

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Constantine1
Faculté des Sciences de la Nature et de la V.



N° d'ordre

N° de Série

THESE

EN VUE DE L'OBTENTION DU GRADE DE

DOCTORAT EN SCIENCES

OPTION

Aménagement des Milieux Naturels

THEME

ETUDE DE LA BIODIVERSITE DES LOMBRICIENS ET LEURS RELATIONS

AVEC LES PROPRIETES DU SOL DANS DIFFERENTS ETAGES

BIOCLIMATIQUES, DANS L'EST ALGERIEN.

Présentée par **BAZRI Kamel-eddine**

Devant le jury

Président : **M. RAHMOUNE Chaabane** Professeur, université Constantine 1

Encadreur : **Mme. OUAHRANI Ghania** Professeur, université Constantine 1

Examineurs :

Mme BAHA Mounia : Professeur, Ecole Normale Supérieure de Kouba

Mme GHERIBI Zoubida : Maître de Conférences, université Constantine 1

M. SI BACHIR Abdelkrim : Maître de conférences, univ. Hadj Lakhder, Batna

M. SAHEB Menouar :Maître de Conférences, univ. Larbi Benm'hidi, Oum El-Bouaghi

Année universitaire : 2014/2015

Remerciements

Je tiens dans un premier temps à remercier madame OUAHRANI Ghania, Professeur à l'université de Constantine 1, pour m'avoir confié ce travail de recherche, ainsi que pour son aide et ses précieux conseils au cours de ces années. Mille mercis madame Ouahrani.

Je remercie également Monsieur DARIO J. DIAZ COSIN Professeur à l'université Complutense de Madrid pour sa sympathie, sa disponibilité, ses idées et conseils. Je le remercie pour son aide précieuse et de m'avoir accueilli au sein de son laboratoire parmi son équipe de recherche et m'avoir guidé dans le domaine de la détermination des espèces lombriciennes.

Je tiens à remercier madame DOLORES TRIGO AZA Professeur à l'université Complutense de Madrid de m'avoir orienté dans mes manipulations et la conception de ce travail. Je n'oublierai jamais son aide, sa gentillesse et son soutien afin d'atteindre mes objectifs.

J'aimerai adresser un remerciement particulier à toute l'équipe de la faculté de biologie animale à l'université Complutense de Madrid qui m'a offert un cadre agréable pendant mes stages de courtes durées.

Un grand merci à Monsieur RAHMOUNE Chaabane Professeur à l'université de Constantine 1 de m'avoir encouragé et de m'avoir changé les idées quand j'en avais besoins et aussi d'avoir accepté de présider mon jury.

Je poursuivrai en remerciant les autres membres de mon jury : madame SEKHARA-BAHA Mounia Professeur à l'Ecole Normale Supérieure de Kouba, madame GHERIBI Zoubida Maître de Conférences à l'Université Constantine 1, monsieur SAHEB Menouar Maître de conférences à l'Université Larbi Benm'hidi Oum El-Bouaghi et monsieur SI BACHIR Abdelkrim Docteur à l'Université Hadj Lakhder de Batna pour avoir pris le temps de lire mon travail et de l'avoir jugé.

Ce travail n'aurait pu aboutir sans l'aide de nombreuse personne. Que me pardonnent celles que j'oublie ici, mais j'adresse une pensée aux forestiers de Khenchela, de Sétif, de Skikda et d'Elkala pour leur disponibilité afin de réaliser des sorties sur terrain. Sans que j'oublie le personnel de l'ANRH de Constantine de m'avoir aidé afin d'effectuer l'analyse granulométrique. Enfin, je remercie toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

J'adresse aussi mes sincères remerciements à toutes les personnes qui de près ou de loin ont contribué à me faire avancer tout au long de ce chemin.

Remerciements

Sommaire

Glossaire

Index des figures

Index des tableaux

Index des photos

Résumés

Introduction générale.1

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

1.1. Biologie et écologie des vers de terre.	4
1.1.1. L'importance des vers de terre.	4
1.1.2. Le rôle écologique des vers de terre.	5
1.1.3. Aperçu morphologique et anatomique d'un vers de terre.	6
1.1.4. Le cycle de vie.	8
1.1.5. La longévité.	10
1.1.6. Les facteurs du milieu influençant le cycle de vie.	10
1.1.7. Catégories écologiques des vers de terre.	11
1.1.8. Les relations avec les facteurs abiotiques.	13
A. La température.	13
B. Les effets sur les processus du sol.	14
C. Le pH et le type de sol.	14
D. La porosité du sol.	14
E. Le calcaire total.	15
F. La matière organique.	15
G. Le cycle des éléments nutritifs.	15
H. La structure du sol.	17
1.2. La phylogénie des vers de terre.	17
1.3. La classification des Oligochètes.	19
1.4. Dispersion et origines des familles lombriciennes.	22

1.5. Origines des lombriciens du Nord-africain dans leur cadre paléogéographique.	25
---	----

Chapitre 2 : L'étude en Système Réel

2.1. Présentation du terrain d'étude.	26
2.1.1. Localisation géographique du terrain d'étude.	26
2.1.2. Aperçu géographique : Un environnement naturel très contraignant.	28
A. L'organisation orographique Nord-sud : Des milieux physiques contraignants.	28
2.1.3. Aperçu géologique : Une diversité d'unité géologique.	31
A. Les grands ensembles morpho-structuraux :	31
B. Les unités géologiques.	32
2.1.4. Le contexte climatique : de l'humide méditerranéen à l'aride saharien.	36
A. Un climat méditerranéen aux marges du désert.	36
B. Une répartition irrégulière des précipitations.	38
C. les zones bioclimatiques caractérisant l'Est algérien.	41
2.1.5. Le Couvert végétal : Des affinités étroites avec la flore européenne.	42
A. La région méditerranéenne.	42
B. La Région Montagneuse.	44
2.2. Matériel et méthodes de travail.	46
2.2.1. Choix des stations d'échantillonnage.	46
2.2.2. Présentation des stations d'étude.	46
2.2.3. Plan d'échantillonnage.	59
2.2.4. Travaux de terrain et de laboratoire.	60
A. Prélèvement des sols et lombriciens.	60
B. Détermination et Taxonomie des vers de terre.	61
C. La Densité (ind/m ²) et la biomasse (g/m ²).	61
D. Méthodes d'analyses physico-chimiques des sols.	61
2.2.5. Analyse des données.	65

Chapitre 3 : Résultats et Discussion

3.1. Interprétation des résultats.	67
------------------------------------	----

3.1.1. Compartiment abiotique : Variabilité des paramètres édaphiques selon le transect Nord-sud.	68
A. Le pH.	68
B. Le % CaCO ₃	69
C. La conductivité électrique (CE μS/cm).	70
D. Le taux de calcaire actif.	71
E. La Matière organique (%MO).	72
F. L'Azote total (%N).	73
G. Le rapport C/N.	75
H. La fraction granulométrique.	75
3.1.2. Compartiment biologique.	79
A. La Biodiversité des lombriciens dans l'Est algérien.	79
B. Abondance dominance des espèces de vers de terre récoltées.	80
C. Les catégories écologiques.	84
D. La répartition des espèces lombriciennes dans l'Est algérien.	84
E. La démoécologie et secteurs bioclimatiques.	87
3.1.3. Interaction paramètres biotiques et abiotiques.	90
A. La corrélation des facteurs édaphiques et lombriciens.	90
B. Interactions entre les variables et classement globale des étages bioclimatiques par le Test MANOVA (ANOVA multidimensionnelle).	92
C. L'effet des variables lombriciennes sur les variables édaphiques par l'analyse des corrélations canoniques.	93
3.1.4. Les relations entre les espèces lombriciennes et les paramètres édaphiques étudiés.	96
a. L'espèce <i>Ap. Trapezoids</i>	96
b. L'espèce <i>Ap. rosea</i>	102
c. L'espèce <i>A. moleri</i>	107
d. L'espèce <i>Octodrilus complanatus</i>	112
e. L'espèce <i>Microscolex dubius</i>	116
f. L'espèce <i>Octodrilus maghrebinus</i>	116

g. L'espèce <i>Microscolex phosphoreus</i>	116
h. L'espèce <i>Aporrectodea monticola</i>	117
i. L'espèce <i>Proctodrilus antipae</i>	117
j. L'espèce <i>Aporrectodea tetramammalis</i>	117
k. L'espèce <i>Aporrectodea carochensis</i>	117
l. L'espèce <i>Hormogaster redii</i>	117
m. L'espèce <i>Dendrobaena byblica</i>	118
n. L'espèce <i>Eisenia fetida</i>	118
o. L'espèce <i>Eiseniella tetraedra</i>	118
p. L'espèce <i>Aporrectodea caliginosa</i>	118
q. L'espèce <i>Octolasion lacteum</i>	118
r. L'espèce <i>Allolobophora chlorotica</i>	118
3.1.4.1. La relation espèces lombriciennes et les paramètres édaphiques par l'Analyse Canonique des Correspondances (ACC).	119
3.1.4.2. La relation espèces lombriciennes et les paramètres édaphiques selon la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH).	122
3.2. Discussions.	124
3.2.1. Compartiment abiotique : Variabilité des paramètres abiotiques selon le transect Nord-sud.	124
3.2.2. La biodiversité des peuplements des vers de terre dans la région d'étude.	125
Conclusion et recommandation	139
Références bibliographique	143

Glossaire

a : les étages subaride et aride
A% : Fraction argileuse
A. chlorotica : *Allolobophora chlorotica*
A. molleri : *Allolobophora molleri*
Ad : adulte
AFC : Une Analyse Factorielle des Correspondances
Ap. caliginosa : *Aporrectodea caliginosa*
Ap. carochensis : *Aporrectodea carochensis*
Ap. monticola : *Aporrectodea monticola*
Ap. rosea : *Aporrectodea rosea*
Ap. tetramammalis : *Aporrectodea tetramammalis*
Ap. trapezoides : *Aporrectodea trapezoides*
Biodiv : biodiversité
Biom: biomasse
C : carbone
Ca⁺⁺ : Calcaire actif
CaCO₃ : Carbone total
CAH : Classification Ascendante Hiérarchique
CE : conductivité électrique
D. byblica : *Dendrobaena byblica*
Ds : densité
E. fetida : *Eisenia fetida*
Ei. tetraedra : *Eiseniella tetraedra*
h : humide
H. redii : *Hormogaster redii*
HCL : acide chlorydrique
hm : montagnard humide
IDW : inverse distance weighted
ind/m² : individus par 1m² de superficie
Jv : juvenile
K : potassium
L% : Fraction limoneuse
M. dubius : *Microscolex dubius*
M. phosphoreus : *Microscolex phosphoreus*
M.O : Matière organique
N : Azote
O.N.M : Office national de la météorologie
Oc. Complanatus : *Octodrilus Complanatus*
Oc. lacteum : *Octodrilus lacteum*
Oc. Maghrebinus : *Octodrilus maghrebinus*
P : Phosphore
PBA : pourcentage de biomasse
PDC : pourcentage de dominance combinée
pH : Potentiel hydrogène
PIA : pourcentage d'abondance
PPA : pourcentage de présence

Pt. Antipae : *Proctodrilus antipae*

S% : Fraction sableuse

Sa : sub adulte

sa I : semi-aride inférieur

sa m : climat montagnard dans le semi-aride

sa : semi-aride

sh : subhumide

SOC : carbone organique du sol

Index des figures

Figure 1.1 : Morphologie d'un ver de terre (d'après Sims et Gerard, 1999).	7
Figure 1.2 : Les cocons d'un vers de terre.	10
Figure 2.1 : Situation géographique de la région d'étude par rapport à la carte d'Algérie.	27
Figure 2.2 : Une coupe topographique du Nord Est au Sud Est algérien (réalisée à partir de google earth, le 11/08/2013).	30
Figure 2.3 : Le terrain géologique à l'Est algérien (carte au 1/500 000 publiée en 1978) (in Villa J.M., 1980).	34
Figure 2.4 : Les différentes unités géologiques longeant un transect Nord-sud de l'Est algérien depuis Collo au piémont de Dj. Ghellis (Mebarki, 1982).	35
Figure 2.5 : Diagrammes ombrothermiques de Gausсен et Bagnouls dans quelques stations de l'Est algérien (Source : O.N.M de Constantine / période 1985-2012).	37
Figure 2.6 : La répartition des précipitations annuelles à travers le terrain d'étude.	40
Figure 2.7 : Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien (Côte, 1998).	41
Figure 2.8 : Le terrain d'étude (Nord-Est algérien) et la localisation des sites d'échantillonnage (image de google earth, le 11/08/2013).	47
Figure 2.9 : Le plan d'échantillonnage des lombriciens selon une direction Nord-Sud dans l'Est algérien.	60
Figure 3.1 : Variabilité des moyennes et groupes homogènes, de la variable pH par rapport au facteur étage bioclimatique.	69
Figure 3.2 : Variabilité des moyennes et groupes homogènes de la variable % CaCO ₃ par rapport au facteur étage bioclimatique.	70
Figure 3.3 : La variabilité des moyennes et groupes homogènes de la variable CE (μS/cm) par rapport au facteur étage bioclimatique.	71
Figure 3.4 : La variabilité des moyennes et groupes homogènes de la variable Ca ⁺⁺ par rapport au facteur étage bioclimatique.	72

Figure 3.5 : Variabilité des moyennes et groupes homogènes de la variable % M.O par rapport au facteur étage bioclimatique.	73
Figure 3.6 : Variabilité des moyennes et groupes homogènes de la variable %N par rapport au facteur étage bioclimatique.	74
Figure 3.7 : Variabilité des moyennes et groupes homogènes de la variable C/N par rapport au facteur étage bioclimatique.	75
Figure 3.8 : La variabilité des moyennes et groupes homogènes de la variable Argile (% A) par rapport au facteur étage bioclimatique.	76
Figure 3.9 : La variabilité des moyennes et groupes homogènes de la variable Sable (% S) par rapport au facteur étage bioclimatique.	77
Figure 3.10 : La variabilité des moyennes et groupes homogènes de la variable Limon (%L) par rapport au facteur étage bioclimatique.	77
Figure 3.11 : Fréquences (%) des classes texturales dans le terrain d'étude.	78
Figure 3.12 : Pourcentages (%) des types de texture dans le terrain d'étude.	79
Figure 3.13 : Pourcentages de dominance combinés (PDC) des espèces lombriciennes collectées dans les différents étages bioclimatiques.	80
Figure 3.14 : Pourcentages de dominance combinés (PDC) des espèces lombriciennes à l'échelle de toute la zone étudiée.	81
Figure 3.15 : Pourcentages (%) des catégorie écologiques des lombriciens dans le terrain d'étude.	84
Figure 3.16 : Répartition des espèces lombriciennes déterminées et les tranches pluviométriques à travers le transect d'étude Nord –sud dans l'Est algérien.	86
Figure 3.17 : Densités moyennes des lombriciens ± écarts-types (Ind./m ²) dans les différents étages bioclimatiques dans l'Est algérien.	87
Figure 3.18 : Biomasses moyennes des lombriciens ± écarts-types (g/m ²) dans les différents étages bioclimatiques dans l'Est algérien.	88
Figure 3.19 : Moyennes de la densité (Ind.m ²) des classes d'âge des lombriciens par rapport au facteur étage bioclimatique.	89
Figure 3.20 : Variabilité des moyennes et groupes homogènes de la variable densité (ind/m ²) par rapport au facteur étage bioclimatique.	90
Figure 3.21 : Corrélations des variables lombriciennes et les paramètres édaphiques.	92
Figure 3.22 : Valeurs propres de l'inertie de la variabilité des données.	94
Figure 3.23 : Graphique de l'analyse des corrélations canoniques selon les axes F1xF2.	95

Figure 3.24 : Graphique de l'analyse des corrélations canoniques selon les facteurs F1xF3. ...	96
Figure 3.25 : La densité des adultes d' <i>Ap. trapezoides</i> (ind/m ²) et le pH du sol dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.	97
Figure 3.26 : La densité des adultes d' <i>Ap. trapezoides</i> (ind/m ²) et la CE (μS/cm) dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.	97
Figure 3.27 : Les corrélations entre le pH, CE (μS/cm) et la densité (ind/m ²) de l'espèce <i>Ap. trapezoides</i>	98
Figure 3.28 : La densité des adultes d' <i>Ap. trapezoides</i> (ind/m ²) et le carbone organique (C%) dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.	98
Figure 3.29 : La densité des adultes d' <i>Ap. trapezoides</i> (ind/m ²) et l'azote total (N%) dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.	99
Figure 3.30 : La densité des adultes d' <i>Ap. trapezoides</i> (ind/m ²) et le rapport C/N dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.	99
Figure 3.31 : Les corrélations entre la M.O%, N%, C/N et la densité de l'espèce <i>Ap. trapezoides</i>	100
Figure 3.32 : La densité des adultes d' <i>Ap. trapezoides</i> (ind/m ²) et les fractions granulométriques (%A ; %L et %S) dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.	100
Figure 3.33 : Les corrélations entre la fraction granulométrique et la densité de l'espèce <i>Ap. trapezoides</i>	101
Figure 3.34 : Pourcentage (%) des classes texturales fréquentées par l'espèce <i>Ap. trapezoides</i>	101
Figure 3.35 : La densité des adultes d' <i>Ap. rosea</i> (ind/m ²) et le pH dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.	102
Figure 3.36 : La densité des adultes d' <i>Ap. rosea</i> (ind/m ²) et la CE (μS/cm) dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.	102
Figure 3.37 : Les corrélations entre le pH, CE (μS/cm) et la densité (ind/m ²) de l'espèce <i>Ap. rosea</i>	103
Figure 3.38 : La densité des adultes d' <i>Ap. rosea</i> (ind/m ²) et le carbone organique (C%) dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.	103
Figure 3.39 : La densité des adultes d' <i>Ap. rosea</i> (ind/m ²) et l'azote total (N%) dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.	104
Figure 3.40 : La densité des adultes d' <i>Ap. rosea</i> (ind/m ²) et le rapport C/N dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.	104
Figure 3.41 : Les corrélations entre la fraction granulométrique et la densité de l'espèce <i>Ap. rosea</i> (ind/m ²).	105

Figure 3.42 : La densité des adultes d' <i>Ap. rosea</i> (ind/m ²) et les fractions granulométriques (% A ; %L et %S) dans les différents relevés d'échantillonnage.	105
Figure 3. 43 : Les corrélations entre la fraction granulométrique (%A, %L et %S) et la densité de l'espèce <i>Ap. rosea</i> (ind/m ²).	106
Figure 3.44 : Pourcentage (%) des classes texturales fréquentées par <i>Ap. rosea</i>	106
Figure 3.45 : La densité des adultes d' <i>A. moleri</i> (ind/m ²) et le pH dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.	107
Figure 3.46 : La densité des adultes d' <i>A. moleri</i> (ind/m ²) et la CE (μS/cm) dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.	107
Figure 3.47 : Les corrélations entre le pH, CE (μS/cm) et la densité (ind/m ²) de l'espèce <i>A. moleri</i>	108
Figure 3.48 : La densité des adultes d' <i>A. moleri</i> (ind/m ²) et le carbone organique (C%) dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.	108
Figure 3.49 : La densité des adultes d' <i>A. moleri</i> (ind/m ²) et l'azote total (N%) dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.	109
Figure 3.50 : La densité des adultes d' <i>A. moleri</i> (ind/m ²) et le rapport C/N dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.	109
Figure 3.51 : Les corrélations entre la M.O%, N%, C/N et la densité des adultes de l'espèce <i>A. moleri</i> (ind/m ²).	110
Figure 3.52 : La densité des adultes d' <i>A. moleri</i> (ind/m ²) et les fractions granulométriques (% A ; %L et %S) dans les différents relevés d'échantillonnage.	110
Figure 3.53 : Les corrélations entre la fraction granulométrique (%A, %L et %S) et la densité de l'espèce <i>A. moleri</i> (ind/m ²).	111
Figure 3.54 : Pourcentage (%) des classes texturales fréquentées par l'espèce <i>A. moleri</i>	111
Figure 3.55 : La densité des adultes d' <i>Octodrilus complanatus</i> (ind/m ²) et le pH dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.	112
Figure 3.56 : La densité des adultes d' <i>A. moleri</i> (ind/m ²) et la CE (μS/cm) dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.	112
Figure 3.57 : Les corrélations entre le pH, CE (μS/cm) et la densité (ind/m ²) de l'espèce <i>Octodrilus complanatus</i> (ind/m ²).	113
Figure 3.58 : La densité des adultes d' <i>Octodrilus complanatus</i> (ind/m ²) et le carbone organique (C%) dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.	113
Figure 3.59 : La densité des adultes d' <i>Octodrilus complanatus</i> (ind/m ²) et l'azote total (N%) dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.	114

Figure 3.60 : La densité des adultes d' <i>Octodrilus complanatus</i> (ind/m ²) et le rapport C/N dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.	114
Figure 3.61 : Les corrélations entre la M.O%, N%, C/N et la densité des adultes de l'espèce <i>Octodrilus complanatus</i> (ind/m ²).	115
Figure 3.62 : La densité des adultes d' <i>Octodrilus complanatus</i> (ind/m ²) et les fractions granulométriques (%A ; %L et %S) dans les différents relevés d'échantillonnage.	115
Figure 3.63 : Les corrélations entre la fraction granulométrique (%A, %L et %S) et la densité <i>Octodrilus complanatus</i> (ind/m ²).	116
Figure 3.64 : Valeurs propres et pourcentages d'inertie (ACC).	120
Figure 3.65 : Graphique de l'Analyse Canonique des Correspondances (ACC) selon les deux axes F1xF2.	121
Figure 3.66 : Graphique de l'Analyse Canonique des Correspondances (ACC) selon les deux axes F1xF3.	121
Figure 3.67 : Dendrogramme des différentes classes des espèces lombriciennes répertoriées dans les stations d'étude de l'Est algérien.	123

Index des tableaux

Tableau 1.1 : Principales caractéristiques des trois catégories écologiques de vers de terre décrites par Bouché (1972 ; 1977).	12
Tableau 2.1 : La répartition saisonnière des pluies dans quelques stations du terrain d'étude (Source : O.N.M de Constantine / période 1985-2012).	39
Tableau 2.2 : Echelle d'interprétation du pH.	62
Tableau 2.3 : Normes d'interprétation du taux de calcaire du sol (in BAIZE, 1989)	62
Tableau 2.4 : Qualification des sols selon leurs taux de la M.O (in Soltner, 1992).	64
Tableau 2.5 : Normes d'interprétation pour l'azote total (%N) (in Soltner, 1992).	64
Tableau 3.1 : Le test de Shapiro-Wilk (W) de normalité.	67
Tableau 3.2 : Analyse de la Variance (Effets significatifs marqués à p < .05000).	68
Tableau 3.3 : Test de Levène d'Homogénéité des Variances (Effet : Etage bioclimatique, degrés de liberté pour tous les F : 6, 107).	68
Tableau 3.4 : Analyse de la Variance (Effets significatifs marqués à p < .05000).	88

Tableau 3.5 : Test de Levene d'Homogénéité des Variances (Effet : Etage bioclimatique, degrés de liberté pour tous les F : 6. 107).	88
Tableau 3.6 : Corrélations des variables lombriciennes et les paramètres édaphiques.	91
Tableau 3.7 : Tests Multivariés de Significativité.	92
Tableau 3.8 : Matrice des corrélations canoniques.	93
Tableau 3.9 : Test Lambda de Wilks.	94
Tableau 3.10 : Les corrélations canoniques et coefficients de redondance.	95
Tableau 3.11 : Inertie et Valeurs propres de l'Analyse Canonique des Correspondances (ACC).	119

Index des photos

Photo 1.1 : Vue ventrale et vue dorsale d'un ver de terre. (<i>Ap. trapezoides</i> : échantillon de Beni Belaïd).	8
Photo 2.1 : forêt de chêne liège (à Ouled Hbaba, Skikda).	43
Photo 2.2 : Une prairie (à Sidi Maarouf, Mila).	43
Photo 2.3 : Forêt de Cèdre d'Atlas (Oued Zarif, Khenchela).	44
Photo 2.4 : Forêt de Pin d'halep et de Chêne vert (Chettaba, Constantine).	44
Photos 2.5 et 2.6 : Le lecteur microplate utilisé pour le dosage du carbone organique au laboratoire de zoologie du sol, Université de Madrid (Espagne) en 2010.	63
Photo. 3.1. <i>Aporrectodea trapezoides</i> (Dugès, 1828) : Spécimen échantillonné à la station Ouled Hbaba. Clitellum [26 (27) – 34].	82
Photo. 3.2. <i>Allolobophora molleri</i> (Rosa, 1889) : Spécimen échantillonné à la station d'El-milia Clitellum]50 – 60[.	82
Photo. 3.3. <i>Octodrilus complanatus</i> (Dugès, 1828) : Spécimen échantillonné à la station Didouche Mourad, Constantine. Clitellum]26 – 37[.	85

Résumé

L'objectif de notre travail vise à décrire la biodiversité de la faune lombricienne dans l'Est algérien, le long d'un gradient depuis le littoral jusqu'au désert, ainsi que leurs relations avec les facteurs édaphiques (pH, Conductivité électrique, Matière organique et texture du sol) et climatiques. Dix-huit espèces sont recensées dans cette étude : *Aporrectodea trapezoides*, *Aporrectodea rosea*, *Allolobophora molleri*, *Aporrectodea monticola*, *Octodrilus complanatus*, *Aporrectodea carochensis*, *Octodrilus maghrebinus*, *Eisenia fetida*, *Dendrobaena byblica*, *Aporrectodea tetramammalis*, *Eiseniella tetraedra*, *Proctodrilus antipae*, *Octolasion lacteum*, *Aporrectodea caliginosa*, *Allolobophora chlorotica*, *Microscolex dubius*, *Microscolex phosphoreus* et *Hormogaster redii*.

L'espèce *Ap. trapezoides* domine dans l'ensemble du terrain d'étude (PDC = 50,37%).

En ce qui concerne la démoécologie, les valeurs moyennes de la densité et la biomasse des lombriciens diminuent du nord ($40,50 \pm 11,86$ individus/m² et $6,92 \pm 4,88$ g/m²) vers le sud ($3,89 \pm 2,80$ individus/m² et $1,07 \pm 0,83$ g/m²) du transect d'étude.

Les espèces *Aporrectodea rosea*, *Aporrectodea trapezoides* et *Allolobophora molleri* peuvent côtoyer les milieux riches en sable. Leurs substrats sont riches en azote. Toutefois, les taxons *Octolasion lacteum*, *Octodrilus maghrebinus*, *Dendrobaena byblica*, *Aporrectodea carochensis* et *Microscolex dubius* prouvent des tendances vers les teneurs élevées en matière organique et en argile. Le groupe des espèces *Aporrectodea caliginosa*, *Aporrectodea monticola*, *Octodrilus complanatus*, *Allolobophora chlorotica* et *Hormogaster redii* est lié aux paramètres CaCO₃, Ca⁺⁺, la fraction limoneuse et les sites pauvres en matière organique.

Il semble que les deux espèces *Aporrectodea rosea* et *Aporrectodea trapezoides* peuvent résister à un climat chaud et sec comme celui d'Algérie.

Mots clés : Vers de terre, biodiversité, Est algérien, étages bioclimatiques en Algérie, Biologie du sol, pédofaune.

Résumé

L'objectif de notre travail vise à décrire la biodiversité de la faune lombricienne dans l'Est algérien, le long d'un gradient depuis le littoral jusqu'au désert, ainsi que leurs relations avec les facteurs édaphiques (pH, Conductivité électrique, Matière organique et texture du sol) et climatiques. Dix-huit espèces sont recensées dans cette étude : *Aporrectodea trapezoides*, *Aporrectodea rosea*, *Allolobophora molleri*, *Aporrectodea monticola*, *Octodrilus complanatus*, *Aporrectodea carochensis*, *Octodrilus maghrebicus*, *Eisenia fetida*, *Dendrobaena byblica*, *Aporrectodea tetramammalis*, *Eiseniella tetraedra*, *Proctodrilus antipae*, *Octolasion lacteum*, *Aporrectodea caliginosa*, *Allolobophora chlorotica*, *Microscolex dubius*, *Microscolex phosphoreus* et *Hormogaster redii*.

L'espèce *Ap. trapezoides* domine dans l'ensemble du terrain d'étude (PDC = 50,37%).

En ce qui concerne la démoécologie, les valeurs moyennes de la densité et la biomasse des lombriciens diminuent du nord ($40,50 \pm 11,86$ individus/m² et $6,92 \pm 4,88$ g/m²) vers le sud ($3,89 \pm 2,80$ individus/m² et $1,07 \pm 0,83$ g/m²) du transect d'étude.

Les espèces *Aporrectodea rosea*, *Aporrectodea trapezoides* et *Allolobophora molleri* peuvent côtoyer les milieux riches en sable. Leurs substrats sont riches en azote. Toutefois, les taxons *Octolasion lacteum*, *Octodrilus maghrebicus*, *Dendrobaena byblica*, *Aporrectodea carochensis* et *Microscolex dubius* prouvent des tendances vers les teneurs élevées en matière organique et en argile. Le groupe des espèces *Aporrectodea caliginosa*, *Aporrectodea monticola*, *Octodrilus complanatus*, *Allolobophora chlorotica* et *Hormogaster redii* est lié aux paramètres CaCO₃, Ca⁺⁺, la fraction limoneuse et les sites pauvres en matière organique.

Il semble que les deux espèces *Aporrectodea rosea* et *Aporrectodea trapezoides* peuvent résister à un climat chaud et sec comme celui d'Algérie.

Mots clés : Vers de terre, biodiversité, Est algérien, étages bioclimatiques en Algérie, Biologie du sol, pédofaune.

Summary

The objective of our work is to describe the biodiversity of earthworm fauna in Eastern Algeria, along a gradient from the coast to the desert and their relations with soil (pH, electrical conductivity, organic matter and soil texture) and climatic factors. Eighteen species are identified in this study: *Aporrectodea trapezoides*, *Aporrectodea rosea*, *Allolobophora molleri*, *Aporrectodea monticola*, *Octodrilus complanatus*, *Aporrectodea carochensis*, *Octodrilus maghrebinus*, *Eisenia fetida*, *Dendrobaena byblica*, *Aporrectodea tetramammalis*, *Eiseniella tetraedra*, *Proctodrilus antipae*, *Octolasion lacteum*, *Aporrectodea caliginosa*, *Allolobophora chlorotica*, *Microscolex dubius*, *Microscolex phosphoreus* and *Hormogaster redii*.

The species *Ap. trapezoids* dominates throughout the field of study (PDC = 50,37%).

Regarding the demoeology, the average values of density and earthworm biomass, reduce from the north ($40,50 \pm 11,86$ individuals / m² and $6,92 \pm 4,88$ g / m²) to the south ($3,89 \pm 2,80$ individuals / m² and $1,07 \pm 0,83$ g / m²) of the study transect.

Species *Aporrectodea rosea* and *Aporrectodea trapezoides* *Allolobophora molleri* can withstand environments rich in sand. Their substrates are rich in nitrogen. However, *Octolasion lacteum*, *Octodrilus maghrebinus*, *Dendrobaena byblica*, *Aporrectodea carochensis* and *Microscolex dubius* show trends towards high levels of organic matter and clay. The group of *Aporrectodea caliginosa*, *Aporrectodea monticola* *Octodrilus complanatus*, *Allolobophora chlorotica* and *Hormogaster redii* is related to parameters CaCO₃, Ca⁺⁺, the silt fraction and poor sites in organic matter.

It seems that both species *Aporrectodea rosea* and *Aporrectodea trapezoides* can withstand hot, dry climate like that of Algeria.

Keywords: Earthworms, biodiversity, Eastern Algerian, Soil biology, bioclimatic stages in Algeria, Soil biology, the fauna of the ground

الملخص

الهدف من دراستنا هو وصف التنوع الحيوي لديدان الأرض بشرق الجزائر، بدءاً من المنطقة الساحلية إلى الجنوبية و علاقاتها بعوامل التربة (الحموضة، الملوحة، المادة العضوية و بنية التربة و المناخ).

في هذه الدراسة، تم إحصاء 18 نوعاً :

Aporrectodea trapezoides, *Aporrectodea rosea*, *Allolobophora molleri*, *Aporrectodea monticola*, *Octodrilus complanatus*, *Aporrectodea carochensis*, *Octodrilus maghrebinus*, *Eisenia fetida*, *Dendrobaena byblica*, *Aporrectodea tetramammalis*, *Eiseniella tetraedra*, *Proctodrilus antipae*, *Octolasion lacteum*, *Aporrectodea caliginosa*, *Allolobophora chlorotica*, *Microscolex dubius*, *Microscolex phosphoreus* و *Hormogaster redii*.

النوع *Aporrectodea trapezoides* هو السائد على مجموع منطقة الدراسة (PDC = 50,37%).

فيما يخص الكثافة و الكتلة الحيوية، القيم تنخفض من الشمال ($40,50 \pm 11$ ، 86 دودة/م² و $6,92 \pm 4,88$ غ/م²) نحو الجنوب ($3,89 \pm 2,80$ دودة/م² و $1,07 \pm 0,83$ غ/م²).

الأنواع *Allolobophora molleri* و *Aporrectodea rosea*, *Aporrectodea trapezoides* يمكنها التواجد

بالأوساط الغنية بالرمل، كذلك تربتها غنية بعنصر الأزوت.

إلا أن الأنواع *Octolasion lacteum*, *Octodrilus maghrebinus*, *Dendrobaena byblica*

Aporrectodea carochensis و *Microscolex dubius* تنبدي ميولاً نحو مستويات عالية من المادة العضوية والغضار.

أما مجموعة *Aporrectodea caliginosa*, *Aporrectodea monticola*, *Octodrilus complanatus*

Allolobophora chlorotica و *Hormogaster redii* فهي مرتبطة بالعوامل، الطمي و الأوساط المفتقرة للمادة العضوية.

يبدو أن النوعين *Aporrectodea rosea* و *Aporrectodea trapezoides* يمكنهما تحمل المناخ الجاف مثل ما هو الحال بانسبة

للجزائر.

الكلمات المفتاحية: ديدان الأرض، التنوع الحيوي، الشرق الجزائري، المستويات المناخية بالجزائر، بيولوجيا التربة، أحياء

التربة.

Introduction

Introduction

Aujourd'hui, il y a un regain d'intérêt pour les vers de terre conduit par des préoccupations environnementales et économiques, particulièrement dans les domaines de la biodiversité, la systématique et l'évolution. Ainsi que la nécessité d'apprécier leur fonction en écologie appliquée (King et al., 2008), comprendre leur rôle dans les secteurs d'agriculture durable, horticoles et forestiers et l'exploitation de leur potentiel dans la restauration des sols endommagés et le recyclage des déchets organiques (Blakemore, 2000d ; Lavelle et Spain, 2001). L'une des premières étapes de cette compréhension est à identifier les espèces qui sont en cause, de comprendre leurs fonctions et de déterminer leur répartition régionale (Blakemore, 1999).

Les lombriciens sont généralement bien connus en Europe humide et à un moindre degré dans les pays méditerranéens de l'Europe occidentale (Bouché, 2003). Cette faune est vraisemblablement similaire à celle de l'Afrique du Nord (Bouché, 2003). En effet les deux rives de la méditerranée ont connu un contact direct bien avant le mésozoïque et le cénozoïque (Bouillin, 1986). Ainsi, il serait judicieux de s'intéresser à la biodiversité des lombriciens dans le Nord africain en tenant compte d'une part des conditions climatiques et d'autre part des relations phylogéniques avec les vers de terre de l'Europe méditerranéenne.

En Algérie, les travaux relatifs à la biodiversité des lombriciens restent encore insuffisants. Cet espace biogéographique très diversifié sur le plan climat, sol et végétation depuis le littoral au désert, pourrait révéler une grande diversité lombricienne avec certainement des espèces très adaptées à la sécheresse. Les études relatives à ce sujet sont difficiles, d'une part l'identification et la classification de ces organismes demeurent difficiles par manque de taxonomistes qualifiés (Rougerie et al., 2009), et d'autre part l'étude des vers de terre n'est pas évidente à réaliser en raison de plusieurs contraintes liées à la nature des sols et à la complexité de ces organismes (Decaëns, 2010).

Des auteurs ont rapporté des données sur les vers de terre dans l'algérois, la Kabylie et le Maghreb. Ainsi, les efforts d'Omodeo et Martinucci (1987), couvrant 83 localités réparties sur la Tunisie, l'Algérie et le Maroc, ont rajouté trois nouvelles espèces pour la science (*Octodrilus maghrebinus*, *Octodrilus kabylianus* et *Eisenia xylophila*) et ont inventorié 12 autres espèces. La collection de Baha (1997), dans la zone de la Mitidja, une plaine côtière au Sud d'Alger, a révélé 11 espèces, dont *Allolobophora chlorotica* nouvellement découverte en Afrique du Nord, trois autres espèces non encore inventoriées en Algérie, ainsi qu'une cinquième, *Proselodrilus doumandjii*, décrite comme nouvelle espèce par Baha et Berra (2001).

Les recherches de Qiu et Bouché (1998a) dans le Rif marocain et les banlieues de Constantine ont abouti à la découverte des lombriciens avec des affinités Franco-Ibériennes tel que *Helodrilus rifensis* (Qiu et Bouché, 1998b). Selon Omodeo *et al.* (1987), l'ensemble des vers de terre du Maghreb fait partie du faciès méditerranéen avec quelques taxons d'origine éthiopienne tels que *Ocnerodrilus africanus*, *Eiseniella neapolitana* et *Criodrilus lacuum*. Quelques espèces d'origine ibérienne sont observées au Maroc (*Allolobophora moebii*, *A. mollerii*, *A. borellii*). Tandis qu'en Algérie et en Tunisie, des espèces de distribution tyrrhénienne (*Hormogaster redii*, *Helodrilus festai*) ont été observées avec d'autres espèces circumméditerranéennes et centroeuropéennes. Ouahrani et Gheribi (2008), ont également rajouté un nouveau taxon (*Hydrilus ghaniae*) à la liste des vers de terre d'Algérie.

Cependant, aucune étude générale n'a jusqu'à présent été effectuée pour l'ensemble de l'Est algérien, ni pour un transect depuis le Nord (littoral) jusqu'au Sud (désert). Le but de notre travail diffère de tous les précédents du fait qu'il est l'unique à apporter des données de distribution biogéographique liée aux étages bioclimatiques caractérisant le climat algérien. Il vise donc à décrire la faune lombricienne le long d'un gradient depuis le littoral jusqu'au désert. Selon Decaëns (2010), il est possible que les facteurs climatiques (températures et précipitations) associés aux conditions édaphiques influencent les communautés lombriciennes, et il suggère que la faune du sol répond aux gradients altitudinaux, latitudinaux ou zonaux de la même manière que les organismes non édaphiques.

La présente thèse se donne donc pour objectif premier d'acquérir des connaissances concernant l'inventaire, l'identification et le classement des vers de terre de l'Est algérien ainsi que leurs relations avec le climat et les caractéristiques physico-chimiques du sol. Le travail s'appuie sur l'importance des points d'échantillonnage et l'expertise taxonomique en collaboration avec l'équipe de recherche de l'université Complutense de Madrid. Dans un premier temps l'équipe établira un document faunistique et biogéographique concernant l'identification des espèces de vers de terre présentes dans les sols de l'Est algérien, qui sera suivi par des projets continus concernant des aspects écologiques, évolutives et phylogéniques des vers de terre.

Le manuscrit est organisé en trois grands chapitres. Le premier présente une synthèse bibliographique concernant les recherches dans le domaine de la biologie et écologie des vers de terre, leurs relations avec les facteurs abiotiques, la phylogénie et la classification des Oligochètes, ainsi que la dispersion et les origines des lombriciens du Nord-africain.

Le deuxième chapitre expose la description du terrain d'étude et l'ensemble des matériels et méthodes qui ont été mis en œuvre pour répondre à nos objectifs. En particulier, les modalités

d'échantillonnage, la détermination des lombriciens et méthodes d'analyses physico-chimiques des sols.

Le troisième chapitre présente les résultats scientifiques concernant les paramètres abiotiques (climat et sol), les paramètres biotiques (la biodiversité des lombriciens et leurs répartitions dans l'est algérien) et l'interaction paramètres biotiques et abiotiques.

Enfin, la conclusion s'attachera à effectuer la synthèse des résultats acquis et d'ouvrir des perspectives sur l'exploitation des espèces lombriciennes dans différents domaines de l'écologie appliquée.

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

1.1. Biologie et écologie des vers de terre.

1.1.1. L'importance des vers de terre.

L'importance des vers de terre est connue depuis des siècles. Au temps de la Grèce antique, le mode de vie et l'utilisation des vers de terre étaient bien connus et Aristote (350 av J.C) les appelait « Les intestins de la terre » probablement du fait qu'ils vivent et se déplacent sous la terre, "tout en la digérant" (Minnich, 1977 ; Kevan, 1985).

Charles Darwin est l'un des premiers scientifiques fondateurs de l'écologie des sols, à donner foi à la logique sur les effets bénéfiques des vers de terre sur les sols et la croissance des plantes, et donc sur la survie humaine. En 1881, il publie son dernier livre « La formation de la terre végétale par l'action des vers de terre avec des observations sur leurs habitudes ». Ce livre illustre l'importance de l'activité des vers de terre dans une grande variété de thèmes qui restent d'actualité : la pédogénèse, les processus d'altération, la différenciation d'horizons du sol et la formation de la terre végétale...etc. Il disait : « les vers de terre ont joué un rôle dans l'histoire du monde, plus important que ce que la plupart des gens peuvent le supposer ... et l'humus qui couvre, comme un manteau, la surface de la terre a traversé plusieurs fois leur corps» (Darwin, 1881).

En effet, ils ont une importance primordiale dans la production primaire ; puisque qu'ils jouent un rôle essentiel dans la formation et l'entretien des sols fertiles et de leurs effets sur le recyclage des éléments nutritifs, le maintien de la fertilité et la structure des sols (Lee, 1985 ; James, 1991 ; Bohlen et al., 1997).

A l'époque babylonienne, ils étaient utilisés en médecine comme des lumbagos (Michaelson, 1930) et dans l'Empire égyptien, ils servaient d'indicateurs météorologiques (Righi, 1997), l'importance des vers de terre dans la vallée du Nil étaient reconnue, à tel point que Cléopâtre (69-30 av J.C) décréta le ver de terre comme un animal sacré (Minnich, 1977). De l'antiquité à l'époque de Darwin, de rares informations sur les vers de terre sont disponibles (Agricola, 1549 cité par kevan 1985). Tout au long du 19^{ème} siècle et jusqu'au début du 20^{ème} siècle, la majorité des gens considéraient le ver de terre comme nuisible (White, 1789 ; Château neuf, 1844 ; Walton, 1928; Graff, 1983). Quelques côtés positifs des vers de terre ont été mentionne, notamment pour certaines médecines et comme aliments pour certains peuples indiens ou comme appât pour la pêche (Feller et al., 1997, 2003).

Les lombriciens font partie des animaux terrestres les plus anciens. Ils sont omniprésents dans tous les sols capables de soutenir les plantes. Ils se reproduisent partout, mais rarement dans les déserts, lieux constamment enneigés, les sommets des montagnes et les zones manquant

presque ou entièrement en sol et végétation. Ils constituent un composant important de la communauté invertébrée dans la plupart des sols, où ils peuvent dominer l'ensemble de la macrofaune du sol sur le plan densité et biomasse souterraine globale. Ils peuvent atteindre respectivement 1 million d'individus à l'hectare et 2 tonnes par hectare (Lavelle, 1983). Dans les forêts tropicales, les lombriciens représentent environ 50% de la biomasse de la macrofaune du sol (Fragoso et Lavelle, 1992).

Les lombriciens sont également d'intérêt phylogénétique et biogéographique puisqu'ils sont un ancien groupe avec des déplacements généralement faibles et surtout confinés dans leur région d'origine. A tous les stades de leur cycle de vie, leur mobilité est généralement limitée aux petites zones, exceptions pour les espèces euryhaline (tolérante au sel), et d'autres qui peuvent profiter d'une aide naturelle en s'accrochant sur des troncs d'arbre flottants en aval ou de transport dans la boue sur les pieds des oiseaux ou entre les sabots des animaux. La plupart sont incapables de survivre aux dessèchements ni aux expositions de soleil ou ni encore à l'eau salée. De tels dispositifs sont les barrières naturelles contre la dispersion ou la migration des espèces de ver de terre (Lavelle, 1992).

Puisqu'ils sont mous, les fossiles sont rares. Leur répartition biogéographique est interprétée par les événements géologiques tel que les théories de la tectonique des plaques et de la dérive des continents qui cherchent toujours la validation de distribution actuelle et passée des diverses familles de ces vers de terre (Lavelle et Martin, 1992).

Certaines espèces de ver de terre sont largement distribuées à cause des transports involontaires, suivant les traces de pérégrinations humaines liées particulièrement à l'agriculture et au commerce.

1.1.2. Le rôle écologique des vers de terre.

Les vers de terre remplissent des fonctions écologiques uniques dans le sol. Les grandes galeries permettent à l'eau de pluie de pénétrer facilement dans les sols en augmentant leur taux d'infiltration. L'accélération de l'infiltration de l'eau limite le ruissellement et l'érosion et permet à l'eau de pénétrer dans la rhizosphère où elle peut être utilisée par les végétaux. Ces galeries permettent également aux racines de se développer facilement dans le sol et d'explorer de nouveaux espaces. Le sol travaillé par les vers de terre possède une structure granulaire stable (agrégat) moins sensible à l'érosion éolienne (Gates, 1972).

Les lombriciens sont considérés comme très importants dans le recyclage de la matière organique du sol. Certaines espèces se chargent d'enterrer les résidus organiques superficiels,

alors que d'autres participent activement à leur décomposition en rendant d'importants éléments nutritifs accessibles à d'autres organismes vivants du sol, comme les végétaux (Gates, 1972).

Il faut rappeler qu'ils se nourrissent surtout de matière organique (matière végétale morte et, dans certains cas, déjections animales) à divers stades de décomposition. Les dernières recherches de Gutiérrez et al. (2006) révèlent que les lombriciens ne sont pas prédateurs des acariens ou microarthropodes. D'après Dash (1986), chaque espèce de ver de terre a son propre substrat alimentaire. Brown et Doube, (2004) suggère que les vers de terre peuvent choisir différents groupes d'organismes du sol dans le cadre de leur régime alimentaire.

Les lombriciens comportent aussi certains aspects négatifs. En effet, dans certaines régions, des espèces introduites ont fait concurrence aux vers de terre indigènes. Or, cette concurrence limite d'autant les chances des espèces indigènes de se développer et même de survivre, car ces dernières vivent fréquemment dans de petites zones isolées. Dans l'ouest du Canada où les sols sont d'origine calcaire, l'espèce anecique *Lumbricus terrestris* fabrique des tertres en "béton". En effet, leur fouissement expose en surface les couches dures du sous-sol aux cycles de déshydratation et d'hydratation qui rendent ce matériau très dur et difficile à utiliser pour les potagers, les terrains de golf et les pelouses (Blakemore, 1994).

1.1.3. Aperçu morphologique et anatomique d'un vers de terre.

Les informations sur la biologie, morphologie et terminologie des oligochètes sont inscrites dans plusieurs recherches telles que celles de Stephenson (1930), Lee (1959), Gates (1972), Reynolds (1977), Sims et Gerard (1999), Blakemore (1994) et Lavelle et Spain (2001).

D'après Lavelle et Spain (2001), les vers de terre sont des animaux qui appartiennent à la macrofaune du sol. Ils se distinguent par une anatomie allongée et circulaire. Leurs corps sont constitués par une série de nombreux anneaux successifs appelés « métamères » (de 60 à 200), lesquels ont tous une anatomie à peu près semblable et se répétant régulièrement. Chez les lombricidés et quelques familles, chaque segment du tronc est caractérisé par la présence de quatre paires de soies de positions variables. Il porte également deux pores néphrétiques. Le tout donne un aspect bien caractéristique, vermiforme, ce qui favorise leur pénétration dans le sol.

Le corps des vers de terre est donc annelé, composé d'anneaux. Le premier segment est appelé "Prostomium", le second "Peristomium" et le dernier "Pygidium" (Sims et Gerard, 1999). Comme tous les Oligochètes terrestres les vers de terre n'ont ni yeux, ni tête distincte. Cependant ils possèdent une forte densité de cellules sensorielles. La région antérieure est plus effilée et

porte la bouche ; alors que la région postérieure, parfois plus renflée et légèrement aplatie, porte l'anus. D'une manière générale, le corps est composé des parties suivantes (Fig. 1.1) :

A- Le prostomium : Partie la plus antérieure, située immédiatement en avant de la bouche, ce n'est pas un véritable segment (métamère) et il ne possède ni soies ni cavité coelomique, il est plus ou moins fusionné avec le péristomium.

B- Le metastomium (soma) : Il constitue l'essentiel du corps du ver de terre. La première partie qui délimite l'orifice buccal se nomme « péristomium ». Chez l'adulte le soma peut être divisé par rapport au Clitellum en trois zones.

a- La zone antérieure (anté-clitélienne) : Elle possède une forte densité de cellules sensorielles et contient le cerveau. Sa morphologie est modifiée par le développement musculaire qui a un rôle mécanique important pour la pénétration des vers de terre dans le sol.

b- Le clitellum : Il est sous forme d'un fer à cheval à annulaire chez quelques familles, il sécrète un cocon qui reçoit les œufs et les spermatozoïdes en période de reproduction (photo 1.1).

c- La zone post-clitélienne : Elle se présente comme une succession de segments similaires. Sa fonction est essentiellement mécanique et digestive, elle permet aux vers de terre de s'accrocher à l'orifice du terrier lorsqu'ils explorent la surface du sol.

C- Le pygidium : Il ne comporte pas de cavité coelomique, donc n'est pas considéré comme un métamère. Il entoure l'anus.

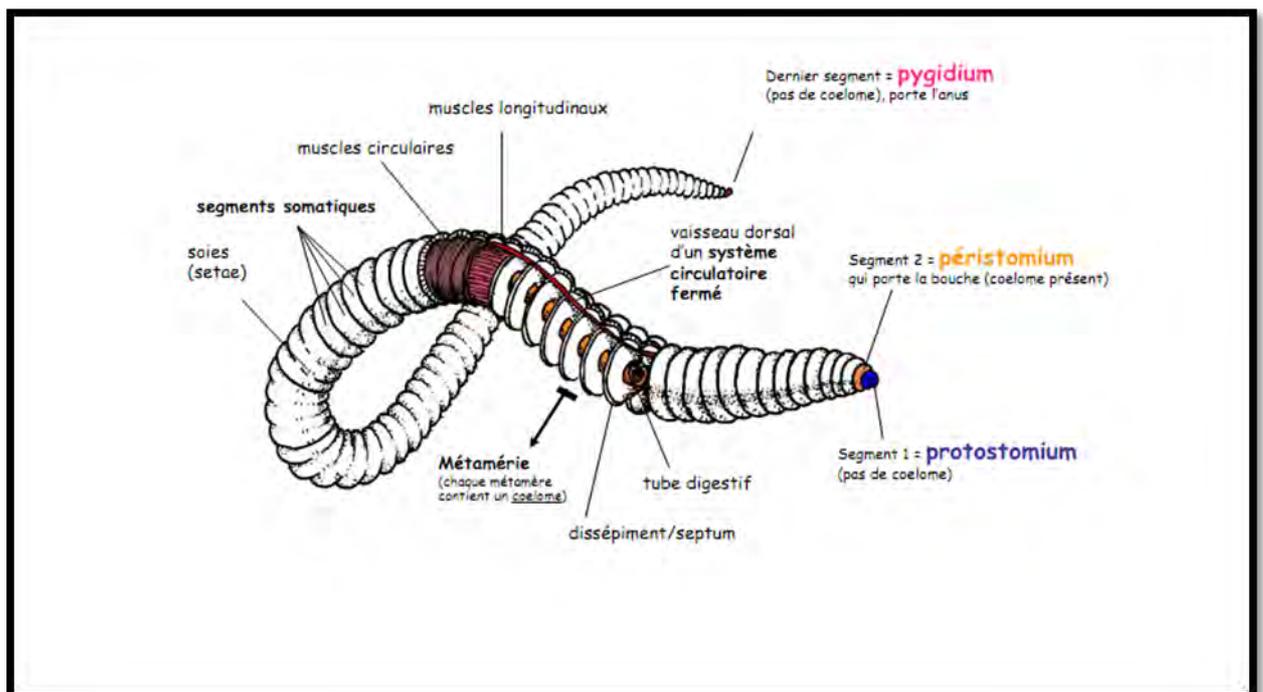


Figure 1.1 : Morphologie d'un ver de terre (d'après Sims et Gerard, 1999).

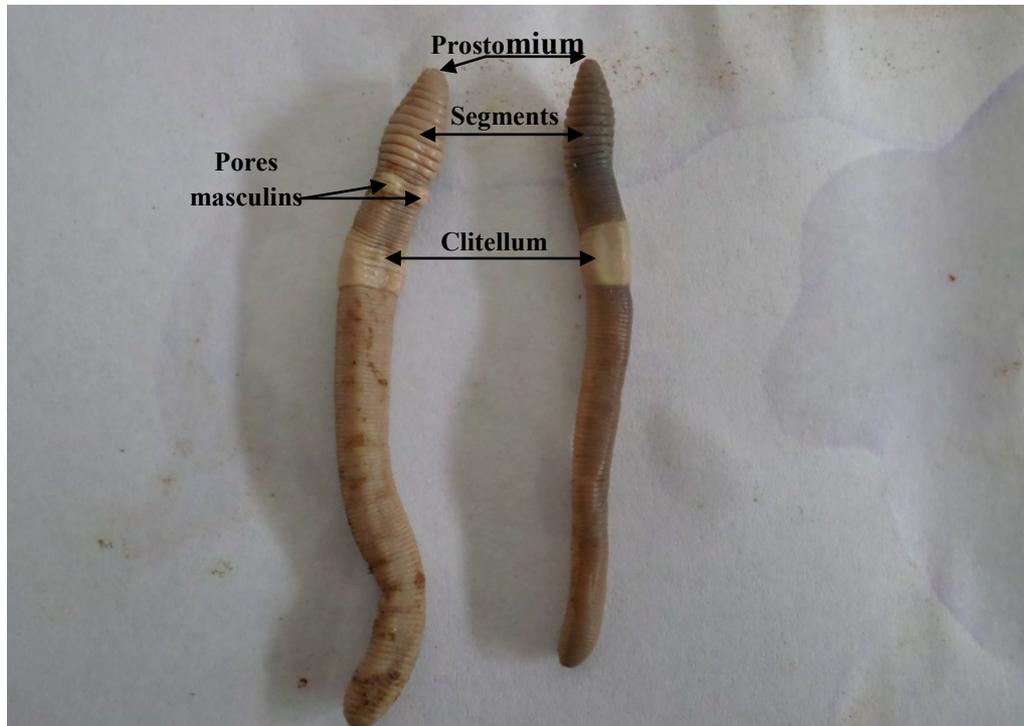


Photo 1.1 : Vue ventrale et vue dorsale d'un ver de terre.

(*Ap. trapezoides* : échantillon de Beni Belaïd)

En ce qui concerne l'anatomie du ver de terre, elle est caractérisée par la présence d'organes axiaux, s'étendant sur toute la longueur du corps de l'animal (appareil circulatoire, appareil digestif et chaîne nerveuse), d'organes métamériques pairs se répétant dans chaque segment (néphridies, cavités cœlomiques, ganglions nerveux) et d'organes à localisation stricte comme les structures génitales (testicules et vésicules séminales de l'appareil génital mâle, ovaires, oviductes et spermathèques de l'appareil femelle). En outre, il prouve une symétrie bilatérale nette (Sims et Gerard , 1999).

1.1.4. Le cycle de vie.

Tous les vers de terre sont originellement hermaphrodites, mais nombreuses espèces sont parthénogénétiques Díaz Cosín, (2011). Certaines espèces sont obligatoirement bi-parentales, comme *L. terrestris* alors que d'autres peuvent se reproduire sans accouplement, par autofertilisation ou parthénogénèse « La parthénogénèse est une reproduction monoparentale à partir d'un seul gamète » (Sims et Gerard, 1999 ; Diaz Cosín, et al., 2011; Fernandz et al., 2012).

Un échange de spermatozoïdes a lieu lors d'un accouplement lorsque les conditions sont favorables. Quelques jours plus tard, le clitellum produit le cocon qui glisse le long de la partie antérieure du ver de terre et émis dans le sol sous forme d'une capsule fermée à deux extrémités (Fig. 1.2).

Les cocons sont résistants aux conditions défavorables comme la sécheresse ou une modification de la température (Edwards et Bohlen, 1996). Parmelee et Crossley (1988) et Edwards et al. (1995) suggèrent qu'ils peuvent être, pour certaines espèces comme *L. rubellus*, les seules formes de vie existantes pendant les mauvaises périodes. Le dessèchement du sol provoque la déshydratation du cocon, ce qui peut retarder le développement embryonnaire (Evans et Guild, 1948b ; Gerard, 1967).

Les vers adultes produisent plusieurs cocons par an, en fonction de leur âge (Svendsen et al., 2005) et les conditions dans lesquelles ils se trouvent (Lee, 1985). Une synthèse de plusieurs études par Satchell (1967) montre qu'*Aporrectodea caliginosa*, *Aporrectodea longa* et *Octalasion cyaneum*, qui sont des espèces anéciques ou endogées, produisent entre 3 à 13 cocons par an alors que les épigés *L. rubellus*, *Lumbricus castaneus* et *Dendrobaena rubidus* sont capables d'en produire entre 42 à 106 par an. L'espèce *L. terrestris* peut produire entre 10 à 25 cocons par an en fonction des conditions de température (Butt, 1993). Un ou plusieurs individus immatures, appelés juvéniles, éclosent quelques temps plus tard. Butt (1993) montre que 20 % des cocons viables d'*O. cyaneum* produit des jumeaux, comparé à 1 % pour *L. terrestris* et *A. longa*. Hartenstein et al. (1981) trouvent un nombre maximum de 11 vers par cocon pour *Eisenia fetida*. La durée d'incubation dépend des conditions climatiques (Holmstrup et al., 1996) et des conditions de vie de l'adulte qui a produit ce cocon (Phillipson et Bolton, 1977).

Le ver de terre juvénile va progressivement acquérir des caractères sexuels secondaires externes liés à l'accouplement comme le puberculum tuberculeux ou les pores sexuels, il sera alors au stade sub-adulte. Un clitellum, organe lié au processus de ponte, va ensuite se former et permettre au ver de terre de devenir sexuellement mature pour pouvoir se reproduire à son tour ; il devient alors adulte.

Le temps de maturation varie beaucoup entre espèces et dépend des conditions de milieu (température, humidité, nourriture). Boström et Lofs (1996) rapportent qu'un juvénile *A. caliginosa* devient mature en 3 à 6 semaines. Au champ, *L. terrestris* devient mature généralement en 1 an (Lakhani et Satchell, 1970) alors qu'il ne lui suffira que de quelques mois pour atteindre la maturité sexuelle en conditions de laboratoire (Daniel et al., 1996 ; Lowe et Butt, 2002).

Les vers de terre ont une durée de vie dépendante de l'espèce, de leur biotope et des conditions dans lesquelles ils vivent. Ainsi, l'espèce *L. terrestris* peut vivre plusieurs années en conditions de laboratoire (Lakhani et Satchell, 1970) alors qu'en conditions naturelles et particulièrement en système cultivé, il est exposé à des risques qui diminuent son espérance de vie à quelques mois (Satchell, 1967). Suivant le groupe fonctionnel, les stratégies d'allocation de

l'énergie varient entre les types « r et k » (Satchell, 1980). La stratégie de type « r » concerne les espèces à durée de vie courte donc plus spécifiquement les épigés, qui allouent tout d'abord leur énergie à la reproduction et à la croissance. A l'inverse, les stratégies « k », principalement les endogés et les anéciques, privilégient la survie à la reproduction et à la croissance car ils ont une durée de vie plus longue.

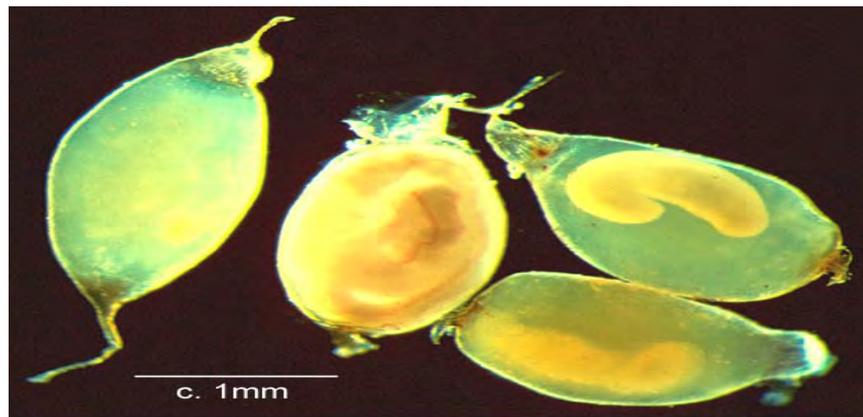


Figure 1.2 : Les cocons d'un vers de terre.

1.1.5. La longévité.

Les données sur la durée probable de vie dans la nature sont rares (Lee, 1985). Les populations de certaines espèces des champs peuvent avoir seulement une saison d'espérance de vie et passent une partie de leurs cycles en dormance embryonnaire dans les cocons dans des conditions défavorables. Une moyenne de 1 à 2 ans est rapportée pour les adultes de plusieurs espèces communes. La durée de vie maximale pour *Eisenia fetida* est de 5 ans, mais *Aporrectodea longa* a survécu de 5 à 10 ans dans les cultures au laboratoire (Gerard, 1967 ; Gates, 1972). Cependant, des adultes de *Lumbricus terrestris* ont été maintenus à 30 ans d'espérance de vie (Sims et Gerard, 1985). Certaines espèces géantes peuvent prendre des années pour atteindre le stade de maturité et se reproduisent que tous les deux ou trois ans, tel que *Megascolides australis* (Van Praagh, 1992).

1.1.6. Les facteurs du milieu influençant le cycle de vie.

En réponse à des conditions extérieures (températures, humidité ou réaction à une substance ou à une agression), les vers de terre peuvent cesser leur activité et entrer en léthargie pendant un certain temps. Il existe différents types d'inactivité (Bouché, 1972 ; Diaz Cosín et al., 2006).

La diapause est déclenchée par la dessiccation du milieu ou un agent traumatisant, comme l'ablation d'une partie du corps par exemple (Saussey, 1966). Le ver ne s'alimente plus, vide son intestin et s'installe dans une logette sphérique individuelle en profondeur où il s'enroule en excréant du mucus afin de s'affranchir des conditions extérieures. La sortie de diapause peut être contrôlée par des neurosécrétions du ver ; on parle alors de diapause obligatoire. Elle peut également être contrôlée par les conditions du milieu ; il s'agit de diapause facultative (Saussey, 1966). Cette forme de léthargie ne modifie que très faiblement la teneur en eau du ver mais peut provoquer une perte de poids de l'animal. L'hibernation, provoquée par une température du sol basse, prend fin dès que le sol se réchauffe de quelques degrés.

1.1.7. Catégories écologiques des vers de terre.

Les catégories écologiques des vers de terre sont fonctions de leur comportement, morphologique et d'habitat. Ces catégories sont divisées par divers auteurs, notamment Lee (1959, 1985, 1987) et Bouché (1972, 1977). Lee a proposé des catégories facilement interprétables et largement applicables à plusieurs familles lombriciennes, il s'agit des :

- a) Espèces de litière : Elles vivent sur la surface du sol dans les couches litières ;
- b) Espèces topsoil : Elles s'enfouissent dans l'horizon « A » du sol, mais se nourrissent à la surface où elles produisent des turricules ;
- c) Espèces du sous-sol : Elles se localisent entièrement dans les horizons « B » ou « C » du sol et tirent leur alimentation des zones inférieures de la racine.

Ces catégories sont équivalentes d'une manière générale à la classification adoptée par Bouché 1977 (Tableau 1.1) :

- a) Les Epigés : Ils vivent et se nourrissent dans les couches de surface, principalement la litière.
- b) Les Anéciques : Ils s'enfouissent dans le sol (depuis l'horizon A à C), mais se nourrissent à la surface.
- c) Les Endogées : Ils vivent dans les horizons minéraux et se nourrissent de la matière organique dans le sol.

Ces deux classifications catégorielles sont essentiellement semblables dans leurs paramètres, qui diffèrent légèrement par l'interprétation.

Tableau 1.1 : Principales caractéristiques des trois catégories écologiques de vers de terre décrites par Bouché (1972 ; 1977).

	Espèce épigée	Espèce anécique	Espèce endogée
Alimentation	Litière décomposée à la surface du sol ; peu ou pas d'ingestion de sol	M.O décomposée à la surface du sol, dont une part est emmenée dans les galeries ; un peu d'ingestion de sol	Sol minéral avec préférence pour matériau riche en M.O
Pigmentation	Sombre, souvent ventrale et dorsale	Moyennement sombre, souvent uniquement dorsale	Peu ou pas pigmenté
Taille adultes	Petite à moyenne (10-30 mm)	Grande (10-110 cm)	Moyenne (1-20 cm) ou grands
Galeries	Pas ; quelques galeries dans 1 ^{ers} cm de sol par espèces intermédiaires	Grandes galeries verticales et permanentes dans horizon minéral	Galeries continues, extensives, sub-horizontales, souvent dans les 15 premiers cm de sol
Mobilité	Mouvements rapides en réponse à perturbation	Retrait rapide dans galerie mais plus lents que les épigés	Généralement lents
Longévité	Relativement courte	Relativement longue	Intermédiaire
Temps de génération	Court	Long	Court
Survie à sécheresse	Sous forme de cocons	Quiescence	Diapause
Prédation	Très importante, surtout par oiseaux, mammifères et arthropodes prédateurs	Importante, surtout quand ils sont en surface, un peu protégés dans leur galerie	Faible ; un peu par oiseaux qui creusant le sol et arthropodes prédateurs

1.1.8. Les relations avec les facteurs abiotiques.

La qualité et la quantité de la matière organique du sol (Curry, 1998) ainsi que le type de sol, le pH et les conditions climatiques sont des facteurs du milieu qui gouvernent fortement la présence des communautés lombriciennes dans les différents biotopes (Lofs-Holmin, 1982 ; Whalen et Parmelee, 1999). Eventuellement, La température et la teneur en eau du sol sont les variables environnementales clés qui influencent la croissance, la survie, la fécondité et l'activité des lombriciens (Satchell, 1967 ; Hartensein et Amico, 1983 ; Sims et Gerard, 1999).

A. La température.

Les vers de terre sont composés à 80-90 % d'eau lorsqu'ils sont pleinement hydratés (Lee, 1985) et, même s'ils peuvent supporter des pertes en eau, ils restent très sensibles aux faibles humidités. De même, ils ne régulent pas leur température corporelle et sont par conséquent très sensibles aux variations de température. Les conditions optimales de température se situent en général entre 10 et 20°C pour les espèces de régions tempérées et entre 20 et 30°C dans les zones tropicales. Peu d'espèces survivent à des températures inférieures à 0°C ou supérieures à 28°C (Lee, 1985 ; Curry, 1998). Lee (1985) et Ghilarov (1983) rapportent que *Eisenia nordenskioeldi*, une espèce apparentée à *E. fetida*, sera ravivée après de longues périodes où elle était entièrement gelée. *E. fetida* est signalée comme l'une des espèces les plus communes dans l'Himalaya (Stephenson, 1925). On la trouve sous la neige par exemple (Reynolds, 1977). Elle a une gamme de température expérimentale de - 2 à + 40 °C (Lee, 1985). L'espèce *Perionyx excavatus* semble être tout aussi dans les basses terres tropicales et dans l'Himalaya à une altitude de 3000 m (Gates, 1972).

Lorsque les conditions de température du sol deviennent défavorables (baisse ou hausse trop importante de la température), la survie, la fécondité et la croissance des lombriciens sont affectées (Lee, 1985). Différentes stratégies de survie sont utilisées par les vers de terre. Tout d'abord, certains ne survivent aux mauvaises périodes que sous forme de cocons. C'est le cas de l'espèce *L. rubellus* (Parmelee et Crossley, 1988 ; Edwards et al., 1995) et, plus généralement, des espèces épigées car vivant en surface, elles sont les plus exposées aux aléas climatiques. Certaines espèces, principalement les anéciques, peuvent migrer vers les horizons profonds du sol, où les conditions de température et/ou d'humidité leur sont moins défavorables. C'est le cas de *L. terrestris*, qui, dès qu'il a acquis une musculature suffisante, peut descendre jusqu'à plusieurs mètres de profondeur (Edwards et Bohlen, 1996). Ainsi, les plus gros juvéniles, les sub-adultes et les adultes migrent-ils pour s'affranchir partiellement des

conditions extérieures alors que les plus petits juvéniles entrent en léthargie. Les vers de terre sont effectivement susceptibles de cesser leur activité pendant des périodes plus ou moins longues.

B. Les effets sur les processus du sol.

L'importance de la faune du sol à la pédogenèse et la production des plantes est connue depuis l'époque de Darwin (1881). Grâce à de nombreuses recherches ultérieures, les relations trophiques et les interactions entre les divers éléments étant élucidés. Peut-être les plus importantes fonctions attribuées pour le biote du sol sont : la réglementation des processus cycles des éléments nutritifs, l'entretien de la structure du sol, les interactions directes avec les plantes, interactions indirectes avec les plantes via la stimulation microbienne.

D'après Edwards & Bohlen (1996), Lee (1985) et Lavelle et Spain 2001, les vers de terre, comme les principales composantes de la macrofaune du sol ont une importance dans tous ces processus, soit directement (par exemple en travaillant le sol) ou indirectement (par exemple en influençant les microorganismes).

C. Le pH et le type de sol.

Les vers de terre sont généralement absents dans des sols très acides ($\text{pH} < 3.5$) et sont peu nombreux dans les sols à $\text{pH} < 4.5$ (Curry, 1998). Il existe un pH optimal pour chaque espèce (Edwards et Bohlen, 1996). La majorité des espèces de régions tempérées se trouvent dans des sols à pH compris entre 5.0 et 7.4 (Satchell, 1967). Les travaux de Bhatti (1962) et Bachelier (1978) définissent des valeurs limites de pH. Satchell (1955) propose une classification des Lombricidés selon les valeurs de pH.

D. La porosité du sol.

Vis-à-vis de l'atmosphère du sol, les lombricidés manifestent une grande tolérance, mais sont peu nombreux dans les sols lourds et mal drainés, où l'aération est particulièrement mauvaise (Bachelier, 1978). Ils creusent des galeries permanentes et temporaires pour assurer leur déplacement, en cherchant des conditions favorables de température et d'humidité. Ces galeries, qui varient avec la taille de l'espèce lombricienne, ont un impact sur la porosité, l'agrégation et la densité du sol (Lamparski et al., 1985). Les vers de terre par leurs galeries et leurs rejets, augmentent le volume du sol et accroissent sa macroporosité. Ils y déterminent aussi une augmentation de la microporosité, par leur action directe sur la structure et plus

indirectement, par leurs excréments riches en matières organiques peu décomposées (Bachelier, 1978).

Dans les premières expériences de Hopp et Slater (1948), le taux d'infiltration augmente de 2,7 à 4,6 fois dans des barils contenant des lombriciens vivants. En Australie, Abbott et al. (1980) ont trouvé que la présence d'une espèce exotique (*Microscolex dubius*) en combinaison avec paillis de trèfle double le taux d'infiltration dans les petits pots. Les lombriciens augmentent donc, l'infiltration et la stabilité du substrat ainsi que la bonne croissance des plantes (Ehlers, 1975 ; Wilkinson, 1975).

E. Le calcaire total.

Pour leurs besoins physiologiques, de nombreux vers de terre préfèrent des milieux relativement riche en calcium. Ces besoins seraient justifiés par le fonctionnement des glandes de Morren, qui sécrètent des carbonates de calcium sous forme de petites concrétions de calcaire, expulsées dans le tube digestif (Bachelier, 1978).

F. La matière organique.

Les populations lombriciennes se nourrissent de matière organique plus ou moins décomposée, à la surface ou dans le sol. Dans les parcelles agricoles, la quantité, la qualité et la localisation des matières organiques sont des facteurs importants pour les vers de terre et dépendent surtout, des plantes cultivée. Lofs-Holmin (1983) a rapporté que la qualité et la quantité des résidus de culture retournés dans le sol sont essentielles pour le développement et la croissance des vers de terre.

L'effet négatif d'une diminution de la ressource trophique est souvent rapportée dans la bibliographie (Edwards 2004 ; Lee, 1985 ; Pérès et al., 1998 ; Mele et Carter, 1999). Les études ont montré que les vers de terre ont des préférences alimentaires. Guild (1955) a trouvé que la plupart des vers de terre préféraient le fumier ou les herbes grasses et feuilles des arbres. Les aiguilles de pin étaient moins appréciées.

G. Le cycle des éléments nutritifs.

Les vers de terre sont des régulateurs importants de l'offre qualitative et quantitative des éléments nutritifs qui conditionnent la fertilité d'un sol, particulièrement l'azote (N) et le phosphore (P). Il existe de nombreuses enquêtes sur les interactions complexes et les rôles des vers de terre dans le cycle des éléments nutritifs (Lee et Pankhurst, 1992). La principale source

d'éléments nutritifs des lombriciens est la décomposition rapide de la matière organique récente, surtout ceux libérés par les champignons saprophytes et des bactéries. Les éléments nutritifs minéralogique provenant du sol sont de moindre importance, même pour les vers de terre «géophages», tandis que des engrais inorganiques ajoutés aux sols agricoles sont soit un avantage, en augmentant la production de la matière organique végétale, ou un inconvénient à cause de l'augmentent de l'acidité (Springett, 1985 ; Lee & Ladd, 1984 ; Lee, 1985 ; Lavelle, 1988).

Les vers de terre peuvent être responsables de libérer de 100 à 150 kg d'azote/ha/an dans certains environnements (Keogh, 1979 ; Lee, 1985), les principaux processus impliqués sont :

- l'excrétion de NH_4 et urée : jusqu'à 50 kg d'azote/ha/an (Lee, 1985) ;
- la sécrétion de mucoprotéines à partir de l'épiderme et le tube digestif : jusqu'à 50 t/ha/an de mucus contenant 3 % d'azote pour une espèce au Mexique (Lavelle, 1988) ;
- Les curitcules (excréments) ont souvent des concentrations de 1,5 à 5.0 fois plus que le $\text{NH}_4\text{-N}$ (Lee, 1985 ; Lavelle et Martin, 1992) ;
- la mortalité : Les corps (biomasse sèche) contiennent 80 % de protéines (12 % N). La mort peut libérer de 9 à 75 kg d'azote/ha/an (Lee, 1985, 1989) ;
- la stimulation de l'azote métabolisé des microbes, (Lee & Pankhurst, 1992) ;
- l'augmentation des lixiviatés d'azote : Plus de 60 fois pour NH_4 et 10 fois pour NO_3 (Anderson et al., 1983).

Les cycles de Phosphore (P) et le Soufre (S) sont également importants, mais les processus ne sont pas aussi clairs (Lee, 1985). Les curitcules frais des lombriciens ont souvent des taux plus élevés en P, de l'ordre de 5 à 10 fois par rapport aux sols, et les proportions de N:P:S dans les protéines de l'organisme sont environ 12:1:1 (Lee, 1985). Syers et Springett (1984) estiment que dans les pâturages, des apports annuels des vers de terre augmenteront les totaux en éléments nutritifs jusqu'à 42 kg d'azote /ha et 9 kg/ha pour le phosphore et soufre. Mansell *et al.*, (1981) ont présenté une preuve que les vers de terre augmentent à court terme la disponibilité en P provenant de la litière, de 2 à 3 fois. Basker et al. (1992) ont enregistré une augmentation de potassium (K) dans le sol (de 31,8 kg/ha) après 21 jours de l'activité des vers de terre.

D'après Lee (1985), les lombriciens sont relativement des contributeurs mineurs d'assimilation de carbone (C). Ainsi, le flux de carbone annuel augmente de 300 à 1000 kg/ha lorsque les vers de terre sont introduits (O'Brien et Stout, 1978). Dans les systèmes tropicaux, l'assimilation de 10 à 15 % de la production primaire brute annuelle peut être attribuée à l'activité des vers de terre (Lavelle, 1974).

H. La structure du sol.

La distribution des vers de terre s'appuie en partie sur la texture du sol, tandis que leurs activités modifient leurs environnements, notamment la structure du sol. Des expériences ont montré que l'introduction des lombriciens dans les sols dégradés (isolément ou en combinaison avec les plantes), augmente la porosité et la stabilité de la structure. (McColl et al., 1982 ; Aina, 1984 ; Shaw & Pawluk, 1986 ; Stewart et al. 1988 ; Springett et al., 1992 ; Zhang et Schrader, 1993 ; Clements et al., 1991).

1.2. La phylogénie des vers de terre.

Les vers de terre appartiennent à la classe des Oligochètes et sont liés aux Polychètes (bristle worms) et au Achètes (Hirudinées, ex. sangsues). Les Polychètes et les Hirudinées sont presque exclusivement des invertébrés marins ou d'eau douce, tandis que les espèces Oligochètes (excepté quelques espèces) habitent le sol ou bien les zones fraîches. Les dernières recherches placent les Oligochètes dans la classe Clitellata (Brusca and Brusca, 2005).

Les Polychètes peuvent être considérés en tant que groupe ancien parce que leur développement larvaire est plus primitif que les Oligochètes, qui ont un embryon dans un cocon riche en réserves nutritifs du jaune ou l'albumen. Les Oligochètes sont hermaphrodites avec leurs organes sexuels confinés à deux ou trois segments et un mécanisme très spécialisé et complexe de la fertilisation et de la dispersion des ovules. Les Polychètes sont probablement ancestraux aux Oligochètes, ou ils peuvent tous les deux être dérivés d'un ancêtre aquatique commun.

Stephenson (1930) voyait que les Oligochètes aient évolué des Polychètes. Les Hirudinées possèdent des caractères qui se produisent à un certain degré chez beaucoup ou tous les Oligochètes, et par conséquent sont étroitement liés. Stephenson (1930) et Michaelsen (1926) considèrent que les sangsues ont été dérivées secondairement des Oligochètes, probablement de la famille aquatique primitive, des *Lumbriculidae*. Michaelsen (1919) considère que les Hirudinées et les Oligochètes ont été étroitement liés pour être groupés ensemble comme ordres dans la classe *Clitellata* (Jamieson, 1988). Bien qu'il y ait mérite en donnant aux Polychètes, Hirudinées et Oligochètes, un rang égal. Gates (1972a) préfère grouper les vers et les sangsues ensemble.

Les indices fossiles des Oligochètes sont épars, il y a peu d'information paléontologique au sujet de l'histoire et du développement de l'ordre. Le nom générique *Protoscolex* a été employé pour décrire quatre espèces des vers segmentés fossiles originaires de la période supérieure d'Ordovicien au Kentucky, Etats-Unis.

Bather (1920) a également décrit l'espèce *Prostoscolex latus* de la période Silurienne supérieure dans l'Herefordshire, en Angleterre, qui regroupe apparemment des papilles dans un ou deux rangées sur chaque segment. Il a également placé le taxon *Pronaidites*, un autre ver fossile, qu'il considère comme Oligochète dans ce genre, proposant que les papilles aient un certain raccordement avec des soies. Cependant, plusieurs auteurs ne sont pas persuadés que ces vers fossiles soient liés aux Oligochètes.

Les Oligochètes primitifs ont probablement vécu dans la boue plutôt que l'eau (de même qu'a vraisemblablement fait leur polychète-type ancêtre), devenant transitoirement terrestre quand la boue a séché. Ils se sont alors séparés graduellement dans deux groupes, un purement terrestre, l'autre aquatique (eau douce), de sorte que quelques familles aquatiques, tels que l'*Aeolosomatidae*, *Naididae* et *Tubificidae*, n'ont probablement jamais traversé une phase terrestre dans leur histoire de développement (Benham, 1922).

Stephenson (1930) considère que l'ancêtre commun des Oligochètes terrestres appartenait au *Lumbriculidae* aquatique, qui est la plus primitive des familles des Oligochètes. Parmi les familles modernes décrites, il voit que la famille *Moniligastridae* comme étant la famille la plus primitive. En effet, la structure de quelques membres de cette famille tels que la possession d'un clitellum simple-posé par exemple, est plus semblable à celui des vers aquatiques qu'à celui des autres familles terrestres. Les *Megascolecidae* et *Eudrilidae* ont développées plus de caractéristiques, mais elles maintiennent toujours un dispositif primitif dans la position des spermathèques et des pores masculins ou prostatiques qui entrent en contact pendant l'accouplement, par le transfert direct du sperme.

Les *Glossocolecidae*, *Lumbricidae*, *Hormogastridae* et *Microchaetidae* ont peu de dispositifs primitifs et peuvent être considérés comme avoir évolué plus tard que les autres familles. Les Lombricidés étant probablement les plus récentes. Ils n'ont jamais un alignement direct des ouvertures génitales pendant la reproduction, de sorte qu'un mécanisme plus raffiné soit exigé pour assurer le transfert efficace du sperme d'un individu à l'autre.

Différentes avis se sont poursuivis, il est également clair que les Hirudinées constituent un clade bien à l'intérieur de la classe Clitellata (Siddall et al., 2004), et que les Oligochètes d'eau douce « *Lumbriculidae* » constituent leur groupe sœur (Martin et Wolfgang, 2001 ; Siddall et al., 2001). En revanche, la position réelle de la classe Clitellata vis-à-vis les annélides demeure hautement incertaine (McHugh, 2000 ; Purschke et Fursman, 2005). En effet, les analyses moléculaires sont hautement incompatibles entre les taxons des annélides est le groupe sœur à Clitellata (Rota, et al., 2001; Struck et al., 2002 ; Bleidorn et al., 2003 ; Hall et al., 2004 ; Jördens et al., 2004 ; Struck et Purschke, 2005 ; Rousset et al., 2007). Bien que, une origine aquatique a

été proposée pour les Oligochètes et donc pour l'ensemble de la classe Clitellata (Clark, 1969 ; Timm, 1981 ; Brinkhurst, 1984, 1994 ; Brinkhurst et Nemeč, 1987 ; Omodeo, 1998 ; Erséus et Källersjö, 2004). Brinkhurst (1984) a approuvé l'origine aquatique de Clitellata. Ainsi qu'Omodeo (1998) supposait que Clitellata est née dans un milieu aquatique, dans les lagunes marines et puis entra dans les habitats d'eau douce.

Récemment pour déduire la phylogénie de la classe Clitellata, Erséus et Källersjö (2004), à partir des données des séquences d'ADN (ADNr), ont estimé que l'oligochète de genre *Capilloventer* (*Capilloventridae*), qui a des représentants d'eaux douces et marines, a été sœur à tous les autres taxons de la classe Clitellata. Ils ont argumenté que ce résultat corrobore l'hypothèse que Clitellata a évolué à partir d'un milieu aquatique.

1.3. La classification des Oligochètes.

Plusieurs auteurs se sont intéressés à la classification des Oligochètes, mais la base de la taxonomie moderne de ce groupe a eu lieu en 1900 par Michaelsen en le divisant à 11 familles, contenant environ 152 genres et 1200 espèces.

En 1921, Michaelsen a réorganisé sa propre classification de 21 familles dans deux sous-ordres.

Stephenson (1930) a simplifié cet arrangement dans 14 familles, qui diffèrent peu du groupement original de Michaelsen. Il s'agit d'une division des familles au niveau des Microdriles, principalement les petits vers aquatiques (y compris les *Enchytraeidae* terrestres) et les Megadriles (des vers plus grands, généralement terrestres), maintenant très anciens. 7 des 14 familles de Stephenson (*Aeolosomatidae*, *Naididae*, *Tubificidae*, *Pheodrilidae*, *Enchytraeidae*, *Lumbriculidae* et *Branchiobdellidae*) ont été placées dans le groupe des Microdriles, tandis que sept des autres familles (*Alluroididae*, *Haplotaxidae*, *Moniligastridae*, *Megascolecidae*, *Eudrilidae*, *Glossoscolecidae* et *Lumbricidae*) ont été classées dans les Megadriles.

Depuis Stephenson (1930), un certain nombre d'auteurs ont essayé de mettre à jour la classification de divers familles des Megadriles, en particulier les *Glossoscolecidae*, *Megascolecidae* et *Moniligastridae* (Jamieson, 1971 a, b, c).

Gates (1959), soulève tous les sous-familles de *Glossoscolecidae* au statut de famille, parce que les différences anatomiques non étudiées précédemment ainsi que les rapports phylogénétiques avec d'autres familles, n'indiquent pas suffisamment des relations proches pour qu'elles soient tout incluses dans le même rang.

La classification de la famille *Megascolecidae* a toujours été beaucoup plus discutée que celle des autres familles des Oligochètes. 4 nouveaux systèmes de classification ont été proposés, ceux d'Omodeo (1958), Gates (1959), Lee (1959) et Jamieson (1988).

Omodeo identifie les groupes taxonomiques par la position et le nombre des glandes calcifères. Il a soulevé tous les groupes au rang de famille. Lee adopte le nombre et la position des pores mâles et des nephridiopores comme clef de classification. Gates considère que la structure des glandes prostatiques et du système excrétoire, ainsi que la position des glandes calcifères comme critères importants, il redresse tous les groupes principaux au statut de famille.

Sims (1966) a constaté que son modèle d'arrangement des genres coïncide en grande partie avec la classification proposée par Gates. Cependant, il était en désaccord avec ceux proposés par Lee et Omodeo.

Bouché (1972) a maintenu une partie du système taxonomique d'Omodeo, il introduisait des changements spectaculaires pour quelques taxons *Allolobophora* et à *Eophila*. Basé sur des espèces trouvées en France, il les a classifié, comme *Allolobophora*, *Helodrilus* et un nouveau genre *Nicodrilus* (synonyme junior d'*Aporrectodea*) avec des sous-genres *Nicodrilus* et *Rhodoniscus*. Quelques espèces d'*Allolobophora* ont été classifiées comme *Aporrectodea*. Le genre *Eophila* a été mis dans trois nouveaux genres : *Orodrilus*, *Proselodrilus* et *Scherotheca*.

Gates (1972b) a démontré, en utilisant les caractères morphologiques, que *A. trapezoides* est confus avec trois à quatre espèces (qui étaient, en fait, des espèces différentes), incluses dans ce qui se nomme *Allolobophora caliginosa*, *tuberculata*, *trapezoides* (Eisen, 1874), *turgida* (Eisen, 1873), *longa* (Ude), *limicola* (Michaelson, 1890), *nocturna* (Evans, 1946) et *icterica* (Savigny).

Beaucoup d'auteurs européens préfèrent employer *caliginosa* pour *turgida* et plusieurs autres espèces comme formes ou variétés de *caliginosa*, par exemple *trapezoides* et *tuberculata*.

Gates (1972b), place *Allolobophora longa*, *Allolobophora caliginosa*, *Allolobophora trapezoides* et *Allolobophora tuberculata* dans le genre *Aporrectodea*, et a pu montrer dans les aperçus biogéographiques dans l'ensemble de l'Amérique du Nord qui étaient non seulement des espèces séparées, mais qui ils ont eu des modèles de distribution distincts.

En 1976, Reynolds et Cook ont produit un travail original de Nomenclature des Oligochètes. Un catalogue des noms, descriptions et type de spécimens des Oligochètes. C'était la première fois que les noms de tous les Oligochètes, leurs descriptions, leurs localisations, leur type spécimens, ont été assemblés dans un seul travail. Trois suppléments additionnels ont été produits, et qui mettaient à jour le livre original de Reynolds et Cook en 1981, 1989 et 1993. Les

quatre publications recensent 7254 espèces d'Oligochètes et 739 genres, mais naturellement incluent beaucoup d'espèces aquatiques.

La classification des espèces terrestres par Reynolds et Cook (1993) prend en considération les familles suivantes : *Moniligastridae*, *Haplotaxidae*, *Enchytraeina*, *Enchytraeidae*, *Propappidae*, *Alluroididae*, *Criodrillidae*, *Lumbricidae*, *Komarekionidae*, *Diporochoetidae*, *Ailoscolecidae*, *Hormogastridae*, *Lobatocerebridae*, *Sparganophilidae*, *Biwadrilidae*, *Glossoscolecidae*, *Kynotidae*, *Microchaetidae*, *Almidae*, *Megascolecidae*, *Acanthodrilidae*, *Lutodrilidae*, *Octochaetidae*, *Eudrilidae* et *Ocnerodrilidae*.

Sims (1983) a discuté le problème d'*Allolobophora* et la confusion au delà d'*A. caliginosa*.

Jamieson (1988) a revu la phylogénie globale et la classification des Oligochètes basée sur l'analyse cladistique. Il a placé toutes les familles des Megadriles qui étaient principalement ou complètement terrestres dans une nouvelle cohorte «*Terrimegadrili*» qui englobe les Familles : *Ocnerodrilidae*, *Eudrilidae*, *Kynotidae*, *Ailoscolecidae*, *Microchaetidae*, *Hormogastridae*, *Glossoscolecidae*, *Lumbricidae*, *Megascolecidae*)

Les deux familles les plus importantes écologiquement en Europe, l'Amérique du Nord, l'Australie et l'Asie sont les *Megascolecidae* et *Lumbricidae*. La famille *Megascolecidae* comportent plus que la moitié des espèces connues, et incluent les vers qui sont très largement distribués en dehors de la zone Paléarctique. Cependant, la famille *Lumbricidae* est la plus importante en termes de bien-être humain, considérée comme la famille la plus récemment évoluée (Qiu et Bouché., 1998 b). Cette famille est d'une importance particulière parce que c'est la famille endémique dominante dans la zone Paléarctique, y compris l'Europe, favorisée par les avancements dans les pratiques agricoles. En raison de leur capacité de coloniser de nouveaux sols et de devenir dominante, les Lombricidés ont suivi la diffusion de la colonisation humaine autour du monde.

Les révisions les plus récentes des familles lombricennes sont celles de Qiu et Bouché (1998 d) et Blakemore (2000, 2001, 2002, 2005, 2006).

Pour Qiu et Bouché (1998 a), la superfamille des *Lumbricoidea* comprend actuellement six familles et plus de 500 taxons (espèces et sous espèces), *Spargganophilidae* Michaelsen, 1921 ; *Ailoscolecidae* Bouché, 1969 (Synonyme : *Komarekionidae* Gates, 1974) ; *Lutodrilidae* McMahan, 1976 ; *Hormogastridae* Michaelsen, 1900 ; *Lumbricidae* Rafinesque-Schmaltz, 1815 et en fin la famille *Diporodrilidae* Bouché, 1970 (*Diporodrilus* Bouché, 1970).

La classification de Blakemore (2007), comprend les familles *Acanthodrilidae*, *Ailoscolecidae*, *Almidae*, *Alluroididae*, *Criodrilidae*, *Eudrilidae*, *Exxidae*, *Glossoscolecidae*, *Haplotaxidae*, *Hormogastridae*, *Kynotidae*, *Lumbricidae*, *Lutodrilidae*, *Megascolecidae*, *Microchaetidae*, *Moniligastridae*, *Ocnerodrilidae*, *Octochaetidae*, *Tiguassidae* et *Tumakidae*.

Il faut savoir qu'il y a relativement peu de taxonomistes des vers de terre dans le monde entier et il reste beaucoup de chose à faire concernant l'information de la diversité et de la distribution des vers de terre terrestres.

Pour fournir des clefs taxonomiques détaillées aux genres et espèces nous pouvons se référer généralement aux travaux de : Fender (1990), Schwert (1992) et Ernst (1995) pour des clefs concernant les espèces des USA, Gates (1972a) pour les espèces tropicales, Sims et Gerard (1985) pour les espèces britanniques, Bouché (1972) pour les espèces de France, Lee (1959) pour des clefs concernant les espèces de la Nouvelle Zélande, Baker et Barrett (1994) pour des espèces australiennes et Jamieson (1971a, b, c) pour les *Megascolecidés*. Mais également les révisions récentes concernant la taxonomie et la nomenclature par Blakemore (2002-2007).

1.4. Dispersion et origines des familles lombriciennes.

Sans doute, la distribution mondiale des différentes familles des vers de terre donne une évidence importante sur l'histoire géologique et des mouvements de la terre. Quelques espèces lombriciennes sont largement distribuées par des actions involontaires, suivant les traces de pérégrinations humaines liées particulièrement à l'agriculture et le commerce, tel que les taxons *Pontodrilus spp.* et quelques *Microscolex spp* (Michaelsen, 1903), largement distribuées sur les îles isolées et les masses de terre malgré qu'ils soient présumées être halotolérantes (euryhaline) et pour avoir été dispersées par la dérive de la terre et des courants océanique. Lee (1985) a exclu les espèces halotolérantes (euryhaline) et a limité l'utilisation du terme pérégrine aux espèces qui ont été transportées par l'homme ou dont la dispersion a été facilitée par l'homme. Les espèces pérégrines les plus répandues sont confinées donc, aux habitats modifiés par l'Homme. Ce sont ces espèces, les plus importants dans la fertilité et le maintien des sols agricoles (Gates, 1970).

Fragoso et al. (1992) ont fourni des données concernant 176 espèces et 60 communautés de ver de terre d'Amérique tropicale (6 pays) et d'Afrique (2 pays). Les espèces pérégrines avec les distributions pantropical sont dominantes dans les environnements perturbés parce qu'elles sont plus tolérantes que les espèces indigènes.

La dispersion des Megascolecidés et Lombricidés est de grande ampleur. Quelques espèces appartenant au Lombricidés sont endémiques d'Amérique du Nord, Sud-Est du

Mississippi, d'Europe, d'Asie, du Caucase, la Sibérie et le Japon. La famille Lombricidés est la plus jeune de toutes les familles des Oligochètes (Michaelsen (1910) et Stephenson (1930)).

Le secteur occupé par les Lombricidés forme une bande autour de l'hémisphère Nord, dans sa frontière méridionale est constituée par des mers, des déserts ou d'autres secteurs secs ou principalement semi-tropicale (Julin, 1949). Cependant, la limite nordique, indépendamment des vastes zones de plateaux montagneux et de régions arides en Asie centrale et du Nord-Est, ne semble pas être un de ces barrières physiques. Michaelsen (1930) a précisé que cette limite nordique est proche des limites les plus au Sud de l'autre prolongation méridionale des calottes glaciaires quaternaires, non seulement en Europe, mais également en Amérique du Nord. Au Nord de cette limite, les populations des vers de terre ont été exterminées par l'action physique des masses de glace. Les vers de terre ont lentement colonisé les parties du Nord à la suite de rétrécissement de la calotte glaciaire. Cette avance était très lente et avant que les colons européens n'aient commencé à s'établir au Canada, ni les Lombricidés ni les Megascolecidés n'ont atteint le dix-neuvième parallèle de la latitude. Tous les vers de terre au Canada sont considérés pérégrins liée l'anthropochorie.

Selon Gates (1969 b), environ 33 espèces des Lombricidés ont été enregistrées aux Etats-Unis. Deux genres, *Bimastos* et *Eisenoides*, sont endémiques américaines. Il a défini le genre *Eisenoides* pour inclure deux espèces (*carolinensis* et *lönnerbergi*) du genre européen *Eisenia* et il considère que le genre *Bimastos* provient de l'Amérique du Nord, et que plusieurs de ses espèces ont été éliminées pendant l'époque glaciaire.

L'effet de la glaciation a fait que les pays d'Europe, en partie ou complètement au Nord des limites des glaces, ont une faune d'oligochètes (avec une proportion plus élevée d'espèces pérégrines) moins riche en espèces que celles des pays du Sud d'Europe. Par exemple, en Tchécoslovaquie 37 espèces enregistrées (17 pérégrines), en Suisse 38 espèces dénombrées (18 pérégrines), en Italie 57 espèces (17 pérégrines), le tous au Sud de la limite de la calotte glaciaire. Au Nord de ces pays ou en partie du Nord de cette limite, l'Angleterre contient 25 à 30 espèces enregistrées (17 pérégrines), l'Allemagne 24 espèces (19 pérégrines), et la Norvège 30 espèces (25 pérégrines).

Des espèces pérégrines des Lombricidés sont également trouvées distribuées largement dans tout le reste du monde, en particulier dans la zone tempérée de l'hémisphère Sud. Ils sont rencontrés dans le Mexique, l'Amérique Centrale, l'Amérique du Sud, l'Afrique du Sud, l'Inde, l'Australie et Hawaï, aussi bien que plusieurs d'îles dispersées des océans atlantiques et indiens. Cette diffusion a été principalement passive, habituellement due au transport involontaire par l'homme. On a souvent affirmé que les Lombricidés ont une capacité de s'adapter à de nouveaux

environnements plus que tous les autres Oligochètes, et qu'une fois présentes dans un secteur ils causent fréquemment la disparition de la faune lombricienne endémique (Stephenson, 1930).

Gates (1972 a) a déclaré qu'aucune espèce de la famille Lombricidés n'a été connue pour avoir colonisé les terres tropicales, et quand elles sont délibérément introduites en grands nombres, elles n'ont jamais survécu. Il semble que la répartition de cette famille s'est déroulée par anthropochorie, et est climatiquement limitée dans la marge climatique de la zone tempérée nordique. Elle a également la capacité de vivre dans des environnements constamment troublés par les activités culturelles et agricoles de l'homme. Le terme hemerophilic a été inventée pour ces vers de terre qui peuvent tolérer la présence et les activités humaines, et hemerophobique pour ceux qui ne le peuvent pas.

En Europe, des espèces des Hormogastridés sont endémiques dans la partie méridionale du continent (*Hormogaster redii* f. *gigantes* est inclus dans cette famille, il peut atteindre une longueur de 75 cm). Des membres de cette famille sont rencontrés en Sardaigne, Corse, en Italie, en Sicile, en France méridionale et en Afrique du Nord, à Djebel Edough en Algérie (Omodeo, 1998).

Autre que les Moniligastridés, l'Asie et l'Australasie du Sud-Est sont dominées par des vers de terre appartenant aux Megascolecidés. Les vers de terre des Megascolecidés du genre *Pheretima* (indigène en Chine, Philippines, La Malaisie, l'Indonésie et la Nouvelle Guinée) ont été également transportés à beaucoup de régions tropicales, subtropicales et tempérées. Ces espèces pérégrines sont trouvées en Australasie Sud et l'Amérique Centrale, l'Amérique du Nord et Antilles.

Les vers de terre endémiques de l'Australie sont des Megascolicidés, y compris quelques espèces de *Pheretima*. Les espèces de la famille Acanthodrilidée, et autre que *Plutellus*, ne sont pas observées en Asie du Sud-Est, et se produisent en Australie, en Nouvelle-Calédonie et en Nouvelle Zélande (le genre *Deinodrilus* est confiné à ce dernier pays). Les membres de cette famille prédominent en Amérique du Sud, et sont également trouvés dans le nord et en Amérique centrale.

20 à 30 espèces des Lombricidés, particulièrement les genres *Lumbricus*, *Apporectodea*, *Allolobophora*, *Eisenia*, *Eiseniella*, *Dendrobaena*, *Dendrodrilus*, *Bimastos* et *Octolasion*, ont été détournées d'Europe nordique et occidentale par l'Homme, dans les dernières cent années, de sorte qu'elles sont maintenant les vers de terre dominants des superficies agricoles et des jardins dans quelques régions tropicales et tempérées du monde (Lee, 1985). Leur occurrence doit également être considérée comme étant due à leur grande aptitude pour occuper de nouveaux habitats, et peut-être à leur introduction par l'Homme. 15 à 20 espèces des Megascolecidés des

genres *Pheretima* y compris *amynthas spp.*, apparemment provenu du Sud-Est ou de l'Asie orientale, sont maintenant établis à travers la plupart des régions tropicales du monde, avec quelques espèces également bien établies dans des régions tempérées. *Microscolex dubius* et *M. phosphoreus*, probablement d'origine du Sud américain, mais qui est maintenant établie dans la zone tempérée méridionale et également en Amérique du Nord et en Europe, principalement dans les secteurs agricoles et pastoraux. *Dichogaster bolaoui*, *D. saliens* et *Eudrilus eugeniae*, probablement originaire des parties Ouest de l'Afrique, mais (spécialement *D. bolaui* et *E. eugeniae*), maintenant largement distribués dans toutes les régions tempérées tropicales et plus chaudes.

Les Ocnero-drilidées et Acanthodrillidées sont relativement primitives et ont une large répartition d'une origine depuis la Pangée (Torsvik, 2003). Les Acanthodrillidés sont progressivement dérivés des Octochaetidés (ou *Benhamiidae*) et *Exxidés*, respectivement. Les Megascolecidés ont découlé des Acanthodrillidés ou bien développés indépendamment et sont principalement des taxons du Gondwana oriental (ex. Inde/Australasie) bien que maintenant sont habituel à travers l'Asie. Il est également possible que leurs origines sont pré-Pangée, ou même Rodinien qui expliquerait en partie la présence des genres de *plutelloid megascolecid* en Amérique du Nord (leur plus proche étant en Australie et en Inde) comme conséquence de la dislocation de Rodinien et la formations subséquentes de la Pangée.

Easton (1979), rapporte que l'origine du genre *Pheretimoid* est la plaque australienne (probablement la partie de la Nouvelle-Guinée), suivi par les invasions à l'ouest par l'intermédiaire de l'archipel Indo-Australasienne. À l'inverse, le développement de *pheretimoids* Oriental pourrait être dérivé depuis les megascolecidés ancestrales ayant un centre d'évolution encore plus à l'Est, peut-être autour de l'emplacement de l'actuelle Thaïlande (Gates, 1972). Dans les deux cas, les *pheretimoids* asiatiques partagent probablement un ancêtre commun en Gondwana avec les megascolecidés indiens et australiens avancés tels que *Megascolex*, *Lampito* et *Anisochaeta*. Le transport récent induit par l'homme de divers megascolecidés allochtone a réuni cette faunes Oriental et Australasienne.

1.5. Origines des lombriciens du Nord-africain dans leur cadre paléogéographique.

Les connaissances sur la biodiversité des vers de terre du nord-africain sont faible, notamment celle de Maghreb (Ana et Sonia, 2004) ; il reste encore beaucoup à faire. Malheureusement, il n'existe pas des études universitaires ou appliquées du Maghreb concernant

la classification phylogénétique et de paléogéographie. Seules les informations touchant la méditerranée occidentale, il s'agit d'une interprétation paléogéographique sur l'origine de la faune de la Méditerranée occidentale décrite dans quelques ouvrages et travaux de recherche. La première reconstitution spécifique au bassin de la méditerranée occidentale s'est déroulée au début du tertiaire (Bouché, 1972).

Fondamentalement, les populations des vers de terre sont influencées par l'ordre chronologique : la genèse des terres émergées (Paléo tectonique/Paléogéographique), les contraintes mésologiques surtout pédoclimatiques et en fin l'activité humaine.

Sur le plan Chronologique et taxonomique (descendant de hiérarchie) les familles proviennent de la Pangée (Paléozoïque) qui s'est disloquée en plusieurs territoires biogéographiques. La distribution des vers de terre a été ensuite interprétée d'une manière plus locale, aux soulèvements montagneuses, particulièrement au cours de l'Ottonien (9 millions d'années) suivie de l'époque Messénien (6 Ma), caractérisée par le rétrécissement de la méditerranée, les contraintes du climat méditerranéen et enfin, par les activités anthropiques (Omodeo, 1998). On suppose qu'il y a essentiellement une origine externe très ancienne des lombriciens d'Afrique du Nord par une colonisation lente des terres pendant le début et milieu du Paléozoïque mais que plus tard atteint le territoire de Gondwana et Laurasia probablement durant le Dévonien (400-340 Ma) (Lee, 1985).

Les populations lombriciennes de la méditerranée sont arrivés à cet espace avec une vitesse faible, soit transportées par l'eau soit par l'homme. Le genre *Pontodrilus* dans la méditerranée Ouest est lié à la paléogéographie du Mésozoïque aussi l'origine de nombreux taxons date depuis la Messénie. Ainsi, la présence d'*Orodrilus* dans la plaque de Constantine (Ouahrani et Gheribi, 2008), malgré ses affinités étroites avec le territoire européen d'origine reste un résultat surprenant. Elles témoignent également du fait que des plaques connus par leurs roches marines étaient apparus en permanence en terre dont des dépôts continentaux ont été érodés. Ici, aucun interrogatoire géologique ne s'est effectué mais des phénomènes étonnants et de nouvelles prédictions peuvent être avancées ; tel que la découverte de *Pontodrilus litoralis* en Afrique du Nord. De nombreux taxons, des Sperphorodrilinés et peut-être des Postandrilinés dont l'aire de distribution est susceptible d'avoir étendu notamment pendant le Tortonien-Messinien (9-5 Ma), Ou même avant, depuis le Murgabien supérieur (266-264 Ma), vers les zones maghrébines et de Bétique-Riffan (Bouché, 1998. Bouché *et al.*, 2003). Il faut noter l'absence totale de traces des lombriciens africains du sud du Maghreb, c'est-à-dire liées à la plaque continentale africaine (Omodeo, 1998).

2.1. Présentation du terrain d'étude.

2.1.1. Localisation géographique du terrain d'étude.

Le terrain d'étude se situe à l'Est de l'Algérie dans un quadrilatère que délimitent les méridiens $4^{\circ}40'$ E et $8^{\circ}30'$ E et les parallèles 37° N et 34° N. Elle est limitée à l'Ouest par une verticale parcourant les Monts de la grande Kabylie (Tizi Ouzou) et Chott El-Hodna (Sour El ghozlane et Bousaada) jusqu'aux Monts du Zab (Aïn Rich et Messaad), à l'Est par la frontière algéro-tunisienne, au Nord par la mer Méditerranée et enfin au Sud par Chott Melhir, et Bordj El Hamraïa (Fig. 2.1).

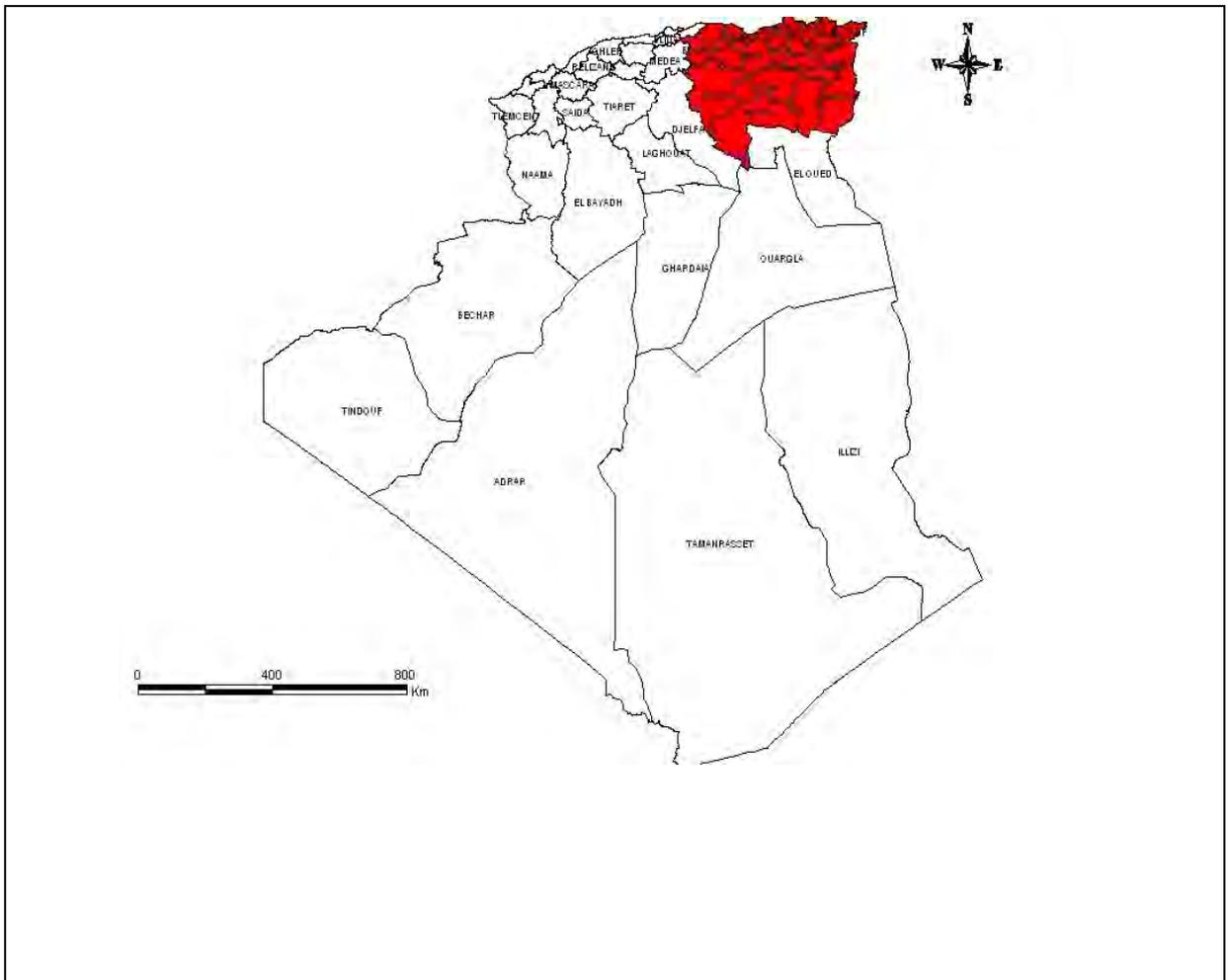


Figure 2.1 : Situation géographique de la région d'étude par rapport à la carte d'Algérie.

2.1.2. Aperçu géographique : Un environnement naturel très contraignant.

L'Algérie est un pays de contrastes. On pense, bien entendu, aux contrastes entre l'Algérie du Nord (montagneuse, relativement humide) et le Sahara aux immenses étendues arides et souvent planes où l'Hommes, faunes et flore sont peu nombreux.

L'organisation orographique de l'Algérie orientale est affectée d'un fort gradient latitudinal qui concerne aussi bien les altitudes topographiques que les étages bioclimatiques (Côte, 1983). Cet édifice est complété, sur le plan géologique et géomorphologique par une variété d'unités structurales où le climat fort contrasté y imprime sa plus grande marque.

L'Algérie orientale représente la région la plus arrosée du pays et détient, de ce fait, la part la plus importante des ressources en eau de surface. Ici, les contrastes physico-géographiques confèrent à l'Est algérien deux systèmes hydrographiques juxtaposés, nettement opposés (Mebarki, 2005) : des oueds à écoulement exoréique et relativement abondant, au Nord (bassins subhumides à humides du Tell et des plaines côtières) et des oueds à écoulement endoréique, manifestement modeste, au Sud (bassins semi-arides à arides des Hautes Plaines et des piémonts de l'Atlas saharien).

A. L'organisation orographique Nord-sud : Des milieux physiques contraignants.

S'étendant de la méditerranée au désert ; donc du domaine méditerranéen au domaine aride, l'Algérie présente nécessairement une gamme étendue de milieux naturels. Ils peuvent être rapportés à trois grands types principaux, tellien, steppique, saharien constitués des ensembles suivants :

- **Des plaines côtières étriquées :** Elles se succèdent d'Est en Ouest, en unités isolées les unes des autres, par les massifs maritimes. Les trois massifs d'El Aouana, de Bougaroun et de l'Edough ont des positions en saillant dans la mer Méditerranée qu'ils dominent par des versants raides (Marre, 1992). Les plaines de Guerbès, de Fetzara et d'Annaba, en forme de croissant autour du djebel Edough, sont jalonnées respectivement par la basse vallée du Kébir-Ouest, le Lac Fetzara, la basse Seybouse et la Mafragh. Il s'agit partout ailleurs de petites plaines côtières correspondant aux basses vallées des oueds: Skikda (Oued Safsaf), Collo (Oued Guebli), El Ancer-Belghimouz (Oued El Kébir), Jijel (Oued Djendjen) et Souk El Tenine (Oued Agrioun).

- **Un bourrelet montagneux tellien :** Il longe depuis Béjaia jusqu'à la frontière tunisienne, sur 300 km environ, la mer Méditerranée, qu'elle surplombe par endroits à la faveur

de grandes falaises. Une série de petits cours d'eau parallèles et courts qui descendent du flanc Nord des djebels bien arrosés et se précipitent en pentes raides vers la Méditerranée. Des cours d'eau telliens plus importants, avant d'atteindre la mer, entaillent vigoureusement le relief.

- **Des Hautes Plaines étendues** : Ce sont de vastes étendues planes, compartimentées en une série de bassins individualisés, plus ou moins délimités par des horsts calcaires. Elles sont topographiquement perchées par rapport aux plaines littorales ou sahariennes, mais toujours dominées par les chaînes Nord et Sud. Dans ces milieux, la marque de l'endoréisme est nette. Ici, la topographie de cuvette et semi-aridité du climat favorisent l'installation d'un chapelet de chotts, sebkhas et Garaet, où viennent se jeter les oueds dévalant du piémont Nord de l'Atlas Saharien.

- **Un Atlas saharien au relief dissymétrique** : C'est un ensemble de massifs volumineux mais relativement ouverts, dominant vigoureusement au Sud la cuvette jalonnée de chotts. Les reliefs dissymétriques de l'Aurès se caractérisent par des alignements Sud-Ouest - Nord-Est où de gros anticlinaux et de larges synclinaux perchés se succèdent. C'est là où s'élève le plus haut massif de l'Est algérien, Djebel Chélia (2 326 m). A l'Est, le pays Nememcha prolonge l'Aurès par ses alignements Sud-Ouest – Nord-Est.

- **Piémont Sud de l'Atlas** : Sur le flanc méridional de l'Atlas saharien, s'étendent à perte de vue de vastes plaines dont la nudité annonce l'aridité dominante. C'est le domaine du Bas-Sahara, jalonné par une série d'oasis (région des Ziban) qui doivent leur présence à l'exploitation de nappes souterraines. Le chott Melhrir est le réceptacle des oueds qui descendent Nord-Sud du flanc méridional de l'Aurès-Nememcha. C'est dans cette grande dépression lacustre que se jette également l'oued Djedi, gros collecteur de la vaste gouttière qui s'étend d'Ouest en Est sur environ 500 km, entre l'Atlas Saharien (au Sud des Monts des Ouled Nail et Monts du Zab) et le plateau des daïas (Dubief, 1953).

Schématiquement (fig. 2.2), l'altitude moyenne est de 0 à 100 m sur les plaines côtières, moins de 700 m dans les basses montagnes et plus de 2 000 m sur les massifs élevés du Tell. Elle avoisine les 1000 m dans les Hautes Plaines, 1 500 à plus de 2 000 m dans la l'Atlas saharien et enfin moins de 100 m dans le piémont saharien pour atteindre des points négatifs à chott Melhrir (point le plus bas d'Algérie : - 34 m). Les reliefs montagneux ont des altitudes qui ne sont guère très élevées qui se rattachent géographiquement aux régions méditerranéenne et saharienne, formant de vastes chaînes ou des pics isolés, rajoutent à l'Est algérien des milieux naturels diversifiés par leur climat et leurs productions naturelles (région Montagneuse).

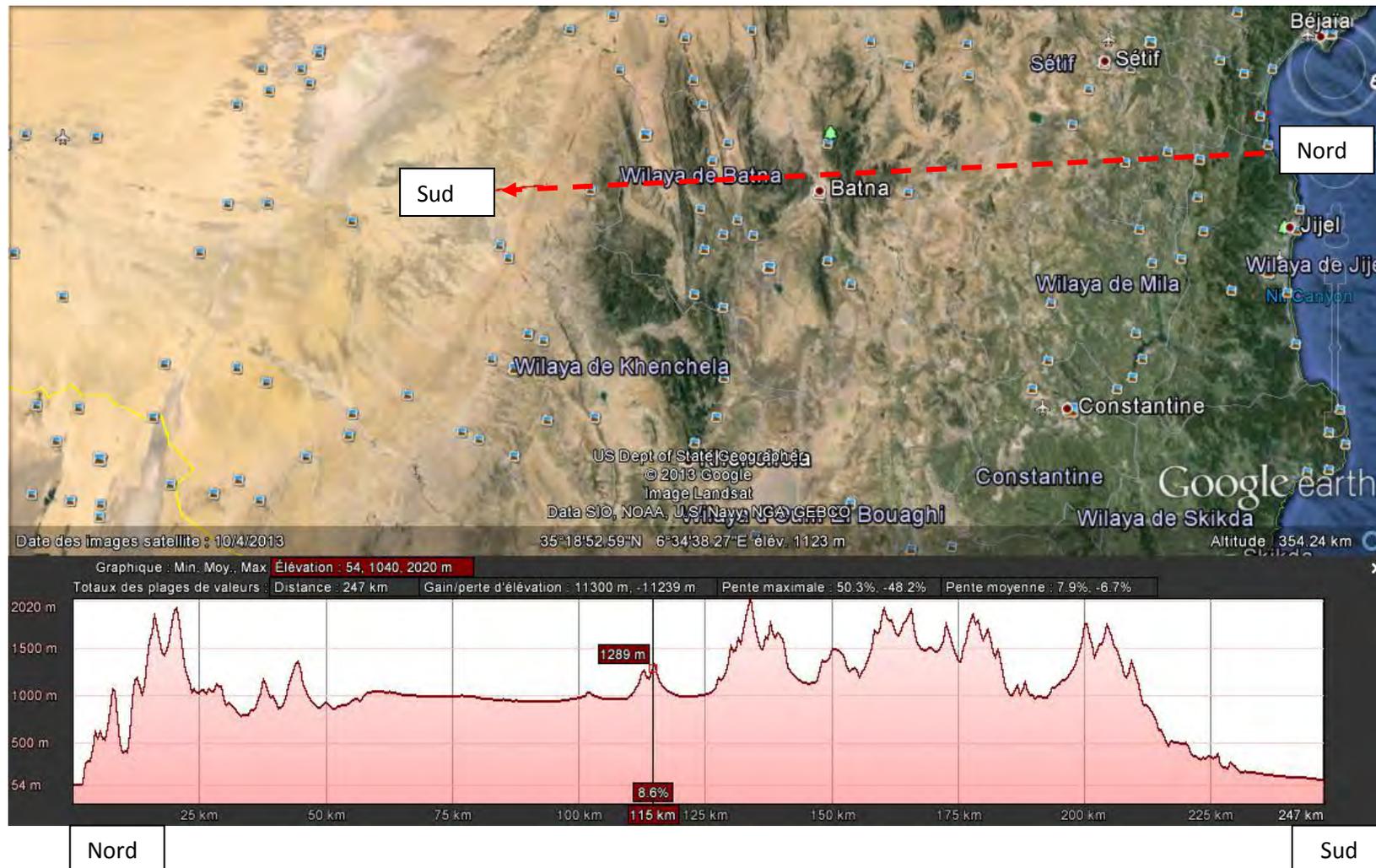


Figure 2.2 : Une coupe topographique du Nord Est au Sud Est algérien (réalisée à partir de google earth, le 11/08/2013).

2.1.3. Aperçu géologique : Une diversité d'unité géologique.

A l'ordonnement des reliefs topographiques correspond une succession Nord-Sud des ensembles morpho-structuraux, que nous présentons de façon succincte en se basant sur la carte géologique (fig. 2.3) de Vila (1978) comme suit :

A. Les grands ensembles morpho-structuraux : Une région contrastée.

La coupe géologique Nord-Sud (Fig. 2.4), illustre la diversité des faciès et des structures géologiques de l'Est algérien. Elle part du massif ancien de Collo aux formations marneuses oligocènes du Bas-Sahara. Ceci en passant par la chaîne calcaire de Sidi Dris, le bassin d'argiles miocènes de Constantine-Mila, le djebel calcaire du Crétacé inférieur de Nif en Nser et la sebkha Djendli dans les Hautes Plaines sud-constantinoises, enfin l'alternance des massifs plissés (Djebel Mahmel, Dj. Zellatou, Dj. Ahmar Khaddou) et des vallées encaissées (Oued Abdi, Oued El Abiod) de l'Aurès révèle les informations suivantes (Mebarki, 1982) :

- la chaîne plissée et accidentée de l'Atlas tellien se caractérise par sa structure complexe et par sa jeunesse : elle a été plissée et charriée au cours du Tertiaire au Plio-Quaternaire et son orogénèse se poursuit jusqu'à ce jour (manifestation de mouvements sismiques). Ces nappes empilées les unes sur les autres sont constituées généralement de terrains meubles ;

- la large plate-forme des Hautes Plaines correspond à un bâti structural rigide, soumis à une tectonique cassante. Les massifs calcaires isolés émergeant en horsts, sont les affleurements d'épaisses formations carbonatées « la nappe néritique constantinoise ». Ici, se dispersent les plaines de remblaiement plio-quaternaire correspondant souvent à des dépressions tectoniques ; certaines d'entre-elles sont fermées par des fermetures triasiques favorisant l'endoréisme avec la formation de lacs salés (sebkhas) ;

- la chaîne atlasique dont les assises géologiques sont mises en place au Secondaire, plus anciennes donc que celles du Tell, est constituées essentiellement de roches calcaires. Ces structures plissées impriment le paysage vigoureux de l'Aurès, Nememcha et celui de la diagonale montagneuse du Hodna ;

- le Piémont saharien, limité à la flexure saharienne amorcée quant à lui, le bouclier saharien.

La grande dépression fermée du Chott Melrhir, constitue une zone d'affaissement « la fosse Sud-aurasienne » où de vastes dépôts sédimentaires dus à l'érosion se sont accumulés dans la cuvette et où l'endoréisme s'est installé avec les épisodes climatiques secs du Quaternaire.

Elle s'inscrit dans le prolongement des fossés de subsidence abritant les hydrosystèmes endoréiques des chotts El Rharsa, Djerid et El Fedjadj en Tunisie.

B. Les unités géologiques : Les travaux de Vila, (1980) sur la chaîne alpine d'Algérie orientale et la synthèse de Wildi, (1983) sur la chaîne tello-rifaine de l'Afrique du Nord permettent de distinguer du Nord au Sud de nombreuses unités empilées au cours de phases tectoniques successives (Fig. 2.3).

a) L'ensemble kabyle ou « domaine interne » : Il comprend le socle cristallin et sa couverture sédimentaire chevauchant les unités plus méridionales. C'est un ensemble écaillé par une tectonique tangentielle fini-éocène. Il est traversé par des roches éruptives (granites, grano-diorites, microgranites, dolérites et rhyolites) correspondant à un « magmatisme néogène et quaternaire ». Par ailleurs, il est recouvert de lambeaux argilo-gréseux (Oligo-Miocène kabyle, olistostromes, flyschs).

Le socle paléozoïque développé surtout en Petite Kabylie comporte à sa base des formations gneissiques au dessus desquelles se développent une série de gneiss, de marbres, et de micaschistes recouverte par des phyllades. Les niveaux carbonatés du Trias à l'Eocène constituent la dorsale kabyle ou « chaîne calcaire » qui s'étire sur près de 90 km, d'Ouest (Djebel Sidi Dris) en Est (Zit Emba dans la région Nord de Guelma). Cette couverture peut être en partie séparée de son socle pour former des nappes de charriage (Mebarki, 1982).

b) Le domaine des nappes des flyschs : Ce domaine est composé de deux types d'unités différentes :

- **les nappes maurétanienne et massylienne :** Séries du Crétacé inférieur formées typiquement de flyschs grésopélitiques (ex. djebels orientaux des Babor, Petite Kabylie) ;

- **la nappe numidienne :** Séries gréseuses de l'Oligocène qui affleurent largement suivant une orientation SW-NE, allant de Constantine-Guelma jusqu'à la Tunisie (Tabarka). Ainsi que sur les chaînons de au NW du Dj. Edough, à l'Est du Cap d'El Aoana (Jijel). Ces sédiments postérieurs à la tectonique fini-éocène forment un étage supérieur nettement moins tectonisé charriage (Vila, 1980).

c) Les nappes telliennes ou « domaine externe » : Ces éléments structuraux sont développés sur près de 100 km du Nord au Sud et supportant les empilements « normaux » des flyschs. Ce sont des « séries épaisses à dominante marneuse issues du sillon tellien ». Les marno-calcaires clairs (formations typiques du Crétacé inférieur à Djebel Edough « massif cristallin externe » de l'Est de l'Algérie alpine, les formations marneuses et marno-calcaires du Crétacé dans les chaînons côtiers des Babor et le faciès néritique prépondérant, d'âge Crétacé supérieur à Eocène des unités constantinoises (dans le massif de Chettaba., l'Est du Djebel Grouz, le Nord du Djebel Kheneg, Djebel Akhal) et les unités Sud-sétifiennes.

d) L'avant-pays allochtone ou « avant-pays parautochtones algéro-tunisiens » : Il se présente sous forme de vastes panneaux carbonatés épais, allant d'Ouest en Est de l'ensemble allochtone Sud-sétifien, à la nappe néritique constantinoise, aux formations allochtones de type Sellaoua. Ils présentent plusieurs types de séries différenciées, allant du Trias supérieur au Crétacé et à l'Eocène. A l'Est de Guelma, les séries carbonatées laissent place à de vastes affleurements de Trias allochtone.

e) Les formations autochtones et parautochtones ou « Atlas saharien : Monts du Hodna et Aurès » : Les formations autochtones ont conservé une structure plissée héritée de la tectonique fini-éocène ou « phase atlasique » : massifs du Hodna, de Bellezma et de l'Aurès, régions d'Oum El Bouaghi et d'Ain Beida, Monts de Souk Ahras et plus au Sud, la vaste zone de diapirs représentée par les djebels d'El Ouasta, de Ouenza-Boukhadra, de Mesloul, etc... Ces formations à dominance carbonatée sont d'une assez grande homogénéité, du Lias au Crétacé moyen. L'essentiel de ces terrains post-nappes ou *Mio-Pliocène* occupe de vastes espaces dans les Hautes Plaines sétifiennes et constantinoises, et constitue les « bassins miocènes » de Mila, de Constantine, Ferjioua, et plus à l'Est, les bassins de Guelma et de Hammam N'Baïls.

Ces épaisses formations carbonatées disposent d'aquifères plus ou moins profonds, en général karstiques, dont témoigne l'émergence de grosses sources (Feraga, 1984).

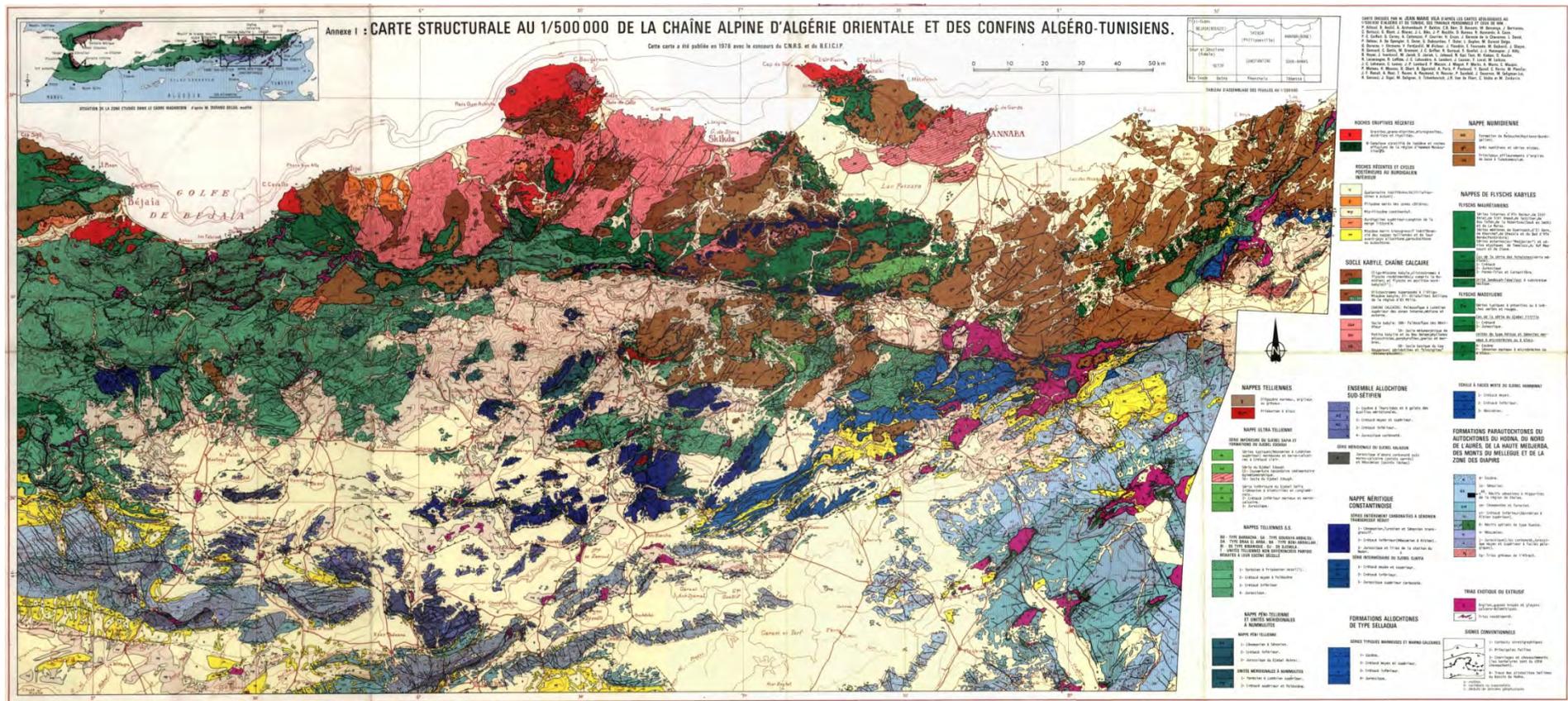


Figure 2.3 : Le terrain géologique à l'Est algérien (carte au 1/500 000 publiée en 1978) (in Villa J.M., 1980)

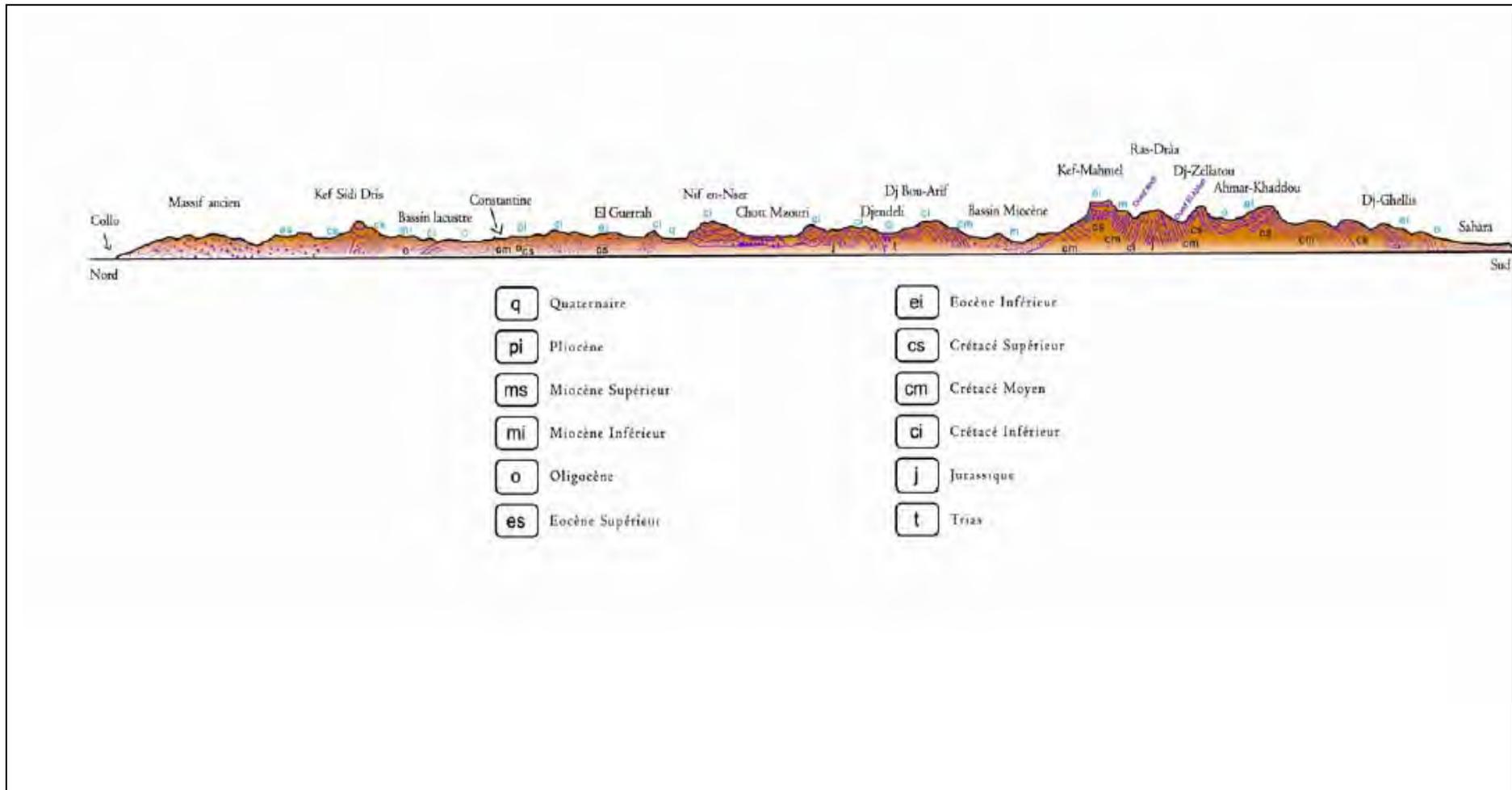


Figure 2.4 : Les différentes unités géologiques longeant un transect Nord-sud de l'Est algérien depuis Collo au piémont de Dj. Ghellis (Mebarki, 1982).

2.1.4. Le contexte climatique : de l'humide méditerranéen à l'aride saharien.

La sécheresse est une menace constante en Algérie du Nord. Celle-ci, située aux confins du domaine tempéré méditerranéen, largement ouverte sur le Sahara, est rattachée pendant l'été au domaine subtropical et à ses hautes pressions. Les perturbations tempérées nourries par les masses d'eaux atlantiques et surtout méditerranéennes ne peuvent circuler que pendant un faible nombre de mois. En outre l'organisation du relief, et sa massivité en limitent les effets modérateurs à une mince frange littorale.

D. Un climat méditerranéen aux marges du désert.

En Algérie du Nord, l'année est rythmée par l'alternance d'une saison sèche et chaude, et d'une saison humide, fraîche ou froide. D'après les données de l'O.N.M (Cf. Annexe 1 et Fig. 2.5), la sécheresse de l'été est de 3 à 4 mois sur le littoral (Bejaïa, Jijel, Skikda), elle passe rapidement à 5 et même 6 mois à l'approche de l'Atlas saharien (Batna, Tebessa), elle s'accroît vers le Sud jusqu'à couvrir les douze mois de l'année en zone aride (station de Biskra). Elle s'accompagne de moyennes mensuelles, pour le mois le plus chaud, de l'ordre de 25.82 °C (Bejaïa) à 40.17 °C (Biskra) mais les vents d'Est et Sud (Guebli et Sirocco) peuvent faire passer ces températures très largement au dessus de 40 °C pendant plusieurs jours. Cette saison est celle d'un arrêt quasi-total du cycle végétatif.

Si l'on excepte le versant maritime, le gel est commun en saison froide. L'altitude et la continentalité favorisent les hautes terres centrales pour compter souvent 30 et même 50 jours de gelées par an. Le manteau neigeux les couvre quelques semaines et plusieurs mois en montagne.

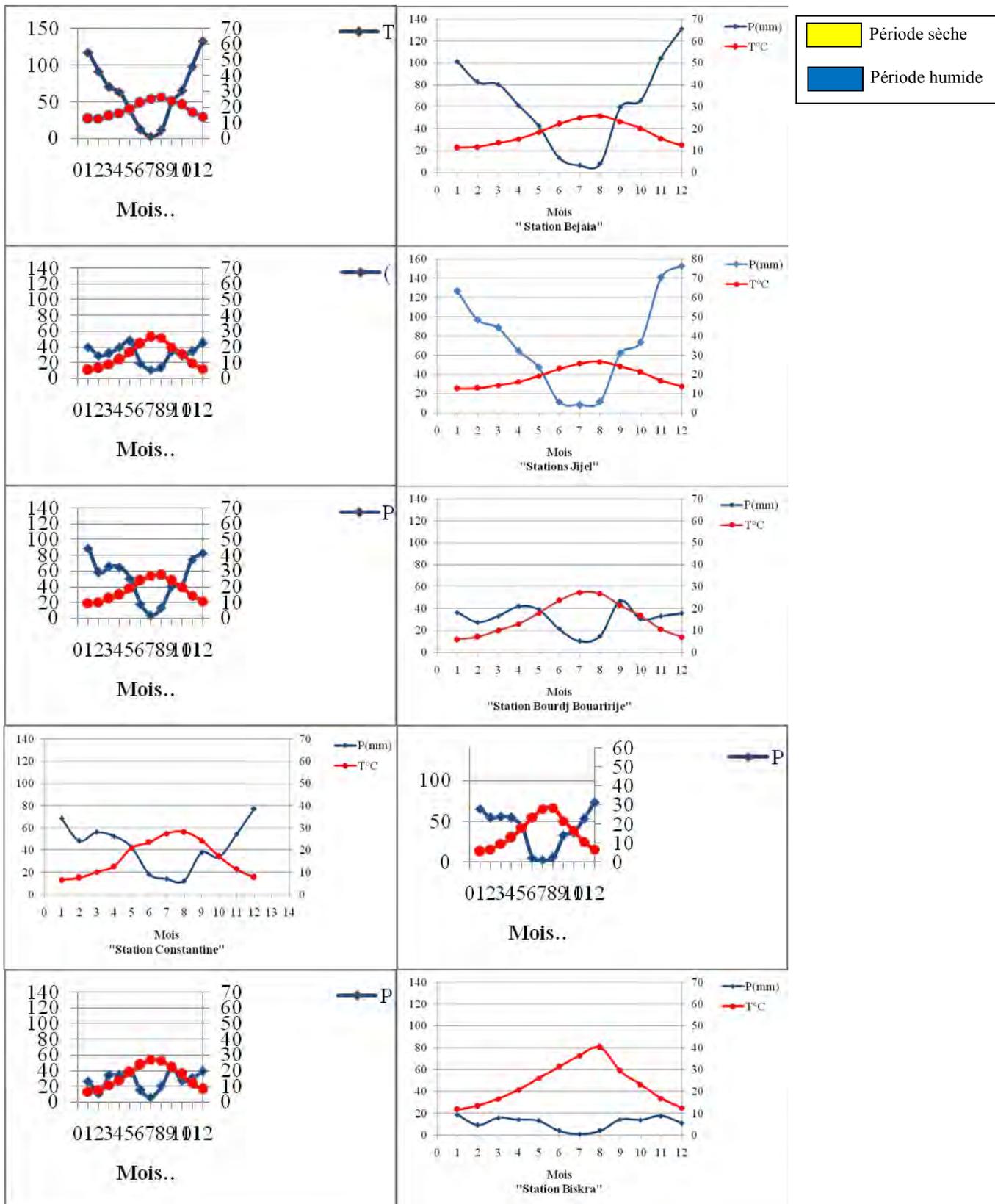


Figure 2.5 : Diagrammes ombrothermiques de Gaussen et Bagnouls dans quelques stations de l'Est algérien (Source : O.N.M de Constantine / période 1985-2012).

E. Une répartition irrégulière des précipitations.

Schématiquement, comme l'indique la figure 2.6 et l'annexe 2, la répartition des précipitations depuis l'étage bioclimatique humide au Nord jusqu'à l'aride au Sud n'est pas régulière. Elle est en rapport direct avec l'organisation zonale du relief. Les écrans montagneux sont les responsables évidents de la rapide diminution vers l'intérieur : plus de 1000 mm sur le littoral, mais inférieur à 200 mm/an au sud d'Atlas Saharien. La dissymétrie Est-ouest est au contraire liée à la circulation générale : les coulées polaires générant les grandes perturbations cycloniques d'hiver, abondamment nourries d'humidité, au dessus du golfe de Gênes (Golfo di Genova), sont à l'origine de précipitations considérables, qui peuvent être violentes et même catastrophiques (Côte, 1998). L'Algérie occidentale masquée par l'Espagne, mais aussi par le moyen Atlas et le Rif n'est parcourue que par des perturbations faiblement actives.

Cette diminution du total pluviométrique vers le Sud s'accompagne d'une transformation de la répartition saisonnière suivante (Tab. 2.1) :

Sur le littoral (de 680 à plus de 1000 mm/an) règne un régime à forte proportion de pluies d'hiver-automne (HAPE) c'est-à-dire le maximum secondaire est l'automne, selon un rythme méditerranéen tout à fait classique.

Sur les zones touchés par le semi aride (Constantine, Oum-El-Bouaghi, Aïn-Mlila, Batna), ce sont les pluies de printemps qui ont la plus grande importance relative après les pluies d'hiver, la répartition saisonnière est de type HPAE.

Plus à l'intérieure avec le semi aride inférieure, figure la position tellienne de transition (Khenchela et Tebessa), où le régime saisonnier est de type PAHE. Ici, les pluies d'hivers sont les moins importantes.

Les hautes terres de l'intérieur ont donc un climat méditerranéen original, modifié par la continentalité : ce sont en effet les hautes températures diurnes du printemps et du début de l'été, génératrices d'orage dans ces contrées en cuvettes, qui expliquent cette modification du régime pluviométrique (Seltzer, 1946). Ces pluies permettent la constitution de réserves importantes, favorables à la végétation et les organismes du sol.

Selon Côte (1998), la distribution des précipitations est marquée d'une double irrégularité :

- Inter saisonnière : le déclenchement des grandes pluies d'automne peut tarder et celles de printemps peut être absentes ou excessives.

- Et surtout interannuelles : le déficit peut être, certaines années, de 25 à 30%, or sur 10 années, il faut compter 3 à 4 années déficitaires. En effet des conditions quasi sahariennes pour toute l'Algérie, excepté le Tell montagneux

Tableau 2.1 : La répartition saisonnière des pluies dans quelques stations du terrain d'étude
(Source : O.N.M de Constantine / période 1985-2012).

Station	Hiver	Régime saisonnier	Printemps	Eté	Automne	Pmm/an
Bejaïa	314,35	HAPE	183,2	27,52	229,29	754,99
Jijel	375,54	HAPE	200,01	31,27	275,98	882,80
Skikda	341,08	HAPE	170,68	25,72	212,35	749,48
Seraïdi	428,00	HAPE	238,70	28,00	291,40	986,10
Annaba	287,32	HAPE	159,47	25,21	183,13	655,14
Bouteldja	225,20	HAPE	170,80	29,10	181,70	606,80
EL-kala	283,72	HAPE	151,03	15,90	252,82	703,46
Collo	419,45	HAPE	231,50	35,80	317,20	1003,95
El Milia	416,00	HAPE	220,95	31,08	302,51	970,54
BBA	99,19	PAHE	113,71	46,35	109,48	369,08
Setif	113,63	PHAE	118,99	43,57	96,46	372,65
Mila	209,52	HAPE	145,42	38,04	145,82	538,80
Constantine	193,79	HPAE	151,44	44,79	125,71	515,74
Azzaba	279,10	HAPE	151,80	12,80	165,20	608,90
Ouled Hbaba	268,80	HAPE	112,30	32,83	156,10	570,03
Guelma	229,26	HPAE	180,75	34,57	155,44	600,12
O.E.Bouaghi	103,60	HPAE	101,60	41,80	92,90	339,90
Aïn mlila	100,39	HPAE	124,10	40,80	93,41	358,70
Batna	192,10	HPEA	152,22	14,32	121,66	480,30
Khenchela	89,23	PAHE	103,28	43,21	99,64	335,35
Tebessa	60,09	PAHE	104,94	5,30	86,93	326,02
Biskra	39,05	APHE	43,18	8,67	46,04	136,93

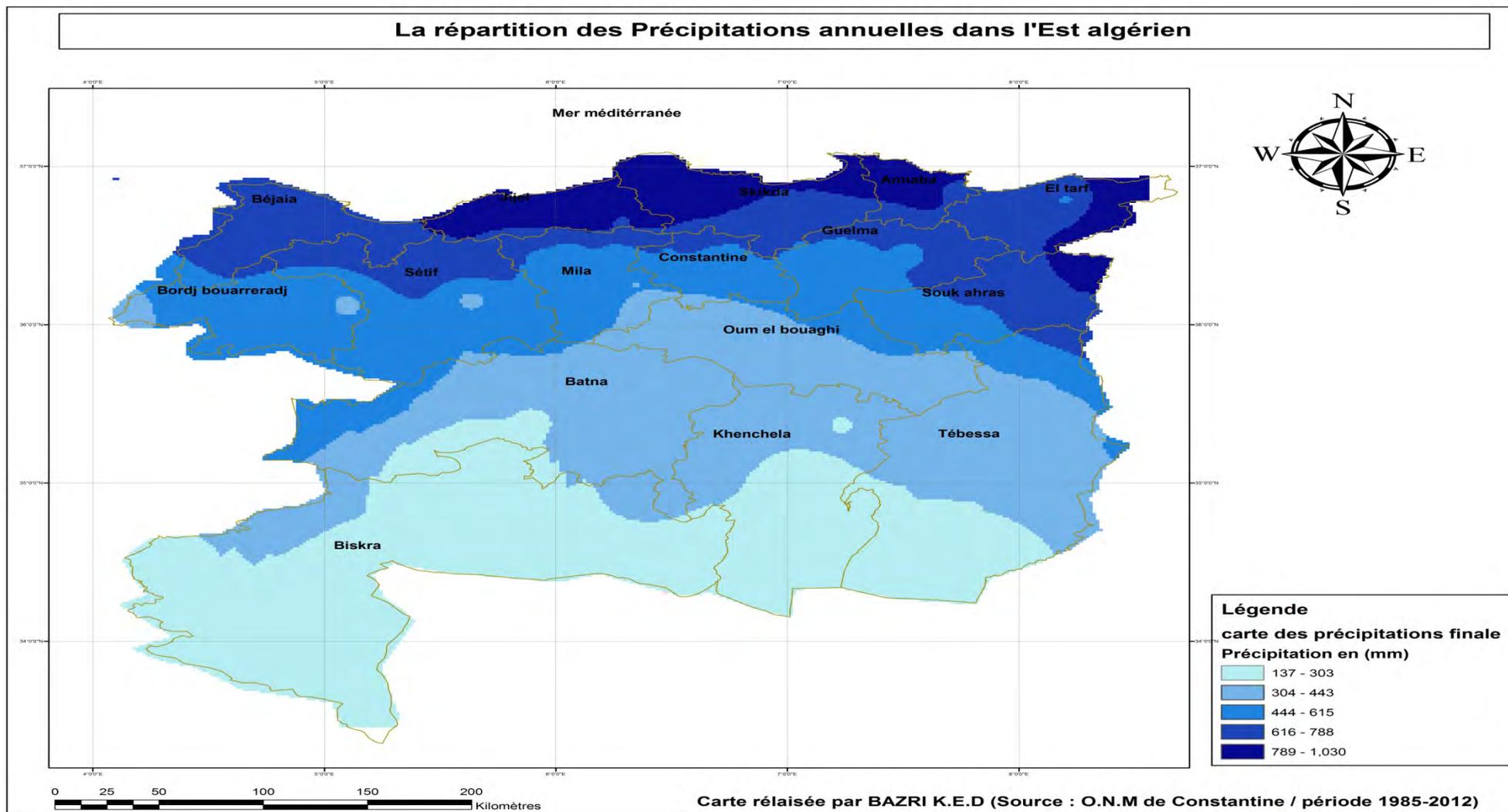


Figure 2.6 : La répartition des précipitations annuelles à travers le terrain d'étude.

F. les zones bioclimatiques caractérisant l'Est algérien.

La figure 2.7, indique les différents étages bioclimatiques caractérisant notre terrain d'échantillonnage :

- une poche du domaine humide pénètre à l'intérieur jusqu'aux monts de la Medjerda (région de Souk Ahras) ;
- le semi-aride remonte dans les bassins intérieurs du Tell pour atteindre le domaine subhumide (Mila, Ferjioua, Redjas) et il est particulièrement développé dans les Hautes Plaines qui le prolongent loin vers le Sud ; où encore peut s'installer les domaines du semi aride inférieure sur les piémonts Nord de l'Atlas saharien vers Kenchela et Tebessa ;
- le subaride se limite (hormis le Hodna) à une bande étroite du piémont méridional de l'Aurès et Nememcha;
- enfin, l'aride lui fait place, directement au pied des massifs de l'Atlas saharien, à la grande cuvette du Chott Melrhir.

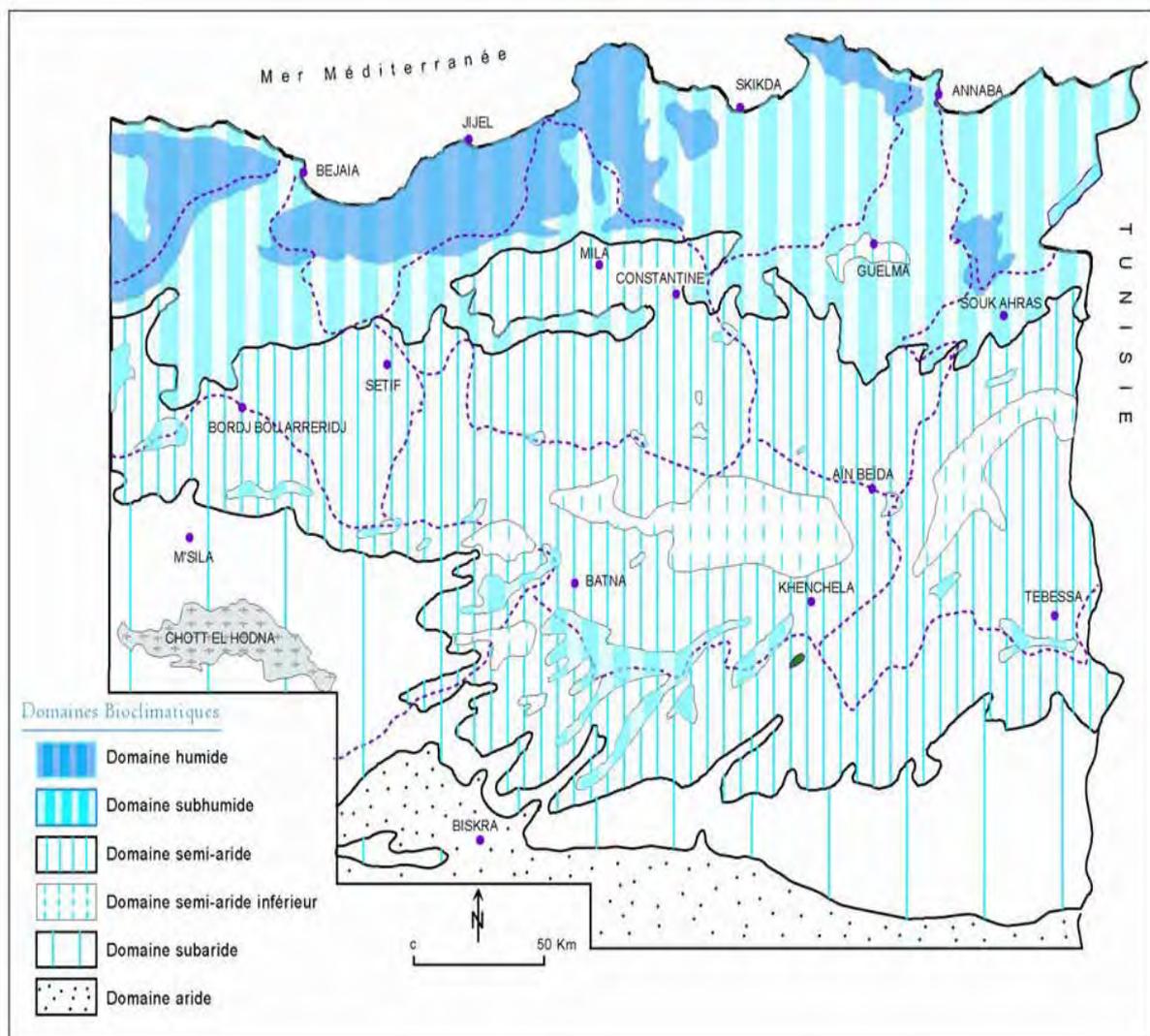


Figure 2.7 : Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien (Côte, 1998).

2.1.5. Le Couvert végétal : Des affinités étroites avec la flore européenne.

Nous avons jugé utile de donner une importance à la géographie botanique afin de donner une idée de la composition du couvert végétal dans l'Est algérien et pour montrer qu'un grand nombre de la flore de ce territoire appartient à la flore européenne et même souvent à la flore des pays de plaines du centre de l'Europe.

Cet aperçu phytogéographique se base sur les travaux effectués sur la flore algérienne (tels que Cosson, 1879 ; Thomas, 1975 ; Quezel, 1981, 2000 ; Rivas-Martinez, 1981 ; Bouaza, 2000).

A. La région méditerranéenne : La région méditerranéenne du Constantinois (Est algérien) rappelle surtout la Sardaigne, la Sicile, l'Italie et Malte. Celle du domaine Algérois présente des ressemblances avec le Nord-est de l'Espagne, les Baléares et le midi de la France. Cependant, celle d'Oran (l'Oranais) a plus de contact avec le midi et le Sud-est de l'Espagne (Cosson, 1879 ; Quezel, 1981).

Entre le Sud de la France et le littoral Est d'Alger, ce sont, au contraire, les analogies qui dominent. L'état sauvage qui est réellement caractéristique de la région, forme sur de nombreux points de véritables forêts et maquis. Les essences forestières principales sont celles du midi de la France : le Chêne-vert (*Quercus Ilex*); le Chêne Liège (*Q. suber*) qui forme des massifs étendus; le Pin d'Alep (*Pinus halepensis*); le Caroubier (*Ceratonia siliqua*); le Micocoulier (*Celtis australis*), etc.

Quant aux principaux arbres fruitiers cultivés, ce sont ceux même du midi et du centre de la France : le Figuier, le Grenadier, l'Oranger, le Citronnier, l'Amandier, le Pêcher, les Pommiers, les Poiriers, etc.

Les broussailles sont composées de la plupart des espèces qui existent en Provence et dans le Languedoc : la Clématite odorante (*Clematis Flammula*), le Ciste de Montpellier (*Cistus Monspeliensis*), le Myrte (*Myrtus communis*), le Lentisque (*Pistacia Lentiscus*), deux Genêts (*Genista candicans* et *G. linifolia*), la Bruyère en arbre (*Erica arborea*), le Laurier-Tin (*Viburnum Tinus*), le Romarin (*Rosmarinus officinalis*), le Chêne Kermès (*Quercus coccifera*), deux Genévriers (*Juniperus Phoenicea* , *Juniperus Oxycedrus*), etc.

Le Palmier-nain (*Chamoerops humilis*), donne au paysage un caractère qui rappelle peu celui du midi de la France ; cependant il est répandu sur plusieurs points des contrées du bassin méditerranéen de l'Europe. Le Figuier-de-Barbarie (*Opuntia ficus-indica*) et l'Agave (*Agave americana*), vulgairement connu sous le nom impropre d'Aloès, acquièrent en Algérie leur complet développement (Quezel, 1981).

Par ses étroites affinités avec les contrées du midi ou du centre de l'Europe, cette partie géographique (région méditerranéenne) faisait le grenier d'abondance de la France, comme elle a été jadis, avec la Sicile, celui de Rome. Elle était l'objet d'une exploitation intensive lors de l'époque coloniale (La partie de l'Algérie réellement appropriée à la colonisation et à la grande culture comprend l'ensemble de la région méditerranéenne, la région montagneuse inférieure et les points des Hauts-Plateaux situés au voisinage des montagnes ou facilement irrigables), les cultivateurs européens ont fait disparaître toutes les broussailles et les friches pour les remplacer par des champs aussi bien cultivés et généralement plus fertiles que ceux des parties de la France dont l'agriculture est la plus avancée. On a introduit avec succès de nombreux végétaux exotiques, spécialement ceux de l'Australie et du Cap de Bonne Espérance 'Afrique du Sud (Cosson, 1879 ; Boudy, 1948).

Sur **674** espèces observées dans le Constantinois, la flore se répartissait de la manière suivante : Végétation européenne, **228** ; région Méditerranéenne de l'Europe, **193** ; région méditerranéenne occidentale de l'Europe, **62** ; Espagne et Portugal, **46** ; Italie et Sicile, **15** ; région méditerranéenne orientale, **13** ; Orient, **12** ; Espagne et Orient, **20** ; Plantes spéciales, **85**. Si l'on fait la somme des espèces appartenant aux diverses parties du bassin méditerranéen on voit que cette somme est de **329** ; si l'on y ajoute les **228** espèces d'Europe, on obtient le total de **557** représentant les affinités de la région montagneuse de la province de Constantine avec l'Europe, les autres éléments étant représentés par **117** taxons (Thomas, 1975).



Photo 2.1 : forêt de chêne liège
(à Ouled Hbaba, Skikda)



Photo 2.2 : Une prairie (à Sidi Maarouf, Mila)

B. La Région Montagneuse : Elle est caractérisée surtout par l'altitude des reliefs du sol qui la constituent et qui sont disséminés ou groupés en chaînes continues, soit vers la côte, soit dans l'intérieur du pays. Généralement la végétation de la partie inférieure des montagnes, environ de 600 à 1000 mètres d'altitude, diffère assez peu de celle des plaines ou des vallées voisines.

De même que dans les montagnes de l'Europe, les plantes vivaces sont en nombre presque double de celui des plantes annuelles, les espèces européennes forment presque les cinq sixièmes du total de la végétation et la plupart appartiennent à l'Europe centrale. Les affinités selon la latitude sont démontrées par la présence fréquente, dans une même montagne, de plantes espagnoles, de plantes orientales et de plantes se trouvant à la fois en Espagne et en Orient. Ici, nous allons signaler seulement les espèces forestières les plus importantes ou les plus caractéristiques (Quezel, 2000). L'Olivier, le Chêne Liège (*Quercus suber*), le Pin d'Alep (*Pinus halepensis*), le Chêne vert (*Quercus Ilex* et *Quercus Ilex* var. *Ballota*), le Chêne-Zen (*Quercus mirbeckii* DR). Le Chêne à feuilles de Châtaignier (*Q. castaneoefolia*, Afarès des Kabyles), qui n'était connu que dans la région du Caucase, est plus rare; il est répandu surtout dans les montagnes entre Collo et Bejaia dans les montagnes des Babor, où il forme des futaies aussi élevées que celles des plus belles forêts de France. Le Cèdre (*Cedrus atlantica*) est l'arbre réellement caractéristique de la Région Montagneuse supérieure, où il croît jusque sur les plus hauts sommets; sur les versants Nord, il peut croître dès 1200-1300 mètres, mais sur les versants sud on ne l'observe que rarement au-dessous de 1000 mètres. Dans les montagnes des Babor, du Belesma, du Djebel Bou-Thaleh, du Djebel Cheliah, etc., il forme souvent l'essence principale des forêts et occupe une surface de plusieurs milliers d'hectares. Cet arbre forme des massifs importants dans la chaîne du Taurus (Turquie), ainsi que l'ont constaté Kotschy, MM. Balansa et de Tchihatchef (Cosson, 1879, Boudy, 1948).



Photo 2.3 : Forêt de Cèdre d'Atlas
(Oued Zarif, Khenchela)



Photo 2.4 : Forêt de Pin d'halep et de Chêne vert
(Chettaba, Constantine)

Une variété d'*Abies pinsapo* (*A. pinsapo* var. *Baborensis* Coss.), que les horticulteurs ont répandu sous le nom de Sapin de Numidie (*Abies numidica*), accompagne le Cèdre jusque sur les sommets (environ 2 000 mètres) dans les Babors et le massif de l'Edough. L'*Abies pinsapo* var. *Baborensis* ne diffère que par quelques caractères secondaires de la variété typique de l'espèce présente dans les montagnes du sud de l'Espagne.

Les Genévriers de la région méditerranéenne (*Juniperus phoenicea*, *Juniperus oxycedrus*, et *Juniperus thurifera* et *Juniperus nana*) très voisine du Genévrier des forêts et des landes de France.

Deux espèces d'érable, l'érable à feuilles obtuses (*Acer obtusifolium*) des montagnes du midi de l'Europe, et l'érable de Montpellier (*Acer monspessulanum*), si répandu dans les forêts de la zone montagneuse moyenne et supérieure; ce dernier ne constitue que des buissons ou des arbres de troisième grandeur, atteint quelquefois en Algérie les proportions d'un arbre forestier de grande taille (Cosson, 1879).

Le Houx (*Ilex aquifolium*) des forêts de France existe en Algérie vers la limite des zones montagneuses moyenne et supérieure, où il est peu répandu, mais où souvent il acquiert un grand développement. L'If (*Taxus baccata*), des forêts du centre de l'Europe, se rencontre ordinairement par sujets isolés ou par groupes peu importants dans la région montagneuse moyenne et supérieure, mais il y atteint quelquefois des dimensions remarquables. Le Tremble (*Populus tremula*) est observé vers le sommet de Djebel Babor. L'Amandier (*Amygdalits communis*) croît dans la région montagneuse inférieure et moyenne, dans le Djebel Guerioun au sud de Constantine, dans les montagnes des environs de Batna, il forme généralement de véritables massifs (Quezel, 2000).

Le Châtaignier (*Castanea vulgaris*) existe à l'état sauvage dans l'Edough. Le Merisier (*Cerasus avium*) est répandu dans presque toutes les monts des rochers, des montagnes du centre de l'Europe, croît sur les plus hautes montagnes, ainsi que le *Groseillier épineux* qui ne diffère en rien de la forme sauvage de l'espèce si répandue dans les bois de l'Europe centrale (Quezel, 1981 ; Rivas-Martinez, 1981).

Les forêts de Chênes-Zen des environs d'El-kala et les forêts de Chêne liège, qui couvrent les pentes des montagnes basses entre Annaba et Bejaia, forment également des futaies ombreuses de l'Europe centrale.

Au point de vue agricole, la région montagneuse inférieure, ainsi que les parties montueuses des régions méditerranéenne et des Hauts-Plateaux, offrent surtout un terrain et des conditions avantageuses pour l'introduction des cultures déjà pratiquée du midi et du centre de l'Europe.

2.2. Matériel et méthodes de travail.

L'objectif de cette étude est d'évaluer la biodiversité lombricienne et sa relation avec les conditions climatiques et édaphiques, le long d'un gradient depuis le littoral jusqu'au désert. Ainsi, les résultats de ce travail est d'apporter de nouvelles données sur la connaissance et la distribution des peuplements de vers de terre et leurs relations avec des paramètres édaphiques (pH, CaCO₃, Ca⁺⁺, M.O% et N%, A%, L%, S%) dans les différents étages bioclimatiques caractérisant le climat algérien.

2.2.1. Choix des stations d'échantillonnage.

Dans ce travail, portant sur la biodiversité des lombriciens dans l'Est algérien, nous sommes intéressés à prospector 65 stations d'études (Fig. 2.8). Ces stations sont réparties selon une orientation Nord-Sud, depuis le littoral jusqu'au désert de l'Est algérien, afin de toucher les différents étages bioclimatiques existants décrits par Côte en 1998 : humide (h), montagnard humide (hm), subhumide (sh), semi-aride (sa), semi-aride inférieur (sa I), climat montagnard dans le semi-aride (sa m) et les étages subaride et aride (a). Le choix de cette orientation Nord-Sud, est de mieux cerner la diversité des peuplements de vers de terre dans cette zone biogéographique à caractères très diversifiés.

2.2.2. Présentation des stations d'étude : La description des stations d'échantillonnage (annexe 3) est réalisée selon les principes d'Emberger et al. (1968).

1. La station d'Adekar (Adk), se situe à l'ouest du terrain d'étude (à l'ouest de la ville de Bejaia) au milieu d'une forêt mixte de chêne liège et chêne zeen, dans l'étage bioclimatique humide, à 923 m d'altitude, 36°40'58.69'' de latitude Nord et 4°40'02.68'' de longitude Est. Le site est caractérisé par une forte pente (49 -100%), le prélèvement s'est effectué sur une profondeur de 0 à ≥ 50 cm d'un sol humide, non exposé à l'inondation caractérisé par un bon drainage, une forte porosité, riche en litière végétale et M.O, une texture argileuse à structure fibreuse et une effervescence nulle à l'HCL.
2. La station d'Aoukas (Aok) est localisée à 30 km à l'ouest de la ville de Bejaia, à 72 m d'altitude, 36°38'03.88'' de latitude Nord et 5°14'53.51'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique humide. L'échantillonnage est réalisé dans une pépinière, sur une profondeur de sol de 0 à ≥ 50 cm. Le site est caractérisé par un bon drainage, une

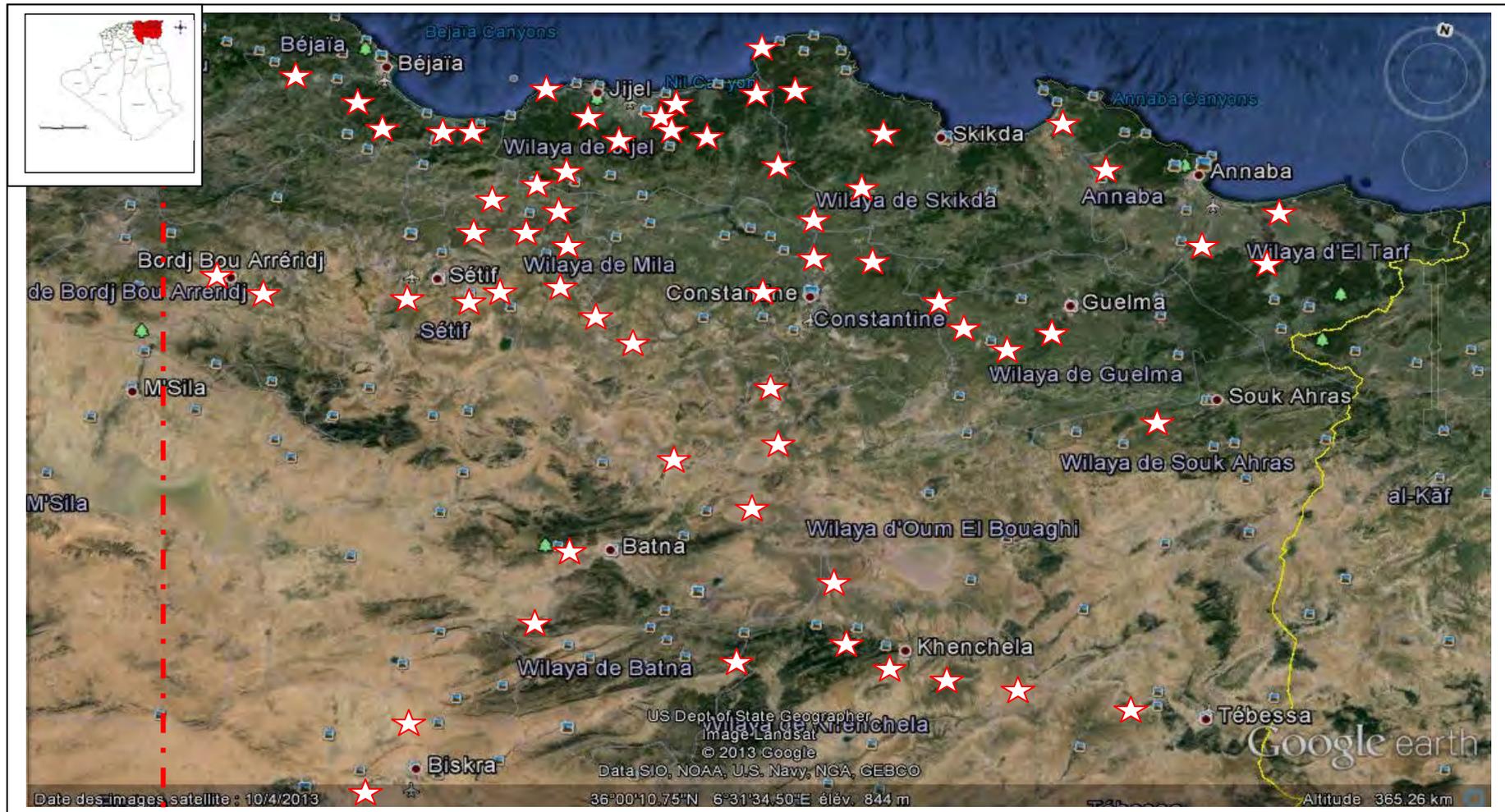


Figure 2.8 : Le terrain d'étude (Nord-Est algérien) et la localisation des sites d'échantillonnage (image de google earth, le 11/08/2013).

----- Limites du terrain d'étude ☆ Stations d'échantillonnage

pente nulle (0 - 100%), une exposition à l'inondation, une porosité moyennement forte, un sol très humide, une M.O parfois mal décomposée, une texture argileuse à gley, et une effervescence nulle à l'HCl.

3. La station de **Melbou (Mb)** est placée à l'Est de la ville de Bejaia à 30 m d'altitude, 36° 37' 7,89" de latitude Nord et 005° 20' 29,3" de longitude Est, dans l'étage bioclimatique humide, elle est caractérisée par une végétation herbacée bordée par des arbres de chêne liège, une pente moyenne (9 – 15%), apparemment jamais inondé, un bon drainage, une porosité forte, un sol humide à texture argilo-sableuse, grossière, présence de la M.O sous forme d'humus et débris, l'effervescence à l'HCl est nulle.
4. La station de **Souk latnine (Sln)** est une zone de pâturage à proximité d'une forêt de chêne liège, située à l'Est de la ville de Bejaia à 22 m d'altitude, 36° 38' 31,8" de latitude Nord et 005° 15' 28,3" de longitude Est, dans l'étage bioclimatique humide. Elle est caractérisée par une pente moyenne (9 – 15%), un sol humide non inondé, à bon drainage, une forte porosité, avec une texture argilo-sableuse à structure grumeleuse, riche en litière. L'effervescence à l'HCl est nulle.
5. La station de **Ziama (Zm)** est localisée à l'ouest de la ville de Jijel, à 10 m d'altitude, 36° 39' 60,3" de latitude Nord et 005° 27' 38,5" de longitude Est, dans l'étage bioclimatique humide. Le site est défini par une végétation herbacée et arbustive (comme le *calycotome spinosa*), une pente faible (1- 9%), un drainage moyen, un sol très humide, exposé à l'inondation, à porosité moyenne et une texture sableuse sans structure, présence des racines et M.O décomposée. L'effervescence à l'HCl est nulle.
6. La station d'**El Aouana (Aw)** est située à 26 m d'altitude à l'ouest de la ville de Jijel, à 36° 46' 35.0" de latitude Nord et 005° 37' 83.5" de longitude Est, dans l'étage bioclimatique humide. Il s'agit d'une prairie à végétation herbacée à pente nulle (0 – 1%) et drainage faible, elle est submergé périodiquement, le sol est très humide à porosité moyenne et à texture argilo-sableuse, présence de M.O décomposée et effervescence nulle à l'HCl.
7. La station de **Jijel (Ji)** située vers l'Est de la zone d'étude, à 17 m d'altitude et 36°48'05.22" de latitude Nord et 005°51'42.90" de longitude Est, est caractérisée par la présence d'une végétation herbacée, une pente nulle (0 – 1 %), un drainage faible, un sol à porosité moyenne, très humide, submergé périodiquement, à texture argilo-sableuse, présence de M.O décomposée, l'effervescence à l'HCl est nulle.

8. La station de Tassoust (Ts) se localise à l'Est de la ville de Jijel, à 23 m d'altitude et 36°48'36.70'' N de latitude et 005°51'42.90'' E de longitude, dans l'étage bioclimatique humide. Elle est dominée par une végétation herbacée et quelques arbres et arbustes de caroubier et calycotome. Elle est caractérisé par un drainage moyen, une pente faible (0 - 9%), possibilité d'être exposée à l'inondation, un sol très humide à porosité moyenne, une texture limono-argileuse à structure grumeleuse, présence de M.O décomposée et colloïdale, existence des turricules et une effervescence nulle à l'HCl.
9. La station d'El kannar (Kn) est située à 16 m d'altitude, 36°49'36.71'' de latitude Nord et 005°57'16.13'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique humide. Elle est caractérisée par la présence de végétation herbacée, à proximité existent des cultures en serres plastiques, le drainage est moyen, la pente est faible (0 – 9 %), exposée à l'inondation, le sol est humide à porosité forte et une texture limono-sableuse à structure particulière, présence des racines et M.O décomposée, l'effervescence à l'HCL est nulle.
10. La station de Beni belaid (Bb) est localisée à 8 m d'altitude, 36°53'27.11'' de latitude Nord et 006°08'39.17'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique humide. L'échantillonnage s'est effectué sur une profondeur de 0 à \geq 50 cm d'un sol couvert d'une végétation herbacée à proximité de la forêt de chêne liège. La pente est faible (0 - 9%) à drainage moyen, le sol est très humide à forte porosité mais il peut être exposé à l'inondation, la texture est argilo-sableuse à structure particulière, présence d'une litière importante et M.O décomposée, l'effervescence à l'HCL est nulle.
11. La station de Oued Kebir (Ok) se localise à l'ouest de la ville de Jijel à une altitude de 97 m, 36°50'08.97'' de latitude Nord et 006°08'19.35'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique humide. La pente est nulle (0 - 1%), le drainage est faible, le sol est très humide, exposé à l'inondation, d'une porosité faible, à texture argileuse collante couvert d'une végétation herbacée (terrain de pâturage), l'effervescence à l'HCL est nulle.
12. La station de Belghimouz (Blg) est située à 47 m d'altitude, 36°48'47.81'' de latitude Nord et 006°07'10.81'' de longitude Est, à l'ouest de la ville de Jijel, dans l'étage bioclimatique humide. Elle est couverte d'une végétation herbacée et se caractérise par une pente nulle (0 - 1%), un drainage faible, le sol est très humide à porosité faible, peut être exposé à l'inondation, la texture est limono-sableuse à argileuse, présence des Racines et M.O décomposées, l'effervescence à l'HCL est nulle.

13. La station de Oued Boulaajoul (Obo) est positionnée à une altitude de 42 m, 36°52'56.05'' de latitude Nord et 006°08'37.72'' de longitude Est. Il s'agit d'une prairie à drainage faible, une pente faible (0 - 9%), exposée à l'inondation, le sol est très humide à porosité faible et une texture argileuse à gley, il contient des racines décomposées. Son effervescence à l'HCL est nulle.
14. La station d'El Ansar (Ans) située à l'ouest de la ville de Jijel, à 32 m d'altitude, 36°48'11.81'' de latitude Nord et 006°09'27.74'' de longitude Est. Le site est couvert d'une végétation herbacée bordée des arbres de peuplier blanc (*Populus alba*), le drainage est bon, la pente est faible (0 - 9%), le sol est humide, non exposé à l'inondation à porosité forte, une texture argileuse à structure grumeleuse, présence de M.O décomposées et effervescence à nulle l'HCL.
15. La station d'El milia (Em) est localisée à l'ouest de la station d'El Ansar, 36°45'41.06'' de latitude Nord et 006°15'27.10'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique humide. Elle est caractérisée par une pente nulle (0 -1 %), un drainage faible, un sol très humide, submergé périodiquement, une porosité moyenne, présence de cailloux nombreux, une texture argileuse et une effervescence forte à l'HCL.
16. La station de Salah Bouchaour (Bh) est installée à 517 m, 36°29'21.72'' de latitude Nord et 006°37'12.99'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique humide. Elle est dominée par une végétation herbacée au bord d'un champ de culture. La pente est moyenne (9 - 25%), le drainage est bon, sol humide non exposé à l'inondation, d'une porosité faible et texture argileuse à structure grumeleuse, présence des racines et M.O décomposée, l'effervescence à l'HCL est moyenne.
17. La station de Sidi maarouf (Sm) est positionnée à proximité du barrage de Beni haroune à une altitude de 71 m, 36°39'09.93'' de latitude Nord et 006°16'50.44'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique sub humide. Elle est dominée par une végétation herbacée, au voisinage d'un champ de cultures et des arbres de peuplier blanc. Le drainage est bon, la pente est faible (0 - 9%), non exposés à l'inondation, le sol est très humide à porosité forte, il est peu de caillouteux, sa texture est argileuse, la litière et la M.O sont importantes et l'effervescence à l'HCL est forte.
18. La station de Mila (MI) se situe à 426 m d'altitude, 36°27'22.03'' de latitude Nord et 006°15'47.40'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique sub humide. Il s'agit d'une jachère avec une végétation herbacée, caractérisée par une pente faible (0 - 9%), un bon drainage, un sol humide non exposé à l'inondation, à forte porosité et

une texture argileuse à structure grumeleuse, présence de la M.O décomposée, l'effervescence à l'HCL est forte.

19. La station de **Tassadane (Tsd)** s'installe à 581 m d'altitude, 36°30'18.69'' de latitude Nord et 005°52'01.40'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique sub humide. Le site est couvert d'une végétation herbacée, d'une pente faible (0 – 9%) mais avec un bon drainage, non exposé à l'inondation, le sol est humide à forte porosité, avec la présence de cailloux nombreux et M.O décomposée, la texture est argileuse et une forte effervescence à l'HCL.
20. La station de **Redjas (Rj)** se place à 346 m d'altitude, 36°25'28.88'' de latitude Nord et 006°06'59.56'' de longitude Est, au Nord Est de la wilaya de Mila. Il s'agit d'un verger d'olivier en irrigué, avec une pente faible, un bon drainage (0 - 9%), le sol est bien humide, non exposé à l'inondation, à forte porosité, sa texture est argileuse à structure grumeleuse, présence de M.O décomposée, et son effervescence à l'HCL est forte.
21. La station de **Rouached (Rc)** se situe à 517 m, 36°27'42.18'' de latitude Nord et 006°02'29.51'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique sub humide. Elle est caractérisée par la présence d'une végétation herbacée et plantation d'arbres, une pente est assez forte (25 - 49%), non exposée à l'inondation, drainage bon ; sol assez à moyennement humide, porosité forte, présence de pierre, une texture argileuse, présence des racines et M.O décomposée, effervescence à l'HCL forte.
22. La station de **Ferdjioua (Fr)** est localisée à 571 m d'altitude, 36°24'53.11'' de latitude Nord et 005°57'23.42'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique sub humide. Echantillon pris à proximité d'une source d'eau, bordée d'arbres de peuplier. Le site est défini par une pente moyenne (9 - 25%), d'un bon drainage, non exposé à l'inondation, une forte porosité, présence de pierre, sol humide à moyennement humide, texture argileuse à structure fibreuse, présence de litière et M.O décomposée. L'effervescence à l'HCL est forte.
23. La station de **Athmania (Ath)** se positionne à 757 m d'altitude, 36°14'21.97'' de latitude Nord et 006°16'50.62'' de longitude Est, à l'ouest de la ville de Constantine, dans l'étage bioclimatique semi aride. Ce site est près d'une source d'eau à mauvais drainage, une pente faible (1 – 9 %), exposé à l'inondation. Le sol est très humide à porosité faible, présence de pierre, sa texture est argileuse collante, présence de M.O mal décomposée et l'effervescence à l'HCL est forte.

24. La station d'Aïn Trabe (Atr) est située à 997 m d'altitude, 36°02'47.42'' de latitude Nord et 004°51'55.17'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique semi aride, à l'ouest de la ville de Sétif. Elle est caractérisée par la présence d'une végétation herbacée à proximité d'un point d'eau, un drainage moyen, une pente moyenne (9 - 25%), un sol très humide non exposé à l'inondation, une forte porosité, une texture argileuse à structure grumeleuse, la présence de M.O importante et une forte effervescence à l'HCL.
25. La station de Bourj bouaririje (Bba) se localise à 995 m d'altitude, 36° 04' 31.0'' de latitude Nord et 004° 5' 32.9'' de longitude Est, à l'ouest de la ville de Sétif, dans l'étage bioclimatique semi aride. L'échantillon est pris dans une jachère dominée par une végétation herbacée, d'une pente faible (1- 9%), un bon drainage, un sol humide non exposé à l'inondation, à forte porosité et texture argileuse à structure grumeleuse, présence de M.O décomposée, il montre une forte effervescence à l'HCL.
26. La station d'Aïn agrout (Aag) est située à 913 m d'altitude, 36° 7'36.11'' de latitude Nord et 005° 5' 23.5'' de longitude Est à l'ouest de Bourdj bouaririje, dans l'étage bioclimatique semi aride. Il s'agit d'une prairie, à pente faible (1- 9 %) sous forme d'une cuvette à drainage faible. Le sol est très humide, submergé temporairement, à porosité faible et à texture argileuse, collante. La M.O est mal décomposée et l'effervescence à l'HCL est forte.
27. La station d'El-Eulma (Eu) est localisée à 950 m d'altitude, 36° 09' 18.1'' de latitude Nord, 005° 37' 59.6'' de longitude Est, à l'Est de Sétif, dans l'étage bioclimatique semi aride. Le site est dominé par une végétation herbacée à base des coquelicots à proximité d'un champ de culture en irrigué. La pente est faible (1 – 9%), le drainage est faible, le sol est humide et submergé temporairement d'une porosité faible, présence de M.O décomposée, la texture est argileuse, collante et l'effervescence à l'HCL est forte.
28. La station de Sétif (St) est limitée à 882 m d'altitude, 35°36'34.0'' de latitude Nord et 007°43'53.4'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique semi aride. Le prélèvement s'est effectué à proximité d'un champ de blé en irrigué caractérisé par un drainage bon, une pente faible (1 – 9%), un sol humide non exposé à l'inondation, à forte porosité et une texture argileuse à structure polyédrique. La M.O est importante et l'effervescence à l'HCL est forte.
29. La station de Souk Ahras (Sh) est positionnée à 900 m d'altitude, 36°17'52.4'' de latitude Nord et 007°53'53.14'' de longitude Est, au Sud Est de la zone d'étude, dans

l'étage bioclimatique semi aride. Il s'agit d'un champ de pâturage, bien drainé, d'une pente faible (1-9 %). Le sol est très humide non exposé à l'inondation, à forte porosité et à texture argileuse à structure grumeleuse. La M.O est importante et l'effervescence à l'HCL est forte.

30. La station de **Tajnanat** (Tj) se situe à 828 m d'altitude, 36° 07' 29,3'' de latitude Nord et 005° 01' 58,0'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique semi aride. La station est une jachère caractérisée par un drainage bon, une pente faible (1- 9 %), un sol humide, non exposé à l'inondation à porosité forte et texture argileuse. La M.O est importante et l'effervescence à l'HCL est forte.

31. La station de **Chelghoum** (Chg) se localise à 749 m d'altitude, 36°10'40.16'' de latitude Nord et 006°11'32.88'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique semi aride. Le sol est envahi par une végétation herbacée et quelques arbustes au bord d'un ravin. Il est défini par une pente moyenne (9 – 25%), un bon drainage, non exposé à l'inondation, une porosité forte, texture argileuse, M.O parfois mal décomposé et une forte effervescence à l'HCL.

32. La station de **Didouche** (Di) se situe à 745 d'altitude, 36°26'28.64'' de latitude Nord, 006°38'59.12'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique semi aride. Elle est caractérisée par une végétation herbacée, un bon drainage, une pente moyenne (9 – 25%), un sol humide non exposé à l'inondation, une porosité forte, présence de la M.O parfois mal décomposée et une effervescence forte à l'HCL.

33. La station de **Oued Seguane** (Os) se limite à 783 m d'altitude, 36 14' 54.0'' de latitude Nord et 006° 20' 49.2'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique semi aride. A proximité d'un champ de culture en irrigué, le sol est caractérisé par un drainage bon, une pente faible (1 – 9%), peut être exposé à l'inondation, humide, porosité forte, texture argileuse à structure grumeleuse, une M.O importante et une effervescence forte à l'HCL.

34. La station de **Constantine** (Cn) est localisée à 819 d'altitude, 36°18'54.58'' de latitude Nord et 006°34'12.61'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique semi aride. Elle est déterminée par une végétation herbacée, un drainage bon, une pente faible (1 – 9%), non exposé à l'inondation, un sol humide à forte porosité, texture argileuse sans structure, une M.O décomposé et une effervescence forte à l'HCL.

35. La station de **Azzaba** (Az) est située à 38 m d'altitude, 36°44'39.2'' de latitude Nord et 007°14'45.5'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique sub humide. Elle renferme une végétation herbacée et arbustive, le drainage est bon, la pente est faible

(1 – 9%), elle peut être exposé à l'inondation, le sol est humide à porosité forte et une texture argilo-limoneuse à structure particulaire, le substrat contient une M.O décomposé et son effervescence à l'HCL est faible.

36. La station de **Collo (Co)** est positionnée à 587 m d'altitude, 36°59'03.23'' de latitude Nord et 006°29'27.55'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique humide. Le site se caractérise par une végétation herbacée à proximité de la forêt de chêne liège, un drainage bon, une pente assez forte (25 – 49%), non exposé à l'inondation, un sol humide, une porosité forte, une texture argilo-sableuse à structure particulaire, une M.O bien décomposé et effervescence nulle à l'HCL.

37. La station de **Karkra (Kr)** est limitée à 25 m d'altitude, 36°55'34.60'' de latitude Nord et 006°35'00.37'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique humide. Le site s'individualise par une végétation herbacée et une forêt de chêne liège, un drainage bon, une pente assez forte (25 – 49%), non exposé à l'inondation, un sol humide, une porosité forte, une texture argilo-sableuse à structure particulaire, une M.O importante et effervescence à l'HCL nulle.

38. La station de **Ouled Hbaba (Oh)** est localisée à 722 m d'altitude, 36°28'06.19'' de latitude Nord, 006°54'40.71'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique sub humide. L'échantillonnage s'est effectué au milieu d'une forêt de chêne liège. Elle est définit par un drainage bon, une pente assez forte (25 – 49%), non exposé à l'inondation, un sol humide, une porosité forte, présence des pierres, une texture argilo-sableuse à structure particulaire, une M.O importante, présence de traces incendiées, et effervescence à l'HCL nulle.

39. La station de **Lahfayer (Lh)** se limite à 722 m d'altitude, 36°54'06.34'' de latitude Nord et 006°28'42.62'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique humide. Elle contient une végétation herbacée à côté d'une retenue d'eau. Le site est à drainage bon, une pente faible (1 – 9%), peut être exposé à l'inondation, porosité moyenne, sol très humide, texture argileuse à structure grumeleuse, une M.O décomposée et effervescence nulle à l'HCL.

40. La station de **Annaba (An)** est localisée à 4 m d'altitude, 36°51'52.3'' de latitude Nord et 007°43'03.2'' longitude Est, dans l'étage bioclimatique humide. Il s'agit d'une prairie au bord du lac Fetzara qui peut être submergée plus de 6 mois, un drainage mauvais, une pente nulle (0 - 1%), un sol très humide à porosité faible, une texture argileuse à gley, une M.O mal décomposée et effervescence faible à l'HCL.

41. La station de **Seraïdi (Sr)** est limitée à 729 m d'altitude, 36°55'05.58'' de latitude Nord et 007°39'47.60'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique humide. L'échantillonnage s'est effectué au milieu d'une forêt de chêne zeen. Le site est d'un drainage bon et une pente assez forte (25 – 49%), non inondé, d'un sol humide à porosité forte, une texture argileuse à structure particulière, une M.O décomposée et une effervescence nulle à l'HCL.
42. La station de **Boutelja (Bt)** est située à 28 m d'altitude, 36°47'06.3'' de latitude Nord et 008°12'20.4'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique humide. C'est une prairie d'une zone marécageuse, d'un mauvais drainage, une pente nulle (0 – 1%), un sol très humide, inondé pour une longue période, à porosité faible à texture argileuse, une M.O mal décomposée et une effervescence nulle à l'HCL.
43. La station de **El kala (Ek)** se localise à 76 m d'altitude, 36°53'36.9'' de latitude Nord et 008°25'32.32'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique humide. Elle renferme une végétation herbacée. Elle est de drainage faible, une pente nulle (0 – 1%), exposée à l'inondation, porosité moyenne, un sol très humide, une texture argilo-limoneux-sableuse à structure fibreuse, une M.O décomposée et effervescence nulle à l'HCL.
44. La station d'**El Ghorra (Eg)** est limitée à 734 m d'altitude, 36°40'52.36'' de latitude Nord et 008°28'35.97'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique humide montagnard. Il s'agit d'une forêt mixte de chêne zeen d'un bon drainage, une pente forte (49 – 10%), un sol humide, non inondé, à porosité forte et une texture argileuse à structure grumeleuse, il contient une litière importante et l'effervescence à l'HCL est nulle.
45. La station de **Oued Zenati (Ozn)** se situe à 669 m d'altitude, 36°19'006'' de latitude Nord et 007°11'13.2'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique semi aride. Elle est défini par une végétation herbacée, un drainage bon, une pente faible (1 – 9%), sol non exposé à l'inondation, humide à porosité forte et texture argileuse à structure polyédrique, une M.O importante et une effervescence forte à l'HCL.
46. La station de **Salaoua Anouna (San)** est positionné à 722 m d'altitude, 36°23'04.4'' de latitude Nord et 007°14'09.1'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique semi aride. Le site est caractérisé par une végétation herbacée, un drainage bon, une pente faible (1- 9 %), un sol humide non exposé à l'inondation, une porosité forte, une texture argileuse polyédrique, une M.O importante et une forte effervescence à l'HCL.

47. La station de Ras El Agba (Reg) est limitée à 798 m d'altitude, 36°22'19.8'' de latitude Nord et 007°13'57.8'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique semi aride. Elle est couverte d'une végétation herbacée à proximité d'un point d'eau. Elle est définie par drainage moyen, une pente faible (1- 9%), un sol très humide peut être exposé à l'inondation, une porosité moyenne, une texture argileuse, une M.O décomposée et une forte effervescence à l'HCL.
48. La station de Guelma (Gu) se localise à 177 m d'altitude, 36°27'28.7'' de latitude Nord et 007°31'30.7'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique semi aride. Le prélèvement s'est effectué au bord d'une rivière provenant de Hamam Ouled Ali (eau chaude), le drainage est bon, la pente est faible (1- 9%), le sol est très humide, non exposé à l'inondation, d'une porosité forte, présence de pierre, cailloux et une couche blanchâtre calcaireuse, la texture est argileuse à structure particulière, la M.O est décomposée et l'effervescence à l'HCL est très forte.
49. La station de Aïn Fakroune (Af) est située à 831 m d'altitude, 35°56'57.54'' de latitude Nord et 006°54'21.33'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique semi aride. Il s'agit d'une pépinière à drainage bon, une pente nulle (0 - 1%), un sol humide non exposé à l'inondation, d'une forte porosité et une texture argileuse à structure grumeleuse, une M.O décomposée et une forte effervescence à l'HCL.
50. La station de Aïnkhercha (Ak) se positionne à 831 m d'altitude, 35°55'45.95'' de latitude Nord et 006°42'56.36'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique semi aride. Le site est une zone de pâturage, dominé par une végétation herbacée à proximité d'une retenue d'eau, d'un drainage faible, une pente faible (1 – 9 %), un sol très humide exposé à l'inondation, d'une porosité faible, une texture argileuse à gley, une M.O mal décomposée et une forte effervescence à l'HCL.
51. La station de Aïnmlila (Am) se situe à 763 m d'altitude, 36°03'16.26'' de latitude Nord et 006°35'51.88'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique semi aride. Relevé pris à côté d'un champ de culture où un drainage bon, une pente faible (1 – 9%), non exposé à l'inondation, un sol très humide forte porosité, une texture argileuse à structure grumeleuse, une M.O décomposée et une forte effervescence à l'HCL.
52. La station de Aïnzitoune (Azt) est localisée à 850 m d'altitude, 35°47'43.02'' de latitude Nord et 007°06'57.97'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique semi aride. A proximité d'un verger d'abricotier et une végétation à base d'*Atriplexe halimus* d'un drainage bon, une pente faible (1- 9%), un sol très humide non,

halomorphe non exposé à l'inondation, d'une porosité forte, une texture limono-argileuse à structure particulière, une M.O faible et une forte effervescence à l'HCL.

53. La station de Tazougart (Taz) est située 1114 d'altitude, 35°22'29.54'' de latitude Nord et 007°13'33.43'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique semi aride. L'échantillonnage s'est effectué à proximité d'un champ de culture en irrigué, d'un drainage bon, une pente faible (1- 9%), sol très humide non exposé à l'inondation à porosité moyennement forte, une texture argileuse collante à structure grumeleuse, une M.O faible et une forte effervescence à l'HCL.

54. La station de Babar (Bab) est positionnée à 1065 m d'altitude, 35°55'05.58'' de latitude Nord et 006°42'56.36'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique semi aride, à proximité d'un barrage d'eau. Elle est caractérisée par une végétation herbacée d'un bon drainage, d'une pente faible (1- 9%), un sol très humide, non exposé à l'inondation, une porosité moyennement forte d'une texture argileuse collante à structure grumeleuse, une M.O faible et une forte effervescence à l'HCL.

55. La station de Tebessa (Tb) est placée à 994 m d'altitude, 35°22'44.59'' de latitude Nord et 008°06'18.62'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique semi aride. Il s'agit d'un site à côté d'une rivière où se développe une végétation à base des roseaux, d'un drainage moyen, une pente faible (1- 9%), sol très humide peut être exposé temporairement à l'inondation, une porosité moyennement forte, M.O mal décomposée, une texture argileuse à clay et une forte effervescence à l'HCL.

56. La station de Telaghma (TL) se localise à 735 m d'altitude, 36°07'36,01'' de latitude Nord et 006°22'43.20'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique semi aride. Le site est couvert d'une végétation herbacée, d'un bon drainage, une pente faible (1- 9%), un sol humide, non exposé à l'inondation, d'une porosité forte, une texture argileuse à structure grumeleuse, une M.O faible et une forte effervescence à l'HCL.

57. La station de Ainyagout (Ayg) se situe à 830 m d'altitude, 35°42'47.9'' de latitude Nord et 006°20'26.3'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique semi aride. Elle est à proximité d'un champ de culture en irrigué, caractérisée par un drainage bon, une pente faible (1- 9%), un sol humide, non exposé à l'inondation, une porosité forte, une texture argileuse à structure grumeleuse, une M.O décomposée et une forte effervescence à l'HCL forte.

58. La station de Maskana (Ms) est localisée à 730 m d'altitude 35°47'38.9'' de latitude Nord et 006°29'59.71'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique semi aride. le site

est près du champ de culture en irrigué, d'un bon drainage, une pente faible (1- 9%), un sol humide, non exposé à l'inondation, une porosité forte, une M.O décomposée, une texture argileuse à structure grumeleuse et l'effervescence à l'HCL est forte.

59. La station d'Aïntouta (Att) est située à 914 m d'altitude, 35° 23' 12,16" de latitude Nord et 005° 53' 48,94" de longitude Est, dans l'étage bioclimatique semi aride. Le prélèvement est réalisé dans la pépinière d'ettarfa qui est définie par un drainage bon, une pente faible (0 -1 %), sol assez humide, non exposé à l'inondation d'une porosité forte, une texture argileuse à structure grumeleuse, une M.O bien décomposée et une forte effervescence à l'HCL.
60. La station de Khenchela (Kh) est limitée à 1162 m d'altitude, 35°25'59.35'' de latitude Nord et 007°08'17.14'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique semi aride. Le drainage est bon, la pente est faible (1- 9%), le sol est humide, non exposé à l'inondation, d'une forte porosité, une texture argileuse à structure grumeleuse, une M.O faible et une forte effervescence à l'HCL.
61. La station de Oued Zarif (Ozr) est localisée à 1239 m d'altitude, 35°17'450.64' de latitude Nord et 006°42'12.51'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique Montagnard dans le semi aride, au milieu de la forêt de Cèdre d'Atlas (échantillonnage effectué dans les bain de sanglier), le site est de drainage bon, une pnte forte (49 - 100%), sol assez humide non exposé à l'inondation, à forte porosité, une texture argileuse à structure particulière, M.O importante et une forte effervescence à l'HCL.
62. La station de Chechar (Ch) est caractérisée par une altitude de 1153 m d'altitude, 35°02'34.33'' de latitude Nord et 007°00'28.67'' de longitude Est, présence d'une végétation herbacée à côté d'un champ de culture en irrigué à proximité d'une rivière, un drainage bon, une pente faible (1 – 9 %), sol assez humide non exposé à l'inondation, une porosité forte, une texture limono sableuse, une M.O faible et une forte effervescence à l'HCL.
63. La station de El-Kantra (Gun) est limitée à 476 m d'altitude, 35°11'38.0'' de latitude Nord et 005°40'59.3'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique aride. Il s'agit de la palmeraie d'El-kantra, d'un drainage bon, une pente faible (1- 9%), un sol assez humide non exposé à l'inondation à forte porosité, une texture limono sableuse sans structure, une M.O faible et une forte effervescence à l'HCL.
64. La station de Biskra (Bsk) se situe à 321 m d'altitude, 35°05'36.8'' de latitude Nord et 005°35'10.1'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique aride, à proximité d'une

rivière. Elle est définie par un drainage moyen, une pente faible (1- 9%), un sol très humide non exposé à l'inondation, une forte porosité, présence de pierre, une texture limono sableuse, une M.O faible et l'effervescence à l'HCL est forte.

65. La station de Sidi Okba (SO) se positionne à 50 m d'altitude, 34°45'01'' de latitude Nord et 005°54'85'' de longitude Est, dans l'étage bioclimatique aride. Le prélèvement s'est effectué à proximité d'un champ de culture au milieu d'une palmeraie et une végétation à base de chou sauvage (*Moricandia arvensis*). Le site est caractérisé par un drainage bon, une pente nulle (0 – 1%), sol assez humide, non exposé à l'inondation, d'une forte porosité, une texture limono sableuse, une M.O faible et une forte effervescence à l'HCL.

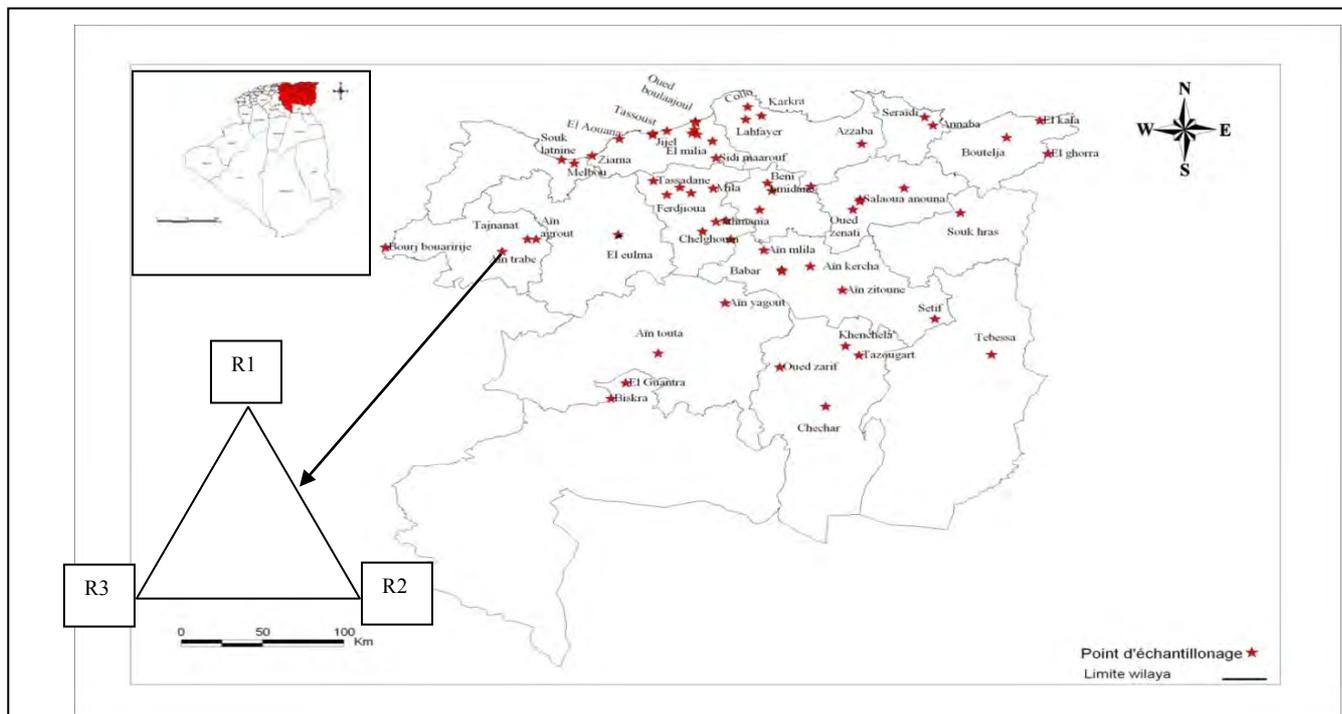
2.2.3. Plan d'échantillonnage

La figure 2.9, présente notre plan d'échantillonnage. Le prélèvement a été réalisé sur trois années (2009, 2010 et 2011), le plus souvent entre les mois de décembre et mars durant lesquels les sols sont bien humides et où les vers de terre sont actifs.

Dans le but d'adapter une méthode d'échantillonnage plus adéquate pour l'étude des lombriciens dans un milieu exposé à la sécheresse tel que l'Algérie, nous avons prélevés sur des superficies de 1x1 m² et à une profondeur de 30 - 50 cm à l'aide d'une pelle.

Pour l'étude de la biodiversité, nous avons pris en considération les 65 stations citées précédemment, où nous avons effectué trois prélèvements (R1, R2, R3) dans chacune, distant l'un de l'autre de 10 m formant un triangle équilatéral, soit $65 \times 3 = 195$ relevés.

En ce qui concerne la relation des paramètres lombriciens et édaphiques, nous n'avons retenu que 38 stations (Cf. Annexe 4), avec les trois relevés (R1, R2, R3) pour chacune, soit $38 \times 3 = 114$ relevés (pour des raisons liées au manque des données portant sur les paramètres édaphiques ainsi que le manque de répétitions pour quelques relevés ; car quelques échantillons du sol ont été gâchés).



Etage bioclimatique	Nombre de stations	Les stations retenues pour chaque étage bioclimatique										
		<i>Ts</i>	<i>Ans</i>	<i>Bb</i>	<i>Kn</i>	<i>Em</i>	<i>Obo</i>	<i>Blg</i>	<i>Anb</i>	<i>Ok</i>	<i>Bh</i>	<i>Aok</i>
humide	11	<i>Ts</i>	<i>Ans</i>	<i>Bb</i>	<i>Kn</i>	<i>Em</i>	<i>Obo</i>	<i>Blg</i>	<i>Anb</i>	<i>Ok</i>	<i>Bh</i>	<i>Aok</i>
humide montagnard	4	<i>Eg</i>			<i>Lh</i>			<i>Sr</i>			<i>Adk</i>	
sub humide	7	<i>Oh</i>	<i>Ml</i>		<i>Sm</i>	<i>Tsd</i>	<i>Rj</i>		<i>Rc</i>	<i>Fr</i>		
semi aride	6	<i>Di</i>		<i>Os</i>	<i>Ath</i>		<i>Af</i>	<i>Am</i>		<i>Ak</i>		
semi aride inférieure	6	<i>Taz</i>		<i>Bab</i>		<i>Azt</i>	<i>Ch</i>	<i>Kh</i>		<i>Tb</i>		
semi aride montagnard	1	<i>Ozr</i>										
aride	3	<i>Bsk</i>			<i>SO</i>				<i>Gun</i>			

Figure 2.9 : Le plan d'échantillonnage des lombriciens selon une direction Nord-Sud dans l'Est algérien.

2.2.4. Travaux de terrain et de laboratoire.

A. Prélèvement des sols et lombriciens : Les sols sont prélevés à la pelle. Les lombriciens collectés sont triés et comptés sur place selon leur stade de maturité (juvénile, sub adulte et adulte) et sont conservés dans des flacons remplis de formol à 4% ou d'éthanol à 96% (la conservation dans l'éthanol à 96 % permet d'utiliser, ultérieurement, la matière dans les

recherches de génétique et de biologie moléculaire). Les flacons sont numérotés et aussitôt stockés au froid dans des glacières avant d'être ramenés au laboratoire. Une quantité de 500 g de sol de chaque échantillon est prélevée entre 0 et 25 cm, pour réaliser quelques analyses physico-chimique.

B. Détermination et Taxonomie des vers de terre : La détermination des espèces s'est effectuée au laboratoire de Zoologie du Sol à l'Université Complutense à Madrid en se basant sur les clés de Álvarez (1971) et Bouché (1972) et les travaux spécifiques du Sud de l'Europe et le Nord de l'Afrique. Les principaux critères pris en considération sont la couleur, le type de prostomium, la position des pores masculins, les soies, le 1^{er} point dorsal, le clitellum, les tubercules pubescents, la présence ou non des glands de morren, la position des vésicules séminales et la position des spermahtèques.

Une partie du matériel est déposée comme collection au laboratoire de biologie et environnement de l'université Mentouri Constantine, et le reste à la criocollection du Département de Zoologie et Anthropologie de l'Université Complutense de Madrid. Ce matériel est fixé dans l'éthanol et conservé à -25C° pour des études ultérieures en utilisant des marqueurs moléculaires.

C. La Densité (ind/m²) et la biomasse (g/m²) : La densité a été déterminée par dénombrement des individus dans chaque prise par rapport à 1m². La pesée des vers de terre frais a permis d'obtenir la biomasse, exprimée en g/m² dans les différents prélèvements.

Les résultats sont rapportés en pourcentages de présence (PPA), d'abondance (PIA) et de biomasse (PBA), indiquant trois aspects différents de dominance. Pour définir quelles sont les espèces dominantes, nous avons utilisé le pourcentage de dominance combinée (PDC) dont l'expression est : $PDC = [(PPA + PIA + PBA)] / 3$ (Jesús et al. 1981). Ces pourcentages sont calculés pour l'ensemble de la zone étudiée ainsi que pour les différents étages bioclimatiques.

* (PPA = Le rapport exprimé en pourcentage entre les stations contenant une espèce donnée et l'ensemble des stations)

* (PIA = Le rapport exprimé en pourcentage entre le nombre d'individus d'une espèce donnée et le nombre total des individus de tous les relevés)

* (PBA = Le rapport exprimé en pourcentage entre le poids de tous les individus d'une espèce donnée et le poids total des individus de tous les relevés).

D. Méthodes d'analyses physico-chimiques des sols : 11 paramètres édaphiques sont déterminés pour chacune des 38 stations retenues dans notre étude : pH, calcaire total (% CaCO₃), calcaire actif (Ca⁺⁺), conductivité électrique (CE), matière organique (% M.O), carbone organique total (% C), l'Azote total (%N), le rapport C/N et la texture : sable (S) limon (L) et argile (A). Les éléments pH, CE, CaCO₃, Ca⁺⁺, l'analyse granulométrique sont effectuées à l'université de Constantine, mais les variables N, M.O et C ont été analysés au laboratoire de Zoologie du Sol à l'Université Complutense à Madrid.

- **pH :** L'activité du sol, tout comme la disponibilité de la majeure partie des éléments nutritifs dépend du pH (Baize, 1989). La mesure du pH est effectuée à l'aide, d'un pH-mètre électro métrique (model WTW HI8014) étalonné avec deux solutions à pH connu (pH 4 et pH 10) à 20°C, dans une suspension de sol et d'eau distillée, dans un rapport (2/5), après agitation pendant 1 h, suivie d'un repos de 18 h, selon la norme (NF X 31-117 1999). Les valeurs d'interprétation du pH sont résumées dans le tableau 2.2 (BAIZE, 1989).

Tableau 2.2 : Echelle d'interprétation du pH.

pH eau	< 5,5	5,5 - 6,5	6,5 - 6,8	6,8 - 7,2	7,2 - 7,5	7,5 - 8,5	> 8,5
appreciation	Fortement acide	acide	Très légèrement acide	Voisin de la neutralité	Légèrement alcalin	Alcalin	Fortement alcalin

- **Le calcaire total (CaCO₃) :** Il est dosé par la méthode gazométrique, déterminé par la méthode du calcimètre de Bernard décrite par Duchaufour (1976). Cette technique est basée sur le dosage des carbonates dont la quantité est proportionnelle au volume de CO₂ dégagé lors de leur réaction avec l'acide chlorhydrique selon la réaction ci-dessous où une mole de CO₂ correspondant à une mole de CaCO₃ : «CaCO₃ + H₂O → CaCl₂ + H₂O + CO₂»

Les normes d'interprétation du taux de calcaire du sol sont résumées dans le tableau ci-dessous (Baize 1989).

Tableau 2.3 : Normes d'interprétation du taux de calcaire du sol (in BAIZE, 1989).

Taux du calcaire	< 1 %	1 à 5 %	5 à 25 %	25 à 50 %	50 à 80 %	> 80 %
appréciation	Non calcaire	Peu calcaire	Modérément calcaire	Fortement calcaire	Très fortement calcaire	Excessivement calcaire

- **Le calcaire actif (Ca^{++})** : la méthode de détermination du calcaire actif est composée de deux parties ; l'extraction de CaCO_3 actif de l'échantillon comme étant la fraction du calcaire précipitée à l'état d'oxalate de calcium par la méthode de DROUINEAU et le dosage par manganimétrie repose sur le titrage par oxydoréduction, en présence de KMnO_3 et H_2SO_4 .

- **La conductivité électrique (CE)** : Elle définit la quantité totale en sels solubles correspondant à la salinité globale du sol. Elle dépend de la teneur et de la nature des sels solubles présents dans ce sol (Baize, 1989). Elle est déterminée selon le rapport (1/5). La mesure est effectuée sur le surnageant obtenu après centrifugation, à l'aide d'un conductimètre (model WTW HI8014), les lectures sont exprimées en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

- **Le carbone organique (% C)** : le dosage est réalisé à partir de l'oxydation du glucose ($\text{Pm} = 180,16 \text{ g}$) par le bichromate de potassium ($\text{Cr}_2\text{O}_7\text{K}_2$) en milieu fortement acide (acide sulfurique). Le carbone est transformé en CO_2 et réduit en Cr_3^+ . La quantité de bichromate de potassium utilisée excède la quantité nécessaire pour l'oxydation du carbone à doser. La lecture est faite à partir d'un lecteur microplates (photo 2.5 et 2.6).



Photos 2.5 et 2.6 : Le lecteur microplate utilisé pour le dosage du carbone organique au laboratoire de zoologie du sol, Université de Madrid (Espagne) en 2010.

- **La Matière organique**: Le taux de matières organiques étant obtenu par la formule :

$$\ll \text{M.O} = \text{carbone organique (\%)} \times 1,72 \gg$$

L'appréciation du niveau de la matière organique se fait en fonction de la teneur du sol en argiles et celle du calcaire. Plus le sol est calcaire, plus il bloque les matières organiques, dont le taux doit donc être plus élevé qu'en sol non calcaire. Sur les sols riches en calcaires ou les sols irrigués dans un climat très chaud, la décomposition de la M.O est très rapide. Les principaux facteurs jouant sur l'évolution de la matière organique concernent la végétation (apport de résidus, composition de la plante), puis les facteurs climatiques (température/conditions

d'humidité) et les propriétés des sols (texture, teneur en argile, minéralogie, acidité). Les résultats sont exprimés en pourcentage, en se basant sur les informations rapportées dans le tableau 2.4.

Tableau 2.4 : Qualification des sols selon leurs taux de la M.O (in Soltner, 1992).

Matière organique	Qualification du sol	
< 1.4	Très pauvre en M.O	
1.4 < M.O < 2	Pauvre en M.O	
2 < M.O < 3	Argile < 22 %	Bien pourvu en M.O
	22 % < Argile < 30 %	Moyennement pourvu
	Argile > 30 %	Pauvre en M.O
3 < M.O < 4	Sol bien pourvu en M.O	
M.O > 4	Teneur élevée en M.O	

- **L'azote total (%N)** : Il permet de connaître la quantité totale d'azote dans le sol, c'est-à-dire l'azote organique et l'azote minéral.

- **L'azote organique (% N)** est dosé par la méthode kjeldahl où on transforme l'azote des composés organiques en azote ammoniacal par l'acide sulfurique concentrés, à l'ébullition, qui agit comme oxydant et détruit la matière organique. Le carbone et l'hydrogène se dégagent à l'état de gaz carbonique et l'eau. L'azote transformé en ammoniacque est fixé par l'acide sulfurique à l'état de sulfate d'ammonium. Puis l'ammoniacque est distillée dans une solution d'acide borique. On titre avec une solution d'acide sulfurique à 0.02 N.

- **Le dosage de l'azote minéral** : le NH_4^+ échangeable et NO_3^- sont extraits du sol par le KCl. Le NO_3^- et NO_2^- se transforment en NH_4^+ par réduction avec l'alliage de Dewarda et les deux formes d'azote minéral sont alors dosées par distillation au Büchi, en présence d'oxyde de magnésium calciné puis titrées avec l'acide sulfurique (AUBERT, 1978).

Pour l'interprétation de l'azote, nous avons adopté les normes proposées par Calvet et Vellemin, 1986, (Tab 2.5).

Tableau 2.5 : Normes d'interprétation pour l'azote total (%N) (in Soltner, 1992).

Azote (%)	Très pauvre	Pauvre	Moyen	Riche	Très riche
Kjeldahl	< 0,05	0,05- 0,1	0,1- 0,15	0,15- 0,25	> 0,25

- **La granulométrie** : elle est effectuée au niveau du laboratoire du sol de l'ANRH (Agence National des Ressources Hydriques) de Constantine. Elle a pour but de déterminer le pourcentage des différentes fractions de particules minérales constituant les agrégats (argiles, limons et sables). Elle a été effectuée par la méthode de tamisage à sec après lavage qui consiste à séparer les grains agglomérés par brassage sous l'eau, à fractionner ce sol, une fois séché puis tamisé au moyen d'une série de tamis. La masse de refus cumulée sur chaque tamis est rapportée à la masse totale sèche de l'échantillon. Les particules fines à très fins sont séparées par sédimentation dans un milieu liquide en utilisant la méthode internationale à la pipette de ROBINSON améliorée par AFNOR (1994). L'interprétation des résultats est effectuée après avoir représenté les données sur un triangle textural (Cf. Annexes 5).

2.2.5. Analyse des données.

La matrice des données (variables lombriciennes et édaphiques) est traitée à l'aide du logiciel Statistica version 6 pour effectuer des tests issus d'une Analyse de la Variance ANOVA sur chacune des variables mesurées et une MANOVA en considérant toutes les variables à la fois. Nous avons effectué également, une Analyse des Corrélations Canoniques pour étudier l'effet des variables lombriciennes sur les variables édaphiques et une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) à l'aide du logiciel XLSTAT.

Dans un premier temps, nous avons commencé par le calcul de la matrice des corrélations entre les différents caractères mesurés : caractères lombriciens et édaphiques.

Nos données sont structurées selon un échantillonnage effectué sur 7 étages bioclimatiques (h, hm, sh, sa sa I, sa m et a) chacun composé de plusieurs stations. 17 variables (Jv, Sa, Ad, Ds, Biom, Biodiv, pH, CE, CaCO₃, Ca⁺⁺, M.O, C, N, C/N, A, S et L) pour chaque étage sont prises en compte. Ainsi donc nos données peuvent-être analysées par un modèle d'ANOVA hiérarchique où le facteur principal est l'étage climatique et le facteur station lui est hiérarchique. Plus précisément, le modèle posé est donc :

$$Y_{esr} = \mu + \alpha_e + \beta_{s/e} + \epsilon_{esr}, \text{ où :}$$

μ = effet moyenne ; α_e = effet étage bioclimatique ;

$\beta_{s/e}$ = effet station dans l'étage bioclimatique.

Sachant que : e = 1 à 7 (étages) ; s = 1 à J (e) et la répétition r = 3.

On se propose de vérifier l'homogénéité des étages ; cela constitue l'hypothèse statistique H_0 . Dans le cas du rejet de l'hypothèse H_0 , nous procédons à un classement des étages selon le caractère considéré.

Nous procéderons aussi à une MANOVA en considérant toutes les variables mesurées à la fois afin de tenir compte des éventuelles interactions entre elles et classer globalement les étages. Dans ce cas, le test de Wilks est utilisé.

Une analyse des corrélations canoniques a aussi été effectuée afin de révéler d'éventuelles influences entre les deux tableaux des variables (T1 pour les lombriciens ; T2 pour le sol).

Une Analyse Canonique des Correspondances (ACC) a été réalisée pour détecter les regroupements éventuels des espèces recensées dans la région d'étude ayant un comportement similaire par rapport à l'ensemble des variables lombriciennes et édaphiques à la fois. Cette analyse a été complétée par une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) dont l'objectif est d'affirmer la stabilité des groupes obtenus à partir de l'ACC.

Une carte de répartition des espèces lombriciennes en fonction des précipitations, est élaborée après une interpolation des données climatiques (précipitations) de l'Est algérien obtenues de l'O.N.M de Constantine pour la période de 27 ans (1985-2012). L'élaboration de la carte des précipitations repose sur la conversion des données en format vecteur vers un format raster. Après avoir intégrés les données dans le SIG, nous procédons à une analyse spatiale (spatial analysis) par le model (IDW) (Inverse distance weighted) en utilisant le logiciel Arcgis10.

Chapitre 3 : Résultats et Discussion

3.1. Interprétation des résultats.

Avant de commencer l'analyse statistique des paramètres abiotiques (propriétés du sol) et biotiques (lombriciens), nous avons effectué le test de Shapiro-Wilk (W) afin de vérifier si ces données suivent une loi normale ou non.

D'après le tableau 3.1 et l'annexe 5, la p-valeur calculée est inférieure au niveau de signification alpha (α) = 0,05 pour l'ensemble des variables (Ad, Sa, Jv, Ds, Biom, Biodiv, pH, CE, CaCO₃, Ca⁺⁺, C, N, C/N, M.O, S et L), ainsi l'hypothèse nulle H₀ (l'échantillon suit une loi normale) est rejetée et l'hypothèse alternative H_a (L'échantillon ne suit pas une loi Normale) est retenue. Cependant pour les échantillons de l'argile (A), le test est significatif ($p > 0,05$), donc l'hypothèse H_a pour cette variable est rejetée et le H₀ retenue.

Etant donné que la taille des observations est égale à 114 (Cf. Annexe 4) c'est-à-dire $n > 30$, nous allons les traiter donc en tests paramétriques même si elles ne suivent pas une loi normale.

Tableau 3.1 : Le test de Shapiro-Wilk (W) de normalité.

Variables	W (Shapiro-Wilk)	p	α	Si $p > \alpha \implies$ les échantillons suivent une loi normale	
Ad	0,79674	0	0,05	p<0,05	≠ normale
Sa	0,8789	0	0,05	p<0,05	≠ normale
Jv	0,94075	0,00007	0,05	p<0,05	≠ normale
Ds/m2	0,96093	0,00212	0,05	p<0,05	≠ normale
Biom/m2	0,94329	0,00011	0,05	p<0,05	≠ normale
Biodiv	0,77188	0	0,05	p<0,05	≠ normale
pH	0,87919	0	0,05	p<0,05	≠ normale
CE	0,72425	0	0,05	p<0,05	≠ normale
CaCO₃	0,90953	0	0,05	p<0,05	≠ normale
Ca⁺⁺	0,79323	0	0,05	p<0,05	≠ normale
C%	0,94845	0,00025	0,05	p<0,05	≠ normale
N%	0,8384	0	0,05	p<0,05	≠ normale
C/N	0,73051	0	0,05	p<0,05	≠ normale
M.O	0,94845	0,00025	0,05	p<0,05	≠ normale
S	0,96325	0,00321	0,05	p<0,05	≠ normale
A	0,99129	0,68823	0,05	p>0,05	normale
L	0,95896	0,00148	0,05	p<0,05	≠ normale

3.1.1. Compartiment abiotique : Variabilité des paramètres édaphiques selon le transect Nord-sud.

I. Le pH.

Les valeurs moyennes de pH à travers le transect Nord-sud (Cf. Annexe 7) varient de $6,52 \pm 0,67$ (très légèrement acide ; étage humide montagnard) à $8,12 \pm 0,31$ (alcalin ; étage semi aride inférieure). L'analyse de la variance à un facteur montre que l'effet étage bioclimatique est significatif ($F = 14,6994$; $p < 0,0000$) (Tab. 3.2). De même, le test de Levène d'homogénéité est significatif à $F = 12,4005$ et $p < 0,0000$ (Tab. 3.3).

Tableau 3.2 : Analyse de la Variance (Effets significatifs marqués à $p < .05000$).

	SC Effet	dl Effet	MC Effet	SC Erreur	dl Erreur	MC Erreur	F	p
pH	34,16	6	5,693	41,44	107	0,3873	14,69945	0,000000
CE	33,67	6	5,612	31,67	107	0,2959	18,96145	0,000000
CaCO₃	51904,34	6	8650,72	40094,33	107	374,71	23,09	0,000000
Ca⁺⁺	496,07	6	82,678	688,34	107	6,4330	12,85214	0,000000
C%	36,04	6	6,007	100,70	107	0,9411	6,38251	0,000009
N%	6,79	6	1,132	37,87	107	0,3540	3,19805	0,006301
C/N	179,43	6	29,906	1066,00	107	9,9626	3,00180	0,009464
M.O%	106,62	6	17,771	297,92	107	2,7843	6,38251	0,000009
S	3050,36	6	508,394	28967,69	107	270,7261	1,87789	0,091196
A	3726,79	6	621,132	23066,11	107	215,5711	2,88133	0,012137
L	670,45	6	111,741	11362,74	107	106,1939	1,05224	0,396035

Tableau 3.3 : Test de Levène d'Homogénéité des Variances (Effet : Etage bioclimatique, degrés de liberté pour tous les F : 6, 107).

	MC Effet	MC Erreur	F	p
pH	1,0540	0,0850	12,40056	0,000000
CE	1,4303	0,1187	12,05271	0,000000
CaCO₃	426,9346	116,0643	3,67843	0,002319
Ca⁺⁺	17,4733	2,3311	7,49585	0,000001
C%	2,4165	0,2628	9,19432	0,000000
N%	0,1270	0,1653	0,76844	0,596356
C/N	21,6922	4,0147	5,40312	0,000065
M.O%	7,1489	0,7775	9,19432	0,000000
S	545,1169	77,2677	7,05491	0,000002
A	133,1513	65,0471	2,04700	0,065616
L	70,0500	37,4826	1,86887	0,092795

Le test LSD de Fisher révèle quatre groupes : le 1^{er} (a) englobe les étages bioclimatiques sub humide (sh ; pH = 7,73 ± 0,84), semi aride (sa ; pH = 8,05 ± 0,38), semi aride inférieure (sa I ; pH = 8,12 ± 0,31) et l'aride (a ; pH = 8 ± 0,32) ; le 2^{ème} (b) regroupe l'étage bioclimatique humide (h ; pH = 7,13 ± 0,85) ; le 3^{ème} (ab) contient l'étage semi aride montagnard (sa m ; pH = 7,37 ± 0,84) et enfin le 4^{ème} groupe (c) est relié à l'étage humide montagnard (hm ; pH = 6,52 ± 0,62) (Fig. 3.1).

Ces résultats s'expliquent par la nature de la roche mère, généralement gréseuse, responsable de la formation des substrats acides sur la partie Nord du pays (h, hm) et des sols plus calcaires vers l'intérieur (sh, sa) et au Sud (sa I, S m et a). A cela s'ajoute la quantité des précipitations, plus élevée au Nord, qui jouent un rôle dans le lessivage des sols. La diminution de la moyenne dans l'étage « semi aride montagnard » est probablement liée à la formation végétale dominante à base du cèdre d'Atlas (*Cedrus atlantica*) dont les aiguilles favorisent l'acidité après leurs décompositions.

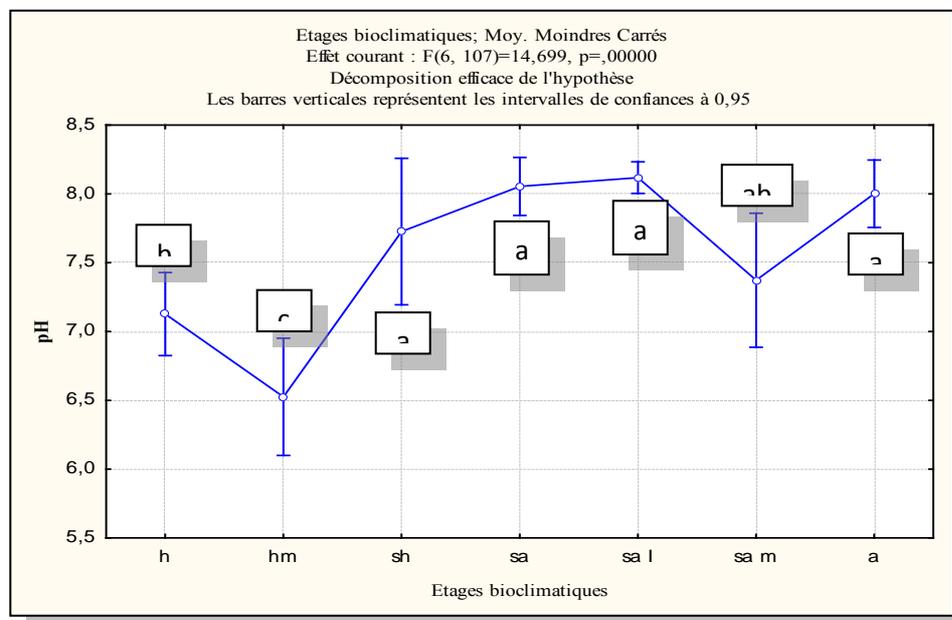


Figure 3.1 : Variabilité des moyennes et groupes homogènes, de la variable pH par rapport au facteur étage bioclimatique.

« h : humide, hm : humide montagnard, sh : sub humide, sa : semi aride, sa I : semi aride inférieure, sa m : semi aride montagnard, a : aride, clim : étage bioclimatique »

B. Le % CaCO₃.

Les valeurs du % CaCO₃ oscillent de 2,77 ± 6,16 % (sols non calcaires ; étage humide montagnard) à 65,78 ± 18,39 % (très fortement calcaires ; semi aride inférieure) (Cf. Annexe7). Le test ANOVA ainsi que le test de Levène d'homogénéité sont significatifs (Tab. 3.1 et 3.2).

Le test de Fisher (Fig. 3.2) détermine 5 groupes : le 1^{er} (b) comprend les sols de l'étage humide montagnard ($\%CaCO_3 = 2,78 \pm 6,17 \%$), le 2^{ème} (c) contient les substrats de l'étage humide ($\%CaCO_3 = 17,61 \pm 20,99 \%$), le 3^{ème} (abc) est définis par le semi aride montagnard ($\%CaCO_3 = 24,00 \pm 3,60 \%$), le 4^{ème} englobe les étages sub humide ($\%CaCO_3 = 38,25 \pm 25,47 \%$), semi aride ($\%CaCO_3 = 29,64 \pm 19,62 \%$) et aride ($\%CaCO_3 = 39,22 \pm 19,96 \%$) et enfin, le 5^{ème} (d) est représenté par le semi aride inférieure ($\%CaCO_3 = 65,78 \pm 18,39 \%$).

Cette hétérogénéité est le résultat de la diversification de la roche mère qui devient plus calcaireuse vers l'intérieure et le sud du terrain d'étude.

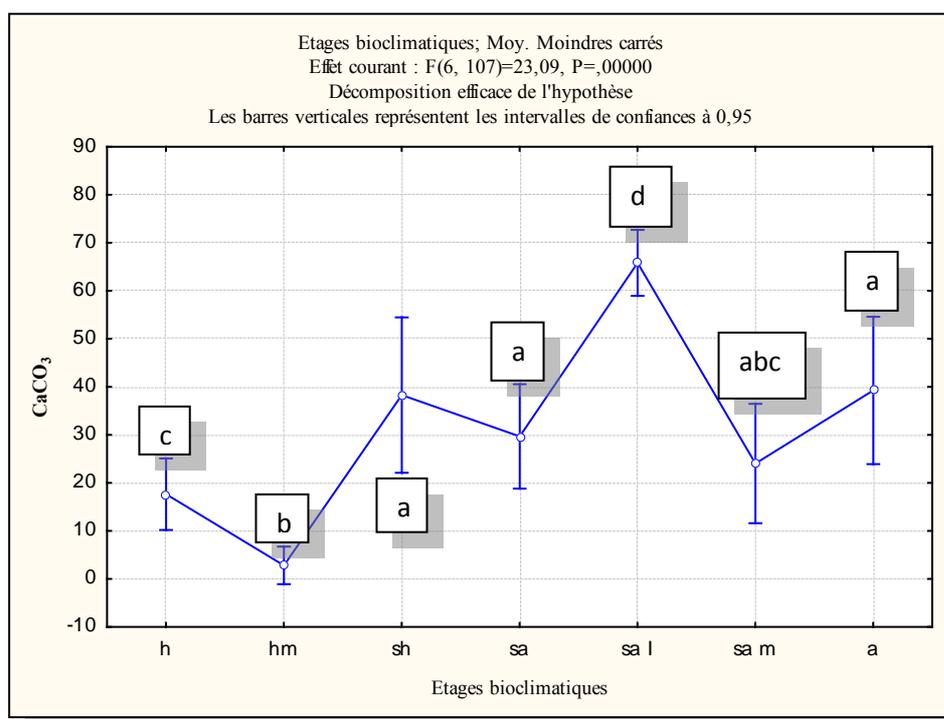


Figure 3.2 : Variabilité des moyennes et groupes homogènes de la variable $\% CaCO_3$ par rapport au facteur étage bioclimatique.

C. La conductivité électrique (CE $\mu S/cm$).

Les moyennes de cette variable sont de l'ordre de $0,18 \pm 0,05 \mu S/cm$ (étage humide montagnard); $0,25 \pm 0,13 \mu S/cm$ (étage humide); $0,34 \pm 9,99 \mu S/cm$ (étage semi aride montagnard); $0,38 \pm 0,30 \mu S/cm$ (semi aride); $0,49 \pm 0,39 \mu S/cm$ (sub humide); $1,32 \pm 0,96 \mu S/cm$ (semi aride inférieure) et $1,76 \pm 0,36 \mu S/cm$ (à l'étage aride) (Cf. Annexe 7). Le test d'ANOVA montre des différences significatives pour les étages bioclimatiques ($F = 18,9614$; $p < 0,0000$) (Tab. 3.2), ainsi que le test de Levène d'homogénéité est significatif ($F = 12,0527$; $p < 0,0000$) (Tab. 3.3).

D'après le test d'homogénéité de Fisher, nous distinguons trois groupes : le 1^{er} (a) renferme les substrats des étages humide (CE = 0,26 ± 0,13 μS/cm), humide montagnard (CE = 0,19 ± 0,06 μS/cm), sub humide (CE = 0,50 ± 0,39 μS/cm), semi aride (CE = 0,39 ± 0,31 μS/cm) et le semi aride montagnard (CE = 0,34 μS/cm) ; le 2^{ème} (b) est représenté par les sols du semi aride inférieure (CE = 1,32 ± 0,06 μS/cm) et enfin le 3^{ème} groupe (c) est lié à l'étage aride (CE = 1,76 ± 0,36 μS/cm) (Fig. 3.3).

L'ensemble des sols étudiés sont loin d'être salins, en effet les valeurs de la conductivité sont inférieures à 8 μS/cm (Fig. 3.3). Néanmoins, les valeurs sont élevées dans les sols situés dans les étages bioclimatiques semi arides et arides à cause de la présence des roches gypseux et la dispersion des chottes et des sebkhas, ainsi que les dépôts des sels sur la surface par le phénomène de capillarité à cause de l'évaporation.

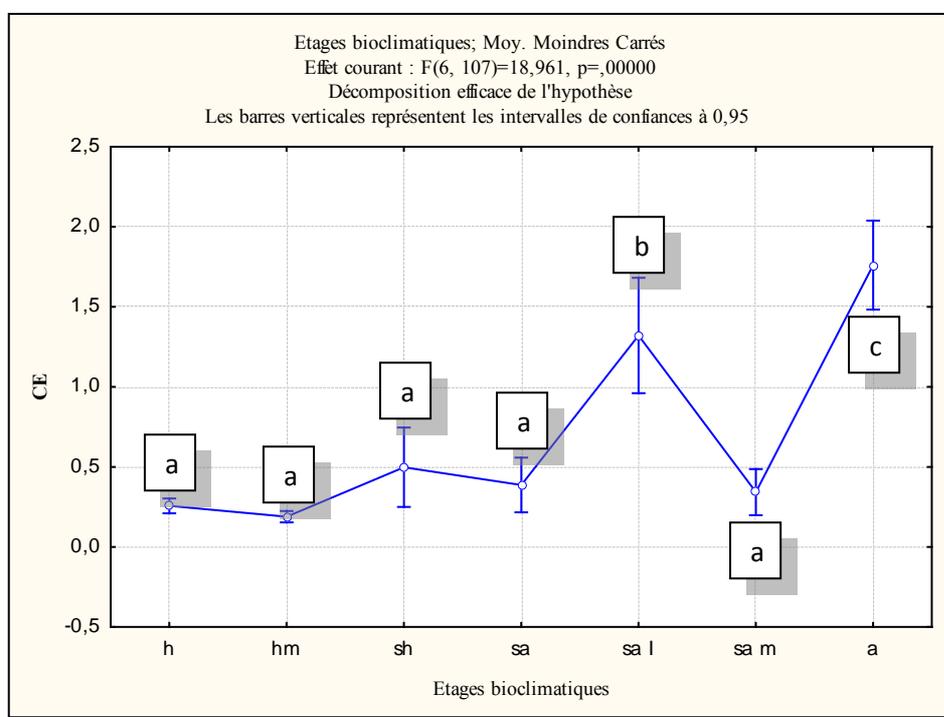


Figure 3.3 : La variabilité des moyennes et groupes homogènes de la variable CE (μS/cm) par rapport au facteur étage bioclimatique.

D. Le taux de calcaire actif.

Les moyennes de calcaire actif sont respectivement de l'ordre de 0,19 % ± 0,52 (hm) ; 0,91 ± 0,52 % (h) ; 0,93 ± 0,96 % (sa m) ; 3,03 ± 2,57 % (a) ; 3,06 ± 2,61 % (sa I) ; 3,67 ± 2,51 % (sh) et 7,09 ± 4,60 % (Sa) (Cf. Annexe 7). L'effet étage bioclimatique est significatif (F = 12,8521 ; p < 0,0000) (Tab. 3.2).

Quatre groupes sont exposés par le test de Fisher ; le groupe (a) qui renferme les étages sub humide ($\text{Ca}^{++} = 3,68 \pm 2,51 \%$), semi aride inférieure ($\text{Ca}^{++} = 3,07 \pm 2,61 \%$) et aride ($\text{Ca}^{++} = 3,03 \pm 2,57 \%$), le groupe (b) englobe les sols des étages bioclimatique humide ($\text{Ca}^{++} = 0,91 \pm 1,44 \%$) et humide montagnard ($\text{Ca}^{++} = 0,19 \pm 0,52\%$), le groupe (ab) est lié à l'étage semi aride montagnard ($\text{Ca}^{++} = 0,93\% \pm 0,97$) et enfin le groupe (c) est défini par l'étage semi aride ($\text{Ca}^{++} = 7,09 \pm 4,60\%$) (Fig. 3.4). D'une manière générale, les teneurs sont considérées comme faibles puisque les valeurs sont $< 5 \%$; sauf dans le sub aride où elles sont assez élevées ($5 < \text{Ca}^{++} < 10 \%$), certainement ces valeurs sont liées aux fortes teneurs en calcaire total dans cet étage bioclimatique.

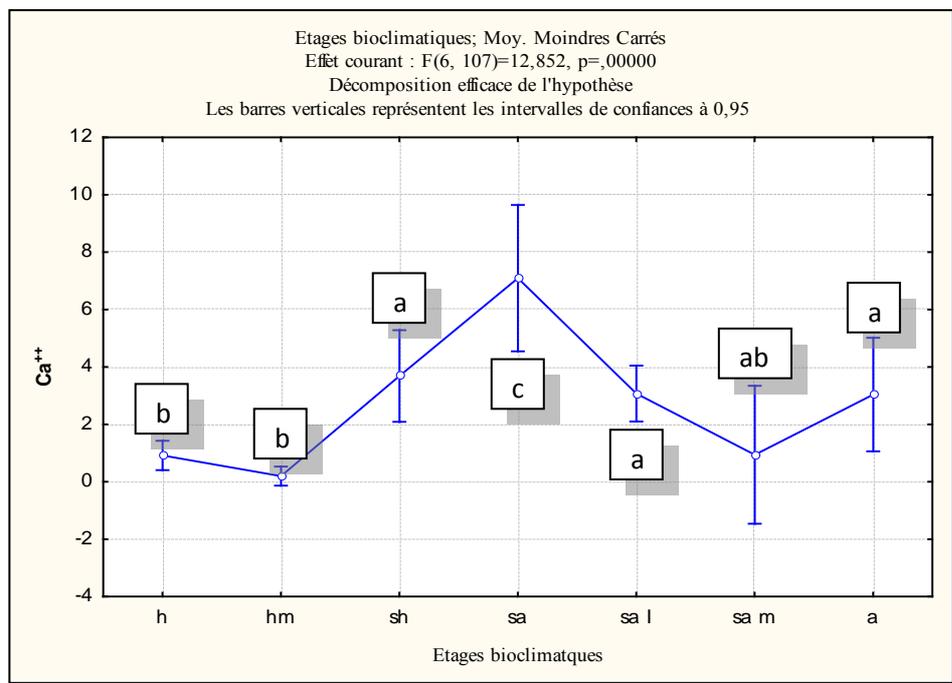


Figure 3.4 : La variabilité des moyennes et groupes homogènes de la variable Ca^{++} par rapport au facteur étage bioclimatique.

E. La Matière organique (%MO).

Les teneurs moyennes en matière organiques (Cf. Annexe 7) dans les différents étages bioclimatiques sont : $1,64 \pm 0,86 \%$ (aride) ; $3,16 \pm 1,19 \%$ (semi aride inférieure) ; $3,64 \pm 0,67 \%$ (semi aride montagnard) ; $3,84 \pm 0,70 \%$ (semi aride) ; $4,13 \pm 1,60 \%$ (humide) ; $5,20 \pm 2,18 \%$ (sub humide) et $5,25 \pm 3,12 \%$ (humide montagnard) où les taux d'argile sont respectivement de l'ordre de $31,40 \pm 11,54 \%$; $35,43 \pm 16,57 \%$; $17,66 \pm 5,50 \%$; $42,32 \pm 15,04 \%$; $38,71 \pm 16,01 \%$; $38,58 \pm 7,00$ et $49,57 \pm 13,68 \%$.

L'analyse de la variance ainsi que le test de Levene d'homogénéité indiquent un effet significatif des étages bioclimatiques respectivement avec les valeurs « $F = 6,38 ; p < 0,0000$ » et « $F = 9,19 ; p > 0,0000$ » (Tab. 3.2 et 3.3).

Le test de Fisher montre 6 groupes : le premier (a) correspond à l'étage semi aride inférieure (sa I ; M.O = $3,16 \pm 1,20$ %), le groupe (ab) englobe les substrats de l'étage semi aride (sa ; M.O = $3,85 \pm 0,71$ %), le groupe (cd) renferme les sols de l'humide (h ; M.O = $4,14 \pm 1,60$ %), le groupe (d) représente l'étage humide montagnard (hm ; M.O = $5,26 \pm 3,13$ %), le groupe (abcde) est lié au sub aride montagnard (sa m ; M.O = $3,64 \pm 0,68$ %) et enfin le groupe (e) est celui de l'étage aride (a ; M.O = $1,64 \pm 0,86$ %) (Fig. 3.5). Ce qui signifie que les sols localisées dans le climat aride sont pauvres en matière organique. Cependant celle du semi aride sont bien pourvues en matière organique et parfois même les teneurs sont élevées à très élevées. Les stations de la partie nord du terrain d'étude, caractérisées par les climats humide et sub humide, sont riches à très riche en matière organique, notamment dans les montagnes où s'installent les forêts feuillues de chêne liège et chêne zeen.

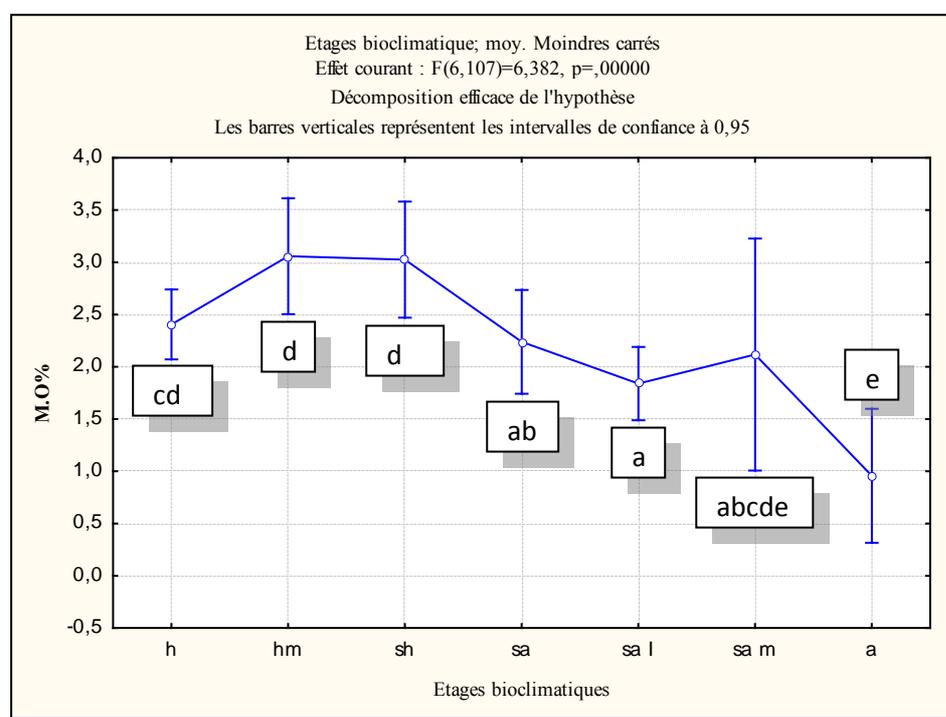


Figure 3.5 : Variabilité des moyennes et groupes homogènes de la variable % M.O par rapport au facteur étage bioclimatique.

F. L'Azote total (%N).

Les teneurs moyennes en azote sont de l'ordre de $0,50 \pm 0,48$ % à l'étage bioclimatique aride ; $0,64 \pm 0,59$ % à l'humide montagnard ; $0,74 \pm 0,61$ % au semi aride inférieure ; $0,76 \pm$

0,42 % à l'étage humide ; $0,85 \pm 0,49$ % au semi aride ; $1,22 \pm 1,00$ % à l'étage sub humide et $1,85 \pm 0,67$ % au semi aride montagnard (Cf. Annexe 7). L'analyse de la variance révèle des différences significatives par rapport aux différents étages bioclimatiques ($p < 0,0063$; 3,1980) (Tab. 3.2).

Le test d'homogénéité de Fisher montre 4 groupes : le 1^{er} (a) englobe les sols des stations des étages humide (N = $0,76 \pm 0,43$ %), sub humide montagnard (N = $0,65 \pm 0,60$ %), semi aride inférieure (N = $0,74 \pm 0,61$ %) et l'aride (N = $0,50 \pm 0,48$ %) ; le 2^{ème} (bc) est défini par le sub humide (N = $1,23 \pm 1$ %) ; le 3^{ème} (ab) contient le semi aride (N = $0,86 \pm 0,49$ %) et le 4^{ème} représente le semi aride montagnard (N = $1,86 \pm 0,67$ %) (Fig. 3.6).

Ces teneurs en azote sont très riches notamment sur les montagnes, elles sont liées aux grandes quantités de la matière organique qui joue un rôle important dans l'approvisionnement du sol en azote après sa minéralisation. Les valeurs élevées dans l'étage (sa m) s'interprète, probablement, par l'échantillonnage effectué dans la souille du sanglier, riche en urée.

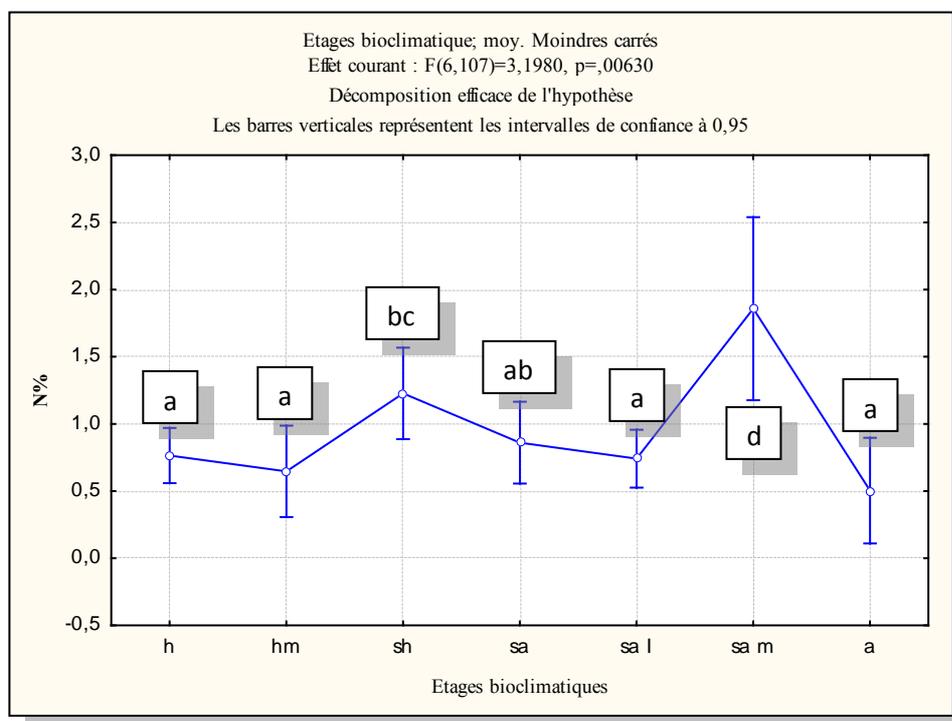


Figure 3.6 : Variabilité des moyennes et groupes homogènes de la variable %N par rapport au facteur étage bioclimatique.

G. Le rapport C/N.

Les moyennes sont de l'ordre de $1,69 \pm 0,09$; $2,93 \pm 1,33$; $3,48 \pm 1,06$; $4,24 \pm 3,37$; $4,66 \pm 3,06$; $5,35 \pm 3,94$ et $7,35 \pm 4,98$ respectivement aux étages bioclimatiques sa m, sa, sh, sa I, h, a et hm. Les différences sont significatives par rapport aux étages bioclimatiques ($F = 3,0018$; $p > 0,0094$) (Tab. 3.2). De même le test de Levene d'homogénéité confirme cette significativité (Tab. 3.3). Trois groupes se distinguent : le 1^{er} (a) contient les étages h, sh sa, sa I et sa m ; le 2^{ème} (b) renferme l'étage sub humide cependant le 3^{ème} (ab) est déterminé par l'étage aride (Fig. 3.7).

Les valeurs du rapport C/N dans les différents étages bioclimatiques présentent un rapport C/N faible (C/N inférieur à 10), ce qui traduit des conditions très favorables pour une bonne minéralisation de la matière organique suite à une bonne activité biologique.

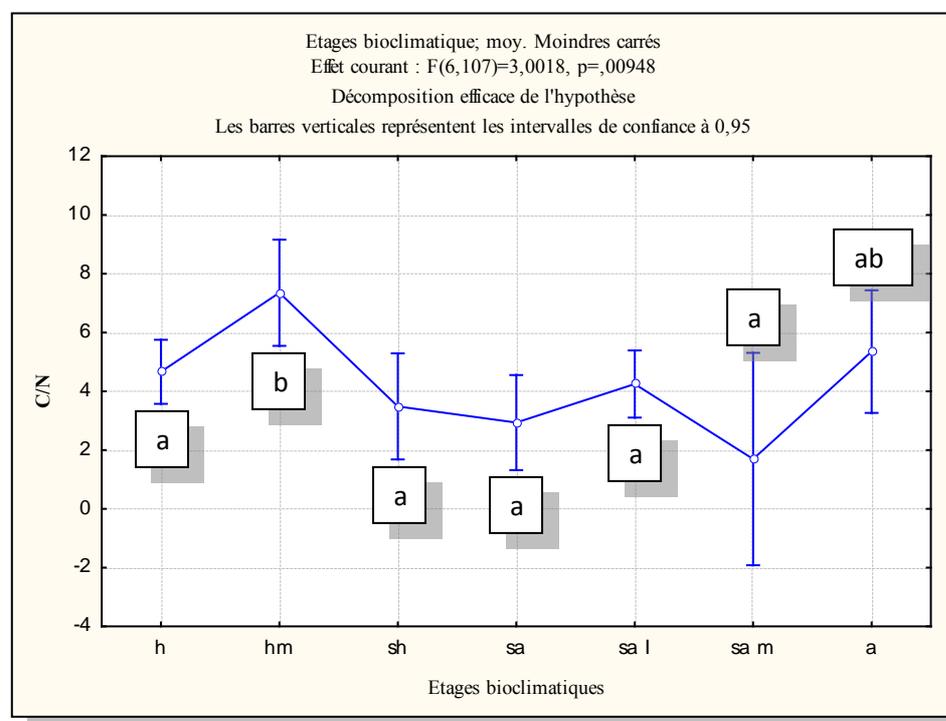


Figure 3.7 : Variabilité des moyennes et groupes homogènes de la variable C/N par rapport au facteur étage bioclimatique.

H. La fraction granulométrique.

D'après le tableau 3.2, les différences ne sont significatives que pour la fraction argileuse ($p < 0,0121$; $F = 2,8813$). Cependant le test de Levene d'homogénéité n'est pas significatif pour cette variable (Tab.3.3). Le test d'Homogénéité de Fisher montre 5 groupes : le groupe (a) est formé par l'étage bioclimatique sa I ($A = 35,43 \pm 16,57$ %) et h ($A = 38,71 \pm 16,02$ %) ; le

groupe (b) est constitué de l'humide montagnard ($A = 49,58 \pm 13,68 \%$), le groupe (c) est représenté par le semi aride montagnard ($A = 17,67 \pm 5,51 \%$), le (ab) regroupe le sub humide ($A = 38,58 \pm 7 \%$) et semi aride ($A = 42,32 \pm 15,02 \%$), le groupe (ac) est défini par l'étage aride ($A = 31,40 \pm 11,54 \%$) (Fig. 3.8).

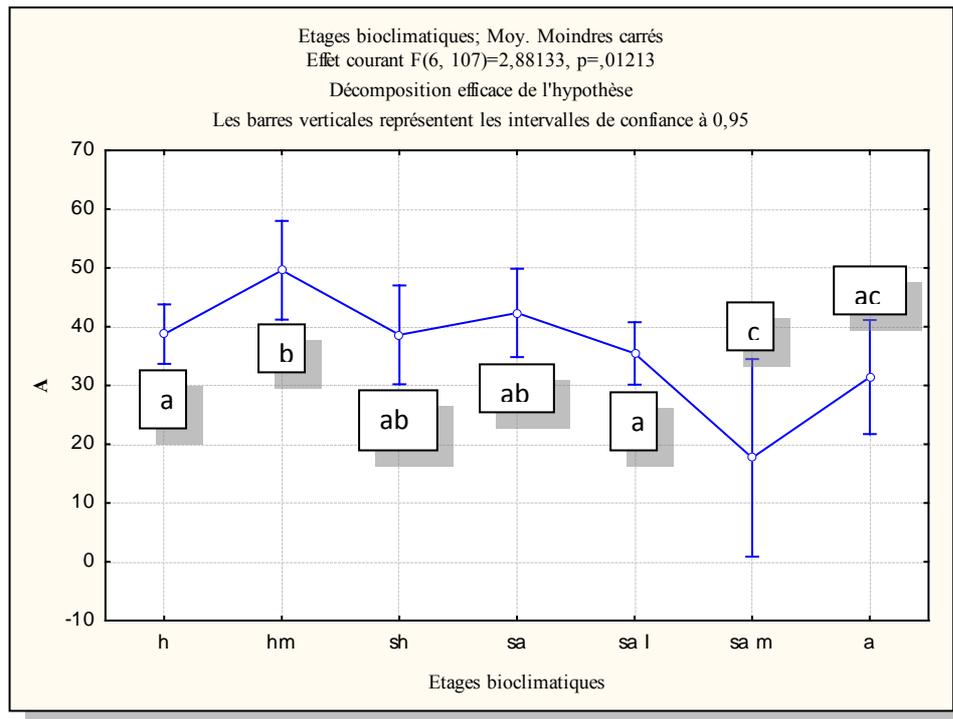


Figure 3.8 : La variabilité des moyennes et groupes homogènes de la variable Argile (% A) par rapport au facteur étage bioclimatique.

En ce qui concerne la fraction sableuse (%S), 5 groupes sont observés : le 1^{er} (b) est formé par l'étage bioclimatique sa m ($S = 52,56 \pm 9,63 \%$), le 2^{ème} (c) est défini par l'humide montagnard ($S = 27,59 \pm 13,07 \%$), le 3^{ème} (ab) regroupe les étages semi aride inférieure ($S = 38,90 \pm 23,59\%$) et l'aride ($S = 42,27 \pm 12,52 \%$), le 4^{ème} (ac) contient le subhumide ($S = 29,50 \pm 13,07\%$) et le 5^{ème} groupe (abc) englobe les deux étages humide ($S = 33,26 \pm 14,17 \%$) et semi aride ($32,78 \pm 14,17\%$) (Fig. 3.9).

Et enfin, 3 groupes se distinguent pour la fraction limoneuse (%L) ; le groupe (a) dans l'étage bioclimatique humide montagnard ($L = 22,83 \pm 8,75 \%$), le groupe (b) qui est définis par le sub humide ($L = 31,92 \pm 7,89 \%$) et le 3^{ème} (ab) rassemble les étages humide ($28,01 \pm 8,40\%$), semi aride ($24,90 \pm 10,06 \%$), semi aride inférieur ($25,67 \pm 12,56 \%$), semi aride montagnard ($29,67 \pm 4,04 \%$) et l'aride ($26,33 \pm 13,93 \%$) (Fig.3.10).

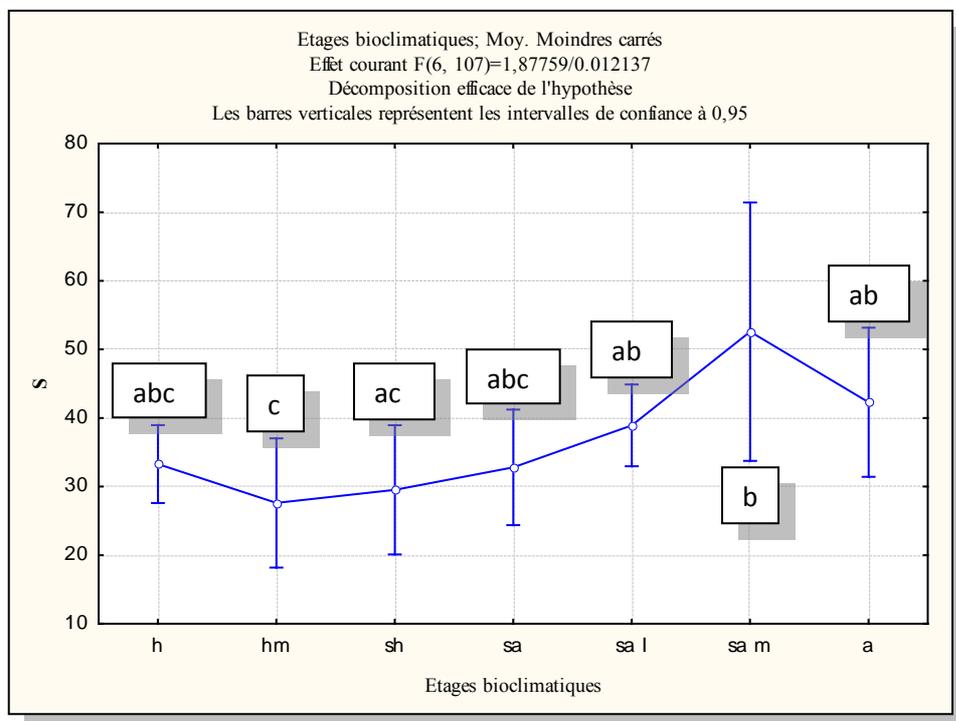


Figure 3.9 : La variabilité des moyennes et groupes homogènes de la variable Sable (% S) par rapport au facteur étage bioclimatique.

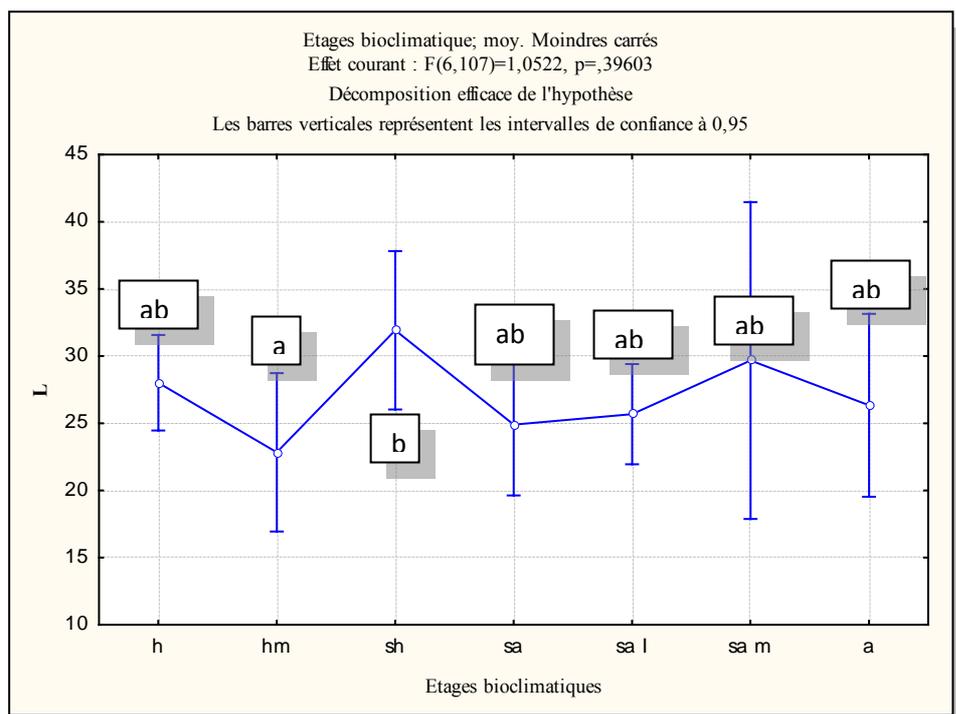


Figure 3.10 : La variabilité des moyennes et groupes homogènes de la variable Limon (%L) par rapport au facteur étage bioclimatique.

La figure 3.11 et les triangles texturaux (Cf. Annexes 5) permettent de dévoiler 9 classes texturales dans l'ensemble du terrain d'étude. Leurs fréquences sont de l'ordre de 36,84% (argileuse = A) ; 27,19 % (limono-argileuse = La) ; 15,79 % (limono-argileux sableuse = Las) ; 9,65 % (limono-sableuse = Ls) ; 5,26 % (argilo-limoneuse = Al) ; 1,75 % (argilo-sableuse = As) ; 1,75 % (limono-argileuse fine = Laf) ; 0,88 % (limoneuse = L) et 0,88 % (limoneuse fine = Lf) (Fig. 3.11). Soit trois types de texture ; argileuse, équilibrée et limoneuse dont les pourcentages de leurs fréquence sont de l'ordre de 73 %, 26 % et 1 % (Fig. 3.12).

L'ensemble de ces classes texturales sont caractéristiques de l'Algérie de l'Est, elles se situent dans un complexe morpho structurale qui donne sur une lithologie dominée par les textures limoneuses et sableuse dans les étages bioclimatiques aride et semi aride inférieur et les textures argileuse et équilibrées dans les étages bioclimatiques humide, sub humide et semi aride.

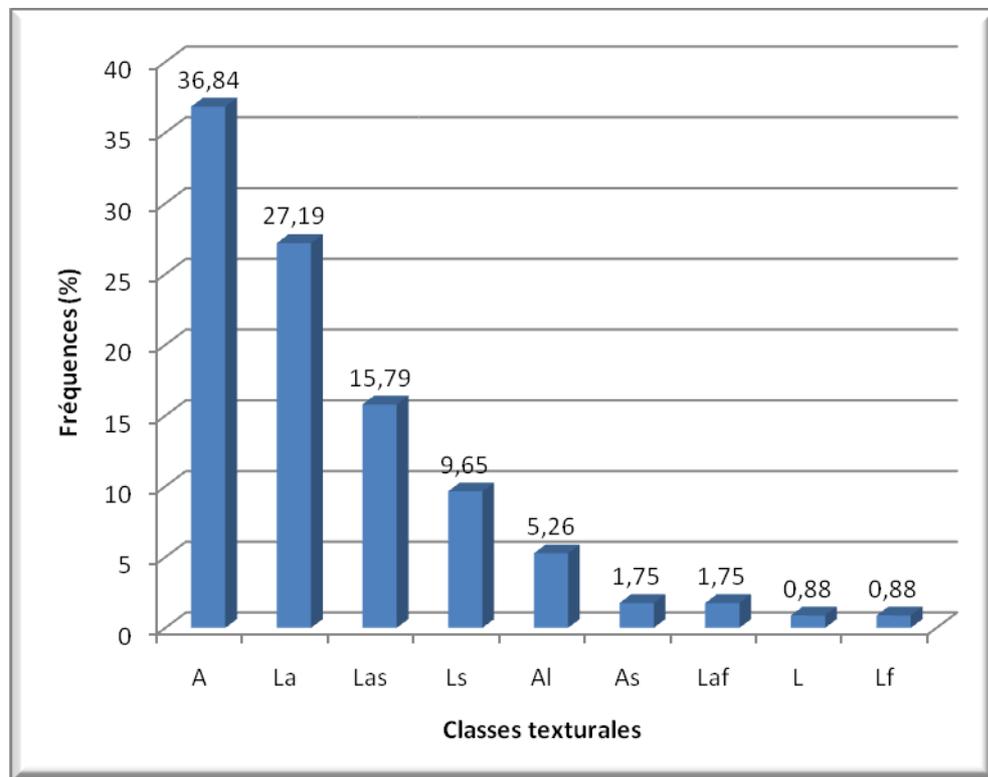


Figure 3.11 : Fréquences (%) des classes texturales dans le terrain d'étude.

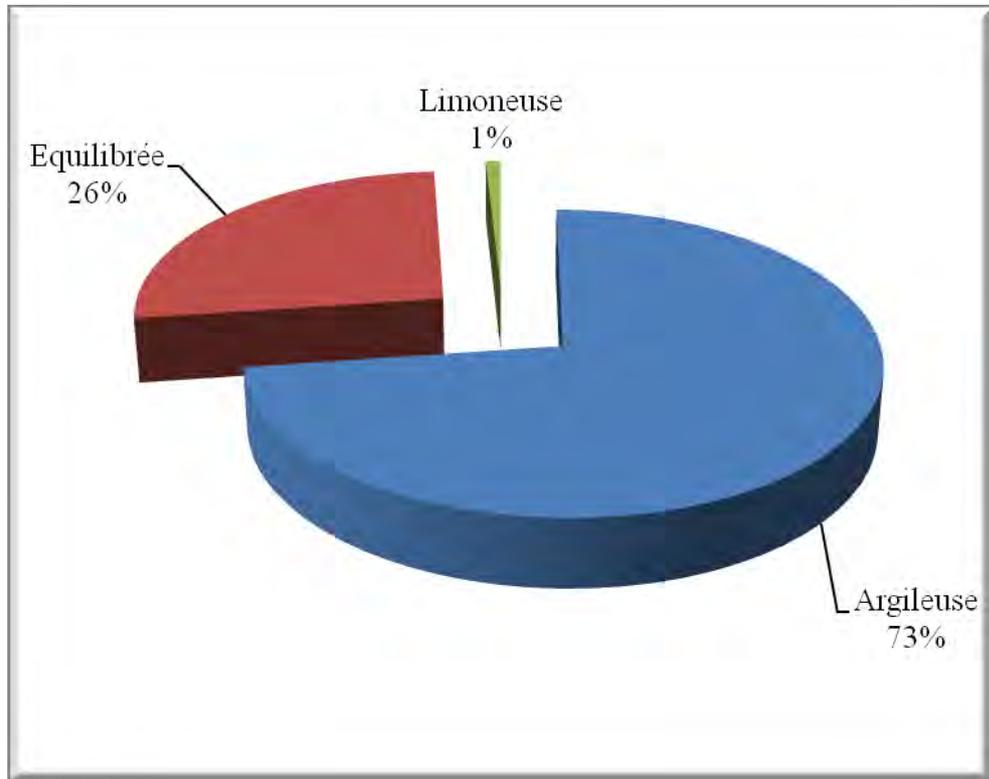


Figure 3.12 : Pourcentages (%) des types de texture dans le terrain d'étude.

3.1.2. Compartiment biologique.

A. La Biodiversité des lombriciens dans l'Est algérien.

Dix-huit espèces lombriciennes sont recensées dans cette étude (Cf. Annexe 9). Elles sont représentées par les 3 familles suivantes :

a) *Lumbricidae*.

- ✓ *Aporrectodea trapezoides* (Dugès, 1828) ;
- ✓ *Aporrectodea rosea* (Savigny, 1826) ;
- ✓ *Aporrectodea tetramammalis* (Pérez Onteniente & Rodriguez Babio, 2002) ;
- ✓ *Aporrectodea caliginosa* (Savigny, 1826) ;
- ✓ *Aporrectodea monticola* (Pérez Onteniente & Rodríguez Babio, 2002) ;
- ✓ *Aporrectodea carochensis* (Pérez Onteniente & Rodriguez Babio, 2002) ;
- ✓ *Eiseniella tetraedra* (Savigny, 1826) ;
- ✓ *Allolobophora molleri* (Rosa, 1889) ;
- ✓ *Octodrilus complanatus* (Dugès, 1828) ;
- ✓ *Octodrilus maghrebicus*, *Omodeo & Martinucci, 1987*;
- ✓ *Eisenia fetida* (Savigny, 1826), *Dendrobaena byblica*, Rosa, 1893 ;
- ✓ *Proctodrilus antipae* (Michaelsen, 1891) ;
- ✓ *Octolasion lacteum* (Örley, 1881) ;
- ✓ *Allolobophora chlorotica* (Savigny, 1826) ;
- ✓ *Dendrobaena byblica* (Rosa, 1893).

b) Megascolecidae

- ✓ *Microscolex dubius* (Fletcher, 1887) ;
- ✓ *Microscolex phosphoreus* (Dugès, 1837).

c) Hormogastridae

- ✓ *Hormogaster redii*, Rosa, 1887.

B. Abondance dominance des espèces de vers de terre récoltées.

Le pourcentage de dominance combinée (=PDC) révèle la dominance de l'espèce *Ap. trapezoides* dans les étages bioclimatiques humide (PDC = 61,22 %), humide montagnard (PDC = 46,54 %), sub humide (PDC = 45,05 %), sub-aride (45,05 %) et le sub-aride inférieure (PDC = 46.34 %) (Fig. 3.13 et Cf. Annexes 10a-10g). Dans le semi-aride, le taxon *A. mollerii* est important, il se localise préférentiellement dans les points humides (notamment au bord des oueds). Dans les montagnes du semi-aride domine l'espèce *Oc. complanatus*. Quand à *Ap. rosea*, elle est la seule observée dans l'étage bioclimatique aride dans les points où il ya suffisamment d'eau.

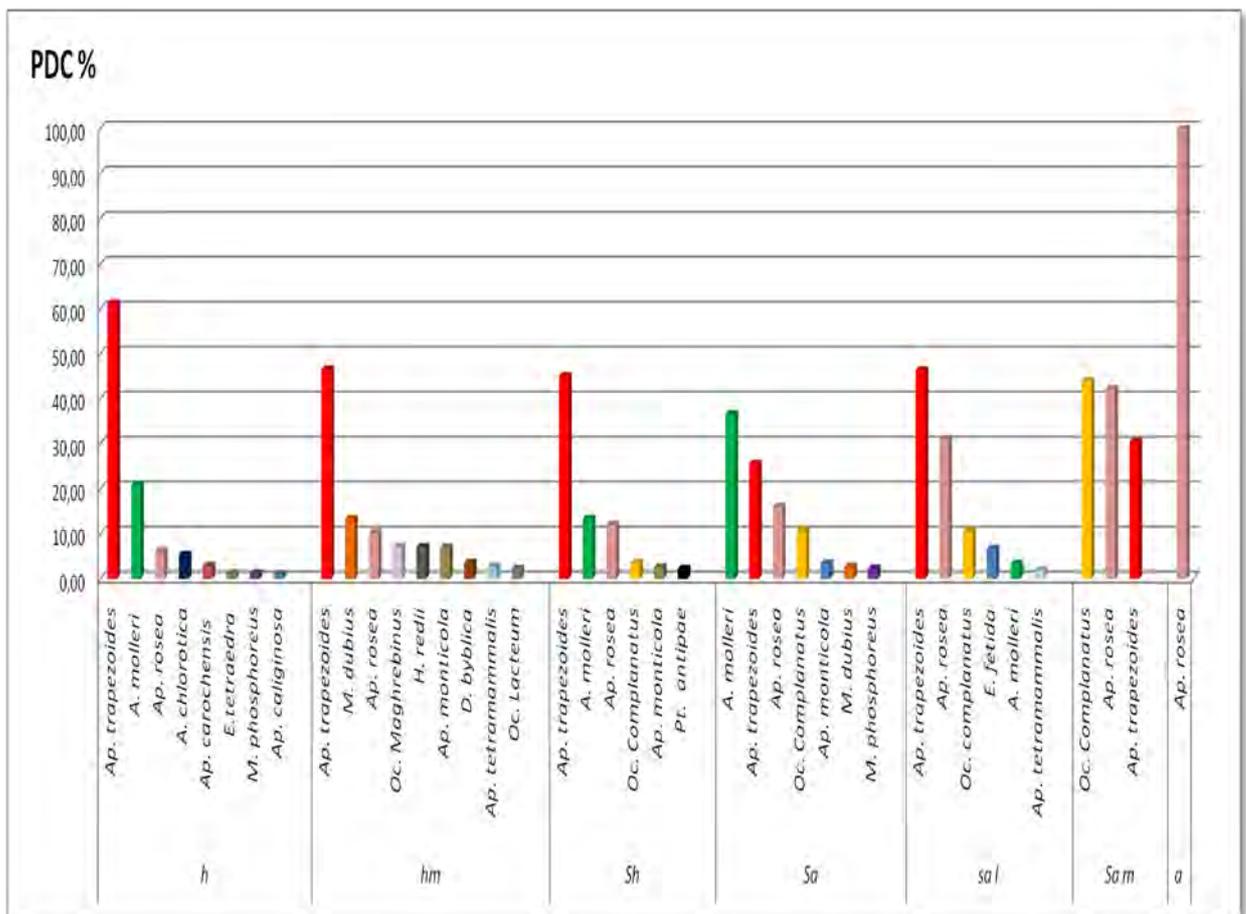


Figure 3.13 : Pourcentages de dominance combinés (PDC) des espèces lombriciennes collectées dans les différents étages bioclimatiques.

A l'échelle de toute la zone étudiée domine l'espèce *Ap. trapezoides*, avec un pourcentage de dominance égal à 50,37 %, suivit par *A. molleri* avec un pourcentage de 15,27% et d'*Ap. rosea* en 3^{ème} position avec un PDC de 14,75 %. Les pourcentages des autres taxons rencontrés dans la zone d'étude sont plus faibles (Fig. 3.14).

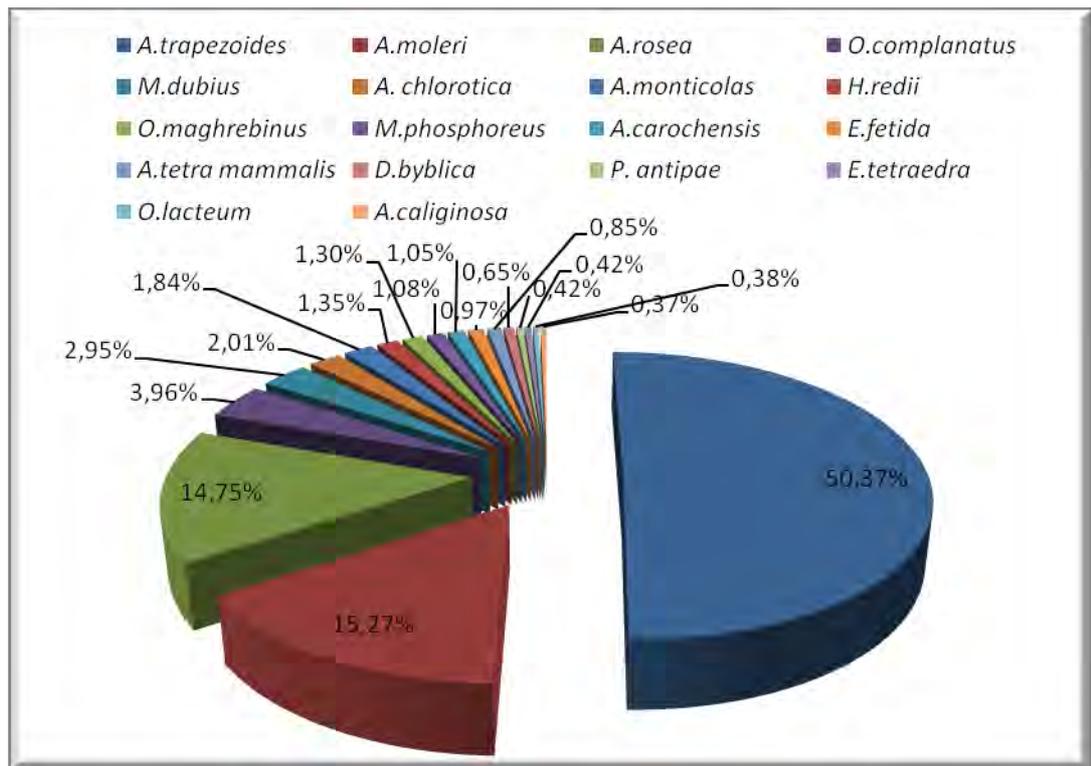


Figure 3.14 : Pourcentages de dominance combinés (PDC) des espèces lombriciennes à l'échelle de toute la zone étudiée.

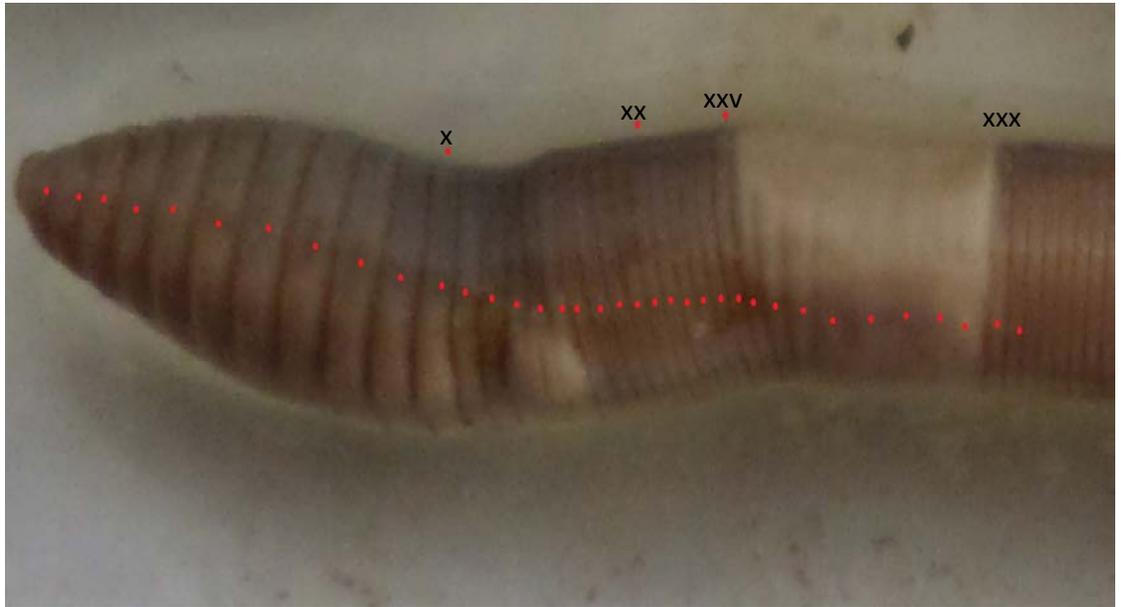


Photo. 3.1. *Aporrectodea trapezoides* (Dugès, 1828) : Spécimen échantillonné à la station Ouled Hbaba. Clitellum [26 (27) – 34]

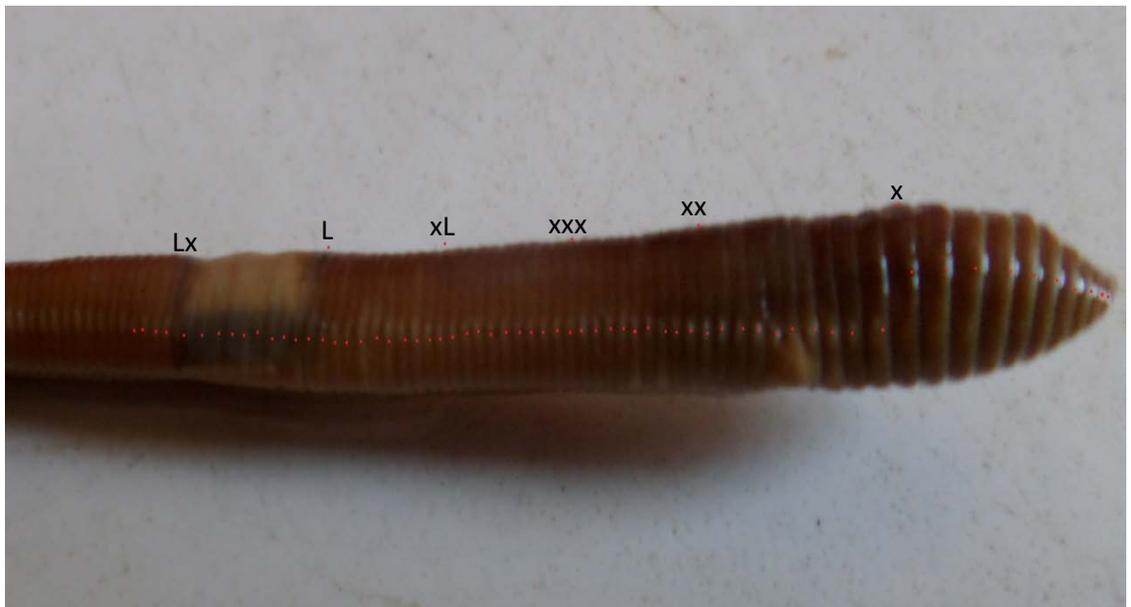


Photo. 3.2. *Allolobophora molleri* (Rosa, 1889) : Spécimen échantillonné à la station d'El-milia. Clitellum]50 – 60[



Photo. 3.3. *Octodrilus complanatus* (Dugès, 1828) : Spécimen échantillonné à la station Didouche Mourad, Constantine. Clitellum]26 – 37[

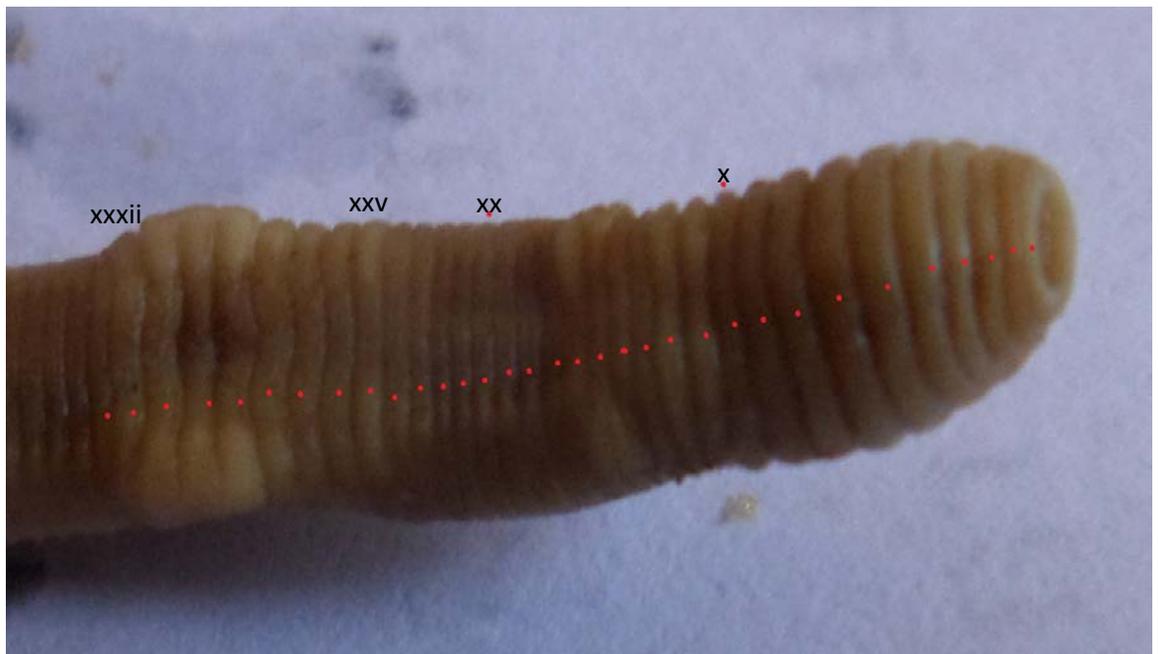


Photo. 3.4. *Aporrectodea rosea* (Savigny, 1826) : Spécimen échantillonné à la station Aïn zitoune. Clitellum [25 – 32]

C. Les catégories écologiques.

Sur l'ensemble des 18 espèces inventoriées **les endogées** représentent 45 % (*Ap. rosea*, *A. mollerii*, *Ap. monticola*, *Oc. maghrebinus*, *H. redii*, *Pt. antipae*, *Oc. lacteum* et *Ap. caliginosa*), **les épigées** 22 % (*E. fetida*, *D. byblica*, *A. chlorotica* et *Ei. tetraedra*), **les anéciques** 22 % (*Oc. complanatus*, *Ap. tetramammalis*, *Ap. carochensis* et *Ap. trapezoides* cette dernière peut être considérée comme anécique, endogée ou endo-anécique car elle varie, selon la souche, et enfin 11 % d'**épiendogés** (*M. dubius*, *M. phosphoreus*) (Fig. 3.15).

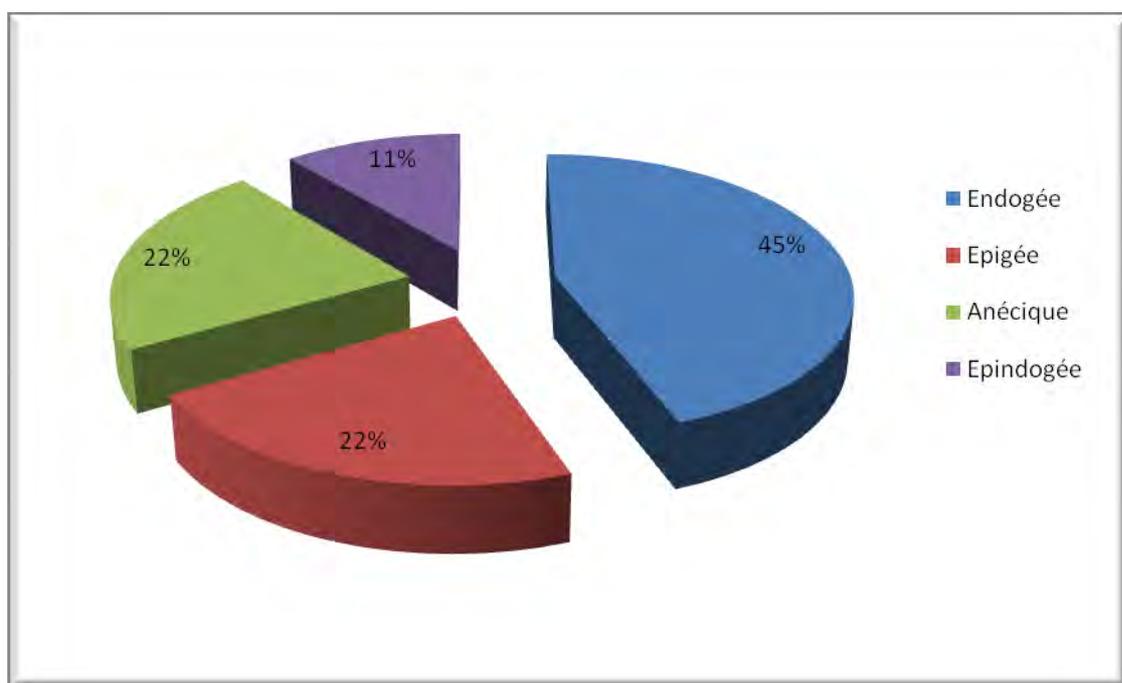


Figure 3.15 : Pourcentages (%) des catégories écologiques des lombriciens dans le terrain d'étude.

D. La répartition des espèces lombriciennes dans l'Est algérien.

La figure 3.16, apporte une idée sur la relation climat et les espèces inventoriées dans notre travail. L'espèce *Ap. trapezoides* est rencontrée dans l'ensemble du terrain d'étude sous les tranches pluviométriques allant jusqu'aux isohyètes inférieures à 300 mm/an. Le taxon *Ap. rosea* peut se contenter des tranches pluviométriques inférieure à 250 mm/an, il est le plus fréquent dans le semi aride et aride dans les points où il y a suffisamment d'eau. L'espèce *A. molerii* quand à elle, peut être rencontrée jusqu'aux isohyètes inférieures à 300 mm/an dans les sols au bord des rivières. Les stations où est collectées *Octodrilus complanatus* sont caractérisées par une pluviométrie annuelle supérieure à 400 mm/an. Il semble que les tranches pluviométriques pour l'espèce *Microscolex phosphoreus* sont supérieures à 500 mm/an. L'espèce

Microscolex dubius est collectée dans des sites où la pluviométrie se situe entre 500 et plus de 1000 mm/an. Le taxon *Aporrectodea tetramammalis* est rencontré sous des tranches pluviométriques supérieure à 1000 mm/an et même avec des isohyètes beaucoup moins (la station Af = 357,65 mm/an). L'espèce *Aporrectodea carochensis* est aperçue sous les isohyètes de 290,88 mm/an. La pluviométrie à Séraïdi où est collectée *Hormogaster redii* atteint 986,10 mm/an. Pour la station de l'espèce *Dendrobaena byblica*, les précipitations sont de l'ordre de 630,00 mm/an. Les stations de l'espèce *Octodrilus maghrebinus* sont caractérisées par des tranches pluviométriques élevées allant de 900 à plus de 1000 mm/an. Quand à *Eisenia fetida*, elle est collectée dans des stations situées sous les isohyètes de 344,35 mm/an. La lame d'eau du site d'*Eiseniella tetraedra* est de 970,54 mm/an. Les espèces *Octolasion lacteum*, *Aporrectodea caliginosa*, *Allolobophora chlorotica* et *Proctodrilus antipae* dépendent des stations dont les tranches pluviométriques sont successivement de l'ordre de : 1003,95 mm/an, 970,54 mm/an, 750,30 mm/an et 538,80 mm/an (Cf. Annexe 11).

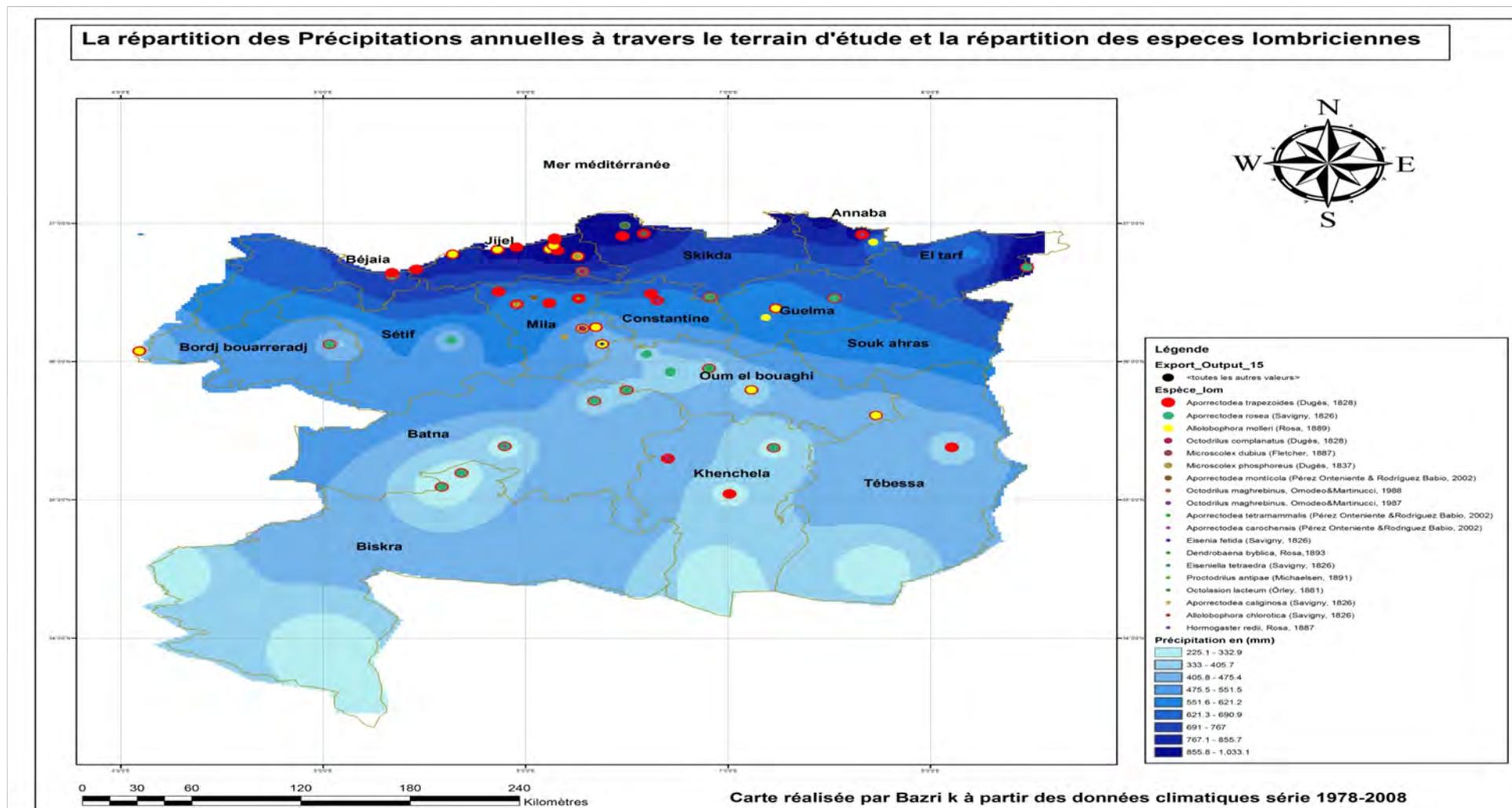


Figure 3.16 : Répartition des espèces lombriciennes déterminées et les tranches pluviométriques à travers le transect d'étude Nord –sud dans l'Est algérien.

E. La démoécologie et secteurs bioclimatiques.

a. Densité et biomasse.

D'après la figure 3.17 et annexe 7, les valeurs moyennes de la densité sont de l'ordre de $36,60 \pm 12,53$ individus/m² (à l'étage humide), $27,47 \pm 24,59$ individus/m² (humide montagnard), $40,50 \pm 11,86$ individus/m² (sub humide), $20,63 \pm 15,72$ individus/m² (semi-aride), $19,00 \pm 11,10$ individus/m² (semi aride inférieure) et $21,17 \pm 13,27$ individus/m² dans le secteur montagnard du semi-aride. La moyenne est très faible dans l'étage aride, elle atteint $3,89 \pm 2,80$ individus/m² dans les lieux suffisamment humides.

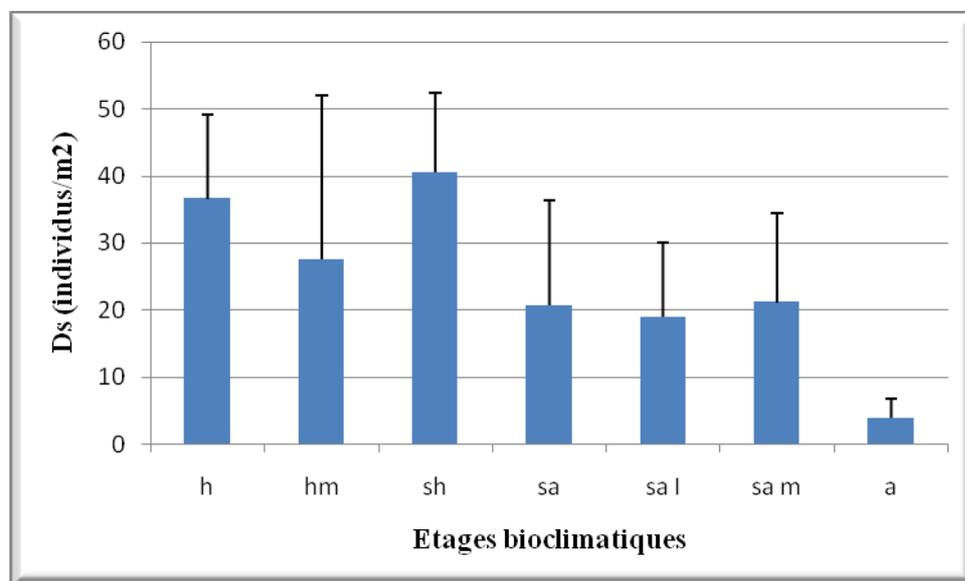


Figure 3.17 : Densités moyennes des lombriciens \pm écarts-types (Ind./m²) dans les différents étages bioclimatiques dans l'Est algérien.

La biomasse moyenne est de l'ordre de $10,68 \pm 4,15$ g/m² dans l'étage humide, $4,88 \pm 2,96$ g/m² à l'étage humide montagnard, $10,55 \pm 2,62$ g/m² dans le sub humide, $6,92 \pm 4,88$ g/m² dans le semi aride, $4,65 \pm 3,61$ g/m² dans le semi aride inférieure, elle s'élève à $13,41 \pm 10,66$ g/m² dans l'étage montagnard du semi aride, toutefois elle atteint $1,07 \pm 0,83$ g/m² dans l'étage aride (Fig. 3.18 et Cf. Annexe 7).

Ces résultats sont liés en premier lieu aux conditions climatiques (les précipitations) qui dirigent fortement la présence des communautés lombriciennes dans les différents biotopes.

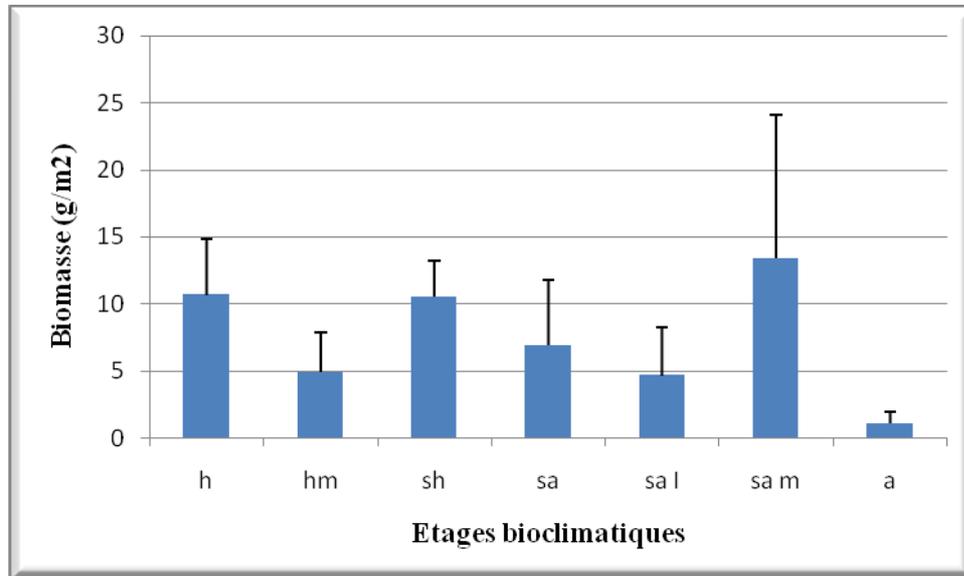


Figure 3.18 : Biomasses moyennes des lombriciens \pm écarts-types (g/m²) dans les différents étages bioclimatiques dans l'Est algérien.

b. La structure des classes d'âge des lombriciens récoltés.

Les moyennes des différentes classes d'âge « juvéniles, sub adultes et adultes » sont significativement différentes entre les étages bioclimatiques (Tab.3.4) ; ainsi que le test de Levene d'homogénéité des variances confirme cette significativité pour les juvéniles et les adultes (Tab.3.5).

Tableau 3.4 : Analyse de la Variance (Effets significatifs marqués à $p < .05000$).

	SC Effet	dl Effet	MC Effet	SC Erreur	dl Erreur	MC Erreur	F	p
Ad	631,73	6	105,288	1536,80	107	14,3626	7,33070	0,000001
Sa	786,24	6	131,040	3249,68	107	30,3708	4,31467	0,000617
Jv	3983,10	6	663,851	9865,96	107	92,2052	7,19971	0,000002
Ds / m2	12613,81	6	2102,302	20616,43	107	192,6769	10,91102	0,000000
Biom/m2	1246,67	6	207,778	1667,17	107	15,5810	13,33531	0,000000

Tableau 3.5 : Test de Levene d'Homogénéité des Variances (Effet : Etage bioclimatique, degrés de liberté pour tous les F : 6. 107).

	MC Effet	MC Erreur	F	p
Ad	49,8639	5,5122	9,04612	0,000000
Sa	20,6617	11,7186	1,76316	0,113576
Jv	93,8769	24,9444	3,76345	0,001942
Ds / m2	301,3620	68,9268	4,37220	0,000547
Biom/m2	23,4287	5,5979	4,18530	0,000807

La figure 3.19, montre que dans tous les étages bioclimatiques la moyenne des juvéniles est supérieure à celle des sub adultes et des adultes.

Il faut noter que l'échantillonnage des lombriciens s'est effectué entre décembre et mars qui est, probablement, une période propice pour l'activité des lombriciens dans le climat algérien ; la raison pour laquelle les juvéniles sont important. La classe des adultes est la moins présente ; il faut rappeler que certaines espèces, principalement les anéciques, peuvent migrer vers les horizons profonds du sol pour s'affranchir des conditions extérieures et certains adultes peuvent vivre plus d'un an et perdent leurs clitelum et par erreur, ils sont triés avec les sub adultes.

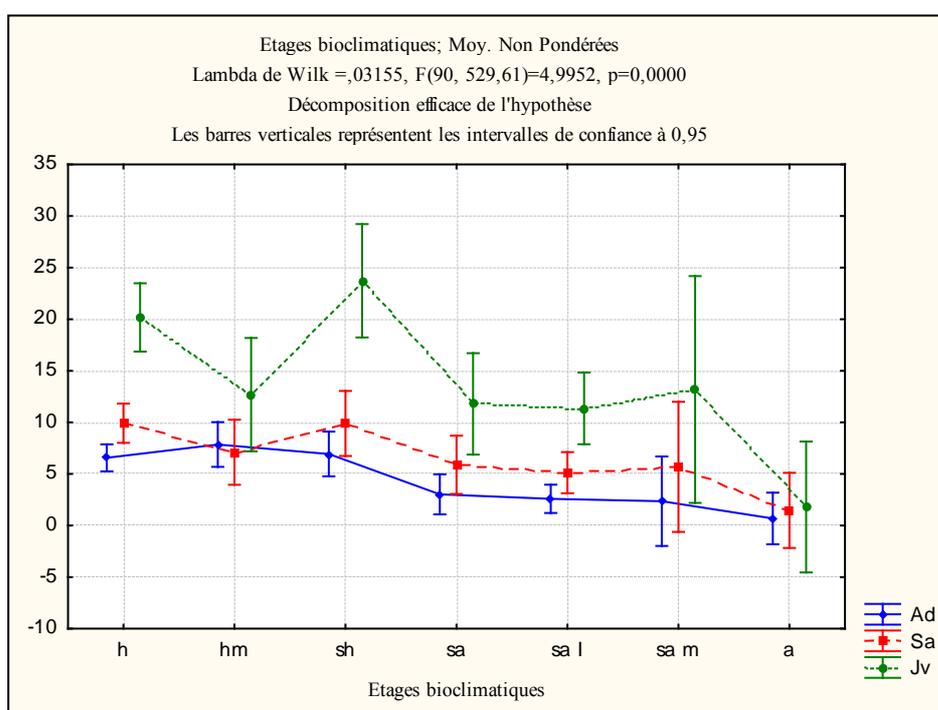


Figure 3.19 : Moyennes de la densité (Ind.m²) des classes d'âge des lombriciens par rapport au facteur étage bioclimatique.

Pour la densité globale, les moyennes fluctuent d'une manière régressive depuis les stations de la partie Nord (h, hm et Sh) vers le Sud du terrain d'étude (sa, sa I, sa m et a). Le test Anova est significatif ($F = 10,91102$; $p > 0,00000$). 6 groupes sont définis par le test LSD de Fisher : le groupe (bd) à l'étage humide, (ab) à l'humide montagnard, (d) en sub humide, (a) en semi aride, semi aride inférieure et le semi aride montagnard et le groupe (c) dans l'étage aride (Fig. 3.20).

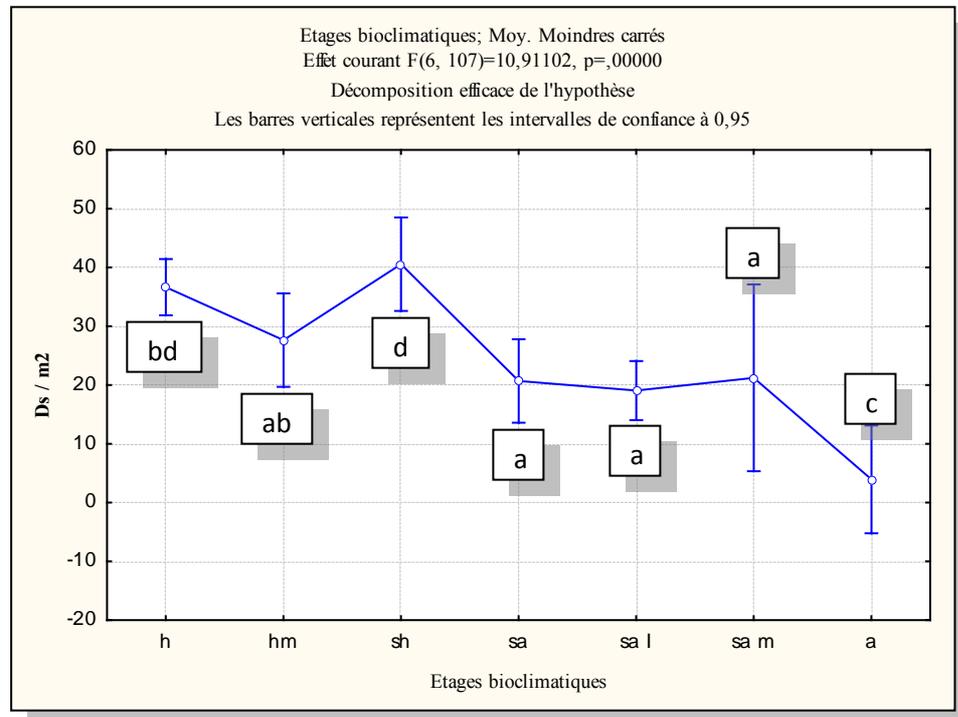


Figure 3.20 : Variabilité des moyennes et groupes homogènes de la variable densité (ind/m²) par rapport au facteur étage bioclimatique.

3.1.3. Interaction paramètres biotiques et abiotiques.

D. La corrélation des facteurs édaphiques et lombriciens.

Le tableau 3.5 et la figure 3.21, indiquent que les corrélations des lombriciens avec les facteurs édaphiques sont moyennement faibles dans l'ensemble et ne concernent que le pH, la conductivité, le carbone, la matière organique, la fraction sableuse et la fraction limoneuse.

Le pH est faiblement et négativement corrélé avec la densité des vers de terre ($r = -0,38$; $p = 0,000$), la classe des sub adultes ($r = -0,30$; $p = 0,001$), les juvéniles ($r = -0,23$; $p = 0,013$) mais moyennement et négativement lié avec les classe des adultes ($r = -0,49$; $p = 0,000$). De même la conductivité électrique est faiblement et négativement corrélée avec la densité globale des lombriciens ($r = -0,38$; $p = 0,000$) ainsi que pour toutes les classes d'âge. Elle prouve aussi des rapports négatifs avec la biomasse ($r = -0,39$; $p = 0,000$) et la biodiversité ($r = 0,24$; $p = 0,009$). Le calcaire total (%CaCO₃) est négativement et faiblement corrélées à la densité globales et celle des adultes et sub adultes respectivement de l'ordre de ($r = -0,24$; $p = 0,009$), ($r = -0,36$; $p = 0,000$), et ($r = -0,19$; $p = 0,040$). Cependant, le calcaire actif (Ca⁺⁺) est faiblement est négativement corrélé à la densité des adultes ($r = -0,23$; $p = 0,10$). Egalement, des corrélations faibles et négatives s'observent entre la fraction sableuse et toutes les variables lombriciennes.

Toutefois, les corrélations positives mais faibles s'observent au niveau de la matière organique et la densité des vers des terre ($r = 0,30$; $p = 0,001$) notamment pour la classes des adultes ($r = 0,36$; $0,000$) (Tab. 3.5). De même, la faction limoneuse présentent des corrélations faibles et positives avec la densité ($r = 0,24$; $p = 0,007$) surtout avec celle des juvéniles ($r = 0,26$; $p = 0,004$). Elle est aussi positive avec la biomasse ($r = 0,25$; $0,006$) et le nombre des espèces ($r = 0,25$; $0,007$). Egalement, des corrélations faibles et positives sont enregistrées entre la fraction argileuse et la classe des adultes ($r = 0,20$; $0,027$) (Tab.3.6).

La conductivité électrique semble entraver l'activité des lombriciens. En ce qui concerne l'influence du pH, la situation s'avère liée plus aux facteurs climatiques notamment les précipitations et humidité ; car les stations à valeurs de pH élevées sont souvent localisées dans les étages bioclimatiques semi aride, semi aride inférieure et aride, contrairement aux stations à pH faible correspondant aux étages bioclimatiques humides et sub-humides qui révèlent une meilleure densité ; où les sols sont bien lessivés et la nature de la roche mère sont responsables de la formation des substrats acides.

Tableau 3.6 : Corrélations des variables lombriciennes et les paramètres édaphiques.

	pH	CE	CaCO3	Ca++	C%	N%	C/N	M.O%	S	A	L
Ad	-,4951	-,3245	-,3623	-,2392	,3693	,1067	,0154	,3693	-,2405	,2071	,0832
	p=,000	p=,000	p=,000	p=,010	p=,000	p=,258	p=,871	p=,000	p=,010	p=,027	p=,379
Sa	-,3070	-,2806	-,1927	-,0944	,2140	,1283	-,0946	,2140	-,2324	,1474	,1593
	p=,001	p=,002	p=,040	p=,318	p=,022	p=,174	p=,317	p=,022	p=,013	p=,118	p=,090
Jv	-,2312	-,2786	-,1318	-,0582	,2184	-,0831	,0721	,2184	-,2196	,0601	,2676
	p=,013	p=,003	p=,162	p=,539	p=,020	p=,380	p=,446	p=,020	p=,019	p=,525	p=,004
Ind. / m²	-,3827	-,3606	-,2448	-,1316	,3099	,0184	,0175	,3099	-,2842	,1431	,2495
	p=,000	p=,000	p=,009	p=,163	p=,001	p=,846	p=,853	p=,001	p=,002	p=,129	p=,007
g/m²	-,1724	-,3993	-,1919	-,0075	,1888	,0535	-,1122	,1888	-,2560	,1092	,2536
	p=,067	p=,000	p=,041	p=,937	p=,044	p=,572	p=,235	p=,044	p=,006	p=,247	p=,006
Biodiv	-,0773	-,2442	-,0079	,0493	,1166	,0212	-,0381	,1166	-,2754	,1333	,2505
	p=,414	p=,009	p=,934	p=,603	p=,217	p=,823	p=,687	p=,217	p=,003	p=,157	p=,007

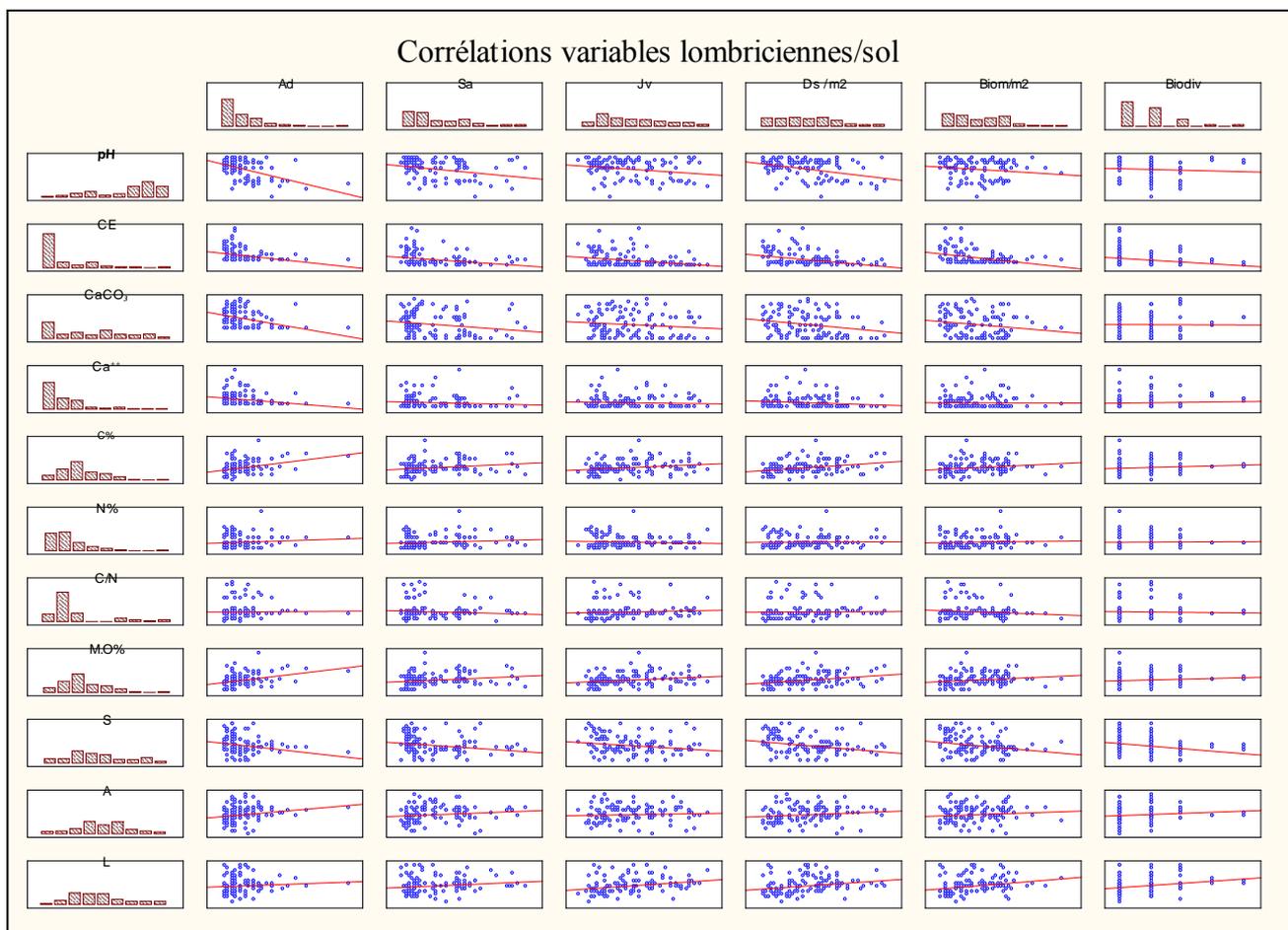


Figure 3.21 : Corrélations des variables lombriciennes et les paramètres édaphiques.

B. Interactions entre les variables et classement globale des étages bioclimatiques par le Test MANOVA (ANOVA multidimensionnelle).

Une comparaison de plusieurs échantillons dans un espace multidimensionnel correspond à une MANOVA (variance multivariée), autrement dit, les tests uni variés ne tiennent pas compte de la corrélation entre les variables dépendantes tandis qu'une MANOVA le fait ; car elle ressort l'effet cumulatif. Ici, nous avons utilisé la statistique de Wilks, elle correspond au rang ratio entre la variabilité intra-classe et la variabilité totale des échantillons.

Le tableau 3.7, montre une différence très hautement significative ($p < 0,00$) entre les étages bioclimatiques, pour l'ensemble des variables. En effet le lambda de Wilk's de nullité est égale à 0,031, donc l'hypothèse H0 (moyennes sont identiques) est rejetée.

Tableau 3.7 : Tests Multivariés de Significativité.

	Test	Valeur	F	Effet dl	Erreur dl	p
ord. origine	Wilks	0,000000	29762854	15	93,0000	0,00
Etages bioclimatiques	Wilks	0,031929	5	90	529,6083	0,00

Après avoir obtenu un test multivarié significatif, nous allons examiner les variables dépendantes spécifiques contribuant à la significativité de l'effet global.

C. L'effet des variables lombriciennes sur les variables édaphiques par l'analyse des corrélations canoniques.

L'objectif de l'analyse de corrélation canonique peut être vu comme étant une extension de l'analyse de régression multiple à des situations comportant deux ensembles de variables. Elle permet donc de comparer deux groupes de variables quantitatives appliqués tous deux sur les mêmes individus pour savoir s'ils décrivent un même phénomène. Généralement, mais non obligatoirement, le premier ensemble (Y1) est constitué de variables dites « indépendantes » ou « prévisionnelles » que l'on associe au côté X ou au côté gauche de la corrélation et l'autre ensemble (Y2) est constitué de variables dites « dépendantes » ou « expliquées » que l'on associe au côté Y ou au côté droit de la corrélation. En contraste avec l'analyse de régression multiple, la variable critère à expliquer est donc un ensemble de variables plutôt qu'une variable unique.

Tableau 3.8 : Matrice des corrélations canoniques.

Variables	Ds Ad	Ds / m2	Biom/m2	pH	CE	CaCO3	Ca++	C%	N%	C/N	M.O%	S	A	L
Ds Ad	1													
Ds / m2	-	1												
	0,107													
Biom/m2	-	0,752	1											
	0,080													
pH	-	0,026	0,242	1										
	0,019													
CE	-	-	-0,203	0,499	1									
	0,003	0,219												
CaCO3	-	0,020	0,092	0,795	0,770	1								
	0,059													
Ca++	-	-	0,033	0,769	0,086	0,441	1							
	0,128	0,105												
C%	-	0,385	-0,053	-	-	-0,481	-0,338	1						
	0,095			0,532	0,399									
N%	0,094	-	0,013	-	-	-0,393	-0,044	-	1					
		0,111		0,417	0,360			0,130						
C/N	-	-	-0,012	-	-	-0,511	-0,699	0,443	-	1				
	0,139	0,087		0,595	0,199				0,144					
M.O%	-	0,385	-0,053	-	-	-0,481	-0,338	1,000	-	0,443	1			
	0,095			0,532	0,399				0,130					
S	0,403	0,110	0,041	0,087	-	-0,421	0,332	0,232	-	-	0,232	1		
					0,482				0,014	0,163				
A	-	-	-0,190	-	0,336	0,070	-0,343	0,014	-	0,251	0,014	-	1	
	0,330	0,064		0,096					0,319			0,528		
L	-	-	0,154	0,010	0,148	0,361	0,014	-	0,344	-	-0,252	-	-	1
	0,073	0,046						0,252		0,092		0,481	0,491	

La variance expliquée est de 98% pour le F1, 94% pour le F2 et 75% pour le F3. D'après la matrice des corrélations (Tab. 3.8 et Cf. Annexe 12), les corrélations entre les deux ensembles

(variables indépendantes et dépendantes) sont plutôt faibles. Ici, la valeur la plus élevée existe entre la densité des vers adultes et la fraction sableuse ($r = 0,403$).

Les valeurs propres montrent que le 1^{er} facteur (F1) seul explique 36,55% de l'information de la variabilité des données, avec le F2 le jeu de la variabilité est de 71,77% ce qui est suffisant du point de vue interprétation des données (Fig. 3.22).

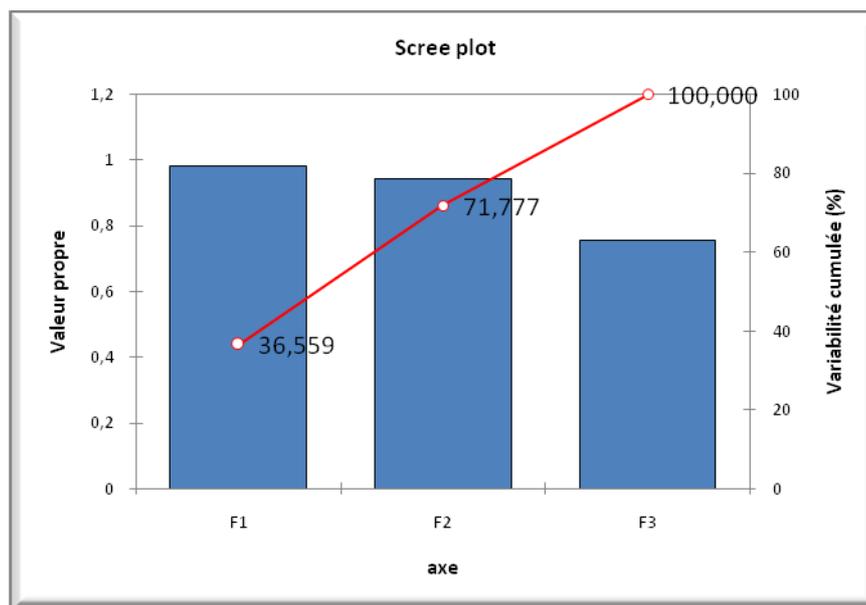


Figure 3.22 : Valeurs propres de l'inertie de la variabilité des données.

Le test lambda de Wilks (Tab. 3.9) permet de vérifier si les variables concernées sont liées ou non à Y1 et Y2. Nous voyons, ici, que les deux tableaux sont significativement liés à chacune des variables canoniques au seuil alpha 0,05 ($\lambda = 0,000$ et $pr > F = 0,001$) pour F1 et ($\lambda = 0,013$ et $pr > F = 0,017$) pour F2. Cela n'est pas le cas pour l'axe F3 ($\lambda = 0,243$ et $pr > F = 0,193$).

Tableau 3.9 : Test Lambda de Wilks.

Lambda	F	DDL1	DDL2	Pr > F
0,000	5,839	33	12,4887477	0,001
0,013	3,808	20	10	0,017
0,243	2,076	9	6	0,193

Les corrélations canoniques sur les facteurs 1,2 et 3 (Tab. 3.9) montrent que les tableaux Y1 et Y2 sont corrélés avec des valeurs plus grandes que les corrélations entre les deux tableaux signalées dans le tableau 3.8.

Les coefficients de redondance montrent qu'une faible portion de la variabilité des variances initiales est prédite par les variables canoniques avec les valeurs de 0,849 et 0,146 respectivement pour Y1 et Y2 (Tab.3.10).

Tableau 3.10 : Les corrélations canoniques et coefficients de redondance.

	F1	F2	F3	Somme
Corrélations canoniques :	0,990	0,972	0,870	2,832
Coefficients de redondance (Y1) :	0,149	0,293	0,408	0,849
Coefficients de redondance (Y2) :	0,074	0,040	0,032	0,146

Sur le graphique 3.23 élaborée à partir des deux axes F1 et F2, nous constatons que la densité, la matière organique, le carbone total, la fraction argileuse et sableuse sont positivement corrélés à l'axe F1. Ils sont anti-corrélés à la biomasse, pH, l'azote, la conductivité électrique et la fraction limoneuse situés sur le côté négatif de l'axe F1. Cependant l'axe F2 indique des corrélations positives pour la biomasse, pH, N, S et la densité des adultes. Cela veut dire que les vers de terre évitent les valeurs faibles de pH. Ils penchent vers les teneurs élevées en matière organique et fraction argileuse.

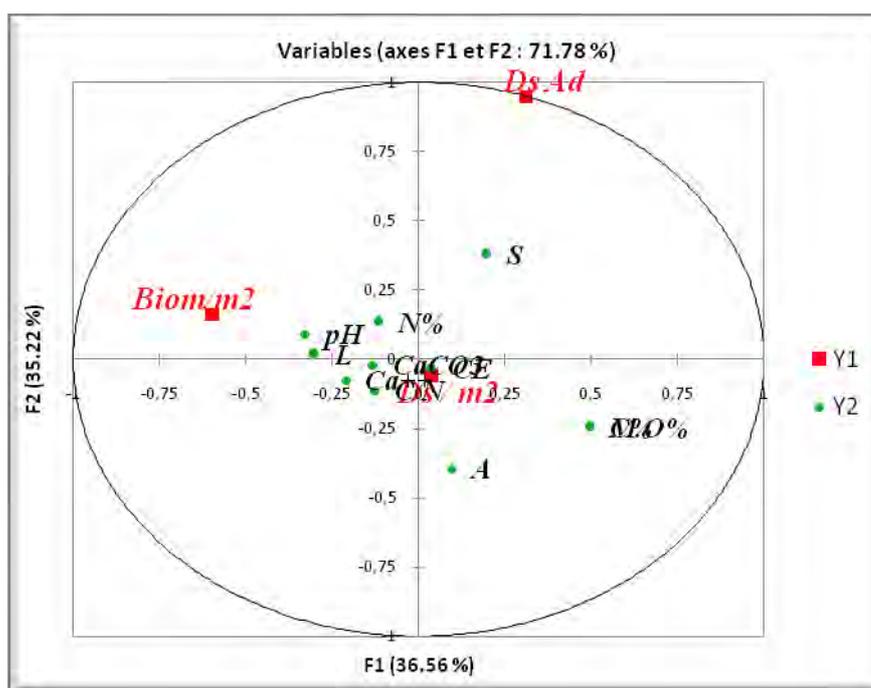


Figure 3.23 : Graphique de l'analyse des corrélations canoniques selon les axes F1xF2.

La figure 3.24, montre plutôt que la densité des adultes, CE et N sont positivement corrélés à l'axe F3, mais négativement corrélés avec la densité globale, biomasse, pH, CaCO₃ et M.O. Cela confirme que les valeurs élevées du pH et de la matière organique sont favorables à l'activité des lombriciens.

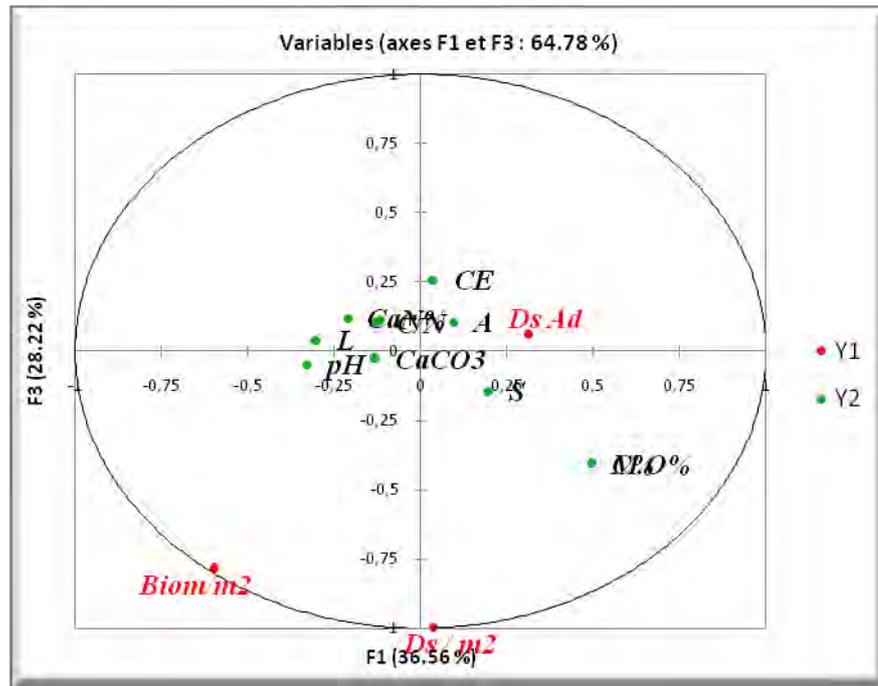


Figure 3.24 : Graphique de l'analyse des corrélations canoniques selon les facteurs F1xF3.

3.1.4. Les relations entre les espèces lombriciennes et les paramètres édaphiques étudiés.

a. L'espèce *Ap. trapezoides*

D'après l'annexe 13, l'espèce *Ap. trapezoides* est rencontrée dans 68 relevés dont le pH des sols varie de 5,15 (relevé Ok1) à 8,63 (relevé Tsd3) (Fig. 3.25). Les moyennes de la CE oscillent entre 0,11µS/cm (relevé Oh2) et 1,62 µS/cm (relevé Af1) (Fig. 3.26). Les valeurs de la densité de cette espèce changent de 1 individu/m² (relevé Ch1) à 25 individus/m² (relevé Ok3). Les corrélations de la densité ne sont pas significatives ni avec le pH ($r = -0.07$) ni avec la CE ($r = -0.11$) (Fig. 3.27).

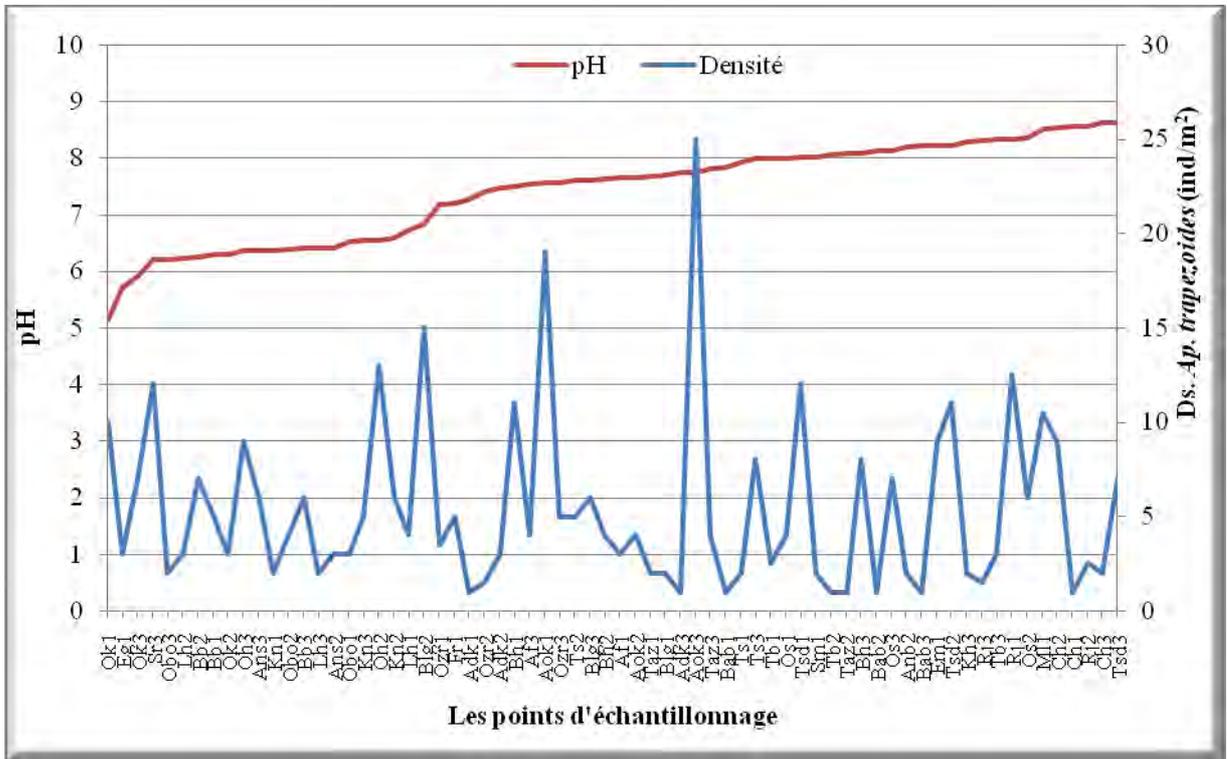


Figure 3.25 : La densité des adultes d'*Ap. trapezoides* (ind/m²) et le pH du sol dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.

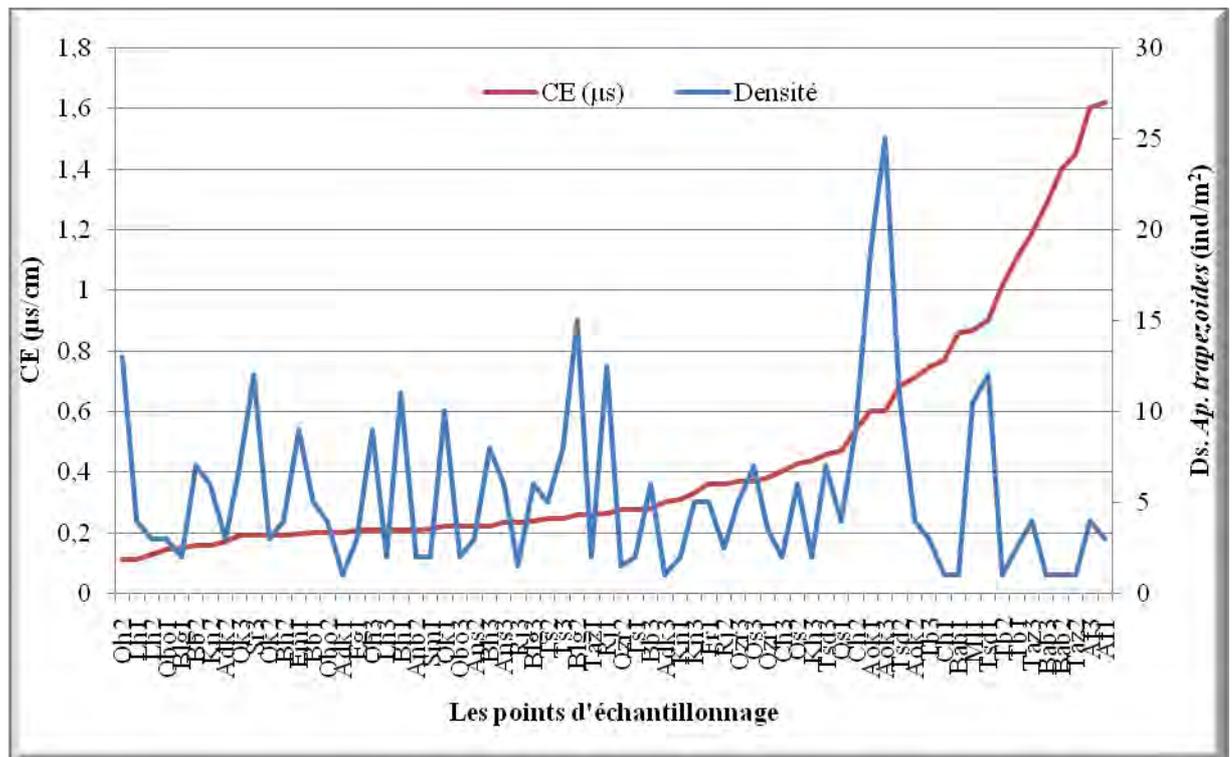


Figure 3.26 : La densité des adultes d'*Ap. trapezoides* (ind/m²) et la CE (µs/cm) dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.

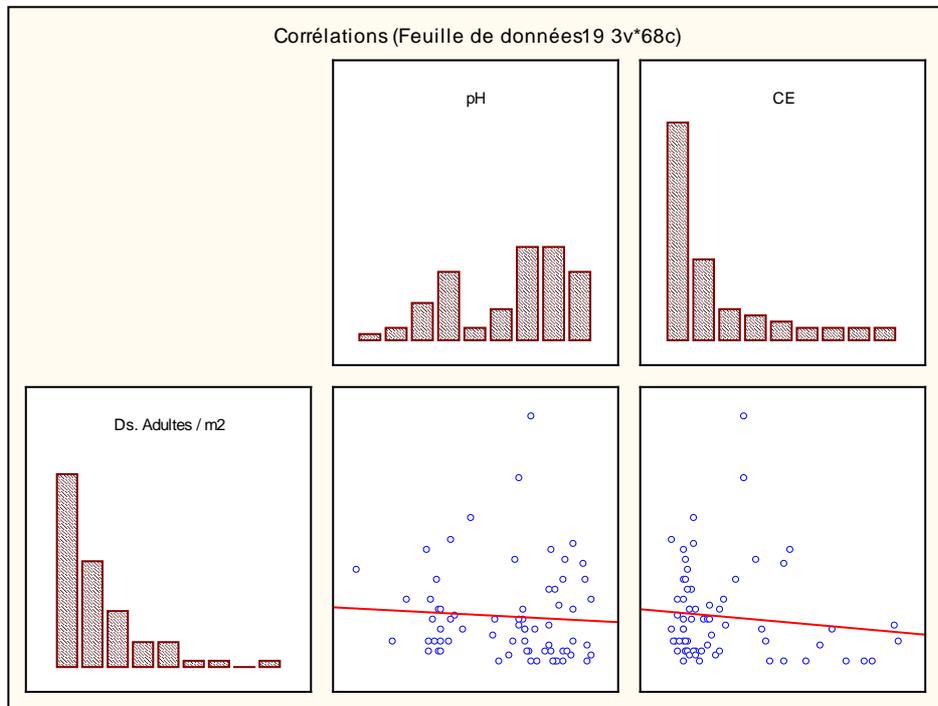


Figure 3.27 : Les corrélations entre le pH, CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) et la densité (ind/m^2) de l'espèce *Ap. trapezoides*.

Les taux de carbone organique (C%) dans les sols pour cette espèce fluctuent de 0,20 % (à Tb1) à 6,91 % (à Lh2) et les valeurs d'azote total (N%) changent de 0,07 % (relevé Eg1) à 4,15 (relevé Tsd1) (Fig. 3.28, 3.29). Les rapports C/N changent de 0,66 (à aok1) à 16,57 (à Eg1) (Fig. 3.30). Les corrélations entre la densité et les variables M.O%, N% et C/N ne sont pas significatives (M.O% ; $r = 0,01$), (N% ; $r = 0,09$) et (C/N ; $r = - 0,18$) (Fig. 3.31).

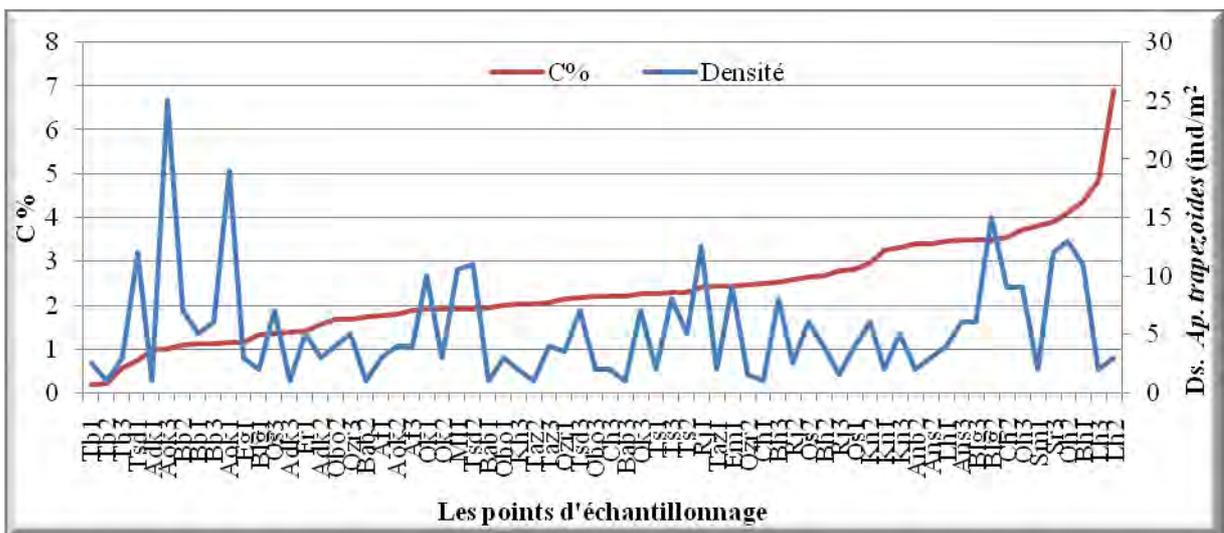


Figure 3.28 : La densité des adultes d'*Ap. trapezoides* (ind/m^2) et le carbone organique (C%) dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.

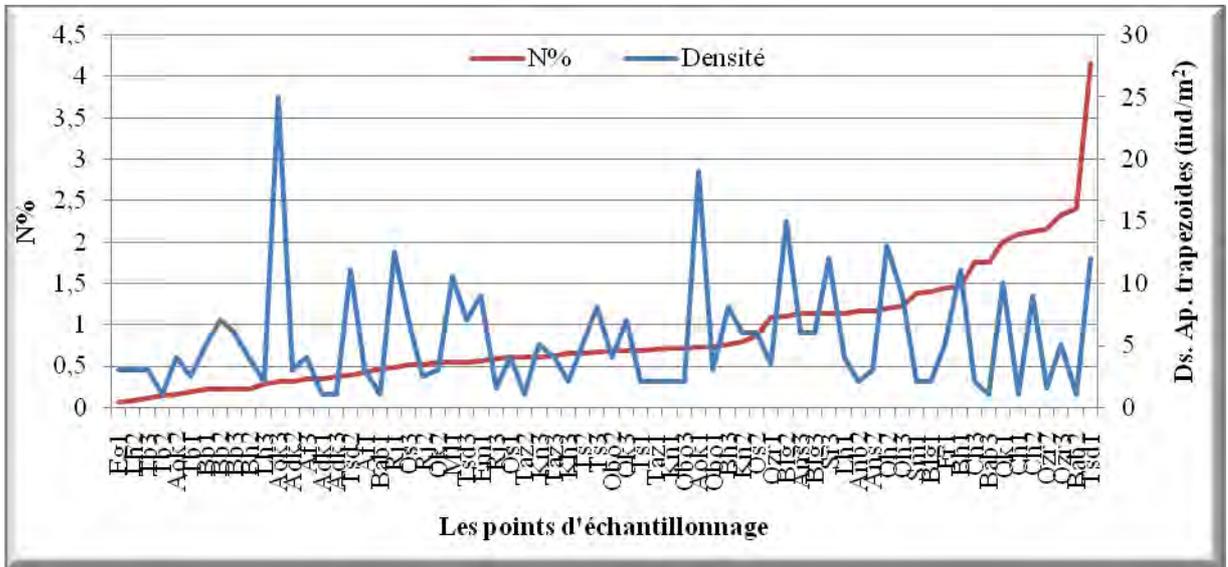


Figure 3.29 : La densité des adultes d'*Ap. trapezoides* (ind/m²) et l'azote total (N%) dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.

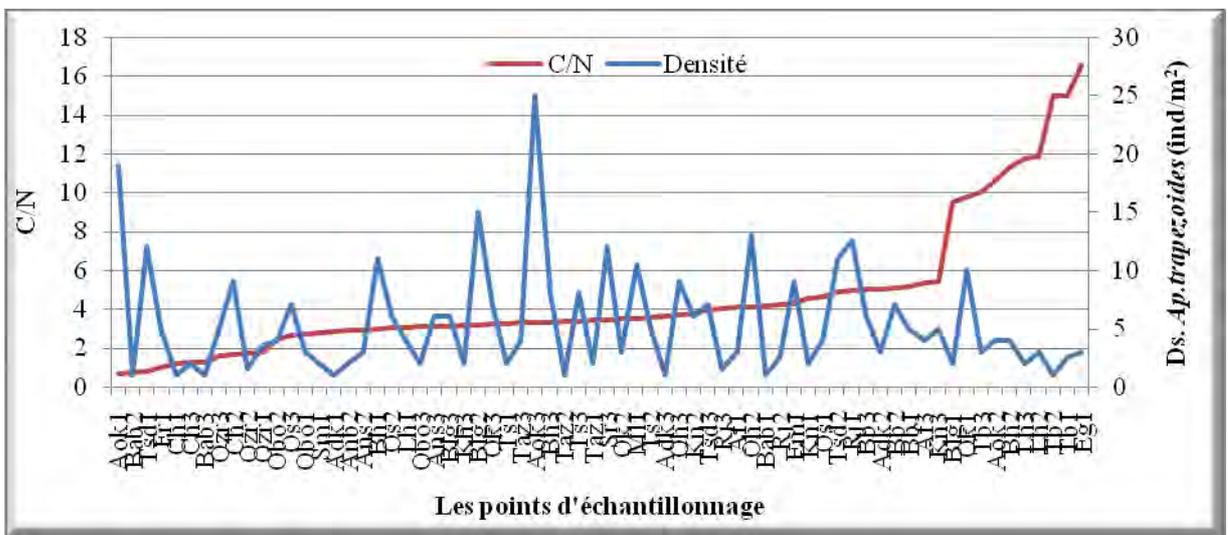


Figure 3.30 : La densité des adultes d'*Ap. trapezoides* (ind/m²) et le rapport C/N dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.

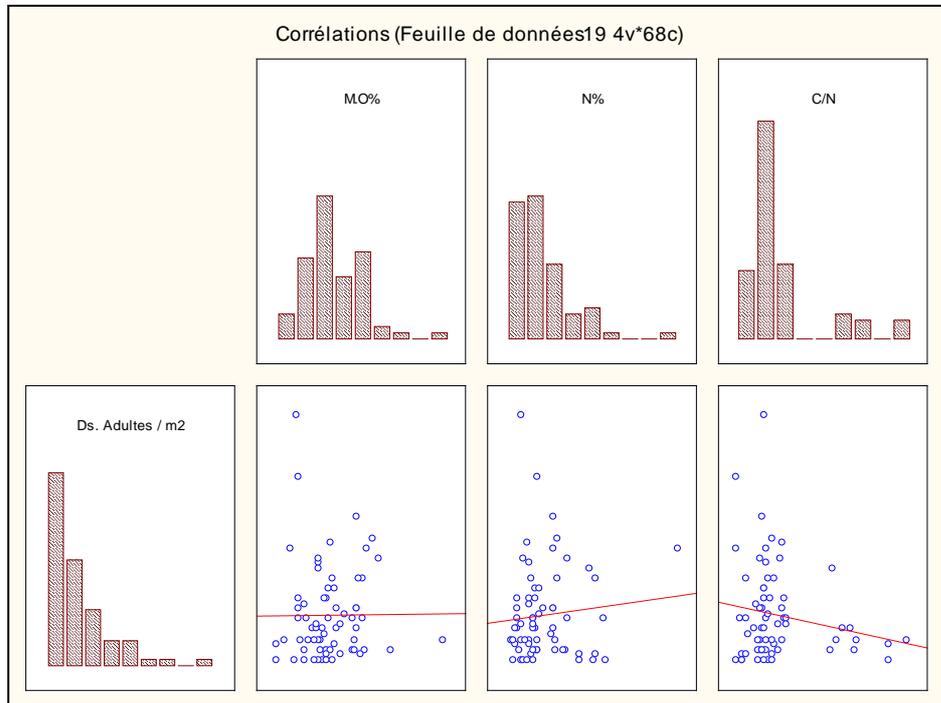


Figure 3.31 : Les corrélations entre la M.O%, N%, C/N et la densité de l'espèce *Ap. trapezoides*.

En ce qui concerne les fractions granulométriques, le sable varie de 4% (relevé Os3) à 75% (relevé Bb2), l'argile change de 2,50% (à Bb3) à 72,5% (à Kn3) et le limon oscille entre 4,40% (à Ch2) et 52% (à Bh2) (Fig. 3.32). La densité est faiblement et négativement corrélée avec la fraction sableuse ($r = 0,24$; $p < 0,05$). Toutefois elle ne présente pas de corrélations significatives ni avec l'argile ($r = 0,15$; $p < 0,05$), ni le limon ($r = 0,21$; $p < 0,05$) (Fig. 3.33).

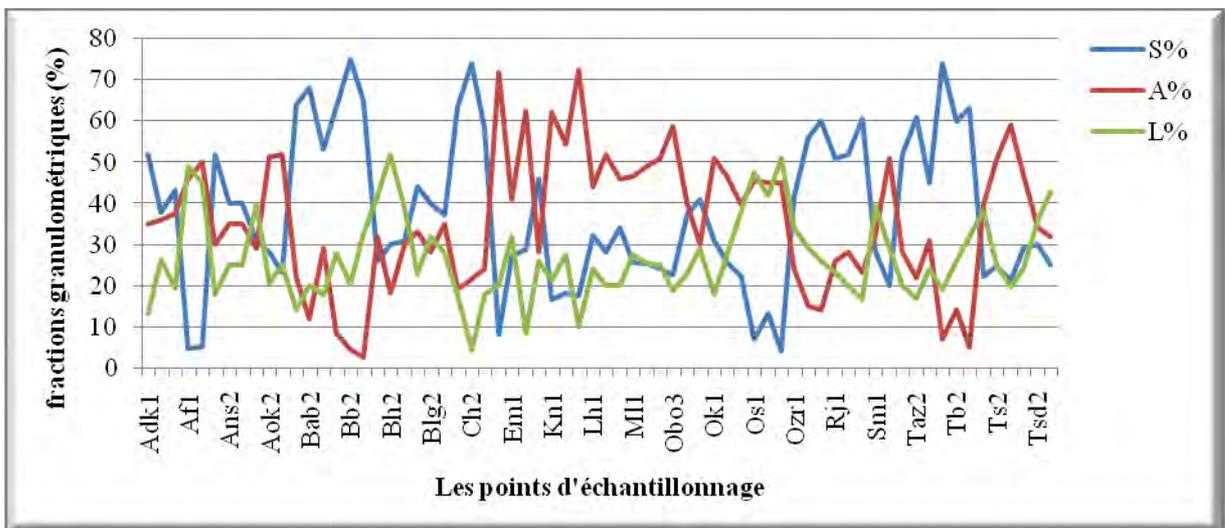


Figure 3.32 : La densité des adultes d'*Ap. trapezoides* (ind/m²) et les fractions granulométriques (%A ; %L et %S) dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.

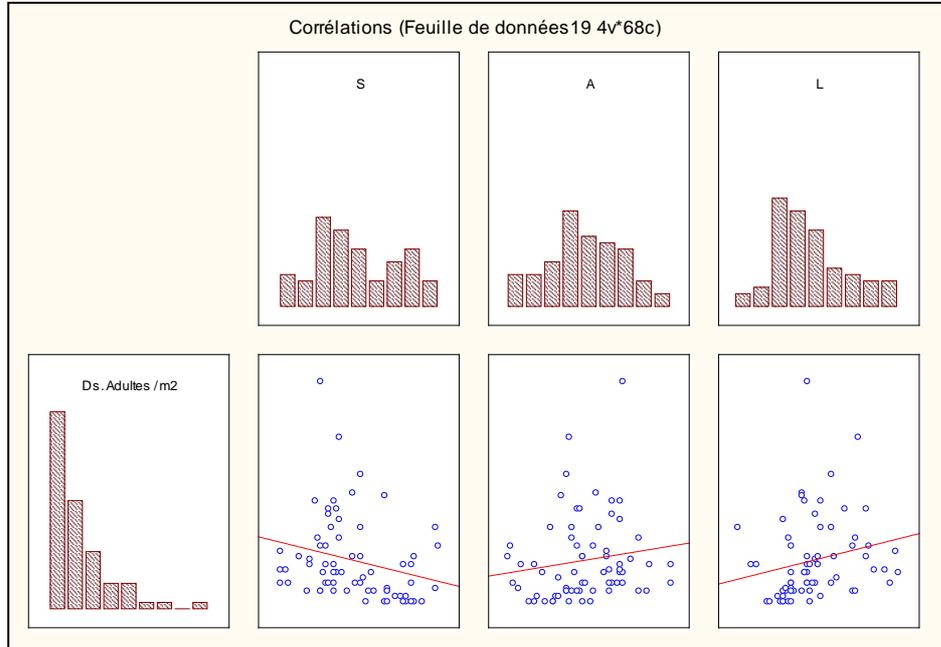


Figure 3.33 : Les corrélations entre la fraction granulométrique et la densité de l'espèce *Ap. trapezoides*.

Sept classes texturales sont fréquentées par l'espèce *Ap. trapezoides* dont 31% de l'ensemble des échantillons sont argileux, 24% limono-argileux, 21% limono-argileux sableux, 15% limono-sableux, 7% argilo-limoneux et 1% pour chacune des deux classes limoneuse et limoneuse fine. Il semble que cette espèce préfère les sols riches en argile et limon (Fig. 3.34).

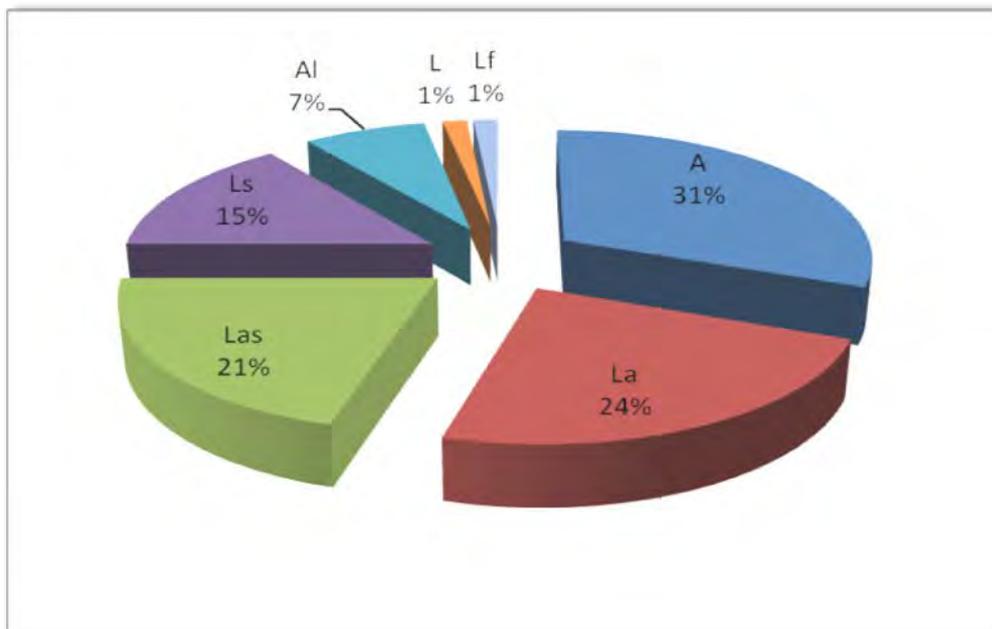


Figure 3.34 : Pourcentage (%) des classes texturales fréquentées par l'espèce *Ap. trapezoides*.

b. L'espèce *Ap. rosea*

Cette espèce est rencontrée dans 27 sites, caractérisés par un pH variant de 6,35 (relevé Oh3) à 8,53 (relevé Gun1) (Fig. 3.35) et une conductivité électrique (Fig. 3.36) qui change de 0,11 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (à Eg2) à 3,87 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (à Azt2). Les valeurs de la densité varient de 1 individu/m² (à SO1, SO2, Gun1, Gun2) à 22 individus/m² (Am1), elles ne sont pas corrélées ni au pH ($r = 0,09$; $p < 0,05$) ni à la conductivité électrique ($r = - 0,29$; $p < 0,05$) (Fig.3.37).

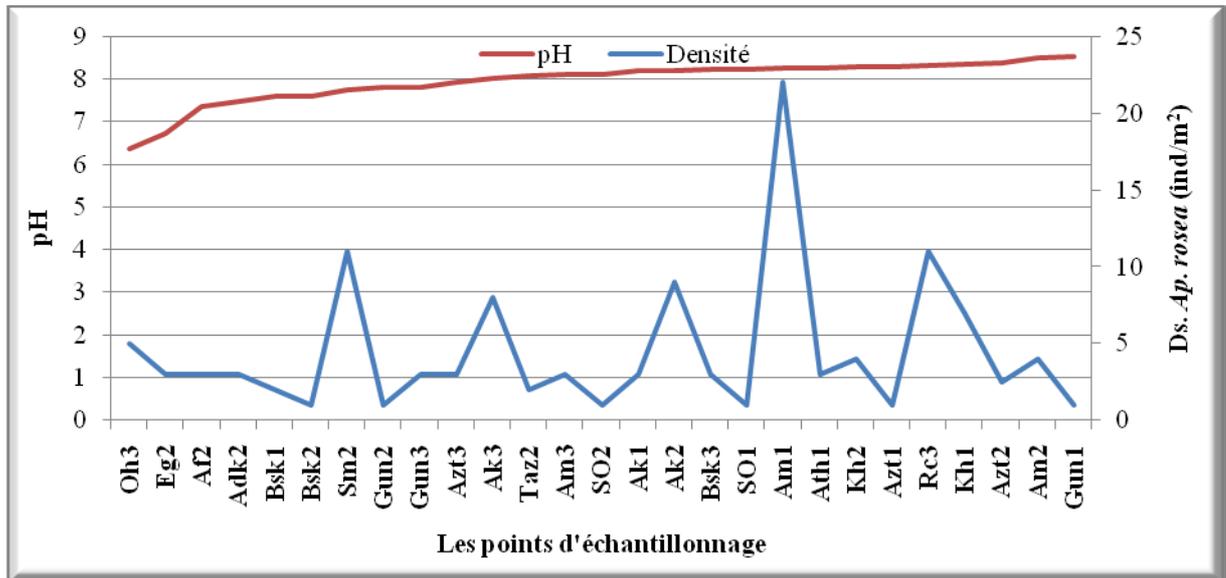


Figure 3.35 : La densité des adultes d' *Ap. rosea* (ind/m²) et le pH dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.

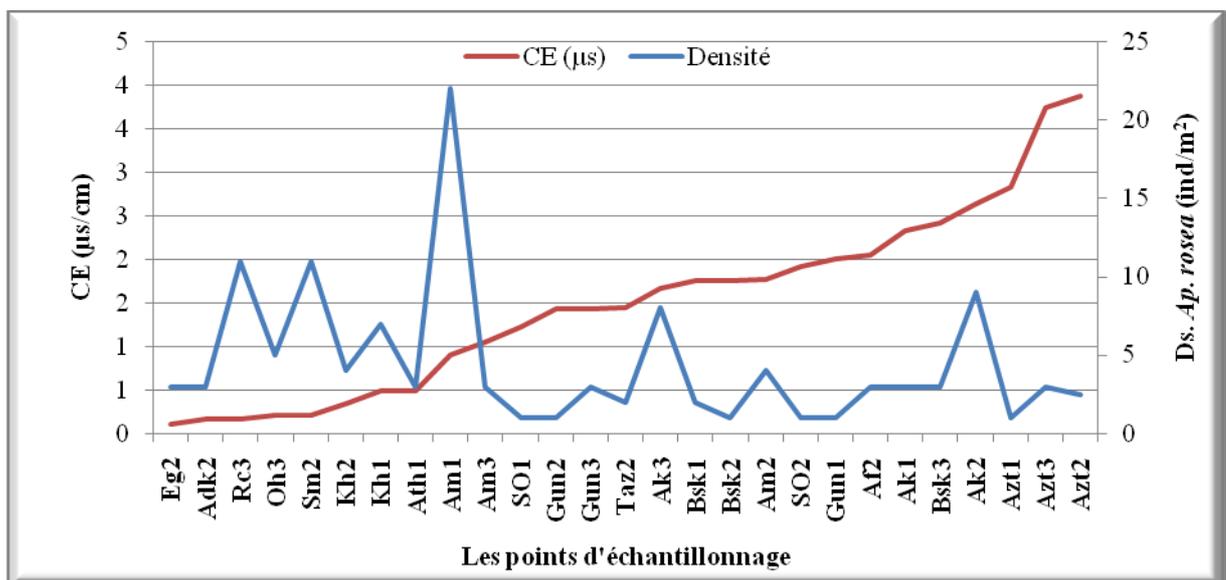


Figure 3.36 : La densité des adultes d'*Ap. rosea* (ind/m²) et la CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.

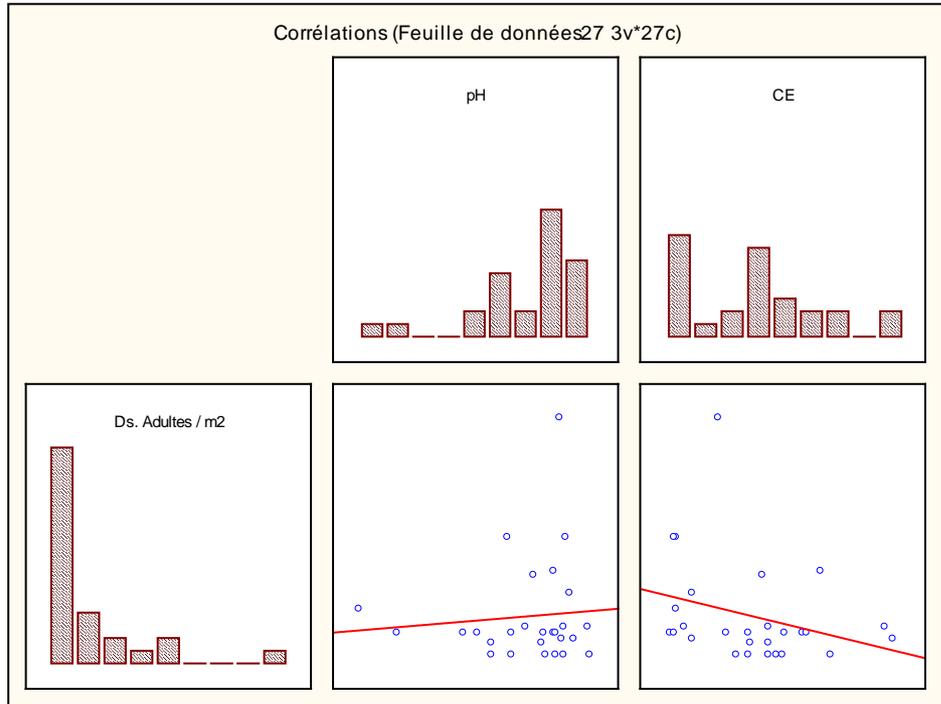


Figure 3.37 : Les corrélations entre le pH, CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) et la densité (ind/m^2) de l'espèce *Ap. rosea*.

Les valeurs du carbone organique (C%) se situent entre 0,43% (relevé Gun3) et 4,38% (relevé Eg2), la M.O varie de 0,75% (à Gun3) à 68,30% (à Eg2) et les teneurs en Azote total se limitent entre 0,05% à Gun3) et 1,46% (à Sm2) (Fig. 3.38, 3.39). La densité n'expose pas de corrélations significatives avec les variables N% ($r = 0,09$), M.O% ($r = 0,30$) et C/N ($r = - 0,17$) (Fig. 3.41).

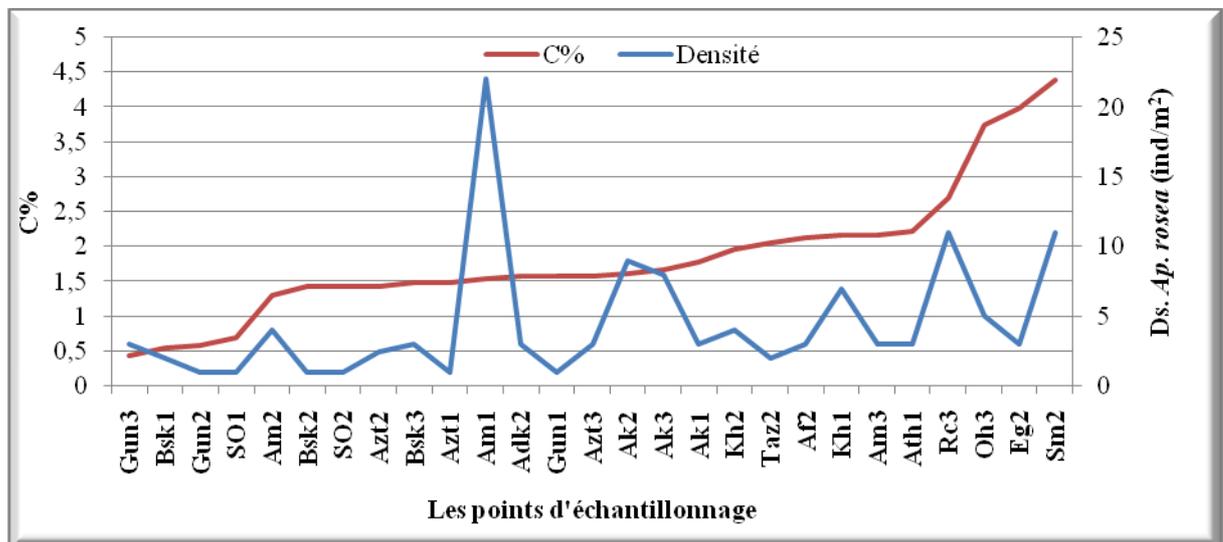


Figure 3.38 : La densité des adultes d'*Ap. rosea* (ind/m^2) et le carbone organique (C%) dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.

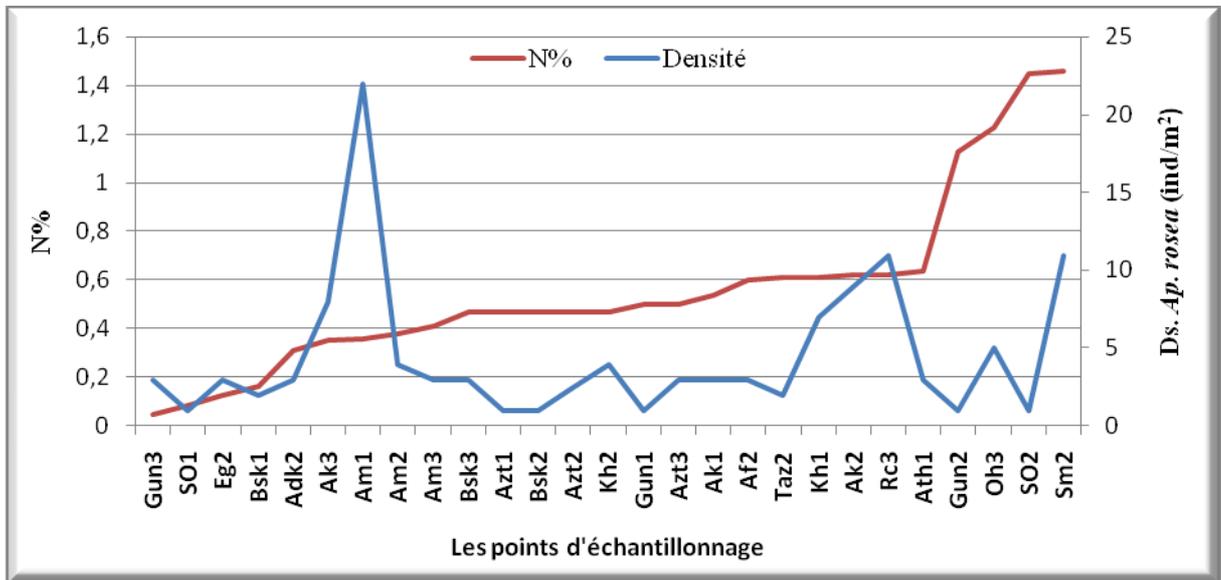


Figure 3.39 : La densité des adultes d'*Ap. rosea* (ind/m²) et l'azote total (N%) dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.

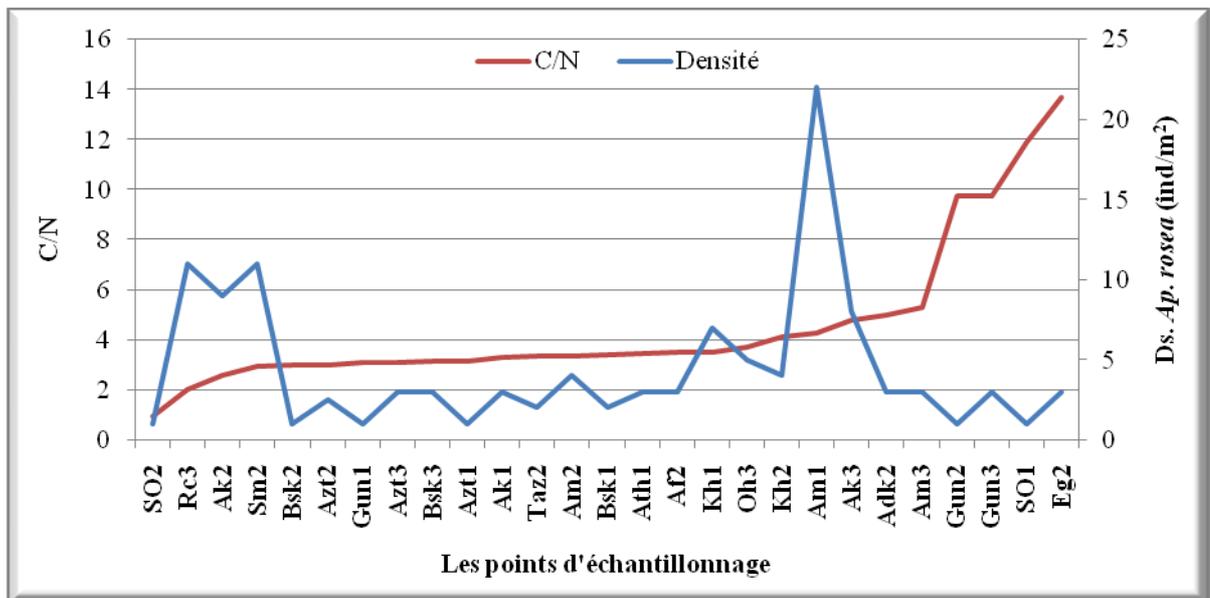


Figure 3.40 : La densité des adultes d'*Ap. rosea* (ind/m²) et le rapport C/N dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.

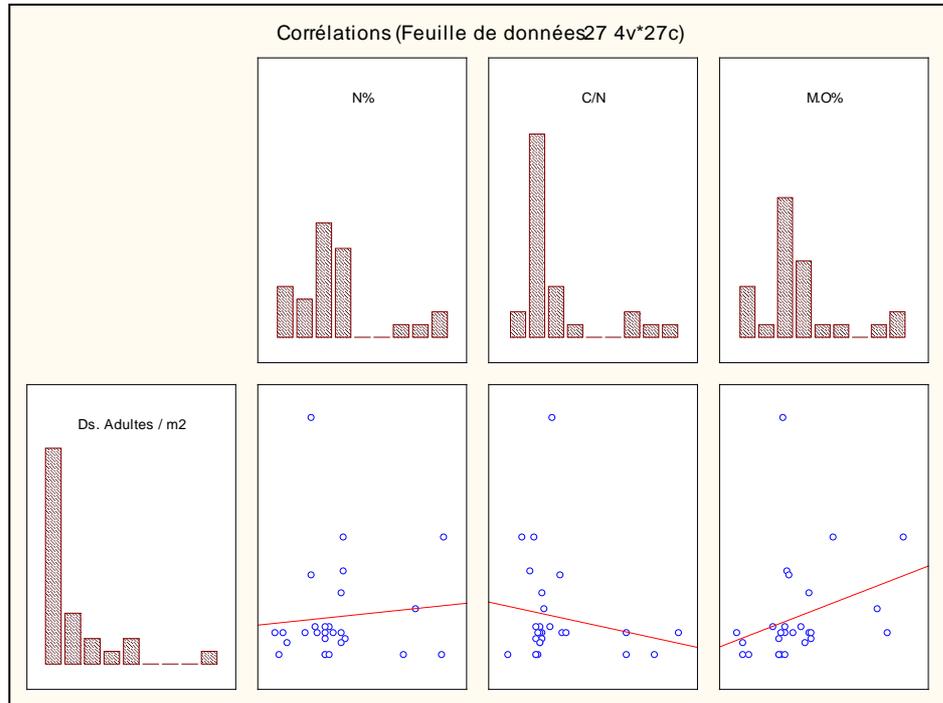


Figure 3.41 : Les corrélations entre la fraction granulométrique et la densité de l'espèce *Ap. rosea* (ind/m²).

Pour la granulométrie (Fig. 3.42), la fraction sableuse varie de 6% (à Af2) à 64% (à Kh2), la fraction argileuse de 18% (SO2) à 75.50% (à Eg2) et la fraction limoneuse de 13% (à Azt2) à 52% (à SO2). Leurs corrélations avec la densité de l'espèce sont comme suit : la fraction sableuse ($r = -0,30$), l'argile ($r = 0,25$) et le limon ($r = 0,09$) (Fig. 3.43).

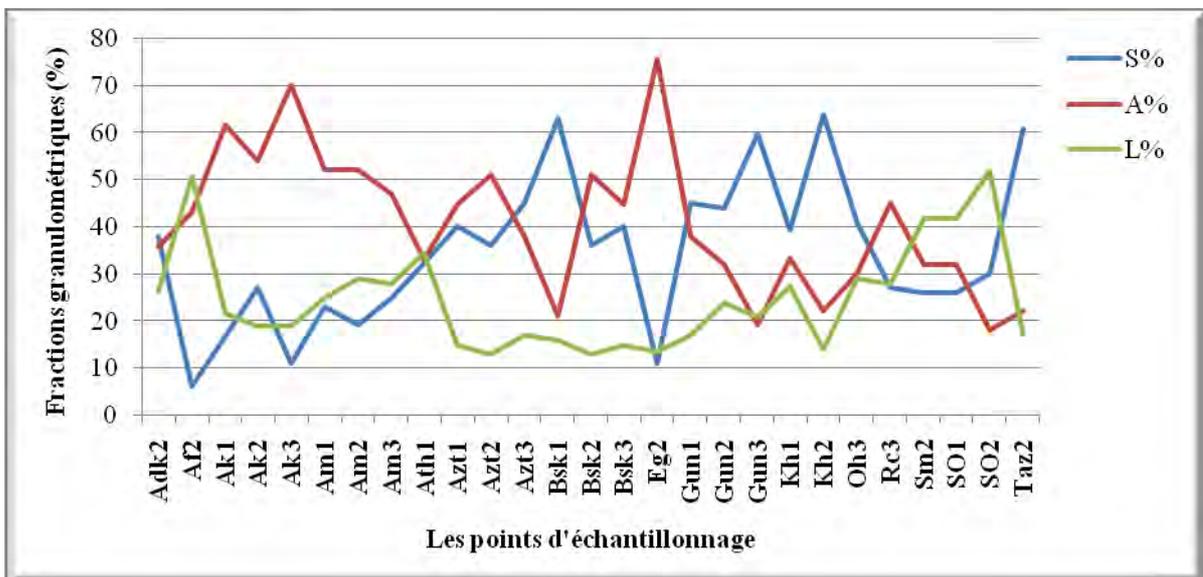


Figure 3.42 : La densité des adultes d'*Ap. rosea* (ind/m²) et les fractions granulométriques (%A ; %L et %S) dans les différents relevés d'échantillonnage.

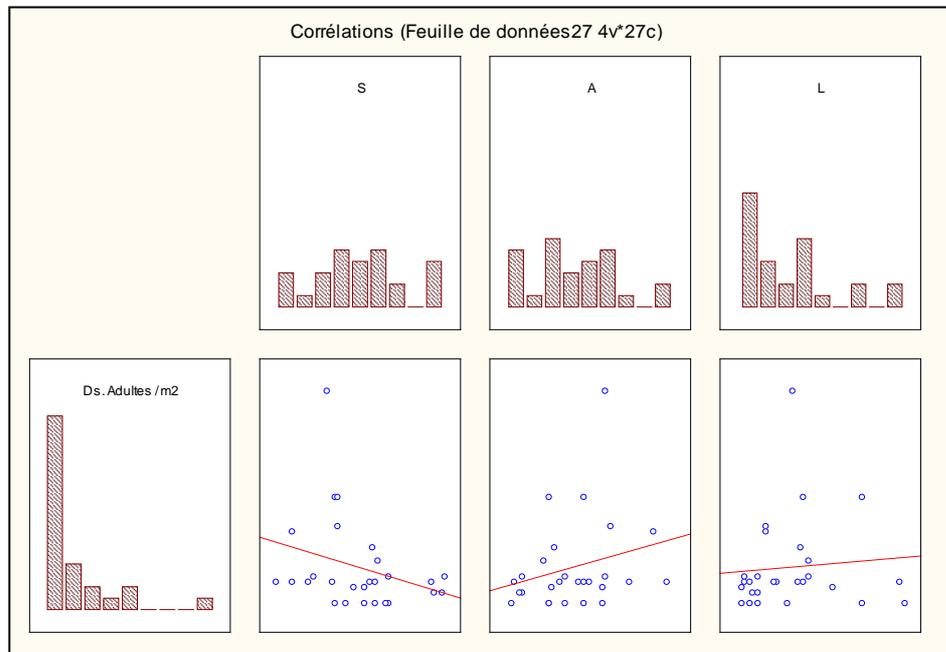


Figure 3. 43 : Les corrélations entre la fraction granulométrique (%A, %L et %S) et la densité de l'espèce *Ap. rosea* (ind/m²).

L'espèce *Ap. rosea* fréquente 7 classes texturales dont les pourcentages sont de l'ordre de : argileux (44%), limono-argileux (22%), limoneux-argileux sableux (15%), argilo-sableux (7%), argilo-sableux et 4% pour chacun de limono-sableux, argilo-limoneux et limono-argileux fins (Fig.3.44).

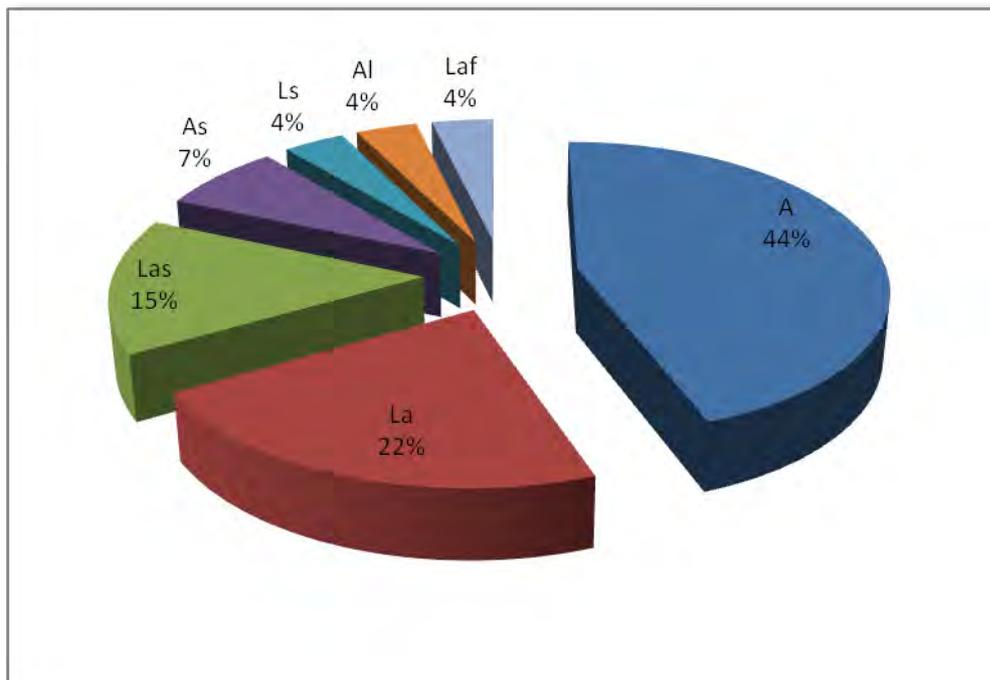


Figure 3.44 : Pourcentage (%) des classes texturales fréquentées par *Ap. rosea*.

c. L'espèce *A. moleri*

Le pH des sols pour cette espèce varie de 5,15 (relevé Ok1) à 8,45 (relevé Ath2) et la conductivité électrique change de 0,14 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (relevé Obo1) et 0,67 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (relevé Ath2) (Fig.3.45, 3.46). La densité varie de 2 individus / m^2 (à Ts1) à 16 individus / m^2 (à Os2), elle présente des corrélations avec le pH ($r = 0,49$) et CE ($r = 0,70$) (Fig.3.47).

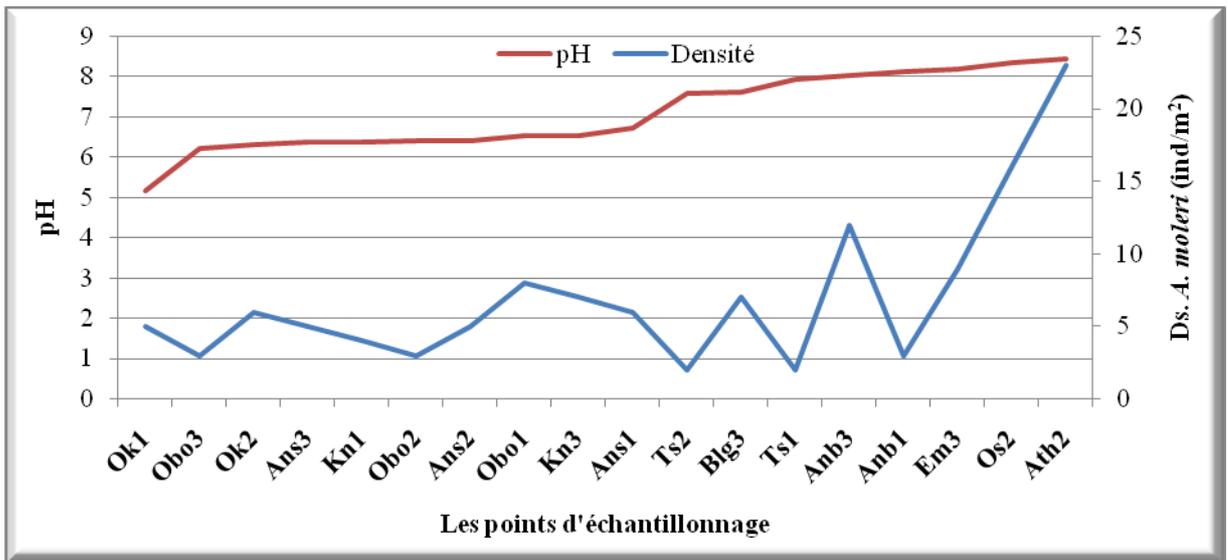


Figure 3.45 : La densité des adultes d'*A. moleri* (ind/m²) et le pH dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.

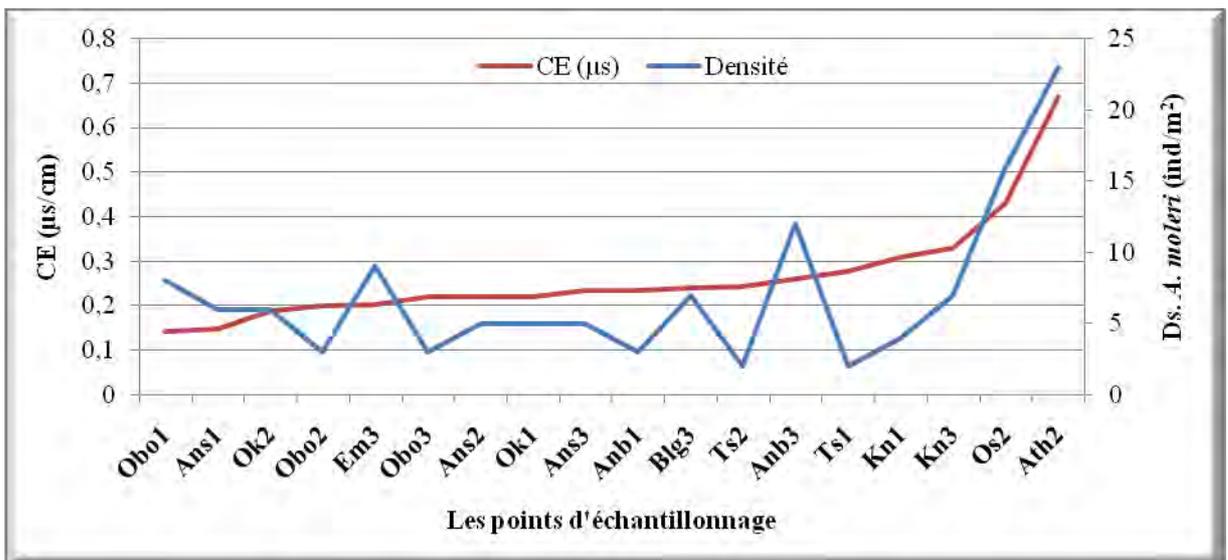


Figure 3.46 : La densité des adultes d'*A. moleri* (ind/m²) et la CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.

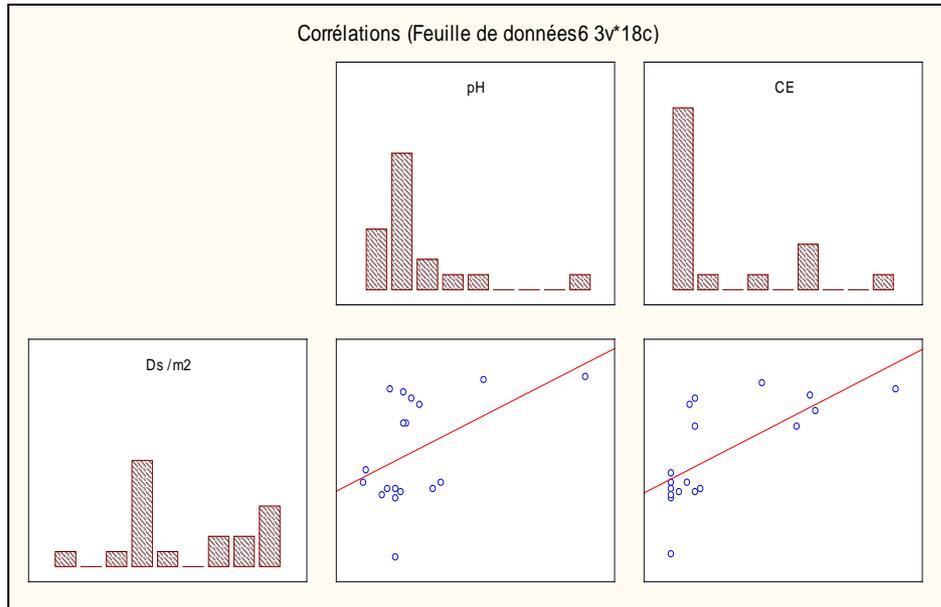


Figure 3.47 : Les corrélations entre le pH, CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) et la densité (ind/m^2) de l'espèce *A. moleri*.

Le carbone organique dans les sols fréquentés par *A. moleri*, varie de 0,75% (Ans1) à 3,50% (à An3), l'azote de 0,05% (à Ans1) à 2% (à Ok1) et le rapport C/N change de 2,43 à 15,00 (Fig. 3.48, 3.49, 3.50). Ces variables ne sont pas corrélées à la densité ; M.O% ($r = 0,02$), N% ($r = -0,06$), C/N ($r = -0,09$) (Fig. 3.51).

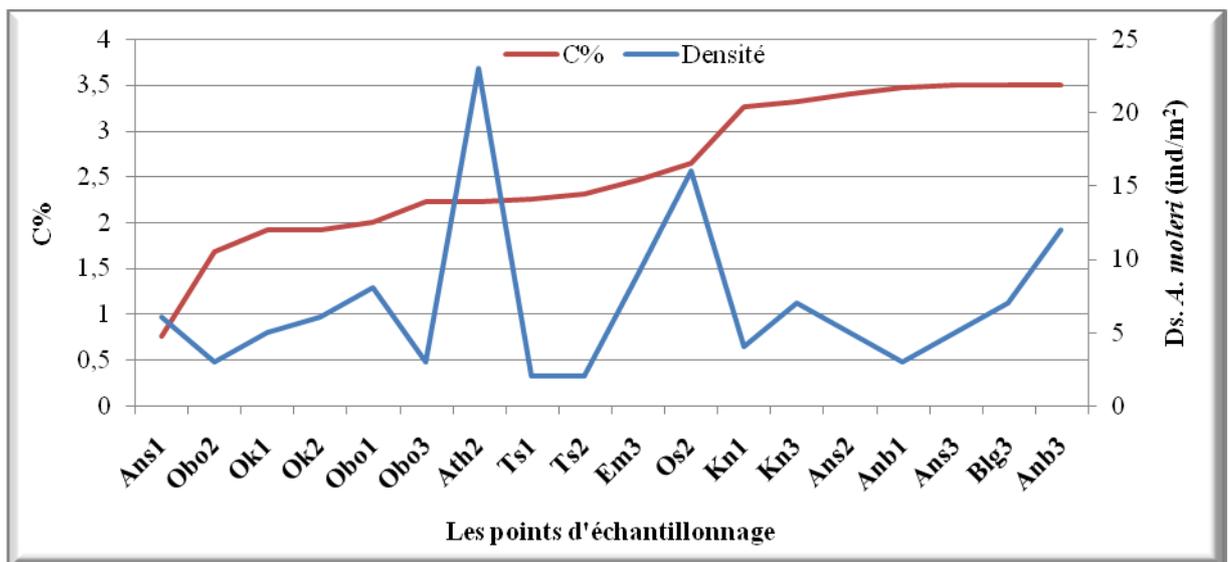


Figure 3.48 : La densité des adultes d'*A. moleri* (ind/m^2) et le carbone organique (C%) dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.

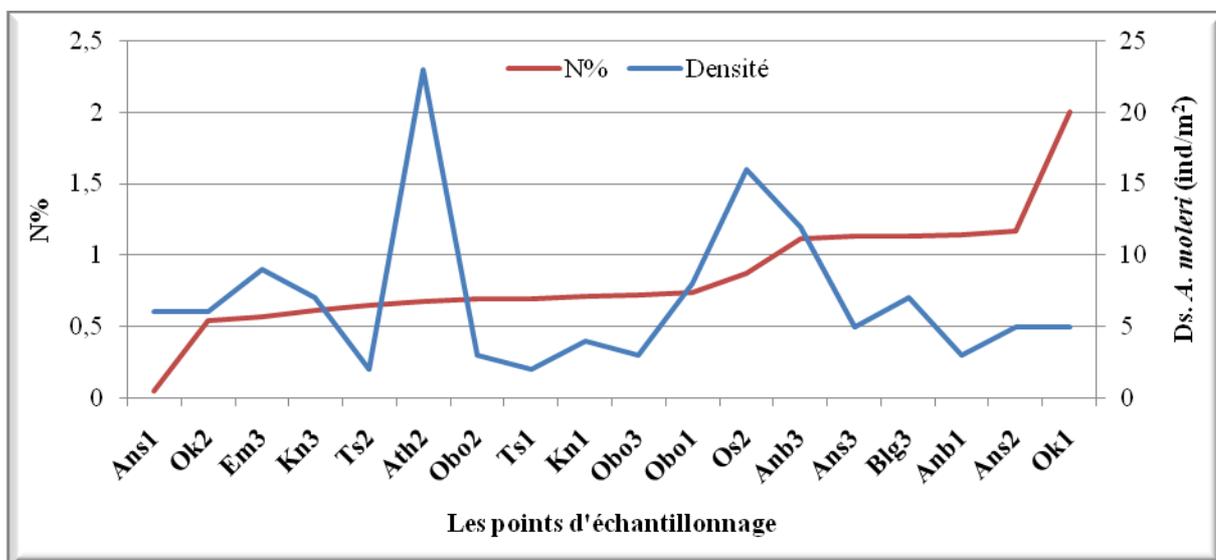


Figure 3.49 : La densité des adultes d'*A. moleri* (ind/m²) et l'azote total (N%) dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.

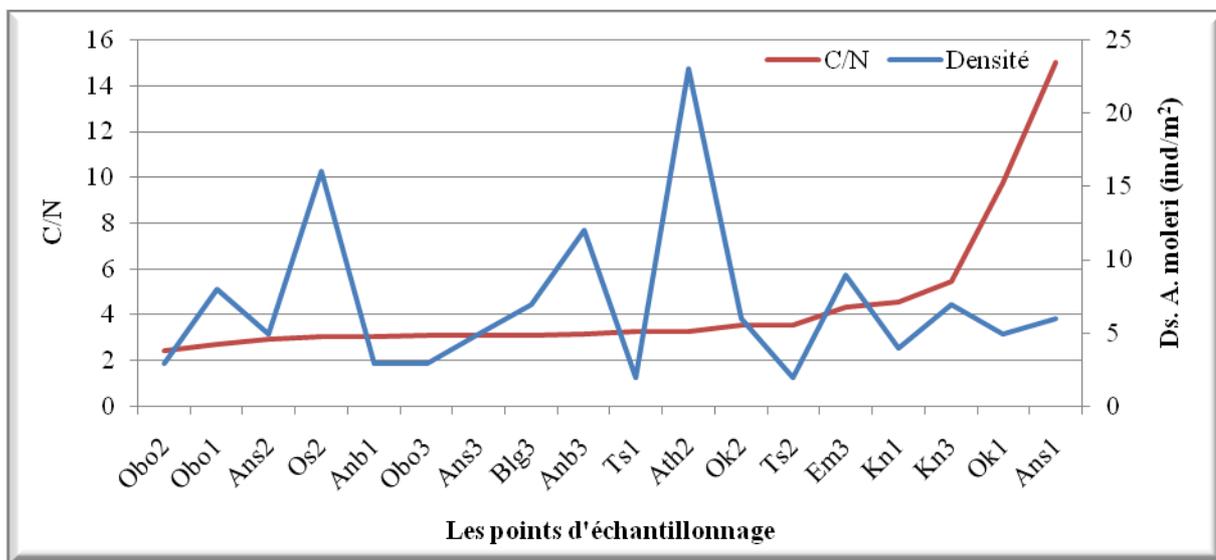


Figure 3.50 : La densité des adultes d'*A. moleri* (ind/m²) et le rapport C/N dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.

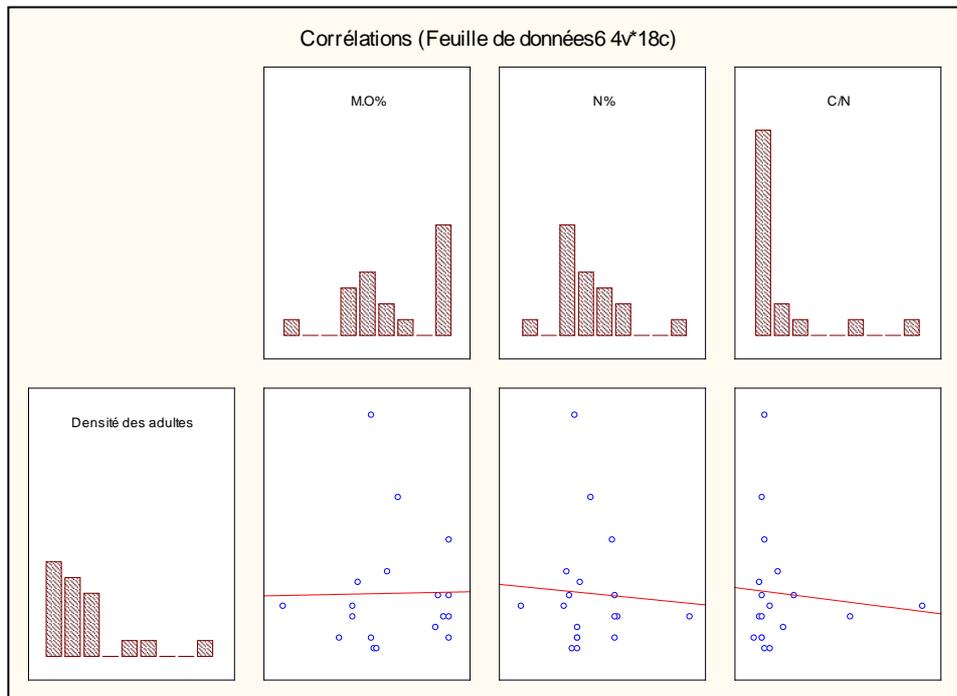


Figure 3.51 : Les corrélations entre la M.O%, N%, C/N et la densité des adultes de l'espèce *A. moleri* (ind/m²).

En ce qui concerne la fraction granulométrique, le sable varie de 13% (relevé Os2) à 49% (relevé Anb1) toutefois l'argile change de 27% (à Anb1) à 72.50% (à Kn3) et le limon de 10% (Kn3) à 42% (Os2) (Fig. 3.52). Les valeurs des trois fractions ne prouvent pas des corrélations significatives avec la densité ; S ($r = -0.03$), A ($r = -0,22$) et L ($r = 0,39$) (Fig. 3.53).

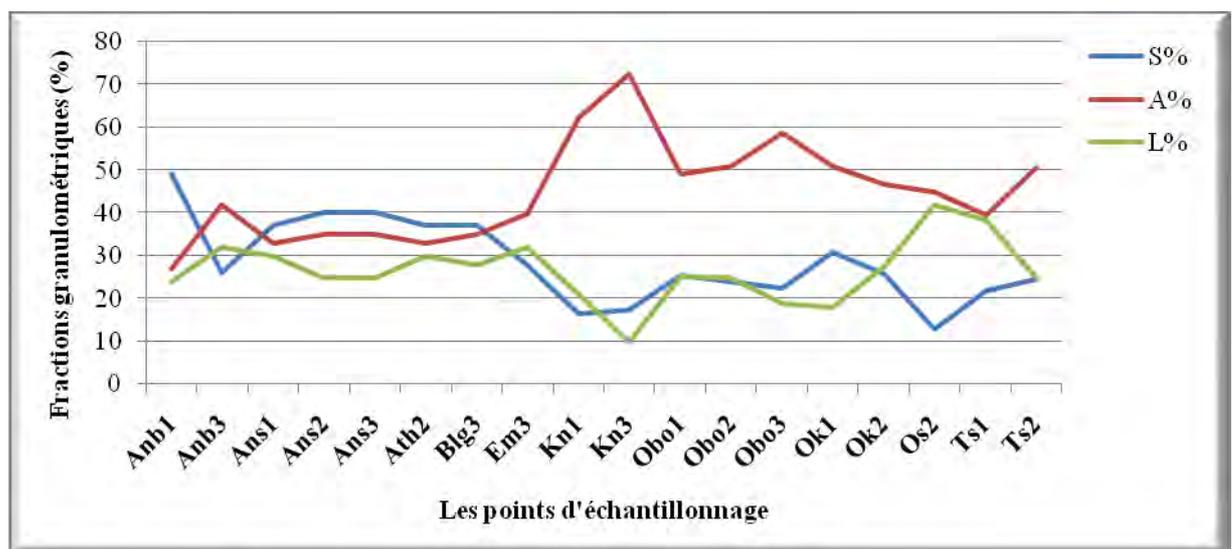


Figure 3.52 : La densité des adultes d'*A. moleri* (ind/m²) et les fractions granulométriques (% A ; %L et %S) dans les différents relevés d'échantillonnage.

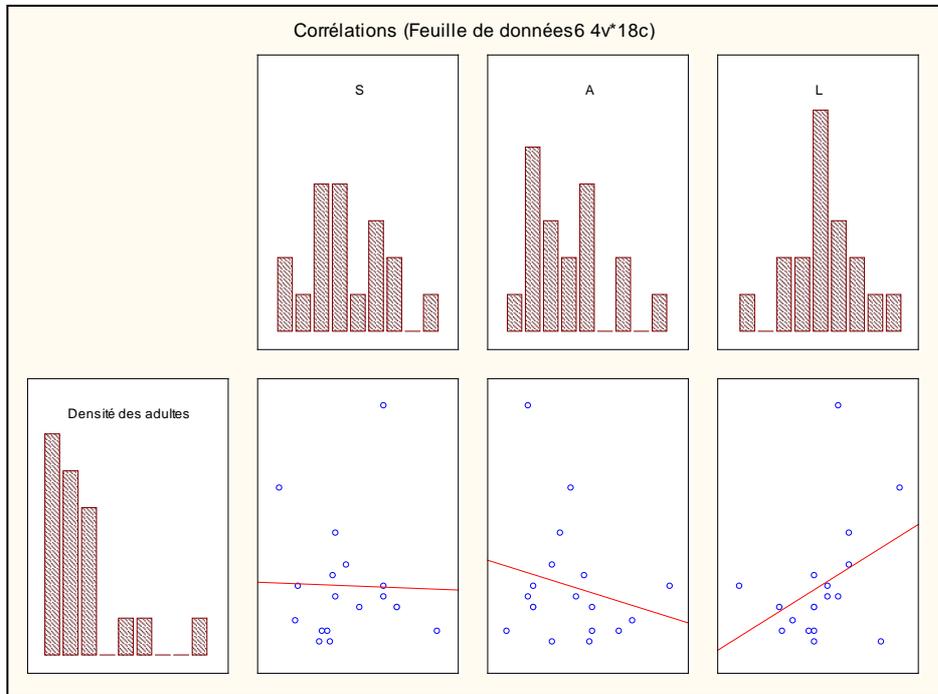


Figure 3.53 : Les corrélations entre la fraction granulométrique (%A, %L et %S) et la densité de l'espèce *A. moleri* (ind/m²).

Quatre classes texturales sont fréquentées par l'espèce *A. moleri* : 44% sont argileuses, 44% limono-argileuses, 6% limono-argileux-sableuses et 6% argilo-limoneuses (Fig. 3.54).

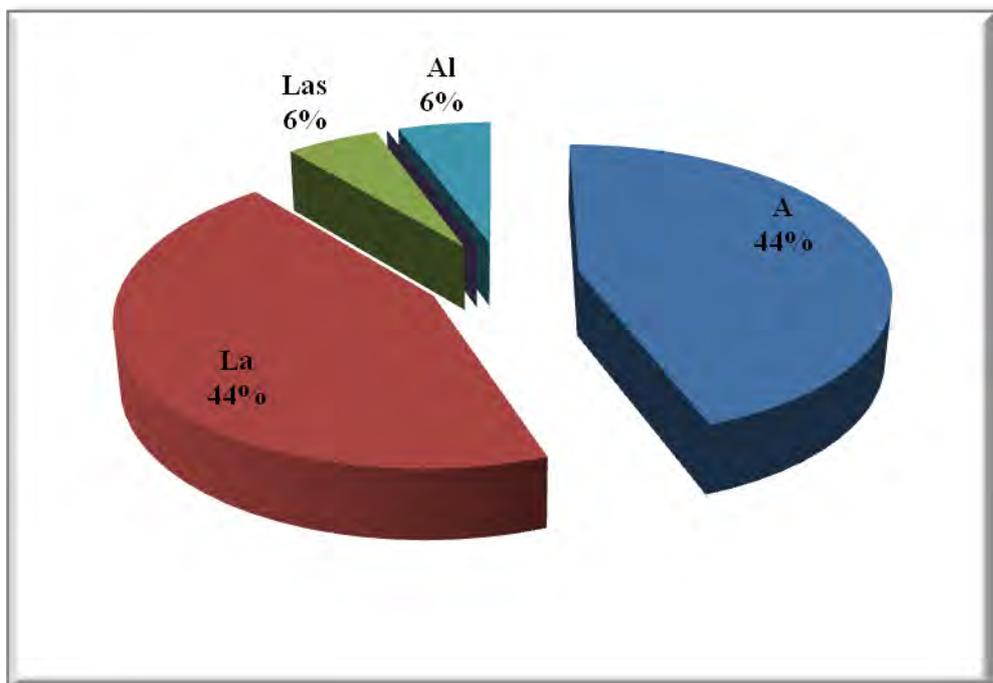


Figure 3.54 : Pourcentage (%) des classes texturales fréquentées par l'espèce *A. moleri*.

d. L'espèce *Octodrilus complanatus*

Cette espèce est collectée dans 6 stations dont le pH des substrats oscille entre 7,47 (à Di1) et 8,25 (à Ath3) (Fig. 3.55) et la CE change de 0,21 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (relevé Di2) à 0,37 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (relevé OZR3) (Fig.3.56). La densité ne présente pas des corrélations significatives ni avec le pH ($r = -0,37$) ni avec la CE ($r = 0,30$) (Fig. 3.57).

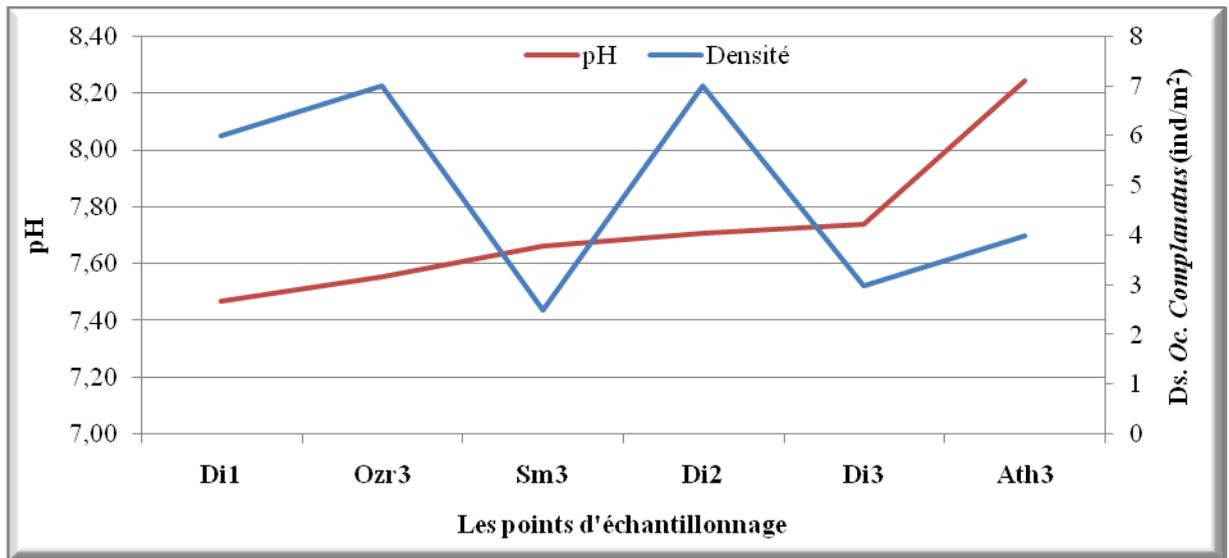


Figure 3.55 : La densité des adultes d'*Octodrilus complanatus* (ind/m²) et le pH dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.

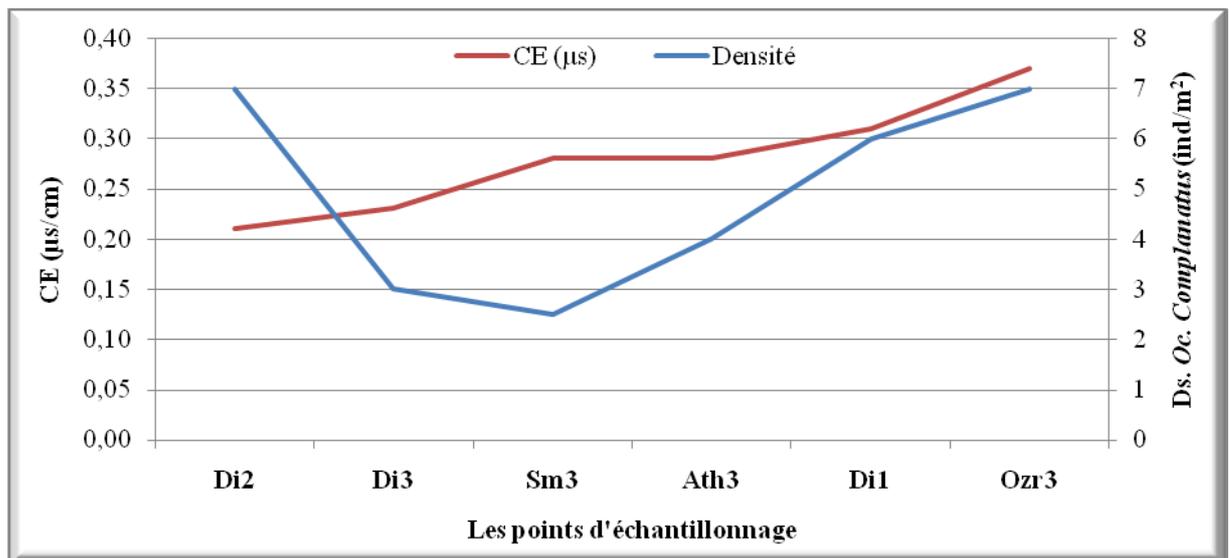


Figure 3.56 : La densité des adultes d'*A. moleri* (ind/m²) et la CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.

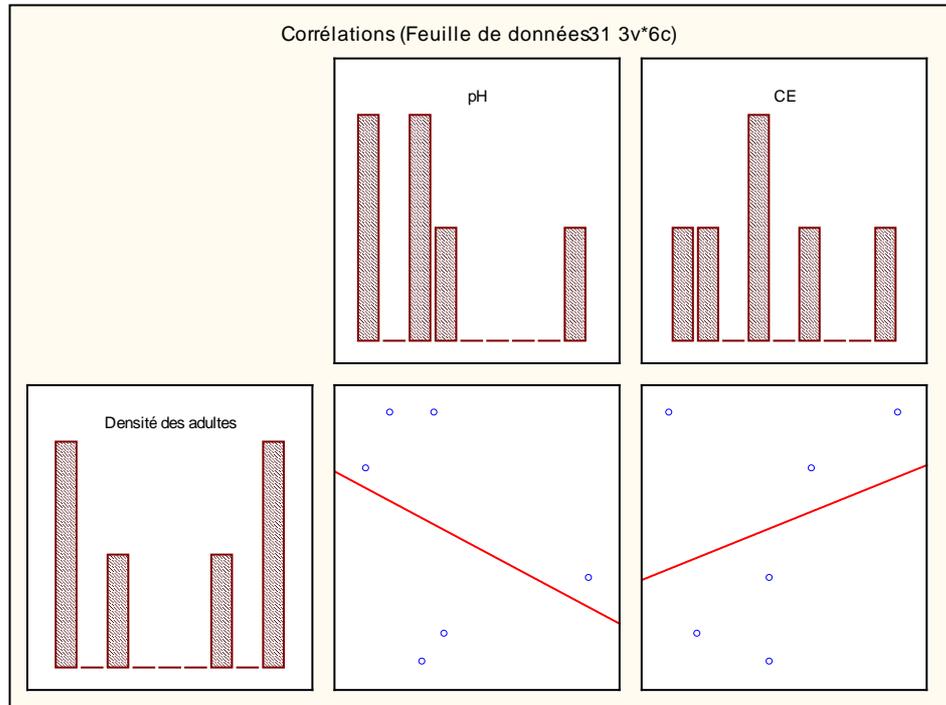


Figure 3.57 : Les corrélations entre le pH, CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) et la densité (ind/m^2) de l'espèce *Octodrilus complanatus* (ind/m^2).

Le carbone organique varie de 1,90% (à Di1) à 4,08% (à Sm3), l'azote de 0,67% (Ath3) à 2,33% (à OZR3) et le rapport C/N de 0,76 (à Di2) à 3,31 (à Ath3). Les corrélations de ces variables avec la densité ne sont pas significatives (Fig. 3.61).

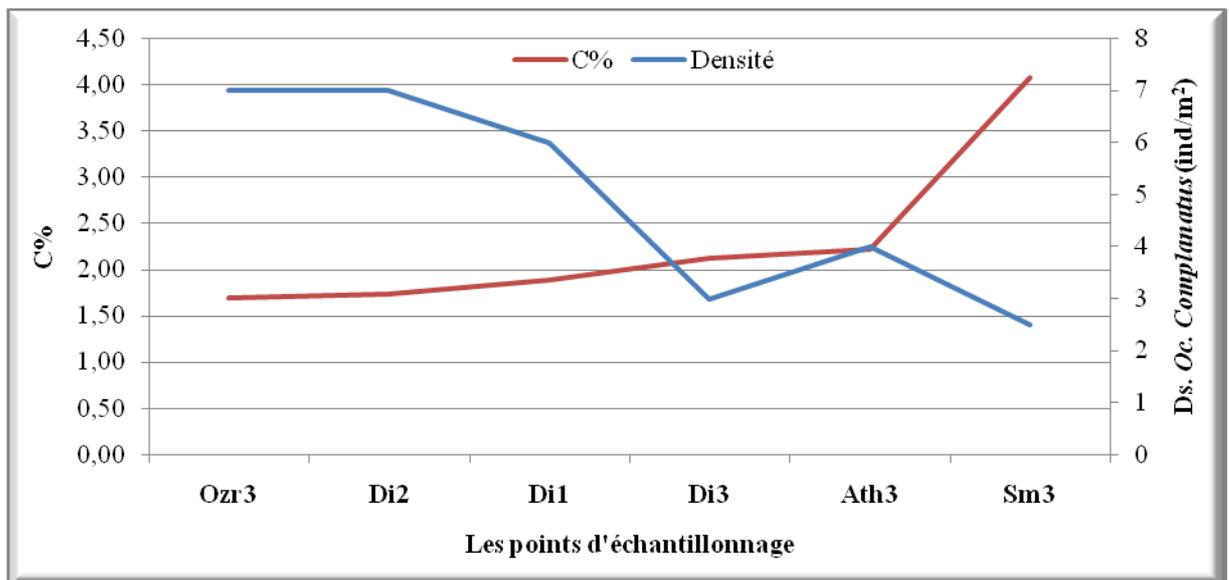


Figure 3.58 : La densité des adultes d'*Octodrilus complanatus* (ind/m^2) et le carbone organique (C%) dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.

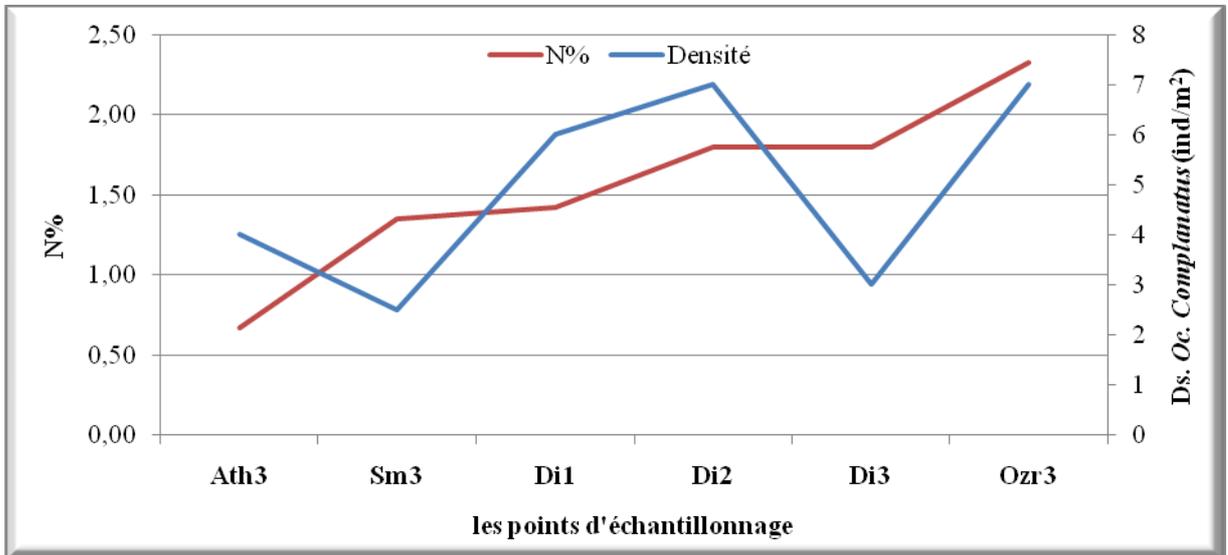


Figure 3.59 : La densité des adultes d'*Octodrilus complanatus* (ind/m²) et l'azote total (N%) dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.

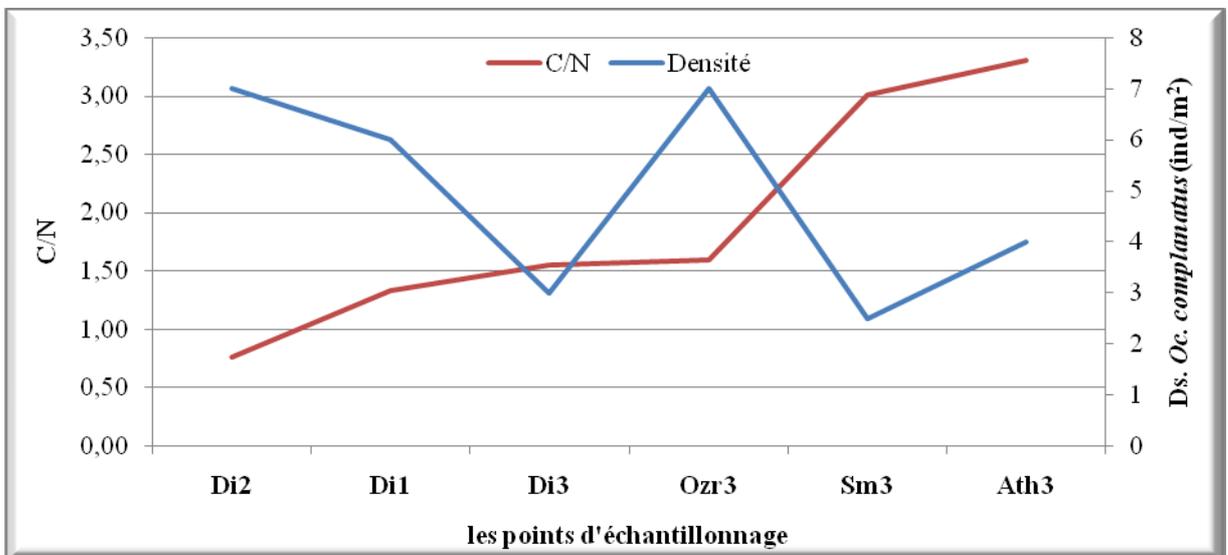


Figure 3.60 : La densité des adultes d'*Octodrilus complanatus* (ind/m²) et le rapport C/N dans différents points d'échantillonnage dans l'Est algérien.

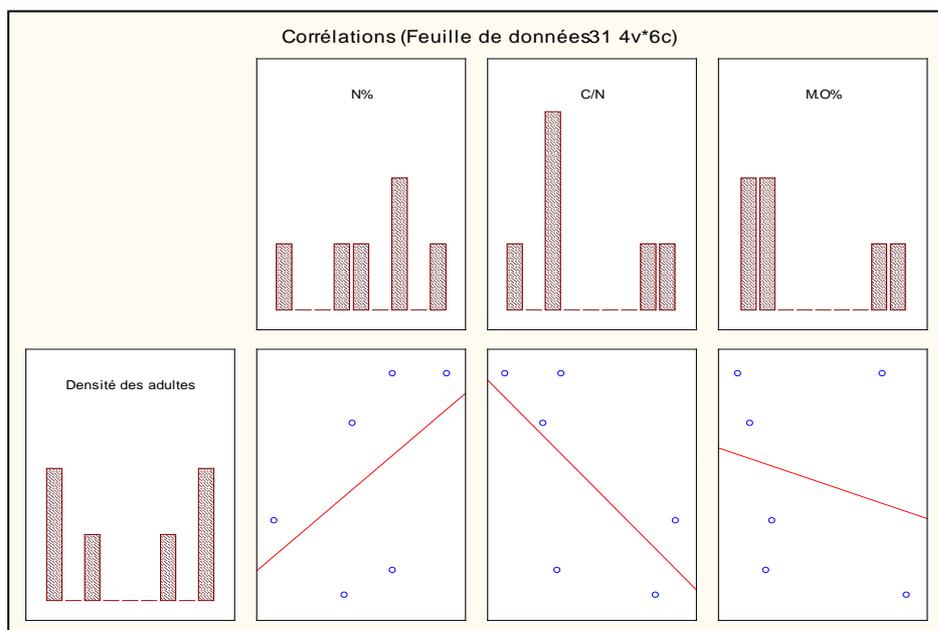


Figure 3.61 : Les corrélations entre la M.O%, N%, C/N et la densité des adultes de l'espèce *Octodrilus complanatus* (ind/m²).

La fraction sableuse est située entre 18,57% (à Di3) et 60% (à OZR3), l'argile de 14% (à OZR3) à 66,82% (à Di2), cependant la fraction limoneuse oscille de 11,67% (à Di1) et 41,00% (à Sm3) (Fig. 3.62). Leurs corrélations avec la densité ne sont pas significatives (Fig. 3.63). Les trois classes texturales signalées pour cette espèce sont de type argileux, limono-argileux et limono-sableux (Cf. Annexe 13).

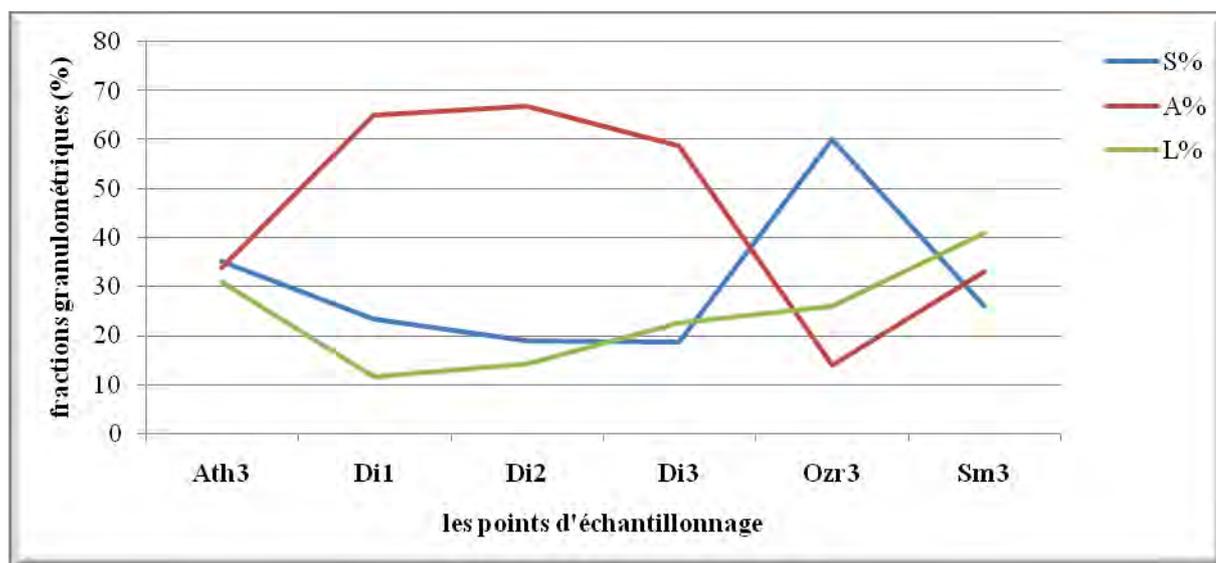


Figure 3.62 : La densité des adultes d'*Octodrilus complanatus* (ind/m²) et les fractions granulométriques (%A ; %L et %S) dans les différents relevés d'échantillonnage.

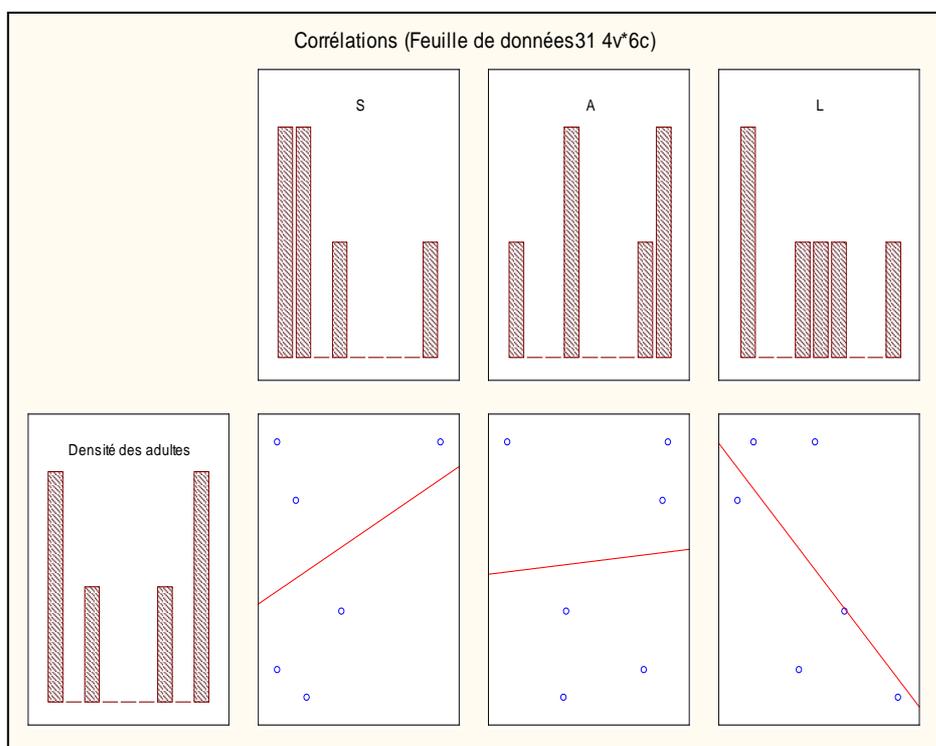


Figure 3.63 : Les corrélations entre la fraction granulométrique (%A, %L et %S) et la densité *Octodrilus complanatus* (ind/m²).

e. L'espèce *Microscolex dubius*

Cette espèce est échantillonnée dans quatre points. Le pH de leurs substrats change de 5,70 à 7,20, la CE varie de 0,11 à 0,36 $\mu\text{S}/\text{cm}$, les taux de CaCO_3 de 0 à 15,05%. Ici, les valeurs de carbone oscillent de 1,16 à 3,47%, l'azote de 0,07% à 1,45% et la matière organique de 2% à 5,97%. Les quatre échantillons sont de type textural argileux (Cf. Annexe 13).

f. L'espèce *Octodrilus maghrebinus*

Cette espèce est collectée dans trois stations dont le pH varie de 5.70 à 6.73, la conductivité électrique de 0.11 à 0.24 $\mu\text{S}/\text{cm}$, le CaCO_3 de 0.00 à 1.50%, le carbone organique de 3.47% à 4.85, l'azote de 0.28 à 1,19% et les valeurs de la M.O oscillent entre de 5.97 et 8.35%. Les trois substrats sont de texture argileuse (Cf. Annexe 12).

g. L'espèce *Microscolex phosphoreus*

Les deux sites d'échantillonnage de cette espèce sont caractérisés par un pH de 8,09 (à Fr2) et 8,19 (à Em3), une CE de 0,18 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Em3) à 1,43 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Fr2) et un taux de CaCO_3 50% (Fr2) à 52% (Em3). L'azote total est de 0,54% (Fr2) et 0,77% (Em3). Pour les valeurs de la M.O,

elles sont de 3,30% (Fr2) à 4,39% (Em3). La texture du substrat est argileuse (à Fr2) et limono-argileuse (à Em3) (Cf. Annexe 13).

h. L'espèce *Aporrectodea monticola*

Cette espèce est collectée dans les deux sites Rc1 et Rc2. Le premier se caractérise par un pH de 8,07 ; CE de 0,20 $\mu\text{S}/\text{cm}$; CaCO_3 de 33% ; l'azote de 0,70% et la M.O est égale à 4,36%. Dans le deuxième site (Rc2), le pH est alcalin (7,90) ; la CE est de 0,23 $\mu\text{S}/\text{cm}$; le taux de CaCO_3 est de 22% ; le C% est égale à 1,90%, l'azote est de 0,35% et la M.O atteint 3,27%. La classe texturale des substrats est limono-argileuse dans les deux points (Cf. Annexe 13).

i. L'espèce *Proctodrilus antipae*

Cette espèce est collectée à Mila, le site est caractérisés par un pH alcalin de 8,48, une CE de 1,38 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et un taux de CaCO_3 de 67%. Le carbone total est de 2,92%, la teneur en azote est de 0,73% et la M.O 5,03%. La classe texturale est argileuse (Cf. Annexe 13).

j. L'espèce *Aporrectodea tetramammalis*

Cette espèce est rencontrée au niveau du site Af1. Le sol se définit par un pH de 7,64 ; une CE de 1,62 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et un taux de CaCO_3 de 90,50%, le carbone total est de 1,77%, l'azote est égale à 0,43% et la valeur de la M.O est de 3,04%. La classe texturale est de type argilo-limoneux (Cf. Annexe 12).

k. L'espèce *Aporrectodea carochensis*

Cette espèce est distinguée dans la station Ak3 qui est déterminée par les paramètres édaphiques suivants : pH = 8,01 ; CE = 1,67% ; CaCO_3 = 70% ; C% = 1,67%, N% = 0,35% ; M.O% = 2,87%. La classe texturale est argileuse (Cf. Annexe 13).

l. L'espèce *Hormogaster redii*

Cette espèce est collectée dans la station Sr1, où le sol est caractérisée par un pH acide (pH = 5,93) ; une CE de 0,16 $\mu\text{S}/\text{cm}$; le taux de CaCO_3 est nul. Le carbone organique est de 1,86%, l'azote total est de 2% et la matière organique est de 3,20%. Le substrat est limono-argileux fin (Cf. Annexe 13).

m. L'espèce *Dendrobaena byblica*

Les sols de la station Oh où est échantillonnée l'espèce *Dendrobaena byblica* est défini par les caractéristiques suivantes : pH = 6,37 ; CE = 0,15 $\mu\text{S/cm}$; CaCO_3 = 2,30% ; C% = 4,67% ; N% = 1,21% et la M.O = 3,05%. La classe texturale est argileuse (Cf. Annexe 13).

n. L'espèce *Eisenia fetida*

Elle est rencontrée dans le site M13 caractérisé par un pH alcalin de 8,16, une CE de 0,50 $\mu\text{S/cm}$ et un taux de CaCO_3 de 41%. Le carbone organique est de 1,77%, la teneur en azote total est de 0,51% et la M.O est égale à 3,79%. La texture du sol est de type argileux (Cf. Annexe 13).

o. L'espèce *Eiseniella tetraedra*

Dans le site Em3 où est collectée *Eiseniella tetraedra*, le pH est alcalin (pH = 8,21), la CE = 0,21 $\mu\text{S/cm}$, le taux de CaCO_3 = 53%, le C% = 2,47%, l'azote total = 0,47% et la M.O = 4,24%. La classe texturale est de type limono-argileux (Cf. Annexe 13).

p. L'espèce *Aporrectodea caliginosa*

Cette espèce est collectée dans la station Em2 caractérisée par un pH alcalin (pH = 8,21), une CE de 0,20 $\mu\text{S/cm}$, un taux de CaCO_3 de 53%, une teneur en carbone organique de 2,47%, un total d'azote de 0,57%, une valeur de M.O de 4,24%. Le substrat est de type limono-argileux (Cf. Annexe 13).

q. L'espèce *Octolasion lacteum*

Dans la station Lh2 où est échantillonnée cette espèce, le pH est acide (pH = 6,22), la CE est de 0,13 $\mu\text{S/cm}$, le CaCO_3 est nul, le carbone total est de 6,92%, l'azote est de 0,08% et la M.O est égale à 11,90%. La classe texturale est argileuse (Cf. Annexe 13).

r. L'espèce *Allolobophora chlorotica*

Cette espèce est rencontrée dans le site Aok2 (Melbou), déterminé par les paramètres suivants : pH = 7,65, CE = 0,71 $\mu\text{S/cm}$, CaCO_3 = 15,76%, C% = 1,81%, N% = 0,17% et la M.O = 3,12%. La classe texturale est de type limono-argileux (Cf. Annexe 13).

3.1.4.1. La relation espèces lombriciennes et les paramètres édaphiques par l'Analyse Canonique des Correspondances (ACC).

L'objectif de l'ACC a été développé dans le cadre d'applications en écologie (Ter Braak, 1986). L'analyse canonique des correspondances permet d'analyser la relation entre deux tableaux (deux ensembles) T1 et T2 contenant les variables descriptives par rapport à un tableau de contingence (T3) qui contient les effectifs ou les fréquences d'une série d'objet (Espèces), et d'obtenir une représentation simultanée des sites, des objets, et des variables en deux ou trois dimensions, optimale pour un critère de variance (Ter Braak, 1986 et Chessel 1987).

Dans notre analyse (Cf. Annexes 14 et 15), la répartition de l'inertie entre l'ACC contrainte (variables explicatives) et non contrainte (variables résiduelles) est de 93,35% à 6,64% (Fig. 3.64). Cela confirme que les premières variables expliquent une bonne partie de la variabilité. La partie non contrainte (6,64%) n'aurait pas donc un sens.

D'une autre part, l'analyse des valeurs propres de l'ACC (Tab. 3.11 et Fig. 64) permet de voir que la majeure partie de l'inertie est représentée par le premier axe (97,57%). Cela signifie que la représentation de l'ACC en deux dimensions est suffisante pour analyser les relations entre nos espèces et les variables descriptives.

Tableau 3.11 : Inertie et Valeurs propres de l'Analyse Canonique des Correspondances (ACC).

		Valeur	%
Inertie :	Totale	0,504	100,000
	Contrainte	0,470	93,353
	Non-contrainte	0,033	6,647
		F1	F2
Valeurs propres et pourcentages d'inertie (ACC) :	Valeur propre	0,459	0,011
	Inertie contrainte (%)	97,573	2,427
	% cumulé	97,573	100,000
	Inertie totale	91,087	2,266
	% cumulé (%)	91,087	93,353

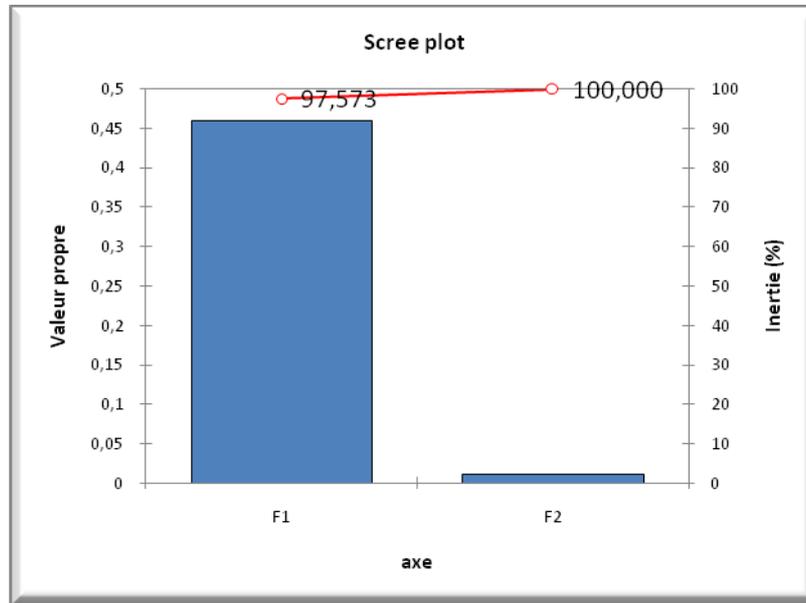


Figure 3.64 : Valeurs propres et pourcentages d'inertie (ACC).

La représentation graphique de l'ACC (Fig. 3.65 et 3.66) permet de visualiser simultanément les espèces et les facteurs édaphiques. Elle indique que l'axe F1 est positivement corrélé aux espèces *Aporrectodea rosea*, *Aporrectodea trapezoides* et *Allolobophora molleri* ainsi qu'aux variables explicatives S (sable), N (azote total) CE (conductivité) et la densité des adultes. Il est négativement corrélé aux taxons *Aporrectodea tetramammalis*, *Aporrectodea carochensis*, *Proctodrilus antipae*, *Microscolex phosphoreus*, *Eisenia foetida*, *Eiseniella tetraedra*, *Aporrectodea caliginosa*, *Microscolex dubius*, *Aporrectodea monticola*, *Octodrilus complanatus*, *Dendrobaena byblica*, *Octolasion lacteum*, *Allolobophora chlorotica*, *Octodrilus maghrebinus* et *Hormogaster redii*.

Cependant l'axe F2 prouve des corrélations aux espèces *Octolasion lacteum*, *Octodrilus maghrebinus*, *Dendrobaena byblica*, *Aporrectodea carochensis*, *Microscolex dubius* et moyennement avec *Aporrectodea tetramammalis*, *Eisenia foetida* *Microscolex phosphoreus*, ainsi que les variables édaphiques argile et matière organique. Toutefois, il est négativement corrélé aux espèces *Aporrectodea caliginosa*, *Eiseniella tetraedra*, *Aporrectodea monticola*, *Octodrilus complanatus*, *Allolobophora chlorotica* et *Hormogaster redii* ainsi que les variables édaphiques CE, CaCO₃ (calcaire total), C/N, Ca⁺⁺ (calcaire actif), pH, le limon et la biomasse.

Cela veut dire que *Aporrectodea rosea*, *Aporrectodea trapezoides* et *Allolobophora molleri* dont la densité des individus est élevée, peuvent côtoyer les milieux riches en sable et supporter une certaine valeur de conductivité électrique et aussi leurs substrats sont riches en azote. *Octolasion lacteum*, *Octodrilus maghrebinus*, *Dendrobaena byblica*, *Aporrectodea*

carochensis, *Microscolex dubius* montrent des tendances vers les teneurs élevées en matière organique et en argile. Nous voyons aussi que leurs sols contiennent une densité élevée des vers de terre, alors que les taxons *Aporrectodea caliginosa*, *Aporrectodea monticola*, *Octodrilus complanatus*, *Allolobophora chlorotica* et *Hormogaster redii* sont liés plus aux paramètres CaCO_3 , pH, Ca^{++} et la fraction limoneuse, ils se localisent dans les sites pauvres en matière organique.

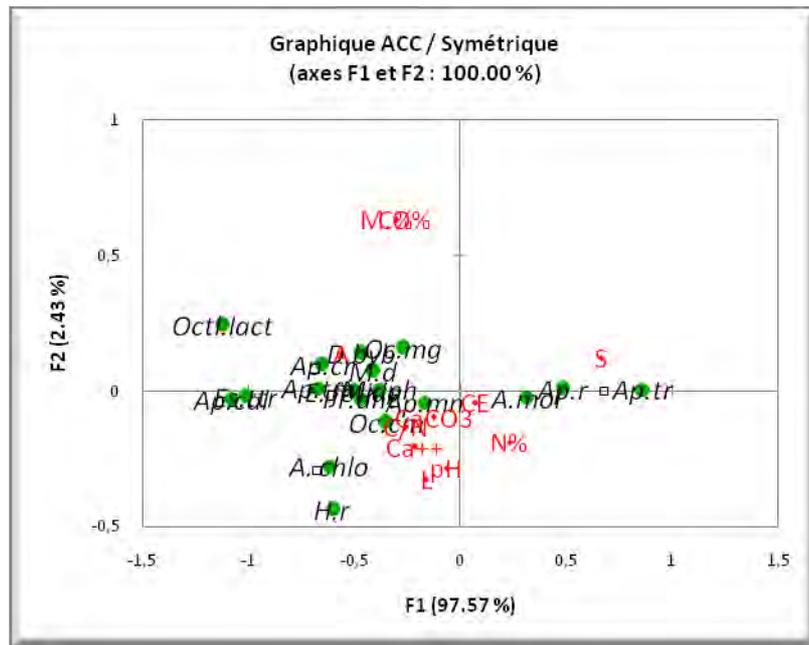


Figure 3.65 : Graphique de l'Analyse Canonique des Correspondances (ACC) selon les deux axes F1xF2.

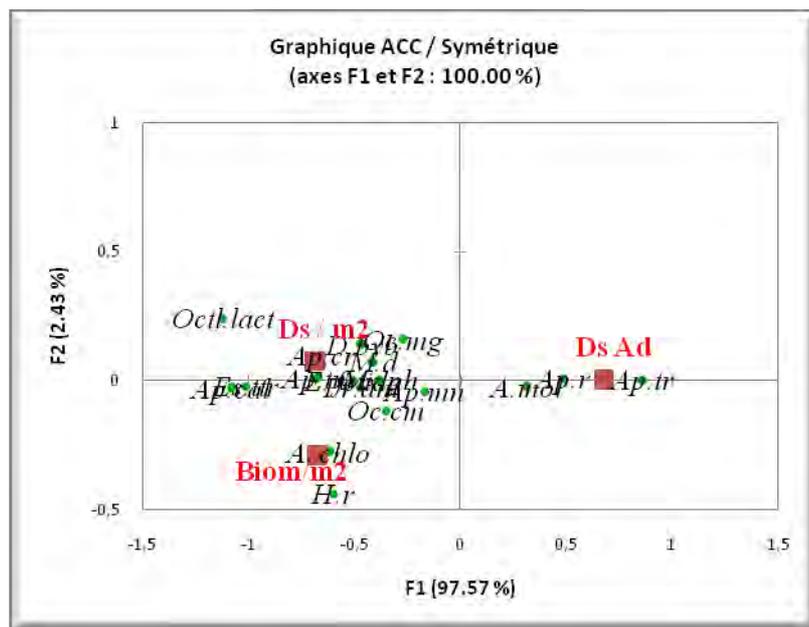


Figure 3.66 : Graphique de l'Analyse Canonique des Correspondances (ACC) selon les deux axes F1xF3.

3.1.4.2. La relation espèces lombriciennes et les paramètres édaphiques selon la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH).

L'objectif de cette analyse est de rassembler les espèces lombriciennes selon les critères de ressemblance. Les observations les plus ressemblantes seront ainsi réunies dans des groupes homogènes. La classification est ascendante car elle part des observations individuelles ; elle est hiérarchique car elle produit des classes ou groupes de plus en plus vastes, incluant des sous-groupes en leur sein.

Le dendrogramme (Fig. 3.67) révèle 4 classes regroupées selon la matrice de proximité (Cf. Annexes 16 et 17) basée sur le coefficient de corrélation de Pearson. La première englobe *Octodrilus maghrebicus*, *Dendrobaena byblica*, *Octolasion lacteum*, *Microscolex dubius*, *Allolobophora chlorotica*, *Octodrilus complanatus* et *Aporrectodea monticola* avec les niveaux de similarité qui varient de 68,59% à 93,53% et des valeurs de corrélation qui oscillent entre $r = 0,80$ et $r = 0,92$ (Cf. Annexe 16). Les barycentres de cette classe sont comme suit (Cf. Annexe 17) : pH = 6,95, CaCO₃ = 10,46%, C.E = 0,27μS/cm, M.O = 5,95%, Sable = 29,84%, Argile = 47,20% , le Limon = 22,94 % et des densités faibles = 14,53 Ind./m². Au sein de cette classe, des critères de ressemblance peuvent être distingués entre les taxons *Octodrilus maghrebicus*, *Dendrobaena byblica*, *Octolasion lacteum* et *Microscolex dubius* qui présentent des distances de similarité situées entre 91,5 et 100%. Ainsi que les deux espèces *Octodrilus complanatus* et *Aporrectodea monticola* qui ont les mêmes marges de similarité (82.09%).

La deuxième rassemble les taxons *Aporrectodea rosea*, *Allolobophora molleri* et *Aporrectodea trapezoides* avec une distance de similarité variant de 93,54% et 94,35% et $r = 0,92$ et $0,94$. Ici, les barycentres des variables de ressemblances sont de l'ordre de : pH = 7,47, CaCO₃ = 31,79%, CE = 0,73μS/m², M.O = 3,87 %, N = 0,76 %, Sable = 33,61%, Argile = 40,35 %, le limon = 26,02 % et des densités élevées = 205,00 Ind./m² (Cf. Annexe 17).

La troisième classe renferme *Microscolex phosphoreus*, *Eisenia foetida*, *Eiseniella tetraedra*, *Aporrectodea caliginosa*, *Proctodrilus antipae*, *Aporrectodea carochensis* et *Aporrectodea tetramammalis* pour des niveaux de similarité variant de 86.37% à 100% et des coefficients de corrélation de $r = 0,88$ à $r = 0,95$. Les barycentres des critères de ressemblances sont comme suit : pH = 8,12, CaCO₃ = 60,78%, CE = 0.90 μS/cm, M.O = 3,75%, Sable = 22,28%, Argile = 47,33%, Limon = 30,38 % et des densités très faibles = 6,00 Ind./m² (Cf. Annexe 17). Ici, nous pouvons observer que les deux espèces *Eiseniella tetraedra*, *Aporrectodea caliginosa* ne montrent aucune différence, la distance de similarité est de 100%.

Enfin la 4^{ème} classe ne regroupe que l'espèce *Hormogaster redii* pour un niveau de similarité de 69,35%. Les barycentres des variables sont comme suit : pH = 5,93, CaCO₃ = 0,00, CE = 0,16 µS/cm, M.O = 3,2%, Sable = 15,50%, Argile = 39,00%, le Limon = 45,50 % et des densités très faible = 3,00 Ind./m² (Annexe 17).

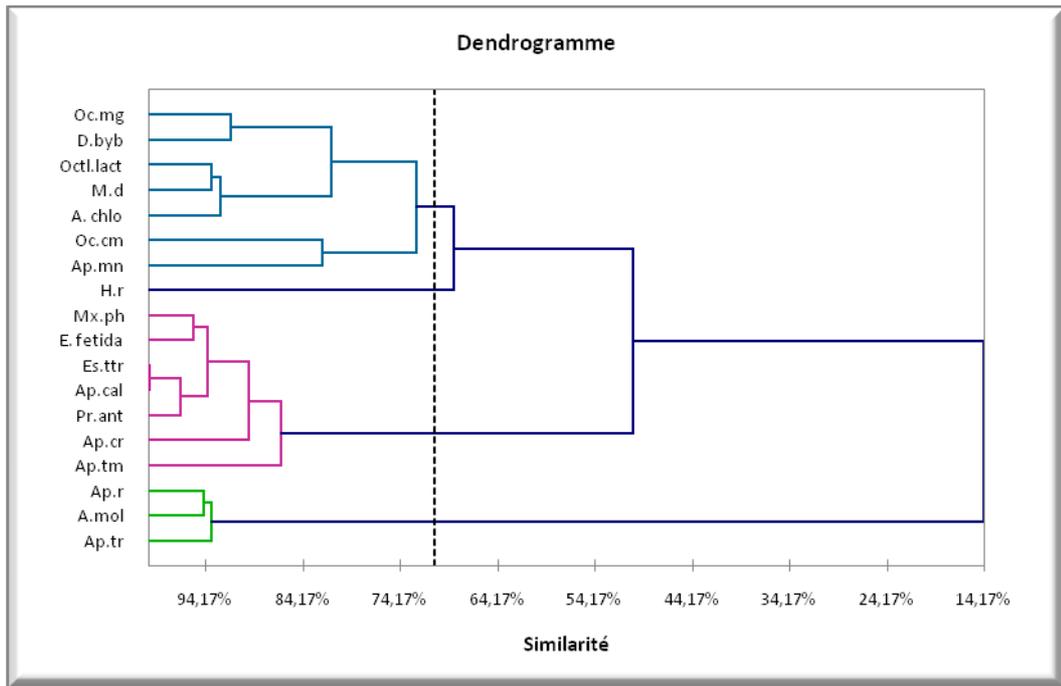


Figure 3.67 : Dendrogramme des différentes classes des espèces lombriciennes répertoriées dans les stations d'étude de l'Est algérien.

3.2. Discussions.

3.2.1. Compartiment abiotique : Variabilité des paramètres abiotiques selon le transect Nord-sud.

En Algérie, le passage de la partie Nord bien arrosée et fertile communément appelée sylvatique (grâce à un potentiel forestier important) à la partie Sud aride et pauvre, permet d'observer une gamme de milieux naturels diversifiés par leurs climats et sols.

Notre terrain d'étude qui s'étend de l'étage humide à l'étage aride est caractérisé par des substrats acides sur la partie Nord du pays (dans les étages bioclimatiques humide montagnard et humide), où le pH peut atteindre les moyennes de $6,52 \pm 0,67$ et $7,13 \pm 0,85$ (Fig 3.1). Ceci s'explique par la nature de la roche mère généralement gréseuse qui longe la partie Nord du pays. A cela s'ajoute, la quantité des précipitations qui jouent un rôle dans le lessivage et la décalcification des sols, ce qui favorise l'acidité des substrats. Dans les stations d'intérieures dans les étages bioclimatiques semi aride et aride, le pH varie de $8,00 \pm 0,32$ à $8,12 \pm 0,31$ (Fig. 3.1).

Les valeurs de CaCO_3 peuvent atteindre la moyenne de $65,78 \pm 18,39\%$ (Fig. 3.2). Cette nature s'explique par la présence des roches contenant du calcaire ou du gypse qui longent l'intérieure du pays (Durand, 1954 et Vila, 1980). En ce qui concerne la conductivité électrique, les valeurs des moyennes changent de $0,19 \pm 0,06 \mu\text{S}$ à $0,50 \pm 0,39 \mu\text{S}$ dans l'étage bioclimatique humide et sub humide (au Nord) et restent faibles même dans les sites d'échantillonnage localisés dans les étages semi aride et aride où elles ne dépassent pas $1,76 \pm 0,36 \mu\text{S/cm}$ (Fig. 3.3). Les teneurs en calcaire actif sont considérées comme faibles puisque les valeurs sont $< 5 \%$; sauf dans le subaride où la moyenne peut atteindre $7,09 \pm 4,60\%$ (Fig. 3.4).

Pour la matière organique (Fig. 3.5), les moyennes sont élevées dans les sols des étages bioclimatiques humides ($4,14 \pm 1,60 \%$) et subhumides ($5,26 \pm 3,13 \%$). Cependant, les teneurs diminuent vers les stations du semi aride ($3,16 \pm 1,20 \%$ à $3,85 \pm 0,71 \%$) dans l'aride ($1,64 \pm 0,86 \%$). Les teneurs moyennes des substrats en azote sont très riches, elles varient de $0,50 \pm 0,48 \%$ à $1,86 \pm 0,67 \%$ (Fig. 3.6). Toutefois, elles sont plus élevées dans les sites d'échantillonnage situés dans les montagnes caractérisés par la richesse en végétation et en faune qui contribuent certainement à l'abondance des ressources de la matière organique et l'augmentation de l'azote total dans ces sols ; car les taux élevés de la M.O, jouent un rôle important dans l'approvisionnement du sol en azote après sa minéralisation. Par ailleurs, selon Heller et al. (1998), les niveaux élevés en azote peuvent s'expliquer par la texture des sols et leur forte teneur en argile. En effet, l'ensemble des classes texturales (Fig. 3.11) que nous avons

déterminés, sont caractéristiques de l'Algérie de l'Est. Elles se situent dans un complexe morpho structurale dominée par des textures limoneuses et sableuses dans les étages bioclimatiques arides et semi arides inférieur et par des textures argileuses et équilibrées dans les étages bioclimatiques humides, subhumides et semi-arides (Durand, 1969 ; Vila, 1982).

3.2.2. La biodiversité des peuplements des vers de terre dans la région d'étude.

Nous avons recensé 18 espèces lombriciennes représentées par 3 familles : *Lumbricidae* (avec 8 genres ; *Aporrectodea*, *Allolobophora*, *Octodrilus*, *Eisenia*, *Dendrobaena*, *Eiseniella*, *Proctodrilus* et *Octolasion*), *Megascolecidae* (un seul genre *Microscolex*) et *Hormogastridae* (avec le genre *Hormogaster*). Dans ces 18 taxons trouvés, 10 sont signalé par Omodeo *et al.*, 2003 dans le terrain du Maghreb.

Le pourcentage de dominance combinée (PDC) révèle que les espèces les plus fréquentes (Fig. 3.14) sont *Ap. trapezoides* (PDC = 50.37%), *Allolobophora molleri* (15.27%), *Aporrectodea rosea* (14.75%) et *Octodrilus Complanatus* (3.96%). Toutefois, Omodeo, (2003) a observé dans l'ensemble du Maghreb la présence de *Ap. rosea*, *N. caliginosus*, *A. molleri* et *Oc. complanatus* (15 %). Nos résultats s'expliquent par le calcul de PDC qui combine à la fois la densité et la biomasse. Ainsi le PDC d'*A. molleri* (15,27) est due à sa biomasse plus élevée que *A. rosea* (PDC = 14,75), bien que cette dernière soit présente dans 52% des échantillons.

Les conditions climatiques, notamment l'humidité du sol habituellement sec dans notre terrain d'étude, ne sont pas très favorables au développement et à la dispersion des vers de terre et limitent leurs biodiversité (Omodeo *et al.*, 2003). Selon Jasmine *et al.* (2013), des études sur la dynamique des communautés lombriciennes exotiques dans des forêts d'Amérique du Nord sur sols acides ont montré que les rigueurs du climat empêchent la dispersion des vers de terre.

Omodeo *et al.* 2003 estiment que la biodiversité est faible sur l'ensemble du territoire Maghrébin (Maroc, Algérie et Tunisie). En effet, ils n'ont signalé que 38 espèces dont 24 se trouvent en Algérie. Ainsi, dans le secteur algérois, Baha (1997) a recensé 11 espèces. Dans le Constantinois, Ouahrani (2003) a déterminé 11 espèces et dans la vallée du Soummam dans la Kabylie, Kherbouche *et al.* (2012) ont signalé 5 espèces (*Aporrectodea caliginosa*, *Aporrectodea rosea*, *Allolobophora chlorotica*, *Octodrilus complanatus* et *Microscolex dubius*).

Lavelle (1983) signale l'augmentation dans la complexité écologique des communautés lombriciennes depuis les latitudes tempérées jusqu'à l'équateur. Ceci semble vrai pour l'Europe et les tropiques, mais en Afrique du Nord, la situation est différente car le climat sec contraint

fortement l'assemblage de ces communautés. Dans les stations du désert, les vers de terre sont souvent absents, avec une présence exceptionnelle dans les oasis.

En outre, Fragoso et al. (1997) signalent que la biodiversité des vers de terre est modifiée par la destruction du couvert végétal et les habitats naturels et leurs remplacement par les cultures et les agro écosystèmes ; ce qui réduit la richesse spécifique, le nombre d'espèces indigènes ainsi que le nombre de groupes écologiques en favorisant la prédominance des endogés. A cela s'ajoutent les activités d'aménagement humaines et les nombreux mécanismes d'introductions d'espèces de vers de terre qui contraignent les distributions et les changements dans la structure des communautés lombriciennes dans les différents biotopes (Reynolds, 1995 ; Bohlen et al., 2004a ; Gough et al., 2008a ; Fahey et al., 2012). Mais aussi, la question de la taille d'unité d'échantillonnage est clairement digne d'un examen attentif. Selon Wirth (2001), l'analyse de la biodiversité et la composition de ces communautés exige des méthodes d'échantillonnage pour l'évaluation de la richesse du sol en macrofaune à l'échelle locale ou régionale. Rossi et Mathieu (2004) reportent qu'il est nécessaire d'avoir un grand nombre d'échantillons pour estimer la biodiversité macrofaune du sol à l'échelle régionale, et que même 10 échantillons par unité de paysage conduisent à une sous-estimation de la richesse. Par ailleurs, Stein et Ettema (2003) ont montré que la taille d'unité d'échantillonnage de la faune édaphique peut affecter fortement les résultats. En effet, la biodiversité pourrait être typique pour certaines formes de paysage (Luck et Wu, 2002). Dans notre étude, l'utilisation des techniques de prélèvement européennes (25/25 cm²) n'ont pas aboutit à des résultats fiables puisqu'elles sont adaptées aux climats humides (techniques européennes) ; la raison pour laquelle nous avons essayé d'adopter une méthode d'échantillonnage sur un volume de 1m²/50 cm, vu la nature de notre terrain d'étude exposé à la sécheresse.

Selon Decaëns (2010), la biodiversité terrestre diminue avec l'altitude, ceci est aussi le cas des vers de terre comme signalé par Bouché (1972), Mato et al. (1984). Toutefois, nos résultats montrent que l'altitude n'est pas un facteur déterminant dans notre zone d'étude. Ainsi, nous avons déterminé 9 espèces dans les montagnes de l'étage bioclimatique humide mais 3 taxons dans les montagnes du semi-aride.

Il faut noter que 4 espèces ne figurent pas dans la liste des auteurs cités précédemment soit *Ap. trapezoides*, *Ap. monticola*, *Ap. tetramammalis* et *Ap. carochensis*.

Le fait que *Ap. trapezoides*, l'espèce la plus commune et dominante dans notre étude, n'ait pas été citée dans les études précédentes effectuées dans le Maghreb et en Algérie, est un résultat surprenant et reste énigmatique. S'agit-il d'une confusion taxonomique avec *Apporrectodea caliginosa* (*Nicodrilus caliginosus*), d'une introduction récente avec expansion

postérieure ou d'une introduction plus ancienne comme suggère son ample distribution? Dans notre étude, elle est observée dans tous les étages bioclimatiques sauf dans l'aride, bien que Khalaf (1965) l'ait signalée dans les oasis en Egypte et Ouahrani et al. (2008) dans le sud algérien. Il s'agit d'une espèce fréquente dans la zone méditerranéenne qui domine, conjointement à d'autres espèces lombriciennes, dans de nombreuses localités de l'Espagne par exemple. Elle est décrite comme invasive dans la littérature (Jasmine et al., 2013 ; Jasmine, 2014). Habituellement, du point de vue sexuel *Ap. trapezoides* est représentée par des formes parthénogénétiques, pourtant nous avons trouvé quelques individus pouvant être sexués dans ces populations, dont l'étude est en cours par l'équipe de Madrid, Fernandez (com.pers). Dans une étude détaillée en utilisant des gènes mitochondriaux et nucléiques sur les vers de terre de la Comunitat Valenciana en Espagne, Fernández et al. (2012) ont démontré que les trois espèces *Ap. carochensis*, *Ap. monticola* et *Ap. tetramammalis* décrites par Pérez et Rodríguez (2002) peuvent être considérées probablement comme des formes sexuées de *Ap. trapezoides*. La présence de ces trois espèces dans l'Est algérien peut-être dû aux événements géologiques tel que la formation de la Kabylie par la séparation de deux microplaques à partir des bordures de la Péninsule ibérique (Andeweg, 2002 ; Magri et al., 2007), mais aussi à une introduction et invasion récente avec les échanges et relations qu'a connu l'Algérie à travers l'histoire notamment avec l'occupation française où l'introduction massives des cultures et flore européennes (Cosson, 1879) a favorisé éventuellement la dissémination de cette espèce ou autres dans notre territoire.

- Les caractéristiques biogéographiques des peuplements lombriciens dans la zone d'étude.

Sur le plan biogéographique, les espèces recensées dans notre étude ont des affinités surtout avec les biotopes européens et méditerranéens. L'ensemble de ces taxons présents dans l'Est algérien, dominée par *Ap. trapezoides*, est une version réduite de la faune du Sud ibérien, particulièrement celle du Sud de l'Andalousie et du Portugal (Trigo et al., 1988 ; Díaz Cosín et al., 1992 ; et Rodríguez et al., 1997), avec quelques espèces endémiques comme *Oc. maghrebinus*, et quelques espèces circumméditerranéennes et tyrrhéniennes telle que *H. redii*. La présence de cette dernière en Algérie à l'Edough (Omodeo, 2003 ; Bazri, 2013) et en Tunisie (Omodeo, 2003) révèle l'existence d'une relation entre la Corse-Sardaigne-Sicile-Italie et le Nord africain (Bouché et al., 2003 ; Omodeo, 2003). L'utilisation d'approches moléculaires dans de futures études permettra d'apporter de nouveaux éléments de compréhension sur l'histoire biogéographique de ces faunes et les liaisons historiques qui les ont liées.

L'espèce *H. redii* échantillonnée à l'Edough semble reliée avec les populations du Nord de la Sardaigne (San tioloro et al., com.pers). Elle présente une importante aire de répartition dans l'Est du bassin méditerranéen occidental sud : de la péninsule italique, Sicile, Sardaigne, Tunisie et Algérie (Omodeo et al., 1987), il semble affectionner les lieux relativement frais.

L'espèce *A. molleri* typique des sols très humides est d'une distribution holarctique, mais sa présence en Europe occidentale est très limitée. Elle est observée seulement dans quelques points en Portugal et dans la partie Atlantique de la Galice (Monroy et al., 2007). Elle indique une connexion entre les environnements maghrébins et ibériens. Il se pourrait que son arrivée en Afrique du Nord soit liée à la géodynamique et le mouvement des plaques Rif-Bétique (Omodeo et Rota, 2008).

Le taxon *Oc. complanatus* (parfois nommée *complanatum*) semble présent dans tout le pourtour Méditerranéen avec une aire importante s'étendant assez loin dans l'U.R.S.S méridionale (Bouché, 1972). Selon Omodeo et al. (2008), il est probable que l'espèce a parcouru l'Afrique du Nord depuis la région des Balkans au cours de la régression du miocène.

Proctodrilus antipae antipae (Michaelsen, 1891), est une espèce endogée d'Europe centrale. Elle est peu sensible au relief, neutrophile et relativement acidotolérante. Elle présente des caractères de calcicoles, hygrophile, vivant dans des milieux peu organiques relativement rare.

Octolasion lacteum (Örley, 1881) est une espèce ubiquiste pérégrine (Csaba Csuzdia et al., 2011), connue dans toute l'Europe, l'Afrique du Nord, l'Iran, l'Inde septentrionale, et la Mandchourie, elle est probablement introduite en Amérique du Nord et du Sud Australien. C'est une espèce montagnarde, non acidotolérante. Elle vit dans des milieux moyennement organiques (Bouché, 1972) typique des sols humides.

L'espèce *Allolobophora chlorotica* occupe une aire de répartition très vaste sur l'ensemble de l'Europe et de l'Asie, Russie, Syrie, Liban, Moyen orient (Csuzdi et Pavlicek, 2005), les Canaries, les Bermudes, l'Islande, le Mexique, le Colorado, l'Algérie, New zeland, l'Australie et Tasmanie (Blakemore, 2004f). Elle est également connue dans les zones tempérées des Amériques où elle a été vraisemblablement introduite par les transports humains (Csaba Csuzdi et al., 2011). Cette espèce est peu sensible au relief et relativement acidotolérante, elle vit dans des milieux peu organiques. Elle est intermédiaire entre les trois catégories, anécique, endogée et épigée.

Le taxon *Microscolex phosphoreus*, épiendogé, assez rare aurait son origine, en Amérique du sud méridionale mais serait devenu cosmopolite (Gates, 1972). Il est particulièrement bien établi dans le pourtour de la Méditerranée, mais occupe également des régions au climat atlantique doux :

Irlande, Angleterre. C'est une espèce peu sensible au relief, neutrophile, relativement acidolérante, ripicoles typique des sols humides.

Pour *Microscolex dubius*, c'est une espèce endogée superficielle (épiendogée) typique des sols humides, cosmopolite, très répandue dans de nombreuses régions agricoles tempérées du monde, y compris les pâturages des sols du sud Australien (Lee, 1985 ; McCredie et Parker, 1991 ; Baker et al., 1992 ; Buckerfield, 1997), elle est neutrophile, relativement acidotolérante.

Pour *Eiseniella tetraedra* c'est une espèce cosmopolite largement distribuée connue dans toute l'Europe, au Turkestan et dans le bassin méditerranéen. Elle est largement établie en Amérique du Nord et du Sud Afrique du Sud, Inde, Australie et Nouvelle-Zélande (Bouché, 1972). Elle n'est pas directement liée à la culture humaine et elle n'est pas intentionnellement transportée par l'activité anthropique (Terhivuo, 2011).

L'espèce *Dendrobaena byblica*, occupe une vaste aire de répartition dans l'Europe de l'Est, du Sud-Est et méditerranéenne, elle semble une espèce montagnarde qui fréquente les lieux humide et relativement acide (Bouché, 1972). Elle est enregistrée en Afrique du Nord, (Algérie et Tunisie). Omodeo et al. (1987) indiquent qu'elle a colonisé le Maghreb à partir de l'Europe (Pavliček et al., 2010). [Csuzdi](#) et [Pavlivcek](#) (2011) posent un point d'interrogation s'il s'agit vraiment d'une espèce circum-méditerranéenne.

Octodrilus maghrebinius est considérée comme espèce endémique en Algérie (Omodeo & Martinucci, 1987). Ce taxon est fréquent dans la grande et la petite kabylie (Baha, 2008), dans le massif de l'Edough (Bazri, 2013). Il appartient à une ancienne population autochtone (Omodeo et al., 1987).

Pour *Eisenia fetida*, une épigée assez rare dans la nature et peu sensible au relief, est connu comme ver de fumier ou ver de compost. Elle fréquente les milieux nettement organiques (Bouché, 1972). Le transport et la translocation, liés au mouvement et le commerce de l'humanité, à la fois historiques et préhistoriques sont responsables de sa distribution dans plusieurs régions du globe (Omodeo et al., 2003).

Pérez Onteniente et al. (2002), signalent que l'espèce *Aporrectodea monticola*, se répartie dans les zones méso et supra méditerranéennes. Toutefois *Aporrectodea carochensis* et *Aporrectodea tetramammalis* fréquentent les forêts des chênes dans la zone méso méditerranéenne.

- Les catégories écologiques des peuplements de vers de terre récoltés dans la zone d'étude.

Concernant les catégories écologiques des lombriciens, notre zone d'étude est riche en groupe des endogés (45%), épiendogés (22%) et anéciques (22%) dont la plupart des espèces sont capables de nicher dans les couches profondes pour se protéger et résister contre les conditions sévères en développant des mécanismes de résistance notamment pendant la saison estivale, considérée comme longue, pour un climat comme celui de l'Algérie. D'autre part les pourcentages de ces groupes écologiques sont liés à leurs caractéristiques et leurs habitudes alimentaires; la raison pour laquelle les endogés sont supérieures aux anéciques. Selon Bossuytetal (2005), les espèces anéciques se nourrissent de la litière et favorisent bien la dynamique du réseau alimentaire du sol. Toutefois, les endogées consomment principalement la fraction minérale du sol associée à la matière organique humifiée. En tout état de cause, les espèces de ce dernier groupe écologique doivent consommer de grandes quantités de sol s'ils veulent couvrir leurs exigences en énergie ; leur régime alimentaire est basé plus ou moins sur les détritiques organiques décomposés qui sont énergétiquement pauvres et parfois difficile à digérer, ce qui influencent automatiquement leurs croissances, leurs reproductions et bien sûr leurs abondances et biodiversité (Spehn et al., 2000 ; Eisenhauer, 2010 ; Koné et al., 2012b). L'exemple d'*Hormogaster redii*, endogée vivant souvent dans des sols pauvres en matière organique, doit faire des mouvements verticaux dans le sol au cours de l'année selon l'état de l'humidité du sol afin de subvenir à ses besoins alimentaires (Ruiz, 2006).

Il faut noter que certaines espèces peuvent être classées dans l'une ou l'autre catégorie. Ainsi, *Aporrectodea trapezoides* peut être considéré comme anécique, endogée ou endo-anécique, elle varie selon la souche ([James, 2000](#) ; [Winsome et al., 2006](#) et [Sánchez-de León et al., 2009](#)). L'espèce *Allolobophora chlorotica* habituellement connue comme épigée chez Bouché (1972), est considérée par Joschko et al. (2005) comme endogée.

- La démoécologie des peuplements lombriciens et leurs relations avec les paramètres abiotiques.

Les températures, l'humidité et les facteurs du sol sont des clés régulateurs de l'abondance et l'activité des vers de terre en milieu naturel (Satchell ,1967 ; Hartensein et Amico 1983). Les populations lombriciennes répondent relativement rapidement aux variations de ces facteurs environnementaux (Sims et Gerard, 1999). Selon Joschko (2006), leurs valeurs de la densité et biomasse fluctuent au hasard tous les ans selon les conditions du milieu.

Dans notre terrain d'étude, les moyennes de la densité et la biomasse sont respectivement de $3,89 \pm 2,80$ individus/m² (étage bioclimatique aride) à $40,50 \pm 11,86$ individus/m² (sub humide) et $1,07 \pm 0,83$ g/m² (aride) à $13,41 \pm 10,66$ g/m² (semi aride montagnard) (Fig. 3.17). La densité et la biomasse peuvent gagner respectivement les valeurs de 71 individus/m² et 24,58 g/m² dans certains sites de prélèvement situés dans les sites des étages bioclimatiques humide et sub humide. Ces résultats se rapprochent à ceux d'Omodeo et al. (1987) qui ont observé dans le Nord algérien des densités de vers de terre comprises entre 11 et 12,7 ind/m² et des biomasses de 1,25 à 3,0 g/m². Ouahrani (2003) a trouvé des valeurs beaucoup plus élevées, de 188 g/m² et 256 vers/m² dans les sols du bord de l'oued Rhumel (Constantine). Kherbouche et al. (2012) ont noté, dans la vallée du Soummam, des densités de $176 \pm 27,6$ ind/m² dans les terres agricoles, $149 \pm 10,4$ ind/m² dans les plantations d'Olivier et $73 \pm 9,2$ ind/m² dans les plantations d'oranger avec des biomasses successivement de l'ordre de $35,6 \pm 2,78$ g/m², $38,3 \pm 8,0$ g/m² et $44,0 \pm 10,2$ g/m². Les valeurs de ces deux derniers auteurs sont presque similaires à celles de Bouché (1975) dans les sols français (un climat plus humide par rapport à celui de l'Algérie) où la densité des vers de terre est souvent dans la gamme de 100 à 150 ind/m² avec une biomasse moyenne allant jusqu'à 110 g/m². Les valeurs faibles dans nos résultats par rapport à ces auteurs s'expliquent par le nombre important et la nature des sites d'échantillonnage effectués sur des milieux diversifiés (Forêts, prairies, champs de culture) mais aussi par la variabilité des conditions climatiques depuis l'étage humide jusqu'à l'aride.

En outre le type de sol et le pH peuvent influencer la biodiversité, la distribution et l'abondance des populations des lombriciens (Graff, 1950 ; Pearce, 1972 ; Nordström et Rundgren, 1974 ; Lee, 1985 ; Briones et al., 1995 ; Edwards and Bohlen, 1996 ; Hernandez et al., 2003 ; Joschko et al., 2006). En revanche, le pH du sol peut être influencé par l'activité des lombriciens (Nuutinen *et al.*, 1998). Dans notre travail les valeurs faibles de la densité et la biomasse des lombriciens se trouvent dans les stations d'échantillonnage où les moyennes de pH, CaCO₃ et conductivité sont élevées. Il est vrai que ces stations sont sous l'influence de la roche mère de nature calcaire, mais il semble ici, que le facteur le plus déterminant est celui de l'humidité car ces stations se situent souvent dans les étages bioclimatiques semi-aride et aride qui abaissent fortement l'humidité du sol. Aussi, la salinité affecte la croissance et la reproduction des lombriciens qui diminue fortement la densité, la biomasse et les cocons (Tao, 2012).

Les travaux de Bhatti (1962) et Bachelier (1978) définissent des valeurs limites de pH par rapport à la distribution des vers de terre, ces derniers sont généralement absents dans les sols très acides (pH < 3,5) et peu nombreux dans les sols à pH < 4,5 (Curry, 1995 ; Lavelle,

2001). La majorité des espèces se trouvent dans des sols à pH compris entre 5,0 et 7,4 (Satchell 1967). Selon Edwards et Bohlen (1996), il existe un pH optimal pour chaque taxon ; car certaines espèces montrent une préférence pour des valeurs à pH faible, d'autres prouvent une tendance vers des valeurs élevées. Kwong-Ying Chan (2003) signale, par exemple, pour *Ap. trapezoides* des corrélations positives entre le pH du sol et la densité où l'analyse de régression indiquait la diminution des nombres d'individus à zéro à un pH = 4. Il faut noter que certains auteurs ont proposé une classification des lombriciens par rapport au pH (Satchell, 1983 ; Edwards et Bohlen, 1996).

En ce qui concerne l'influence de la matière organique (Fig. 3.5), les sols de nos stations situées dans les étages bioclimatiques semi aride et aride sont faibles à moyennement pourvues en M.O avec des densités des vers de terre variant de $3,89 \pm 2,80$ ind/m² à $19,00 \pm 11,10$ ind/m². En revanche, les stations de la partie Nord (sub humide et humide), les teneurs en M.O sont bien pourvues à élevées et les densités des lombriciens sont plus élevées et fluctuent de $27,58 \pm 24,47$ ind/m² à $40,50 \pm 11,86$ ind/m². Ceci est expliquée par la relation étroite des vers de terre avec la matière organique (Tab. 12). la liaison étroite entre la matière organique et les lombriciens est confirmée par nombreuses études qui montrent une corrélation positive entre la densité et/ou la biomasse des lombriciens et la teneur en matière organique du sol (Hendrix et al., 1992). Edwards et Bohlen (1996) expliquent que les substrats à faibles teneurs en matière organique sont généralement pauvres en vers de terre. Les valeurs les plus élevées se trouvent dans les pâturages riches en matière organique (Lee, 1985 ; Lavelle et al., 2001). Les vers de terre influencent la dynamique de la matière organique du sol, ils augmentent le taux de recyclage, notamment la libération des éléments nutritifs comme l'azote (Ruiz, 2006). Ils agissent sur les processus de sol et la stabilisation de la matière organique par le biais contrastant des activités des fousseurs et moulage ainsi que les changements de la communauté microbienne du sol (Fahey et al., 2012, 2013 ; Crumsey et al., 2013).

Il est à noter que l'importance de la qualité et la quantité de la litière fourni par les plantes peut agir sur les communautés et espèces des vers de terre (Wardle et al., 1999 ; Ehrenfeld, 2003 Briones et al., 2001 ; Curry et al., 2008 ; Belote et Jones 2009 ; Koné et al., 2012b). De plus, Boström et Lofs-Holmin (1986) ont démontré que le développement des vers de terres (chez *A. caliginosa*) dépendait non seulement du type de la nourriture disponible mais également de la taille des particules ingérées.

Les sols de nos stations sont généralement riches en azote total (Fig. 3.6). La littérature montre que les lombriciens sont qualifiés comme bénéfiques pour favoriser l'augmentation des

teneurs en azote dans les sols (Curry, 2004 ; Mboukou-Kimbasta et al., 2007), les auteurs notent aussi de grands intervalles de variation pour l'azote dans les sols fréquentés par cette faune. Les travaux de Mascato et al. (1987), Sanchez et al. (1996) et Koné et al. (2012b) divulguent des changements dans les teneurs du sol en N, suites aux activités et le type d'espèce des vers de terre. Certaines valeurs considérées comme faibles chez Mascato et al. (1987), sont vues comme élevées avec les mêmes espèces dans le travail de Sanchez et al. (1996) ; par exemple, l'espèce *L. friendi* s'observe avec des valeurs basses dans le travail de Mascato et al. (1987), mais avec des teneurs élevées dans les études de Sanchez et al. (1996). Trigo et al. (1989), au Portugal, ont obtenu des valeurs significatives pour la relation azote et lombriciens. Par ailleurs, Jasmine (2013) et Crumsey et al. (2014), signalent aussi que les teneurs en carbone et azote peuvent être spécifiques aux lombriciens, par exemple les densités des espèces *L. terrestris* et *L. rubellus* sont positivement corrélées aux teneurs du sol en C et N contrairement à *Oc. complanatus*.

Il faut rappeler, aussi, que des confusions dans la préférence de la nourriture des vers de terre ont été largement rapportées dans la littérature. Certains auteurs trouvent que le type d'azote de litière qui est déterminant (Lavelle et Martin, 1992 ; Koné et al., 2012b) tandis que d'autres suggèrent que le type de carbone de litière qui est déterminant (Tiunov et Scheu, 2004). Néanmoins, il est probable que le type de carbone de la litière est le plus important ; ce qui favorise une densité élevée des lombriciens, tel que suggéré par Mboukou-Kimbasta et al. (2007).

Tondoh et al. (2007) ont également montré que la variété des résidus est responsable de la densité et la diversité des lombriciens dans les terres cultivées, par rapport à d'autres sols aménagés en centre-ouest ivoirien. Selon Gregor Ernst et al. (2008), la densité des vers de terre, leurs biomasses ainsi que la composition de leurs communautés varient selon le type de sol utilisé et la teneur en carbone organique du sol (SOC).

En ce qui concerne les valeurs du rapport C/N, dans l'ensemble des stations étudiées, les 18 taxons répertoriés occupent des sols dont le C/N est faible (inférieure à 10) ; ce qui signifie que les conditions sont très favorables pour la forte minéralisation de la matière organique suite à une bonne activité biologique. Nos résultats sont confirmés par Phillipson et al. (1976). En effet, ils signalent que les taxons *Aporrectodea caliginosa*, *Aporrectodea rosea*, *Lumbricus terrestris* et *Lumbricus castaneus* occupent des sols ayant un rapport C/N inférieur à 8. En revanche, Bouché (1972) a distingué 49 taxons dans des sols à C/N inférieur à 13 et 18 espèces localisées dans des stations à C/N supérieur ou égal à 13.

D'autres paramètres peuvent agir sur la distribution et l'abondance des populations lombriciennes comme le type et la texture du sol (Guild, 1948 ; Edwards et Bohlen, 1996 ; Curry, 1998) et la profondeur (Van Rhee et Nathans, 1973 ; Philipson et al., 1976 ; Bachelier, 1978). Par exemple, Nordström et Rundgren (1974) trouvent une corrélation positivement significative entre l'abondance des vers de terre et le taux d'argile des sols. Selon Lee (1985), les vers de terre préfèrent les sols de texture fine. Xu et al. (2013) signalent que la densité totale des vers de terre est positivement corrélée aux teneurs en limon et négativement corrélée aux teneurs en sable.

Dans notre travail, les paramètres lombriciens (densité et biomasse) semblent également liés à la fraction limoneuse ($r = 24,95$; $p = 0,007$; Tab.12). Mais aussi aux argiles, pour les vers adultes ($r = 2071$; $p = 0,027$; Tab. 12). En effet, la classe texturale argileuse est dominante dans notre terrain d'étude (73% ; Fig. 3.12). Pour Holmstrup (2011), la texture et la structure du sol ne sont pas des facteurs déterminants pour l'abondance des lombriciens. Il conclue que les vers de terre (anéciques et endogées) peuvent répondre aux caractéristiques de l'humidité du sol plutôt que sa texture. C'est vrai que les lombriciens sont moins fréquents dans les sables, ils sont plus nombreux dans les sols à texture fines et moyennes (argiles et limons) (Ouahrani, 2003) ; cela s'explique par la bonne rétention de l'humidité dans ces sols, mais aussi par la nature morphologique et anatomique de ces organismes sensibles aux facteurs externes tels que l'humidité et porosité du sol.

Selon Callot *et al.*, (1982), les argiles affectent significativement l'incorporation et la stabilisation du carbone et la matière organique dans les agrégats du sol. L'appréciation du niveau de la matière organique se fait en fonction de la teneur du sol en argile. Plus le sol est argileux, plus il détient la matière organique et la protège contre la dégradation microbienne (Feller et Beare, 1997). Cependant, la décomposition des matières organiques augmente en particulier dans les sols à texture sableuse et grossière (Hassink et al., 1997). Aussi, selon Butenschoen et al. (2009), la mobilité du carbone et de l'azote par les différents groupes de vers de terre, est liée à la proportion des sables.

- La relation des espèces répertoriées et les paramètres édaphiques

Les résultats obtenus dans cette étude permettent de définir 3 groupes d'espèces (Fig. 3.65) ; le premier constitué par des endogés *Aporrectodea rosea*, *Allolobophora molleri* et *Aporrectodea trapezoides* (cette dernière peut être anécique selon sa souche) qui présentent des liaisons avec la fraction sableuse et l'azote. *Aporrectodea rosea* est rencontrée partout dans

notre terrain étudié. Selon Omodeo et Martinucci 1987, elle est indifférente au type de substrat, elle est généralement plus abondante dans les sols humides et niche dans l'horizon minéral. L'espèce *Aporrectodea trapezoides* peut occuper les milieux riches en particules de sable. Alors que Xu S. et al. (2013) trouvent que la densité de cette espèce est négativement corrélée aux teneurs en sable. McCredile *et al.*, (1992) signale qu'elle est souvent abondante dans les vergers et les champs de cultures qui reçoivent un apports important de matière organique. Mais il semble que c'est une espèce qui possède un pouvoir d'expansion extraordinaire lorsque les conditions favorables le permettent, quelque soit le type de sol. *Allolobophora molleri* vit dans les sols très humides à pH de 5,75 à 7.0. (Trigo et Lavelle, 1993). Bien qu'elle soit liée au climat humide (in Monroy F., 2003), nous l'avons échantillonné aussi à l'étage bioclimatique du semi aride sur les berges de la rivière de Oued Seguane à teneurs élevées en limons ; probablement c'est une espèce qui peut franchir avec succès la période estivale et les conditions sévères dans les lieux suffisamment humides riches en fractions fines favorisant l'humidité dans le sol.

Le second groupe formé des anéciques (*Microscolex dubius*, *Aporrectodea carochensis*), des endogés (*Octodrilus maghrebinus*, *Octolasion lacteum*) et l'épigé (*Dendrobaena byblica*) prouve des aptitudes liées aux sols avec des teneurs élevées en matière organique mais aussi en fraction argileuse.

Ces résultats s'approchent des travaux cités dans la littérature. Selon Omodeo et al. (2003), *Octodrilus maghrebinus* est une espèce plus associée aux forêts de chêne où la matière organique est abondante. Bouché (1972) décrit *Octolasion lacteum* comme taxon confiné dans les biotopes organiques ripicoles et relativement acidtolérant, dans notre cas elle longe aussi les milieux humides et forestiers à substrats acides. Les données de Hughes (1994) indiquent que *Microscolex dubius* dépend fortement de la matière organique pour sa survie et croissance. *Dendrobaena byblica* est répandu comme une espèce de litière et reste limitée en montagne couverte des forêts de chêne (Omodéo et Martinucci, 1987), dans notre travail de recherche, elle est localisée à Ouled hbaba dans le sub humide montagnard au milieu de la forêt de chêne liège. L'espèce *Microscolex dubius* neutrophiles et relativement acidtolérante est liée aux sols humides (Bouché, 1972) argileux ou sableux riches en litières. Le taxon *Octodrilus complanatus* est présent dans les sols agricoles et aux bords des forêts, principalement aux milieux des arbres clairsemés dans les substrats organiques humides (Monroy et al., 2007), il peut côtoyer les milieux à faibles teneurs en matière organique (Bouché, 1972), d'ailleurs c'est le cas dans notre étude.

Le troisième groupe formé dans son ensemble par des anéciques (*Allolobophora chlorotica*, *Aporrectodea tetramammalis*, *Octodrilus complanatus*), des endogés (*Aporrectodea*

monticola, *Microscolex phosphoreus*, *Aporrectodea caliginosa*, *Proctodrilus antipae*, *Hormogaster redii*) et des épigées (*Eiseniella tetraedra* et *Eisenia foetida*), s'associe aux variables limon, pH et CaCO₃ et s'opposent à la fraction sableuse, comme il peut tenir à des valeurs faibles en matière organique.

Ces formes présentent également des ressemblances avec les recherches de certains auteurs, nous avons *Allolobophora chlorotica* qui est une espèce ripicole, hygrophile, affectant les sols humides et peu organiques (Bouché, 1972). *Proctodrilus antipai* est inféodée aux plaines inondables, elle préfère essentiellement les sols de type clay alluviaux (Höser, N. 2008). L'espèce *Aporrectodea caliginosa* pourrait être présente dans tous les types de substrat même dans les sols sablonneux pauvres (Nikita, 2006 ; Pérez-Losada et al., 2009). *Hormogaster redii*, semble affectionner les lieux relativement frais à pH voisinant 6,2 Bouché (1972), elle est récoltée aussi dans la forêt de l'Edough (Algérie) par Omodeo et al. (2003). Pour *Eiseniella tetraedra*, typiquement ripicole, fréquente les milieux moyennement organiques des bords de rivières. En ce qui concerne la présence de l'épigée *Eisenia foetida* qui côtoie seulement les milieux riches en matières organiques, sa présence dans ce groupe (où la matière organique moins riches en) s'explique par la nature du substrat de la station d'échantillonnage qui paraît pauvre, mais qui contient des déchets organiques (amas de compost) de source animale, elle est connue comme espèces épigée qui vit dans l'horizon supérieur du sol minéral (Edwards et Bohlen, 1996).

Dans ce sujet, de nombreux écarts sont constatés entre des différents auteurs comme Kruuk et Parish, (1981) ; Carther et al. (1982) et Mariño et al. (1985). Ainsi, un facteur semble important pour une espèce alors qu'il s'avère non significatif pour l'autre. Ces divergences entre les différents auteurs peuvent s'expliquer par l'utilisation de méthodes numériques diverses, dont certaines seraient être inappropriées pour les objectifs visés (Mascato et al., 1987).

Les difficultés que rencontre notre discussion résident dans le fait que les études exposent des résultats très divergents (Mascato et al., 1987). Différents auteurs comme Nordstrom et Rundgren (1974), Phillipson et al. (1976) et Mascato et al. (1987) ont abordé le sujet de la relation entre la distribution de vers de terre et les facteurs édaphiques où ils ont remarqué de grandes divergences dans leurs résultats. Ils attribuaient ces contradictions entre certains résultats sur le fait que les échantillons ont été prélevés dans des zones avec différentes caractéristiques biotiques et abiotiques, il se pourrait qu'un même facteur édaphique n'ait pas subi les mêmes techniques d'analyse et/ou statistiques. Ces différences font que la situation reste confuse mais compréhensible, sachant que le sol est un milieu complexe où l'interaction entre plusieurs facteurs que la roche mère, le climat, la topographie et le type de végétation (comme le cas de

notre terrain d'étude), est non négligeable. Tous ces paramètres influencent la dynamique des populations de vers de terre (Mascato et al., 1987 ; Trigo et al., 1988).

- Distribution des vers de terre collectées et les tranches pluviométriques dans le transect d'étude.

Pour conclure, la biodiversité ainsi que les valeurs de la densité dans notre terrain d'étude, sont considérées comme faibles. Elles sont fortement liées aux milieux naturels et les étages bioclimatiques diversifiés dans ce territoire biogéographique. D'après Sanchez et al. (1996), les précipitations et l'humidité du sol sont des facteurs déterminant pour la distribution des vers de terre.

Ainsi l'ensemble des espèces (*Hormogaster redii*, *Octodrilus maghrebinus*, *Octolasion lacteum*, *Aporrectodea caliginosa*, *Microscolex dubius*, *Microscolex phosphoreus*, *Proctodrilus antipae*, *Aporrectodea monticola*, *Allolobophora molleri*, *Aporrectodea tetramammalis*, *Allolobophora chlorotica*, *Dendrobaena byblica*, *Eiseniella tetraedra* et *Eisenia fetida*) ont tendance à se distribuer dans des tranches pluviométriques > 400 mm/an (Fig. 3.16). Cette zone couvre la partie Nord du transect d'étude est caractérisée aussi par un important couvert végétal (forêts de chêne). L'espèce *Allolobophora molleri* est, éventuellement, collectée dans des tranches pluviométriques de 405 à 333 mm/an (Fig. 3.16) avec *Aporrectodea carochensis* ; mais uniquement dans les sols des bords des rivières. Ces espèces présentent une affinité particulière pour les zones gorgées d'eau. En outre *Octodrilus complanatus* qui fréquente les lieux humides, est échantillonnée dans le semi aride mais dans un microclimat subhumide (dans la forêt de cèdre d'Atlas à Khenchela).

Par ailleurs, *Aporrectodea trapezoides* est la plus fréquente dans l'Est algérien (Bazri, 2013). Elle est rencontrée sous les tranches pluviométriques allant jusqu'aux isohyètes inférieures à 300 mm/an. Toutefois, *Aporrectodea rosea* est aperçu jusqu'aux tranches pluviométriques inférieure à 250 mm/an, il est le plus fréquent dans le semi aride et aride dans les points où il y a suffisamment d'eau. Dans l'ensemble des peuplements lombriciens récoltés, ces deux espèces semblent les plus résistantes aux conditions climatiques (espèces plastiques).

Il est à noter aussi que notre analyse peut donner une réflexion sur les conséquences du changement climatique qui est reconnu comme l'une des plus grandes menaces à la biodiversité au cours du siècle prochain. D'ici les années 2080, les précipitations et sécheresses estivales auront pour résultat de graves incidents sur les espèces (Hulme et al., 2002). Des impacts écologiques de ce phénomène sur la biodiversité sont susceptibles de subir des modifications de l'abondance et la distribution des espèces ainsi que l'augmentation des espèces envahissantes

(Eggleton et al., 2009). Un nombre croissant des données empiriques montrent que ces changements sont déjà en cours pour les populations d'oiseaux, les papillons, et les plantes (Hickling et al., 2006), mais peu d'études ont examiné l'incidence potentielle des variations climatiques sur la pédofaune y compris les lombriciens, malgré les effets probables sur les écosystèmes tels que la décomposition et le cycle des éléments nutritifs et le maintien de la structure du sol (Young et al., 1998 ; Suthar, 2007). la biodiversité des lombriciens, est particulièrement vulnérable aux changements climatiques ; ([Fründ](#) et al., 2010 ; Perreault et Whalen, 2006) ; ce qui agit automatiquement sur la qualité et la fertilité des sols (Curry et Schmidt, 2007 ; Milcu et al., 2008).

Conclusion et recommandations

Les travaux relatifs à la biodiversité des lombriciens en Afrique du nord ou en Algérie sont insuffisants, malgré les recherches de certains auteurs qui ont rapporté des données sur les vers de terre dans le Maghreb, l'algérois et la Kabylie.

L'objectif de notre travail vise à décrire la faune lombricienne dans l'Est algérien, le long d'un gradient depuis le littoral jusqu'au désert ainsi que leurs relations avec les facteurs édaphiques (pH, conductivité électrique, matière organique et texture du sol), il est possible que les facteurs climatiques (températures et précipitations) associés aux conditions édaphiques influencent les communautés lombriciennes.

Sur le plan géographique et climatique, le terrain s'étend depuis l'étage humide au Nord à l'étage aride au sud. Le passage de la partie Nord bien humide, fertile et riche en végétation à la partie Sud aride et pauvre, se fait rapidement et l'on arrive plus vite à la steppe.

La répartition de la pluviométrie est irrégulière : plus de 1000 mm sur le littoral, mais aux environs de 100 mm / an au sud de l'Atlas saharien.

Notre étude porte sur 65 stations dans l'Est algérien, réparties sur différents étages bioclimatiques. Elles sont réparties selon un transect Nord-Sud depuis le littoral jusqu'au désert dans l'Est pour mieux cerner la diversité des vers de terre dans cette zone biogéographique à caractères très diversifiés.

La nature de la roche mère, généralement gréseuse au Nord et calcaireuse au Sud ainsi que la quantité des précipitations plus élevée au Nord et faible au Sud, sont responsables de la formation des substrats acides à alcalinité faible sur la partie Nord (pH de $6,52 \pm 0,62$ à $7,73 \pm 0,84$) et des sols plus calcaires vers l'intérieur et au Sud du terrain d'étude (pH de $8 \pm 0,32$ à $8,05 \pm 0,38$).

Les sols sont loin d'être salin, la conductivité électrique est beaucoup inférieure à 8 mS/cm (CE de $0,26 \pm 0,13$ $\mu\text{S}/\text{cm}$ à $1,76 \pm 0,36$ $\mu\text{S}/\text{cm}$). Néanmoins, les valeurs s'élèvent dans les stations d'intérieures dans les étages bioclimatiques semi arides et arides ($1,76 \pm 0,36$ $\mu\text{S}/\text{cm}$) à cause de la présence des roches gypseux et la dispersion des chottes et des sebkhas, ainsi que les dépôts des sels sur la surface par le phénomène de capillarité.

Les stations de la partie Nord du transect d'étude, caractérisées par les climats humide et sub humide, sont riches à très riche en matière organique ($4,14 \pm 1,60$ % à $5,26 \pm 3,13$ %), ici se manifeste un couvert végétal important, contrairement aux échantillons reliés aux étages bioclimatiques semi aride (M.O = $3,85 \pm 0,71$ %) et aride (M.O = $1,64 \pm 0,86$ %) qui sont moins riches en matière organique.

Les teneurs des sols en azote, sont très riches (de $0,50 \pm 0,48$ % à $1,86 \pm 0,67$ %) notamment sur les montagnes.

Les valeurs du rapport C/N dans les différents substrats des étages bioclimatiques varient de $1,69 \pm 0,09$ à $7,35 \pm 4,98$. Elles sont considérées comme faibles (C/N inférieur à 10) ; ce qui traduit donc des conditions très favorables pour une bonne minéralisation de la matière organique suite à une bonne activité biologique.

Neuf classes texturales sont déterminées dans l'ensemble des échantillons du terrain d'étude : argileuse = A ; limono-argileuse = La ; limono-argileux sableuse = Las ; limono-sableuse = Ls ; argilo-limoneuse = Al ; argilo-sableuse = As ; limono-argileuse fine = Laf ; limoneuse = L ; limoneuse fine = Lf. Soit trois types de texture ; argileuse, équilibrée et limoneuse dont les pourcentages de leurs fréquence sont de l'ordre de 73%, 26% et 1%.

L'ensemble de ces classes texturales sont caractéristiques de l'Algérie de l'Est, elles se situent dans un complexe morpho structurale qui donne sur une lithologie dominée par les textures limoneuse et sableuse dans les étages bioclimatiques aride et semi aride inférieur et les textures argileuse et équilibrée dans les étages bioclimatiques humide, sub humide et semi aride.

Sur le plan biodiversité, 18 espèces lombriciennes sont recensées dans cette étude. Elles sont représentées par les 3 familles suivantes :

1) *Lumbricidae*

- ✓ *Aporrectodea trapezoides* (Dugès, 1828),
- ✓ *Aporrectodea rosea* (Savigny, 1826),
- ✓ *Allolobophora molleri* (Rosa, 1889),
- ✓ *Aporrectodea monticola* (Pérez Onteniente & Rodríguez Babio, 2002),
- ✓ *Octodrilus complanatus* (Dugès, 1828),
- ✓ *Aporrectodea carochensis* (Pérez Onteniente & Rodríguez Babio, 2002),
- ✓ *Octodrilus maghrebinus*, *Omodeo & Martinucci, 1987*,
- ✓ *Eisenia fetida* (Savigny, 1826), *Dendrobaena byblica*, Rosa, 1893,
- ✓ *Aporrectodea tetramammalis* (Pérez Onteniente & Rodríguez Babio, 2002),
- ✓ *Eiseniella tetraedra* (Savigny, 1826),
- ✓ *Proctodrilus antipae* (Michaelsen, 1891),
- ✓ *Octolasion lacteum* (Örley, 1881),
- ✓ *Aporrectodea caliginosa* (Savigny, 1826),
- ✓ *Allolobophora chlorotica* (Savigny, 1826),

2) *Megascolecidae*

- ✓ *Microscolex dubius* (Fletcher, 1887),
- ✓ *Microscolex phosphoreus* (Dugès, 1837),

3) *Hormogastridae*

✓ *Hormogaster redii*, Rosa, 1887

Pour définir quelles sont les espèces dominantes, nous avons utilisé le pourcentage de dominance combinée dont l'expression est : $PDC = [(PPA + PIA + PBA)] / 3$ (Jesús *et al.* 1981). L'espèce *Ap. trapezoides* domine à l'échelle de toute la zone étudiée avec un pourcentage de dominance égal à 50,37%, suivit par *A. molleri* avec un pourcentage de 15,27% et d'*Ap. rosea* en 3^{ème} position avec un PDC de 14,75 %. Les pourcentages des autres taxons sont plus faibles. Quand à *Ap. rosea*, elle est la seule observée dans l'étage bioclimatique aride dans les points suffisamment humide.

L'espèce *Ap. trapezoides* est abondante dans la partie Nord du transect d'étude, toutefois l'espèce *Ap. rosea* est plus abondante vers le côté Sud.

les endogées représentent 45 % (*Ap. rosea*, *A. molleri*, *Ap. monticola*, *Oc. maghrebinus*, *H. redii*, *Pt. antipae*, *Oc. lacteum* et *Ap. caliginosa*), les épigées 22 % (*E. fetida*, *D. byblica*, *A. chlorotica* et *Ei. tetraedra*), les anéciques 22 % (*Oc. complanatus*, *Ap. tetramammalis*, *Ap. carochensis* et *Ap. trapezoides* cette dernière peut être considérée comme anécique, endogée ou endo-anécique car elle varie, selon la souche, et enfin 11 % d'épiendogés (*M. dubius*, *M. phosphoreus*).

En ce qui concerne la démoécologie, les valeurs moyennes de la densité et la biomasse des lombriciens sont très faibles dans l'étage aride ($3,89 \pm 2,80$ individus/m² et $1,07 \pm 0,83$ g/m²) mais plus ou moins élevée dans les stations de l'étage bioclimatique humide ($36,60 \pm 12,53$ individus/m² et $10,68 \pm 4,15$ g/m²) et sub humide ($40,50 \pm 11,86$ individus/m² et $6,92 \pm 4,88$ g/m²). La classe des adultes est la moins présente ($4,60 \pm 4,38$ individus/m²). Toutefois, les juvéniles sont importants ($14,36 \pm 10,8$ individus/m²).

Les corrélations de la densité totale des lombriciens avec les facteurs édaphiques sont faibles dans leur ensemble, elles sont faiblement mais positivement corrélées avec la matière organique ($r = 0,30$; $p = 0,001$), les fractions limoneuse ($r = 0,24$; $p = 0,007$) et argileuse ($r = 0,20$; $p = 0,027$). Les relations sont faiblement négatives avec le pH ($r = -0,38$; $p = 0,000$), CaCO₃ ($r = -0,24$; $p = 0,009$), CE ($r = -0,38$; $p = 0,000$), Ca⁺⁺ ($r = -0,23$; $p = 0,10$) ainsi qu'avec la fraction sableuse ($r = -0,28$; $p = 0,002$).

L'Analyse des corrélations canoniques montre que les vers de terre n'aiment pas les valeurs faibles en pH. Ils préfèrent des sols riches en matière organique, argile et sable.

L'Analyse Canonique des Correspondances (ACC) révèle que les espèces *Aporrectodea rosea*, *Aporrectodea trapezoides* et *Allolobophora molleri* peuvent côtoyer les milieux riches en sable et supporter une certaine valeur de conductivité électrique, aussi leurs substrats sont riches

en azote. Toutefois, les taxons *Octolasion lacteum*, *Octodrilus maghrebinus*, *Dendrobaena byblica*, *Aporrectodea carochensis*, *Microscolex dubius* prouvent des tendances vers les teneurs élevées en matière organique et en argile. En ce qui concerne *Aporrectodea caliginosa*, *Aporrectodea monticola*, *Octodrilus complanatus*, *Allolobophora chlorotica* et *Hormogaster redii* sont liés plus aux paramètres CaCO_3 , Ca^{++} et la fraction limoneuse, ils s'inclinent vers les sites pauvres en matière organique.

Sur le plan climat et pluviométrie, les espèces *Hormogaster redii*, *Octodrilus maghrebinus*, *Octolasion lacteum*, *Allolobophora chlorotica*, *Dendrobaena byblica*, *Aporrectodea caliginosa*, *Proctodrilus antipae* et *Eiseniella tetraedra* préfèrent des tranches pluviométriques élevée > 600 mm/an. Les taxons *Microscolex dubius*, *Microscolex phosphoreus*, *Aporrectodea monticola*, les *Aporrectodea tetramammalis*) et *Eisenia fetida* ont des tendances vers des isohyètes > 400 mm/an. Les deux espèces *Allolobophora molleri* et *Aporrectodea carochensis*, exposent une affinité particulière pour les zones gorgées d'eau même dans le semi aride. Le taxon *Octodrilus complanatus* est plus observé vers le semi aride. L'espèce *Aporrectodea trapezoides* est la plus dominante dans l'Est algérien. Elle peut être observée depuis les isohyètes > 1000 mm/an jusqu'aux tranches pluviométriques inférieures à 300 mm/an. En ce qui concerne *Aporrectodea rosea* est plus fréquente vers le semi aride et aride, elle va jusqu'aux isohyète < 250 mm/an.

Il semble que la majorité des espèces sont occasionnelles, elles se limitent sur la partie nord du terrain d'étude qui est généralement bien arrosée et bien fertile. Cependant les taxons *Aporrectodea trapezoides*, *Aporrectodea rosea*, *Octodrilus complanatus* et *Allolobophora molleri* représentent bien le terrain d'Est algérien, notamment les deux premières espèces qui s'observent à grande échelle dans la zone étudiée, longeant tous les étages bioclimatiques ; elles pourraient donc supporter certaines conditions sévères telles que la sécheresse et salinité. Il est recommandé de s'intéresser à ces espèces et effectuer des recherches de génétique et de biologie moléculaire afin de les exploiter dans les domaines de la biostimulation et la bioremédiation des sols en Algérie.

- **Aina P.O., 1984.** Contribution of earthworms to porosity and water infiltration in a tropical soil under forest and long-term cultivation. *Pedobiologia*. **26**: 131-136.
- AFNOR, 1994. Association Française de Normalisation. Dictionnaire de l'environnement, les termes normalisés.
- **Álvarez J., 1971.** Oligoquetosterrícolasibéricos. Megascolécidos y Glososcolécidos. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. Biol.* **69**: 97-114.
- **Abbott I., Parker C.A. et Sills I.D., 1979.** Changes in the abundance of large soil animals and physical properties of soils following cultivation. *Aust. Ecol.* **21** : 293-312.
- **Ana G. et Sonia B., 2004.** Advances on taxonomia de lombrices de tierra « Advances in earthworm taxonomy » (Annelida : Oligochaeta), Editorial Complutense, S.A. 170 p.
- **Anderson J.M., Proctor J. et Vallack H.W., 1983.** Ecological studies in four contrasting lowland rain forests in Gunung Mulu National Park, Sarawak. III. Decomposition processes and nutrient losses from leaf litter. *Journal of Ecology*. **71**: 503-527.
- **Andeweg B., 2002.** Cenozoic tectonic evolution of the Iberian Peninsula, causes and effects of changing stress field. Ph.D. Thesis, VrijeUniversiteit Amsterdam, 178 pp.
- **Aubert G., 1978.** Méthodes d'analyses des sols. CRDP Marseille, 191 p.
- **Basker A., Macgregor A.N. et Kirkman J.H., 1992.** Influence of soil ingestion by earthworms on the availability of potassium in soil: An incubation experiment. *Biol. Fertil. Soils* **14**: 300-303.
- **Bachellier G., 1978.** La faune des sols, son écologie et son action. IDT n° **38**, ORSTOM, Paris, 391p.
- **Baha M. 2008.** Etude bioécologique des oligochètes du Nord d'Algérie. Thèse de doctorat d'état, en sciences agronomiques. I.N.A El harrach (Alger). 208 p.
- **Baha M. et Berra S., 2001.** *Proselodrilus doumandjii* n. sp., a new lumbricid from Algeria. *Trop. Zool.***14**: 87-93.
- **Baha M., 1997.** The earthworm fauna of Mitidja, Algeria. *Trop. Zool.***10** : 247-254.
- **Baize D., 1989** -Guide des analyses courantes en pédologie. INRA, Paris. 172 p.
- **Baker G.H., Barrett V.J., Grey-Gardner R. et Buckerfield J.C., 1992.** The life history and abundance of the introduced earthworms *Aporrectodea trapezoides* and *A. caliginosa* (Annelida: Lumbricidae) in pasture soils in the Mount Lofty Ranges, South Australia. *Aust. J. Ecol.* **17**: 177-188.
- **Baker G.H. et Lee K. E., 1993.** Earthworms. In : Carter M., (eds), Soil Sampling and Methods of Analysis. Lewis Publishers, Boca Raton, Canadian Society of Soil Science.

- **Baker G. et Barrett V., 1994.** Earthworm identifier; Publication of Council of Scientific & Industrial Research Organization (CSIRO), Division of Soil & Land Management, Australia.
- **Bather E. A., 1920.** *Pantoscolex latus*, a new worm from Lower Ludlow, Annual Magazine.
- **Bazri K., 2010.** Contribution à l'étude de la biodiversité des lombriciens dans le Nord Est algérien, séminaire international, 22-25 novembre 2010, Constantine, Algérie. *Biologie Végétale et Ecologie*.
- **Bazri K., Ouahrani G., Gheribi-Aoulmi Z. et Diaz Cosin D., 2013 (a).** La diversité des lombriciens dans l'Est algérien depuis la côte jusqu'au désert. *ecologia mediterranea*. **Vol. 39 (2)**.
- **Bazri K., Ouahrani G., Gheribi-Aoulmi Z., Trigo D.J. et Diaz Cosin D., 2013 (b).** Soil factors and earthworms in Eastern Algeria. *Sciences & Technologie C*. **37** : 22-31 pp.
- **Belote-Travis R., et Jones Robert H., 2009.** Tree leaf litter composition and nonnative earthworms influence plant invasion in experimental forest floor mesocosms. **Vol. 11**, 1045-1052 pp.
- **Benham W.B., 1922.** Oligochaeta of Macquarie Island. Australian Antarctic Expedition, Scientific Reports, Zoology and Botany 6.
- **Berry E.C. et Karlen D.L., 1993.** Comparisons of alternative farming systems. II. Earthworm population density and species diversity. *Am. J. Alternative Agr.* **8** : 21-26.
- **Berry E.C. et Jordan D., 2001.** Temperature and soil moisture content effects on the growth of *Lumbricus terrestris* (Oligochaeta: Lumbricidae) under laboratory conditions. *Soil Biol. Biochem.* **33**: 133-136.
- **Bhatti H.K., 1962.** Experimental study of burrowing activities of earthworms. *Agri. Pakistan*, **13**: 779-794.
- **Blakemore R.J., 1981.** Ecology of earthworms under different fertilizer regimes in agriculture. Unpub. BSc. Hons. Thesis, Westminster Uni., **801/1/22**: Pp 93.
- **Blakemore R.J., 1991.** Earthworms and soil productivity. Conservation Tillage. *Queensland DPI, Brisbane*. **2 (4)**: 4-5.
- **Blakemore R.J., 1994 a.** Earthworms of south-east Queensland and their agronomic potential in brigalow soils. Unpub. PhD. Thesis, University of Queensland. Pp 605, with the description of 75 species, including 80 figures.
- **Blakemore R.J., 1995 b.** Use of earthworms for bioconversion of sewage sludge and municipal wastes. Report to ACT, Dept. Urban Services, Canberra. 200 pp.

- **Blakemore R.J. et Temple-Smith M.G., 1996.** Impact of earthworms on plant production. In *The Role of Earthworms in Agriculture and Land Management* (Eds. M.G. Temple-Smith and T. Pinkard), 83-89 pp. Report of a National Workshop, DPIF, Launceston, Tasmania.
- **Blakemore R.J. et Temple-Smith M.G., 1996 e.** Impact of earthworms on plant production. In: Temple-Smith, M.G. and Pinkard, T. (eds.), op. cit. 83-89 pp.
- **Blakemore R.J., 1997 c.** First ‘common earthworm’ found in Tasmania. *Invertebrata*. **9**: 1,5. <http://www.qvmag.tas.gov.au/zoology/invertebrata/printarchive/printtext/inv9aitems.html>.
- **Blakemore R.J., 1999.** The diversity of exotic earthworms in Australia. a status report. Proceedings of “The Other 99%”, edited by W. Ponder and D. Lunney, Transactions of the Royal Zoological Society of NSW. 182-187 pp. <http://biocollections.org/pub/worms/docs/Blakemore-eworms-Diversity-of-exotics.html>
- **Blakemore R. J., 2000.** Tasmanian Earthworms. CD-ROM Monograph with Review of World Families. 800 pp., VermEcology, Canberra.
- **Blakemore R.J., 2000 d.** Ecology of earthworms under the “Haughley Experiment” of organic and conventional management regimes. *Biological Agriculture & Horticulture*. **18 (2)**: 141-159.
- **Blakemore R.J., 2002.** Cosmopolitan Earthworms. An Eco-Taxonomic Guide to the Peregrine *Blakemore: Review of Criodrilidae* 21 Species of the World. *VermEcology, Kippax, Australia*, pp. 426 + 80 figs.
- **Blakemore R.J., 2004 f.** Checklist of Tasmanian earthworms update from Spencer (1895). In: Moreno, A.G. and Borges, S. (eds.) “Avances en taxonomia de lombrices de tierra / Advances in earthworm taxonomy (Anelida : Oligochaeta)”. Editorial Complutense. Universidad Complutense, Madrid, Spain. 163-173 pp.
- **Blakemore R.J., 2005.** Chapters in: A Series of Searchable Texts on Earthworm Biodiversity, Ecology and Systematics from Various Regions of the World. General editors: M.T. Ito, N. Kaneko. CDROM publication. Soil Ecology Research Group, Graduate School of Environment & Information Sciences, *Yokohama National University, Japan*. Online website here: <http://bio-eis.ynu.ac.-p/eng/database/earthworm>.
- **Blakemore R.J., 2006.** Cosmopolitan Earthworms – an Eco-Taxonomic Guide to the Peregrine Species of the World. (2nd Edition). *VermEcology, Japan*, pp. 630 + 150 figs.
- **Blakemore R.J., 2007.** A Series of Searchable Texts on Earthworm Biodiversity, Ecology and Systematics from Various Regions of the World. 2nd Edition Supplement. Eds. : N. Kaneko & M.T. Ito. *COE Soil Ecology Research Group, Yokohama National University, Japan*.
- **Bleidorn C., Vogt L. et Bartolomaeus T., 2003.** A contribution to sedentary polychaete phylogeny using 18S rRNA sequence data. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*. **41** : 186 - 195.

- **Bogh A., 1992.** Composition and distribution of the vascular epiphyte flora of an Ecuadorian montane rain forest. *Selbyana* **13**: 25–34.
- **Bohlen P., McDonnell M.J., Pickett S.T. A., Pouyat R.V., Parmelee R.W., Carreiro M., Groffman P., Zipperer W.C. et Medley K., 1997.** Ecosystem processes along urban-to-rural gradients. *Urban Ecosystems*. **1**: 21-36.
- **Bohlen P.J., Groffman P.M. et Fahey T.J., 2004a.** Ecosystem consequences of exotic earthworm invasion of north temperate forests. *Ecosystems* **7**: 1-12.
- **Boström U. et Lofs-Holmin A., 1986.** Growth of earthworms (*Allolobophora caliginosa*) fed on shoots and roots of barley, meadow fescue, and Lucerne : studies in relation to particule size, protein, crude fiber and toxicity. *Pedologia*. **29**: 1-12.
- **Boström U. et Lofs-Holmin A., 1996.** Annual population dynamics of earthworms and cocoon production by Aporetodea caligi-nosain a meadow fescue ley. *Pedobiologia*. **40**: 32–42.
- **Bossuyt H., Six J. et Hendrix P.F., 2005.** Protection of soil carbon by microaggregates within earthworm casts. *Soil Biology & Biochemistry*. **37**: 251–258.
- **Bossuyt H., Six J. et Hendrix P.F., 2006.** Interactive effects of functionally different earthworms species on aggregation and incorporation and decomposition of newly added residues carbon. *Geoderma*. **130**: 14–25.
- **Bouazza M., 2000.** Contribution à une etude bioclimatique de la steppe à Artemisia herba-alba Asso. Dans l'Oranie (Algérie occidentale). *Sécheresse*. **11 (2)** : 117-23.
- **Bouché M.B., 1972.** *Lombriciens de France, Ecologie et systématique*. Inst. Nat.Rech. Agronomique, Paris. 671 p.
- **Bouché M.B., 1975.** La reproduction de *Spermophorodrilus albanianus* nov. gen., nov. sp. (Lumbricidae), explique-t-elle la fonction des spermatophores? *Zoologische Jahrbücher Abteilung für Systematik*. **102**: 1–11.
- **Bouché M.B., 1977.** Stratégies Lombriciennes. In: Lohm, U., Persson, T., (Eds.), Soil organism as components of ecosystems. Proc. 6th Int. Coll. Soil Zool. Ecol. Bull., Stockholm, 122-132 pp.
- **Bouché M.B., 1998.** L'évolution spatiotemporelle des lombriciens. *Doc. pédozool. intégrol.*, **3** : 1, 1 – 28.
- **Bouché M.B., 2003.** Vers de terre, de Darwin à nos jours. Un révélateur heuristique. Académie des Sciences et lettres de Montpellier. Séance du 02/06/2003, Conférence n°3826. Montpellier, France.
- **BOUDY P., 1948.** Economie forestière nord-africaine. Milieu physique et humain, 686 p. Larose, Paris.

- **Bouhabila A. et Rehal M.L., 2011.** Contribution à une étude comparative de la biodiversité et la démoécologie des lombriciens pour deux campagnes d'échantillonnage dans le Nord-Est algérien. Mémoire d'ingénieur, UMC, 69 p.
- **Bouillin J.P., 1986.** Le bassin Maghrébin: une ancienne limite entre l'Europe et l'Afrique à l'ouest des Alpes. *Bull Soc. Géol. France*, 8e sér., 2 : 547-548.
- **Brinkhurst R.O. et Jamieson B.G., 1972.** Aquatic Oligochaeta of the World; K. Fauchald, The Polychaete Worms ; R. W. Pennak, *Fresh-water Invertebrates of the United States* (3d ed. 1989).
- **Brinkhurst R.O., 1984.** The position of the Haplotaxidae in the evolution of oligochaete annelids. *Hydrobiologia*. **115**: 25-36.
- **Brinkhurst R.O., Nemeč, A.F.L., 1987.** A comparison of phenetic and phylogenetic methods applied to the systematics of the Oligochaeta. *Hydrobiologia*. **155**: 65-74.
- **Brinkhurst R.O., 1994.** Evolutionary relationships within the Clitellata: An update. *Megadrilogica*, **5**: 109-112.
- **Briones M.J.I., Mascato R. et Mato S., 1995.** Autoecological study of some earthworm species (Oligochaeta) by means of ecological profiles. *Pedologia*. **39**: 345-349.
- **Briones M.J.I., Bol R., Sleep D., Allen D.A. et Sampedro L., 2001.** Spatio-temporal variation of stable isotope ratios in earthworms under grassland and maize cropping systems. *Soil Biology & Biochemistry*. **33**: 1673–1682.
- **Brown G.G. et Doube B.M., 2004.** Functional interactions between earthworms, microorganisms, organic matter, and plants. In: Edwards C.A., ed. *Earthworm ecology*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press LLC, 213-239.
- **Brusca R.C. et Brusca G.J., 2005.** Invertebrados. McGraw-Hill/Interamericana. Madrid. 1005 pp. (Capítulo 9).
- **Buckerfield J.C. et Doube B.M., 1991.** Effects of tillage, crop rotation and stubble management on earthworms. S. Aust. Dept Agric. Tech. Pub.52-53.
- **Buckerfield, J.C., Lee, K.E., Davoren, C.W. et Hannay, J.N., 1997.** Earthworms as indicators of sustainable production in dryland cropping in southern Australia. *Soil Biol. Biochem.* **29**: 547- 554.
- **[Butenschoen a O.](#), [Marhan S.](#), [Langel R.](#) [et Scheu S.](#), 2008.** Carbon and nitrogen mobilisation by earthworms of different functional groups as affected by soil sand content. *Pedobiologia*. **52**: 263 – 272.
- **Butt., 1993.** Utilisation of solid paper mill sludge and spent brewery yeast as a feed for soil-dwelling earthworms. *Bioresource Technol.* **44**: 105-7.

- **Calvet G. et Villemin P., 1986** - Interprétation des analyses de terre, IPAS, SADEF-SCPA, Aspach le Bas, France, 25 p.
- **Callot G. et Dupuis M., 1980.** Le calcaire actif des sols et sa signification, Sc. du So, Bull. de l'AFES. **1**: 17-26.
- **Callot G., Chamayou H., Maerslens C. et Salsac L., 1982.** Mieux comprendre les interactions sol-racine. Incidences sur la nutrition minérale. INR, Paris, 35p.
- **Carter A. Heinonen J. et Vries J., 1982.** Earthworms and water movement. *Pedobiologia*. **23**: 395-397.
- **Chateauneuf M., 1844.** Encyclopedie-manuel de toutes les sciences. Tome 2, 3e edition, Lebailly, Paris.
- **Christer Erséus. et Mari Källersjö., 2004.** 18S rDNA phylogeny of Clitellata (Annelida) *Zoologica Scripta*. [Vol. 33, Issue 2](#), pages 187–196, March 200.
- **Ckrnosvitov L. et Evans A. C., 1947.** *Synops. Brit. Fauna*, n°6 (Lumbricidae). The Linnean Society of London.
- **Clark DR., 1969.** The strategy of tail autotomy in the ground skink, *Lygosoma laterale*. *J Exp Zool*. **176**: 295-302.
- **Clements R.O., Murray P.J. et Sturdy R.G., 1991.** The impact of 20 years absence of earthworms and three levels of N fertilizer on a grassland soil environment. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. **36**: 75-85.
- **Cluzeau D., Lebouvier M., Trehen P., Bouché M. B., Badour C. et Perraud A., 1987.** Relations between earthworms and agricultural practices in the vineyards of Champagne. Preliminary results. *On Earthworms*. Mucchi, Modena, 465-484 pp.
- **Cluzeau D. et Fayolle L., 1988.** Impact des traitements pesticides sur les peuplements lombriciens en viticulture champenoise. *CR. Acad. Agric. France*. **74** : 105-112.
- **Cluzeau D., Guo Z.T., Chaussod D., Fedoroff N., Normand M. et Perraud A., 1994.** Interaction between soil, biological activities and organic matter enrichments in Champagne soils. *Transactions of the XV World Congress of Soil Sc.* INEG and CNA publishing, Mexico, 4b, 149-150 pp.
- **Cluzeau D., Cannavacciulo M. et Péres G., 1999.** Indicateurs microbiologiques des sols : les lombriciens. Méthode d'échantillonnage dans les agrosystèmes en zone tempérée. In 12ème Colloque Viticole et OEnologique Ed. ITV Paris, 25-35 p.
- **Cluzeau D., Blanchard E., Peres G., Ablain F., Cuendet G., Fayolle L. et Lavelle P. 2005.** Faune du sol et Lombriciens dans les sols tempérés agricoles. In : M.C. Girard, C. Walter, J.C.

- Rémy, J. Berthelin, J.L. Morel (Eds). Sols et Environnement. Cours, exercices et études de cas. Paris, Dunod. 386-407 p.
- **Coleman D.C., Anderson R.V., Cole C.V., Macclellan J.F., Woods L.E., Trofymow J.A. et Elliot E.T., 1984.** Roles of protozoa and nematodes in nutrient cycling. In: Microbial-Plant interactions. ASA Spec Pub. **47**: 17-28.
 - **Côte M., 1983.** L'espace algérien, les prémices d'un aménagement, Alger, O.P.U., 276 p., 80fig., C.-R. dans Annales de Géographie, 1984.
 - **Côte M., 1996 a.** L'Algérie, espace et société, Paris: Colin U, 253 p.
 - **Côte M., 1996 b.** Pays, paysages, paysans d'Algérie, Paris: Editions du CNRS, 282 p.
 - **Côte M., 1998.** Les étages bioclimatiques des régions de l'Est algérien. *Revue Rhumel, IST., univ. Constantine.* **6** : 57-71.
 - **Cosson E., 1879.** Le Regne végétal en Algérie « considérations générales sur l'Algérie, sur sa végétation spontanée et ses cultures. Paris, Imprimerie de A. Quantin.
 - **Crusmsey J.M., Le Moine J.M., vogel C.S. et Nadelhoffer K.J., 2014.** Historical Patterns of exotic earthworm distributions inform contemporary associations with soil physical and chemical factors across a northern temperate forest. *Soil. Biol. Biochem.* **68**: 503-514.
 - **Csuzdi Cs. et Pavl'ivcek T., 2005.** Earthworms from Israel. II. Remarks on the genus *Perelia* Easton, 1983 with description of a new genus and two new species. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, **51(2)**: 75–96.
 - **Csuzdi Cs. et Pavl'ivcek T., 2011.** A new earthworm genus *Nouraguesia* gen. nov. from French Guiana with description of two new species (Oligochaeta, Glossoscolecidae). *Journal of Natural History.* **45(27-28)**:1759-1767.
 - **Curry J.P., Byrne D. et Boyle K.E., 1995.** The earthworm population of a winter cereal field and its effects on soil and nitrogen turnover. *Biol. Fertil. Soils.* **19**: 166-172.
 - **Daniel O., Kohli L. et Bieri M., 1996.** Weight gain and weight loss of the earthworm *Lumbricus terrestris* L. at different temperatures and body weights. *Soil Biology and Biochemistry* **28**, 1235-1240.
 - **Curry J. P., 1998.** Factors affecting earthworm abundance in soils. In: Edwards, C. A. (eds), *Earthworm Ecology*. Boca Raton, St. Lucie Press, 389 pp.
 - **Curry J.P., 2004.** Factors affecting the abundance of earthworms in soils. In: Edwards, C.A. (Ed.), *Earth-worm Ecology*. CRC press LLC, Boca Raton, FL, 91–114 pp.
 - **Curry J.P. et Olaf Schmidt., 2007.** The feeding ecology of earthworms. A review. *Pedobiologia.* **Vol.50.** Pages 463–477 pp.

- **Curry J. P., Doherty P., Purvis G. et Schmidt O., 2008.** Relationship between earthworm populations and management intensity in cattle-grazed pastures in Ireland. *Applied Soil Ecology*, **39 (1)**: 58-64.
- **Díaz Cosín D.J., Trigo D. et Mascato R., 1992.** Earthworms of Iberian Peninsula. Species list and some biogeographical considerations. *Soil. Biol. Biochem.* **24**: 1351-1356.
- **Darío J. Díaz Cosín., María Pilar Ruiz., Marta Ramajo. et Mónica Gutiérrez., 2006.** [Is the aestivation of the earthworm *Hormogaster elisae* a paradiapause?](#) **Vol. 125**: 250–255.
- **Darío J. Díaz Cosín., Marta Novo. et Rosa Fernández., 2011.** Reproduction of Earthworms: Sexual Selection and Parthenogenesis. A. Karaca (ed.), *Biology of Earthworms, Soil Biology*.
- **[Darío J. Díaz Cosín., \[Marta Novo., \\[Rosa Fernández., \\\[Daniel Fernández Marchán. et \\\\[Mónica Gutiérrez.\\\\]\\\\(#\\\\)\\\]\\\(#\\\)\\]\\(#\\)\]\(#\)](#)** **2014.** A new earthworm species within a controversial genus: *Eiseniona gerardoi* sp. n. (Annelida, Lumbricidae), description based on morphological and molecular data. *Zookeys*. **399**: 71–87.
- **Darwin C.R. 1881.** The formation of vegetable mould, through the action of worms with observations in their habits. *London: John Murray*.
- **Dash M.C. et Senapati B.K., 1986.** Vermitechnology, an option for organic waste management In : Dash M.C., Senapati B.K., Mishra P.C., (Eds) *Proceeding of National Seminar on organic waste utilization and vermicomposting part-B : Vermes and vermicomposting Sambalpur university, Sambalpur, Orissa, India, 157-172 pp.*
- **Decaëns T., 2010.** Macro ecological patterns in soil communities. *Global Ecol. Biogeogr.* **19, 3**: 287-302.
- **Dindal D., 1990.** *Soil Biology Guide*, New York: John Wiley & Sons, 1349 p.
- **Domínguez J., 2004.** State of the art and new perspectives on vermicomposting research, in: Edwards, C.A. (Ed.), *Earthworm Ecology (2nd edition)*, CRC Press, Boca Ratón., 401-424.
- **Domínguez J., Ferreiro A. et Velando A. 2005.** Are *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) and *Eisenia Andrei* Bouché, 1972 (Oligochaeta, Lumbricidae) different biological species? *Pedobiologia.* **49** : 81-87.
- **Dubief Jean., 1953.** Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. Alger, Institut de Météorologie et de Physique du Globe de l'Algérie, **1953**, 458 p.
- **Duchaufour Ph., 1976.** Atlas écologique des sols du monde. Masson.
- **Durand D.M., 1969.** Mise au point sur la structure du Nors Est de la Berberie. Pub. Serv. Carte géol. Algérie, nulle ser., **n°39** : 89-131 pp.
- **Durand J.H., 1954.** Les sols d'Algérie. S.C.H., S.E.S., pédologie **n°2**, 244 p.

- **Easton E. G., 1983.** A guide to the valid names of earthworms (Oligochaeta). 475–485 pp.
- **Easton E.G., 1979.** A revision of the 'acaecate' earthworms of the Pheretima group (Megascolecidae: Oligochaeta): *Archipheretima*, *Metapheretima*, *Planapheretima*, *Pleinogaster* and *Polypheretima*. *Bulletin of the British Museum (Natural History) Zoology*. **35 (1)**: 1-128.
- **Edwards C.A., Bohlen P.J., Linden D.R. et Subler S., 1995.** Earthworms in agroecosystems. In: *Earthworm Ecology and Biogeography in North America*. (Hendrix, P. F. eds.), Lewis Publisher, Boca Raton, FL, 185-213 pp.
- **Edwards C.A. et Bohlen P. J., 1996.** Biology and Ecology of Earthworms (3rd ed). Chapman & Hall, London, 426 pp.
- **Edwards C.A., 2004.** *Earthworm Ecology*, 2nd ed, CRC Press LLC. 441 p.
- **Ehlers W., 1975.** Observations on earthworm channels and infiltration on tilled and untilled loess soil. *Soil Science*. **119** : 242-249.
- **Ehrenfeld, J.G., 2003.** Effects of exotic plant invasions on soil nutrient cycling processes. *Ecosystems*. **6**: 503–523.
- **Eisenhauer N., 2010.** The action of an animal ecosystem engineer: identification of the main mechanisms of earthworm impacts on soil microarthropods. *Pedobiologia*. **53**: 343–352.
- **El-Duweini A.K. et Ghabbour S.I., 1965.** Population density and biomass of earthworms in different types of Egyptian soils. *Journal of Applied Ecology*. **2**: 271-287.
- **Emberger L., 1966.** Réflexions sur le spectre biologique de Raunkiaer. *Mém. Soc. Bot. Fr.*, 56-85.
- **Ernst D., 1995.** The farmers earthworm handbook: Managing your underground moneymakers. Lessiter Publications, Brookfield, WI.
- **Ernst G., Zimmermann S., Christie P. et Frey B., 2008.** Mercury, cadmium and lead concentrations in different ecophysiological groups of earthworms in forest soils. *Environmental Pollution*. **156**: 1304-1313.
- **Erseus C., Prestegard T., and Kallersjo M., 2004.** Phylogenetic Analysis of Clitellata (Annelida). *Zoologica Scripta*. **33**: 187-196.
- **Evans A.C. et Guild W. J., 1948 b.** Studies on the Relationships Between Earthworms and Soil Fertility, *Annals of Applied Biology*. [Vol. 35](#): 471–484.
- **Farah A. et Lokchiri A., 2011.** Contribution à l'étude de la démoécologie et la biodiversité des lombriciens selon un transect Ouest-Est dans la Nord Est algérien. Mémoire d'ingénieur, UMC, 56.
- **Feller C. et Beare M.H., 1997.** Physical control of soil organic matter in the tropics. *Geoderma*. **79**: 69-116.

- **Feller C., Brown G.G., Blanchart E., Deleporte P. et Chernyanskii S.S., 2003.** Charles Darwin, earthworms and the natural sciences: various lessons from past to future. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. **99**: 29-49 pp.
- **Fender W.M. et McKey-Fender D., 1990.** Oligochaeta: Megascolecidae and other earthworms from western North America. In D.L. Dindal, editor. *Soil Biology Guide*. Wiley and Sons, New York.
- **Feraga A., 1984.** Ressources en eau des karsts de l'Est algérien, *Thèse de docteur ingénieur*, U.S.T.L., Montpellier, Laboratoire d'Hydrogéologie.
- **Fernández R., Almodóvar A., Novo M., Simancas B. et Díaz Cosín D.J., 2012.** Adding complexity to the complex: new insights into the phylogeny, diversification and origin of parthenogenesis in the *Aporrectodea caliginosa* species complex (Oligochaeta, Lumbricidae). *Mol. Phyl. Evol.*, DOI: 10.1016/j.ympev.
- **Fragoso C. et Lavelle P., 1992.** Earthworm communities of tropical rain forests. *Soil Biology & Biochemistry*. **24 (12)**: 1397-1408.
- **Fragoso C., Brown G.G., Parton J.C., Blanchart E., Lavelle P., Pashanasi B., Senapati B. et Kumar T., 1997.** Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics: the role of earthworms. *Appl. Soil Ecol.* **6**: 17-35.
- **Fahey T.J., Yavitt J.B., Sherman R.E., Maerz J.C., Groffman P.M., Fisk M.C. et Bohlen P.J., 2012.** Earthworms, litter and soil carbon in a northern hardwood forest. Springer Science+Business Media Dordrecht 2012 Biogeochemistry, DOI 10.1007/s10533-012-9808-y.
- **Fahey T.J., Fisk M.C., Groffman P.M., Maerz J.C., Sherman R.E., Yavitt J.B. et Bohlen P.J., 2013.** Earthworm effects on the incorporation of litter C and N into soil organic matter in a sugar maple forest. *Ecological applications* : a publication of the Ecological Society of America. **23(5)**:1185-201.
- **Fründ H.C., Butt K., Capowiez Y., Eisenhauer N., Emmerling C., Ernst G., Potthoff M., Schädler M. et Schrader S., 2010.** Using earthworms as model organisms in the laboratory: Recommendations for experimental implementations. *Pedobiologia*. **Vol. 53**: 119–125 pp.
- **Gates G.E., 1959.** On a taxonomic puzzle and the classification of the earthworms. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology, Harvard*. **123(6)**: 229-61.
- **Gates G.E., 1969.** On two American genera of the earthworm family Lumbricidae. *J. nat. hist.* **9**: 305 – 307.
- **Gates G. E., 1970.** Miscellanea megadrilologica. VIII. *Megadrilologica*, **1**: 1-6.

- **Gates G.E., 1972.** Burmese Earthworms, an introduction to the systematics and biology of Megadrile oligochaetes with special reference to South-East Asia. *Transactions of the American Philosophical Society*. **62(7)**: 1-326.
- **Gates G.E., 1972a.** Contributions to North American earthworms (Annelida: Oligochaeta). No. 3: Towards a revision of the earthworm family Lumbricidae IV. The *trapezoides* species group. *Bulletin of the Tall Timbers Research Station*. **12**: 1-146.
- **Gates G.E., 1972b.** Contributions to North American earthworms (Annelida: Oligochaeta). **No. 5**: On variation in another anthropochorus species of the oriental genus *Pheretima* Kinberg, 1867. *Bulletin of the Tall Timbers Research Station*. **13**: 18-44.
- **Gerard B. M., 1967.** Factors affecting earthworms in pastures. *J. Anim. Ecol.* **36**: 235-252.
- **Ghilarov M.S., 1983.** Darwin's formation of vegetable mould-its philosophical basis. Chapter **1**: 1-4 pp. In "earthworm ecology. From Darwin to vermiculture". J.E, Satchell Ed., Chapman and Hall, London.
- **Graff O., 1950.** Die Rugenwürmer der Umgebung von Braunschweig und ihre Bedeutung für die Landwirtschaft. Diss. TU Braunschweig.
- **Graff O., 1983.** Darwin on earthworms – the contemporary and what the critics thought. Chapter **2**: 5-18 pp. in "earthworm ecolog. From Darwin to Vermiculture". J.E. Satchell Ed., Chapman and Hall, London.
- **Grassé P.P., 1959.** La reconstruction du nid et les coordinations interindividuelles chez *Bellicositermes natalensis* et *Cubitermes* sp. la théorie de la stigmergie: Essai d'interprétation du comportement des termites constructeurs. [Insectes Sociaux](#), 1959, **Vol. 6**: 41-80 pp.
- **Guild W.J.McL., 1948.** The effect of soil type on the structure of earthworm populations. *Ann.*
- **Guild W.J.McL., 1955.** Earthworms and soil structure. In: D.K. McE. Kevan (ed.). *Soil Zoology*. 83-98 pp. Butterworth, London.
- **Gutiérrez M., Jesús J.B., Trigo D. et Díaz-Cosín D.J., 2006.** Is *Hormogaster elisae* (Oligochaeta, Hormogastridae) a predator of mite and springtails? *Eur. J. Soil Biol.* **42**: 186–190.
- **Gough C. M., Vogel C.S., Schmid H.P. et Curtis P.S., 2008a.** Controls on annual forest carbon storage: Lessons from the past and predictions for the future. *Bioscience*. **58**: 609–622.
- **Hall K.A., Hutchings P.A. et Colgan D.J., 2004.** [Further phylogenetic studies of the Polychaeta using 18S rDNA sequence data](#). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. **84**: 949-960.
- **Hartensein R. et Amico L., 1983.** Production and carrying capacity of the earthworm *Lumbricus terrestris* L. in culture. *Soil Biology and Biochemistry*. **15**: 51-54.

- **Hartenstein R. et Hartenstein F., 1979.** Physicochemical Changes Effected in Activated Sludge by the Earthworm *Eisenia foetida*. [*Journal of Environmental Quality*](#). Vol. 10 n° 3: 377-381 p.
- **Hassink J., Whitmore A.P. et Kubat J., 1997.** Size and density fractionation of soil organic matter and the physical capacity of soils to protect organic matter. *Eur. J. Agron.* 7 : 189–199.
- **Heller R., Esnault R. et Lance C., 1998.** Physiologie végétale.1. Nutrition 6e édition. Dunod, Paris, 323 pp.
- **Hendrix P.F. Muller B. R. Bruce R.R. Langdale G.W. et Parmelee R.W., 1992.** Abundance and distribution of earthworms in relation to landscape factors on the Georgia Piedmont, USA. *Soil Biol. Biochem.* 24, 1357-1361.
- **Hernaández P., Gutierrez M., Ramajo M., Trigo D. et Di'az Cosi'n D.J., 2003.** Horizontal distribution of an earth-worm community at El Molar, Madrid (Spain). *Pedo-biologia.* 47: 568–573.
- **Hicking R., Roy D.B., Hill J.K., Fox R. et Thomas C.D., 2006.** Distribution of wide range of taxonomic groups are expanding polewards. *Glob change Biol.* 12 : 45-450.
- **Holmstrup M., Ostergaard I.K., Nielsen A. et Hansen B.T., 1996.** Note on the incubation of earthworm cocoons at three temperatures. *Pedobiol.* 40: 477-478.
- **Holmstrup M., Sørensen J.G., Overgaard J., Bayley M., Bindesbøl A.M., Slotsbo S., Fisker K.V., Maraldo K., Waagner D., Labouriau R. et Asmund G., 2011.** Body metal concentrations and glycogen reserves in earthworms (*Dendrobaena octaedra*) from contaminated and uncontaminated forest soil, *Environmental Pollution.* 159: 190-197.
- **Hughes M.S., Bull C. M. et Doube B.M., 1994.** The use of resource patches by earthworms. In: Earth and Environmental Science. Biology and Fertility of soils. Vol. 18. n°3.
- **Hopp H. et Slater Cl. S., 1948.** Influence of Earthworms on soil productivity. *Soil Sci.* 66, 6: 421-428.
- **Höser N., 2008.** The earthworms *Proctodrilus tuberculatus* (Černosvitov, 1935) and *Proctodrilus antipai* (Michaelsen, 1891) as indicators of fossil surface structure in riverine floodplains (Oligochaeta: Lumbricidae). *Hercynia N.F.* 41: 263 -272.
- **Hulme M., Turnpenny J. et Jenkins G., 2002.** Climate Change Scenarios for the United Kingdom: *The UKCIP02 Briefing Report.* Norwich: Tyndall Centre for Climate Change Research, University of East Anglia.
- **Iligo D. et Lavelle P., 1993.** Changes in respiration rate and some physicochemical properties of soil during gut transit through *Allolobophora molleri* (Lumbricidae, Oligochaeta). *Bio1 Fertil Soils* 15 : 185-188.

- **Jamieson B.G.M., 1971a.** A review of the megascolecoid earthworm genera (oligochaeta) of Australia, pt. I. Reclssification and checklist of megascolesid genera of the World. 1 *Proc. Roy. Soc. Queensland*, **82 (b)**: 75-86.
- **Jamieson B.G.M., 1971b.** A review of the megascolecoid earthworm genera (oligochaeta) of Australia, pt. II. The subfamilies Ocneroдрilinae and Acanthodrilineae *Proc. Roy. Soc. Queensland*. **82 (8)**: 95-108.
- **Jamieson B.G.M., 1971c.** A review of the megascolecoid earthworm genera (oligochaeta) of Australia, pt. II. The subfamily Megascolecinae. *Mem. Queensland Mus.* **16**: 69-102.
- **Jamieson B.G.M., 1988.** On the phylogeny and higher classification of the Oligochaeta. *Cladistics*. **4**: 367-410.
- **James S.W., 1991.** Soil, nitrogen, phosphorus, and organic matter processing by earthworms in tallgrass prairie. *Ecology*. **72 (6)**: 2101-2109 pp.
- **James S., 2000.** Earthworms (Annelida: Oligochaeta) of the Columbia River Basin Assessment Area. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-491. Portland, OR: USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 13 p. Online at <http://www.fs.fed.us/pnw/pubs/gtr491.pdf>.
- **Jasmine M. Crumsey., James M. Le Moine., Yvan Capowiez Mitchell M., Goodsitt Sandra C., Larson George W. et Kling Knute J. Nadelhoffer., 2013.** Community-specific impacts of exotic earthworm invasions on soil carbon dynamics in a sandy temperate forest. *Ecology* **94**:12, 2827-2837.
- **Jasmine M. Crumsey., 2014.** Exotic Earthworm Communities as Drivers of Soil Carbon Dynamics in Northern Temperate Forests. A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy (Ecology and Evolutionary Biology) in The University of Michigan. 164 p.
- **Jesús J.B., Moreno A.G. et Díaz Cosín D.J., 1981.** Lombrices de tierra de la Vega de Aranjuez (España). I. Asociaciones. *Rev. Écol. Biol. Sol.* **18 (4)**: 507-519.
- **Julin, E. 1949.** De svenska daggmaskarterna. *Arkiv for zoology*. **42(A)**: 1–58.
- **Jördens Struck. et Purschke., 2004.** Phylogenetic inference regarding Parergodrillidae and *Hrabeiella periglandulata* ('Polychaeta', Annelida) based on 18S rDNA, 28S rDNA and COI sequences Zur phylogenetischen Stellung der Parergodrillidae und von *Hrabeiella periglandulata* ('Polychaeta', Annelida) auf der Basis von 18S rDNA, 28S rDNA und COI Sequenzen. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*. [Vol. 42](#): 270–280.
- **Joschko M., Fox C.A., Lentzsch P., Kiesel J., Hierold W., Kru "ck S. et Timmer J., 2006.** Spatial variability of earthworm biodiversity at the regional scale. *Agriculture Ecosystems and Environment*. **112**: 367–380.

- **Keogh, R.G. 1979.** In Proceedings of the 2nd Australasian Conference on Grassland Invertebrate Ecology. Eds T.K. Crosby and R.P. Pottinger. Government Printer, Wellington.
- **Kevan DK McE., 1985.** Soil zoology, then and now, mostly then. *Quaestiones Entomologicae*. **21**: 371.7- 472.
- **Khalaf A.E.D. et Samir I.G., 1965.** Population density and biomass of earthworms in different types of Egyptian soils. *J. Appl. Ecol.* **2**: 271-209.
- **Kherbouche D., Bernhard-Reversat F., Moali A. et Lavelle P., 2012.** The effect of crops and farming practices on earthworm communities in Soummam valley, Algeria . *European Journal of Soil Biology*. **(48)**: 17-23.
- **Kinberg, J.G.H., 1866.** Annulata nova. *Öfversigt af Kongl.Vetenskaps-Akademiens Förhandlingar*. **23**: 97-103.
- **King R.A., Tibble A.L. et Symondson W.O.C., 2008.** Opening a can of worms: unprecedented sympatric cryptic diversity within British lumbricid earthworms. *Molecular Ecology*. **Vol.17**: 4684-4698.
- **Koné A.W., Edoukou E.F., Orendo-Smith R. et Tondoh J.E., 2012b.** Earthworms in *Chromolaena odorata* (L.) King and Robinson (Asteraceae) fallows along a chronosequence : Changes in community structure and identification of persistent and indicator species. *Pedobiologia*. **55**: 193-201.
- **Kruuk H. et Parish T., 1981.** Feeding specialization of the European badger *Meles meles* in Scotland. *J. Anim. Ecol.* **50** : 773-788.
- **Kwong-Ying Chan. et Mead John Ashley., 2003.** Soil acidity limits colonization by Aporectodea trapezoids, an exotic earthworm. *Pedobiologia*. **47, n° 3**: 225-229.
- **Lakhani K.H. et Satchell J.E., 1970.** Production of *Lumbricus terrestris* L. *Journal of animal Ecology*. **39**: 473-492.
- **Lamparski F., 1985.** Einfluss der regenurmart *Lumbricus badensis* auf waldböden den in Schwarzwald.
- **Lara Z., Caroline C., Joseph D., Pham K., Nguyen D., Frédéric F., Philippe L., Eric H. et Yves B., 2009.** Mise en relation de la diversité des vers de terre et des caractéristiques du sol de Thua Thien Hue (Centre Vietnam). *Tropical Conservation Science*. **Vol.2 (3)**: 282-298.
- **Lavelle P., 1974.** Les vers de terre de la savane de Lamto. In: Analyse d'un Ecosysteme Tropical Humide: La Savane de Lamto (Cote d'Ivoire). *Bulletin de Liaison des Chercheurs de Lamto*. **5** : 133-136.
- **Lavelle P., 1983.** The structure of earthworm communities. In Satchell J.E. Ed. *Earthworm Ecology. From Darwin to Vermiculture*, 449-466. Chapman and Hall, London.

- **Lavelle P., 1988.** Earthworm activities and the soil system. *Bid. Fert. Soils*. **6**: 237-251.
- **Lavelle P., Martin A., 1992.** Small-scale and large-scale effects of endogeic earthworms on soil organic matter dynamics in soil of the humid tropics. *Soil Biology and Bio-chemistry*. **24**: 1491–1498.
- **Lavelle P. et Alister V., 2001.** *Soil Ecology. Spain*. Kluwer Academic Publishers. 101 Philip Drive, Norwell, MA 02061, Hardback. 684 pp.
- **Lavelle P. et Spain A., 2001.** *Soil Ecology*, Kluwer Scientific Publications, ISBN 0-7923-7123-2, Amsterdam, the Netherlands.
- **Lee K.E., 1959.** *The Earthworm Fauna of New Zealand*. New Zealand Department of Scientific and Industrial Research, Wellington. Bulletin 130. 486 pp.
- **Lee K.E., 1981.** Earthworms (Annelida : Oligochaeta) of Vanua Tu (New Hebrides Islands). *Australian Journal of Zoology*. **29**: 535-72.
- **Lee, K.E. et Ladd, J.N., 1984.** Some recent advances in soil biology and biochemistry. National Soils Conference, Australian Society of Soil Science, Brisbane, 83- 103 pp.
- **Lee K.E., 1985.** Earthworms - Their Ecology and Relationships with Soils and Land Use". Academic Press, Sydney. pp 411.
- **Lee K.E., 1987.** Peregrine species of earthworms. In: A.M. Bonvicini Pagliai and P. Omodeo (eds.). "On Earthworms." 315-327 pp. Selected Symposia and Monographs. U.Z.I., 2, Mucchi, Modena.
- **Lee K.E., 1989.** The role of earthworms in nutrient cycling. In: Hutchinson, K.J. (ed.). "Proceedings of a Workshop on Biological Processes and the Fertility of Temperate and Mediterranean Pastures at "Chiswick", CSIRO Division of Animal Production, 15-17, 36-39 pp. Australian Wool Corporation Technical Publication.
- **Lee K.E. et Pankhurst C.E., 1992.** Soil organisms and sustainable productivity. *Australian Journal of Soil Research*. **30(6)**: 855–892.
- **Ljungström P.O., 1972 a.** Introduced earthworms of South Africa. On their taxonomy, distribution, history of introduction and on the extermination of endemic earthworms. *Zoologischer Jahrbuecher Abteilung fuer Systematik*. **99**: 1-81.
- **Luck M. et Wu J., 2002.** A gradient analysis of urban landscape pattern: a case study from the phoenix metropolitan region, Arizona, USA. *Landscape Ecol*. **17**: 327-339.
- **Lofs-Holmin A., 1982.** Reproduction and growth of common arable land and pasture species of earthworms (Lumbricidae) in laboratory cultures. *Swed. J. Agr. Res.* **13**: 31-37.
- **Lofs-Holmin A., 1983.** Influence of agricultural practices on earthworms (Lumbricidae). *Acta Agricult. Scand.* **33**: 225-234.

- **Lopez-Assad M.L., 1987.** Contribution à l'étude de la macroporosité lombricienne de différents types de sols de France. Thèse Doctorat USTL, Montpellier 218p.
- **Lowe C.N. et Butt K.R., 2002.** Growth of hatchling earthworms in the presence of adults: interactions in laboratory culture. *Biol. Fertil. Soils.* **35**: 204-209.
- **Magri D., Fineschi S., Bellarosa R., Buonamici A., Sebastiani F., Schirone, B., Simeone M.C. et Vendramin G.G., 2007.** The distribution of *Quercus suber* chloroplast haplotypes matches the palaeogeographical history of the western Mediterranean. *Mol. Ecol.* **16**: 5259-5266.
- **Mangold O., 1951.** Experiments in analysis of the chemical senses of earthworms. I. Methods and procedure for leaves of plants. *Zool. Jb. (Physiol.)* **62** : 441-512.
- **Marre Alain. 1992.** Le Tell Oriental Algerien, De Collo A La Frontiere Tunisienne, Etude Geomorphologique, 2 Tomes. Editeur : *Office Des Publications Universitaires, Alger.*
- **Monroy Fernando., Aira Manuel., Domínguez Jorge. et Mariño Fuencisla., 2003.** Distribution of earthworms in the north-west of the Iberian Peninsula. *European Journal of Soil Biology.* **39**: 13–18.
- **Mariño F., Trigo D., Diaz Cosin D.J. et Calvin E.B., 1985.** Lombrices de tierra de Galicia. Relación con los factores del suelo. *Anal. Edaf. Agrobiol.* **44**: 1641-1649.
- **Martin Krauss. et Wolfgang Wilcke., 2001.** Biomimetic Extraction of PAHs and PCBs from Soil with Octadecyl-Modified Silica Disks To Predict Their Availability to Earthworms Institute of Soil Science and Soil Geography, University of Bayreuth, D-95440 Bayreuth, Germany *Environ. Sci. Technol.* **35 (19)** : 3931-3935 pp.
- **Mascato R., Mato S., Trigo D., Mariño F. et Diaz Cossin D.J., 1987.** Factores del Suelo y Distribución de las Lombrices de Tierra en zonas de Galicia : Comparación de Diferentes Métodos Estadísticos. *Rev. Ecol. Biol. Sol.* **24 (2)** : 11-135.
- **Mato S., Díaz Cosín D.J. et Calvín E.B., 1984.** Lombrices de tierra del Bosque de los Cabaniños (Sierra de los Ancares, Lugo). *Rev. Ecol. Biol. Sol.* **21(1)**: 65-76.
- **Marinissen J.C.Y. et Bok J., 1988.** Earthworm-amended soil structure: its influence on Collembola populations in grassland. *Pedobiologia.* **32**: 243-252.

- **MBoukou-Kimbasta I., Bernhard-Reversat F., Loumeto J.-N., Ngao J. et Lavelle P., 2007.** Understorey vegetation, soil structure and soil invertebrates in Congolese Eucalypt plantations, with special reference to the invasive plant *Chromolaena odorata* and earthworm populations. *European Journal of Soil Biology*. **47**: 48–56.
- **McBratney A.B. et Webster R., 1983.** Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. V. Co-regionalization and multiple sampling strategies. *J. Soil Sci.* **34** : 137–162.
- **McCafferty W.P., 1982.** *Aquatic entomology*. Science Books International. Boston.
- **McColl H.P., Hart P.B.S. et Cook F.J., 1982.** Influence of earthworms on some soil chemical and physical properties, and the growth of ryegrass on a soil after topsoil stripping, a pot experiment. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. **25**: 239-243.
- **McCredile T.A. et Parker C.A., 1991.** The potential of the exotic earthworm *Aporrectodea trapezoids* and *Microscolex dubius* for improving the physical condition of soil in the western Australian wheatbelt. Report on research during 1988/89 west farmers Ltd. and the wheat industry research council of western Australia, Perth.
- **McCredile T.A., Parker C.A. et Abbott I., 1992.** Population dynamics of earthworm *Ap. trapezoides* (Annelida : Lumbricidae) in a Western Australian pasture soil. *Biology and fertility of soils*. **12** : 285 – 289.
- **McHugh D., 2000.** Molecular phylogeny of the Annelida. *Canadian Journal of Zoology*. **78**: 1873-1884.
- **Mebarki A., 1982.** Le bassin du Kébir-Rhumel (Algérie). Hydrologie de surface et aménagement des ressources en eau. Thèse doctorat de 3^e cycle, Université de Nancy II, 304 p. (Edition : MEBARKI A., 1984, *Ressources en eau et aménagement en Algérie. Le bassin du Kébir-Rhumel*, Office des Publications Universitaires, Alger, 302 p.).
- **Mele P.M. et Carter M.R., 1999.** Impact of crop management factors in conservation tillage farming on earthworm density, age structure and species abundance in south-eastern Australia. *Soil and Tillage Research*. **50**: 1-10.
- **Michaelsen W., 1903.** "Die geographische Verbreitung der Oligochaeten." Friedländer & Sohn, Berlin. 302 Bulletin of Zoological Nomenclature 51(4).
- **Michaelsen W., 1910a.** Oligochäten von den Aru und Kei-Inseln. *Abhandlungen, herausgegeben von der Senckenbergischen naturforschenden Gesellschaft*. **33**: 251-261.
- **Michaelsen W., 1910b.** Oligochäten von verschiedenen Gebieten. *Jahrbuch der hamburgischen wissenschaftlichen Anstalten*. **27**: 47-169.

- **Michaelsen W., 1910c.** Die oligochätenfauna der Vorderindisch-Ceylonischen Region. *Abhandlungen aus dem Gebiete der naturwissenschaften hrsg. vom naturwissenschaftlichen Verein in Hamburg.* **19(5):** 1-108.
- **Michaelsen., 1919.** Über die Beziehungen der Hirudineen zu den Oligochäten. *Mitt. Naturh.Mus. Hamburg,* 36.
- **Michaelsen W., 1923.** Oligochäten aus der Umgegend von Medan in Nordwest-Sumatra. *Arkiv för Zoologi,* **15(14):** 1-20.
- **Michaelsen W., 1925/1926.** Zur Kenntnis einheimischer und ausländischer Oligochäten. *Zoologische Jahrbücher, Abteilung für Systematik, Geographie und Biologie der Tiere.* **51:** 255-328.
- **Michaelsen W., 1930a.** Ein Schlangenähnlicher Regenwurm aus Bergwäldern der Insel Luzon. *Philippine Journal of Science, Manila.* **41:** 273-282, 1 pl. Stephenson, J. (1930). "The Oligochaeta." Oxford University, Clarendon Press. . 978 pp.
- **Minnich J., 1977.** The earthworm book. Rodale Press, Emmaus, PA. xii + 372 pp.
- **Milcu A., Partsch S., Scherber C., Weisser W.W. et Scheu S., 2008.** Earthworm and legumes control litter decomposition on a plant diversity. *Ecology.* **87:** 2548-2558.
- **Monroy F., Aira M., Gago J.A. et Domínguez J., 2007.** Life cycle of the earthworm *Octodrilus complanatus* (Oligochaeta, Lumbricidae). *Comptes Rendus Biologies.* **Vol. 330:** 389-391.
- **Nikita S., Eriksen-Hamel. et Joann K., 2006.** Whalen Growth rates of *Aporrectodea caliginosa* (Oligochaetae: Lumbricidae) as influenced by soil temperature and moisture in disturbed and undisturbed soil columns. *Pedobiologia.* **50:** 207-215.
- **Noble J.C., Gordon W.T. et Kleinig C.R., 1970.** The influence of earthworms on the development of mats of organic matter under irrigated pasture in Southern Australia. *Proc. 11th Int. Grassl. Conf.,* Brisbane, 465-8 pp.
- **Nordström S. et Rundgren S., 1974.** Environmental factors and lumbricid associations in southern Sweden. *Pedobiologia,* **14 :** 1-27.
- **Nuutinen, V., Pitkänen, J., Kuusela, E., Widbom, T. et Lohilahti, H., 1998.** Spatial variation of an earthworm community related to soil properties and yield in a grass-clover field. *Appl. Soil Ecol.* **8:** 85–94.
- **O'Brien B.J. et Stout J.D., 1978.** Movement and turnover of soil organic matter as indicated by carbon isotope measurements: *Soil Biol Biochem,* **Vol.10:** 309-317 p.
- **Oliver J.H., 1962.** A mite parasite in the cocoons of earthworms. *J. Parasit.* **48:** 120-3.

- **Omodeo P., 1958.** Reserve Naturelle integrale du M. Nimba. Oligochaetes. *Memoirs du Institute Francaise Afrique Noir (IFAN), Dakar.* **53:** 9-109.
- **Omodeo P., 1963.** Distribution of the terricolous Oligochaetes on the two shores of the Atlantic. In: North Atlantic Biota and their History. Pergamon Press, London. 127-151.
- **Omodeo P. et Martinucci G.B., 1987.** Earthworms of Maghreb. *On earthworms.* A.M. Bonvicini Paglia I. & P. Omodeo (eds). Selected Symposia and Monographs U.Z.I., 2, Mucchi, Modena, 235-250.
- **Omodeo P., 1998.** History of Clitellata. *Ital. J. Zool.* **65:** 51-73.
- **Omodeo P., Rota E. et Baha M., 2003.** The megadrile fauna (Annelida :Oligochaeta) of Maghreb: a biogeographical and ecological characterization. *Pedobiologia.* **47:** 458 – 465.
- **Omodeo P. et Rota E., 2008.** Earthworm diversity and land evolution in three Mediterranean districts. *Proc. Calif. Acad. Sci., Fourth Series.* **59** (I, N. 5), 65-83.
- **Omodeo P., 2009.** Evolution and biogeography of megadriles (Annelida, Clitellata) Italian Journal of Zoology Publication details, including instructions for authors and subscription information: Dipartimento di Biologia Evolutiva , Università di Siena , via P. A. Mattioli 4, I-53100, Siena, Italy.
- **Ouahrani G. et Gheribi-Aoulmi Z., 2007.** Settlement of the Lumbricidae in the semi-arid region of Constantine (eastern Algeria). 3^{ème} Intern Ologochaeta taxonom. The Environnement service of the Ministry of Agriculture. Advances in Earthwormes Taxonomy II. (Annelida: *Oligochaeta*). Proceedings of the international *Ologochaeta* Taxonomy Meeting (3ed IOTM). Platres, Cytrus, April 2nd to 6th 2007. Ed Terry Connelly. 163 173p.
- **Ouahrani G., 2003.** Lombritechniques appliquées aux évaluations et aux solutions environnementales. Thèse de Doc. Etat. Université Mentouri. 230 p.
- **Ouahrani G. et Gheribi-Aoulmi Z., 2008.** Apport des lombriciens à l'estimation des éléments traces (Cd, Cu, Pb et Zn) des sols bordant l'oued Rhumel (Constantine). *Ecologia Mediterranea.* **33:** 73-84.
- **Ouahrani G. Gheribi-Aoulmi Z. et Mieida Kellou., 2008** "Démécologie des vers de terre de deux Palmeraies d'une région saharienne" Oued Righ" Touggourt". Actes du quatrième colloque ECOVEG 4 12-14 mars 2008- Ed. TEC&TOC 1.47-52p.
- **[Paul E.](#), [Kelly I.](#), [Joanne S.](#), [David T.J.](#) et [Emma S.](#), 2009.** A six year study of earthworm (Lumbricidae) populations in pasture woodland in southern England shows their responses to soil temperature and soil moisture. *Soil Biology and Biochemistry.* **Vol. 41:** 1857–1865.
- **Pavlicek T., Csuzdi Cs. et Nevo E., 2003.** Species richness and zoogeographic affinities of earth-worms in the Levant. *Pedobiologia.* **47:** 452–457.

- **Pavlicek T., Csuzdi Cs. Misirlioglu M. et Vi-lenkin B., 2010.** Faunistic similarity and endemism of earthworms in east mediterranean region. *Biodiversity and Conservation*. **19**: 1989-2001.
- **Parmelee R.W. et Crossley D.A.J., 1988.** Earthworm production and role in the nitrogen cycle of a no-tillage agroecosystem on the Georgia Piedmont. *Pedobiol.* **32**: 351-361.
- **[Perreault J.M.](#) et [Whalen J.K.](#), 2008.** Earthworm burrowing in laboratory microcosms as influenced by soil temperature and moisture. *Applied Soil Ecology*. **Vol. 38**: 27–33 pp.
- **Perel T. S., 1977.** Differences in lumbricid organization connected with ecological properties. *In*: Lohm, U. et Persson, T. (eds), Soil organisms as components of ecosystems. Ecol. Bull., Stockholm, 56-63 pp.
- **Pérés G., Cluzeau D., Curmi P. et Hallaire V., 1998.** Earthworm activity and soil structure changes due to organic enrichments in vineyard systems. *Biol. Fertil. Soils*. **27**: 417-424.
- **Pérez Onteniente A. et Rodriguez Babío C., 2002.** Three new species of earthworm (Annelida: Oligochaeta: Lumbricidae), from the Valencian Community, Spain. *J. Nat. Hist.* **36**: 515-530.
- **Perez-Losada M., Eiroa J., Mato S. et Dominguez J., 2005.** Phylogenetic species delimitation of the earthworms *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) and *Eisenia andrei* Bouché, 1972 (Oligochaeta, Lumbricidae) based on mitochondrial and nuclear DNA sequences. *Pedobiologia*, **Vol.49**: p.317-324.
- **Pérez-Losada., Maigualida Ricoy., Jonathon C., Marshall. et Jorge Domínguez CIBIO., 2009.** Phylogenetic assessment of the earthworm *Aporrectodea caliginosa* species complex (Oligochaeta: Lumbricidae) based on mitochondrial and nuclear DNA sequences *Marcos., Molecular Phylogenetics and Evolution*. **52**: 293-302.
- **Phillipson J., Abel R., Steel J. et Woodell S.R.J., 1976.** Earthworms and the factors governing their distribution in a beechwood. *Pedobiol.* **16**: 258-285.
- **Phillipson J. et Bolton P. J., 1977.** Growth and cocoon production by *Allolobohora rosea* (Oligochaeta: Lumbricidae). *Pedobiol.* **17**, 70-82.
- **Pearce, T.G., 1972.** The calcium relations of selected Lumbricidae. *J. Anim. Ecol.* **4**: 167-188.
- **Poinar JrG. O., 1978.** Generation polymorphism in *NeoapZectanaglasen'* (Steinemematidae : Nematoda) redescribed from *Strigodenna arboricola* (Fab.) Scarabaeidae: Coleoptera) in North Carolina. *Nematologica*. **24**: 105-1 14.
- **Pop A.A., Wink M. et Pop V.V., 2003.** Using of 18S, 16S rDNA and cytochrome c oxidase sequences in earthworm taxonomy (Oligochaeta, Lumbricidae). *Pedobiologia*. **47**: 428–433.

- **Purschke G., 2002.** Male genital organs, spermatogenesis and spermatozoa in the enigmatic terrestrial polychaete *Parergodrilus heideri* (Annelida, Parergodrilidae). *Zoomorphology*. **121**: 125-138.
- **Purschke G. et Fursman M., 2005.** Spermatogenesis and Spermatozoa in *Stygocapitella subterranea* (Annelida, Parergodrilidae), an enigmatic supralittoral polychaete. *Zoomorphology*. **124**: 137-148.
- **Quezel P., 1981.** Les hautes montagnes du Maghreb et du proche-orient : Essai de mise en parallèle des caractères phytogéographiques. Actas III Congr. Optima. Anales Jard. Bot. Madrid **37 (2)**: 353-372.
- **Qiu J.P. et Bouché M.B., 1998 a.** Liste classée des taxons valides de lombriciens (Oligochaeta : Lumbricoidea), Après l'étude des trois cinquième d'entre-eux. Doc. Pédozool. Intégrol. **4** : 17, 181 – 200.
- **Qiu J.P. et Bouché M.B., 1998 b.** Révision des taxons supraspécifiques de *Lumbricoidea*. *Documents pédozoologiques et intégrologiques*. **3** : 179-216.
- **Qiu J.P. et Bouché M.B., 1998 c.** L'interprétation des caractéristiques lombriciennes. *Documents pédozoologiques et intégrologiques*. **3** : 119-178.
- **Quezel P., 2000.** Réflexions sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb méditerranéen. -Paris.
- **Rémy J.-C., Berthelin J. et Morel J.L.** (eds), Sols et environnement 2e cycle. Cours, exercices et études de cas. Paris, 386-407 pp.
- **Reynolds J.W. et Cook, D.G., 1976.** *Nomenclatura Oligochaetologica: a catalogue of names, descriptions and type specimens of the Oligochaeta*. University of New Brunswick, Fredericton (or Ottawa, Runge Press). 217 pp.
- **Reynolds J. W., 1977.** The Earthworms (Lumbricidae and Sparganophilidae) of Ontario Royal Ontario Museum. Toronto, Ontario.
- **Reynolds J.W. et Cook D.G., 1989.** *Nomenclatura Oligochaetologica: Supplementum Secundum*. University of New Brunswick, Fredericton. 37 pp.
- **Reynolds J.W. et Cook D.G., 1993.** *Nomenclatura Oligochaetologica: Supplementum Tertium*. Lindsey, Blewett Press. 37 pp.
- **Reynolds J.W., 1995.** Status of exotic earthworm systematics and biogeography in North America. pp. 1-28 In: Hendrix, Paul F. 1995. Earthworm ecology and biogeography. Lewis Publishers, Boca Raton, FL.

- **Righi, G. 1979.** Introduccion al estudio de las lombrices del suelo (Oligoquetos Megadrilos) de la Provincia de Santa Fe (Argentina). *Revista de la asociacion de ciencias Natural del Littoral* 10, 89-155.
- **Rivas-Martinez S., 1981.** Les étages bioclimatiques de la végétation de la Péninsule Ibérique. *Actas III Congr. Optima. Anales Jard. Bot. Madrid* 37 (2) : 251-268.
- **Rodríguez T., Trigo D. et Díaz Cosín D.J., 1997.** Biogeographical zonation of the western Iberian peninsula on the basis of the distribution of earthworm species. *J. Biogeography*, 24: 893-901.
- **Rossi J.P. et Mathieu J., 2004.** How many observations are needed for regional estimation of soil macrofauna biodiversity? An a posteriori analysis of different sampling intensities using bootstrap resampling. In. *Proceeding of the XIV international colloquium on soil zoology and ecology*. Rouen, September, (Abstract), 114 p.
- **Rota E., 1992.** New data on the earthworm fauna of Gallura (Northeast Sardinia). *Soil Biology and Biochemistry*. 24 (12): 1383–1388.
- **Rota E., Martin P., & Erséus C., 2001.** Soil-dwelling polychaetes: enigmatic as ever? Some hints on their phylogenetic relationships as suggested by a maximum parsimony analysis of 18S rDNA gene sequences. *Contributions to Zoology*. 70: 127-138.
- **Rougerie R., Decaëns T., Deharveng L., Porco D., James S.W., Chang C.-H., Richard B., Potapov M., Suhardjono Y. et Hebert P.D.N., 2009.** DNA barcodes for soil animal taxonomy. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. 44: 789-801.
- **Ruiz M.P., Ramajo M., Jesus J.B., Trigo D. et Cosin D.J.D., 2006.** Selective feeding of the earthworm *Hormogaster elisae* (Oligochaeta, Hormogastridae) in laboratory culture. *European journal of soil biology*. 42: 289-295.
- **Rousset V., Pleijel F., Rouse G.W., Erséus C. et Siddall M.E., 2007.** A molecular phylogeny of annelids. *Cladistics*. 23: 41-63.
- **Ryšavý B., 1969.** Lumbricidae, an important parasitological factor in helminthoses of domestic and wild animals. *Pedobiologia*. 9: 171–174.
- **Sánchez-de León Y. et Johnson-Maynard J., 2009.** Dominance of an invasive earthworm in native and non-native grassland ecosystems. *Biological Invasions*. 11: 1393-1401.
- **Sánchez-de León Y. et Johnson-Maynard J., 2013.** Ecosystem carbon storage and cycling in restored and native grasslands of the Palouse region. *Soil Science Society of America Journal*. 77: 929-940.
- **Sánchez-Monedero M.A., Roig A., Martínez-Pardo C. et Cegarra-Paredes J.C., 1996.** A microanalysis method for determining total organic carbon in extracts of humic substances.

- Relationships between total organic carbon and oxidable carbon. *Bioresource Technology*. **Vol. 57**: n° 3, 291-295 p.
- **Satchell J.E., 1955.** Some aspects of earthworm ecology. *In*: Mc Kevan, D. K. (eds), Soil Zoology. Butterworths, London, 180-201pp.
 - **Satchell J.E., 1967.** Lumbricidae. *In Soil Biology*. (Eds., A. Burges and F. Raw): 259-322. (Academic Press: London.).
 - **Satchell J.E., 1980.** " r "" worms and " K " worms: a basis for classifying lumbricid earthworm strategies. *In*: Dindal, D. L. (eds), Soil biology as related to land use practices. Proc. 7th Intl Colloq. Soil Zool. Syracuse, Environmental Protection Agency, Washington D. C., 848-854 pp.
 - **Satchell J.E., 1983.,** "Earthworm Ecology: From Darwin to Vermiculture". Chapman and Hall, London.
 - **Satyendra M., Singh., OmPrakash., Geeta R., Gangwar. et Rachna., 2009.** *Species richness and density of earthworms in western Uttar Pradesh, India (Oligochaeta: Megascolecidae, Octochaetidae)*. Advances in earthworm Taxonomy IV (Annelida: Oligochaeta). Proceedings of the 4th international Oligochaeta Taxonomy Meeting Diyarbakir, **20-24**: 133-139.
 - **Saussey M., 1966.** Contribution à l'étude des phénomènes de diapause et de régénération caudale chez *Allolobophora icterica* (Savigny) (Oligochète Lombricien). *Mem. Soc. Linn. De Normandie, nouv. ser., sect. zool.* 3, mémoire n°1, 1-158 pp.
 - **Seltzer P., 1946.** Le climat d'Algérie. Int. Météo. Et Physique du Globe, Univ. D'Alger. 219p.
 - **Schwert D.P., 1992.** Faunal transitions in response to an ice age: the late Wisconsinan record of Coleoptera in the north-central United States. *Coleopterists Bulletin*. **46 (1)**: 68-94.
 - **Shaw C., and Pawluk S., 1986.** The development of soil structure by *Octolasion tyrtaeum*, *Aporrectodea turgida* and *Lumbricus terrestris* in parent materials belonging to difficult textural classes. *Pedobiologia*. **29**: 327-339.
 - **Siddall M.E., Apakupakul K., Burreson E.M., Coates K.A., Erséus C., Gelder S.R., Källersjö M. et Trapido-Rosenthal H., 2001.** Validating Livanow's Hypothesis: Molecular Data Agree that Leeches, Branchiobdellidans and *Acanthobdella peledina* form a Monophyletic Group of Oligochaetes. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. **21**: 346-351.
 - **Siddall M.E., Borda E. et Rouse G.W., 2004.** Towards a Tree of Life for the Annelida. Chapter 15 *In*, Assembling the Tree of Life. Oxford University Press, New York. 237-251 pp.
 - **Sims R.W., 1966.** The classification of the Megascolecoid earthworms: an investigation of Oligochaete systematics by computer techniques. *Proceedings of the Linnean Society, London*. **177(2)**: 125-41.

- Sims R.W. et Easton E.G., 1972.** A numerical revision of the earthworm genus *Pheretima* auct. (Megascolecidae:Oligochaeta) with the recognition of new genera and an appendix on the earthworms collected by the Royal Society North Borneo Expedition. *Biological Journal of the Linnean Society*. **4**: 169-268.
- **Sims R.W., 1980.** A preliminary numerical evaluation of the taxonomic characters of *Allolobophora* auct. And some allies (Lumbricidae : Oligochaeta) occurring in France. *Pedobiologia*, **20**: 212-226.
 - **Sims R.W., 1983.** The scientific names of earthworms. In: J.E. Satchell (ed.). "Earthworm Ecology: from Darwin to Vermiculture." 365-373 pp. Chapman and Hall, London.
 - **Sims R.W. et Gerard B.M., 1985.** Earthworms. Keys and notes to the identification and study of the species. Synopsis of the British fauna (New species). Brill, Leiden. n°. **31**. 171 pp.-
 - **Sims R.W. et Gerard B.M., 1999.** *Earthworms: Notes for the Identification of British Species, Synopses of the British Fauna* (New Series) n°. **31** (Revised). London: Linnean Society.
 - **Soltner D., 1992.** Phytotechnie générale : les bases de la production végétale. Tome 1 : le Sol et son amélioration. Tome 2 : Climat, Météorologie, Pédologie, Bioclimatologie. Série Agronomie.
 - **Spehn E.M., Joshi J., Schmid B., Alpehi J. et Korner C., 2000.** Plant diversity effects on soil heterotrophic activity in experimental grassland ecosystems. *Plant and Soil*. **224**: 217– 230.
 - **Springett J.A., 1985.** Effects of introducing *Allolobophora longa* Ude on root distribution and some soil properties in New Zealand pastures. In: A.H. Fitter (ed.). "Ecological Interactions in Soil." 399-407 pp. Blackwell, London.
 - **Springett J.A., Gray R.A.J. et Reid J.B., 1992.** Effect of introducing earthworms into horticultural land previously denuded of earthworms. *Soil Biology & Biochemistry*. **24 (12)**: 1615-1622.
 - **Stein A., Ettema C., 2003.** An Overview of spatial sampling procedures and experimental design of spatial studies for ecosystem comparison. *Agric Ecosyst Environ*. **94** : 31-47.
 - **Stephenson, 1925.** Oligochaeta from various regions, including those collected by the Mount Everest expedition 1924. *Proc. Zool. Soc.* **1925**: 879-907.
 - **Stephenson J., 1930.** "The Oligochaeta." Oxford University, Clarendon Press. 978 pp.
 - **Stewart V.I., Scullion J., Salih R.O. et Al-Bakri K.H., 1988.** Earthworms and Structure Rehabilitation in Subsoils and in Topsoils Affected by Opencast Mining for Coal. *Biological Agriculture and Horticulture*. **5**: 325-338.
 - **Struck T., Hessling R. et Purschke G., 2002.** The systematic position of two enigmatic oligochaete-like taxa of the Polychaeta based on molecular data: Aeolosomatidae and Parergodrilidae. *J zool Syst Evol Res*. **40**: 155-163.

- **Surendra sutthar., 2007.** Nutrient changes and biodynamics of epigeic earthworm *Perionyx excavatus* (Perrier) during recycling of some agriculture wastes. [*Bioresource Technology*](#). **Vol.98**: 1608–1614 pp.
- **Svendsen T.S., Hansen P.E., Sommer C., Martinussen T., Grønvold J. et Holter P., 2005.** Life history characteristics of *Lumbricus terrestris* and effects of the veterinary antiparasitic compounds ivermectin and fenbendazole. *Soil Biol. Biochem.* **37**: 927-936.
- **Syers J.K. et Springett J.A., 1984.** Earthworms and soil fertility. *Plant and Soil.* **76**: 93-104.
- **Tao Jun., Gu Wei., Bryan Griffiths., Liu Xiaojing., Xu Yingjun. et Zhang Hua., 2012.** Maize residue application reduces negative effects of soil salinity on the growth and reproduction of the earthworm *Aporrectodea trapezoides*, in a soil mesocosm experiment. **Vol.49**: 46–51.
- **Terhivuo J., Halmepuro A. et Saura A., 2011.** [Clonal diversity and morphometry in the parthenogenetic earthworm *Eiseniella tetraedra* \(Sav.\) as affected by habitat characteristics including radioactive pollution](#). *Pedobiologia.* **Vol.54**: 11-18.
- **Ter Braak C.J.F., 1986.** Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology.* **67**: 1167-1179.
- **Thoma 1975.,** Ecologie et la dynamique de la vegetation des dunes de Jijel à el-Kala (Est algérien). Thèse Doc. Ecol. Végét., univ. Sc. Et The. Du Languedoc. 132 p et annexes.
- **Tiho et Josens., 2000.** Earthworm populations of Roosevelt Avenue (Brussels, Belgium): composition, density and biomass. – *Belgian Journal of Zoology* **130 (2)**: 131–138.
- **Timm T., 1981.** On the origin and evolution of aquatic Oligochaeta. *Eesti NSV Tead. Akad. Toim. Biologia.* **30(3)**: 174-181.
- **Tiunov A.V. et Scheu S., 2004.** Carbon availability controls the growth of detritivores (Lumbricidae) and their effect on nitrogen mineralization. *Oecologia.* **138**: 83-90.
- **Tondoh E.J., Monin M.L., Tiho S. et Csuzdi C., 2007.** Can earthworms be used as bio-indicators of land-use perturbations in semi-deciduous forest? *Biology and Fertility of Soils.* **43**: 584–592.
- **Torsvik T. H., 2003.** The Rodinia jigsaw puzzle. *Science.* **300**: 1379-1381.
- **Trigo D., 1987.** *Lombrices de tierra de Portugal*. Tesis Doctoral. Facultad de Biología. Universidad de Santiago, 427p.
- **Trigo, D., Mascato, R., Mato, S. et Díaz Cosín D.J., 1988.** Biogeographical divisions of continental Portugal as regards earthworm fauna. *Boll. Zool.* **55**: 85-92.
- **Trigo D., Barois I., Garvin M.H., Huerta E., Irisson S., Lavelle P. et Diaz Cosin D.J., 1999.** **Mutualism between earthworms and soil microflora.** *Pedobiologia,* **43 (6)** : 66-873.

- **Van Praagh B., 1992.** The biology and conservation of the Giant Gippsland earthworm *Megascolides australis* McCoy, 1878. *Soil Biology & Biochemistry*. **24(12)**: 1363-1369.
- **Van Rhee J.A. et Nathans S., 1973.** Ecological aspects of earthworm populations in relation to weather conditions. *Rev. Ecol. Biol. Soil*. **10** : 523-533.
- **Vila J.M., 1978.** Extrait de la carte géologique et structurale au 1/500000 de la chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens. Carte certifiée et publiée en 1978 avec le concours du CNRS.
- **Vila J.M., 1980.** La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens, Thèse doctorat d'état Sciences, Université de Paris VI, 2 tomes, 586 p.
- **Xu S., Johnson-Maynard J.L. et Prather T.S., 2013.** Earthworm density and biomass in relation to plant diversity and soil properties in a Palouse prairie remnant. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.06.006>.
- **Wardle D.A., Bonner K.I., Barker G.M., Yeates G.W., Nicholson K.S., Bardgett R.D., Watson R.N. et Ghani A., 1999.** Plant removals in perennial grassland: vegetation dynamics, decomposers, soil biodiversity, and ecosystem properties. *Ecological Monographs*. **69**: 535–568.
- **Whalen J.K. et Parmelee R.W., 1999.** Growth of *Aporrectodea tuberculata* (Eisen) and *Lumbricus terrestris* L. under laboratory and field conditions. *Pedobiol*. **43**: 1-10.
- **Walton W.R., 1928.** Earthworms as pests and otherwise. USDA, Farmers' Bull. n°. 1569: 1-14.
- **White G., 1887.** The natural history and antiquities of Selborne. E. T. Bennett and J. E. Harting, editors. Edition 5. Swan Sonnenschein and Lowrey, London, UK.
- **Wildi W., 1983.** La chaîne tello-rifaine (Algérie-Maroc-Tunisie): structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène. *Revue de Géologie Dynamique et Géographie Physique*. **24** : 201-298.
- **Wilkinson S.C., 1988.** Gram-negative bacteria. In: Ratledge C, Wilkinson SC (eds) *Microbial lipids*, vol 1. Academic, London, pp 299-488.
- **Winsome T., Epstein L. et Hendrix P.F., 2006.** Competitive interactions between native and exotic earthworm species as influenced by habitat quality in a California grassland. *Appl Soil Ecol*. **32**: 38–53.
- **Wirth S.J., (2001).** Regional-scale analysis of soil microbial biomass and soil basal CO₂, respiration in northeastern Germany. In : stott, D.E., Mothar, R.H., Steinhardt, G.D (Eds), *Sustaining the global farm. Selected papers from the 10th international soil conservation organization meeting held May 24-29, 1999, west lafayette, IN*, pp. 486-493. Isco in cooperation with USDA isco in cooperation with USDA and Purdue university, west lafayette, IN [online]. <http://topsoil.inserl>.

- **Young I.M., Blanchart E., Chenu C., Dangerfield M., Fragaso C., Grimaldi M., Ingram J. et Monrozier L.J., 1998.** The interaction of soil biota and soil structure under global change. *Global Change Biology*. [Vol. 4:](#) 703–712.
- **Zhang H. et Schrader S., 1993.** Earthworm effects on selected physical and chemical properties of soil aggregates. *Biology and Fertility of Soils*. **15:** 229-234.

BAZRI Kamel-eddine

Thèse pour l'obtention du grade de :

Doctorat en Sciences

Filière : Ecologie

Option : Aménagement des Milieux Naturels

Thème :

Etude de la biodiversité des lombriciens et leurs relations avec les propriétés du sol dans différents étages bioclimatiques, dans l'Est algérien.

Résumé

L'objectif de notre travail vise à décrire la biodiversité de la faune lombricienne dans l'Est algérien, le long d'un gradient depuis le littoral jusqu'au désert, ainsi que leurs relations avec les facteurs édaphiques (pH, Conductivité électrique, Matière organique et texture du sol) et climatiques. Dix-huit espèces sont recensées dans cette étude : *Aporrectodea trapezoides*, *Aporrectodea rosea*, *Allolobophora molleri*, *Aporrectodea monticola*, *Octodrilus complanatus*, *Aporrectodea carochensis*, *Octodrilus maghrebinus*, *Eisenia fetida*, *Dendrobaena byblica*, *Aporrectodea tetramammalis*, *Eiseniella tetraedra*, *Proctodrilus antipae*, *Octolasion lacteum*, *Aporrectodea caliginosa*, *Allolobophora chlorotica*, *Microscolex dubius*, *Microscolex phosphoreus* et *Hormogaster redii*.

L'espèce *Ap. trapezoides* domine dans l'ensemble du terrain d'étude (PDC = 50,37%).

En ce qui concerne la démoécologie, les valeurs moyennes de la densité et la biomasse des lombriciens diminuent du nord ($40,50 \pm 11,86$ individus/m² et $6,92 \pm 4,88$ g/m²) vers le sud ($3,89 \pm 2,80$ individus/m² et $1,07 \pm 0,83$ g/m²) du transect d'étude.

Les espèces *Aporrectodea rosea*, *Aporrectodea trapezoides* et *Allolobophora molleri* peuvent côtoyer les milieux riches en sable. Leurs substrats sont riches en azote. Toutefois, les taxons *Octolasion lacteum*, *Octodrilus maghrebinus*, *Dendrobaena byblica*, *Aporrectodea carochensis* et *Microscolex dubius* prouvent des tendances vers les teneurs élevées en matière organique et en argile. Le groupe des espèces *Aporrectodea caliginosa*, *Aporrectodea monticola*, *Octodrilus complanatus*, *Allolobophora chlorotica* et *Hormogaster redii* est lié aux paramètres CaCO₃, Ca⁺⁺, la fraction limoneuse et les sites pauvres en matière organique.

Il semble que les deux espèces *Aporrectodea rosea* et *Aporrectodea trapezoides* peuvent résister à un climat chaud et sec comme celui d'Algérie.

Mots clés : Vers de terre, biodiversité, Est algérien, étages bioclimatiques en Algérie, Biologie du sol, pédofaune.

Membres de jury :

Président : **M. RAHMOUNE Chaabane** : Professeur, université Constantine 1

Encadreur : **Mme. OUAHRANI Ghania** : Professeur, université Constantine 1

Examineurs :

Mme BAHA Mounia : Professeur, Ecole Normale Supérieure de Kouba

Mme GHERIBI Zoubida : Maître de Conférences, université Constantine 1

M. SI BACHIR Abdelkrim : Maître de conférences, univ. Hadj Lakhder, Batna

M. SAHEB Menouar : Maître de Conférences, univ. Larbi Benm'hidi, Oum El-Bouaghi

Année universitaire : 2014/2015

