protection et le blocage des acides fulviques contre toute forme de polymérisation ou de polycondensation. Ce processus est bien connu dans les sols podzolisés.

Quand les conditions sont favorables à l'humification physico-chimique, la polymérisation et la formation des acides humiques sont très limitées dans le temps et dans l'espace (Gauthier et al, 1997; Andreux et Munier-Lamy, 1994). Dans les sols étudiés, la fraction de matière organique représentée par les acides humiques reste faible. Cette fraction qui présente une distribution relativement homogène dans l'ensemble des profils et dans les horizons du même profil traduit la constance des conditions pédoclimatique dans les sols de la région d'étude (Feller, 1995 ; Jabiol et al, 1995).

La fraction stable de la matière organique représentée par l'humine est la fraction dominante dans l'ensemble des sols étudiés ce qui signifie que les processus de maturation de la matière organique sont contrôlé par l'alternance de phase humide qui sature le sol et oriente la dégradation de la matière organique vers la solubilisation avec blocage de tout processus de minéralisation d'une part et d'autre part la mobilisation des composés hydrosoluble (sucres et amino-sucres et acide phénolique) de cette phase restent inachevés et que les produits organiques demeurent à l'état jeune. (Garnier-Sillam et al, 1999).

Il ressort donc que les conditions climatiques combinées à la nature du couvert végétale ont un rôle capital dans la vitesse de minéralisation de la matière organique.

Il est donc recommandé de trouver les possibilités et les moyens de lutter contre cette minéralisation rapide de la matière organique en favorisant les processus d'humification.

Conclusion :

Dans le cadre de l'étude des relations sol-végétation, notre travail a été orienté vers l'analyse morphologique et analytique des sols de la forêt d'Ouled Bechih, willaya de Souk-Ahras.

L'inventaire et l'étude morpho-analytique des sols font ressortir d'une façon fondamentale l'existence d'une très grande diversité morphologique liée particulièrement aux conditions écologiques de la région d'étude tel que : la roche mère, la topographie, le couvert végétale...etc.

Il ressort qu'il existe une corrélation étroite entre la végétation et le sol, tant que ce dernier constitue le milieu vivant et le support de la végétation. Cette dernière joue un rôle déterminant dans la différenciation morphologique, l'individualisation des sols, et l'orientation des processus pédogénitiques en surface, alors que la roche mère contrôle ces processus en profondeur.

L'inventaire de la végétation a révélé l'existence de trois formations forestières ; on dénombre le chêne liège dans la partie basse de la forêt, le chêne zeen occupe la partie haute, et une formation de transition (forêt mixte) dans la zone intermédiaire; dont chaque formation végétale présente des exigences édaphiques qui peuvent être différentes d'une zone à l'autre.

La caractérisation des sols dans ces trois formations a montré l'existence de trois grands types de sol, dont la pédogénèse est sous le contrôle direct de l'apport en matière organique. C'est ainsi qu'on retrouve des sols bruns forestiers sous forêt de chêne zeen; des sols bruns érodés sous forêt mixte, et des sols peu évolués sous forêt de chêne liège.

La relation entre le sol et la végétation dans cette zone est contrôlée par l'apport en matière organique.

Le fractionnement de la matière organique des sols de la forêt d'Ouled Bechih montre une dynamique de la matière organique en milieu acide avec la dominance de la fraction stable (humine), et aussi la présence d'une forte concentration relative des acides fulviques qui suggère une mobilité des composants facilement hydrolysable. Cela donne un faible degré de polymérisation de cette matière organique et une forte aptitude à se minéraliser.

Conclusion

Le tour-over de la matière organique est indispensable au maintien et à la dynamique des milieux forestiers, mais plus le cycle est long plus le carbone est mobilisé ou retenu dans le sol.

Il est donc nécessaire de déterminer la nature des composés organiques dans les sols afin de pouvoir maîtriser l'un des facteurs de réchauffement climatique.

Résumé :

Le but de ce travail porte sur la mise en évidence des relations susceptibles d'exister entre les qualités édaphiques et la végétation dans une région exposée à une forte influence climatique, qui est la forêt d'Ouled Bechih, Souk-Ahras.

Dans le but de connaître les propriétés des sols de la forêt d'Ouled Bechih, nous avons établis un plan de prospection et d'échantillonnage sur la base d'un fond topographique avec superposition des différents groupements végétaux.

Cette étude consiste en un plan d'échantillonnage stratifié de végétation, et à inventorier les différentes strates de végétation, et de décrire le sol sur lequel cette formation végétale se développe, car le sol constitue le milieu vivant et la base de l'écologie et du fonctionnement des écosystèmes.

Les résultats obtenus montrent que nous sommes en présence des sols acide, dont le complexe adsorbant est désaturé acide, avec un taux de matière organique qui varie avec l'apport de la litière, et une porosité importante dans tous les sols de la forêt.

Il ressort qu'il existe une corrélation étroite entre la végétation et le sol, tant que ce dernier constitue le milieu vivant et le support de la végétation. Cette dernière joue un rôle déterminant dans la différenciation morphologique, l'individualisation des sols, et l'orientation des processus pédogénitiques en surface, alors que la roche mère contrôle ces processus en profondeur.

La relation entre le sol et la végétation dans cette forêt est contrôlé par l'apport en matière organique d'un part, qui présente une dynamique et une évolution importantes. Et par les conditions climatiques et la nature et le type de formation végétale d'autre part, et ces derniers ont un rôle capital et important dans la vitesse de minéralisation de la matière organique.

Mots clés : forêt, sol, végétation, matière organique, conditions climatiques.

Abstract :

The aim of this work focuses on highlighting the relationships that may exist between edaphic qualities and vegetation in an area exposed to strong climatic influence, which is the forest of Ouled Bechih, Souk Ahras.

In order to know the soil properties of the forest Ouled Bechih, we have established a prospecting and sampling plan based on a topographic base with superposition of different plant groups.

This study consists of a stratified sampling design of vegetation, and inventory different layers of vegetation, and describe the land on which this plant community grows, because the floor is the living environment and the basic ecology and ecosystem functioning.

This study consists of a stratified sampling design of vegetation, and inventory different layers of vegetation, and describe the land on which this plant community grows, because the floor is the living environment and the basic ecology and ecosystem functioning.

The results show that we are in the presence of acid soils, the acid complex adsorbent is desaturated, with an organic matter content, which varies with the input of the litter, and substantial porosity in all soils of the forest.

It appears that there is a close correlation between vegetation and soil, as it constitutes the living environment and the support of vegetation. The latter plays a decisive role in morphological differentiation, soil the individualization and orientation process pédogénitiques surface, while the rock control these deep processes.

The relationship between soil and vegetation in the forest is controlled by the organic matter input from a hand that has a dynamic and important developments. And by climatic conditions and the nature and type of the other plant formation, and they have a vital and important role in the speed of mineralization of organic matter.

Keywords: forest, soil, vegetation, organic matter, climate conditions.

ملخص

الهدف من هذا العمل هو تسليط الضوء على العلاقات التي قد تكون موجودة بين الصفات عوامل التربة والغطاء النباتي في منطقة تتعرض لتأثير مناخي قوي، وهو غابة أولاد بشيخ سوق أهراس.

من أجل معرفة خصائص التربة في غابة أولاد بشيخ وضعنا خطة أخذ العينات على أساس قاعدة الطبوغرافية من تراكب من المجموعات النباتية المختلفة

تتكون هذه الدراسة من تصميم الطبقيّة أخذ العينات من النباتات، وجرّد طبقات مختلفة من النباتات، وتصف الأرض التي ينمو هذا النبات المجتمع، لأن الكلمة هي البيئة المعيشية والبيئة الأساسية و أداء النظم الإيكولوجية

وتتكون هذه الدراسة من تصميم الطبقيّة أخذ العينات من النباتات، وجرّد طبقات مختلفة من النباتات، وتصف الأرض التي ينمو هذا النبات المجتمع، لأن الكلمة هي البيئة المعيشية والبيئة الأساسية و أداء النظم الإيكولوجية

وأظهرت النتائج أن تكون في وجود التربة الحمضية، ومشبع ومكثف معقدة الحمضية، مع محتوى المادة العضوية، والتي تختلف مع مدخلات من القمامة، والمسامية كبيرة في جميع أنواع التربة والغابات

ويبدو أن هناك علاقة وثيقة بين الغطاء النباتي والتربة، كما أنها تشكل البيئة المعيشية ودعم الغطاء النباتي. حاسما في التفاضل المورفولوجية والتربة على سطح الأرض

يتم التحكم في العلاقة بين التربة والغطاء النباتي في الغابات عن طريق إدخال المواد العضوية التي لديها تأثيرا . على الظروف المناخية وطبيعة ونوع من تشكيل النباتية الأخرى، ولها دور حيوي وهام في سرعة تمعدن هذه المواد العضوية.

الكلمات المفتاحية

الغابات ، التربة ، النبات ، المواد العضوية والظروف المناخية.

Références bibliographiques

A

Abiven S., 2004. Relation entre caractéristiques des matières organiques apportées, dynamique de leur décomposition et l'évolution de la stabilité structurale du sol. L'agro compagne. Rennes. INRA.262 p.

Andreux F., Munier-Lamy C., 1994 : Genèse et propriétés des substances humiques. Pédologie VI: 109-134.

Andreux F., 2002 : XXXV^{ème} Congrès du groupe Français des Pesticides produits phytosanitaires « Impact environnementale, gestion et traitement Université de Bourgogne.

Andreux F., 2004 : Effet des substitutions d'essence sur le fonctionnement organo-minéral de l'écosystème forestier, sur les communautés Fongique mycorhyziennes et saprophytes. Revue Française des sciences forestière Vol.29 N°4. 2002P.

Anonyme 01: <mailto:moni@grignon.inara.fr>

Anonyme 02: rejeangensest@hotmail.com

Anonyme 03: www.anvredt.org.dz/Souk_ahras.pdf

Anonyme 04: www.interieur.gov.dz.

Anonyme 05: http://crdp.ac-amiens.fr/edd/sols/sol_maj_detailp2.htm.

Anonyme 06: <http://www.groupe-frayssinet.fr/Foire-aux-questions/Fertilisation-organique-des-sols>).

Anonyme 07: <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/>

Anonyme 08: <https://gssparisfr.wordpress.com/>

B

Bachelier G., 1983 : Variations périodiques dans le degré de condensation des acides humiques : mise en évidence par spectrofluorimétrie, corrélation avec la stabilité structurale des sols. Cahiers ORSTOM. Série Pédologie, Vol. 20, Num. 3, p. 247-254.

Balesdent J., 1996: The significance of organic separates to carbon dynamics and its modelling in some cultivated soils. Fractionnements des matières organiques: apport à l'étude de la dynamique du carbone de sols cultivés et à sa modélisation, 47(4): 485-493.

Baldok J.A et Nelson., 2000: The chemical composition of soil. In Handbook of soil science. Edited by Sumner, M.E (CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington.DC).

Baize, D. et Girard, M.C., 1995 : Référentiel pédologique, Paris, 332 pp.

Barles, S., Breyse, D., Guillaume, A. & Laeyval, C., 1999 : Le Sol Urbain. Collection

Références bibliographiques

VILLES, Economica, Paris. 278p.

Barriuso E., 1985 : Caractérisation des fractions organo-minérale et des constituants humiques d'un sol de pelouse sub-alpine thèse Doctorat. Université. De Nancy.

Barriuso E., Andreux F., Portal J-M., 1990 : Science du sol ; 28 (3).

Ben Amara O., 2007 : contribution à la caractérisation physico-chimique et microbiologique de la litière du chêne liège de la région d'El-Kala. Mémoire d'ingénieur d'état en écologie et environnement. Université d'Annaba.

Benslama M., 1984 : Evaluation et caractérisation de la matière organique en zone humide sous couvert forestier « cas de la Kabylie ». Mémoire Ing-Agro .Alger.

Benslama., 2005 : Cours d'écopédologie 3^{ème} année Ecologie et Environnement. Université Badji Mokhtar. Annaba

Benslama-Zanache H., 1998 - Contribution à l'étude de la diversité des microorganismes (champignons saprophytes des sols du complexe humide d'El-Kala, Nord-Algerien). « Cas des station d'El-Khoubzi, Righia et Lac Noir ».

Berkes F et Folke C., 2000: Linking Social and Ecological Systems - Management Practices and Social Mechanisms for Building Resilience, Cambridge University Press, 476 p.

Berthelin J, Sadios, Guillet B, Rouiller J,1983, 1986 ,1990 : Altération expérimentation de minéraux argileux di et tri octaédriques dans un podzol et dans un sol brun acide. « In pédologie des altérations et des sols ».Ecol. int. C.N.R.S. Paris. Sciences géologiques. Mémoire. N°71, vol I ,13-23.

Berthelin J., Leyval C. and Toutin F., 1994 : Rôle des organismes dans l'altération et l'humification. In Pédologie, tome II. Constituants et propriétés du sol. Edited by M. Bonneau and B. Souchier. Masson Editeur, Paris. pp. 143–237.

Beyer L, et Schlten H.R, Freunen D, Irmiler U.,1993 : Soilbiol, biochem, 25(5), 566- 587.

BNEDER 1980: Bureau National d'Etude pour le Développement Rural.

BNEDER 2007 : Bureau National d'Etude pour le Développement Rural.

Bonneau M, et Souchier B, 1994 : Pédologie 2 : constituants et propriétés du sol. Ed. Masson.

Bottner P., 1982 : Evolutions des sols et conditions bioclimatiques méditerranéennes. Ecologia Mediterranea VIII : 115-134.

Boudy P., 1955 : les forêts humides Économie forestière nord-africaine: Description forestière de l'Algérie et de la Tunisie.

Bouchabou S., 2009 : Evaluation et caractérisation de la litière forestière en fonction des groupements (chêne liège et chêne zeen) de la région de Ouled Bechih (Souk-Ahras).Mémoire

Etude des relations sol-végétation de la chênaie d'Ouled Bechih (Souk-Ahras), « dynamique de la matière organique ».

Références bibliographiques

de mastère en monitoring des milieux naturels et gestion durable des ressources. Université d'Annaba.

Boudjemaa S., 2007 : contribution à l'étude des propriétés des sols de la région de Annaba. Mémoire d'ingénieur d'état en écologie et environnement. Université d'Annaba.

Boughendjioua Z., 1998 : Evaluation quantitative des retombées de litière sous chêne liège (P.N.E.K) : Mémoire d'Ing. Ecol. I.S.N- Annaba.

Boulaine J. 1989 : Histoire des pédologues et de la Science du Sol. Ed. INRA.285 p.

Brik EM., 1979: Overstory and understorey, litter fall in a eucalypt forest: spatial and temporal variability. Aust J.Bot.27 p, 145-156.

Bronick C.J. & Lal R., 2005: Soil structure and management: a review. Geoderma, 124, pp. 3- 22.

Bruckert S., 1970 : Influence des composés organiques solubles sur la pédogenèse en milieu acide. Thèse de Doctorat. Etat, Université. Nancy I.

Bruckert S., 1972 : Influence de la composition chimique des litières sur la pédogenèse en milieux acide. Bull. ENSAIA, Nancy 14, 163- 275.

Bruckert S., 1974 : Dynamique de l'humification des Andosol du massif central français et des Iles canaries : caractérisation physico-chimique des complexe organo-minéraux, science du sol, 4, p ,225- 245.

Bruckert, S., Hetier, J.M et Gutierrez, F.1974 : Extraction chimique des composés organiques et des complexes organo-minéraux. Science du sol 4: 225-245.

Bruckert S., 1979 : Fractionnement des agrégats appliqués à l'analyse des complexes organo-minéraux des sols note technique C.P.B N° 22.

Busnot A., Busnot F., Le Querler J.F., Yazbeck J., 1995 : Caractérisation de materiel humique, d'origine terrestre de la région Bas-Normande. Thermochimica Acta, 254, 319-330.

C

Campbell C.A., Paul E.A., Rennie D.A., et McCallum K.J., 1967: Factors affecting accuracy of the carbon-dating in soils humus studies. Soil Science (104) : 81-85.

Chamayou H., et Legros J.P., 1989 : Les bases physiques, chimiques et minéralogiques de la science du sol. Technique vivante. Presses universitaires de France. Paris. p 212-213.

Chaussod R., 2009 : Présentation journée « matières organiques », Estagel, 09 janvier 2009, Chambre d'Agriculture des Pyrénées-Orientales.

Calvet R., 2003 : Le Sol propriétés et fonction: Tom I et II. Ed Dunod.

Chenoune K., 2011 : Etude de la relation entre la circonférence et la hauteur ; et entre la circonférence, la hauteur et l'espacement des arbres. Cas des subéraies de Souk Ahras et de

Références bibliographiques

TiziOuzou. Mémoire de magistère, École Nationale Supérieure Agronomique (E.N.S.A). El Harrach, Alger. Option : Biodiversités et biotechnologies végétales.

Chenu C., and Bruand A., 1998: Constituants et organisation du sol. In: I. éditions (Editor), Sol interface fragile. Stengel, P. Gelin, S., Paris, pp. 213.

Chenu C., Balabane M., 2001 : Matières organiques et activités biologiques des sols cultivés: Une approche des matières organiques par leurs fonctions, Perspectives Agricoles, n°272, pp. 42-45.

Collins O., 2015 : Effets des incendies de forêts sur la séquestration du carbone et la minéralisation de l'azote, et la typologie des sols dans les écosystèmes forestiers du rif centro-occidental. Mémoire d'ingénieur des eaux et des forêts, Ecole National Forestière d'Ingénieur- Maroc.

Crovetto Lamarca C., 2008 : Les fondements d'une agriculture durable II, nourrir le sol un enjeu mondial. Tehnea, BESSIERES.

D

Dabin B., 1971 : Etude d'une méthode d'extraction des matières humiques du sol. Science du sol, 1,47-63.

Dabin B., 1976 : Méthode d'extraction et de fractionnement des matières humiques du sol application à quelques études pédologiques et agronomiques des sols tropicaux. Cah. ORSTOM, ser. Pédo. Vol 18 N° 3- 4 p, 197- 215.

Dabin B., 1980 : La matière organique dans les sols tropicaux normalement drainés journée George Aubert. Cah. ORSTOM. Seriepédo. Vol 18(4), p 197- 215.

Dajoz, R., 1985 : Précis d'écologie. Ed. Bordas, Paris. 505p.

Damay N et Julien JL., 1995 : Les indicateurs du statut acido basique des sols. « Station agronomique de l'Asine ».

Davide L., 1956 : Etude géologique sur le mont de Medjerda ; la willaya de Souk-Ahras.

Delcour F., 1981 : Initiation à la pédologie, Fac, Sc, Agron. Gembloux 78p.

DGF., 2002 : Direction Générale des forêts.

DGF., 2007 : Direction Générale des forêts.

Delcour F., 1981 : Initiation à la pédologie, Fac, Sc, Agron. Gembloux 78p.

Demolon A., 1966 : Principe d'agronomie : dynamique du sol. Ed. Dunod.

Djefel A., 2005 : Etude agro pédologique de la willaya de Souk-Ahras.

Dimanche P., 1973 : Les sols à Mull et les sols à Mor. Sol de Tunisie. Bull. Divi Des sols 5p, 85- 87.

Dinel H, Levesque M. ,1989 : L'importance de la composition botanique dans la caractérisation des matériaux tourbeux. Naturaliste Canadien (Rev. Ecol. Syst). Université. Montréal 116p, 125- 130.

Etude des relations sol-végétation de la chênaie d'Ouled Bechih (Souk-Ahras), « dynamique de la matière organique ».

Références bibliographiques

Dossier INRA., 2009 : Le Sol, Editions Quae, janvier 2009.

DSA., 2008 : la Direction de Service Agricole de la willaya de Souk-Ahras.

Duchaufour Ph.; 1960: Precis de pédologie. Masson. Paris.1 vol, 438p.

Duchaufour, Ph et Dommergues Y., 1963: Study of the humic compounds of some tropical and subtropical soils. AfricanSoils, 8 (1), p. 26-39.

Duchaufour et Jacquin., 1966 : Nouvelle recherches sur l'extraction et le fractionnement des composées humiques. Bulletin. E.N.S.E- Nancy,8.3-24.

Duchaufour Ph., 1968 : L'évolution des sols: Essai sur la dynamique des profils. Masson et Cie., Paris 1968. 94 Seiten, 8 Abbildungen. Broschiert 15 F.

Duchaufour, Ph., 1970 : Humification et écologie. Cahiers Orstom, Série. Pédologie, vol. VIII, no 4.

Duchaufour Ph., 1977 : pédologie. Pédogénèse et classification. masson paris.

Duchaufour Ph., 1983 : Pédogénèse et classification 2eme édition. Mass. Ed. (1- 2,26-29, 196-199).

Duchaufour Ph., 1984 : Abrégé de pédologie. E D. Masson ; Paris 317 p.

Duchaufour Ph, et Toutain F., 1985 : Apport de pédologie à l'étude des écosystèmes. Bull. Ecol. T. 17(1). P. 1-9.

Duchaufour Ph., 1988 : Not sur la dégradation de la végétation forestière et des sols en climat méditerranéen : not extraite du seminario- Techno-sobre. Praticas Econvervação de naturezaFara, 7p.

Duchaufour Ph., 1989 - Pédologie et groupe écologique : rôle des facteurs physiques. Aération et nutrition en eau. Bull. Ecol. T.20 (2), p 99- 107.

Duchaufour Ph., 1995 : Pédologie : sol, végétation, environnement. Ed. Masson ; Paris 317p.

Duchaufour, Ph., 1997 : Abrégé de Pédologie. Sol, végétation, environnement. Masson, Paris. 291p.

Duchaufour Ph., 2001 : Introduction à la science du sol, végétation, environnement, 6^{ème} édition l'abrégé de pédologie Ed. Masson. 331p.

Duprarque A, Rigalle P., 2011 : Composition des MO et turn over ; Rôles et fonctions des MO, actes du colloque « Gestion de l'état organique des sols », 27 janvier 2011, Agrotransfert.

DutartreP., Bartoli F et Portal JM., 1993: influence of content and nature of organic matter on the structure of some sandy soils from West africa. Geoderma 56, 459- 478.

Duthil R., 1970 : Eléments d'écologie et d'agronomie Ed. JB Baillière et fils. Paris sunad.

E

El Arfaoui Benaomar A., 2010 : Etude des processus d'adsorption et de désorption de produits phytosanitaires dans des sols calcaires, Thèse de doctorat de l'Université de Reims Champagne-Ardenne, Ecole Doctorale Sciences, Technologies et Santé, Discipline : Chimie de l'environnement.

Emsellem K., 2008 : les relations entre les systèmes de peuplement (villes, campagnes, mobilités), les territoires qu'ils occupent (Arc méditerranéen et Europe de l'Est), et les politiques de gestion et d'aménagement de l'espace (rapports de pouvoirs, politiques contraintes, etc. Maître de Conférences en géographie humaine à l'Université de Nice Sophia Antipolis, et spécialiste de géographie régionale et d'aménagement du territoire.

Ekschmitt, K., Liu, M., Vetter, S., Fox, O. & Wolters, V., 2005: Strategies used by soil biota overcome soil organic matter stability - why is dead organic matter left over in the soil? *Geoderma*, 128 : 167-176.

Elzein et Balesdent., 1995: Gestion du patrimoine organique des sols viticoles, 2008, ENTAV-ITV.

Emberger L., 1930 : Sur une formule climatique applicable en géographie botanique. CR. Acad. Sc. (191).

Emberger L., 1936 : Remarque critique sous les étages de végétation dans les montagnes marocaines. Bull. Soc. Bot .Suisse.

Emberger L., 1955 : Une classification biogéographique des climats. *Nature. Monspl. Série Bot* ;(7).

Eyheraguibel B., 2004 : Caractérisation des substances humiques biomimétiques : effets sur les végétaux. Thèse 3ème cycle, Institut National Polytechnique de Toulouse, Spécialité : Sciences des Agro-ressources.

F

Feller C., 1995 : La matière organique du sol et la recherche d'indicateurs de la durabilité des systèmes de culture dans les régions tropicales semi-arides et subhumides d'Afrique de l'Ouest. In F. Ganry & B. Campbell (eds.), "Sustainable land management in african semi-arid and subhumid regions", pp.123-130, CIRAD, 406 p., Montpellier.

Feller C., 1997: The concept of soil humus in the past three centuries. In : "History of Soil Science", D.H. Yalon & S. Berkowicz eds. *Advances in GeoEcology*, 29 : 15-46. Reiskirchen, Germany.

Fustec-Mathon E., Righi D., Jambu P., 1975 : Influence des Bétumes extraits de podzols humique hydromorphes des landes du Médoc sur la microflore tellurique, *Rev. Ecol. Biol. Sol*, 12pp393-404.

G

Garnier S, Toutain F, Vilemin F, et Renoux J., 1988 : Transformation de la matière organique sous l'action termite, macro termite mulleri (Sjostedt) et de son champignon symbiotique can. J. Microbiol. 34, p 1247- 1255.

Garnier-Sillam , E., Hariyanto S., et Bourezgui Y., 1999 : Humic substances in peats (Sumatra, Indonesia) ANALUSIS, 1999, 27, N° 5 p 405- 408.

Gauthier, F., Gagnon, S., et Dansereau, B., 1997 : "Incorporation de résidus organiques dans un substrats tourbeux pour la production d'impatiens et de géraniums." Canadian journal of plant science 78 pp 131-138.

Girard, M.C., Walter, C., Rémy, J.C., Berthelin, J. and Morel, J.L., 2004 : Sols et environnement, Paris, 816 pp.

Girard M-C., Escadafal R., 2005 : Sols et Environnement, 2ème édition, Editions DUNOD, 2005.

Goba JM, Grosvernier Ph, Matthey Y., 1986 : Les tourbières du Jura Suisse, milieu naturel modification humaines, caractères des tourbes, potentiel de régénération, Ed, Société jurassienne d'amélioration p 214- 315.

Gobat, J.M., Aragno, M. and Matthey, W., 2003 : Le sol vivant - Bases de pédologie – Biologie des sols. 2e éd. Col. Gérer l'Environnement, Presse Polytechniques et Universitaires de Lausanne. 568 p.

Glossary of Soil Science Terms., 1965 : Ed. Soil Science Society of America. Am. J. Potato Res. 42, 346.[Online] <https://www.soils.org/publications/soils-glossary>.

Gourbiere., 1981 : Vie et décomposition des aiguilles de sapin (Abies alba Mill). Etude de microflore fongiques associées. Thèse de Doctorat d'Etat Université. Claud Bzrnard- Lyon, France. 157 p.

Gregorich EG., 2003 : Modification de la matière organique du sol, in http://res2.agr.ca/publications/hs/chap05_f.htm

Griffith S.M. and Schnitzer M., 1975: Analytical characteristics of humic and fulvic acids extracted from Tropical volcanic soils. SoilSci. Soc. Amer. Proc. 39, 861-867.

Grosbellet C., 2008 : Evolution et effets sur la structuration du sol de la matière organique apportée en grande quantité, thèse de doctorat, Université d'Angers , Spécialité : Sciences Agronomiques, École Doctorale d'Angers.

Gury M., 1990 : Genèse et fonctionnement actuel des pseudogleys podzoliques sur terrasses alluviales dans l'Est de la France. Thèse de Doctorat d'état. Université Nancy I- France. 218 p + annexe.

H

Hartwigsen, J. A. and M. R. Evans., 2000 : "Humic acids seed and substrate treatments promote seedling root development." Hort Science. 35(7): 1231-1233.

Hillel, D., 1974 : L'eau et le sol: principes et processus physiques, Louvain, 288 pp.

Hillel, D., 1982: Introduction to Soil Physics. Ed. Academic Press. New York, USA, 364 p.

Hetier J.M, Andreux F, Schouller E, Marol C., 1986: Organique matter input soil after growth of carbone 14, nitrogene 15, Labeled Maize, Soil Sci. Amer. Journ Vol 50 N° 1, p 76-80.

Hetier J.M., 1975 : Formation et évolution des andosols en climat tempéré. Thèse de Doctorat d'Etat université de Nancy I- France. 194p

Hetier J.M., 1979 : Diagnostique du fer mobile et assimilable dans sols. Coll. INT C.N.R.S N° 303.

Huang, W., Peng, P., Yu, Z. et Fu, J., 2003 : Effects of organic matter heterogeneity on sorption and desorption of organic contaminants by soils and sediments. Appl. Geochem., 18, 955-972.

Hubert F., 2008 : Modélisation des diffractogrammes de minéraux argileux en assemblages complexes dans deux sols de climat tempéré. Implication minéralogique et pédologique, Thèse du doctorat, Université de Poitiers, Faculté des Sciences Fondamentales et Appliquées.

J

Jabiol, B., Brethes, A., Ponge, J.F., Toutain, F et Brun, J.J., 1995 : L'humus sous toutes ses formes. *ENGREF*, Nancy. 35p.

Jacquin F., 1963 : Contribution à l'étude des processus de formation et d'évolution de divers composés humiques. Thèse Etat Fac. Sci. Nancy, 140 p.

Jacquin F, 1963 : Contribution à l'étude des processus de formation et d'évolution de divers composés humiques. Bull. E.N.S.A.N., Nancy, **5**, 1-156.

Jacquin F., Bruckert S., 1965 : Identification et Evolution des acides hydrosolubles de deux litières forestière. C.R. Acad. Sc., **260**, 4556-4559.

Jenny H, 1941: Factors and soil. A system of quantitative pedology .McGraw-Hill. New York, 281p.

Jambu P., Coulibaly G., Bilong P., Magnoux P. et Amblès A. 1983: Influence of lipids on physical properties of soils. Studies about Humus, Humus & Planta VIIIEd.), 1, 46-50.

K

Khanfouci M, 2005 : Contribution à l'étude de la fructification et de la régénération du cèdre de l'atlas. Mémoire de magister en science forestière. Université de Batna.

Références bibliographiques

Kilbertus G, Proth J, et Mangenot F., 1979 : Variations saisonnières de la microflore d'un sol forestier. Ann. Microbiol. Institut. Pasteur. Paris. 130 p; 63- 77.

Kögel-Knabner I., 2002 : The macromolecular organic composition in plant and microbial residues as input to soil. Soil Biol Biochem. 34 : 139-162.

Koudroi M.A, 2007 : Extraction et quantification de la matière organique des deux sols cultivés différemment, rapport de stage, Université de Toulon et du Var, Faculté des sciences et techniques.

Koull N., 2007: Effet de la matière organique sur les propriétés physiques et chimiques des sols sableux de la région de Ouargla, Université Kasdi Merbah, Ouargla Algérie –Mémoire de Magister 2007.

Kaurichev I.S., 1980 : Précis en agronomie Ed, mir.

Kuba J., 1992: Humus its structure and rol in agriculture and environnement, Elsevier Amst., 202 p.

L

Laboubée C., 2007 : Retour au sol des matières organiques necessaire a leur maintien en etat en sols agricoles. Rapport de stage, institut de végétale, Arvalis.

LCA., 2008 : Guide pratique : comprendre et utiliser les analyses agro-environnementales.

La conservation des forêts de la willaya de Souk-Ahras, 2008.

Lahwel N., 2008 : Caractérisation de la matière organique dans les écosystèmes forestiers dans la région du littoral Mostaganémois (Oranie). Mémoire de magister, spécialité : éco-biologie, Centre universitaire Mustapha Stambouli de Mascara, Algérie, Institut des sciences de la nature et de la vie, Département de biologie

Lambert., 1975 : Classes d'abondance de la matière organique.

Lavaud A., 2010 : Extraction et caractérisation de la matière organique soluble des horizons profonds d'un sol arable, Thèse du doctorat, Université de Poitiers, Spécialité : Chimie et Microbiologie de l'Eau.

Le Bissonnais, Y., 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 Bissonnais Y., 2001 : Présentation au GEMAS-COMIFER, Blois, 2001.

Legros, J.P., 2007 : Les grands sols du monde. Ed. Presses polytechniques et universitaires romandes. Lausanne, 574 p.

Loyer J.Y., 1991 : Pédologie, Orstom, XXVI (1), 51-61.

M

Mac Carthy, P., Clapp C.E., Malcom R.L. and and Bloom P.R., 1990 : Humic substances in Soil and crop sciences: Selected readings. Madison, Wisconsin, Soil Sci. Society of America. Mackowiak, C. L., P. R. Grossi and B. G. Bugbee (2001). "Beneficial effects of humic acid on micronutrient availability to wheat." SoilSci. Soc. Am. J. 65(6): 1744-1750.

Mackiewicz P., 2005 : Fertilisation de la vigne Un point sur les préconisations (Fiche 3)

Manlay R.J; Feller C; et Swift M.J., 2007: Historical evolution of soil organic matter concepts and their relationships with the fertility and sustainability of cropping systems. Agriculture Ecosystems & Environment, 119, pp. 217–233.

Menut G., 1974 : Recherche écologique sur l'évolution de la matière organique des sols tourbeux. Thèse de Doctorat d'Etat. Université. Nancy I. 124 p.

Mesaadia F., 2009 : Les caractéristiques physicochimiques des boues résiduelles et leur utilisation dans les sols de la haute vallée d'oued Medjerda, la willaya de Souk-Ahras.

Michalet R., 1991 : Une approche synthétique bio-pédologique des montagnes méditerranéennes : exemples du Maroc septentrional. Thèse de doctorat, Université : Jo-seph Fourier, Grenoble 1-France, carte couleur, 273p.

Mokraoui R., 1999 - Contribution à la connaissance des microorganismes des litières provenant de trois groupement forestiers (P.N.E.K), « Cas des groupements Quercus Suber, Pinus- Maritima et AlnusGlutinosa ».

Monrozier L.J ,Benjoly M, Pillon P, Andreux F, Souchier B, Pellet R., 1983 ; Distribution of organic matter in grain-size fractions of some recent sediments . Organic geochemistry, p 323-327.

Morel R., 1986 : Les sols cultivés. Lavoisier. 1^{ère} Edition. Paris.

Morel R., 1989 : Les sols cultivés. Lavoisier. 2^{ème} Edition. Paris.373 p.

Morschel J., 2008 : Les Paysages et les Géosystèmes et en particulier sur les Parcours de recherche et méthodes employées. Maître de Conférence au Département "Géographie, Aménagement et Environnements Durables" (GAED) de l'UFR Espaces & Cultures de l'Université de Nice Sophia-Antipolis.

N

Ndira V., 2006: Substances humiques du sol et du compost, analyse élémentaire et groupement atomiques actifs: vers une approche thermodynamique. Thèse de doctorat, École doctorale: Transferts, Dynamiques des fluides, Energétiques et Procédés, Spécialité: Sciences des Agro-ressources.

Nguyen Kha, Devy J.C., Duchaufour Ph. ,1969 : Etude expérimentale de l'évolution saisonnière des composés humiques en climat tempéré. Pédologie, Gand, 19 (1), 5-22.

Nguyen Kha., 1973 : Recherche sur l'évolution des sols à texture argileuse en conditions tempérées et tropicales, Thèse de doctorat des sciences, université Nancy, 156p.

O

Oades J.M., 1988: The retention of organic matter in soil, *Biogeochemistry* 5. 35- 70p.
Stevenson, F.J.; Cole M.A., 1999: *Cycle of soils: Carbon, Nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients*, New York, WILEY, 427 p.

Oades J. M., 1993: The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma* 56, 377-400. Kögel-Knabner I., 2002. The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry* 34, 139-162.

ONM., 2004 : Office National de Météorologie.

Orstom., 1990 : Série pédologie : érosion, XXV (1-2). 208 p.

Ozenda., 1989 : Le déplacement vertical des étages de végétation en fonction de la latitude un modèle simple et ses limites. *Bull. Soc. Géol. Fr.* (8), V, (3) :535-540.

P

Paul E. A. and Clark J. S., 1996: *Soil microbiology and biochemistry*. Academic Press, San Diego.

Paul E. A. et Van Veen J., 1978: The use of tracers to determine the dynamic nature of organic matter. *Trans. Xnt. Congr. Soil Sci.*, 1 lth : 61-102.

Pedro G., 1985 : Les grandes tendances des sols mondiaux. *Cultivar*, 185, 1-4.

Pedro G., 2008 : Le sol, maillon-clé de la gestion écosystémique de la biosphère anthropisée. *Etude et Gestion des sols*, 15(1): 69-76.

Pena-Médez E. M., Havel J., Patocka J., 2005: **Humic** substances compounds of still unknown structure: applications in agriculture, industry, environment, and biomedicine. *J. Appl. Biomed.* 3: 13-24.

Piccolo, A., 1993: *Humic Substances in Terrestrial Ecosystems*. Amsterdam, Elsevier.

Pignatello, J.J., 1998: Soil organic matter as a nonporous sorbent of organic pollutants. *Adv. Colloid Interface Sci.*, 76-77, 445-467.

Prevot A.H., 1970 : *Humus, biogénèse, biochimie et biologie*. Ed. Tourelle, 342p.

Priot, 1968 : *Humus, biogénèse, biochimie, biologie*. Ed. Tourelle.

Pugos A., 1996 : Les milieux de la cédraie marocaine (rapport 1964). *Ann. Rech. For. Maroc*, 8 :283 p.

Q

Quenea K., 2004 : Etude structurale et dynamique des fractions lipidiques et organiques réfractaires de sol d'un chrono séquence forêt/maïs (Cestas, sud-ouest de la France), Thèse de doctorat de l'université Paris VI, Spécialité : Fonctionnement physique, chimique et biologique de la biosphère continentale

Quezel P., 1978: Analysis of flora of Mediterranean and Saharan Africa. Ann. Missouri. Bot. Gard; 65. (2).

Quezel P, Barbero M, Bonin G et Loisel R., 1990: Recent plant invasions in the centro-mediterranean region. In Discrì and al, « Biological invasions ». Kluwer Publ.

Quezel P., 2000 : Réflexion sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb méditerranéen. Ibis Press. Paris.

R

Rawls W. J., Pachepsky Y. A., Ritchie J. C., Sobecki T. M. and Bloodworth H., 2003: Effect of soil organic carbon on soil water retention. Geoderma 116, 61-76.

Revel, J.-C., P. Morard, Bailly J-R., Labbe H., B. C. and K. M., 1999: "Plants' use of leachate derived from municipal solid waste." Journal of environmental quality 28(4): 1083-1089.

Richard J.F., 2002 : Caractérisation de substances humiques like- comparaison avec des substances humiques naturelles. Thèse de Doctorat., INP Toulouse, 156 p.

Rihani M., 1988 : Contribution à l'étude des relations trophiques entre champignons de pourriture blanche et acariens oribat au cours du processus de biodégradation des litières forestières. Thèse Doc. Univ. Nancy I.

Rihani M, kiffer E, et Botton B., 1995: Décomposition of beech leaf litter by microflora and mesofauna. In vitro actions of White- rot fungi on beech leaves and foliar components. Eur. J. Soil Biol.31(2) p, 57- 66.

Robert M, Chenu C., 1992 : Soil biochemistry. Stotzky et Bollag. Edit : Dekker. Publ., 7, 307- 404.

Robert, M., 1996 : Le sol: interface dans l'environnement, ressource pour le développement, Paris, 241 pp.

S

Salducci X., 2011: Diagnostic de la fertilité biologique des sols et gestion de la MO : Concepts –méthodes applications, une nouvelle génération d'analyse, présentation Celesta-Lab au groupe technique MO des chambres d'agriculture du LR, 22 juillet 2010, Celesta-Lab.

Samai I., 2007 : Evaluation et caractérisation de la matière organique dans les sols de Annaba. Mémoire d'ingénieur d'état en écologie et environnement. Université Badji Mokhtar, Annaba.

Références bibliographiques

Samai I., 2009 : Cartographie des relations sol-végétation de la forêt d'Ouled Bechih, Souk-Ahras, Mémoire de magistère en écologie et environnement, option : écologie végétale. Université Badji Mokhtar, Annaba.

Selmi M., 1985 : Différenciation des sols et fonctionnement des écosystèmes forestiers sur grés numidien de Kroumirie (Tunisie). Ecologie de la Subéraie-Zeenaie. Thèse de Doctorat d'état des Sciences Naturelles, Université de Nancy I, 200 p.

Schnitzer M., 1978: Some observations on the chemistry of humic substances. *Agrochimica*, 22, 3-4, pp. 216-225.

Schulten et Leinweber., 1996: Characterization of humic and soil particles by analytical pyrolysis and computer modeling. *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 38: 1-53.

Schulten H.-R. & Schnitzer M., 1997: Chemical model structures for soil organic matter and soils. *Soil Science* 162, 115-130.

Souchier B., 1971 : Evolution des sols sur roches cristallines à l'étage montagnard. Thèse de Doctorat. Université de Nancy- France. 134 p.

Souchier B., 1984 : La pédologie dans ses rapports avec l'écologie. Evolution des concepts et application. *Bull A.F.E.S.2*, pp 149-165.

Station météorologique de Souk-Ahras, 2006.

Stevenson F.J., 1982: Extraction, fraction and general chemical composition of soil organic matter. In Stevenson FJ, editor. *Humus Chemistry, Genesis, Composition, Reactions*. John Wiley and Sons, New York.

Stevenson F.J., 1985: Geochemistry of Soil Humic Substances. In *Humic Substances in soil, Sediment and Water*. Editors Aiken G. R., McKnight D. M., WERSHAW R. L., MacCARTHY P. A. Wiley-Interscience Publication John Wiley & sons, pp. 13-52.

Stevenson, F.J., 1999: Cycle of soils: Carbon, Nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients, New York, WILEY, 427 p.

T

Tisdall J.M et Oades J.M., 1982: *J. of Soil Sc.*, 33 (2), 141- 163.

Toutain F., 1974 : Etude écologique de l'humification dans les Hêtraies acidophiles Thèse du Doctorat. Etat. Unev Nancy I, 114p.

Toutain F., 1981 : L'humus forestier : structure et mode de fonctionnement. *Rev. Forest. Franç.* 32-6, p. 445-477.

Toutain F., 1984 : Les phénomènes de biodégradation et d'humification dans les écosystèmes forestiers tropicaux. *Bio International (special issue)* 6, 19-29

Toutain F., 1987 : Les litières : siège de systèmes interactifs et moteur de ces interactions. *Rev. Biol. Sol.* 24p. 231- 243.

Références bibliographiques

Turenne J.F., 1975 : Modes d'humification et différenciation podzolique dans deux toposéquences guyanaises. ORSTOM Paris.173 p. Ulrich B. (1986) Natural and anthropogenic components of soil acidification. Z. Pflanzenernaehr. Bodenk. 149, 702-717.

V

Vaughan, D., Malcom, R.E., 1985: Influence of humic substances on growth and physiological processes. In: Vaughan, D., Malcom, R.E. (Eds.), Soil Organic Matter and Biological Activity, Martinus Nijhoff/ Junk W, Dordrecht, The Netherlands, pp. 37–76.

Vaughan D et Ord B.G., 1985: Soil organic matter. A perspective on its nature, extraction, turn over and role in soil fertility. In Soil organic matter and biological activity, V. VAUGHAN and R. E. MALCOLM eds, Martinus Nijhoff / DR W. Junk Publishers, Dordrecht, p. 1-35.

Vedy J.C., 1973 : Relation entre le cycle biogéochimique des cations et l'humification en milieu acide. Thèse Doctorat. Etat Université. Nancy I. 116 p.

Z

Zouaidia H., 2006 : Bilan des incendies de forêts dans l'est Algérien cas de Mila, Constantine, Guelma et Souk-Ahras. Mémoire de magistère en écologie et environnement. Université de Constantine.

La liste des abréviations

La liste des abréviations :

HAP : hydrocarbures aromatiques polycycliques.

P-ETP : pluviométrie-évapotranspiration.

CEC : Capacité d'Echange Cationique.

ETM : Elément Trace Métallique.

Cu : cuivre.

GES : gaz à effet de serre.

CO₂ : dioxyde de carbone.

CH₄ : méthane.

P : précipitation.

N : nord.

NE : nord-est.

E : est.

SE : sud-est.

S : sud.

SO : sud-ouest.

O : ouest.

NO : nord-ouest.

Param : paramètres.

Horiz : horizons.

Prof : profondeur.

Ar : argiles.

LF : limons fins.

LG : limons grossiers.

SF : sables fins.

SG : sables grossiers.

C.E : conductivité électrique.

pH : potentiel d'acidité.

H : humidité hygroscopique.

MO : matière organique.

Tx Cend : taux de cendre.

D_R : densité réelle.

D_A : densité apparente.

La liste des abréviations

Poro : porosité.

C : carbone.

K : potasium.

Na : sodium.

Mg : magnésium.

Ca : calcium

P : phosphore.

NH₄⁺ : ammonium.

N : azote.

S P H : station, profil, horizon.

M.O.L: matière végétale légère.

A.F : acide fulvique.

H : humine.

A.H% : acide Humique.

% : pourcentage.

HF : humide Froid.

Hfr : humide frais.

Hd : humide doux.

Hc : humide chaud.

SHF : sub-humide froid.

SHfr : sub-humide frais.

SHd : sub-humide doux.

SHc : sub-humide chaud.

SAF : semi-aride froid.

Safer : semi-aride frais.

SAd : semi-arid doux.

SAC : semi-aride chaud.

AF : aride froid.

Afr : aride frais.

Ad : aride doux.

Ac : aride chaud.

Sah : saharien.

hab : habitant.

La liste des abréviations

T.O.L : taux d'occupation par logement.

A.E.P : adduction en eau potable.

S.A.U : surface agricole utile en ha.

H₁ : horizon 1.

H₂ : horizon 2.

H₃ : horizon 3.

H₄ : horizon 4.

A : argileux.

As : argilo-sableux.

Al : argilo-limoneux.

La : limono-argileux.

Laf : limono-argileux fins.

Las : Limono-argileux sableux.

L : limoneux.

Ls : limono-sableux.

Lfa : limoneux fins argileux.

Lf : limoneux fins.

Ltf : limoneux très fins.

Sl : sablo-limoneux.

S : sableux.